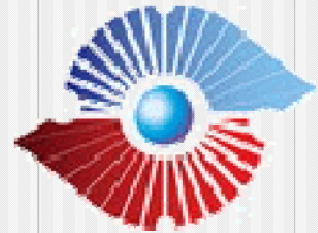


能源績效基準線及指標建立 統計與不確定度

主 講 人

柯 明 村
博 士



國立臺北科技大學 能源與冷凍空調工程系

自我介紹

柯明村(Ming-Tsun Ke)

- 國立臺北科技大學 能源與冷凍空調工程系
- 合格國際量測驗證師 CMVP (IPMVP Level 3& Level 4, AEE and EVO)
- 中國制冷學會-制冷高級工程師
- 國家標準技術委員會委員
- 公共工程採購評選委員會專家學者
- 教育部 環保小組委員
- 財團法人台灣綠色生產力基金會節能技術發展中心—顧問
- 台灣能源技術服務產業發展協會—顧問
- 中華民國能源技術服務商業同業公會—顧問

能源
室內空氣品質

能源服務相關經驗

- 政府與財團法人機構節能相關研究計畫主持人
 - ✓ 建立節能績效量測與驗證之程序及文件
 - ✓ 開發創新設備：蒸發式冷卻設備、溶液除溼空調箱、自然空調機、能源管理服務雲運算平台
 - ...
- 產學合作 節能設備/系統開發、第三公正檢測、測試調整平衡(TAB)等專案合作計畫
- 中技社、財團法人台灣綠色生產力基金會 能源查核
- 財團法人台灣產業服務基金會 高科技廠節能輔導

自我介紹



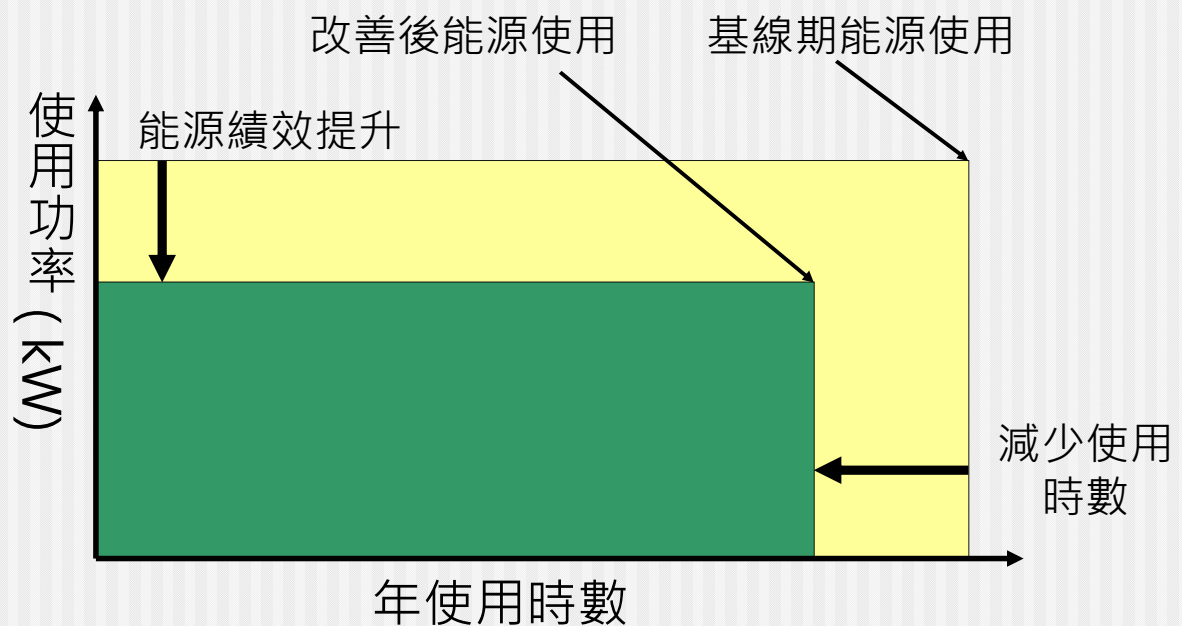
自我介紹



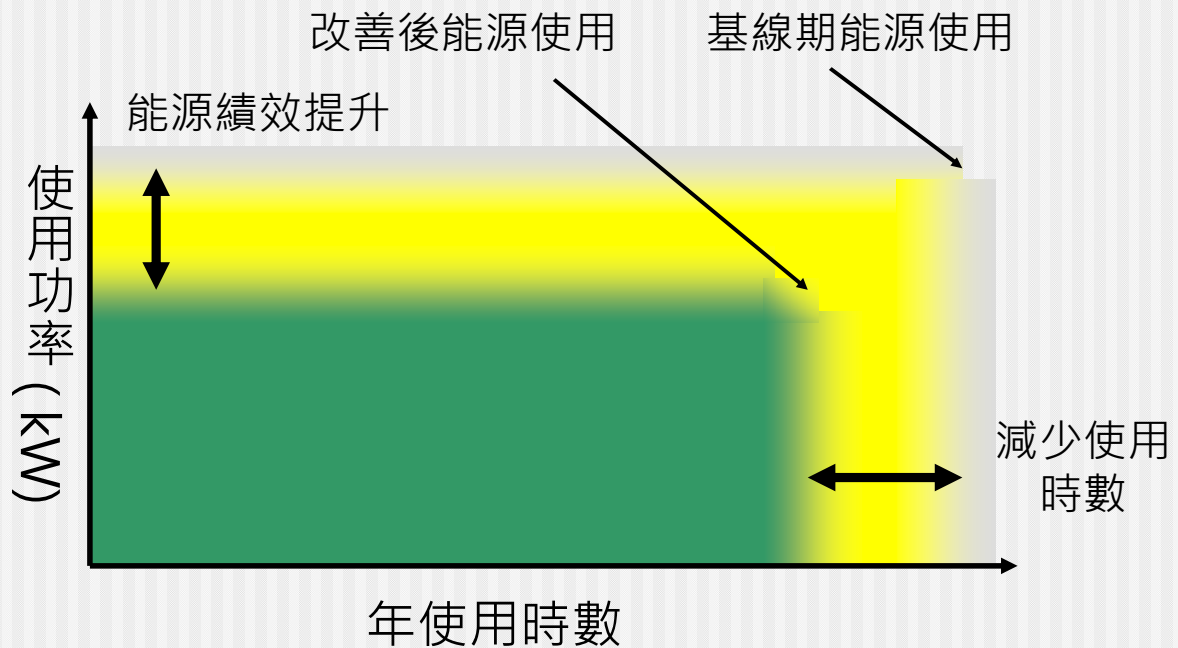
內容

- 能源績效之不確定度(Uncertainty)
- 統計參數、定義與要求準則
- 案例說明-Option B
- M&V費用
- 進一步訓練
- 迴歸(Regression)分析實作

能源績效與使用量-理想狀況



能源績效與使用量-實際狀況



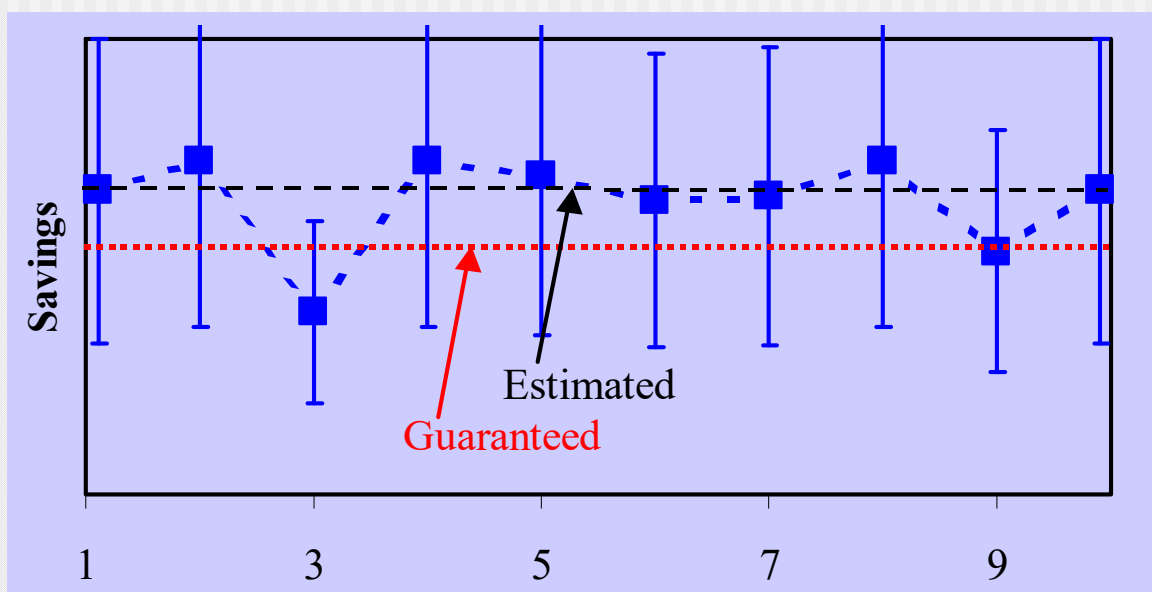
能源績效之不確定度(Uncertainty)

- ❑ 節能績效是無法量測的!
- ❑ 透過量測基準期、與報告期之能源使用量，可比較其能源使用之差異。
- ❑ 但是，我們無法知道基準期、與報告期之「真正」能源使用量—因為二者之量測一定存在不確定度!

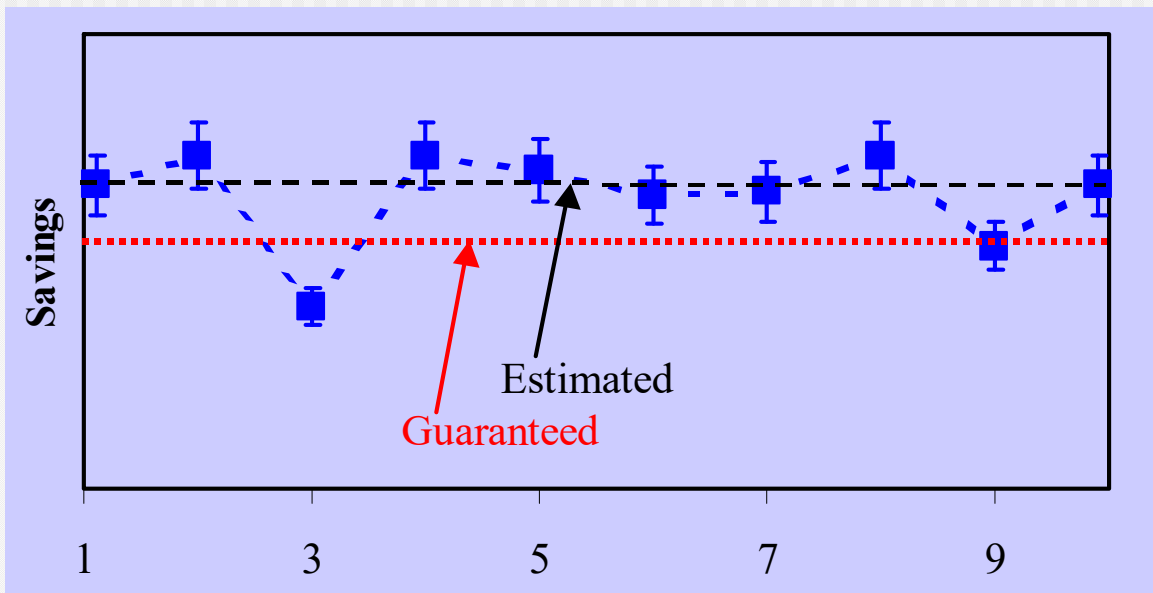
能源績效之不確定度(Uncertainty)

- 我們宣稱的節能績效都是估計的，因為節能績效本身是無法量測得到的。
- 不確定度的來源為：
 - ✓ 量測與模型之誤差
 - ✓ 取樣之誤差
 - ✓ 所做之簡化與假設
- 這些原因皆存在於M&V之中！
- 不確定度可以降低，但無法消除！

能源績效之不確定度(大)



能源績效之不確定度(小)



節能績效必須大於2倍標準誤差(standard error)
--ASHRAE Guideline 14.

統計參數定義

量測數據

	Actual	Computed Differences From the Mean	
	Reading	Raw	Squared
1	950	-50	2,500
2	1,090	90	8,100
3	850	-150	22,500
4	920	-80	6,400
5	1,120	120	14,400
6	820	-180	32,400
7	760	-240	57,600
8	1210	210	44,100
9	1,040	40	1,600
10	930	-70	4,900
11	1,110	110	12,100
12	1,200	200	40,000
Total	12,000		246,600

數據平均值: $\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{12,000}{12} = 1,000$

變異數 (Variance, S^2): $S^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} = \frac{246,600}{12-1} = 22,418$

標準偏差 (Standard Deviation, s):

$$s = \sqrt{S^2} = \sqrt{22,418} = 150$$

標準差 (Standard Error): $SE = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{150}{\sqrt{12}} = 43$

$$SE_{\hat{Y}} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n - p - 1}}$$

R² 定義

R² 為評價量測因變數(Y)與模型計算之因變數(\hat{Y}_i)分別與其平均值(\bar{Y})間之變異程度

$$R^2 = \frac{\text{Explained Variation in } \hat{Y}}{\text{Total Variation in } Y}$$

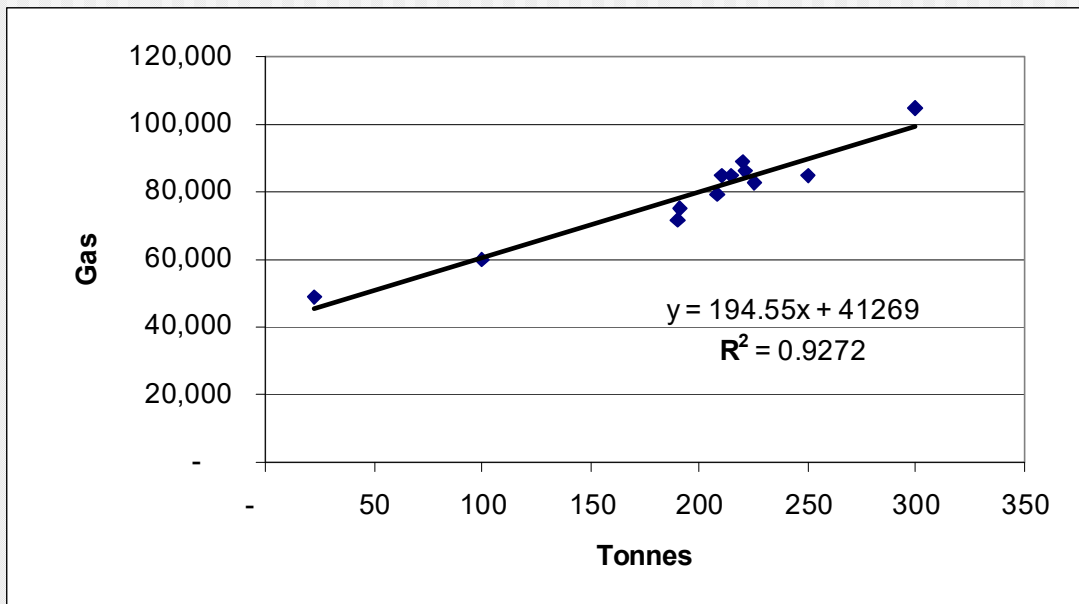
$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}$$

R² 討論

- 最常用的評估指標是R²，判定係數，其代表模型可解讀的數據變動百分比。
- 通常認為 **R²大於0.75** 就是可以接受的，不過更進級的統計學分析可以提供更充分的依據。

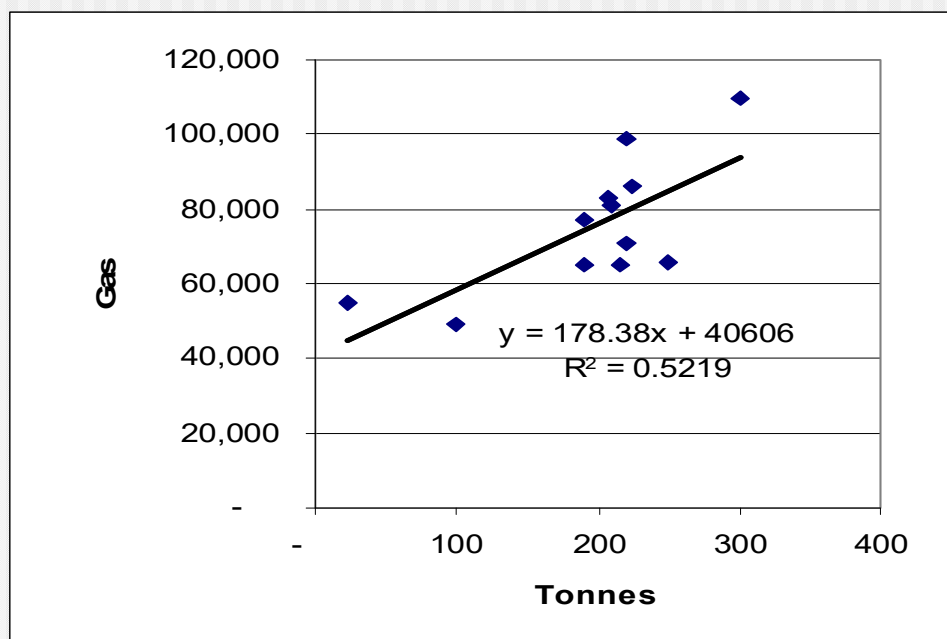
參見 IPMVP 卷 1 2010，附錄B-2.2.1

R² 討論



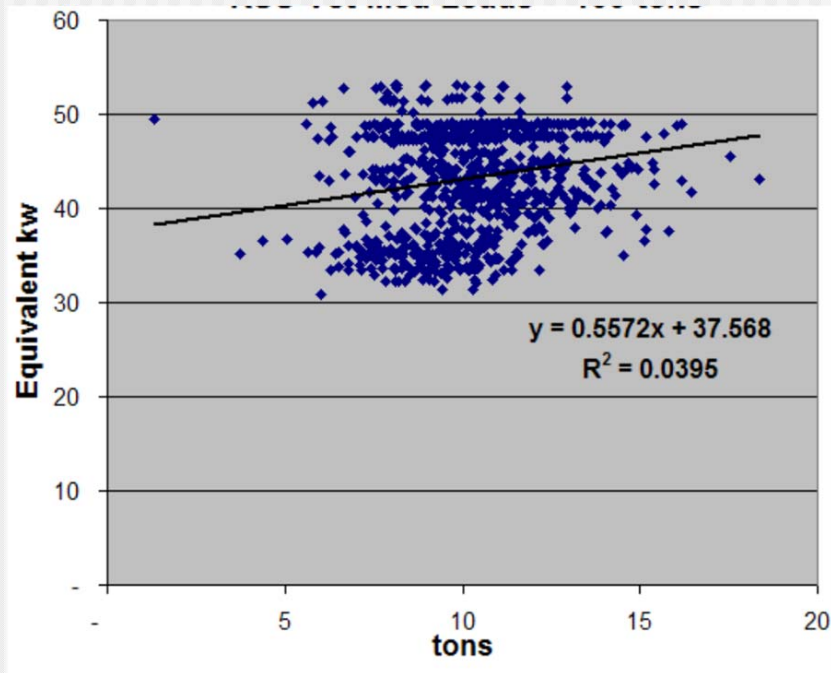
R²等於0.93，意味著 93%的瓦斯變化可以用這個數學模型解釋

R² 討論- 比較差的



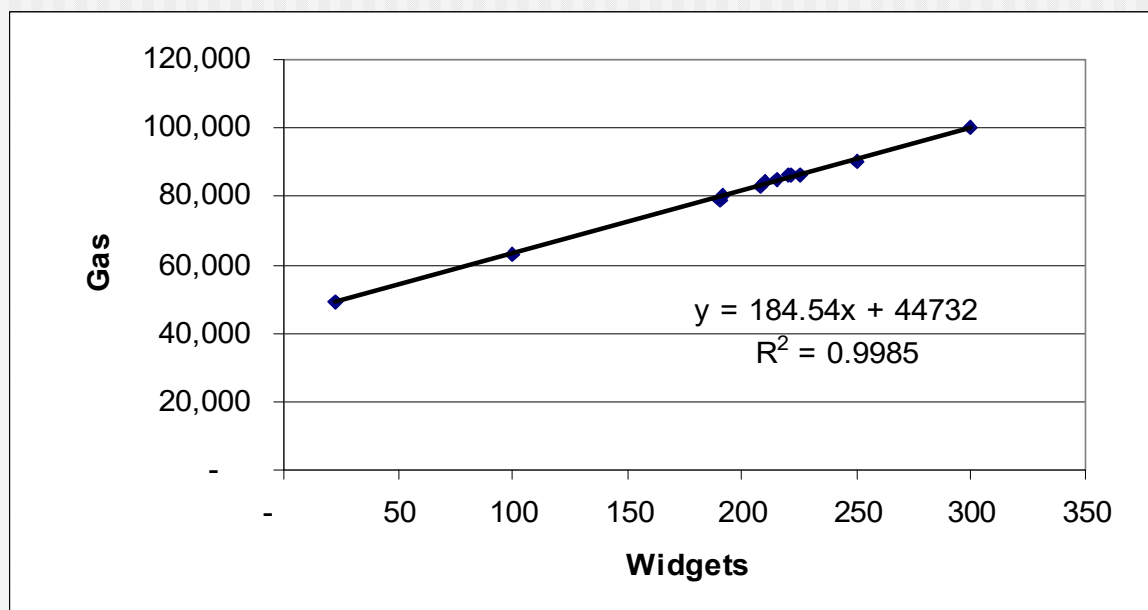
這個數學模型只解釋了52%的瓦斯變化

R^2 討論 - 無相關性



冷卻水塔 - “不受控制” 冷卻模式

R^2 討論 - 理想值

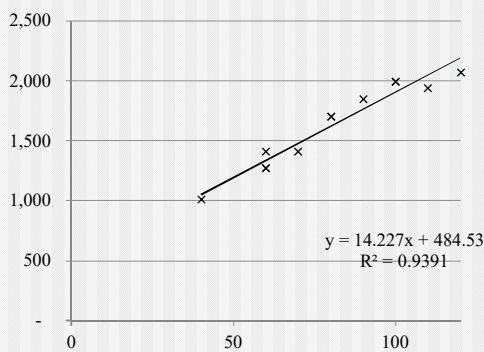


這個數學模型解釋了99.9%的瓦斯變化

注意 - R² 並不完美

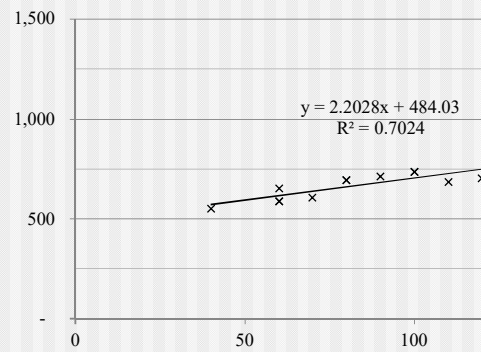
- 斜率高的曲線代表有較高的 R²
- 例如 5% 的變化產生不同的 R²

斜率較高



$$R^2 = 0.94$$

斜率較低



$$R^2 = 0.70$$

資料分析計算 - CV值

- 另一個評估指標是變動係數 (Coefficient of Variation, CV). CV 代表是與回歸線的變動程度 (全名是 CV(RMSE))。

$$Cv = \frac{S.E.}{Mean}$$

- 範圍從 0.0 to 1.0, (or 0 to 100%). 0.0 或 0% 最理想的值。
- **CV值低於 0.05 (5%) 通常為可接受的**，不過更進級的統計學分析可以提供更充分的依據。

See IPMVP Vol 1 2010, Appendix B-2.2.2

R² 與 CV 值

以前例來說

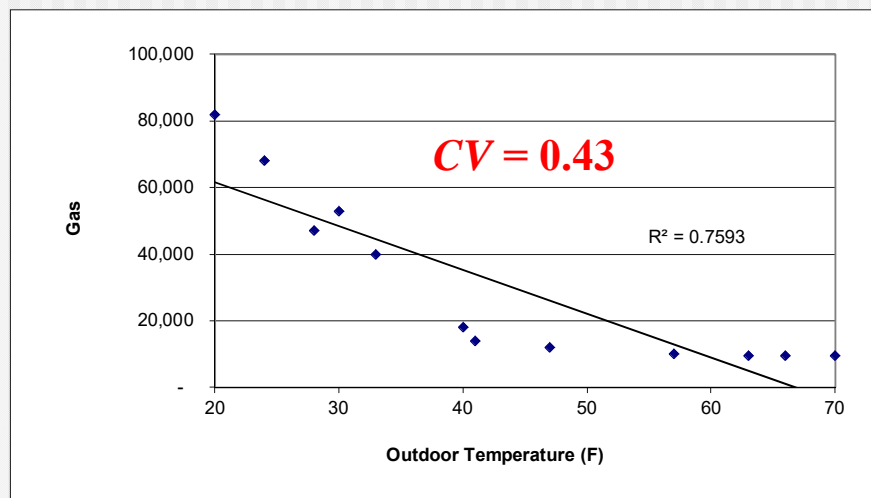
	斜率高	斜率低
R ²	0.94	0.70
CV	0.056	0.054

結論:

- 斜率對 CV 值影響較小
- 考慮 R² 和 CV, 或許還有其他的指標, 需要統計專家協助

<回到> 更複雜的分析 - 2

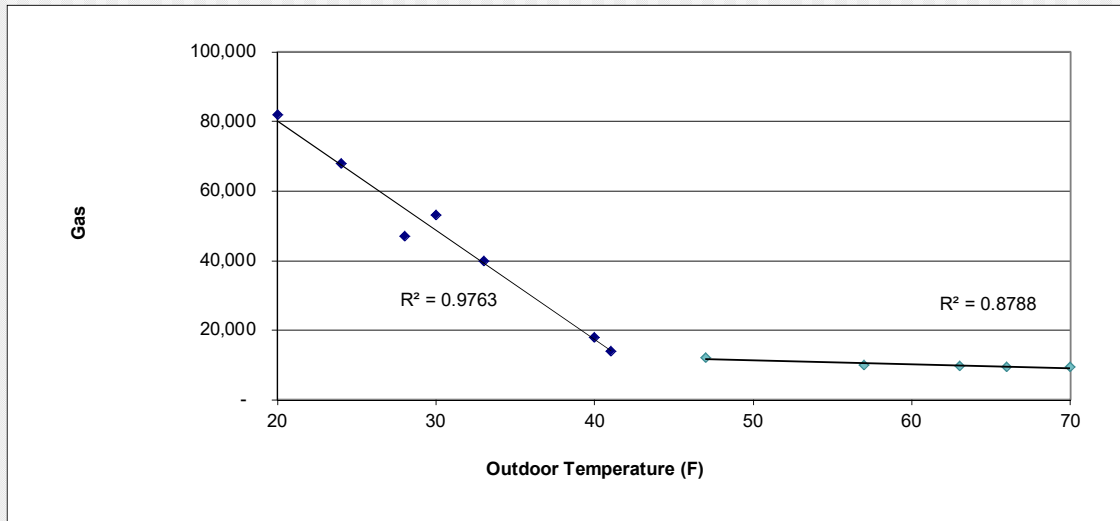
試試用一條直線?



R² 剛好在可接受限度內, 但難以決定, 可是 CV 顯示結果極差

<回到> 更複雜的分析 - 3

兩條直線會更好一些！



現在有兩個很好的 R^2
 冬季 CV 0.09 夏季 CV 0.04

評估 t-statistics

SUMMARY OUTPUT	
Regression Statistics	
Multiple R	0.9238
R Square	0.8534
Adjusted R Square	0.8208
Standard Error	16,002
Observations	12

	Coefficients	Standard Error	T- Stat	Lower 95%	Upper95%
Intercept	38,949	59,401	0.7	- 95,426	173,323
DD	169.82	24.1	7.0	115	224
Days	2,190	1,937	1.1	- 2,193	6,572

- ❑ 每一個係數之 Standard Error 可由 Excel 試算表計算而得
- ❑ 比較每一個係數之數值與其 SE
- ❑ $t\text{-stat} = \text{Coefficient} \div \text{Standard Error of the Coefficient}$
- ❑ If $t\text{-stat} < 2$ ，則對此係數之信心度低
- ❑ 通常選擇之模型其自變數對應之 $t\text{-stat}$ 必須 > 2 ，才具統計意義
- ❑ 注意每一個係數為 95% 信心度區間

統計有效性之準則

Parameter Evaluated	Abbreviation	Suggested Acceptable Values	Purpose
Coefficient of determination	R ²	> 0.75	Indicates model's overall ability to account for variability in the dependent variable. Lower R ² values may indicate independent variables may be missing or additional data is needed.
Coefficient of variation of root-mean squared error	Cv(RSME)	< 15%	Calculates the standard deviation of the errors, indicating overall uncertainty in the model
Mean Bias Error	MBE	+/- 7%	Overall indicator of bias in regression estimate. Positive values indicate higher than actual values; negative values indicate that regression under-predicts values.
t-statistic	t-stat	> 2.0	Absolute value >2 indicates independent variable is significant

✓ **ASHRAE criteria is that bias must be < 0.005%**

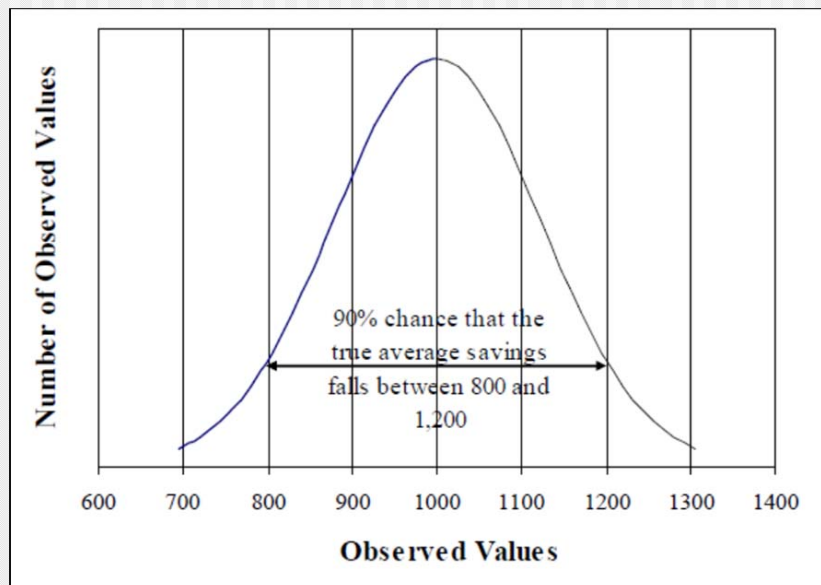
✓ **t-stat=Coeff./SE**

✓ **If t-stat<2，則對此係數之信心度低**

✓ **通常選擇之模型其自變數對應之t-stat必須>2，才具統計意義**

✓ **cv=SE/Mean**

信心度

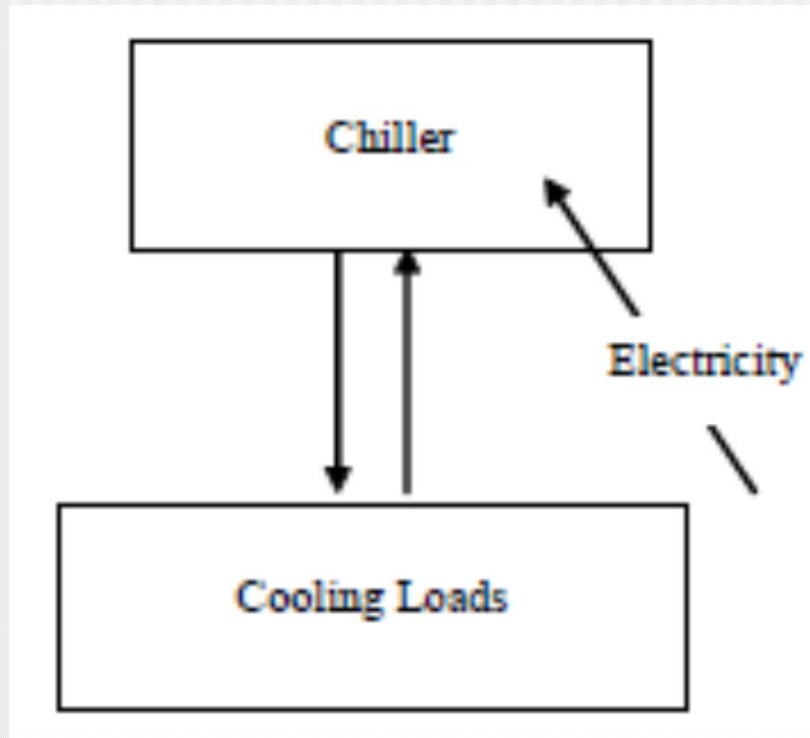


常態分佈

節能績效 = 1,000 ±20% ，信心度90%

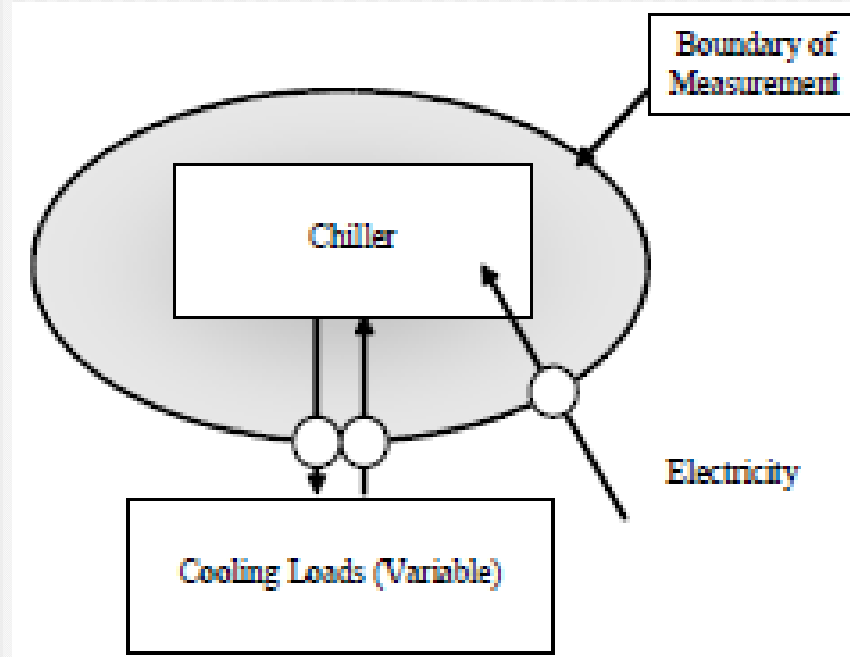
(90/20陳述)

Option B: Example



量測邊界

Meter chilled water energy & compressor electricity.



基準線期

基準線期之工作為舊冰水主機在拆除之前的性能量測。

Option B Step 2 (調整基準)

- ❑ 決定在改善後(報告期)，需在哪種操作條件下，調整基準線期(舊冰水機)之性能。
- ❑ 利用此種基準分析計算方法，所得到的節能量稱之為「避免之節能量」。

Option B Step 3 (基準線期量測數據)

- ❑ 校正欲安裝之熱能與電力之儀表
- ❑ 於預訂選擇之位置安裝儀表
- ❑ 量測收集舊冰水主機至少一個完整運轉週期之特性 – 平均之逐時負載與用電功率

Option B Step 3 (基準線期量測數據)

測試數週後，收集所有數據：

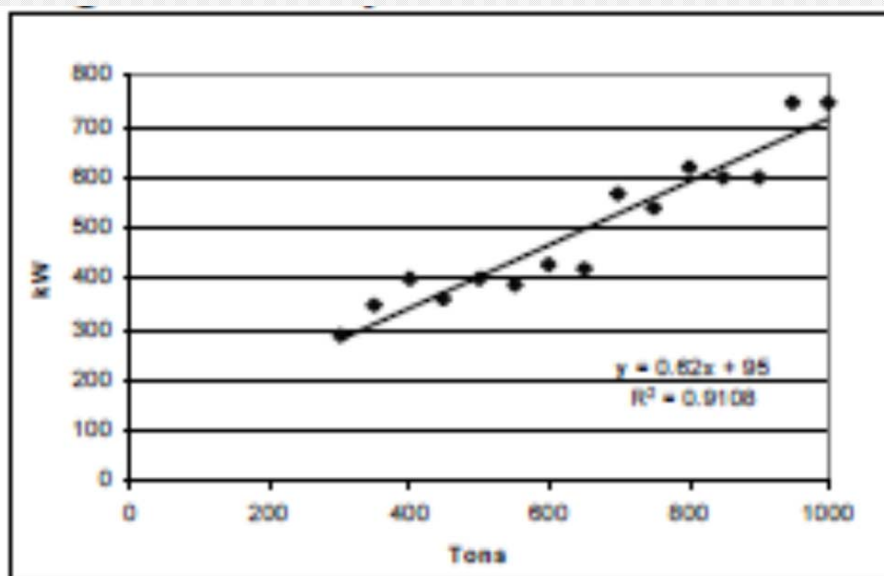
Tons	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Measured kW	290	350	400	360	400	380	430	420	570	540	620	600	600	750	750

初步計算下列數值以供後續參考：

- ✓ 總用電量 = 7,470 kWh
- ✓ 總冷房負載 = 9,750 tons

Option B Step 4 (建立模型)

利用迴歸分析，計算建立負載和能源使用關係之基準線：



Option B Step 4 (評估模型)

- 評估模型不確定度，亦即數據與趨勢線間之散布狀況。
- 結果之 $R^2 = 91\%$ 為良好
- 若 R^2 低於75%，則考慮：
 - ✓ 再量測更多數據
 - ✓ 提升儀表之準確度與可重複性(可能要花錢買新儀表...)
 - ✓ 再深入尋找其他重要能源相關變數(自變數)，例如，外氣溫度...
 - ✓ 嘗試使用二階方程式

Option B Step 5 (檢查模型偏差)

依以下方法檢查數學模型之偏差(Bias)：

- 使用該數學模型，計算此15組量測數據之總用電量(該15組數據之總製冷量為9,750 tons)：

$$= (0.62 \times 9,750) + (95 \times 15)$$

$$= 6,045 + 1,425$$

$$= 7,470 \text{ kWh}$$

- 而，量測數據之加總總用電量為 = 7,470 kWh

- 二者之偏差為0 kWh (0.0000%) →OK

(ASHRAE Guideline 14要求偏差必須 < 0.005%)

Option B Step 6 (預測與調整)

- 於能源績效改善後，量測並記錄逐時平均製冷量(Tons)與耗電功率(kW)。

- 將量測計算得到之平均製冷量(Tons) 帶入能源基準線模型(舊冰水主機性能數學模型)：

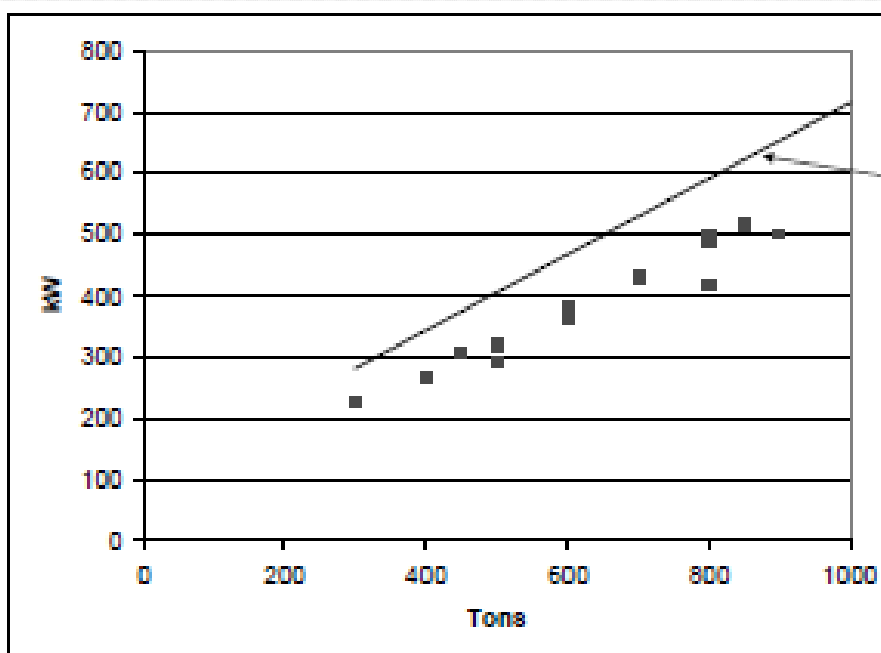
$$\text{kW} = 0.62 \times \text{Tons} + 95$$

可預測(調整)舊冰水主機在相同運轉條件(製冷能力)下之耗電功率，與累積耗電量。

Option B Step 6 (預測與調整) 以一天為例

Time	Actual Post-Retrofit Data		Predicted Electricity (kW)			Savings kW
	kW	Load Tons	Factors		Total	
			Fixed	Load		
23-Jul-99			95	0.62		
6:00	500	900	95	558	653	153
7:00	420	800	95	496	591	171
8:00	225	300				?
9:00	265	400	95	248	343	78
10:00	310	450	95	279	374	64
11:00	320	500	95	310	405	85
12:00	382	600	95	372	467	83
13:00	435	700	95	434	529	94
14:00	500	800	95	496	591	91
15:00	490	800	95	496	591	101
16:00	520	850	95	527	622	102
17:00	515	850				?
18:00	490	800	95	496	591	101
19:00	430	700	95	434	529	99
20:00	360	600	95	372	467	107
21:00	295	500	95	310	405	110

Option B Step 6 (預測與調整)



Old
Machine

Retrofit Isolation 18

Option B Step 7 (基準線調整)

- 每年至少執行一次靜態因子(Static Factors)之審查，以確保能源基準線仍然適用(例如，冷卻水塔問題導致平均冷凝溫度上升...)。
- 必要時，重新計算：基準線數據、數學模型、與調整後之數值...。

Option B Step 8 (節省之用電總量)

以一天內16小時計算節省之用電量

整個七月的用電節省量為

55,240 kWh

Option B Step 8 (節省之用電需量)

- 在七月時，電力儀表尖峰需量發生在七月29日 15:50。
- 在七月29日 15:50，冰水主機製冷量為**1,000 tons**
- 在七月29日 15:50，冰水主機用電功率為**616 kW**

而在製冷能力**1,000 tons**時，基準線模型預測(調整)舊冰水主機之用電功率為**715 kW**。因此，七月所節省之電力需量為

$$715 - 616 = 99 \text{ kW}$$

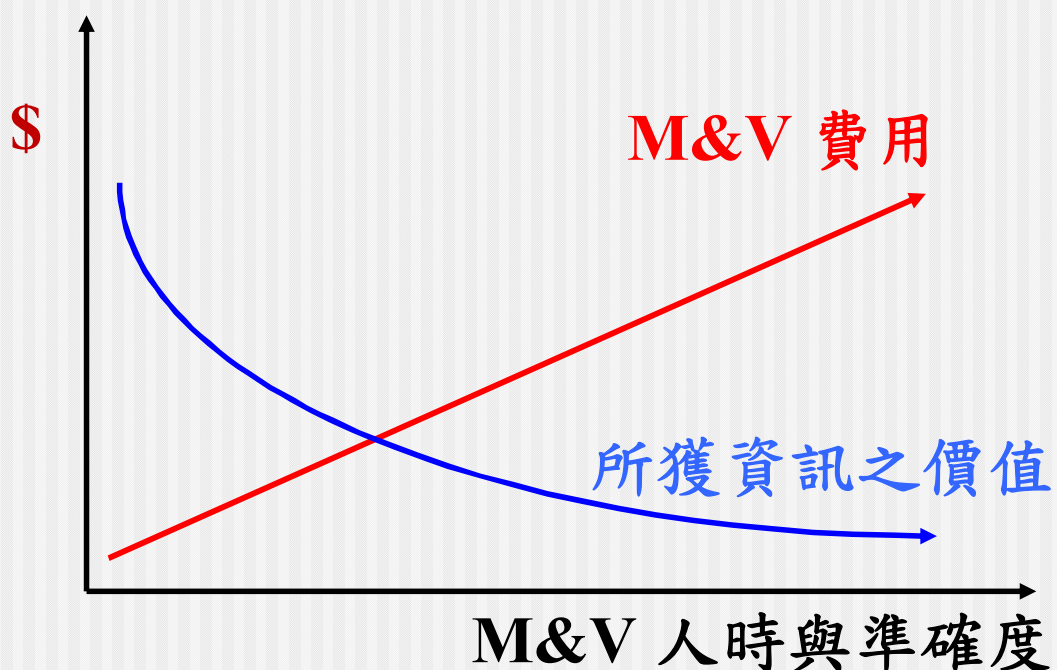
Option B Step 9 (能源費用)

July 1999	Units	Marginal Price	Value
Consumption	55,240 kWh	\$0.0723	\$3,994
Demand	99 kW	\$12.57	<u>\$1,244</u>
Total			\$5,238

Option B 討論事項 – 儀表

- ❑ 將儀表裝設在能源邊界上，可能減少邊界外能源使用(未量測)之影響(交互作用)
- ❑ 儀表準確度
- ❑ 儀表維護之費用
- ❑ 數據遺失之應對處理
- ❑ 與電力公司需量時序同步

M&V 費用



需要更進一步訓練

- 現場量測技術（非實驗室量測！）
- 設備與系統整合
- 統計學
- 數值分析與模擬

迴歸統計：案例

EXCEL Example Demo

Statistics IPMVP Example



柯明村

mtke@ntut.edu.tw