

# 突破性進展的解決辦法－DMAIC

◎李麗女 編譯

印度朝日玻璃公司是印度的最大汽車製造商馬魯蒂鈴木(Maruti Suzuki)公司的一家第一階汽車玻璃供應商，為了優化製程的生產量，該玻璃供應商使用定義、量測、分析、改善及管制(DMAIC, Define, Measure, Analysis, Improve and Control)方法，以識別並確定在他的營運中之主要痛點—特別是ME3後門玻璃型號的製造流程，其只有86.5%的製程產量—非常地低於期望值。

在監督下之該製造流程包含有三個次流程，對所有的三個次流程使用DMAIC方法，以推斷出重要的輸入變數，並使用實驗設計法(DoE, Design of Experiment)以使設定值達到最佳化。

該玻璃供應商所採取的措施產生了突破性的改善，並且在計畫方案結束前使得製程產量達到96.3%，該計畫的目的也是要繼續維持此一成果，去年它被維持得相當好。

該玻璃製造商的改善方法，因為製程產量是輸入因子的一個函數( $Y=f(x)$ )，所以

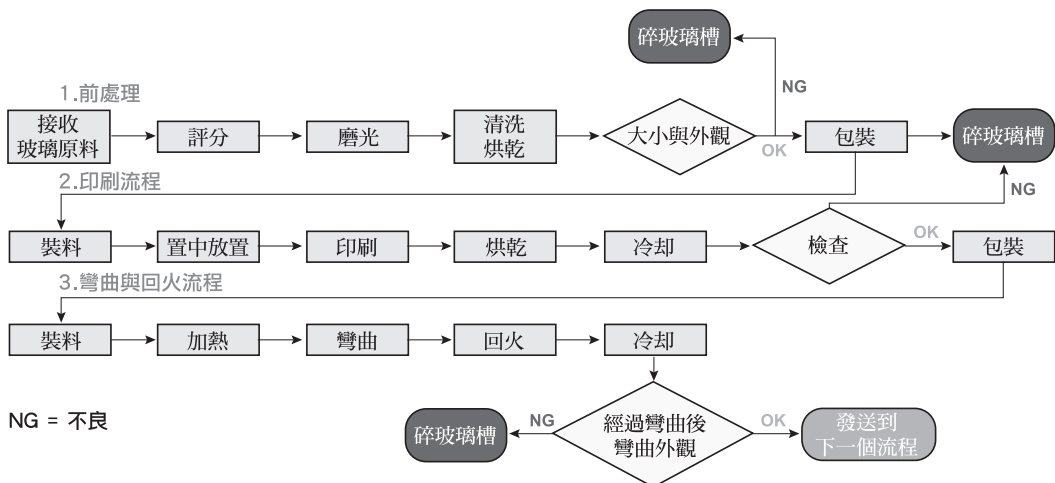
可以很容易地應用於任何的產業。將這些因子最佳化將是毫無疑問地可以達成製程產量獲得改善的結果。

## 玻璃製造的流程

在圖1顯示出組成整個玻璃製造的流程是這三個次流程，並且包括：

- 前處理—以想要的形狀切割出玻璃、研磨稜邊使其光滑、清洗、烘乾及檢查。
- 印刷流程—在玻璃的表面以黑色的陶瓷油墨印刷，並遞送玻璃經過加熱區域以熱風吹拂烘乾油墨，使用密封劑以將後門的玻璃黏貼到車身上，使用油墨是要密封劑不會遭受紫外光照射而損壞。
- 彎曲與回火流程—將玻璃加熱到指定的溫度水準，並彎曲到想要的形狀以及用高壓氣體將玻璃冷卻；在本次流程中玻璃是從680°C加熱到720°C，並在1,800mm的水中用高壓氣體冷卻。玻璃被冷卻下來經過檢查和包裝後就可以發送出去。

圖 1.玻璃製造的流程圖



## 定義階段

印度朝日公司在2011年從西班牙的一家玻璃設備製造商Vetro工具公司，採買一套熔爐以使用於彎曲與回火的流程，這個決定是根據來自他的母公司的建議，而且訊息顯示出該熔爐可以使用於生產雙邊的側門以及後門的玻璃。過去印度朝日公司使用多個熔爐以生產側門玻璃或是後門玻璃。

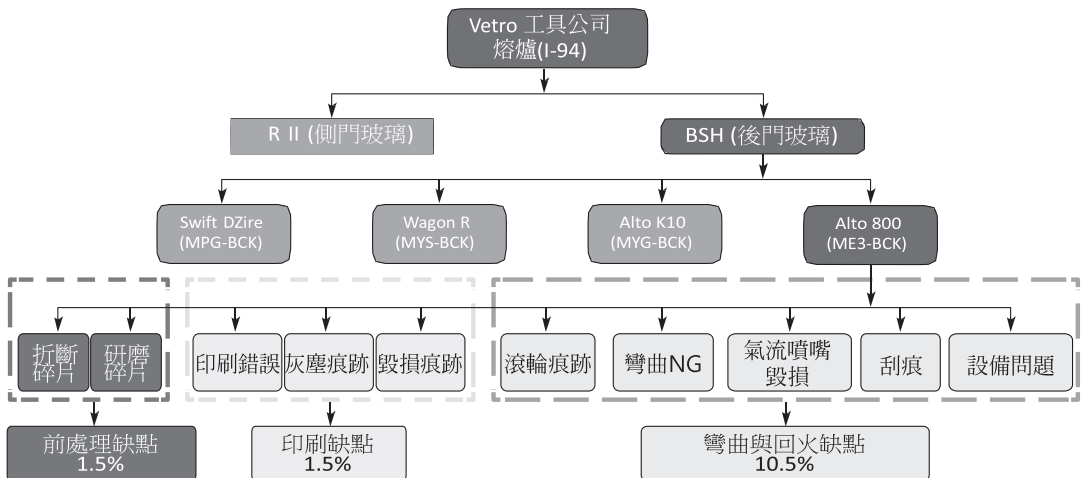
很不幸地，由於時間的限制以及來自原始設備製造商(OEM, Original Equipment Manufacturer)在印度有很多的玻璃供應量，使得製造商對這兩個種類的玻璃之嘗試無法獲得完美的成功。在印度後續使用該熔爐顯示，雖然有可能獲得對側門玻璃的產

量及生產率達到程度令人滿意的水準，但是對後門玻璃的產量及生產率水準仍然存在著很大的落差而且反而降低了。

問題的陳述：後門玻璃的總製造產量是90.2%，違反了從2013年4月到2014年2月所預定的93.5%。因為總產量目標辜負了大家的期望，這不僅造成財物的損失，也無法從該熔爐取得足夠的玻璃良品以滿足客戶的要求是個問題。

使用範圍樹以選定型號(在後門玻璃之中)如圖2所示。在後門玻璃中因ME3後門玻璃是安裝在馬魯蒂鈴木Alto 800型的車上，其被選定是因為它是績效最差的玻璃型號(有最低的製造產量)，該ME3型號的後門玻璃之製造產量是86.8%，

圖2. 問題範圍



將製造產量分解為次級的流程其為如下：

- 1.前處理=98.5%
  - 2.印刷流程=98.5%
  - 3.彎曲與回火流程=89.5%
- 滾製通過的產量(RTY, Rolled-Throughput Yield)=86.8%

(前處理\*印刷流程\*彎曲與回火流程)

圖2顯示出所有的缺點促成了在這三

個次級流程的退貨，因此成立一個跨功能的團隊其包括專業技能的專家(SME, Subject Matter Experts)，並設定挑戰性的目標以改善這三個次級流程以達到下列的目標水準：

- 1.前處理=99.5%
- 2.印刷流程=99.5%
- 3.彎曲與回火流程=93.5%

這些是根據該組織在日本的母公司相類似種類的設備之基準數字做為目標，從

這兒針對前處理及印刷流程的產量要達到99.5%的產量將是有可能的。

就彎曲與回火流程在日本一套完全機械化的熔爐之產量是97.5%，考量到在印度朝日該研究下的熔爐並未完全機械化而且也未曾有過使用該一種類的熔爐經驗，

因此彎曲與回火流程的目標產量是設定為93.5%。

需要減少這些缺點(所有都是屬性特性的類型)，因此表1顯示出所選定出的所有三個次級流程之缺點，該專案的進展由公司的製造副總裁每兩周審查一次。

表1 三個次級流程的缺點

流程	缺點	定義
前處理	缺點 1 折斷碎片	在折斷操作期間從玻璃邊緣所產出的小碎片形式的小部分玻璃
	缺點 2 研磨碎片	當鑽石滾輪和玻璃接觸玻璃毛邊時所產生的修剪玻璃毛邊削
印刷流程	缺點 1 印刷錯誤	從玻璃表面所移除的油漬
	缺點 2 灰塵痕跡	灰塵嵌進到所印刷的玻璃上謂之“灰塵痕跡”
彎曲與回火流程	缺點 1 滾輪痕跡	從滾輪傳送到玻璃沉積在玻璃表面上的外來微粒子
	缺點 2 氣流噴嘴毀損	在彎曲流程過後以高氣壓使其在淬火期間玻璃急速變為小的微粒子
	缺點 3 彎曲NG	曲率是玻璃與治具間間隙，利用錐度在玻璃的不同點量測，讀值必須在 $3 \pm 1.5$ 釐米的範圍內，當間隙不管是高於或低於規格值，該缺點就叫做彎曲NG

NG = 不良

在設定目標即選定主要的缺點過後，我們被要求使用一個製程流程圖(PFD, Process Flow Diagram)繪製所有的三個次級流程，也執行一份詳細的分析以了解每一個次級流程所隱藏的所有程序。

圖 3 彎曲與回火流程的 PFD 圖

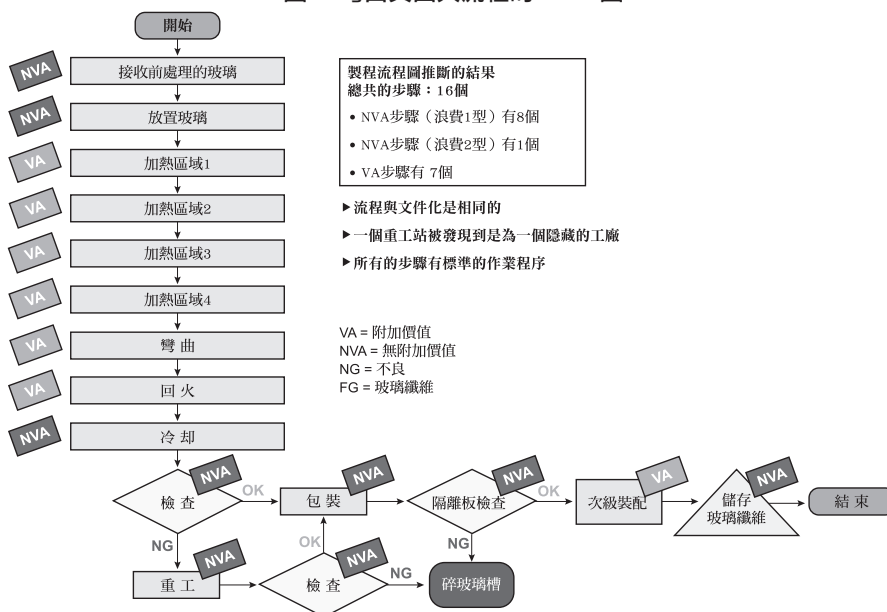


圖3顯示出彎曲與回火流程的PFD圖，這顯示出該流程有16個流程步驟—其中7個具有附加價值(VA, Value-Added)、8個不具有附加價值(NVA, Nonvalue-Added)但卻是流程上所必需的(浪費1型)以及1個步驟是NVA(浪費2型)且是濫用的<sup>1</sup>。

在DMAIC流程上定義了問題之後緊接著是量測階段。事實上在初始時期的期間當在定義問題時，你可以在定義和量測兩個階段間做交替，直到問題和目標可以很明確的定義出來。

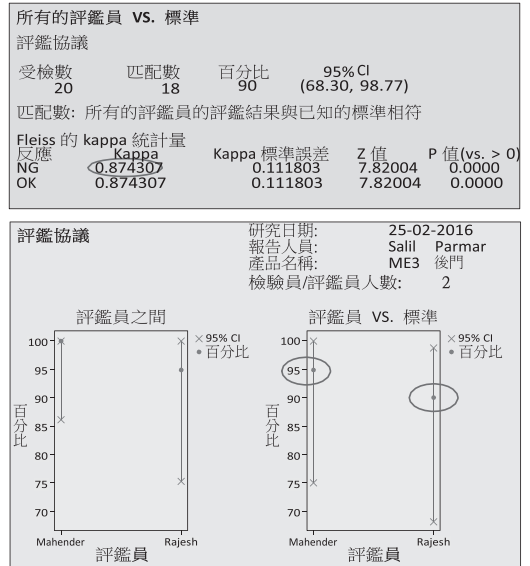
**量測階段**

量測階段時在你分析製程能力的輸入和輸出參數之前，必須檢查量測系統的準確性和精確性；該量測必須是統計性可管制的，意謂著量測系統的變異乃指源自於共同的原因—非特別的原因<sup>2</sup>。一套量測系統的品質通常是由隨著時間遞移所產生的資料之統計特性來決定的<sup>3</sup>。

為了檢查量測系統的變異應執行量測系統分析(MSA, Measurement System Analysis)，因為所調查的缺點認定為屬性的類型，進行屬性型的一致性分析以了解檢驗的變異，圖4顯示出對彎曲與回火流程的缺點1(滾輪痕跡)實施MSA研究。

取20個零件加以分析：5個相當的OK、5個完全不行(NG)、5個在OK的邊緣、5個在NG的邊緣；挑二位檢驗員參與該研究，所有的20個零件之真實狀況都以相同的標準加以註記，要求兩位檢驗員對零件的品質是OK或是NG提出他們的意見，表2顯示出所蒐集到的資料。

**圖4 滾輪痕跡的量測系統分析 (彎曲與回火流程的缺點1)**



CI=信賴區間

**表2 蒐集資料進行量測系統分析**

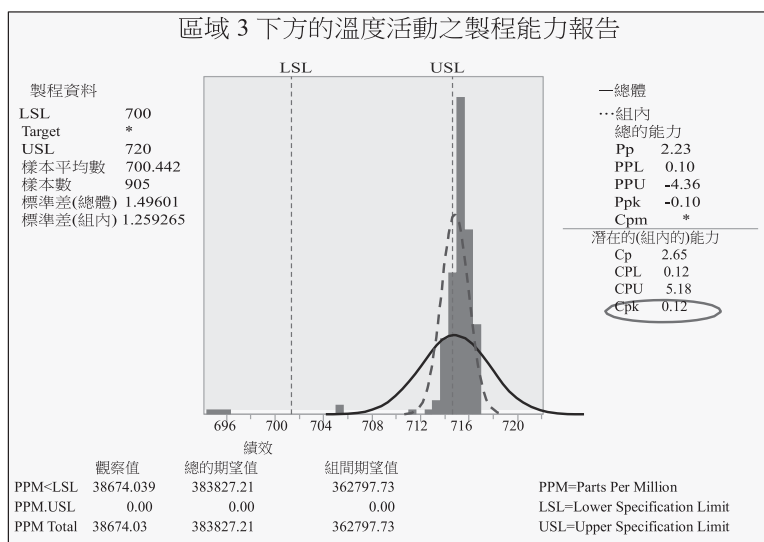
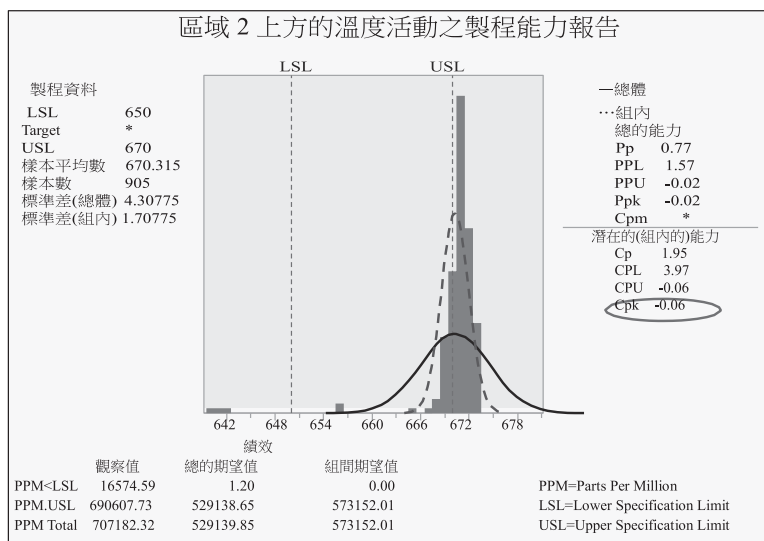
步驟編號	標準	檢驗員 Rajesh		檢驗員 Mahender	
		試驗 1	試驗 2	試驗 1	試驗 2
1	NG	NG	NG	NG	NG
2	NG	NG	NG	NG	NG
3	NG	NG	NG	NG	NG
4	OK	OK	OK	OK	OK
5	OK	OK	OK	OK	OK
6	OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK	OK	OK
11	OK	OK	OK	OK	OK
12	OK	OK	OK	OK	OK
13	OK	OK	OK	OK	OK
14	NG	NG	NG	NG	NG
15	NG	OK	OK	OK	OK
16	NG	NG	NG	NG	NG
17	NG	NG	NG	NG	NG
18	NG	NG	NG	NG	NG
19	NG	NG	NG	NG	NG
20	NG	NG	NG	NG	NG

一般上k值大於0.75表示達到令人滿意的極高一致性(最大的kappa=1)<sup>4</sup>，表2中的資料分析是使用Minitab統計軟體完成分析的，將結果加以比較並落在可接受的範圍內。表4顯示出輸出的結果，其很明確地指出兩位檢驗員的評分是在可接受的範圍內。對所有的次級流程中的其他缺點執行

相類似的程序，也發現到變異是在可接受的範圍內。

在得到量測系統是可接受之後，對輸入及輸出參數執行製程能力的研究，顯示出某些輸入參數是有製程能力小於1.33如圖5所示。

圖5 輸入參數具低Cpk值之製程能力分析



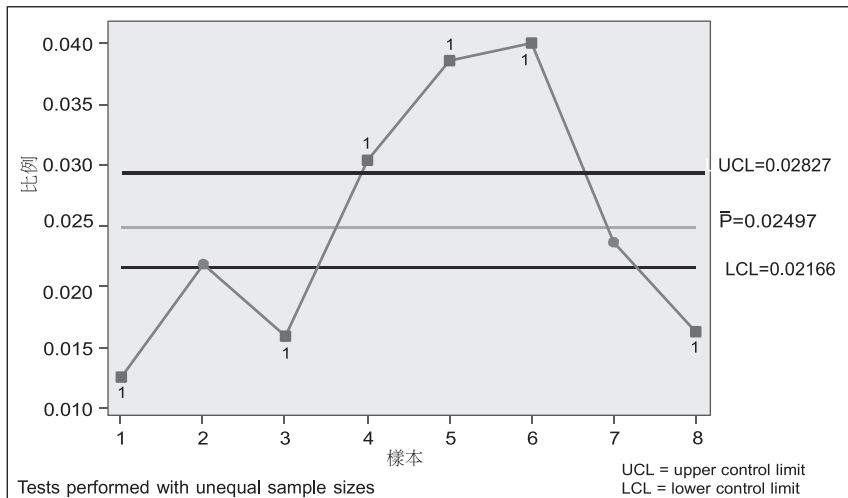
備註：\* 在表4中說明了區域2下方溫度及區域3上方溫度



能力分析顯示出某些參數並非是受管制的而且並未集中在目標值的左右，這造成對輸出參數的不良管制；圖6顯示出一個

輸出參數的管制圖(彎曲與回火流程的缺點1—滾輪痕跡)。

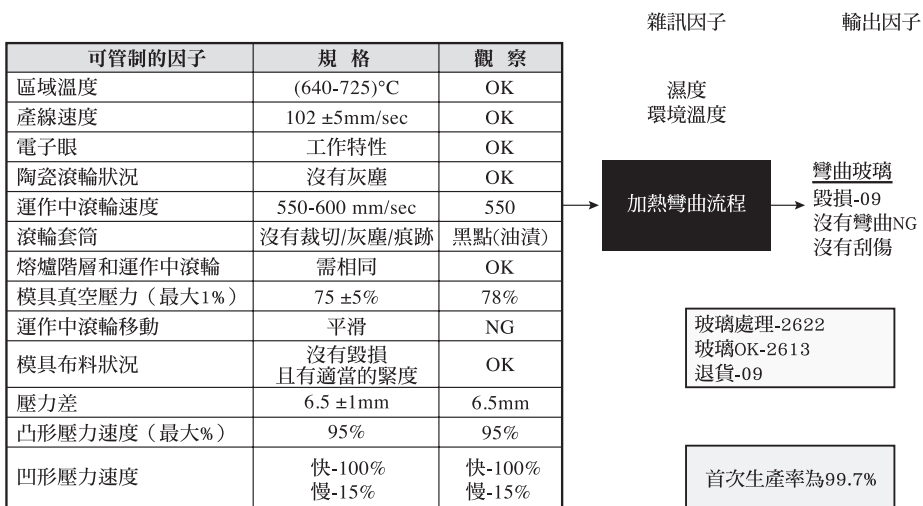
圖6 滾輪痕跡的p管制圖



在圖6中的p管制圖也刻劃出對輸出參數未做好管制，這需要加以改正。也是在這個階段，要對這三個次級流程的輸入參數加以文件化，這可利用輸入-輸出(I-O, Input-Output)表格和一個要因圖加以完成。圖7顯示出加熱彎曲流程的I-O表格(彎曲與

回火流程的零件)。對加熱彎曲流程(99.7%)-高的、首次生產率(FTY, First-Time Yield)所持的理由為熔爐的加熱及彎曲階段是不易接近的，而且在加熱和彎曲流程期間不可能偵測出所有所發生的缺點。

圖7 彎曲流程的輸出輸入表格



所有的這些缺點是在最終的檢驗階段期間才被發現的，根據專家的流程專業技能，要想像出缺點正在發生是有此可能的。99.7%的FTY只涵蓋彎曲流程期間所打破的玻璃，在那個範圍程度上他並未有來自彎曲流程的其它缺點。

此一I-O表格凸顯出某些流程的基本條件並未被遵循(如在製程能力分析上所敘述的)，這些異常使用某些快贏(quick-win)的機會加以改正，在流程中改正了基本的差異之後，則必須要從所有的可能原

表3 彎曲與回火流程的要因矩陣

	缺點			
	彎曲 NG	氣流噴頭毀損	滾輪痕跡	
<b>客戶的優先權</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	
<b>輸入</b>				<b>總數</b>
玻璃溫度	3	9	3	135
產線速度	9	9	9	243
密封狀況	3	1	3	63
加熱器狀況	3	3	1	63
區域 1 上方溫度	9	9	9	243
區域 1 下方溫度	9	9	9	243
區域 2 上方溫度	9	9	9	243
區域 2 下方溫度	9	9	9	243
區域 3 上方溫度	9	9	9	243
區域 3 下方溫度	9	9	9	243
區域 4 上方溫度	9	9	9	243
區域 4 下方溫度	9	9	9	243

1、3和9表示輸入參數對輸出參數影響的評價

1 = 弱共相關 3 = 中共相關 9 = 強共相關

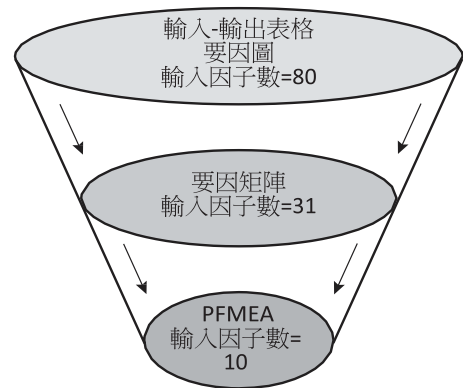
經過過濾後我們只留下10個潛在的原因以說明在彎曲與回火流程的缺點，一個類似的過濾程序也對前製程和印刷流程實施，經過過濾後的潛在原因數量為：

1.前處理的潛在原因—6個

因中過濾出潛在的原因。

使用一個要因矩陣以過濾出與缺點有高度相關程度的原因，表3顯示出彎曲與回火流程的一個要因矩陣之部分例子，被凸顯的那些原因是具有高度相關性的缺點。這些高相關性的輸入參數進一步的使用失效模式與效應分析(FMEA, Failure Mode and Effects Analysis)加以過濾出一個高程度的發生率，圖8顯示出對彎曲與回火流程的過濾程序。

圖8 彎曲與回火流程的漏斗流程



PFMEA=製程失效模式與效應分析

(Process Failure Mode and Effects Analysis)

2.印刷流程的潛在原因—7個

3.彎曲與回火流程的潛在原因—10個

在確定每個次流程的潛在原因後，很自然地要進行到分析階段以執行必要的流程參數之確認。

**分析階段**

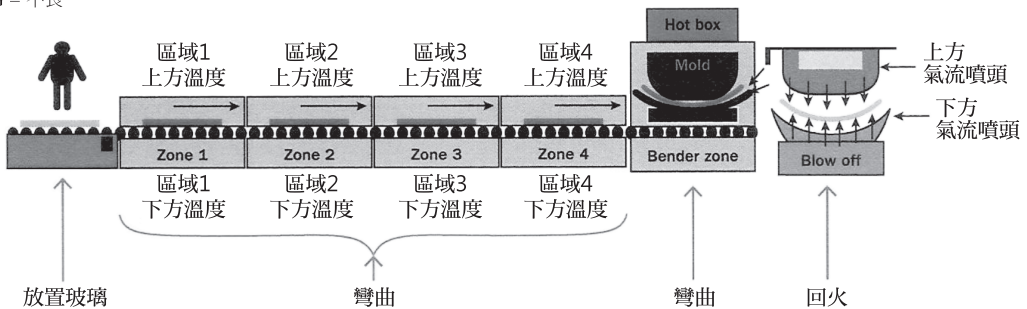
原因的確認是分析階段的一部分，在此我們可以透過圖解與統計的分析以進一步地刪除某些因子；為了完成這道程序，

在所進行的流程中針對所有潛在的原因及缺點蒐集資料，借助SME的幫忙設計了資料蒐集的表格，表4顯示出針對彎曲與回火流程設備之資料蒐集的表格設計。

**表4 彎曲與回火流程設備之資料蒐集的表格設計**

日期	班別	主產線速度	區域1上方溫度	區域1下方溫度	區域2上方溫度	區域2下方溫度	區域3上方溫度	區域3下方溫度	區域4上方溫度	區域4下方溫度	彎曲 NG	氣流噴嘴毀損	滾輪痕跡
02/14/2014	第三班	103	645	640	670	665	705	700	715	705	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	645	640	670	665	705	700	715	705	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	645	640	670	665	705	700	715	705	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	645	640	670	665	705	700	715	705	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	645	640	670	665	705	700	715	705	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	639	673	665	707	700	724	712	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	639	673	665	707	700	724	712	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	639	673	665	707	700	724	712	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	639	673	665	707	700	724	712	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	639	673	665	707	700	724	712	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	650	642	672	666	708	700	721	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	650	642	672	666	708	700	721	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	650	642	672	666	708	700	721	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	650	642	672	666	708	700	721	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	650	642	672	666	708	700	721	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	646	640	673	665	703	700	724	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	646	640	673	665	703	700	724	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	646	640	673	665	703	700	724	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	646	640	673	665	703	700	724	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	646	640	673	665	703	700	724	710	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	641	672	664	708	700	726	712	OK	OK	NG
02/14/2014	第三班	103	647	641	672	664	708	700	726	712	OK	OK	OK
02/14/2014	第三班	103	647	641	672	664	708	700	726	712	OK	OK	NG

NG = 不良



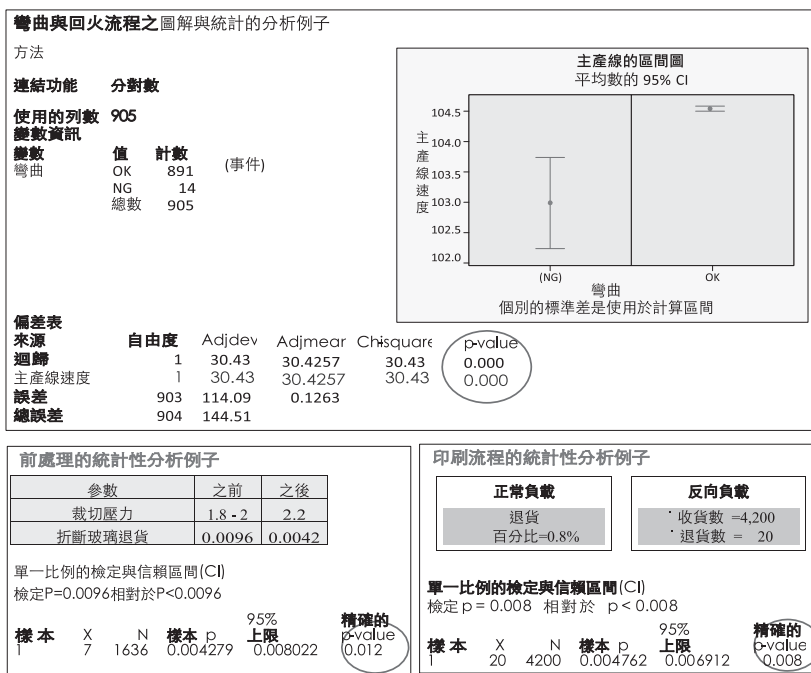


抽取900片的玻璃資料(每30分鐘有10片玻璃)以深入了解狀況，其中缺點已產生，因此可以建立流程參數的適當相互關係，圖9—由表4的實際觀察中取得—是執行一個分析的說明圖以確認必須對缺點擔負起責任的是有哪些因子。

在這個個案的輸入參數是連續性的而且缺點是離散變數，必須在圖解分析上用一個區間圖加以分析，而在統計分析上

使用二元邏輯迴歸加以分析。在前製程及印刷流程為了確認原因所做的資料蒐集，其輸入參數有連續性的和離散性的，而缺點是離散性的(OK/NG)，因此，需要使用one-proportion檢定以確認原因。圖9顯示出每個次流程的圖解與統計的分析例子，凸顯在圓圈中的p值 $<0.05$ ，意味著針對缺點再次加以檢定得出結果為這些原因仍是有效的。

圖9 圖解與統計的分析例子



相類似地，針對這三個次流程的所有潛在原因再次加以確認，有效的原因表列在表5上。在發覺出所有的有效原因之後，則要將他們最佳化；最佳化是改善階段的一部分，而且在本個案研究中相當成功地被執行著。

表5 三個次流程的有效原因表列

	前處理	印刷流程	彎曲與回火流程
1	解除裁切	1 隔離材料	1 主產線速度
2	折斷壓力	2 反向負載	2 區域 1 上方溫度
3	折斷制動器高度	3 濕膜厚度	3 區域 1 下方溫度
4	裁切壓力	4 烘乾機溫度	4 區域 2 上方溫度
			5 區域 2 下方溫度
			6 區域 3 上方溫度
			7 區域 3 下方溫度

## 改善階段

可以使用迴歸分析及實驗設計(DoE, Design of Experiment)以達到最佳化，迴歸所使用的是被動的資料亦即是在資料蒐集後再進行分析，但是DoE則是對資料的蒐集採取主動式的方式，亦即事先規劃你將如何以及何時蒐集你的資料<sup>5</sup>。利用DoE你可以封鎖對其他的雜訊之處理，以確保所看到的訊號是來自於所挑選的因子<sup>6</sup>。

由於資料蒐集的被動特性，利用迴歸你已完成限制了雜訊的管控<sup>7</sup>；而經由DoE你對量測系統的準確性比使用迴歸可以有更多的管控權<sup>8</sup>。因為本個案研究沒有歷史性的資料可供使用，所以最後決定要使用DoE以最佳化製程。

DoE被定義為是一套系統化的程序，在管控的條件下進行，作為發現一個未知

的效應，以檢定或建立一個假設、或是圖解說明一個已知的效應<sup>9</sup>。當分析一套製程時，經常使用實驗以評估製程的輸入對製程的輸出有一個顯著的影響，以及訂定那些輸入要達到甚麼樣的目標水準才得以能達到一個預訂的輸出結果<sup>10</sup>。

在這一點上可以使用實驗性的設計，以達到最高的槓桿以降低設計的成本，並加速設計的流程、降低最近的工程上之設計與程序上的變更、並減少產品的物料及勞工的複雜度<sup>11</sup>。

在本個案研究中，在諮詢SMEs後規劃出本設計，表6顯示出所執行的實驗表列及假設檢定，每個次流程的實驗也表列上去，在此僅針對彎曲與回火流程的DoE加以詳述如後。

表6 所有三個次流程所執行的實驗表列

流程	編號	實驗/假設 細節	要改善的缺點
前處理	1	裁切壓力、折斷壓力以及折斷制動器高度的實驗設計	折斷玻璃
	2	採取解除裁切以裁切玻璃	折斷玻璃
印刷流程	3	以濕膜的厚度及烘乾機的溫度進行假設檢定	印刷錯誤
	4	以新材質的分隔裝置試驗	印刷錯誤
彎曲與回火流程	5	以主生產線、區域1上方及下方溫度、區域2上方及下方溫度、區域3上方及下方溫度進行假設實驗設計	彎曲不良、氣流噴頭毀損、滾輪痕跡

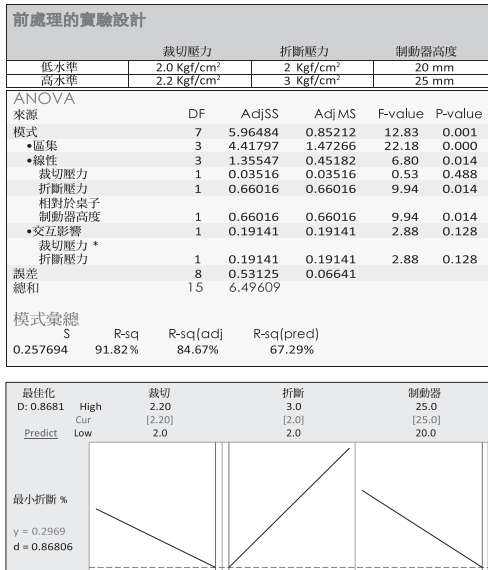
這三個實驗簡述如下：

1. 前處理實驗一進行的DoE有裁切壓力、折斷壓力以及折斷制動器高度以降低折斷碎片而被退貨。設計一個三因子解析度III(Resolution III)的設計有四個區集

以及16個處理以進行實驗。決定每一個處理對400個玻璃加工，此一設計以及為了缺點和分析所蒐集到的資料如圖10所示。



圖10 實驗設計和資料蒐集及其分析



日期	裁切壓力	折斷壓力	制動器高度	玻璃折斷%
1	2	3	25	1.5
1	2	2	20	1.75
1	2.2	3	20	2.25
1	2.2	2	25	0.75
2	2	2	25	0.5
2	2	3	20	1.5
2	2.2	3	25	1.25
2	2.2	2	20	1
3	2	3	20	0.25
3	2.2	2	20	0
3	2	2	25	0
3	2.2	3	25	0.25
4	2.2	3	20	0.75
4	2	3	25	0.75
4	2.2	2	25	0.25
4	2	2	20	1

從統計的角度看，裁切壓力和折斷壓力之交互作用應該已被忽略掉了，但是在SMEs的忠告之下，又將此納入因為這個參數的顯著水準大約是88%，利用Minitab以最佳化這些設定：

- 裁切壓力：2.2公斤力/平方公分
- 折斷壓力：2.2公斤力/平方公分
- 制動器高度：25釐米

將這些設定在生產線上實施執行，其將產生前處理產量的提升如圖13所示，很清楚地前處理產量已超越目標產

量99.5%，並且在這個水準上一直維持得很好。

- 2.印刷流程實驗—實驗使用新的間隔裝置(使用於區隔集貨架上的玻璃)具有較小的硬度以減少印刷錯誤的退貨。使用新的間隔裝置以生產34,564片的玻璃樣本，因印刷錯誤(印刷流程的缺點<sup>1</sup>)的退貨資料與歷來的印刷錯誤的退貨相互比較，其詳細的分析顯示在圖11中，其p值為0.000表示印刷錯誤的退貨於採用新的較小硬度之間隔裝置有顯著地降低。

圖11 印刷流程的假設分析

虛無假設 (H <sub>0</sub> )	舊的分隔裝置vs.新的分隔裝置(較不硬)沒有效應		
對力假設 (H <sub>a</sub> )	舊的分隔裝置vs.新的分隔裝置(較不硬)有效應		
檢定種類	兩個樣本比例檢定		
統計的結果 兩個比例之檢定與信賴區間			
Sample	X	N	Sample p
1	269	42,135	0.006384
2	144	34,564	0.004166
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00221806			
95% CI for difference: (0.00119853, 0.00323759)			
Test for difference = 0 (vs. ≠0): Z = 4.26 p-value = 0.00			
Fisher's exact test: p-value = 0.000			
結論：當P值<0.05接受H <sub>a</sub> ，因此新的分隔裝置優於舊的分隔裝置			

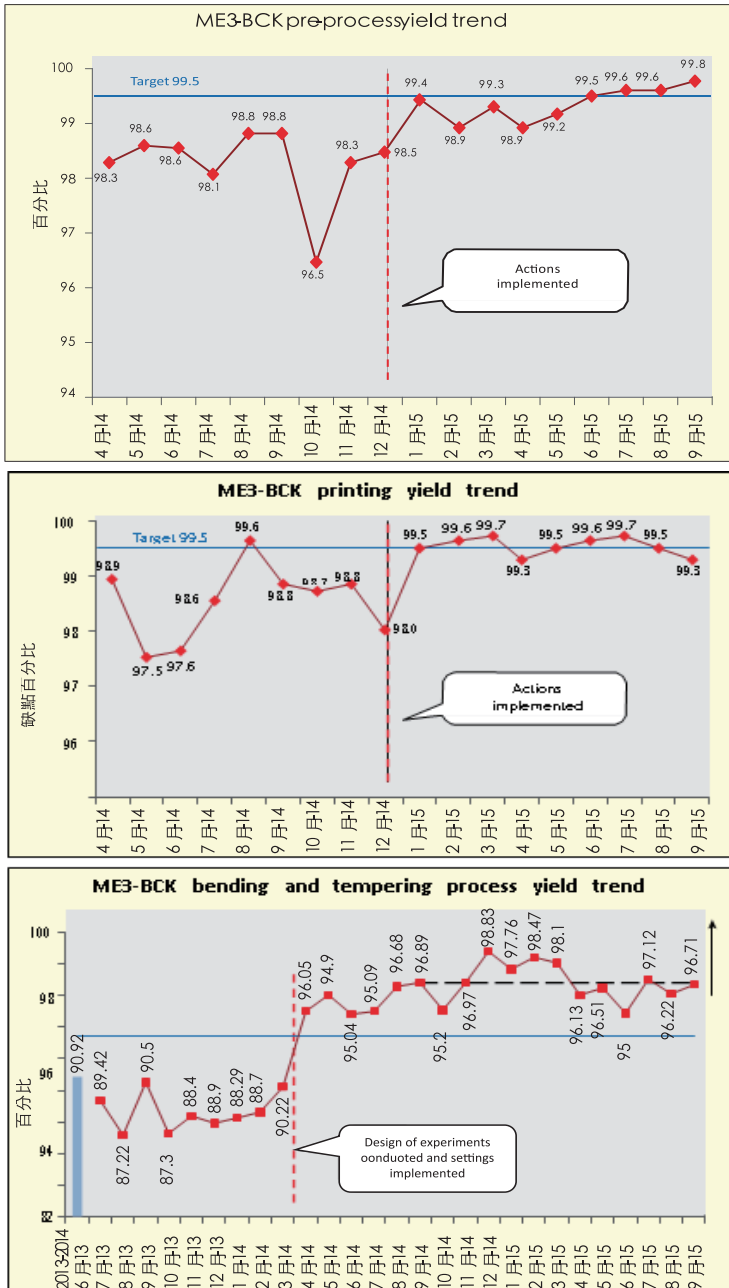
  

	印刷不良數	接收數量
前	269	42,135
後	144	34,564

相似地進行其他的實驗並在生產線上採取相應的對策，這些措施提升了印刷流程的產量如圖13所示，產量的圖

形顯示印刷流程的產量超越了99.5%的目標，而且在這個水準上一直維持得很好。

圖13 所有的三個次流程之流程產量趨勢圖



3. 彎曲與回火流程實驗一以主產線速度、區域1上方溫度、區域1下方溫度、區域2上方溫度、區域2下方溫度、區域3上方溫度、區域3下方溫度做DoE以減少彎曲的不良、氣流噴頭毀壞以及滾軸痕跡的

退貨。

此一特別的實驗是將彎曲與回火流程的輸入參數最佳化加以完成，在跨功能小組的成員間加以討論得出如表7所示的選定2個因子水準。

表7

因子	低標準	高標準
主產線速度	102 mm/sec.	108 mm/sec.
區域 1 上方溫度	635°C	655°C
區域 1 下方溫度	630°C	650°C
區域 2 上方溫度	655°C	675°C
區域 2 下方溫度	650°C	670°C
區域 3 上方溫度	695°C	715°C
區域 3 下方溫度	690°C	710°C

當在 $2^k$ 因子設計的因子數量增加時，為了完整的複製設計則所需的連數快速地增長遠遠超過大部分的實驗者<sup>12</sup>，在一個生產場所的一項實驗要考慮到這麼多的連數是不可能的。在篩選實驗期間主要是使用部分因子設計，其可以客觀地納入並使用很多的因子，以鑑別出有大效應的因子<sup>13</sup>。在一個兩個水準七個因子的設計中，將需要128個處理以完成一套的實驗；通常我們較喜歡使用部份的設計，因其有最高可能的解答以符合所要求的分別程度。

有關忽略交互作用以獲得結果的唯一解釋<sup>14</sup>，乃因較高的解答則會有較少的假設限制要求。理想上，全因子設計是最好的，只要一個交替方案不會減損準確度且可以減少處理的數量，則通常解法IV(Resolution IV)的設計是可被接受的，因為對兩因子的交互作用並沒有主要的效應相互交絡影響。在本個案中，設計一個有七個因子、Resolution IV、二個區集以及十六個處理的實驗，最後決定對每一個處理進行400片的玻璃，表8顯示出此一設計。

表8 彎曲與回火流程實驗的設計及資料的蒐集

日期 (區集)	主產線速度	區域 1 上方溫度	區域 1 下方溫度	區域 2 上方溫度	區域 2 下方溫度	區域 3 上方溫度	區域 3 下方溫度	彎曲 NG	氣流噴頭毀損	滾軸痕跡
1	108	655	650	675	670	715	710	0	0.01	0.0075
1	102	655	630	655	670	715	690	0	0	0.01
1	108	635	630	655	670	695	710	0	0	0.005
1	102	655	650	655	650	695	710	0	0	0.0025
1	108	655	630	675	650	695	690	0	0.0025	0.0025
1	108	635	650	655	650	715	690	0	0	0.0025
1	102	635	650	675	670	695	690	0	0	0.0025
1	102	635	630	675	650	715	710	0.0025	0	0
2	102	635	650	655	670	715	710	0.005	0.02	0
2	102	655	650	675	650	715	690	0	0.0125	0.0125
2	102	655	630	675	670	695	710	0.005	0.0075	0.005
2	108	655	630	655	650	715	710	0.0075	0	0.0025
2	108	655	650	655	670	695	690	0	0	0.005
2	108	635	650	675	650	695	710	0	0	0.02
2	102	635	630	655	650	695	690	0	0.005	0.0125
2	108	635	630	675	670	715	690	0	0	0.0075



製作一個共變數分析(ANOVA, Analysis of Variance)表，以確認該模型中的顯著因子，檢查因子效應的強度大小和方向通常是很重要的，如此得以決定哪些變數可能是重要的<sup>15</sup>，一般上ANOVA可以使用於確認這項說明<sup>16</sup>。使用表8的資料以產生ANOVA表，某些參數需要加以計算出來。下列針對氣流噴頭損壞提供計算的例子以產生一個ANOVA表：

· 總平方和(Total Sum of Square)= $0.0075^2+0.01^2+\dots+0.0075^2-(0.0075+0.01+\dots+0.0075)^2/16$   
=0.000537

· 對照<sub>主產線速度</sub> =  $(0.0075+0.005+\dots+0.0075)-(0.001+0.0025+\dots+0.0125)=-0.0325$   
 · 平方和<sub>主產線速度</sub> =  $(\text{對比}_{\text{主產線速度}})^2/1 \times 2^{7-3}$   
=  $(-0.0325)^2/16= 0.000066$   
 · 自由度<sub>主產線速度</sub> = 主產線速度的水準-2=2-1=1  
 · 均方和<sub>主產線速度</sub> = 平方和<sub>主產線速度</sub> / 自由度<sub>主產線速度</sub> =  $0.000066/1=0.000066$

相類似的方法，對所有的參數計算其平方和(SS)、自由度(DF)、均方和(MS)、F值和p值。針對氣流噴嘴毀損的完整之ANOVA表如圖12所示

圖12 氣流噴嘴毀損的ANOVA

ANOVA					
來源	DF	Adj SS	Adj MS	F值	P值
模式	5	0.000433	0.000087	8.34	0.002
•區集	1	0.000066	0.000066	6.35	0.030
•線性	3	0.000161	0.000054	5.15	0.021
主產線速度	1	0.000066	0.000066	6.35	0.030
區域1下方溫度	1	0.000047	0.000047	4.55	0.059
區域3上方溫度	1	0.000047	0.000047	4.55	0.059
交互影響	1	0.000207	0.000207	19.89	0.001
區域1下方溫度*					
區域3上方溫度	1	0.000207	0.000207	19.89	0.001
誤差	10	0.000104	0.000010		
總和	15	0.000537			

模式彙總			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0032234	80.65%	70.98%	50.48%

p值意味著對氣流噴嘴毀損該模型中所有的專有術語都是顯著的，而且R<sup>2</sup>值是80.65表示該模型中的所有專有術語說明了在氣流噴嘴毀損的80.65%的變異。

對氣流噴嘴毀損的資料以Minitab分析產生下列的等式：

氣流噴嘴毀損=0.0036-0.002生產線速度+0.0017區域1下方溫度+0.0017區域3上方溫度+0.0036區域1下方溫度\*區域3上方溫度

相類似的方法，對滾軸及彎曲NG的等式和ANOVA表也用公式表示，運用相似的方法，下列是滾軸及彎曲NG的等式：



- 滾軸痕跡=0.00625+0.00313生產線速度\*區域3下方溫度
- 彎曲NG=0.00125+0.00125區域3下方溫度-0.000938生產線速度\*區域2下方溫度

在此階段要最佳化這些缺點是相當容易的，因為已使用Minitab取得模型的等式，目標是要降低彎曲與回火流程的所有三個缺點。一直重複可以得到輸入參數的最佳水準，也可使用Minitab以最佳化參數，所得到的最佳化設定為：

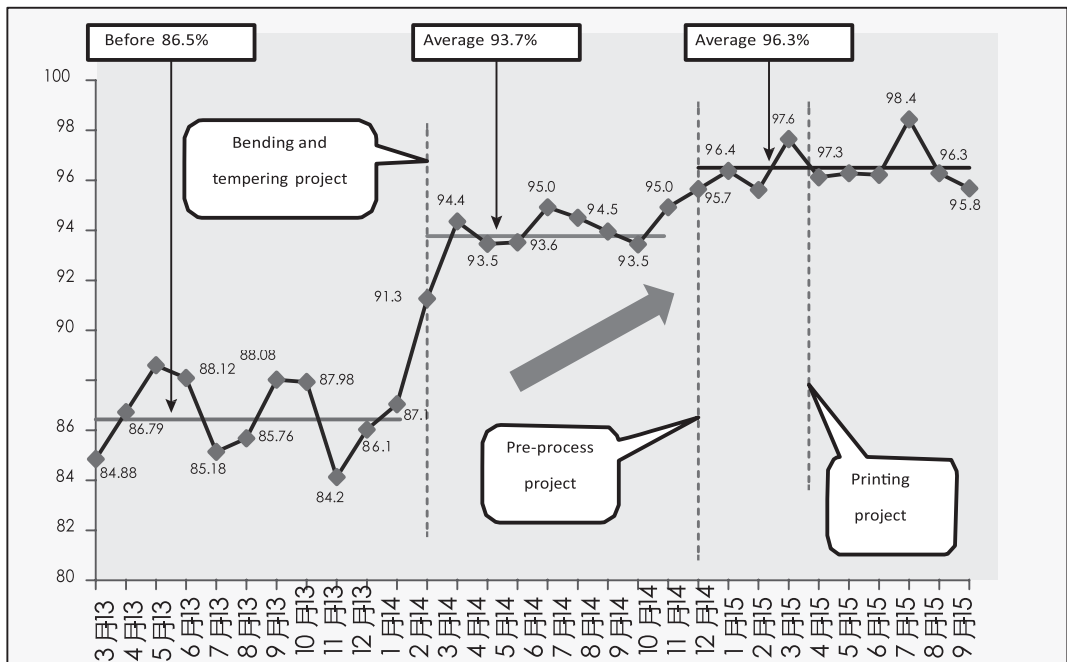
- 主力生產線速度：102 mm/sec.
- 區域1下方溫度：650°C

- 區域2下方溫度：650°C
- 區域3上方溫度：695°C
- 區域3下方的溫度：710°C

將早先的設定應用到製程中，如圖13所示在彎曲與回火流程產量得到突破性的改善，很明確地流程的產量已超越目標93.5%，並且在97%這個水準上一直維持得很好。

結合所有的三個次流程在一起，在圖14中所示為流程產量得到9.8%的改善。根據統計性的資料證據確認有改善，監督日常的資料以查核所採取的措施是有效的。

圖14 結合三個次流程之全部的流程產量



### 管制階段

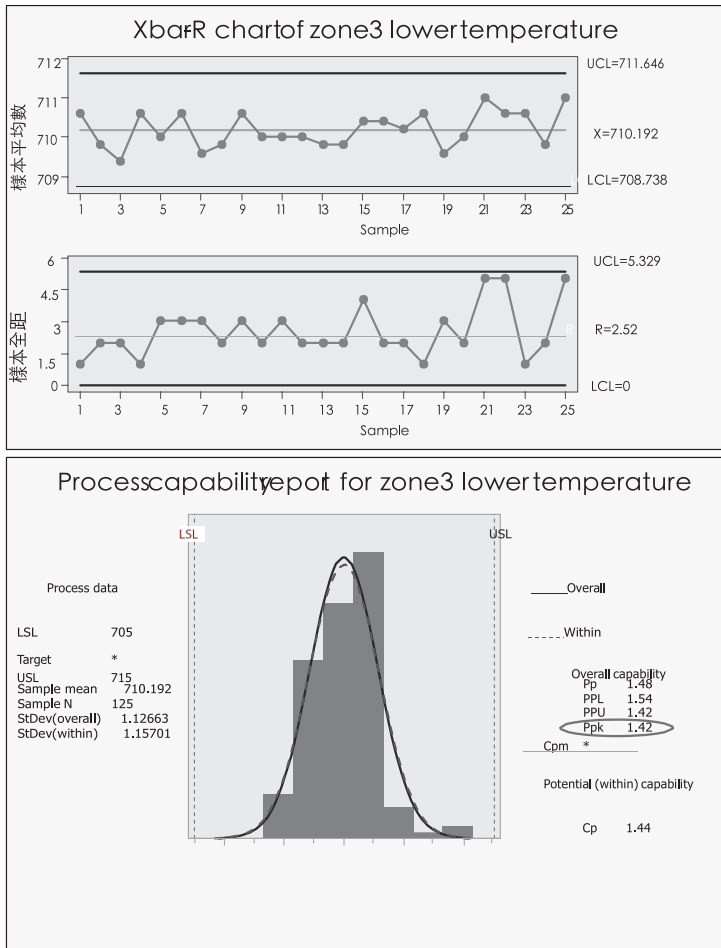
維持所執行的改善具有積極長期的企業影響是很重要的，管制階段企圖要保有在改善階段所取得的獲益；也必須採取措施以確保其他的產品或流程，不要再歷經已獲得解決之相類似的失敗<sup>17</sup>。引進一套

管制計畫以維持結果是根本之道，表9顯示出針對彎曲與回火流程的部分管制計畫，其是經過諮詢跨功能小組後所做的最後決定。對前處理和印刷流程也開發出類似的管制計畫，它們皆有助於維持改善的獲

益。使用管制圖以確認管制的有效性，並執行常態和能力分析以查檢流程的變化。圖15顯示出區域3下方溫度之管制圖，其顯示出製程參數都在管制界線內。也透過製

程能力研究，分析出不同的製程參數是可以勝任的，圖15中顯示出區域3下方溫度之樣本，它也顯示出Cpk為1.39其高於1.33因此被視為是可以接受的。

圖15 改善後之樣本管制圖及製程能力分析



**共相關性與企業矩陣**

本個案研究的改善相當獲得管理階層的賞識，該倡議使得每年的再發防止節省相當多獲利大約是美金230,000，本專案幫助管理階層了解到Six Sigma對製程改善的價值，並決定要將Six Sigma嵌進到公司問題解決的方法中。

本研究不只是降低了缺點，他也使團隊了解到問題解決所使用之統計工具之重要性。即使Six Sigma工具已成功地應用到本研究的玻璃製造流程，其全部的方法也可以應用到任何的產業，其Y=f(x)和目標達到最佳化輸入參數也可以改善流程產量。



### 思考不同的方法

在日新月異又競爭的市場中，任何行業都需要製作高品質低成本的产品，每個組織必須奮鬥不懈以符合這些重要的要求。為了在如此的情況下仍能有所獲利，因此降低製程中的缺點以削減製造成本是唯一的方法；這特別的適用於當原始設備製造商(OEM),年復一年的要求從他們的供應商降低零件的價格。

只要產品的品質受到關注，針對供應商的產品在其生產線上或是從顧客的觀點上所觀察到的缺點，OEMs也要求提供一套詳細的分析對策(A3報告)。A3報告是一個相當強而有力的工具，它建造了一套具體的架構以實施PDCA(Plan-Do-Check-Action)的想法，對問題提供洞察力以界定其原因<sup>1</sup>，該工具開始是由豐田(Toyota)公司所開發出來的，一直都是Toyota生產系統的核心<sup>2</sup>。

### 品質方法

雖然有很多的製程改善方法是使用統計學解決，但精實Six Sigma已成為一個成本有效的方法<sup>3</sup>。Six Sigma不同於傳統的問題解決方法，因為在採取改善措施之前它要求要有要因的證據，因為對大多數的組織而言，改善措施所能利用的資源相當有限<sup>4</sup>。Six Sigma是摩托羅拉(Motorola)公司在理解到每年要花5到10%的年收入以改正不良的品質<sup>5</sup>後，在1980年初由其所構思與開發出來的。

精實Six Sigma是一個著重製程的方法，其乃使用於組織內要做根本又重要之變更的一個工作方法。Mikel Harry曾說過組織在一個3 $\sigma$ 的水準之下運作，當他們所有的資源投入到希望達到6 $\sigma$ ，則可以期待每年有1 $\sigma$ 的轉換改善<sup>6</sup>。於是，組織將經歷：

- 利潤改善20%
- 生產力提升12至18%
- 員工數減少12%
- 資本支出減少10至30%

當你認為每年將要求有1 $\sigma$ 的改善直到達到6 $\sigma$ 的目標，這可能是一個艱困的目標。假使獲得高階管理階層的承諾以及一位倡議者從開始到結束帶領每個專案計畫，就產量、生產力和客戶績效而言，6 $\sigma$

必定改善組織的績效水準。

想想6 $\sigma$ 是著重在以各個專案計畫的方式取得改善，作者群認為在一般的情況下，使用Six Sigma的方法，玻璃製造商似乎可以產生較佳的結果。Six Sigma為了將重要的輸入和製造的最小變異以及業務的流程<sup>7</sup>等能發揮功效，以達到尋求改善製程輸出的品質。Six Sigma是一項業務改善的策略著重在改善產品、製程和利潤；它賦予組織改善績效以刪除有缺陷的製程和在產品上及服務上的缺點<sup>8</sup>。不同的統計工具一例如依據資料所做的假設檢定和統計證據一已被使用於改善製程。

如早先所提到的，本研究描述一個可以運用到各個產業的簡單方法—不只是汽車玻璃製造商—使用最小的努力以最佳化輸入因子以影響製程以改善製程產量。—K.K.,K.K.和S.Y.

### 參考文獻

- 1.Durward K. Sobek II and Art Smalley, Understanding A3 Thinking, Productivity Press, 2008.
- 2.John Shook, Managing to Learn, Lean Enterprise Institute, July 2010.
- 3.Vijaya Sunder and Jiju Antony, "Offshore Output," Six Sigma Forum Magazine, May 2015, pp. 8-20.
- 4.Chew Jian Chieh, "Six Sigma Basics: DMAIC Like Normal Problem Solving," Feb. 26, 2010, iSixSigma, www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/dmaic/six-sigma-basics-dmaic-normal-problem-solving.
- 5.Mikel J. Harry and Richard Schroeder, Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations, Doubleday, 2000.
- 6.Ibid.
- 7.Mikel J. Harry, Prem S. Mann, Ofelia De Hodgins, Chris Lacke and Richard Hulbert, Practitioners Guide for Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements, Wiley, 2010.
- 8.Joseph De Feo and William Barnard, Juran Institute's Six Sigma Breakthrough and Beyond: Quality Performance Breakthrough Methods, McGraw-Hill Professional, 2004.

註釋及參考文獻：

1. Value-added (VA) steps are those that change the shape of the product that the customer is willing to pay for. VA steps are done right the first time. Similarly, nonvalue-added (NVA) steps are those that may be necessary to complete production, but they do not change the shape of the product. This type of NVA is called a business NVA (muda type one) activity. The other type of NVA activity is muda type two, which means waste, and can be avoided.
2. Forrest W. Breyfogle III, *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods II*, John Wiley & Sons, 2003.
3. Automotive Industry Action Group (AIAG), *AIAG Measurement System Analysis Reference Manual*, fourth edition, 2010.
4. Ibid.
5. iSixSigma, "How Is DOE Different From Regression," online forum discussion, April 8, 2008, [www.isixsigma.com/topic/how-is-doe-different-from-regression](http://www.isixsigma.com/topic/how-is-doe-different-from-regression).
6. Ibid.
7. Ibid.
8. Ibid.
9. Moresteam.com, "Design of Experiments," [www.moresteam.com/toolbox/design-of-experiments.cfm](http://www.moresteam.com/toolbox/design-of-experiments.cfm).
10. Ibid.

11. Ibid.
12. Douglas C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, eighth edition, John Wiley and Sons, 2013.
13. Ibid.
14. Ibid.
15. Ibid.
16. Ibid.
17. Matthew Barsalou and Robert Perkin, "A Structured, Yet Flexible, Approach," *Six Sigma Forum Magazine*, August 2015, pp. 21-25.

資料來源：譯自 Kumar, Krishan;Kumar, Krishen;Yadav, Sumit. (Six Sigma Forum Magazine, November 2016) Breakthrough Solution, 16 (1), pp. 7-22

