

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

失效模式與效應分析應用於

單元式帷幕牆施工風險之探討

Risk Analysis of Unitized Curtain Wall System—  
Application of Failure Mode and Effects Analysis



朱志年

Chu, Chih-Nien

指導教授：郭斯傑 博士

Advisor: Guo, Sy-Jye Ph.D.

中華民國 99 年 6 月

Jun. 2010

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

失效模式與效應分析應用於  
單元式帷幕牆施工風險之探討

Risk Analysis of Unitized Curtain Wall System—  
Application of Failure Mode and Effects Analysis

本論文係朱志年君 (P96521701) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 99 年 06 月 18 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

郭斯偉

(指導教授)

鄭如岡

王偉昌

系主任

呂良正

## 誌 謝

本論文得以提早付梓，在此要表達個人誠心的謝意，在此期間對許多的良師益友的鼓勵、協助與幫忙。衷心感謝恩師郭斯傑博士的悉心指導與諄諄教悔，充分給予個人研究的意願，鼓勵個人多年的相關工作經驗，藉由論文研究將施工實務之經驗整合分析，俾期研究成果提供業界些許的貢獻。在此對郭老師研究嚴謹；努力不懈與對教學的執著態度，深印學生心中；不辭辛勞的付出，感受到恩師浩瀚於心。

論文口試期間，承蒙國立台灣科技大學鄭明淵教授，及台北科技大學王隆昌教授，於百忙中撥空細審，不吝指正疏漏謬誤之處，使本研究更臻完善與詳實，特此申謝。

求學期間感謝大元聯合建築師事務所周俊仁副總經理，對我求學過程的支持與鼓勵；本論文得以順利完成應感謝華清技術葉文凱總經理勉勵，以及康普工程顧問公司黃有立先生、陳郁潔先生，品贊有限公司郭炳宏總經理，互助營造林文忠處長、江世文主任，翔聯企業公司黃漢慕先生的協助，及同窗同組的伙伴謝永昌、黃義芳、杜柄龍、徐沛灃的互相打氣，在學業上面與論文研究上的協助與指導。

感謝母親張美鳳女士、岳母李春梅女士在求學期間對我的支持與照顧，及最愛妻子張瓊琪無怨無悔地付出心力照顧家庭，使我無後顧之憂在學業上全力付出努力；及兒子柏霖的乖巧懂事。

最後謹以此論文獻給最敬愛父親朱振良先生以及外婆張胡梅女士，感謝您們對家裡所付出的一切，希望在天上的您們能感受到這份感謝之意。

研究生 朱志年 謹誌

中華民國九十九年七月十五日

# 摘要

帷幕牆系統發展越來越複雜與精細，台北 101 之外牆玻璃帷幕，從系統設計、結構及地震與風力計算、選定材料、工廠加工組裝、乃至於現場吊裝等，全部施工過程必須符合設計需求，達到相關氣密及水密之規範要求，在生產或組裝過程發生問題都會對該專案工期及成本產生重大影響，而這都需要帷幕牆施工團隊於事前的縝密規劃，所以對於帷幕牆製造及安裝過程中相關潛在缺失能否及早發現問題與缺失進而進行防制措施，以及相關缺失如何改善以避免系統失效而產生損失。藉由失效模式與效應分析 (Failure Model and Effects Analysis, FMEA) 之量化分析模式，進行評估施工中缺失改善之優先順序，以達到預防及改善施工問題之發生。

經由專家顧問問卷與資料彙整，制定成 242 項失效模式與原因(包括：工廠製造階段、工地吊裝階段等共計 2 階段、13 個項次、242 項)，並據以擬定單元式帷幕牆之失效模式與效應分析表。依據 FMEA 風險優先數計算與分析，先行制訂風險優先指數 $>125$  或嚴重度 $>7$ (等級 III 以上)之項目應列為加強管控項目以為重點查核、解決、改善處理對象。經風險指數分類與分析結果等級 III 以上為加強管控項目共有 76 項，分別為等級 I 計有 12 項，等級 II 計有 14 項，等級 III 計有 50 項，另等級 IV 及 V 計有 166 項可依既有品質管制之管制方法與查核頻率進行管理。

242 項失效模式中，風險優先法評點計算出 76 項加強管制項目，其中以材料進場檢驗所佔項次最多，顯見施工前與施工過程必須確認材料品質必須符合規範，才能達到帷幕牆耐久需求。

在 FMEA 應用上，於規劃或製程施工前利用失效模式與效應分析法來進行施工階段作業上之潛在缺失檢討，並制定防治與改善措施，將有效降低缺失發生機率，從案例中可明確顯示風險優先數之降低。

**關鍵詞：**風險分析、失效模式與效應分析、風險優先數、單元式帷幕牆

## Abstract

The development of curtain wall systems is getting more complex and exquisite. Take the facade of the Taipei 101, the tallest building in the world, for example. All the system designs, structural calculations for earthquake and wind load, material selections and the fabrication/assembly at shop and erection at site should meet the design requirements of certain water-tightness and air-tightness during the process of construction. Any problems occurred during the process of production or assembly will cause a serious impact to the schedule and cost of the project. Therefore, it is necessary that the whole team of curtain wall works maps out meticulously and previously to identify potential defects and take necessary measurements to prevent such defects during the process of curtain wall construction. By means of quantitative analysis model of Failure Model and Effects Analysis (FMEA), this study aims to evaluate the priority of defect amendment for the curtain wall construction to prevent and solve problems.

242 items of failure and cause, including two stages (production and construction stages), 13 categories and 242 items are summarized through questionnaires and data collections from experts and consultants in curtain wall field. Thus, failure mode and effects analysis for unitized curtain wall are prepared. According to the calculations and analysis of risk priority number of FMEA, items with risk priority number  $> 125$  or acuity  $> 7$  (Level III and above) are rated as enhanced ones for primary auditing, problem-shooting, and improvement. The result of classification and analysis via danger index is that totally 76 items are rated Level III above, which are 12 items of Level I, 14 items of Level II and 50 items of Level III; the other 166 items of Level IV and Level V could be managed in accordance with existing method and auditing frequency for better quality control.

Among the 76 enhanced items out of 242 items of failure model, there are material inspection upon arrival share the highest portions. This is obvious that it's curial that the

material should meet the specification requirement prior to production and construction in order to satisfy façade performance.

In the application of FMEA, using the Failure Model and Effects Analysis to identify potential defects at the stage of planning and pre-construction stages to set up control and improvement measurements will effectively reduce probability of occurrence of defects. The reduction of risk priority number is apparent from the case studies.

**Keywords: risk analysis, Failure Model and Effects Analysis, risk priority number, unitized curtain walls.**



# 目 錄

口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
目錄.....	vi
圖目錄.....	ix
表目錄.....	xi
<b>第一章緒論</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
1.3 研究範圍與限制 .....	2
1.4 研究方法與流程 .....	2
<b>第二章文獻回顧</b> .....	<b>5</b>
2.1 風險管理與評估 .....	5
2.1.1 風險辨識.....	7
2.1.2 風險分析.....	9
2.1.3 風險評量 .....	10
2.2 帷幕牆工程與施工風險 .....	10
2.2.1 帷幕牆的定義.....	10
2.2.2 帷幕牆的起源與發展.....	10
2.2.3 帷幕牆的構成與形式 .....	12
2.2.4 帷幕牆之施工風險 .....	14

2.3 失效模式與效應分析(FMEA)	15
2.3.1 FMEA 的起源與發展	17
2.3.2 FMEA 相關名詞與定義	17
2.3.3 FMEA 的實施對象與應用時機	18
2.3.4 FMEA 的實施步驟	20
2.3.5 FMEA 評價方法	23
<b>第三章帷幕牆施工階段之管理</b>	<b>26</b>
3.1 單元式帷幕牆工廠製造階段	26
3.1.1 材料進場檢驗	28
3.1.2 加工裁切	30
3.1.3 框架組裝	34
3.1.4 背襯板安裝及防水施工	39
3.1.5 玻璃及石材安裝	41
3.1.6 包裝與運輸	45
3.1.7 單元式帷幕牆工廠組裝階段施工程序照片	47
3.2 單元式帷幕牆工地吊裝階段	48
3.2.1 外牆結構測量	49
3.2.2 預埋件施工	52
3.2.3 二次件施工	53
3.2.4 單元吊裝與調整	54
3.2.5 版片擋塊安裝與接頭防漏施工	63
3.2.6 層間塞施工	64
3.2.7 拆紙清潔	66
3.2.8 單元式帷幕牆工地吊裝階段施工程序照片	67
<b>第四章 FMEA 於單元式帷幕牆工程之應用</b>	<b>68</b>



4.1 FMEA 於單元式帷幕牆工程之應用模式建構.....	68
4.1.1 實施內容.....	68
4.1.2 實施流程.....	69
4.1.3 專家訪談名單.....	71
4.1.4 應用模式建構.....	71
4.1.5 失效模式風險指數分類.....	74
4.2 單元式帷幕牆工程施工階段 FMEA 分析成果.....	75
4.2.1 等級 I 風險因子分析.....	77
4.2.2 等級 II 風險因子分析.....	82
4.2.3 等級 III 風險因子分析.....	87
4.3 加強管制項目處理因應對策.....	102
4.4 案例檢討分析.....	109
4.4.1 案例甲之 FMEA 檢核成果.....	109
4.4.2 案例乙之 FMEA 檢核成果.....	113
<b>第五章 結論與建議.....</b>	<b>117</b>
5.1 結論.....	117
5.2 建議.....	118
<b>參考文獻.....</b>	<b>119</b>
<b>附錄.....</b>	<b>123</b>
附錄一 第一階段問卷.....	123
附錄二 第二階段問卷.....	126

## 圖目錄

圖 1.1 研究流程	4
圖 2.1 典型的風險管理架構	6
圖 2.2 直橫料系統	13
圖 2.3 格版系統	13
圖 2.4 窗間牆系統	13
圖 2.5 單元化系統	13
圖 2.6 複合式系統	14
圖 2.7 應用 FMEA 手法之產業	20
圖 2.8 生命週期各階段 FMEA 應用情形	20
圖 3.1 單元式帷幕牆於工廠製造階段流程圖	27
圖 3.2 加工組裝製作階段流程圖	28
圖 3.3 工廠進料檢驗流程圖	30
圖 3.4 鋁擠型雙頭鋸加工示意圖	32
圖 3.5 鋁擠型加工圖	33
圖 3.6 帷幕牆單元固定繫件示意圖	34
圖 3.7 工廠框架製作及品質檢驗流程圖	37
圖 3.8 單元零件組裝圖	38
圖 3.9 單元接頭示意圖	38
圖 3.10 單元接頭示意圖	39
圖 3.11 工廠背襯板安裝與防水施作品質檢驗流程圖	41
圖 3.12 工廠玻璃/石材安裝作業品質檢驗流程圖	45
圖 3.13 單元式帷幕牆於工地吊裝階段流程圖	48
圖 3.14 單元式帷幕牆於工地吊裝階段流程圖	49
圖 3.15 現場測量放樣示意圖	50
圖 3.16 樓板放樣觀測孔	50

圖 3.17 放樣觀測孔與基準線規劃示意圖	51
圖 3.18 經緯儀進行基準測量	52
圖 3.19 預埋鐵件安裝施工	53
圖 3.20 二次件安裝與量測	53
圖 3.21 單元式帷幕牆吊裝作業流程	54
圖 3.22 建築工地塔式吊車吊裝範圍	56
圖 3.23 軌道式捲揚機	57
圖 3.24 移動式小吊車	57
圖 3.25 施工平台	58
圖 3.26 帷幕牆板片吊放至施工樓層	59
圖 3.27 帷幕牆單元吊裝施工	61
圖 3.28 帷幕牆單元吊裝施工	61
圖 3.29 帷幕牆單元吊裝時精度測量	62
圖 3.30 帷幕牆單元吊裝後精度調整	63
圖 3.31 帷幕牆單元檔塊安裝及防水施作	64
圖 3.32 帷幕牆單元防水試水	64
圖 3.33 帷幕牆單元層間塞施工	65
圖 3.34 帷幕牆層間塞阻煙劑施工	66
圖 4.1 研究實施流程	70
圖 4.2 風險優先指數 RPN 統計分布	74
圖 4.3 加強管制項目分布圖	76
圖 4.4 案例甲正立面圖	110
圖 4.5 案例甲 RPN 項次統計分布	110
圖 4.6 案例乙正立面圖	114
圖 4.7 案例乙 RPN 項次統計分布	114

## 表目錄

表 2.1 失效模式與效應分析 (FMEA) 之發展歷程 .....	16
表 2.2 設計 FMEA 與製程 FMEA 的比較.. .....	19
表 2.3 發生度評估標準表 .....	24
表 2.4 難檢度衡量標準表 .....	25
表 2.5 嚴重度衡量標準表 .....	25
表 3.1 用料檢驗項目及方法 .....	29
表 3.2 材料切斷品質管理表 .....	31
表 3.3 材料加工品質管理表 .....	31
表 3.4 材料彎曲品質管理表 .....	32
表 3.5 單元式帷幕牆組裝管制表 .....	36
表 3.6 背襯版安裝與防水施作管制表 .....	40
表 3.7 石材安裝管制表 .....	43
表 3.8 玻璃裝配管制表 .....	44
表 3.9 使用車輛規格及相關載重限制 .....	46
表 3.10 單元式帷幕牆工廠組裝階段施工程序照片 .....	47
表 3.11 單元式帷幕牆工地吊裝階段施工程序照片 .....	67
表 4.1 專家訪談及問卷名冊.....	71
表 4.2 嚴重度(S)衡量標準表.....	72
表 4.3 發生度(O)評估標準表.....	72
表 4.4 難檢度(D)衡量標準表.....	73
表 4.5 失效模式風險指數分類標準 .....	75
表 4.6 優先指數分類等級(I) .....	81
表 4.7 優先指數分類等級(II) .....	86
表 4.8 優先指數分類等級(III) .....	90
表 4.9 優先指數分類等級(IV) .....	93

表 4.10 優先指數分類等級(V) .....	96
表 4.11 等級 I 預防處理及因應對策 .....	102
表 4.12 等級 II 預防處理及因應對策 .....	104
表 4.13 等級 III 預防處理及因應對策 .....	105



# 第一章 緒論

近年來隨著越來越多高層建築興建，外牆亦越多採用帷幕牆來施工，無論是玻璃帷幕、石材帷幕、金屬帷幕亦或是預鑄混凝土帷幕牆等，越來越多建築材料應用在帷幕外牆施工上，而且建築物的發展趨勢為逐漸往超高樓層發展，為了減少建築物自重所以相關使用建材越趨輕量化，同時建築及構造之相關構件預先於工廠組立施工來縮短工址現場施作工期，施工機械化程度越重，所以高層建築外牆施工也逐漸由帷幕牆這類輕量化的預組產品所來取代，而成為多數建築師及工程師在設計規劃上所使用。

## 1.1 研究動機

帷幕牆系統發展越來越複雜與精細，就如同世界第一高樓台北 101 所見之外牆玻璃帷幕，從設計系統、結構及地震與風力計算、選定材料、工廠加工組裝、乃至於現場吊裝等，全部施工過程如何符合設計需求，同時達到一定氣密及水密要求，一旦生產或組裝過程產生問題都會對該專案工期及成本產生重大影響，而這都需要整個帷幕牆施工團隊於事前的縝密規劃，所以對於帷幕牆產製及安裝過程中相關潛在缺失能否提早發現進而進行防制措施，以及相關缺失如何改善以避免系統失效而產生損失。

由於建築工程日趨複雜，建築的專業分工已成為一種無法避免的趨勢，強調高度工業化的帷幕牆似乎已經成為今日建築大樓外牆設計的主流。帷幕牆相關的界面工程極多，其在整個建築營造上，是屬於高層次的技術，舉凡設計、施工及管理都需要專業人員的投入與關注，才能提高整體工程品質。

藉由失效模式與效應分析(Failure Model and Effects Analysis, FMEA)之量化分析模式，進行評估施工中缺失改善之優先順序，以達到預防及改善施工問題之發生。

## 1.2 研究目的

本研究欲達成的目的為，建立帷幕牆工程施工風險評估系統模式，做為帷幕牆工程風險管理之確認分析，達到分析施工階段發生品質缺失或問題之潛在性風險，以做為建立帷幕牆施工及改善之依據。

## 1.3 研究範圍與限制

建築物外牆系統工法眾多，本研究以建築物外牆工程中單元式帷幕牆工廠加工組裝及工地吊裝施工製程階段為研究範圍，並以北市新建工程之帷幕牆施工實際案例來驗證相關模式。

本研究之限制如下：

- 1、 本研究不探討設計所產生之失效模式。
- 2、 本研究不探討有關帷幕牆完工後維護管理之範圍。
- 3、 利用失效模式與效應分析中之評點標準表，因缺乏帷幕牆工程之相關統計資料，將參考製造業所使用分類標準作為本研究使用。

## 1.4 研究方法及流程

研究方法：

本研究共分為四個階段進行，各階段實施內容概述如下：

### 1、 第一階段：

參考帷幕牆製造技術及施工安裝手冊作業與相關文獻內容，初步訂定相關流程及工程項目，以發掘及辨識單元式帷幕牆工程中可能的失效因子與模式。

### 2、 第二階段：

藉由與國內帷幕牆專家與顧問訪談之方法，訂出嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D)三項之評點標準，並修正適用於帷幕牆工程之 FMEA 分析表。

### 3、 第三階段：

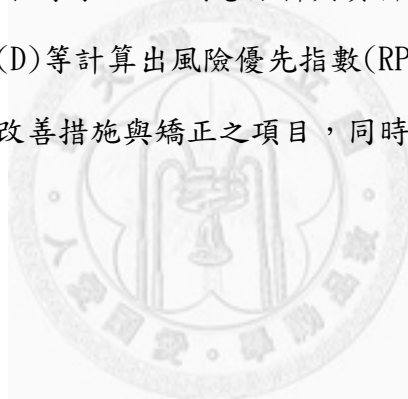
考量單一組成員可能產生主觀之評量結果，造成分析項目得分失真或偏差，

影響整體分析之客觀性，參考產業界 FMEA 分析小組精神，發函邀集國內帷幕牆發展協會、顧問及專業廠商等，以專家問卷方式，進行發掘與辨識單元式帷幕牆施工階段之失效模式與因子，以及進行各項因子之評點分析(嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D))之經驗值調查作業。

此階段進行二次循環問卷來進行，第一循環問卷為進行發掘與辨識單元式帷幕牆施工階段之失效模式與因子，收集問卷後，加以彙整並填入 FMEA 表格內，第二循環依據前循環所建立失效模式並匯入嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D)等評點標準表，發出第二循環問卷，請專家與專業廠商進行各項因子之評點分析作業。

#### 4、 第四階段

進行單元式帷幕牆工程專家 FMEA 問卷分析與資料庫建置作業，包括：嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D)等計算出風險優先指數(RPN)值，並進行失效模式之風險排序，並指出須進行改善措施與矯正之項目，同時提出結論與建議。





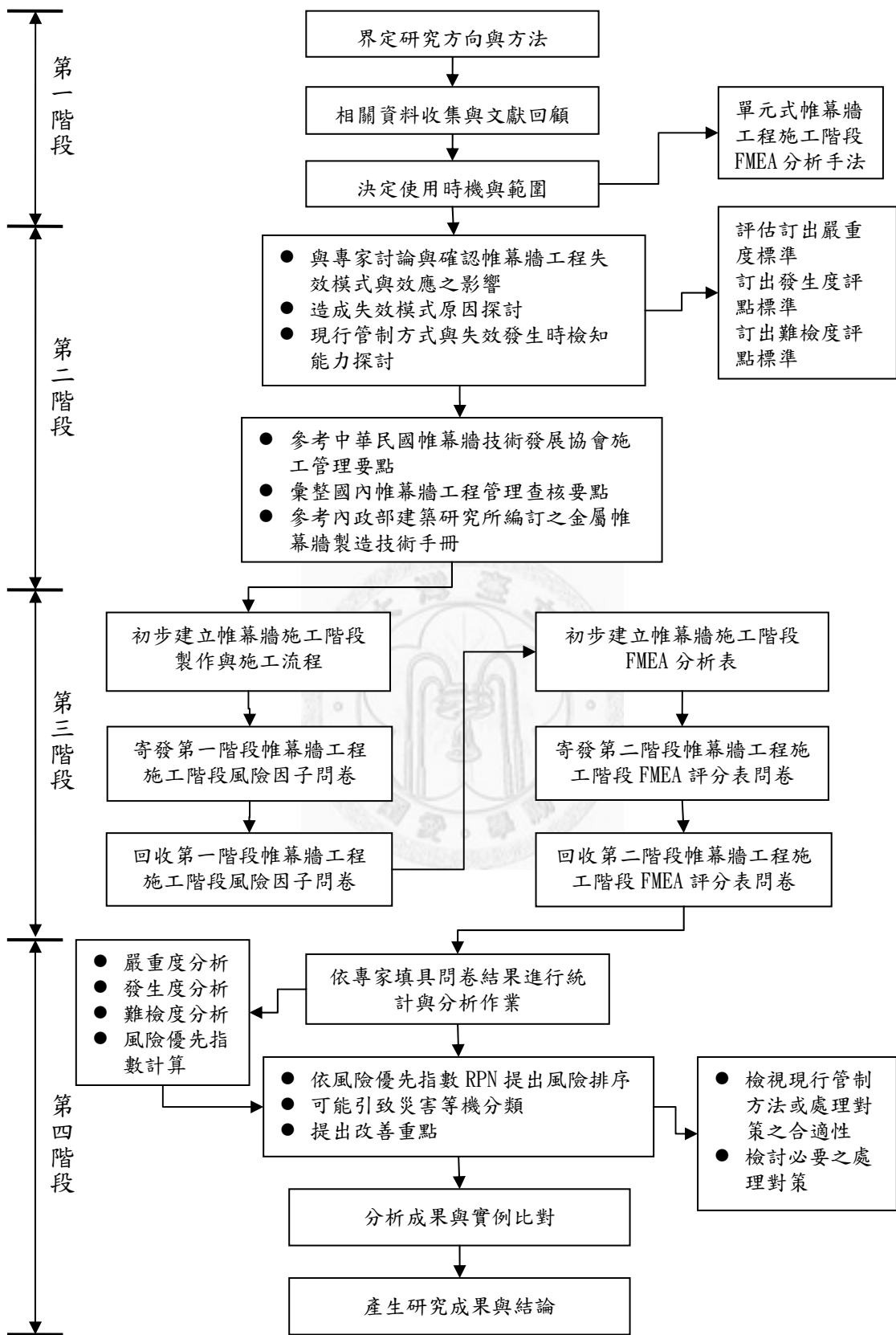


圖 1.1 研究流程

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 風險管理與評估

風險管理的意義如下：有系統的應用管理決策、程序、實務於風險分析、評估與控制之中，已達到保護財產，避免營運停頓，防止人員和環境傷亡損毀。若就製程安全的管理方法來說，依序可分成四大階段：(1) 規劃 (2) 組織 (3) 執行 (4) 控制；控制之後是績效評估。風險管理的主要目的有三：【行政院研究發展考核委員會，2009】

- (1) 控制並使風險降至可接受的程度。
- (2) 建低風險決策的步確定性。
- (3) 提高對風險決策的信心。

風險管理是一個『持續改善』的反覆過程或循環過程，是一種將組織活動、功能和過程相關的風險進行辨識、分析、評價，並據以處理、溝通與監控，使損失減輕到最低程度的管理方法。風險管理過程包括對於風險的定義、量測、評估和發展因應風險的策略。其目的是將可避免的風險、成本以及損失極小化。適當的風險管理，事先排定優先次序，可以提供管理者優先處理造成最大損失即發生機率最高的事件，其次在處理風險將對較低的事件。

工程風險無所不在，它是一種影響工程項目目標實現的不確定事件或狀態，風險意外事件一旦發生，會對工程產生一個或多個的衝擊或後果【洪顯宗，2009】。

風險評估強調事故風險大小或重要性的判斷，風險評估的範圍依面臨的危害而定，通常包括下列主要工作項目：

- (1) 對危害的認知。
- (2) 分析意外事故發生的因果關係。
- (3) 分析意外事故的不良影響之大小程度。
- (4) 估計事故及不良後果的可能性。可能性已機率或頻率表示。

(5) 對以上各項分析的結果作判斷，並對估計的風險之重要性作判斷。

(6) 採取改善措施或決策之時，決策者以第 5 項的判斷為基礎，並考量風險評估的不確定性，權衡 (trade-off) 成本效益做最適的決策。

風險評估(Risk assessment)：一個包括風險辨識、風險分析及風險評量的過程。

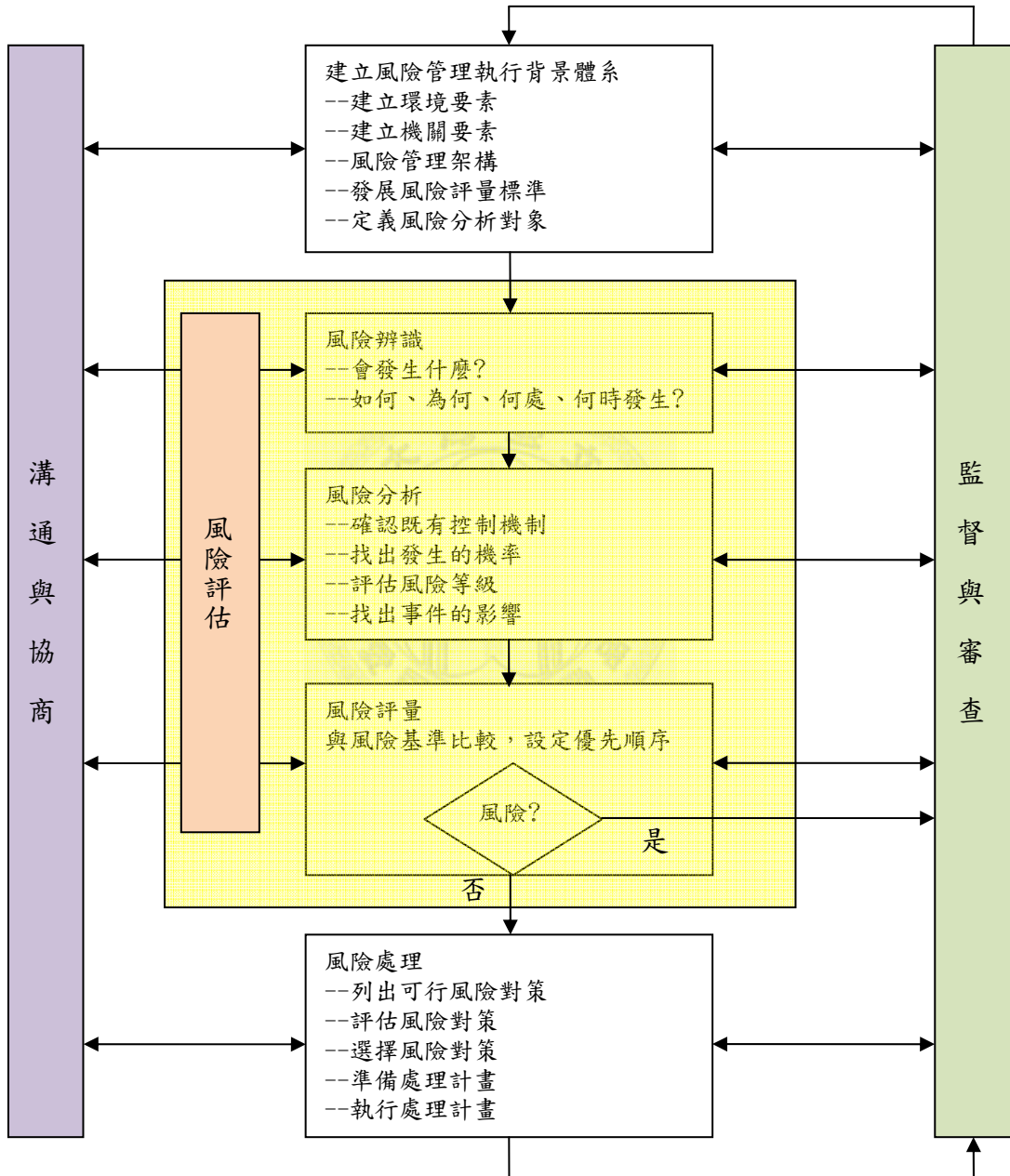


圖 2.1 典型的風險管理架構

(資料來源：風險管理及危機處理作業手冊，行政院研究發展考核委員會，2009)

## 2.1.1 風險辨識

風險辨識的步驟是找出需要管理的風險。必須使用一個有系統的步驟來進行廣泛的搜尋，因為在這個階段沒有被發現的風險將被排除在分析的步驟之外。搜尋應包括所有的風險，不論該風險是否已在管理單位的控制之下。擬定風險情境時，應採用系統化程序，並由事件背景說明開始，以求其完整性，使用結構化的方式進行辨識程序，以確保風險辨識採用的方法有效、可行，且亦有助於完成辨識程序，避免遺漏任何重大問題。

本研究歸納辨識風險的方法包括【風險管理及危機處理作業手冊，2009】：

1. 核對風險清單：核對風險清單或使用查核表（Checklist）逐項討論，雖然議題容易距焦，分析過程簡單，勿需太多經驗，但分析品質完全取決於所使用的查核表，一般也僅作為參考工具。
2. SWOT 方法：SWOT（強項、弱項、機會、威脅）分析，風險來自於內在的弱項與外在的威脅，及新機會可能帶來的新風險。
3. 流程表、系統分析、順序分析：流程表、作業分析、系統分析係針對工作程序中的每一步驟或系統中的每一單元的所有可能錯誤、異常或故障進行分析，較適用於業務執行單位使用。
4. 腦力激盪：利用小組成員在一定時間內，根據每個人經驗，列舉或聯想出所有可能缺失或故障模式，來進行分析。
5. 系統工程技術：
  - A. 危害與可操作性分析（Hazard and Operability Study，HAZOP）：利用偏離引導字辨識系統中所有潛在危害的一種系統化方法。
  - B. 故障模式與影響分析（Failure Mode and Effect Analysis，FMEA）：定義系統中典型元件的故障模式，再針對各元件檢視各種故障模式發生時的可能後果及影響。
  - C. 失誤樹分析（Fault Tree Analysis，FTA）：1960 年代由貝爾實驗室

發展的可靠度分析方法，利用邏輯演繹法由事件的後果推論發生之所有可能的基本原因，並可藉由統計基本原因的失誤率資料推算事件發生的頻率。

- D. 事件樹分析 (Event Tree Analysis, ETA)：失誤樹分析的輔助工具，利用邏輯歸納法，事件樹分析法是一種時序邏輯的事故分析方法，它以一初始事件為起點，按照事故的發展順序，分成階段，一步一步地進行分析，每一事件可能的後續事件只能取完全對立的兩種狀態（成功或失敗，正常或故障，安全或危險等）之一的原則，逐步向結果方面發展，直到達到系統故障或事故為止。
- E. 決策樹 (Decision Tree)：決策樹是一項建立分類模式(classification models)的方式之一，針對給定的資料利用歸納的方式產生樹狀結構的模式。為了要將輸入的資料分類，決策樹的每一個節點即為一個判斷式，針對一個變數去判斷輸入的資料大於或等於或小於某個數值，每一個節點因而可以將輸入的資料分成若干類。
- F. 統計推論：決策時常會面臨不確定性的狀況，機率便是對不確定性提供量測的指標，而表達機率的方法則以隨機變數最佳，由抽出的少數樣本的資訊對整個母體(或參數)做決策，這種方式在統計學領域上稱之為統計推論。
- G. 蒙地卡羅(Monte Carol)分析：蒙地卡羅分析一般泛指利用隨機變數來模擬隨機過程之方法，在複雜的數學計算、醫療統計、工程上的分析及可靠度的計算都可以用蒙地卡羅來模擬分析。在分析過程中，利用隨機變數來模擬系統元件的特性或行為，包含在某特定時間故障的次數、故障的持續時間，修復回覆時間等，模擬的目的在於估計期望或平均的系統效能。

## 2.1.2 風險分析

目的是將可接受風險與主要風險分開，並提供風險評量及風險對策所需的資料。風險分析包括風險的結果，以及這些結果發生的機率為何。因此，必須找出會影響這些結果及機率的事件。風險分析是在現有的控制方法下，估計風險的結果及其發生的機率。

列出現有控制風險的管理方法、技術系統和步驟，並了解這些方法的長處及短處。必須在現有的控制方法下，評估事件的影響程度，以及事件發生的機率。事件的影響及其發生的機率結合起來便是風險的等級。可以使用數據的分析及計算來決定事件的影響及機率。若沒有過去的資料可當參考時，則必須根據小組所認定一個事件或結果發生的可能性，來進行主觀的估計。

為了避免主觀上的偏見，必須使用最有效的資訊及技術來分析風險的影響及機率。資訊的來源包括過去的紀錄、相關的經驗、國外的應用及經驗、相關的出版文獻、具公信力之調查與研究、實驗及原型、經濟上/工程上及其他的模型與專家的判斷等。

技術上則包括有系統地訪問相關領域的專家、雇用不同學術領域的專家、使用問卷來了解個人的認知、使用電腦或其他模型協助分析等。在可能的情況下，必須說明風險等級分析的可信度。可以使用數據的分析及計算來決定事件的影響及機率。風險分析的種類 可分為下列幾種：

1. 定性分析：定性分析是使用文字的形式或是敘述性的分類等級來描述可能影響的程度以及影響發生的機率。
2. 半定量分析：在半定量分析中，會以實際數值表示上述的定性分析等級。半定量分析的目的是決定一個比定性分析更精確的優先順序。
3. 定量分析： 定量分析使用實際的數據來描述影響及機率，所使用的數據來自不同的來源，分析的品質有賴所使用的數據的精確度。

### 2.1.3 風險評量

風險評量是將風險分析中所決定的風險等級與先前訂定的風險標準相比較。風險評量中所使用的比較標準應該與風險分析具有相同的基礎。因此，定性評量指的是比較風險的定性等級與定性標準，而定量評量指的是比較風險的實際數據等級與以特定數據所表示的標準，如死亡人數、頻率或貨幣價值。

風險評量的結果是挑出一些需要進一步優先處理的風險。組織應該考慮目標以及冒險可能會帶來的機會。決策時應該考慮較大範圍的風險，並將組織以外的團體所造成的風險容忍度列入考量，因為有時組織會從其他團體的風險中獲得好處。如果評量的結果顯示風險的危險性低或為可接受的程度，則這些風險將接受程度最小的風險處理。應監督並定期檢討這些低危險或可接受的風險，以確定這些風險仍維持可接受的程度。如果風險沒有被列為低危險或可接受的風險，則應使用風險對策來處理。

## 2.2 帷幕牆工程與施工風險

### 2.2.1 帷幕牆的定義

依據建築技術規則建築設計施工編，第一章用語定義第一條二十六款即對帷幕牆有明確定義：『構架構造建築物的外牆，除承載本身重量及其所受的地震、風力外，不再承載或傳導其它載重之牆壁。』

### 2.2.2 帷幕牆的起源與發展

帷幕牆之發展可以追溯到 1830 年【邱宏達，1996、林仁德，1999】，在賓州 Pottsville 城由一個叫 John Haviland 木匠，首先使用鑄鐵鑲板在一棟兩層建築物上，他把鑲板漆成石頭的顏色，在外型上幾乎可以亂真，可視為帷幕牆發展之鼻祖。而大約在同一時期，以預鑄鐵作為建築物外表裝飾物，也陸續出現在聖路易斯及紐奧良等地，這些建築象徵開始使用鑄鐵為外觀的新紀元，並大大的影響了美國建築界達 50 年之久。在 1911 年建築師葛羅培斯設計了著名的 Fagus Factory，採用鋼筋混凝土框

架，柱子之間開著大面玻璃已成為建築外牆面，窗下方牆部分表面以黑色鐵板施作，形成玻璃與鐵板組成的帷幕外牆，將外牆為非承重牆之觀念顯露無遺，直到 1917 年，由 Willis Jefferson Polk 設計之 Hallidie 6 層建築物，坐落於舊金山，把外牆當作外皮的技術觀念使外牆系統正式與結構體分離，為美國近代帷幕牆第一棟建築，迄今仍在使用，成為該市具有歷史價值之建築物地標，也由於此一案例使美國開始接納和發展這項特性為帷幕牆。1929 年紐約知名建築師 Shreve, Lamb, and Harmon 率先使用 6000 片鋁板用於帝國大廈，從此用鋁材料做帷幕牆之結構設計逐漸風行，經幾十年之發展並混合各種不同建築材料成為現代帷幕牆之規模。而 2010 年完工啟用的杜拜塔(哈里發塔)樓高 808 公尺由芝加哥知名建築師事務所 SOM 所設計外牆則採用玻璃及金屬帷幕所構成，成為當今最高之帷幕牆建築。

而台灣帷幕牆之發展，可追溯至 1973 年國內田興金屬公司與日本島田順三合作，首度引進金屬玻璃帷幕牆技術，並於本地設廠製造材料，第一棟建築物為忠孝東路與新生南路口的世界貿易大樓，之後許多辦公大樓相繼採用金屬玻璃圍幕為其外牆，1977 年位於重慶南路一段之中國信託重慶大樓，及採用金屬鋁擠型玻璃帷幕牆，同年北市公園路(現為襄陽路)的國泰人壽大樓，首先使用不銹鋼帷幕牆，很快的金屬玻璃帷幕成為當時辦公大樓外牆的一股風潮，此外，從日本引進的預鑄混凝土帷幕牆也在這時期於國內發展，而與金屬玻璃帷幕牆同時成為往後國內帷幕牆技術發展的二大支柱。【邱宏達，1996、林仁德，1999、葉文凱，1998】

到了 21 世紀初，各項建築技術的進步已非同日而語，單就帷幕牆發展來看大致有三個方向，其一帷幕牆材質的多樣化搭配應用，其二為單元式構法的推展應用，其三為環境能源的考量及綠建築推展。在國內單一建材的建築設計已不敷其挑戰性，在加上高層建築高度日益增加，及施工技術日益困難，單元式工法的應用有其必要，於建物高度不斷增加及新建材大量使用下，對都市環境能源的影響衝擊大，相對在節能技術及環保議題上，國內帷幕牆技術發展需有更多的提升與發展。



### 2.2.3 帷幕牆的構成與形式

帷幕牆從早期將技術引進本土後，發展已幾十年之久，帷幕牆材質也呈現多元化的趨勢，以材質屬性方面大致可分為二大類：【江英二，1991、林仁德，1999、紀志旻，2003、Nashed，1995】

1、金屬類：鋁帷幕牆、不銹鋼帷幕牆、琺瑯板帷幕牆

2、非金屬類：預鑄混凝土帷幕牆、石材帷幕牆、玻璃帷幕牆(無框式)

帷幕牆依其構法與組立的型式，大致可分下述五大系統：【江英二，1991、林仁德，1999、紀志旻，2003、Nashed，1995】

1·直橫料系統 (Stick System)(圖 2.2)

此系統特點在於線條明快突出，且可搭配牆版變化造型：組合上牆帷幕牆元件在工地上一件件組合。首先裝上固定系統(Anchor)·其次是直料(Mullion)、橫料(Horizontal)、窗間板(Spandrel Panel)，最後加上玻璃及內部裝飾(Interior Trim)。此種工法由於在工地上切成實際尺寸，所以材料節省、搬運費用低廉·材料之尺寸較具彈性:缺點是工地施工時間長、費用高且品質也較難控制:但總成本比較便宜，因此仍被廣泛採用。這種系統材料之尺寸較具彈性：缺點是工地施工時間長、費用高且品質也較難控制:但總成本比較便宜，因此仍被廣泛採用。這種系統在設計上最重要的是伸縮縫之位置和層間側向位移之考量。國內習慣上稱之為立柱式帷幕牆構法。

2·格版系統 (Panel System) (圖 2.3)

本系統提供了整個牆面的造型·格狀的樣式有強烈的垂直及水平韻律，每塊版在工廠整體鑄造，運至工地錨定組合而成帷幕牆。此系統類似單元化系統，所不同者是單元化系統是自許多小零件組合·而格版系統多指單片，版·如預鑄混凝土版(Precast Concrete)或金屬版沖壓而成之單片版。

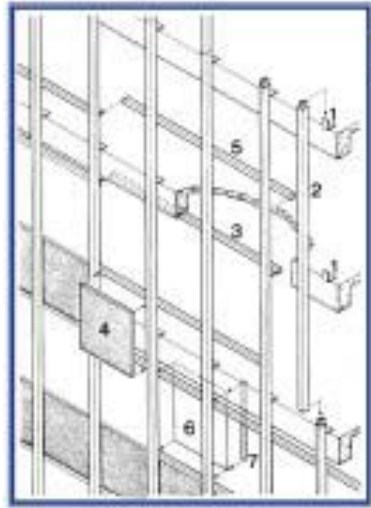


圖 2.2 直橫料系統【Nashed, 1995】

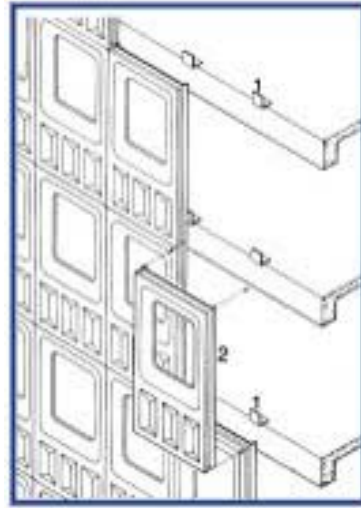


圖 2.3 格版系統【Nashed, 1995】

### 3. 窗間牆系統 (Column Cover And Spandrel System) (圖 2.4)

其施工步驟，首先是裝上固定系統(Anchoring System)，其次是窗間牆 (Spandrel Panel)、柱覆板(Column Cover Panel)，再安裝玻璃(Glazing-infill)：由於安裝之程序簡單，大部份之裝置都在工廠作業，因此品質得以控制。

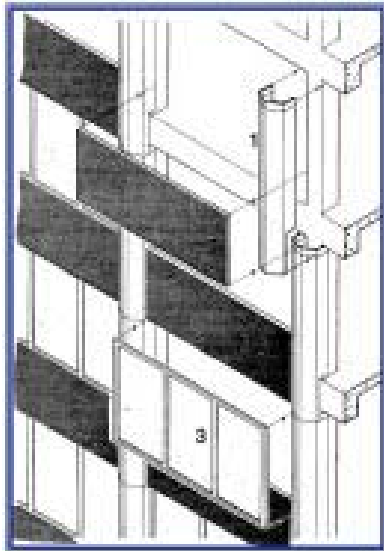


圖 2.4 窗間牆系統【Nashed, 1995】

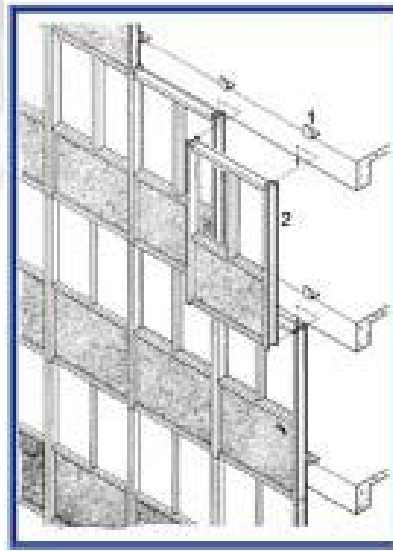


圖 2.5 單元化系統【Nashed, 1995】

### 4. 單元化系統 (Unitized System) (圖 2.5)

在美國 1970 年代以後，由於建築工人短缺，施工品質不易控制等因素，單元化系統逐漸流行，成為近年來超高層建築外牆工法之主流。其特點是把帷幕牆組合規格單元化，再依次固定於結構系統上。其尺寸大小約 1.5m 寬\*樓高長，相當於窗

格跨距\*樓高長。其缺點是：體積龐大，在運輸時表面受損情況較為嚴重，搬運上需要裝箱保護。材料使用除所需強度外，還要考慮排水系統及周邊的框架鋁料，因此用量大。設計上要力求精確、製造精度，因施工品質將影響到水密性。施工用的升降機拆除後才能進行安裝，因此有關工程配合問題，需先周密計畫。此系統設計與施工之成效如何，圖面上無法事前揣測，需依賴試驗(尤其是風雨試驗)，而試驗之結果也可以回饋於新系統之設計中。需減少工地電焊焊接之火花以及熱度，以避免損壞鋁擠型及玻璃之表面。

#### 5. 複合式系統 (Unit And Mullion System) (圖 2.6)

此系統介於直橫料系統和單元化系統間的一種構法，屬改良的直橫料系統。先錨定兩邊直框，在直框中再安裝預組單元；有時是一層樓高的版片，有時分為裙板和玻璃窗二單元。

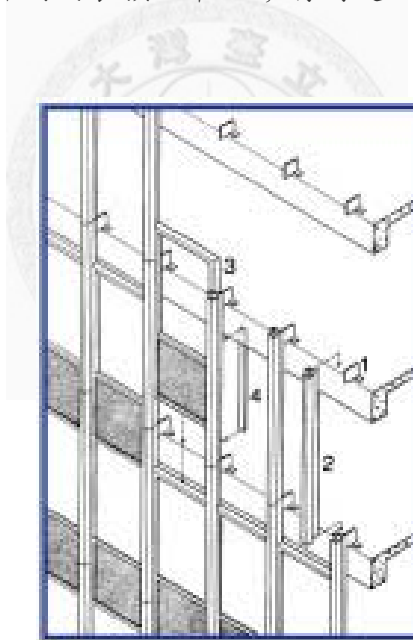


圖 2.6 複合式系統【Nashed, 1995】

### 2.2.4 帷幕牆之施工風險

由於高層建築已多採用帷幕牆做為包覆外牆之系統，為滿足耐震、防風、防水、隔熱之功能，在製作及安裝上均有其施工風險而導致系統上的缺失，建築帷幕牆工程為室外施工，施工過程中充滿許多變異性，品質管理不易掌控，容易造成品質參差不齊之現象；因此為使帷幕牆工程有良好施工品質，施工人

員除須具備應有的專業技能外，充分了解帷幕牆工程之特性，將有助於從事施工品質管理實對品質之掌控。帷幕牆工程具有下列特性：【劉來旺，1993、邱宏達，1996、陳志宏，2005】

1、戶外施工，品質易受環境與天候影響

帷幕牆工程之現場施工階段均為戶外施工，施工過程中受天候因素之影響，施工品質之變異較其他工程作業項目大，因此品質控制不易。

2、外部高空作業，危險性高，影響工程品質

帷幕牆工程作業，相關施工人員必須於高空環境下作業，如不注意安全衛生管理規定相對容易發生災害事件，且會影響施工品質。

3、施工品質不良，有公共危險之虞

建築帷幕牆工程若因品質管理不當或施工不良時，不僅影響建築物之使用，更可能對公共安全產生危害。

4、缺乏施工標準作業程序，品質管理不易

面對規模龐大且作業繁雜的建築帷幕牆工程而言，如缺乏相關書工作業之標準，相關品質管理不易掌控。

5、施工人員之專業技術能力參差不齊，對帷幕牆工程之施工品質管理不易。

## 2.3 失效模式與效應分析(FMEA)

所謂「失效模式與效應分析（Failure Model and Effects Analysis，FMEA）」是在新產品或工程設計過程中，於事前給予預防性的分析工作，利用一種結構化的方法，提供工程人員從概念開始就透過分析作業，列出可能失效之模式及可能造成之影響評估，並在過程中不斷地預估、設計、修正及改善，使得新產品或工程設計能達到最佳化【郭榮沛，1995】。FMEA的特點在建立產品每個零組件的所有失效模式，在此基礎上，再去分析上一層의各種失效模式，是一項定性的分析方法。【曹建齡、楊義明，1997】

表 2.1 失效模式與效應分析 (FMEA) 之發展歷程

年代	發展歷程
1950 年代	美國格魯曼 (Grumman) 飛機公司首先提出 FMEA 應用於飛機主控系統的失效分析。
1957 年	波音 (Boeing) 與馬丁 (Martin Marietta) 公司正式在期工程手冊中列出 FMEA 之程序。
1960 年代	美國航空太空總署 (NASA) 將 FMEA 成功的應用於太空計劃。
1974 年	美國軍方出版 MIL-STD-1629 軍用標準 FMEA 作業程序。
1977 年	美國福特汽車公司在其教育手冊中公佈 FMEA 的作業標準，此後美國各汽車廠相繼引用 FMEA 技術，並依應用對象建立設計 FMEA 及製程 FMEA 二套程序。
1980 年	美國軍規 MIL-STD-1629 改版為 MIL-STD-1629A 並沿用至今。
1985 年	國際電工技術委員會 IEC 修改 MIL-STD-1629A，出版國際標準 IEC-812。
1993 年	北美三大汽車公司「福特 (Ford)」、「克萊斯勒 (Chrysler)」與「通用 (General Motor)」在美國品管學會 (ASQC) 與汽車業互助團 (Automotive Industry Action Group, AIAG) 的贊助下整合各汽車公司之規定與表格，完成「潛在失效模式與效應分析參考手冊」，統一了汽車工業失效分析的程序與表格。
1995 年	「潛在失效模式與效應分析參考手冊」完成修訂二板，並成為自動機工程學會 SAE 的正式文件 SAE J-1739。
2000 年	國際品質保證系統 ISO-9000 系列，強調產品的品質管制、矯正與預防措施，將 FMEA 列為評鑑的必備要項

美國自 1970 年代起努力將 FMEA 作業規範化，隨後日本各工業公司也大量運用。在我國隨著品質學會對可靠度工作的積極推展，以及可靠性技術的深入和運

用，企業界對產品 FMEA 的分析也就逐漸受到重視，加以目前 ISO9000 及 QS9000 的導入，各公司對其供應商應執行 FMEA 制度的要求更有所規範與依據。【曹建齡、楊義明，1997】

### 2.3.1 FMEA 的起源與發展

失效模式與效應分析 (FMEA) 技術的起源【何錦忠，2004、李浩丞，2004、李政儒，2006、羅瑞雪，2007、黃利民，2009】，首先是由美國格魯曼 (Grumman) 飛機公司，應用於飛機操縱系統的失效分析。由於其有效性獲得肯定，此項分析技術逐漸由軍用航空工業發展到所有軍用品。其強調事先的預防、降低品質差異與保有產品的再現性及穩定性、同時減少過程中所造成的浪費、不良品及廢棄物。FMEA 的實施已成為此三大汽車廠要求為合格供應商的一項能力與資格憑證的基準，在 QS 9000 系列中列為一項標準及必備核心分析工具，使 FMEA 廣泛地在不同的企業中被應用。近年進一步發展到工業應用，並被納入許多國際標準中，成為發展各種工業產品必需之分析方法，發展歷程詳表 2.1。

### 2.3.2 FMEA 相關名詞與定義

實施 FMEA 有關的名詞定義如下：

- 1、可靠度 (Reliability)：一個系統或組件在規定 (需要) 的特定環境條件下，與特定的時間下，完成其預定機能的機率。
- 2、失效 (Failure)：或譯為「故障」，為系統元件本身或產品，未能發揮預定的狀態。(例如：在規定條件下 (環境、作業、時間) 不能完成既定功能；或在規定條件下 (環境、作業、時間)，產品或元件參數值不能維持在規定的上下限之間；以及產品在工作範圍內，導致零組件的損壞現象等)。
- 3、失效模式 (Failure Mode)：失效模式是指在系統構件中所發現的失效狀況所造成的效應，具體地描述失效發生的方式。

- 4、嚴重度 (Severity)：失效對於達成系統任務所造成之影響，亦即某失誤發生後，對客戶、使用者、下一製程或對系統產生影響之程度。
- 5、發生度 (Occurrence)：某失效模式會發生機會大小程度，通常以每年會發生的次數來決定其等級程度，可依產業或個案需求訂定。
- 6、難檢度 (Detection)：指某種失效模式或是效應在其發生前被檢測出來的機率，或是失效模式能被客戶察覺出來的機會或難易度。
- 7、風險優先數(Risk Priority Number, RPN)：FMEA 風險評估方法之一，是以嚴重度(S)、發生度(O)、和難檢度(D)三者的乘積，用以評估風險的高低計算公式如下：  
$$RPN = S * O * D \dots\dots\dots(1)$$
- 8、建議措施：失效模式依 RPN 數列排序其風險順序時，針對最高等級的影響提出矯正措施，任何建施措施的目的在於減少嚴重度、發生度、難檢度的等級。一般考慮的錯施維修改設計、測試設計、修改原物料規格、修改測試計畫、加強品管檢驗等。

### 2.3.3 FMEA 的實施對象與應用時機

由文獻得知 FMEA 廣泛地被應用於各行各業，諸如國防、航空、工業製品及民生用品等有形產品之設計，其中以汽車及一般產業使用的比例較高，而其使用的時機則已遍及產品生命週期的每一階段，目前的使用仍較偏重於產品的設計及製造階段【許盛堡，2002】。失效模式與效應分析依實施對象的不同，大致可分為設計 FMEA 與製程 FMEA【郭榮沛，1995、許盛堡，2002】，設計 FMEA 主要應用於產品的設計階段，目的在於找出初期設計的失效模式的可能來源，並給予必要的對策，以減少投入生產時大量設計變更的發生。製程 FMEA 的實施對象主要是應用於製造工程的規劃上，著重在生產或施工機器、設備、工具、工作站、生產線、量具等，而以各種工程之製程為重點實施對象，其目的在於分析可能之失效模式，及早給予對策，並降低正式生產後對於生產線的影響程度。FMEA 隨著

產品在系統開發階段、產品設計階段、生產製程階段及上市後的售後服務階段的不同，分為系統 FMEA、設計 FMEA、製程 FMEA 及服務 FMEA 等四個類型

【Stamatics, 2003】。因此基本上 FMEA 可以應用於任何產品或工程的開發設計，從產品設計、試驗、到首次樣品的發展而後生產製造，品管驗收到產品上市後的顧客使用等階段皆可適用這種工程手法。在國際上許多知名企業對失效分析都作了如下的類似規定：「在產品研究各階段中，例如在完成概念與初步設計之後，應進行設計結構失效模式的分析，在生產設計之後，要進行製程加工失效模式的分析」【曹建齡、楊義明，1997】。設計 FMEA 與製程 FMEA 的比較如表 2.2

表 2.2 設計 FMEA 與製程 FMEA 的比較

名稱	設計 FMEA	製造 FMEA
目的	評價系統或機器的故障模式，對其系統或機器會有如何影響。	評價製造工程中發生不適合對機器或系統會有如何影響。
體制	以設計為中心	以生產管理為中心
解析方法	對系統或機器之故障模式作檢討，在發生故障時，對機器或系統之任務的影響，以及對人類之影響作調查。	在製造工程中發生不適合影響其製造工程或可能製造出多數的不良品作一檢討。
輸入資料	有關係統或機器之構成動作、操作等資料。 可靠度方塊圖。 故障模式。	輸入於工程之材料或零件。 工程流程圖。 具製造工程之輸出。 推測的不適合之事項
輸出資料	設計 FMEA 圖。	工程 FMEA 圖
特點	對硬體單一故障隻解析最適合。 對構成器之所有的故障可做檢討。 勿須對機器之故障率等作事前調查。 可以變更為有效果之設計。	可掌握製造工程之流程，知道工程的缺點。 可找出常發生不良品的故障及裝配後對系統或機器有重大影響的故障,而作有效的對策。

資料來源：謝財源 等，1990



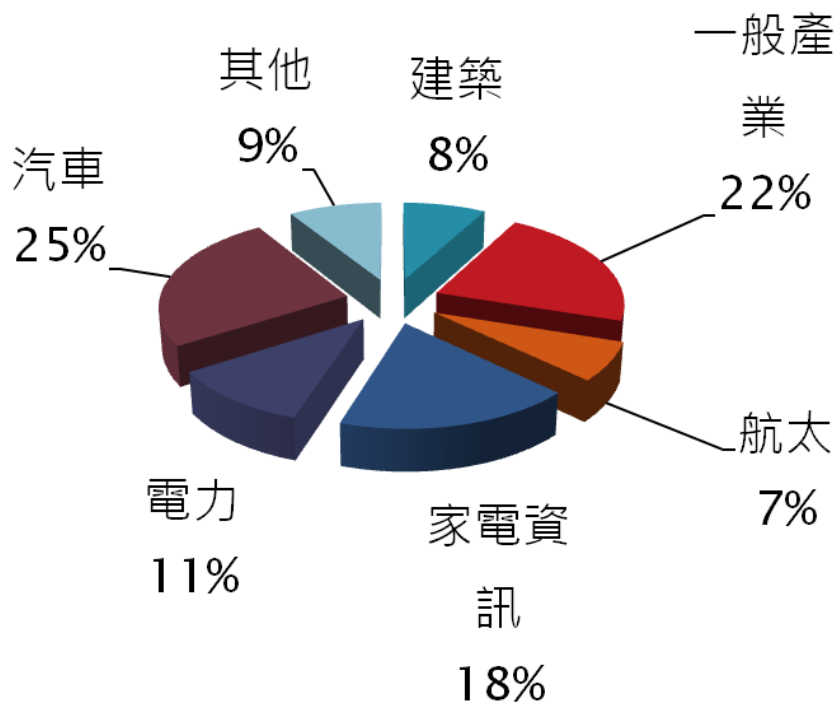
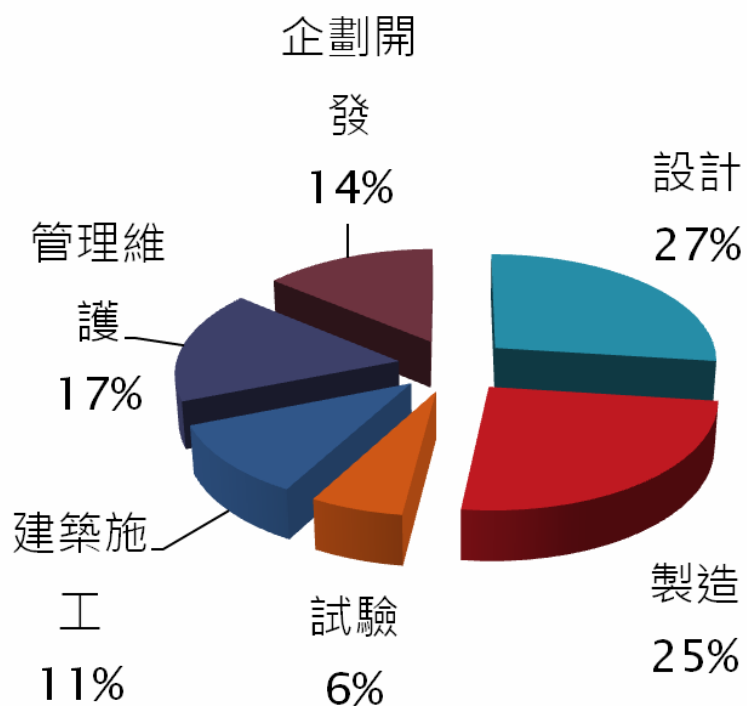


圖 2.7 應用 FMEA 手法之產業(資料來源：小野寺勝重，2001)



### 生命週期個階段FMEA應用情形

圖 2.8 生命週期各階段 FMEA 應用情形(資料來源：小野寺勝重，2001)

### 2.3.4 FMEA 的實施步驟

FMEA 的實施一般系由零件層次往系統層次分析，即由下而上的程序。然而，當系統軟體功能、硬體項目尚無法確認，或系統相當複雜時，則可從啟始層次往較低層次向下分析，即由上而下自系統層次往零件層次進行。對於較複雜的系統則應考慮兩種方法結合應用【小野寺勝重，2001、陳相如、吳貴彬，2002】。

FMEA 的實施由失效模式分析作起，必須仔細檢查每一項目的因果關係，始可瞭解全盤狀況。對於複雜的產品，必須把產品功能劃分成好幾個分系統，每個分系統再劃分成更細的單元，由每個單元可能造成的失效模式及效應分析，研究採取有效的預防及矯正措施。在實施的過程中除了組織相關人員共同運作外，如何選擇失效模式並分析其所產生的影響，從而找出影響最嚴重的失效模式更是一項重要的技巧。設計 FMEA 與製程 FMEA 的實施程序大致相同，FMEA 的作業程序大致分為已下八個主要步驟：【陳紹興，1988、謝財源等，1990、曹建齡、楊義明，1997、關季明，1999、小野寺勝重，2001】

- 1、 定義系統功能
- 2、 決定分析層次
- 3、 繪製功能方塊圖及可靠度方塊圖
- 4、 列舉潛在失效模式（FMEA 製表）
- 5、 研判失效原因與失效影響（FMEA 製表）
- 6、 評估失效風險值
- 7、 研擬預防與改善措施
- 8、 評估改善結果

茲將上列八個作業步驟簡要說明如下：

#### 1、定義系統功能

FMEA 作業的第一步就是對分析的對象加以定義，此即所謂的系統定

義，包括系統功能與規格、系統的整體任務輪廓，系統未來使用的預定環境輪廓，以及其真正使用時操作環境。完整的訂定每一產品之功能與規格，清楚的說明待分析產品的內容。

## 2、決定分析層次

決定分析層次是指 FMEA 分析應分析到哪一層次，一般分析層次區分為系統、分系統、模組、組件及零件五個層次，實際分析作業進行可依產品系統的大小或複雜性的予擴大或縮減其層次。有關分析層級的選擇有下列幾項原則：

- i. 能對其功能做完整描述的層次。
- ii. 本層次發生嚴重性不高時即停止在往下層次分析。
- iii. 以維修保養的層級為主。

## 3、繪製功能方塊圖與可靠度方塊圖

功能方塊圖系描述產品系統各功能間相互之關係，其作用在使分析者瞭解各組件功能信號再傳遞時，其輸出與輸入的邏輯關係。可靠度方塊圖系說明產品系統各單元間在可靠度計算上之串、並聯關係，用以定義在每一壽命週期內系統各相串聯之獨立及非獨立功能方塊，為計算可靠度值之基礎依據。功能方塊圖繪製時以系統之主功能為考量重心，依次繪出其他功能與主功能之關係。依據功能方塊圖，利用可靠度模式的原理及零組件的失效定義，則可繪製成串聯、並聯或兩者組合而成的可靠度方塊圖，以利後續效應分析的探討。

## 4、列舉潛在失效模式（FMEA 製表）

依據前三項的資料和先期規劃的準備，利用失效模式與效應分析表或關鍵性分析表的格式，可以列出產品或製程的潛在失效模式。由於 FMEA 乃是愈想性的失效預防分析工作，因而潛在中的失效可從下述各方面來預想：

- i. 從相同或類似之元件曾在其他系統中使用時所發生過之失效現象來推斷，

此種方式簡稱經驗法，資訊來源包括各種文獻報告、設計、手冊、品質報告等。

ii. 從操作使用之環境對於元件造成之影響來分析。

iii. 運用腦力激盪（Brain Storming）方式，列出所有可能之失效現象。

#### 5、研判失效原因與失效影響

將所有各種可能潛在失效現象均一一列舉出來後，即可進行失效模式之整理，分析歸納其失效原因，進而評估失效所產生的影響。一個失效模式的原因也許不只一種，須把相關的原因一一列出。某一個部位產生失效，也可能會連鎖地造成其他部位的影響。因此對於在構造、機能上相鄰接之系統的影響要能清晰的紀錄，才能在作失效模式與效應分析時不致有所致偏差。

#### 6、評估失效風險值

本步驟乃是衡量失效項目對系統的影響程度，給予權數評分。評估的方法有許多種，最常採用的風險優先數法（RPN），對失效模式的發生頻率、影響程度以及檢查的難易程度給予權數評分。

#### 7、評估失效風險值

找出失效模式風險之優先次序後，即可根據現行管制方式，研擬失效之偵測方法及補救措施，以作為預防失效或改進設計與工程弱點之行動參考。

#### 8、評估改善結果

經評估風險指數大者，其對應之失效模式，應在 FMEA 表中填寫防止失效的措施，再下一次的設計驗證或生產測試中加以鑑定，以重新評估風險指數是否降低。

### 2.3.5 FMEA 評價方法

失效模式與效應分析主要目的係在指出於設計時可能發生的潛在失效模式，依序探討其失效對於系統的影響，並給予定性之評價，然後再針對系統中可靠度之各問題點，採取因應對策。因此，除了表單的建立外，另一項重要的工作就是

如何評價各因子的影響程度，使高風險度的影響因子，能正確的反應產品本身的可能失效情況，以便讓工程人員快速的採取有效對策，降低產品風險，減少成本浪費與縮短開發時程。本研究選擇之評價方法為風險優先數法，是目前最為各行業所採取的方法，其風險優先數（RPN）是由發生度、難檢度極嚴重度三個因子相乘而得。

第 2.3.2 節中式(1)之 S 是失效發生後對產品影響嚴重程度之估計（稱為嚴重度），O 是失效原因發生頻率之估計（稱為發生度），D 是對現行管制方法檢測失效難易程度之估計（稱為難檢度）。QS9000 將 S、O、D 均分為 10 級，每級 1 分，及數越高，分數越大，對產品失效的影響也就越大。因此 RPN 的值將介於 0 至 1000 之間，根據 RPN 指數，選取越大的值，對其失效模式優先採取改進措施。發生度、難檢度及嚴重度三個因子的程度等級與分數對照表分別如表 2.3~2.5【謝財源等，1990、Chrysler, Ford, General, and Plexus QS-9000 Training System，2000】。

表 2.3 發生度評估標準表

失效機率	可能的失效率	等級
極高：失效幾乎不可避免	$\geq 1/2$	10
	$1/3$	9
高：一在重複失效	$1/8$	8
	$1/20$	7
中：偶爾發生失效	$1/80$	6
	$1/400$	5
	$1/2000$	4
低：較少失效	$1/15000$	3
	$1/150000$	2
極低：不太可能出現失效	$\leq 1/150000$	1

表 2.4 難檢度衡量標準表

難檢度	檢測的可能	等級
絕對不確定	設計管制無法檢測潛在原因即失效機制或根本無設計管制	10
極稀少	設計管制極少有機會檢測出潛在原因即失效機制	9
很少	設計管制很少有機會檢測出潛在原因即失效機制	8
非常低	設計管制只有非常低的機會檢測出潛在原因即失效機制	7
低	設計管制檢測出潛在原因即失效機制的機會低	6
中等	設計管制檢測出潛在原因即失效機制的機會中等	5
尚可	設計管制檢測出潛在原因即失效機制的機會尚可	4
高	設計管制檢測出潛在原因即失效機制的機會高	3
極高	設計管制檢測出潛在原因即失效機制的機會極高	2
幾乎肯定	設計管制一定可檢測出潛在原因即失效機制	1

表 2.5 嚴重度衡量標準表

效應	效應的嚴重度	等級
危險無警訊	失效模影響到安全操作或違反政府規定，且無警示	10
危險有警訊	失效模影響到安全操作或違反政府規定，但無警示	9
極高	零組件無法操作，影響主要功能	8
高	零組件還能運作，但表現降低，導致顧客不滿	7
中	零組件還運作，但舒適及便利項無法操作，導致不滿	6
低	零組件及舒適／便利項可操作，但表現較低	5
極低	大多數顧客會注意到的外觀段差獲異音等缺點	4
輕微	一般顧客會感到不滿意的外觀段差獲異音等缺點	3
極輕微	只有挑剔顧客才會感到不滿意的外觀段差獲異音等缺點	2
無	無影響	1

## 第三章 帷幕牆施工階段之管理

經文獻回顧可知單元式帷幕牆工法歷經不斷開發與改良，已然成為建築工程帷幕外牆施工工法之首選，除單元式帷幕工法大量生產施工迅速，精度與品質比較穩定優異外，同時具有與結構體重疊施工有效縮短施工總體工期等優點。

然而在帷幕牆各單元製造與施工階段之過程中，各階段從材料進場檢驗、加工組裝、儲存運輸，乃至於施工現場之測量、鐵件埋設、安裝吊放、防水處理...等，潛藏了許多不可知的風險因子與危害因素，這些風險因子若未能於各階段及早檢討與因應，將可能隨這工程進行而逐一浮現缺失，甚至造成整體帷幕牆系統上功能上缺失，進而有危及公共安全之疑慮。

帷幕牆承包商於承攬帷幕牆工程後，必須進行系統設計及繪製各型單元設計與施工圖說，與業主、建築師及相關配合單位協商與確認後，應製作足尺視覺模型，模型之尺寸、材質、顏色、進出面尺寸均與未來成品一致，經業主及建築師進行實地勘查確認外觀設計後，於各單元開始正式量產之前，必須先進行風雨試驗之系統驗證程序，以驗證該系統能合乎相關法規及設計規範之性能規定。

在完成風雨試驗之系統驗證後，帷幕牆承包商繪製各標準單元細部設計圖以及施工圖併同結構計算輸送相關單位審查，完成圖說審查後即進入施工階段，單元式帷幕牆施工階段可分為：工廠製造階段以及工地吊裝階段，以下將分別針對各階段產製以及施工之管理與查核詳加說明。

### 3.1 單元式帷幕牆工廠製造階段

單元式帷幕牆從單元版片生產到工地吊裝的整個過程中，施工細節繁複，亦須縝密的規劃，由於單元版片是在工廠預先組裝完成，再利用板車運至工地現場吊裝，所以在工廠加工組裝階段時單元版片的品質也決定了大半，相關安裝時及日後所產生的缺失狀況也與工廠加工組裝階段有極大的相關，參考中華帷幕牆發展協會會刊整理出單元式帷幕牆於工廠製造階段流程圖如圖 3.1，另本研究將其細分為 6 個施工項目如圖 3.2，以下並針對各項施工項目予以說明。

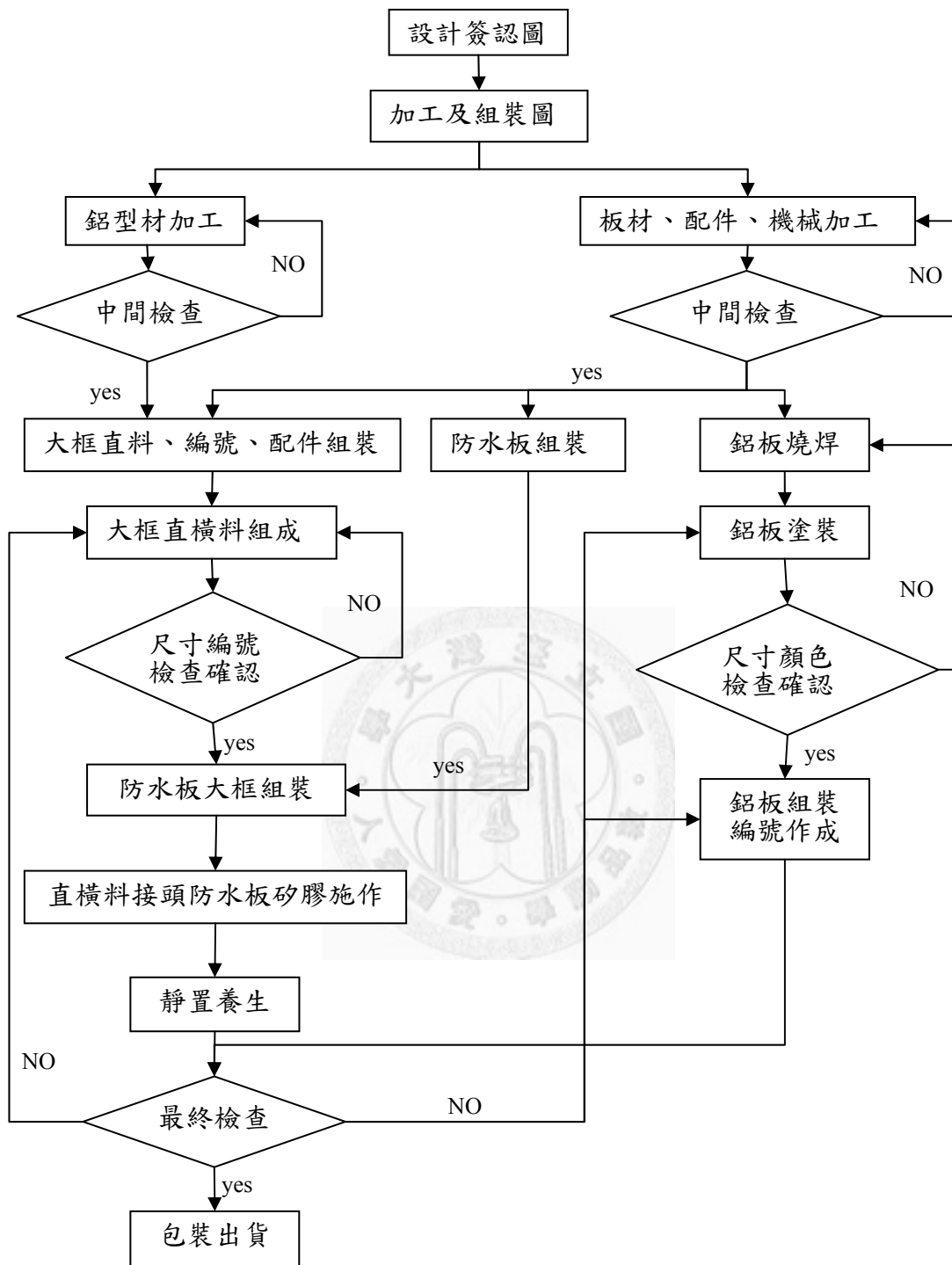


圖 3.1 單元式帷幕牆於工廠製造階段流程圖

單元式帷幕牆於工廠製造階段項目可細分為：

- 1、材料進場檢驗
- 2、加工裁切
- 3、框架組裝



4、背襯板安裝及防水施工

5、玻璃及石材安裝

6、包裝與運輸

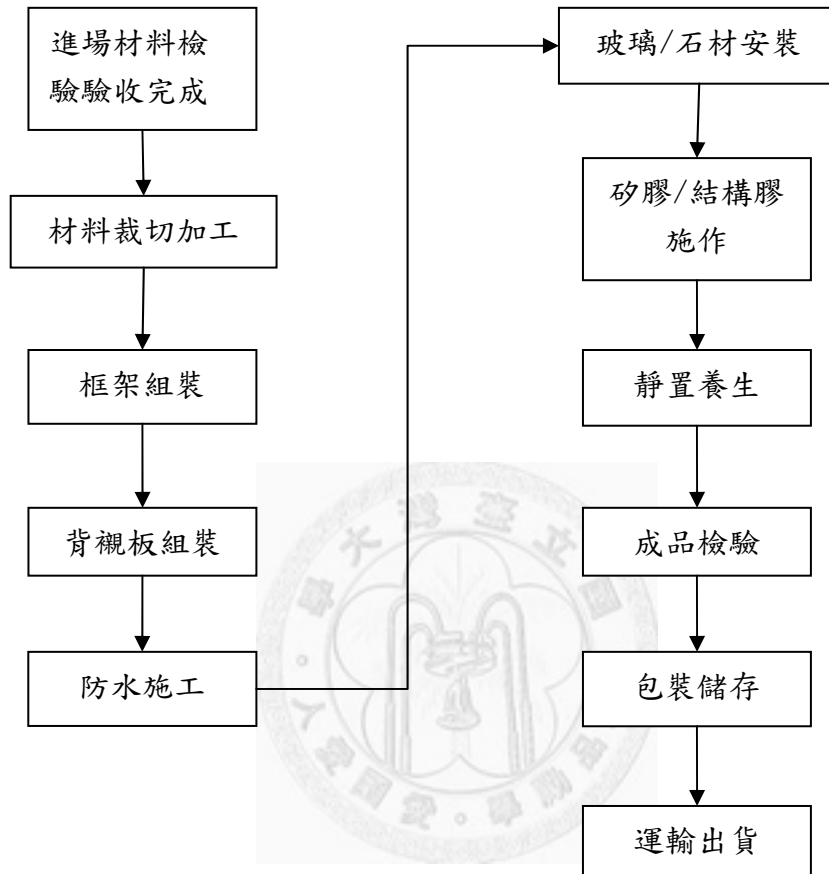


圖 3.2 加工組裝製作階段流程圖(本研究整理)

### 3.1.1 材料進場檢驗

單元式帷幕牆材料於材料工廠先行製造，加工並運至組裝加工廠組裝，然後方運至工地吊裝，所以帷幕牆單元運至工地吊裝前，必須先確保所有單元材料的品質合於合約標準及規範要求，固帷幕牆材料於工廠製造完成及加工廠處理完畢後均應通過檢驗程序，然後才可運至後段工廠組裝，以確保帷幕牆之品質。

帷幕牆後段組裝廠於材料進場後須進行檢驗工作，檢查項目及方法如表所示，檢驗流程如圖所示，其判定基準依合約書所要求之標準或規範而定。

其主要檢驗項目包括：

- 1、鋁擠型及鋁板(或鐵板)
- 2、矽膠(含結構膠)
- 3、玻璃
- 4、石材
- 5、墊塊及膠條
- 6、表面塗裝

表 3.1 用料檢驗項目及方法

材料名稱	檢驗項目	檢驗方法	判定基準	檢驗頻率
金屬材料(鋁擠型、鋁板、鋼板、型鋼、不銹鋼)	形狀、尺寸、外觀、厚度、平整度、機械性質、化學成分	儀器測量 目測 實驗室試驗	材料規範 合約標準 CNS 標準	抽驗 全檢
隔熱材料	性能、型狀、尺寸、外觀	儀器測量 目測	材料規範 合約標準	抽驗 全檢
玻璃	厚度、尺寸、外觀、性能、特別處理項目	儀器測量 目測 實驗室試驗	材料規範 合約標準	抽驗 全檢
石材	厚度、尺寸、外觀、性能、	儀器測量 目測 實驗室試驗	材料規範 合約標準	抽驗 全檢
墊塊及膠條	性能(有無老化)、尺寸、外觀、硬度	儀器測量 目測	材料規範 合約標準	抽驗 全檢
矽膠(含結構膠)	性能(附著相容性、老化)、有效期限、外觀	儀器測量 目測	材料規範 合約標準	抽驗 全檢
表面塗裝	膜厚、色澤	儀器測量 目測	材料規範 合約標準	抽驗 全檢

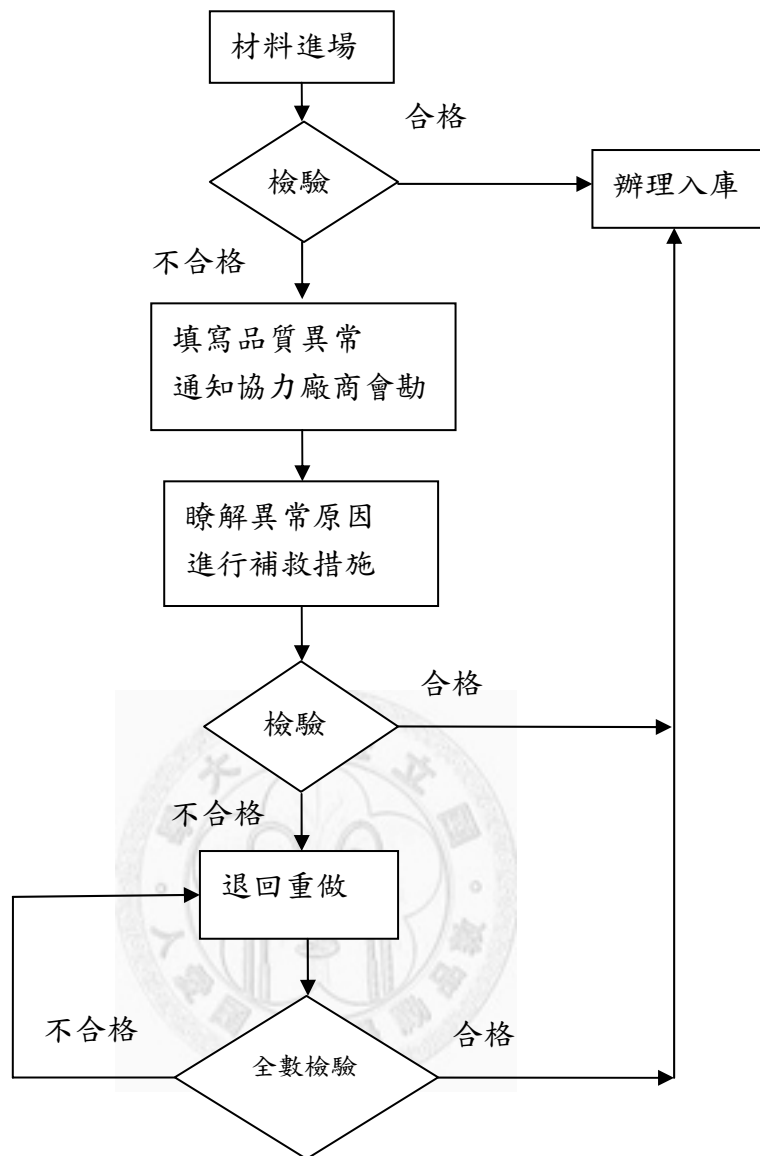


圖 3.3 工廠進料檢驗流程圖

### 3.1.2 加工裁切

帷幕牆單元完成各項材料檢驗後，及進行裁切加工作業，而在加工及裁切的過程中，構材加工及裁切的尺寸精度是否控制於規範標準以內，都會直接影響到日後組裝及安裝時的難易度及精度，因此對帷幕牆而言加工裁切是相當重要的一項製作階段，相關構材加工精度包括：長度尺寸、厚度尺寸、對角線尺寸、沖孔(鑽孔)加工精度、表面平整度。

依據簽認設計圖及製作要領書及施工規範，按製圖規定及製作基準，製作成

加工圖，指示材料之切斷尺寸，缺口尺寸，折彎尺寸等，充分使製作不產生錯誤。

機械加工（鋁擠型材、板材）：根據加工圖，使用專用機械及工具，確認相對位置進行加工。

### 1、切斷

根據加工圖正確切斷

表 3.2 材料切斷品質管理表

材料區分	使用機械	製作基準	檢查方式	不良處理
鋁擠型材	自動鋸床	切斷尺寸容許誤差 2m 未滿： $\pm 0.5\text{mm}$ 切斷角 度容許誤差 $\pm 1.5\text{mm}$	每批(每同一尺寸) 檢查最先製品 $N > 5, C = 0$	查明原因採取對策不合格品加以整修或以不良處理
鋁板、不銹鋼、鐵板	剪床	切斷尺寸容許誤差 1m 未滿： $\pm 0.5\text{mm}$ 1m 至 2m： $\pm 1.0\text{mm}$ 2m 以上： $\pm 1.5\text{mm}$		

檢查要領：用金屬定規 n：樣品數 c：不良品

### 2、機械加工

依據加工圖，使用游標尺，專用工具等，確認相對位置後再加工，加工中充分注意勿使鋁擠型表面產生傷害。

表 3.3 材料加工品質管理表

材料區分	使用機械	製作基準	檢查方式	不良處理
鋁擠型材	沖床 鑽床 銑床 旋臂鋁床	缺孔尺寸容許 差： $\pm 0.5\text{mm}$ 在缺孔部位之孔位 置： $\pm 1.0\text{mm}$	游標尺 鋼尺	檢查每一批之 最先及最後製 品 $N = 2$ $C = 0$
板材	沖床			

檢查要領：用游標尺測定

不良處理

- i. 查明原因採取對策，不合格品加以整修或以不良品處分。

ii. (如係最先製品) 對策後在確認檢查合格後, 進行作業。

iii. (如係最後製品) 全批全部檢查, 進行篩選。

### 3、彎曲加工

根據工作圖, 照指示尺寸形狀正確進行彎曲加工

表 3.4 材料彎曲品質管理表

材料區分	使用機械	製作基準	測定工具
板材	壓床	彎曲尺寸容許誤差 角度 1 m 未滿: $\pm 1.0\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 1m-2m: $\pm 1.5\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$	游標尺 鋼尺 角尺

檢查方式及不良處理與 (2) 機械加工同

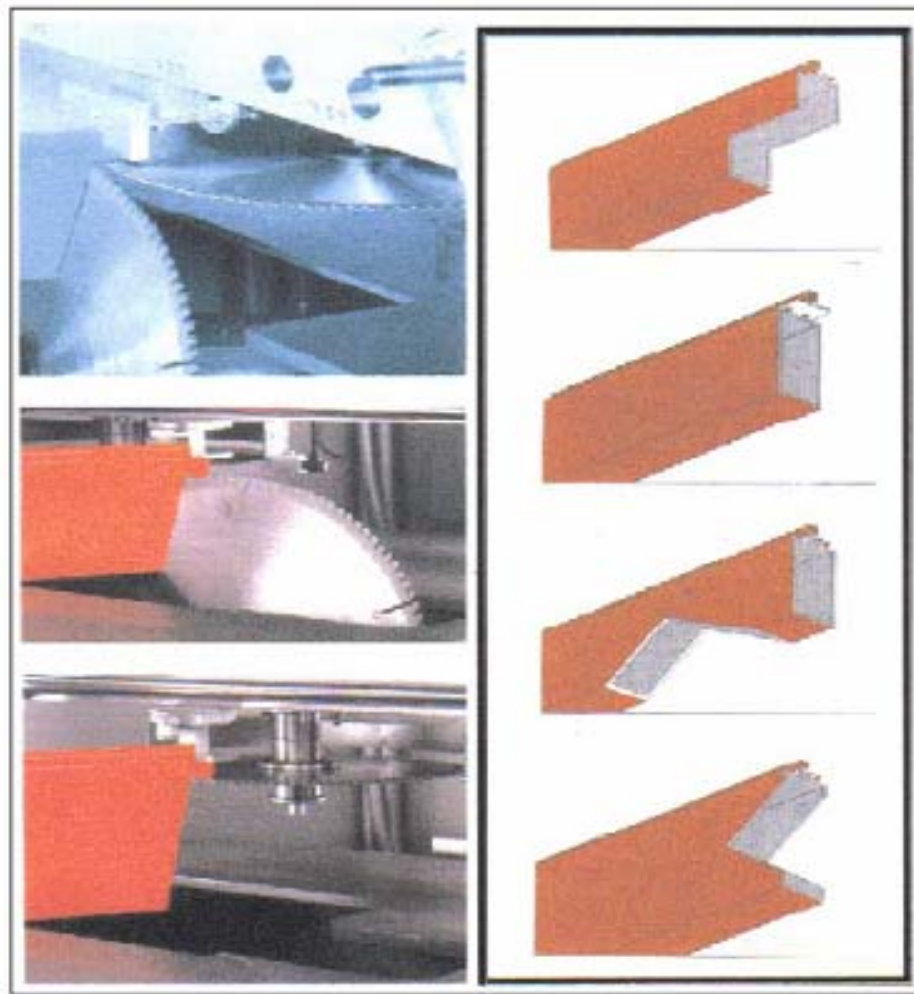
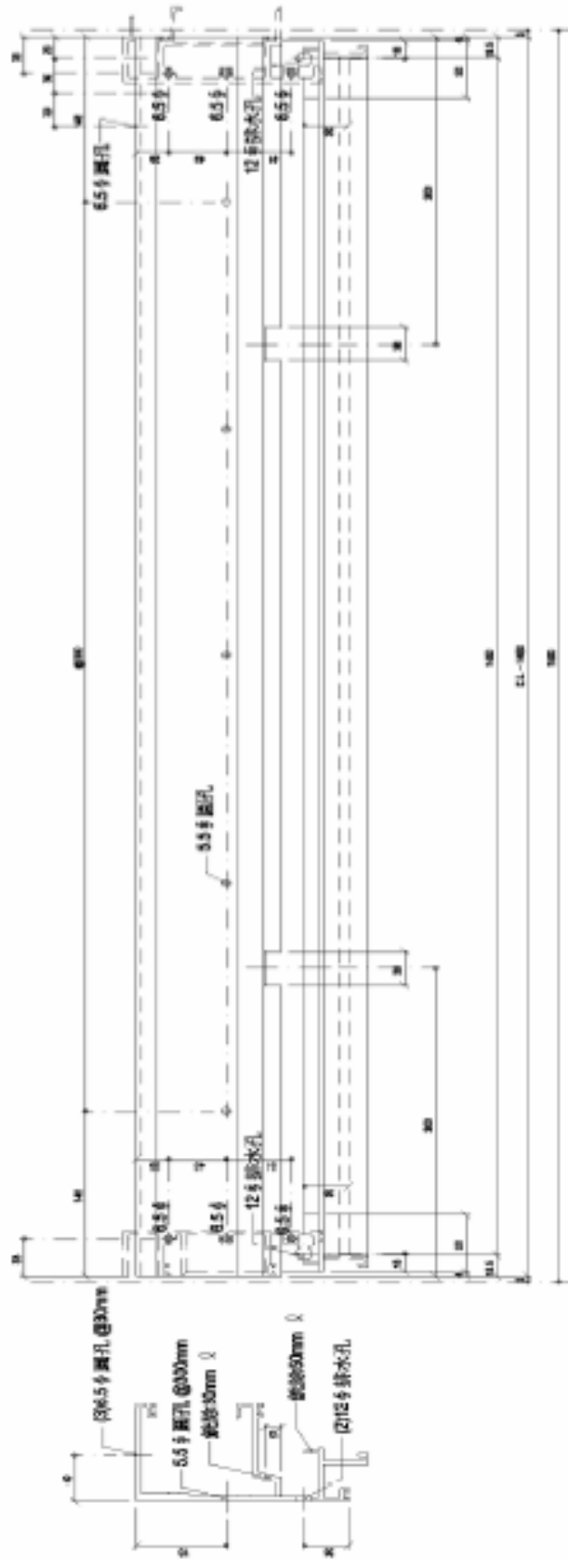


圖 3.4 鋁擠型雙頭鋸加工示意圖

(資料來源: 金屬帷幕牆製造技術手冊)



加工圖號	神亞編號	訂辦料號	裝切高度	裝切方式	數量	材質及表面處理
E11A1101	CN-9111A	4680	1490	1/3	3	6063-T5 藍灰, POLYESTER 噴漆 (油膜完)

圖 3.5 鋁擠型加工圖(範例)(資料來源：金屬帷幕牆製造技術手冊)

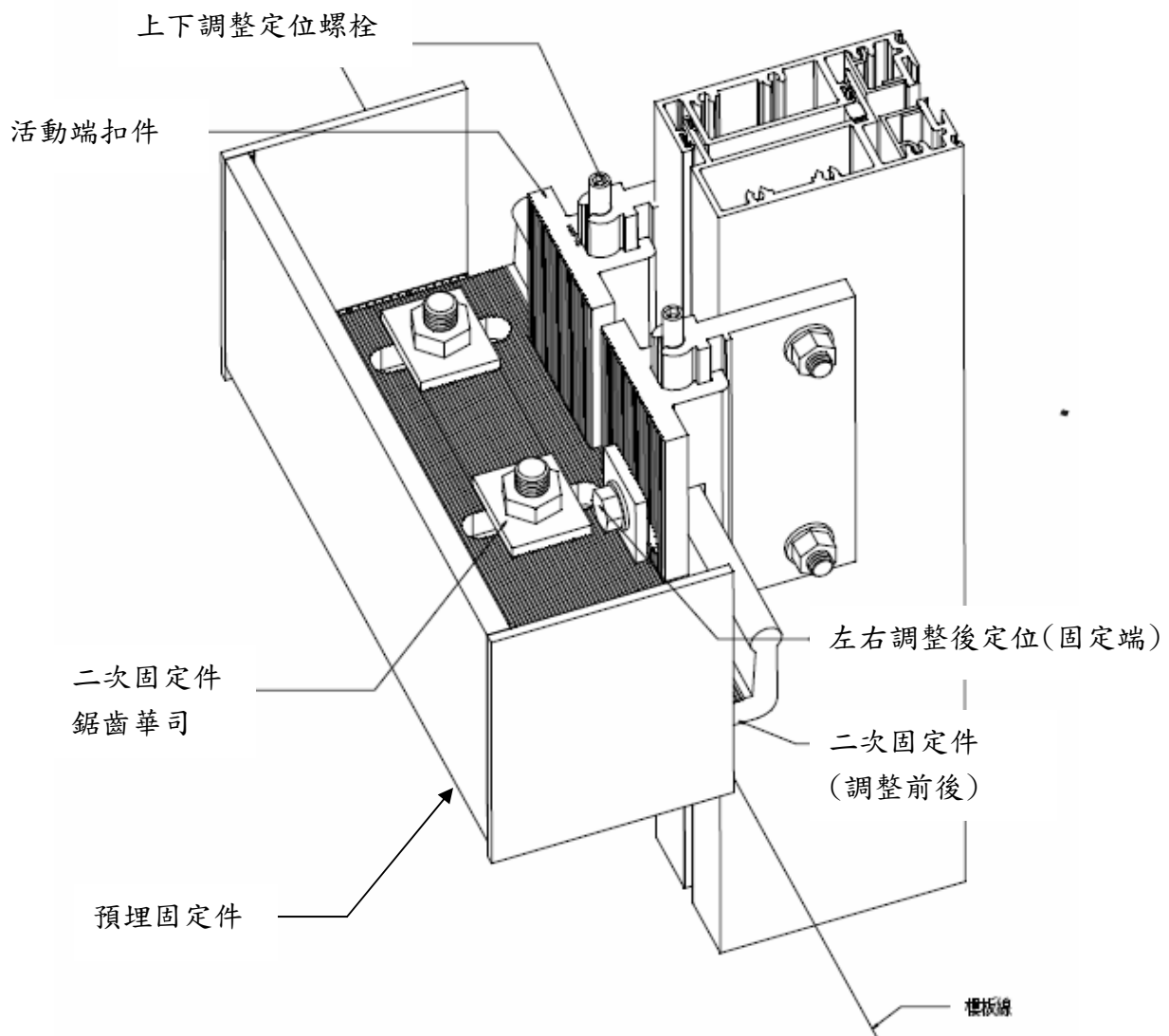


圖 3.6 帷幕牆單元固定繫件示意圖(資料來源：翔聯施工製造圖)

### 3.1.3 框架組裝

組裝人員依組裝加工圖從儲存區取得組裝所需的材料，先對照材料推車上的編號，之後依組裝圖確認推車內的組件齊全無誤，在確認之後，組裝員將會依組裝圖來決定最佳的組裝流程，並確定於正式組裝前進行並完成預組。組裝員會將主要的部份放置於組裝桌上並將直料、橫料、中橫料及下橫料進行組裝直料與橫料接面之保護膠紙先切除。

組裝人員使用抹布以有機溶劑清潔中橫料及下橫料兩端、直料頂端、直料與中橫料和下橫料交接處、以及直框料所連接的上橫料。使用浸溼的抹布擦拭擠型料表面要打膠的部位，並作第二次擦拭，擦拭完畢後，將直料的頂端、中橫料和

下橫料兩端打膠，務必注意螺絲部位和上橫料、下橫料的連接處是否施打足夠的填縫劑。

打膠完畢後，開始組裝框架，中橫料和下橫料必須與直框料垂直並且用螺絲固定，上橫料同樣用螺絲固定在直料上。於裝置螺栓前，將螺栓表面上之油漬擦拭乾淨，於施打填縫劑前劑亦須清潔螺絲。在固定過程中，組裝者務必確定填縫劑填滿接縫處。

螺絲固定後，組裝人員必須將框料可視部份之多餘填縫劑去除。不可視的部位，如上橫料到直料、下橫料到直料、以及中橫料到直料的接縫處，都必須打膠。打膠完成後，必須將填縫劑抹平，以確保矽膠的水密性。當分離式中橫料連接時，組裝者務必確定中橫料底部接點及連續的凹槽完全以填縫劑填滿並且抹平。螺絲釘頭必須打膠、抹平，組裝人員將檢查框架之節點以確認接合處已妥善地打上矽膠並且矽膠上沒有任何針孔或空隙。

在打膠及檢查完成後，將會安裝其他的配件到框架上，配件須先行清潔及依施工圖所示施作必要之矽膠。組裝人員將檢查框架並對照組裝圖以確認所須之配件已完成。矽膠之使用須依據施工圖並確認框架尺寸是否正確。檢查完成後，組裝人員將於帷幕牆組裝自主檢查表簽上姓名及日期，並填寫尺寸檢查表，以表示此框架將被運到下一站或置於等候區以待進一步的施作。單元組裝精度包括：垂直度、水平平整度、對角線長度、相關面材安裝進出高程尺寸。

帷幕牆框架於工廠製作及品管檢驗流程如圖 3.7 所示，其判定基準依合約書所要求之標準或規範而定，如表 3.5 所示。



表 3.5 單元式帷幕牆組裝管制表

檢驗項目	管理時機	頻率	檢驗方法	判定基準	依據標準
框架編號與單元組裝編號核對	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖	施工規範 廠內標準
單元長寬尺寸	裝配組立時(後)	全數	捲尺 游標尺	組立圖 許可差未滿 2000mm±1.5mm	施工規範 廠內標準
橫隔料位置尺寸	裝配組立時(後)	全數	捲尺	組立圖 許可差	施工規範 廠內標準
對角線尺寸差	裝配組立時(後)	全數	捲尺	許可差	施工規範 廠內標準
直橫料接頭填縫劑(矽膠)	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖 黏著覆蓋平整度	施工規範 廠內標準
框架平整度	裝配組立時(後)	全數	捲尺 目視	組立圖 許可差	施工規範 廠內標準
固定繫件及五金配件安裝	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖 確實裝配牢固	施工規範 廠內標準
單元連接片	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖 確實裝配牢固	施工規範 廠內標準
氣密膠條	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖 確實裝配牢固	施工規範 廠內標準
螺絲鎖固	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖 確實裝配牢固	施工規範 廠內標準
矽膠施工前使用 MEK 清潔	裝配組立時	全數	目視	施打矽膠處均需使用清潔溶劑(MEK)擦拭清潔	施工規範 廠內標準
焊接部位處理	裝配組立時(後)	全數	游標尺	組立圖 許可差 PT 檢測	施工規範 廠內標準
外觀修飾-色差、刮損	裝配組立時(後)	全數	目視	色板	施工規範 廠內標準

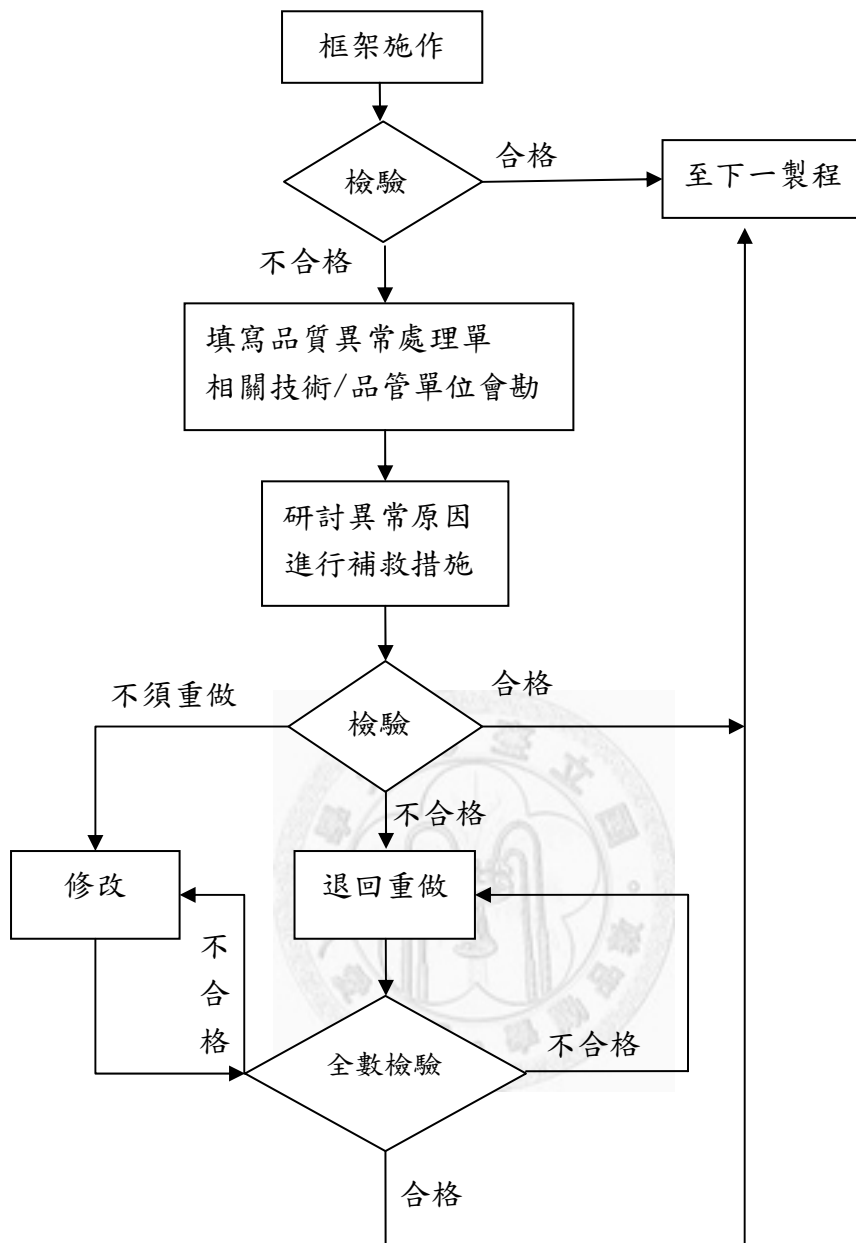


圖 3.7 工廠框架製作及品質檢驗流程圖

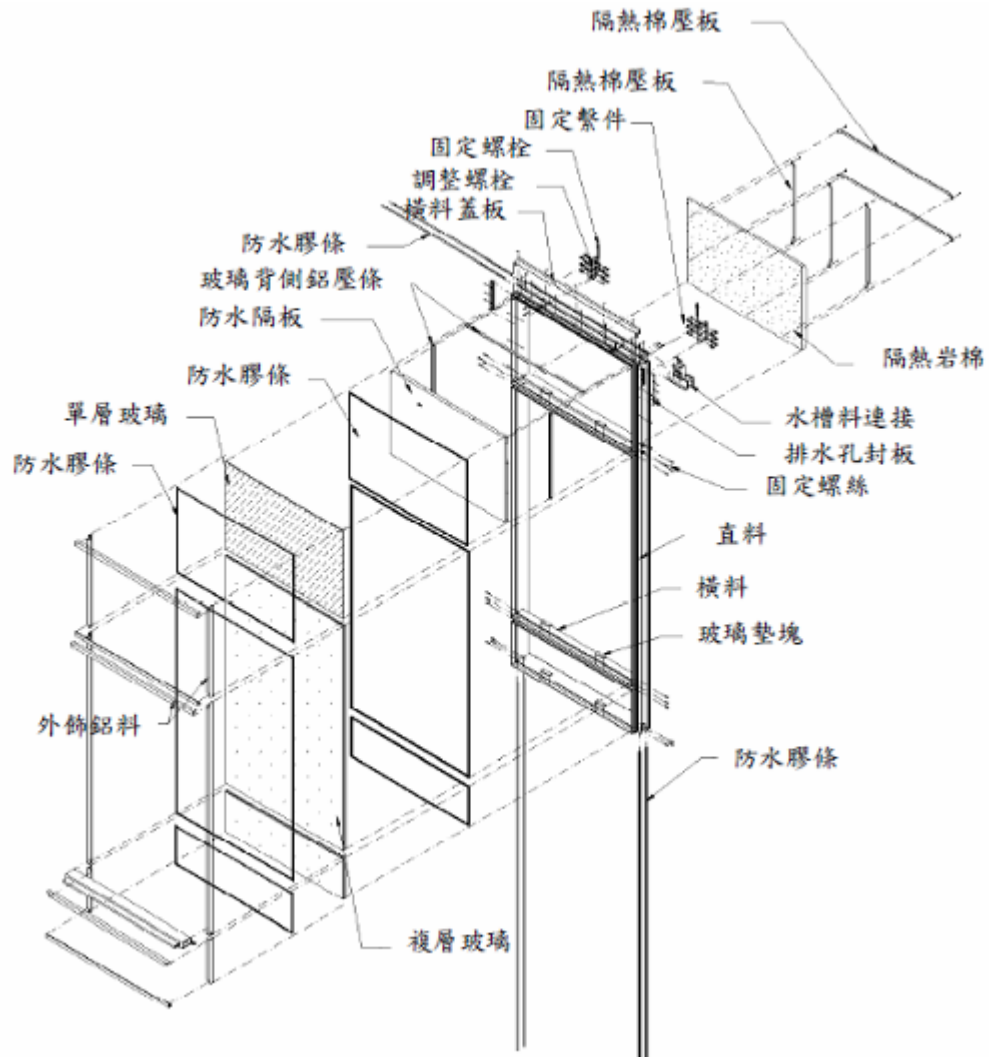
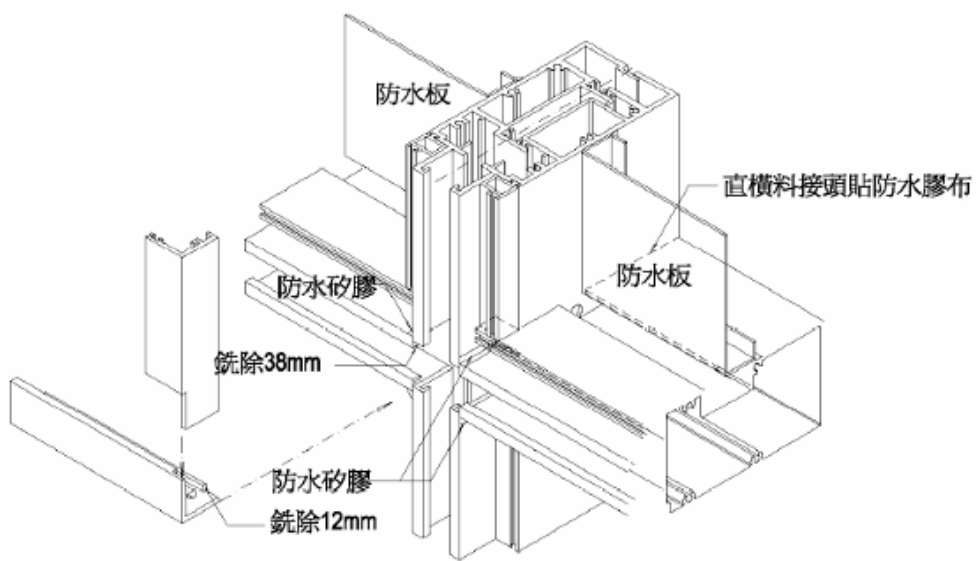
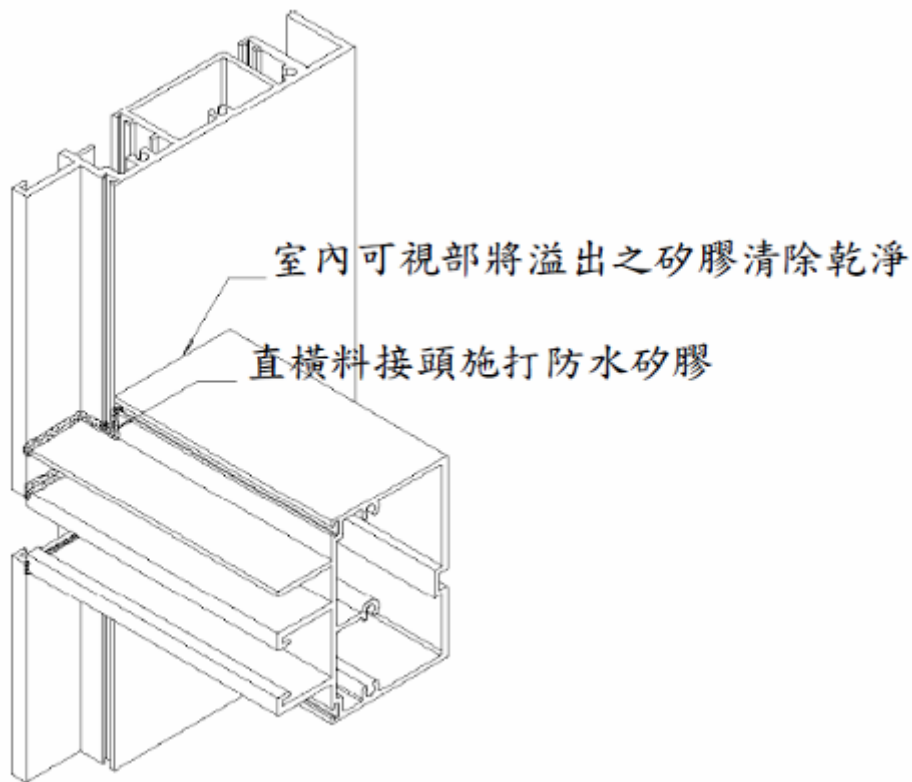


圖 3.8 單元零件組裝圖(範例)(資料來源：金屬帷幕牆製造技術手冊)



直料、中橫料接頭示意圖(接頭防水使用防水膠布)

圖 3.9 單元接頭示意圖 (資料來源：金屬帷幕牆製造技術手冊)



直料、中橫料接頭示意圖(接頭防水使用防水矽膠)

圖 3.10 單元接頭示意圖-使用防水矽膠

(資料來源：金屬帷幕牆製造技術手冊)

### 3.1.4 背襯板安裝及防水施工

將已組裝好的框架移至背板工作台上，框架尺寸檢查由測量框架的對角長度而定，可視區開口部同樣測量對角長度。假如框架超過容許誤差之範圍，則框架必須調整至尺寸合格為止。

在對角長度測量合格後，組裝人員核對組裝圖上背板構件的編號，並且從儲存區取出正確的背板。假如背板有塗裝，會從背板外緣移去一部份的保護膠膜。組裝人員依施工圖安裝背板。安裝完成置放隔熱棉並以扣件固定於背板上。

背板會依照施工圖打填縫劑，打膠部位遵照先前所提的清潔步驟用有機溶劑清潔。施打填縫劑並適當抹平，組裝者必須檢查填縫劑以確保沒有針孔或孔隙。

單元漏水試驗於打膠後施作，試組階段為全檢，量產後以每 20 單元抽檢 1 單元，或者是配合業主抽驗。如有漏水現象，需先行改善，直至無漏水情形方進

行下一步驟。

在背板隔熱棉安裝完成後，組裝人員以目視檢查框架，簽名並標示日期在帷幕牆自主檢查表上。填寫單元尺寸檢查表後，從工作台上移開框架並移到下一個工作站。

帷幕牆背板及防水施作於工廠製作及品管檢驗流程如圖 3.11 所示，其判定基準依合約書所要求之標準或規範而定，如表 3.6 所示。

表 3.6 背襯版安裝與防水施作管制表

檢驗項目	管理時機	頻率	檢驗方法	判定基準	依據標準
框架編號與單元組裝編號核對	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖	施工規範 廠內標準
安裝位置長寬尺寸	裝配組立時(後)	全數	捲尺 游標尺	組立圖 許可差未滿 2000mm±1.5mm	施工規範 廠內標準
鋁框施工前清潔	裝配組立時(後)	全數	目視	乾淨、無油漬	使用乾淨 抹布 MEK(丁 酮)
背襯板裝配	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖 裝配位置	施工規範 廠內標準
施打矽膠	裝配組立時(後)	全數	目視	確實施打 無氣泡 抹平	施工規範 廠內標準
矽膠固化	裝配組立時(後)	全數	目視	靜置養生	原廠規範
試水	裝配組立後 養生時間足	抽驗	目視	裝水至少 5cm 高 24 小時無滲漏	施工規範 廠內標準

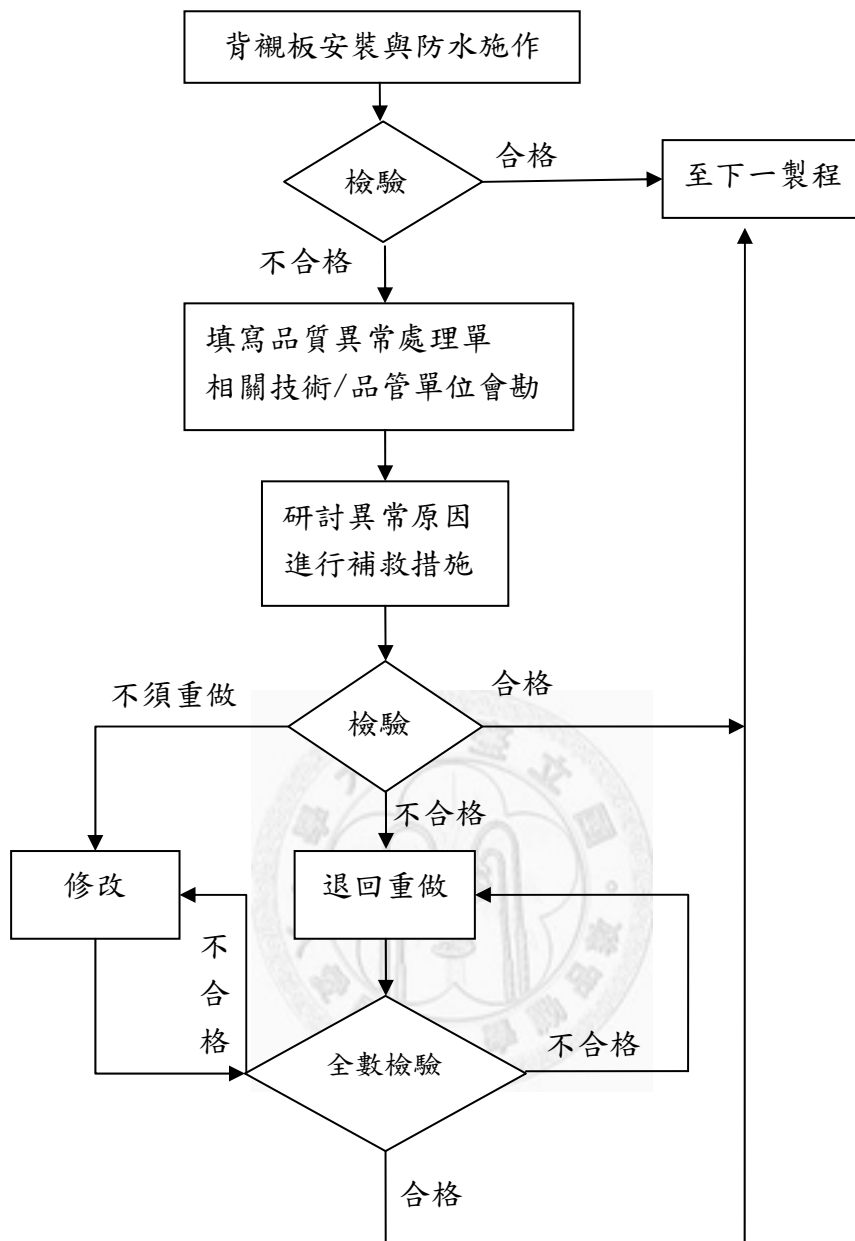


圖 3.11 工廠背襯板安裝與防水施作品質檢驗流程圖

### 3.1.5 玻璃及石材安裝

在完成框架與背襯版安裝作業，同時通過防水試水抽驗後，即進行後續玻璃或石材安裝，安裝前玻璃將接受檢查以確認無瑕疵。備料人員依組裝圖上標示尺寸之玻璃以電動吸盤或掌上型吸盤把玻璃自運輸架上取下，再視查有無損壞、邊角磨損、斑點等。檢查玻璃的表面處理可把玻璃放在燈盒下端以檢查表面處理有無針孔、刮痕。所有損壞、磨損或不符合檢查標準的玻璃將予以報廢並放置於隔

離區。檢查完成後，玻璃將被放在組裝輸架上並轉往組裝區。

另組裝人員將從儲存區選取所需石材。石材之號碼將與組裝圖核對以確定無誤。安裝前，石材將接受檢查以確定洗溝及切口尺寸深度、表面顏色、斑點、及有無損壞等，如果石材被認為有瑕疵，則將予以報廢並放置於隔離區。

玻璃／石材安裝步驟及程序：

- 1、 組裝人員將需鑲裝的框架放置在工作台上。安裝之前，組裝人員將檢查膠條是否已正確地固定在膠條溝上。
- 2、 如前述之程序所示，以清潔劑清理單元表面。底劑將根據矽膠供應商的指示使用於框架上。
- 3、 組裝人員將把第一片的玻璃用吸盤取下並旋轉為水平方向。之後將清理玻璃邊緣與矽膠的接觸面。
- 4、 玻璃將根據組裝圖放置於墊底上方及開口中央的位置。臨時性的邊緣墊塊可用於玻璃與直料之間的定位。當玻璃位置已調整正確後，玻璃將放置於間隔矽膠條上。此過程將於每片需要安裝於單元上的玻璃重覆。
- 5、 當玻璃固定就位後，組裝員將會準備施打矽膠。打膠前框架之特定區域將會貼上遮護膠布以防止矽膠與完成表面接觸。當工具準備好時，組裝員將打膠槍管對正，並開始將矽膠由打膠槍管打入玻璃下方。玻璃將會以假固定方式施加壓力，以避免玻璃上浮，而造成矽膠溢至膠條上。組裝員將會監控打膠之情形，以確保矽膠穿透膠條開口，並百分之百的將空隙填滿。
- 6、 在矽膠塗敷完成後，組裝員將依組裝圖及施工圖安裝水平及垂直蓋板。這些蓋板將勾至適當位置並以膠條安裝於玻璃及蓋板之間。組裝人員將以手工安裝膠條，以確保膠條能被安裝至擠型料內，而在結合點之膠條將被檢視以確保其為目測可被接受之範圍。並儘可能將膠條裝緊；而每片玻璃都將會重覆楔型膠條之安裝。
- 7、 當膠條安裝完成後，組裝員將會以目視方式來檢測蓋板及膠條是否有依據組

裝圖及施工圖來安裝。

8、組裝人員將會依據組裝圖來檢查，如有任何缺失，組裝員會先解決問題再發單元。檢查完成後在單元式帷幕牆組裝自主檢查表上簽名及註明日期。完成的單元將會依矽膠固化時間完成再置放於運輸架並作最後清潔、貼標籤及包裝的工作。

9、石材安裝程序：將已完成背板及隔熱棉移至面材安裝區，將石材依單元編號放置於單元架上，並注意紋路與色澤，整個石材裝放鎖好後，用治具調整左右上下縫隙，按圖面尺寸固定。

帷幕牆玻璃/石材安裝作業於工廠製作及品管檢驗流程如圖 3.12 所示，其判定基準依合約書所要求之標準或規範而定，如表 3.7、3.8 所示。

表 3.7 石材安裝管制表

檢驗項目	管理時機	頻率	檢驗方法	判定基準	依據標準
框架編號與單元組裝編號核對	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖	施工規範 廠內標準
石材安裝位置 框料長寬尺寸	裝配組立時(後)	全數	捲尺 游標尺	組立圖 許可差未滿 2000mm±1.5mm	施工規範 廠內標準
石材安裝邊長	裝配組立時(後)	全數	目視	容許誤差±3.2mm	施工規範 廠內標準
石材安裝對角線	裝配組立時(後)	全數	捲尺 目視	容許誤差±4.8mm	施工規範 廠內標準
石材厚度	裝配組立時(後)	全數	目視 捲尺	容許誤差±0~+ 2mm	施工規範 廠內標準
固定件安裝	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖	施工規範 廠內標準
相鄰石材平整度	裝配組立時(後)	全數	目視 量規	容許誤差±1mm	施工規範 廠內標準



表 3.8 玻璃裝配管制表

檢驗項目	管理時機	頻率	檢驗方法	判定基準	依據標準
框架編號與單元組裝編號核對	裝配組立時(後)	全數	目視	組立圖	施工規範 廠內標準
玻璃安裝位置長寬尺寸	裝配組立時(後)	全數	捲尺 游標尺	組立圖 許可差未滿 2000mm±1.5mm	施工規範 廠內標準
鋁框施工前清潔	裝配組立時(後)	全數	目視	乾淨、無油漬	使用乾淨 抹布 MEK(丁酮)
安裝玻璃墊塊	裝配組立時(後)	全數	捲尺 目視	組立圖尺寸位置 確實裝配	施工規範 廠內標準
玻璃裝配	裝配組立時(後)	全數	目視 捲尺	組立圖 裝配位置 吃深(兩邊、下方) 尺寸	施工規範 廠內標準
黏貼膠布	裝配組立時(後)	全數	目視 目視	矽膠施打位置邊緣	施工規範 廠內標準
兩液型結構膠混合試驗	裝配組立時(後)	全數	蝴蝶試驗 蛇行試驗 拉拔試驗	依原廠規範	原廠規範
施打結構膠(矽膠)	裝配組立時(後)	全數	目視	確實施打 無氣泡 抹平	施工規範 廠內標準
結構膠固化	裝配組立時(後)	全數	目視	靜置養生	原廠規範
結構膠施打厚度及硬度檢驗	裝配組立後 養生時間足	抽驗	割膠試驗 硬度計 游標尺	無氣泡 無斷點 硬度符合原廠標準 厚度(BIT)符合結構計算	原廠規範 結構計算 施工規範

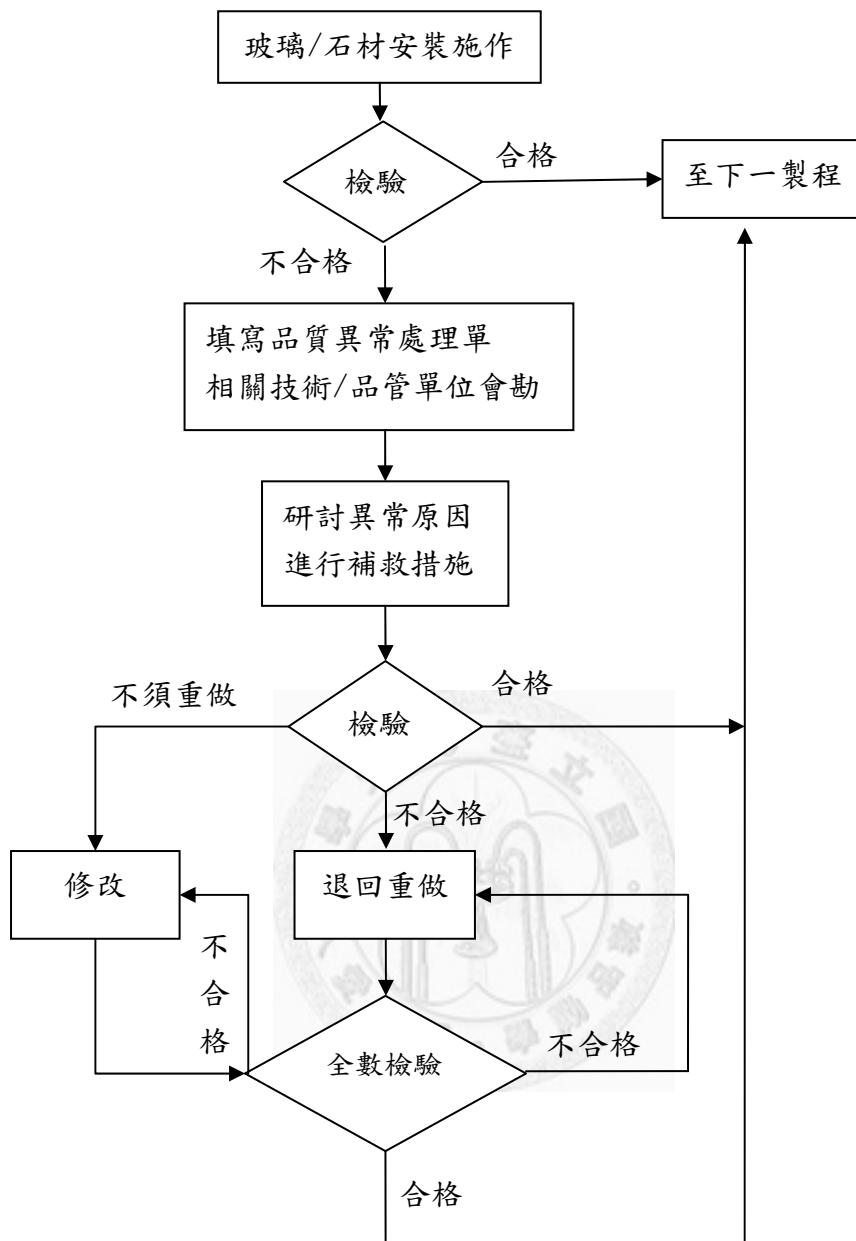


圖 3.12 工廠玻璃/石材安裝作業品質檢驗流程圖

### 3.1.6 包裝與運輸

單元式帷幕牆版片生產組裝完成後，經一連串成品檢驗無誤，即可進行包裝儲存，並俟施工現場進度與日程裝上運輸車輛載運至施工現場預備吊裝。然而在儲存包裝與運輸上應注意相關注意事項，避免發生缺失造成單元版片受損，以下就針對儲存及運輸二個項目來說明。

#### 1、包裝儲存

運送及儲存這些安源試帷幕牆板片，為了不讓單元版片變形、損壞，以及便利存放與運輸，須使用集裝箱或儲運架，使用這些集裝箱或儲運架在設計與使用上應注意下列事項：

- i. 檢討符合卡車的裝載方式，根據車種、車廂的高度不同，需特別注意高度限制。
- ii. 在外部揚吊時，須檢討掛耳及相關掛件工具的安裝及操作空間，同時注意拖架的尺寸、樓板及樑下之有效開口。
- iii. 儲運架應注意單元最大尺寸，並且在安裝時須有適當的保護措施與緩衝材料及固定方式，防止儲放及運輸過程中磨損或碰撞單元。
- iv. 包裝儲放時應依安裝順序，依序安裝上架，防止遺漏或順序儲放與發貨。

## 2、運輸

由於單元式帷幕牆版片長寬尺寸大，一班均以卡車或是拖車等來運送，運送時使用的車種是根據單元的形狀尺寸、建築工地的條件、運送路線上各種限制來決定。一般使用的各式車輛與車廂尺寸(高度、長度、寬度)可參考表 3.9，同時必須符合相關道路交通規定與法規。









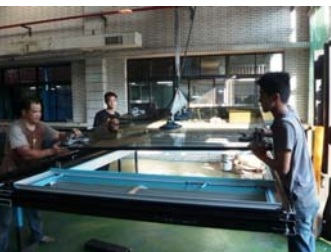
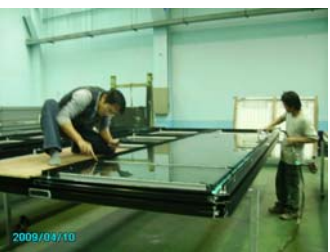


表 3.9 使用車輛規格及相關載重限制

車種	長度(M)×寬度(M)	限重	允許運輸長度
托車	12.2×2.44	24 噸	15M
20 噸	8×2.44	15 噸	8.5M
15 噸	7.33×2.37	8.52 噸	8M
8.8 噸	5.18×2.07	5 噸	5.5M

上述的裝載限制外，除了須符合使用車輛的尺寸外，單元版片所儲放的儲運架也須正確的裝入車輛上及固定網綁，防止運輸過程中脫落、碰撞，而使單元版片損毀，這樣才算完成儲運的過程。

### 3.1.7 單元式帷幕牆工廠組裝階段施工程序照片

表 3.10 單元式帷幕牆工廠組裝階段施工程序照片(本研究整理)

	材料進廠檢驗	材料進廠檢驗	材料進廠檢驗
照片			
程序	加工裁切	加工鑽孔	加工沖孔
照片			
程序	框架組裝	背襯版安裝、矽膠施工	防水試水
照片			
程序	隔熱材安裝	玻璃安裝	結構膠施打
照片			
程序	石材安裝	包裝儲存	運輸
照片			

### 3.2 單元式帷幕牆工地吊裝階段

單元式帷幕牆於施工現場吊裝施工，是將生產完成板片安裝於結構體上，以成為一外牆形式，此階段由於室外施工且高層吊裝充滿危險性，要控制單元安裝精度實屬不易，同時安裝過程中必須注意相關防水、防風膠條與固定繫件之安裝，來組立完成成為防風、防雨、耐震之外牆系統，其相關施工細節均有賴工程人員逐一查核，以降低施工缺失之發生。參考內政部建築研究所之金屬帷幕牆施工安裝手冊，整理出單元式帷幕牆於工地吊裝階段流程圖如圖 3.13，本研究將其細分為 7 個施工項目如圖 3.14，以下並針對各項施工項目予以說明。

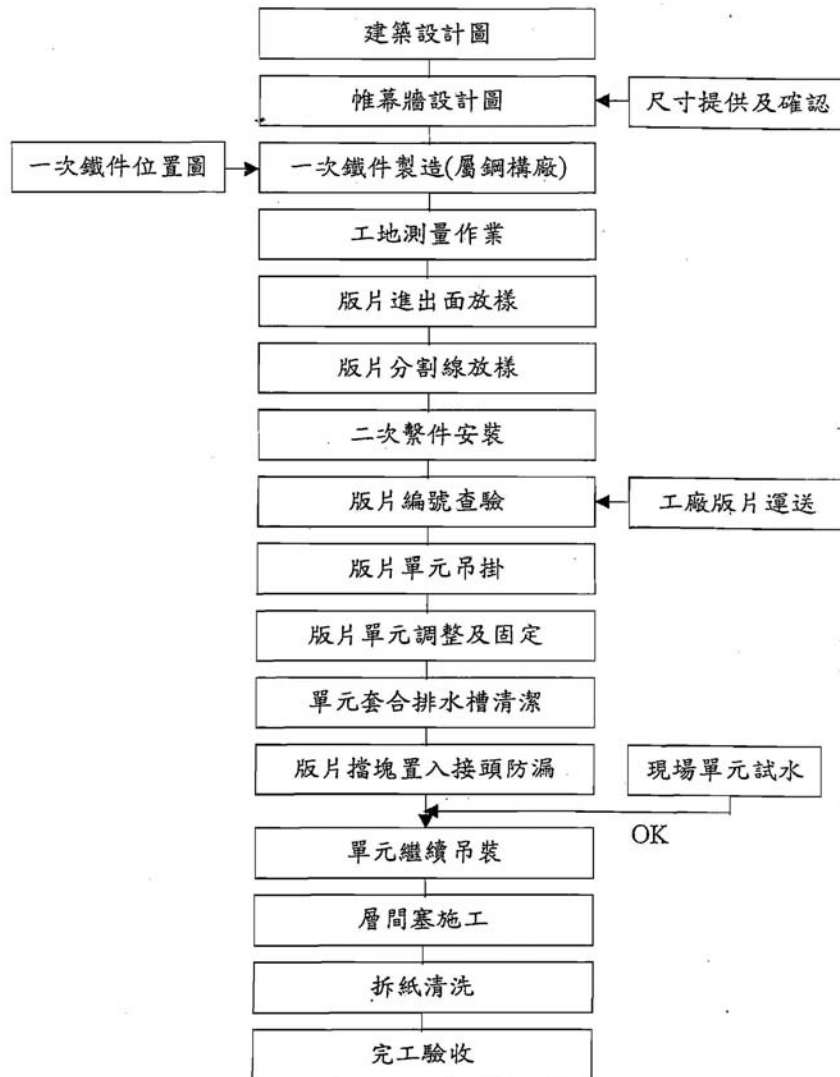


圖 3.13 單元式帷幕牆於工地吊裝階段流程圖

(資料來源：單元式金屬帷幕牆設計、製作、安裝研討會)

單元式帷幕牆於工地吊裝階段項目可細分為：

- 1、外牆結構測量
- 2、預埋件施工
- 3、二次件施工
- 4、單元吊裝與調整
- 5、版片擋塊安裝與接頭防漏施工
- 6、層間塞施工
- 7、拆紙清潔

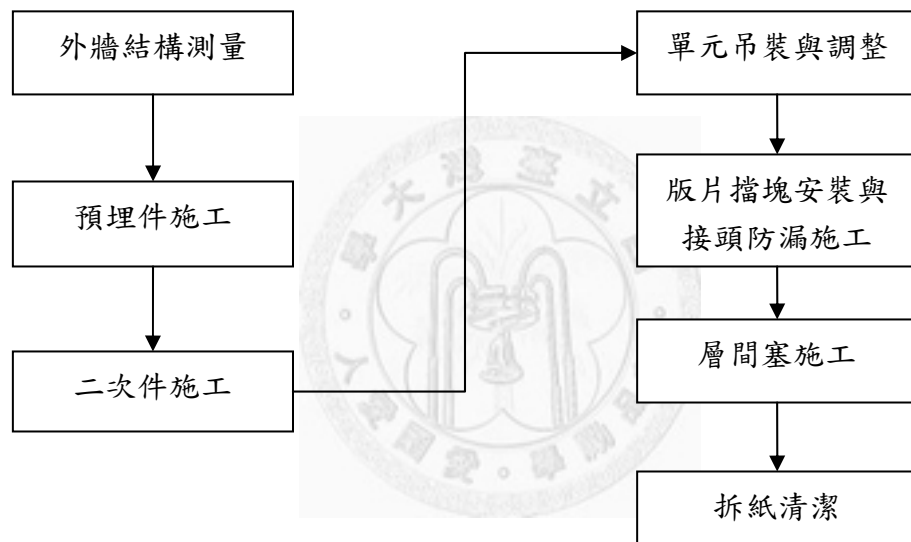


圖 3.14 工地吊裝階段流程圖

### 3.2.1 外牆結構測量

帷幕牆放樣，須按建築物整體的放樣計畫來執行，由建築物之基準線進行測量與規劃，所以帷幕牆的基準線須與建築物之基準線一致，在測量放樣的同時，亦須查核出建築物結構體之相關精度與誤差，並適時反映與回饋至設計單位，供其作為設計時的依據，以配合相關調整與修正。測量放樣將以下列各項竹依檢討。

#### 1、預留測量通視點

單元式帷幕牆為水平或垂直吊放安裝而成，為維持性能與外觀分割之一致性，須有較高的精細度要求，如果是各層自行放樣，個別安裝時，容易出現上下

樓層的放樣誤差或是單元版片安裝誤差而錯開。所以在主結構體施工前即事先規劃工地可上下通視之觀測孔，或水平方向之通視點，設置測量通視點必須同時考慮垂直與水平通視，觀測孔或通視點應依測量精度要求及建築物造型與結構類別不同而規劃，超高大樓或寬廣建築物通視測量條件都有不同，必須事先規劃，以利日後測量作業及接續工作。

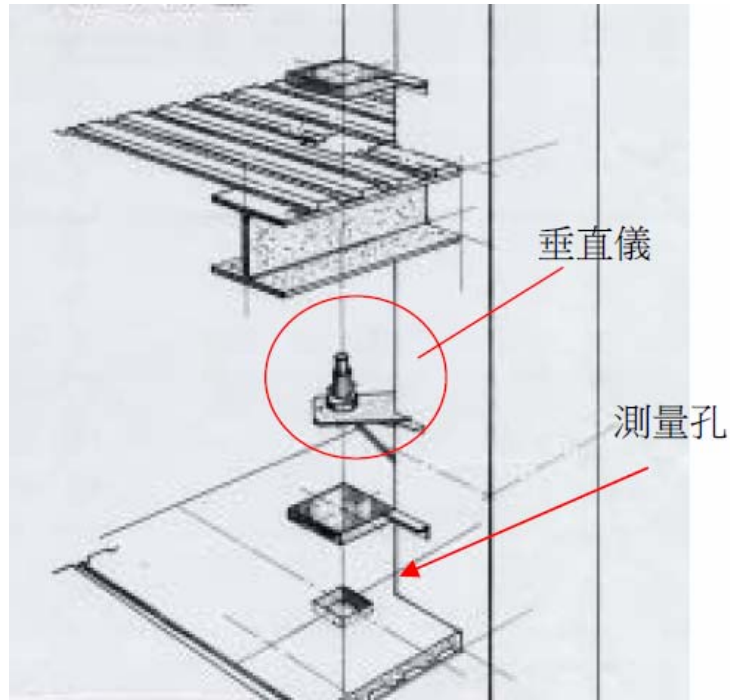


圖 3.15 現場測量放樣示意圖（資料來源：金屬帷幕牆施工安裝手冊）



圖 3.16 樓板放樣觀測孔

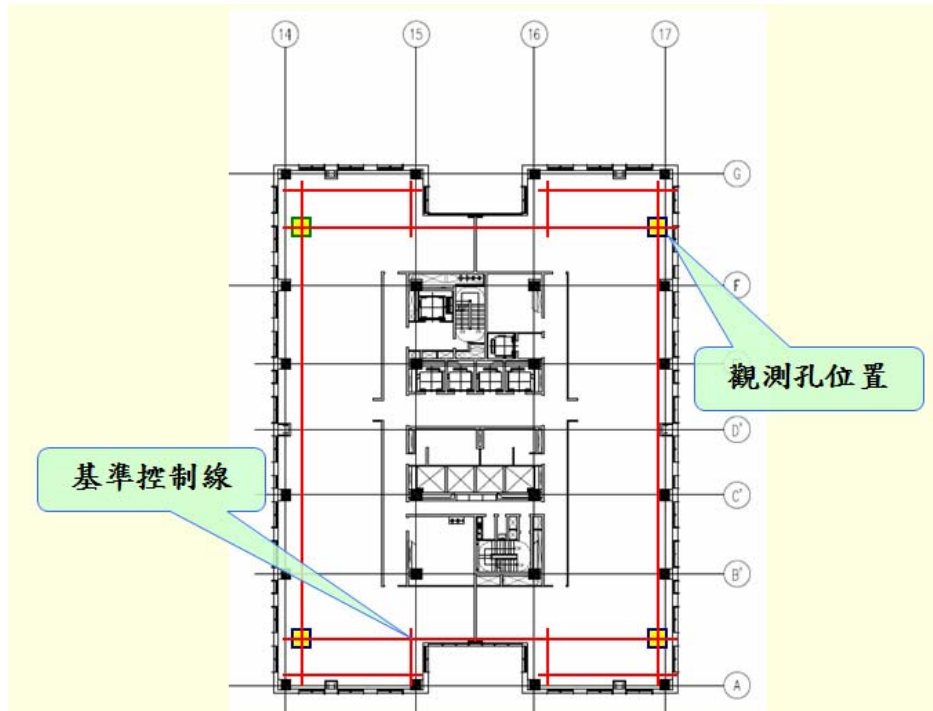


圖 3.17 放樣觀測孔與基準線規劃示意圖

## 2、預埋位置放樣

預埋件作業對於工地現場施工，必須依照預埋鐵件位置圖說，是先於工地主結構測量放樣，主結構是混凝土構造或是鋼結構其放樣的方式會有所不同。在這部分預埋測量作業因結構體尚在進行施工，比較容易產生誤差，但必須控制左右之偏移在公差範圍以內，不可累計偏差，而產生預埋誤差影響到接續工作的施工性。

## 3、基準測量

各樓層結構體施作至預定樓層後，應依計畫進場執行測量，以避免施工設備及材料陸續增加，發生障礙而影響測量通視情形。基準測量在高度控制上可利用觀測孔架設垂直儀或輔助雷射儀測量，將已確認水平的已知基準點，透過通視觀測孔，引用至與施測的樓面，再利用經緯儀或光波測距儀測量出各樓層面，各向基準線與控制點。通常樓層水平控制線是利用水準一或雷射儀測放出樓層的一米高程，以立分割放樣測量引線使用。





圖 3.18 經緯儀進行基準測量

#### 4、外牆放樣

外牆放樣主要是提供各樓層帷幕牆安裝施工使用，依據設計圖面標示與結構體相關尺寸，將施工用的控制樣線以墨線彈放於樓板上，放樣的墨線必須能在帷幕牆安裝同時，可以直接使用或利用儀器架設牆施工。

### 3.2.2 預埋件施工

預埋鐵件施工因結構體及預埋件設計形式不同而有所不同的施工方式，一般會有錨定預埋或是直接將預埋件(一次鐵件)焊接到主結構體上。這部分施工應依施工圖面確實施工，應注意焊接鐵件於焊接時符合焊接程序上之要求，或是預埋錨定長度必須符合相關結構計算之規定長度，以符合握裹強度之需求。

施工時應注意鐵件型式，施工位置尺寸，水平平整度，不可歪斜或因灌漿而產生偏移，或因鐵件施工而影響到灌漿之檔板，進而造成混凝土漿體滲漏之情形。於混凝土結構體澆置時，常常會因為模板的移動或混凝土的收縮，而造成預埋鐵件位置的錯位偏移，應加以注意。



圖 3.19 預埋鐵件安裝施工

### 3.2.3 二次件施工

預埋鐵件施工配合結構體完成後，在經過測量放樣得到預埋件的偏移誤差情形，回饋至設計與製造單位調整高程及水平差異，再修正於二次件施工，讓二次件位置更正確，以提供後續單元版片吊裝固定使用。

而二次鐵件之安裝時，應注意相關材料上的不同，所產生電位差之影響，而使得相關材料發生腐蝕之現象，所以防止電位差腐蝕之方法，應事前先行檢討，並提出防治措施，以杜絕缺失的產生。



圖 3.20 二次件安裝與量測

### 3.2.4 單元吊裝與調整

單元式帷幕牆在完成工廠組裝後，依相關時程及工期發貨運輸至施工現場吊裝施工，單元版片至現場吊裝前，應先行檢討吊裝工作範圍、吊裝順序、吊裝機具檢討、揚重計畫、吊裝設備安裝與拆除等事項。

單元式帷幕牆安裝流程經建築主體及預埋完成，現場進行測量、放樣及單元按裝、調整，其主要流程與說明如下：

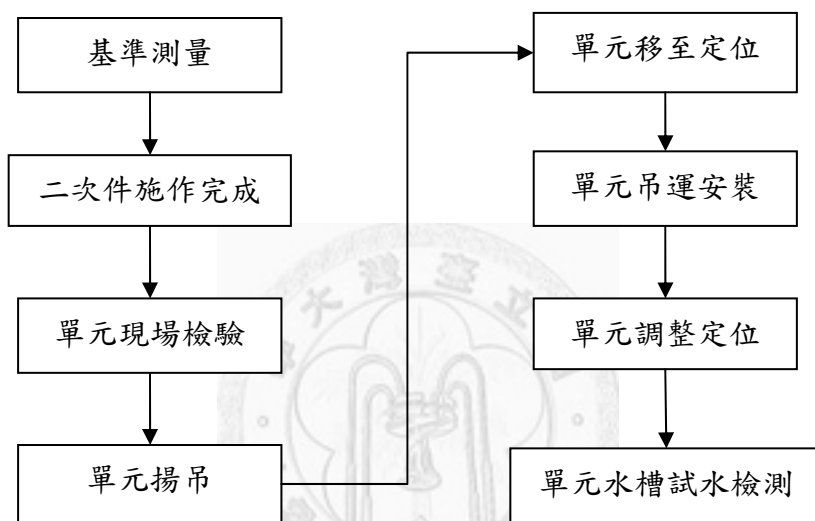


圖 3.21 單元式帷幕牆吊裝作業流程

#### i. 單元現場檢驗

帷幕牆單元加工組裝完成後，自工廠運至工地現場，現場需做單元自主檢核，以免單元揚重至各樓層時無法安裝，影響工程之進度。相關查核需依據施工規範之要求來進行查核，若發現相關缺失，必須立即處置或運回工廠進行修改之作業。

##### A. 外框組立查核內容：

- |               |               |
|---------------|---------------|
| a. 烤漆顏色       | b. 對角線容許差     |
| c. 變形量        | d. 規格尺寸       |
| e. 平整度        | f. 邊緣切口       |
| g. 保護膜        | h. 檢查組立鋁框尺寸精度 |
| i. 矽膠覆蓋所有螺絲空隙 | j. 排水口通暢      |
| k. 單元編號       | l. 止水泡棉       |

m.抽樣做水密測試。

B.內扇組立查核內容：

a.對角線容許差

b.平整度

c.邊緣切口

d.破損

e.保護膜

f.檢查組立鋁框尺寸精度

g.清除鋁框內部接口溢出密封膠

h.矽膠覆蓋所有螺絲空隙

i.排水口通暢

j.單元編號 k.抽樣做水密測試

l.止水泡棉條

m.五金檢核

C.外框面材查核內容：

a.烤漆顏色

b.變形量

c.刮傷

d.規格尺寸

e.保護膜

2、單元揚吊

帷幕牆在施工前必須運送到各層樓定位才可陸續施工，必須依據建築物條件及帷幕牆型式、特性與現場作業情況、施工效率、成本，擬定選擇各種揚吊機具設備及其使用位置與時機。

在揚吊機具設備種類有：

i. 塔式吊車

高層建築工地一般都會架設塔式吊車來揚吊一些較大又重的物料到各樓層，由於塔式吊車作業半徑均可抵達帷幕牆作業區域，在塔式吊車預定施工期間內可利用塔式吊車來揚吊帷幕牆單元。

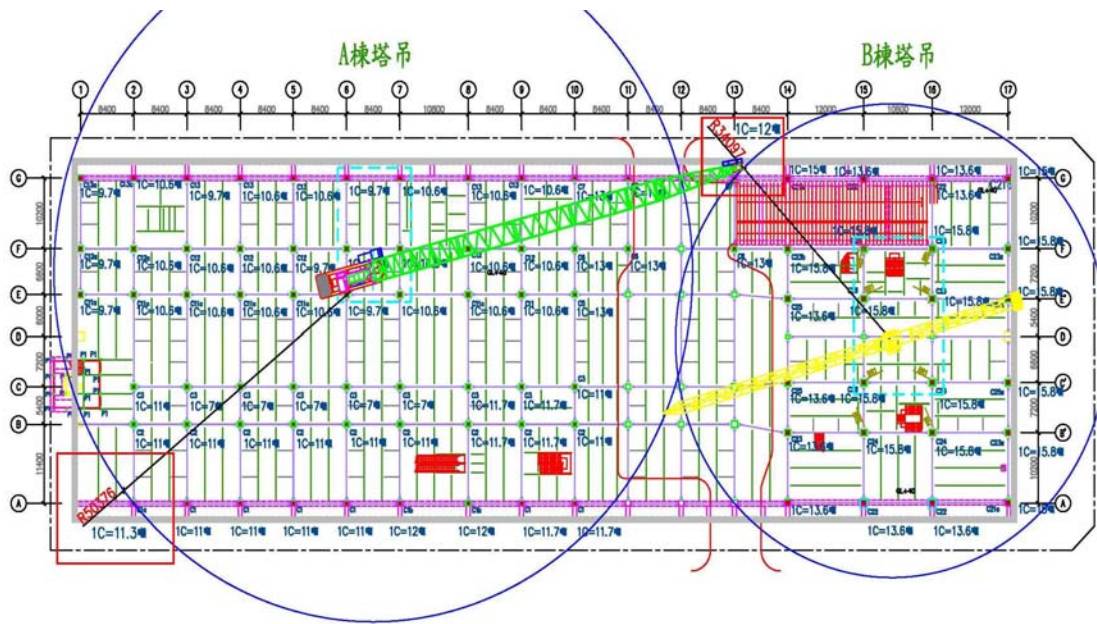


圖 3.22 建築工地塔式吊車吊裝範圍

### ii. 移動式吊車

作業現場允許吊車到達揚道位置，或無其他合適的揚吊設備使用時，可採用移動式吊車來進行揚吊帷幕牆材料或是安裝施工作業。帷幕牆若現場允許一般可採用吊車輔助作業，由於地面材料小搬運通常會有動線影響的問題，可採用吊車支援帷幕牆物料到較低樓層或指定堆放地點，將可提高工作效率。

### iii. 軌道式捲揚機

依據建築物高度與造型特性，可以採用軌道式捲揚機來提供單元式帷幕牆各階段的施工作業，採用軌道式捲揚機必須事先規劃，施工前預先在主結構體埋設軌道固定座，再安裝軌道與捲揚機馬達，揚吊的高度不宜過高，應先區分適合的樓層區域與範圍，方得較高施工效率及安全性。



圖 3.23 軌道式捲揚機

iv. 移動式小吊車

移動式小型吊車利用施工電梯及大型吊車運送到各施工樓層，可有效的移動揚吊位置，不需架設任何臨時設備，有效的來揚吊安裝帷幕牆單元，有較高的機動性。



圖 3.24 移動式小吊車

#### v. 施工平台

施工平台是一種外牆施工法所使用的工作平台，提供特定施工區域全面上下輸送材料，同時提供工作人員施工作業。施工平台針對不同環境與廠合，使用適合之施工平台設施，在帷幕牆施工作業中，方便將單元版片吊運至預定堆放之樓層，可提高作業效率及施工安全。



圖 3.25 施工平台

#### 3、單元運至定位

帷幕牆單元依圖說單元編號揚重自該樓層後，並予以堆置存放妥善，以利吊裝作業進行。作業注意事項如下列各點：

- i. 帷幕牆單元安裝前須將該單元依圖說及單元編號運至定位，以利安裝。
- ii. 帷幕牆單元需利用小平車移至定位。
- iii. 小平車須做保護單元之措施，以避免單元損傷。



圖 3.26 帷幕牆板片吊放至施工樓層

#### 4、單元版片吊裝

帷幕牆單元進行現場施工吊裝時，因為進行高空吊裝作業，須完全注意相關安全與作業規定，茲將吊裝作業作以下說明：

i. 吊掛操作人員審核：

吊掛操作時屬高空作業，其危險性甚高，所以操作人員須接受專業訓練，取得操作人員證照始准操作。

ii. 吊掛操作人員聯繫：

- a. 防止吊昇物墜落
- b. 保持吊昇物通暢
- c. 人員的安全防護
- d. 危險時防護措施
- e. 操作人員之訓練

iii. 單元吊昇下方人員管制：

- a. 防止墜落時人員安全
- b. 嚴禁閒雜人等進入作業現場
- c. 人車管制



- d.管制人員本身安全考量
- e.現場放置警告標誌及標語
- f.作業現場防護措施
- iv. 單元板吊昇行進路線通暢：

單元板吊昇行進路線通暢，是為防止單元板墜落，單元板吊昇過程中，屬高危險性動作，須有專業人員資格者，在品質過程要求中，不能忽略人員及吊物之安全考量。
- v. 單元板吊昇安全考量：
  - a.機具檢查：依勞工安全衛生設施規則第四章第 87~92 條之規定。
  - b.吊掛用具檢查：依勞工安全衛生設施規則第四章第 98~102 條之規定。
- vi. 帷幕牆單元現場安裝吊掛須無墜落之虞，方可揚昇。
- vii. 機具應有防止吊舉中所吊物體脫落之裝置。
- viii. 帷幕牆單元現場安裝之動作：
  - a.帷幕牆單元需和機具及固定。
  - b.鋼索須能承載單元之重量（鋼索安全係數須達單元重量之 5 倍）。
  - c.吊昇時須保持上升路線暢通。
  - d.吊昇過程中須避免與結構體碰撞，導致單元損傷。
  - e.人員須遵守各項安全防護規定
  - f.吊升至定位時需確定單元與結構體固定後，才能解開吊勾。



圖 3.27 帷幕牆單元吊裝施工



圖 3.28 帷幕牆單元吊裝施工

#### 5、單元精度調整

帷幕牆單元安裝至定位後須作精度調整，此步驟將影響單元接合度及防風防水程度施工步驟如下列說明：

- i. 依據基準線圖說將單元固定至定位（左右及進出）。

- ii. 依據基準高程、圖說，利用水準儀測量單元高程。
- iii. 精度需控制於 $\pm 1$  mm以內。
- iv. 需製作小道具協助控制精度。
- v. 精度控制完成後將單元鎖緊。
- vi. 單元鎖緊後方能施作電焊。
- vii. 電焊時須作防護措施以避免將單元及面財損傷。
- viii. 電焊完成後須作焊渣清除及防鏽處理。



圖 3.29 帷幕牆單元吊裝時精度測量



圖 3.30 帷幕牆單元吊裝後精度調整

### 3.2.5 版片擋塊安裝與接頭防漏施工

單元底料查核完成後，因單元式帷幕牆，水會大量集中於底料，在單元帷幕安裝後，須作底料試水，確保百分之百防水效能，試水完成後須將底料雜物、碎石等清除乾淨，以免日後造成排水孔阻塞，如必要時於每樓層（直料）或橫料上作試水，以確保品質，於底料（橫料）上放滿水後，必須經過 2 小時以上無漏水現象，方能繼續施工。帷幕牆精度調整後，現場須作接頭防水作業步驟如下列說明：

- 1、 施工前須進行材料相容性試驗並將試驗結果現場施工。
- 2、 材料施作時，核對是否符合要求。
- 3、 接著面之清潔。
- 4、 裝填墊背材或填縫劑隔材。
- 5、 張貼護罩膠帶。
- 6、 填充劑填縫並刮平使填縫矽膠平順。
- 7、 拆除護罩膠帶。
- 8、 清潔。
- 9、 氣候不良（下雨）嚴禁施打矽膠。



圖 3.31 帷幕牆單元檔塊安裝及防水施作



圖 3.32 帷幕牆單元防水試水

### 3.2.6 層間塞施工

依據建築技術規則建築設計施工篇第 70 條規定，防火構造物外牆之非承重牆部分，在防火帶以內部分，與樓層數無關一律具 1 小時之防火時效，防火帶以外

部分則應具備半小時之防火時效。要求此防火性能之部位係無開口之非承重牆，包含連接地面或是內防火區劃牆部份在內，必須有 90cm 以上的這種防火構造。

層間塞施工注意事項：

- 1、依層間塞施工範圍現場，以每 2 根直料為基準，實際量測外牆板至地板層之間距。
- 2、以所量之間距加上 12mm，裁切出所須材料之寬度。
- 3、輔助支撐 Z 型鐵件(Clip)，約每 40 cm 放置一支，但須依現場實際狀況增加 Clip 數量，以確保層間塞可獲得穩固支撐無慮。
- 4、將 Clip 插入層間塞(4" 厚)下方約 1/3 厚度處，因 CLIP 為 1.6t 厚，鍍鋅板下方無防火庇護，所以必須藏入層間塞中以保護斷熱。
- 5、確實擠壓於施作範圍且注意搭接處務必完全無任何縫隙。
- 6、以鋼釘固定 CLIP，避免因施工時不慎造成層間塞下陷或破壞。
- 7、確實將柱位部份填實補強。
- 8、封貼強化鋁箔膠帶，牆面一道，樓板一面道，以隔絕煙霧漫延。
- 9、確實清理整個施工區域，以保持工地整潔。
- 10、如遇柱位或其它特殊狀況，須由鷹架外施工，施工者必須使用安全扣環等安全裝置以保護防止意外發生。



圖 3.33 帷幕牆單元層間塞施工




圖 3.34 帷幕牆層間塞阻煙劑施工

### 3.2.7 拆紙清潔

建築物建造過程中常受到水泥漿及工地泥灰的汙染，對於帷幕牆單元表面有不良影響之附著物，應立即清除，這些因受汙染程度不同，其清潔方法業有所不同，輕則使用清水來清洗，或是使用中性清潔劑以免損壞表面塗裝。嚴禁使用剝漆劑、強酸、強鹼、磷酸及具有研磨粒的清潔劑，確保不傷害塗層，確認使用的海棉/棉布等不含有研磨粒子。

### 3.2.8 單元式帷幕牆工地吊裝階段施工程序照片

表 3.11 單元式帷幕牆工地吊裝階段施工程序照片(本研究整理)

程序	基準測量	預埋件施作	二次件施作
照片			
程序	單元進場	吊運至定位	單元安裝
照片			
程序	安裝測量	精度調整	檔塊安裝與防水
照片			
程序	水槽試水	水密性試驗	層間塞安裝
照片			



## 第四章 FMEA 於單元式帷幕牆工程之應用

在工程上，單元式帷幕牆工法之設計或施工上各有施工規範與內政部建築研究所所編訂帷幕牆製造技術手冊來參考，至於相關配合施工法之施工管理，隨個人、公司之技術與經驗之不同，見解及處理方式均不盡相同。因此因應各種生產製造、施工吊裝限制，個案特殊情形，相關案例與施工經驗常成為評估單元式帷幕牆工法可行性，及作為檢討設計與施工應注意事項之重要參考依據。

因此，本研究就單元式帷幕牆工程之特性，選擇兼具定性與定量之失效模式與效應分析法(FMEA)，針對單元式帷幕牆工程相關失效因子與模式進行風險評量與分析作業，且針對發生損失風險值加以排序及標示風險層級，作為優先改善單元式帷幕牆工程作業之依據，甚至可作為缺失發生後之肇因分析、矯正與補救措施之評析工具。

### 4.1 FMEA 於單元式帷幕牆工程之應用模式建構

#### 4.1.1 實施內容

本研究共分為四個階段進行，各階段實施內容概述如下：

##### 5、第一階段：

參考帷幕牆製造技術及施工安裝手冊作業內容，初步訂定相關流程及工程項目，以發掘及辨識單元式帷幕牆工程中可能的失效因子與模式。

##### 6、第二階段：

藉由與國內帷幕牆專家與顧問訪談之方法，訂出嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D)三項之評點標準，並修正適用於帷幕牆工程之 FMEA 分析表。

##### 7、第三階段：

考量單一組成員可能產生主觀之評量結果，造成分析項目得分失真或偏差，影響整體分析之客觀性，參考產業界 FMEA 分析小組精神，發函邀集國內帷幕牆發展協會、顧問及專業廠商等，以專家問卷方式，進行發

掘與辨識單元式帷幕牆施工階段之失效模式與因子，以及進行各項因子之評點分析(嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D))之經驗值調查作業。

此階段進行二次循環問卷來進行，第一循環問卷為進行發掘與辨識單元式帷幕牆施工階段之失效模式與因子，收集問卷後，加以彙整並填入 FMEA 表格內，第二循環依據前循環所建立失效模式並匯入嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D)等評點標準表，發出第二循環問卷，請專家與專業廠商進行各項因子之評點分析作業。

#### 8、第四階段

進行單元式帷幕牆工程專家 FMEA 問卷分析與資料庫建置作業，包括：嚴重度(S)、發生度(O)、難檢度(D)等計算出風險優先指數(RPN)值，並進行失效模式之風險排序，並指出須進行改善措施與矯正之項目，同時提出結論與建議。

### 4.1.2 實施流程

本研究共分為四個階段進行，各階段研究流程如下：

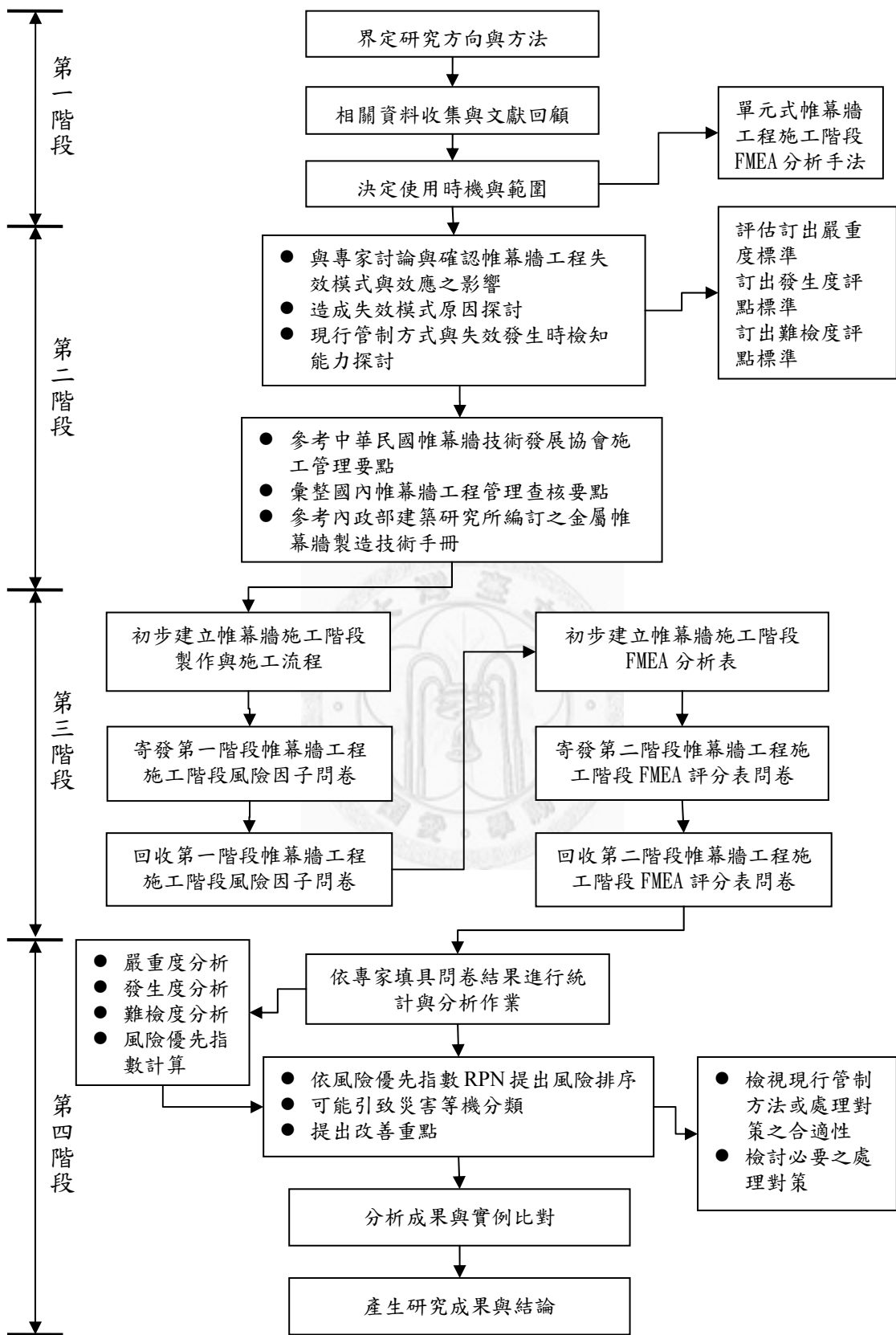


圖 4.1 研究實施流程

### 4.1.3 專家訪談名單

本研究訪談之專家名單如表 4.1

表 4.1 專家訪談及問卷名冊

姓名	服務單位與職稱	帷幕牆年資
黃 OO	中華民國帷幕牆技術發展協會理事	22 年
張 OO	大元聯合建築師事務所專案經理	10 年
丁 OO	美商希迪西股份有限公司台灣分公司經理	20 年
陳 OO	康普工程顧問股份有限公司協理	15 年
郭 OO	品贊有限公司總經理	25 年
陳 OO	茗生工程股份有限公司總經理	20 年
陳 OO	美港聯合股份有限公司專案經理	18 年
黃 OO	翔聯企業股份有限公司專案經理	22 年
史 OO	翔聯企業股份有限公司工務部襄理	20 年

### 4.1.4 應用模式建構

失效風險評價方法：

風險優先數法（RPN）

風險優先數法是目前為最多行業所採取的方法，其風險優先數（RPN）是由嚴重度、發生度及難檢度三個因子相乘而得。計算公式如下：

$$RPN = S * O * D$$

式中 S 是失效發生後對產品影響嚴重程度之估計（稱為嚴重度），O 是失效原因發生頻率之估計（稱為發生度），D 是對現行管制方法檢測失效難易程度之估計（稱為難檢度）。FMEA 將 S、O、D 均分為 10 級，每級 1 分，及數越高，分數越大，對產品失效的影響也就越大。因此 RPN 的值將介於 0 至 1000 之間，根據 RPN 指數，選取越大的值，對其失效模式優先採取改進措施。嚴重度、發生度及難檢度三個因子的程度等級與分數對照表分別如下表 4.2、4.3、4.4。

表 4.2 嚴重度(S)衡量標準表

效應	評點基準	評點等級
危險的-無警訊	非常高的嚴重度等級，會導致災損、影響工程進度及結構安全者，且發生時無預警的	10
危險的-有警訊	非常高的嚴重度等級，會導致災損、影響工程進度及結構安全者，是先有預警的	9
極高的	影響主要功能，導致後續製程停工或無法使用	8
高度的	設備或零組件還能運作，但其性能或水準均有降低，會影響工期及功能者，客戶很不滿意	7
中等的	設備或零組件可運作，但其性能或水準均有降低，舒適及便利性方面失效，會影響工期者，客戶不滿意	6
低度的	設備或零組件可運作，但其性能或水準有些許降低，舒適及便利性下降，可能會影響工期者，客戶有些不滿意	5
很低的	配合施工監測及調整施工步驟後，一部分可以注意到並加以控制者，多數客戶發現有缺陷	4
輕微的	配合施工監測及調整施工步驟後，大部分可以注意到並加以控制者，部分客戶發現有缺陷	3
極輕微	配合施工監測及調整施工步驟後，幾乎都可以注意到並加以控制者，辨識能力高的客戶才會感到不滿意的外觀等缺點	2
無效應	對後續製程或客戶無影響	1

表 4.3 發生度(O)評估標準表

發生頻率	評點基準	可能的失效機率	評點等級
非常高	發生次數非常高，失效狀況或缺點幾乎不可避免	發生機率 $\geq 1/2$	10
		發生機率約 $1/3$	9
高度的	發生次數高，根據以往經驗或資料顯示，此項缺失一直重複發生失效狀況	發生機率約 $1/8$	8
		發生機率約 $1/20$	7
中度的	發生次數中等，根據以往經驗或資料顯示，此項缺失偶爾發生失效狀況	發生機率約 $1/80$	6
		發生機率約 $1/400$	5
		發生機率約 $1/2000$	4
低度的	發生次數低，根據以往經驗或資料顯示，此項缺失較少發生失效狀況	發生機率約 $1/15000$	3
		發生機率約 $1/150000$	2
極低的	發生次數極低，幾乎不可能出現失效	發生機率 $\leq 1/150000$	1

表 4.4 難檢度(D)衡量標準表

檢測能力	檢測評點基準	評點等級
幾乎無法檢測出	現行的管制措施無法檢測發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失，或根本無任何管制措施	10
檢測出機會非常微小	現行的管制措施極少有機會檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	9
檢測出機會微小	現行的管制措施很少有機會檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	8
檢測出機會非常低	現行的管制措施只有非常低機會檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	7
檢測出機會低度	現行的管制措施有低度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	6
檢測出機會中等	現行的管制措施有中度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	5
檢測出機會中高度	現行的管制措施有中度至高度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	4
檢測出機會高度的	現行的管制措施有高度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	3
檢測出機會極高	現行的管制措施有極高可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	2
幾乎肯定	現行的管制措施幾乎一定可以檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	1

#### 4.1.5 失效模式風險指數分類

本研究經專家訪談及問卷後依據 FMEA 風險優先指數計算，獲得風險優先指數計算統計結果，於 0~50 為 69 項，50~100 為 90 項，100~150 為 47 項，150~200 為 24 項，200 以上 12 項，風險優先指數 RPN 統計分布如圖 4.2，

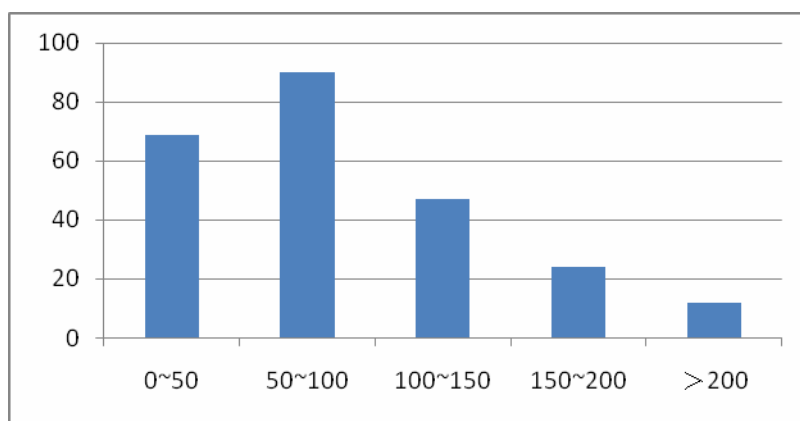


圖 4.2 風險優先指數 RPN 統計分布

考量失效模式或失效原因等項目為數眾多，就失效模式對單元式帷幕牆施工可能造成最壞潛在影響，進行優先改善分類，本研究風險因子或缺失達 242 項，擬採用五級分類，以明確分類需優先處置之項目，達成分層分級有效管理之目的，以鑑別其可能引致的失效程度，並作為改善工程之優先管制項目順序。以常態分配統計來說平均值與一個標準差約占總分佈 68.3%，平均值與二個標準差為 95.4%，平均值與三個標準差約佔 99.7%，依統計分布狀況將失效模式或失效原因之風險優先指數 RPN 大於 200 列為第 I 等級為總缺失項次之 5%，將失效模式或失效原因之嚴重度屬於高度的即評點等級 7 以上同時該缺失模式之風險優先指數 RPN 大於 125(以三項評點均為 5 計算)列為第 II 等級，將失效模式或失效原因之嚴重度評點等級 7 以上或該缺失模式風險優先指數 RPN 大於 125(以三項評點均為 5 計算)列為第 III 等級，前三等級缺失項次以佔總項次之 31.7%為分類原則，失效模式或失效原因之風險優先指數 RPN 界於 125 至 100 列為第 IV 等級，失效模式或失效原因之風險優先指數 RPN 小於 100 列為第 V 等級，分類等級如表 4.5 所示。

表 4.5 失效模式風險指數分類標準

分類等級	分類標準
I	風險優先指數 RPN>200
II	嚴重度>7 且 200>風險優先指數 RPN>125
III	嚴重度>7 或 200>風險優先指數 RPN>125
IV	125>風險優先指數 RPN>100
V	風險優先指數 RPN<100

## 4.2 單元式帷幕牆工程施工階段 FMEA 分析成果

本研究獲致結果如下：

- 1、參考內政部建築研究所編訂之金屬帷幕牆製造技術手冊及中華民國帷幕牆發展協會之施工管理要點，發出第一階段問卷予專家，經回收彙整成 242 項失效模式與原因，並據以擬定單元式帷幕牆之失效模式與效應分析表。
- 2、將第 1 項所擬定之單元式帷幕牆施工階段之 FMEA 分析表，轉化成 14 張表格、242 項之專家問卷(詳見附件一)發出第二階段問卷，其內容包括：
  - A. 研究目的概要說明
  - B. 單元式帷幕牆施工階段 FMEA 評估標準
  - C. FMEA 評估問卷表(包括：工廠製造階段、工地吊裝階段等共計 2 階段、13 項次、242 項)
- 3、經回收並計算專家問卷 FMEA 分析評點結果，可計算獲得各作業因子 FMEA 分析風險優先指數相對趨勢，其成果詳見表 4.6~4.10，相關之評析說明如后。

本研究經專家訪談及問卷後依據 FMEA 風險優先指數計算與分析，風險優先指數>125 且嚴重度>7(等級 III 以上)之項目應列為加強管控項目以為重點查核、解決、改善處理對象。經風險指數分類與分析結果等級 III 以上為加強管控項目共有 76 項，分別為等級 I 計有 12 項，等級 II 計有 14 項，等級 III 計有 50 項，相關統計分類如表，另等級 IV 計有 18 項及等級 V 計有 148 項，此部分可依既有品質管制之管制方法與查核頻率進行管理，本研究將不再詳加說明與探究。在風險優先指數



列為加強管制項目中，以工廠製造階段-(五)玻璃及石材安裝-玻璃之結構矽膠養生時間不足，矽膠黏著不良之 RPN 值最高=247.92，為本研究單元式帷幕牆工程整體中風險優先指數最高之作業項目。

列為加強管控項目即風險優先指數>125 或嚴重度>7 (等級Ⅲ以上)之項目，分別發生於下列作業項目：

- 1、工廠製造階段-(1)材料進場檢驗(計 19 項)
- 2、工廠製造階段-(3)框架組裝(計 2 項)
- 3、工廠製造階段-(4)背襯板安裝及防水施工(計 2 項)
- 4、工廠製造階段-(5)玻璃及石材安裝(計 9 項)
- 5、工廠製造階段-(6)包裝與運輸(計 2 項)
- 6、工地吊裝階段-(1)外牆結構測量(計 8 項)
- 7、工地吊裝階段-(2)預埋件施工(計 10 項)
- 8、工地吊裝階段-(3)二次件施工(計 13 項)
- 9、工地吊裝階段-(4)單元吊裝與調整(計 9 項)
- 10、工地吊裝階段-(5)版片擋塊安裝與接頭防漏施工(計 2 項)

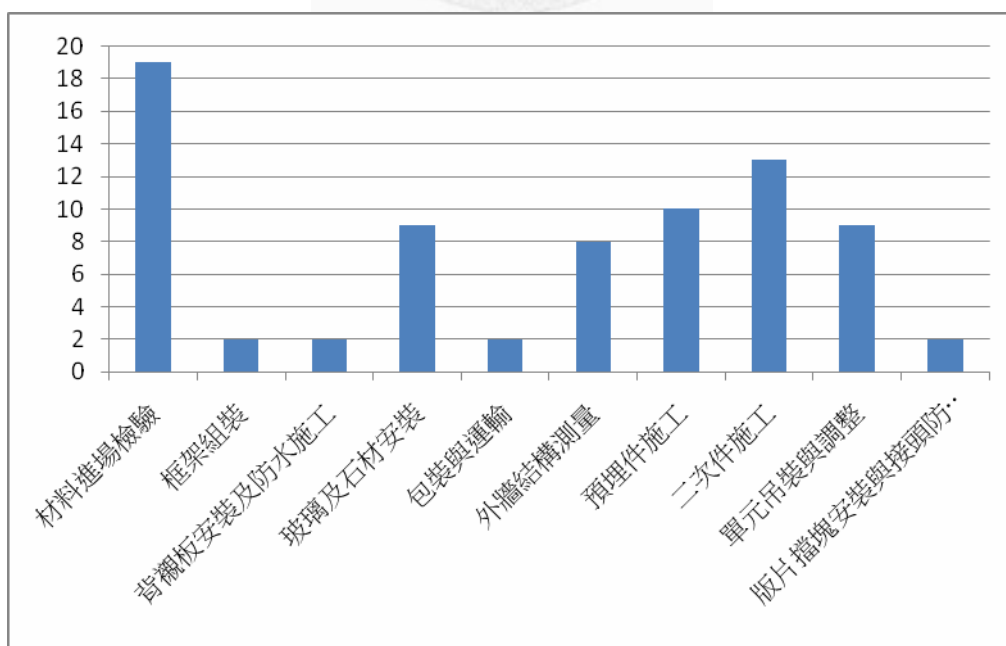


圖 4.3 加強管制項目分布圖

#### 4.2.1 等級 I 風險因子分析

依據 FMEA 風險優先指數計算與分析，風險優先指數 $>200$ 之項目列為等級 I 計有 12 項，為本研究施工階段中最高優先處置之項目，其分別發生於下列作業階段，等級 I 分類表詳如表 4.6：

- 1、工廠製造階段-(1)材料進場檢驗(計 1 項)，為強化玻璃無受外力時自爆：  
此項缺失之嚴重度平均值達到 8，難檢度平均值為 8、雖然發生度平均值為 3，但於材料進廠檢驗時幾乎從外觀檢查無法檢驗出來，對於有製造瑕疵之玻璃於安裝後何時會發生自爆現象幾乎無法預測，依相關規範要求材料製造商於玻璃生產後應進行玻璃熱浸(Heat Soak)處理，並須徹底處理以淘汰有瑕疵之玻璃材料。
- 2、工廠製造階段-(4)背襯板安裝及防水施工(計 1 項)，為背襯板矽膠施工養生時間不足黏著不良：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 5，難檢度平均值為 6.2，可見多數施作時均未注意矽膠之養生時間，在矽膠施工後須靜置養生，讓矽膠能充分硬化，而養生時間之長短需依原廠規格要求辦理，或於施工前針對矽膠進行養生時間之割膠試驗以確認使用之矽膠硬化最快之養生時間，否則養生時間不足矽膠黏著不良，將對單元水密性能將產生失敗狀況。
- 3、工廠製造階段-(5)玻璃及石材安裝(計 1 項)，為玻璃之結構矽膠養生時間不足，矽膠黏著不良：此項缺失之嚴重度平均值達到 8，發生度平均值為 5.2，難檢度平均值為 6.2，在單元玻璃帷幕牆施工時，玻璃均使用結構矽膠黏著於鋁框上，如有養生時間不足而搬運移動，將大大減低結構矽膠之強度及水密性能，所以在玻璃施打結構矽膠後須靜置養生，讓矽膠能充分硬化，而養生時間之長短需依原廠規格要求辦理，或於施工前針對

結構矽膠進行養生時間之割膠試驗以確認使用之矽膠硬化最快之養生時間，來達成玻璃結構矽膠之品質要求。

4、工地吊裝階段-(1)外牆結構測量(計 1 項)，為工地未統合使用單一基準樣線：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.2，發生度平均值為 5.4，難檢度平均值為 6，施工現場之基準樣線未能統合，將造成各工程界面無法整合與收尾，結構體、帷幕單元、機電系統、內部裝修等均會造成衝突，而帷幕工程進場時均需依總包規劃之基準樣線來進行測量與規劃，必要時互相檢核，以避免日後單元安裝時無法閉合及安裝困難。

5、工地吊裝階段-(2)預埋件施工(計 2 項)，分別為：

i. 預埋件鋼筋與樓板鋼筋產生衝突無法安裝：此項缺失之嚴重度平均值達到 5.4，發生度平均值為 7.2，難檢度平均值為 5.4，預埋件施工時，其鐵件長度，相關鋼筋錨定入結構體深度均經過結構計算，如與結構體鋼筋衝突時，而產生不必要切除或彎折，將大大降低其強度，進而影響帷幕單元與結構體之接合強度，所以相關配筋位置與高程均需先行規劃與溝通，以避免施作時缺失產生。

ii. 預埋件位置混凝土灌漿未填實產生蜂窩握裹強度不足：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.6，發生度平均值為 4.8，難檢度平均值為 6.6，預埋件配合結構體進行混凝土澆置，該部位如未確實搗實，其結構強度將不符原設計規劃，進而影響到帷幕牆體之結構安全，相關預埋件未至於進行混凝土澆置時，須確實搗實，同時依規範要求之查核頻率進行現場拉拔試驗以檢核強度是否符合設計要求。

6、工地吊裝階段-(3)二次件施工(計 5 項)，分別為：

i. 二次件圖面上所需之焊道無法施作：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 6.4，難檢度平均值為 4.6，二次鐵件以焊接固定於結構上，相關焊道長度均有結構強度之要求，現場焊道無法施作，

將造成結構強度不足，單元安裝後強度不符之狀況，現場施工單位必須事先確認施工圖說上施作工法及順序為可行，相關問題必須事前即時反應與設計單位，避免現場焊道無法施作狀況發生。

- ii. 二次件安裝進出左右與高程基準線不符：此項缺失之嚴重度平均值達到 5.6，發生度平均值為 6，難檢度平均值為 6.8，二次件的安裝是帷幕牆單元與結構體接合之連接繫件，其安裝與調整必須能吸收結構體之精度誤差，才能使單元安裝至定位，所以二次件相關進出左右以及高程必須依相關基準線施作安裝，因於外牆施工，具有相當的危險性，間接使得此項缺失發生度頗高，以及難檢度達到 6.8，必須確實加強施工品質管制，確實查核二次件施施工無誤，避免單元安裝時無法符合精度要求。
- iii. 二次件焊接品質不良：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 6.4，難檢度平均值為 5.4，二次件為結構體與帷幕牆單元接合之連接繫件，其施工焊接品質不良，將直接影響結構強度，影響公共安全，所以焊接品質的掌握，必須符合焊接程序書以及進行焊道第三者非破壞檢測，包含超音波檢測(UT)或是磁粉探傷檢測(MT)，以確保相關焊接品質避免不良產生。
- iv. 二次件加工誤差無法安裝定位：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.6，發生度平均值為 6.4，難檢度平均值為 4.2，發生此項缺失其嚴重度達到高度的 7.6，二次件的加工誤差往往造成現場無法安裝，同時造成帷幕單元無法安裝定位，不僅造成工期延誤，甚而造成單元安裝衝突及施工結構安全問題，且依發生度平均值來看，此缺失經常發生，必須加強二次件加工製品的品質管制，同時首件生產時必須確實核對相關精度與誤差應符合規範要求，以期符合設計規劃之原意。

v. 二次件與現場鋼構衝突無法安裝：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.4，發生度平均值為 6.4，難檢度平均值為 4.6，二次件與現場結構鋼構產生衝突，是嚴重且不允許的，帷幕單元依靠二次件固定於結構體上，所以二次件於規劃階段時必須套繪入結構圖中，如施工階段發生二次件與結構體衝突無法安裝，必須確實重新核對施工程序與位置是否符合相關施工圖面並回饋設計單位檢討相關圖說，以提出圖說澄清與必須之修正方案。

7、工地吊裝階段-(4)單元吊裝與調整(計 1 項)，為二次件安裝螺帽未鎖緊產生滑動：此項缺失之嚴重度平均值達到 5.6，發生度平均值為 6.4，難檢度平均值為 6.8，此項缺失發生度及難檢度較高，在帷幕單元吊裝施工中，二次件的安裝固定必須確實進行，缺失發生時，除單元產生動位移，將產生工安意外，至是發生嚴重後果，必須於施工階段逐一查核以確保相關固定繫件及螺栓固定確實，並依相關自主查核作成紀錄。

在等級 I 之風險因子中，以工地吊裝階段之二次件施工有 5 項最多，可見工地施工階段中二次件施工其對於系統影響程度最大，包含二次件施工位置精度，相關焊接品質以及介面整合，均為高度風險之施作因子，應列為加強管控項目並為重點查核、解決、改善處理對象，由於在工廠製造階段，其品質均較工地現場施工容易控制，在等級 I 風險因子 12 項中佔了 3 項，除一項為玻璃材料進廠檢驗外，其餘二項均與矽膠施打養生有關，此部分如未能加強管控，將造成帷幕單元水密與氣密性能上的缺失，進而造成帷幕系統上重大的缺失與功能性的失效，所以必須為重點查核、解決、改善處理對象。

表 4.6 優先指數分類等級(I)

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
124	玻璃之結構矽膠養生時間不足，矽膠黏著不良	8	5.2	6.2	257.92	I
192	二次件安裝螺帽未鎖緊產生滑動	5.6	6.4	6.8	243.71	I
185	二次件焊接品質不良	7	6.4	5.4	241.92	I
176	預埋件位置混凝土灌漿未填實產生蜂窩握裹強度不足	7.6	4.8	6.6	240.77	I
165	工地未統合使用單一基準樣線	7.2	5.4	6	233.28	I
184	二次件安裝進出左右與高程基準線不符。	5.6	6	6.8	228.48	I
187	二次件與現場鋼構衝突無法安裝	7.4	6.4	4.6	217.86	I
116	背襯板矽膠施工養生時間不足黏著不良	7	5	6.2	217.00	I
168	預埋件鋼筋與樓板鋼筋產生衝突無法安裝	5.4	7.2	5.4	209.95	I
28	強化玻璃無受外力時自爆	8.6	3	8	206.40	I
179	二次件圖面上所需之焊道無法施作	7	6.4	4.6	206.08	I
186	二次件加工誤差無法安裝定位	7.6	6.4	4.2	204.29	I

## 4.2.2 等級Ⅱ風險因子分析

依據 FMEA 風險優先指數計算與分析，風險優先指數小於 200 大於 125 且嚴重度大於 7 以上(包含 7)之項目列為等級Ⅱ計有 14 項，為本研究施工階段中優先處置之項目，其分別發生於下列作業階段，等級Ⅱ分類表詳如表 4.7:

1、工廠製造階段-(1)材料進場檢驗(計 2 項)，分別為

- i. 矽膠儲置溫濕度不正確：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.2，發生度平均值為 4，難檢度平均值為 6，台灣夏天氣候炎熱，而目前市場上的結構矽膠多為脫醇固化反應配方，材料特性容易受儲存溫度影響，材料供應商運送至工廠及工地後材料儲放是否適當。依據材料上標示的有效期限來判斷材料新鮮與否會被誤導，因為儲放在高溫環境時的脫醇固化反應材料特性會嚴重劣化，有效期限會明顯縮短(原本 12 月有效期可能只剩 2-3 月)，此時不良矽膠進行施打將影響品質，所以矽膠應設專門倉庫儲放，並配合溫濕度控制，矽膠施作前應進行蝴蝶、拉斷及蛇行測試以確認品質符合原廠要求。
- ii. 石材厚度及尺寸錯誤：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.4，發生度平均值為 5，難檢度平均值為 3.4，石材厚度及尺寸應設計規範與外牆分割尺寸要求以及相關結構計算設計，因外牆如採用石材，因自重關係與結構強度需求，相關固定件尺寸與石材厚度及大小尺寸息息相關，如加工尺寸錯誤，厚度未達需求，將無法進行安裝，嚴重影響工期進度，所以石材進場時應確認所有尺寸符合施工圖說需求。

2、工廠製造階段-(3)框架組裝(計 2 項)，分別為：

- i. 固定螺絲使用錯誤，螺絲型號錯誤：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.2，發生度平均值為 4.6，難檢度平均值為 4.6，框架組裝時利用螺絲固定，相關螺絲提供強度及連接固定功能，錯誤使用螺絲除外觀不符

之外，接合強度、密合度將大幅折減，此缺失應加強區分與教育訓練，以避免缺失發生。

- ii. 矽膠(含結構膠)施打深度或寬度不足：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.6，發生度平均值為 4.8，難檢度平均值為 5，玻璃利用結構矽膠固定於窗框，相關施打深度及寬度均經結構計算檢核，施工時如施打不足，將危及整個玻璃單元結構安全性，若受風力或地震力侵襲，恐將無法承受，所以必須符合設計結構計算之矽膠施打深度及厚度，同時配合加強品管檢驗進行查核。

### 3、工廠製造階段-(5)玻璃及石材安裝(計 3 項)，分別為：

- i. 水槽排水孔阻塞：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 5，難檢度平均值為 4.6，帷幕牆單元系統設計二道防水線及內部水槽，以排除進入單元之外來水，防止外側水進入室內，產生漏水現象，水槽之排水孔必須保持通暢，以利排水，在施工中必須確認水槽排水孔不受異物阻塞，避免單元產生系統性的失效。
- ii. 玻璃內外側(正反面)安裝錯誤：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 3.8，難檢度平均值為 5，近年配合節能減碳大量採用複層鍍膜玻璃，依照台灣亞熱帶氣候防止外側陽光紫外線進入室內，採用鍍膜層施作於第 2 層之複層玻璃，內外側安裝錯誤，將無法杜絕紫外線進入室內，同時內部空調將無法達到應有效率，如此在玻璃進場時要求材料商必須確實標明內外側，玻璃安裝時必須確認內外側，並安裝無誤，出廠前須經過全面品檢查核無誤方得出廠。
- iii. 玻璃矽膠施打型號錯誤不符設計圖說要求：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.4，發生度平均值為 3.8，難檢度平均值為 5.4，玻璃與矽膠使用上須能符合實際需求與結構要求，同時相關矽膠搭配使用亦須確認相容性問題，在實際使用上結構強度需求部位須使用結構型矽膠，防水



需求部位採用防水型矽膠，不僅材料成本差異大，功能亦有不同之處，施打後查核不易，所以施打矽膠型號應符合設計施工圖上需求，施工階段相關矽膠領用必須確認查核，施工中加強品管查核與紀錄。

4、工地吊裝階段-(1)外牆結構測量(計 2 項)，分別為：

- i. 結構體樓板高層與圖面不符，超過公差範圍：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.8，發生度平均值為 5.2，難檢度平均值為 4.4，發生此項缺失將嚴重影響相關預埋件施工及帷幕單元安裝，施工中各相關承攬商必須依核准設計圖說及施工規範進行，相關施工精度必須獲得控制在公差範圍，如有結構體高程誤差過大，於測量過程中確實丈量，並反映設計單位與結構包商，研討改善措施，修正公差過大之結構部位或修改帷幕牆相關固定方式，以符合外觀分割與結構安全。
- ii. 高程放樣與基準點不符：此項缺失之嚴重度平均值達到 7.6，發生度平均值為 5，難檢度平均值為 5，結構外牆進行測量放樣時，必須統一相關基準線，後續單元高程及固定件施工均依照測量放樣成果進行施作，該項缺失發生時，將產生固定繫件位置錯誤，帷幕單元無法安裝，修改將曠日廢時，所以在進行結構體測量放樣時，相關高程進出尺寸必須使用統一測量基準點，同時進行複測以檢核樣線閉合狀況，避免缺失發生。

5、工地吊裝階段-(2)預埋件施工(計 2 項)，分別為：

- i. 預埋件型式施做錯誤未依圖施作：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 5.6，難檢度平均值為 4，預埋件型式均依結構部位需求以及及構計算發展而來，施作人員必須依圖說規定位置與型式進行安裝施工，如預埋件型式安裝錯誤，將造成帷幕單元無法安裝，同時結構強度亦無法達到需求，而影響到系統結構安全，必須確實進行查核，以避免誤用。

ii. 預埋件固定點銲接位置不正確：此項缺失之嚴重度平均值達到 7，發生度平均值為 6.8，難檢度平均值為 4，所有預埋件提供帷幕牆單元與結構體接合部位，除固定單元外亦提供接合強度，所以相關預埋件均經過結構計算，而預埋件固定焊接位置亦有所規定與要求，焊接位置錯誤將不能提供所需結構強度，甚至相關結構行為與受力不盡相同，此缺失將嚴重影響系統安全，施工時必須加強確實查核，同時焊道品質業須由第三者非破壞檢測來進行，以確保預埋件施工品質。

6、工地吊裝階段-(3)二次件施工(計 3 項)，分別為，二次件安裝時尺寸調整超過容許值，此項缺失之嚴重度平均值達到 7.8，發生度平均值為 5.6，難檢度平均值為 4.2；二次件安裝高程計算尺寸錯誤，此項缺失之嚴重度平均值達到 7.2，發生度平均值為 3.4，難檢度平均值為 6.4；二次件安裝螺栓型式材質錯誤，此項缺失之嚴重度平均值達到 7.8，發生度平均值為 3.8，難檢度平均值為 4.4，這三項缺失其嚴重度均達高度嚴重度，產生缺失時將無法進行單元吊裝施工，在二次件施工安裝尺寸必須符合精度公差範圍，安裝高程必須符合圖說要求，以及螺栓型式避免誤用，在施工時必須加強施工查核防止缺失發生。

表 4.7 優先指數分類等級(II)

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
173	預埋件固定點銲接位置 不正確	7	6.8	4	190.40	II
158	高程放樣與基準點不符	7.6	5	5	190.00	II
178	二次件安裝時尺寸調整 超過容許值	7.8	5.6	4.2	183.46	II
99	矽膠(含結構膠)施打深 度或寬度不足	7.6	4.8	5	182.40	II
155	結構體樓板高層與圖面 不符，超過公差範圍	7.8	5.2	4.4	178.46	II
14	矽膠儲置溫濕度不正確	7.2	4	6	172.80	II
130	水槽排水孔阻塞	7	5	4.6	161.00	II
170	預埋件型式施做錯誤未 依圖施作	7	5.6	4	156.80	II
189	二次件安裝高程計算尺 寸錯誤	7.2	3.4	6.4	156.67	II
89	固定螺絲使用錯誤、螺 絲型號錯誤	7.2	4.6	4.6	152.35	II
135	玻璃矽膠施打型號錯誤 不符設計圖說要求	7.4	3.8	5.4	151.85	II
131	玻璃內外側(正反面)安 裝錯誤	7	3.8	5	133.00	II
190	二次件安裝螺栓型式材 質錯誤	7.8	3.8	4.4	130.42	II
36	石材厚度及尺寸錯誤	7.4	5	3.4	125.80	II

### 4.2.3 等級Ⅲ風險因子分析

依據 FMEA 風險優先指數計算與分析，風險優先指數小於 200 大於 125 或嚴重度大於 7 以上(包含 7)之項目列為等級Ⅲ計有 50 項，為本研究施工階段中優先處置之項目，其分別發生於下列作業階段，等級Ⅲ分類表詳如表 4.8：

- 1、工廠製造階段-(1)材料進場檢驗(計 16 項)，分別為複層玻璃封膠型號錯誤、玻璃材料翹曲、玻璃鍍膜及顏色不符合簽認之色板要求有色差、鋁擠型材料不平整翹曲、玻璃材料光學數據與原廠送審型錄不符、鐵件焊道長度不足焊道不良、石材強度與設計值不符、鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求、雙液結構矽膠的蝴蝶、拉斷、蛇行(snake)及黏著試驗不符規範、石材擴孔螺絲孔徑錯誤、複層玻璃之密封層漏氣內部結露、鋁擠型合金錯誤其化性不符規範要求、複層玻璃中空層矽膠寬度不足、玻璃厚度不符合圖說要求、鋁擠型斷面不符等，此作業項目為等級Ⅲ項目最多，合併 I、II 等級，亦多達 19 項，可看出相關材料進場時必須逐一查核檢驗，避免施工階段因材料缺失或缺陷，造成生產製造之延遲，亦或是對單元強度的折減，造成帷幕牆系統上的失效，而產生成本、工期、甚至安全上的損失。
- 2、工廠製造階段-(4)背襯板安裝及防水施工(計 1 項)為清接溶劑使用錯誤，此類缺失影響矽膠施打之相容性，未能清潔或使用不符之清潔溶劑，造成矽膠黏著不良，產生水密及氣密不佳而漏水，必須確實使用合格清潔溶劑，並通過水密性試驗，來確保矽膠施打完整性。
- 3、工廠製造階段-(5)玻璃及石材安裝(計 5 項)，分別為石材安裝進出面尺寸錯誤公差過大、玻璃安裝未先清潔擦拭乾淨矽膠黏著不良、石材安裝後相鄰石材有色差裁切前無做大板顏色計畫、玻璃嵌合溝槽尺寸錯誤淨空間不足、玻璃安裝膠條固定不牢固，材料組裝階段，必須確實依相關施工步驟及品管措施來進行，以符合相關規範上精度要求，並製造出合格產品，若

產生不良率過多，必須進行相關防治措施或製程改善，事前進行相關圖面檢討，以減少缺失項目的發生，控制缺失一再發生的風險。

- 4、工廠製造階段-(6)包裝與運輸(計 2 項)，分別為運輸時玻璃或石材移位造成損壞、貨架結構強度不足運輸時塌陷造成單元損壞，運輸過程中所需強調的是固定牢固，並準確無誤的運送到目的地，所使用的貨架及固定配件，必須考量貨物特性，玻璃單元及石材必須有相關保護措施，避免貨運過程中產生損壞。
- 5、工地吊裝階段-(1)外牆結構測量(計 5 項)，分別為基準樣線對角線未閉合、樓板邊樑位置與圖面不吻合、基準放樣錯誤，產生施做位置錯誤(高層及進出)、樓板邊樑尺寸與圖面不吻合、依結構工程基準點放樣帷幕工程無法閉合等，結構體於施工時進行測量放樣，相關基準線與基準點必須依循統一規定，並依施工規範與施工計畫書來進行，相關結構於施工圖繪製時確實套繪，避免遺漏與不吻合現象發生。
- 6、工地吊裝階段-(2)預埋件施工(計 6 項)，分別為預埋件固定點焊接品質不良、預埋件位置與實際結構體衝突無法安裝、RC 結構預埋件安裝固定不良混凝土澆置時產生位移、預埋件周遭配筋不足夠、預埋件安裝誤差、預埋件安裝位置錯誤與圖面不符等，相關預埋件施工必須確實依相關施工步驟及品管措施來進行，以符合相關規範上精度要求，避免誤差產生，試前確實檢討圖面並與現場核對，與結構產生衝突時，回饋予設計單位修正並進行檢討改善。
- 7、工地吊裝階段-(3)二次件施工(計 5 項)，分別為二次件安裝鋸齒狀華司未完整卡合、二次件安裝基準樣線尺寸引用錯誤、二次件未依樣線位置固定、二次件相關配件遺漏未安裝、二次件型式安裝錯誤等，必須確實依相關施工步驟及品管措施來進行，以符合相關規範上精度要求，須要求施工

及品管人員確實查核，避免錯誤與誤用，如發生率過高，必須進行施工人員教育訓練，以及進行施工法的修正，加強預防措施避免缺失一再發生。

8、工地吊裝階段-(4)單元吊裝與調整(計 8 項)，分別為單元高程安裝誤差過大、單元吊裝時固定點不牢固產生滑動、固定螺帽未鎖緊單元滑動、單元二次件調整量無法吸收誤差值、鋸齒狀華司是無完整卡合、定位螺絲或固定件漏裝、單元間直料(公母料)未卡裝確實、單元吊裝時固定點不牢固單元墜落等，此施工階段，最容易發生工安意外，在吊裝過程中相關固定配件，必須依作業規則與勞安規定來進行，安裝精度與工程品質、時程安排與各項配合作業之管控。

9、工地吊裝階段-(5)版片擋塊安裝與接頭防漏施工(計 2 項)，分別為水槽內螺絲遺漏未施打矽膠、水槽料灌水後有水滲入室內側等，帷幕牆系統設計相關排水系統與防水機制，相關水槽螺栓施工處必須進行防水矽膠施打，於施打後必須逐一進行水密性試水，以確保防水功能正常，在進行試水時亦可檢視相關排水功能，而施工及品檢人員亦需依照施工規範及計劃來進行相關施工與檢核作業，以降低缺失發生。

表 4.8 優先指數分類等級(III)

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
207	單元高程安裝誤差過大	5.8	6.4	5.2	193.02	III
140	玻璃安裝膠條固定不牢固	5.6	5.4	5.6	169.34	III
175	預埋件固定點焊接品質不良	6.2	4.8	5.6	166.66	III
164	基準樣線對角線未閉合	6.2	4.4	6	163.68	III
128	石材安裝進出面尺寸錯誤，公差過大	5.2	5.8	5.4	162.86	III
193	單元吊裝時固定點不牢固產生滑動	6.6	5.8	4.2	160.78	III
171	預埋件位置與實際結構體衝突無法安裝	6.6	6.4	3.8	160.51	III
122	清接溶劑使用錯誤	5.8	4.6	6	160.08	III
146	運輸時玻璃或石材移位造成損壞	6.4	6.2	4	158.72	III
172	RC 結構預埋件安裝固定不良混凝土澆置時產生位移	5.2	6.6	4.6	157.87	III
200	固定螺帽未鎖緊單元滑動	5.2	5.6	5.4	157.25	III
191	二次件安裝鋸齒狀華司未完整卡合	5.2	6.8	4.4	155.58	III
169	預埋件周遭配筋不足夠	6	5.8	4.4	153.12	III
188	二次件安裝基準樣線尺寸引用錯誤	6.2	4	6	148.80	III
134	玻璃安裝未先清潔擦拭乾淨，矽膠黏著不良	6.8	4.2	5.2	148.51	III
197	單元二次件調整量無法吸收誤差值	4.8	6.6	4.6	145.73	III
199	鋸齒狀華司是無完整卡合	5.4	6.4	4.2	145.15	III

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
157	樓板邊樑位置與圖面不吻合	6.8	4.4	4.8	143.62	III
18	複層玻璃封膠型號錯誤	6.8	3.6	5.8	141.98	III
182	二次件未依樣線位置固定	5.2	5.2	5.2	140.61	III
212	水槽內螺絲遺漏未施打矽膠	5.6	5	5	140.00	III
174	預埋件安裝誤差	4.8	6	4.8	138.24	III
141	石材安裝後相鄰石材有色差，裁切前無做大板顏色計畫	5.4	5.8	4.4	137.81	III
198	定位螺絲或固定件漏裝	5.8	5.6	4.2	136.42	III
167	預埋件安裝位置錯誤與圖面不符	6.4	6.4	3.2	131.07	III
26	玻璃材料翹曲	5.6	4	5.8	129.92	III
22	玻璃鍍膜及顏色不符合簽認之色板要求，有色差	4.6	4.4	6.4	129.54	III
149	貨架結構強度不足運輸時塌陷造成單元損壞	6.8	5	3.8	129.20	III
5	鋁擠型材料不平整翹曲	4.8	4.6	5.8	128.06	III
25	玻璃材料光學數據與原廠送審型錄不符	6	3.8	5.6	127.68	III
166	基準放樣錯誤，產生施做位置錯誤(高層及進出)	6.6	3.8	5	125.40	III
180	二次件相關配件遺漏未安裝	7.2	6	2.8	120.96	III
10	鐵件焊道長度不足，焊道不良	7.6	6	2.6	118.56	III
45	石材強度與設計值不符	8.2	4.8	3	118.08	III



編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
3	鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求	8.6	4.8	2.8	115.58	III
181	二次件型式安裝錯誤	7.2	4.4	3.6	114.05	III
123	玻璃嵌合溝槽尺寸錯誤，淨空間不足	7	3.2	5	112.00	III
156	樓板邊樑尺寸與圖面不吻合	7	3	4.8	100.80	III
15	雙液結構矽膠的蝴蝶，拉斷，蛇行(snake)及黏著試驗不符規範	7.8	4.6	2.8	100.46	III
159	依結構工程基準點放樣帷幕工程無法閉合	8.4	2.8	4.2	98.78	III
38	石材擴孔螺絲孔徑錯誤	8	3.6	3.4	97.92	III
213	水槽料灌水後有水滲入室內側	7.6	4	3.2	97.28	III
24	複層玻璃之密封層漏氣內部結露	7.4	3	4.2	93.24	III
1	鋁擠型合金錯誤，化性不符規範要求	7.6	3.8	2.8	80.86	III
203	單元間直料(公母料)未卡裝確實	7.2	3.4	3	73.44	III
27	複層玻璃中空層矽膠寬度不足	7	2.6	4	72.80	III
195	單元吊裝時固定點不牢固單元墜落	8.2	3	2.8	68.88	III
21	玻璃厚度不符合圖說要求	7.8	2.6	3.2	64.90	III
39	擴孔螺絲數量及尺寸錯誤	7.8	3	2.6	60.84	III
4	鋁擠型斷面不符	7.4	3.2	1.8	42.62	III

表 4.9 優先指數分類等級(IV)

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
32	膠合玻璃膠合處剝離水 氣滲透入內	6.4	4.6	4.2	123.65	IV
93	直橫框料鎖螺絲前螺孔 矽膠塗佈不良	6	4.4	4.6	121.44	IV
121	背襯板固定螺絲無預塗 矽膠，造成氣密及水密 不良	6	3.6	5.6	120.96	IV
154	結構體外圍尺寸誤差值 已超過帷幕安裝容許誤 差	6.6	4.8	3.8	120.38	IV
40	石材顏色及紋路與簽認 之樣板不符	4.8	5.4	4.6	119.23	IV
110	表面、矽膠黏著不良	6	3.8	5.2	118.56	IV
150	材料及裝貨架未設置合 適之墊材造成單元表面 磨損	5.2	5.4	4.2	117.94	IV
136	玻璃矽膠施打深度(bit) 不足	6.6	3.4	5.2	116.69	IV
138	石材表面矽膠汙染	5	5.4	4.2	113.40	IV
206	單元水平縫不正確。	4.8	6	3.8	109.44	IV
204	樑下繫件 kicker 無法全 扣入。	4.8	5.4	4.2	108.86	IV
143	單元框邊角未有保護墊 材造成碰撞損壞	6	5.8	3	104.40	IV
37	石材拋溝尺寸錯誤	6.2	4	4.2	104.16	IV
6	鋁擠型材料伸長率不足	5.4	4.8	4	103.68	IV
137	石材安裝工序錯誤造成 石材成品紋理龜裂破損	4.8	6	3.6	103.68	IV
160	測量誤差過大	5.4	3.4	5.6	102.82	IV

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
109	背襯板施打防水矽膠前 無清潔	5.2	3.6	5.4	101.09	IV
216	單元間檔塊接頭之防水 矽膠漏作	6.4	4.6	3.4	100.10	IV
12	鐵材之外觀尺寸不符合 圖說要求	6.6	5	3	99.00	IV
96	螺絲漏鎖	6.6	4	3.6	95.04	IV
97	組裝前後防水膠漏做	6.4	3.2	4.6	94.21	IV
125	溝槽內有異物、未清潔	6	3.8	3.8	86.64	IV
210	水槽內防水填縫未依圖 施做漏作	6	3.8	3.8	86.64	IV
76	石材固定件孔深錯誤	6.4	3.2	4.2	86.02	IV
177	樑下固定件位置未補強	6.8	4.8	2.6	84.86	IV
2	鋁擠型斷面精度不良， 公母模無法卡合	6.8	3.8	3.2	82.69	IV
103	鋁料配件安裝位置錯誤	6.2	3.6	3.6	80.35	IV
223	柱位處層間塞無連續漏 作	6.4	3.4	3.4	73.98	IV
98	矽膠(含結構膠)施做面 表面未清潔	6	3.2	3.8	72.96	IV
87	不同材料間未放置絕緣 片，造成電位差(腐蝕) 現象	6.2	4.4	2.6	70.93	IV
126	石材安裝位置錯誤	6.2	4.4	2.6	70.93	IV
202	單元掛件與二次件未確 實結合卡合	6.8	4	2.6	70.72	IV
54	膠條及墊塊認材料與相 鄰矽膠不相容	6	2.4	4.8	69.12	IV
108	背襯板固定螺絲漏鎖	6	4	2.8	67.20	IV

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
30	複層玻璃封邊膠施做不完全	6.2	3.6	3	66.96	IV
42	石材龜裂翹曲	6	3	3.6	64.80	IV
31	複層玻璃封邊膠與矽膠不相容	6.4	2	5	64.00	IV
16	矽膠與裝配材料(膠條、墊塊)不相容	6.2	3.2	3	59.52	IV
227	阻煙劑與單元及結構體間有破孔未呈密封狀態	6.2	4	2.4	59.52	IV
19	玻璃邊角破損或龜裂	6	3.8	2.6	59.28	IV
29	與擠型料間距空間不足，導致玻璃擠壓破裂	6.6	2.6	3.4	58.34	IV
75	石材固定件孔位錯誤	6.2	3.6	2.6	58.03	IV
7	鋁板材料厚度錯誤	6	3	3.2	57.60	IV
228	岩棉及阻煙劑材料未符合圖說要求	6.4	2.8	3.2	57.34	IV
85	組裝時未依施工圖施打防水矽膠	6.8	2.8	3	57.12	IV
148	裝貨架缺損在運輸過程造成單元損壞	6	3.4	2.8	57.12	IV
226	阻煙劑塗佈與結構體搭接不足	6	4	2.2	52.80	IV
88	框架組立材料表面塗裝顏色有色差	6	2.6	3.2	49.92	IV
8	鋁板材料合金成分錯誤	6.8	2.8	2.6	49.50	IV
101	單元膠條漏裝	6.4	2.2	3	42.24	IV
17	玻璃尺寸錯誤與圖面不符	6.2	3	2	37.20	IV
232	層間塞漏做	6.6	3	1.8	35.64	IV

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
229	層間塞厚度不足。	6.4	2.4	1.8	27.65	IV
234	阻煙膠漏做	6.8	1.8	1.8	22.03	IV

表 4.10 優先指數分類等級(V)

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
145	單元下端若有面材外露 未保護造成汙損	5.2	4.8	4	99.84	V
9	鋁板材料不平整翹曲	4.4	4.6	4.8	97.15	V
163	基準樣線誤差過大	5.8	3.8	4.4	96.98	V
142	石材表面防護劑處理漏 作	5	3.8	5	95.00	V
55	表面塗裝膜厚不足	5.6	3.8	4.4	93.63	V
104	鋁料配件安裝型式錯誤	5.8	4	4	92.80	V
46	石材防護劑施做不完全 或錯誤	5	4	4.6	92.00	V
214	水槽料排水路徑不順暢 產生積水	5.6	3.6	4.4	88.70	V
84	加工孔徑錯誤過大或小	4.8	4.2	4.4	88.70	V
132	石材安裝紋理方向錯誤	5	4.6	3.8	87.40	V
209	擋塊固定螺絲未固定	5.4	5	3.2	86.40	V
127	石材安裝分割縫尺寸錯 誤，公差過大	4.8	6.2	2.8	83.33	V
20	玻璃內有氣泡	5.2	3.2	5	83.20	V
69	裁切角度錯誤公差過大	4.2	5.2	3.8	82.99	V

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
144	易汙染或刮傷之面材表面未設保護膜、造成汙損	5.2	6	2.6	81.12	V
78	石材面固定件用膨脹螺栓不符規定	5.8	2.8	4.8	77.95	V
194	吊裝時單元重心不穩固產生傾斜	5.6	4.6	3	77.28	V
53	膠條壓縮量不足	4.6	4.2	4	77.28	V
73	材料方向性錯誤	5.6	3.4	4	76.16	V
72	加工開口(孔)位置與配件開口(孔)不吻合	5.2	4	3.6	74.88	V
51	膠條密合度不足	4.4	4.4	3.8	73.57	V
74	材料加工後變形平整度不良公差過大	5.4	4	3.4	73.44	V
86	工序錯誤造成後續組件無法安裝	5.6	3.4	3.8	72.35	V
161	工地現狀不利測量	3.8	3.8	5	72.20	V
183	二次件與預埋件間未裝置絕緣片隔離，產生材料電位差(腐蝕)現象	4	6.8	2.6	70.72	V
147	單元運輸架與貨車未固定牢固造成損壞	5.8	3.8	3.2	70.53	V
43	石材黑白疤斑點太多	4.2	4.6	3.6	69.55	V
205	單元無法對縫。	4.4	5.6	2.8	68.99	V
68	裁切長度錯誤公差過大	4.8	4.2	3.4	68.54	V
119	填縫不確實	5.8	4.2	2.8	68.21	V
208	版片檔塊固定前水槽未清乾淨	5	5.6	2.4	67.20	V

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
60	表面塗裝附著不均勻有色差	5.6	3	4	67.20	V
94	鋁擠型表面清潔不良汙損	5.8	3.6	3.2	66.82	V
129	玻璃型號規格安裝錯誤	5.8	3.2	3.6	66.82	V
58	表面塗裝附著不完全剝離	4.4	3.6	4.2	66.53	V
139	玻璃安裝膠條規格錯誤	5.4	3.4	3.6	66.10	V
219	水槽試水後排水孔臨時蓋板未拆除造成無法排水	5.6	4.2	2.8	65.86	V
120	背襯板表面清潔	4.4	4.8	3	63.36	V
80	墊塊及膠條轉角處無熔接	3.6	4.8	3.6	62.21	V
82	鋁板彎折公差過大	4.2	3.2	4.6	61.82	V
151	單元運送台車堆置及固定方不當	4.8	4	3.2	61.44	V
117	背襯板固定矽膠施作深度不足	5.4	2.8	4	60.48	V
105	背襯板固定螺絲規格錯誤	5.8	2.8	3.6	58.46	V
118	背襯板固定連接轉角矽膠防水	5.4	3	3.6	58.32	V
218	單元套筒防層間變位擋塊未裝套筒防水膠施作不良	5.8	5	2	58.00	V
162	基準點通視不良	3.4	5.2	3.2	56.58	V
211	庇水板未安裝	4.8	4.2	2.8	56.45	V
220	單元間檔塊位置與水槽排水孔衝突無法排水	5.2	3.8	2.8	55.33	V

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
23	玻璃之室內/外側無明顯之標籤說明	4.4	4.4	2.8	54.21	V
107	背襯板固定螺絲間距錯誤	5	3	3.4	51.00	V
77	石材刨溝長度及深度錯誤	4.4	3.2	3.6	50.69	V
70	螺絲孔位錯誤	4.8	4.2	2.4	48.38	V
215	單元間之檔塊規格錯誤無法安裝	4.8	4.2	2.4	48.38	V
13	矽膠保存期限已過	5.8	3.2	2.6	48.26	V
49	墊塊安裝位置及數量錯誤	4	4	3	48.00	V
47	墊塊材質錯誤	3.8	3	4.2	47.88	V
236	割膠紙時傷及膠條及烤漆	4.8	3.8	2.6	47.42	V
64	耐化學性、耐腐蝕性不符未通過測試	5.6	2.6	3.2	46.59	V
225	岩棉壓縮量不確實	5.2	2.8	3.2	46.59	V
35	石材邊角破損或龜裂	4	6.4	1.8	46.08	V
81	裁切與塗裝順序錯誤，造成加工後表面無塗裝	4.8	4	2.4	46.08	V
217	單元套筒型號尺寸不符	5.4	3.8	2.2	45.14	V
238	清潔時使用之清潔劑錯誤造成表面腐蝕損壞	4.4	3	3.4	44.88	V
222	層間塞安裝固定不牢固掉落	5	3.4	2.6	44.20	V
65	耐磨耗性不符未通過測試	4.6	3	3.2	44.16	V
241	清洗玻璃時刮損玻璃	4.6	3	3.2	44.16	V



編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
79	墊塊及膠條長度錯誤	3.8	2.6	4.4	43.47	V
11	鐵材表面處理錯誤	4.6	4.2	2.2	42.50	V
221	層間塞固定片未依圖安裝	4	4.4	2.4	42.24	V
59	表面塗裝起泡	5.4	2.6	3	42.12	V
100	矽膠(含結構膠)施打外觀不良	4	4	2.6	41.60	V
114	背襯板厚度錯誤	4.6	2.8	3.2	41.22	V
48	墊塊硬度與規定不符	3.6	3	3.8	41.04	V
34	複層玻璃內層汙損未清潔	4.2	2.2	4.4	40.66	V
44	石材型號/種類錯誤	4.2	3	3.2	40.32	V
133	玻璃安裝玻璃墊塊放置不符圖說數量及位置	4	3.6	2.8	40.32	V
95	鋁板(或鐵板)表面清潔不良汙損	4.2	3.4	2.8	39.98	V
152	單元過大過長過高運輸車台無法裝設固定	5.2	3.8	2	39.52	V
242	清洗時造成石材表面汙染	4.4	2.8	3.2	39.42	V
61	表面塗裝產生波紋垂流現象	4.6	3.2	2.6	38.27	V
57	表面塗裝顏色不符合簽認之色樣要求	5.2	2.6	2.8	37.86	V
90	單元寬度高度尺寸大於公差	4.4	3	2.8	36.96	V
83	加工孔位洗除位置錯誤	3.6	3	3.4	36.72	V
50	膠條尺寸及厚度錯誤	4.4	2.6	3.2	36.61	V

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
91	單元對角線大於公差	4.2	2.8	3	35.28	V
237	單元鋁框料表面有刮傷	3.8	4.2	2.2	35.11	V
67	塗裝廠未具有專業塗料 商之認證資格	5.2	2.4	2.8	34.94	V
33	複層玻璃中空層內有異 物	4.8	2	3.6	34.56	V
235	拆紙後背膠殘留於表面	4.6	4	1.8	33.12	V
63	附著性、耐熱水性、耐 衝擊性不符未通過測試	5.2	2.2	2.8	32.03	V
224	單元與結構體間之距離 不足，無法施做層間塞	5.6	2.6	2.2	32.03	V
115	背襯板安裝位置不正確	4.6	2.8	2.4	30.91	V
102	工廠單元編號錯誤	4.8	3.2	2	30.72	V
62	表面塗裝顏色有碰撞及 刮傷	3	4.6	2.2	30.36	V
56	表面塗裝種類錯誤	4.6	2.4	2.6	28.70	V
239	清潔時使用擦拭工具造 成刮傷	4.2	2.8	2.4	28.22	V
106	背襯板尺寸錯誤無法安 裝	5.8	2.6	1.8	27.14	V
113	背襯板安裝不同材料間 未放置絕緣片造成電位 差(腐蝕)現象	3.2	3	2.8	26.88	V
196	吊車旋轉半徑及移動空 間不足無法吊裝至定位	3.4	3	2.6	26.52	V
201	單元未依編號吊裝產生 錯置	4.8	2.2	2.4	25.34	V
92	單元平整度大於公差	4	2.2	2.8	24.64	V
231	阻煙膠塗佈厚度不足	5	2.4	1.8	21.60	V

編號	失效模式/原因/機制	嚴重度 平均值	發生率 平均值	難檢度 平均值	風險優先指 數(RPN)	優先處置 分類等級
230	阻煙膠塗佈寬度不正 確。	4.8	3.2	1.4	21.50	V
52	膠條顏色與圖說不符	4.2	2.8	1.8	21.17	V
233	阻煙膠塗佈不均	5	2.6	1.6	20.80	V
41	石材表面處理與簽認之 樣板不符	4.6	2.8	1.6	20.61	V
153	運輸路線規劃不當運輸 車輛無法進入	3.6	2.6	2.2	20.59	V
66	外露可視面塗裝缺漏未 施作	3.6	2.2	2.6	20.59	V
240	外露面保護紙未撕紙。	3.2	3	1.8	17.28	V
112	隔熱棉規格錯誤	3.6	2	2.4	17.28	V
111	隔熱棉漏裝	3.6	2.2	1.8	14.26	V
71	材料加工後之毛邊未清 除	2.8	2.6	1.6	11.65	V

### 4.3 加強管制項目處理因應對策

依前述將失效模式之風險優先指數計算結果分類，將等級 I、II、III 為加強管  
控項目共有 76 項，分別為等級 I 計有 12 項，等級 II 計有 14 項，等級 III 計有 50  
項，經與專家訪談整理出各預防措施與因應對策如下表 4.11~4.13 所列。

表 4.11 等級 I 預防處理及因應對策

項次	失效模式/原因/機制	預防處理及因應對策
1	玻璃之結構矽膠養生時 間不足，矽膠黏著不良	1、經由矽膠廠商執行割膠查驗確認養生完成 及黏著良好，並提出矽膠割膠報告以確認 各型號矽膠最少養生時間 2、施工時確實記錄矽膠施打完成時間，並養生 至足夠時間方得出廠 3、矽膠養生過程不得任意移動 4、矽膠施工前表面需以 MEK(丁酮)擦試乾淨

		5、 加強品質管制與查核
2	二次件安裝螺帽未鎖緊產生滑動	1、 加強品質管制與查核並作成紀錄 2、 設置扭力扳手確認鎖緊程度
3	二次件焊接品質不良	1、 焊接品質委由第三者進行焊道檢驗 2、 焊接人員應進行教育訓練及焊工考試
4	預埋件位置混凝土灌漿未填實產生蜂窩握裹強度不足	1、 結構體混凝土澆置時確實搗實 2、 鋼筋綁紮間距應大於混凝土最小粒徑，並符合規範 3、 以抽檢方式進行現場拉拔試驗
5	工地未統合使用單一基準樣線	1、 工地統一使用單一基準樣線 2、 事先與總承攬商進行工地協調與整合
6	二次件安裝進出左右與高程基準線不符	1、 工地統一使用單一基準樣線 2、 加強品質管制與查核並作成紀錄 3、 事先圖面檢討及整合 4、 安裝人員進行教育訓練
7	二次件與現場鋼構衝突無法安裝	1、 事先圖面檢討及整合 2、 依據施工規範查核結構相關精度並回饋設計整合
8	背襯板矽膠施工養生時間不足黏著不良	1、 確認各型號矽膠最少養生時間 2、 施工時確實記錄矽膠施打完成時間，並養生至足夠時間方得出廠 3、 矽膠養生過程不得任意移動 4、 矽膠施工前表面需以 MEK(丁酮)擦試乾淨 5、 進行試水 6、 加強品質管制與查核
9	預埋件鋼筋與樓板鋼筋產生衝突無法安裝	1、 提出施工圖說送審檢討 2、 事先進行施工協調 3、 加強品質管制與查核
10	強化玻璃無受外力時自爆	1、 加強品質管制與查核 2、 進行玻璃熱浸處理，淘汰品質不良產品
11	圖面上所需之焊道無法施作	1、 提出施工圖說送審檢討 2、 事先進行施工協調 3、 另提出替代補強方案
12	二次件加工誤差無法安裝定位	1、 加強品質管制與查核 2、 增加抽驗頻率 3、 事先圖面檢討及整合

表 4.12 等級 II 預防處理及因應對策

項次	失效模式/原因/機制	預防處理及因應對策
1	預埋件固定點銲接位置不正確	1、 進行圖面檢討與整合 2、 加強品質管制與查核 3、 施工人員加強教育訓練
2	高程放樣與基準點不符	1、 工地統一使用單一基準樣線 2、 進行圖面檢討與整合 3、 加強品質管制與查核
3	二次件安裝時尺寸調整超過容許值	1、 進行圖面檢討與整合 2、 確認施工規範精度要求 3、 加強品質管制與查核 4、 施工人員加強教育訓練
4	玻璃矽膠(含結構膠)施打深度或寬度不足	1、 進行矽膠割膠試驗抽測 2、 進行圖面檢討與整合 3、 矽膠結構計算送審 4、 玻璃墊塊尺寸確認 5、 加強品質管制與查核
5	結構體樓板高程與圖面不符，超過公差範圍	1、 確認施工規範結構體精度要求 2、 進行圖面檢討與整合 3、 進行現場量測與回饋設計單位修正 4、 加強品質管制與查核
6	矽膠儲置溫濕度不正確	1、 設立專門儲放倉庫 2、 設置溫濕度控制設備並每日記錄 3、 材料變質即進行不合格品處理
7	水槽排水孔阻塞	1、 落實品質管制與查核 2、 進行現場水密性測試 3、 落實監造查核機制
8	預埋件型式施做錯誤未依圖施作	1、 落實品質管制與查核 2、 加強施工人員教育訓練
9	二次件安裝高程計算尺寸錯誤	1、 工地統一使用單一基準樣線 2、 落實圖面檢討與整合 3、 加強施工人員教育訓練 4、 加強品質管制與查核
10	固定螺絲使用錯誤、螺絲型號錯誤	1、 落實材料進場管制 2、 施工圖說標示清楚 3、 加強施工人員教育訓練

		4、 加強品質管制與查核
11	玻璃矽膠施打型號錯誤 不符設計圖說要求	1、 落實材料進場管制 2、 施工圖說標示清楚 3、 不同材料容器以顏色區別 4、 加強品質管制與查核
12	玻璃內外側(正反面)安 裝錯誤	1、 進行玻璃進廠檢驗 2、 要求玻璃原廠設置正反面標籤 3、 加強人員教育訓練 4、 加強品質管制與查核
13	二次件安裝螺栓型式材 質錯誤	1、 加強材料進廠檢驗 2、 加強施工人員教育訓練 3、 加強品質管制與查核
14	石材厚度及尺寸錯誤	1、 加強材料進廠檢驗 2、 進行材料進場查核，不合格品辦理退貨 3、 石材加工圖應確認核對無誤

表 4.13 等級Ⅲ預防處理及因應對策

項次	失效模式/原因/機制	預防處理及因應對策
1	單元高程安裝誤差過大	1、 加強品質管制與查核並作成紀錄 2、 使用正確測量儀器協助安裝 3、 施工人員加強教育訓練
2	玻璃安裝膠條固定不牢 固	1、 加強品質管制與查核 2、 膠條尺寸與硬度查核 3、 設置符合之安裝治具
3	預埋件固定點焊接品質 不良	1、 焊接品質委由第三者進行焊道檢驗 2、 焊接人員應進行教育訓練及焊工考試 3、 針對不良部位重新鏟修並複檢
4	基準樣線對角線未閉合	1、 進行圖面檢討與整合 2、 工地統一使用單一基準樣線 3、 檢討放樣基準點與通視點設置
5	石材安裝進出面尺寸錯 誤，公差過大	1、 確認施工規範安裝精度公差 2、 加強施工人員安裝工法教育訓練 3、 加強品質管制與查核 4、 誤差過大予以重新調整修正
6	單元吊裝時固定點不牢 固產生滑動	1、 加強吊裝施工安全查核與點檢 2、 吊裝操作手勞工安全訓練及證照查核 3、 加強固定件品質查核

7	預埋件位置與實際結構體衝突無法安裝	1、 進行圖面檢討與整合 2、 進行現場量測與回饋設計單位修正
8	清潔溶劑使用錯誤	1、 確認矽膠原廠材料說明及相容性報告 2、 不同清潔容器包裝以顏色區別 3、 進行施工人員教育訓練
9	運輸時玻璃或石材移位造成損壞	1、 加強儲運架固定牢固 2、 儲運架尺寸及裝載容量計算確認 3、 出廠前相關點檢與查核
10	RC 結構預埋件安裝固定不良混凝土澆置時產生位移	1、 加強品質管制與查核 2、 進行固定方式檢討與圖說規劃 3、 加強施工人員教育訓練
11	單元滑動固定螺帽未鎖緊	1、 螺栓以扭力扳手確認鎖緊狀態 2、 加強品質管制與查核
12	二次件安裝鋸齒狀華司未完整卡合	1、 落實材料管制與查核 2、 加強品質管制與查核 3、 加強施工人員教育訓練
13	預埋件周遭配筋不足夠	1、 事前圖面檢討與施工圖送審 2、 進行現場拉拔試驗抽驗
14	二次件安裝基準樣線尺寸引用錯誤	1、 工地統一使用單一基準樣線 2、 落實圖面檢討與整合 3、 加強施工人員教育訓練 4、 加強品質管制與查核
15	玻璃安裝未先清潔擦拭乾淨，矽膠黏著不良	1、 加強施工人員教育訓練 2、 加強品質管制與查核
16	單元二次件調整量無法吸收誤差值	1、 進行圖面檢討與整合 2、 結構體施工精度量測與回饋設計單位修正 3、 加強品質管制與查核
17	單元鋸齒狀華司是無完整卡合	1、 落實材料管制與查核 2、 加強品質管制與查核 3、 加強施工人員教育訓練
18	樓板邊樑位置與圖面不吻合	1、 進行圖面檢討與整合 2、 施工前進行實地測量與查核 3、 修正相關施工圖說
19	複層玻璃封膠型號錯誤	1、 進行矽膠相容性試驗 2、 進行玻璃材料進場查核，不合格品辦理退貨 3、 進行玻璃廠廠驗 4、 加強施工人員教育訓練

20	二次件未依樣線位置固定	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 施工量測與查核使用鋼琴線</li> <li>2、 落實施工品質管制與查核</li> <li>3、 誤差過大部位予以調整修正</li> </ul>
21	水槽內螺絲遺漏未施打矽膠	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 落實施工品質管制與查核</li> <li>2、 加強施工人員教育訓練</li> <li>3、 進行水密性測試</li> <li>4、 漏作部位立即補作改善</li> </ul>
22	預埋件安裝誤差	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 進行圖面檢討與整合</li> <li>2、 加強施工人員教育訓練</li> <li>3、 安裝錯誤之預埋件予以調整修正</li> <li>4、 已完成結構體澆置時，另提修正計畫送審</li> </ul>
23	石材安裝後相鄰石材有色差，裁切前無做大板顏色計畫	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 進行礦場驗礦</li> <li>2、 提送採購計畫並預留備品數量</li> <li>3、 進行材料品質管制</li> <li>4、 進行業主看樣與封樣</li> <li>5、 提送石材大板計畫送審</li> <li>6、 加強施工品質管制與查核</li> </ul>
24	定位螺絲或固定件漏裝	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 加強施工品質管制與查核</li> <li>2、 加強施工人員教育訓練</li> <li>3、 漏裝位置依圖面予以補裝</li> </ul>
25	預埋件安裝位置錯誤與圖面不符	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 進行圖面檢討與整合</li> <li>2、 加強品質管制與查核</li> </ul>
26	玻璃材料翹曲	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 加強材料進廠檢驗</li> <li>2、 進行玻璃材料進場查核，不合格品辦理退貨</li> </ul>
27	玻璃鍍膜及顏色不符合簽認之色板要求，有色差	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 加強材料進廠檢驗並與原審核色板比對</li> <li>2、 進行玻璃材料進場查核，不合格品辦理退貨</li> </ul>
28	儲運架結構強度不足運輸時塌陷造成單元損壞	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 儲運架尺寸及裝載容量計算確認</li> <li>2、 受損單元回廠重新修整製作</li> </ul>
29	鋁擠型材料不平整翹曲	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 加強材料進廠檢驗</li> <li>2、 進行材料進場查核，不合格品辦理退貨</li> </ul>
30	玻璃材料光學數據與原廠送審型錄不符。	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 進行玻璃抽樣試驗</li> <li>2、 進行材料進場查核，不合格品辦理退貨</li> </ul>
31	基準放樣錯誤，產生施做位置錯誤(高層及進出)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1、 工地統一使用單一基準樣線</li> <li>2、 確認基準線與通視點位置無誤</li> <li>3、 落實圖面檢討與整合</li> <li>4、 加強施工人員教育訓練</li> <li>5、 加強品質管制與查核</li> </ul>



32	二次件相關配件遺漏未安裝	1、加強施工人員教育訓練 2、加強品質管制與查核
33	鐵件焊道長度不足，焊道不良	1、焊接品質委由第三者進行焊道檢驗 2、焊接人員應進行教育訓練及焊工考試 3、加強施工品質管制與查核
34	石材強度與設計值不符	1、石材材料原版進行取樣試驗，並將試驗值回饋設計單位進行設計 2、施工時進行取樣試驗並與原設計值核對 3、不合格石材應進行補強或退貨
35	鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求	1、加強材料進廠檢驗 2、進行材料進場查核，不合格品辦理退貨
36	二次件型式安裝錯誤	1、進行圖面檢討與整合 2、加強品質管制與查核
37	玻璃嵌合溝槽尺寸錯誤，淨空間不足	1、進行圖面檢討與整合 2、玻璃材料進廠檢驗 3、加強品質管制與查核
38	樓板邊樑尺寸與圖面不吻合	1、進行圖面檢討與整合 2、進行實地測量並回饋設計單位修正
39	雙液結構矽膠的蝴蝶，拉斷，蛇行(snake)及黏著試驗不符規範	1、確認材料品質與使用期限 2、進行蝴蝶，拉斷，蛇行(snake)及黏著試驗 3、不符合規範材料應予退貨
40	依結構工程基準點放樣帷幕工程無法閉合	1、工地統一使用單一基準樣線 2、確認基準線與通視點位置無誤 3、落實圖面檢討與整合 4、加強品質管制與查核
41	石材擴孔螺絲孔徑錯誤	1、進行圖面檢討與整合 2、石材加工時確認孔徑無誤 3、加強品質管制與查核 4、錯誤材料予以退回重製
42	水槽料灌水後有水滲入室內側	1、查核漏水部位並予以修改 2、加強水槽料試水測漏 3、加強品質管制與查核
43	複層玻璃之密封層漏氣內部結露	1、加強材料進廠檢驗 2、進行材料進場查核，不合格品辦理退貨 3、結露之玻璃拆除重新安裝合格品
44	鋁擠型合金錯誤，化性不符規範要求	1、加強材料進廠檢驗 2、進行材料進場查核，不合格品辦理退貨

45	單元間直料(公母料)未卡裝確實	1、 加強施工人員教育訓練 2、 加強品質管制與查核
46	複層玻璃中空層矽膠寬度不足	1、 加強材料進廠檢驗 2、 進行材料進場查核，不合格品辦理退貨
47	單元吊裝時固定點不牢固單元墜落	1、 加強施工人員教育訓練 2、 加強安裝管制與查核 3、 吊裝固定件應先進行強度計算與安全檢點
48	玻璃厚度不符合圖說要求	1、 加強材料進廠檢驗 2、 進行材料進場查核，不合格品辦理退貨
49	擴孔螺絲數量及尺寸錯誤	1、 進行圖面檢討與整合 2、 石材加工時確認孔徑位置及數量無誤 3、 加強品質管制與查核 4、 錯誤予以退回重製
50	鋁擠型斷面不符	1、 加強材料進廠檢驗 2、 進行材料進場查核，不合格品辦理退貨

#### 4.4 案例檢討分析

本研究將以二件新建帷幕牆工程案例，利用所建立失效模式與效應分析模式內之相關風險因子來進行個案比對，用以確認所建立的模式及其相關風險因子在實際案例上使用之狀況。

##### 4.4.1 案例甲之 FMEA 檢核成果

案例甲為北市信義計畫區辦公大樓暨旅館新建工程，其規模為地下 3 層，地上 2 棟分別為 21 層辦公大樓與 12 層國際旅館大樓，結構型式為地下鋼筋混凝土結構，地上層為鋼骨結構，建築物規模為基地面積有 9,760.83 m<sup>2</sup>，建築面積為 6,238.1 m<sup>2</sup> 總樓地板面積為 80012.36 m<sup>2</sup>，最高樓層高度為 89.95M，建物外牆為單元式石材玻璃鋁帷幕牆，單元數量約合計為 3411 個單元，單元式帷幕牆工程金額為新台幣 466,626,500 元。

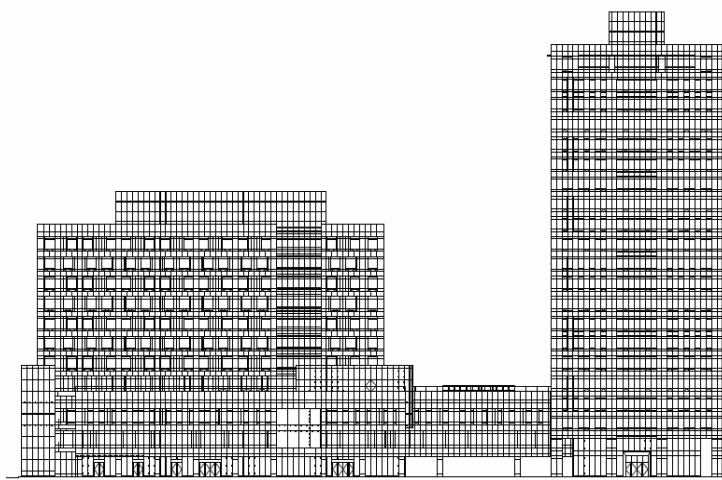


圖 4.4 案例甲正立面圖

### 1、FMEA 檢核成果

依所建立之 FMEA 分析表進行本案例之檢核，經案例甲 11 人 FMEA 小組進行評點與計算 242 項風險優先指數 RPN 得到成果如下：

- i. 案例甲風險優先指數計算統計結果，小於 10 為 0 項，10~20 為 70 項，20~30 為 123 項，30~40 為 36 項，40~50 為 11 項，50~60 為 1 項，70 以上 1 項。

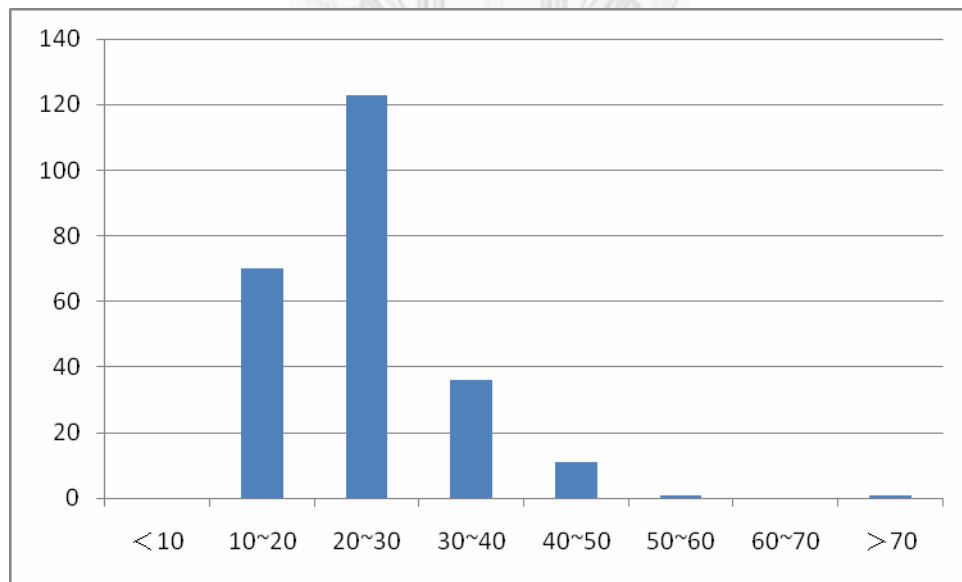


圖 4.5 案例甲 RPN 項次統計分布

- ii. 風險優先指數 RPN 最高為 71.95，項目為工廠製造階段-(1)材料進場檢驗-鋁擠型材料伸長率不足。

- iii. 在風險優先等級分類中，案例甲在 I、II 等級均為 0 項、等級 III 有 181 項、等級 IV 有 0 項、等級 V 有 61 項。

2、案例甲實際施工查核中發生缺失：

- i. 材料進場檢驗共發生缺失 404 件，包括：
- a. 鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求計 5 件。
  - b. 鋁擠型斷面不符計 18 件。
  - c. 鋁擠型材料不平整翹曲計 34 件。
  - d. 鋁擠型材料伸長率不足計 8 件。
  - e. 鐵材表面處理錯誤計 74 件。
  - f. 玻璃內有氣泡計 11 件。
  - g. 玻璃鍍膜及顏色不符合簽認之色板要求有色差計 13 件。
  - h. 玻璃材料翹曲計 8 件。
  - i. 石材邊角破損或龜裂計 142 件。
  - j. 石材顏色及紋路與簽認之樣板不符計 14 件。
  - k. 表面塗裝附著不均勻有色差計 77 件。
- ii. 工廠加工材切共發生缺失 78 件，包括：
- a. 裁切長度錯誤公差過大計 23 件。
  - b. 石材固定件孔位錯誤計 34 件。
  - c. 加工孔位洗除位置錯誤計 21 件。
- iii. 框架組裝共發生缺失 996 件，包括：
- a. 框架組立材料表面塗裝顏色有色差計 45 件。
  - b. 單元寬度高度尺寸大於公差計 138 件。
  - c. 單元平整度大於公差計 163 件。
  - d. 螺絲漏鎖計 225 件。
  - e. 矽膠(含結構膠)施做面表面未清潔計 251 件。

- f. 矽膠(含結構膠)施打外觀不良計 165 件。
- g. 鋁料配件安裝位置錯誤等計 9 件。
- iv. 背襯板安裝及防水施工發生缺失 27 件，包括：
  - a. 背襯板表面矽膠黏著不良計 9 件。
  - b. 隔熱棉漏裝計 13 件。
  - c. 隔熱棉規格錯誤計 5 件。
- v. 玻璃及石材安裝共發生缺失 5045 件，包括：
  - a. 玻璃之結構矽膠養生時間不足矽膠黏著不良計 65 件。
  - b. 石材安裝位置錯誤計 354 件。
  - c. 石材安裝分割縫尺寸錯誤公差過大計 3411 件。
  - d. 玻璃安裝玻璃墊塊放置不符圖說數量及位置計 465 件。
  - e. 玻璃矽膠施打深度(bit)不足計 144 件。
  - f. 石材表面矽膠汙染計 606 件。
- vi. 包裝與運輸發生缺失 2 件，為單元框邊角未有保護墊材造成碰撞損壞。
- vii. 外牆結構與現場測量發生缺失 2 件，為結構體外圍尺寸誤差值已超過帷幕安裝容許誤差。
- viii. 預埋件施工共發生缺失 63 件，包括：
  - a. 預埋件安裝位置錯誤與圖面不符計 13 件。
  - b. 預埋件型式施做錯誤未依圖施作計 34 件。
  - c. 預埋件固定點焊接品質不良計 16 件。
- ix. 二次件施工共發生缺失 76 件，包括：
  - a. 二次件型式安裝錯誤計 18 件。
  - b. 二次件與預埋件間未裝置絕緣片隔離產生材料電位差(腐蝕)現象計 47 件。
  - c. 二次件安裝進出左右與高程基準線不符計 11 件。

- x. 單元吊裝與調整共發生缺失 69 件，包括：
    - a. 單元吊裝時固定點不牢固單元墜落計 1 件。
    - b. 鋸齒狀華司是無完整卡合計 53 件。
    - c. 樑下繫件 kicker 無法全扣入計 15 件。
  - xi. 版片擋塊安裝與接頭防漏施工發生缺失 5 件，包括：
    - a. 版片擋塊固定前水槽未清乾淨計 3 件。
    - b. 擋塊固定螺絲未固定計 2 件。
  - xii. 層間塞施工共發生缺失 54 件，包括：
    - a. 層間塞安裝固定不牢固掉落計 26 件。
    - b. 阻煙劑塗佈與結構體搭接不足計 28 件。
  - xiii. 拆除保護紙表面清潔共發生缺失 154 件，包括：
    - a. 拆紙後背膠殘留於表面計 35 件。
    - b. 單元鋁框料表面有刮傷計 119 件。
- 3、在上述各項施工查核缺失中，以工廠組裝階段之玻璃及石材安裝共發生缺失 5045 件最多，分析其原因為採用的石材固定方式精度控制不易，造成單元組裝上的施工困擾，同時也因運輸及搬運時造成固定位移，後續調整與修正耗費成本與工期，此類缺失應於施工前檢討出，並回饋與設計單位修正相關固定方式。
- 4、在缺失項目中對帷幕牆系統嚴重度影響最高，為材料進場檢驗，包括鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求、鋁擠型斷面不符、鋁擠型材料不平整翹曲、鋁擠型材料伸長率不足等，此類缺失處理時將材料整批退回並銷毀，往往造成重製時程影響工期，以及不良品材料流出造成單元結構強度不符規範。

#### 4.4.2 案例乙之 FMEA 檢核成果

案例乙為北市信義計畫區辦公大樓新建工程，規模為地下 2 層，地上 14 層，結構型式地下層鋼筋混凝土結構，地上層為鋼骨結構，建築物規模為基地面積有

5,864M<sup>2</sup>，建築面積為 2,340M<sup>2</sup>，總樓層高度為 89.5m，建物外牆型式為玻璃與石材單元式帷幕牆，單元數量 2814 個單元，帷幕牆工程金額為新台幣 390,000,000 元。

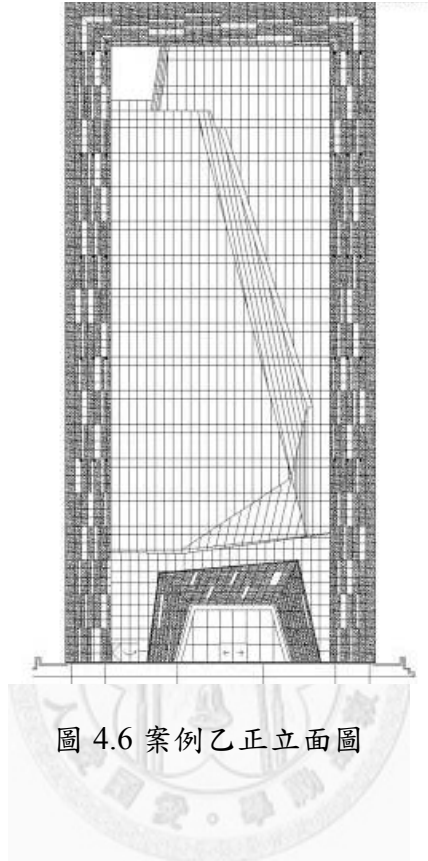


圖 4.6 案例乙正立面圖

### 1、FMEA 檢核成果

依所建立之 FMEA 分析表進行本案例之檢核，經案例乙 3 人 FMEA 小組進行評點與計算 242 項風險優先指數 RPN 得到成果如下：

- i. 案例乙風險優先指數計算統計結果，小於 10 為 2 項，10~20 為 19 項，20~30 為 110 項，30~40 為 60 項，40~50 為 30 項，50~60 為 10 項，60~70 為 8 項，70 以上 3 項。

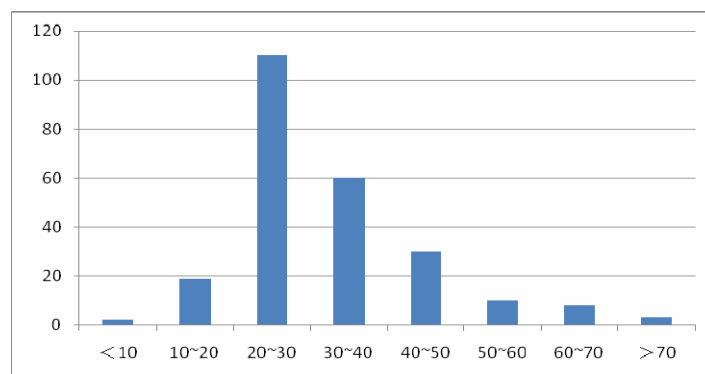


圖 4.7 案例乙 RPN 項次統計分布

- ii. 風險優先指數 RPN 最高為 77.52，為工廠製造階段-(1)材料進場檢驗-鋁擠型材料抗拉及降伏強度不符合規範要求，另為鋁擠型材料伸長率不足(74.15)，強化玻璃無受外力自爆(71.11)。
- iii. 在風險優先等級分類中，案例乙在 I、II 等級均為 0 項、等級 III 有 66 項、等級 IV 有 0 項、等級 V 有 176 項。

2、案例乙實際施工查核中發生缺失：

- i. 材料進場檢驗共發生缺失 134 件，包括
  - a. 鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求計 5 件。
  - b. 鋁擠型材料伸長率不足計 3 件。
  - c. 鐵材表面處理錯誤計 26 件。
  - d. 石材邊角破損或龜裂計 46 件。
  - e. 石材顏色及紋路與簽認之樣板不符計 14 件。
  - f. 石材黑白疤斑點太多計 27 件。
  - g. 表面塗裝附著不均勻有色差等計 13 件。
- ii. 工廠加工材切共發生缺失 48 件，包括
  - a. 裁切長度錯誤公差過大計 35 件。
  - b. 裁切與塗裝順序錯誤造成加工後表面無塗裝計 13 件。
- iii. 框架組裝共發生缺失 245 件，包括
  - a. 固定螺絲使用錯誤螺絲型號錯誤計 35 件。
  - b. 單元寬度高度尺寸大於公差計 24 件。
  - c. 單元平整度大於公差計 46 件。
  - d. 螺絲漏鎖計 35 件。
  - e. 組裝前後防水膠漏做計 8 件。
  - f. 矽膠(含結構膠)施打外觀不良計 67 件。



- g. 鋁料配件安裝型式錯誤計 30 件。
  - iv. 背襯板安裝及防水施工發生缺失 8 件，為隔熱棉漏裝。
  - v. 玻璃及石材安裝共發生缺失 36 件，包括
    - a. 石材安裝分割縫尺寸錯誤公差過大計 19 件。
    - b. 玻璃安裝膠條固定不牢固計 8 件。
    - c. 石材表面矽膠汙染等計 9 件。
  - vi. 預埋件施工共發生缺失 8 件，為預埋件固定點焊接品質不良。
  - vii. 二次件施工共發生缺失 6 件，為二次件安裝時尺寸調整超過容許值。
  - viii. 層間塞施工共發生缺失 14 件，為阻煙劑塗佈與結構體搭接不足。
  - ix. 拆除保護紙表面清潔共發生缺失 6 件，為單元鋁框料表面有刮傷。
- 3、在上述各項施工查核缺失中，以工廠組裝階段之框架組裝共發生缺失 245 件最多，可見施工廠商應於施工前進行施工圖說確認、同時加強人員教育訓練與品管查核。
- 4、在缺失項目中對帷幕牆系統嚴重度影響最高，為材料進場檢驗之鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求、鋁擠型斷面不符、鋁擠型材料不平整翹曲、鋁擠型材料伸長率不足等，此類缺失處理時將材料整批退回並銷毀，往往造成重製時程影響工期，遭遇此類缺失應加強材料供應商管理及檢驗，以確保材料符合規範要求。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

回顧本研究所擬定之目的，對於失效模式與效應分析(FMEA)應用於建物帷幕牆施工風險之探討，並就所達成之成果，歸納出以下之結論：

- 1、本研究藉由專家訪談及二循環問卷，利用失效模式與效應分析法(FMEA)建立單元式帷幕牆失效模式查核架構與預防處理及因應處理措施，包括二施工階段、13項次施作工項、242項失效模式查核項目，藉由專家給予嚴重度、發生度、難檢度評點，結合風險優先指數計算與分類，建置單元式帷幕牆施工階段風險評估模式之可量化之評量系統。
- 2、在242項失效模式中，風險優先法評點計算出76項加強管制項目，在這些項目材料進場檢驗(計19項)、二次件施工(計13項)、預埋件施工(計10項)、玻璃及石材安裝(計9項)、單元吊裝與調整(計9項)、外牆結構測量(計8項)、背襯板安裝及防水施工(計2項)、包裝與運輸(計2項)、框架組裝(計2項)、版片擋塊安裝與接頭防漏施工(計2項)，其中以材料進場檢驗所佔項次最多，顯見施工前與施工過程必須確認材料品質必須符合規範，才能達到帷幕牆耐久的需求。
- 3、其中加強管制等級I的12項失效模式中，以二次件施工佔最多達5項之多，在二次件的施工品質管理與施工前規劃檢討，將有助於提升帷幕牆安裝之施工精度與品質要求。
- 4、經案例比對結果評點RPN值最高為案例甲之鋁擠型材料伸長率不足(71.95)，案例乙之鋁擠型材料抗拉及降伏強度不符合規範要求(77.52)，以及為鋁擠型材料伸長率不足(74.15)，與專家所評點之結果相符。
- 5、在FMEA應用上，於規劃或製程施工前利用失效模式與效應分析法來進行施工階段作業上之潛在缺失檢討，並制定防治與改善措施，將有效降低缺失發生機率，以防範於未然。

## 5.2 建議

根據本研究所建立單元式帷幕牆施工階段風險評估模式與查核指標，並針對成果與結論，提出建議事項：

- 1、建議帷幕牆工程設計規劃與施工階段前，成立專責 FMEA 小組，藉由小組的運作來發掘施工過程中潛在缺失模式與原因，並且長期累積經驗與知識，藉以提升技術層級與管理效能，同時亦可與世界接軌符合 ISO 精神。
- 2、在帷幕牆的專業顧問與施工承攬廠商，應儘早參與施工階段前之準備，以降低帷幕牆工程與結構、機電、裝修等相關介面包商之衝突，亦能使工程圖說更加完備與正確，提升工程品質與效率。
- 3、在帷幕牆工程上，利用失效模式與效應分析來進行風險分析時，有關風險優先數評選標準如同汽車等製造業，需長期蒐集及建立相關資料來做為 FMEA 推動之參考，以建立適合帷幕牆工程甚至營造業之風險評估模式。

## 參考文獻

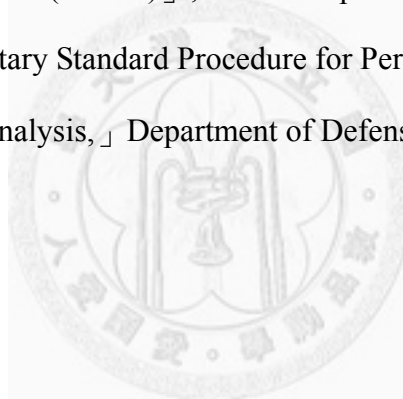
- 1、丁永聖，「單元式帷幕牆於設計階段施工性之改善」，中華大學建築與都市計劃學系碩士論文，1990
- 2、小野寺勝重原著，張書文編譯，「實踐 FMEA 手法-提升產品或系統的可靠性、維護性、安全性」，財團法人中衛發展中心，2001
- 3、史文成，「單元式金屬帷幕牆開放式接頭防水設計之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，2008
- 4、江英二，「高層建築帷幕牆系統之基本設計與專案管理」，建築師雜誌，6/7 月，1991，pp.119-125
- 5、何錦忠，「以風險分析為概念的失效模式與效應分析之發展與應用-以汽車零組件業之個案研究」，大葉大學資訊管理學研究所碩士論文，2004
- 6、李政儒，「應用 FMEA 在建築物中央空調與煙控系統風險評估之研究」，國立台灣科技大學自動化及控制研究所碩士論文，2006
- 7、李浩丞，「失效模式與效應分析(FMEA)應用於營造業品質管理系統之研究」，國立台灣科技大學營建工程學系碩士論文，2004
- 8、邱宏達，「台灣區單元式帷幕牆施工精度控制之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，1996
- 9、林仁德，「台灣地區帷幕牆建築技術發展之研究」，淡江大學建築學系碩士論文，1999
- 10、林盈忠，「風險評估技術應用於工程界面問題之預防-以變電工程為例」，國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士論文，2008
- 11、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，1994，pp.75-83
- 12、紀志旻，「帷幕牆不同構法間介面整合之研究-以單元式構法為主體探討之」，國立成功大學建築研究所碩士論文，2003

- 13、洪誌佑，「專案品質管理系統分析與規劃-以鋼構業為例」，國立高雄應用大學工業工程與管理系碩士論文，2003
- 14、洪顯宗，「捷運工程施工風險評估模式之研究」，國立中央大學營建管理研究所碩士論文，2009
- 15、記明伸，「ISO 9002 品保文件執行施工改善計畫初步研究-以營造廠施工階段之施工性改善為例」，中華大學建築與都市計劃學系碩士論文，1990
- 16、高宗正、宋永鑾、李順敏、羅瑞雪，「FMEA於潛盾隧道工程風險管理之應用」，中華技術，77期，2008， pp.143~151
- 17、許芳勳、彭鴻霖，「失效模式、效應與關鍵性分析結果之應用」，中華民國第二屆可靠度與維護度技術研討會論文集，1997，pp.169-174
- 18、許盛堡，「建構一個 QFD 與 FMEA 之整合架構」，元智大學工業工程與管理學系碩士論文，2002
- 19、黃利民，「以失效模式與效應分析(FMEA)評估防洪抽水站管理模式之研究」，國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文，2009
- 20、陳志宏，「高品質建築外牆 GPC、TPC 施工介面管理及工法效益之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2005
- 21、陳相如、吳貴彬，「失效模式與效應分析-QS9000 之預防分析工具」品質管理月刊，六月號，2002，pp.55~59
- 22、陳俊維，「FMEA 應用於提昇潔淨室 H.V.A.C.系統可靠度之研究」，國立成功大學資源工程學系碩士論文，2004
- 23、陳紹興，「失效模式及效應分析作業手冊」，經濟部工業局中心衛星工廠制度推動小組，1988
- 24、曹建齡、楊義明，「失效模式與效應分析的作業方式」品質管理月刊，四月號，1997，pp.55~59
- 25、黃清賢，「危害分析與風險評估」，三民書局，1996

- 26、黃清毅、謝志勤、王琇雄，「單元式金屬帷幕牆設計、製作、安裝研討會」，中華民國帷幕牆技術發展協會，2000
- 27、黃清毅、徐金水、陳文樹、謝志勤，「建築物預製金屬帷幕施工安裝研討會」，中華民國帷幕牆技術發展協會，2003
- 28、郭榮沛，「失效模式與效應分析及其應用案例討論」，機械工業雜誌，第一四二期，1995，pp.137-148。
- 29、張耀文，「複合式讀卡機之疲勞失效分析與可靠度評估」，國立交通大學工學院精密與自動化工程學程碩士論文，2006
- 30、葉文凱，「預鑄混凝土帷幕牆等壓防水原理 PC 版之開放式接合」，土木技術，第一卷第三期，1998，pp.98~105
- 31、葉祥海、黃清毅、徐金水、陳文樹、謝志勤、王琇雄、林清斐，「金屬帷幕牆製造技術手冊之編訂」，內政部建築研究所委託研究報告，2004
- 32、楊朝鈞，「建構航空站硬體設施風險架構之研究~FMEA 之應用」，國立成功大學交通管理學系碩士論文，2002
- 33、鈴木順二郎、牧也鐵治、石版茂樹，先鋒可靠度研究小組譯，「FMEA、FAT 實施法」，先鋒企管，1981
- 34、劉來旺，「建築外裝工程施工品質管理之研究-以預鑄混凝土帷幕牆工程為例」，國立台灣工業技術學院營建工程技術研究所碩士論文，1993
- 35、謝財源、張忠孝、鍾清章、邱柏松、王英一等譯，「可靠度管理手冊」，中華民國品質管制學會，1990，pp. 195-235
- 36、關李明，「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，5月，1999，pp.83~85
- 37、羅瑞雪，「FMEA 於潛盾隧道工程風險管理之應用」，中國科技大學土木與防災應用科技研究所碩士論文，2007
- 38、羅應浮，「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，2000

- 39、內政部建築研究所委託研究報告，「金屬帷幕牆施工安裝手冊」，2002
- 40、行政院研究發展考核委員會，「風險管理及危機處理作業手冊」，2009
- 41、Gilchrist, Warren. 「Modelling failure modes and effects analysis」 International Journal of Quality and Reliability Management,vol. 10,no.5,1993,pp 16-23.
- 42、Nashed, fred. 「Time-Saver Details for Exterior Wall Design」,McGraw-Hill,1995
- 43、Stamatis, D.H. 「 Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution」 Second Edition, Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2003
- 44、Chrysler, Ford, General, and Plexus QS-9000 Training System, 「Potential Failure mode and Effects Analysis (FMEA)」, PlexusCorporation, 2000
- 45、MIL-STD-1692A,「Military Standard Procedure for Performing a Failure Modes and Effect and Criticality Analysis,」 Department of Defense, Washington DC, 1980.



## 附錄一

### 失效模式與效應分析應用於單元式帷幕牆施工階段風險評估之探討

#### 問卷調查

各位先進：您好！

編號：

首先感謝 您撥冗填答本問卷，這份問卷旨在探討目前國內建築工程之單元式帷幕牆施工階段風險評估之探討，希望藉此研究問卷分析結果，提供國內帷幕牆施工之參考。

本問卷純屬學術研究，共計二部份：第一部份是影響專案品質施工風險關鍵因素，第二部分是基本資料。問卷採不記名方式進行，懇請您根據您工作經驗作答，您寶貴的意見，絕不對外披露，敬請放心填答；您的參與對本研究的完成有莫大的助益。若您對本研究有任何的指導與建議，敬請不吝來信告知。隆情盛誼，不勝感激。

敬祝

萬事如意！ 事業順心！

國立台灣大學土木工程研究所營建工程與管理組

指導教授： 郭斯傑 博士

碩士班學生： 朱志年 敬上

#### 填卷說明

一、本問卷共分兩部分，其內容概要如下

(一) 第一部份：評估問卷所列題項，建築工程之單元式帷幕牆施工階段風險因子之建立

(二) 第二部分：基本資料

二、項目之順序並無相關，請獨立判斷作答

三、請問卷填答者，以客觀單一選擇最適當欄位，並明確勾選。

四、請於完成本問卷後，可以電子郵件寄、傳真或直接交予本人。

五、聯絡方式

地址：台北市敦化南路1段245號6樓 大元聯合建築師事務所 朱志年

電話：(02)27115050 或 0932055529 傳真：(02)23456036

E-MAIL：[samchu.g6300@msa.hinet.net](mailto:samchu.g6300@msa.hinet.net)

編號：

#### 填卷背景說明：

1. 依目前國內帷幕牆施工形式各有不同，而單元式帷幕牆在高層建築工程建案中視為主流，無論在工期及成本上均有其優勢，本研究案擬針對建築工程單元式帷幕牆施工階段之工程風險評估項目進行探討並建立風險因子項目，以利提供相關後續施工作業參考。



## 2. 風險評估目的：

- (1) 基本設計階段：就業主及設計單位提出設計之規劃內容妥適性、合理性等提供參考意見，供彙整綜理彙辦。
- (2) 施工執行階段：就承攬單位提出之施工規劃及計畫書圖說內容及施工之合理性進行規劃與施行，來符合施工品質要求降低缺失發生。

## 問卷

### 第一部份：

請您針對以下各題項，提出您認為各階段相關之施工風險項目(因子)，逐一列出。

例如：

- a、鋁擠型及鋁板(或鐵板)： 1、鋁擠型材料強度不足  
2、鋁擠型材料伸長率不足

施工階段：(風險評估項目或階段暫定如下，各位先進如有建議可自行增加)

### (一)工廠製造階段

#### 1、材料進場檢驗

- a、鋁擠型及鋁板(或鐵板)
- b、矽膠(含結構膠)
- c、玻璃
- d、石材
- e、墊塊及膠條
- f、表面塗裝

#### 2、加工裁切

#### 3、框架組裝

#### 4、背襯板安裝及防水施工

#### 5、玻璃及石材安裝

#### 6、包裝與運輸

### (二)工地吊裝階段

#### 1、外牆結構測量

#### 2、預埋件施工

#### 3、二次件施工

#### 4、單元吊裝與調整

#### 5、版片擋塊安裝與接頭防漏施工

#### 6、層間塞施工

#### 7、拆紙清潔



**辛苦了！各位先進，快完成了，加油！謝謝您的耐心**

## 第二部份：基本資料

(一)以下問題是有關您個人的背景資料，請您在適當的□中填滿空格■，謝謝您！

- 1.性別：男 女
- 2.年齡：30歲(含)以下 31歲~40歲 41歲~50歲 51歲~60歲 61歲(含)以上
- 3.教育程度：高中(職)以下 專科 大學 碩士 博士
- 4.工程年資：5年(含)以內 5年以上~10年 10年以上~15年 15年以上~20年  
20年以上~25年 25年以上
- 5.職務類別：業主單位 公司負責人 專案主管 設計人員 專案幕僚 其他

(二)以下問題您曾經參與最大規模建築工程專案作業(含審議)之實際狀況，在適當的□中填滿空格■，謝謝您！

- 1.專案規模：一仟萬元以下 一仟萬以上~伍仟萬元(含) 伍仟萬以上~二億元(含)  
二億元以上~伍億元(含) 伍億元以上  
工程性質：土木建築 建築裝修 機電 空調 其他\_\_\_\_\_
- 2.專案團隊人數：5人以下(含) 6人~10人 11人~20人 21人~30人 31人以上
- 3.曾經參與過建築工程專案之工程性質：(可複選)  
公共工程 民間工程 住宅類 學校類建築 醫療類建築 文藝類建築 軍事建築 體育類建築 交通類 辦公廳舍 其他\_\_\_\_\_
- 4.專案期間：6個月以下 6個月(含)~1年 1年以上(含)~1年半 1年半(含)~2年  
2年以上(含) 3年以上(含)
- 5.曾經負責或參與過工程規劃設計(或審議)作業專案件數：  
5件以下(含) 6~10件(含) 11~15件(含) 16件以上(含)

本問卷到此結束，最後，請您檢查一次是否有遺漏之處，再次感謝您的協助與支持。若您需要本研究結果，請留下您的E-mail資料，以方便聯絡之需。

E-mail：

敬請各位先進對本研究的適當性及疏漏之處尚祈指正，並給予相關建議，(以上施工階段風險評估項目是否適當，有何需再補充增刪之處)。

---

感謝您詳盡的填答！敬祝 順心如意

## 附錄二

### 失效模式與效應分析應用於單元式帷幕牆施工階段風險評估之探討

#### 問卷調查

各位先進：您好！

編號：

首先感謝 您撥冗填答本問卷，這份問卷旨在探討目前國內建築工程之單元式帷幕牆施工階段風險評估之探討，希望藉此研究問卷分析結果，提供國內帷幕牆施工之參考。

本問卷純屬學術研究，懇請您根據您工作經驗作答，您寶貴的意見，絕不對外披露，敬請放心填答；您的參與對本研究的完成有莫大的助益。若您對本研究有任何的指導與建議，敬請不吝來信告知。隆情盛誼，不勝感激。

敬祝

萬事如意！ 事業順心！

國立台灣大學土木工程研究所營建工程與管理組

指導教授： 郭斯傑 博士

碩士班學生： 朱志年 敬上

#### 填卷說明

- 一、本問卷其內容概要為，建築工程之單元式帷幕牆施工階段建立共 243 項風險因子，填入發生度、難檢度及嚴重度三個因子之各項評點。
- 二、項目之順序並無相關，請獨立判斷作答
- 三、請問卷填答者，以客觀單一選擇最適當欄位，並明確勾選。
- 四、請於完成本問卷後，可以電子郵寄、傳真或直接交予本人。
- 五、聯絡方式

地址：台北市敦化南路 1 段 245 號 6 樓 大元聯合建築師事務所 朱志年

電話：(02)27115050 或 0932055529 傳真：(02)23456036

E-MAIL：[samchu.g6300@msa.hinet.net](mailto:samchu.g6300@msa.hinet.net)

編號：

#### 填卷背景說明：

3. 依目前國內帷幕牆施工形式各有不同，而單元式帷幕牆在高層建築工程建案中視為主流，無論在工期及成本上均有其優勢，本研究案擬針對建築工程單元式帷幕牆施工階段之工程所建立 243 項風險因子，以失效模式與效應分析來評價，以建立風險優先之項目予以及早進行相關措施以避免損失。
4. 將請各位先進依下述風險評價標準表，針對所建立 242 項風險因子，依據您專業的工作經驗，填入各項評點等級分別為發生度、難檢度及嚴重度三個因子，並可依您經驗填入建議的改善對策。

失效風險評價方法：

風險優先數法 (RPN)

風險優先數法是目前最為各行業所採取的方法，其風險優先數 (RPN) 是由發生度、難檢度極嚴重度三個因子相乘而得。計算公式如下：

$$RPN=O*D*S$$

式中 O 是失效原因發生頻率之估計 (稱為發生度)，D 是對現行管制方法檢測失效難易程度之估計 (稱為難檢度)，S 是失效發生後對產品影響嚴重程度之估計 (稱為嚴重度)。FMEA 將 O、D、S 均分為 10 級，每級 1 分，及數越高，分數越大，對產品失效的影響也就越大。因此 RPN 的值將介於 0 至 1000 之間，根據 RPN 指數，選取越大的值，對其失效模式優先採取改進措施。發生度、難檢度及嚴重度三個因子的程度等級與分數對照表分別如下表。

發生度(O)評估標準表

發生頻率	評點基準	可能的失效機率	評點等級
非常高	發生次數非常高，失效狀況或缺點幾乎不可避免	發生機率 $\geq 1/2$	10
		發生機率約 $1/3$	9
高度的	發生次數高，根據以往經驗或資料顯示，此項缺失一直重複發生失效狀況	發生機率約 $1/8$	8
		發生機率約 $1/20$	7
中度的	發生次數中等，根據以往經驗或資料顯示，此項缺失偶爾發生失效狀況	發生機率約 $1/80$	6
		發生機率約 $1/400$	5
		發生機率約 $1/2000$	4
低度的	發生次數低，根據以往經驗或資料顯示，此項缺失較少發生失效狀況	發生機率約 $1/15000$	3
		發生機率約 $1/150000$	2
極低的	發生次數極低，幾乎不可能出現失效	發生機率 $\leq 1/150000$	1

難檢度(D)衡量標準表

檢測能力	檢測評點基準	評點等級
幾乎無法檢測出	現行的管制措施無法檢測發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失，或根本無任何管制措施	10
檢測出機會非常微小	現行的管制措施極少有機會檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	9
檢測出機會微小	現行的管制措施很少有機會檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	8
檢測出機會非常低	現行的管制措施只有非常低機會檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	7
檢測出機會低度	現行的管制措施有低度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	6
檢測出機會中等	現行的管制措施有中度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	5
檢測出機會中高度	現行的管制措施有中度至高度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	4
檢測出機會高度的	現行的管制措施有高度可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	3
檢測出機會極高	現行的管制措施有極高可能檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	2
幾乎肯定	現行的管制措施幾乎一定可以檢測出或發現此種潛在的肇因或機制，及其所可能導致之失效模式與缺失	1

嚴重度(S)衡量標準表

效應	評點基準	評點等級
危險的-無警訊	非常高的嚴重度等級，會導致災損、影響工程進度及結構安全者，且發生時無預警的	10
危險的-有警訊	非常高的嚴重度等級，會導致災損、影響工程進度及結構安全者，是先有預警的	9
極高的	影響主要功能，導致後續製程停工或無法使用	8
高度的	設備或零組件還能運作，但其性能或水準均有降低，會影響工期及功能者，客戶很不滿意	7
中等的	設備或零組件可運作，但其性能或水準均有降低，舒適及便利性方面失效，會影響工期者，客戶不滿意	6
低度的	設備或零組件可運作，但其性能或水準有些許降低，舒適及便利性下降，可能會影響工期者，客戶有些不滿意	5
很低的	配合施工監測及調整施工步驟後，一部分可以注意到並加以控制者，多數客戶發現有缺陷	4
輕微的	配合施工監測及調整施工步驟後，大部分可以注意到並加以控制者，部分客戶發現有缺陷	3
極輕微	配合施工監測及調整施工步驟後，幾乎都可以注意到並加以控制者，辨識能力高的客戶才會感到不滿意的外觀等缺點	2
無效應	對後續製程或客戶無影響	1

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
工廠製造階段					
一、材料進場檢驗					
1	鋁擠型合金錯誤，化性不符規範要求				
2	鋁擠型斷面精度不良，公母模無法卡合				
3	鋁擠型抗拉及降伏強度不符規範要求				
4	鋁擠型斷面不符				
5	鋁擠型材料不平整翹曲				
6	鋁擠型材料伸長率不足				
7	鋁板材料厚度錯誤				
8	鋁板材料合金成分錯誤				
9	鋁板材料不平整翹曲				
10	鐵件焊道長度不足，焊道不良				
11	鐵材表面處理錯誤				
12	鐵材之外觀尺寸不符合圖說要求				
13	矽膠保存期限已過				
14	矽膠儲置溫濕度不正確				
15	雙液結構矽膠的蝴蝶，拉斷，蛇行(snake)及黏著試驗不符規範				
16	矽膠與裝配材料(膠條、墊塊)不相容				
17	玻璃尺寸錯誤與圖面不符				
18	複合玻璃封膠型號錯誤				
19	玻璃邊角破損或龜裂				
20	玻璃內有氣泡				
21	玻璃厚度不符合圖說要求				
22	玻璃鍍膜及顏色不符合簽認之色板要求，有色差				
23	玻璃之室內/外側無明顯之標籤說明				
24	複層玻璃之密封層漏氣內部結露				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
25	玻璃材料光學數據與原廠送審型錄不符。				
26	玻璃材料翹曲				
27	複層玻璃中空層矽膠寬度不足				
28	強化玻璃無受外力時自爆				
29	與擠型料間距空間不足，導致玻璃擠壓破裂				
30	複層玻璃封邊膠施做不完全				
31	複層玻璃封邊膠與矽膠不相容				
32	膠合玻璃膠合處剝離水氣滲透入內				
33	複層玻璃中空層內有異物				
34	複層玻璃內層汙損未清潔				
35	石材邊角破損或龜裂				
36	石材厚度及尺寸錯誤				
37	石材拋溝尺寸錯誤				
38	石材擴孔螺絲孔徑錯誤				
39	擴孔螺絲數量及尺寸錯誤				
40	石材顏色及紋路與簽認之樣板不符				
41	石材表面處理與簽認之樣板不符				
42	石材龜裂翹曲				
43	石材黑白疤斑點太多				
44	石材型號/種類錯誤				
45	石材強度與設計值不符				
46	石材防護劑施做不完全或錯誤				
47	墊塊材質錯誤				
48	墊塊硬度與規定不符				
49	墊塊安裝位置及數量錯誤				
50	膠條尺寸及厚度錯誤				
51	膠條密合度不足				
52	膠條顏色與圖說不符				
53	膠條壓縮量不足				
54	膠條及墊塊認材料與相鄰矽膠不相容				



項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
55	表面塗裝膜厚不足				
56	表面塗裝種類錯誤				
57	表面塗裝顏色不符合簽認之色樣要求				
58	表面塗裝附著不完全剝離				
59	表面塗裝起泡				
60	表面塗裝附著不均勻有色差				
61	表面塗裝產生波紋垂流現象				
62	表面塗裝顏色有碰撞及刮傷				
63	附著性、耐熱水性、耐衝擊性不符未通過測試				
64	耐化學性、耐腐蝕性不符未通過測試				
65	耐磨耗性不符未通過測試				
66	外露可視面塗裝缺漏未施作				
67	塗裝廠未具有專業塗料商之認證資格				
二、加工裁切					
68	裁切長度錯誤公差過大				
69	裁切角度錯誤公差過大				
70	螺絲孔位錯誤				
71	材料加工後之毛邊未清除				
72	加工開口(孔)位置與配件開口(孔)不吻合、				
73	材料方向性錯誤				
74	材料加工後變形平整度不良公差過大				
75	石材固定件孔位錯誤				
76	石材固定件孔深錯誤				
77	石材刨溝長度及深度錯誤				
78	石材面固定件用膨脹螺栓不符規定				
79	墊塊及膠條長度錯誤				
80	墊塊及膠條轉角處無熔接				
81	裁切與塗裝順序錯誤，造成加工後表面無塗裝				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
82	鋁板彎折公差過大				
83	加工孔位洗除位置錯誤				
84	加工孔徑錯誤過大或小				
三、框架組裝					
85	組裝時未依施工圖施打防水矽膠				
86	工序錯誤造成後續組件無法安裝				
87	不同材料間未放置絕緣片，造成電位差(腐蝕)現象				
88	框架組立材料表面塗裝顏色有色差				
89	固定螺絲使用錯誤、螺絲型號錯誤				
90	單元寬度高度尺寸大於公差				
91	單元對角線大於公差				
92	單元平整度大於公差				
93	直橫框料鎖螺絲前螺孔矽膠塗佈不良				
94	鋁擠型表面清潔不良汙損				
95	鋁板(或鐵板)表面清潔不良汙損				
96	螺絲漏鎖				
97	組裝前後防水膠漏做				
98	矽膠(含結構膠)施做面表面未清潔				
99	矽膠(含結構膠)施打深度或寬度不足				
100	矽膠(含結構膠)施打外觀不良				
101	單元膠條漏裝				
102	工廠單元編號錯誤				
103	鋁料配件安裝位置錯誤				
104	鋁料配件安裝型式錯誤				
四、背襯板安裝及防水施工					
105	背襯板固定螺絲規格錯誤				
106	背襯板尺寸錯誤無法安裝				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
107	背襯板固定螺絲間距錯誤				
108	背襯板固定螺絲漏鎖				
109	背襯板施打防水矽膠前無清潔				
110	背襯板表面、矽膠黏著不良				
111	隔熱棉漏裝				
112	隔熱棉規格錯誤				
113	背襯板安裝不同材料間未放置絕緣片造成電位差(腐蝕)現象				
114	背襯板厚度錯誤				
115	背襯板安裝位置不正確				
116	背襯板矽膠施工養生時間不足黏著不良				
117	背襯板固定矽膠施作深度不足				
118	背襯板固定連接轉角矽膠防水				
119	填縫不確實				
120	背襯板表面清潔				
121	背襯板固定螺絲無預塗矽膠，造成氣密及水密不良				
122	清接溶劑使用錯誤				
五、玻璃及石材安裝					
123	玻璃嵌合溝槽尺寸錯誤，淨空間不足				
124	玻璃之結構矽膠養生時間不足，矽膠黏著不良				
125	溝槽內有異物、未清潔				
126	石材安裝位置錯誤				
127	石材安裝分割縫尺寸錯誤，公差過大				
128	石材安裝進出面尺寸錯誤，公差過大				
129	玻璃型號規格安裝錯誤				
130	水槽排水孔阻塞				
131	玻璃內外側(正反面)安裝錯誤				
132	石材安裝紋理方向錯誤				
133	玻璃安裝玻璃墊塊放置不符圖說數量及位置				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
134	玻璃安裝未先清潔擦拭乾淨， 矽膠黏著不良				
135	玻璃矽膠施打型號錯誤不符設 計圖說要求				
136	玻璃矽膠施打深度(bit)不足				
137	石材安裝工序錯誤造成石材成 品紋理龜裂破損				
138	石材表面矽膠汙染				
139	玻璃安裝膠條規格錯誤				
140	玻璃安裝膠條固定不牢固				
141	石材安裝後相鄰石材有色差， 裁切前無做大阪顏色計畫				
142	石材表面防護劑處理漏作				
六、包裝與運輸					
143	單元框邊角未有保護墊材造成 碰撞損壞				
144	易汙染或刮傷之面材表面未設 保護膜、造成汙損				
145	單元下端若有面材外露未保護 造成汙損				
146	運輸時玻璃或石材移位造成損 壞				
147	單元運輸架與貨車未固定牢固 造成損壞				
148	裝貨架缺損在運輸過程造成單 元損壞				
149	貨架結構強度不足運輸時塌陷 造成單元損壞				
150	材料及裝貨架未設置合適之墊 材造成單元表面磨損				
151	單元運送台車堆置及固定方不當				
152	單元過大過長過高運輸車台無 法裝設固定				
153	運輸路線規劃不當運輸車輛無 法進入				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
工地吊裝階段					
一、外牆結構與現場測量					
154	結構體外圍尺寸誤差值已超過帷幕安裝容許誤差				
155	結構體樓板高層與圖面不符，超過公差範圍				
156	樓板邊樑尺寸與圖面不吻合				
157	樓板邊樑位置與圖面不吻合				
158	高程放樣與基準點不符				
159	依結構工程基準點放樣帷幕工程無法閉合				
160	測量誤差過大				
161	工地現狀不利測量				
162	基準點通視不良				
163	基準樣線誤差過大				
164	基準樣線對角線未畢合				
165	工地未統合使用單一基準樣線				
166	基準放樣錯誤，產生施做位置錯誤(高層及進出)				
二、預埋件施工					
167	預埋件安裝位置錯誤與圖面不符				
168	預埋件鋼筋與樓板鋼筋產生衝突無法安裝				
169	預埋件周遭配筋不足夠				
170	預埋件型式施做錯誤未依圖施作				
171	預埋件位置與實際結構體衝突無法安裝				
172	RC 結構預埋件安裝固定不良 混凝土澆置時產生位移				
173	預埋件固定點銲接位置不正確				
174	預埋件安裝誤差				
175	預埋件固定點焊接品質不良				
176	預埋件位置混凝土灌漿未填實 產生蜂窩握裹強度不足				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
三、二次件施工					
177	樑下固定件位置未補強				
178	二次件安裝時尺寸調整超過容許值				
179	圖面上所需之焊道無法施作				
180	二次件相關配件遺漏未安裝				
181	二次件型式安裝錯誤				
182	二次件未依樣線位置固定				
183	二次件與預埋件間未裝置絕緣片隔離，產生材料電位差(腐蝕)現象				
184	二次件安裝進出左右與高程基準線不符。				
185	二次件焊接品質不良				
186	二次加工誤差無法安裝定位				
187	二次件與現場鋼構衝突無法安裝				
188	二次件安裝基準樣線尺寸引用錯誤				
189	二次件安裝高程計算尺寸錯誤				
190	二次件安裝螺栓型式材質錯誤				
191	二次件安裝鋸齒狀華司未完整卡合				
192	二次件安裝螺帽未鎖緊產生滑動				
四、單元吊裝與調整					
193	單元吊裝時固定點不牢固產生滑動				
194	吊裝時單元重心不穩固產生傾斜				
195	單元吊裝時固定點不牢固單元墜落				
196	吊車旋轉半徑及移動空間不足無法吊裝至定位				
197	單元二次件調整量無法吸收誤差值				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
198	定位螺絲或固定件漏裝				
199	鋸齒狀華司是無完整卡合				
200	單元滑動固定螺帽未鎖緊				
201	單元未依編號吊裝產生錯置				
202	單元掛件與二次件未確實結合卡合				
203	單元間直料(公母料)未卡裝確實				
204	樑下繫件 kicker 無法全扣入。				
205	單元無法對縫。				
206	單元水平縫不正確。				
207	單元高程安裝誤差過大				
五、版片擋塊安裝與接頭防漏施工					
208	版片擋塊固定前水槽未清乾淨				
209	擋塊固定螺絲未固定				
210	水槽內防水填縫未依圖施做漏作				
211	庇水板未安裝				
212	水槽內螺絲遺漏未施打矽膠				
213	水槽料灌水後有水滲入室內側				
214	水槽料排水路徑不順暢產生積水				
215	單元間之擋塊規格錯誤無法安裝				
216	單元間擋塊接頭之防水矽膠漏作				
217	單元套筒型號尺寸不符				
218	單元套筒防層間變位擋塊未裝套筒防水膠施作不良				
219	水槽試水後排水孔臨時蓋板未拆除造成無法排水				
220	單元間擋塊位置與水槽排水孔衝突無法排水				
六、層間塞施工					
221	層間塞固定片未依圖安裝				
222	層間塞安裝固定不牢固掉落				

項次	風險因子/失效原因/機制	嚴重度	發生率	難檢度	建議改善對策
223	柱位處層間塞無連續漏作				
224	單元與結構體間之距離不足，無法施做層間塞				
225	岩棉壓縮量不確實				
226	阻煙劑塗佈與結構體搭接不足				
227	阻煙劑與單元及結構體間有破孔未呈密封狀態				
228	岩棉及阻煙劑材料未符合圖說要求				
229	層間塞厚度不足。				
230	阻煙膠塗佈寬度不正確。				
231	阻煙膠塗佈厚度不足				
232	層間塞漏做				
233	阻煙膠塗佈不均				
234	阻煙膠漏做				
七、拆除保護紙表面清潔					
235	拆紙後背膠殘留於表面				
236	割膠紙時傷及膠條及烤漆				
237	單元鋁框料表面有刮傷				
238	清潔時使用之清潔劑錯誤造成表面腐蝕損壞				
239	清潔時使用擦拭工具造成刮傷				
240	外露面保護紙未撕紙。				
241	清洗玻璃時刮損玻璃				
242	清洗時造成石材表面汙染				

本問卷到此結束，最後，請 您檢查一次是否有遺漏之處，再次感謝您的協助與支持。若您需要本研究結果，請留下您的E-mail資料，以方便聯絡之需。

E-mail：

敬請各位先進對本研究的適當性及疏漏之處尚祈指正，並給予相關建議，(以上施工階段風險評估項目是否適當，有何需再補充增刪之處)。

---

感謝您詳盡的填答！敬祝 順心如意