

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

液晶玻璃密集式包裝箱厚度與落摔強度關係之研究

A study about the relationship between the drop test and the thickness of EPP dense box in TFT-LCD

研究生：張文元

指導教授：陳仁浩教授

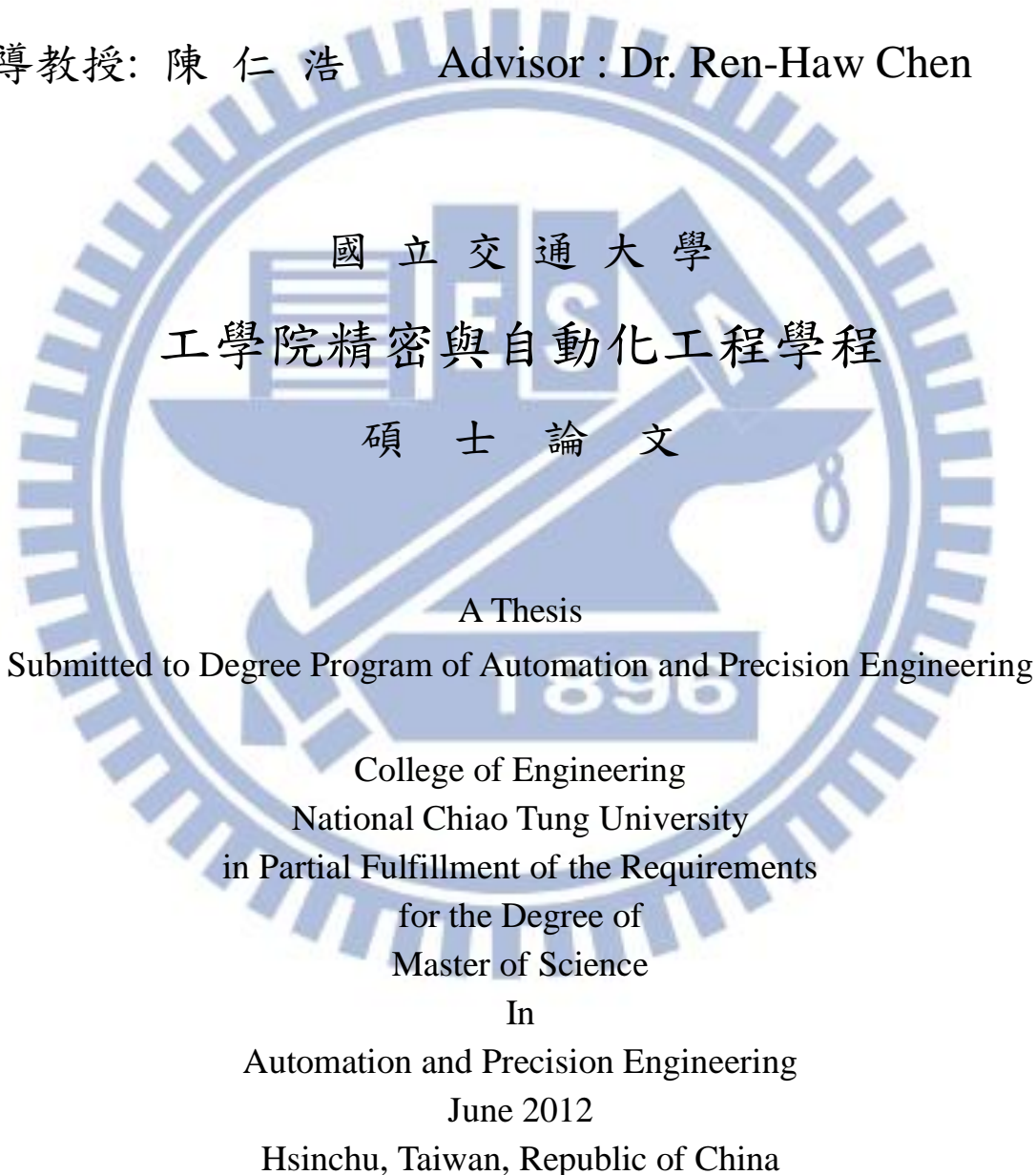
中華民國 一百零一年 六月

液晶玻璃密集式包裝箱厚度與落摔強度關係之研究

A study about the relationship between the drop test and the
thickness of EPP dense box in TFT-LCD

研究生：張文元 Student : Wen-Yuan Chang

指導教授：陳仁浩 Advisor : Dr. Ren-Haw Chen



中華民國 一百零一年 六月

液晶玻璃密集式包裝箱厚度與落摔強度關係之研究

學生：張文元

指導教授：陳仁浩 教授

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

摘要

在整個 3C 產品的發展上，從之前的厚實穩固的面貌中發展成輕、薄、短、小與外觀美觀的特性。在產品的使用應用上，最重要的莫過於是其中的液晶顯示裝置。然而液晶玻璃在特性上是屬於不耐衝擊與碰撞，容易發生裂痕與破裂，因此需要以包裝來適度保護與防範撞擊造成的傷害。

本研究的目的係以現行包裝方式進行實驗與搭配透過軟體分析，找到現行包裝方式的問題點，並加以改善、節省包裝的浪費與效率提昇。其方法係以現行包裝液晶玻璃的包裝方式設計來進行，以液晶玻璃裝載箱發生的損壞狀況來討論，搭配實際產品落摔實驗進行確認，以找到使液晶玻璃發生破壞的衝擊力與相對應的包裝容器厚度之間的對應值，並透過電腦輔助工程軟體進行產品模擬，來確認軟體的分析方式與設定參數定義正確。

研究結果顯示經軟體分析出來之結果可與實際產品落摔實驗的回饋數值資料相吻合，在落摔的角度差異上，會影響應力的變化；另外在實體落摔與模擬的結果也都顯示出具有特徵的箱體有較佳的緩衝效果與保護性，因此在箱體設計上應該具備此項特徵，可讓箱體厚度效益得到改善，並在經過此驗證後而得到一個理想建議設計值。

本研究目前所得到的結論，在有限元素模型上已經可以蠻準確分析與預測 EPP 裝載箱的應力值，使設計人員可以找出問題點並加以改善，接下來進一步也可利用有限元素模型的分析結果，在設計期初參考其數值，改善設計流程，進而來降低設計成本與材料使用量並有效縮短開發時間，增加開發效能與降低後續發生問題的機率。

A study about the relationship between the drop test and the thickness of EPP dense box in TFT-LCD

Student : Wen-Yuan Chang

Advisors : Dr. Ren-Haw Chen

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

The development of 3C products has evolved from a bulky, solid appearance into one that is light, thin, short, small, and beautiful. The position and installment of the LCD display is the most critical aspect for the application and usage of the product. However, LCD glass is susceptible to impacts, which can cause cracks or ruptures and breaks. Therefore, appropriate packaging is necessary to protect and prevent damages caused by impacts.

This study conducted experiments using current packaging with software analysis to identify the shortcomings in current packaging methods and to recommend improvements and savings methods regarding packaging waste and enhancing packaging efficiency. We employed packaging design currently used to package LCD glass and examined the degree of damage for LCD containers. An actual product drop experiment was also used for verification to find the corresponding values between the impact forces that can cause damage and the thickness of the LCD packaging container. In addition, we conducted product simulations using computer-aided engineering software to ensure that the correct software analysis method and parameter definitions were used.

This study's findings showed that the software analysis results were consistent with the feedback value data obtained from the actual product drop

test in that different drop angles would influence stress changes. Both the actual drop and simulated tests indicated that containers with special features provided a better buffer effect and protection. Therefore, containers should be equipped with such special features to improve the effectiveness of the container thickness. This study also identified the ideal suggested design values for the containers through verification.

The conclusion of this study is that it is possible to accurately analyze and predict the stress values of the EPP containers with the finite element model. Consequently, design personnel can use this phenomenon to find problem points and enact improvements. The analysis results from the finite element model and relevant values can also be employed at the preliminary design phase to improve the design process, reduce design costs and material usage volume, shorten development time, increase development efficacy, and to reduce the probability of follow-up problems.



誌謝

首先要誠摯感謝指導教授 陳仁浩老師的細心教導與鼓勵，在整個研究過程中，給與相當多的建議與研究方法的指導，在論文研究上遇到問題時給與改善方向，使我從中獲益良多，並在這段過程中學習到許多寶貴的知識與經驗。另外也要感謝徐瑞坤博士與鄭泗東博士在論文上的指導與建議，使本論文能更加完善，並對於研究上給我的肯定與鼓勵。

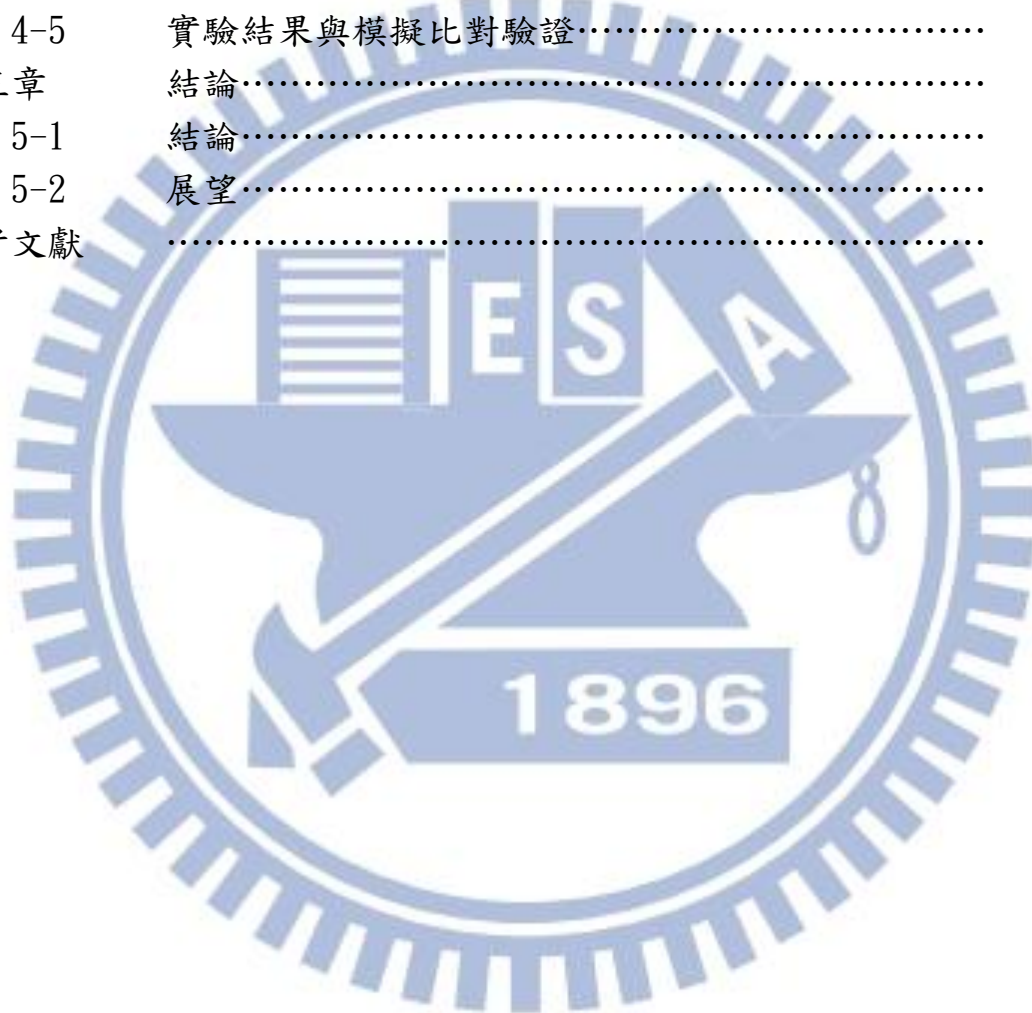
另外要特別感謝工作上的同事俊惟，謝謝你的大力幫忙與協助，也謝謝其他的同事與廠商，提供許多有幫助的建議、經驗與資源，使實驗能夠順利的進行完成，讓我的論文可以更加的完整。

最後我要感謝我的家人，在求學與生活中一路的支持與關心，讓重回學生生涯的我，能夠不斷的學習與成長，體會終身學習的樂趣。再次感謝所有幫助與協助過我的人，人生因為有你們熱情的參與和扶持而變得更多采多姿與幸福。

目錄

	頁次
中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章	
緒論	1
1-1 研究背景	1
1-2 研究動機與目的	2
1-3 文獻回顧	3
1-4 研究方法	10
第二章	
TFT-LCD 結構與發泡包裝方式	12
2-1 TFT-LCD 結構	12
2-2 TFT-LCD 製程	14
2-3 發泡模具成型品製程介紹	16
2-4 發泡模內成型生產過程與發泡成型設備概述	17
2-4-1 發泡模內成型生產過程	17
2-4-2 發泡成型設備	18
第三章	
落下測試試驗與 LS-DYNA	24
3-1 落下測試介紹	24
3-1-1 落下測試的目的	24
3-1-2 落下測試標準	24
3-1-3 落下測試方式	24
3-1-4 落下測試標準規範	24
3-2 LS-DYNA 有限元素模擬軟體	27
3-3 實驗設備	30
3-3-1 簡易型萬能材料試驗設備	30
3-3-2 銑床設備	31
3-3-3 三軸向 SENSOR	32
3-3-4 DROP 落下設備	33
3-3-5 SHOCK 衝擊設備	34
3-3-6 高速攝影機	35

第四章	實驗與模擬比對結果.....	37
4-1	實驗與模擬比對流程規劃.....	37
4-2	測試模型建立.....	37
4-2-1	EPP Strain Rate.....	37
4-2-2	實驗測試箱體.....	39
4-2-3	落摔與 Shock 有限元素分析.....	40
4-3	Shock 實驗與 Shock 模擬結果.....	42
4-4	落摔實驗與落摔模擬結果.....	48
4-5	實驗結果與模擬比對驗證.....	52
第五章	結論.....	56
5-1	結論.....	56
5-2	展望.....	56
參考文獻	58



表目錄

	頁次
表 1.1 材料特性比較表.....	6
表 1.2 EPP 物性表.....	8
表 1.3 EPP 熱性表.....	8
表 3.1 ASTM D4169 D5276 跌落高度與包裝重量的關係.....	25
表 3.2 IEC 68-2-32 跌落高度與包裝重量的關係.....	25
表 3.3 CNS 10033 Z6061 跌落高度與包裝重量的關係.....	26
表 3.4 MIL-STD-810E 跌落高度與包裝重量的關係.....	26
表 4.1 荷重變形表.....	38
表 4.2 材料參數表.....	41
表 4.3 材料摩擦係數表.....	42
表 4.3 應力值與角度之差異對照表.....	48
表 4.4 應力值區間.....	54



圖目錄

	頁次
圖 1.1	3C 電子產品包裝..... 1
圖 1.2	CELL 包裝方式..... 3
圖 1.3	常見的包裝方式與種類..... 4
圖 1.4	聚丙烯發泡珠粒發泡工程..... 6
圖 1.5	資源回收標誌..... 9
圖 2.1	TFT-LCD 三明治結構..... 13
圖 2.2	面板顯示原理..... 14
圖 2.3	TFT-LCD 製程..... 14
圖 2.4	Array 製程..... 15
圖 2.5	Cell 製程..... 16
圖 2.6	模組製程..... 16
圖 2.7	成型工程..... 17
圖 2.8	成型發泡設備..... 18
圖 2.9	含浸槽..... 19
圖 2.10	送料加壓槽..... 19
圖 2.11	模具..... 20
圖 2.12	料槍..... 21
圖 2.13	蒸氣管..... 21
圖 2.14	銅仁孔..... 22
圖 2.15	冷卻水銅管..... 22
圖 2.16	頂出桿..... 22
圖 2.17	乾燥室..... 23
圖 3.1	落下測試邊界條件..... 27
圖 3.2	LS-DYNA 有限元素模擬軟體..... 29
圖 3.3	LS-DYNA 操作流程..... 30
圖 3.4	簡易型萬能材料試驗設備..... 31
圖 3.5	銑床設備..... 32
圖 3.6	三軸向 Sensor..... 33
圖 3.7	DROP 落下設備..... 34
圖 3.8	Shock 衝擊設備..... 35
圖 3.9	高速攝影機..... 36
圖 4.1	實驗規劃流程圖..... 37

圖 4.2	EPP 發泡聚丙烯樣品	38
圖 4.3	靜態應力應變曲線圖	39
圖 4.4	動態應力應變曲線圖	39
圖 4.5	實驗測試箱體圖	40
圖 4.6	有限元素模型圖	41
圖 4.7	SHOCK 半弦波圖	42
圖 4.8	SHOCK 初速度圖	42
圖 4.9	SHOCK 測試基準圖	43
圖 4.10	SENSOR 裝置方式位置	43
圖 4.11	Shock 濾波 SAE 330	44
圖 4.12	Shock 比對資訊	47
圖 4.13	撞擊接觸面角度	48
圖 4.14	Drop 測試基準圖	49
圖 4.15	Drop 濾波 SAE 330	50
圖 4.16	落摔 G 值	52
圖 4.17	應力分析	52
圖 4.18	箱體特徵圖	53
圖 4.19	模擬與實際落摔結果	54



第一章 緒論

1.1 研究背景

在日新月異的科技助益之下，每天都會有許多新的3C產品被研發與產生應用在生活之中，這些產品必須有適合的包裝方式[圖1.1]方可維持產品品質無虞且安全送交客戶手中。



圖1.1 3C電子產品包裝

包裝是連結生產與消費之間，用以保護產品，加速儲運，促進消費的一種融合科學技術與藝術思想的企業行為[1]。包裝與產品如影隨形是無法分離的。因任何產品不經包裝，就難達到貨暢其流的目的。因此現代包裝新觀念包含下述幾點必備條件：

- (1)現代的包裝不再是產品外在的附屬品，而是商品的一部份。
- (2)現代的包裝是融合科學技術與藝術思想的結晶。一件完美的包裝作品，必然兼具保護產品與刺激消費的雙層功能。
- (3)現代的包裝是產品信譽的標誌。不但其造型、構圖、說明與使用功能等設計，要匠心獨運，富有創造性，同時更須建立商標的權威性。
- (4)現代的包裝須能創造利潤。包裝是要將精良的產品推銷到顧客手中，使顧客有效的使用產品而獲得最大的滿足，同時使經營獲得應有利潤的一種工具。

(5)現代的包裝不只著重於本身功能的發揮，同時也需考慮包裝本身應具備處理、銷毀或是回收重用的特性。

(6)現代的包裝必須不浪費資源，不製造髒亂，不構成公害，安全沒有危險。

在工業包裝上，儲運過程中的震動、衝擊、壓縮、水、溫度等，會使商品發生破損、損傷而降低其價值。因此適正包裝即為防止種種可能造成的缺失所做的包裝。另各種物品本身的性質不同，強度不同，因此在包裝的緩衝材料方面，亦有不同的選舉與考量。依照物品的易損性，重量，體積大小等，來選擇適當的緩衝材料及決定包裝材料的厚度，強度。

適正包裝的決定因素，是依據包裝試驗的數值來支持。因為包裝與產銷、產品設計、搬運、倉儲與運輸有密切關連性，通常包裝工程師的任務是按照產品結構與強度、設定條件、計算材料緩衝值等等，設計適正包裝，同時計算試驗來判定安全性，使產品獲得最佳保護，而包裝費用合理化，達到最佳經濟效益。

1.2 研究動機與目的

在目前的3C電子產品中大多數是以液晶面板為其主要顯示窗口，因此於液晶面板的保護上需特別的考量與設計，以特別的包裝方式來使用並保障其安全性。

目前在液晶玻璃的包裝材料一般是使用EPP(發泡聚丙烯)材料，主要是因為有幾項優點：

1. 耐熱性與低溫特性優良
2. 尺寸安定性穩定
3. 優良的緩衝性
4. 耐用性佳與耐油與耐藥性
5. 廢棄物處理容易

由於上述優點，目前尚無取代之材料使用，因此要如何達到更好包裝效益是當前必須研究的議題。

針對上述課題，我們將朝液晶玻璃在發泡材料設計的容器[圖1.2]包裝中其保護安全性與發泡材料的包裝厚度為研究方向，以找出是否有其最佳效益之平衡點，並期待能以更簡單與有效率的方式進行其包裝設計與需求之達成。



圖 1.2 CELL 包裝方式

液晶玻璃裝載箱現行最主要的功能有下列幾項：

1. 安全的保護與方便的使用在產品的傳送與使用過程中
2. 有效率的使用與應用在運輸系統中
3. 耐用與易於設計的精簡結構

上述的功能描述，便是衍生本論文的研究目的，以期能找到相關的關聯條件，讓期初設計工作上能更簡易與容易，而不是一味的以習知經驗設計，這樣的方式既無效率，也無一定的準則與標準。

因此目前的研究方向朝材料在不同厚度的箱體厚度在Drop落摔實驗中找到一個平衡效益點，再以SHOCK衝擊機台做部份數值差異上的比對與修正校對，並輔助以LS-DYNA有線元素模擬分析輸入相關參數與模型、產出分析數值，再與落摔驗證結果比對評估來找到相關可設計量化之軌跡數值，讓日後設計之液晶玻璃裝載箱能更貼近有效之使用效益。

1.3 文獻回顧

對於某些產品而言，需依賴某種等級的緩衝材料，才能克服搬運與運輸的環境。評估一項成功的緩衝包裝設計，雖然要考慮的因素很多，但在選擇材料的過程中，緩衝特性尤其重要。緩衝材料的功能，在於緩和會使

產品造成損壞的高基準衝擊脈波，衰減運輸環境的振動輸入損壞，抵抗儲存期間的壓縮潛變，抵抗動態荷重下的彎曲，以及抵抗產品在荷重下的變形等[2]。

常見的包裝方式與種類[圖 1.3]有下列四種：

1. 真空成型製品:適用於存放食物、手機、光電 LCD 產品、電子零組件等，另有抗靜電及導電材質設計。
2. 發泡塑膠成型製品:
EPP (發泡聚丙烯)
EPE (發泡聚乙烯)
EPS (發泡聚苯乙烯) — 保利龍
EPO (EPS 和 EPE 共聚體) — 適用於一般電子、電機、資訊、汽車及農工水產等包裝材及緩衝材
3. 紙緩衝製品:適用於各類電子、資訊、加工業零組件等包裝材料。
4. 積層貼合製品:適用於電子、電機、資訊、玻璃、儀器等包材。

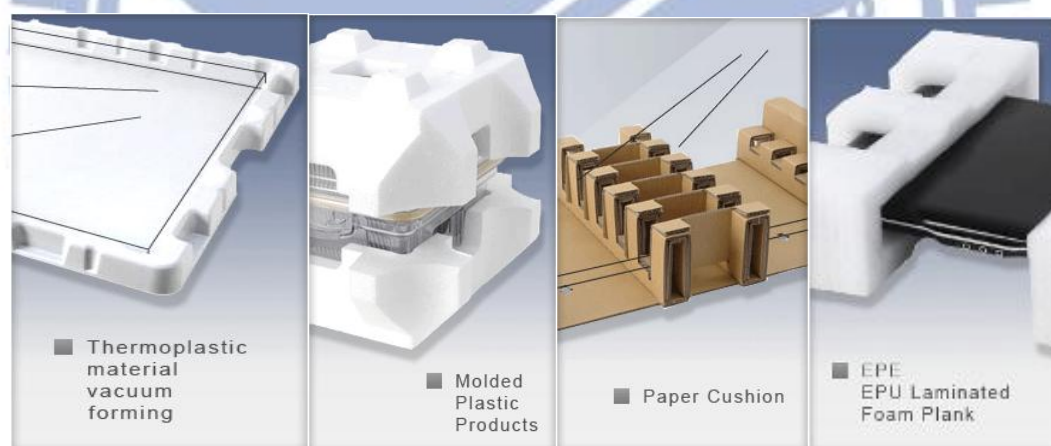
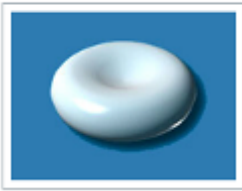


圖 1.3 常見的包裝方式與種類

聚丙烯發泡珠粒 (EPP) [圖 1.4]，是一種性能卓越的高結晶型聚合物／氣體複合材料，以其獨特而優越的性能[表 1.1]成為目前增長最快的新型環保抗壓緩衝隔熱材料。EPP 發泡聚丙烯製品具有十分優異的抗震吸能性能、形變後回復率高、很好的耐熱性、耐化學品、耐油性和隔熱性，另外，其質量輕，可大幅度減輕物品重量。EPP 發泡聚丙烯還是一種環保材料，不僅可回收再利用，而且可以自然降解，不會造成白色污染。適合作為包括食品在內的各種環保適性包裝材料，並適用於聚丙烯 EPP 汽車內裝飾、隔

熱、建築、五金等行業。在汽車工業中，發泡聚丙烯與其他材料靠粘合劑或加熱貼合，真空成型後可作門、天花板和儀器面板，可加工成聚丙烯 EPP 地毯支撐材料、聚丙烯 EPP 遮光板、聚丙烯 EPP 隔音板、聚丙烯 EPP 門襯、聚丙烯 EPP 行李架、聚丙烯 EPP 蓋子、聚丙烯 EPP 箱體，聚丙烯 EPP 工具箱等內裝飾材料，可加工成 EPP 減振塊、聚丙烯 EPP 汽車保險杠、聚丙烯 EPP 汽車內飾件。

步驟一



PP 原料樹脂經過特殊處理，調配成可發泡之組成構造。

步驟二



樹脂加上耐候劑與助發劑等藥品。

步驟三



原料樹脂與藥品經過融解攪拌後，加工切割成約 1~1.5mg 的塑膠粒。

步驟四



塑膠粒放入反應裝置，以高溫/高壓之條件，進行電腦控制管理。

步驟五



利用反應裝置內的高溫/高壓，強制將發泡劑的空氣溶入塑膠粒中。

步驟六



反應結束後，瞬間將條件之高溫/高壓，調整為常溫/大氣壓。

步驟七



塑膠粒中的空氣瞬間膨脹，軟化的塑膠粒亦因溫度降低而變硬，完成預備發泡。

圖 1.4 聚丙烯發泡珠粒發泡工程

表 1.1 材料特性比較表

項目	發泡聚丙烯 EPP	發泡聚乙烯 EPE	發泡聚苯乙烯 EPS	PE / PS EPO	泡棉 PU
密度	0.02~0.06	0.03~0.06	0.01~0.03	0.03~	0.02~0.4
發泡構造	獨立	獨立	獨立	獨立	連續
機械強度	強	強	脆	強	弱
最高使用溫度	110°C	85°C	80°C	80°C	120°C
柔軟性	稍硬	稍軟	硬	稍硬	軟
衝擊特性	良	良	劣	略差	良
耐油性、藥品性	極佳	極佳	劣	略差	良好
吸水性	極小	極小	小	小	大
公害性	極小	小	大	大	大
發泡氣體	空氣	空氣	碳氫化合物 (丁烷等)	碳氫化合物 (丁烷等)	碳氫化合物 (丁烷等)

項目	發泡聚丙烯 EPP	發泡聚乙烯 EPE	發泡聚苯乙烯 EPS	PE / PS EPO	泡棉 PU
壓縮強度	○	○	◎	◎	△
反覆壓縮強度	○	◎	X	X	◎
抗張強度	◎	◎	X	X	△
難燃性	◎	○	X	X	X
耐熱性	◎	○	X	X	○
熱尺寸變化	◎	○	X	△	○
耐藥品性	◎	◎	X	X	X
耐氣候性	◎	◎	X	△	X
尺寸安定性	◎	○	○	◎	○
耐濕性	◎	◎	○	◎	X
不產生毛屑	◎	◎	△	○	◎
不發霉	◎	◎	◎	◎	◎
總合評價	◎	○	X	△	△

註) 優：◎ 良：○ 可：△ 差：X

EPP 是一項優異的發泡塑膠材料，具有優良的物性[表 1.3]與熱性[表 1.3]，其特點為重量輕、緩衝性佳、復原性好、尺寸穩定性高、化學抵抗性優。尺寸穩定性佳，可滿足各種設計尺寸需求；耐壓縮性佳，於高荷重下具有較高的靜應力與低變形量；緩衝性佳，較小的厚度也具有很好的緩衝力；彈性佳，重複衝擊下也具有高能量與衝擊吸收性；復原性佳，具有良好的彈性，能於受壓縮後，迅速回復至接近原尺寸的功能；耐油性及耐化學性，具有抵抗各種化學物質與不受油脂影響的特性，可保持材料的穩定性。耐溫性佳，可抵抗-40℃至-100℃低溫；透水性與導熱性佳，由於係獨立氣泡製成，其熱傳導率低，透水性也低；無公害問題。製品成型過程沒有使用發泡劑，不會造成公害問題；耐磨性佳，不致使產品表面造成刮傷或磨損。

表 1.2 EPP 物性表

項目		測試方法	單位	15P	30P	45P
氣泡構造		JSP 法		獨立氣泡	獨立氣泡	獨立氣泡
密度		JIS K6767	g/cm ³	0.06	0.03	0.02
抗張	強度	JIS K6767 A 法	kg/cm ²	9.6	4.3	3.5
	抗張率		%	38	40	36
拉斷強度		JIS K6767	kg/寬 10mm	5.7	2.2	1.8
壓縮硬度		JIS K6767	kg/cm ²	2.6	1.3	0.8
壓縮永久變形率		JIS K6767	%	6.9	7.9	9.8
反覆壓縮永久變形率		JIS K6767	%		8.1	10.7
反彈率		ASTMD 1564 (W14g H22cm)%		31	45	52
浮力		JSP 法	g/l	950	970	980

表 1.3 EPP 熱性表

項目	測試方法	單位		15P	30P	45P
熱變形率	JIS K6767	面方向 (%)	80°C	-0.3	-0.6	-0.6
			90°C	-0.4	-0.9	-1.7
			100°C	-0.8	-1.5	-3.2
			110°C	-2.1	-3.3	-5.1
			-30°C 10 日	-0.2	-0.3	-0.4
		厚度方向 (%)	80°C	0.4	-0.4	-0.7
			90°C	0.7	-0.8	-0.5
			100°C	0.7	-1.2	-0.4
			110°C	1.3	-2.9	-2.2
			-30°C 10 日	0	0	-0.2
		體積 (%)	80°C	-0.2	-1.6	-1.8
			90°C	-0.4	-2.6	-3.4
			100°C	-0.8	-4.2	-6.1
			110°C	-3.0	-9.2	-12.5
			-30°C 10 日	-0.4	-0.6	-1.0
熱傳導率	JIS A1413	Kcal / mHr°C		0.036	0.034	0.033

基於上述材料特性與優勢，且目前市面上裝載液晶玻璃的使用上皆運用此技術及其應用包裝，材料的取得與應用是較為廣泛的，因此此研究範圍的材料選用即以 EPP 發泡聚丙烯為主。

回收標誌[圖 1.5]中四個逆向箭頭中，每一個箭頭分別代表資源回收四合一制度中之一者，即為社區民眾、地方政府清潔隊、回收商及回收基金四者共同參與資源回收工作。印刷上顏色則並不限定要採綠色，只要單色印刷即可。

	PET 聚乙稀對苯二甲酸酯 (polyethylene Terephthalate) ，即所謂的寶特瓶。
	HDPE 高密度聚乙稀(High Density polyethylene)
	PVC 聚氯乙稀 (polyvinyl chloride)
	LDPE 低密度聚乙稀(Low Density polyethylene)
	PP 聚丙烯 (polypropylene)
	PS(保利龍) 聚苯乙稀 (polystyrene) ，若是發泡聚苯乙稀即為俗稱之「保麗龍」
	OTHER 其他類

圖 1.5 資源回收標誌

只要是標示有回收標誌之廢容器，皆須回收，除了這個標誌外，我們還常在塑膠容器上看到分別打上三個循環箭頭包圍著阿拉伯數字 1 至 7 的號碼標誌，其所代表的意義是塑膠類容器又可區分為 7 類不同材質，為利於後端的細分類及再利用，故需有不同的標示。這個分類是屬於國際通用的塑膠分類回收標誌。例如：1 代表寶特瓶，2 代表高密度聚乙烯，以便於在這些塑膠瓶被送到再生廠時，工作人員只要憑著瓶底的號碼標誌，就可以輕鬆地將不同種類的塑膠瓶分類。

1. PET（寶特瓶）如：清潔劑、洗髮精、汽水瓶。

辨識法：寶特瓶通常是無色透明的，有的加色成淺綠淺藍或茶色。圓的 PET 瓶底下方有一圓點，瓶身其他地方無接縫，是最簡單的辨方法。

2. HDPE（高密度聚乙烯）如：塑膠提袋、鮮奶瓶、100%果汁瓶。

辨識法：多半不透明，手感似臘，塑膠袋揉搓或摩擦時有沙沙聲。

3. PVC（聚氯乙烯）如：雨衣、保鮮膜。

辨識法：圓的 PVC 瓶底部為一條線，是與寶特瓶的差別在。PVC 用力折會有白痕出現，在太陽底下長時間曝曬後會變成鐵色；用火燒在邊緣會有青色火焰，延燒性差，所以火源一停止燃燒是其特色。

4. LDPE（低密度聚乙烯）如：部份牙膏或洗面乳的軟管包裝。

辨識法：LDPE 做成的塑膠袋較柔軟，揉搓時較不會發出沙沙聲，外包裝塑膠膜軟而易撕的是 LDPE，較脆而硬的是 PVC 或是 PP 膜。

5. PP（聚丙烯）如：塑膠餐盤、杯子。

辨識法：PP 和 PE 很難分出，一般來說 PP 的硬度較高，且表面較有光澤，PE 則像臘製器，燃燒時 PE 的蠟燭味較重。

6. PS（保利龍）如：分為發泡及未發泡兩類，發泡即是一般常見的保麗龍器具，未發泡的如養樂多瓶。

辨識法：未發泡的製品，輕折就有白痕出現，並有擴散現象，通常以手即可撕裂。

7. OTHER（其他類）如：部份化妝品的罐子。

1.4 研究方法

本研究應用範圍於裝載液晶玻璃之液晶玻璃裝載箱上，以研究EPP(發泡聚丙烯)材料箱體厚度在落摔實驗與LS-DYNA有線元素模擬分析兩者之關

聯性與最佳效益為主，主要著重於探討兩者的結合及應用，並利用實驗與實作加以科學分析方式來找出關係，以期能應用在後續產品設計中。因液晶玻璃價格昂貴，本實驗以一般2mm厚度玻璃模擬取代。

本研究中所採用的方法乃結合實驗與數值模擬之比較檢證，實際流程為實體樣品製作、材料應力應變曲線分析、摔落實驗測試、LS-DYNA模擬、實驗驗證、問題分析、以及實驗數據整理與確認等。

以射出模具生產液晶玻璃裝載箱，各取樣 2.5 公分立方體樣品進行壓縮試驗以製作應力應變曲線圖，並將其餘液晶玻璃裝載箱進行箱體不同厚度切除，以進行後續 Drop 落摔與 SHOCK 衝擊實驗，並同步以 LS-DYNA 建立模型建置與軟體分析，確認各項數值與結果。



第二章 TFT-LCD 結構與發泡包裝方式

TFT-LCD 即是 thin-film transistor liquid-crystal display 的縮寫(薄膜電晶體液晶顯示器)，TFT-LCD 如何點亮?簡單說，TFT-LCD 面板可視為兩片玻璃基板中間夾著一層液晶，上層的玻璃基板是與彩色濾光片(Color Filter)、而下層的玻璃則有電晶體鑲嵌於上。當電流通過電晶體產生電場變化，造成液晶分子偏轉，藉以改變光線的偏極性，再利用偏光片決定畫素(Pixel)的明暗狀態。此外，上層玻璃因與彩色濾光片貼合，形成每個畫素(Pixel)各包含紅藍綠三顏色，這些發出紅藍綠色彩的畫素便構成了面板上的影像畫面

2.1 TFT-LCD 結構

TFT-LCD 面板的基本結構為兩片玻璃基板中間夾住一層液晶。前端 LCD 面板貼上彩色濾光片，後端 TFT 面板上製作薄膜電晶體(TFT)。當施電壓於電晶體時，液晶轉向，光線穿過液晶後在前端面板上產生一個畫素。背光模組位於 TFT-Array 面板之後負責提供光源。彩色濾光片給予每一個畫素特定的顏色。結合每一個不同顏色的畫素所呈現出的就是面板前端的影像。TFT 面板就是由數百萬個 TFT device 以及 ITO (Indium Tin Oxide，此材料為透明導電金屬)區域排列如一個 matrix 所構成，而所謂的 Array 就是指數百萬個排列整齊的 TFT device 之區域，此數百萬個排列整齊的區域就是面板顯示區。

不論 TFT 板的設計如何的變化，製程如何的簡化，其結構一定需具備 TFT device 和控制液晶區域(光源若是穿透式的 LCD，則此控制液晶的區域是使用 ITO，但對於反射式的 LCD 是使用高反射式率的金屬，如 Al 等。)TFT device 是一個開關器，其功能就是控制電子跑到 ITO 區域的數量，當 ITO 區域流進去的電子數量達到我們想要的數值後，再將 TFT device 關掉，此時就將電子整個關(Keep)在 ITO 區域。

液晶顯示器的構造如同三明治一般[圖 2.1]，將液晶夾在兩片玻璃基板之間，這兩片玻璃基板就是 TFT Array 玻璃與彩色濾光片。TFT Array 玻璃上面有無數的畫素 pixel 排列，彩色濾光片則是畫面顏色的來源，液晶便夾在 TFT Array 以及彩色濾光片之間。當電壓施於 TFT 電晶體時，液晶轉

向，光線便穿過液晶在面板上產生一個畫素，而此光源則是由背光模組負責提供。此時，彩色濾光片給予每一個畫素特定的顏色。結合每個不同顏色的畫素所呈現出的，就是面板前端的影像。

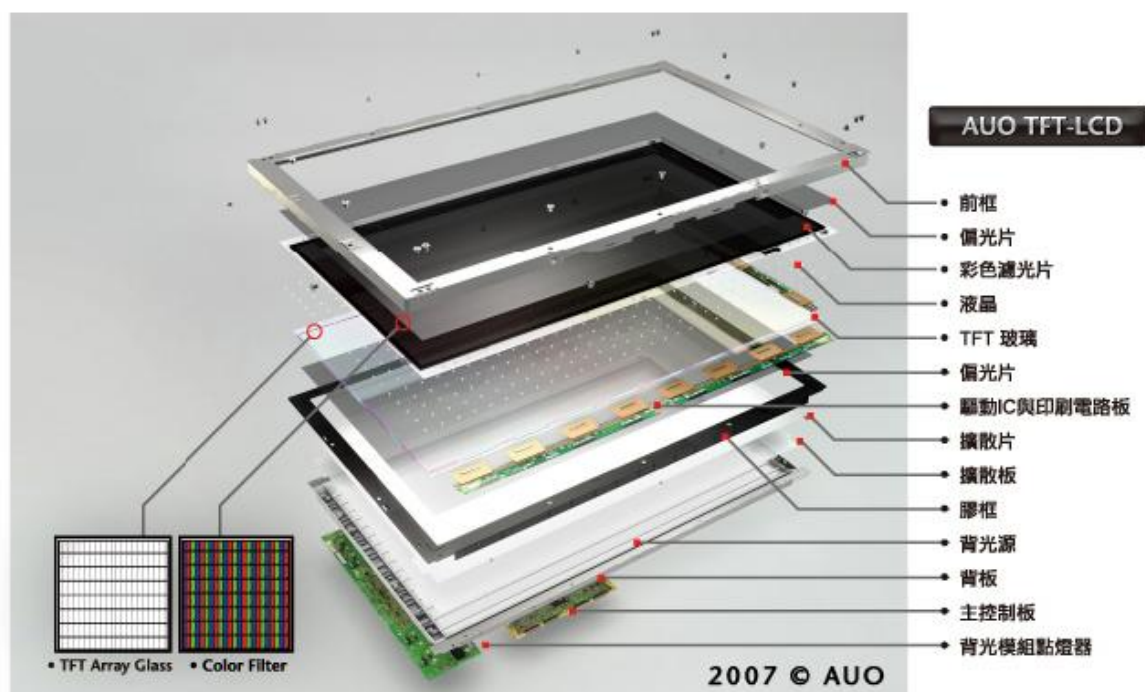


圖 2.1 TFT-LCD 三明治結構

簡單來說 TFT-LCD 面板顯示原理[圖 2.2]是將薄膜電晶體(Thin Film Transistor)做為每一個畫素的電源開關，藉由電流通過與否，控制液晶顯示器內之液晶位置，進而使螢幕上每個畫素產生不同的亮度，造成液晶顯示器顯示出各種畫面、顏色。

TFT-LCD 具輕巧、短小、不佔空間(體積只有 CRT 15~20 %)無輻射、耗電低、不生高熱、壽命高、畫面柔和不傷眼等特性優點。

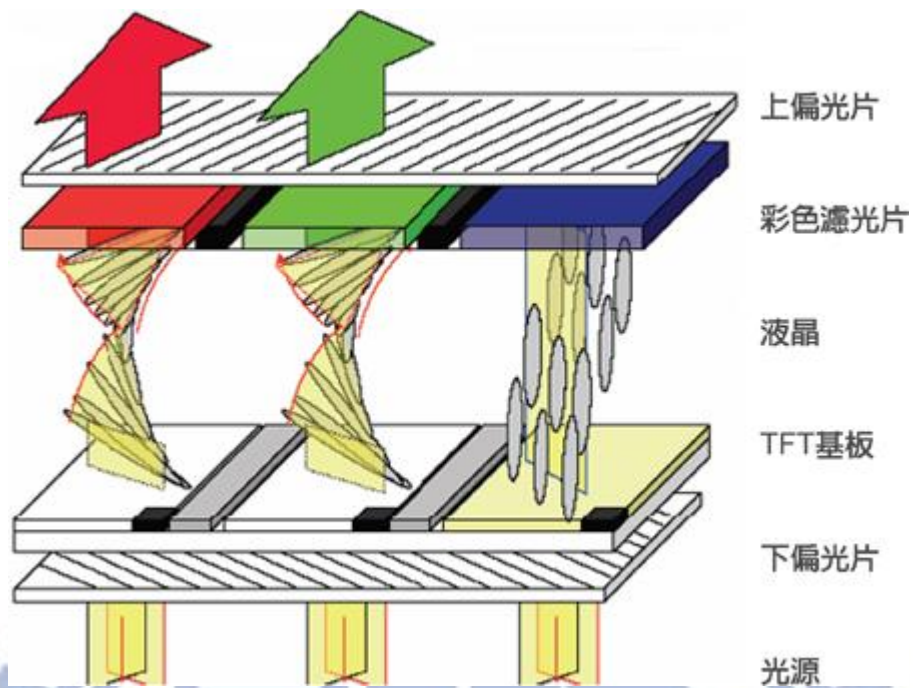


圖 2.2 面板顯示原理

2.2 TFT-LCD 製程[圖 2.3]



圖 2.3 TFT-LCD 製程

1. 前段 Array

前段的 Array 製程[圖 2.4]與半導體製程相似，但不同的是將薄膜電晶體製作於玻璃上，而非矽晶圓上。

- 成膜：在玻璃基板上，鋪上一層所需求材質的薄膜(PVD/CVD)。
- 曝光：使用光罩在光阻上，顯影出所需求的光阻圖形。
- 顯影：留下上階段光阻圖形部分的光阻。
- 蝕刻：在已經有光阻圖形之基板上，蝕刻出所需求的圖 (Wet/Dry)。
- 剝膜：已經蝕刻出所需求之圖形的基板，將覆蓋於圖形上之光阻去除以便進行後續工程。

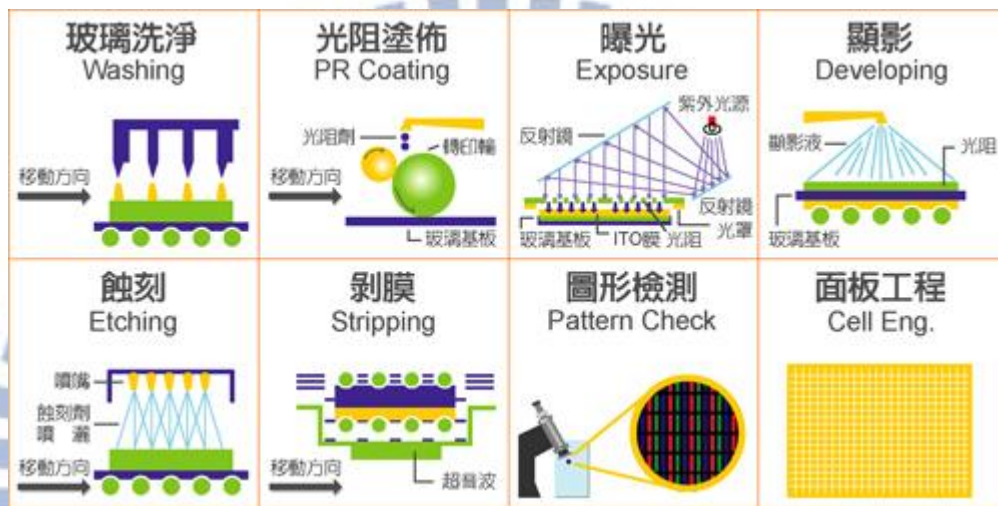


圖 2.4 Array 製程

2. 中段 Cell

中段的 Cell 製程[圖 2.5]，是以前段 Array 的玻璃為基板，與彩色濾光片的玻璃基板結合，並在兩片玻璃基板間灌入液晶(LC)。

- 配向：將配向膜刷出溝槽狀的痕跡，期使液晶分子能夠循一定的傾斜角度排列，此角度即稱為「預傾角」。
- 框膠印刷：利用環氧樹脂和壓克力樹脂提供 CF 側基板和 TFT 側基板結合應力，使後製程切裂時應力均衡及液晶注入時不致外洩。

組立封著：將彩色濾光片與 TFT 玻璃基板結合。

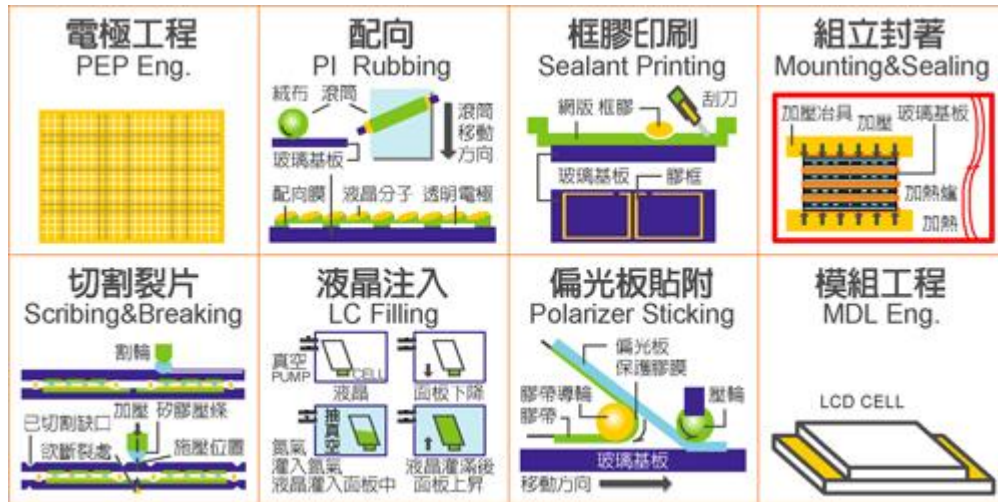


圖 2.5 Cell 製程

3. 後段 Module Assembly(模組組裝)

後段模組組裝製程[圖 2.6]是將 Cell 製程後的玻璃與其他如背光板、電路、外框等多種零組件組裝的生產作業。

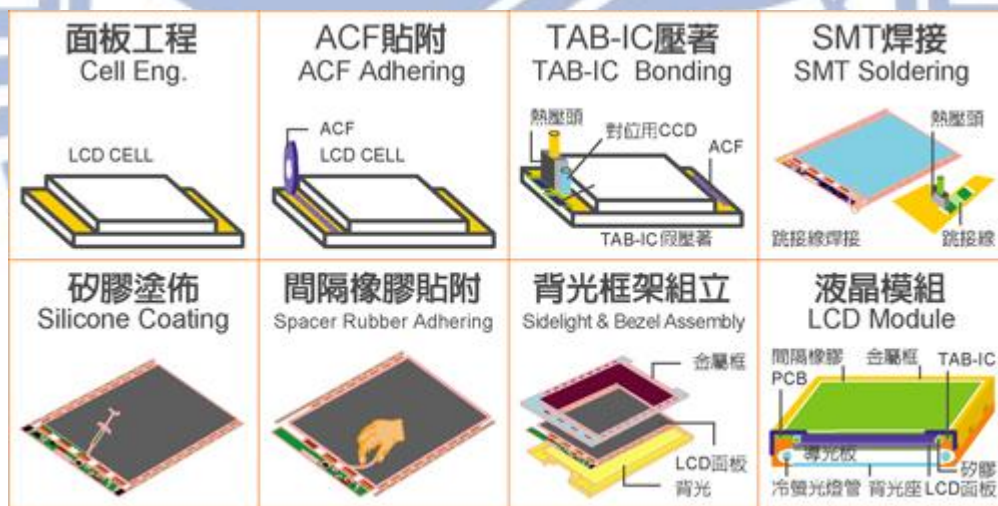


圖 2.6 模組製程

2-3 發泡模具成型品製程介紹

成形工程[圖 2.7]四步驟：

步驟 1：充填

- 藉由料槍，將 EPP 粒子送入模具內。

步驟 2：加熱

- 利用高溫高壓蒸氣，使粒子與粒子緊密黏合。
- 由於 EPP 為發泡性材料，成型需要以蒸氣熟成。

步驟 3：冷卻

- 藉由冷卻水噴頭注入，對模具灑水降溫。

步驟 4：取出

- 利用推桿，將成形品從模具推出。

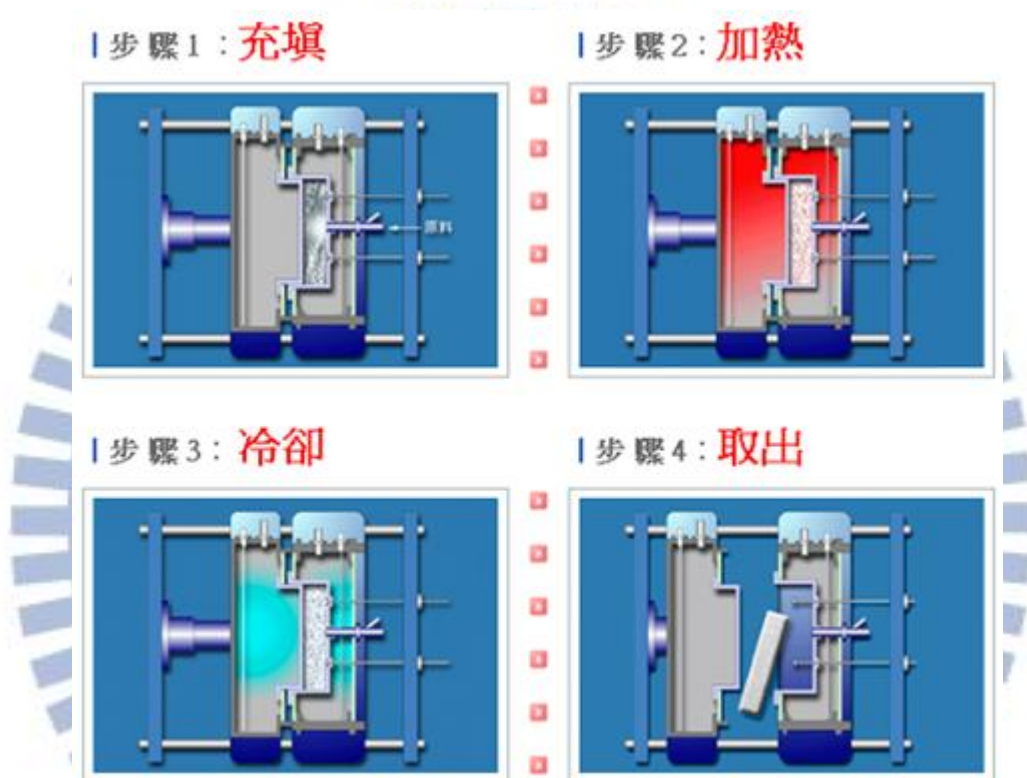


圖 2.7 成型工程

2-4 發泡模內成型生產過程與發泡成型設備概述

2-4-1 發泡模內成型生產過程

發泡模內成型生產有下述幾個過程：

1. EPP 粒子入加壓桶加壓至一定內壓(膨脹力 $30-35\text{kg}/\text{cm}^2$)。
2. 將加壓好之粒子送入機台儲存桶再加壓送入模具內。
3. 蒸汽加壓送入模具使溫度達 135°C 開始發泡。
4. 發泡完成加壓注入冷卻水、循環冷卻使降溫至 $50-60^\circ\text{C}$ 。
5. 開模取出半成品送入養成室烘乾及尺寸養成。

2-4-2 發泡成型設備

發泡成型設備[圖 2.8]主要有下述幾項：

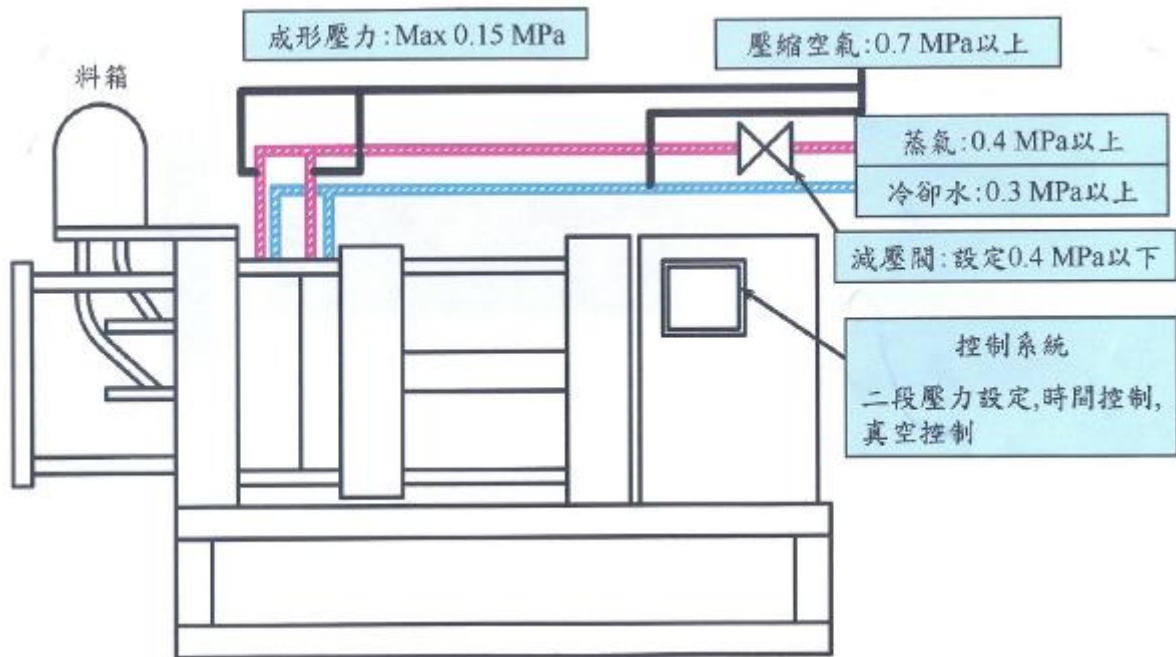


圖 2.8 發泡成型設備

1. 原料料桶-含浸槽[圖 2.9]。

含浸的程序：空氣加壓(漸進 - 3kgs)-6H→恆壓(3kgs)-7H→洩壓(3kgs - 2.0kgs)-4H→保壓(1.3 - 2.0kgs)-→抽取成型

含浸時間：需放置 12-16Hour，使其表面平整性較好。

EPP 含浸的目的：PP 顆粒透過含浸(空氣加壓震盪，空氣注入原料)，增加原料成型的融合性(強韌)，促進發泡圓熟，以及表面較光滑。



圖 2.9 含浸槽

2. 送料加壓槽[圖 2.10]。



圖 2.10 送料加壓槽

3. 模具[圖 2.11]。(原料輸入孔、推桿孔以及冷卻水孔)。



圖 2.11 模具

4. 料槍[圖 2.12]、蒸氣管[圖 2.13]、銅仁孔[圖 2.14]、冷卻水銅管[圖 2.15]、頂出桿[圖 2.16]、乾燥室[圖 2.17]。



圖 2.12 料槍

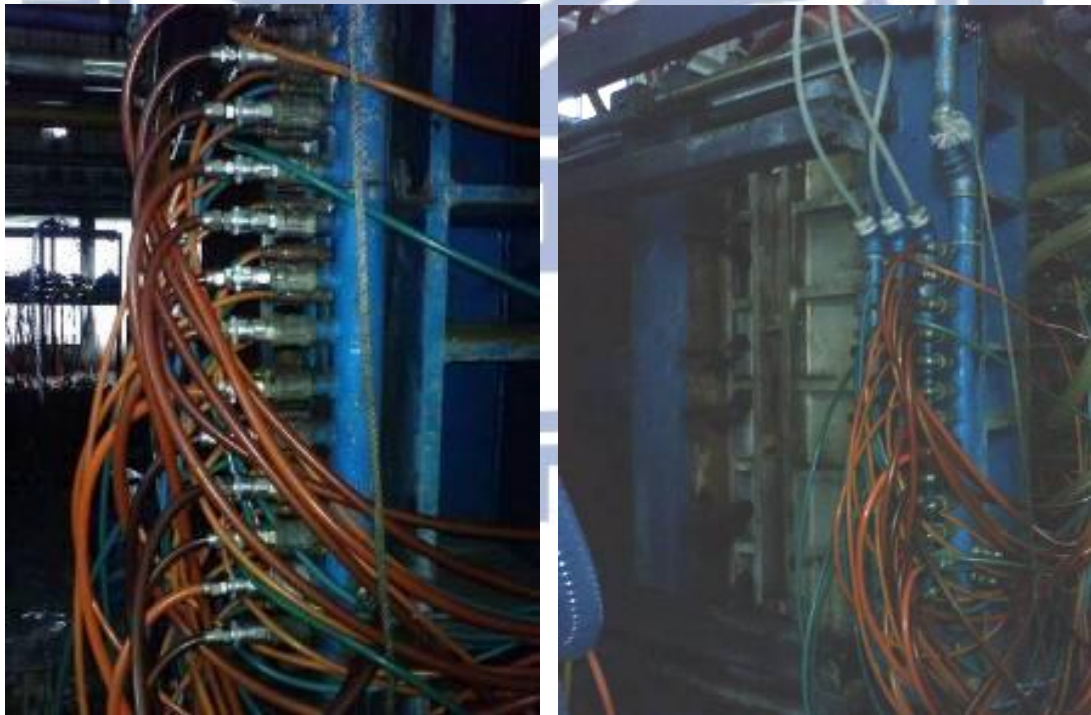


圖 2.13 蒸氣管

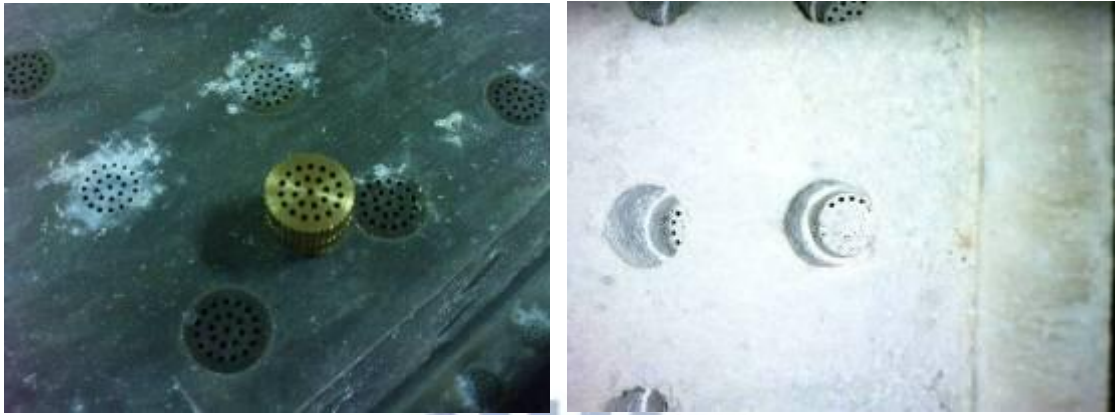


圖 2.14 銅仁孔



圖 2.15 冷卻水銅管



圖 2.16 頂出桿



圖 2.17 乾燥室



第三章 落下測試試驗與LS-DYNA

3-1 落下測試介紹

3-1-1 落下測試的目的：

執行落下測試有兩個目的，一是為了要測定裝載容器可承受粗暴搬運的能力；另一是為了要測定整個包裝容器及其內部緩衝包裝材料保護內容物的能力。使用的落下測試設備市一種既可讓容器保持正確定位，又可控制落高的調整裝置，以及不會傳遞迴轉或斜側外力的機構，並觀察產品在落下後，透過機構件的保護平均分散落下之衝擊，以確保產品之功能完整。

3-1-2 落下測試標準：

執行落下測試依據不同產品之功能特性、外觀材質與使用規範，定義不同之落下高度（例如：作用中為 70 公分與非作用中為 90 公分）與落下至地面（一般採用水泥地或鋼板為多）後之損傷程度（例如：表面可以刮傷，但不能有零件異位或脫落等破壞結構之現象），唯有產品之主要功能必須完全正常才符合測試標準。

3-1-3 落下測試方式：

執行落下測試有兩種方式，一是連續測試直到有明顯的損壞發生；另一是以特定的落下高度實施落下測試，然後檢視內容物有否損壞，其落下的基面（基礎）須為堅實的剛性水平面，通常是使用一塊至少 50 倍於落下裝運容器重量的鋼板為佳。

人工方式 - 用手拿著受測設備，讓測試設備在指定的落下方位（例如：上、下、左或右）落下，但人工方式常常會造成最後落下的方位偏移，而產生測試上的誤差。

跌落試驗機臺 - 標準且嚴謹的測試方式，讓每次落下的方位都能精準地與地面接觸，準確地達成實驗目的，產生的結果也具有可靠的公信力。

3-1-4 落下測試標準規範

自由跌落，評估試件因不當之處理動作所產生之跌落。試驗面應該為

平整、堅硬、牢靠之混凝土面或鋼板，必要時可另外規範加描述。落下方
法應使落下瞬間之動搖減至最小，由吊高度自然落下。落下高度則依受測
物件未包裝之不同重量而異，於落下前吊高時，其離試驗面最近部份之高
度。其跌落高度與包裝重量的關係標準規範可遵循下列幾種國際規格。

- ASTM D 4169 D 5276〔表 3.1〕
- IEC 68-2-32〔表 3.2〕
- CNS 10033 Z6061〔表 3.3〕
- MIL-STD-810F〔表 3.4〕

表 3.1 ASTM D4169 D5276 跌落高度與包裝重量的關係

Height (refer ASTM D 4169)			
1 corner 3 edges 6 flats (refer ASTM D 5276)			
Packing Weight (kg)	Drop Height (mm)		
	level 1	level 2	level 3
0 to 9.1	762	381	229
9.1 to 18.1	610	330	203
18.1 to 27.2	457	305	178
27.2 to 36.3	381	254	152
36.3 to 45.4	305	229	127
45.4 to 90.7	254	178	102

表 3.2 IEC 68-2-32 跌落高度與包裝重量的關係

IEC68-2-32 FREE FALL (transport case)↗	
Packing Weight (kg)↗	Drop Height (cm)↗
0~20↗	100↗
20~50↗	50↗
50~100↗	25↗
100~200↗	10↗
200~500↗	5↗

表 3.3 CNS 10033 Z6061 跌落高度與包裝重量的關係

CNS 10033 Z6061 包裝貨物				
總重量 (kg)	墜落高度(cm)			
	第 1 級	第 2 級	第 3 級	第 4 級
未滿 10	80	60	40	30
10~20	60	55	35	25
20~30	50	45	30	20
30~40	40	35	25	15
40~50	30	25	20	10
50~100	25	20	15	10
等 級	轉運次數		遭遇外力	
第 1 級	多		非常大	
第 2 級	多		稍	
第 3 級	一般		一般	
第 4 級	少		較小	

表 3.4 MIL-STD-810E 跌落高度與包裝重量的關係

Package Gross Weight		Type of Handling	Design Drop Height		Maximum Test Item Velocity Change	
kg	Lb		cm	in	cm/sec	in/sec
0 ~ 9.1	0 ~ 20	Manual handling	76	30	722	304
9.2 ~ 18.2	21 ~ 40	Manual handling	66	26	719	283
18.3 ~ 27.2	41 ~ 60	Manual handling	61	24	691	272
27.4 ~ 36.3	61 ~ 80	Manual handling	46	18	600	236
36.4 ~ 45.4	81 ~ 100	Manual handling	38	15	546	215
45.5 ~ 68.1	101 ~ 150	Mechanical handling	31	12	488	192
68.2 ~ 113.5	151 ~ 250	Mechanical handling	26	10	447	176
113.6 ~	251 ~	Mechanical handling	20	8	399	157

測試步驟：

- (1) 執行測試前先對受測物件做電器規格及外觀檢視，無異狀方可進行驗證。

- (2) 將物件懸吊至預設高度。(高度為受測物件與跌落地面之最近點的距離)
- (3) 將受測物件自由落下。
- (4) 每一規定姿態各執行兩次跌落。(除非受測物件另有規範)
- (5) 測試後需依相關規範重新檢視受測物件之電器規格及外觀檢證。

測試條件：

跌落面應該為平整、堅硬、剛性之水泥或鐵板，若有需要可在相關規範詳加描述。自由落下高度、跌落次數與落下測試邊界條件[圖 3.1]之決定依相關規範規定。重覆性自然跌落，模擬試件可能常常跌落至硬物表面的情況。

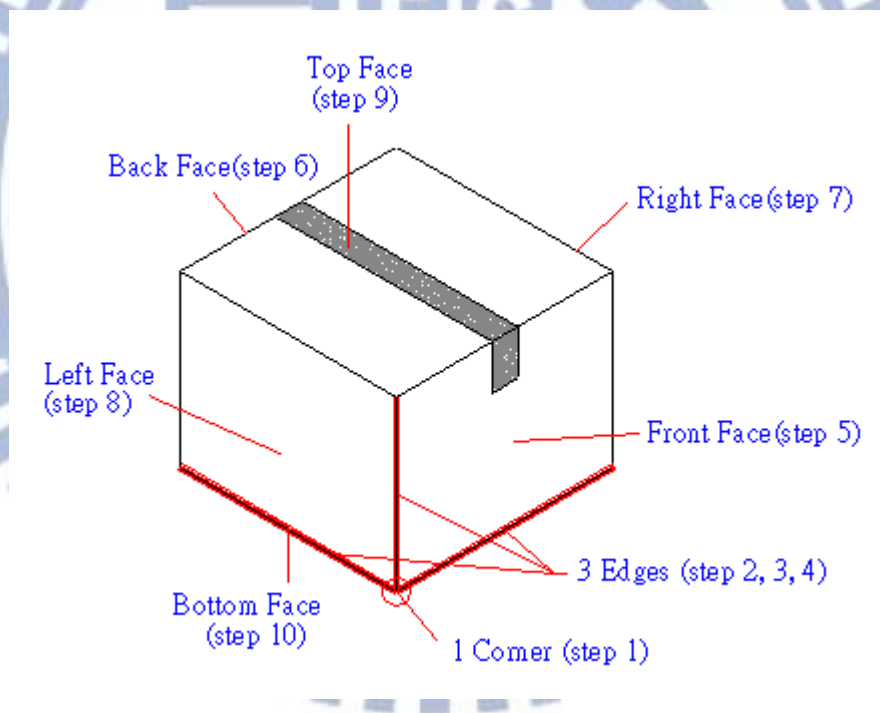


圖 3.1 落下測試邊界條件

3-2 LS-DYNA 有限元素模擬軟體

有線元素分析是一種數值方法，用來分析產品零件或組裝系統，以確保整個產品開發週期，性能的一致，其最主要的精神乃在於將具無限自由度的問題〔不易解出答案〕，化成〔離散化〕有限自由度，進而以數值方式求出所需之近似解。其功用在幾何模型設計出來，經過有線元素分析，

可瞭解結構反應〔變形、應力、溫度等〕，計算結果可以圖形表示出來，例如在設計中將設計值與容許值或最大比較，當不符合設計要求，則結構便需再次設計和再次分析，直到達到可接受的設計值為止。然而這種再設計與再分析的循環週期可自動的經由結構最佳化〔structural optimization〕來完成，達到設計之目標。

有限元素的基本概念：

- 問題之幾何形狀可以由多個簡單之幾何元素〔elements〕組合而成。
- 透過離散化〔discretization〕的程序，問題可化簡為有限〔finite〕個數的原元素網格〔mesh〕，而其未知變數由離散的節點〔nodes〕代表。
- 透過數學或物理的求解程序，問題之統御方程可簡化成以節點變化量為未知數的矩陣方程。
- 解出結點未知數後，可由內插法〔interpolation〕求出任何位置之未知變量，未知變量之導數則由數值微分法求出。

本次模擬軟體採用 LS-DYNA 有限元素法結構模擬分析軟體[圖 3.2]，LS-DYNA 是在 1976 年由美國國家實驗室 (Lawrence Livermore National Laboratory) J. O. Hallquist 博士開發，當時主要用於求解 3D 非彈性結構在高速碰撞、爆炸衝擊下的大變形模擬。LS-DYNA 的根源程式曾在北約的局域網 Pubic Domain 公開發行，因此在廣泛傳播到世界各地的研究機構和大學。從理論和演算法而言，LS-DYNA 是目前所有的顯式求解程式的鼻祖和理論基礎。1988 年，J. O. Hallquist 創立 Livermore Software Technology Corporation，並將 LS-DYNA 商業化，經過 20 年的努力，目前已被全球各大車廠，電子廠，廣汎的採用，並且已成為 Explicit 演算法的業界標準。

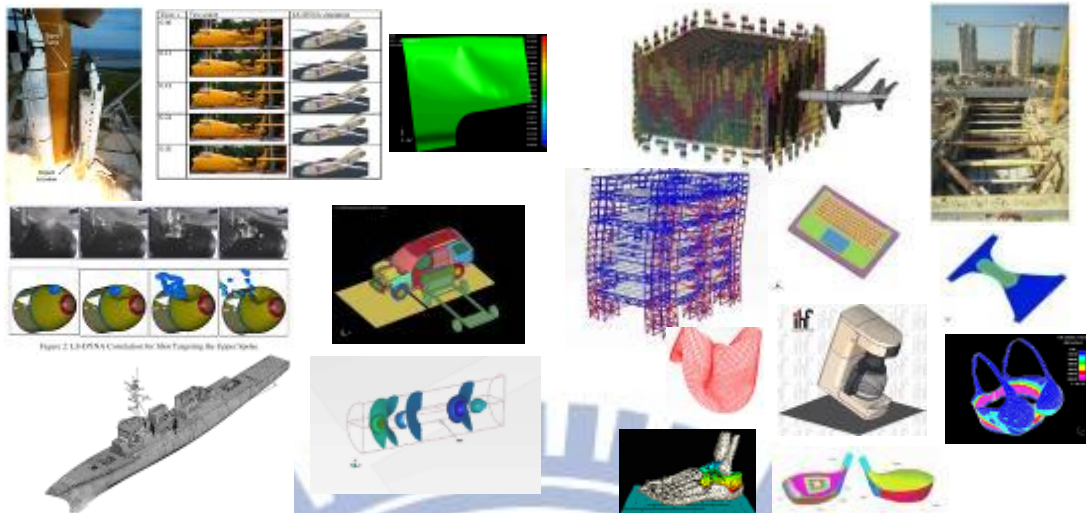


圖 3.2 LS-DYNA 有線元素模擬軟體

LS-DYNA 程式是功能齊全的幾何非線性（大位移轉動及應變）、材料非線性和接觸非線性程式。具有顯式及隱式求解功能；能夠進行結構分析，熱傳分析、流體-結構耦合分析，非線性動力分析及靜力分析功能。分析流程大致上分為前處理、分析求解與後處理[圖 3.3]。

● 前處理階段

- 建立並分離計算區域為有限元素，將問題細分成節點與元素（建模、劃網格）。
- 假設以一連續函數代表元素的近似解（內插函數）。
- 給定物理常數（如材料機械常數、黏滯係數、密度、熱傳係數等）。
- 求出元素的方程式。
- 建構整體的勁度矩陣（聯立方程式）。
- 施加邊界條件、初始條件與負載。

● 分析求解階段

- 求解線性或非線性的代數方程式，以獲得節點的結果（以結構來講，通常先求出節點位移）。

● 後處理階段

- 顯示求解的結果，可為圖形化之結果。
- 透過對問題的瞭解，顯示出所需的變數（如結構強度分析的應力、應變、位移等；流體問題中的流速、壓力、流量等；熱傳問題中的溫度、熱傳量等）。

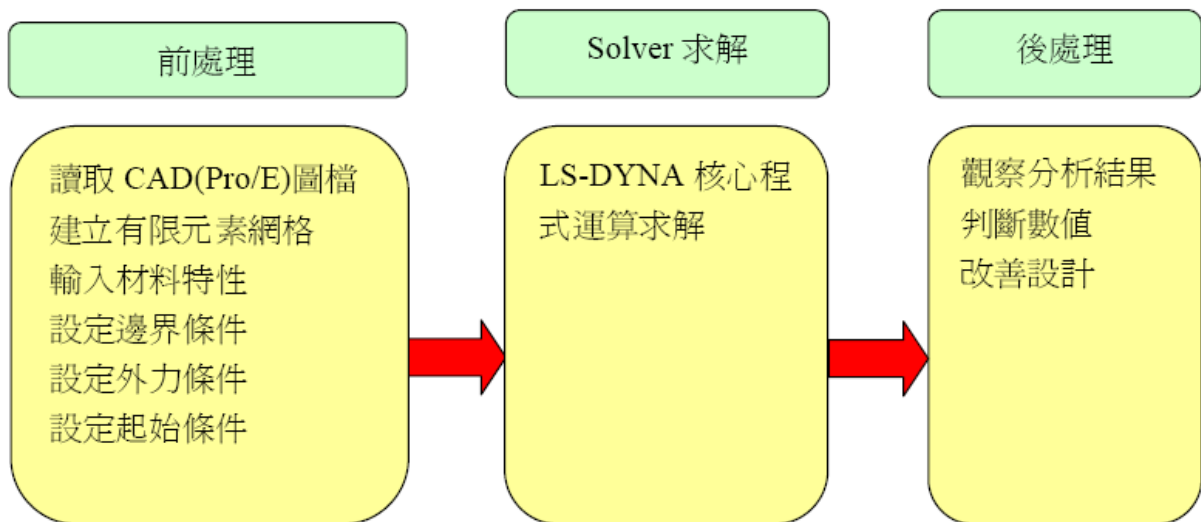


圖 3.3 LS-DYNA 操作流程

3-3 實驗設備

本章針對研究中所採用的相關實驗設備（如壓應力測試設備、銑床設備、三軸向 SENSOR、DROP 落下設備、SHOCK 衝擊設備、高速攝影機…等），作一詳細說明。

3-3-1 簡易型萬能材料試驗設備

萬能材料試驗機[圖 3.4]可以測定材料對淨荷重或緩慢施力之抗拉能力，以求取降伏強度、抗拉強度、斷裂強度、伸長率、斷面縮率及彈性係數等性質，以作為工程設計或研究發展的基本數據。可做成品、半成品試片之拉伸、壓縮、彎曲、抗折、撕裂、剪力、黏著力...等測試。

設備規格：

專機精密 JTM-S210

電源：220V



圖 3.4 簡易型萬能材料試驗設備

3-3-2 銑床設備

銑床[圖 3.5]係使具有若干刀刃的銑刀的銑刀迴轉，並同時移動工作物進給而切削的工作母機，對於少數或大量生產，銑床都能作經濟的加工。銑削的優點在其圓形銑刀，其成本經濟、金屬切削率高，能在甚短的時間內，其甚多刀刃進行切削。由於銑刀外形及機械應用方法不同，銑床可做種種不同的銑削工作。

設備規格：

Working surface : 230x1050 mm

Travel : 650/300/425 mm

Spindle speed : (6step)250~3150 r.p.m.



圖 3.5 銑床設備

3-3-3 三軸向 SENSOR

三軸向 SENSOR 加速規[圖 3.6]是專門用來量測加速度的感測器。當加速規感測到有加速度產生時，就會送出相對應的訊號，可能是類比訊號，也可能是數位訊號。當使用者收到訊號資料，便能知道加速規目前處於什麼樣的加速度狀態下。

設備規格：

Triaxial, low-profile, ceramic shear ICP accel. , 10 mV/g, 1 to 9k Hz, titanium hsg, mini 4-pin conn.

Sensitivity : ($\pm 15\%$) 10 mV/g (1.02 mV/(m/s²))

Measurement Range : ± 500 g pk (± 4905 m/s² pk)

Broadband Resolution : (1 to 10000 Hz) 0.004 g rms (0.04 m/s² rms)

Frequency Range : (±5%) 1 to 9000 Hz

Electrical Connector : 8-36 4-Pin

Weight : (without cable) 0.11 oz (3.1 gm)



圖 3.6 三軸向 Sensor

3-3-4 DROP 落下設備

落下試驗機[圖 3.7]針對運輸過程中，遇到因墜落或碰撞而受衝擊的情形進行系統分析與數據化。試驗其包材的防震、包覆能力及產品本體的耐衝擊程度是否足夠加以驗證，藉以判斷有關的包裝設計改善要點。自由跌落試驗特性則用以評估產品因不當的使用動作產生之跌落；及所需的產品評估安全條件下之強韌性。

設備規格：

Lannsmont PDT-56ED

Max. Package Weight : 79kg

Flatness of Drop : Meets ASTM D-775

Drop Height Range : 27.9~182.9cm

Voltage : 100~240VAC

Frequency : 50~60Hz



圖 3.7 落下設備

3-3-5 SHOCK 衝擊設備[圖 3.8]

衝擊試驗屬於破壞性實驗的一種，有助於瞭解產品的結構強度及外觀抗衝擊、抗摔、防止跌落等結構材料之特性，例如自由落體落下的突波環境或是外力突然的撞擊，另實施產品破壞性試驗，更能有效預估產品的極限強度及生產線的一致性，當瞭解試件遭受衝擊時期機械結構脆弱點及特性後，修正支撐結構及分析材料特性並藉由實驗數據分析產品承受衝擊環境之強度，有效預防產品損壞發生。

設備規格：

Yoshida Seiki MDST-500

試驗台面積：500x500mm

試驗品最大重量：75kg

衝擊波形：正弦半波

衝擊加速度範圍：10~300G

衝擊作用時間範圍：3~30ms



圖 3.8 SHOCK 設備

3-3-6 高速攝影機

高速攝影機[圖 3.9]代表每秒可以拍攝數張照片的攝影機，基本上每秒都要超過幾十張才稱得上高速攝影機，在一些高速測試或撞擊測試中，可進行觀測與拍得瞬間的變化狀況。

設備規格：

Sensor : 12-bit ADC (Bayer system color, single sensor) with 20 m pixel

Shutter : Global electronic shutter from 16.7ms to 1 s independent of frame rate

Dimensions : 160mm (6.30")H×153mm (6.02")W×242.5mm (9.55")D

*excluding protrusions

Weight : 5.9 kg (13 lbs)

Power Requirements : 100V-240V AC ~ 1.5A, 50-60Hz, DC operation 20-36 V DC, 100VA



圖 3.9 高速攝影機



第四章 實驗與模擬比對結果

4-1 實驗與模擬比對流程規劃

本研究的首要任務為模擬模型的建置與正確性，故以實驗結果資料來比對與驗證有限元素模型的可靠性，故利用 Shock 實驗結果的 G 值與 Drop 實驗結果的玻璃破片的破壞模式來進行確認有限元素模型可靠性的依據，待驗證完模型即可進行後續 EPP Box 相關修改模擬與分析比對資料，其實驗流程圖規劃[圖 4.1]如下所示。

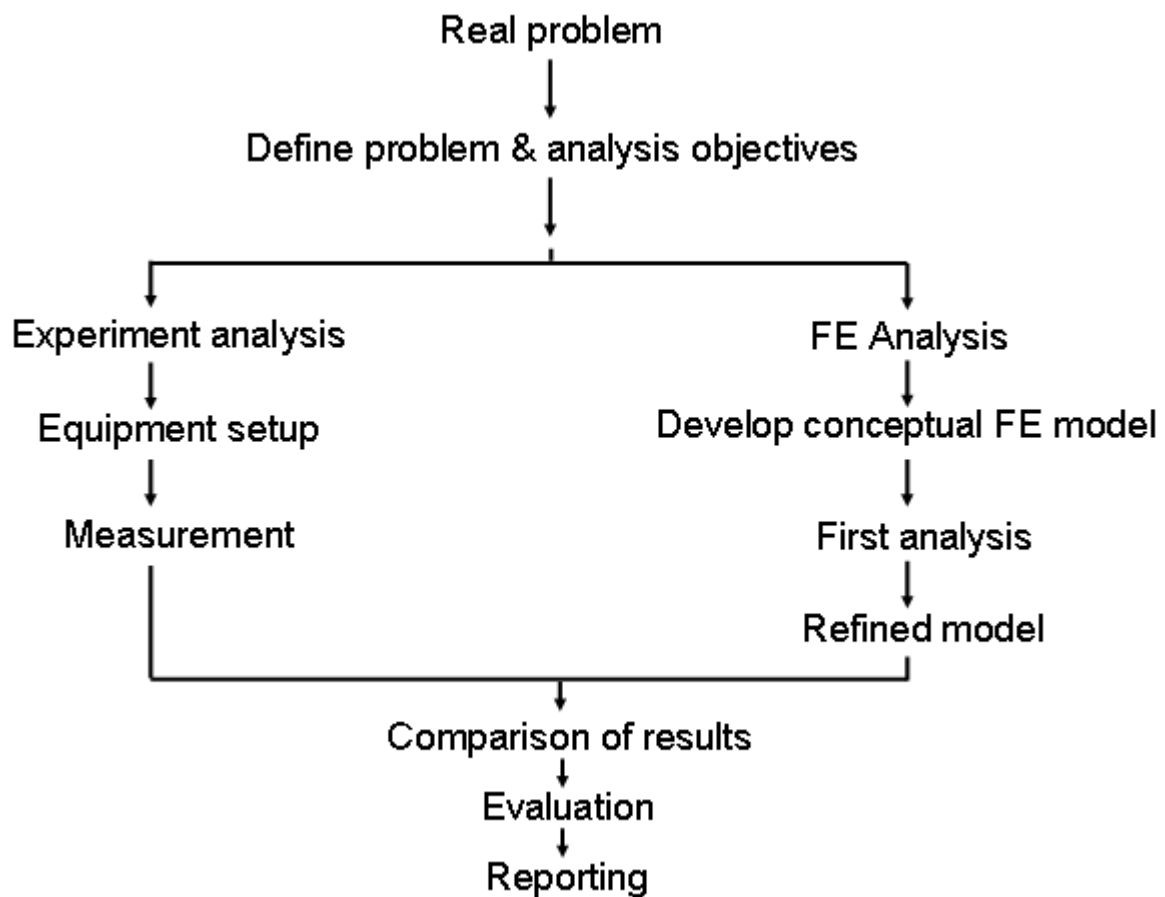


圖 4.1 實驗規劃流程圖

4-2 測試模型建立

4-2-1 EPP Strain Rate

Strain Rate 對於 EPP 的力學表現有重大影響，故得取得不同速率的

Strain Rate 曲線。在實驗的方法上我們將採直接製作 EPP 發泡聚丙烯的 2.5CM 立方體樣品數個[圖 4.2]，搭配萬能試驗機來取得 EPP 發泡聚丙烯的荷重變形數值[表 4.1]與靜態的力與位移的相關資訊，再轉換成靜態的應力應變曲線[圖 4.3]，並搭配材料供應商所提供資訊進行比對與修正。

以下為試片的應力應變曲線實驗結果，因為 Strain rate 對於 EPP 來說影響甚大，故下列三條曲線的差異可視為不大。此外，參考 Brian Croop, Hubert Lobo, 2009, Selecting Material Models for the Simulation of Foams in LS-DYNA 裡的動態 Strain rate 曲線[圖 4.4]，將其動態與靜態之應力應變曲線帶入 LS DYNA MAT FU CHANG FOAM 裡面作為特性表現。



圖 4.2 EPP 發泡聚丙烯樣品

表 4.1 荷重變形表

	試驗編號	Maximum Force	最大力量 應力	最大力量 位移	Elong at Break	最大力量
編號		N	N/mm ²	mm		N
1	EPP15X	436.59	0.698547	20.78	2.08	436.59
2	EPP15X	432.96	0.692742	21.27	2.13	432.96
3	EPP15X	437.47	0.699959	20.8	2.08	437.47
平均值		434.57	0.695305	22.05	1.82	434.57
標準差		3.72	0.005951	1.22	0.9	3.72

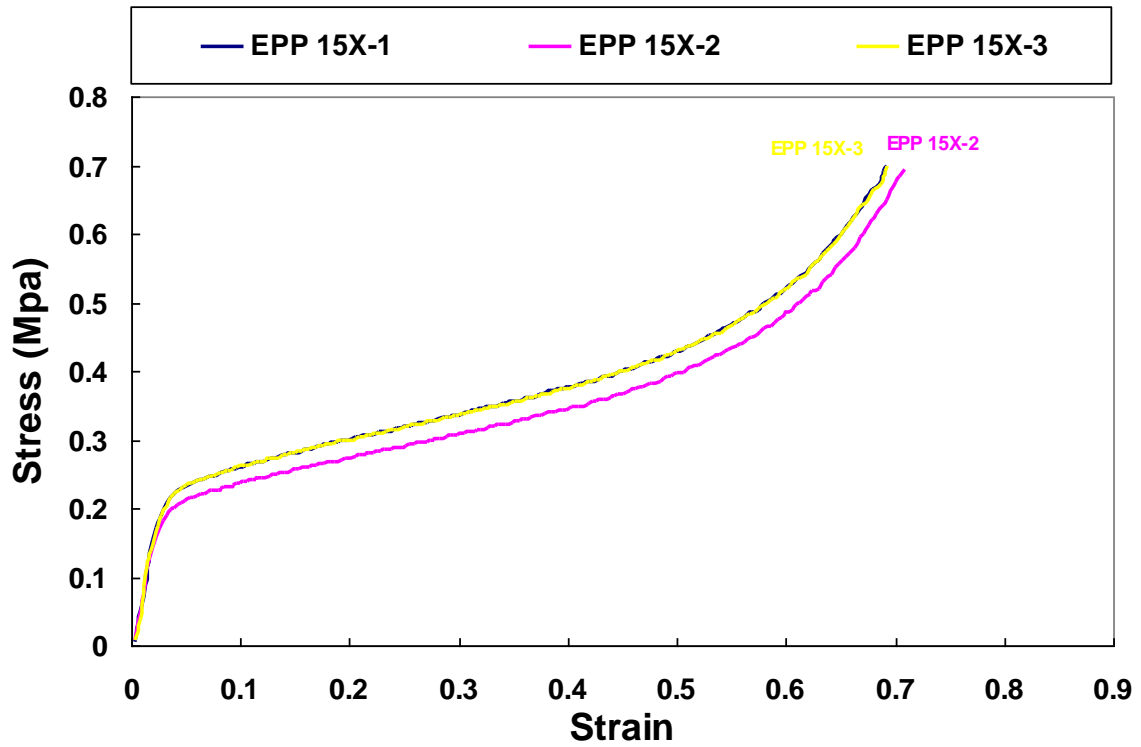


圖 4.3 靜態應力應變曲線圖

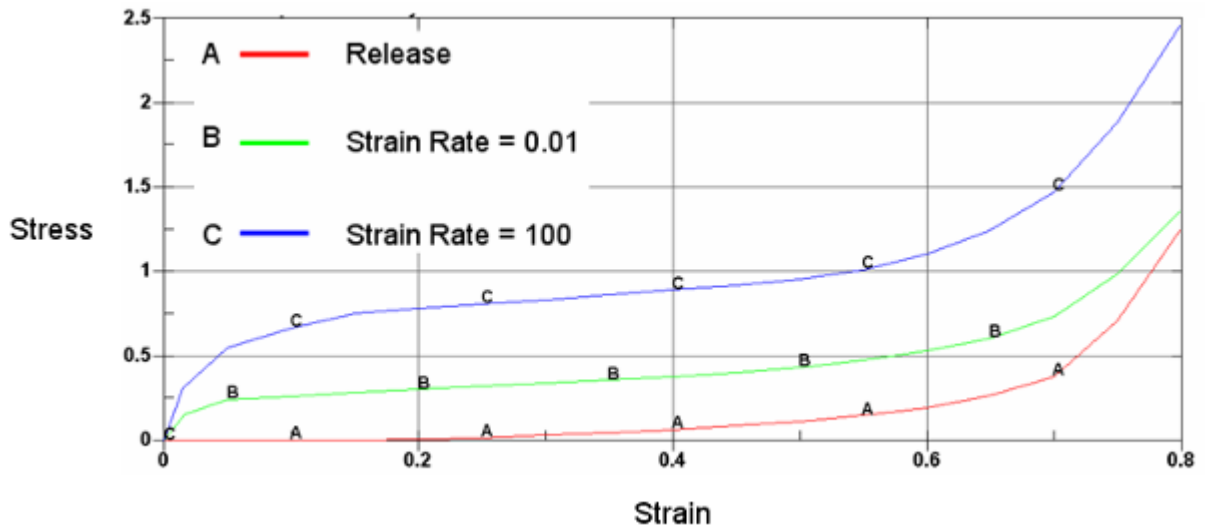


圖 4.4 動態應力應變曲線圖

4-2-2 實驗測試箱體

本研究使用 EPP 發泡聚丙烯進行射出成型機來射出成型以取樣出不同尺寸的箱體，包括 17 吋、17.3 吋與 23 吋[圖 4.5]三種尺寸來進行實驗測試。先取樣原型箱體數個，在其他箱體進行箱體進行肉厚減薄工程，以銑

床加工進行銑削工程，取樣適合實驗所規劃之箱體肉厚數個，因加工過程繁雜，所以需特別注意尺寸之準確度與規格等要素。

本實驗因為液晶玻璃價格昂貴，故實驗過程以一般 2mm 厚度玻璃模擬取代。

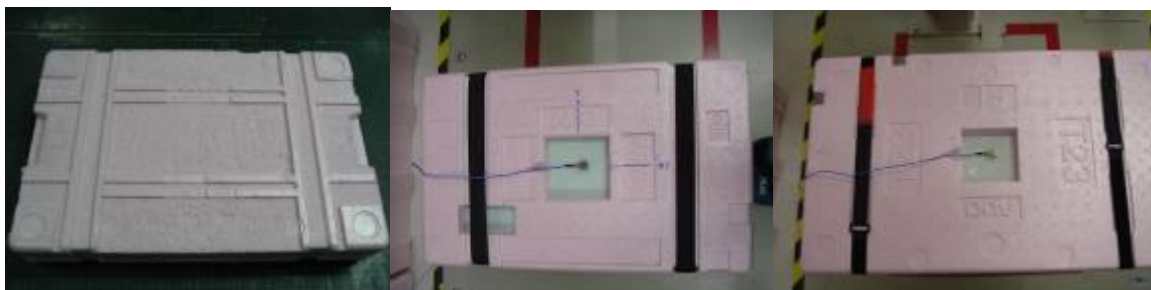


圖 4.5 實驗測試箱體圖

4-2-3 落摔與 Shock 有限元素分析

有限元素分析前處理使用 Hypermesh 來建立各個物件的元素網格，其網格定義為固體元素。其有限元素模型[圖 4.6]與模型各個材料參數[表 4.2] [35]包含 EPP Box、束帶、Spacer、Glass 等，EPP Box 楊氏系數為 10MPa，密度為 6×10^{-11} ，Spacer 楊氏系數為 2500MPa，密度為 1.16×10^{-9} ，玻璃楊氏系數為 7000MPa，密度為 2.3×10^{-9} 。在密集式包裝堆疊中採用一片 Spacer，一片玻璃放置方式裝載，預設裝載高度離箱蓋 3mm，並定義各物件間之摩擦係數[表 4.3]。因 G 值為評判有限元素模型的其中一項因素，所以也建立 G sensor 的模型，因為落摔實驗的落下高度為 61cm， $V_0 = \sqrt{(2GH)}$ ，故等值換算 EPP Box 的落摔初速為 3457.74mm/s，另外因 Shock 的為 100G/5ms 與 150G/5ms 的半弦波[圖 4.7]，其積分後可得知初速度[圖 4.8]為 3119.44mm/s。

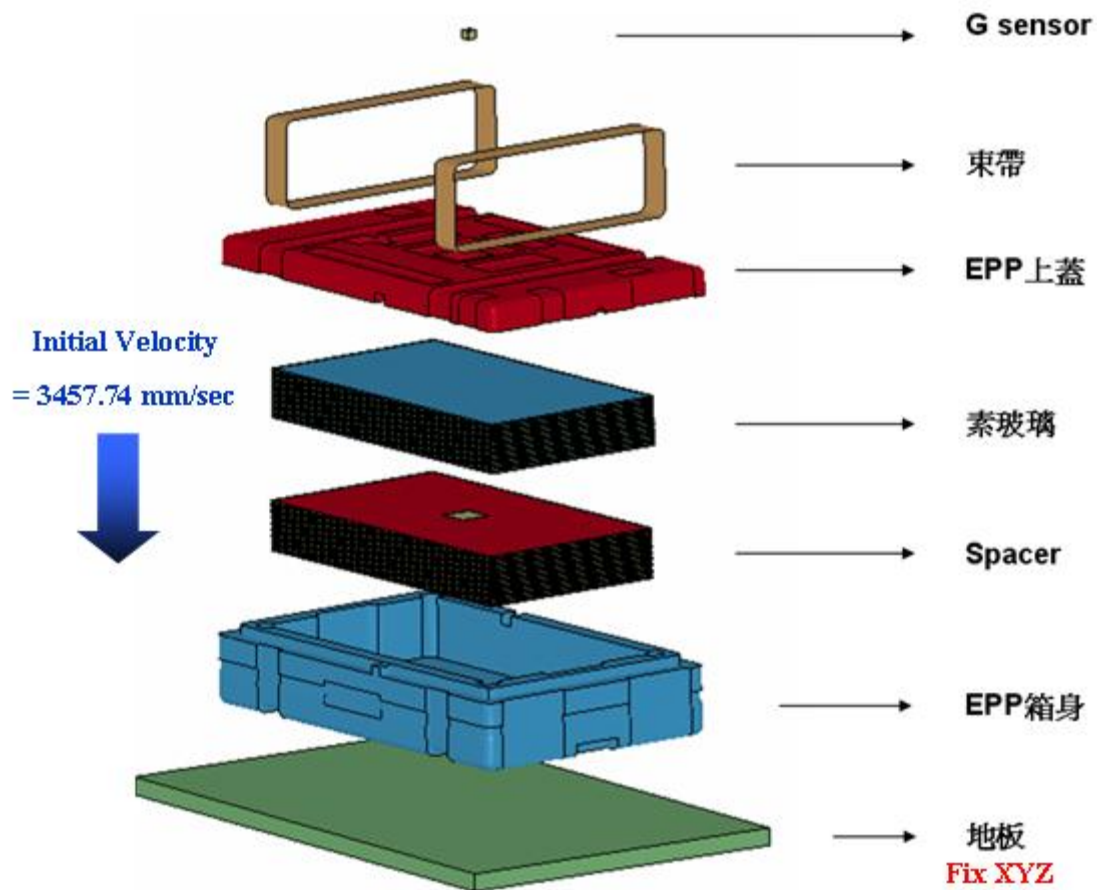


圖 4.6 有限元素模型圖

表 4.2 材料參數表

Material Property	EPP	束帶	素玻璃	Spacer	G Sensor	素玻璃表面
Element Type	Solid	Shell	Solid	Solid	Solid	Shell
Element Number	112000	1780	77000	80730	8	14040
E (MPa)	10	1000	70000	2500	200000	70000
D (Ton/mm ³)	6.00E-11	1.20E-9	2.30E-9	1.16E-9	3.50E-9	2.30E-9
ν	~ 0	0.38	0.23	0.38	0.30	0.23
Weight (Kg)	0.5540	0.0066	8.2690	1.0872	0.0035	~0

表 4.3 材料摩擦係數表

Friction Coefficient	EPP	束帶	素玻璃	Spacer	G Sensor	素玻璃表面
EPP	0.8	0.5	0.5	0.8	-	0.5
束帶	0.5	-	-	-	-	-
素玻璃	0.5	-	-	0.2	-	-
Spacer	0.8	-	0.2	-	-	0.2
G Sensor	-	-	-	-	-	Tie
素玻璃表面	0.5	-	-	0.2	Tie	-

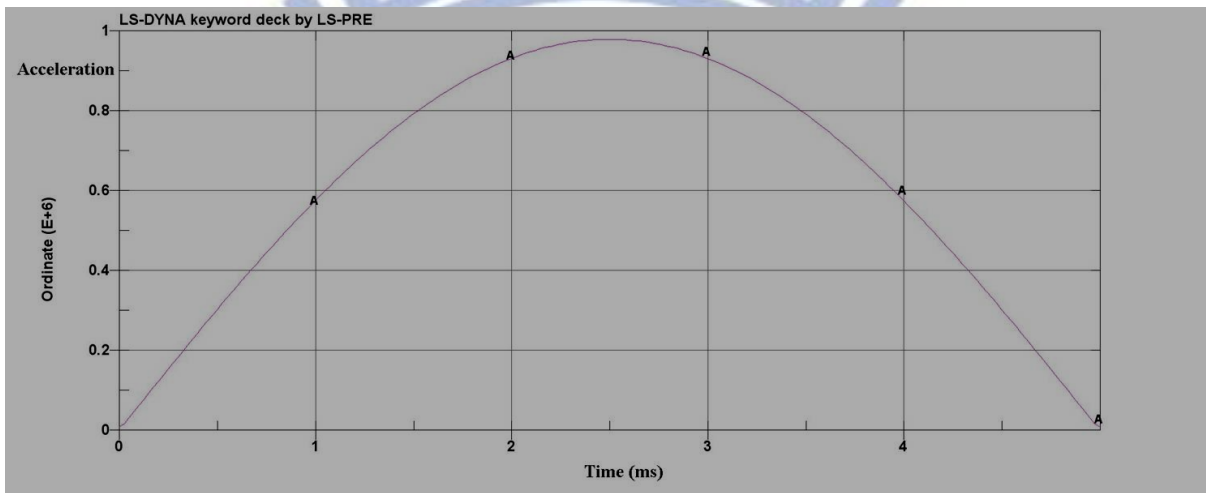


圖 4.7 Shock 半弦波圖

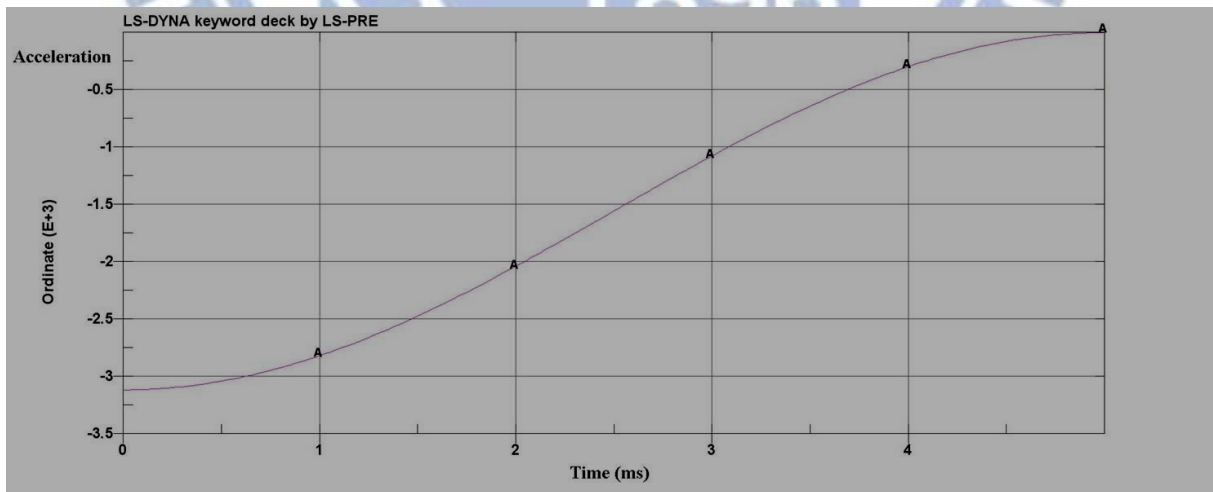


圖 4.8 Shock 初速度圖

4-3 Shock 實驗與 Shock 模擬結果

實驗首先建立各吋別液晶玻璃裝載箱測試模型基準[圖 4.9]，將 G

SENSOR 固定於箱體中間[圖 4.10]，另將模型相同尺寸以 Pro-E 繪製完成，輸入 LS-DYNA 分析，取得衝擊波形與數據；實際測試部份以 SHOCK 進行，同樣取得相對應衝擊波形與數據。Shock 主要比對其 G sensor 所測量出來的 G 值，G 值會經由 LS DYNA 內部的 SAE 330[圖 4.11]來過濾其他雜訊後，進行資訊取得與比對[圖 4.12]，首要步驟於確認 LS-DYNA 模型的可靠度與確認模型建置無問題與異常。



圖 4.9 Shock 測試基準圖

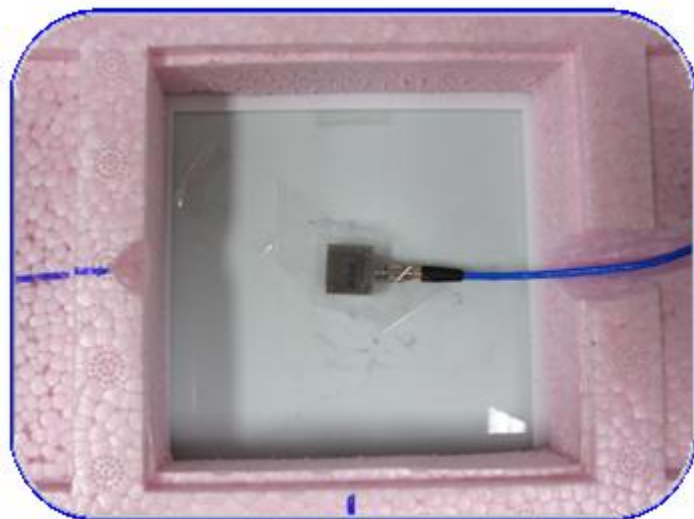


圖 4.10 SENSOR 裝置方式位置

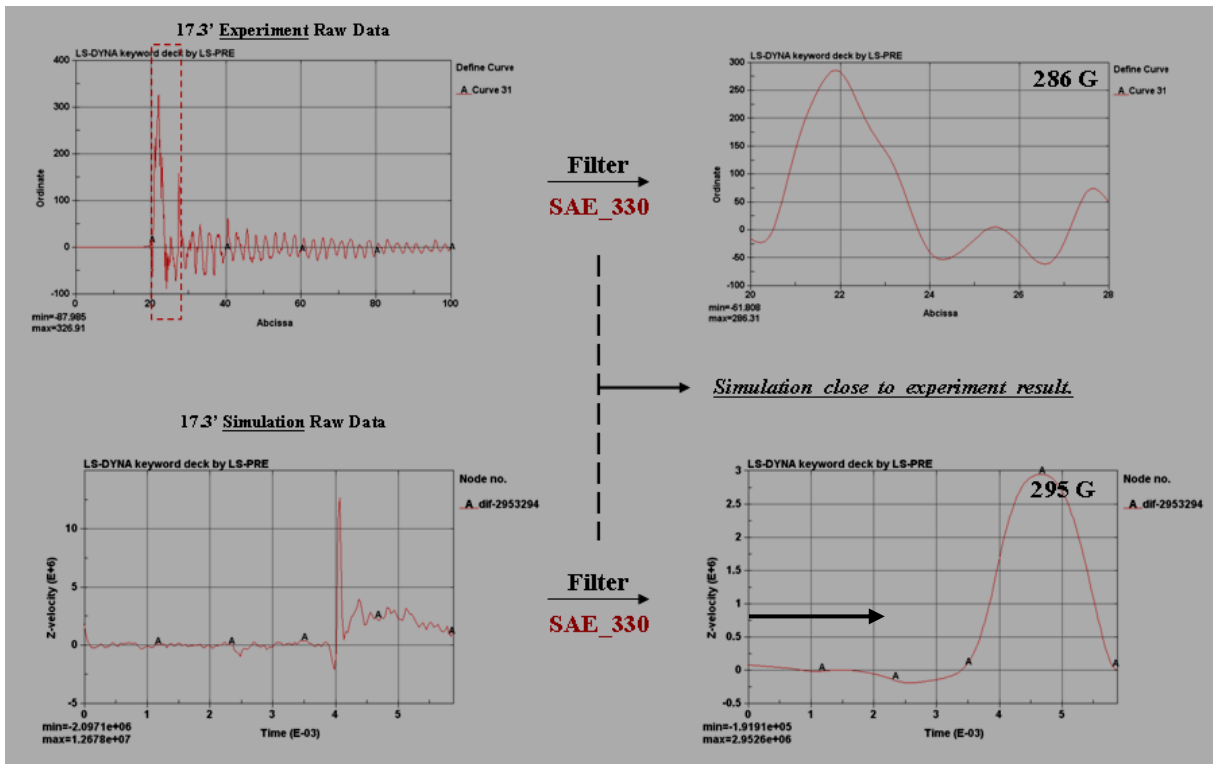
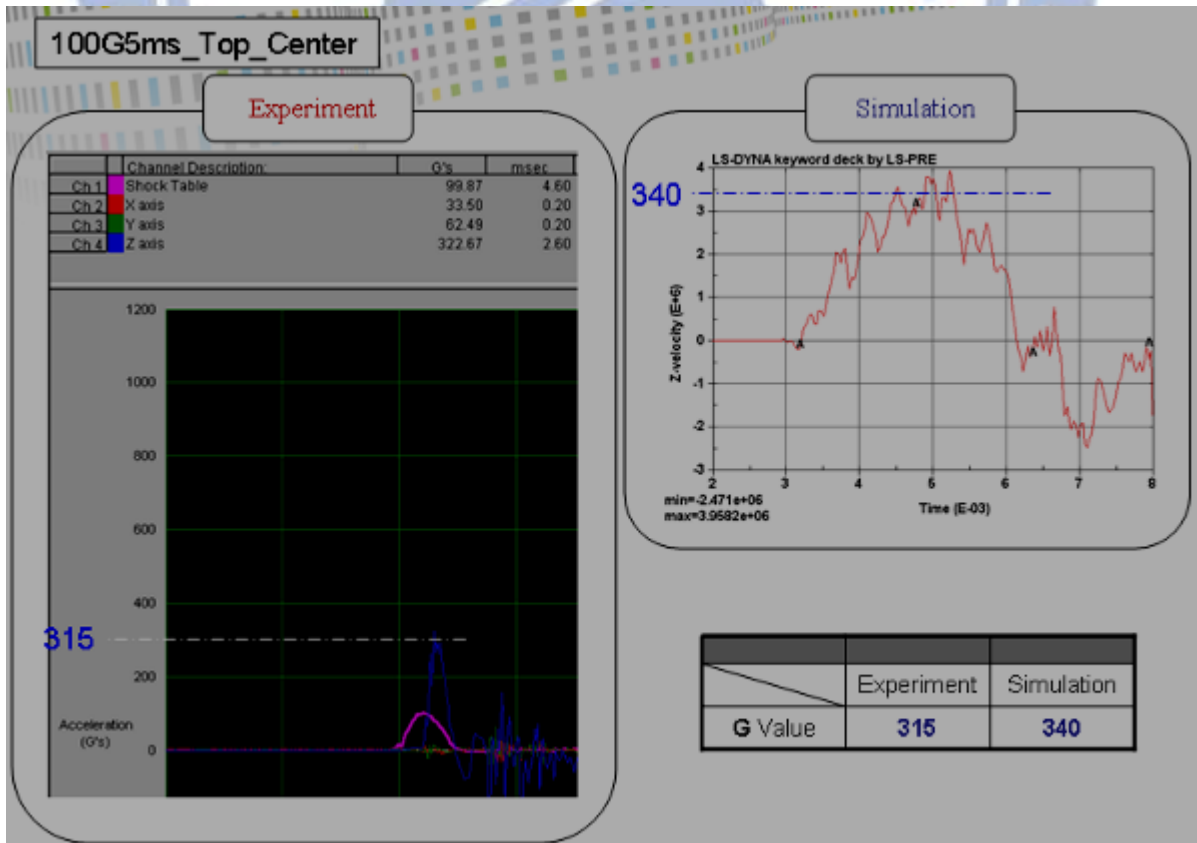
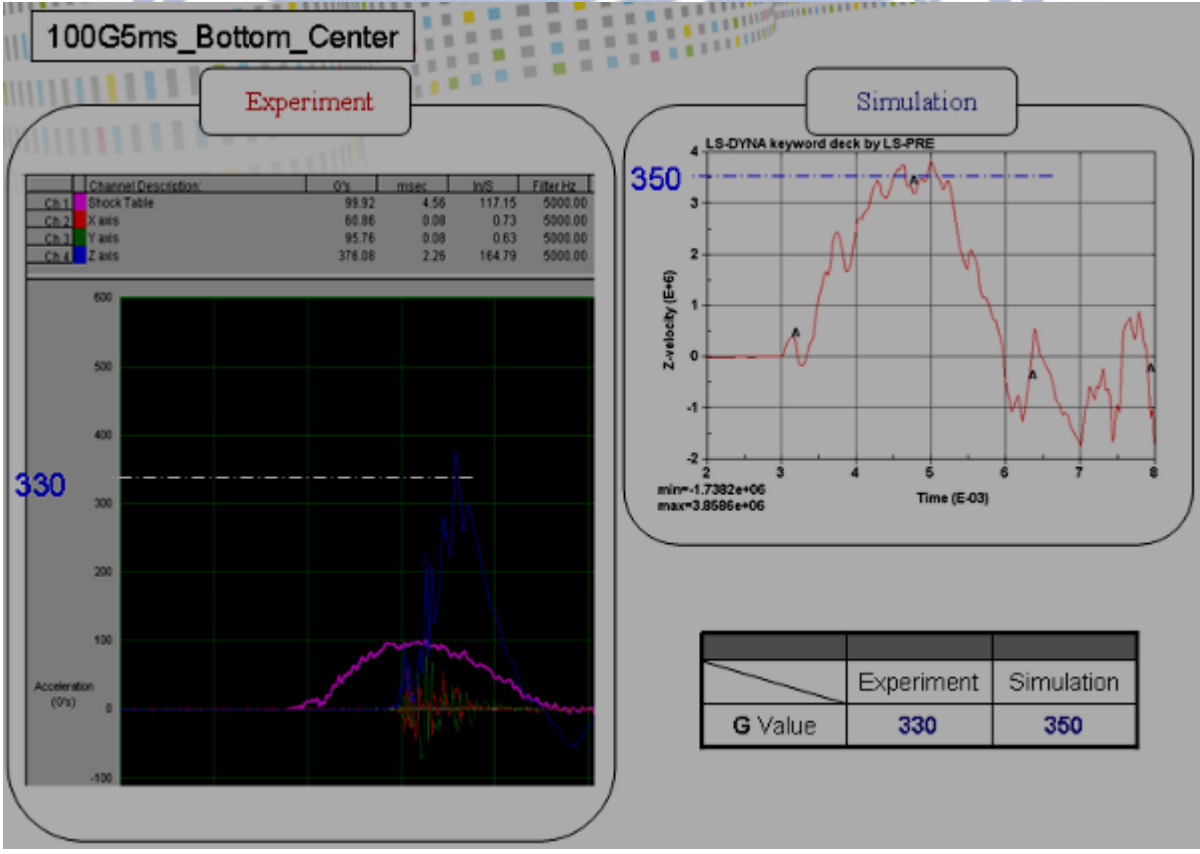
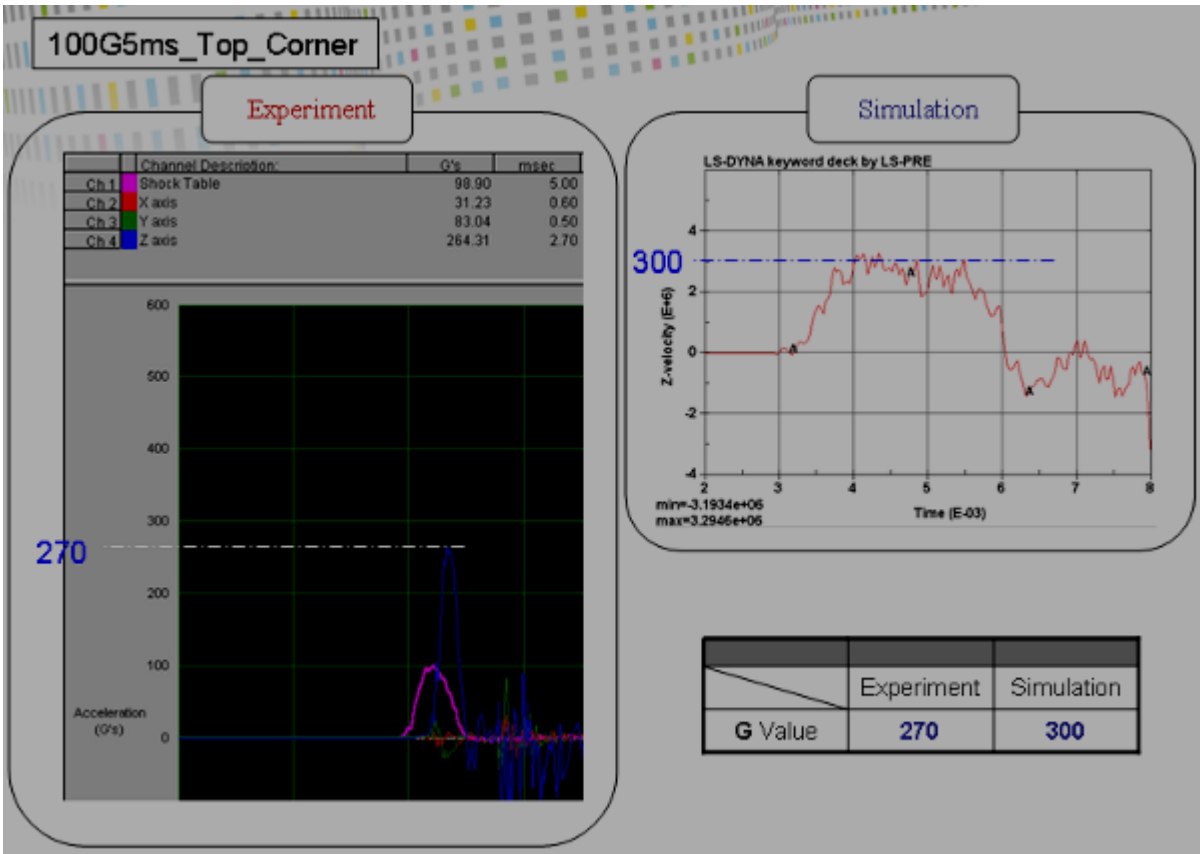
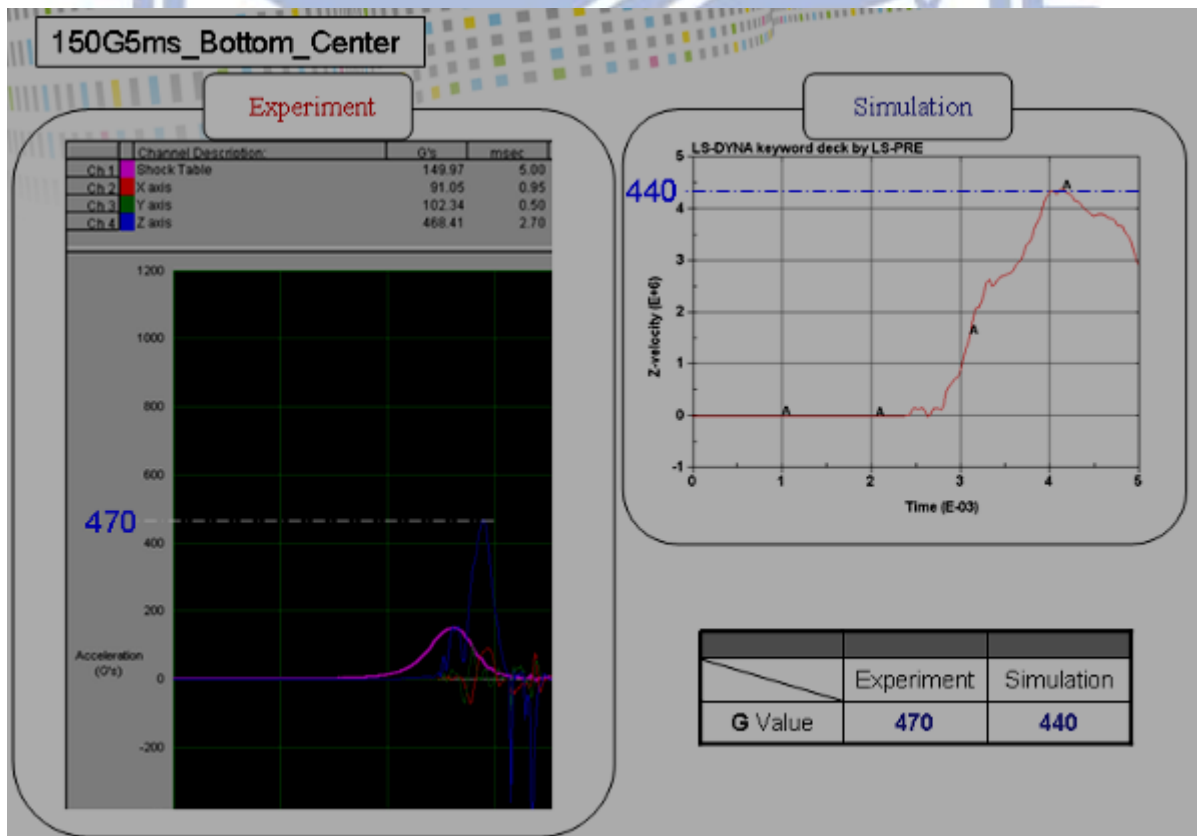
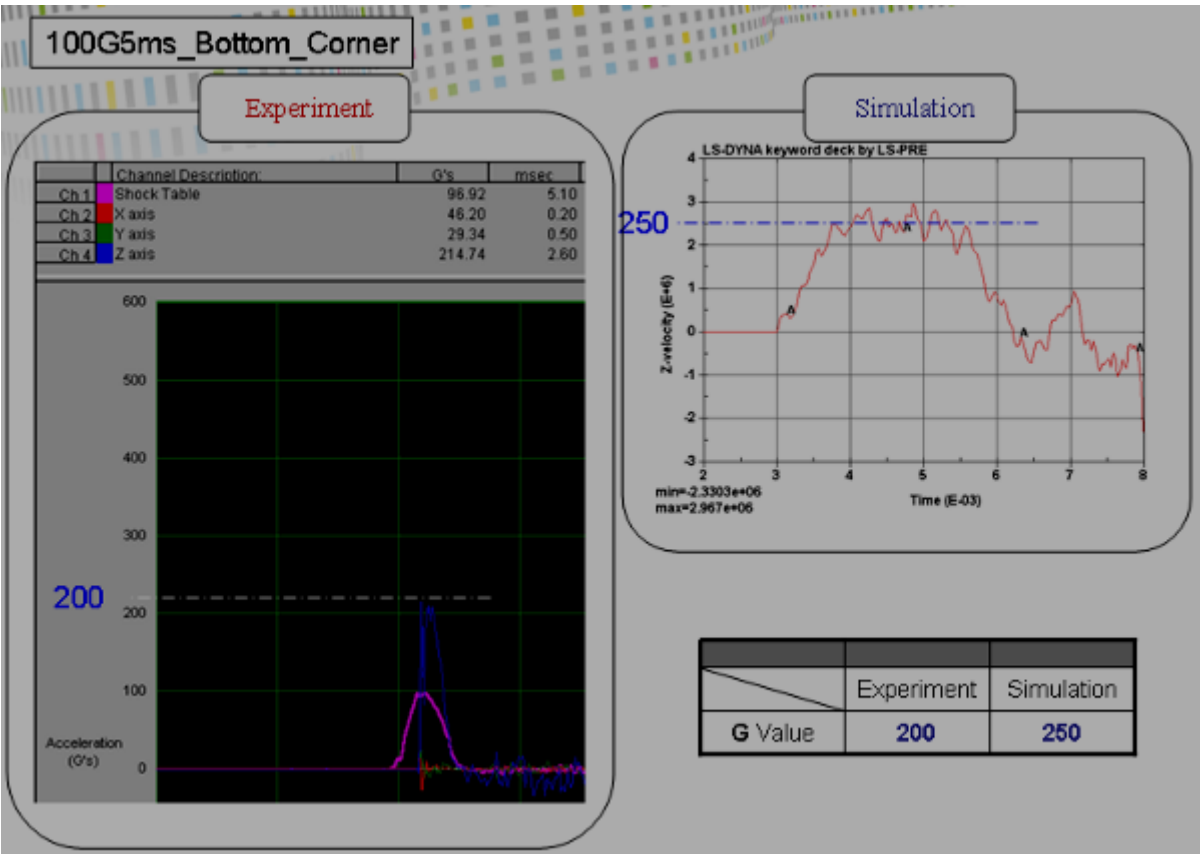


圖 4.11 Shock 濾波 SAE 330







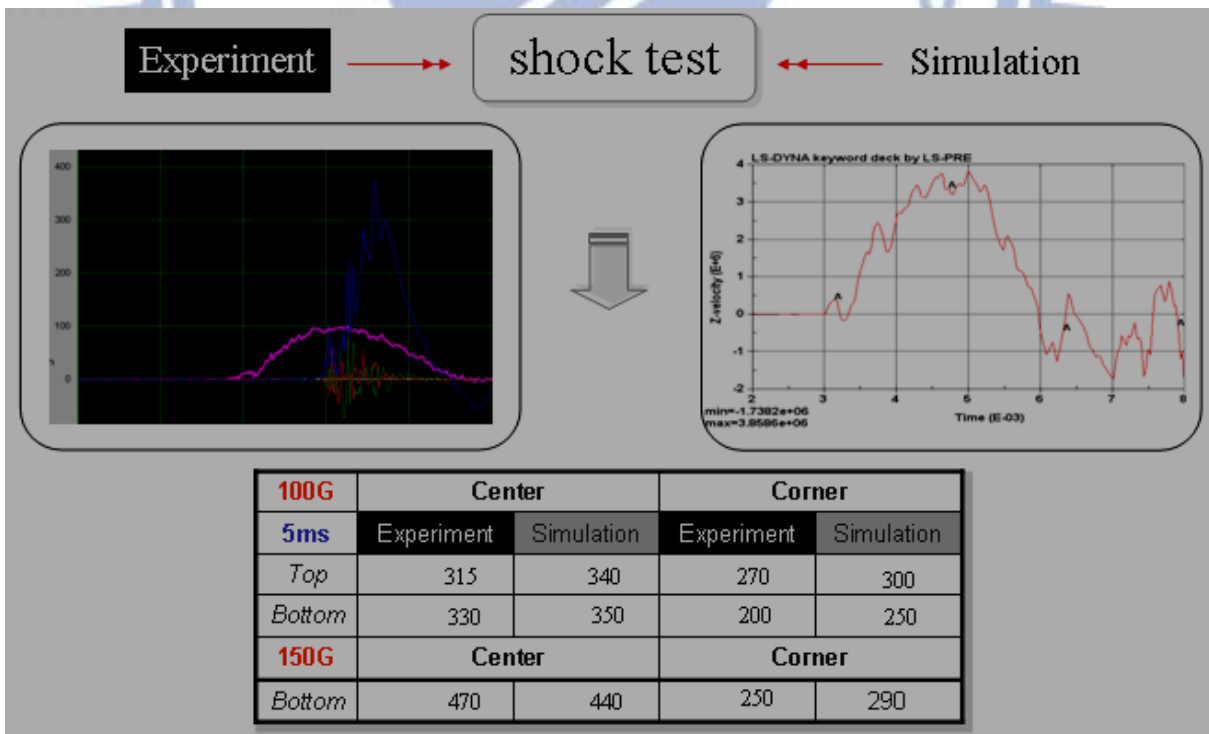
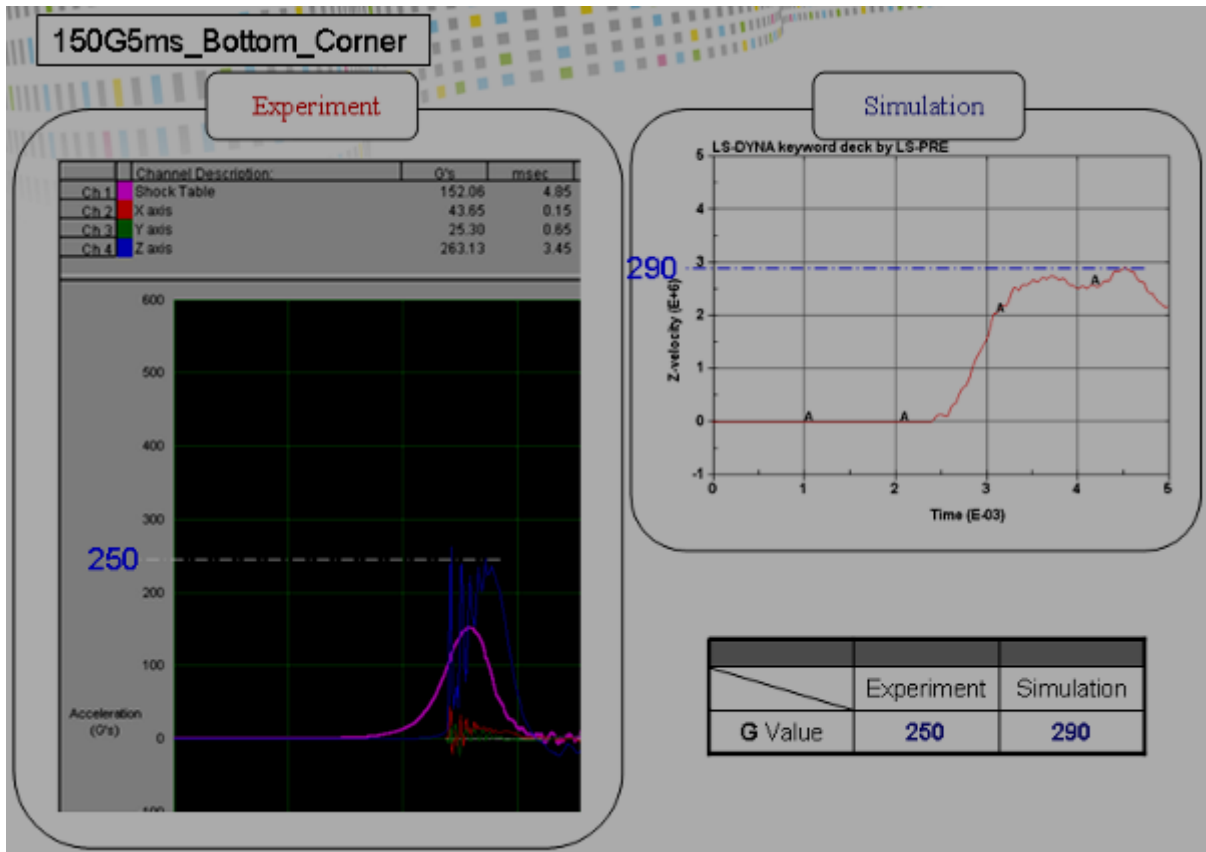


圖 4.12 Shock 比對資訊

在 Shock 的實際測試與模擬得到的數值經過比對，在數值相對上差異不大，因此可驗證有限元素的模型是正確的，且可利用此模型再進行後續的 Drop 落摔實驗分析比對與驗證。

4-4 落摔實驗與落摔模擬結果

在 Drop 落摔實驗的實體測試中，採用 ASTM D 4169 標準落下測試規範，因為整箱重量為 11kg，依規範中定義 9.1kg~18.1kg 範圍內，採用 level 1 規格之落下高度為 61cm。另外，依照 ASTM D 5276 定義落下程序應為一角三稜六面逐步進行。在期初的實體測試中，發現破損狀況與 G 值最高點皆發生於大面平面上之落摔產生，其他在角稜與小平面上的落摔皆無異狀發生，因此在後續的實驗進行，僅以大平面進行觀察與實驗分析。

因為在正常的落下撞擊過程中，無法保持完美的整面接觸撞擊，因此先利用高速攝影機進行確認，並可得到小於 1° 角度的接觸面角度 [圖 4.13] 的結果發現，並在有限元素軟體分析中計算取得在 1° 角度內的應力值與角度之差異對照表 [表 4.4]，結果顯示 1° 角度 a 與 1° 角度 b 為最嚴苛之搭配，故後續模擬邊界條件皆以此搭配模擬。



圖 4.13 撞擊接觸面角度

b \ a	0	0.5	1
0	35	32	44
0.5	33	54	45
1	40	57	63

表 4.4 應力值與角度之差異對照表

本實驗步驟相同於 Shock 測試步驟，首先建立液晶玻璃裝載箱測試模型基準[圖 4.14]，將 G SENSOR 固定於箱體中間，進行落下測試，取得衝擊波形與數據，另外於 LS-DYNA 分析，同樣取得相對應衝擊波形與數據。主要比對其 G sensor 所測量出來的 G 值，G 值會經由 LS DYNA 內部的 SAE 330[圖 4.15]來過濾其他雜訊，進行資訊取得與比對，確認模型的可靠度與確認模型建置無問題與異常。

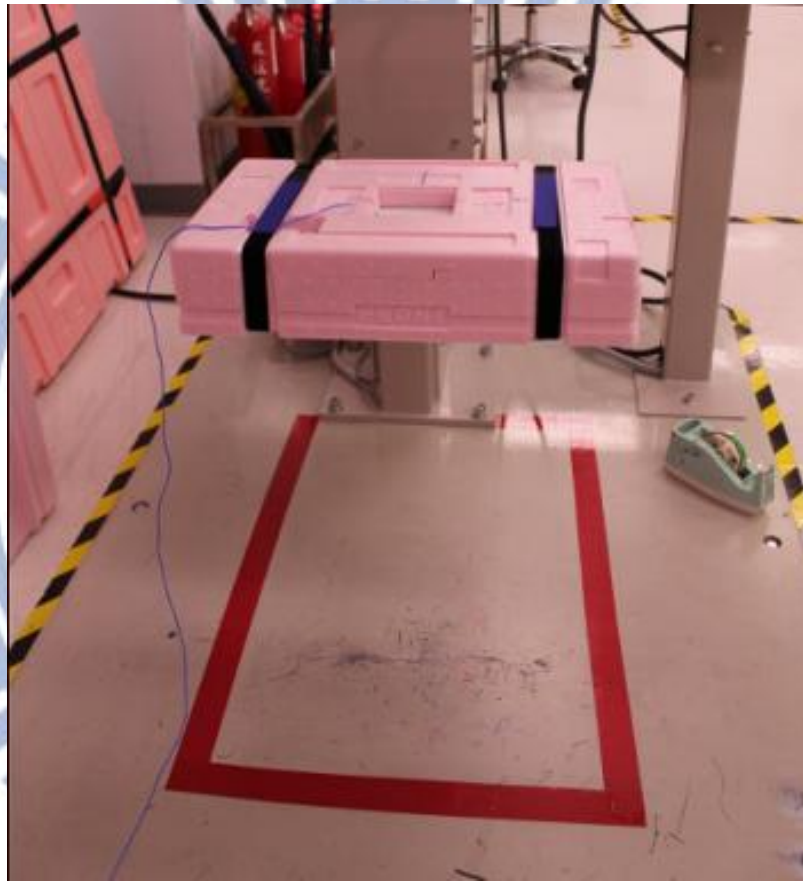


圖 4.14 Drop 測試基準圖

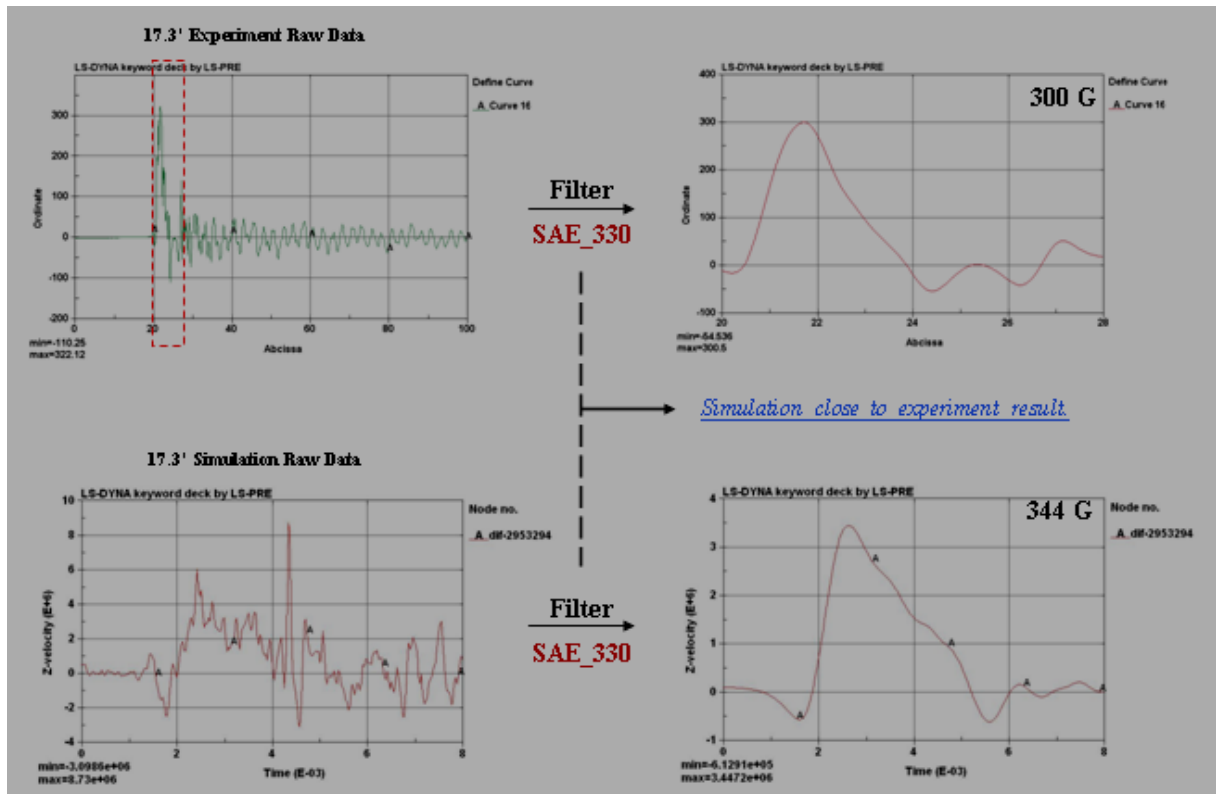
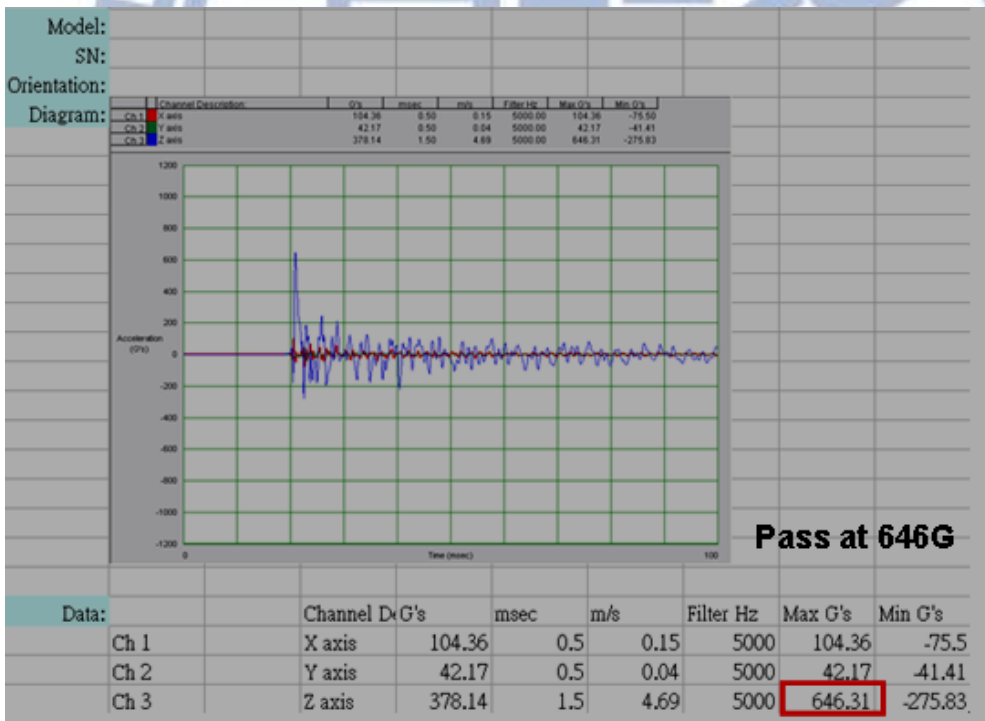
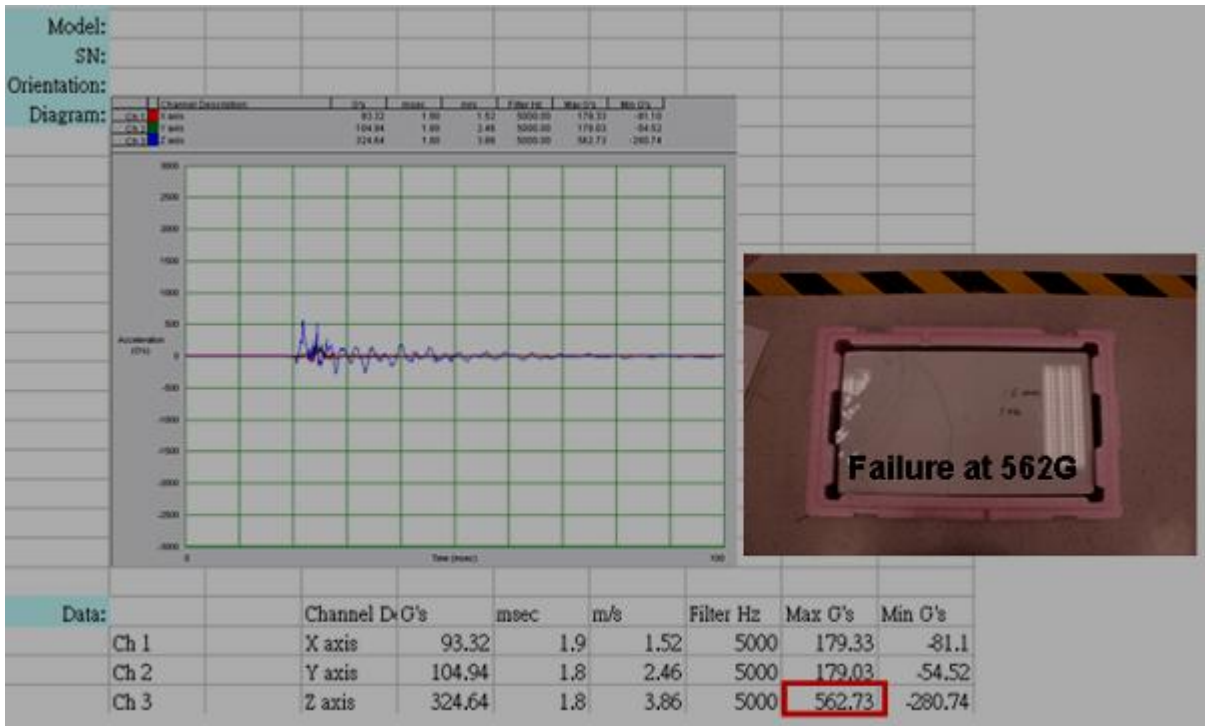


圖 4.15 Drop 濾波 SAE 330

接著進行玻璃邊界條件取得。期初在多次的落下試驗測試中發現，測試結果呈現的落摔 G 值[圖 4.16]愈大，玻璃破損的機率愈高，但是有時候也會發生落摔 G 值不高，但在落摔後發生玻璃破裂的情形，或是落摔 G 值很高，但在落摔後玻璃無異狀發生。因此落摔 G 值只能反應衝擊能的大小，但並不能完全反應玻璃的變形行為，而應力分析[圖 4.17]能完整反應出玻璃的變形行為。落摔主要比對 G 值與玻璃破裂位置，經模擬分析完，結果顯示最大主應力位置與實驗的破裂位置吻合，也證實了有限元素模型的可靠性。因此在後續的實驗中，會以模擬的應力值大小與落下結果對照，來進行觀察與分析。



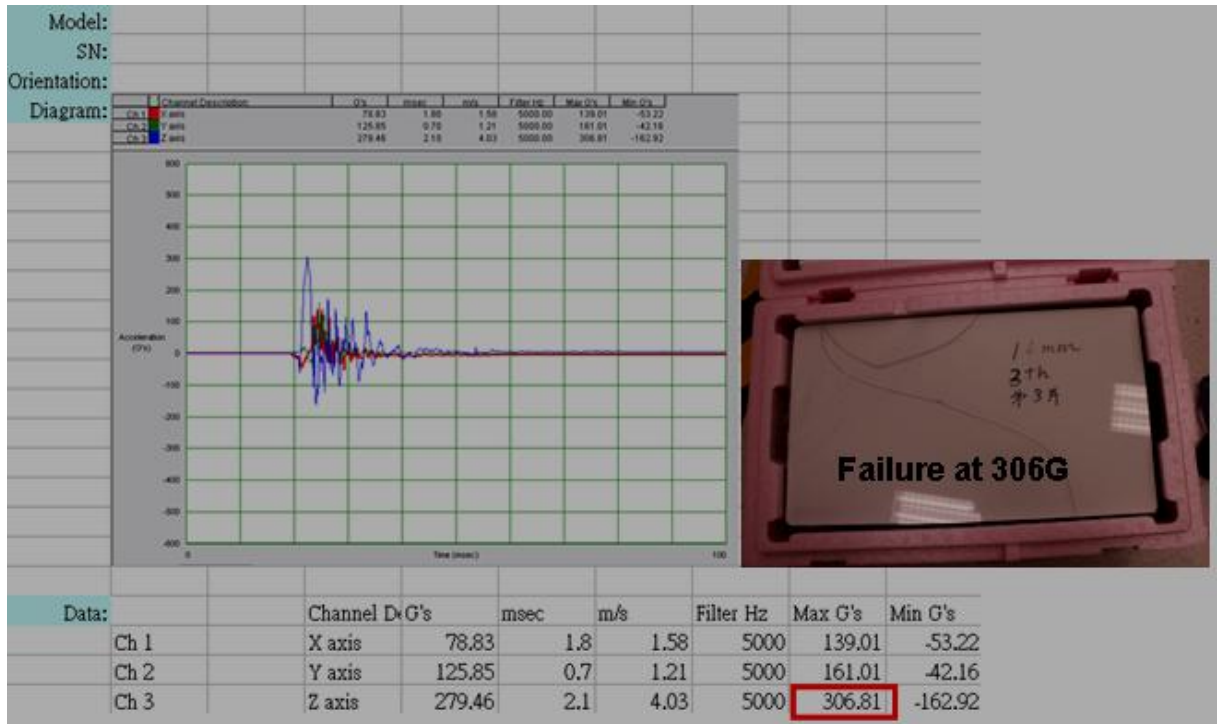


圖 4.16 落摔 G 值

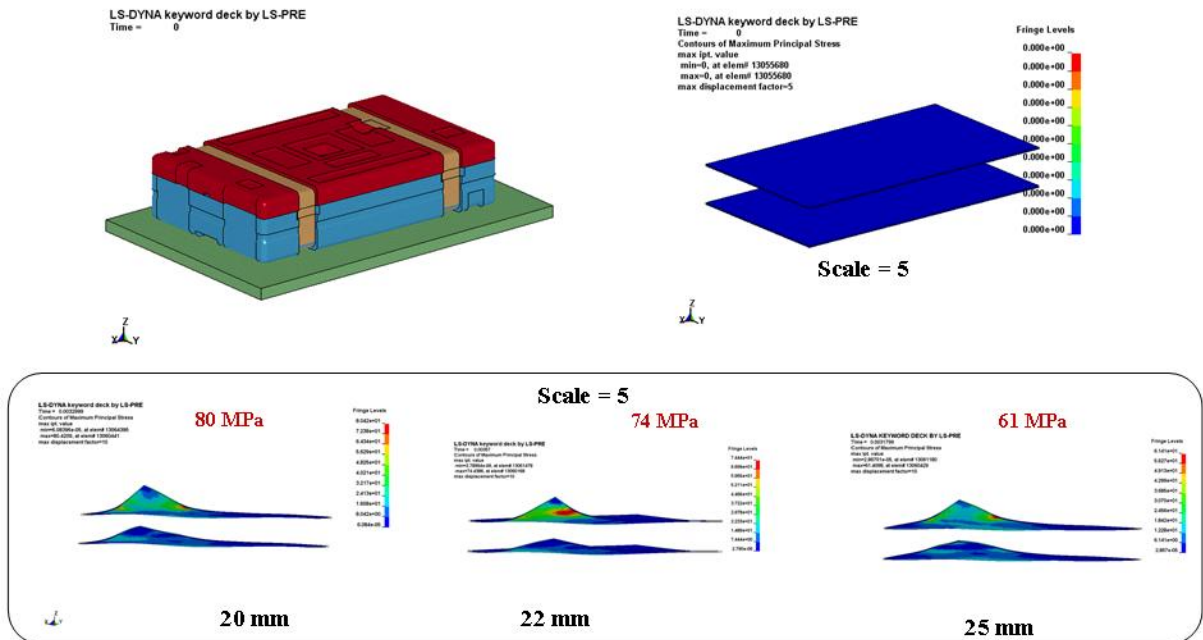


圖 4.17 應力分析

4-5 實驗結果與模擬比對驗證

本研究使用尺寸 17 吋、17.3 吋與 23 吋的箱體，進行實驗與模擬之交叉驗證。期初在多次的實驗中發現，在箱體具有外部特徵與沒有特徵[圖

4.18]的狀況下，在實體落摔與模擬的結果都顯示出具有特徵的箱體有較佳的緩衝效果與保護性，在應力的表現上也相對的變小。其外部特徵主要為凹入平面深度為 7mm 的銘板標示、標籤貼附位置與束帶捆綁位置造成的凹陷狀況，但是卻提供了在大平面上撞擊時而產生緩衝的效應發生。



圖 4.18 箱體特徵圖

在 17 吋的實驗中，以原型箱體進行三箱的落摔測試，實驗結果都發生玻璃破片的情形，在模擬軟體的分析中亦可得到在破裂點的應力值是大於其他地方，達到 141MPa，可驗證模擬與實際落摔結果[圖 4.19]的趨勢相吻合。但是多大的應力表現會造成玻璃破損，後續接著進行 17.3 吋與 23 吋的箱體實驗測試，並在箱體壁厚的減薄狀況下，交互與有特徵與無特徵的箱體，得到實驗與分析的結果。

在 17.3 吋的實驗中，在有外部特徵的箱體裝載狀況下，箱體厚度由箱內減薄肉厚 3mm、5mm、7mm、9mm，各進行三箱的落摔測試，其結果都沒有發生玻璃破片情況，在模擬軟體分析中得到應力值為 86MPa、85MPa、88MPa、84MPa。接續在有外部特徵的箱體裝載狀況下，進行外部特徵由箱體外部切除，外部特徵厚度為 7mm，箱體減薄肉厚 7mm、9mm、11mm、15mm，各進行三箱的落摔測試，其結果都發生玻璃破片情況，在模擬軟體分析中得到應力值為 131MPa、128MPa、142MPa、134MPa。

在 23 吋的實驗中，在有外部特徵的箱體裝載狀況下，箱體厚度由箱內減薄肉厚 3mm、5mm、7mm、9mm，各進行三箱的落摔測試，其結果都沒有發生玻璃破片情況，在模擬軟體分析中得到應力值為 57MPa、55MPa、59MPa、70MPa。接續在有外部特徵的箱體裝載狀況下，進行外部特徵由箱體外部切除，外部特徵厚度為 7mm，箱體減薄肉厚 7mm，各進行三箱的落摔測試，其結果發生玻璃破片情況，在模擬軟體分析中得到應力值為 100MPa。

經由實驗與模擬分析，結果顯示有限元素模型用來反應 EPP Box 的動態行為分析是具有高度可靠性的。在落摔實驗與軟體模擬分析結果中，歸納可得到在液晶玻璃裝載箱的保護裝載下，玻璃可承受的應力區間介於 88MPa~100MPa[表 4.5]。

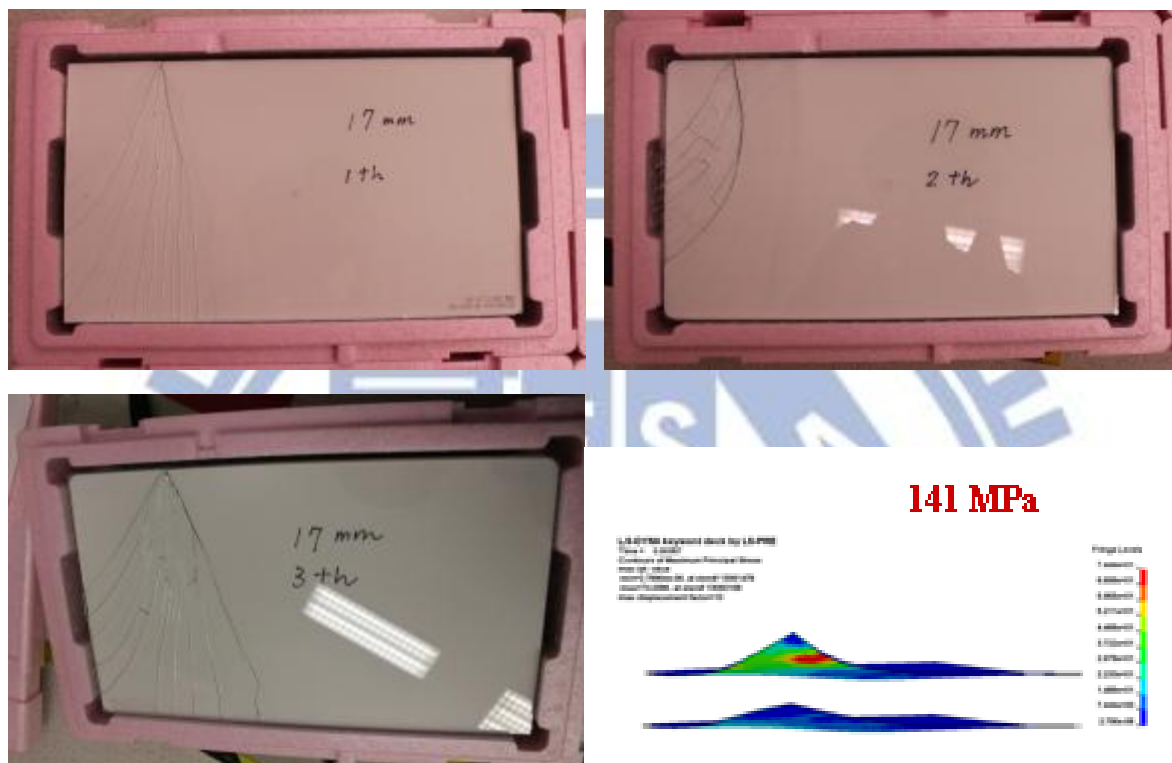


圖 4.19 模擬與實際落摔結果

表 4.5 應力區間值

箱體厚度	17吋		箱體厚度	17.3吋	
(有外部特徵)	落摔結果	應力值(MPa)	(無外部特徵)	落摔結果	應力值(MPa)
Original	Fail	141	-7mm	Fail	131
			-9mm	Fail	128
			-11mm	Fail	142
			-15mm	Fail	134

箱體厚度	23吋		箱體厚度	23吋	
(有外部特徵)	落摔結果	應力值(MPa)	(無外部特徵)	落摔結果	應力值(MPa)
Original	Pass	77	-7mm	Fail	100
-3mm	Pass	57			
-5mm	Pass	55			
-7mm	Pass	59			
-9mm	Pass	70			



第五章 結論

5-1 結論

基於上述的實驗過程與內容，在實際測試與軟體分析中找到其關聯條件，讓實驗與軟體分析結合，並可得到幾項結論。

1. G 值的不確定性

落摔 G 值只能反應衝擊能的大小，但並不能完全反應玻璃的變形行為。

2. Drop 的角度差異探討

Shock 的表現是完美的 0° 角度，但 Drop 卻有在 1° 角度的變異存在，在實驗與模擬上必須特別注意此問題影響，進而干擾分析的結果。

3. 箱體有外部特徵與無外部特徵的探討

在實體落摔與模擬的結果都顯示出具有特徵的箱體有較佳的緩衝效果與保護性，在應力的表現上也相對的變小。因此在箱體設計上應該具備此項特徵，可讓箱體厚度效益得到改善。

4. 玻璃應力破損邊界介於 88MPa~100MPa

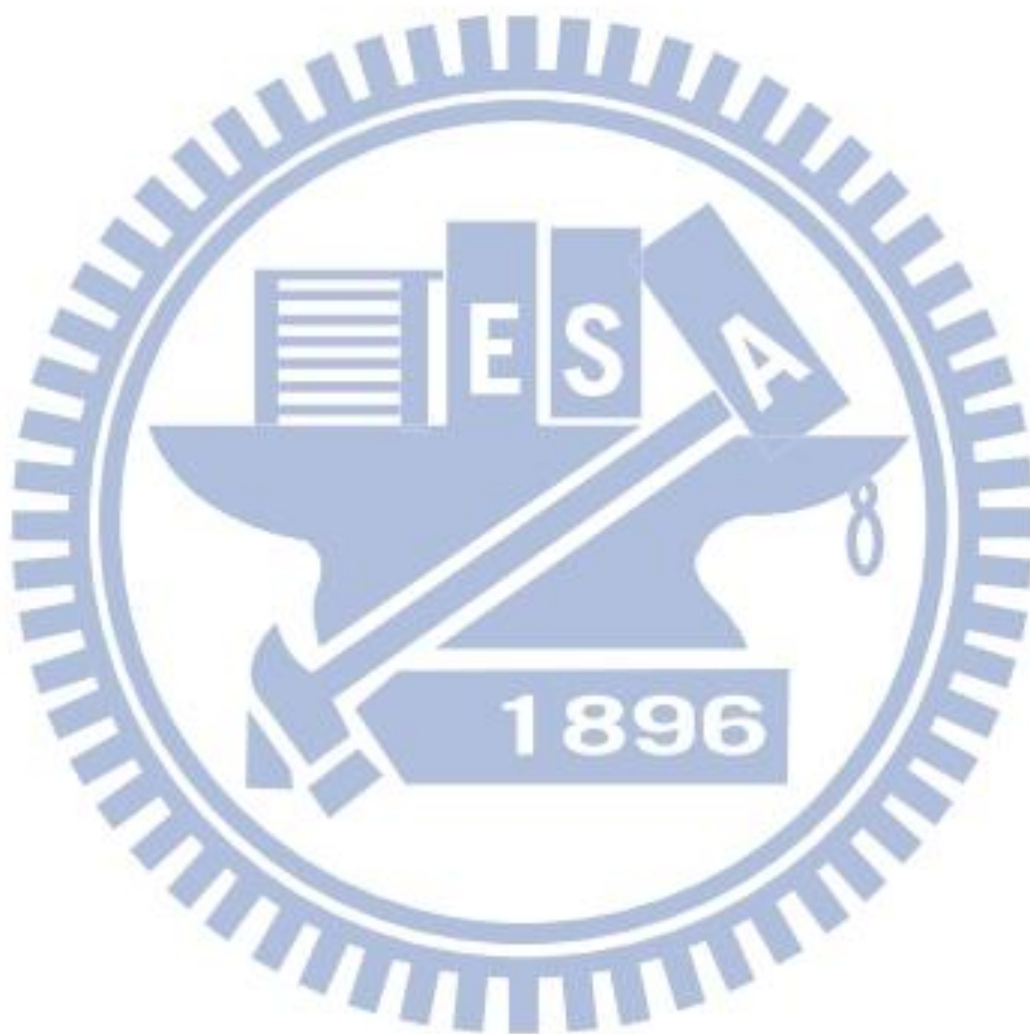
在落摔實驗與軟體模擬分析結果中，歸納可得到在液晶玻璃裝載箱的保護裝載下，玻璃可承受的應力區間介於 88MPa~100MPa。由此玻璃破損邊界的參考確認，建立資料庫，讓後續機種在設計初期皆可參考使用。

5-2 展望

應用在液晶玻璃裝載箱上，如果箱體厚度過厚，對於企業上的競爭是一種效率的浪費，成本的多餘付出，對於環境更是一種傷害與浪費資源；但箱體過薄，效益太過極致，也無法有效達到保護的效果。

本研究目前所得到的結論，在有限元素模型上已經可以蠻準確分析與預測 EPP 裝載箱的應力值，使設計人員可以找出問題點並加以改善，接下來進一步也可利用有限元素模型的分析結果，在設計期初參考其數值，改善設計流程，進而來降低設計成本與材料使用量並有效縮短開發時間，增

加開發效能與降低後續發生問題的機率。



參考文獻

- [1] 曾漢壽，瓦楞紙箱設計，初版，台灣包裝工業雜誌社，台北市，1996年。
- [2] 曾漢壽，包裝設計系統，初版，2003年。
- [3] 瓦楞紙箱設計與品質管理手冊，中華民國對外貿易發展協會編印。
- [4] 章秀鑫，TFT-LCD 模組設計概論，初版，全華圖書，台北市，1991年。
- [5] 朱陳春田，包裝設計，一版，北星圖書公司，台北縣，1996年。
- [6] 王栢村，電腦輔助工程分析之實務與應用，初版，全華圖書，台北市，2003年。
- [7] 郭彥峰、許文材，包裝測試技術，一版，化學工業出版社，北京，2006年。
- [8] 江瑞琪，「以 EPP 緩衝包材包覆之液晶單元落下試驗與數值模擬」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，2007年。
- [9] 王士豪，「壓成型發泡聚乙烯緩衝包材之最佳化設計」，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，2003年。
- [10] 唐瑤書，「壓成型發泡聚乙烯緩衝包材之設計：落下試驗與數值模擬」，國立臺灣大學土木工程學系研究所碩士論文，2002年。
- [11] 劉俊男，「產品包裝之可靠度實驗分析」，中原大學機械工程研究所碩士論文，2006年。
- [12] 曾漢壽，「緩衝包裝與測試」，台灣包裝工業雜誌，Vol. 45, pp. 82-87.，1993年。
- [13] 曾漢壽，「緩衝包裝材料」，台灣包裝工業雜誌，Vol. 51, pp. 68-75.，1994年。
- [14] 曾漢壽，「緩衝包裝設計」，產品包裝與設計，Vol. 57, pp. 77-81.，1994年。
- [15] 曾漢壽，「緩衝包裝材料知多少(上)」，台灣包裝工業雜誌，Vol. 67, pp 56-60.，1996年。
- [16] 曾漢壽，「緩衝包裝材料知多少(下)」，台灣包裝工業雜誌，Vol. 68, pp 46-50.，1996年。
- [17] 中國國家標準 CNS 10482 Z6068，「包裝用緩衝材料靜態壓縮試驗方

- 法」，經濟部中央標準檢驗局，1983 年。
- [18] 中國國家標準 CNS 10033 Z6061，「包裝貨物之評估試驗法總則」，經濟部中央標準檢驗局，1993 年。
- [19] 中國國家標準 CNS 2999 Z6012，「包裝貨物墜落試驗法」，經濟部中央標準檢驗局，1993 年。
- [20] 陳柏群，「TFT-LCD 掉落模擬分析及驗證研究」，中央大學，機械工程研究所，碩士論文，2003 年。
- [21] 康淵、陳信吉，ANSYS 入門(修訂三版)，全華圖書，ISBN：957-21-5334-X，2006 年。
- [22] 林清安，Pro/Engineer wildfire 2.0 基礎入門與範例，知城出版社，2005 年。
- [23] 林清安，Pro/Engineer wildfire 2.0 零件組立予產品設計，知城出版社，2005 年。
- [24] Brian C., Hubert L., *Selecting Material Models for the Simulation of Foams in LS-DYNA*, 2009.
- [25] Mindlin, R. D., “Dynamics of Package Cushioning,” *Bell System Technical Journal*, Vol. 24, No. 3-4, 1945.
- [26] *LS-DYNA Theory and User's Manuals*, LSTC Inc, 2001.
- [27] Choi S., Kang E., Kim D., “Drop Impact Simulation for Optimum Design of TFT-LCD,” 5th International LS-DYNA users conference, 1998.
- [28] Wu, J., *Global and Local Coupling Analysis for Small Components in Drop Simulation*, Proceedings of the 5th International LS-DYNA Users Conference, April 9-11 - Session 11, Dearborn, Michigan, 2000.
- [29] Wang, Z. W., Hu, C. Y., “Shock Spectra and Damage Boundary Curves for Non-linear Package Cushioning Systems,” *Packaging Technology and Science*, Vol. 12, No. 5, pp. 207-217, 1999.
- [30] STM D3332, “Standard Test Methods for Mechanical-shock Fragility of Products, using Shock Machines”, American Society for Testing and Materials, 1977.

- [31] ASTM D 3575, “Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials Made From Olefin Polymers” , American Society for Testing and Materials, Vol.08 No.02, 2000.
- [32] ASTM D4168, “Standard Test Methods for Transmitted Shock Characteristics of Foam-in-Place Cushioning Materials,” American Society for Testing and Materials, 2008.
- [33] ASTM D 5276, “Standard Test Method for Drop Test of Loaded Containers by Free Fall” , American Society for Testing and Materials, Vol.15, No.10, 2004.
- [34] ASTM Standard, D 4169-99, “Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems” , 1999.
- [35] <http://www.matweb.com/>

