

國立交通大學

工學院精密與自動化工學程

碩士論文

TFT-LCD 前段 Array 廠及中段 Cell 廠
AMHS 流場改善研究

An Investigation of the Flow Field Improvement of
Automatic Material Handling System in the
TFT-LCD Array & Cell Process Fabs

研究生：黎瑞海

指導教授：傅武雄 博士

中華民國九十九年一月

TFT-LCD 前段 Array 廠及中段 Cell 廠 AMHS
流場改善研究

An Investigation of the Flow Field Improvement of
Automatic Material Handling System in the
TFT-LCD Array & Cell Process Fabs

研究生：黎瑞海

Student : Jui-Hai Li

指導教授：傅武雄

Advisor : Wu-Shung Fu

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Automation and Precision Engineering

January 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年一月

TFT-LCD 前段 Array 廠及中段 Cell 廠 AMHS 流場改善研究

研究生：黎瑞海

指導教授：傅武雄

國立交通大學
工學院精密與自動化工程學程

摘要

本文是要解決一個裝置於 TFT-LCD 無塵等級 Class 1000 之 Fab 內，連接前段無塵等級 Class 100 的 Array 製程及無塵等級 Class 100、Class 10 的 Cell 製程中 AMHS Stocker 微塵粒污染問題，由於 AMHS Stocker 設計之初疏忽與現場無塵廠房的安裝失誤，Stocker 防塵外罩頂之 Class 100 過濾能力的 FFU 無法完全蓋住該外罩，有 3/4 面積裸露在 Class 1000 等級的外面環境中，故形成 Stocker 密封空間內氣流及換氣能力不足，使得微塵粒子沉積滯留於 Class 100 等級要求的空間中，造成面板玻璃面的微塵粒污染，使各製程中的不良率居高不下造成損失。本研究主要目的依據實驗現象中總結出來的紊流 $k-\varepsilon$ 模型，它是個半經驗的公式，因適用範圍廣，經濟合理的精度所以在工業流場中廣泛被使用，經由軟體進行數值模擬分析，分別去探討 Stocker 內各儲位中 Cassette 內面板玻璃間的流場均勻性，流場中空氣年齡及壓力的變化。並利用由實體 Stocker 內部空間經定位標示後，量得的流速、方向及微塵粒分佈狀況與模擬值比對，找出誤差範圍判定其合理性；後再返回由軟體模擬解決 FFU 外露的有效改善對策，要使改善後的 AMHS Stocker 內的微塵粒能順暢置換排出，維持空氣年齡值合乎業界 Class 100 的對應值以內，並重新評估 FFU 滿佈的必要性，以降低以後營運的維修成本。

An Investigation of the Flow Field Improvement of Automatic Material Handling System in the TFT-LCD Array & Cell Process Fabs

Student : Jui-Hai Li

Advisor : Wu-Shung Fu

Department of Automation and Precision Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The aim of this study is to solve a device in TFT-LCD class 1000 Fab clean room to connect front-end cleanliness Class 100 of the Array process and the cleanliness Class 100、Class 10 of the Cell process AMHS stocker dust particles pollution problems. Because AMHS stocker at the beginning of design negligence and on-site installation errors, Stocker dustproof jacket ceiling Class 100 filter FFU is unable to cover this shell completely, has 3/4 area to expose in the Class 1000 cleanliness environment. Causes in the Stocker seal space the air flow non-uniform and air change ability is insufficient, so that dust particles deposition to be remained in the Class 100 cleanliness environment, Panel glass surface caused by the dust particle pollution. It makes the manufacturing process for high rate of bad losses.

This research main purpose needs to use the turbulent flow k-ε model which summarizes from the experiment phenomenon, it is a semi-empirical formula, as applicable to a wide range of economic and reasonable accuracy, therefore is used widely in the industry flow field, carries on the numerical simulation analysis, to look at stocker in cassette storage spaces inside cassette flow field uniformity between the plate glass, in the flow field the air age and the pressure change. And use the stocker inner space after the localization indication, the measurement of the velocity, direction and distribution of fine dust particles compared with the simulated values to identify the error to determine the scope of its legitimacy; then putting it back to solve the FFU exposed to effectively improve the response. After improve, in the AMHS Stocker dust particle can discharge smoothly, the maintenance air age value conforms with in the industry class, the corresponding value of the cleanliness Class 100 or less and re-evaluate the need for FFU 100% covered to reduce maintenance costs after the operation.

誌 謝

離開學校進入職場已有 20 幾年的時間，在此時間只因以前所學偏向實務領域，雖在實務面上對於問題的處理一帆風順，但隨着由助理工程師，工程師一直往上晉升最後到高階主管時，所面臨的不再是單純技術問題，而是系統觀結構性問題，進行決策時會需依賴理論的佐證判斷，在此需求壓力下，於 2 年多前再重進入學校體系，接受理論的訓練教導；在此時間內一方面要養家活口，又要接受繁重課業的磨練，實有很多痛苦難言，幸好在學業上蒙指導教授傅博士兩年來的給予課業及論文的指導教誨，在此致最高謝意，同時也感謝實驗室內博班信宏、博班玠超、博班威翔同學在數值模擬上的協助，使本研究論文得以完成；最要感謝的是這 2 年多期間妻子寶美無怨無悔的照顧家裡大小事件，經常從旁鼓勵協助，吾兒昱佑體諒我對自身課業的投入，而疏於對他高中學校生活及課業協助的親身投入，他為了不讓我擔心而表現出成熟的自我管理作為，雖不是完美，但我很欣慰他的成熟表現並以他為榮，最後祝他今年如願考上心目中的系所。 感謝所有曾經幫過我的人！

目 錄

中文摘要	.....	I
英文摘要	.....	II
誌 謝	.....	III
目 錄	.....	IV
表 目 錄	.....	V
圖 目 錄	.....	VI
符號索引	.....	VIII
第一章 緒論	.....	1
第二章 研究標的定義	.....	12
2-1、 研究內容	.....	12
2-2、 問題解析	.....	13
2-3、 研究方法	.....	15
2-4、 模擬與量測指標	.....	18
第三章 物理模式	.....	29
3-1、 物理模型	.....	29
3-2、 統御方程式	.....	31
3-3、 邊界條件	.....	34
第四章 數值方法	.....	41
4-1、 有限體基積離散方法	.....	41
4-2、 控制方程差分處理	.....	42
4-3、 流場數值計算	.....	44
4-4、 數值模擬基本數據驗證	.....	45
第五章 結果與討論	.....	57
5-1、 參數基準值模擬	.....	57
5-2、 現況模型重建及可行方案探討分析	.....	60
5-3、 對策方案與改善結果	.....	63
5-3-1 流場特性比較	.....	63
5-3-2 空氣年齡比較	.....	64
第六章 結論	.....	108
參考文獻	.....	110

表目錄

表 2-1	ISO-14644 潔淨度定義〔1〕	19
表 2-2	Fed-std-209E 潔淨度定義〔1〕	20
表 2-3	無塵等級與 LMA 對照表〔17〕	21
表 4-1	開孔率與 α 、 β 值對照表	49
表 4-2	開孔板出口風速實際量測值	50
表 4-3	Cassette 儲位九宮格標示位置風速實際量測值	51
表 5-1	開孔板出口風速模擬值與實測值比較表(m/s)	67
表 5-2	Cassette 內九宮格風速數值模擬與實測值比較表	68
表 5-3	微塵粒洩漏量測結果(白光區)	69
表 5-4	微塵粒洩漏量測結果(黃光區)	70
表 5-5	微塵粒洩漏量測結果(更換後)	71
表 5-6	Particle Counter 量測記錄表	72
表 5-7	Particle Counter 量測記錄表	73
表 5-8	Particle Counter 量測記錄表	74
表 5-9	改善研究過程表	75

圖目錄

圖 1-1	TFT-LCD 結構 [18]	8
圖 1-2	TFT-LCD 顯像原理結構與畫面 [18][19]	9
圖 1-3	Cell Assembly 製程環境為 Class 10 等級 [18]	10
圖 1-4	G7.5 完成 CF 製程後實體 [18]	11
圖 2-1	Wire Cassette 工程圖及圖像	22
圖 2-2	Normal Cassette 實體圖像及 3D	23
圖 2-3	Exchanger 內之 Wire Cassette 進玻璃圖	24
圖 2-4	倉儲內 Crane 加減速模擬結果 [14][15]	25
圖 2-5	無塵室實測數據量測儀器	26
圖 2-6	孔板可調式開孔設定圖	27
圖 2-7	影響 AMHS Stoker 無塵品質因子	28
圖 3-1	研究主題 TFT-LCD Fab AMHS 佈置	36
圖 3-2	實際儲位圖與模擬用幾何模型圖	37
圖 3-3	數值模擬用物理模型	38
圖 3-4	Stocker 儲位外罩與 FFU 現況安裝圖	39
圖 3-5	正規 Stoker 儲位外罩與 FFU 密合安裝圖	40
圖 4-1	研究流程圖	52
圖 4-2	一維、二維有限體積法網格 [21]	53
圖 4-3	分離求解器方法	54
圖 4-4	孔板 dp 值數值模擬幾何模型	55
圖 4-5	現場流場風速實測位置圖	56
圖 5-1	Case 1 孔板開孔率標示圖	76
圖 5-2	Case 1 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	77
圖 5-3	Case 2 孔板開孔率標示圖	78
圖 5-4	Case 2 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	79
圖 5-5	Case 3 孔板開孔率標示圖	80

圖 5-6	Case 3 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	81
圖 5-7	Case 4 孔板開孔率標示圖	82
圖 5-8	Case 4 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	83
圖 5-9	修正後開孔率位置圖示	84
圖 5-10	Case 5 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	85
圖 5-11	Case 6 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	86
圖 5-12	Case 7 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	87
圖 5-13	Case 8 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	88
圖 5-14	三種不同 FFU 配置的截面 (A、B、C)	89
圖 5-15	Case 9 截面 A 幾何模型	90
圖 5-16	Case 9 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	91
圖 5-17	Case 10 截面 B 幾何模型	92
圖 5-18	Case 10 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	93
圖 5-19	Case 11 截面 C 幾何模型	94
圖 5-20	Case 11 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖	95
圖 5-21	三種 Case 相同切面處儲位流速比較	96
圖 5-22	可行方案幾何模型圖	97
圖 5-23	可行方案孔板開孔率圖	98
圖 5-24	可行方案 Case 12 & Case 13	99
圖 5-25	可行方案 Case 14 & Case 15	100
圖 5-26	Final Case 幾何模型 & 流場分佈圖	101
圖 5-27	Final Case 移除 Cassette 後模擬結果圖	102
圖 5-28	Final Case 模擬結果 & 模擬數據取樣圖	103
圖 5-29	Final Case 流場微粒子釋放模擬	104
圖 5-30	Final Case 流場微粒子釋放模擬	105
圖 5-31	Final Case 流場微粒子釋放模擬	106
圖 5-32	洩漏量測點 & Particle Counter 長期監測點示意圖	107

符號索引

A	面積	
$C_{\mu}, C_{\epsilon 1}, C_{\epsilon 2}, C_{\epsilon 2}, C_{\epsilon 4}$	k- ϵ 紊流模式的經驗係數	
$F_{h,j}$	於 x_j 方向上的能量擴散通量	
\sqrt{g}	特定公制張量	
k	紊流動能	
P	壓力	[N m ⁻²]
S_i	動量源項	
S_{ij}	剪應變率張量	
S_{ϕ}	來源係數	
t	時間	[sec]
x_i	卡式座標 (i=1,2,3)	
u	流體切線速度	[m s ⁻¹]
u_i	流體在 x_i 方向的絕對速度	[m s ⁻¹]
\tilde{u}_i	流體與座標系統的相對速度	[m s ⁻¹]
u_w	壁面速度	
U_p	流體在多孔性介質中的平均速度	[m s ⁻¹]
V	體積	
 希臘符號		
Γ_{ϕ}	擴散速度	
ϵ_p	開孔薄板之孔隙率	
μ	黏滯係數	
ρ	密度	[kg m ⁻³]
μ_t	紊流黏滯係數	
$\sigma_k, \sigma_{\epsilon}$	k- ϵ 紊流模式的經驗係數	
τ_{ij}	黏滯應力張量	
ϕ	代表任一獨立物理量	

第一章 緒論

LCD 液晶顯示產品由日本發明，量產手法亦於日本發展完成，原日本只希望它取代 CRT Monitor 廣大市場，所以另有 PDP 電漿產品量產化被日本大量推廣於 TV 市場，早期幾乎全部 PDP 面板廠都只留在日本國內，其產品技術，生產設備，生產管理手法被視為絕對機密不可外洩，但當日本極盛時期（日本第一）到經濟泡沫化時，LCD 技術由日本流到韓國，後來在韓國人的努力（實則韓國與日本的競賽下），生產用的素玻璃尺寸由 G3、G3.5、G4.5、G5、G5.5、.....，一直有要取代日本成為霸主之勢，且當時日本剛由極盛時期進入經濟泡沫時代，急於維持其成長假象，LCD 設備技術大量輸入韓國換錢，但韓國政府對於日本的技術引進採嚴格的技术源管控，即日本若要賣設備進韓國一定要在韓國找到合作廠才可，如此每一家日本設備廠在韓國只能做到短期之生意，技術很快就被複製，甚至由韓國自行改良後還勝過日本。

基於此日本開始將低階技術放入台灣（最早是 AUO 前身“達基”從日本 IBM 買到 G3 的生產線），期望從台灣找到合作夥伴來牽制韓國，當時台灣開始從 G3.5（合鑫、台灣凸板、劍度.....），G4.5（華映、劍度.....），G5（AUO、華映、QDI、群創、漢彩、CMO）建廠，且日本最終產品廠宣佈不在日本國內設廠，以全部向外購買面板之策略，同時因 LCD 的尺寸追趕下，日本放出第一個 PDP 生產廠（最大生產尺寸為 30"）賣給與日本一向關係很好之台塑關係企業南亞，同時韓國又剛好受到東南亞經濟風暴傷害，需要一段療傷止痛修生養息之時，台灣面板業更把握這黃金期，再從 G5 往上爬升到 G5.5、G6、G7.5、G8 形成面板五虎之勢，同時 LCD 面板尺寸大型化之競賽台灣正式加入了國際舞台，形成日本、韓國、台灣的競爭局面。

最初 LCD 剛在台灣起步時約在 G3.5、G4.5 左右，到 LCD 往 G5 提升時，AUO、CMO、華映、QDI..... 等採取較 IC 產業不同的開放模式（最主要也是受到韓國當初接收日本 LCD 技術方式的鼓舞）及要降低設備的投資成本，先由整個 LCD 廠內之 AMHS 切入，即日本設備供應源要在台灣找到配合的自動化設備廠，才可接到新建廠的 AMHS 的訂單，否則就無法在台灣拿到生意，

也就此為了降低建廠成本的本土化策略，使得在 G5、G5.5 建廠時代造就了台灣 10 幾家自動化設備廠的技術全面性成長，由於建廠時間都很短，日本原廠也都沒有辦法守住技術慢工細磨，只能放出全部技術，要合作的台灣本土廠儘量加人趕工以符合建廠的時程要求，故台灣的自動化設備業有了 AMHS 的設計、製造技術及規劃能力，但唯獨在 AMHS 倉儲的無塵空間內相關影響生產品質的設計只能“蕭規曹隨”，不知其所以然的“照舊”不敢更動。

另一方面當工業上的產品如 IC 半導體、LCD 光電產品 等為達到微小化，其佈線 (Layout) 需要高度密集，即要線細、多層，故當生產環境中有較大粒徑的塵粒充滿生產空間中，則這些利用蝕刻或濺鍍的細線，可能會造成斷線或短路，基於此台灣在 IC 半導體代工業，早已有無塵室的使用相關知識及背景；而 LCD 顯示器其為兩片玻璃中灌入液晶而形成，其中一片玻璃的表面用類似 IC 製程中的黃光製程，將玻璃面佈滿晶微開關，所以在此階段之製程是要在極高的無塵度 (Class10~Class100) 內才能製成，但以 IC 的製程處理物 Wafer 目前最大尺寸也只有 $\phi 12"$ (約 300^{mm} 直徑)，與 LCD 面板玻璃 G5 ($1100^{\text{mm}} \times 1300^{\text{mm}}$) 相比是小巫見大巫，總面積比是 1:20，故所有台灣的 LCD AMHS 自動化設備廠，在 LCD 大型物件的無塵室製程內之 AMHS 設備中，大量引用 IC 代工業中得到之經驗，不知不覺的做了許多半知半覺的事，尤其到後來 G6 ($1500^{\text{mm}} \times 1850^{\text{mm}}$)、G7.5 ($1950^{\text{mm}} \times 225^{\text{mm}}$)、G8.5 ($220^{\text{mm}} \times 250^{\text{mm}}$) 一路 LCD 面板玻璃為在同業間取得最有利的產品黃金切割率而飛快成長時，更不用說一定是錯誤百出。本人因一直投入在此 LCD AMHS 設備業，由 G4.5 開始，從早期與日本人合作的本土化時，到與韓國自動化倉儲製造者合作，一起去向台灣使用者提規劃爭取案子時，看到日、韓此二大 LCD 前驅，對於要規劃設計一符合無塵度要求之 AMHS 案例時，總是在 AMHS 氣流場這環節時，所有的相關技術資料及討論就會遮遮掩掩不希望台灣介入，此時只能識相的迴避，但也因為這種不愉快的感覺引發進行研究的動機誘因。

TFT-LCD 的組成結構剖析其為兩片厚約 0.7^{mm} 的玻璃間灌入一層液晶，並利用膠封的技術如圖 1-1，使其被穩固的夾持於兩片玻璃間不流失，並在此結構的前面玻璃（與液晶接觸面）將彩色濾光片（Color Filter）的製程施作於其上，後端玻璃（與液晶接觸面）將薄膜電晶體（TFT），利用與 IC 半導體的黃光區相同技術，製作電晶體於玻璃面上，當給予電壓於電晶體時，液晶會轉向（站立），光線穿過液晶後在前端面板上（Color Filter）產生一個畫素，背光模組位於 TFT-Array 面板之後，負責提供光源，Color Filter 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如圖 1-2，所以在製程中不允許污染塵粒掉落於製程中，它會造成面板顯像不良的瑕疵，且由於製造成本考量，不可能將面板切成一小片，一小片（如 20"、26"、30".....）方式製作，所以必需是一次的製程中能同時處理多片的面板才能得到最佳效率，等到最後形成單片面板時再切割開來，所以綜觀 TFT-LCD 面板的製程可分成前段 Array process，中段 Cell process，後段 Module Assembly，其製程內容如下：

前段 Array process :

TFT : Bare Glass → Film Deposition → Photo → Etching → Stripping

CF : Bare Glass → BM → RGB → Polish → ITO → MVA → Photo Spacer
→ Final Inspection

中段 Cell process :

TFT : Cleaning → PI Pring → Rubbing → ODF ———— |
|
| ———— AG Dispense

CF : Cleaning → PI Pring → Rubbing ———— |
|
| ———— Sealant Dispense → Cell Assembly → Cell Cut

→ Grinding → Polarizer Attachment

後段 Module Assembly :

Cell Glass : PCBA → Drive IC → COF → Bezel → Backlight unit

→ TFT-LCD Module

因在中段 Cell process 之 Cell cut 之前整個素玻璃在製程上是整片的，此即為我

們通稱 G4.5、G5、G5.5、……G10 的定義起點，一般分成如下之世代區隔：

G4.5 : 730^{mm} x 960^{mm} , G5 : 1100^{mm} x 1300^{mm} , G6 : 1500^{mm} x 1850^{mm}

G7.5 : 1950^{mm} x 2250^{mm} , G8.5 : 2200^{mm} x 2500^{mm}

因從前面 TFT-LCD 的組成結構中可以了解，所有薄膜電晶體或彩色濾光構造都是在最後組合製程中與液晶接觸貼合在一起，這表示所有中段 Cell process 之 Cell Assembly 之前的製程工作環境都需要在極高的無塵環境品質中，否則會造成微塵粒子的污染以致製程不良無法發揮其產品功能；一般在未封合之前之製程環境品質需在無塵度 Class 100 及 Class 10 如圖 1-3、如圖 1-4，否則無法做出符合品質要求的 TFT-LCD 面板，隨着面板玻璃趨大化，所有 TFT-LCD 面板製造商的最大難題之一—無塵環境品質的有效掌控。

今有一台灣 AMHS 設備廠，由於承接一家 LCD 前段 CF 廠之 AMHS 倉儲設備案時，未嚴肅的考慮於 AMHS 之倉儲內的氣流場問題，致設備安裝完成後在測試時微塵粒污染面板玻璃的嚴重情況一直未間斷過，CF 廠提出最後通牒限期改善完成，否則需負延誤整廠量產的完全責任，因所有製程設備的半成品都要經由 AMHS 串連流入倉儲進行交換，另因已到接近量產的階段，所有其他設備商均如火如荼做最後試車，不可能長時間停機供給 AMHS 設備商改善測試，最多只能利用其月底的預排保養維修期間給 4 天的時間改善此嚴重問題；今此製造廠僅能就時效的問題為優先考量觀點下，先依 User 端之要求 AMHS 倉儲頂部 FFU 由原來 75% 之佈置率改成 100% 之佈置率，硬體先安置完成後，再用數值分析軟體進行模擬分析找出通風道之開孔板，最適的開孔率後，再按此開孔率值對開孔板進行調整，使 AMHS 倉儲內之氣流能均勻化而達到空間內潔淨度的要求。

本研究就是要利用數值模擬分析軟體，配合驗收過程中所得到的現況流場之流速相關數據，反推模擬比對建立失敗的模型後，再利用改善、驗證的手法於前述模型中找出最適的開孔板之開孔率值，供調整以得到有效合理的改善方案進行修正。

無塵室由 100 多年前因基於醫院控制傳染而提出的一個理念，到因符合科技進步之需要而引用到工業，其中經過不同需求的進化演變，現在所看到的高科技產業所使用之無塵室，其最早的前身要追述到 1962 年美國新墨西哥州 Albuquerque 的 Sandia 實驗室發明層流式無塵室，這是目前所有工業無塵室最早所使用的方式，並在 1963 年美國首度以均勻流概念提出無塵室標準“聯邦標準 209”到 1992 年再修訂為 209E，1999 年 ISO 針對無塵室也提出了 ISO 14644-1 標準，目前雖然 209E 已為 ISO 14644-1 所取代，但在世界各地大部份仍沿用中，在這以前無塵室被用於大量生產化的生產模式就是半導體 IC 產業，最早引用到 TFT-LCD 產業大量生產是在 1989，到 2003 年以前都還是在 G4 (730^{mm} x 920^{mm}) 以下尺寸，甚至到目前 2009 全世界有 G5 以上大型無塵室使用經驗就只有日、韓、台、中國，其中以日、韓較早(至少約早台灣 3 年以上)，所以目前大型 TFT-LCD 生產中無塵室問題研究的學術論文在國內外皆不多，期刊報告亦少，在大型工件的高潔淨度無塵室研究報告不多的狀況下，只能由少數的國內報告及從小尺寸(IC 半導體代工)的無塵室問題研究報告中去探討及回顧。

2002 年，蕭 [11] 利用流體力為數值模擬及實驗量測對 300^{mm} 晶圓載卸的通口模組進行微塵粒污染的研究，結果發現當晶圓載卸動作進行時，其載卸通口模組機構下方會有渦流產生，累積時間後此處微塵粒的污染情況發生，其建議在此處利用防塵罩裝置隔離並利用內外壓差的方式，以防止無塵室內污染塵粒進入模組內，且經對無塵室地板開孔率改善，且增加模組內微環境換氣次數可使之正壓加大，可獲得較好效果。

2005 年，江 [12] 利用數位模擬軟體 Fluent k-ε 紊流模式及動態網格計算技術來求解問題，其目的為模擬一無塵室面板儲存櫃 (6^m x 10^m x 3^m)，內含一面板自動運載裝置，由入風口吹入流體(空氣)經整流板均勻化氣流後，穿過玻璃層，將可能的微塵粒帶走，最後經由高架地板下方開孔板排出，因是進行動態網格方式模擬，為控制網格數進行多種模型簡化，其中包括儲存之玻璃片也一併以整片式(與儲存櫃等長)簡化之，出口的邊界條件壓力設為一大

氣壓，最後得到模擬結果為，加大入口面積有效改善氣流均勻狀態，並有效改善迴流現象，符合期望要求，並提出一建議給後來者，即變化面板自動運載裝置之移動速度，觀察對微塵粒子沉積影響以及入口整流板與出口開孔板之不同開孔率，對微塵粒子沉積及出口流體分佈之影響。

2006 年，馮 [13] 與前江 [12] 論文是相同的物理模型狀態下，用相同的數值模擬軟體 Fluent 分析，不同的是入口風為垂直下吹式之方式，利用氣流進入裝設有密集檔板或整流板之風道氣流夾層區域及配置進入玻璃儲放區之整流板之方式來產生最佳的氣流場，而得到避免內部迴流的發生。

2007 年，黃 [14] 利用數值模擬軟體 Star-CD 模擬一大尺寸面板 Stocker ($40^m \times 11.3^m \times 7.85^m$) 的內部氣流狀態及 Stocker Crane 在加減速的條件下走動時對內部氣流影響，及是否會造成尾流捲揚，將不乾淨之微塵粒帶到玻璃表面造成污染，該研究先以 k- ϵ 紊流模型初步對倉儲內儲放玻璃的 Cassette 端氣流場做模擬分析，藉由控制 Stocker 模型之隔板形式、大小、位置與開孔率，並利用多孔性介質模擬開孔板與 Cassette 內之玻璃片，藉由調整 α 、 β 穿透係數，模擬出理想的設計，當達到 Cassette 中的流場均勻化，再進一步搭配移動網格方式模擬 Stocker Crane 變速走行時對流場、微塵粒的影響，最後得到結論為當 Crane 行進間會造成 Cassette 中部份流場受到擠壓往 Crane 後方流動，但並未發生完全反方向流回，另 Crane 行進時尾流捲揚情形並不嚴重，即揚塵高度不會超過兩側 Cassette 中之玻璃面板最低的界線，故可保持玻璃面板的潔淨度。

2005 年，日本 Stocker 製造廠 [15]，利用 Fluent 數位模擬分析軟體，以 k- ϵ 紊流模式進行模擬，Stocker ($90^m \times 5^m \times 5^m$)，Crane 移動速度由 $0^{m/s}$ 到 $30^{m/s}$ 間變化，在 $0 \sim 5^{sec}$ 中等加速， $5^{sec} \sim 6^{sec}$ 等速， $6^{sec} \sim 11^{sec}$ 等減速，其動態之揚塵於第 5^{sec} 時也只揚高到 1/2 Pass Line 不到的高度，且在 Crane 完全停止後第 3^{sec} 內，揚塵即完全平抑下降到 Crane 底部。

2008 年，陳 [16] 以數值模擬軟體 Star-CD 模擬倉儲內氣流與微塵粒子於機台，潔淨室手動搬運車 MGV、天車等進出口的分佈，氣流部分進行模擬分析，得到結論是倉儲的氣流會往機台的進出口及 AGV、MGV、天車等進出

口流出，若此時載運裝置移動時所產生的微塵粒，會因面板於出入口所待的時間長短，而有不同程度的影響，同時於流場中施放單個粒子，觀察其移動軌跡亦發現位於較高層位的面板所受微塵粒的影響較小，所以使用適當的手法隔絕微塵粒與面板的接觸，可達到提高不受污染的目的。

解讀了參考文獻可以發現，除了 2005 年，日本 Stocker 製造廠 [15] 之文獻為其實際經驗值之結果驗證後呈現在其模擬結論上外，大部份的研究者都僅以數值分析軟體如 Fluent、Star-CD……等進行模擬分析，利用軟體的方便重現性，以各種不同參數值套入模擬，許多論文結論建議都提到因實驗設備限制與經濟成本的因素，因此未能利用實驗與設計參數進行此對相互分析及探討，而感到可惜與遺憾。

本研究主要目的為要替一家 LCD AMHS 倉儲設備的製造商，因對於 AMHS 倉儲內儲存面板玻璃空間的氣流場階段未嚴肅的妥善處理，最後交機到 User 端在安裝完成啟用時無法通過空間無塵度 Class 100 的要求，並且需在不影響整廠量產驗收的期限壓力內解決此問題；因要改善之標的物具有先天不良，而又不能廢棄從頭再來之改善壓力，經數日苦思後得到唯有用數值軟體的模擬分析方式，配合現場收集到的數據進行現況的數位模型重建，並利用一組初調的相關數據，進行調整測試，將此組數據所衍生出的實際數值狀況應用類似逆向工程的方法在電腦中用流場分析軟體重建模型，再利用數值模擬的彈性可快速變更任何輸入，邊界條件狀況進行模擬找出最適參數，但首要的條件是這座 AMHS 倉儲硬體的相關設置要先能得到 User 可用程度的認可，所以先將 FFU 由原來 70% 佈放的狀況改成 100% 佈放，待找到最適安置量與位置後再進行調整，為防止模擬後之調整彈性受到限制，這也是 User 所提出的要求（此會產生約上百萬元成本）。

本研究應該不會有文獻回顧中許多先行者的未能驗證的憾事發生，這正是一個研究者最期望的，本研究中將得以實現。

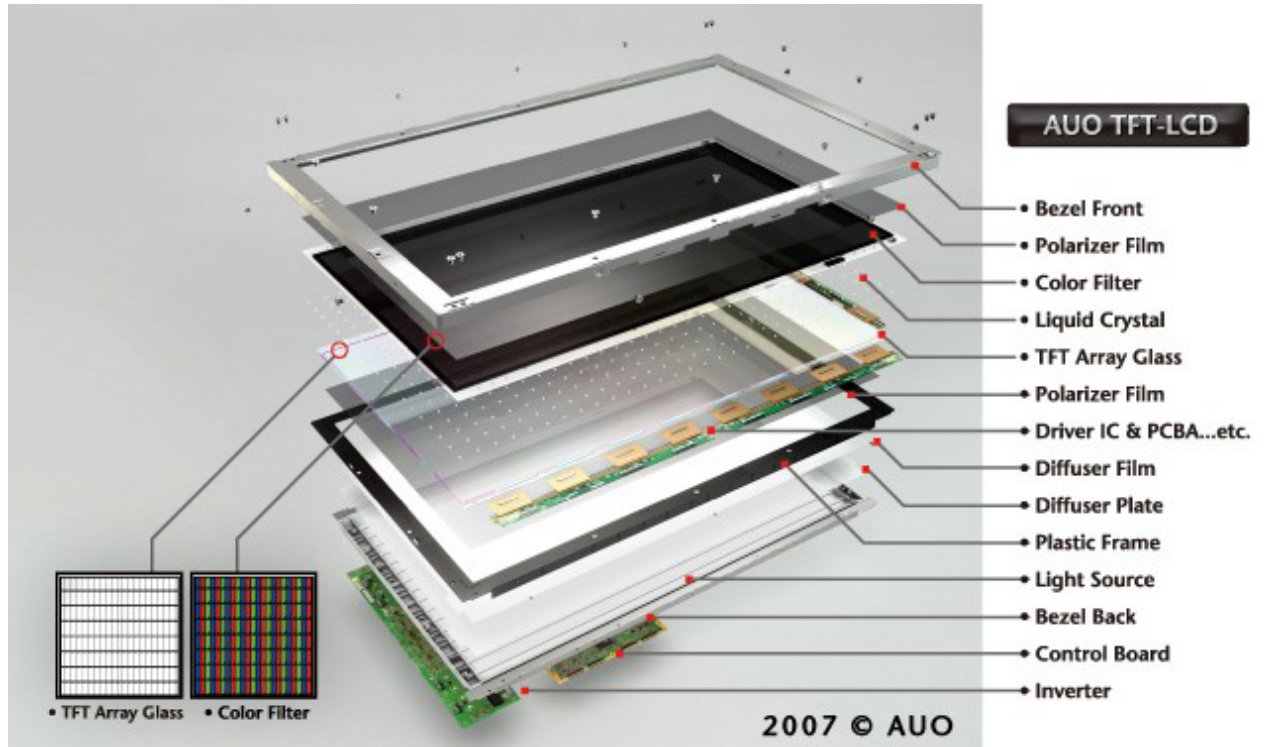
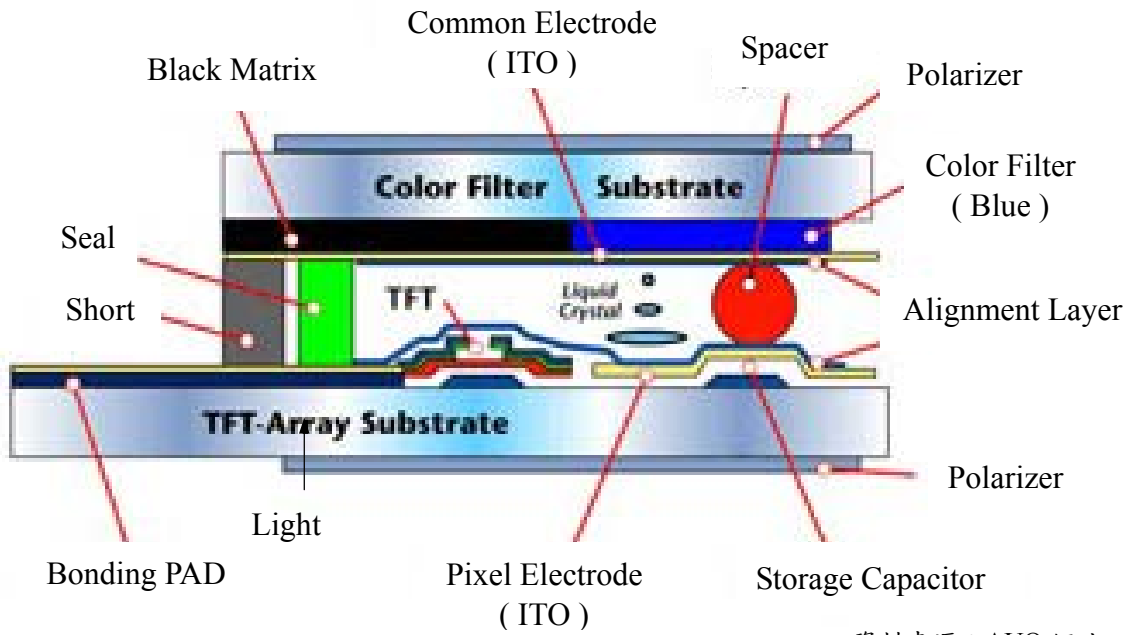


圖 1-1 TFT-LCD 結構 [18]



TFT-LCD 顯像原理結構〔18〕



資料來源：AUO 網站



圖 1-2 TFT-LCD 顯像原理結構與畫面〔18〕〔19〕

中段兩片玻璃貼合製程中(Cell Assembly 製程)，製程環境為 Class 10 等級



圖 1-3 Cell Assembly 製程環境為 Class 10 等級 [18]



彩色濾光板(CF)製程中(Array Process 製程)，製程環境為 Class 100 等級

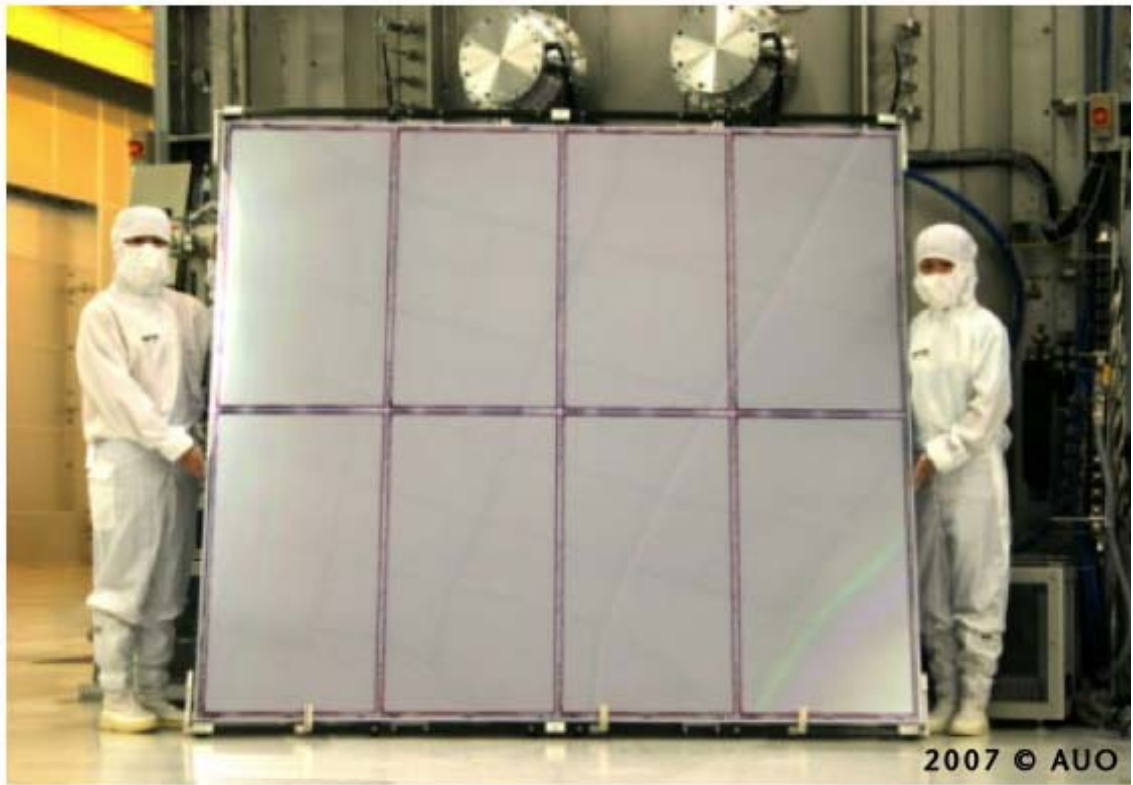


圖 1-4 G7.5 完成 CF 製程後實體 [18]



第二章 研究標的定義

TFT-LCD 面板全部製程約 300 個步驟，這些步驟由大塊面板玻璃以清洗開始投入製程中歷經無塵室等級為 Class1000 → Class100 → Class10 → Class100 → Class 1000 等 5 次變換，面板玻璃由全尺寸到最後變成只有其 1/6 大小或 1/8 大小或 1/10 大小離開製程廠，在如此複雜的程序中要在有限的高成本無塵廠房中完成工序，就必需借助各種自動化運搬方式對玻璃進行安全、有效率的移動，這些機構裝置均統稱為 AMHS 設備，所以 Fab Lay-out 並不是只單純的沿着樓板地面層迂迴前進，而是儘其可能的塞滿於一個無塵等級為 Class 1000 的環境中，這些設備有的只是每次對一片面板玻璃服務，如在製程線中之 Conveyor，為了玻璃轉向之用的 Turn Conveyor，為了翻面用的 Flip 機構，為了使玻璃轉角前進的 Transfer Conveyor，為了騰出維修走道之用的 Lifter unit 及 Sky Conveyor，為了能滿足玻璃前進不塞車的 Buffer unit，或是這些單片的面板玻璃完成一小段連續製程被送回整個 Fab 的統籌分配管控中心 Stocker 時(通常一個 Fab 內有 2 座、3 座 Stocker 是很平常的)以上的裝置及設施的總稱叫 AMHS。

2.1 研究內容

本研究的標的是在 TFT-LCD Fab 內一 AMHS 之 Stocker 的封閉防塵區間內氣流系統設計不良，造成 TFT-LCD Array 到 Cell 之製程受到微塵粒嚴重污染，使得產品良率一直無法得到改善，最後經 User 無塵廠房的負責單位全面的對 Fab 進行清淨度量測後，發現最大污染源來自 AMHS 之一的 Stocker。

TFT-LCD 前段製程中面板玻璃會送入一種可多片承載的 Cassette 裝置，此是為了使 Stocker 內的 Crane 效率有效提升的裝置，即 Crane 搬送一次的 Cassette 內含量就有 30^{PCS} 到 50^{PCS} 不等的面板玻璃，Cassette 有二種型式，一為 Wire cassette (如圖 2-1)，另為 Normal cassette (如圖 2-2)，如可用機械手臂對面板玻璃進行 Fork Arm 取、放的製程站時，當完成製程工序後就用機械手

臂去將面板玻璃放入 Normal Cassette，此因有要預留 Fork Arm 最後進出及 Arm 下垂的間隙，所以可存放的玻璃數較少約 20^{pcs}~30^{pcs} 左右；若製程上不需用到 Robot 去取放，而只要以 Roller Conveyor 將玻璃滾動傳輸前進時，則會利用一個 Exchanger 的 AMHS 裝置，先將 Wire cassette 用 MGV 裝置或 Stocker 內之 Crane Arm 放入 Exchanger port 內，此 Port 是在 Stocker 內只留有一個僅可供玻璃利用 Roller Conveyor 進入此 Port 內之小窗口，其餘均用隔板罩住，當玻璃進 Port 內後流入 Wire Cassette 中（如圖 2-3），當每進完一片玻璃 Cassette 在 Exchanger AMHS 裝置的自動上升，逐一將玻璃收納到 Wire Cassette 內（約可儲存 30^{pcs} 到 50^{pcs}），待裝滿後 Stocker Crane 再將此 Wire Cassette 搬走，並放入一個空的 Cassette，以此方式將製程中的玻璃收回到 Stocker 中；同樣的若要將暫存於 Stocker 內的玻璃往下一製程放出時，則以上述之反向操作進行放片的動作，所以在 Stocker 的外部會有許多 Roller Conveyor 執行玻璃片進出的協助，這些都是 AMHS 的主要功能；由於每片玻璃上都有以雷射雕刻方式刻上 ID No.，所以每一片玻璃於每一製程中的施工品質好壞會被記憶及配合 AMHS 的另一分類功能，執行製程中之強迫取出進維修站，如此即可將上製程發生的不良逐一修護後，再往下製程加工，否則前製程之不良未檢出修護，後面製程再蓋上去後，當跑完 300 個製程後，可能剩下只有幾片面板玻璃是 ok 的，其他的都要當廢玻璃回收丟棄。所以這些 AMHS（Automatic Material Handling System）為配合 TFT-LCD 的製程中因面板玻璃易破（板厚只有 0.7^{mm}），製程環境要求在無塵等級 Class 10（CF 板與 TFT 板貼合）及無塵等級 Class 100（CF 板與 TFT 板貼合前所有製程），所以採用包裹式無塵室架構，所有配合製程需要搬送玻璃板的機構裝置均需利用護罩加 FFU 方式與外圍 Class 1000 等級的環境隔離，若這些 AMHS 機構或裝置的隔離微塵粒的功能有問題時則災難一定會來到，潔淨度等級定義如表 2-1、表 2-2 所示，雖表 2-1 為 ISO 較晚定出之標準，但一般業界仍較喜用表 2-2 Fed-std-2009E 之標準。

2.2 問題解決

對於整個 AMHS 之 Stocker 內能對 FFU 供入清淨氣流後有影響的最大二

個因素，一為靜態(固定)的如 FFU 的入口速度，開孔板的開孔率，供清淨 Air 的通風道，高架地板的開孔率等，另一為於 Stocker 內往返走動的 Crane，動態往返運動所造成的捲揚尾流的污染等，依據江 [12] 採用側向入風，馮 [13] 採用垂直入風，他們皆利用數值模擬軟體 Fluent 來模擬，入風的玻璃儲存櫃中，內部流場之均勻度與粒子沉積情形，再以調整入風口面積或加檔板加以改善氣流場之分佈均勻度，來得到改善迴流現象，江 [12]、馮 [13] 於最後皆建議因礙於研究時間上的不允許，故於變化面板自動運載裝置(Crane)之移動速度，觀察對微塵粒沉積之影響，以及入口整流板與出口開孔板之不同配置率，對微塵粒沉積率及出口流體分佈之影響等項議題給後進者研究建議，後續有黃 [14] 於其研究中用 Star-CD 模擬 Crane 以變化移動速度即以 0.8m/s^2 等加速行進，最高 4m/s 之速度維 1.5^{sec} 等速移動，其中亦有 5^{sec} 從 0m/s 加速到 4m/s 的加速運動， 5^{sec} 從 4m/s 減速到 0m/s (靜止) 以 0.8m/s^2 等減速如圖 2-10，此時由 FFU 供入清淨 Air 供風道之初速為 0.38m/s ，其模擬最後得到結論，無揚塵高度超過兩側儲位最底層面板玻璃的最低界線即所謂 Pass line，故可以保持面板玻璃的潔淨度不受污染。另有 2005 年日本 Stocker 製造廠 [15] 利用 Fluent 數值模擬分析的資料可得到印證黃 [14] 之研究與其結論相近(日本早期到台灣協助建廠的報告)，由表中可看到最初的加速為 5^{sec} 由 0m/s 到 30m/s ，以 30m/s 維持 1.2^{sec} 的等速，再以相反減速到 Crane 停止如圖 2-4 Crane 移動加減速運動圖。

每個時間點的 Crane 產生捲揚尾流可發現均未超過 Pass line，且於 Crane 停止後從氣流狀況也未見尾流上揚如圖 2-4 倉儲內 Crane 加減速模擬結果，此時由上方側方之 FFU 流入的年輕氣流為 0.25m/s ，由此可見沒有受污染的疑慮；基於上述國內學術論文，國外專業廠技術報告，所顯示 Crane 快速移動在 0.38m/s 或 0.25m/s 之下均可發現不受污染，故在本次論文研究中就不去浪費時間在此議題。

衡量上述前人走過之研究結論及因 Crane 的走行是有時間性的，它並非每一秒皆在走動，所以其產生的影響是間歇性的，只要捲揚尾流不高於面板玻璃傳送的 Pass line，則會對本 Case 的污染影響應不大，因 Crane 於設計時已採

行，零件選用以不發塵或低發塵量的元件，並將這些可能發塵的部位已設計安裝於 Pass line 以下，並且用外罩將其包住，再用 Pass line 高度以下的開口對策，利用 Crane 走動時產生的尾流吸力將其排入於倉儲下的排氣口，所以最大污染源應是來自儲位的流場不均勻致回流發生，造成無法有效率的將微塵粒排出，積累而形成超過標準微塵粒含量，所引發的惡性循環所致；所以只要能將現況 AMHS 倉儲的目前硬體條件進行模型重建，後再用數值分析方法模擬找出儲位氣流場的最適孔板開孔率，利用其可彈性調整開孔率的功能，找出最佳參數組合，利用由現場實體收集到的氣流場數據，即可找到問題之解答；因上述之情況是每分每秒都在進行中的狀況，它比 Crane 所產生的可能性會更明確及嚴重，所以本研究重點將集中在儲位氣流場。

2.3 研究方法

當 User 端完成 100% 佈放 FFU 的方式取代原 70% 佈放的情況後，開孔板之孔率及 FFU 之 Fan 轉速先用一組預測值設定，並需確實對設計後的現場進行流速及微塵粒數的量測以確認現場改善調整的成效，即全 Stocker 內微塵粒的清淨控制，流場的均勻性、流速的穩定及維持符合 Class 100 清淨度之 LMA 值最小的空氣年齡值；但為了突破儲位內有 Cassette 時及 Cassette 中有面板玻璃在內時則無法進行量測及相關數據執行調校，故只有將儲位中之 Cassette 取走後才可能量測，所以在數值模擬時需做二次，即第一次建立含有 Cassette 及面板玻璃之幾何模型，進行模擬實驗，當調整所有變數後找到合理之狀態時，再將 Cassette 與面板玻璃從幾何模型中移除，以前述之同樣條件，再 Run 一次數值模擬得到之流場即為量測時之依據，但實際在模擬時更需去注意 Stocker 內 Air Flow rate 之分佈率多少，當清淨 Air 經 FFU 吹入 Stocker 後，其流入量在單位時間內是否與各玻璃層間需要的量能匹配否，若各玻璃層間（即由清淨 Air 供風道流向玻璃層的量）之需求流量大於 FFU 流入之淨流量，於玻璃層間產生氣流無法供入時，則需求 FFU 之流入量要提高，但此提高之可能性會不大，因目前 TFT-LCD 廠的使用經驗，FFU 供應商的 Input flow rate = $1410\text{m}^3/\text{hr}$ 已屬足夠，因若太大則以後的營運成本會提高，如電費，FFU 濾網的更換頻

率.....等，則要靠對各清淨 Air 供風道之孔板的開孔率去作最佳匹配的調整，這將是本研究中要投入的重點。

量測驗證手法如下：

FFU 掃描

Stocker 內部之氣流為由外罩與天花板密合處之 FFU 所提供的 Class 100 等級清淨 Air 即在每 ft^3 空間中 $0.3\mu\text{m}$ 的微塵粒少於 300 個，因現場將 FFU 由 70% 的佈置率改成 100%，故施作中最首要的是如何對 FFU 濾網品質的確保，對 FFU 的出口端進行掃描量測，如圖 2-5 中 FFU 掃描實測 [1] 利用來回前進的軌跡掃描速度需維持在 25cm/s ，但需保持測頭與 FFU 濾網面固定距離，以監看微塵粒量及出口速度對否。

微塵粒計數器

微塵粒為無塵室內最重要的指標，其能否符合 Feb-Ste-209E Class 100 之等級是根據此儀器的量測值，所以一般最佳的情形是至少有二台以上的不同廠牌型號微塵粒計數器一同施測，如圖 2-5 中 MetOne 227B 微塵粒計數器是以氦氖雷射或雷射二極體為雷射光源，偵測微粒子最小粒徑可達 $0.1\mu\text{m}$ ，基礎理論建立在微粒子通過雷射光束使雷射光產生光的變化，藉此反應出微粒子的大小及數量，因此在使用的環境上，主要是應用在具有潔淨空氣調節的無塵環境中使用，一般而言建議潔淨度範圍依 Feb-Std-209E 所規範的等級，至少需在 Class 100,000 級以上的環境中使用，使用前亦需到一可信賴的區域執行清潔及歸零，機型 MetOne 227B，另一台機型如圖 2-5 中 LASAIA 微塵粒計數器。

熱線式風速計

一般在低風速下，要量到正確數據並不太容易，但若要取出其風速走向趨勢，與模擬結果風速走向趨勢比對應屬可行，此型儀器可量測較低風速（一般於 AMHS Stocker 無塵室內為 $0.35\text{m/s} \sim 0.1\text{m/s}$ ，但出口處則會高出數倍以上），因此可適用於無塵室中之量測，因風速若變動較大，此型不易獲得正確平均讀值，其動作原理是利用 Air 通過儀器測頭之冷卻效應來決定氣流速度，其內部有一個能將冷卻速度與風速成正比變化的珠狀型熱敏電阻（如圖 2-5 中熱線式

風速計)，一般量測時要隨着數據的變化轉動測頭，看到數據的最大值出現時，就是所得的讀取值，但有一個重要因素也是在量測風速時要一併注意的，那就是風向與風速是一一對應的重要成對數據，也唯有如此量測才能與數值模擬的流場、流速、互相對應比較解析。

氣流移動可視化輔具

為了讓監控的無塵空間中氣流的移動變化情形能經由眼睛直接目視到，如此即可方便判斷氣流場的走向，其方法可用流線，煙霧產生器；流線是利用不發塵的細線或細帶綁於器物頂端伸入流場中，就可輕易看到線尾飄到方向，據此就可了解流場的分佈，但若要大面積的可視化就要使用大口徑的煙霧產生器，讓煙霧從管口噴出，藉由大量白煙的流動現象形成氣流的可視化（如圖 2-5 中氣流移動可視化輔具—煙霧產生器），但需注意不要使用會對無塵室產生危害殘留的煙霧產生器，本次量測之可視化手段是用流線方式加上乾冰，因要量到精確流場位置與模擬結果之流場比對時，則需利用不發塵細線於量測處進行方格標示及編號，之後亦於模擬之結果印出流場圖後亦做等效的方格化對應標示，再用流線方式量測即可（如圖 2-5 中氣流移動可視化輔具—流線〔1〕）。

孔板開孔率調整

因孔板是設計成可調式，所以可用無塵室專用捲尺進行調整，調整距離可於 CAD 軟體中進行孔板各種開孔率模擬，再量出其距離製成對照表，印於無塵紙上，帶入 Stocker 內進行比對調整（如圖 2-6）。

空氣年齡 LMA (Local Mean Age)

無塵室內的微塵粒子會隨時間會變動而形成累積現象發生，即超出測定空間內的許可含粒數（雖微塵粒徑都小於規格內）亦屬不合格，這個種情形是由於此刻剛離開 FFU 的新鮮空氣粒子，大部份都走短循環路徑，以致無法與前一刻的老空氣產生混合稀釋，造成部份滯留在空間中無排出，微塵粒數目累積增加突破應該的合格值造成，故為了能有效量化指標所以有空氣年齡 LMA (Local Mean Age) 之指標在業界中使用，由英文字面直譯為"區域平均空氣年齡"意為區域中任何一點乾淨空氣到達之平均需求時間，即從 FFU 濾網離開後之清淨空氣到達該點所需之時間，乾淨空氣每到達一次就形成一次的空氣置換，年輕清

淨空氣置換年老髒污的空氣，因此也相當於換氣次數之意；目前無塵室業界之 LMA 經驗值與 Feb-std-209E 標準潔淨等級的對應如表 2-3 無塵等級與 LMA 對照表所示 [17]，以上為任何一種 TFT-LCD 設備或與製程塔配的 AMHS 硬體，要能在對應的無塵等級內使用所必需考慮的重要條件要素。

2.4 模擬與量測指標

運轉中的無塵室為了能符合製程設定的等級品質，設計之初要考量的影響因子如圖 2-7 影響 AMHS Stocker 無塵品質因子，為了要能使符合品質等級之首要條件就是形成清淨 Air 品質的 FFU 條件，要控制無塵室品質的均勻化，則孔板的開孔率、面積大小、安裝位置為重要因素，因無塵室內除了監控微塵粒的大小外，微塵粒的數量也要是重要的變數，所以如何使流場內的流速合理化，及防止粒子沉積滯留的空氣年齡等的控制是其關鍵，因本研究為在原設計有問題的硬體中進行改進，所以除了在數值的模擬過程中的參數設定適當化以外，其結果亦需要經過比較解讀及量測。

分析階段手法：利用模擬後軟體的後處理將產出

各流場切面的 Velocity-position 圖—看速度值趨勢

各流場切面的 Velocity Contour 圖—看速度場均勻分佈情形

各流場切面的 Velocity Vector 圖—看速度場逆流情形

以上各流場切面將由幾何模型的模擬結果 Velocity Contour 模型中分層切面得到，依看到的顯示進行相關影響因子調整以得到適化的結果，同時利用將各種狀況所得到的 Velocity-position 圖重疊比較判斷其優劣，並與無塵室現場實測值比照對應。另利用粒子軌跡圖去找出每一種條件設定下的 LMA 值，與目前業界的建議值比較如表 2.3，以得到空氣年齡的有效掌控（此為所有參考文獻中未發現有提出做實務經驗值比較的），最後此空氣年齡之成效將由實地無塵室內微塵粒監控量測到的數據值驗證其改善品質成效。

表 2-1 ISO-14644 潔淨度定義〔1〕

ISO Classification Number (N)	Maximum concentration limits (particles/m ³ of air) for particles equal to and larger than the considered sizes shown below (concentration limits are calculated in accordance with equation (1)).					
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5 μm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3	1,000	237	102	35	8	
ISO Class 4	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO Class 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class 7				352,000	83,200	2,930
ISO Class 8				3,520,000	832,000	29,300
ISO Class 9				35,200,000	8,320,000	293,000

NOTE : Uncertainties related to the measurement process requires that concentration data with no more than three significant figures be used in determining the classification level.

Equation (1) : $C_n = 10^N \times (0.1/D)^{2.08}$ 其中 C_n 是微粒濃度， N 是潔淨度， D 是粒徑



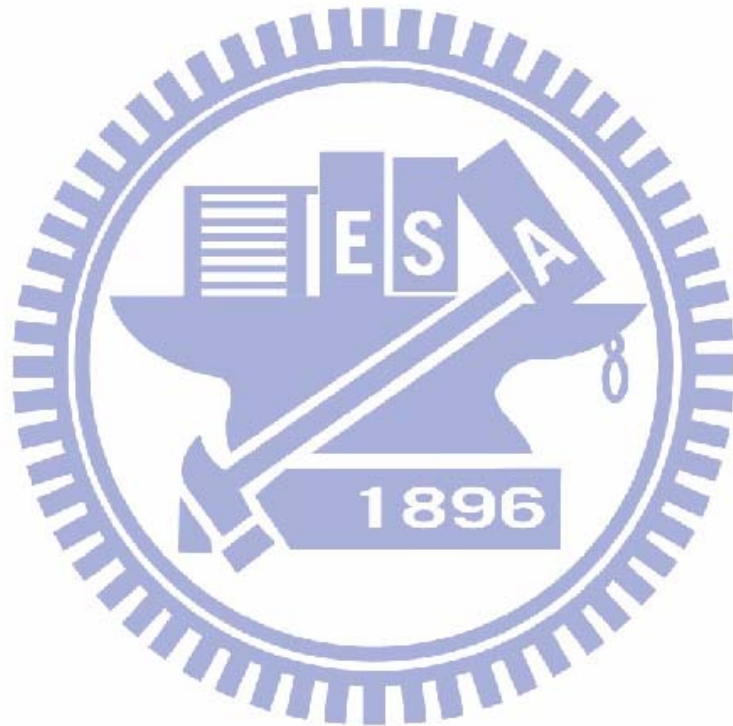
表 2-2 Fed-std-209E 潔淨度定義 [1]

Class		Class Limit									
		0.1 μ m		0.2 μ m		0.3 μ m		0.5 μ m		5 μ m	
		Volume Unit		Volume Unit		Volume Unit		Volume Unit		Volume Unit	
SI	U.S.	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-
M 1.5	1	1,240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M 2		3,500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M 2.5	10	12,400	350	2,650	75.0	1,060	30.0	353	10.0	-	-
M 3		35,000	991	7,570	214	3,090	87.5	1,000	28.3	-	-
M 3.5	100	-	-	26,500	750	10,600	300	3,530	100	-	-
M 4		-	-	75,700	2140	30,900	875	10,000	283	-	-
M 4.5	1,000	-	-	-	-	-	-	35,300	1,000	247	7.00
M 5		-	-	-	-	-	-	100,000	2,830	618	17.5
M 5.5	10,000	-	-	-	-	-	-	353,000	10,000	2,470	70.0
M 6		-	-	-	-	-	-	1,000,000	28,300	6,180	175
M 6.5	100,000	-	-	-	-	-	-	3,530,000	100,000	24,700	700
M 7		-	-	-	-	-	-	10,000,000	283,000	61,800	1,750



表 2-3 無塵等級與 LMA 對照表 [17]

無塵等級	LMA (sec)
Class 1	~ 36
Class 10	36 ~ 45
Class 100	45 ~ 72
Class 1000	72 ~ 120



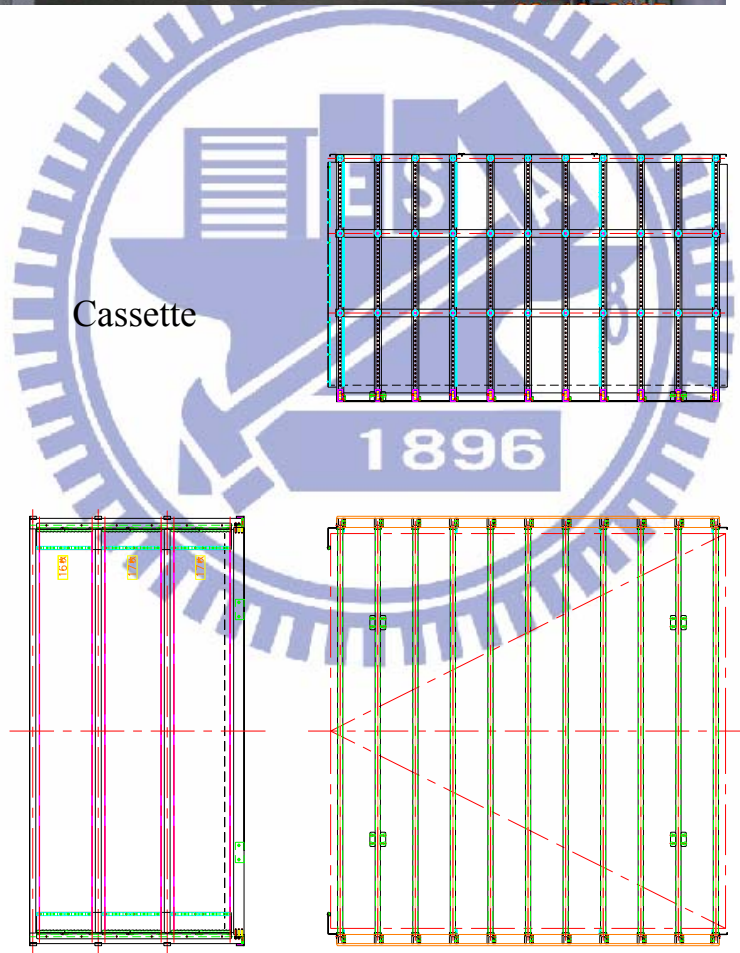
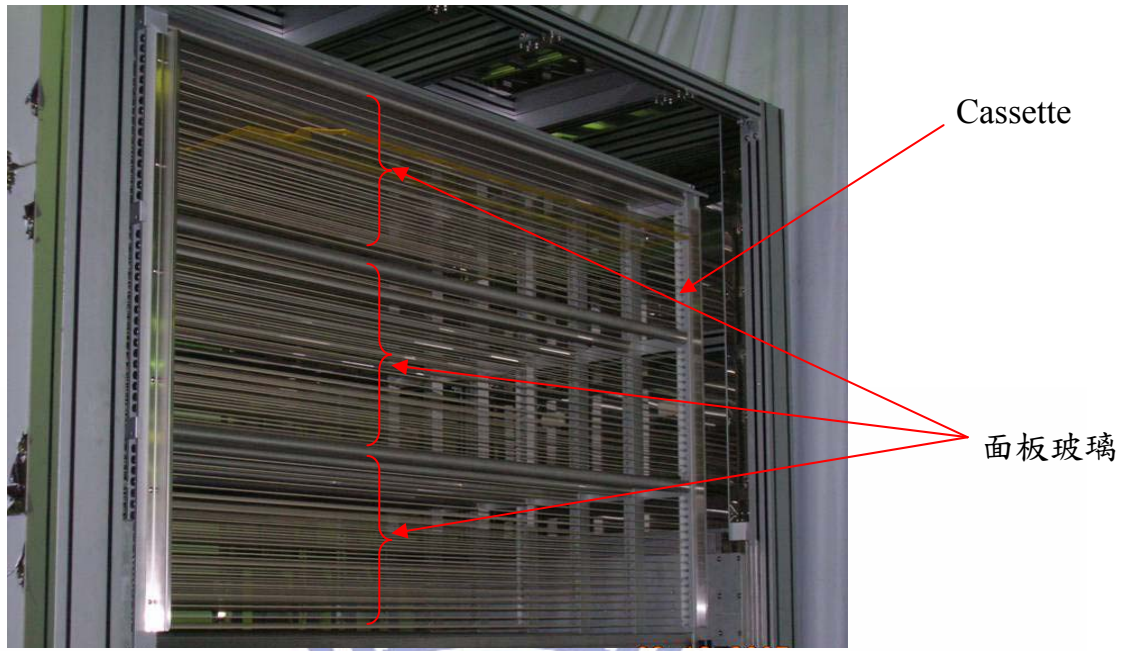
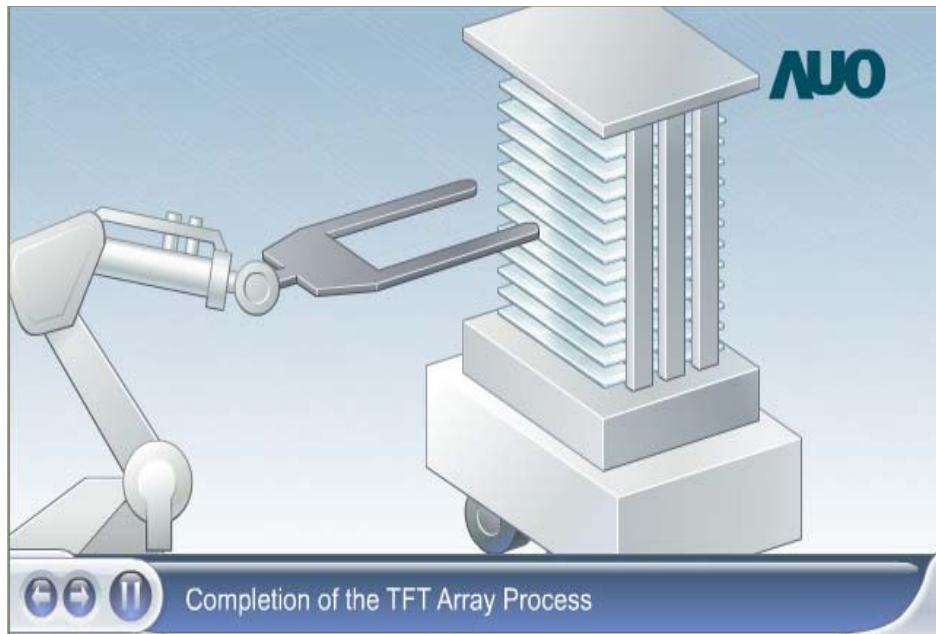


圖 2-1 Wire Cassette 工程圖及圖像



Normal Cassette 與面板 Robot 工作示意 [18]

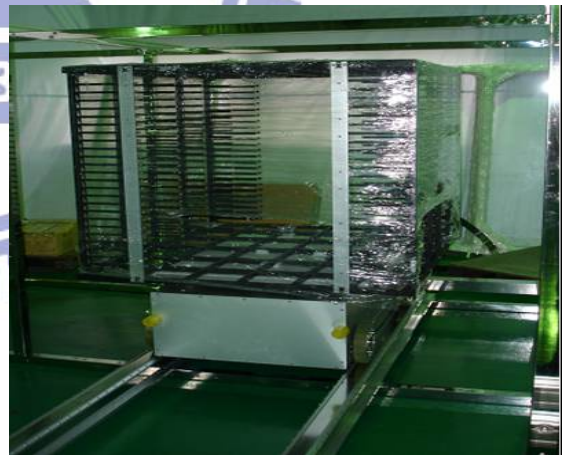
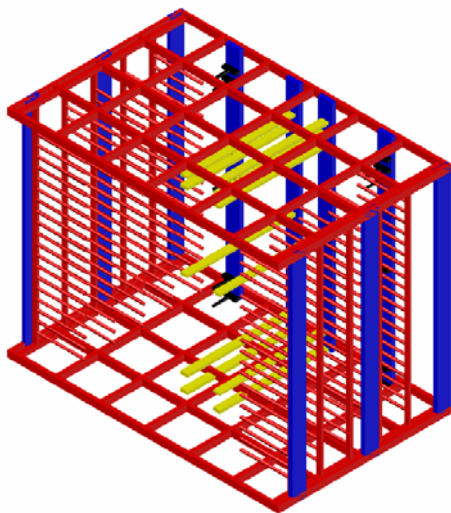
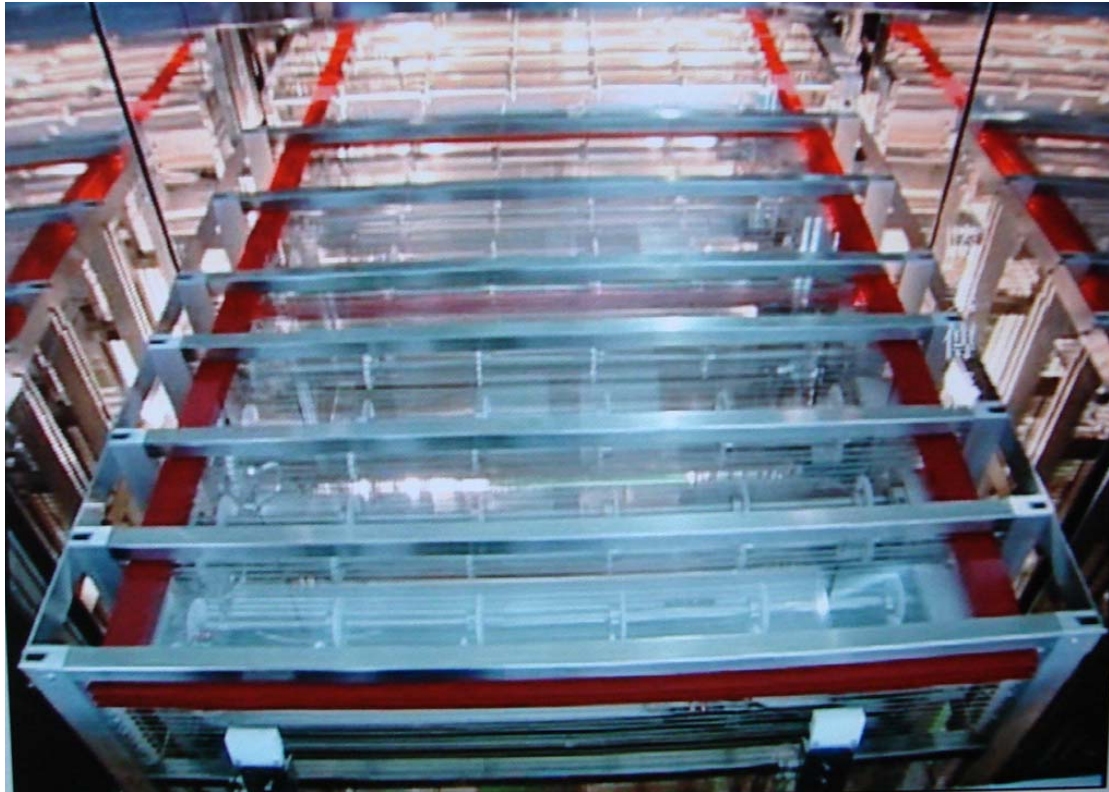
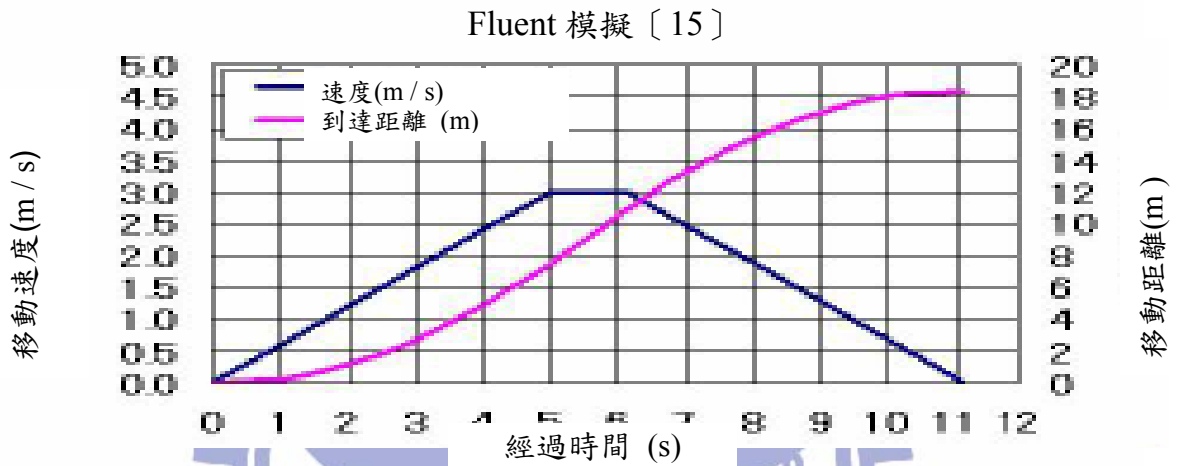
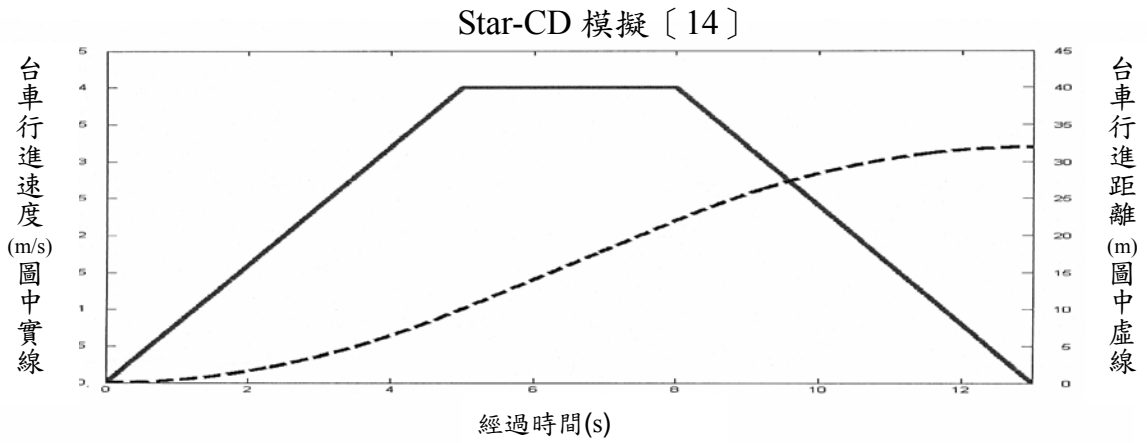


圖 2-2 Normal Cassette 實體圖像及 3D

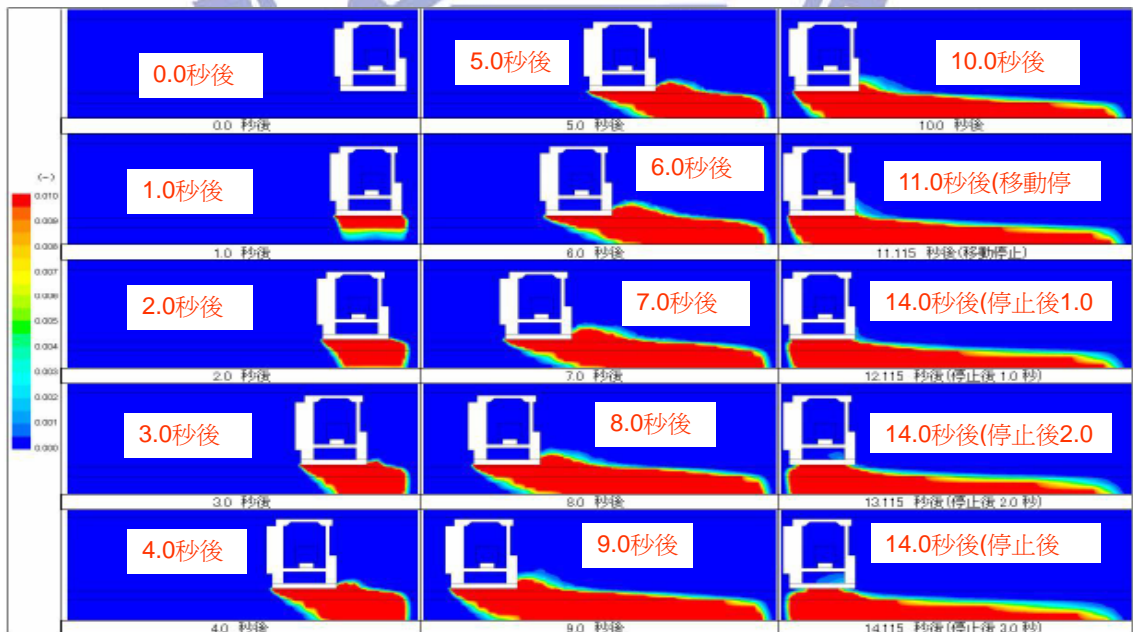


(為了取得較佳圖像效果，利用深色無塵膠帶貼於面板玻璃四週)

圖 2-3 Exchanger 內之 Wire Cassette 進玻璃圖

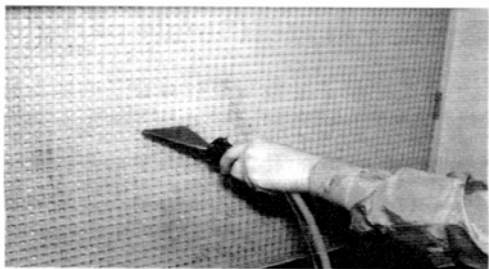


Crane 移動加減速運動圖 (Star-CD、Fluent 模擬)



Crane 捲揚尾流 Fluent 模擬結果 [15]

圖 2-4 倉儲內 Crane 加減速模擬結果 [14] [15]



FFU 掃描實測 [1]



MetOne 227B 微塵粒計數器



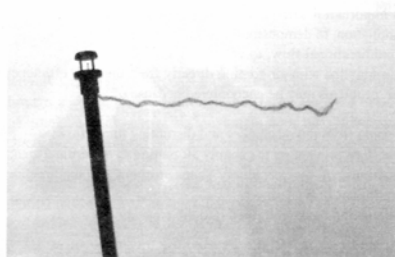
LASAIA 微塵粒計數器



熱線式風速計



氣流移動可視化輔具—煙霧產生器 [20][1]



氣流移動可視化輔具—流線 [1]

圖 2-5 無塵室實測數據量測儀器



螺絲鎖固

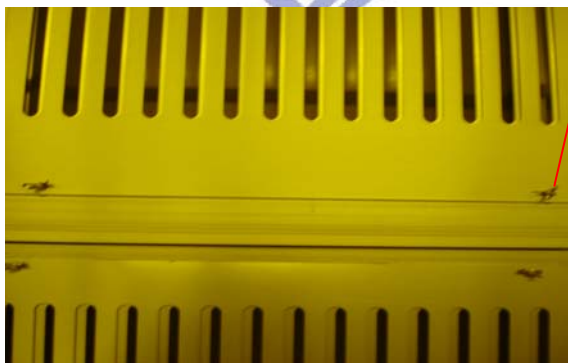


圖 2-6 孔板可調式開孔設定圖

影響AMHS stocker無塵品質因子

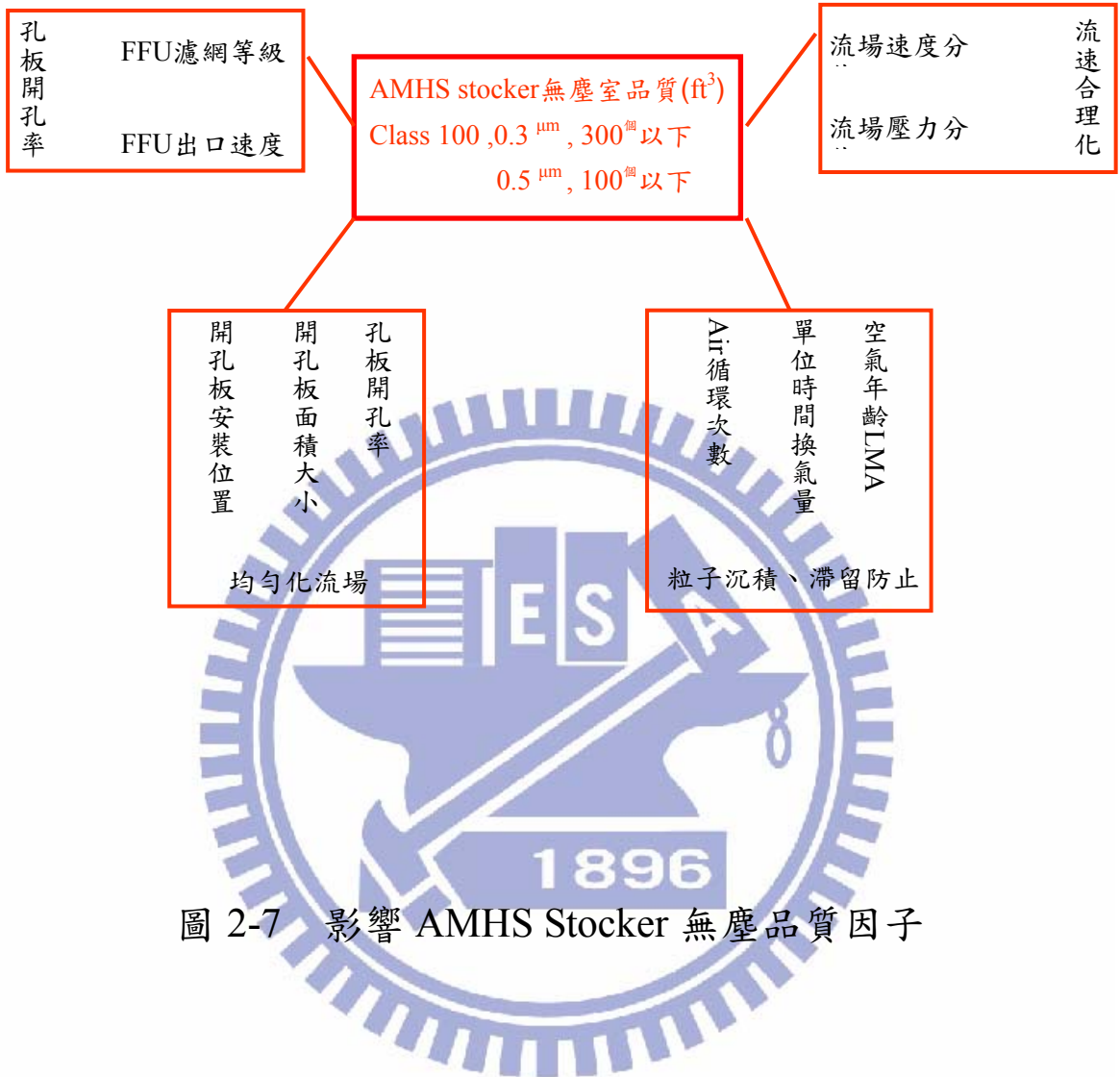


圖 2-7 影響 AMHS Stocker 無塵品質因子

第三章 物理模式

AMHS 內之 Stoker 安裝相關硬體設施佈置如下，由於 Fab 為大廳式架構無塵室在 AMHS 外之無塵等級為 Class 1000，在 AMHS 內之無塵等級則靠其天花板上方的 FFU 而得到 Class 100 等級的清淨度，如圖 3-1 所示；在一般非層流之空間內為 Class 1000 等級清淨度，在與 Array-Cell 製程相關 AMHS Stoker 內為 Class 100 等級用 FFU 佈滿安裝，在 Class 100 內的 AMHS 之 Stoker 二個視圖如圖 3-2 所示，基於模擬的方便性在本研究中選用圖 3-1 中之 A-A 斷面，主要因其為對稱性所以模擬中可用對稱的方便性建模即可，如此可節省網格數，以便預留一些網格數可用於進行一些細節的關鍵點模擬。整個 TFT-LCD 製程 Array-cell Fab 的生產重心在 AMHS，內包括有 Stoker、Sky Conveyor、Roller Conveyor、Exchanger.....，經由 Stoker 內的 Crane 在儲位與 Port 間運搬 Cassette，其中承載面板玻璃的 Normal Cassette 或 Wire Cassette 就靠 Stoker 內之 Crane，由生產系統自動控制進出儲位架，達到暫存及重新分配的製程需要，在這個空間外圍均用各種可完全隔離與外界 Class 1000 環境混合的外罩，並利用裝置 FFU 在其必要的位置，如上方、側方、.... 等，以達到自成 Class 100 的環境要求，這同時也要有防止由 Class 1000 外圍侵入氣流的防止機制如壓差的設計，所以當這些 AMHS 裝置都具備了嚴苛的防護措施後，它就整個被放置在 TFT-LCD Array-cell 製程中。

3.1 物理模型

本研究主題就是圖 3-1 之 Sec A-A 的剖面圖示，因其具有完全的對稱性，故以 Stoker 的中心線為對稱中心，取其一半圖形做為建立幾何模型之用，其圖形如圖 3-2 Sec A-A 中 AMHS Stoker 內對稱儲位圖，圖中每個儲架可放置三層 Cassette（三個儲位），其儲架、FFU、開孔板、清淨 Air 供風道相關分配位置如圖 3-2 模擬用幾何模型圖所示；裝置於清淨 Air 供風道與 Cassette 之間有開孔板設置，其中每片開孔板均設有如圖 2-6 所示之雙層孔板交互重疊，以螺絲螺帽對鎖固定位置，利用兩板孔位的重疊多寡而調整成不同之開孔率如圖中

示，且在 AMHS 的 Class 100 外罩上方 FFU 是以 100% 的佈放率安裝（因客戶要求要將當初設計之 70% 佈放率，改以滿佈（100%）的方式先改善，以降低製造活動的困擾）。

另在本案例中若將圖 3-1 圖中的局部平面放大到如圖 3-4 所示，發現在天花板上的 FFU 並非完全罩住 AMHS Stocker 供風道的外側，即一個 FFU 啟動後它處理過的 Class 100 等級清淨空氣並非完全流入 Stocker 內，而是可能會由外面 Class 1000 的環境中跑掉，我想這應該是這個 Case 在建廠之初的規劃階段及建廠階段建廠單位的疏忽所致，造成與正規的方式如圖 3-5 安裝圖有很大不同，所以為了牽就於現況事實，圖 3-2 也是本研究之模擬用物理模型之一。

跟據圖 3-3 所示，為要使真正進入數值模擬分析得到結果，再回來與現況實際量測值驗證比對，同時又因停機時間有限的雙重壓力，我只對一列儲架進行數據收集，其座落於黃光區中的 02 位置，因由 02 位置的縱剖面 Sec. A-A 中可看出具有完全對稱的特性，所以在數值模擬中印證階段可用對稱的建模方式，此有利於網格規劃時大大節省網格數，是效率最佳的可行手段又不失其真實性。

另在前章研究方法中有提到由於在實際量測中，若 Cassette 中有面板玻璃存在時，將無法去量測到每一層面板玻璃的相關數據，故在真正量測中只能在無 Cassette 存在的狀況下，才能量取數據。所以先將無 Cassette 下的 Fab 現場，量到不同開孔率下 air 從供風道進入儲位存放空間的流速，入口條件主要由儲位上方 FFU 風機送風，左右兩側對稱，氣流為單一方向往下，其入口速度帶動內部工作流體向清淨 Air 供風道流動，工作流體經由兩側開孔板整流，再經開孔板流經儲位中面板玻璃的 Cassette 區，藉由流體流動帶走微塵粒子，最後從中間通道下方排出流體，完成一個連續流體的循環。

由數值模擬後給現場改裝 FFU 100% 佈放的人員一組關於 FFU 流速、各處開孔板開孔率的初調值如圖 3-3 中之數據 $FFU_1 = 0.35^{m/s}$ 、 $FFU_2 = 0.35^{m/s}$ 、 $FFU_3 = 0.35^{m/s}$ 、 $P_2 = 10\%$ 、 $P_3 = 30\%$ 、 $P_5 = 10\%$ 、 $P_7 = 7.5\%$ 、 $P_{10} = 10\%$ ，經更換完成 FFU 100% 的佈放後，利用風速計在物理模型之不同開孔率孔板之出口處量得相

關數據，其次在上述條件無 Cassette 的情況下亦需量測每個 Cassette 所在位置九宮格畫分量測座標值上的 27 個數據，依據這些數據將建構成分析的比較模型，供與數值模擬後的數據比較分析，如此即可調動實體的各 FFU 風速及各孔板的開孔率而得到最適調整條件。

3.2 統御方程式

基於前章 2.2 問題解析中之解讀，及實際上數據量取的可行性及困難度，本研究將針對儲位的流場做詳細研究及分析，再配合完全可掌握且得到的實測數據進行逆向工程解讀，找出可靠結論。

本文選擇使用高雷諾數 $k-\varepsilon$ 紊流模式來模擬流場，為了簡化分析對流場模型做了以下假設：

- 1、空間為三維直角坐標系統。
- 2、不考慮重力、浮力等的影響。
- 3、流場為紊流流場，並利用標準 $k-\varepsilon$ 模型，且因儲位內要維持在 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 之環境條件，無熱源之存在，不考慮熱交換問題。
- 4、工作區域內為空氣流體，其性質為牛頓流體 (Newtonian Fluid)。
- 5、黏滯係數 (Viscosity) 為等方向性。
- 6、流體與物體之界面滿足無滑移條件 (No-slip Condition)。
- 7、因本研究之流速皆在 50m/s 以下之低速氣流中，且壓力變化不大，故可以忽略可壓縮性的影響，當成不可壓縮流體。
- 8、不考慮因黏滯性生成熱量問題。

流體的運動要遵循守恆定律，有能量守恆、動量守恆、質量守恆，現將這些流場的統御方程式列示如下：

連續方程式 (又稱質量守恆方程)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \chi_i} (\rho \tilde{u}_i) = 0 \quad (3-1)$$

動量方程式（又稱動量守恆方程）

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p_s}{\partial x_j} + S_i \quad (3-2)$$

$$\tau_{ij} = 2\mu s_{ij} - \frac{2}{3}\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \overline{p u_i u_j} \quad (3-3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3-4)$$

紊流動能方程式（k-equation）：

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t}(\sqrt{g} p k) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[p \tilde{u}_j k - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] = \mu_t (p + p_B) - \rho \varepsilon - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (3-5)$$

其中：

$$P \equiv 2s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (3-6)$$

$$P_B \equiv -\frac{g_i}{\sigma_{h,t}} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (3-7)$$

σ_k 為經驗值。

紊流動量消耗方程式：

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t}(\sqrt{g} \rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\rho \tilde{u}_j \varepsilon - \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu_t (p + p') - \frac{2}{3} \left(\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] + C_{\varepsilon 3} \frac{\varepsilon}{k} \mu_t p_B - C_{\varepsilon 2} \left(1 - 0.3 e^{-R_t^2} \right) \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + C_{\varepsilon 4} \rho \varepsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (3-8)$$

其中：

$$p' \equiv 1.33 \left[1 - 0.3 e^{-R_t^2} \right] \left[p + 2 \frac{\mu}{\mu_t} \frac{k}{y^2} \right] e^{-0.00375 R_{\varepsilon y}^2} \quad (3-9)$$

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \quad (3-10)$$

$$f_\mu = \left[1 - e^{-0.0198 \text{Re}_y} \right] \left(1 + \frac{5.29}{\text{Re}_y} \right) \quad (3-11)$$

$$\text{Re}_y = \frac{y\sqrt{k}}{\nu} \quad (3-12)$$

$$R_t = \frac{k^2}{\nu \varepsilon} \quad (3-13)$$

$C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.22$, $\sigma_h=0.9$, $\sigma_m=0.9$, $C_{\varepsilon 1}=1.44$, $C_{\varepsilon 2}=1.92$, $C_{\varepsilon 3}=-0.33$

* $C_{\varepsilon 3}=1.44$ for $p_B > 0$ and is zero otherwise 以上為標準 $k-\varepsilon$ 紊流模式係數值。

多孔介質

流體流經多孔性介質之薄板，會由於摩擦因子產生一剪應力

$$f = C_1 \left(1 + \frac{C_2}{R_e} \right) = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho U_p^2} \quad (3-14)$$

C_1 , C_2 為跟流動形式有關的常數，在此均為 100

U_p 為流體在多孔介質中的平均速度

流體隨 x 方向流經多孔性介質造成的壓降為

$$\frac{dp}{dx} = -\tau \frac{p}{A_p} \quad (3-15)$$

其中 $A_p = \varepsilon_p A$

ε_p 為開孔板之開孔率

由 (3-10)、(3-11) 式得

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{\rho C_1 \rho u_p^2}{2\varepsilon_p^3 A} - \frac{\rho C_1 C_2 \mu u_p}{2\varepsilon_p^2 AD} = -\alpha U_p^2 - \beta U_p \quad (3-16)$$

其中 α 、 β 為滲透係數 (Permeability Coefficients)

$$\alpha = \frac{\rho C_1 \rho}{2\varepsilon_p^3 A} \quad (3-17)$$

$$\beta = \frac{\rho C_1 C_2 \mu}{2\varepsilon_p^2 AD} \quad (3-18)$$

3.3 邊界條件

本文流場是由儲位上方 6 組 FFU 送風入口，其中 4 組完全罩住儲位上方，左右兩側最外邊二個則只有局部罩住儲位(約 1/3 FFU 長度)如圖 2-8 所示，氣流為單一方向往下，其入口速度帶動通風道內部流體流動，流體經由兩側導風開孔板整流，再經開孔板流入儲位中 Cassette 內的每片玻璃間，藉由流體流動將玻璃面的浮游微塵粒子(直徑小於 $0.3 \mu\text{m}$)帶走順着中央通道流向下高架地板排出流體，完成流體的流動循環，其所相關連的邊界條件分別為

(1)、入口邊界條件

本模擬 AMHS 倉儲簡化模型儲位中由上方之 FFU 向下吹入氣流，氣流為單一方向性所以入口條件為

$$U = 0, V = V_{in}, W = 0 \quad (3-19)$$

(2)、出口邊界條件

為了確保流體能順利由入口進入儲位空間中，通道開孔板整流到流過玻璃面一直到經由出口排出，雖為了防止儲位外之氣體滲到儲位內之空間，其內部之壓力為正壓，但到出口處其壓力為比儲位內稍低的大氣壓，所以其出口條件為

$$P=0, \frac{\partial k}{\partial n}=0, \frac{\partial \varepsilon}{\partial n}=0 \quad (3-20)$$

(3)、壁面邊界條件

壁面為用於限制流體(氣體)的固體區域，如天花板壁面、地板、檔板等，在本模擬中壁面設為無滑移條件(No-Slip Condition)

$$U = 0, V = 0, W = 0$$

在 $k-\varepsilon$ 採用 Near - Wall Model 方式處理

$$u^* = \begin{cases} y^* & , y^* \leq y_m^* \\ \frac{1}{k} \ln(Ey^*) & , y^* \geq y_m^* \end{cases} \quad (3-21)$$

(3-19) 式中

$$u^* : (u - u_w) / u_\tau \quad u : \text{流體切線速}$$

$$u_w : \text{壁面速度} \quad u_\tau = \left(\frac{\tau_w}{\rho} \right)^{1/2} \quad (3-22)$$

$$\tau_w : \text{壁面剪應力}$$

$$y^* = \frac{\rho C_\mu^{1/4} K^{1/2} Y}{\mu} \quad (3-23)$$

$$k = 0.42 \quad (\text{經驗系數})$$

$$E = 9.0 \quad (\text{經驗系數})$$

$$y_m^* - \frac{1}{k} \ln(Ey_m^*) = 0 \quad (3-24)$$

本研究的多孔介質模擬為於某些實體空間中利用充滿的多孔介質來假設替代多孔板的整流效用，讓流體於紊流流動中，流經介質的流動用滲透性和內部損失係數來模擬，利用 Ergun 方程對於在大範圍雷諾數內和空間內充滿流體的形式有一個半經驗的關係式可由

$$\frac{dp}{L} = \frac{150\mu(1-\varepsilon)^2 u}{\varepsilon^3 D_p^2} - \frac{1.75\rho(1-\varepsilon)u^2}{\varepsilon^3 D_p} \quad (3-25)$$

$$\text{得 } \alpha = \frac{1.75\rho(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 D_p} \quad (\text{慣性項}) \quad (3-26)$$

$$\text{及 } \beta = \frac{150\mu(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 D_p^2} \quad (\text{黏性項}) \quad (3-27)$$

式中 μ 是流體黏性， D_p 是徑均孔徑(多孔介質)， L 多孔介質(厚度)， ε 設定之開孔率，所以要模擬多孔性介質時，模擬軟體要輸入 α 、 β 等，此即為邊界條件，但 α 、 β 必須建立模型，並利用模擬值與(3-25)式之 dp 值加以比對得知即要找到 L 及 D_p 值輸入模擬軟體中跑出 dp 值使滿足 3-25 的等式兩邊，當滿足 3-25 式後之 D_p 值及 ε 值即可代回 3-26 式得慣性項的影響係數 α 值，代回 3-27 式得黏性項的影響係數 β 值，其中 ε 為固定值，所以必須以調整 D_p 的大小以合乎 dp 值使等號兩邊成立。

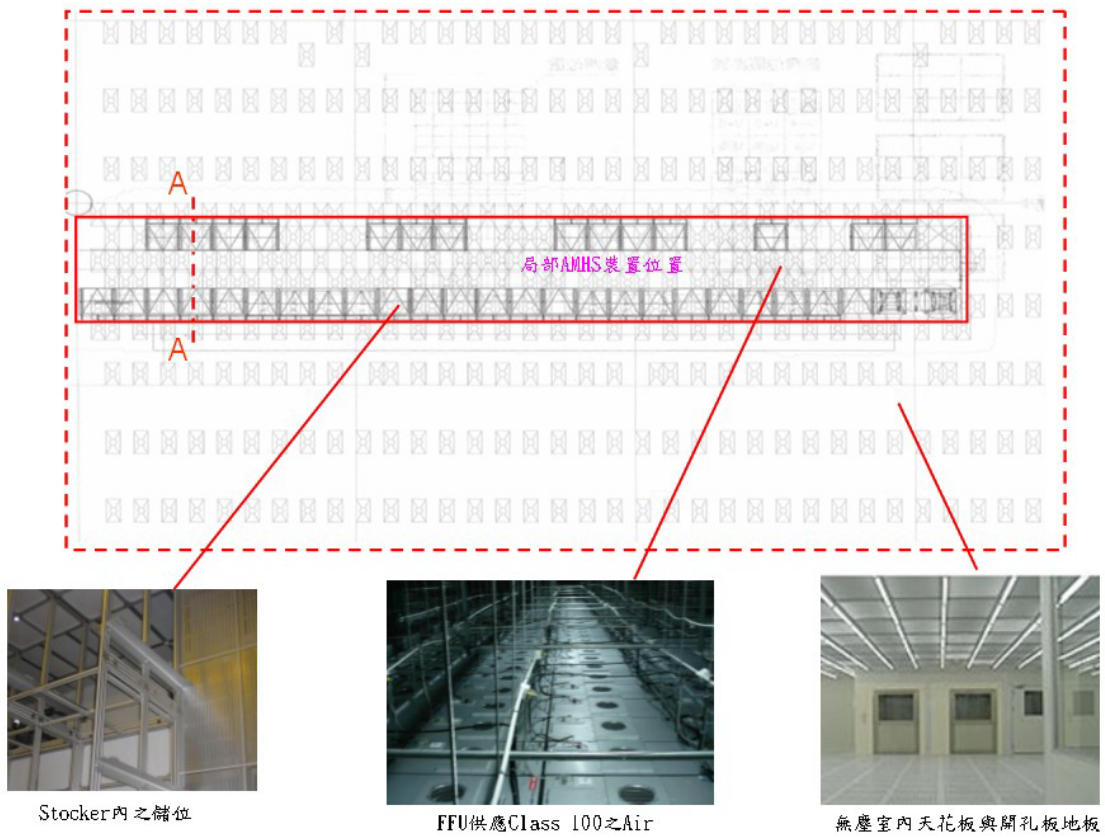
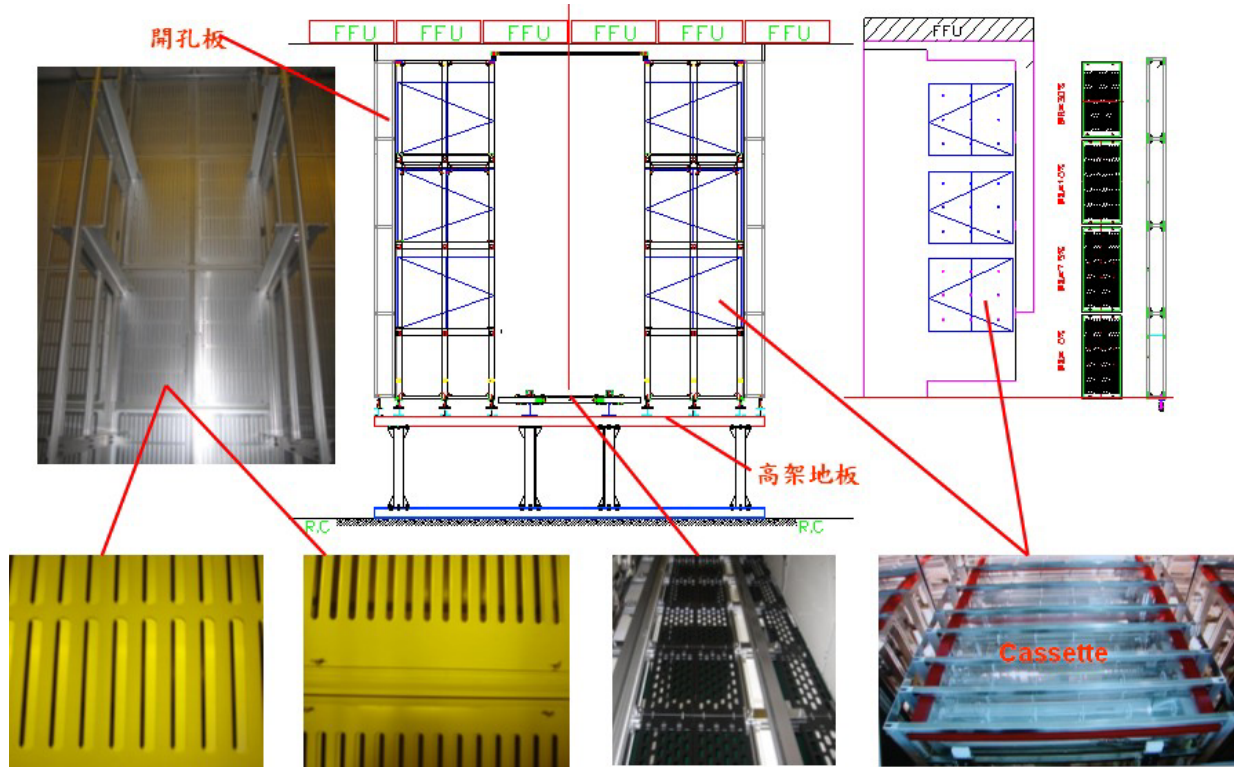
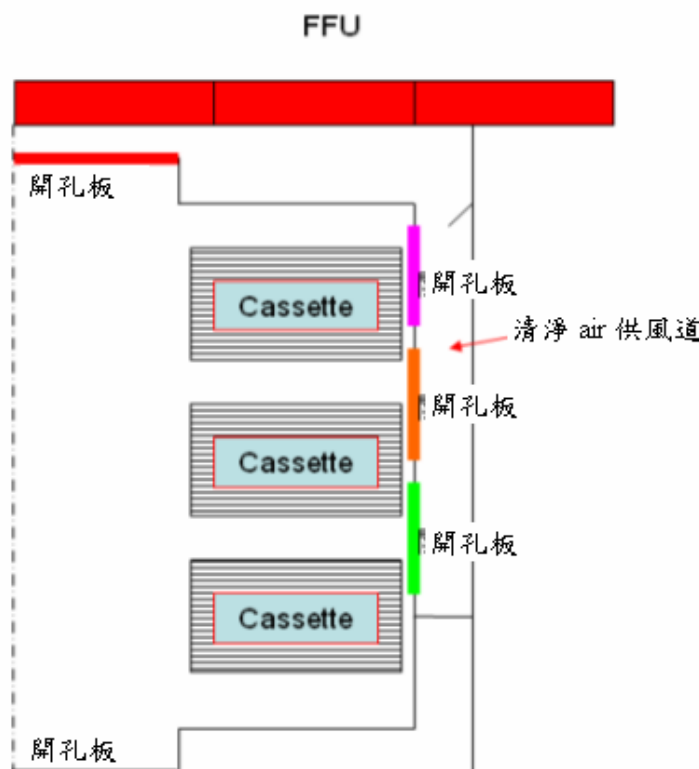


圖 3-1 研究主題之 TFT-LCD Fab AMHS 佈置

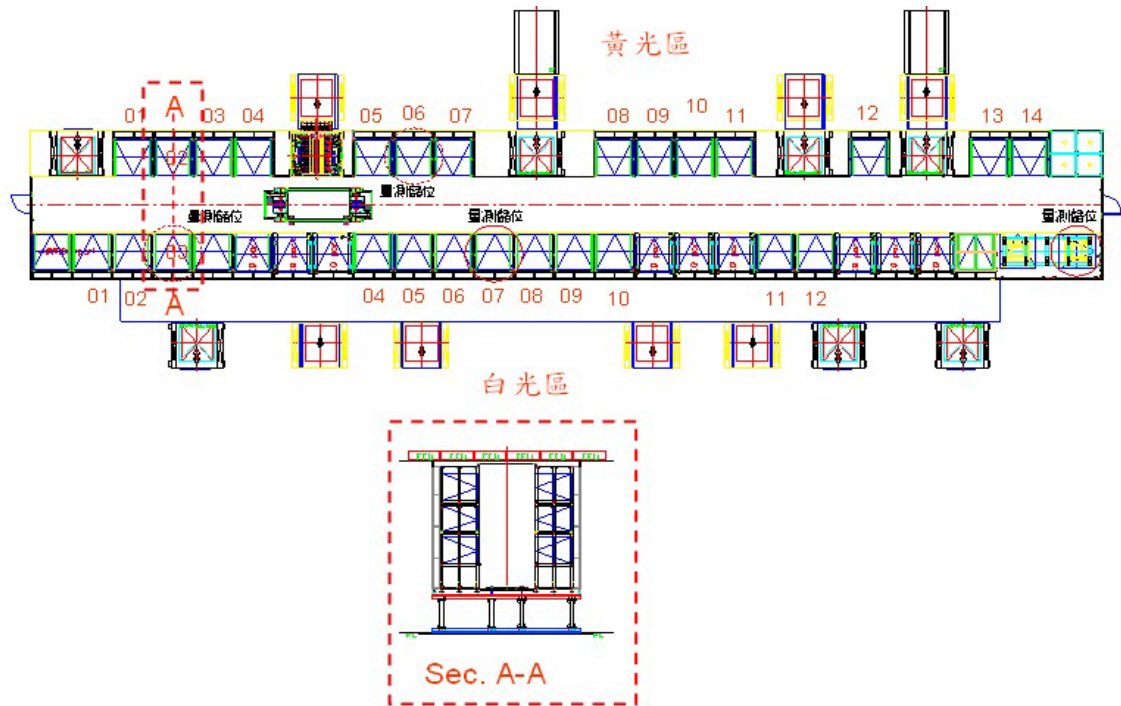


Sec A-A 中 AMHS Stacker 內對稱儲位圖

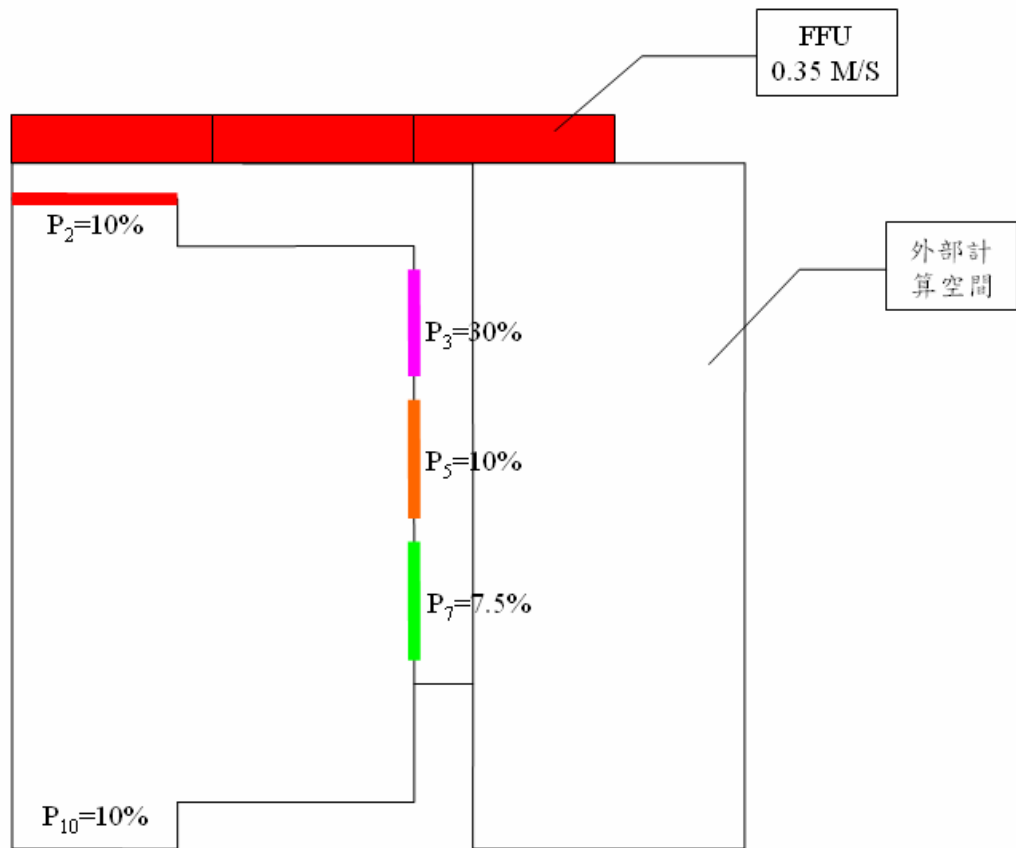


模擬用幾何模型圖

圖 3-2 實際儲位圖與模擬用幾何模型圖

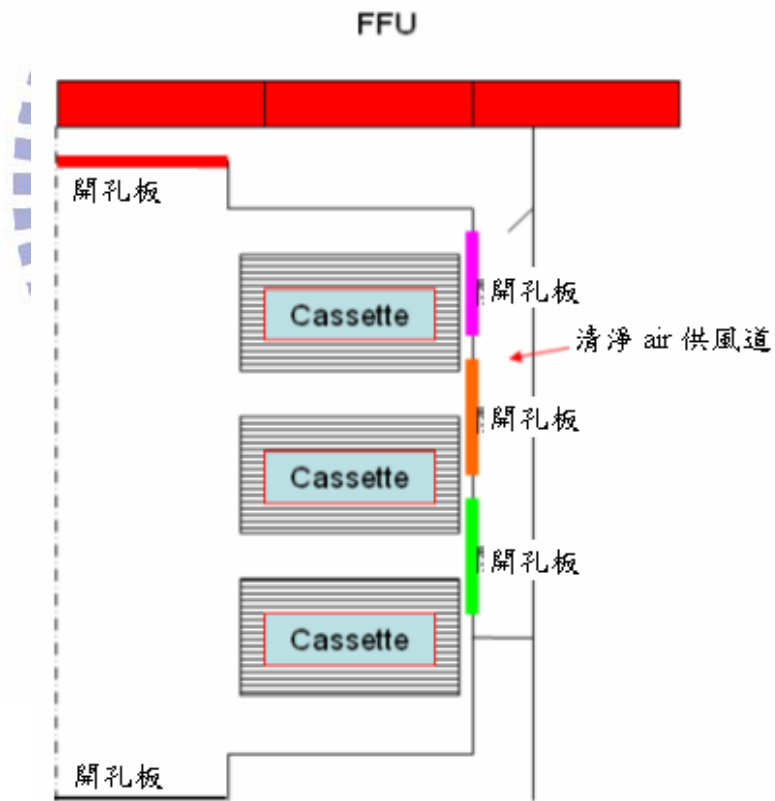
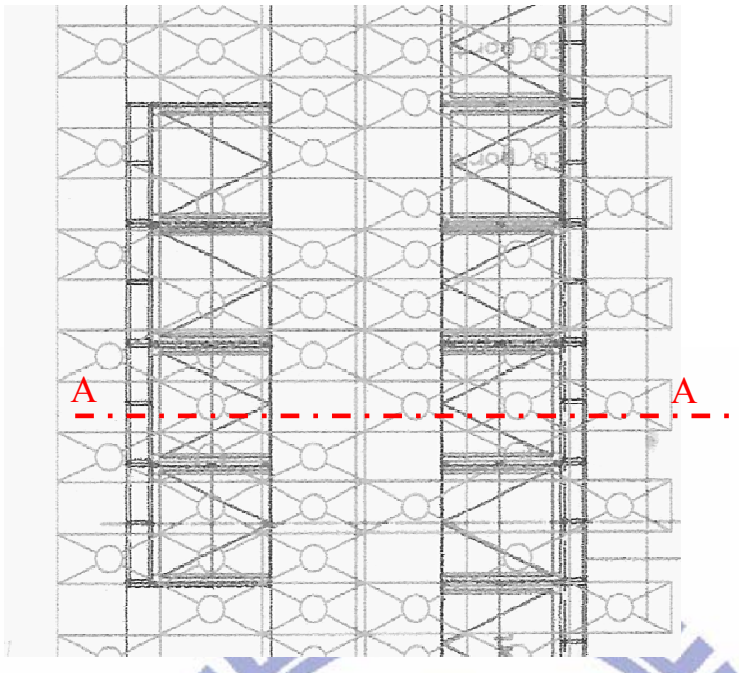


現場 Feb AMHS 倉儲內部 Layout 圖



儲位中移去 Cassette 後模擬用幾何模型圖

圖 3-3 數值模擬用物理模型



Sec. A-A 儲位裝設與 Stacker 上 FFU 對應位置

圖 3-4 Stacker 儲位外罩與 FFU 現況安裝圖

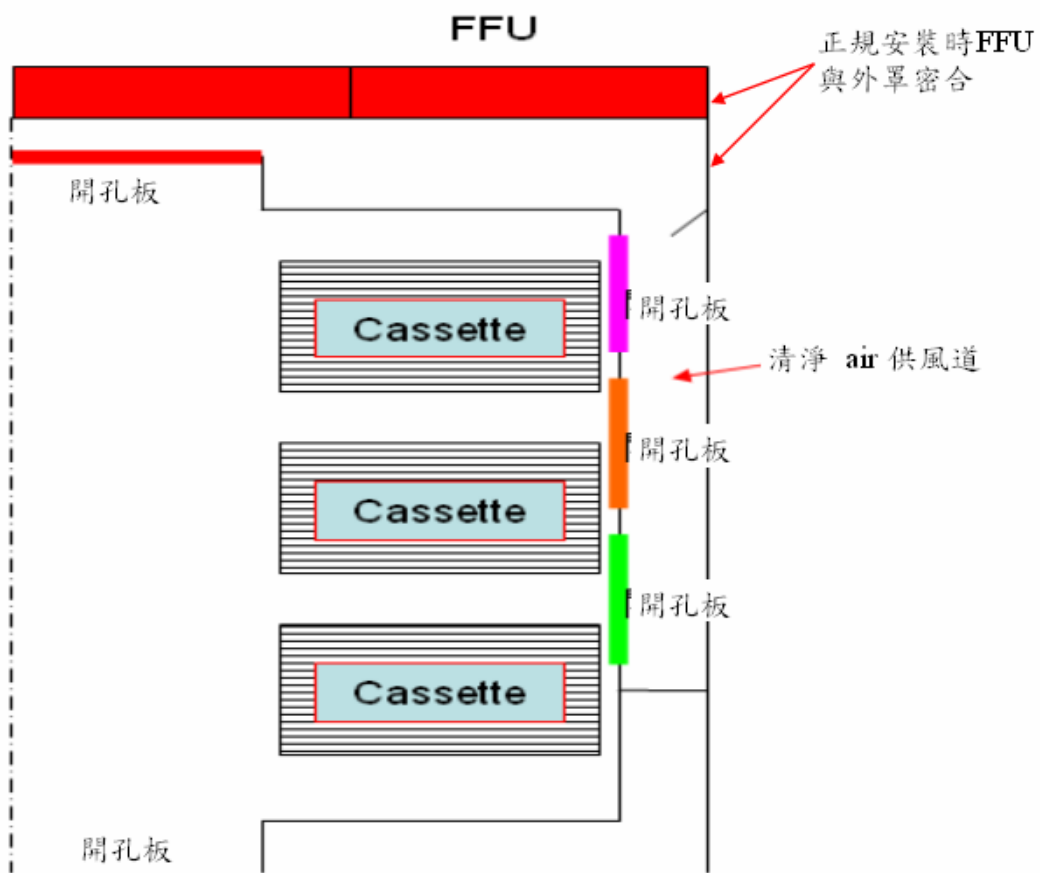


圖 3-5 正規 Stocker 儲位外罩與 FFU 密合安裝圖

第四章 數值方法

本論文是使用數值模擬軟體來求解 AMHS 倉儲內儲位中之流場變化，並經由實測研究方法驗證來得到可靠的結果，進而將現況的污染問題解決，其中數值模擬步驟可以簡化為如圖 4-1。

控制方程式對其控制體積做積分來導出離散方程，在導出過程中需對其函數本身及其一階導數做些邊界定義(假設)，這種執行的手法就是有限體積法中的離散之意。

表中流體數值模擬軟體是採用不同的區域離散格式和數值手法針對各種複雜流動和物理現象進行分析解算，軟體由前處理器進行網格生成，求解器是模擬軟體的計算核心，後處理負責將模擬結果的數據轉成可視化，方便模擬結果的解讀及判斷。

4.1 有限體積離散方法

所謂區域離散就是用一群有限離散的點來代替原來連續的空間，並將複雜的計算簡化成先對各點計算其物理模型的數學式，再將這些離散化後的物理量存放到網格節點上，後再由這些互不重疊的節點子區域所代表的有限空間全部連接整個連續空間，一般把節點看成控制體積的代表，常用的離散方法有限差分法(FDM)，有限元素法(FEM)及有限體積法(FVM)，本文使用之數值軟體為是用 FVM 法所開發出來之商用軟體，一般為了解決數值流體的問題時，是要了解每一最小時間內的流場變化，亦即統御方程式不斷的進行積分求解，事實上是求空間中經離散格式化的點(網格)上的壓力、速度等物理量，這些已求出的物理量所連結成的光滑連續曲線，就可提供做為下個時間及空間上將行進的預測，此為求解流場的控制方程最終的目的，就是要獲得所有控制點上流場變化的值，至於離散的方式是在所計算的區域，將其分割成一系列的控制體積(Control Volume)，每一個控制體積都用一個節點做代表，將守恆的控制方程式對其控制體積做積分來導出離散方程，在導出過程中需對其函數本身及其一階

導數做些邊界定義(假設)，這種執行的手法就是有限體積法中的離散之意。

有限體積法是一種近似計算，其關鍵的步驟有計算區域的離散與控制方程的離散，如前所述將一個連續的計算區域分割成一系列的互不重疊的子區域，並確定其節點位置及其所涵蓋的控制體積，所以每一個節點就代表一個控制體積，如圖 4-2

所以當在模擬前對要解析的空間建立幾何模型後，需執行網格劃分的動作即屬上述所定義的有限體積劃分工作，其可用結構化的及非結構化的網格劃分，本研究標的之模擬採用結構化網格切割。

4.2 控制方程差分處理

至於相對應產生的控制方程離散化則由有限體積法的守恆方程式 (Conservation Equations)

$$\frac{\partial(\rho\mu\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\mu\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S \quad (4-1)$$

在一維中可轉成

$$\frac{d(\rho\mu\phi)}{dx} = \frac{d}{dx}\left(\Gamma \frac{d\phi}{dx}\right) + S \quad (4-2)$$

(4-2)式中左側為對流項，右側第一項為擴散項，第二項為來源項(Source)，其中 ϕ 為任意相關變數(可以為速度、溫度……等待求的物理量)， Γ 是相對應於 ϕ 的擴散係數(Diffusion)， S 是來源係數(Source)，如圖 4-2 變數中在 A、B 端點的邊界值為已知，今對(4-2)式一維控制方程的控制體積 P 作積分，

$$\int_{\Delta v} \frac{d(\rho\mu\phi)}{dx} dv = \int_{\Delta v} \frac{d}{dx}\left(\Gamma \frac{d\phi}{dx}\right) dv + \int_{\Delta v} S dv \quad (4-3)$$

ΔV 為控制體積，因控制積在網格時會僅量微小化，

故 $\Delta V = \Delta V \cdot A$ ， A 為控制體積的界面面積

(4-3)可寫成

$$(\rho u \phi A)_e - (\rho u \phi A)_w = \left[\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right]_e - \left[\Gamma A \frac{d\phi}{dx} \right]_w + S \cdot \Delta v \quad (4-4)$$

由上面可看出對流項與控制項已轉化成控制體積(圖示斜線部份)已轉化成控制體積邊界面上的值，利用線性近似的中心差分法可以找到(4-4)式中界面 e 和 w 處的 ρ 、 u 、 Γ 、 ϕ 和 $\frac{d\phi}{dx}$ ϕ ，這些物理量均是以節點 P 處的定義及計算，可得(4-2)的離散形式。

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_E \phi_E + b \quad (4-5)$$

$$\begin{aligned} a_w &= \frac{\Gamma_w}{(\delta x)_e} A_w + \frac{(\rho u)_w}{2} A_w \\ a_E &= \frac{\Gamma_e}{(\delta x)_e} A_e - \frac{(\rho u)_e}{2} A_e \\ a_p &= \frac{\Gamma_e}{(\delta x)_e} A_e + \frac{\Gamma_w}{(\delta x)_w} A_w - S_p \cdot \Delta v \\ &= a_E + a_w + \frac{(\rho u)_e}{2} A_e - \frac{(\rho u)_w}{2} A_w - S_p \cdot \Delta v \end{aligned} \quad (4-6)$$

$$b = S_c \cdot \Delta v$$

基於控制體積界面 e 和 w 處的面積 A_e 和 A_w 為單位面積

所以 $A_e = A_w = 1$ ， $\Delta v = \Delta x$

及令 $F = Pu$ (通過界面上單位面積的對流質量通量)

$$D = \frac{\Gamma}{\delta x} \quad (\text{界面的擴散傳導性})$$

則 (4-6) 式可化簡成

$$a_w = D_w + \frac{F_w}{2}$$

$$a_E = D_e - \frac{F_e}{2}$$

$$ap = a_E + a_w + \frac{F_e}{2} - \frac{F_w}{2} - Sp \cdot \Delta x \quad (4-7)$$

$$b = S_c \cdot \Delta x$$

所以一般有限體積法中有很多不同離散格式，上述為使用中心差分格式，若使用一階離散時則

$$a_w = D_w + ma_x(F_{w,0}) \quad (4-8)$$

$$a_E = D_e + ma_x(0, -F_e)$$

若使用二階離散時則

$$a_w = \begin{cases} D_w + \frac{3}{2}\alpha F_w + \frac{1}{2}\alpha F_e \\ a_{ww} = -\frac{1}{2}\alpha F_w \end{cases} \quad (4-9)$$

$$a_E = \begin{cases} D_e - \frac{3}{2}(1-\alpha)F_e - \frac{1}{2}(1-\alpha)F_w \\ a_{EE} = \frac{1}{2}(1-\alpha)F_e \end{cases}$$

本論文中因在網格是以結構六面體網格，且流動時與網格成直穿之特性，所以選用一階離散方式做有限體積的離散手法。

4.3 流場數值計算

經控制方程的離散處理後即可建立了可以用數值計算的代數方程組，常用的數值解法有分離解法與耦解除法，本次研究中採用分離解法(Segregated Solution Method)，因控制方程是非線性的，所以在得到收斂解之前必須進行迭代，其步驟如圖 4-3。

其中 SIMPLE 算法是本次研究中要使用的方法，是屬於壓力修正的一種，該方法由 Patankar 與 Spalding 于 1972 年提出，主要用於求解不可壓縮流場的數值方法，其計算方法為一開始假設一個速度分佈用於計算的動量方程經

離散後成

$$a_{I,J}u_{I,J}^* = \sum a_{nb}u_{nb}^* + (P_{I-1,J}^* - P_{I,J}^*)A_{I,J} + b_{I,J} \quad (4-10)$$

$$a_{I,J}V_{I,J}^* = \sum a_{nb}V_{nb}^* + (P_{I,J-1}^* - P_{I,J}^*)A_{I,J} + b_{I,J} \quad (4-11)$$

P^* : 初始的壓力猜測值，由 P^* 求出相應的速度分量 u^*, V^*

根據速度求解出連續方程的離散後之壓力修正方程如下：

$$a_{I,J}P'_{I,J} = a_{I+1,J}P'_{I+1,J} + a_{I-1,J}P'_{I-1,J} + a_{I,J+1}P'_{I,J+1} + a_{I,J-1}P'_{I,J-1} + b'_{I,J} \quad (4-12)$$

經計算得到 P' (壓力修正值)

接着修正壓力與速度

$$\begin{aligned} P_{I,J} &= P_{I,J} + P'_{I,J} \\ U_{I,J} &= U_{I,J}^* + d_{I,J}(P'_{I-1,J} - P'_{I,J}) \\ V_{I,J} &= V_{I,J}^* + d_{I,J}(P'_{I,J-1} - P'_{I,J}) \end{aligned} \quad (4-13)$$

經計算得到 P, U, V, ϕ (正確值)

判斷是否收斂，若無則退回上一時刻

再令

$P^*=P, U^*=U, V^*=V, \phi^*=\phi$ ，再回到求解動量離散方程處再計算，直到收斂出現，再往下一時刻繼續往前推算。

4.4 數值模擬基本數據驗證

由於本次研究中，用不同開孔率之開孔板置於氣流風道及 Cassette 儲放空間中，利用不同開孔率變化去達到對供入氣流的整流，使流入之氣流形成一均勻流場，同時在 Cassette 內之面板玻璃亦是以 20^{mm} 之 Pitch 平放，而玻璃本身厚度僅 1^{mm} 不到，若用實體方式建幾何模型，網格時定會超出總網格數 100

萬的上限值，因超出 100 萬太多時則數值軟體會產生困難運作情況，本次之幾何模型網格總數預計控制在 100 萬左右，故 Cassette 內之面板玻璃亦僅能用孔板的觀念處理，亦即將整個 Cassette 體積看成一個多孔性區域，所以需找出在軟體中使用多孔介質的模擬與實際以面板玻璃的模擬方式的差異，為要解除這些疑慮，將採用以下驗證對策解決，

第一階段：找出真正孔板在模擬軟體的模擬結果壓差，速度的變化與使用相同幾何模型改用多孔性介質的模擬結果比較，以確認兩者之誤差，給予修正值修正之。並找出物理模型中提到之 α 與 β 值，此為多孔介質的黏性損失係數及慣性損失係數。

第二階段：利用現場收集到之氣流經過開孔板後的流速實際值，與在模擬軟體中給予與現場相同條件的初速，開孔條件模擬後得到的向量場，再從向量場中與現場實測的相同位置抓出數據，利用比對此兩組數據的分佈狀況，若這些數據能在可信程度上符合，則往下的數值分析所得到的結果才值得信賴，否則無法達到現場模型數位化轉換的目的，整個研究將會變成空虛不實，更無法解決改善問題的功效。

以上為數值分析的校正手法，以確保其初始條件能得到補正，而跑出符合實際之結論，以下針對各階段之驗證做說明。

第一階段：由於模擬中需不斷的使用不同組合的參數當作邊界條件輸入軟體中，利用其數值運算的功能，可在不花費幾何模型的硬體建造成本下，不斷的重覆數值模擬運算而找到最佳的條件排列組合，所以在本研究的實際模擬軟體操作中需做以下的基本數據驗證。

一、開孔板的不同開孔率下所得到之 dp 值求證。

二、多孔介質的開孔率與 dp 值驗證。

由圖 2-6 中可看到實體開孔板是用兩塊鋁板在其面積範圍內用加工方式做成 $20^{\text{mm}} \times 200^{\text{mm}}$ 之長圓孔使佈滿，再利用此兩塊板的位置互相在短邊

錯開鎖固，利用其錯開位移距離的多寡，而可調成各種開孔率的孔板，進而達到對入氣流的整流效用，細觀其孔板是有對稱性可循，即只要利用抓取其中一孔，經計算其截取之邊界面積為 $10^{\text{mm}} \times 220^{\text{mm}}$ 可滿足其整體之條件，如圖 4-4 上方孔板相關尺寸所示為一開孔率 10% 之例子，其週邊可利用設成對稱邊的方式即可滿足數值模擬之需要，今假設上述之 $40^{\text{mm}} \times 220^{\text{mm}}$ 截面積其對邊各以 1000^{mm} 長及 2000^{mm} 長之向左、右兩邊做出 4 個面積包於其四週圍，則此模型即形成一個 $40^{\text{mm}} \times 220^{\text{mm}}$ 之方型管如圖 4-4 下方圖示，今以 $0.25^{\text{m/s}}$ 之流體由方型管左側(1000^{mm} 端)均勻送入，流經該 $40^{\text{mm}} \times 220^{\text{mm}}$ 截面積時因受限於兩長圓孔之錯位鎖固而形成的開孔限制，故其壓力及流速都會在流體流過該截面積時而受到改變，此時在此截面積之左、右各 500^{mm} 處可量得壓力之變化設成 dp ，所以不同的孔板開孔率會有不同的 dp 值變化，此為實際開孔大小時經數值模擬會得到的 dp 值，但因模擬中需要利用多孔性介質來替代此孔板，可在數值模擬中得到較大的可變動彈性，所以同樣的在上述之幾何模型中將 $40\text{mm} \times 220\text{mm}$ 的面積以多孔性介質來取代，同樣經過數值模擬後亦可於相同位置處得到 dp 值，經多次調適後可代入(3-25)、(3-26)、(3-27)中得到 α 及 β 值，並將其輸入數值模擬中解算得到驗證之等效多孔介質的結果，以方便反覆變動參數的模擬簡化，同時亦為降低幾何網格數的有效方法。

同理此方法亦用於 Cassette 內的面板玻璃置放情形如圖 2-1 之等效假設驗證，即取局部的面板玻璃與 Cassette 內的空間有效尺度內，利用局部模型的對稱性，去找出 α 及 β 的值，供整體模擬時之邊界條件輸入模擬軟體中，去解算空間流場分佈狀態，數值模擬驗證後之結果如表 4-1 所示。

第二階段：經第一階段找到不同開孔率(ε)的 α 、 β 的對應值後，先以數值模擬軟體在倉儲的幾何模型中，利用不同開孔率的組合，

經模擬解算後找到一組 $P_2=10\%$ ， $P_3=30\%$ ， $P_5=10\%$ ， $P_7=7.5\%$ ， $P_{10}=10\%$ ，FFU 的流速設成 0.35m/s 之較佳狀態，按這些數據將實體的孔板及 FFU 皆調成上述值，經以量測儀器在圖 4-5 開孔板量測位置座標顯示處及量得實際流速值如表 4-2，及 Cassette 九宮格標示位置量得實際流速值如表 4-3，此為第二階段現況實測值及數值模擬值驗證的依據。

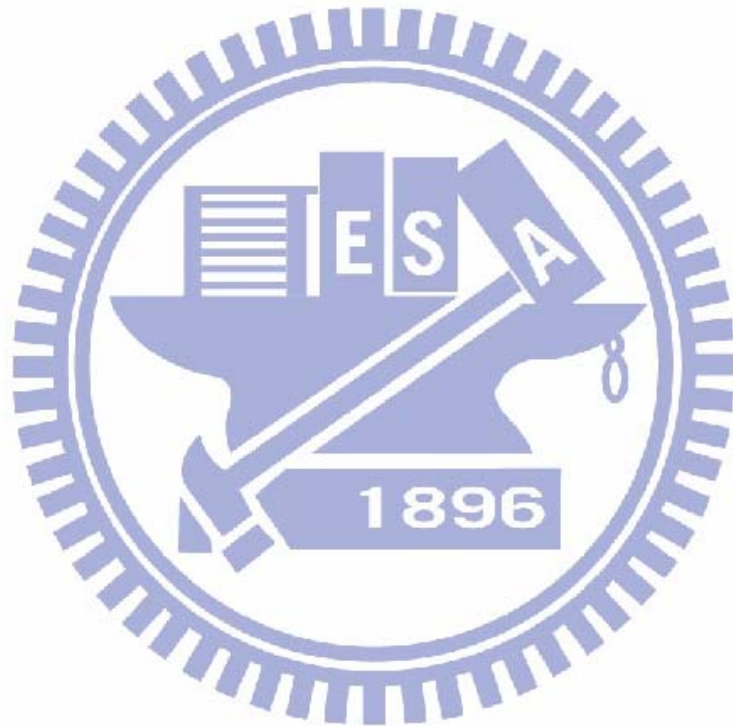
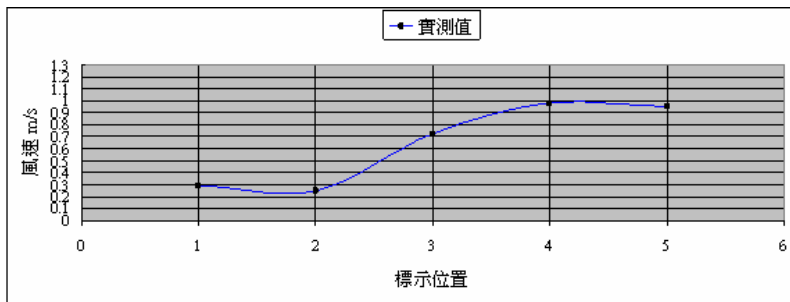


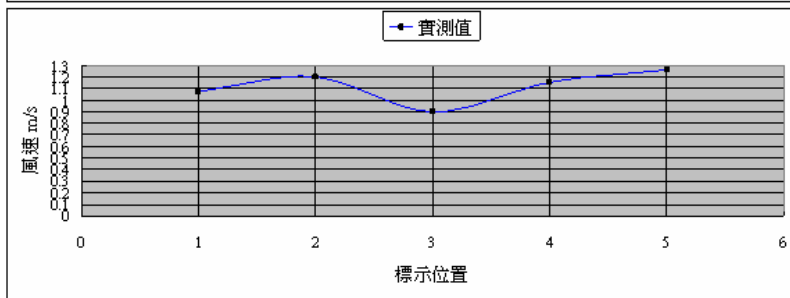
表 4-1 開孔率與 α 、 β 值對照表

ε	dp	α	β
0.03	140	541.1343	0.004827
0.05	84	190.7917	0.002778
0.07	60	95.29337	0.001902
0.075	56	82.56481	0.001756
0.1	42	45.1875	0.001247
0.12	35	30.68287	0.000993
0.15	20.5	25.90696	0.001383
0.2	21	10.04167	0.000493
0.25	15	6.748	0.000434
0.3	31	4.205484	0.000292
0.35	10	3.196939	0.000268
0.4	8.3	2.381871	0.000222
0.45	6.86	1.855351	0.000192
0.5	7	1.205	0.000111
0.55			
0.6	4.25	0.918845	1.11E-04
0.65			
0.7			
0.75	2.8	0.446296	5.13E-05

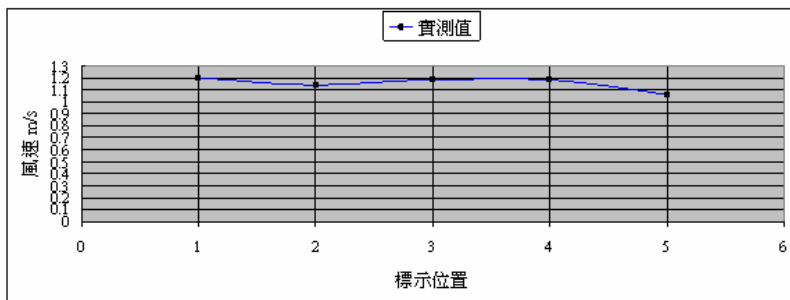
表 4-2 開孔板出口風速實際量測值



開孔板出口風速實際量測值 m/s						
	1	2	3	4	5	6
位置	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	
實測值	0.29	0.25	0.72	0.98	0.95	



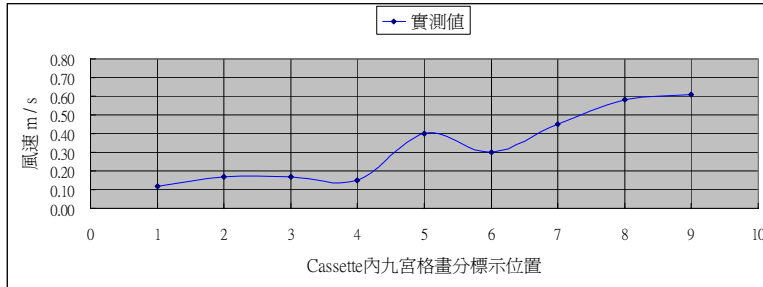
開孔板出口風速實際量測值 m/s						
	1	2	3	4	5	6
位置	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	
實測值	1.07	1.2	0.9	1.16	1.26	



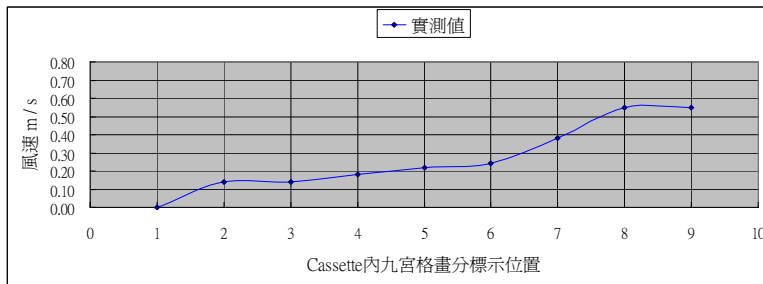
開孔板出口風速實際量測值 m/s						
	1	2	3	4	5	6
位置	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	
實測值	1.2	1.14	1.18	1.18	1.06	



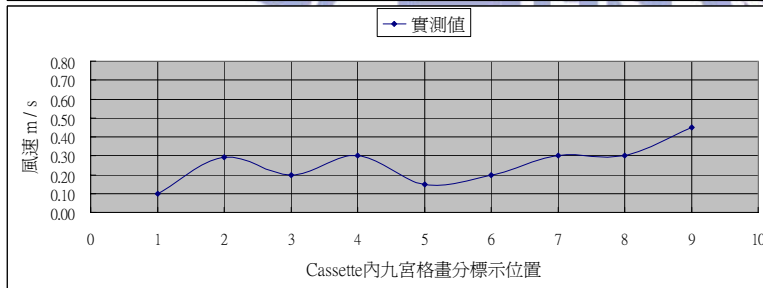
表 4-3 Cassette 儲位九宮格標示位置風速實際量測值



儲位 $z = 1476 \text{ mm}$, $x = 285 \text{ mm}$ 層 m/s									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	U-9	U-6	U-3	M-9	M-6	M-3	D-9	D-6	D-3
實測值	0.12	0.17	0.17	0.15	0.40	0.30	0.45	0.58	0.61



儲位 $z = 1920 \text{ mm}$, $x = 285 \text{ mm}$ 層 m/s									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	U-8	U-5	U-2	M-8	M-5	M-2	D-8	D-5	D-2
實測值	0.00	0.14	0.14	0.18	0.22	0.24	0.38	0.55	0.55



儲位 $z = 1476 \text{ mm}$, $x = 285 \text{ mm}$ 層 m/s									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	U-7	U-4	U-1	M-7	M-4	M-1	D-7	D-4	D-1
實測值	0.10	0.29	0.20	0.30	0.15	0.20	0.30	0.30	0.45

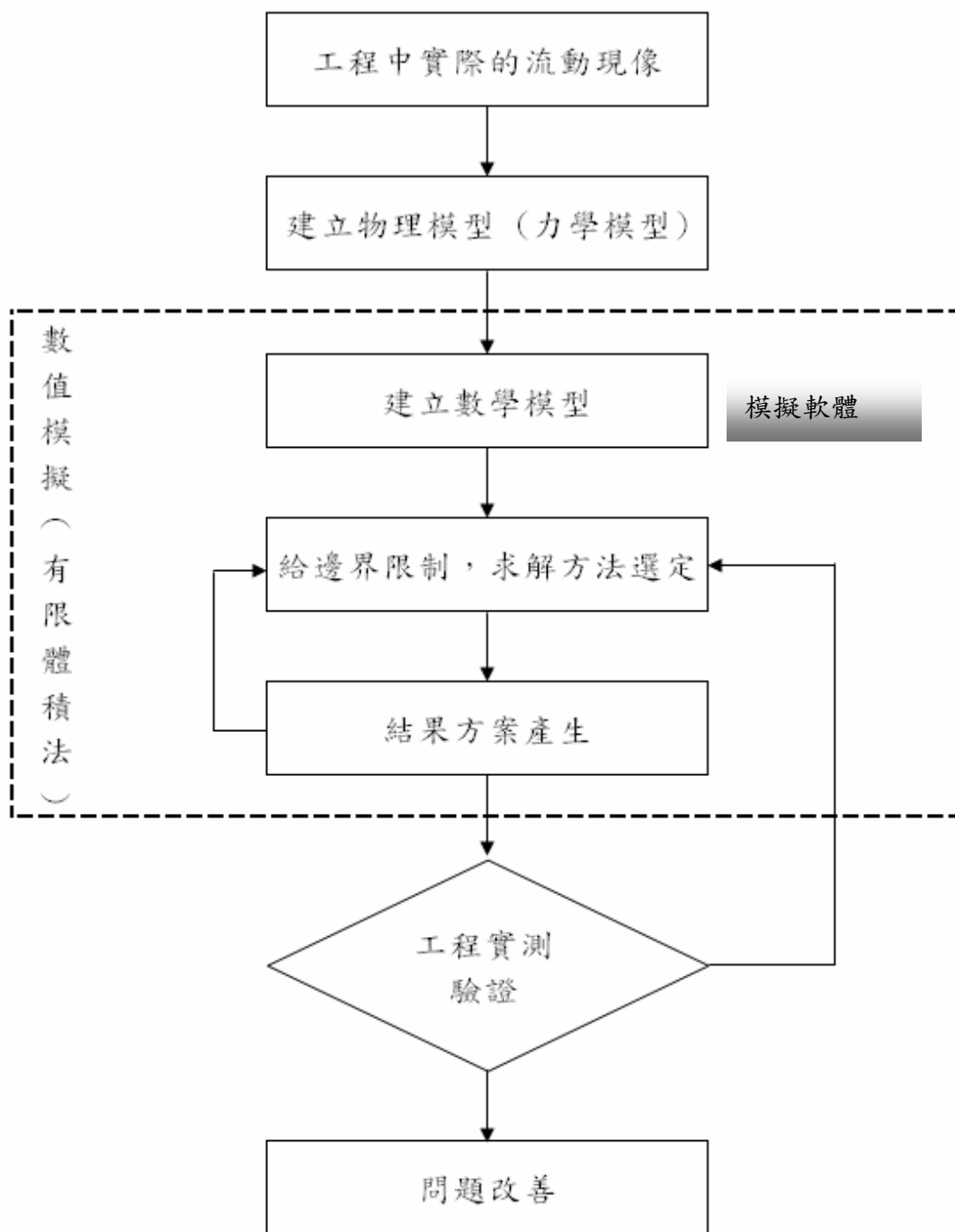


圖 4-1 研究流程圖

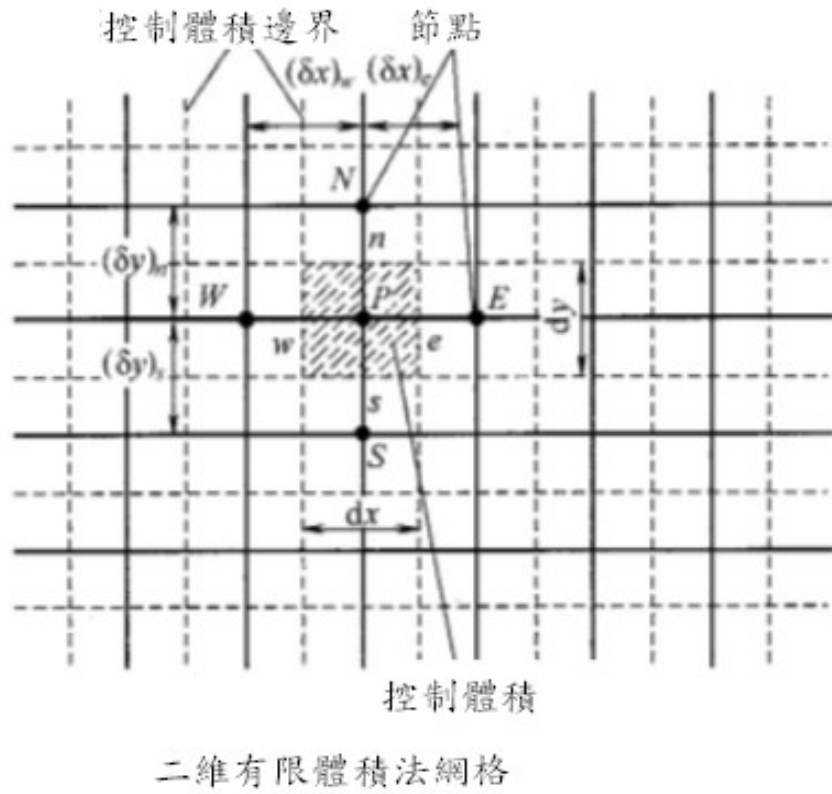
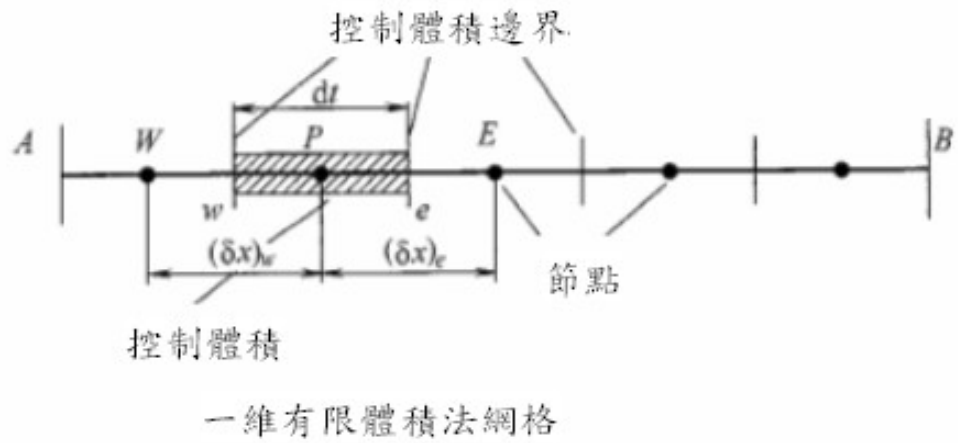


圖 4-2 一維、二維有限體積法網格 [21]

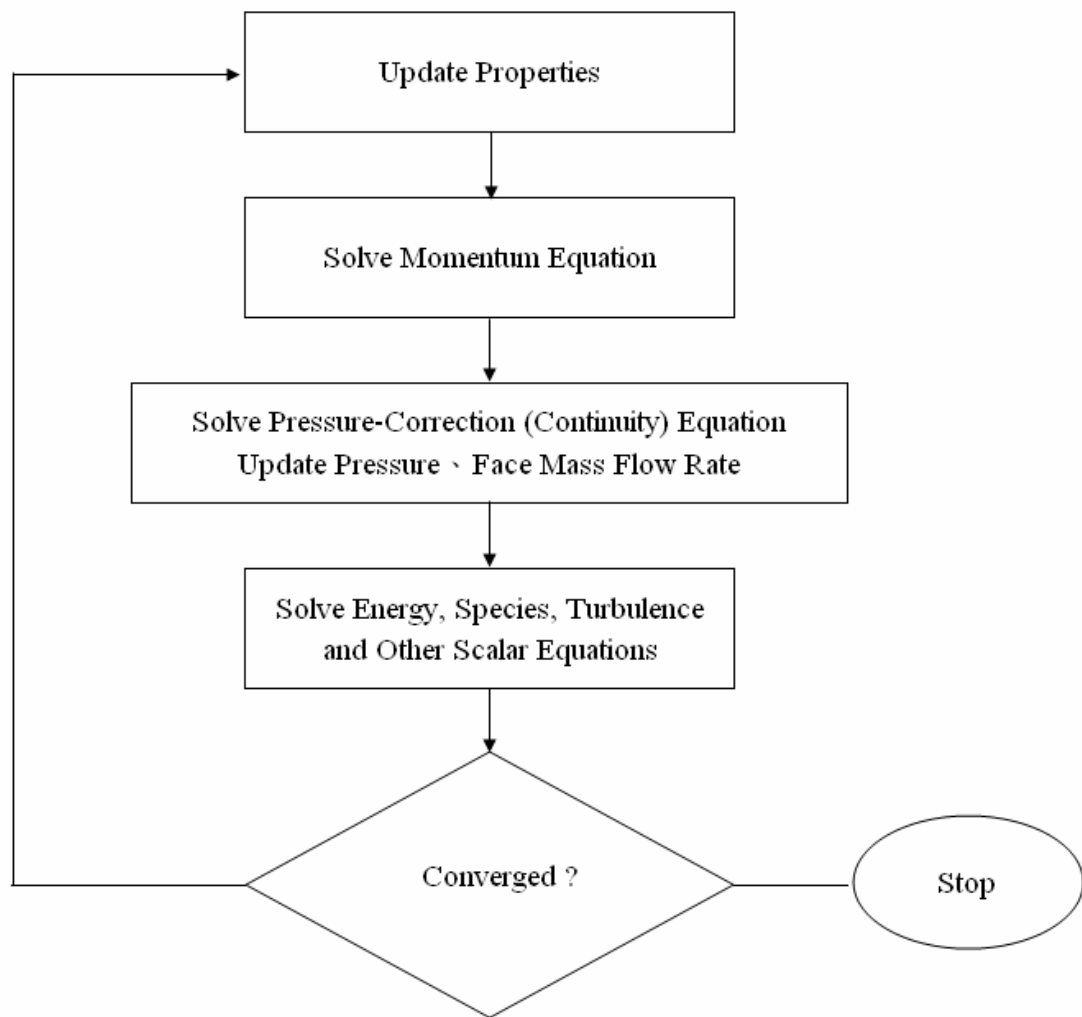


圖 4-3 分離求解器方法

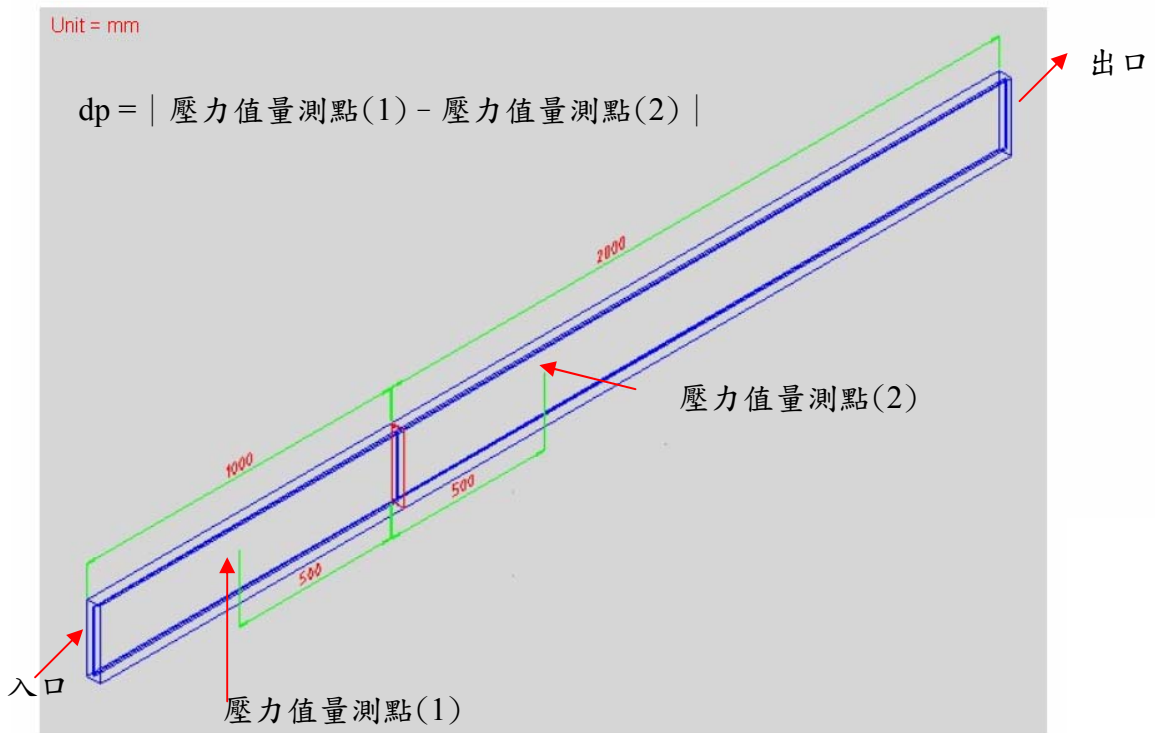
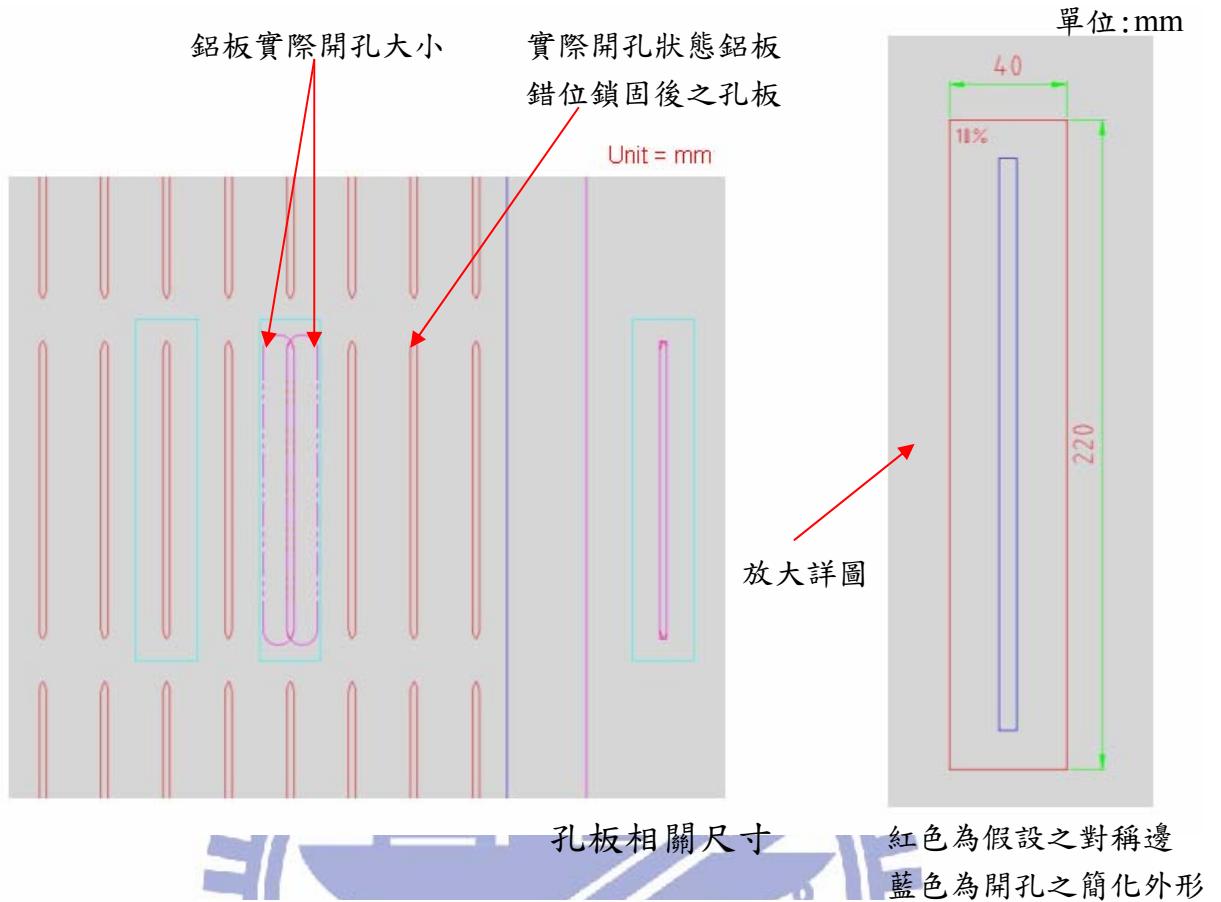


圖 4-4 孔板 dp 值數值模擬幾何模型

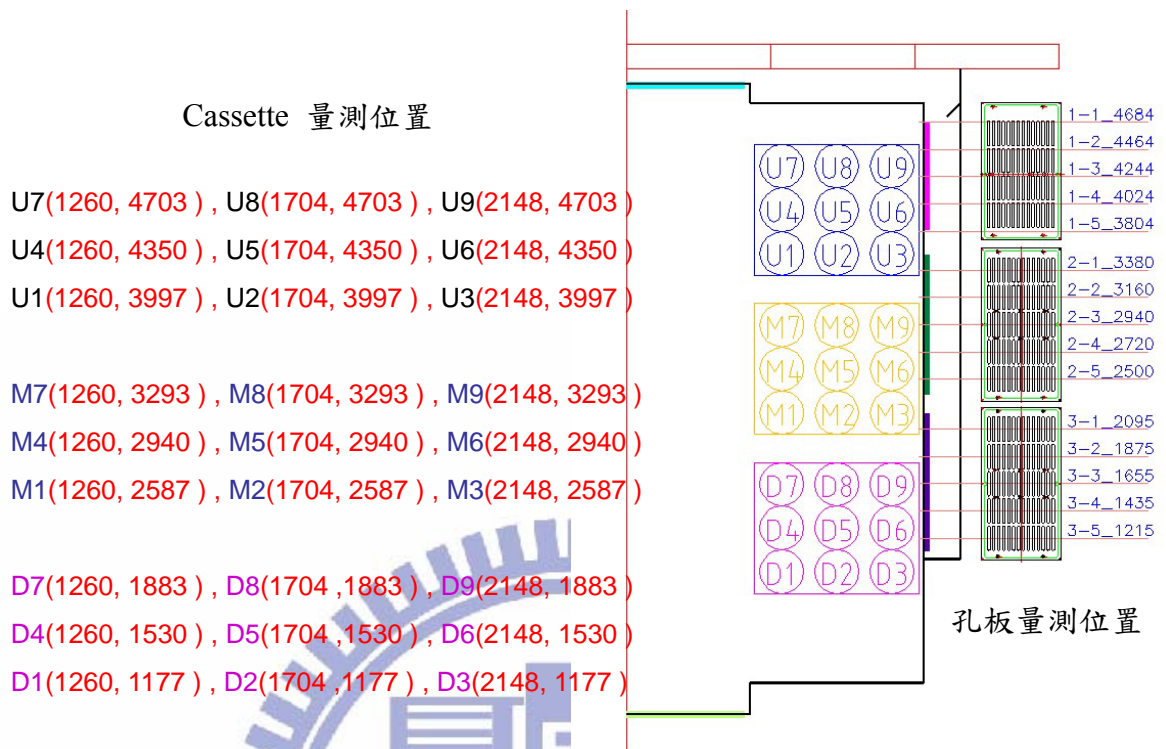


圖 4-5 現場流場風速實測位置圖

第五章 結果與討論

5.1 參數基準值模擬

由於本研究之標的需在不拆毀任何零件下，可得到調整之彈性，且達到改善效用的僅有：

- 1、增加 FFU 的數量佈滿整個 AMHS 倉儲之上方。
- 2、利用 FFU 之可調風速的功能變更 FFU 送風的速度。
(一般此即反應在 FFU 單位時間的送風量)
- 3、調整兩片孔板的相錯位移尺寸，來變更其開孔率，在本研究中此種方式其最大的開孔率可調範圍為 0%~50%。

所以在適當模擬參數組合的找尋是本研究的切入之重點，先利用固定 FFU 風速針對可能的開孔率進行模擬分析，第一次開孔率的組合有下面 4 種：

Case 1 : $P_2 = 25\%$ 、 $P_3 = 50\%$ 、 $P_5 = 25\%$ 、 $P_7 = 18\%$ 、 $P_{10} = 30\%$

Case 2 : $P_2 = 25\%$ 、 $P_3 = 50\%$ 、 $P_5 = 15\%$ 、 $P_7 = 5\%$ 、 $P_{10} = 30\%$

Case 3 : $P_2 = 25\%$ 、 $P_3 = 60\%$ 、 $P_5 = 12\%$ 、 $P_7 = 5\%$ 、 $P_{10} = 30\%$

Case 4 : $P_2 = 10\%$ 、 $P_3 = 30\%$ 、 $P_5 = 10\%$ 、 $P_7 = 5\%$ 、 $P_{10} = 30\%$

使用 FFU $V = 0.38\text{m/s}$ 進行數值模擬，得到的分析結果如下：

Case 1 : 如圖 5-1 為孔板開孔率的不同孔率開設於幾何模型的相關位置圖示，圖 5-2 上方為經數值模擬後得到的流場分佈情況，另用局部展示的功能，將 Cassette 內的面板玻璃層間的流線狀態圖亦呈現於圖 5-2 的下方。

Case 2 : 如圖 5-3 Case 2 孔板開孔率標示圖、圖 5-4 Case 2 儲位內及 Cassette 內部流場分佈圖的情況。

Case 3 : 如圖 5-5 Case 3 孔板開孔率標示圖、圖 5-6 Case 3 儲位內及 Cassette 內部流場分佈圖的情況。

Case 4 : 如圖 5-7 Case 4 孔板開孔率標示圖、圖 5-8 Case 4 儲位內及 Cassette

內部流場分佈圖的情況。

綜合以上 4 種 Case 之流場的分佈圖及 Cassette 內的面板玻璃層間的流場方向，可看出在入口 FFU 風速固定(0.38m/s)，出口開孔率固定($P_{10}=30\%$)下，經由不同開孔率的整流效果，產生了不同的效應呈現，整體看，當流入風道的風量若不會太快於上方被消化掉(進入儲位 Cassette 內)時，則將會有較大的動能使氣流能導入到下層，使下層面板玻璃間有較足夠的氣流吹入，才可保持面板玻璃的潔淨，也就是隨時有一層清淨氣流在玻璃間流動，使微塵粒子沒有機會停留在表面，同時因風道內保有微小壓力，可使最上層之 Cassette 內面板玻璃層間有較多的年輕氣流(離開 FFU 濾網面較短時間的氣流，即空氣年齡較小的年輕氣流)，當這些年輕氣流進入流場後，它會壓迫年老空氣離開氣流場，除非該氣流場有渦流(迴旋逆流)存在，則年輕氣流在此處會陷在渦流中而流不出去，其年齡會隨時間拉長而變老；當一個空間中空氣平均年齡偏高時，其微塵累積的風險會加快，此即會造成微塵粒數超出規範標準數而失控，致使清淨等級下降，基於此原則解讀前述 Case 1、Case 2、Case 3 從其 Cassette 內部流場詳圖可看到大部份的 Glass 間的流速均在 0.1m/s 以下(經驗值要在 0.1m/s 到 0.2m/s 間)，明顯幾何模型必需改善，能有效的使氣流從供風通道中將年輕的空氣趕入儲位內 Cassette 的 Glass 中，所以提出第一次的幾何模型改善如 Case 4，即在供氣風道中靠近上層 Cassette 處加入一個 45° 的斜檔板，將年輕空氣趕入儲位中，並將 FFU 的風速由 $V=0.38\text{m/s}$ 提高到 $V=0.46\text{m/s}$ ，經數值模擬後從 Cassette 內部流場詳圖圖 5-12，看到有 60% 以上的 Glass 間的流速在 0.1m/s 以上，但在最下層 Cassette 中仍有大部份在 0.1m/s 以下，表此處由供氣風道中的流入氣流太少，所以需對 Case 4 模型再次修正。

以上為固定 FFU 風速找尋適當孔板開孔率，今找到 $P_2=10\%$ 、 $P_3=30\%$ 、 $P_5=10\%$ 、 $P_7=7.5\%$ 、 $P_{10}=30\%$ ，現將以此組開孔率反測試在不同 FFU 速度下會產生何種改變，簡化後幾何模型開孔板位置如圖 5-9 所示，並在每層 Cassette 的最上及最下外圍利用實心板代替(實際狀態下 Cassette 之上下方都會有各一片保護板密封在 Cassette 上)，其中未標示處皆為開孔之實心板所密封，另於左

側氣流供風道靠近上層 Cassette 上方的外側邊加入一個下斜導板，來引導氣流進入上層 Cassette 下側，FFU 速度設成

Case 5 : $V=0.31\text{m/s}$ 、開孔率位置如圖 5-9 修正後開孔率位置圖示。

Case 6 : $V=0.35\text{m/s}$ 、開孔率位置如圖 5-9 修正後開孔率位置圖示。

Case 7 : $V=0.38\text{m/s}$ 、開孔率位置如圖 5-9 修正後開孔率位置圖示。

Case 8 : $V=0.46\text{m/s}$ 、開孔率位置如圖 5-9 修正後開孔率位置圖示。

等共 4 組進行模擬運算比較。

數值模擬後的結果如下：

Case 5 : 由圖 5-10 切面處儲位流速圖可看到最下面之儲位 Cassette 內的流速，除上緣有一小部份在 0.1m/s 以下其餘皆在 0.1m/s 以上，但中層處則只有中層下緣 50% 流速大於 0.1m/s ，其他為低於 0.1m/s 最低處只有 0.02m/s ，左右明顯風速不足，最上層則上緣處及下緣處都偏低，尤其在下緣約佔有 30% 是低於 0.1m/s 的流速分佈，明顯面板玻璃間的流場均勻度不足，另由圖 5-10 下方可看到 Cassette 內部之流場上層下緣約 50% 是逆流的，中層上緣小部份亦是逆流狀況，下層亦有零星逆流出現於上緣及下緣，此表有渦流存在於流場中造成逆流現象，不利於微塵粒子的排出。

Case 6 : 從圖 5-16 切面處儲位流速圖，原存在於 Case 5 的特別低的 (0.02m/s 以下) 流速已消失，且上層已有 60% 以上皆在 0.1m/s 以上，比 Case 5 有改善，下層明顯均在大於 0.1m/s 以上；另從圖 5-11 下方儲位內 Cassette 內部流場逆流已減少到只剩上層與中層間的小部逆流，但仍未完全消除逆流現象，且此時之 FFU 入口風速只在 $V=0.35\text{m/s}$ 。

Case 7 : 從圖 5-12 與 Case 6 圖 5-11 比較並未有明顯大幅改善，僅中層之流速有 80% 在 0.1m/s 以上流速。

Case 8 : 圖 5-13 由於 FFU 入口風速已提升到 0.46m/s 所以其無論在上層、中層、下層皆有提升，甚至於中層亦追隨上層有局部流速突破到 0.2m/s 並到達 0.3m/s 的速度，但上層尚有約 20%~30% 的下緣仍在 0.1m/s 以

下，不過已非常接近 0.1m/s ，但在此 Case 裡是犧牲了 FFU 提高初速的能源消耗所換得的，雖有 90% 以上都達到 1m/s ，但相對的也造成局部地區的過量流速發生於 Cassette 內。

所以由以上從 0.31m/s 、 0.35m/s 、 0.38m/s 、 0.46m/s 的 FFU 風速逐步增加，從能源節省的角度考慮時，以 Case 6 似乎能在此次的模擬中表現的較出色，即較低 FFU 入口風速下，也有不錯的流場均勻度出現，同時 Cassette 內面板玻璃層間的逆流現象均有逐步的正向改善呈現，故由上往下之 10%、30%、10%、7.5%、30% 再加上斜擋板均為流場正向改善的有效因子，所以將此組參數供現場調試人員進行設定且先以 $V=0.35\text{m/s}$ 為 FFU 之入口速度，並按圖 4-3 的圖示孔板量測位置，量測現場的實際開孔板出口風速，其測得之值如表 4-4 所示，所呈現的曲線為開孔板出口風速實測線。

5.2 現況儲位內外壓差效應影響及可行方案探討分析

另由圖 3-4 中可看到本次研究主題之 AMHS 倉儲安裝於無塵廠房中與天花板上 FFU 的安裝對應圖，取其中局部 Layout 放大就如圖 5-14，三種不同 FFU 配置的截面圖，可明顯看出其與 FFU 的相互對應裝置並非如前面參數模擬中 Case 1~Case 8 的幾何模型，每個 FFU 是完全罩住 AMHS 倉儲的儲位，沒有像圖 5-14 中最外側的 FFU 只是局部罩住倉儲，另有 2/3 外露在倉儲外，在此就要以現場的實際狀況用逆向工程手法重建實際情形於數值模擬的幾何模型中，再用前段所得的開孔率參數值輸入進行模擬，以便了解此種錯誤對儲位內 Cassette 的氣流影響。

在 AMHS 倉儲正上方的儲位與 FFU 錯位的情形可區分為 A、B、C 三種 Type (如圖 5-14 所示)，在此三種截面中分別以 Case 9=截面 A(如圖 5-15)，Case 10=截面 B(如圖 5-17)，Case 11=截面 C(如圖 5-19)，今就此三 Case 分別以幾何模型中所載的條件進行數值模擬。

Case 9、Case 10：因 FFU 佈滿僅約 50% 覆蓋明顯功能不足，在切面處儲位流速圖中只有 40% 左右流速超過 0.1m/s ，其餘均在 0.1m/s 以下，如

圖 5-16、圖 5-18 流場分佈及切面處儲位流速圖所示，逆流的情形，除了最上層下半部有發生如圖 5-16、圖 5-18 Cassette 內部流場詳圖外其餘部份尚稱合理。

Case 11：因 FFU 佈滿超過 80%，雖然只有 0.35m/s 的風速在吹送，但整體三個 Cassette 內的流速表現有 80% 在 0.1m/s 以上，甚至最高處幾乎達到 0.3m/s 如圖 5-20 流場分佈及切面處儲位流速圖；Cassette 內面板玻璃層間逆流情況除上層下緣較明顯外，其他部位皆無發生如圖 5-20 Cassette 內部流場詳圖所示，由 Case 9、Case 10、Case 11 的數值模擬結果發現 FFU 若有佈滿 80% 以上，其流場表現皆有可接受之表現如圖 5-21 所示，以上均考慮 FFU 是完全發揮功效的，即使其只有 1/3 在倉儲內；但在現場實際狀況為了不讓 Class 1000 等級的潔淨度去污染到倉儲內 Class 100 等級潔淨度，必需利用正壓效果將 Class 100 等級的壓力向 Class 1000 等級壓送，即 Class 100 內的壓力一般會較 Class 1000 等級的壓力高約 5 pascal 左右，所以一個同動力的 FFU 在同一個運作空間中，其產生的氣流會較易往低壓側流動，到時只有小部份在高壓側的氣流是否會送入如 Case 11 如圖 5-20 中所模擬出來的效果是值得懷疑的，此為現況倉儲的逆向工程還原幾何模型後所發現的疑慮。

綜合以上各種現實條件影響因子的探討後，歸納出如圖 5-22 中的四種可行方案幾何模型所示，並要從 Case 12、Case 13、Case 14、Case 15 中利用數值模擬，找出不同 FFU 安裝位置時該截面的流場分佈，由圖 5-23 中將各開孔板的開孔率明確標示出，各孔板的開孔率以不同顏色區分，因在 AMHS 倉儲中 Crane 走道兩側為儲位，故可視為對稱因此在圖中紅色中心線處設為對稱條件，以減少系統計算時間。

Case 12：由圖 5-24 可行方案 Case 12 及 Case 13 圖中上方 Case 12 流場分佈及切面處儲位流速圖，從儲位 Cassette 處切割截面得到之流速圖可發現，流過 Cassette 內面板玻璃間的氣流速度明顯不足，雖在上層

Cassette 的上緣有局部氣流超過 0.2m/s ，但全部總視察上、中、下三層約有 70% 在 0.1m/s 以下，且最上層的 Cassette 的下緣有出現 0m/s 以下的流速，此表示面板玻璃間有逆流存在。

Case 13：由圖 5-24 可行方案 Case 12 及 Case 13 圖中下方 Case 13 流場分佈及切面處儲位流速圖，因考量同一 FFU 跨在儲位內側與外側之情形，所以加入儲位外部開放空間(Class 1000 清淨度)之後，因儲位內側(Class 100 清淨度)壓力高於外部開放空間，所以 FFU 的氣流大部份往壓力較低的外部空間流動，這致使 Cassette 內的流場速度更低，流速僅剩 30% 不到在 0.1m/s 以上，逆流現象仍然存在，儲放的面板玻璃面恐有遭微塵粒子污染之處。

所以當在只是部份 FFU 覆蓋儲位上方時，其氣流場的動能是不足，此對面板玻璃面的保護是無法達到的。

Case 14：由圖 5-25 可行方案 Case 14 及 Case 15 圖中上方 Case 14 流場分佈及切面處儲位流速圖，當 FFU 以完全佈滿的覆蓋之後，受到流量增加的影響，流過 Cassette 的流場流速得以提升，甚至在最上層 Cassette 的上緣處有超過 0.3m/s 的流速發生，理想的面板玻璃流速是在 0.1m/s 到 0.2m/s 之間，若太小則無法達到保護玻璃面的免受污染，若太大則會浪費運轉及維護費，因濾網更換的頻率會被提高，且有負值的流速出現在上層 Cassette 的下緣，此逆流現象有不利於面板存放之風險存在的可能。

Case 15：由圖 5-25 可行方案 Case 14 及 Case 15 圖中下方 Case 15 流場分佈及切面處儲位流速圖，儲位上方佈滿 FFU 後，加入外部的空間於幾何模型中，FFU 的氣流往低空間流動，但是因氣流流量增加，使 Cassette 內的氣流速度可以提升到 0.1m/s ，且最高的速度在 0.3m/s 以下，只可惜上層 Cassette 的下緣有 5%~10% 的逆流現象。

所以由 Case 12、Case 13、Case 14、Case 15 比較，得較佳的方式是 Case 15，也就是本研究之改善最佳的條件組合，雖於最上層 Cassette 下緣有逆流現

像，但因其靠近 FFU 所以微塵粒會是遠低於標準值，最後修正的幾何模型開孔率如圖 5-26 Final case 幾何模型及流場分佈圖中，上方最後幾何模型修正及開孔率圖所示，利用底部加以開孔限制(高架地板之開孔率)，即將倉儲中央 Crane 側的高架地板孔率降低設成 10% 中央 Crane 通道上方開孔板上升，縮短與 FFU 面之距離 100^{mm}，從儲位切面流速圖可看到約有 60% 以上的流速被提高到 0.1m/s ~ 0.2^{m/s} 之間，但相對也產生了最上層 Cassette 的逆流現象，唯一值得放心的是由於此處屬於空氣年齡極年輕段，所以可能累積的微塵粒會遠低於其他地方，除非 FFU 本身有問題或安裝不妥時，沒有發揮其該有的過濾功能，否則此處之微塵粒數應與 FFU 的出口相去不遠；另其逆流的速度又有接近 0.12^{m/s} 以上，故其流體亦是在期望的流速下移動，並非停滯不動，這些都是對於面板玻璃面有保持潔淨的功用。

故本研究最後得到結論是以 Final case 之條件為改善調機依據，並將三層 Cassette 移走後跑完數值模擬得到圖 5-27 Final case 移除 Cassette 後模擬結果圖之 Cassette 的流場分佈圖所示。

5.3 對策方案與改善結果

5.3.1 流場特性比較

由前節可行方案探討中最後得到一較可靠的方案為 Final case，並以此模擬結果資料與現場實際收集到之對應數據相互比對，由於有 Cassette 在儲位內將無法進行流速量測，所以先將 Cassette 從數值模擬的幾何模型中移走，進行數值模擬得到相關結果如圖 5-27、如圖 5-28，並於開孔板出風口處由模擬結果按圖 5-28 Final case 模擬結果及模擬數據取樣圖之下方，數值模擬流場孔板出口風速取樣位置圖之對應位置去抓取資料，如表 5-1 經描點繪製於表 4-4 後得到開孔板出口風速模擬值與實測值比較表出現，由左側之三個代表上中下的位置描繪出的表中，藍色線表示從現場實際量測到之值，紅色線為數值模擬後得到值，從表中可發現靠近上層、中層 Cassette 位置處兩條曲線較靠近，於下層

Cassette 位置處之值則有 $0.8^{m/s}$ 的偏離值，但線型走向趨勢一致度 90% 以上；這可能是量測時的量測者的操作儀器不良所造成的誤差，由此看數值模擬的孔板開孔率值經與現場值比對，雖非 100% 完全一致，但兩條曲線所呈現的走向趨勢或數值的近似度尚稱可以，因現場量測低速又在大空間的操作很難能達到 100% 正確(若測量高速時或許會較精準)，所以其提供解析的價值應該存在的。

另在氣流通過孔板後，受到整流及引導作用，則直接進入儲位空間中，現已將 Cassette 移走並按 Cassette 的位置分成 9 個區域，並利用透明釣魚線預先標示成相同格位，利用測速儀器量得表 4-5 之 Cassette 儲位風速實測值曲線，現以同樣的分割方式如圖 4-3 現場流場風速實測位置圖的 Cassette 量測位置所示，在數值模擬後的模擬資料中抓取出如表 5-2 Cassette 內九宮格風速數值模擬的數據資料，並將其描繪到表 4-5 中得一曲線比較表，如表 5-2 Cassette 內九宮格風速數值實測比較表，表中所呈現的紅色與藍色曲線，同樣在上層、中層 Cassette 位置時兩線呈 90% 相似的重合，在下層 Cassette 的兩線則如同開孔板的情況一樣，數值有 $0.4^{m/s}$ 之偏離，但走向趨勢完全一致，由以上的孔板出口風速曲線與 Cassette 儲位九宮格位置風速曲線的比較分析，整體結果現場實測與數值模擬之結論是可信賴的。

5.3.2 空氣年齡比較

在數值模擬中按 Class 100 清淨度的標準，如表 2-2 Fed-std-209E 潔淨度定義，在 1^{m^3} 的空間中 $0.3\mu m$ 粒度的微塵粒需小於 10,600 個，轉換成 $1 ft^3$ 時僅能允許最多 300 個存在， $0.5\mu m$ 粒度的微塵粒在 1^{m^3} 空間中須少於 3,530 個，轉換成 $1 ft^3$ 時僅允許最多 100 個存在，今在數值模擬中因儲位空間均大於 1^{m^3} ，所以從 FFU 處施放大約等量於 1^{m^3} 的空間的微塵粒均分成 188 團施放如圖 5-29 微粒子釋放模擬圖 1/6 所示，粒子離開 FFU 後分成三大主流，一為直接由 Crane 走道無儲位阻擋的地方直洩而下進入出口離開倉儲空間，二為由壓力較小的外界空間處排出，佔約 1/3 的量，另一股則由通風管道直接流入如圖 5-29 微粒子釋放模擬圖 2/6，最後隨着氣流從下方孔板穿過進入 Cassette 所屬空間(因此時

並沒有放入 Cassette)，往出口流出，未到達出口之前在下層、中層 Cassette 處隨着經孔板整流後的氣流水平吹向 Crane 通道，如圖 5-20 微粒子釋放模擬圖 4/6 示，此時走 Crane 通道的第一股粒子已接近 100%通過此二層，由出口離開儲位空間；但在圖 5-30 微粒子釋放模擬圖 3/6 中，可在上層 Cassette 正上方看到一個被由 Crane 通道吹向開孔板的逆向氣流載動之粒子，正向開孔板方向運動中如紅框之標示處，最後由儲位空間穿過開孔板進入氣流通道，在往下移動並經開孔板再次回到上層 Cassette 儲位空間中如圖 5-31 微粒子釋放模擬圖 5/6，最後由 Crane 通道向出口移動如圖 5-31 微粒子釋放模擬圖 6/6，此時整個倉儲中完全看不到其他粒子存在，表示這個逆流的粒子是最後一個離開倉儲的；經查看其時間資料，由施放粒子開始到最後一個排出總共時間是 48^{sec}，表示在此倉儲模型空間中年齡最老的是 48^{sec}，雖在此 48^{sec} 內隨時都會有粒子會繼續施放，若 FFU 失靈或儲位外封板密封性不佳時則會有影響清淨品質的粒子被排入儲位中，若上述之狀況不存在則以 48^{sec} 之空氣年齡是屬合理，一般業界在 Class 100 清淨等級中空氣年齡(LMA)是被允許在 45~72^{sec} 之間皆屬合理如表 2-3 所載。

實際由最後的微塵粒數現場量測值中可加以比較，一般 FFU 的施作完成後，孔板開孔率調整對位，經過 24^{hr} 的空轉啟動後，會以 Particle Counter 進入倉儲空間中隨機量測 Particle 的實際存數如表 5-3，表 5-4，按圖 5-32 的 Layout 中倉儲是跨在 LCD 前段製程中的白光區及黃光區量測得到數值，其中白光區 11、白光區 12、黃光區 08、黃光區 09、黃光區 10、黃光區 11 均有超高 Particle 量且亦有超出 0.5 μ m 的粒子出現，經現場人員對天花板上的 FFU 出口面進行逐一掃瞄檢查，發現這些區域因在執行 75%提升到 100% FFU 佈滿施工中，並無可供走行之通道如圖 3-1 FFU 之佈放相片，所以工作人員均踩踏於 FFU 上方，造成 FFU 之濾網受損而失去功能，經全數不良品更換後，再執行量測得表 5-5 之數值，此即為 FFU 佈滿後按數值模擬得到的孔板開孔率數據值調整孔板位置，形成所需的孔率，所得到的改善結果。

另業者在接續的使用期間亦持續進行 Particle Counter 的監控，附表 5-6、

表 5-7、表 5-8 為其長期監控的部份量測資料，從其 $x+1$ 天、 $x+3$ 天、 $x+5$ 天、 $x+7$ 天、 $x+9$ 天之監看分佈，此段監看期前後有 10 天，在這 10 天中，Particle 均有合理的變化成長此應屬合理，其中第 $x+3$ 天的黃光 3 有出現 $0.3\mu\text{m}$ ，556 顆，此屬由製程污染帶回倉儲內(因前 $x+1$ 天，後 $x+5$ 天並未出現)，所以本次研究之改善得到不錯之效果，此證明數值模擬在改善上有其實質效益存在，最後整理本研究的改善過程如表 5-1 所示。

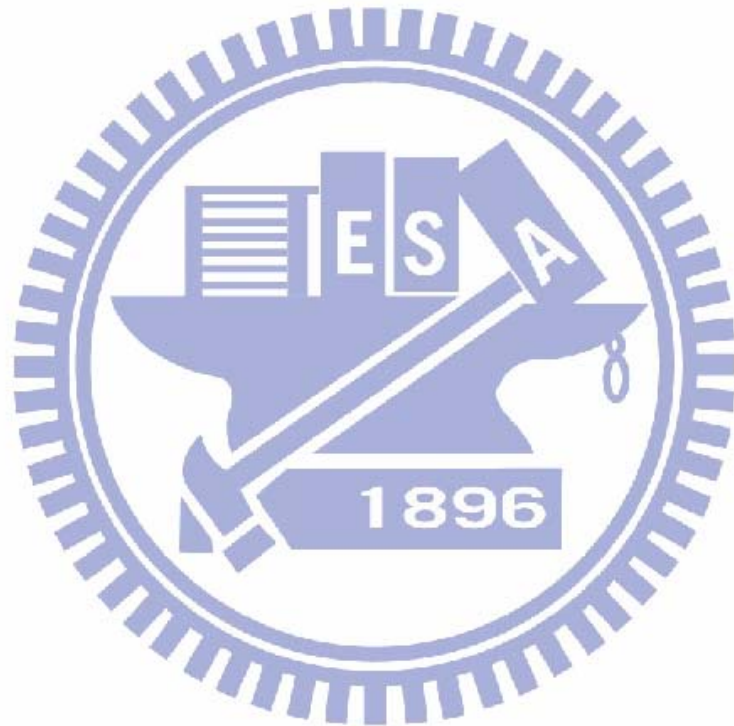


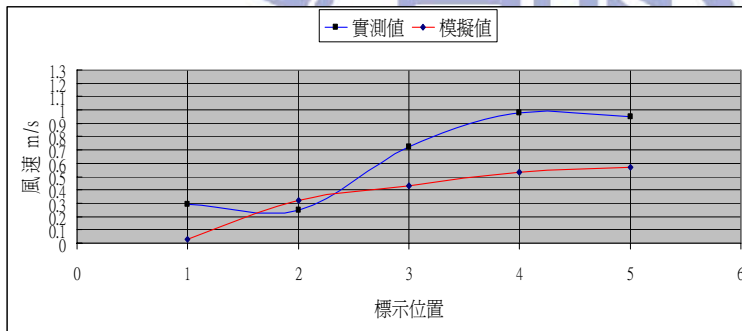
表 5-1 開孔板出口風速模擬值與實測值比較表(m/s)

test1.txt - 記事本

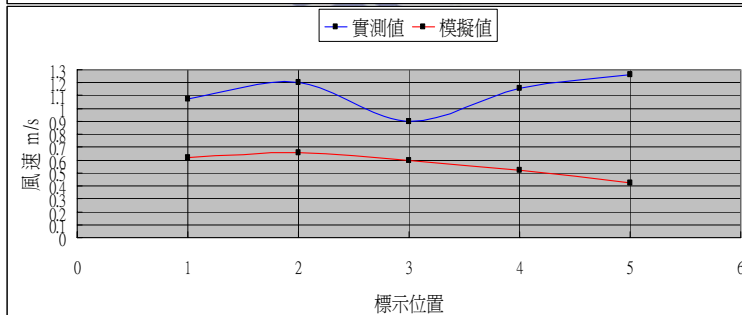
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

VARIABLES =

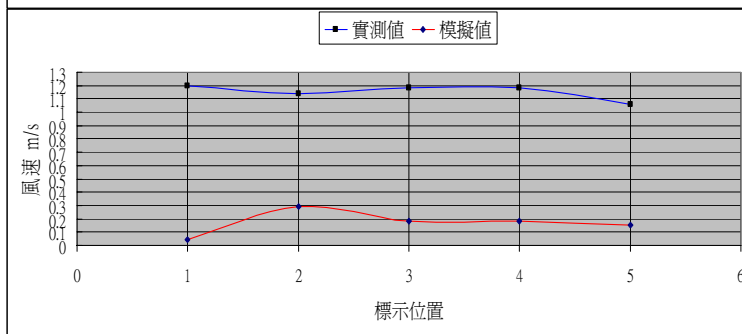
"X",	"Y",	"Z",	"mag('velocity')",	"pressure",	"u-velocity",	"v-velocity",	"w-velocity"
2.34	1.215	0	0.0314268	0.429238	-0.0186615	0.00524692	0
2.34	1.435	0	0.317687	0.461017	-0.202236	-0.244981	0
2.34	1.655	0	0.42623	0.460007	-0.193208	-0.379914	0
2.34	1.875	0	0.530039	0.433412	-0.186792	-0.49603	0
2.34	2.095	0	0.574612	0.402489	-0.171761	-0.548335	0
2.34	2.5	0	0.619427	0.317659	-0.0936285	-0.61227	0
2.34	2.72	0	0.663111	0.308401	-0.203387	-0.631149	0
2.34	2.94	0	0.603746	0.315112	-0.187991	-0.573732	0
2.34	3.16	0	0.52183	0.314462	-0.167776	-0.494123	0
2.34	3.38	0	0.417876	0.315273	-0.145245	-0.391822	0
2.34	3.804	0	0.0429001	0.32394	0.0369696	-0.0212411	0
2.34	4.024	0	0.285243	0.29632	-0.235012	0.161187	0
2.34	4.244	0	0.179583	0.262271	0.0979118	0.149758	0
2.34	4.464	0	0.182662	0.317763	0.133799	0.124274	0
2.34	4.684	0	0.14694	0.330449	0.14056	0.0425025	0



	1	2	3	4	5	6
位置	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	
實測值	0.29	0.25	0.72	0.98	0.95	
模擬值	0.03	0.32	0.43	0.53	0.57	



	1	2	3	4	5	6
位置	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	
實測值	1.07	1.2	0.9	1.16	1.26	
模擬值	0.62	0.66	0.6	0.52	0.42	



	1	2	3	4	5	6
位置	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	
實測值	1.2	1.14	1.18	1.18	1.06	
模擬值	0.043	0.29	0.18	0.18	0.15	

表 5-2 Cassette 內九宮格風速數值模擬與實測值比較表

cst.txt - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

```

VARIABLES =
"X",      "Y",      "Z",      "mag('velocity')",  "pressure",  "U-velocity",  "V-velocity",
2.148    4.703    0         0.0899789          0.341514    0.0426445    0.0791998
2.148    4.35    0         0.210757          0.315869    0.0545894    0.203553
2.148    3.997    0         0.137171          0.3276     -0.000741536  0.137108

2.148    3.293    0         0.0759572         0.315543    -0.0233768   -0.0722654
2.148    2.94    0         0.318016          0.316519    -0.101999    -0.201214
2.148    2.587    0         0.49345           0.324843    -0.141115    -0.472841

2.148    1.883    0         0.479             0.40904     -0.201928    -0.435346
2.148    1.53    0         0.513657         0.435413    -0.280509    -0.430297
2.148    1.177    0         0.368774         0.430983    -0.224099    -0.292872

1.704    4.703    0         0.128983          0.328983    -0.112931    0.0622493
1.704    4.35    0         0.130967          0.311815    -0.0352822   0.126098
1.704    3.997    0         0.161499          0.305621    0.0258159    0.159417

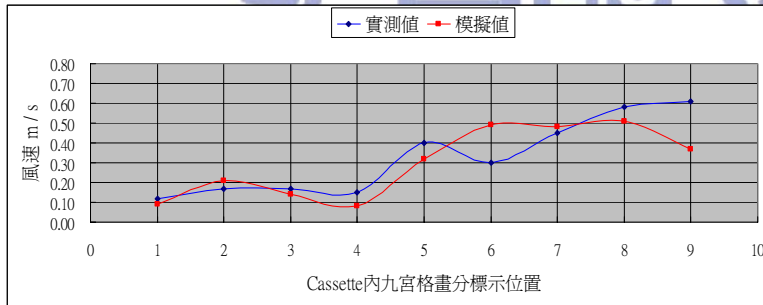
1.704    3.293    0         0.228708          0.317246    0.0908626    0.209883
1.704    2.94    0         0.223961          0.325922    0.0734478    0.211574
1.704    2.587    0         0.161945          0.337002    0.0244764    0.160077

1.704    1.883    0         0.15494           0.386354    -0.109027    -0.110042
1.704    1.53    0         0.374947         0.400899    -0.217181    -0.305642
1.704    1.177    0         0.514079         0.408322    -0.325066    -0.398256

1.26     4.703    0         0.139961          0.326445    -0.126815    -0.0591348
1.26     4.35    0         0.107397          0.307722    -0.0596417   -0.0892699
1.26     3.997    0         0.08274           0.301359    -0.00281616  -0.0826831

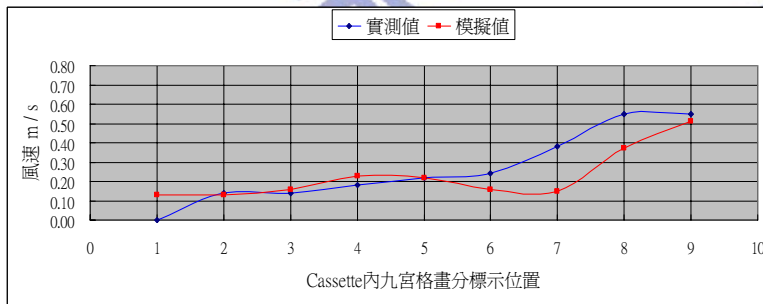
1.26     3.293    0         0.0614604         0.319819    0.0548543    -0.0273128
1.26     2.94    0         0.0519038         0.334457    0.0516522    0.00148062
1.26     2.587    0         0.0413051         0.3488     0.0385722    0.0139588

1.26     1.883    0         0.0308303         0.377769    0.0298128    0.00544821
1.26     1.53    0         0.0331413         0.389831    0.0215348    -0.0250277
1.26     1.177    0         0.25283           0.387942    -0.152424    -0.201702
    
```



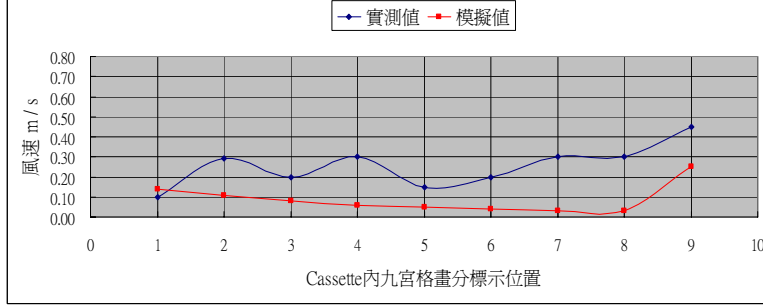
儲位 z = 0 mm, x=2148 mm 層 m/s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	U-9	U-6	U-3	M-9	M-6	M-3	D-9	D-6	D-3
實測值	0.12	0.17	0.17	0.15	0.40	0.30	0.45	0.58	0.61
模擬值	0.09	0.21	0.14	0.08	0.32	0.49	0.48	0.51	0.37



儲位 z = 0 mm, x=1704 mm 層 m/s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	U-8	U-5	U-2	M-8	M-5	M-2	D-8	D-5	D-2
實測值	0.00	0.14	0.14	0.18	0.22	0.24	0.38	0.55	0.55
模擬值	0.13	0.13	0.16	0.23	0.22	0.16	0.15	0.37	0.51



儲位 z = 0 mm, x=1260 mm 層 m/s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	U-7	U-4	U-1	M-7	M-4	M-1	D-7	D-4	D-1
實測值	0.10	0.29	0.20	0.30	0.15	0.20	0.30	0.30	0.45
模擬值	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.25

表 5-3 微塵粒洩漏量測結果(白光區)

白光區

	0.3 μ m	0.5 μ m	0.7 μ m	1.0 μ m
白光區01	9	0	0	0
	17	2	0	0
白光區02	34	4	0	0
	21	5	0	0
白光區03	17	2	0	0
	16	1	0	0
白光區04	6	1	0	0
	8	2	0	0
白光區05	5	2	0	0
	6	1	0	0
白光區06	2	0	0	0
	1	0	0	0
白光區07	1	0	0	0
	0	0	0	0
白光區08	0	0	0	0
	0	0	0	0
白光區09	2	0	0	0
	0	0	0	0
白光區10	0	0	0	0
	0	0	0	0
白光區11	646	48	19	8
	512	49	12	8
白光區12	448	76	22	10
	316	38	10	5
白光區13	12	3	0	0
	32	6	0	0

表 5-4 微塵粒洩漏量測結果(黃光區)

黃光區

	0.3μm	0.5μm	0.7μm	1.0μm
黃光區01	5	0	0	0
	7	1	0	0
黃光區02	10	2	0	0
	1	0	0	0
黃光區03	15	0	0	0
	4	0	0	0
黃光區04	5	1	0	0
	3	0	0	0
黃光區05	1	0	0	0
	1	0	0	0
黃光區06	2	0	0	0
	12	1	0	0
黃光區07	0	0	0	0
	0	0	0	0
黃光區08	72	6	2	1
	48	8	5	2
黃光區09	248	10	2	1
	320	10	1	3
黃光區10	306	8	5	1
	312	9	2	0
黃光區11	348	16	3	2
	316	8	5	2
黃光區12	60	9	4	0
	2	1	0	1
黃光區13	9	0	1	0
	10	3	0	0
黃光區14	7	1	1	2
	7	0	0	0

表 5-5 微塵粒洩漏量測結果(更換後)

未合格區域重新進行量測，由於新增入口條件之 FFU 未組裝確實以及濾網損害導致未符合 Class 100 規格，經調整及更換後之數值如下

	0.3 μ m	0.5 μ m	0.7 μ m	1.0 μ m
白光區11	23	2	0	0
	33	1	0	0
白光區12	12	1	0	0
	18	2	0	0
黃光區08	26	3	1	0
	29	5	0	0
黃光區09	15	3	1	0
	23	3	1	0
黃光區10	8	0	0	0
	8	0	0	0
黃光區11	31	2	0	0
	16	3	0	0



表 5-6 Particle Counter 量測記錄表

長期監測量測結果 Particle Counter 量測記錄表

第 x+1 天						
Stocker內測量點	量測結果					
	0.3μm	0.5μm	0.7μm	1μm	5μm	10μm
黃光 1	45	1	1	0	0	0
黃光 2	2	0	0	0	0	0
黃光 3	9	0	0	0	0	0
黃光 4	0	0	0	0	0	0
黃光 5	9	1	0	0	0	0
白光 1	21	7	3	0	0	0
白光 2	2	1	0	0	0	0
白光 3	16	1	0	0	0	0
白光 4	0	0	0	0	0	0

第 x+3 天						
Stocker內測量點	量測結果					
	0.3μm	0.5μm	0.7μm	1μm	5μm	10μm
黃光 1	1	1	0	0	0	0
黃光 2	7	0	0	0	0	0
黃光 3	556	38	17	0	0	0
黃光 4	0	0	0	0	0	0
黃光 5	3	0	0	0	0	0
白光 1	2	0	0	0	0	0
白光 2	0	0	0	0	0	0
白光 3	17	2	2	0	0	0
白光 4	0	0	0	0	0	0

表 5-7 Particle Counter 量測記錄表

第 x+5 天						
Stocker內測量點	量測結果					
	0.3 μ m	0.5 μ m	0.7 μ m	1 μ m	5 μ m	10 μ m
黃光 1	3	0	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
黃光 2	8	0	0	0	0	0
	5	1	0	0	0	0
黃光 3	10	2	2	0	0	0
	23	1	1	0	0	0
黃光 4	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
黃光 5	4	1	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0
白光 1	5	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
白光 2	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
白光 3	9	0	0	0	0	0
	36	0	0	0	0	0
白光 4	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0

第 x+7 天						
Stocker內測量點	量測結果					
	0.3 μ m	0.5 μ m	0.7 μ m	1 μ m	5 μ m	10 μ m
黃光 1	2	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
黃光 2	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
黃光 3	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0
黃光 4	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
黃光 5	6	0	0	0	0	0
	7	1	0	0	0	0
白光 1	15	2	0	0	0	0
	20	3	0	0	0	0
白光 2	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
白光 3	8	2	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0
白光 4	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0

表 5-8 Particle Counter 量測記錄表

第 x+9 天						
Stocker內測量點	量測結果					
	0.3 μ m	0.5 μ m	0.7 μ m	1 μ m	5 μ m	10 μ m
黃光 1	5	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0
黃光 2	4	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0
黃光 3	9	2	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
黃光 4	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
黃光 5	8	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
白光 1	67	4	1	0	0	0
	74	3	0	0	0	0
白光 1(複測)	15	1	0	0	0	0
白光 2	2	2	2	0	0	0
	1	0	0	0	0	0
白光 3	15	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
白光 3(複測)	2	0	0	0	0	0
白光 4	5	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0

表 5-9 改善研究過程表

順序	目的	過程	結果
1	固定入口風速找合適的孔板開孔率	Case 1 : P ₂ =25%, P ₃ =50%, P ₅ =25%, P ₇ =18%, P ₁₀ =30% Case 2 : P ₂ =25%, P ₃ =50%, P ₅ =15%, P ₇ =5%, P ₁₀ =30% Case 3 : P ₂ =25%, P ₃ =30%, P ₅ =10%, P ₇ =5%, P ₁₀ =30% FFU 入口 V=0.38 ^{m/s}	Case 4 , 導流板 P ₂ =10%, P ₃ =30%, P ₅ =10% P ₇ =5%, P ₁₀ =30%
2	以Case 4 FFU入口風速V=0.46 ^{m/s} 找到合適之幾何模型及孔率	將前步驟之結果用FFU V=0.46 ^{m/s} 跑數值模擬	得修正開孔率 P ₂ =10%, P ₃ =30%, P ₅ =10% P ₇ =7.5%, P ₁₀ =30% 加入Cassette上, 下板於幾何模型中
3	以順序 2 之結果, 固定開孔率變化找到較適之FFU入口速度值	Case 5 : FFU V=0.31 ^{m/s} Case 6 : FFU V=0.35 ^{m/s} Case 7 : FFU V=0.38 ^{m/s} Case 8 : FFU V=0.46 ^{m/s}	Case 6 為較適之條件 P ₂ =10%, P ₃ =30%, P ₅ =10% P ₇ =7.5%, P ₁₀ =30% FFU V=0.35 ^{m/s}
4	加入現況儲位與FFU 錯位現象效應影響分析, 找出可行方案	利用順序 3 之結果開孔率及 FFU 入口速度執行截面A, 截面B, 截面C 三種不同FFU安裝方式跑數值模擬	得截面A, 截面C的FFU安裝方式進行儲位內外壓差效應考量之Case12, Case13, Case 14, Case15 四種可行方案
5	儲位內外壓差效應影響評估找到最適邊界條件	FFU 之入口風速固定 V=0.35 ^{m/s} 跑 Case 12, Case 13, Case 14, Case 15	得幾何外型局部修正, 開孔率P ₂ =10%, P ₃ =30%, P ₅ =10%, P ₇ =7.5%, P ₁₀ =10% 加入開放空間之模型 Final case
6	以 Final case 之條件執行數值軟體模擬後再移走Cassette 找到可量測之模擬值	先 Run 完含有 Cassette 之 Final case 數值模擬, 再將Cassette 由倉儲內移走, 再 Run 數值模擬一次, 利用九宮格標位方式量得模擬值及開孔板座標定位量得模擬值	得表5-1, 表5-2 之結果曲線比較圖
7	找出空氣年齡LMA值比較解讀	利用軟體之 Particle 釋放功能找出 LMA 值=48 ^{sec}	空氣年齡合於業界水準 45 ^{sec} ~72 ^{sec} 結果屬可信賴

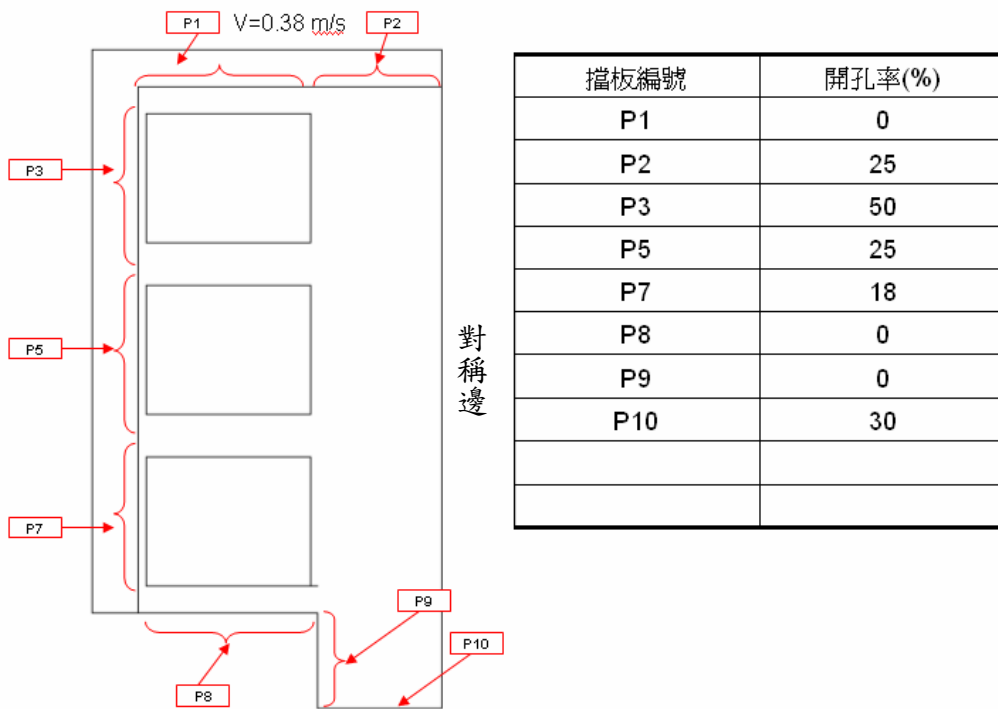


圖 5-1 Case 1 孔板開孔率標示圖



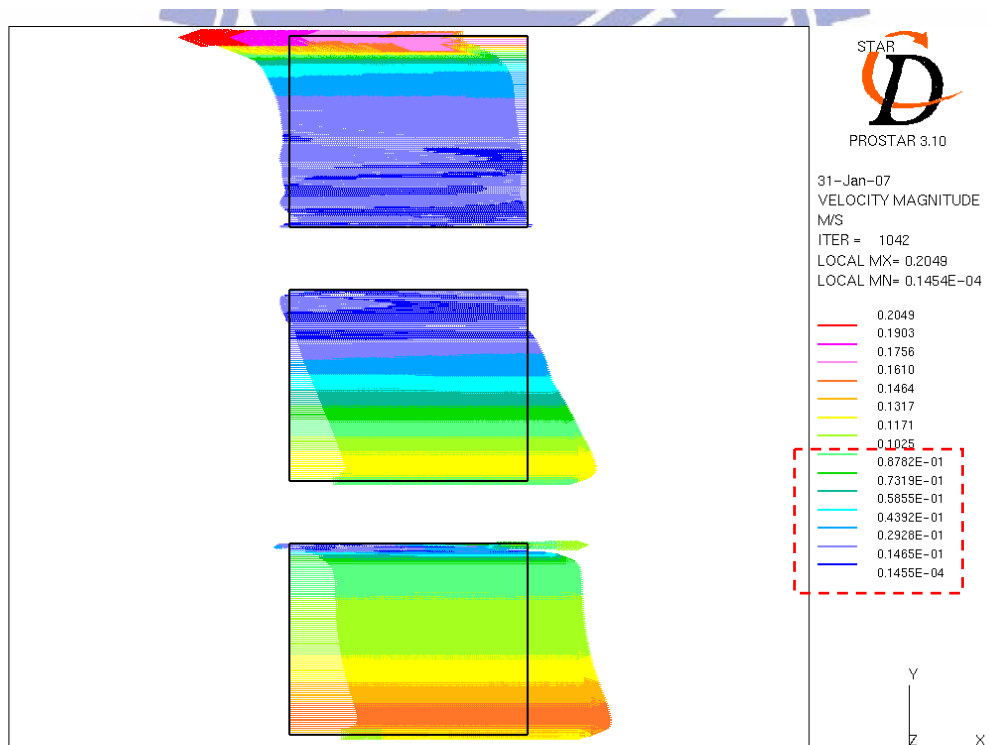
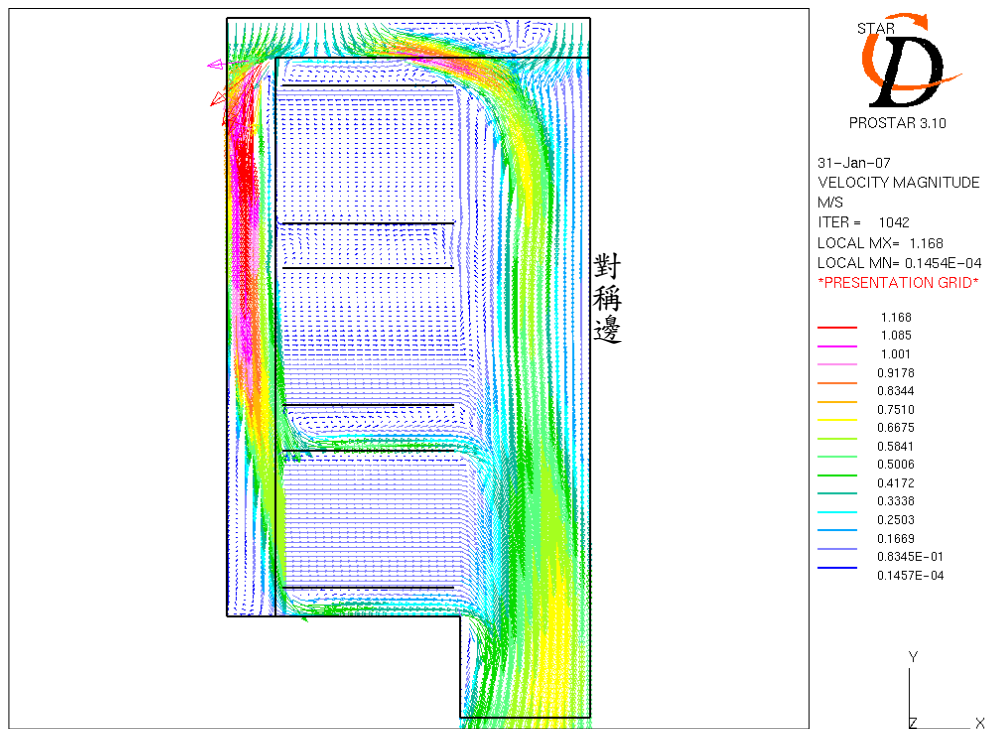


圖 5-2 Case 1 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

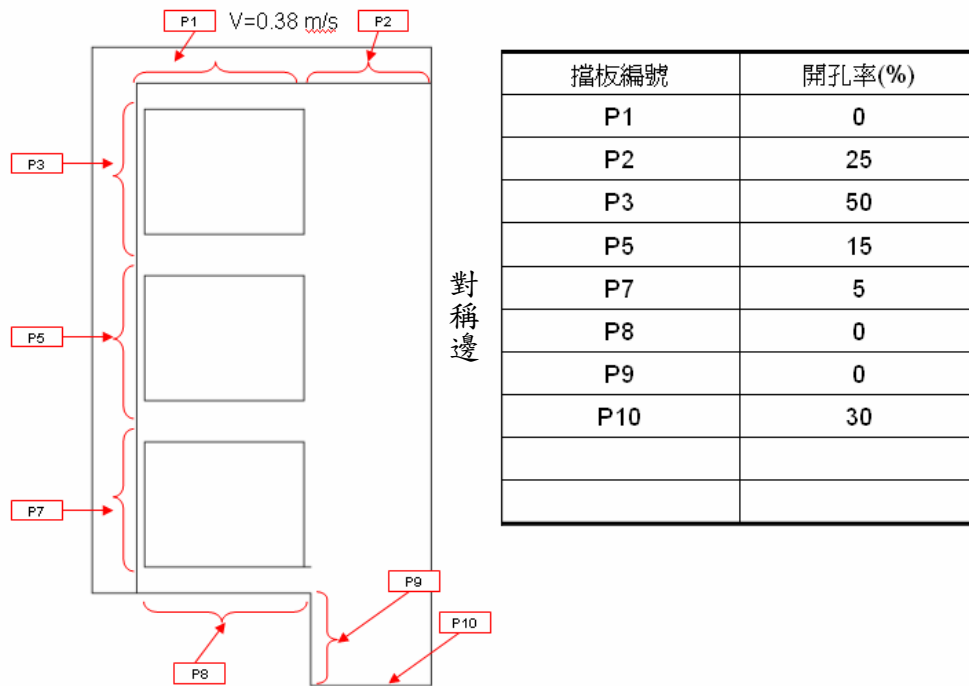


圖 5-3 Case 2 孔板開孔率標示圖

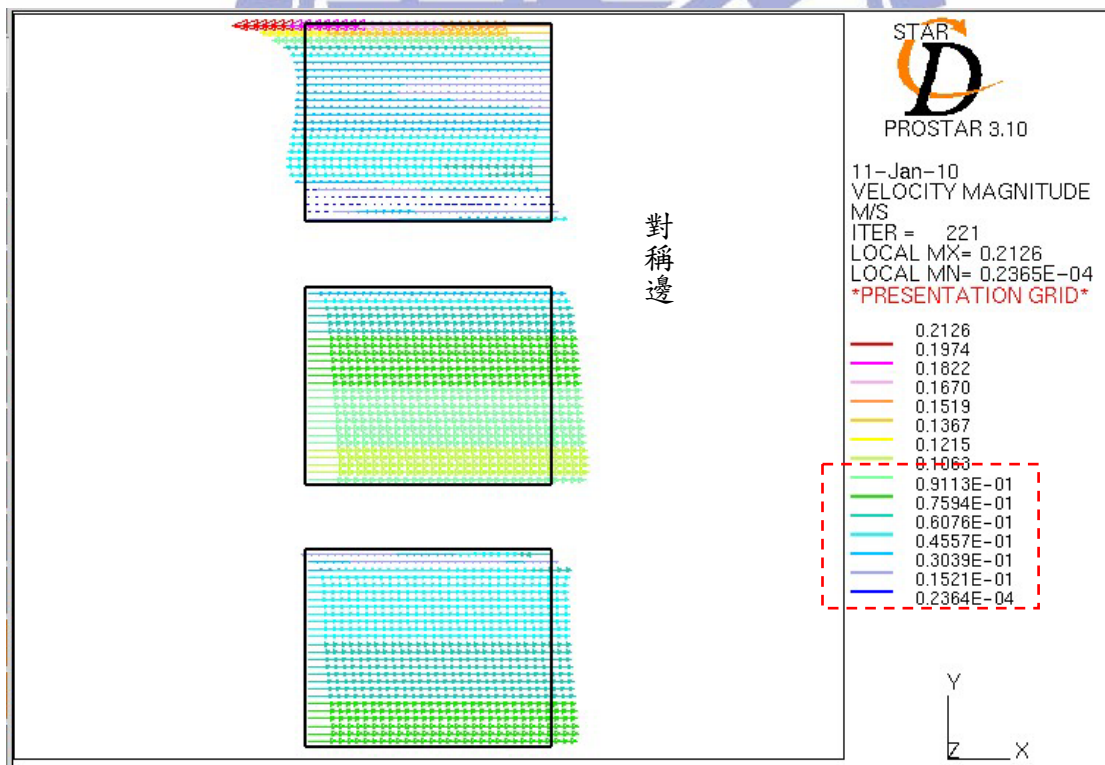
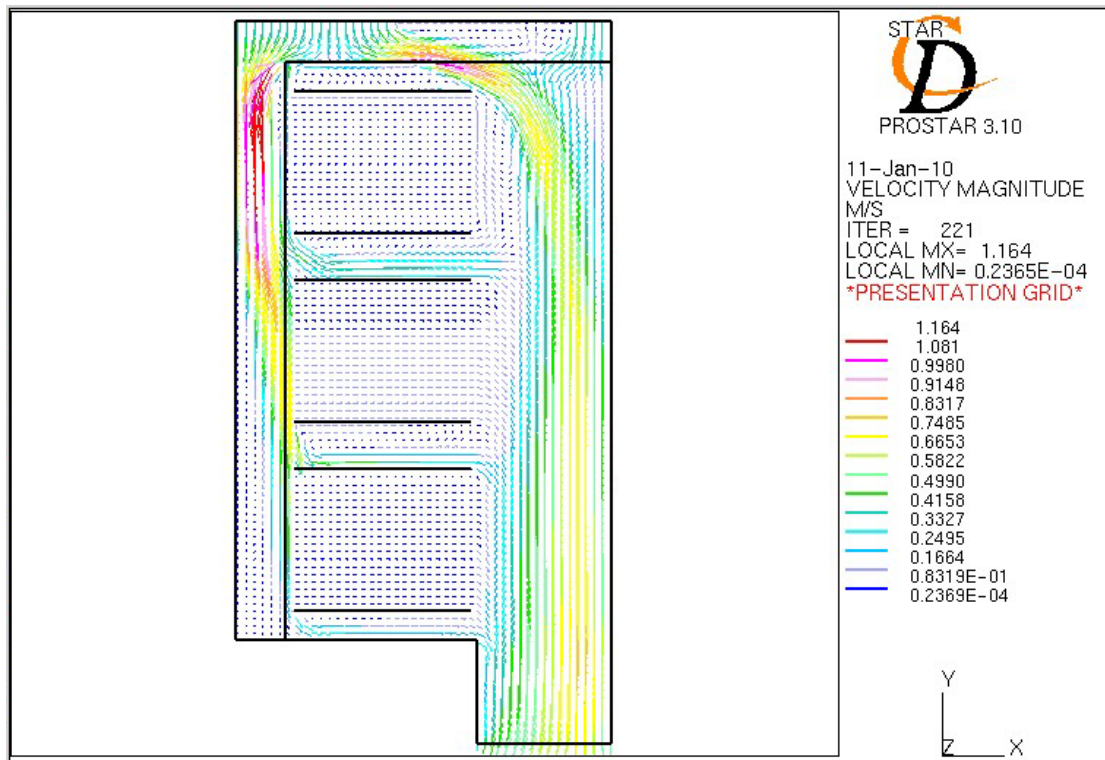
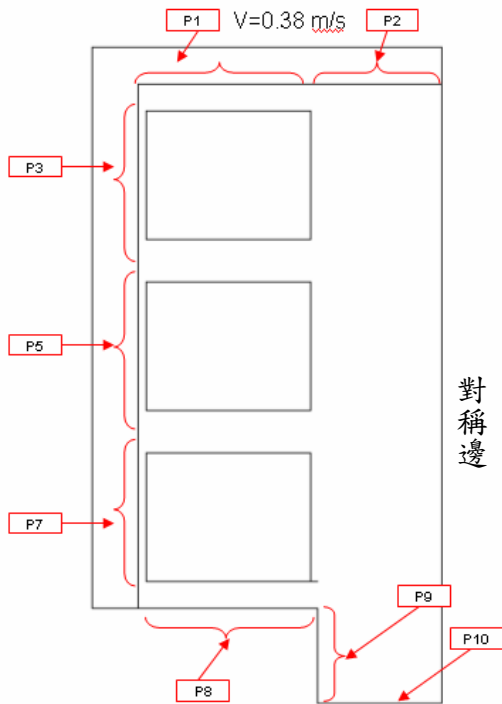


圖 5-4 Case 2 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖



擋板編號	開孔率(%)
P1	0
P2	25
P3	60
P5	12
P7	5
P8	0
P9	0
P10	30



圖 5-5 Case 3 孔板開孔率標示圖

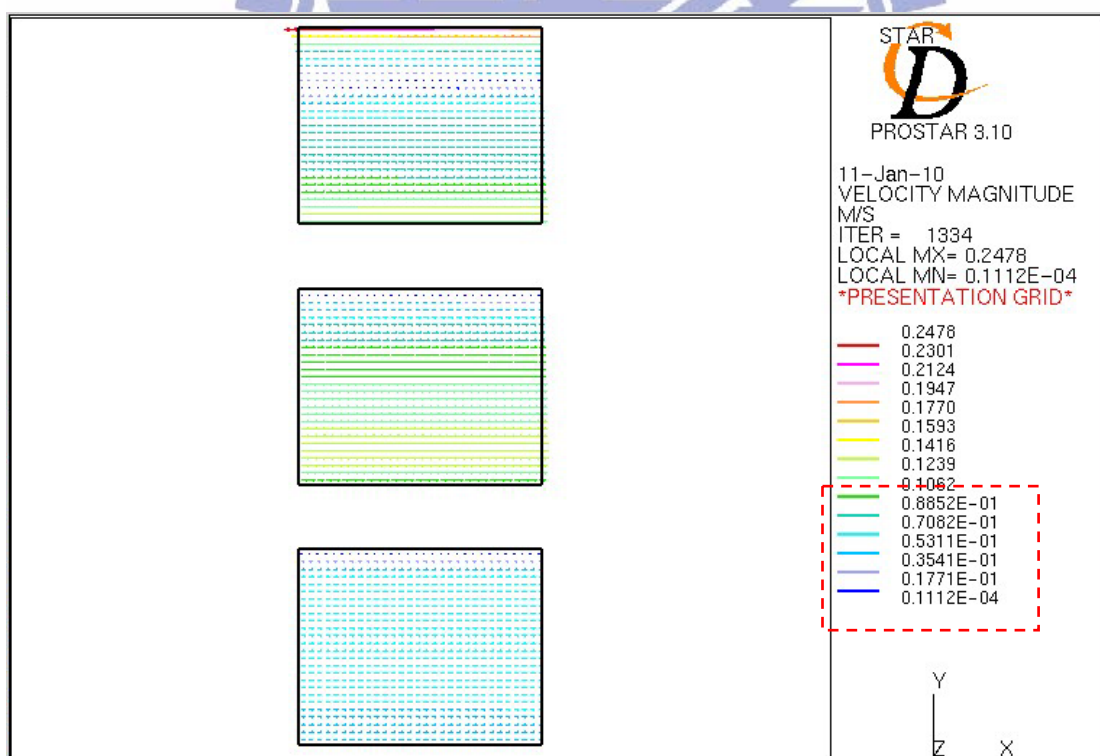
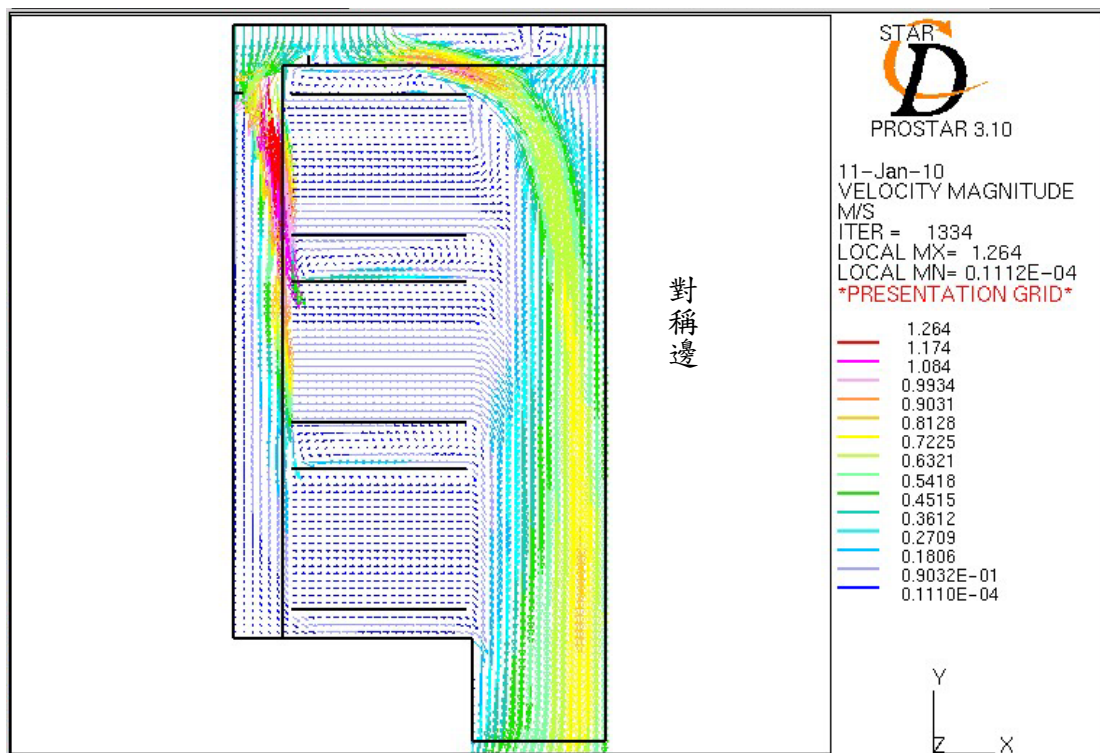


圖 5-6 Case 3 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

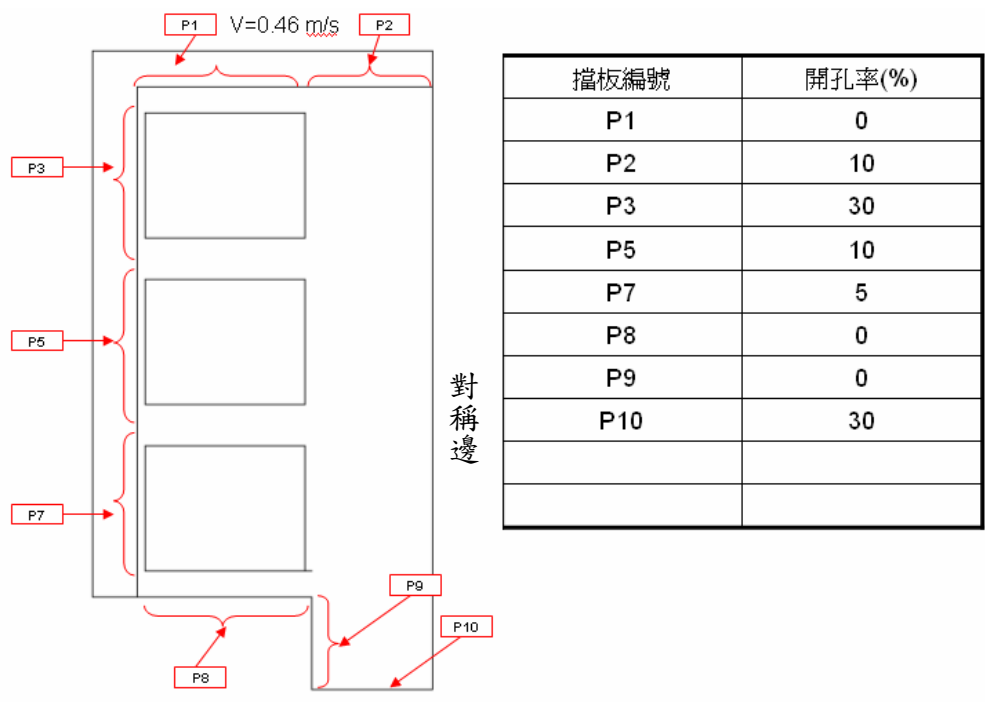
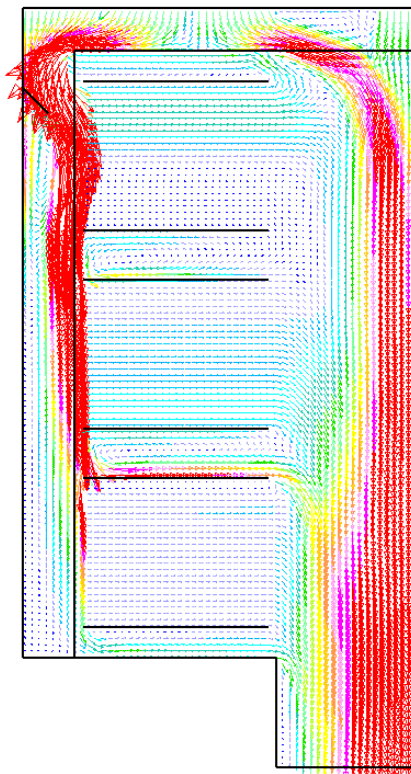


圖 5-7 Case 4 孔板開孔率標示圖

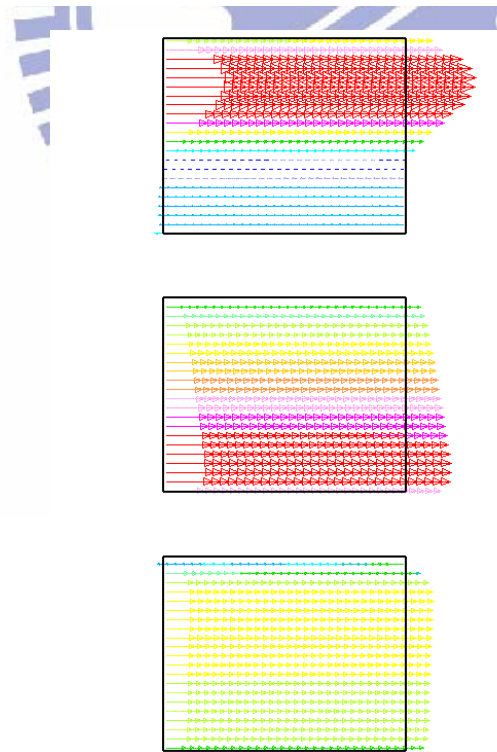
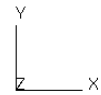


對稱邊



19-Apr-07
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
ITER = 191
LOCAL MX= 3.037
LOCAL MN= 0.6081E-03
PRESENTATION GRID

- 1.000
- 0.9286
- 0.8571
- 0.7857
- 0.7143
- 0.6429
- 0.5714
- 0.5000
- 0.4286
- 0.3571
- 0.2857
- 0.2143
- 0.1429
- 0.7143E-01
- 0.4470E-07

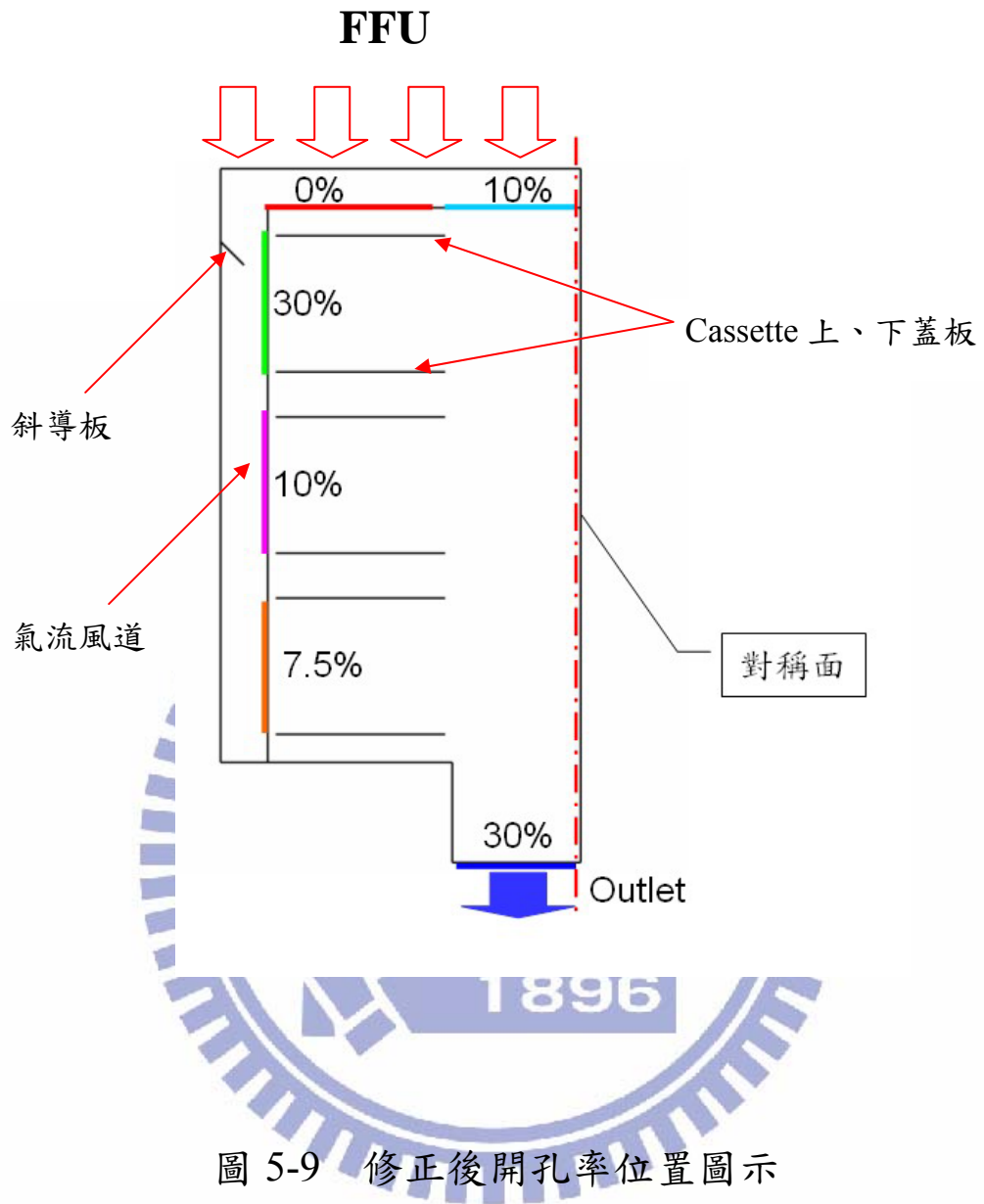


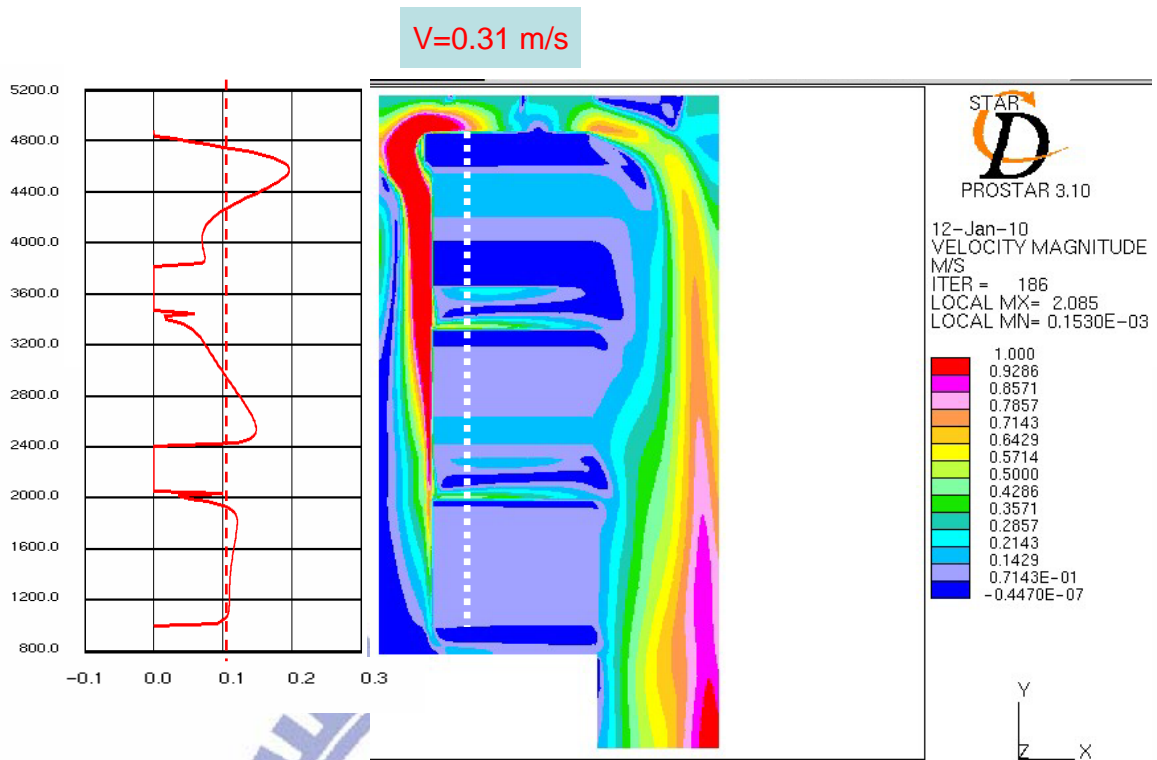
22-Apr-07
VELOCITY MAGNITUDE
M/S
ITER = 191
LOCAL MX= 0.3517
LOCAL MN= 0.6944E-03
PRESENTATION GRID

- 0.2270
- 0.2108
- 0.1946
- 0.1784
- 0.1621
- 0.1459
- 0.1297
- 0.1135
- 0.9729E-01
- 0.8107E-01
- 0.6486E-01
- 0.4864E-01
- 0.3243E-01
- 0.1621E-01
- 0.7451E-08

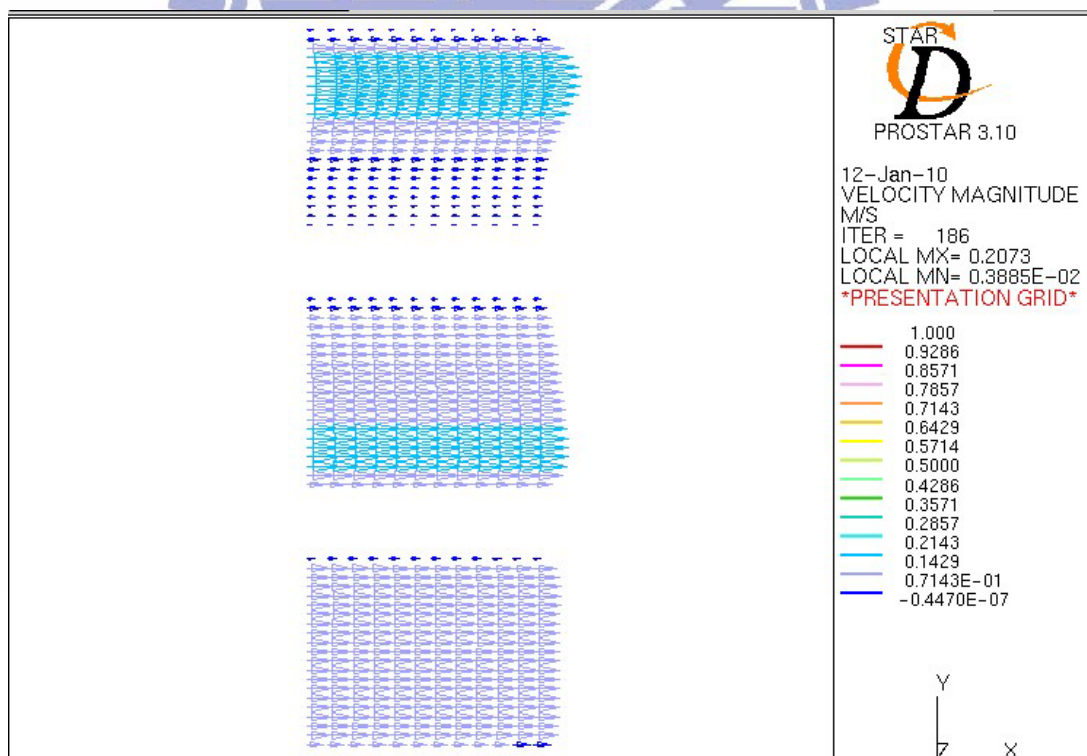


圖 5-8 Case 4 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖



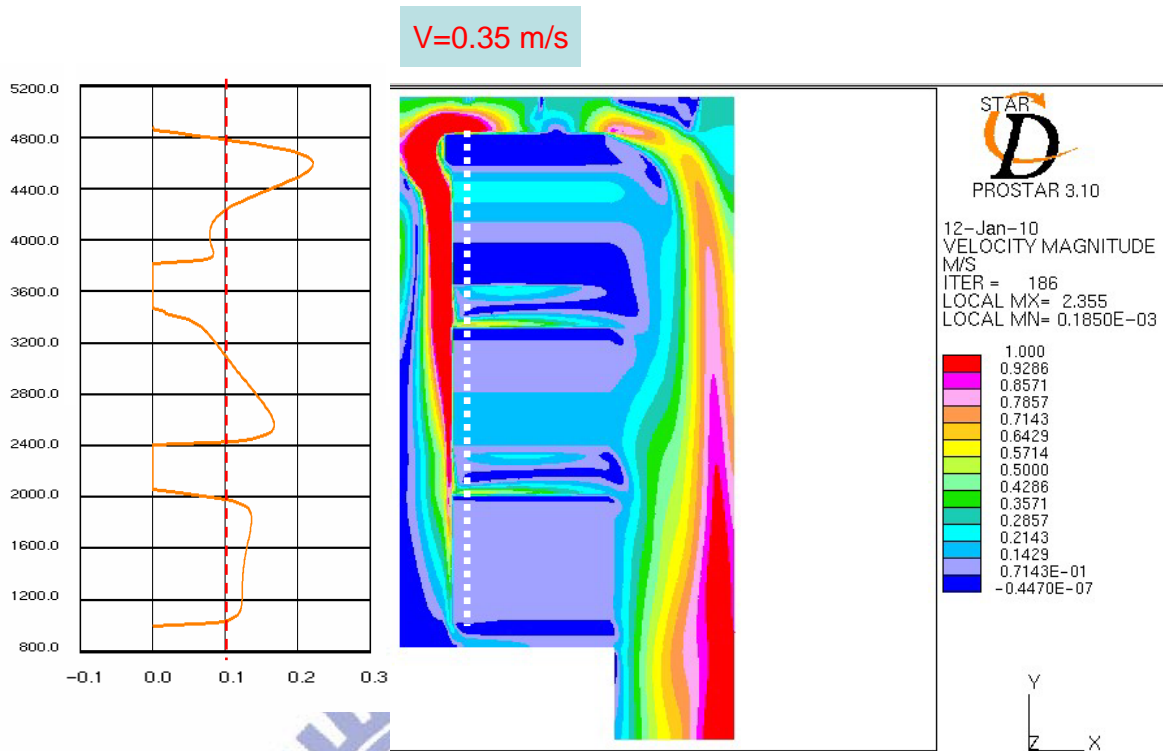


流場分佈及切面處儲位流速圖

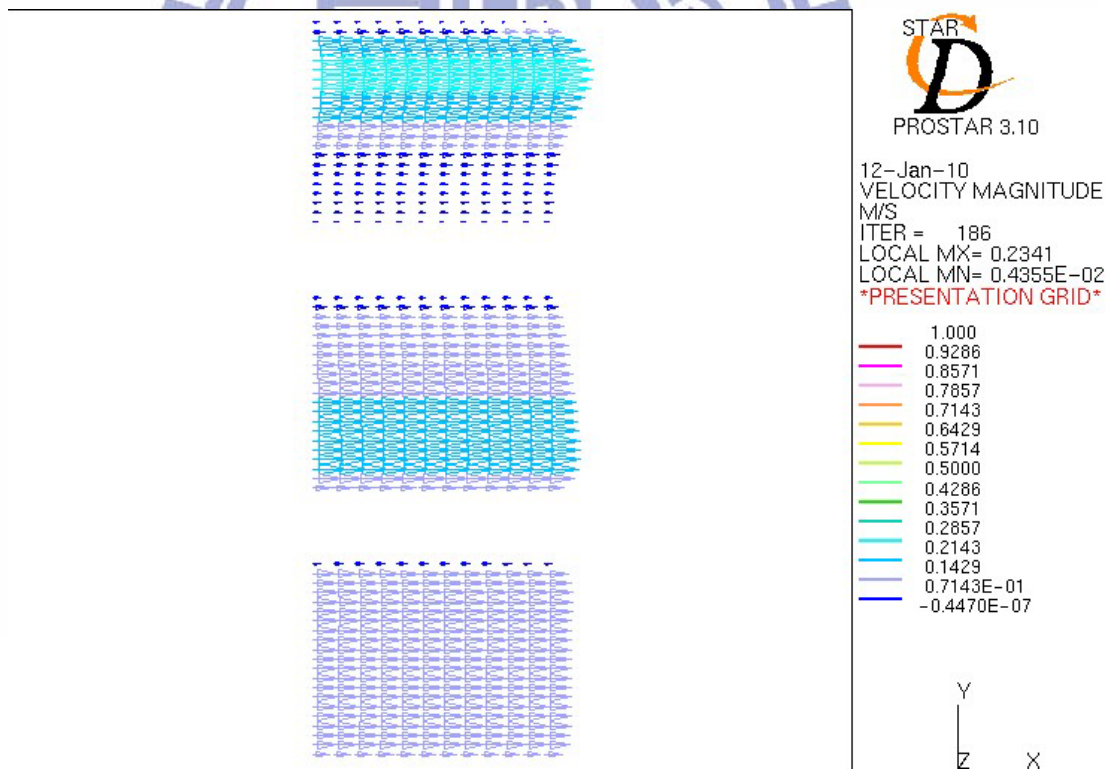


Cassette 內部流場詳圖

圖 5-10 Case 5 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

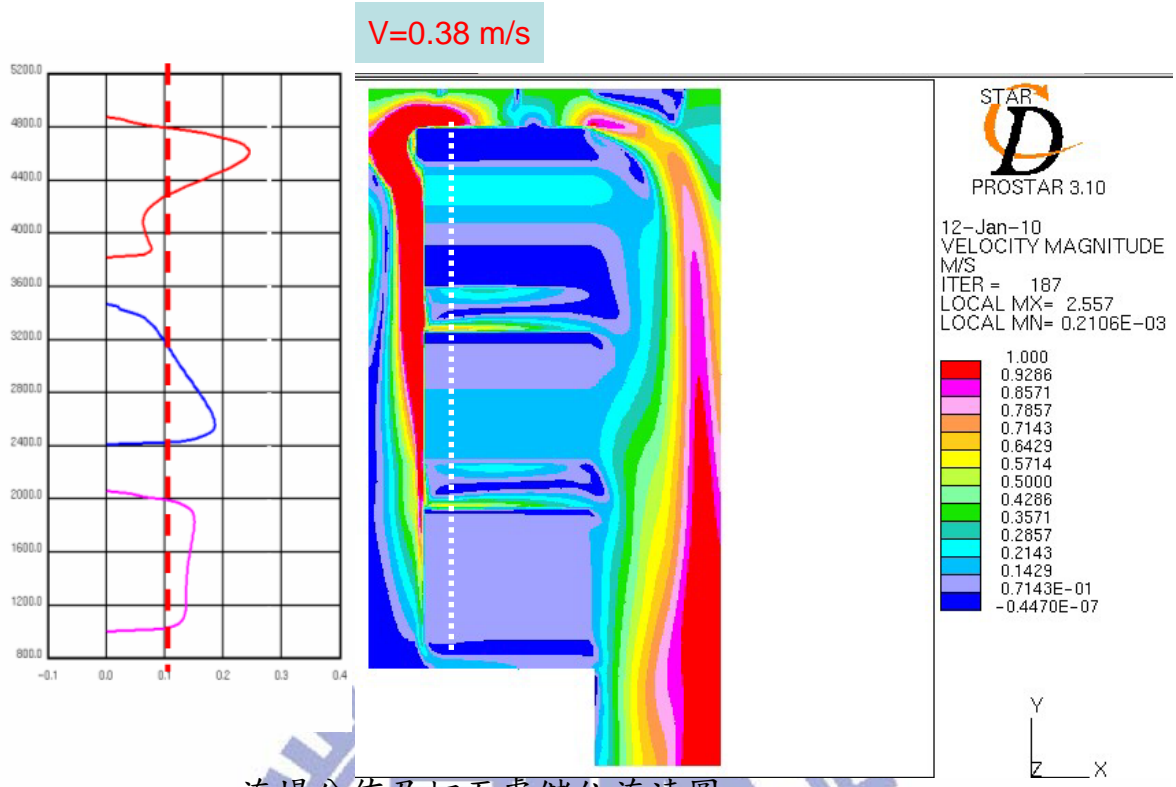


流場分佈及切面處儲位流速圖

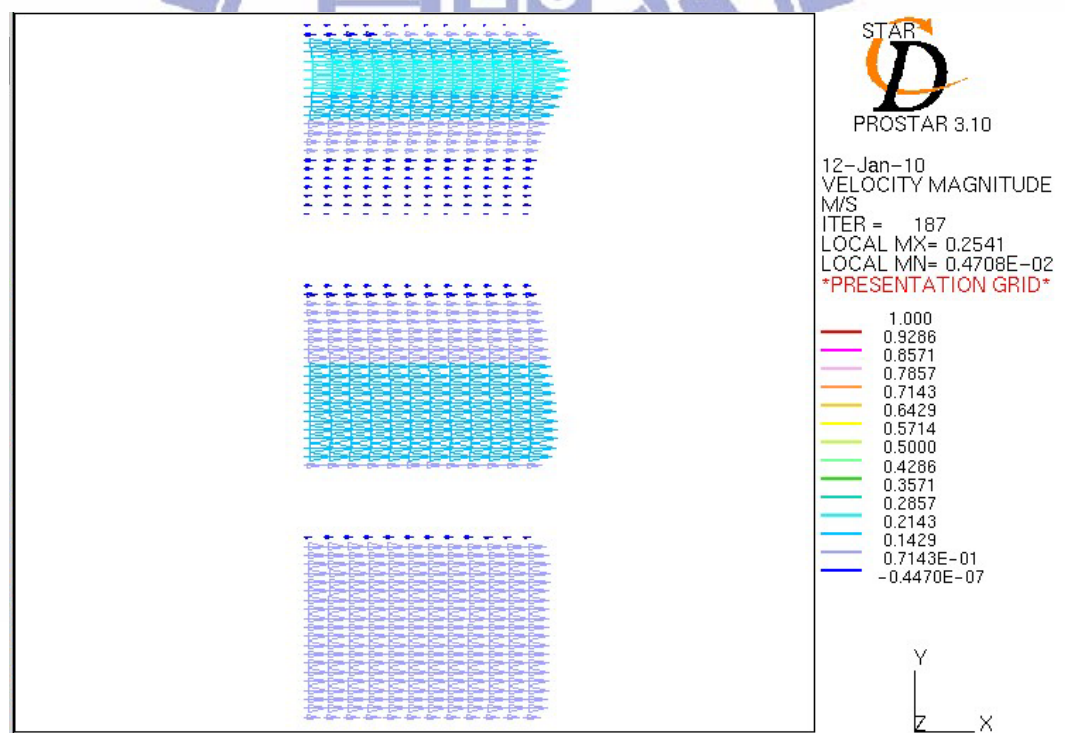


Cassette 內部流場詳圖

圖 5-11 Case 6 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

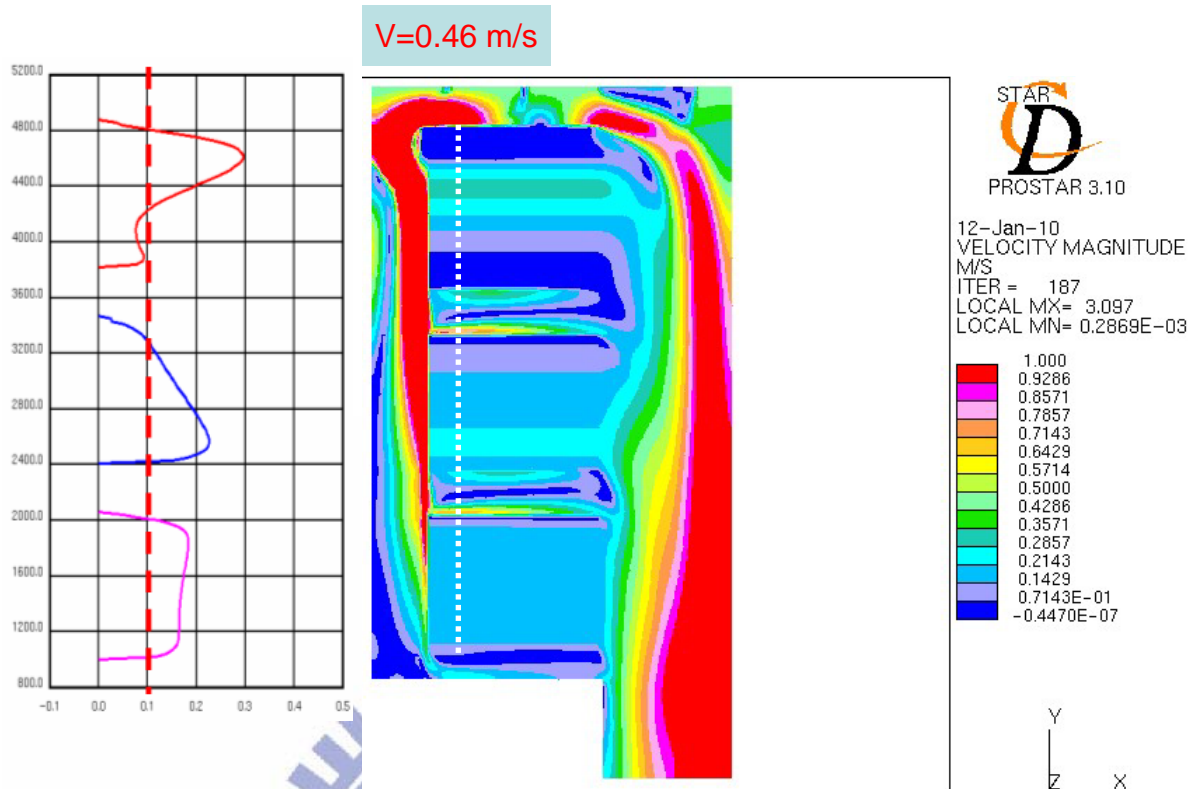


流場分佈及切面處儲位流速圖

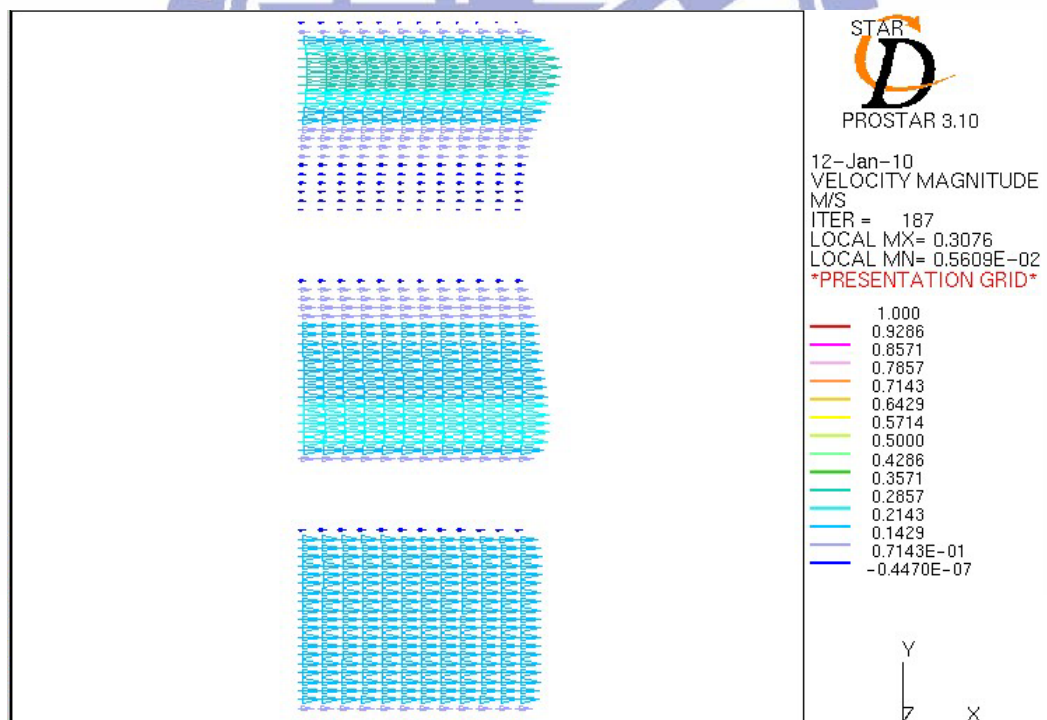


Cassette 內部流場詳圖

圖 5-12 Case 7 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

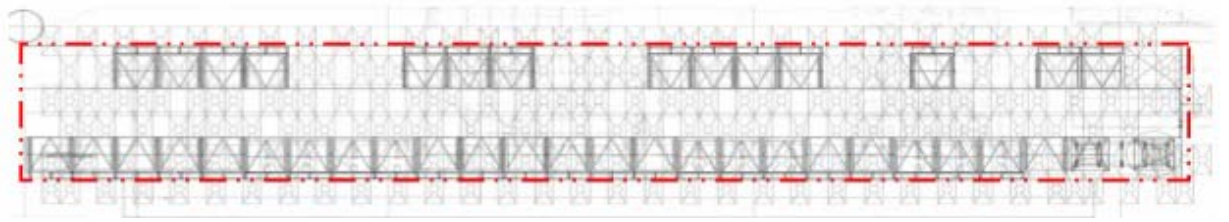


流場分佈及切面處儲位流速圖



Cassette 內部流場詳圖

圖 5-13 Case 8 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖



本研究主題 TFT-LCD Fab AMHS 倉儲與天花板 FFU 相對位置圖示

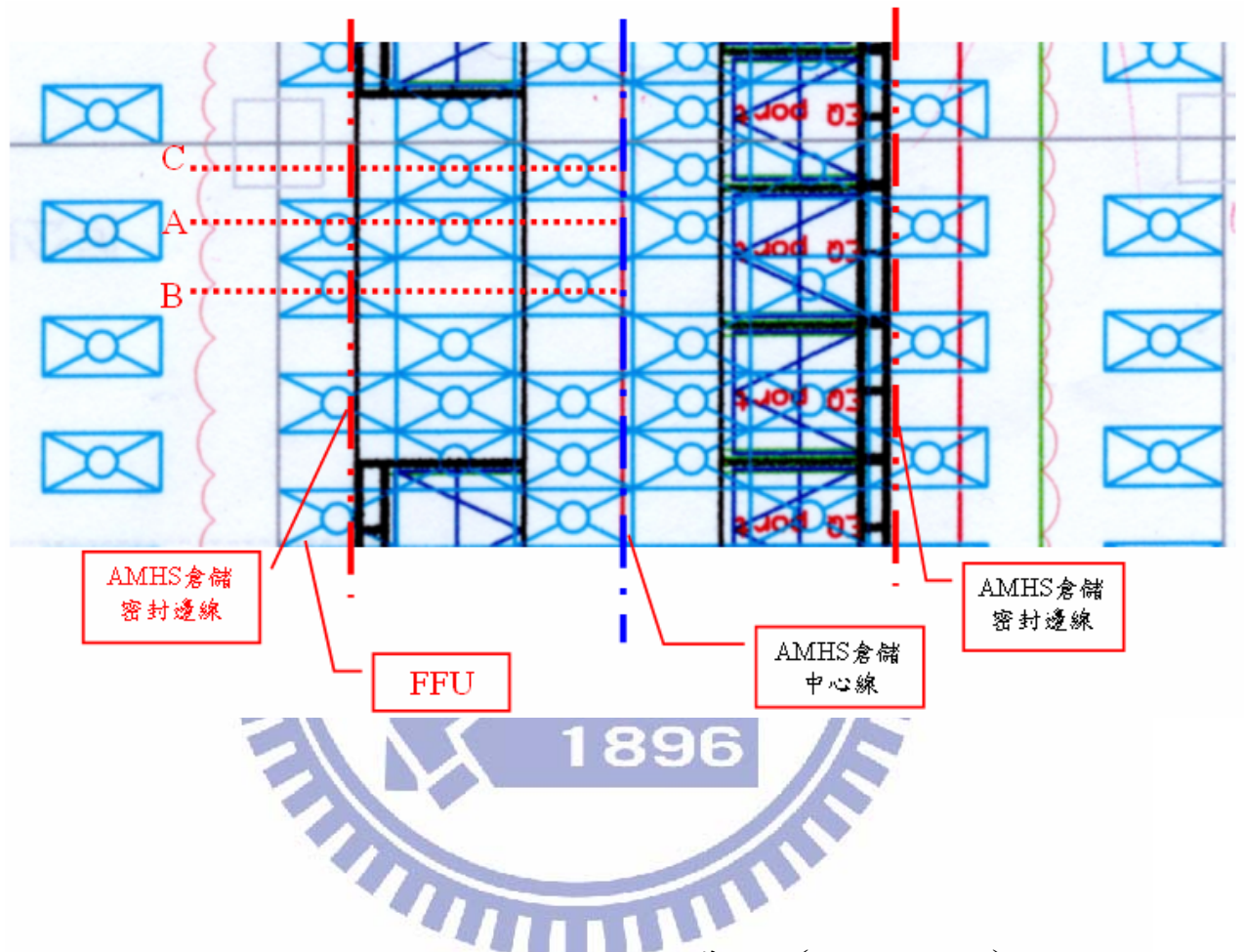


圖 5-14 三種不同 FFU 配置的截面 (A、B、C)

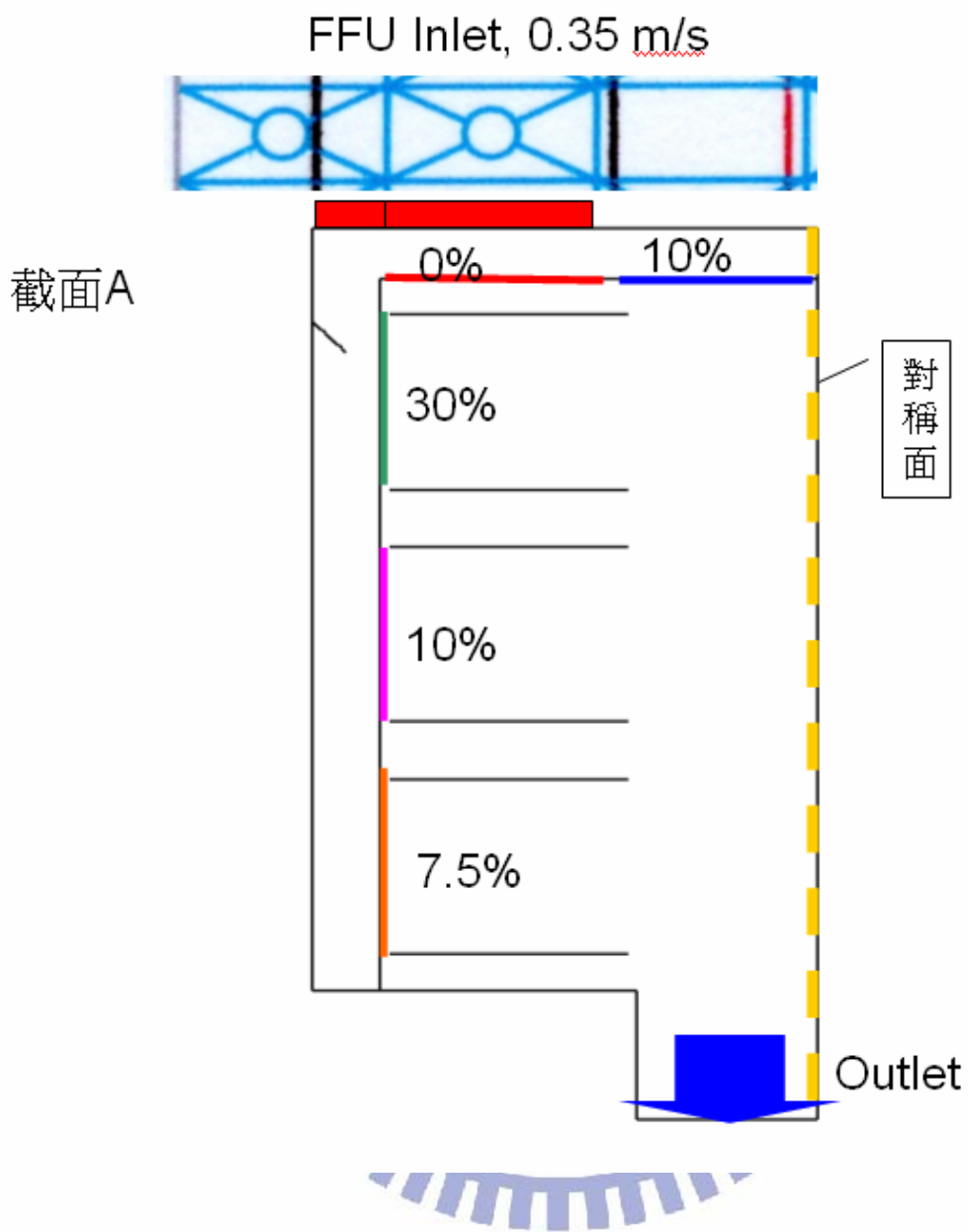
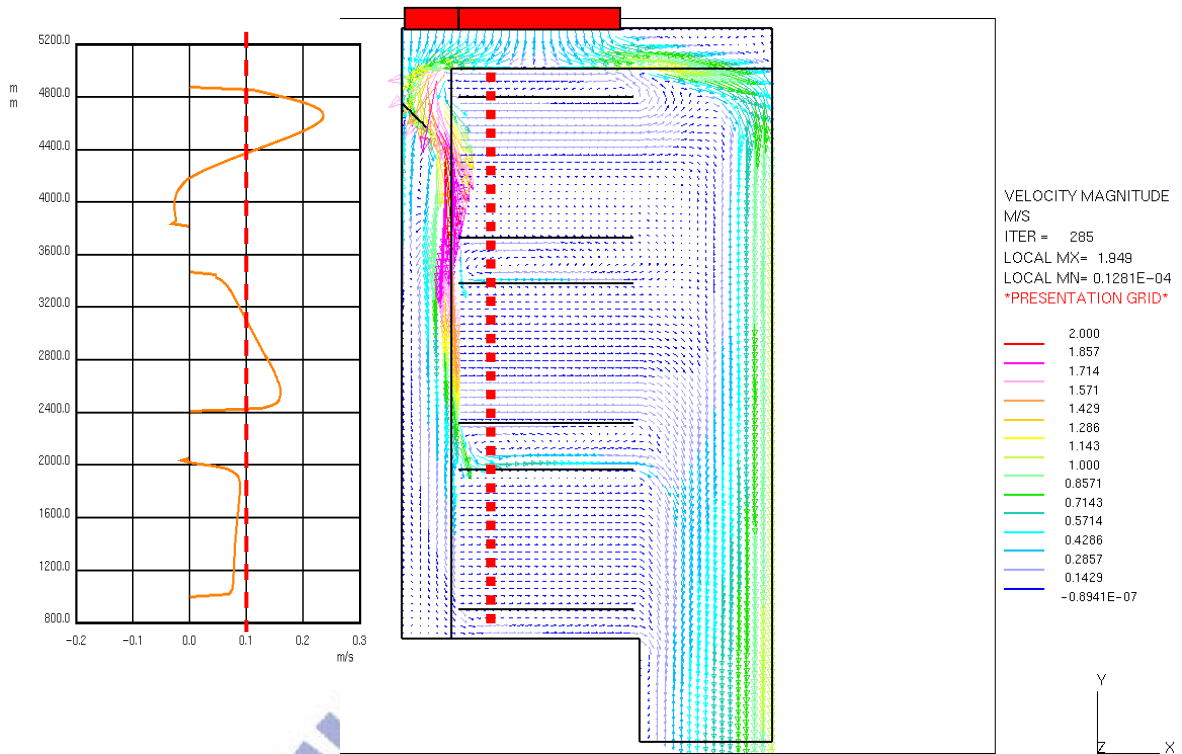
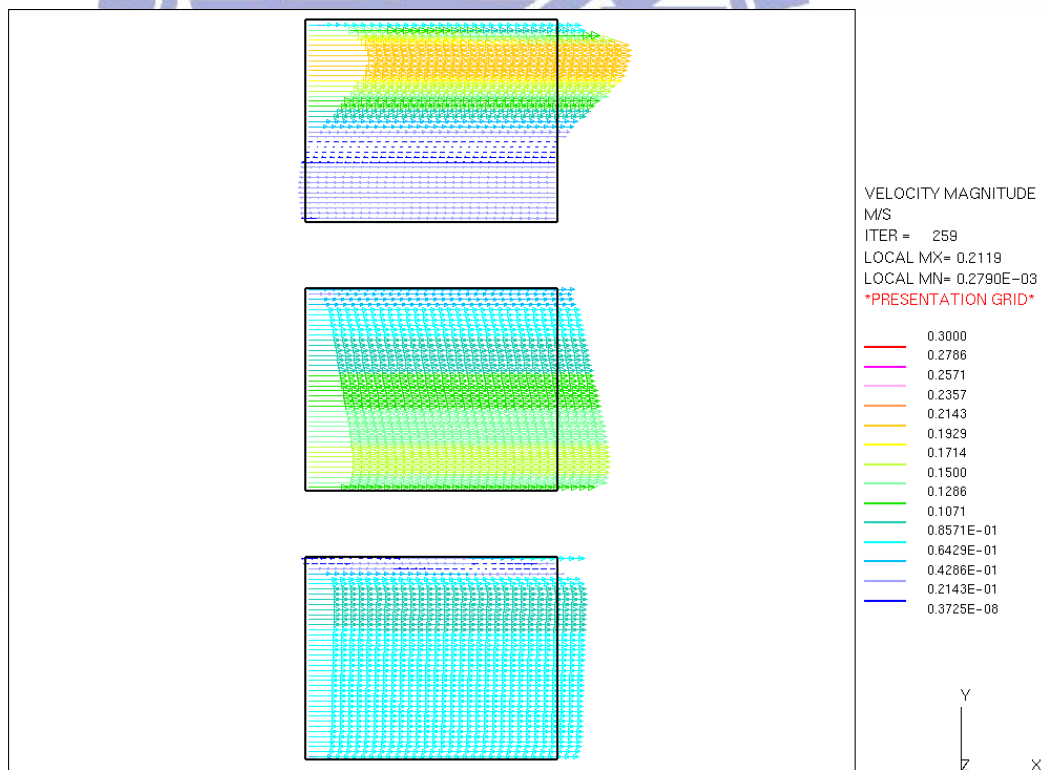


圖 5-15 Case 9 截面 A 幾何模型



流場分佈及切面處儲位流速圖



Cassette 內部流場詳圖

圖 5-16 Case 9 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

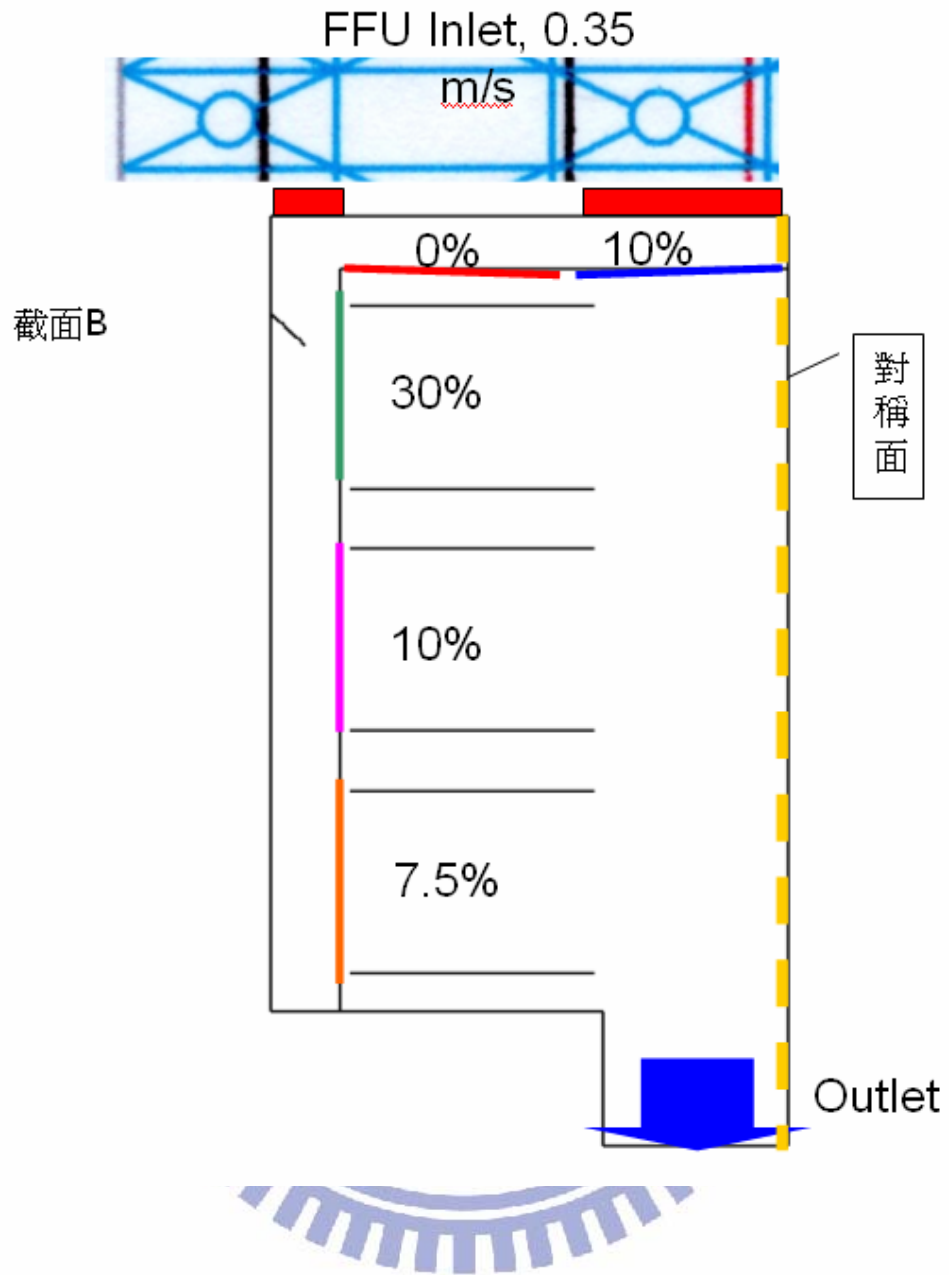
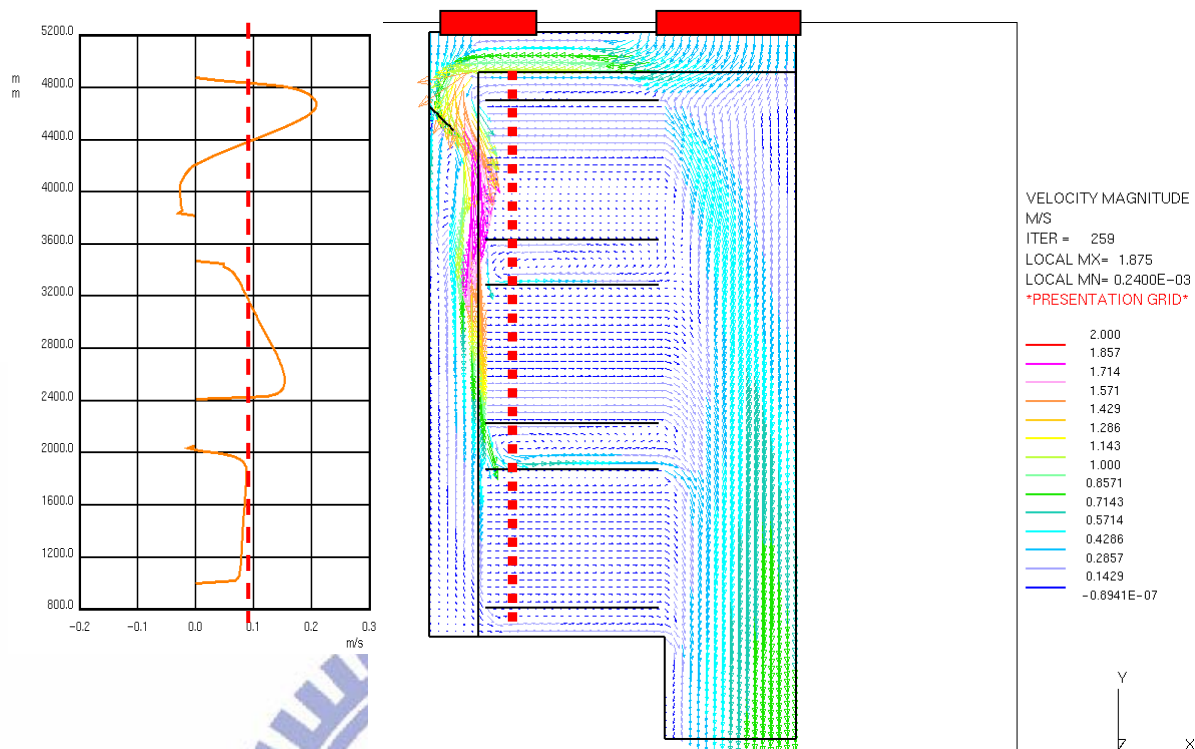
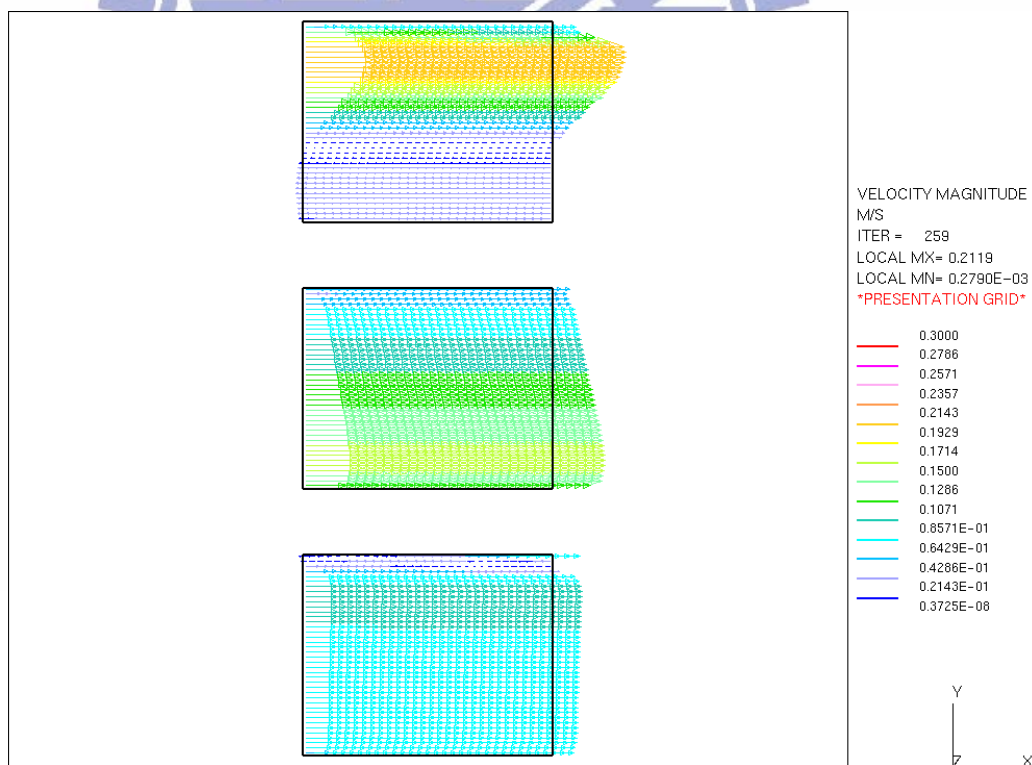


圖 5-17 Case 10 截面 B 幾何模型



流場分佈及切面處儲位流速圖



Cassette 內部流場詳圖

圖 5-18 Case 10 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

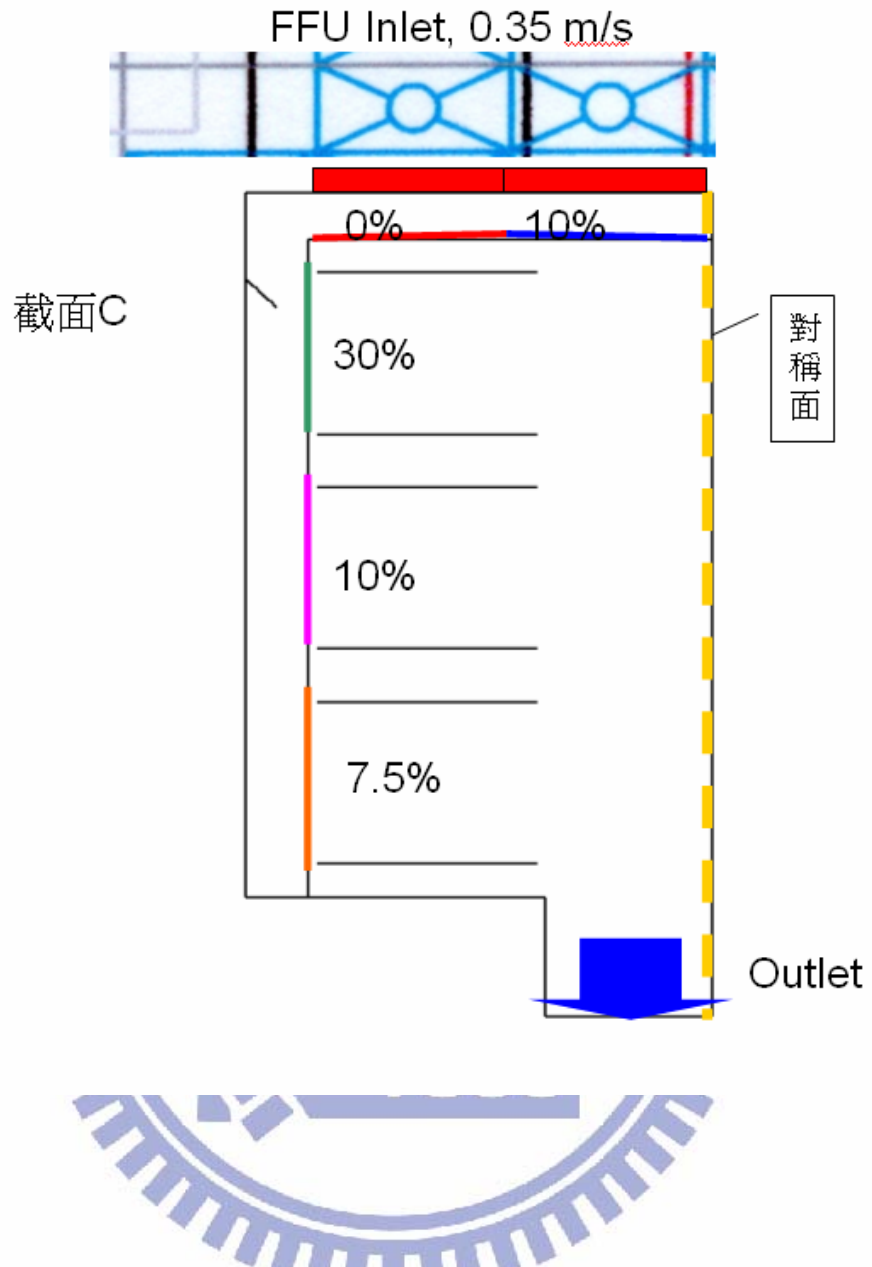
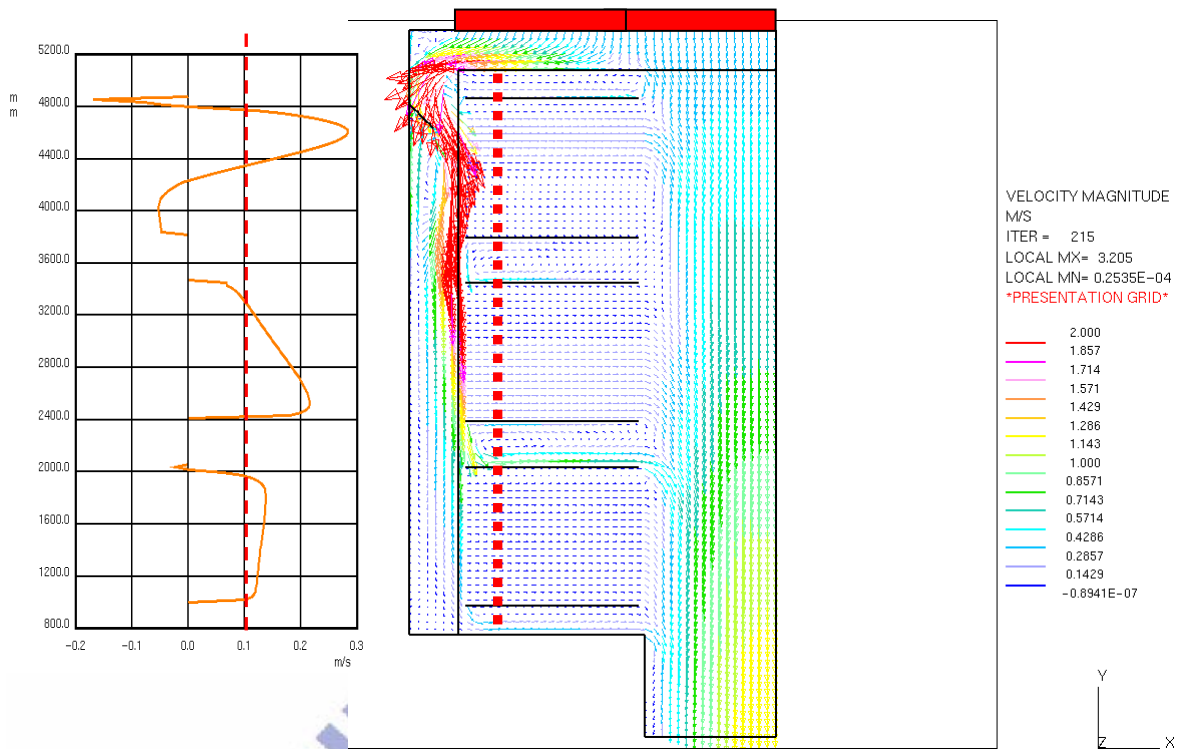
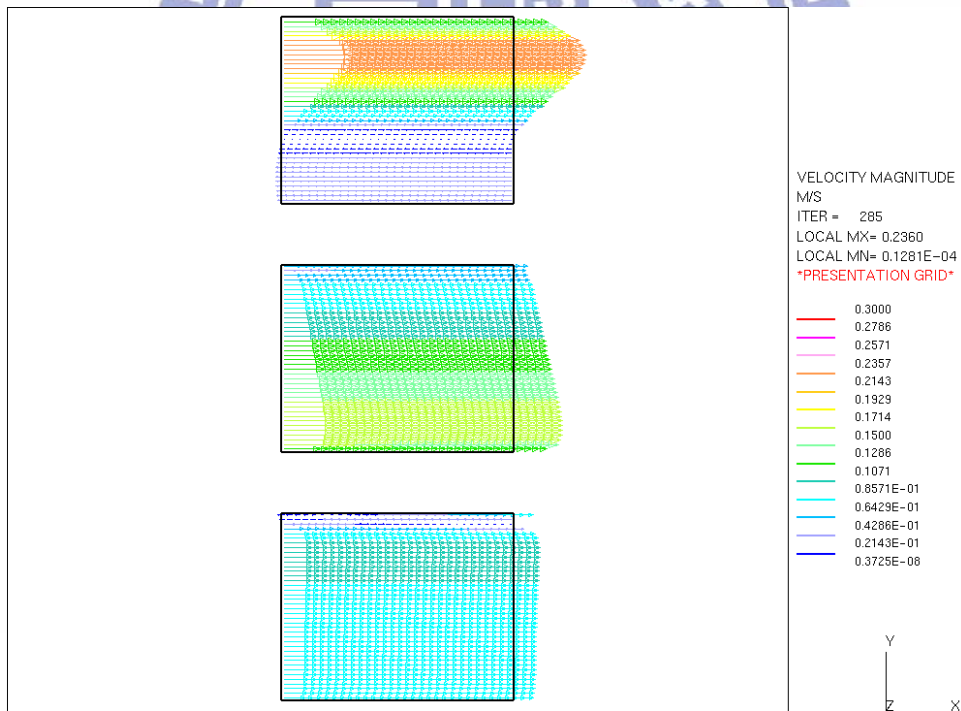


圖 5-19 Case 11 截面 C 幾何模型



流場分佈及切面處儲位流速圖



Cassette 內部流場詳圖

圖 5-20 Case 11 儲位內 & Cassette 內部流場分佈圖

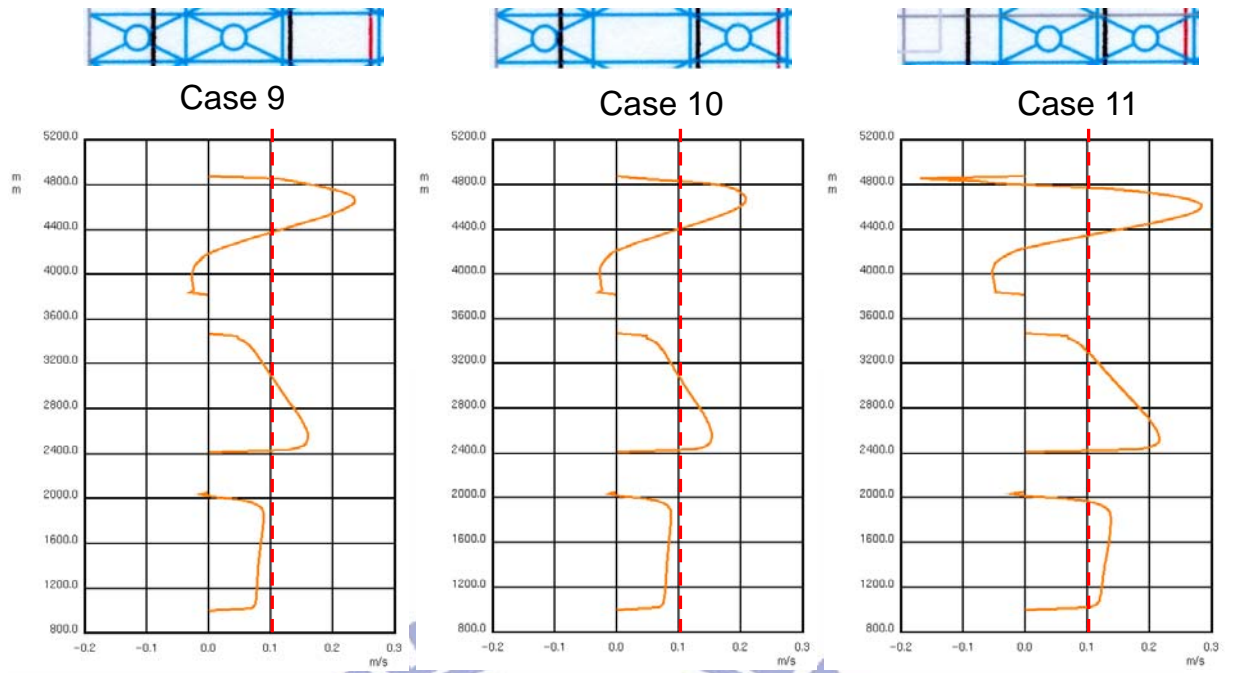


圖 5-21 三種 Case 相同切面處儲位流速比較



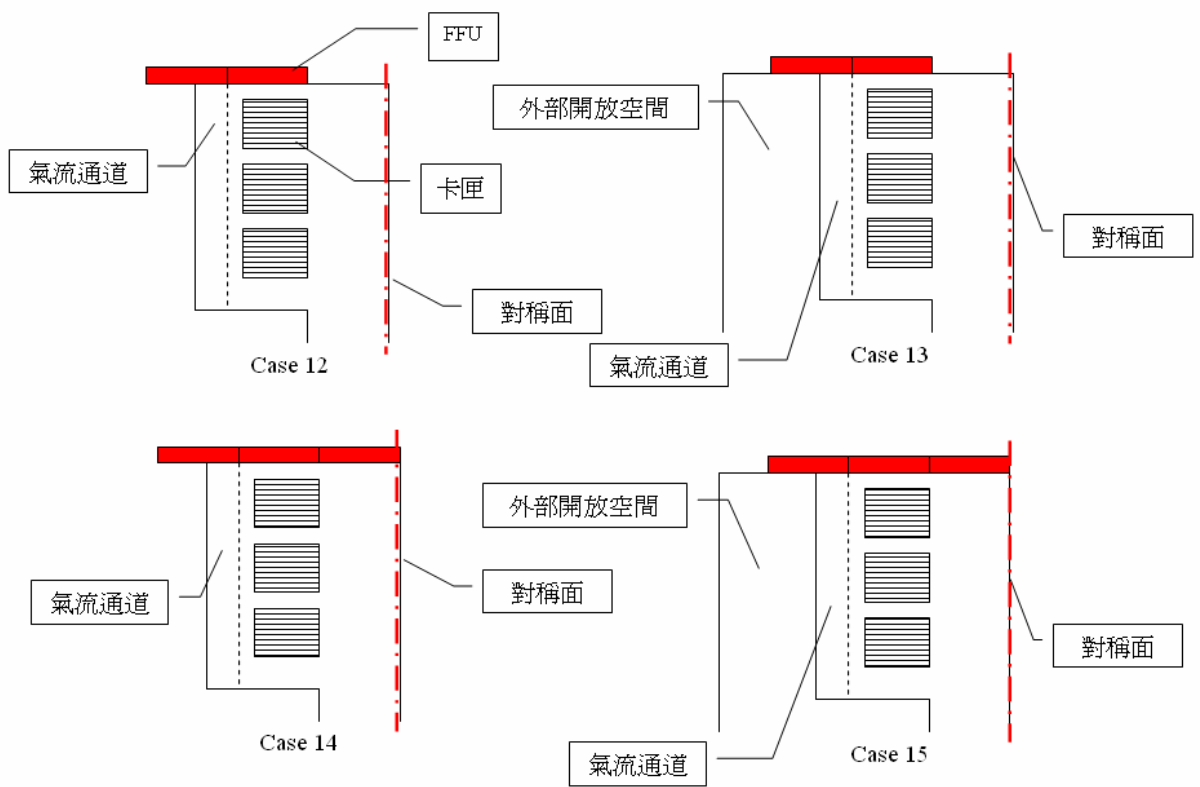


圖 5-22 可行方案幾何模型圖

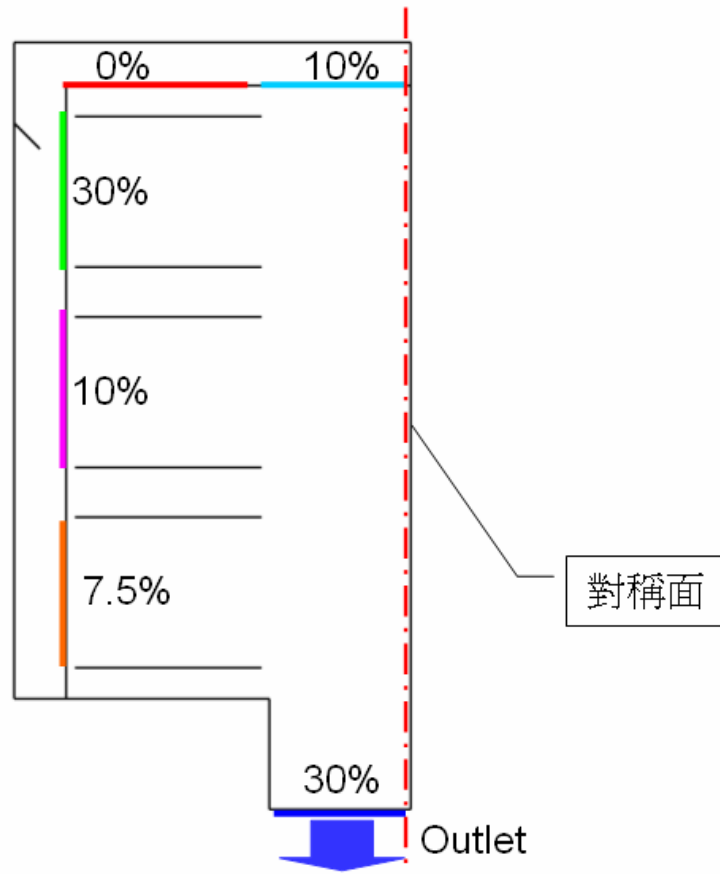
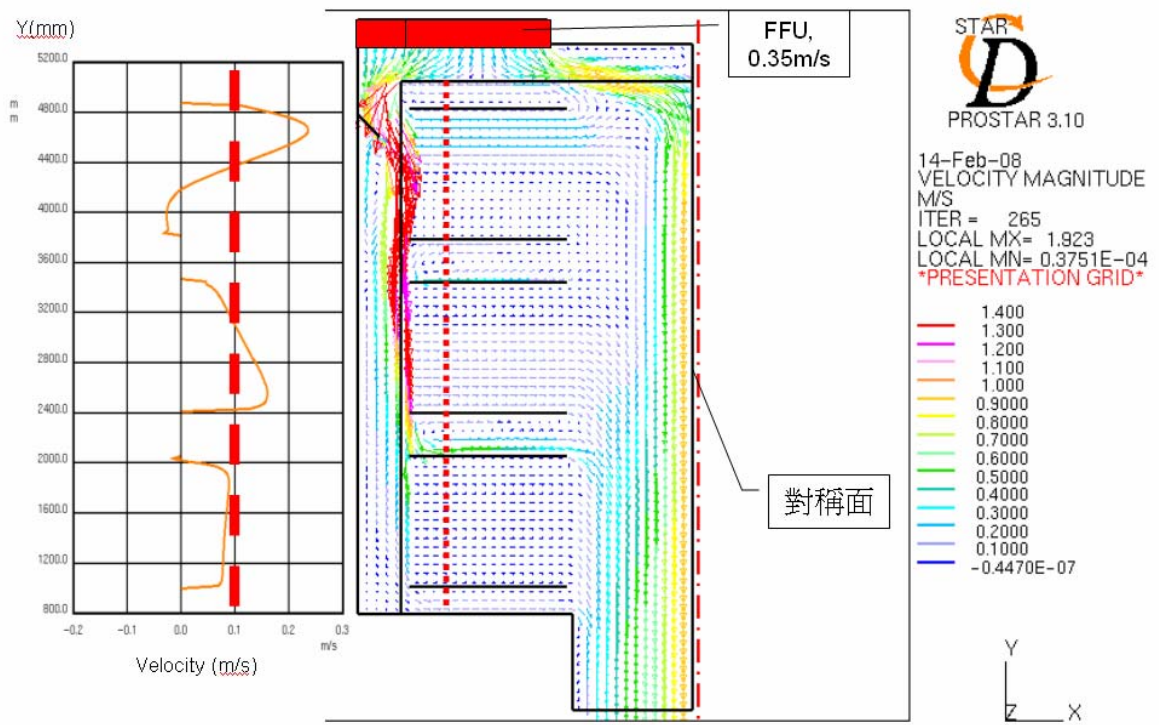
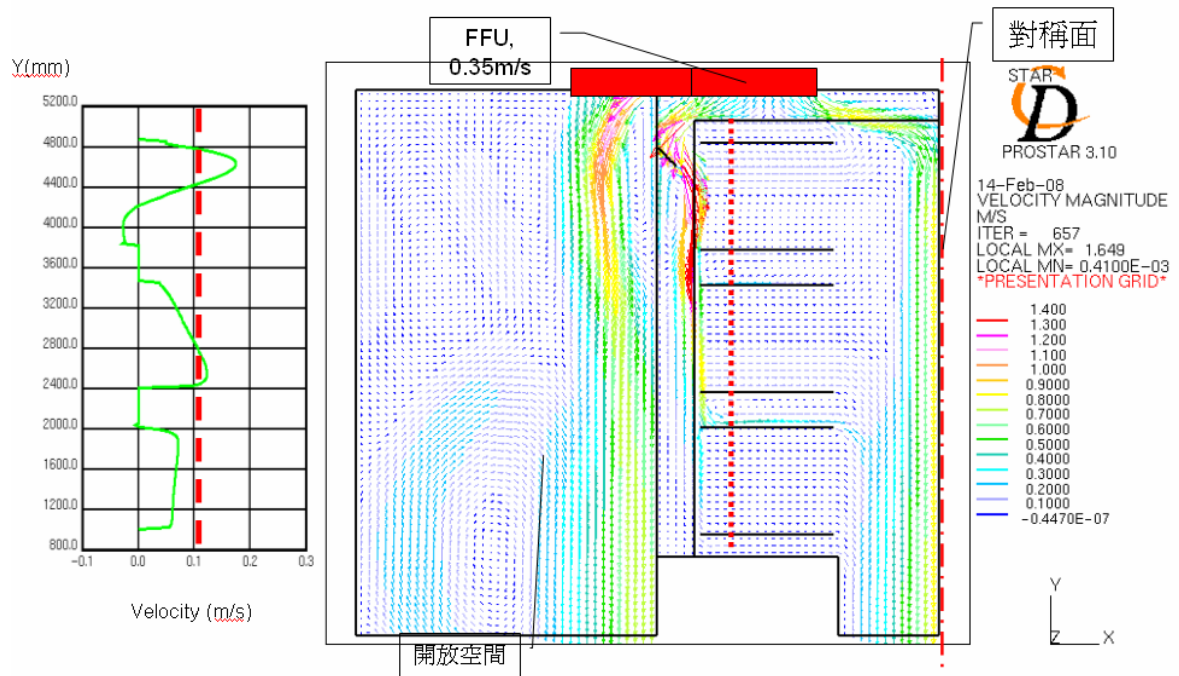


圖 5-23 可行方案孔板開孔率圖

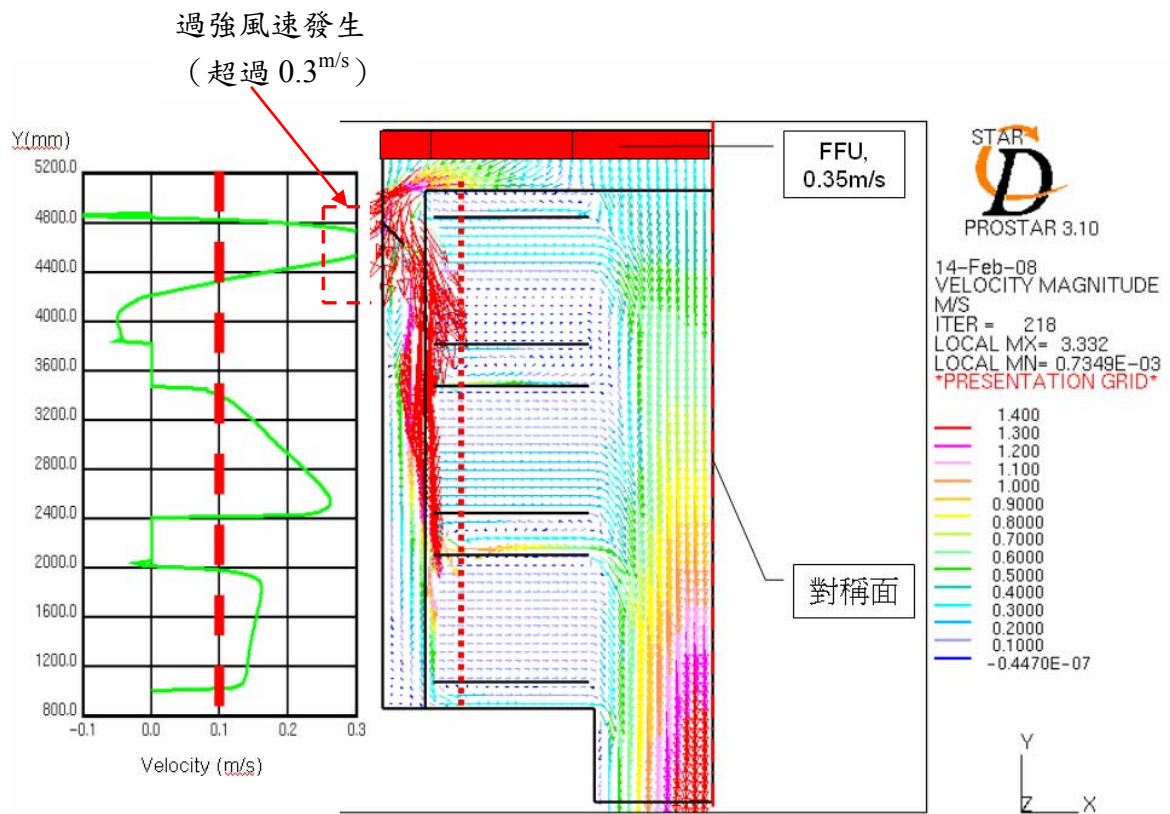


Case 12 流場分佈及切面處儲位流速圖

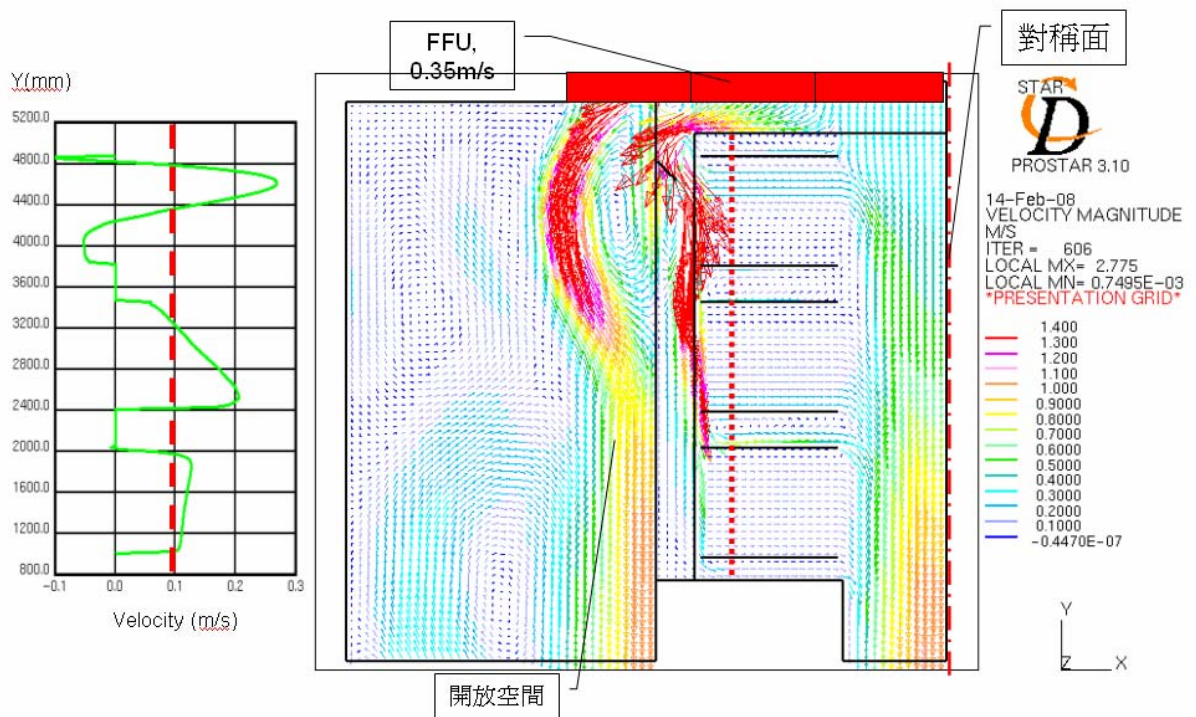


Case 13 流場分佈及切面處儲位流速圖

圖 5-24 可行方案 Case 12 & Case 13

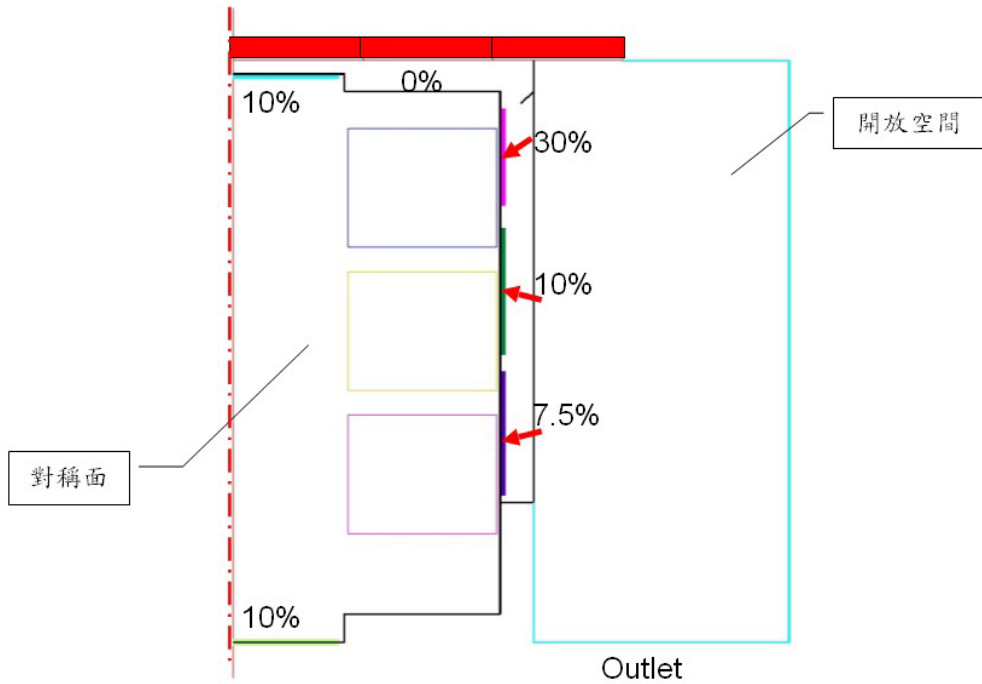


Case 14 流場分佈及切面處儲位流速圖



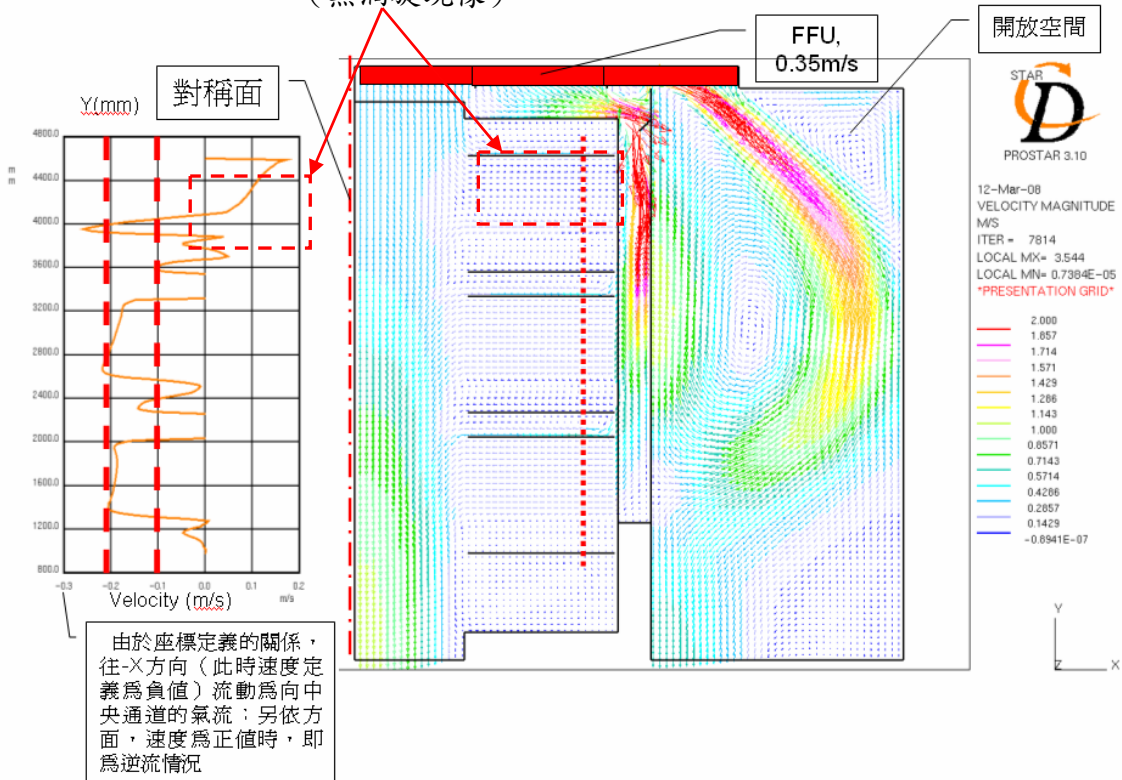
Case 15 流場分佈及切面處儲位流速圖

圖 5-25 可行方案 Case 14 & Case 15



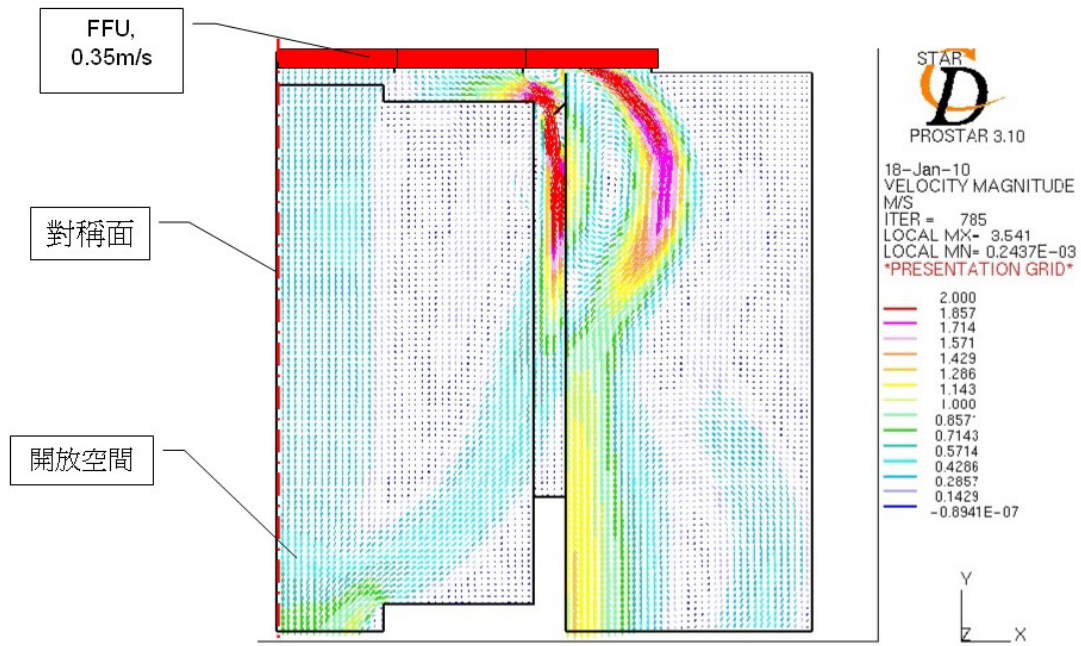
最後幾何模型修正&開孔率

大量逆流區域存在區
(無渦旋現象)

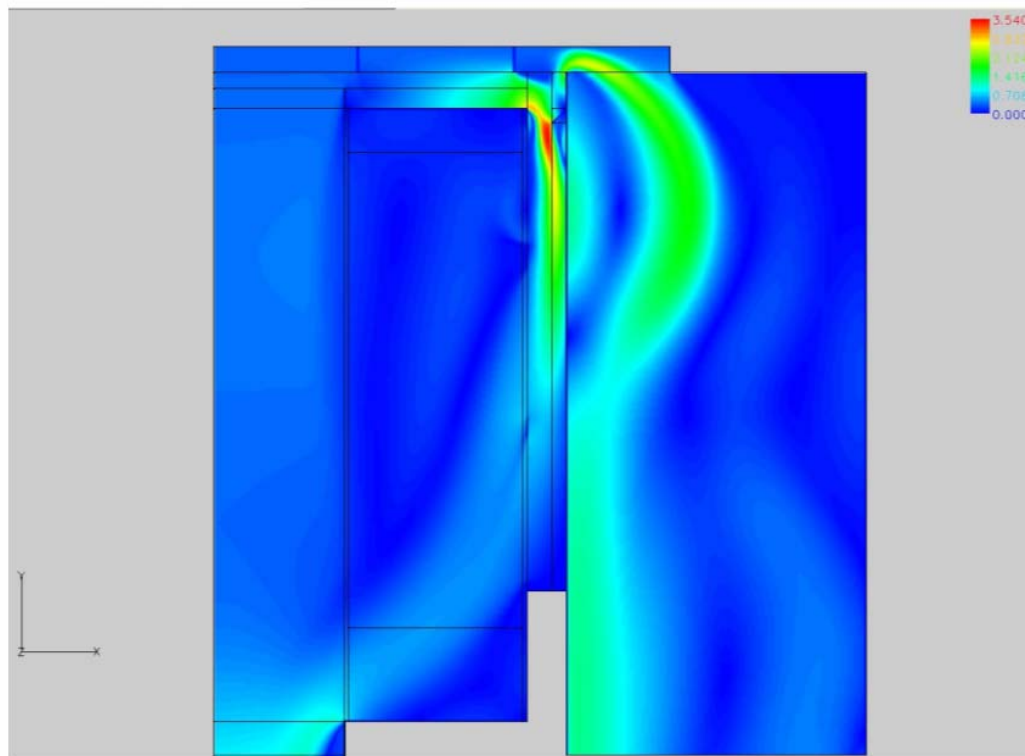


流場分佈及切面處儲位流速圖

圖 5-26 Final Case 幾何模型 & 流場分佈圖

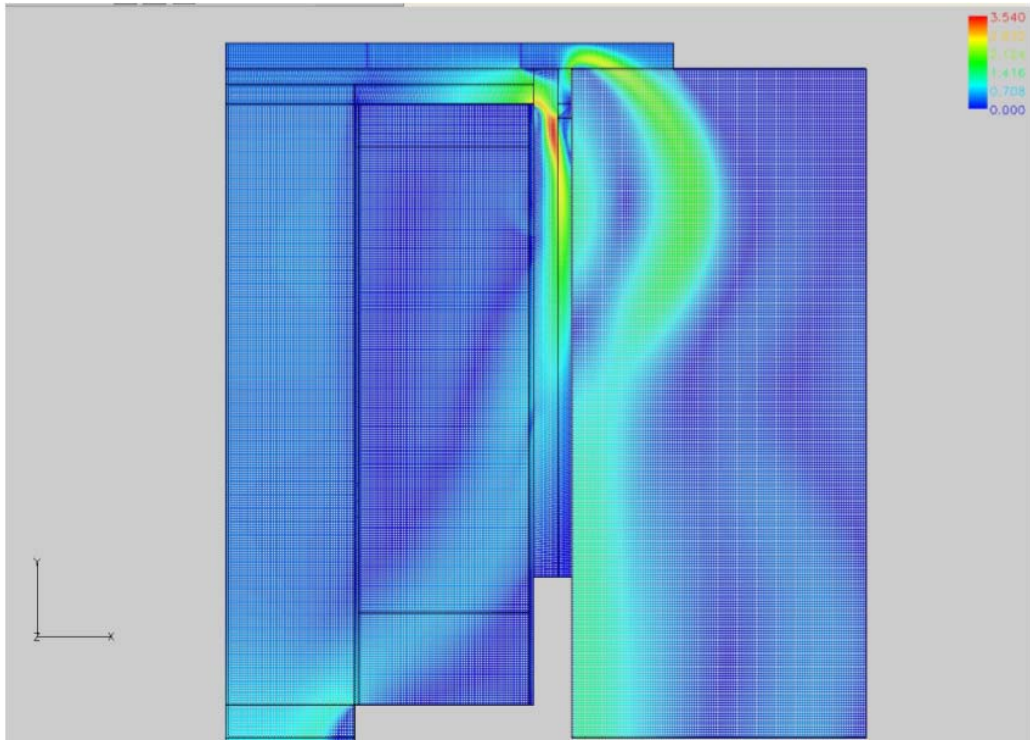


移除 Cassette 後流場分佈圖

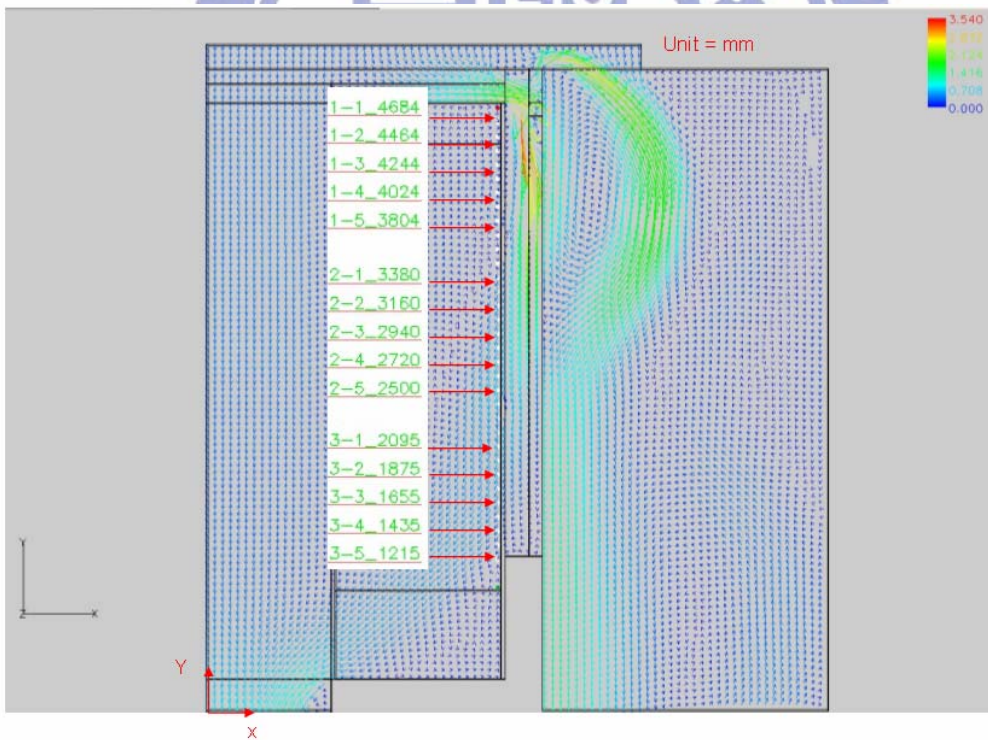


移除 Cassette 後數值模擬結果圖

圖 5-27 Final Case 移除 Cassette 後模擬結果圖

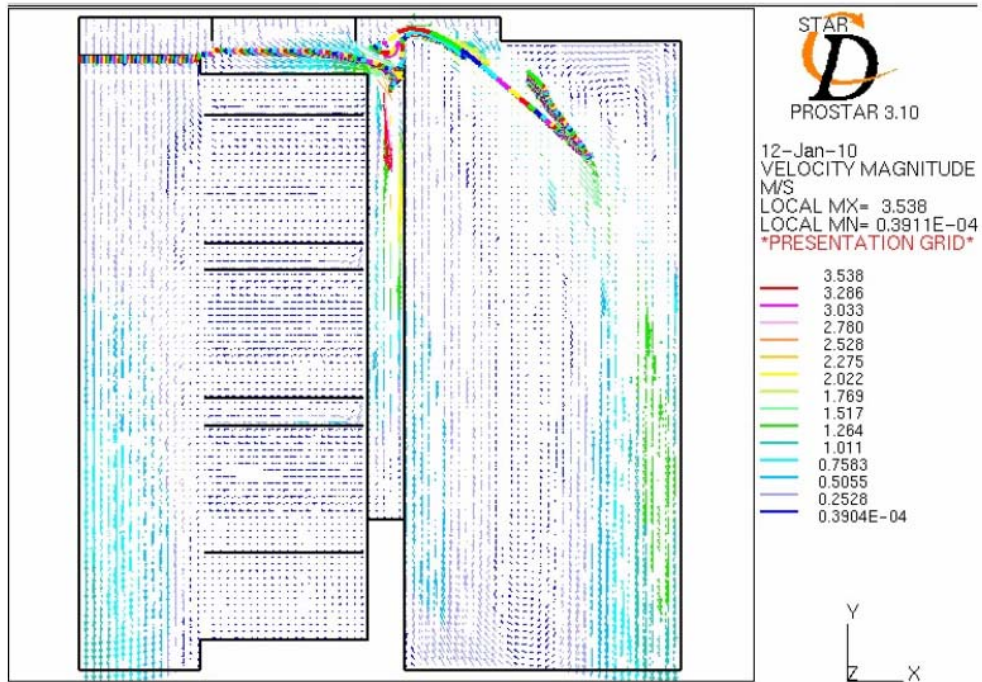


移除 Cassette 後數值模擬加網格結果圖

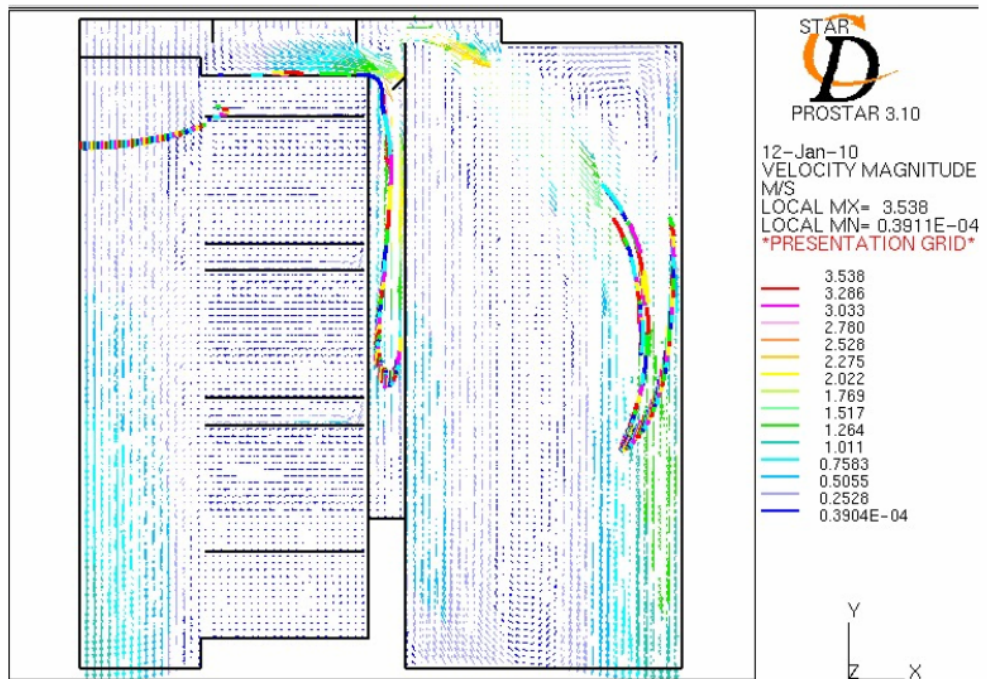


數值模擬流場孔板出口風速取樣位置圖

圖 5-28 Final Case 模擬結果 & 模擬數據取樣圖

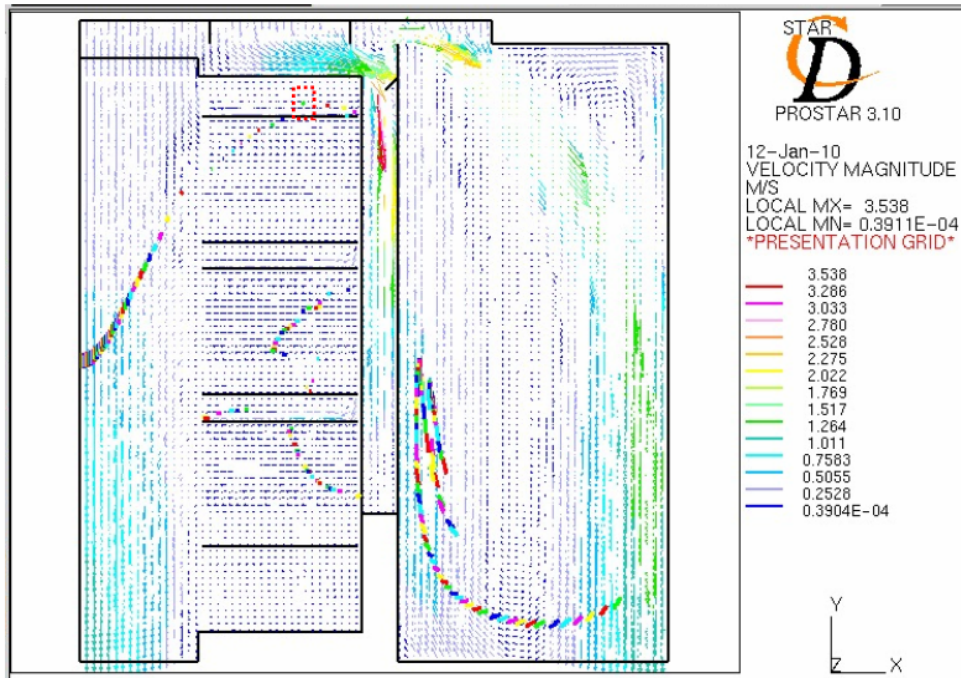


微粒子釋放模擬圖(1/6)

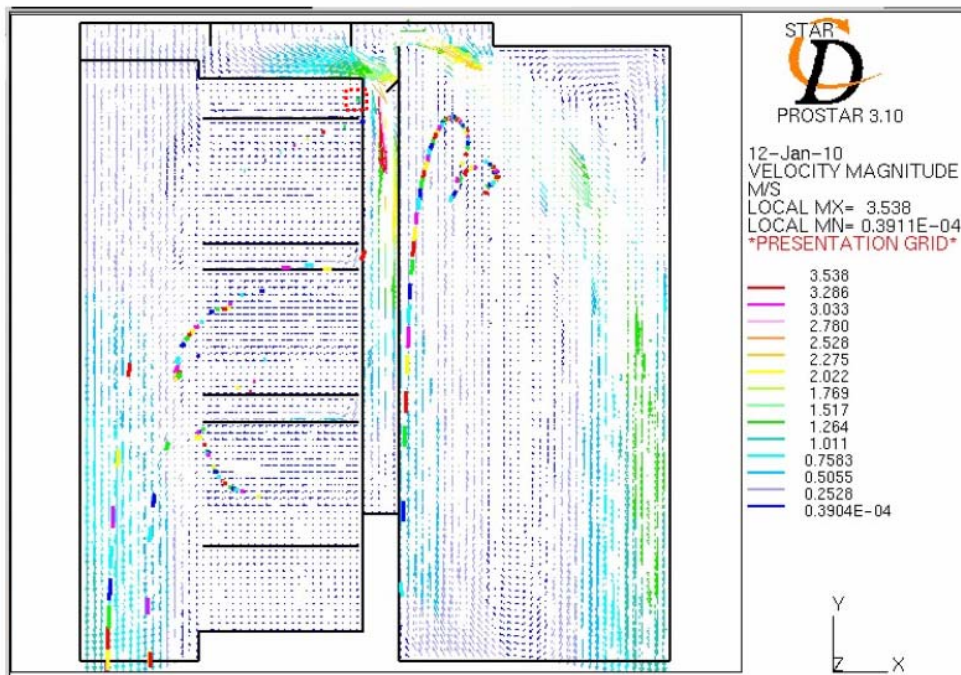


微粒子釋放模擬圖(2/6)

圖 5-29 Final Case 流場微粒子釋放模擬

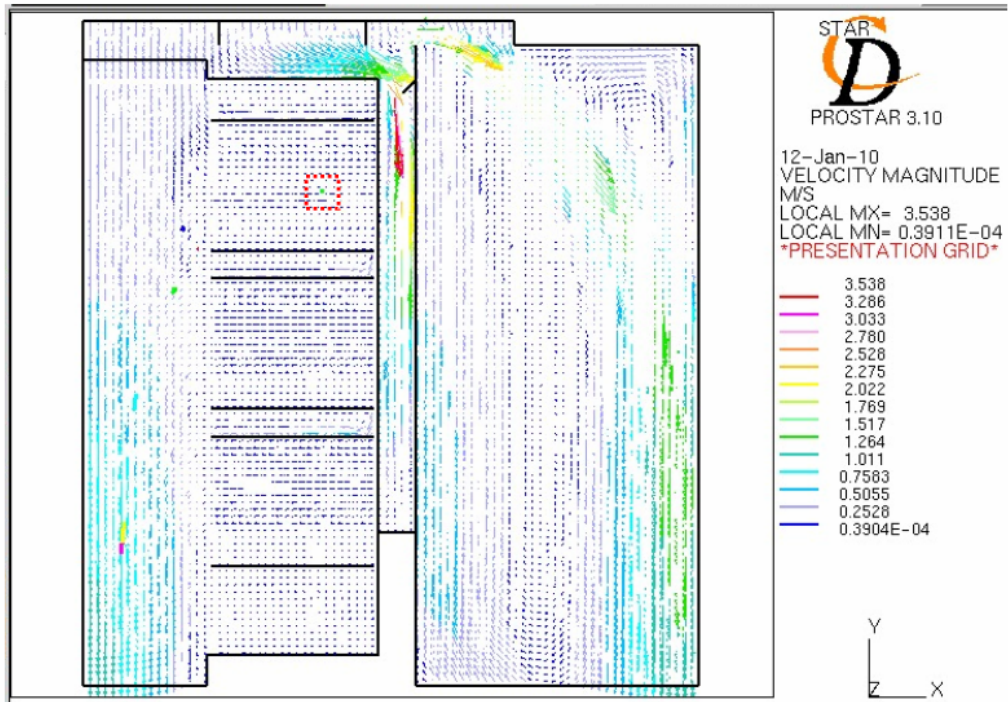


微粒子釋放模擬圖(3/6)

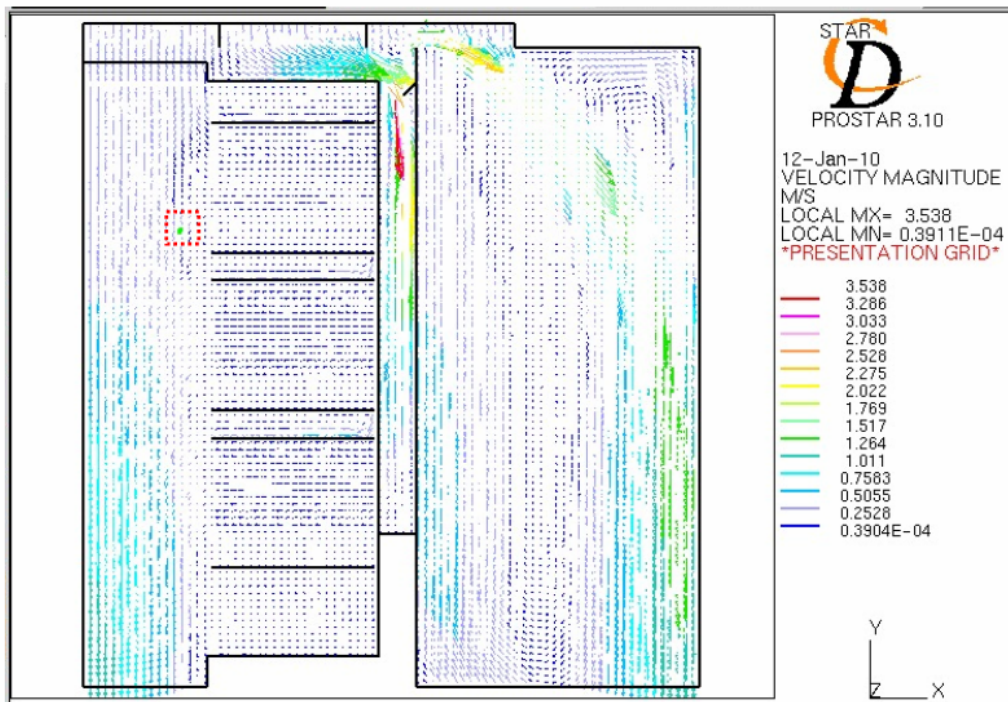


微粒子釋放模擬圖(4/6)

圖 5-30 Final Case 流場微粒子釋放模擬



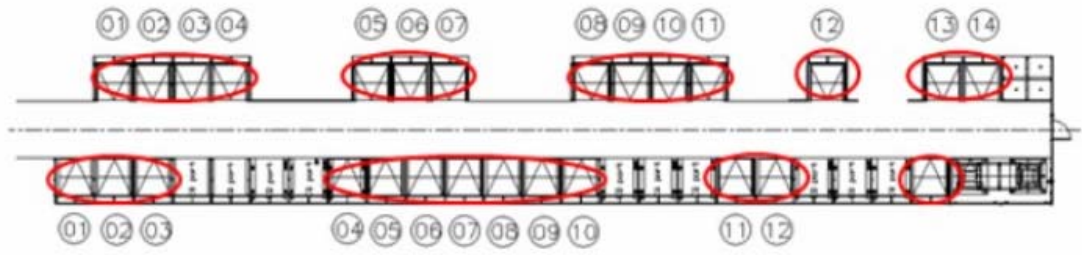
微粒子釋放模擬圖(5/6)



微粒子釋放模擬圖(6/6)

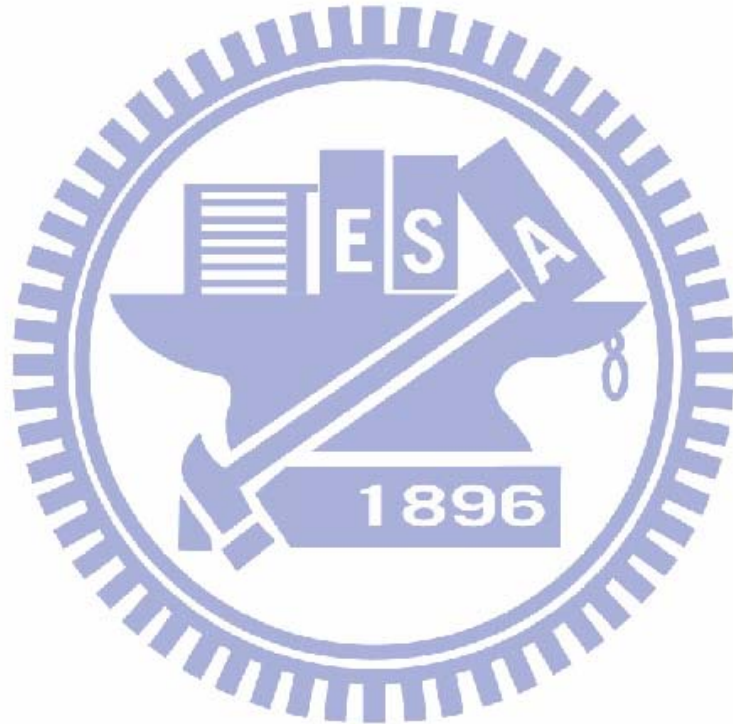
圖 5-31 Final Case 流場微粒子釋放模擬

黃光區



白光區

圖 5-32 洩漏量測點 & Particle Counter 長期監測點示意圖



第六章 結論

雖本研究標的最後有找到改善的解答，但事實上其因 FFU 錯位造成的先天缺陷，使得改善中需犧牲一些條件因素，如提高 FFU 入口風速長期下來浪費電源，佈滿 FFU 造成無維修空間，施作人員只能踩踏於 FFU 上造成濾網及 FFU 外殼變形；若本研究案之業主(user)允許更大範圍的更動時，則其補救方式應可得到更大之改善效益，如從外再加入一包覆的密封板將外露的 FFU 包住，強迫其氣流再流入倉儲風道中，如此 FFU 的佈放量就不用要到 100%，可能 80%~85%已足夠，且 FFU 的初速亦可放慢，可得到降低維護濾網的頻率，同時也不用擔心 FFU 機殼，FFU 濾網被施工人員踩壞的事件發生。

綜合上述本研究中亦探討出一些值得注意的細節，供從事無塵室 AMHS 的製造者參考。

- 1、 AMHS 倉儲若是採用與低階清淨度同用一個潔淨室天花板框架時，一定切記 AMHS 倉儲的外圍封板絕對需與上方的 FFU 大小對齊，且要完全包覆密封，否則因潔淨室是採空間壓差控制方式，為有效控制其期望區域之微塵粒數，最有效的方法就是讓氣流從高潔淨等級區域流向較次等級的鄰近區域，其間每一潔淨等級之壓差約差 5^{Pascal}，所以當 FFU 啟動後他送出的氣流只會大部份跑到低壓側，而高壓側則無法獲得足夠的氣流量，致無法維持清淨度，雖然再好的事前數值模擬分析，設計規劃都會是無效。
- 2、 流場風速的量測時在低風速的情況下不易測得，且風向亦不容易掌握，有時需佐以風向可視化的輔具如流線的形成，可用較輕的不發塵線固定於測頭下方，隨着流線的飄動方向調整測頭，或利用煙霧產生品或乾冰之類可產生煙霧器具，可供量測者去移動測頭方向，如此就能使量測較有效率及準確度。
- 3、 流場內的風速不在大，而是在於均勻，在於不產生迴旋逆流，若一直以使入口流場內風速加大，而去提升較弱的地方氣流恐會得到不如預期的反效果，若勉強達到但往後正常運轉生產時，會造成維護成本的高漲，因濾網

屬於耗材，若使用的過濾風量太大時會很快就達到其過濾能力的壽限，會造成更換、清潔的頻度變高，浪費運轉維護成本。

- 4、流場內逆流現象若是為反向逆流，並且發生在較上層（約中層 Cassette 以上）時，則在考量未來進入量產使用時能降低 FFU 維護成本，則可有條件接受，所持的理由是因在較上層空氣的 LMA 值（空氣年齡）較小，它仍有足夠時間可再進入供氣風道重新循環再進入 Cassette，仍有機會在允許的 LMA 值下將微塵粒帶走，不致造成微塵粒數量的飄升。
- 5、100% 的 FFU 佈放是有效的完全覆蓋了倉儲上方，有效的提供了高品質的處理過的 Air，但在硬體施作上是沒有什麼問題，佈放之初只要按步就班的一排一排安裝即可，操作者亦不用愁施作時的走行路徑；但當施工完成後若實測發現有某個 FFU 濾網有問題時，在佈得滿滿的 FFU 天花板上(如圖 3-1)，換修人員如何走動如何施作會是大問題，最後一定踩在 FFU 薄薄的外殼板金上，如此 FFU 外殼很快就會變形，那麼其與天花板框架的密合度必定會出問題，清淨度的確保就會出問題，所以 FFU 的佈放率亦不能太高，需考慮到預留維修走動空間的必要。
- 6、數值模擬時要注意各種不同模擬軟體的功能理論數學式的設定，因為同樣的做開孔率簡化的多孔介質模擬就有不小的差異，且有些數值軟體的簡化式可方便的使用於 2D 幾何模型，但若用在 3D 模型中則其另有不同定義不可不慎。
- 7、本研究所提出的圖 2-7 影響 AMHS Stocker 無塵室清淨品質因子，是最重要的關鍵，所有從事大型工件的無塵室 AMHS 裝置都適用，從事此相關工作的從業人員均應注意。

參考文獻

- [1] W.Whyte , Cleanroom design, Second edition, John Wiley & Sons Ltd, ”
October 1999
- [2] Marvell.G , "Minienvironment Air Flow Dynamics", Solid State
Technology, Vol.36 1993
- [3] Robert W. Fox, Alan T. McDonald and Philip J. Pritchard, Introduction to
Eluid Mechanics, PP, 409-431, 2004
- [4] S. Murakami, S. Kato, and Y. Suyama, "Numerical Experimental Study on
Turbulent Diffusion Fields in Convectonal Flow Type Clean Rooms.",
ASHRAE Transactions, Vol.95, No.2, PP.469-493, 1989
- [5] W.Whyte , Cleanroom Technology Fundamentals of Design Testing and
Operation”, First edition, John wiley & Sons Ltd,.
- [6] Nam, S. , "Numerical Simulation of Smoke Movement in Clean Room
Environments", Fire Safety Journal. Vol.34, PP. 169-189, 2000
- [7] Fluent 6.3 User’s Guide, Fluent Inc. 2006
- [8] AIRPAK 2.1 User’s Guide, Fluent Inc. 2004
- [9] 胡石政 , "潔淨控制技術", 平面顯示器關鍵設備技術研討會, May 2005
- [10] 黃富加 , "FFU 式單向流潔淨室流場量測與流場影響因子之分析" ,
國立交通大學碩士論文, 民國 92 年
- [11] 蕭宗容 , "300^{mm} 晶圓載卸模組 FOUP/LPU 之氣流及污染物粒子特性研
究", 國立台北科技大學冷凍空調工程系碩士論文, 民國 91 年
- [12] 江文琪 , "潔淨室面板儲存區之動態流場分析" , 國立台灣科技大學機
械工程系碩士論文, 民國 94 年
- [13] 馮天駿 , "面板儲存櫃之氣流夾層設計與參數化分析" ,
國立台灣科技大學機械工程系碩士論文, 民國 95 年
- [14] 黃玠超 , "LCD 面板倉儲系統之流場均勻化研究" ,
國立交通大學機械工程學系碩士論文, 民國 96 年

- [15] 2005 日本 Stocker 製造廠，技術報告
- [16] 陳契名，"TFT-LCD 大世代面板儲存設備之動態流場分析研究"，
國立交通大學精密與自動化工程學程碩士論文，民國 97 年
- [17] 亞翔科技，楊政諭，無塵室資料
- [18] <http://auo.com>
- [19] <http://www.cmo.com.tw>
- [20] <http://www.moduleclean.com>
- [21] 江帆，黃鵬 "Fluent 高級應用與實例分析" 北京，清華大學出版社 2008
- [22] STAR-CD version 3.15 User's Guide,

