

中央空調系統 BEMS 專家智慧診斷技術研究

內政部建築研究所委託研究報告（  
100 年度）

# 中央空調系統 BEMS 專家智慧 診斷技術研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



計畫編號：PG10001-0292

# 中央空調系統 BEMS 專家智慧 診斷技術研究

受委託單位：國立中山大學

研究主持人：楊冠雄

研 究 員：蔣鎮宇

研 究 助 理：唐士傑、張凱強、

戴奇甫、蘇煌文

## 內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)





## 目次

表次 .....	III
圖次 .....	V
摘要 .....	XI
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景 .....	2
第二節 文獻回顧與分析 .....	4
第三節 研究方法及進度 .....	7
第二章 國外先進國家運用 BEMS 進行建築節能之改善案例 .....	11
第一節 美國德州(Texas)A&M 大學之節能改善案例分析 .....	11
第二節 日本山武公司熱之節能改善案例分析.....	19
第三節 美國加州大學(California)之節能改善案例分析 .....	23
第三章 中央空調及熱泵系統運用 BEMS 建立智慧型運轉策略之方法與實驗印證 .....	27
第一節 展覽類建築空調系統運轉診斷與智慧型運轉策略之建立 .....	27

第二節 醫院類建築空調系統診斷分析.....	42
第二節 醫院類建築空調系統診斷分析.....	42
第三節 大型醫院中央型熱泵系統經 BEMS 調適之節 能效益分析與實驗印證.....	49
第四節 大型熱泵系統與空調系統整合之實例印證	56
第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運 轉策略之全尺度實驗印證 .....	59
第一節 科學工藝博物館之案例驗證.....	59
第二節 大型工廠之空調系統診斷與節能策略導入之 實例驗證 .....	77
第五章 結論與建議 .....	87
第一節 結論 .....	87
第二節 建議 .....	88
附錄一 期中審查會議評審意見與回應 .....	89
附錄二 期末審查會議評審意見與回應 .....	93
參考書目 .....	97



## 表次

表 1.	我國 BEMS 分級制度表 .....	6
表 2.	計畫研究流程 .....	8
表 3.	改善後之實際情形與模擬之比較表 .....	14
表 4.	該建築線上調適之主要設定參數 .....	15
表 5.	隨負載不同而自動改變其設定參數 .....	15
表 6.	線上調適與改善後之省能效益計算 .....	16
表 7.	不同季節下部分負載率與耗電量之運轉參數 ...	34
表 8.	自回水溫度預測空調負荷 .....	36
表 9.	科工館空調負荷分佈 .....	37
表 10.	空調運轉策略 1 .....	37
表 11.	空調運轉策略 2 .....	38
表 12.	空調運轉策略 3 .....	39
表 13.	最佳空調運轉策略 .....	40
表 14.	節能效益分析 .....	41
表 15.	不同季節下部分負載率與耗電量之運轉參數 ...	44
表 16.	台中醫院主機 COP 性能迴歸分析表 .....	44
表 17.	自回水溫度預測空調負荷 .....	45

表 18.	空調運轉策略.....	46
表 19.	空調運轉策略..... 錯誤! 尚未定義書籤。	
表 20.	節能效益分析.....	48
表 21.	熱泵改善評估成效.....	51
表 22.	熱泵附帶之冷能.....	57
表 23.	改善成效.....	58
表 24.	空調系統規格表.....	59
表 25.	部份冰水主機用電..... 錯誤! 尚未定義書籤。	
表 26.	冰水主機規格表.....	77
表 27.	水泵規格表.....	77
表 28.	14 台冰水主機性能係數 .....	79
表 29.	運轉策略 1(CH6、7、8) .....	80
表 30.	運轉策略 2(CH6、7、3) .....	81
表 31.	運轉策略 3(CH6、7、8) .....	82
表 32.	運轉策略 4(CH7、8、3) .....	83
表 33.	TAB 流量調整數據 .....	84
表 34.	節能效益.....	85

## 圖次

圖 1.	研究流程圖.....	XII
圖 2.	日本 BEMS 分級及功能表.....	5
圖 3.	研究流程圖.....	7
圖 4.	德州 A&M 大學中之扎卡里工程中心外觀照.....	11
圖 5.	改善前後之風機耗電量比對.....	13
圖 6.	冷卻水改善前後之耗能量比對.....	13
圖 7.	線上調適與改善工程前後之風機耗能紀錄.....	17
圖 8.	線上調適與改善工程前後之冷卻水用量紀錄...	17
圖 9.	線上調適與改善工程前後之熱水用量紀錄.....	18
圖 10.	山武公司熱水系統昇位圖.....	19
圖 11.	熱水系統起停開關次數長條圖.....	20
圖 12.	熱水系統監測數據.....	21
圖 13.	熱水系統負荷與熱水出入水溫關係圖.....	21
圖 14.	改善前後起停開關次數圖.....	22
圖 15.	改善前後天然氣需求圖.....	22
圖 16.	加州大學外觀圖.....	23

圖 17.	物理大樓改善前後耗電量 .....	24
圖 18.	排風系統監控圖 .....	25
圖 19.	泳池運轉參數之數據圖 .....	25
圖 20.	國立科學工藝博物館之建築外觀圖 .....	27
圖 21.	科學工藝博物館儲冰系統升位圖 .....	28
圖 22.	科學工藝博物館 BEMS 監控頁面 .....	29
圖 23.	科學工藝博物館空調系統升位圖 .....	29
圖 24.	中央空調主機最佳化運策略電腦模擬運算圖 ...	31
圖 25.	科工館 CH-1 性能曲線圖 .....	33
圖 26.	科工館 CH-2 性能曲線圖 .....	34
圖 27.	利用 BEMS 控制融冰速率以便與空調主機匹配，形成 最小之尖峰電力需量為可行之策略 .....	35
圖 28.	台電三段式電價表 .....	35
圖 29.	行政院衛生署台中醫院之建築外觀圖 .....	42
圖 31.	台中醫院 CH-1 冰水主機性能曲線圖 .....	43
圖 32.	台中醫院 CH-2 冰水主機性能曲線圖 .....	44
圖 33.	台中醫院空調系統及熱泵系統昇位圖 .....	49
圖 34.	台中醫院熱泵系統改善效益評估圖 .....	50

圖 35.	利用超音流量計來量測主機流量 .....	52
圖 36.	將超因波流量計接於出入水管路上 .....	52
圖 37.	用 datalogic 記錄熱泵主幹管之回水溫度 .....	52
圖 38.	熱泵配電盤進行耗電量之記錄熱泵主機之總耗電	53
圖 39.	$\alpha$ 與 Tcwrt / Tchwt 迴歸分析圖 .....	54
圖 40.	$\beta$ 與 Tcwrt 迴歸分析圖 .....	55
圖 41.	某大型醫院之空調與熱泵系統示意圖 .....	57
圖 42.	科學工藝博物館空調系統示意圖 .....	59
圖 43.	科工館現場全天空調負荷需求及運轉模式 .....	60
圖 44.	科工館空調全天運轉耗電情況 .....	61
圖 45.	儲冰桶槽水位設定不良導致儲冰容量不足示意圖	62
圖 46.	改善前儲冰槽水位融量顯示情況 .....	63
圖 47.	改善前儲冰槽水位融量顯示情況 .....	63
圖 48.	改善前儲冰槽儲冰顯示情況 .....	63
圖 49.	改善前儲冰槽儲冰顯示情況 .....	63
圖 50.	改善前儲冰槽儲冰顯示情況 .....	64
圖 51.	改善前儲冰槽水位融量顯示情況 .....	64
圖 52.	自冰水送水管外接管路，進行排水 .....	64

圖 53.	自冰水送水管外接管路，進行排水 .....	64
圖 54.	自冰水送水管外接管路，進行排水 .....	65
圖 55.	自冰水送水管外接管路，進行排水 .....	65
圖 56.	自冰水送水管外接管路，進行排水 .....	65
圖 57.	改善後儲冰槽儲冰顯示情況 .....	65
圖 58.	改善後儲冰槽儲冰顯示情況 .....	65
圖 59.	融冰泵運轉耗電情形 .....	66
圖 60.	融冰泵運轉耗電情形 .....	67
圖 61.	融冰泵運轉耗電情形 .....	68
圖 62.	現場空調負荷變化圖 .....	69
圖 63.	現場空調負荷變化圖 .....	69
圖 64.	建築物空調負載示意圖 .....	70
圖 65.	建築物以全量儲冰時之空調負載 .....	70
圖 66.	建築物以分量儲冰時之空調負載 .....	71
圖 67.	製冰機與冰水主機耗電變化圖 .....	72
圖 68.	製冰機與冰水主機冷凍噸變化圖 .....	73
圖 69.	改善前製冰機及主機耗電分佈圖 .....	73
圖 70.	改善後製冰機及主機耗電分佈圖 .....	74

圖 71. 科工館 99 年 9 月電費單 .....	75
圖 72. 科工館 100 年 9 月電費單 .....	76





## 摘 要

關鍵字: 中央空調系統、BEMS 專家智慧診斷技術、全尺度實驗

### 一、研究緣起

大型中央空調系統於進行商業運轉時，所有之冰水主機系統運轉參數，包含冰水主機供應溫度、回水溫度、冰水流量與主機耗電量等為決定主機系統運轉能源效率之主要因素。在經由 BEMS 進行即時線上之數據分析，作為積算主機性能及進行空調系統節能策略導入之主要參考依據。

然而，目前我國運轉中之大型中央空調系統，尚缺乏於本土濕熱型氣候條件下，經由主機負載率之變動而調變供應冰水溫度之運轉迴歸分析式；因此，無法對於主機群之運轉發揮良好之系統診斷功能，只能依據操作者之工程經驗而進行手動調整。此為目前許多大型中央空調系統進行 TAB 性能調適工程時，普遍遭遇之困難所在，亟待解決。若能進一步建立運用 BEMS 進行專家智慧診斷之相關技術，並廣為應用，可發揮極大之建築節能效益，同時將綠建築加以智慧化。

### 二、研究方法及過程

本研究將採取理論分析與全尺度實驗印證之方式進行。於歷年 BEEUP 計畫中，選取實際進行商業運轉中之大型中央空調系統，經由 BEMS 進行即時線上之數據分析，建立大型冰水主機之供應冰水溫度、回水溫度、冰水流量與主機耗電量等以作為積算冰水主機 COP 之主要迴歸分析式。同時，經由歸納各種不同空調主機之運轉模式，建立進行專家智慧診斷系統之主要運算引擎；作為後續 TAB 工程實際運用之，以具體落實。

本計畫依空調系統主機側建立不同之節能策略，包含：主機台數控制策略之擬定、主機群運轉先發策略之建立及運轉策略最佳化分析，研究流程如下圖 1 所示。

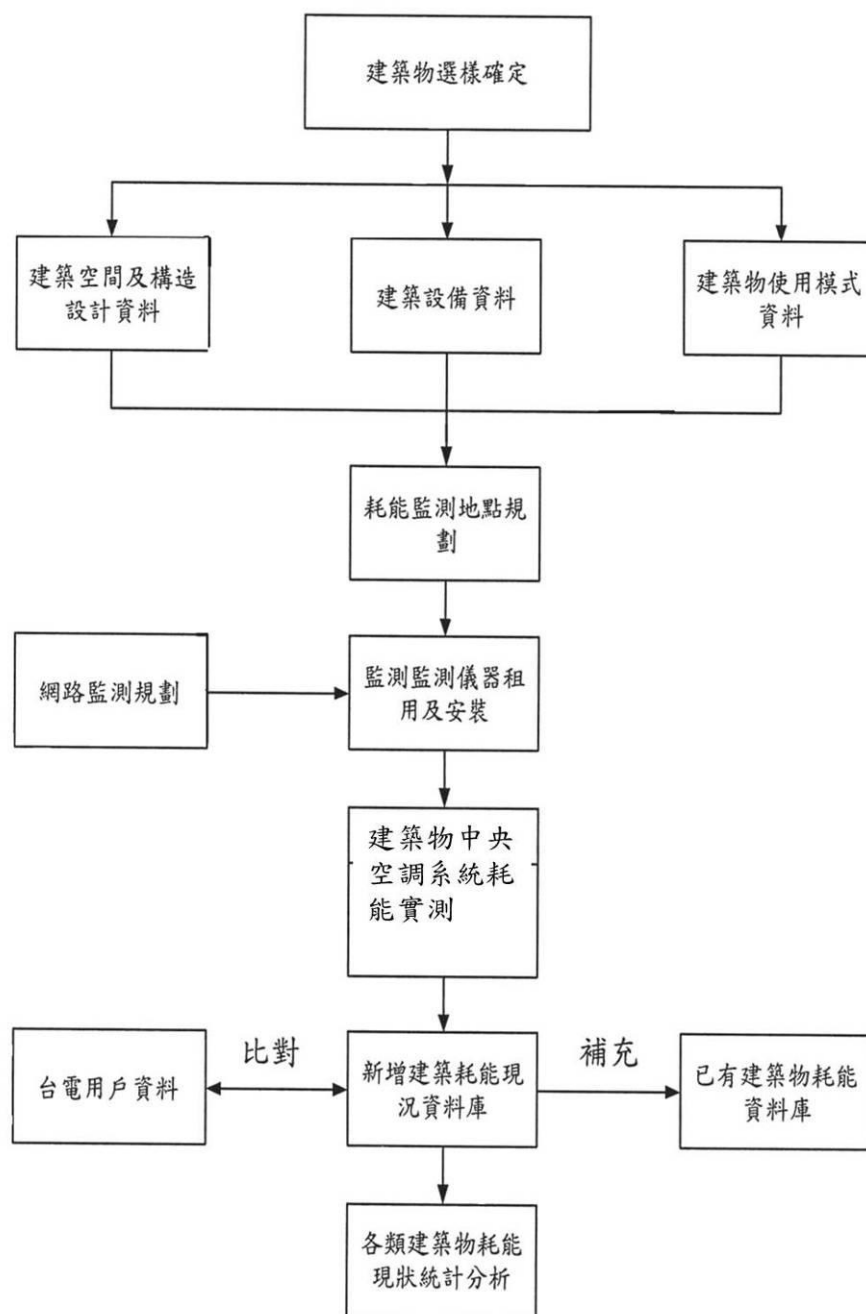


圖1. 研究流程圖

### 三、重要發現

本計畫研究我國運轉中之大型中央空調系統，在本地濕熱型氣候條件下，經由主機負載率之變動而調變供應冰水溫度之運轉迴歸分析式；藉此，完成對於主機群之運轉發揮良好之系統診斷功能，並進一步建立運用 BEMS 進行專家智慧診斷之相關技術。

完成展覽類及醫院類典型建築，以建立 10 小時空調及 24 小時空調不同型態之空調系統耗能門檻值。展覽類改善比例值為 7%，改善前耗電量為 3037KW，改善後耗電量為 2799KW。醫院類改善比例值為 16%，改善前耗電量為 637KW，改善後耗電量為 503KW，節能成效顯著。

本計畫根據進行全尺度實驗印證，已獲得良好之成效。展覽類由原先分量式儲冰系統到目前分量式設計全量運轉，成效極大。醫院類除了空調系統進行驗證外，也與熱泵系統進行驗證，充份利用熱泵系統所產生之冷能來減低冰水系統之耗能，改善成效良好。

#### 四、主要建議事項

##### 建議一 立即可行建議：

大型中央空調系統，應經由 BEMS 進行長期運轉監控，並確立其負載型態，以作為高效主機先發、儲冰系統容量極大化、融冰運轉最適化及分亮式設計與全量式運轉最佳化模式之建立，可獲致 10%至 12%之節能效益。建議內政部建築研究所進行「建築節能與綠廳舍改善補助計畫」時，可將此技術納入考量。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築學會

##### 建議二 中長期可行建議：

中央空調系統應建立 BEMS 專家智慧診斷技術，並經由雲端運算平台與進行大型社區數十個或數百個建築物之運轉耗能監控與最適化，並可與內政部建築研究所推動「智慧綠建築推動方案」相互配合，建置未來智慧電網，形成我國重要之節能減碳策略之一。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築學會

## ABSTRACT

Keyword: BEMS, System Diagnostics, Full-scale Experimental investigation

When central HVAC systems are under commercial operation, all operational parameters, including chilled water supply temperature, return water temperature, chilled water flow rate, and power consumption as the key factors in affecting system energy efficiency.

However, in Taiwan there is still lacking of the regression equations of chillers under local weather conditions, and has to rely on manual operation based on experiences. This is also the major short-comings in implementing TAB, and is the best way to renovate the green buildings to make them more intelligent.

In this study, theoretical analysis and experimental investigation will be applied simultaneously. In selecting cases from the BeeUp program, actual operational data including COP can be fitted into experimental model to facilitate TAB engineering via BEMS system, in achieving system efficiency.

Through the execution of this project, it is identified that the exhibition buildings with 10 hours cooling load, can achieve 7% energy savings, while the hospitals, with 24 hours cooling load can achieve up to 16% energy savings. The good result obtained in this project , including the thermal energy storage HVAC system and the heat pump system can be widely adapted to obtain significant energy conservation effect.



## 第一章 緒論

台灣地區自產能源十分缺乏，百分之九十七以上仰賴國外進口，而在建築相關用電中，我國住宅及商業用電所消耗電力佔總用電百分之三十，是非工業生產最重要的耗能，因此政府正積極訂定耗電之百貨公司、辦公室及觀光旅館等建築物省能規範，使建築物之耗電減輕至最低，以達節約用電。在能源逐漸缺乏的現代，發展零能源大樓(Zero Energy Building, ZEB)和低能源大樓(Low Energy Building, LEB)已經形成未來發展之趨勢，但此構想目前尚屬於實驗階段，對其性能無法作出許諾，所以，如何經由檢查而可以減少較多的能源(此觀念即為BEMS之基本概念)，比新技術的取得和設計更具實際意義。

京都議定書在2005年2月見效，特別是有效的使用BEMS的節能和促進能源服務公司(ESCO)的運作被認為是具有實際省能效果的行動。兩種措施均能被用於新建設的大樓和現有大樓；然而，上述系統對既有的建築更形重要，主因為其占建築總數的之百分之九十七，若能節能將產生立竿見影之結果。

建築物知中央空調系統為占整體建築耗能40%以上之重要子系統。若能經由BEMS系統之設置，並藉由監控其於不同季節與室內熱負荷下之運轉結果，將之運用迴歸分析與建立最適化運轉模式，則可利用低成本甚或無成本之節能措施，而獲得顯著之節能策略。此種由實際運轉參數經由迴歸分析組成專家智慧系統可進一步作為系統診斷之重要工具，此即為本計畫之主旨與目標所在。

## 第一節 研究緣起與背景

### 一、研究背景

大型中央空調系統於進行商業運轉時，所有之冰水主機系統運轉參數，包含冰水主機供應溫度、回水溫度、冰水流量與主機耗電量等為決定主機系統運轉能源效率之主要因素。在經由 BEMS 進行即時線上之數據分析，作為積算主機性能及進行空調系統節能策略導入之主要參考依據。

然而，目前我國運轉中之大型中央空調系統，尚缺乏於本土濕熱型氣候條件下，經由主機負載率之變動而調變供應冰水溫度之運轉迴歸分析式；因此，無法對於主機群之運轉發揮良好之系統診斷功能，只能依據操作者之工程經驗而進行手動調整。此為目前許多大型中央空調系統進行 TAB 性能調適工程時，普遍遭遇之困難所在，亟待解決。若能進一步建立運用 BEMS 進行專家智慧診斷之相關技術，並廣為應用，可發揮極大之建築節能效益，同時將綠建築加以智慧化。

### 二、研究目的

根據耗能統計，於本省氣候條件下，空調系統佔整體建築耗能約 45%；其中 60% 用電集中於空調主機因此列為最優先進行節能改善之項目，以收立竿見影之效。然而，國外雖然有開發成功之大型中央空調節能策略，但其氣候型態大抵皆為溫帶及寒帶，無法直接套用我國，故本計畫研究借由 BEMS 線上之數據分析所得數據來進行本土氣候下大型中央空調主機負載率之變動而調變供應冰水溫度之運轉迴歸分析式，以建立空調耗能診斷系統，並經由選取實際運轉中之大型中央空調系統加以驗證，以做為實際推廣應用之主要參考依據。

本研究主要工作內容：

1. 建立商業運轉中之大型中央空調系統冰水主機於本土氣候型態下之運轉實驗模式(Experimental Model)
2. 選取 BEEUP 計畫中，辦公類或展覽類及醫院類典型建築，以建立 10 小時空調及 24 小時空調不同型態之空調系統耗能門檻值，以作為系統診斷之標竿(bench- marking)



- 3.運用 BEMS 進行上述案例之即時線上專家智慧診斷技術之開發，並完成線上調適之性能提升效率驗證
- 4.整合 BEMS 專家智慧診斷系統以完成綠建築智慧化之接軌。具體建立新設與既設智慧綠建築中央空調系統之主要性能評估係數，以作為大規模推廣應用之主要參考與依據。

計畫預期成果及效益：

- 1.建構完成中央空調耗能診斷技術及診斷流程。
- 2.導入 BEMS 系統，自動診斷建築耗能狀況並提出改善策略。

## 第二節 文獻回顧與分析

國際能源署(IEA)為大力推展 BEMS 系統特別成立 Annex16 邀集國際間 20 餘國家與建立相關規範，最終並形成 ISO 標準，可見其影響力之深遠。

各國對於 BEMS 系統之發展如下所述:

### (1)美國

在 ASHRAE(美國暖氣設備·冷凍空調學會)訂立標準化的 BACNet 的國際性通訊草案之後，管理系統與設備間的通訊有了明確之架構，使系統與設備的關係越來越密切，也直接影響到系統執行效率的問題。在建築管理系統建立專用的資料通訊 Web 伺服器主機，接受來自運轉設備的各種數據，同時利用網路(Intranet or World net)的功能，將管理系統的資料作分析後，傳送至其他的系統或主機，達到具有集中監視、管理及資料分析的整合型系統。

### (2)日本

日本為世界上目前推廣 BEMS 最積極之國家之一，對 BEMS 之功能及分級作了相當詳細的劃分，下圖 2 即為日本 BEMS 之分級及功能示意圖：

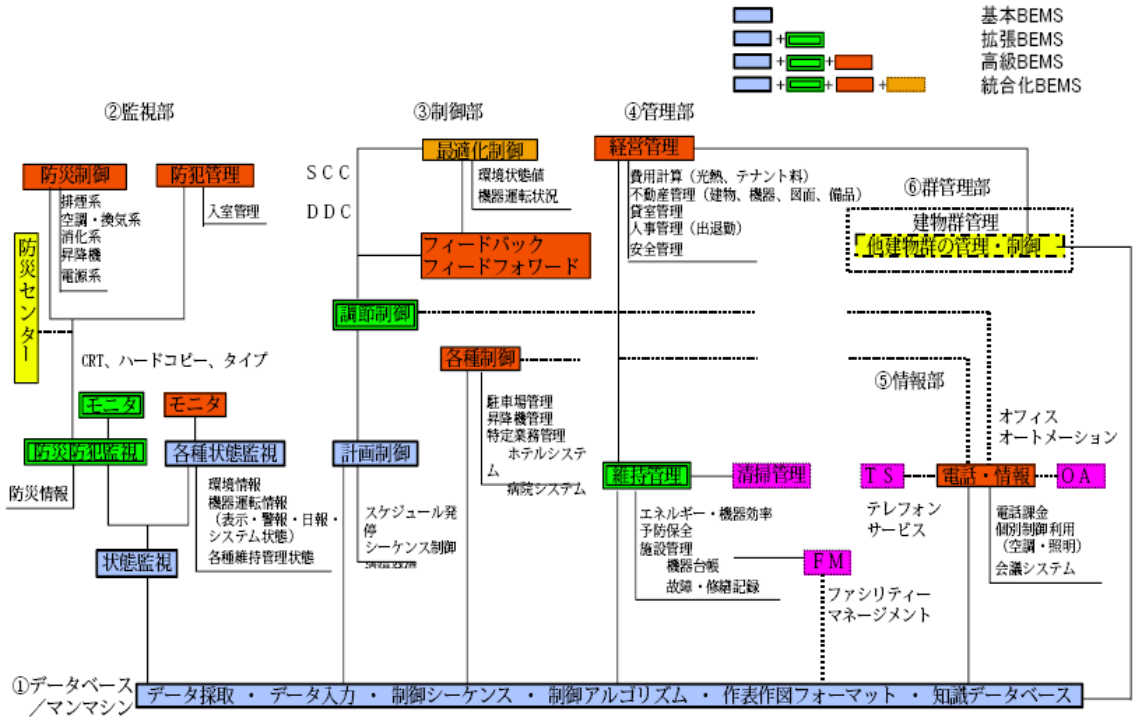


圖2. 日本 BEMS 分級及功能表

(3) 我國

我國目前也已完成 BEMS 分級制度的建立，為我國推廣 BEMS 之工作達到一重要之里程碑，如下表 1 所示：

表1. 我國 BEMS 分級制度表

	系統處理裝置之等級			
	等級 1	等級 2	等級 3	等級 4
樓地板面積	2,000m <sup>2</sup> 以下	5,000m <sup>2</sup>	5,000~50,000m <sup>2</sup>	50,000m <sup>2</sup> 以上
管理點數	50~250 點	250~500 點	500~3,000 點	3,000 點以上
系統之主要功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 警報監視功能</li> <li>• 空調系統運轉資料之記錄功能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 基本之設備運轉狀態監視功能，包含耗電量、累積用電、運轉效率，設備維護記錄等</li> <li>• 設備啟停之時間管理</li> <li>• 空調系統運轉資料之記錄及存檔功能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 包含大部分設備之運轉狀態監視及控制</li> <li>• 具備有計費機制功能</li> <li>• 具備有資料處理功能，將各設備之用電情形及運轉狀態，以報表（月報、季報、年報等）及各類圖形之方式作比較分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 將建築物內之所有設備皆納入監視及控制範圍，並設置統一且集中之管理中心</li> <li>• 具有最佳化運轉控制功能，針對建築室外環境條件，有效調整設備之運轉狀態</li> <li>• 除計費機制外，設備之生命週期也一併納入管理</li> <li>• 整合消防及保全系統，包含人員管理等</li> </ul>

### 第三節 研究方法及進度

本計畫之研究方法採取理論分析與全尺度實驗印證並重並行之方式進行。所有分析與實驗皆以目前正進行商業運轉中之 BEEUP 案例為之。研究流程如下圖 3。

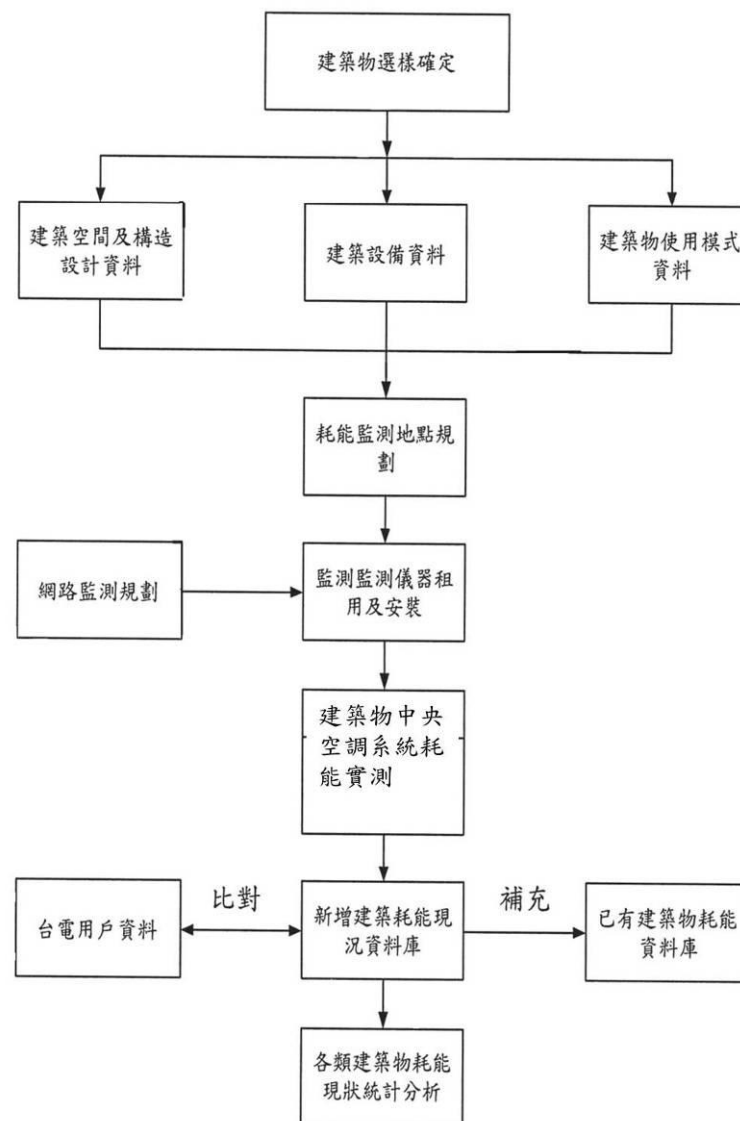


圖3. 研究流程圖

表2. 計畫研究流程

工作項目	月次												備註
	第一月	第二月	第三月	第四月	第五月	第六月	第七月	第八月	第九月	第十月	第十一月	第十二月	
4.1 建立商業之中央空調系統機氣下實													
4.2 選取 BEEUP 計畫中，或公覽院建築，建立時同空耗值為斷													
4.2 選取 BEEUP 計畫中，或公覽院建築，建立時同空耗值為斷													
繳交期中報告書													
4.3 運用 BEMS 進行所例之													

線上專家 智慧診斷 技術之開發，並完成 線上調適 之性能提 升效率驗 證														
4.4 整合 BEMS 專家 智慧診斷 系統以建 成綠建築 之智慧化 接軌														
繳交期末 報告書														
預定進度 (累積數)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%			
<p>說明：1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分（與之前各月加總）除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。</p>														





## 第二章 國外先進國家運用 BEMS 進行建築節能 之改善案例

### 第一節美國德州(Texas)A&M 大學之節能改善案例分析

#### 1.建築概況

今以德州 A&M 大學中之扎卡里工程中心為例。其建築為占地面積為 34 萬平方公尺，該大樓為一 4 層樓建築及地下停車場，於 70 年代所建，外牆為混凝土保溫層，開窗率約 12%之單層有色玻璃。朝北之窗戶進行晝光利用。該棟建築包含辦公室、教室、實驗室和計算中心。每年 365 天開放，每天開放 24 小時，其中正常上班時段為平日上午 8 點至下午 6 點。

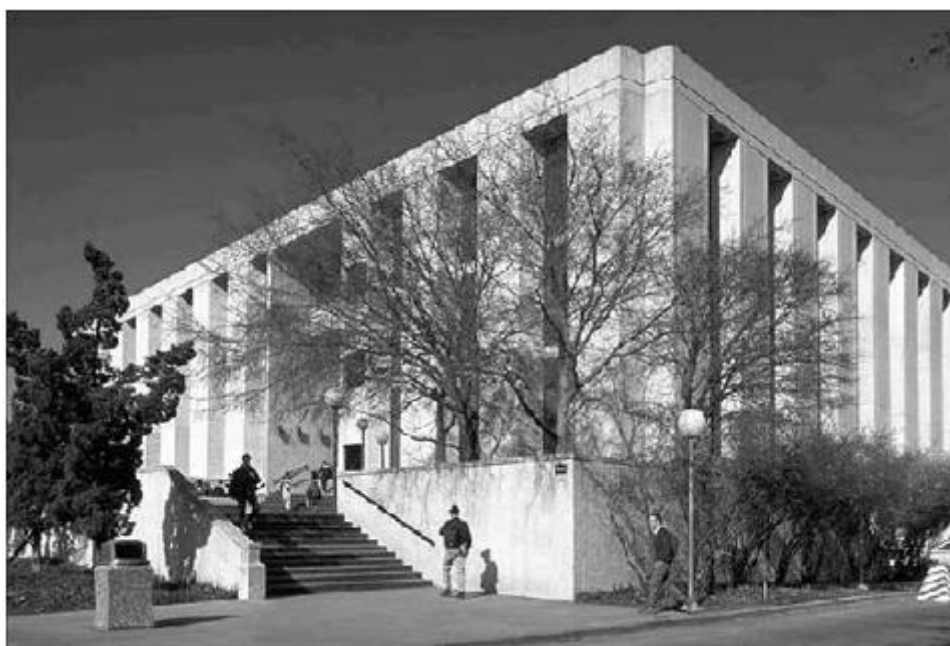


圖4. 德州 A&M 大學中之扎卡里工程中心外觀照

(資料來源:Federal Energy Management Program)

## 2.既設之空調系統描述

既設空調系統具有 12 個 40 馬力之風扇，額定換氣能力為 35,000 cfm。空調箱 8 具。既設能源監控系統共有 50 個監控點，進行數據之收集，並利用這些監控點進行空調換氣、供暖等空調監測。

## 3.空調通風系統之改善項目

該建築事前勘查後，進行一連串改善項目之規劃。包含:照明系統設備更換、定風量系統(CAV)更新為變風量統(VAV)、更新建築能源管理系統。

其照明系統預計更換老舊燈管可節省 975,600 kwh /年的電力，回收年限 4.4 年；變風量系統（VAV 系統）預估可節省 952,776 kwh/年的風機功率，回收年限為 3.3 年。經評估後，不更換其照明設備，但更新變風量系統及更新能源管理系統。

## 4.改善效益之評估

更換 VAV 系統後，風機功率及冷卻水消耗和熱水消耗都大幅降低，由下圖 5 顯示，改善前風機每日約花費 8,500 kwh，改善後下降至 4,500 kwh。

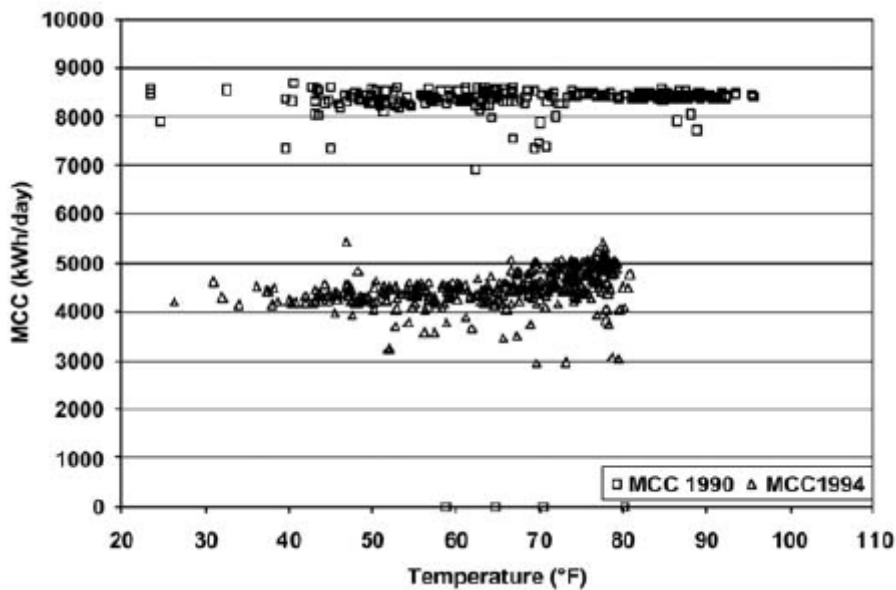


圖5. 改善前後之風機耗電量比對

(資料來源:Federal Energy Management Program)

冷卻水使用量由 BEMS 紀錄，顯示出在同樣外氣條件下，其耗能量由 110 MMBtu/Day，最高可下降至 50 MMBtu/Day。

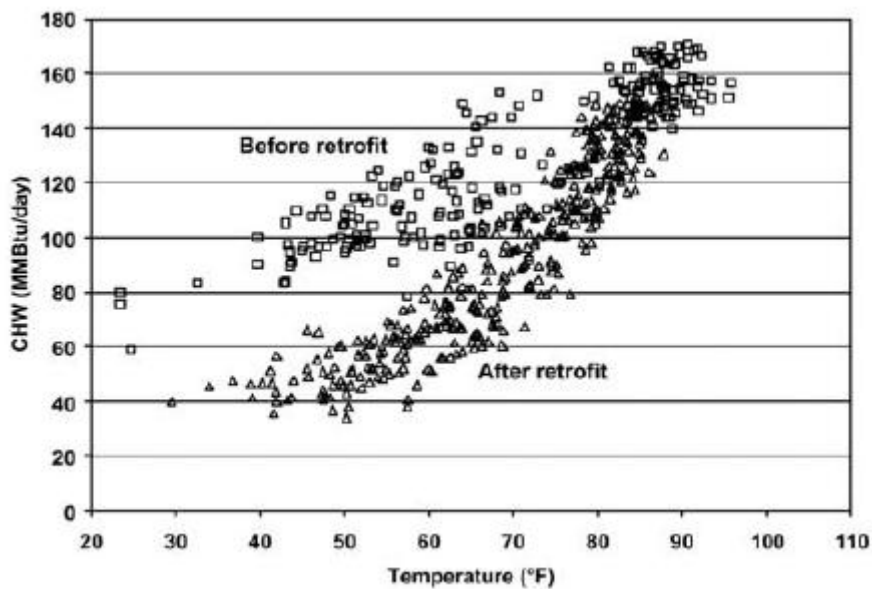


圖6. 冷卻水改善前後之耗能量比對

(資料來源:Federal Energy Management Program)

將上述資料與原先改善前之模擬評估進行比較，可發現熱水部分之節約成效顯著，比原先預期之節能成效高出許多，如下表 3 所示。舉例而言，風機動力之節約原先預期可節約 40%，而實際可節約 44%。熱水原先預估可節約 49%，而實際節約 84%。冰水耗能原先預估可節約 37%，但實際節約 23%，與原先預估略低。

表3. 改善後之實際情形與模擬之比較表

	預估之節能效益	實際量測之節能效益
風機耗電	1,952,764 kwh/yr (40%)	1,300,000 kwh/yr (44%)
冰水耗能	26,600 MMBtu/yr (37%)	10,500 MMBtu/yr (23%)
熱水耗能	11,500 MMBtu/yr (49%)	15,900 MMBtu/yr (84%)

(資料來源:Federal Energy Management Program)

## 5.改善後之持續線上調適效益分析

於改善過成中，安裝許多量測感應器，如冰水流量、通風量、溫度感應器等，經由 BEMS 連線後，於線上進行持續調適。安裝能源管理系統為進行耗能診斷之最佳方式之一。

表4. 該建築線上調適之主要設定參數

Parameter	Control Practice
Pressure in air ducts	Constant at 2.5-3.5 in. H <sub>2</sub> O
Cold air temperature	Constant at 50°F-55°F
Hot air temperature	Constant at 110°F-120°F
Air flow to rooms	Variable - but inefficient
Heating pump control	Operated continuously
Cooling pump control	Variable speed with shut-off

(資料來源:Federal Energy Management Program)

經長期線上調適過程顯示，該建築物之耗能資料經線上記錄收集後，可發現熱水及冷水進出水流量不同。因此，經檢查後發現部分閥件已老舊損壞，造成滲漏。而部分控制設備因連續動作，造成摩擦損壞，導致部分房間之加熱及冷卻無法適當的使用。

經由持續線上調適結果發現，原先部分之設定值於不同狀態下，需設定讓其自動調整，使設備可隨外氣負載之不同，自動調整至最佳化。

表5. 隨負載不同而自動改變其設定參數

Parameter	Pre-CC Control Practice	Post-CC Control Practice
Pressure in air ducts	Constant at 2.5-3.5 in. H <sub>2</sub> O	1.0-2.0 in.H <sub>2</sub> O as T <sub>oa</sub> increases
Cold air temperature	Constant at 50°F-55°F	60°F-55°F as T <sub>oa</sub> increases
Hot air temperature	Constant at 110°F-120°F	90°F-70°F as T <sub>oa</sub> increases
Air flow to rooms	Variable - but inefficient	Optimized min/max flow and damper operation
Heating pump control	Operated continuously	Off when T <sub>oa</sub> >55°F
Cooling pump control	Variable speed with shut-off	Pressure depends on flow

(資料來源:Federal Energy Management Program)

經由上述之線上調適結果可發現，其風機之每日耗能由改善後之 4,500 kwh/day，可再下降至 3,000 kwh/day。經線上調適之風機總耗電比改善工程實施後之耗能更下降了 56%、冷卻水系統再節省 77%、熱水系統再節省 16%。

表6. 線上調適與改善後之省能效益計算

	改善工程前 Before Retrofit	改善工程後 After Retrofit	持續線上調適後 After C.C.	持續實施線上之調適後比改善工程後更節約之能源比例
風機耗能 (kwh)	2,950,000	1,640,000	1,210,000	56%
冰水用量 MMBtu	45,779	35,258	17,440	77%
熱水用量 MMBtu	18,766	2,938	1,943	16%

(資料來源:Federal Energy Management Program)

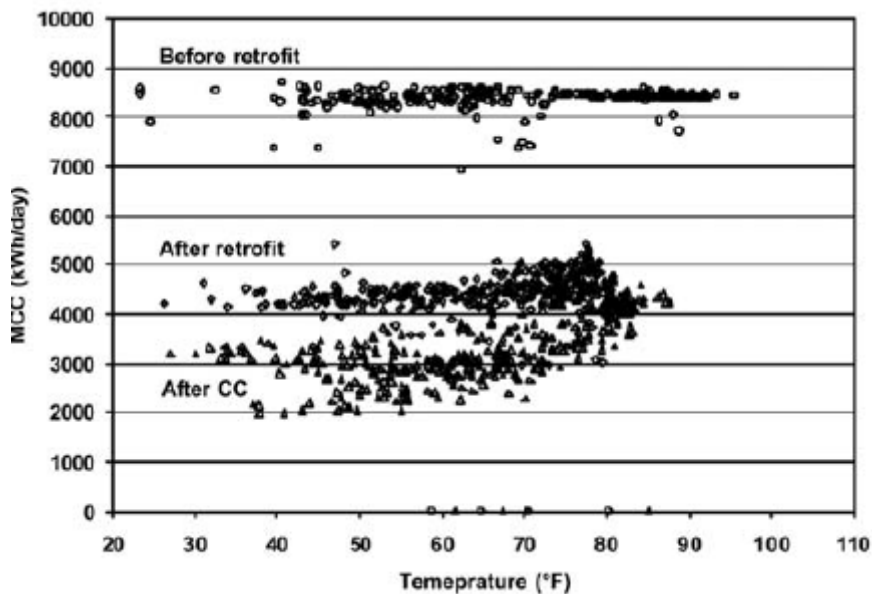


圖7. 線上調適與改善工程前後之風機耗能紀錄

(資料來源:Federal Energy Management Program)

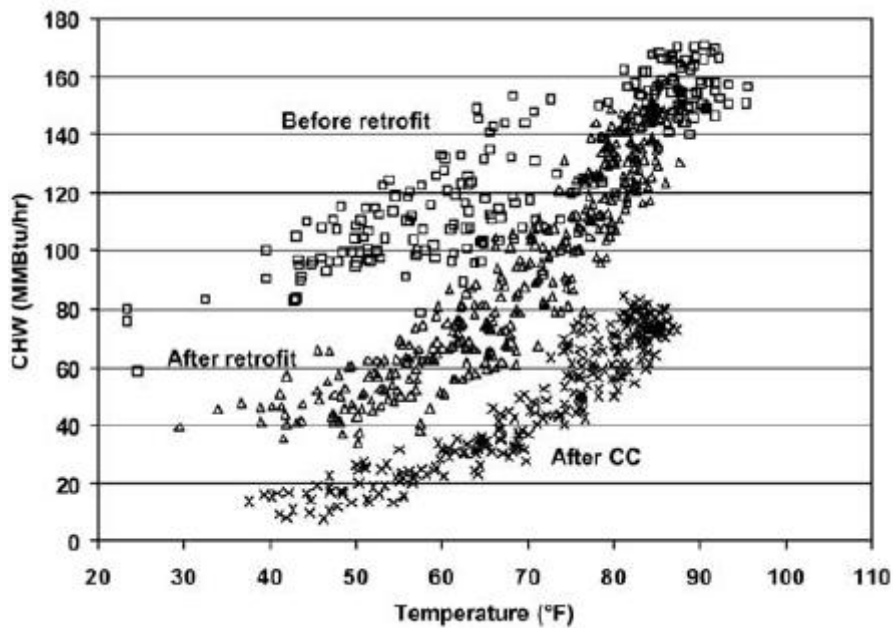


圖8. 線上調適與改善工程前後之冷卻水用量紀錄

(資料來源:Federal Energy Management Program)

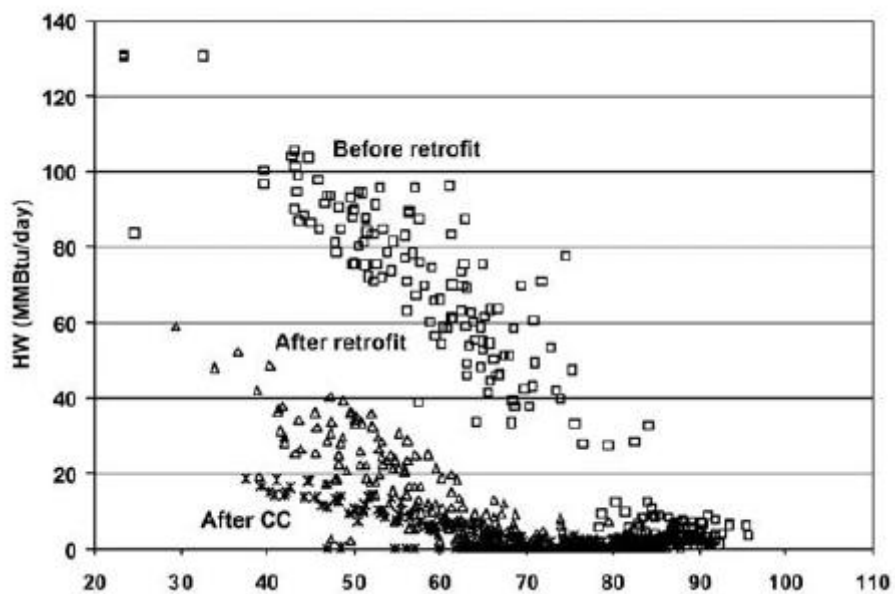


圖9. 線上調適與改善工程前後之熱水用量紀錄

(資料來源:Federal Energy Management Program)



## 第二節 日本山武公司熱之節能改善案例分析

### 1. 建築概況

日本山武公司為一棟辦公大樓，樓地板面積為 3,800 平方公尺，主要改善目標為熱水系統，改善期間由 2000 年 2 月至 2000 年 3 月。其熱水系統由能源空調主機系統：瓦斯直燃式吸收式主機(350kw x1)電動式主機(70KW x1)，汽電共生廢熱利用熱交換器(63kw x1)所組成，熱水系統生位圖，如下圖所示。

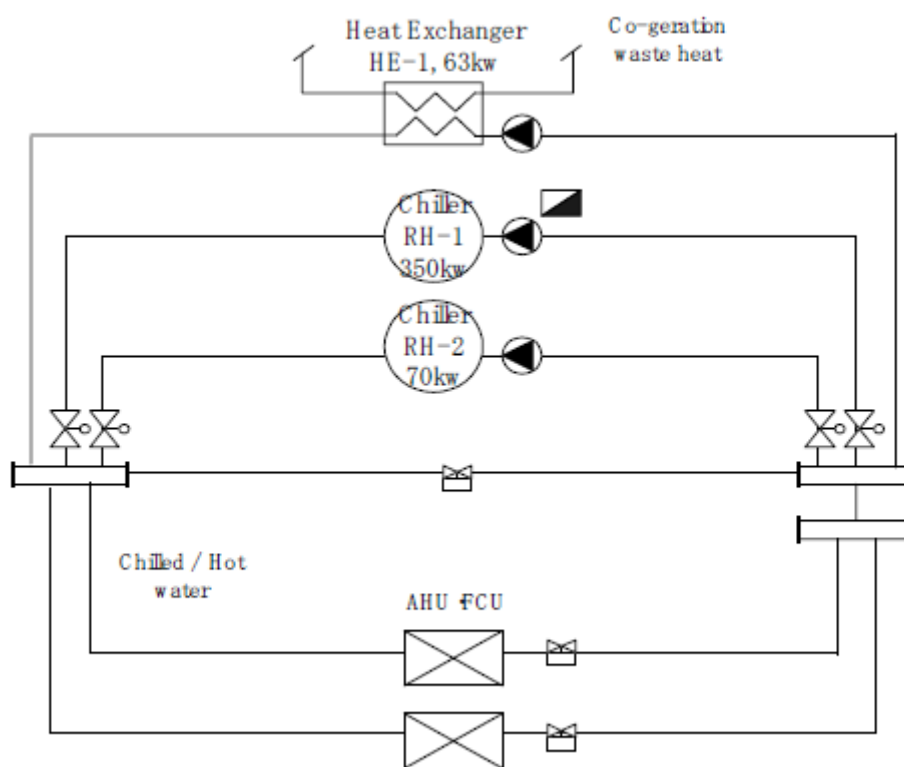


圖10. 山武公司熱水系統昇位圖

## 2.問題分析及改善

根據本案例文獻，熱水系統的操作模式會影響系統是否有合理利用能源，減低不必要浪費，並且操作結果會反映在 BEMS 所記錄之數據上，如系統起停開關次數等等。在 BEMS 記錄數據中，如圖 11 所示，發現到熱水系統起停開關次數非常頻繁，在一天之中高達 25 次，明顯的熱水系統操作程序上發生問題，在圖 12 也說明了操作程序有誤。

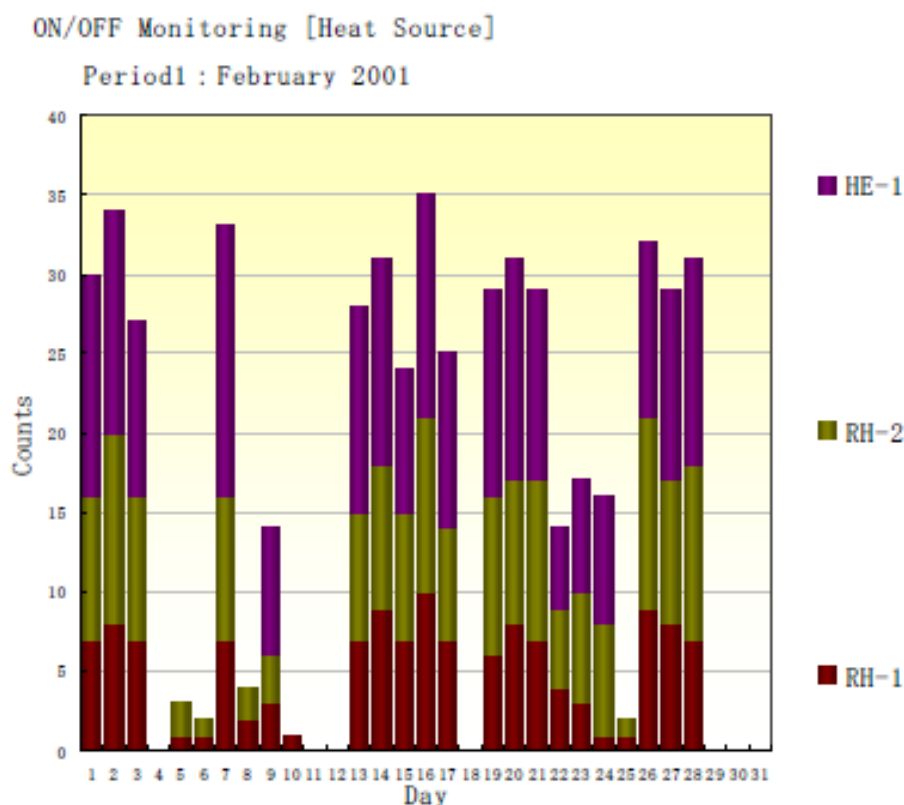


圖11. 熱水系統起停開關次數長條圖

## 第二章 國外先進國家運用 BEMS 進行建築節能之改善案例

Operation Status Monitoring [Heat Source]

Period1 : Wed. February 21 2001

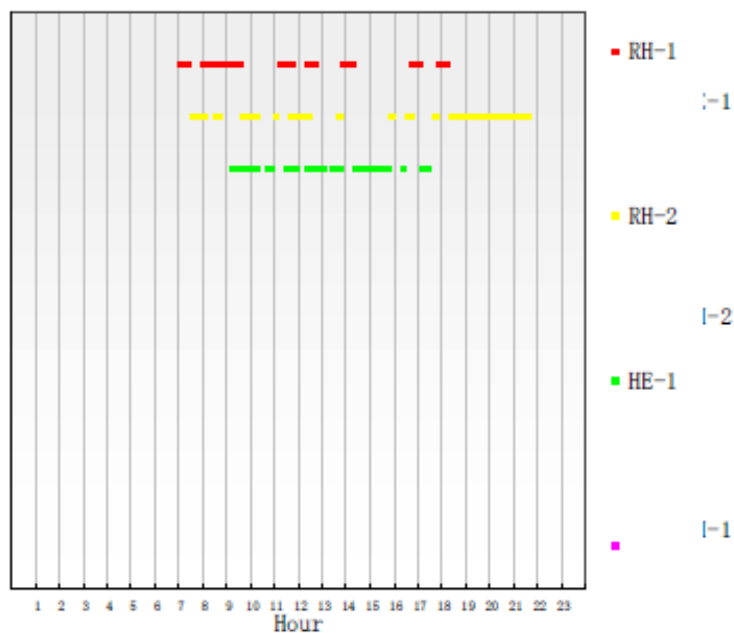


圖12. 熱水系統監測數據

詳細調查熱水系統之負載與熱水出入水溫關係後，如下圖 13 所示，得知造成起停開關頻繁之原因為自汽電共生氣回收熱量不足以支應熱水需求。

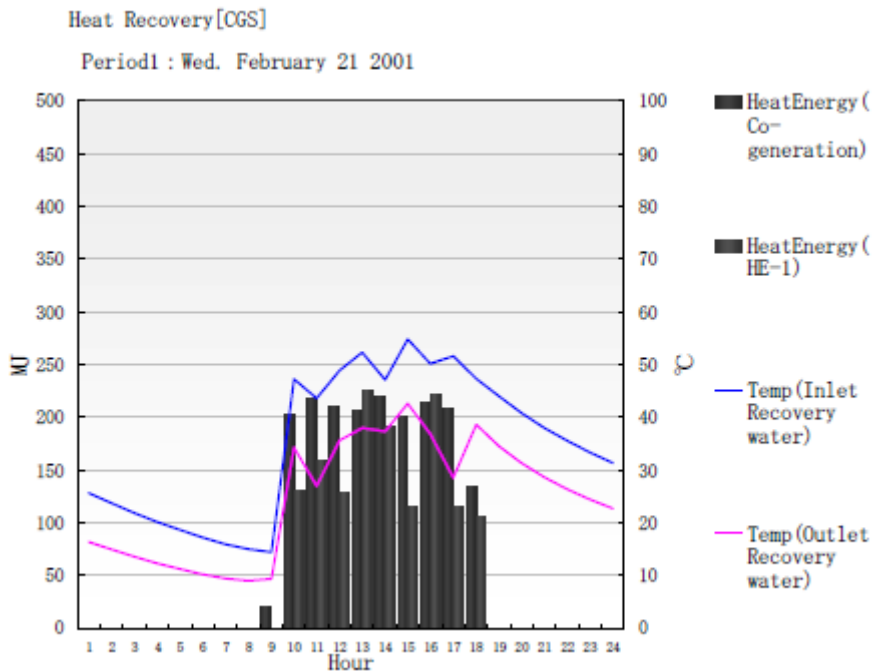


圖13. 熱水系統負荷與熱水出入水溫關係圖

藉由先問題分析確認問題點並進行改善。改善後熱水系統起停開關次數由 25 times/d 降至 10 times/d，如圖 14 所示，且熱水系統所需之天然氣也從 400Nm<sup>3</sup>/d 降至 250Nm<sup>3</sup>/d，大幅降低能源消耗，如圖 15 所示。

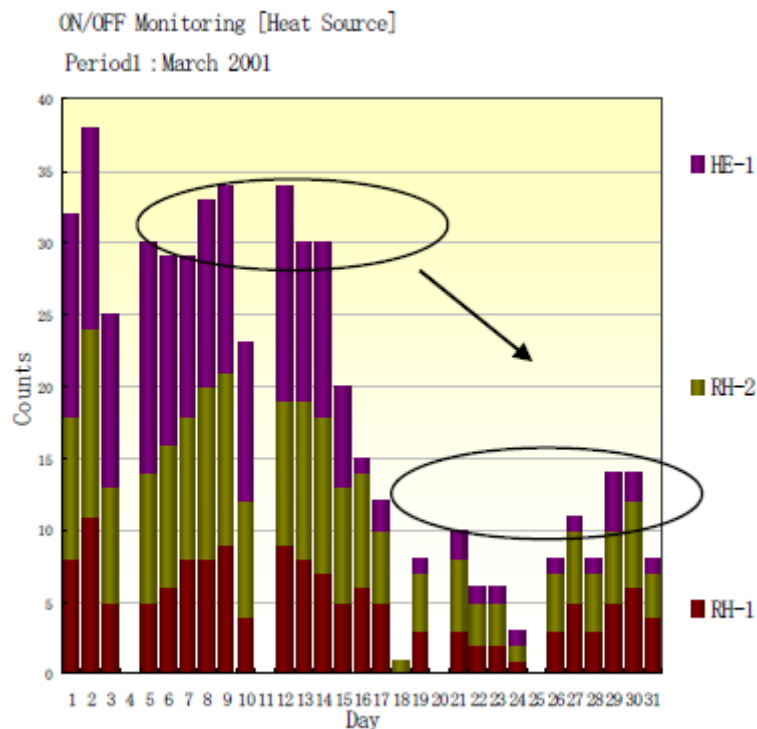


圖14. 改善前後起停開關次數圖

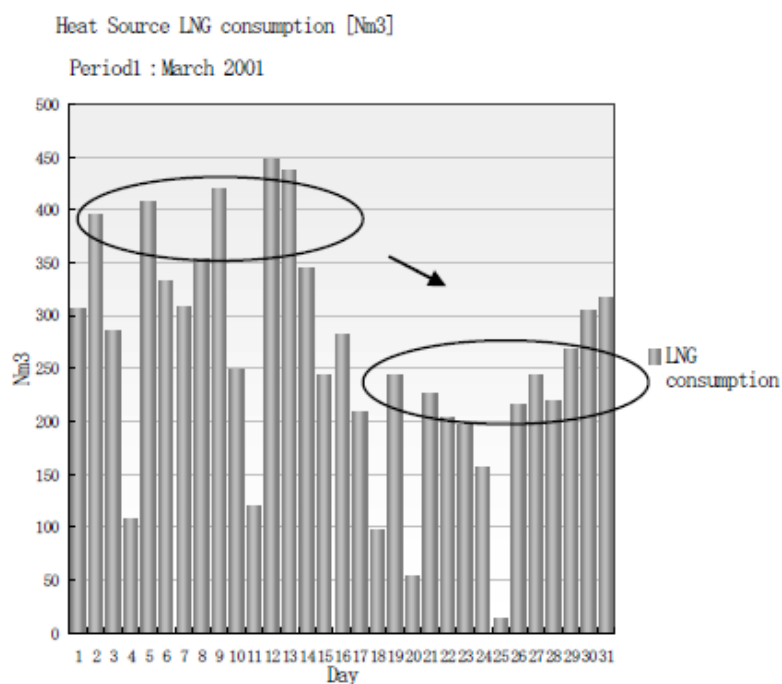


圖15. 改善前後天然氣需求圖.

### 第三節美國加州大學(California)之節能改善案例分析

#### 1.建築概況

美國加州大學位於 Santa Barbara 州，由 1960 開始使用至今。樓地板面積為 4,554,479 平方公尺，校內約有 35 棟建築物，分析時程為 2001 年夏季。



圖16. 加州大學外觀圖

#### 2.問題分析及改善

加州大學擁有許多實驗大樓，部份實驗大樓用電度數及使用時間遠高於其它大樓平均值，這些問題大樓共同特徵皆為空調系統操作程序有誤，如排風系統於夜間時仍維持滿載、管理人員於夜間無附加絕緣材料於泳池，導致天然氣使用量上升等等問題。

### 物理大樓 風扇系統改善

管理人員於 2001 年 5 月時，發現物理大樓電力負載曲線幾乎無上下波動變化，且耗電量相當高。經調查後，得知物理大樓管理人員為維持良好空氣品質風扇系統於 24 小時維持滿載運轉，即使夜間無人使用也維持全開，形成能源浪費。

經改善並配合 nighttime setback 策略，成功將耗電量由 465kW 降至 235kW，8 小時共節約 1840KWH/D，改善前後如下圖 17 所示。

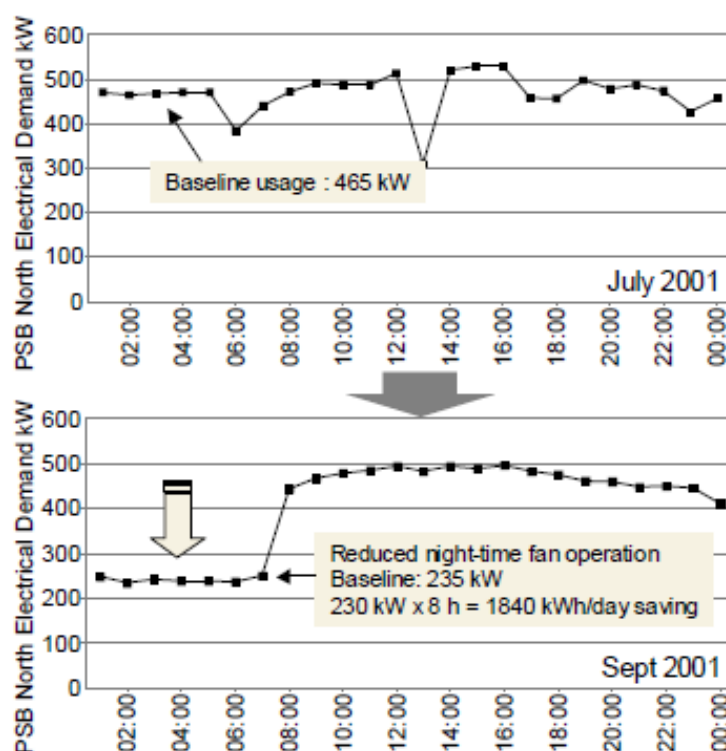


圖17. 物理大樓改善前後耗電量

### 化學大樓 排風系統改善

管理人員進行排風系統分析時，發現約有化學大樓約有 30%的實驗室排風系統於夜間維持全開，經改善後已此浪費，監控圖如下圖 18 所示。

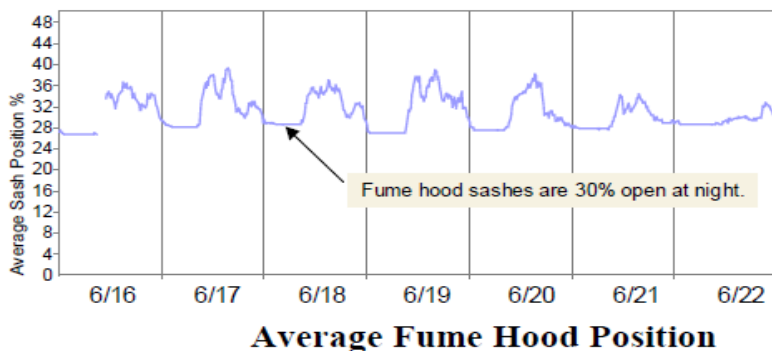


圖18. 排風系統監控圖

### 室外泳池 耗能改善

管理人員於改善期間發現室外泳池於相同外氣條件下，泳池所需天然氣增加，且泳池溫度於 5pm 至 8am 間，由 83°F 降至 79°F。診斷結果發現為管理人員夜間忘了將絕緣材料覆上，導致約 40,000 cu ft 之天然氣浪費，或約 \$280 美元/每晚之燃料費支出，如下圖 19 所示。

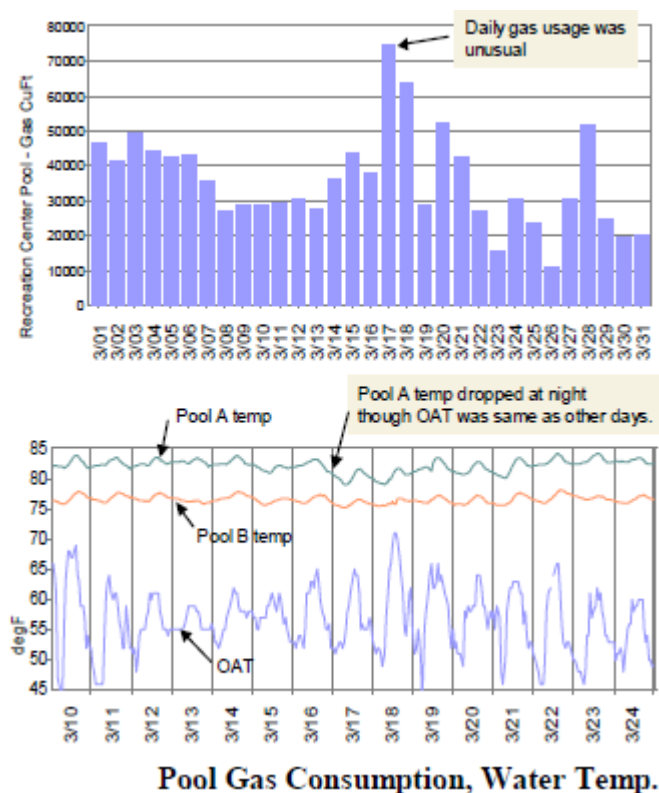


圖19. 泳池運轉參數之數據圖





## 第三章 中央空調及熱泵系統運用 BEMS 建立智慧型運轉策略之方法與實驗印證

本計畫將進行兩類型商業運轉中之大型建築中央空調系統之運轉智慧診斷，並擬定低成本、無成本之節能策略加以調式，並經由 BEMS 進行全尺度實驗印證，並比對其調適之成效，以作為後續推廣之依據。

此兩類建築一為展覽類，為典型每天運轉 10 小時之空調系統；另一類則為醫院或工廠等每日運轉 24 小時之空調系統，各具不同之運轉特色。

### 第一節 展覽類建築空調系統運轉診斷與 智慧型運轉策略之建立

#### 科工館建築物概述

國立科學工藝博物館位於高雄市三民區九如一路 720 號，為一棟地上 6 層，地下 1 層樓之建築物。作為供民眾展覽參觀及辦公用。圖 20 為國立科學工藝博物館建築物之外觀。



圖20. 國立科學工藝博物館之建築外觀圖

## 科學工藝博物館中央空調系統概述

科學工藝博物館外觀圖空調系統由 5 台製冰機、2 台 250RT 冰水主機、3 桶儲冰槽、泵浦及空調箱等等所組成。儲冰槽已組合為 3 組，如下圖 21 所示。融冰時，經由冰水管路連接於 4 台版式熱交換器，進行熱交換，提供現場空調。冰水管路與 2 台冰水主機並聯；由於採分量設計，空調負荷由冰水主機及冰同時提供冰水，以滿足需求，如下系統圖 23 所示。

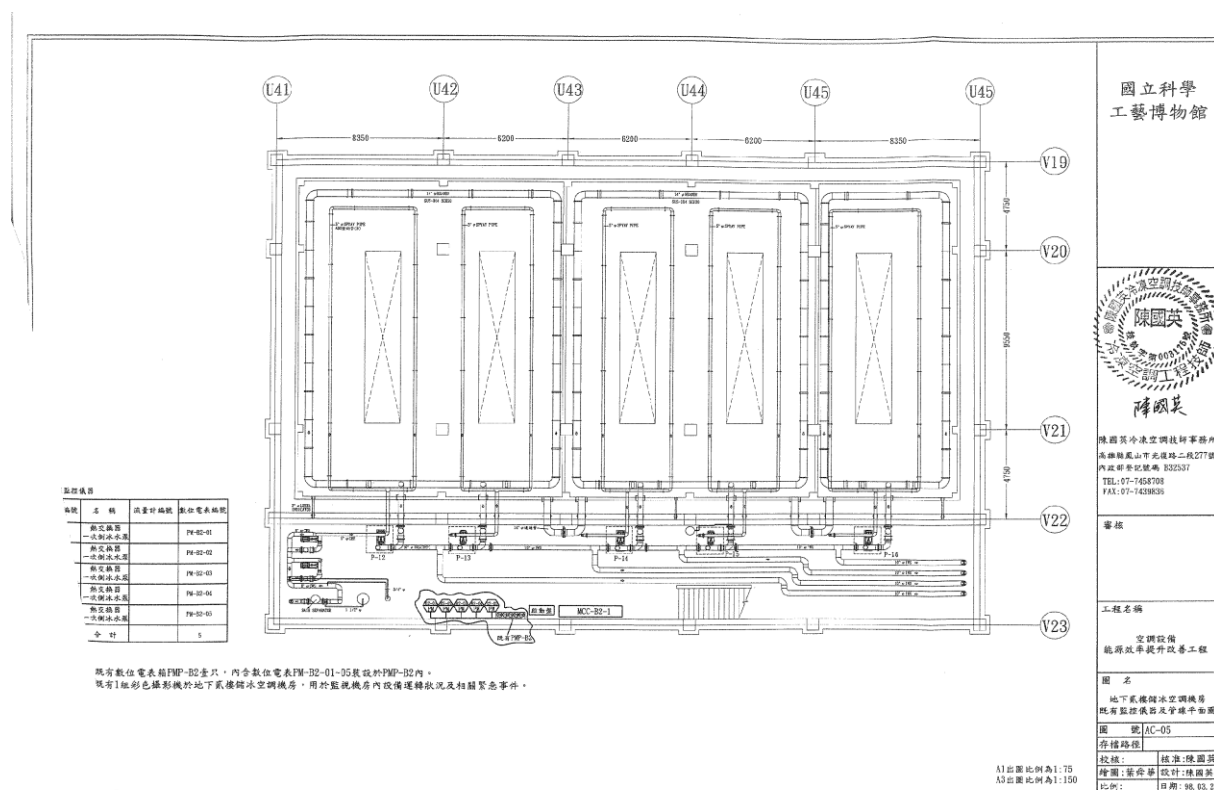


圖 21. 科學工藝博物館儲冰系統升位圖

### 第三章 中央空調 BEMS 智慧診斷實際案例

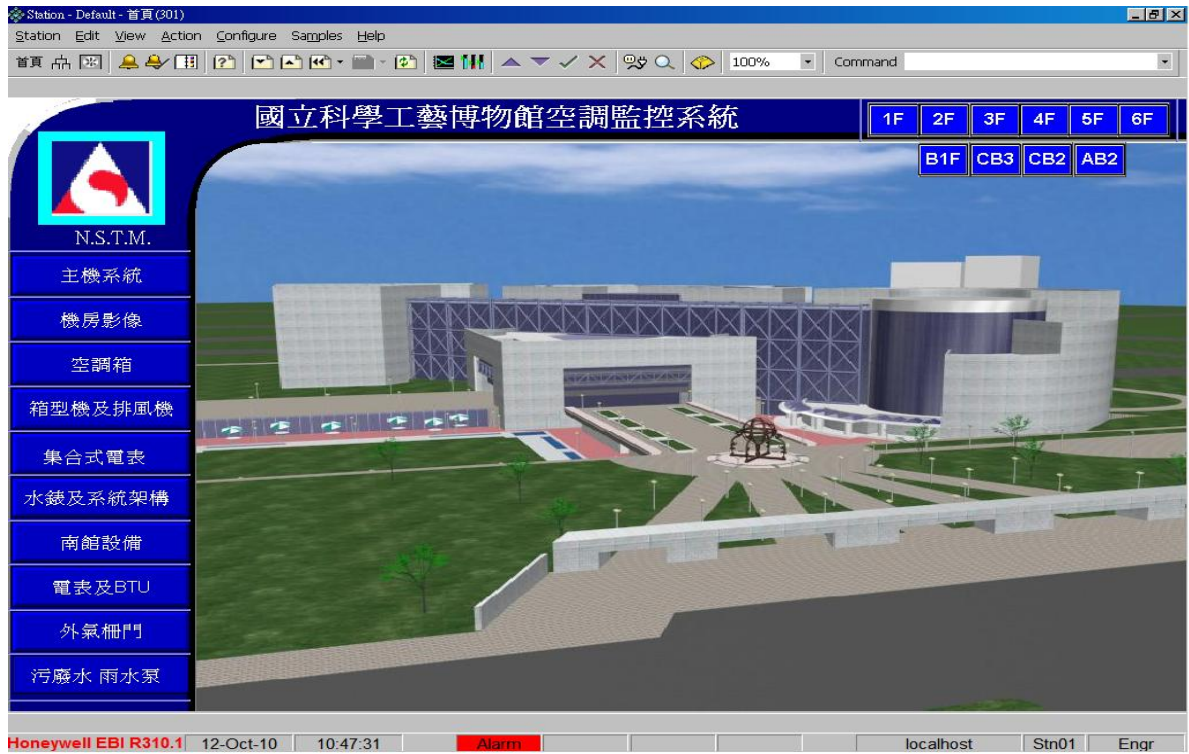


圖22. 科學工藝博物館 BEMS 監控頁面

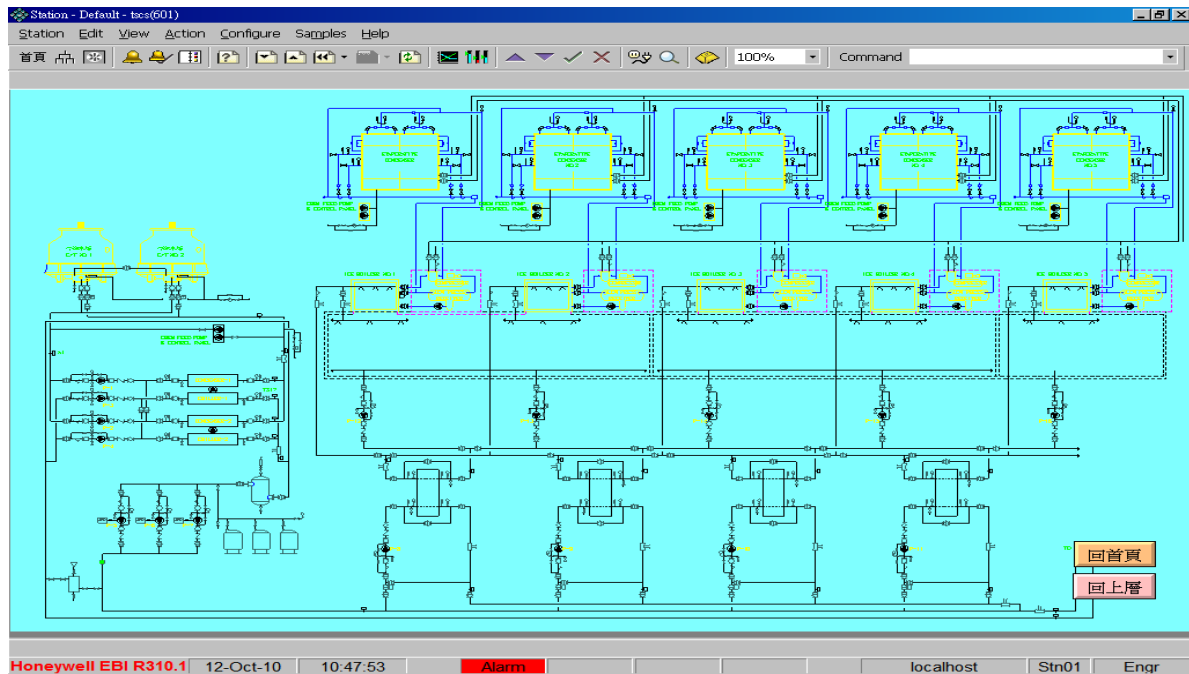


圖23. 科學工藝博物館空調系統升位圖

## 高效主機先發與智慧型運轉模式建立之流程

為有效辨別各不同冰水主機之性能以建立智慧型運轉模式，首先須將各主機之長時間運轉數據進行迴歸分析，以建立每台主機之行能曲線 CH1~CHN。然後，至回水溫度之高低與預測實際負荷之變動並藉以啟動加載模式。同時，針對不同之負荷型態選取最適合之台數控制之運轉策略。

此策略之建立可經由不同台數主機之組合形成之總耗電量作為判斷之基準，在從其中求取最小者作為運轉策略。由於原先進行迴歸分析之建立實乃依據實際之運轉數據而得，因此，在實際運轉操作時，所選取之預測總耗電值將與實際值極為接近，具有高準確度，此即為本計劃運用自行建立之實驗模式之精髓所在，中央空調主機最佳化運策略電腦模擬運算圖如下所示。

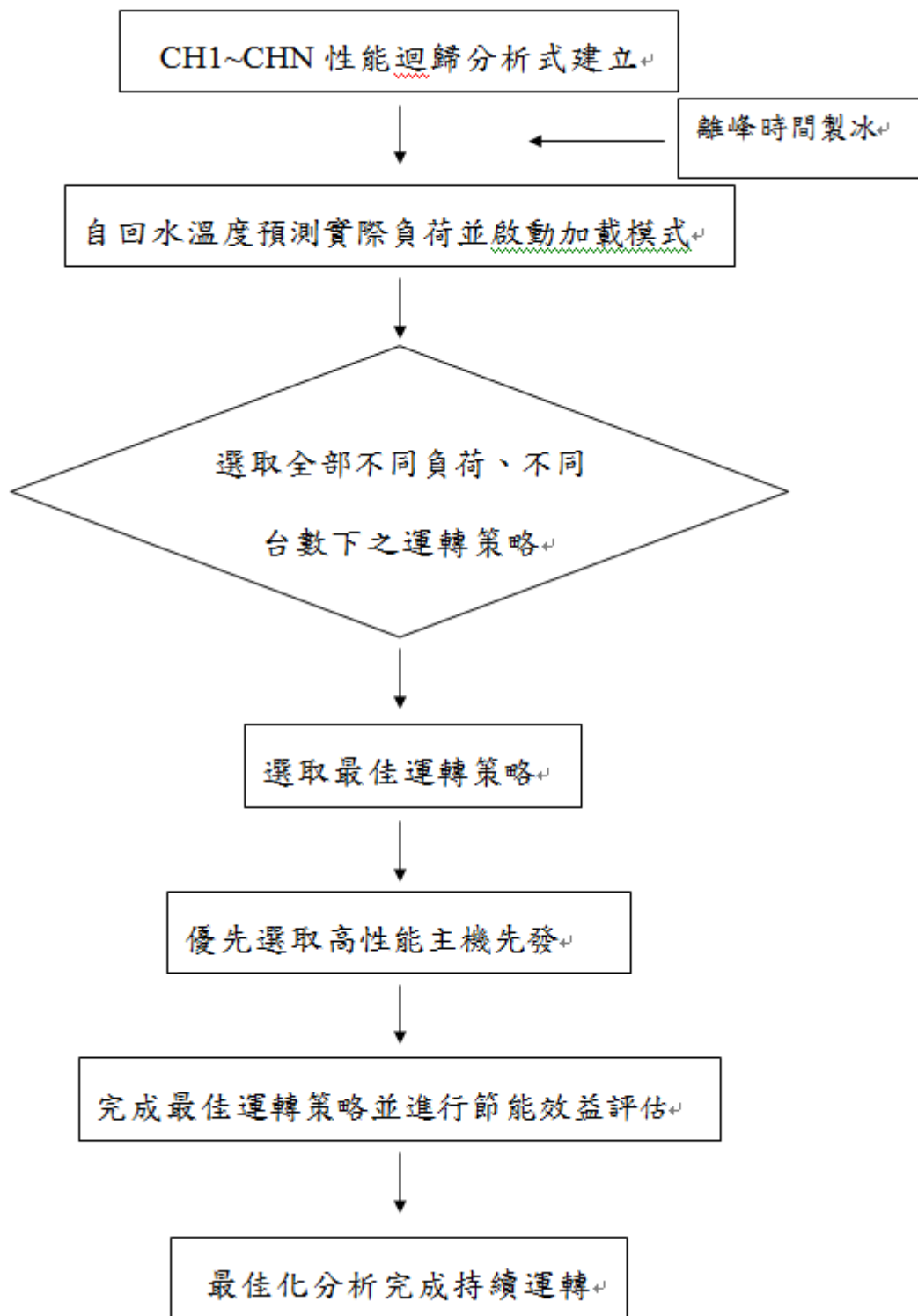


圖24. 中央空調主機最佳化運策略電腦模擬運算圖

## CH1~CHN 性能迴歸分析式建立

根據 WF Stoecker 所提出的實驗模式(Experimental model)藉由實際運轉中所得實驗數據，來進行迴歸分析，以推估實際情況，遠比用數學模式(Mathematical model)來的準確。此方法可運用於大型中央空調系統於進行商業運轉中，所有之冰水主機系統運轉參數，如冰水主機供應溫度、回水溫度、冰水流量與主機耗電量等決定主機系統運轉能源效率之主要因素。經由 BEMS 進行即時線上之數據分析如耗電量、PLF 及冷凍能力等，來建立性能迴歸分析曲線圖，以便進行性能分析、最佳運轉模式建立，如下所示。

$$Q_{evp} = \frac{V_{chw} \times (T_{chwrt} - T_{chwst}) \times \rho_w \times Cp_w}{60\text{sec}/\text{min}} \dots\dots(1)$$

$V_{chw}$ ：基準線熱泵主幹管的熱泵流量(LPM)

$T_{chwrt}$ ：基準線熱泵主幹管的熱泵回水溫度(°C)

$T_{chsrt}$ ：基準線熱泵主幹管的熱泵出水溫度(°C)

$\rho_w$ ：水之密度 1 kg/L

$Cp_w$ :水之比熱 4.186 kJ/kg-°C

定義主機性能迴歸分析式

$$1/\text{COP} = -1 + T_{chwrt}/T_{chwst} + \left[ -A_0 + A_1 \times T_{chwrt} - A_2 \times \left( T_{chwrt}/T_{chwst} \right) \right] / Q_{evp} \dots\dots(2)$$

$$\alpha = (1/\text{COP} + 1 - T_{chwrt}/T_{chwst}) \times Q_{evp}$$

$$\begin{aligned} \beta &= (1/\text{COP} + 1 - T_{chwrt}/T_{chwst}) \times Q_{evp} + A_2 \times (T_{chwrt}/T_{chwst}) \\ &= \alpha + A_2 \times (T_{chwrt} / T_{chwst}) \end{aligned}$$

由量測可獲得：

- 1.冰水出水溫度
- 2.冰水回水溫度
- 3.冰水流量
- 4.冷卻水進水溫度

代入  $Q_{evap}$  公式算出  $Q_e$ 。

再帶入方程式(2)求得熱泵之 COP。此即可做為後續改善熱泵時之基準線，  
可得知改善前後之經濟效益。

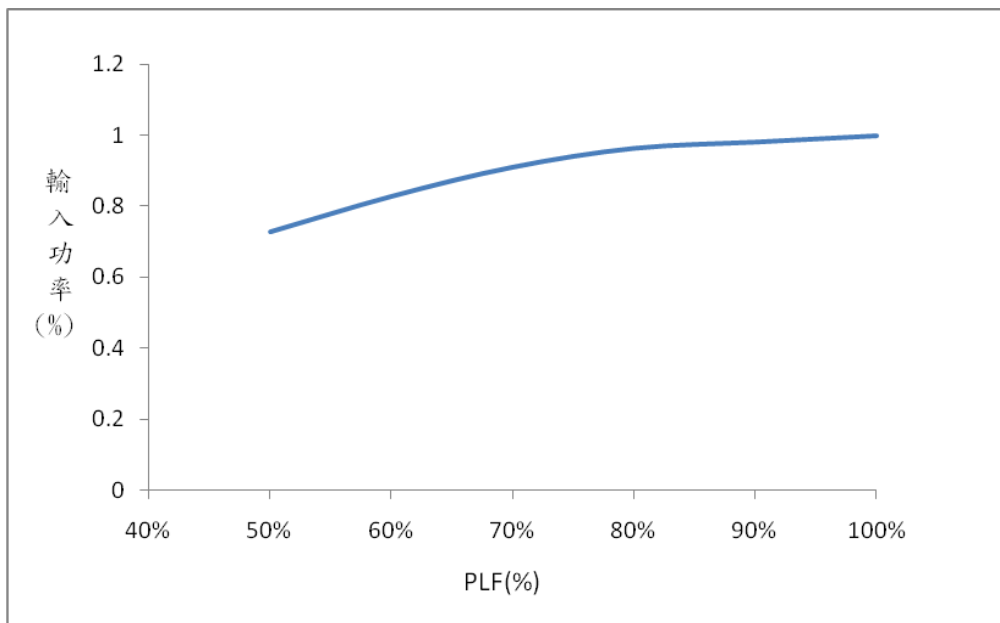


圖25. 科工館 CH-1 性能曲線圖

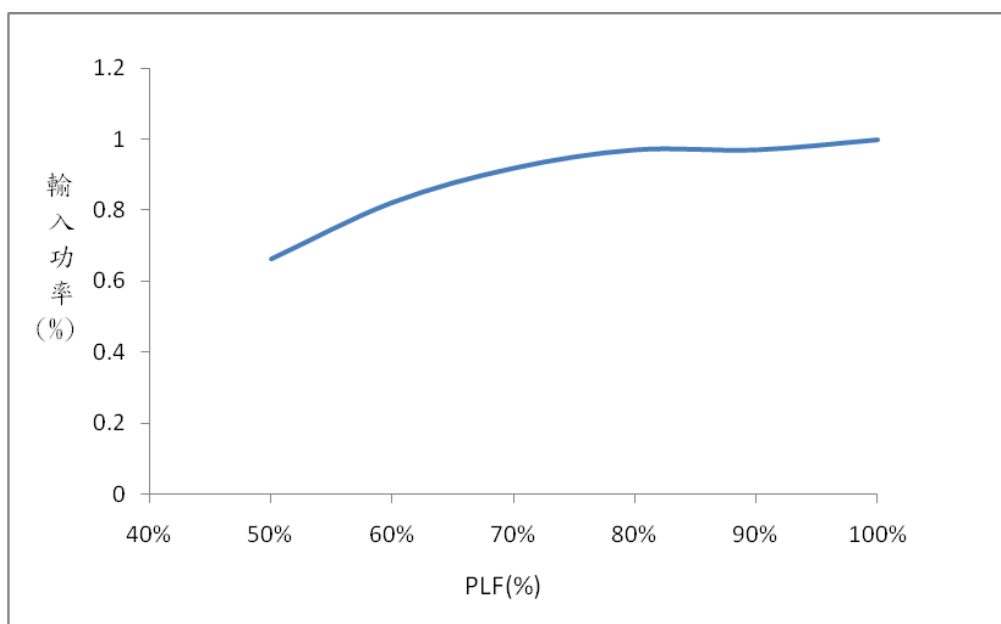


圖26. 科工館 CH-2 性能曲線圖

表7. 不同季節下部分負載率與耗電量之運轉參數

	負載	100%	90%	80%	70%	60%	50%
冰水主機	CH-1	169	166	163	154	140	123
	CH-2	175	170	170	161	144	116

### 離峰時間儲冰模式之最佳化

根據台電三段式電價表中，離峰用電費不到尖峰時間電費的三分之一；因此，利用儲冰系統在離峰時間製冰，於尖峰時段融冰可大量節省電費。此節約電費之主要來源，乃電力公司為了鼓勵間峰時段電力不足時，客戶能將部分需求轉移至晚上離峰時段，對於電力調度有貢獻，且不必於全國需量大增而集中之時，將成本高之發電機組投入運轉而節約。因此，將此電價優惠回饋於用戶端乃雙贏之策略。下圖 28 所示為台電三段式電價表，表中尖峰用電為 4.26 元而半尖峰及離峰僅需 2.7 或 1.35 元，因此利用離峰時間製冰，於尖峰時段融冰可以省下大量運轉電費。



### 第三章 中央空調 BEMS 智慧診斷實際案例

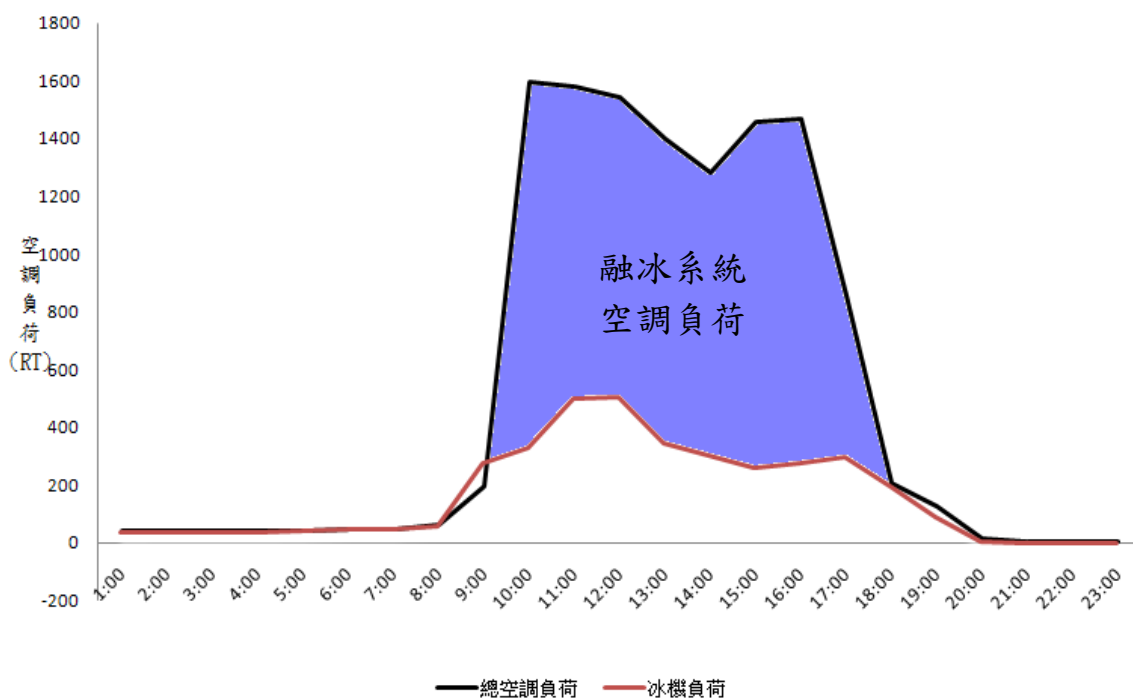


圖27. 利用 BEMS 控制融冰速率以便與空調主機匹配，形成最小之尖峰電力需求為可行之策略

三段式 時間電價	流動電費 (尖峰時間 固定)	週一至週五	尖峰時間	夏月	10:00~12:00 13:00~17:00	每度	4.26	—	4.21	—	
						半尖峰時間	夏月	07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30	每度	2.70	—
				非夏月	07:30~22:30	每度	—	2.62	—	2.58	
			離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		每度	1.35	1.27	1.30	1.22	
		週六	半尖峰時間	07:30~22:30		每度	1.80	1.71	1.67	1.58	
			離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		每度	1.35	1.27	1.30	1.22	
		週日及離峰日	離峰時間	全日		每度	1.35	1.27	1.30	1.22	
	流動電費 (尖峰時間 可變動)	週一至週五	尖峰時間	夏月 (指定30天)	10:00~12:00 13:00~17:00	每度	7.22	—	7.16	—	
				半尖峰時間	夏月 (指定30天)	07:30~10:00 12:00~13:00 17:00~22:30	每度	2.70	—	2.66	—
					夏月 (指定以外日期)	07:30~22:30	每度				
					非夏月	07:30~22:30	每度	—	2.62	—	2.58
				離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		每度	1.35	1.27	1.30	1.22
			週六	半尖峰時間	07:30~22:30		每度	1.80	1.71	1.67	1.58
				離峰時間	00:00~07:30 22:30~24:00		每度	1.35	1.27	1.30	1.22
		週日及離峰日	離峰時間	全日		每度	1.35	1.27	1.30	1.22	

圖28. 台電三段式電價表

## 自回水溫度預測實際負荷並啟動加載模式

藉由 BEMS 線上觀察冰水主機回水端溫度及出水端溫度，可即時推算目前所需之空調負載。若發現目前提供空調能力不足時，將反應於回水溫度之升高，並進行加載模式，以提供足夠之空調能力。如下表 8 所示，由 BEMS 監控系統發現大樓回水溫度在早上 10 點時達到 17 °C 隨即進行加載模式。

表8. 自回水溫度預測空調負荷

時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
大樓回水溫 (°C)	13.8	15	17.2	15.2	12.8	13.1	12	13.4

## 擬定全部不同負荷、不同台數下之運轉策略

當空調系統主機運轉面臨需依空調負荷的變化，調整空調主機的運轉台數時，其節能策略建立進行之方法為列出不同負荷下所需加載冰水主機，依此主機容量進行選取 PLF 接近 80% 之組合，如此便可消除過量設計之耗電量(kwh)及需量(kw)，並使主機負載皆為 80% 以上，而達到運轉最佳化之目的。以科工館為例，該系統有 2 台冰水主機皆為 250 RT，由上述回水溫得知現場需求負荷需再增加冰水主機運轉；為決定加載順序於是列出不同組合、不同負荷下主機耗電情形，藉此來得到滿足現場需求下且耗電量最小。根據科工館歷史紀錄進行運轉策略分析，如下表 9 至表 12 所示。

表9. 科工館空調負荷分佈

TIME	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
空調負荷 (RT)	61	196	1600	1583	1543	1402	1285	1456	1468	859

表10. 空調運轉策略 1

	TIME		CH-1	CH-2	融冰負荷	剩餘冰量 (RT)	主機系統總耗電 (kw)	總耗電 (kw)
運轉策略 1	半尖峰時間	08:00	250RT(60%)	250RT(0%)	0	8435	116	3037
			116	0				
		09:00	250RT(100%)	250RT(0%)	0	8435	169	
			169	0				
	尖峰時間	10:00	250RT(100%)	250RT(100%)	1100	7335	344	
			169	175				
		11:00	250RT(100%)	250RT(100%)	1083	6252	344	
			169	175				
	半尖峰時間	12:00	250RT(100%)	250RT(100%)	1043	5209	344	
			169	175				
		13:00	250RT(100%)	250RT(100%)	902	4307	344	
			169	175				
	尖峰時間	14:00	250RT(100%)	250RT(100%)	785	3522	344	
			169	175				
		15:00	250RT(100%)	250RT(100%)	956	2566	344	
			169	175				
		16:00	250RT(100%)	250RT(100%)	968	1598	344	
			169	175				
		17:00	250RT(100%)	250RT(100%)	359	1239	344	
			169	175				

表11. 空調運轉策略 2

	TIME		CH-1	CH-2	融冰負荷	剩餘冰量 (RT)	主機耗電 (kw)	總耗電 (kw)
運轉策略 2	半尖峰時間	08:00	250RT(60%)	250RT(0%)	0	8435	116	2943
			116	0				
		09:00	250RT(80%)	250RT(0%)	0	8435	163	
			163	0				
	尖峰時間	10:00	250RT(80%)	250RT(80%)	1200	7235	333	
			163	170				
		11:00	250RT(80%)	250RT(80%)	1183	6052	333	
			163	170				
	半尖峰時間	12:00	250RT(80%)	250RT(80%)	1143	4909	333	
			163	170				
		13:00	250RT(80%)	250RT(80%)	1002	3907	333	
			163	170				
	尖峰時間	14:00	250RT(80%)	250RT(80%)	885	3022	333	
			163	170				
		15:00	250RT(80%)	250RT(80%)	1056	1966	333	
			163	170				
		16:00	250RT(80%)	250RT(80%)	1068	898	333	
			163	170				
		17:00	250RT(80%)	250RT(80%)	459	439	333	
			163	170				

表12. 空調運轉策略 3

	TIME		CH-1	CH-2	融冰負荷	剩餘冰量 (RT)	主機耗電 (kw)	總耗電 (kw)
運轉策略 3	半尖峰時間	08:00	250RT(60%)	250RT(0%)	0	8435	116	2799
			116	0				
	09:00	250RT(80%)	250RT(0%)	0	8435	163		
		163	0					
	尖峰時間	10:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1250	7185	315	
			154	161				
	11:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1233	5952	315		
		154	161					
	半尖峰時間	12:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1193	4759	315	
			154	161				
	13:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1052	3707	315		
		154	161					
	14:00	250RT(70%)	250RT(70%)	935	2772	315		
		154	161					
	尖峰時間	15:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1106	1666	315	
			154	161				
16:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1118	548	315			
	154	161						
17:00	250RT(70%)	250RT(70%)	509	39	315			
	154	161						

### 選取最佳運轉策略

自所有電腦模擬之運轉策略中，選取耗電量最小之策略作為最佳化運轉策略，如下表 13 所示。

表13. 最佳空調運轉策略

	TIME		CH-1	CH-2	融冰負荷	剩餘冰量 (RT)	主機耗電 (kw)	總耗電 (kw)
運轉策略 3	半尖峰時間	08:00	250RT(60%)	250RT(0%)	0	8435	116	2799
			116	0				
		09:00	250RT(80%)	250RT(0%)	0	8435	163	
			163	0				
	尖峰時間	10:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1250	7185	315	
			154	161				
		11:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1233	5952	315	
			154	161				
	半尖峰時間	12:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1193	4759	315	
			154	161				
		13:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1052	3707	315	
			154	161				
	尖峰時間	14:00	250RT(70%)	250RT(70%)	935	2772	315	
			154	161				
		15:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1106	1666	315	
			154	161				
		16:00	250RT(70%)	250RT(70%)	1118	548	315	
			154	161				
		17:00	250RT(70%)	250RT(70%)	509	39	315	
			154	161				

## 優先選取高性能主機先發

抉擇最佳運轉策略後，選取高性能主機作為優先加載對象，以最小耗電得到相同空調負荷輸出，進而得到節能目的。

## 完成最佳運轉策略並進行節能效益分析

於本計畫改善前，依傳統冰水主機運轉模式為加載兩台滿載冰水主機以避免融冰速率過快，而未考慮冰主機耗電及負載最佳化。同時，並未先進行電腦模擬進行空調負荷預測也未進行性能回歸分析。新的空調主機運轉策略則以總耗電量最低的運轉模式來滿足空調需求。於此，將改善前與改善後耗電量進行節能效益評估，如下表 14 所示。

表14. 節能效益分析

	改善前	改善後
空調負荷耗電量(kw)	3037kw	2799
節能效益	7%	
節省電費(元/天)	1713 元/天	

## 第二節 醫院類建築空調系統診斷分析

### 行政院衛生署台中醫院

行政院衛生署台中醫院位於台中市西區三民路 1 段 199 號，其中，急診大樓為一棟地上 12 層，地下 1 層樓之建築物，總樓地板面積 33,490.9 m<sup>2</sup>。該醫療大樓主要提供門診、醫療等服務，使用時間為 24 hr。圖 29 為行政院衛生署台中醫院建築物之外觀圖。



圖29. 行政院衛生署台中醫院之建築外觀圖

### 空調系統概述

台中醫院空調系統為由兩台 540RT 及一台 250RT(備用)冰水主機組成，運轉模式為採取一台 540RT 主機運轉，另一台 540RT 主機則作為輔助，當不足時作為加載。以下為台中醫院實際運轉實況，及進行運轉最佳化之過程與成果。



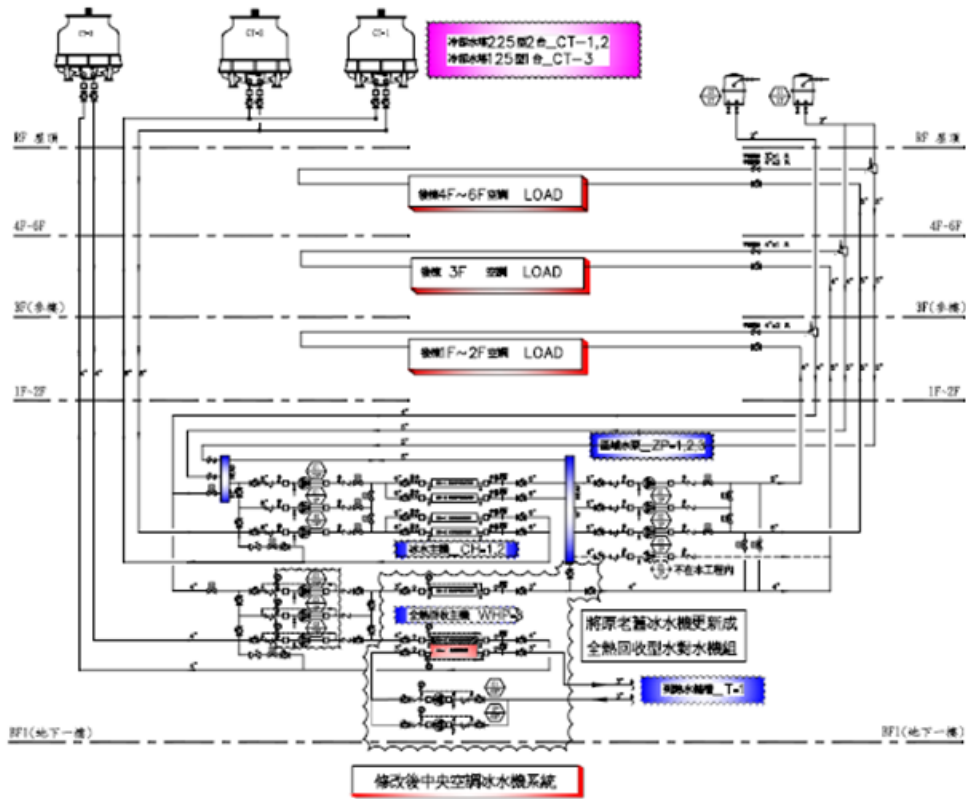


圖30. 台中醫院空調系統集熱泵系統升位圖

### 台中醫院空調主機性能之迴歸分析

依據上節之方法，進行台中醫院個主機之實際運轉數據分析，經由 BEMS 加以記錄，並進行迴歸分析。其結果下圖 31、32 及表 15、16 所示。

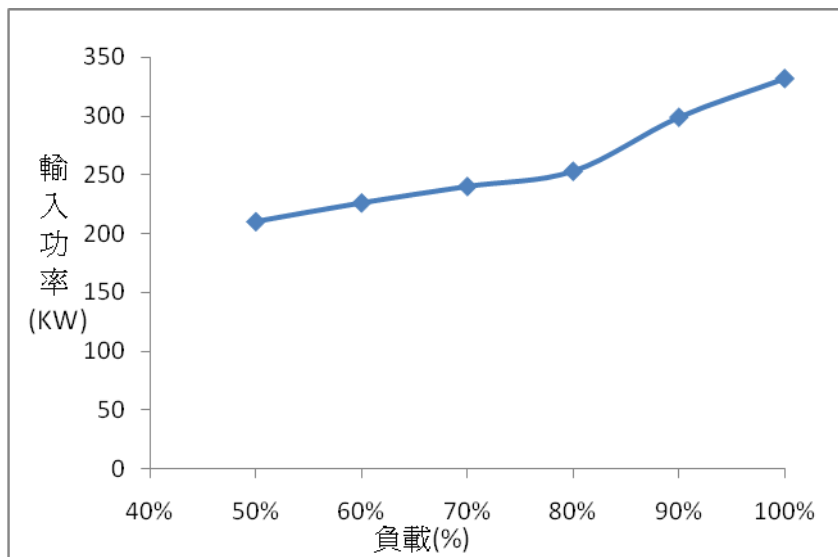


圖31. 台中醫院 CH-1 冰水主機性能曲線圖

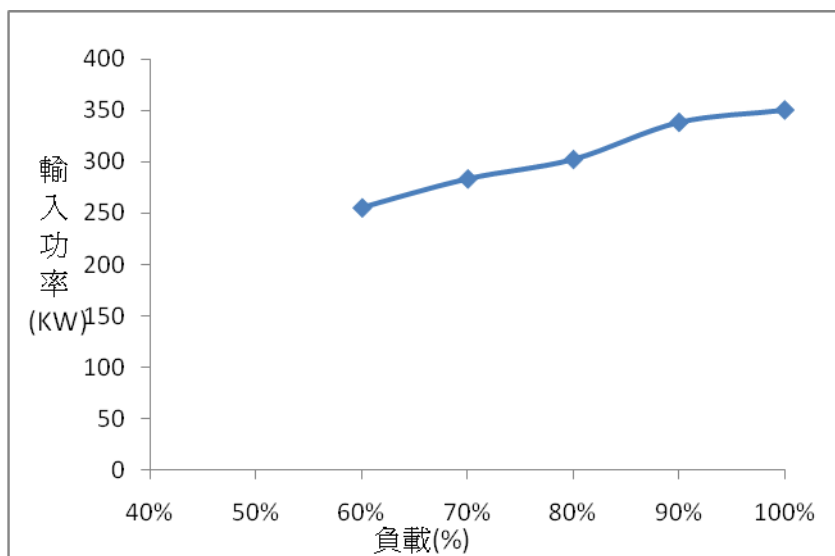


圖32. 台中醫院 CH-2 冰水主機性能曲線圖

表15. 不同季節下部分負載率與耗電量之運轉參數

	RT 負載	100%	90%	80%	70%	60%	50%
加載機台	CH-1	350	338	302	283	255	RA
	CH-2	332	299	253	240	226	210
	CH-3	RA	RA	RA	RA	RA	RA

表16. 台中醫院主機 COP 性能迴歸分析表

主機	CH-1	CH-2	CH-3
COP	4.1	6.21	RA

## 自回水溫度預測實際負荷並啟動加載模式

藉由 BEMS 線上觀察冰水主機回水端溫度及出水端溫度即時推算目前所需之空調負載。若發現目前提供空調不足時，則進行加載模式即為加載冰水主機以保證提供足夠空調需求。如下表所示，監控系統發現回水溫度高於 13 °C 達到 14 °C，代表空調供應不足需加開冰水主機。

表17. 台中醫院空調系統自回水溫度預測空調負荷

時間	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00
CH-1 回水溫(°C)	13.8	15	17.2	15.2	12.8	13.1	12	13.4
CH-2 回水溫(°C)	13.6	13.5	14.2	15.2	16.8	14.2	13.8	13.7

## 擬定全部不同負荷、不同台數下之運轉策略

當空調系統主機運轉面臨需依空調負荷的變化，調整空調主機的運轉台數時，其節能策略建立進行之方法為列出不同負荷下所需加載冰水主機，依此主機容量進行選取 PLF 接近 80% 之組合，如此便可消除過量設計之耗電量(kwh)及需量(kw)，並使主機負載皆為 80% 以上，而達到運轉最佳化之目的。以台中醫院為例，該系統有 3 台冰水主機兩台 540 RT 及一台 250 RT(備用)，由上述回水溫得知現場需求負荷為 800 RT，需再增加冰水主機運轉，為決定加載順序於是列出不同組合、不同負荷下主機耗電情形，藉此來得到滿足現場需求下且耗電量最小，如下表所示。

表18. 台中醫院空調運轉策略之比對分析

	CH-1	CH-2	CH-3	主機系統 總耗電 (kw)
運轉策略	540RT(100%)	540RT(100%)	備用機台	682
	350	332		
	540RT(100%)	540RT(90%)		649
	350	299		
	540RT(90%)	540RT(100%)		670
	338	332		
	540RT(90%)	540RT(90%)		637
	338	299		
	540RT(90%)	540RT(80%)		591
	338	253		
	540RT(80%)	540RT(90%)		601
	302	299		
	540RT(80%)	540RT(70%)		542
	302	240		
540RT(70%)	540RT(80%)	536		
283	253			

### 選取最佳運轉策略

由所有電腦模擬之運轉策略中選取耗電量最小之策略作為最佳化運轉策略，如下表所示，記號處負載在 800 RT 時，最小耗電量為 536 kw。

表19. 台中醫院空調運轉策略之比對分析

	CH-1	CH-2	CH-3	主機系統 總耗電 (kw)
運轉策略	540RT(100%)	540RT(100%)	備用機台	682
	350	332		
	540RT(100%)	540RT(90%)		649
	350	299		
	540RT(90%)	540RT(100%)		670
	338	332		
	540RT(90%)	540RT(90%)		637
	338	299		
	540RT(90%)	540RT(80%)		591
	338	253		
	540RT(80%)	540RT(90%)		601
	302	299		
	540RT(80%)	540RT(70%)		542
	302	240		
	540RT(70%)	540RT(80%)		536
	283	253		

## 優先選取高性能主機先發

抉擇最佳運轉策略後，選取高性能主機作為優先加載對象，以最小耗電得到相同空調負荷輸出，進而得到節能目的。以本例而言，優先加載機台為 CH-2。

## 完成最佳運轉策略並進行節能效益分析

在改善前傳統冰水主機運轉模式為根據老師傅經驗猜測之運轉，為了避免空調不足，都會加大主機負荷造成不必要之浪費。同時，並未先進行電腦模擬進行空調負荷預測也未進行性能回歸分析。新的空調主機運轉策略可以最低的耗能滿足空調需求。因此將改善前與改善後耗電量進行節能評估，如下表 20 所示，而完成整體程序。

表20. 台中醫院空調系統節能效益分析

	改善前	改善後
空調負荷耗電量	637kw	536kw
節能效益	16%	

### 第三節 大型醫院中央型熱泵系統經 BEMS 調適之 節能效益分析與實驗印證

目前國內許多大型醫院與旅館，皆採傳統式之大型中央空調系統與鍋爐系統並存，以形成一個冷熱動力中心。舉例而言，台北榮總、台中榮總、高雄榮總以及北中南東之五星級觀光飯店皆為此種設計形式，估計案例上百家以上，為極大之冷熱中心節能潛力之所在。因此，如何將傳統之燒重油或、柴油或天然氣甚或電熱之鍋爐系統加以部分取代，導入高效率之熱泵系統，並與原大型中央空調系統整合成高效率冷熱中心，以 BEMS 進行監控，為一項極關鍵之技術。

以下圖 33 將原老舊冰水機更新為全熱回收型水對水熱泵機組，則不但可將熱泵之熱水進行預熱後再經鍋爐產生必要之蒸氣，以節省大量之鍋爐燃料，並可將熱泵產生之冰水導入原冰水系統，提供空調能力，為雙贏之策略。

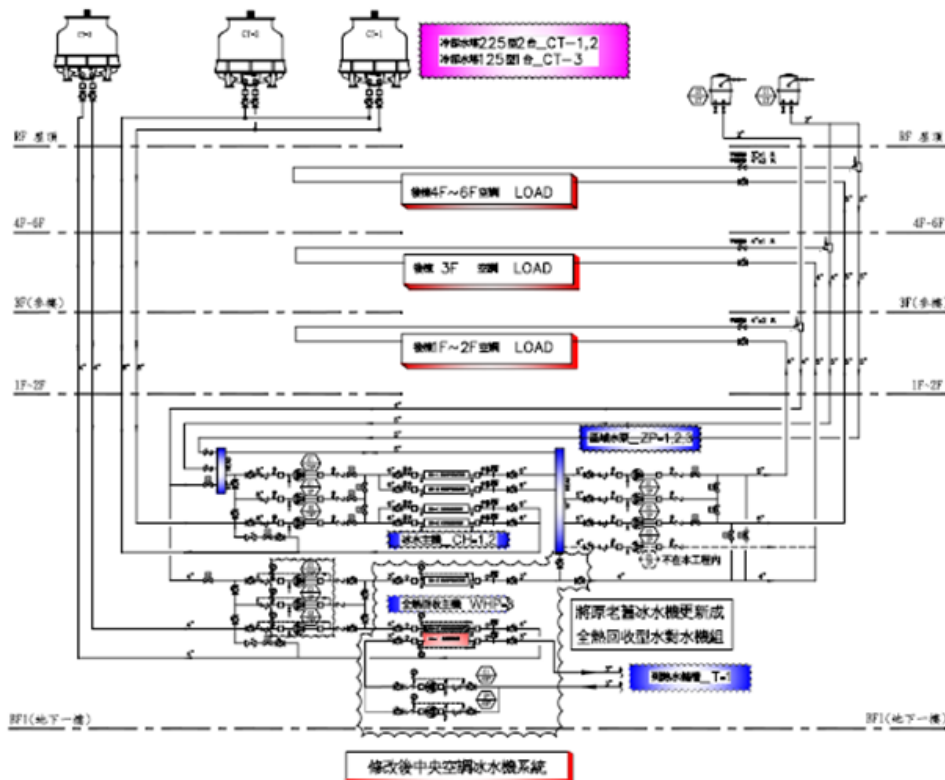


圖33. 台中醫院空調系統及熱泵系統昇位圖

運用熱泵系統，預估使用效率可提高 3 倍左右。加上與既設鍋爐系統配合使用，評估熱水系統每年可節省 921,340 元運轉費用，並且每年可減少 43,206 kg 之二氧化碳排放量；加上熱泵系統運轉所產生之空調節能效益進行評估，改善後每年可節省 1,342,983 元；並可減少 129,710 kg 二氧化碳排放量。其改善成效，下圖 34 所示。

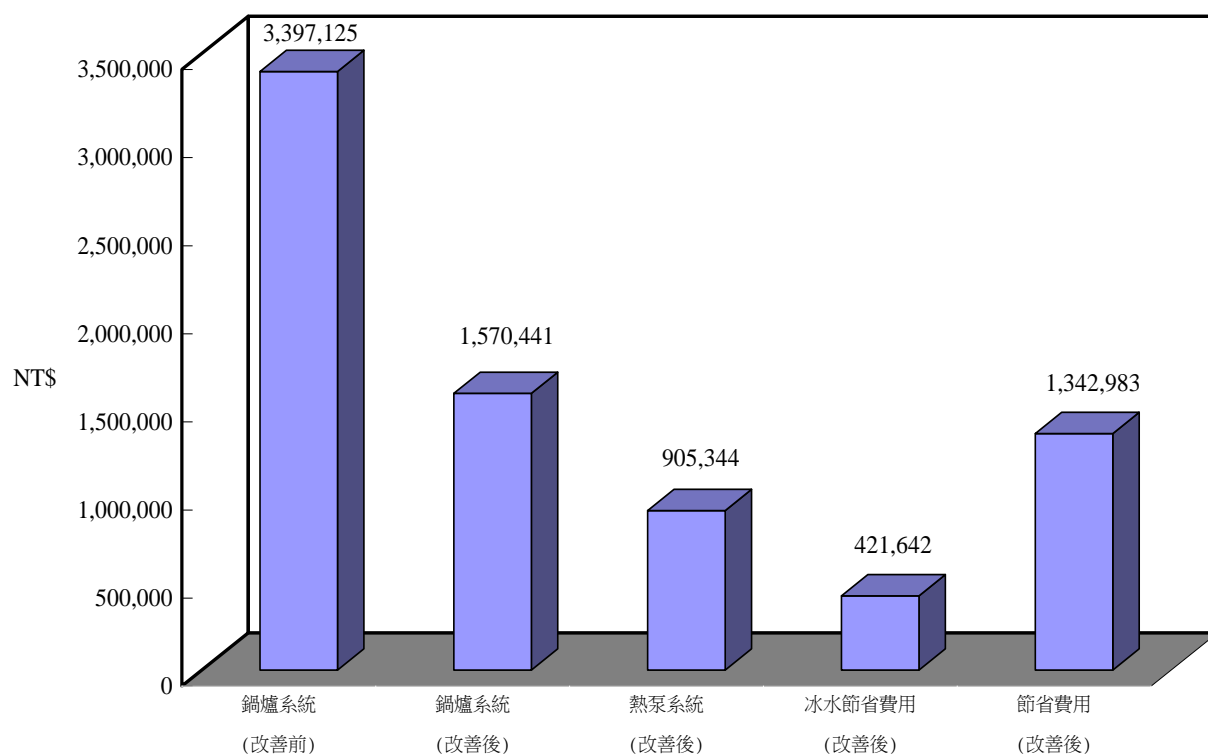


圖34. 台中醫院熱泵系統改善效益評估圖



表21. 台中醫院熱泵系統改善效益評估

熱水系統分析	鍋爐系統分析	熱泵系統分析	鍋爐系統分析
	改善前分析		改善後分析
每月平均產生熱水熱值(kcal)	113,849,753	61,324,877	52,524,876
每月平均熱水熱值之能源費用(元/Mcal)	2.49	1.23	2.49
每年平均產生熱水熱值(kcal)	1,366,197,030	735,898,519	630,298,511
每年燃料消耗量(耗電量度數)	184,000(度)	292,046(kWh)	84,889(度)
每年燃料費用(元)	3,397,125	905,344	1,570,441
CO <sub>2</sub> 排放量(kg)	425,040	185,742	196,093

熱泵主機在製熱過程所伴隨產生的冷能，也是循環利用中的一環。ASHRAE-G14 性能量測驗方法，同樣適用於冰水系統及熱泵系統。因此，本研究利用此方式進行醫院類別中央空調及熱泵系統性能之驗證。

### 熱泵系統 COP 性能效能測與驗證方法

於進行熱泵系統的節能改善時，須運用 BEMS 系統連續紀錄熱泵所有耗能設備的耗電、進出水溫度、冷卻水進水溫度及空調負荷，建立熱泵基準線的性能係數(COP)方程式。

首先進行各項參數之量測，如熱泵主機耗電量、出入水溫、流量等等運轉參數，量測過程如下圖 35 至 38 所示。

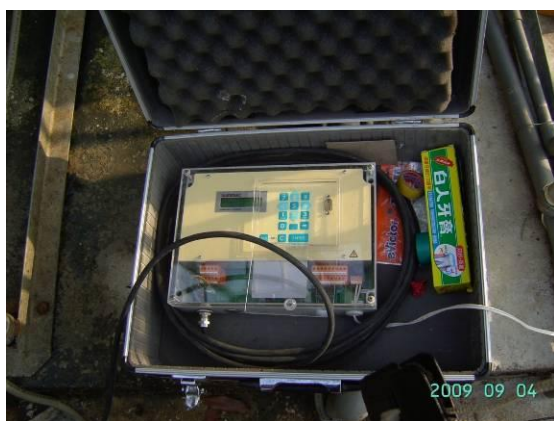


圖35. 利用超音流量計來量測主機流量



圖36. 將超因波流量計接於出入水管路上

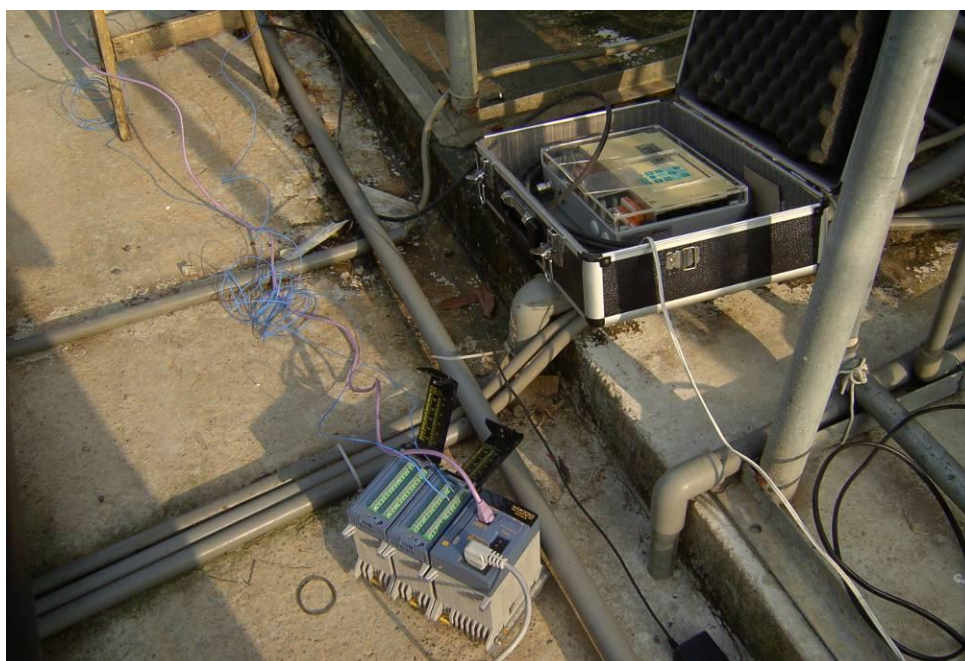


圖37. 用 datalogic 記錄熱泵主幹管之回水溫度  $T_{chwrt}$  及出水溫度  $T_{chsrt}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )，熱泵主幹管之冷卻水進水溫度  $T_{cwrt}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )。

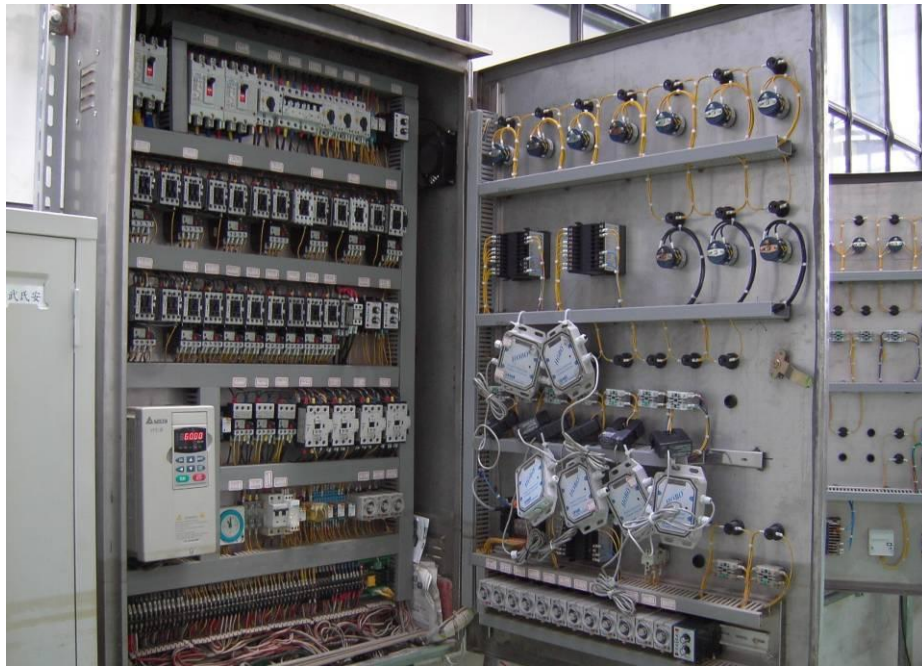


圖38. 熱泵配電盤進行耗電量之記錄熱泵主機之總耗電 Pchiller (kw) (包含主機泵浦及區域泵浦)。

### 熱泵性能量測方式之建立

熱泵性能量測程序如下，將先前量測之運轉參數帶入方程式，以求得熱泵主機產生之熱能，進而去評估主機性能。各符號代表意義分別為  $V_{chw}$  為基準線熱泵主幹管的熱泵流量(LPM)、 $T_{chwrt}$  為基準線熱泵主幹管的熱泵回水溫度(°C)、 $T_{chsrt}$  為基準線熱泵主幹管的熱泵出水溫度(°C)、 $\rho_w$  為水之密度 1 kg/L 及  $C_{pw}$  為水之比熱 4.186 kJ/kg·°C。在量測熱量數後，帶入性能回歸分析式中進行運算，如下方程式 2。

$$Q_{evp} = \frac{V_{chw} \times (T_{chwrt} - T_{chwst}) \times \rho_w \times C_{pw}}{60\text{sec}/\text{min}} \dots\dots\dots(1)$$

主機性能回歸分析式

$$1/\text{COP} = -1 + T_{chwrt} / T_{chwst} + [-A_0 + A_1 \times T_{chwrt} - A_2 \times (T_{chwrt} / T_{chwst})] / Q_{evap} \dots\dots\dots(2)$$

其中

$$\alpha = (1/\text{cop} + 1 - T_{\text{cwr}}/T_{\text{chwst}}) \times Q_{\text{evap}} \dots \dots \dots (3)$$

$$\beta = (1/\text{cop} + 1 - T_{\text{cwr}}/T_{\text{chwst}}) \times Q_{\text{evap}} + A2 \times (T_{\text{cwr}}/T_{\text{chwst}}) \dots \dots (4)$$

$$= \alpha + A2 (T_{\text{cwr}}/T_{\text{chwst}}) \dots \dots \dots (5)$$

回歸性能分析式運算說明如下所述:在運算  $\beta$  之前,須先運算  $\alpha$ 。將基本參數帶入方程式(3)中得出  $\alpha$ ,再將  $\alpha$  與  $T_{\text{cwr}}/T_{\text{chwst}}$  畫迴歸分析圖之所得之斜率即為  $A2$ ,如下圖 39 所示。得出  $A2$  帶入方程式(4)即可運算出  $\beta$ 。在將  $\beta$  與  $T_{\text{cwr}}$  畫迴歸分析圖求得迴歸分析式,其中  $A0$  即為迴歸分析式之截距( $A0=414.2$ ), $A2$  即為迴歸分析式之斜率 ( $A2=2.583$ ),如下圖 40 所示。

求得  $A0$ 、 $A1$  及  $A2$  後再帶入方程式(2)求得熱泵之冰水側 COP,同時於量測熱水測時亦同。此即可做為後續改善熱泵時之基準線,可用於 BEMS 監控系統熱泵之 COP。上述公式為 ASHRAE G14-2002 之標準流程,於量測時,皆需量測上述之參數。並進行 COP 及外氣溫度等計算迴歸分析。

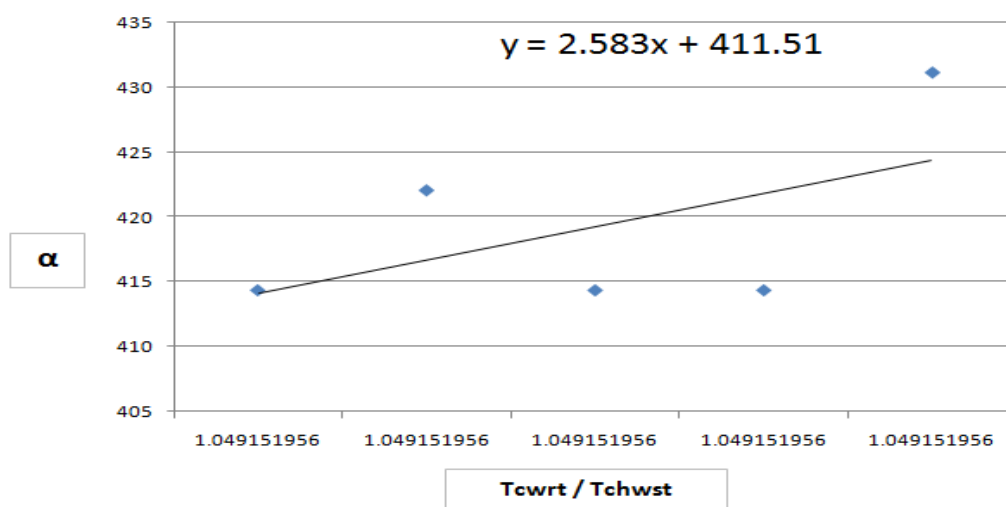


圖39.  $\alpha$  與  $T_{\text{cwr}}/T_{\text{chwst}}$  迴歸分析圖

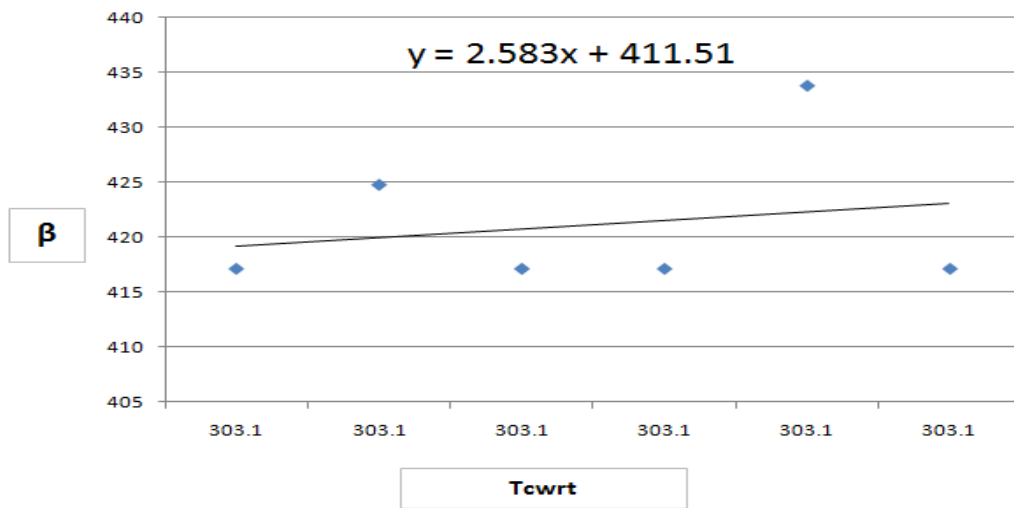


圖40. β與 Tcwrt 迴歸分析圖

#### 第四節 大型熱泵系統與空調系統整合之實例印證

某大型綜合醫院遠具有 4 部蒸氣鍋爐(B-1~B-4)。當產生蒸氣候進入蒸氣分配器，某部分直接送至蒸氣使用端，另一部分，則作為二次間接加熱之熱源(T-1~T-2)，如下圖 41 所示，其冷水係從右側輸入。本系統為目前存在於台灣地區 90%以上之傳統式鍋爐加熱系統。

首先，為增加熱泵取熱之基準點之熱值，可考慮應用空調系統迴水系統。採水口需位於迴水管之上游，而排放端則位於下游。此取熱經管線輸入熱泵主機加熱至 550C 左右泵送至新設之熱水槽，並具備利用離峰電力運轉以節省電費之功能。其冷水進口則由桶端 A 之處進入。儲槽之熱水出水口則設計變頻水泵以便維持水路之平衡。

此變頻水泵之出水口 B 點有兩個重要迴路，1 為向右側 C 點直接供應熱水。另一方式則為向上方 D 點方向經由三通閥之切換向左進入 E 點，而與既有之熱水加熱器並行運轉。

將現場量測資料與 BEMS 記錄數據比對確認資料無誤後，帶入前述之方程式進行運算得出性能係數，再擬定運轉策略並導入。

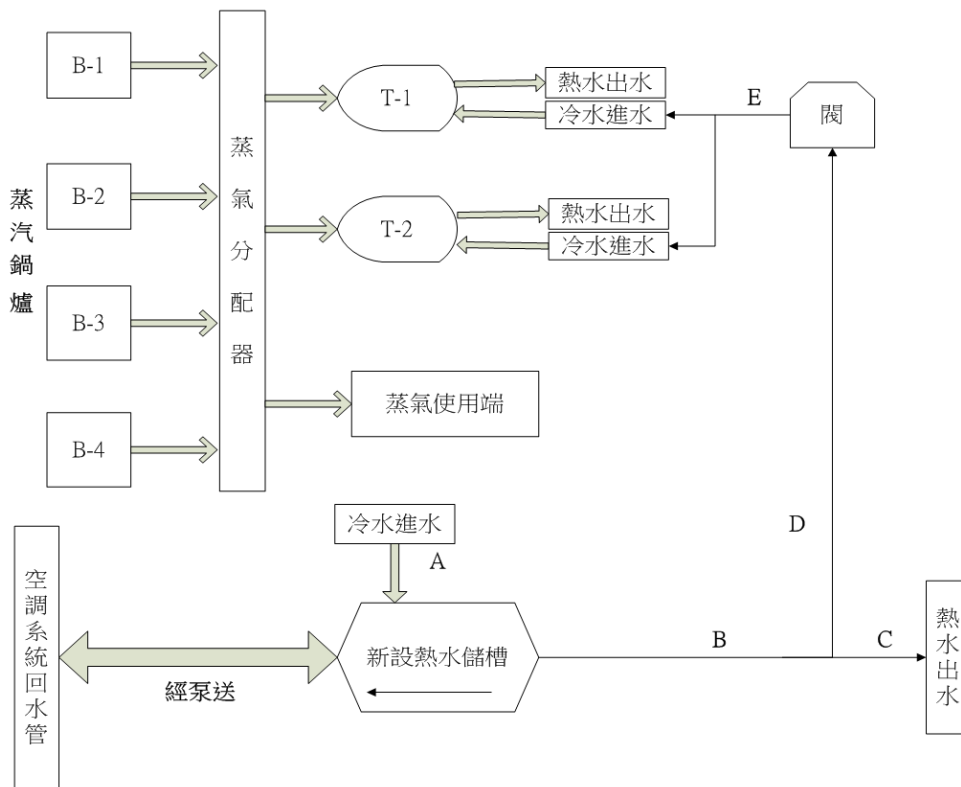


圖41. 某大型醫院之空調與熱泵系統示意圖

於進行改善前，醫院所使用能源為天然氣與鍋爐油混合來產生蒸氣。天然氣及鍋爐油單價極高，且蒸汽鍋爐效率本身性能較差，因此建議替換其蒸汽系統改由熱泵來提供。替換熱泵後附帶產生之冷能約 202,033 RT，約可減少冰水主機耗費 469,121 元，如下表 22 所示。改善後，年能費用從原先 1,952,300 及 1,975,032 元降至 833,110 元，改善成效良好，成效如下表 23 所示。

表22. 熱泵附帶之冷能

總熱水熱值(kacl/年)	888,650,900
熱泵制熱/製冷 COP 比	3.2/2.2
熱泵年製冷量(kcal)	610,947,494
熱泵年製冷量(RT)	202,033
既有冰水機單位耗能(kw/RT)	0.9
減少冰水機耗能(kwh)	181,830
減少冰水機運轉電費(元)	469,121

表23. 改善成效

能源耗用	天然氣	鍋爐油	熱泵系統
總熱水值(kcal/年)	888,650,900	888,650,900	888,650,900
設備性能(COP)	0.85	0.85	3.2
能源單位熱值	8,900 kcal/M <sup>3</sup>	9,200 kcal/L	860 kcal/kwh
年能源耗用量	117,469	113,638	322,911
能源平均單價	16.62 元/M <sup>3</sup>	17.38 元/L	2.58 元/kwh
年能源費用(元/年)	1,952,330	1,975,032	833,110
能源單位成本(元/Mcal)	2.19	2.15	0.94

由於水對水式之熱泵系統可同時產生熱水及冰水，因此提供了與既有空調冰水系統整合之機會；同時，其運轉策略將隨著空調負載之變化，而提供不同空調主機台數與不同熱泵台數運轉，而形成最佳化之組合。經實際驗證，本計畫所建立之實驗模式與運轉策略可運用於此種複雜之整合系統，而發揮顯著之節能效益。



## 第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

### 第一節 科學工藝博物館之案例驗證

#### 科學工藝博物館空調系統簡介

科學工藝博物館外觀圖空調系統由 5 台製冰機、2 台 250RT 冰水主機、3 桶儲冰槽、泵浦及空調箱等等所組成。製冰機所製之儲冰分別由 3 桶儲冰槽所儲存。儲冰為主要供應空調之項目，儲冰使用時，經由冰水管路連接於 4 台板式熱交換器，進行熱交換，提供現場空調。冰水管路也與 2 台冰水主機相連，儲冰供應空調不足時，可用冰水主機提供空調需求，如下圖 42 所示。

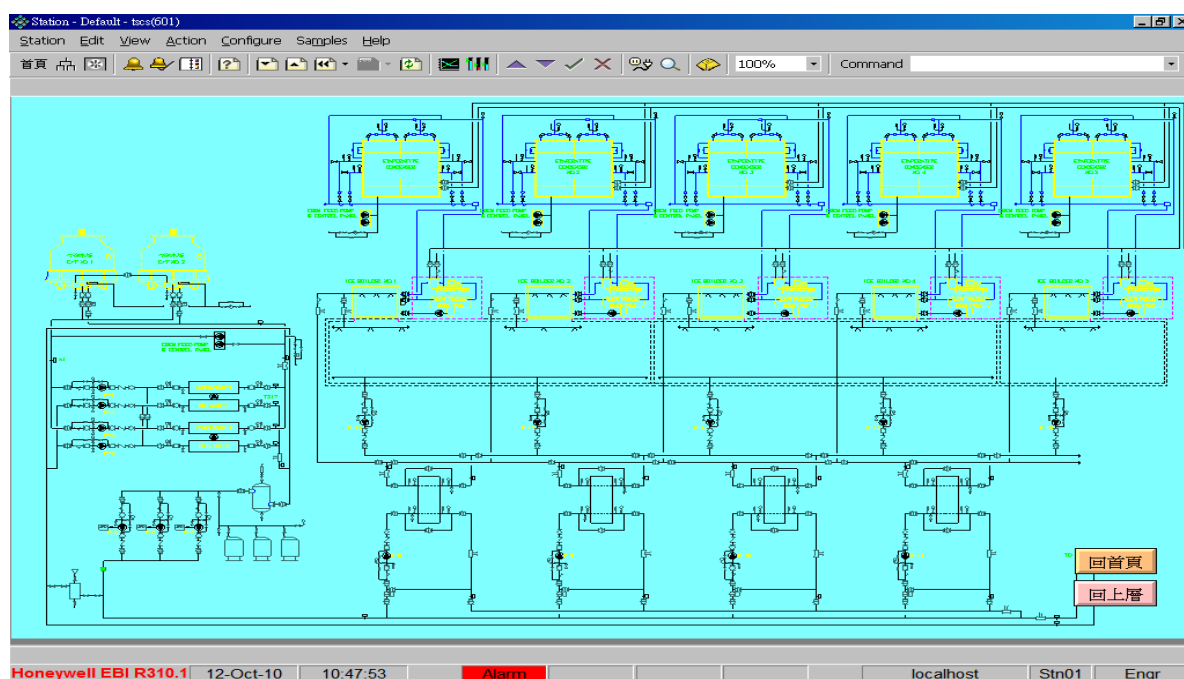


圖42. 科學工藝博物館空調系統示意圖

表24. 科學工藝博物館空調系統規格表

	冷凍能力	耗電量	冷媒
冰水主機	250RT	184kw	R-22
製冰機	376RT	390kw	R-22

## 科學工藝博物館空調系統運轉模式

科學工藝博物館的儲冰系統屬於分量式儲冷系統。於夜間離峰時間 22:30 運轉製冰機進行製冰直到隔天早上 07:30，將儲冰桶槽製滿儲冰，以供應白天空調需求。於白天尖峰時段，為避免儲冰融解速率過快，加開 2 台 250RT 冰水主機，於早上 07:30 運轉至閉館時間 17:00。下圖 43 青藍色線為現場全天空調負荷需求，由融冰之冷能及冰水主機提供負荷，最大負荷發生於早上剛開館時，約 1897RT，如下圖 43 所示。

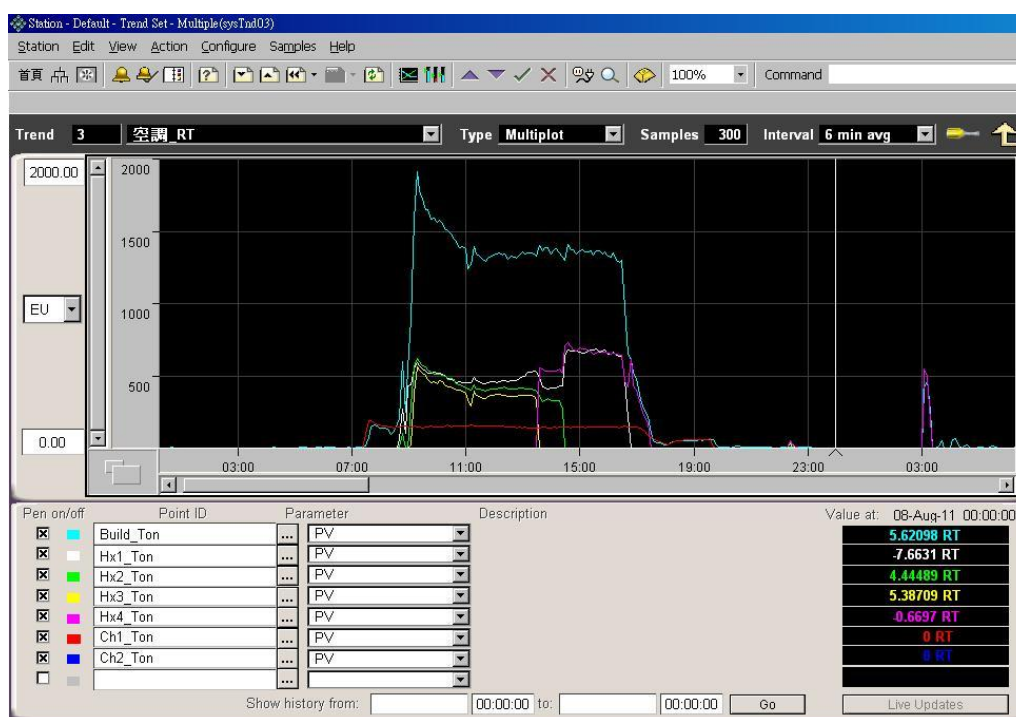


圖43. 科工館現場全天空調負荷需求及運轉模式

## 科工館運轉現況問題分析

下圖 44 科工館運轉模式為 BEMS 系統所記錄之空調系統耗電歷史資料。其中，X 軸為時間、Y 軸為耗電功率，藍線及紅線分別為冰水主機 CH-01 及 CH-02 之耗電功率。冰水主機於早上 07:30 運轉至 20:30，單台主機運轉時輸入功率為 160kw，運轉期間為尖峰及半尖峰時段，電價極高。若能節省此段耗費，必能省下大幅電費。

第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

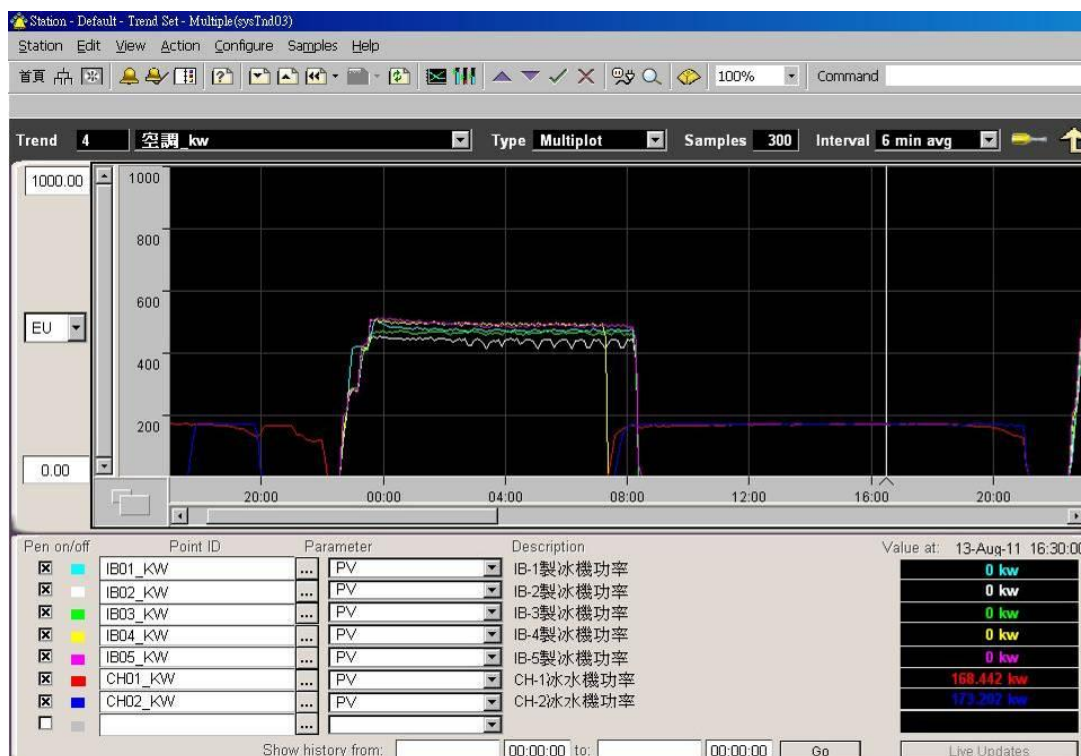


圖44. 科工館空調全天運轉耗電情況

表25. 由 BEMS 讀取之科工館空調全天運轉耗電情況

Time	CH01_KW	CH02_KW
10:36:00	166.9	170.3
10:30:00	166.7	170.2
10:24:00	167.7	170.2
10:18:00	166.9	169.4
10:12:00	166	169.1
10:06:00	165.5	168.9
10:00:00	165.1	169.2
09:54:00	165.5	169.5
09:48:00	165.1	170.2
09:42:00	165.4	170.1
09:36:00	166.1	170.2
09:30:00	165.2	170.4
09:24:00	163	170.3
09:18:00	163.7	170.6
09:12:00	165.5	169.6
09:06:00	162.7	168.7

09:00:00	162	168.4
08:54:00	167.9	169.2
08:48:00	164.3	168.4
08:42:00	161.7	168
08:36:00	161.8	168.1
08:30:00	159.4	169.9

為進一步增加儲冰容量以減少尖峰時冰水機之用電，本計畫首先進行將儲冰槽之水位指示器加以調變，以免儲冰輕易的就能觸碰到桶槽頂端，使得製冰機自動停止製冰，簡單示意圖如下圖 45 所示。經改善此問題，儲冰槽所提供儲冷能力將大幅增加。

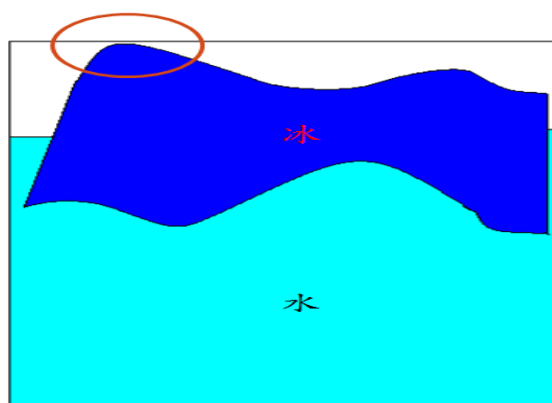


圖45. 儲冰桶槽水位計設定不良導致儲冰容量不足之示意圖

## 節能運轉改善策略之擬定

### 1. 單槽儲冰桶儲冷能力之提升

經 BEMS 之運轉結果顯示，可診斷出目前儲冰能力呈現不足之狀況；儲冰槽無法儲滿冰，其主要原因為製冰起停判斷方式受到水位過高時而產生誤判之問題。乃由於製冰機於儲冰時，部分儲冰會卡在桶槽邊緣，為避免儲冰因此卡住桶槽旁之觀測門，現場工作人員會用水沖刷卡住儲冰。如此，長久下來造成水位異常。

據此診斷結果，立即可實現的改善方式為將不要之水於儲冰槽內釋出，以增加儲冷容量，而可釋出之最低水位為融冰泵進口所在之高度。改善前儲冰桶水位容量之顯示約為 450 m<sup>3</sup> 與融冰泵進口上方之 250 m<sup>3</sup>，因此單桶儲冰容量相差了 200 m<sup>3</sup>，預計 3 桶總共能增加 600 m<sup>3</sup> 之儲冰空間，以下為實際進行改善之施工程序。





圖50. 改善前儲冰槽儲冰顯示情況



圖51. 改善前儲冰槽水位融量顯示情況

### 導入改善策略

本計畫向科工館提出之改善策略可分為兩部分；分別為儲冰桶儲冷能力提升及融冰空調運轉模式之調整。

### 儲冰桶儲冷能力提升

於儲冰桶內排水後，已增加  $600\text{m}^3$  的空間，大幅增加儲冰能力，排水過程如下。



圖52. 自冰水送水管外接管路，進行排水

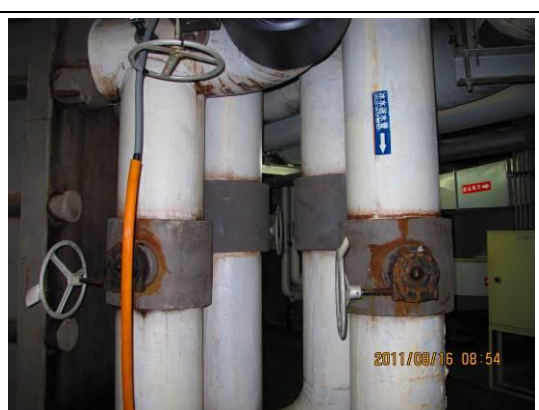


圖53. 自冰水送水管外接管路，進行排水



圖54. 自冰水送水管外接管路，進行排水



圖55. 自冰水送水管外接管路，進行排水



圖56. 自冰水送水管外接管路，進行排水



圖57. 改善後儲冰槽儲冰顯示情況



圖58. 改善後儲冰槽儲冰顯示情況

## 融冰空調運轉模式之調整

儲冰桶在進行改善儲冰量後，儲冰系統供應負荷能力已有所上升，運轉模式進一步調整，使達最佳化。調整程序可分為 4 項步驟，詳細內容如下：

### 1. 融冰速率調整

儲冰系統儲冷能力增加後，為減低冰水主機負擔，重新調整融冰泵運轉頻率，嘗試將儲冰系統白天融冰提供冷能之比重大幅提升，以全天候供應科工館之空調負荷。

圖 59 中，泵浦由早上 09:00 啟動 3 台融冰泵，起初因剛開館時因建築蓄率效應空調需求較大，須運轉較高之頻率。於運轉至 16:00~17:00 之間時，由於即將閉館，故將其儲冰全部釋放，所以融冰泵負載上升。目前狀況為僅運轉 2 台融冰泵，而冰水主機完全停止運轉。

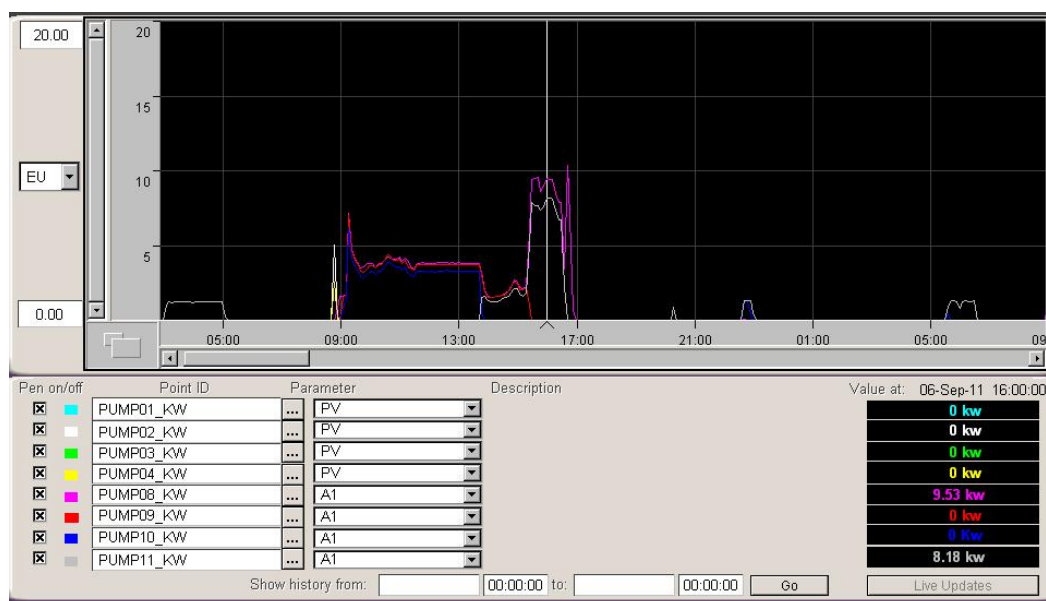


圖 59. 融冰泵運轉耗電情形



## 2. 融冰泵台數調整

於融冰泵進行頻率調整，可改變融冰速率，而最佳運轉策略則為總融冰泵耗電量之極小值。至 BEMS 量取圖 60 及 61 可以顯現泵浦台數與耗電量之間的關係，得知多台融冰泵浦運轉之總耗電量反而比選取單台運轉之耗電量來的少!此重要之發現與系統診斷將為後續之節能策略建立了最主要之基礎。

圖 60 及 61 相互比對發現，圖 60 時間在 09/06 下午 16:00 時，運轉 2 台融冰泵送往冷房，將剩餘儲冰消耗殆盡，此時 2 台泵浦耗電量分為 9.53 kw 及 8.18 kw。反之，圖 61 顯示，當於 12:42 時，由 3 台融冰泵來運轉時，耗電量分別為 3.83667 kw、3.75 kw 及 3.335 kw 總計為 10.92 kw，與運轉 2 台之總量 17.71 kw，相差了 6.79kw。換言之，同時運轉三台融冰泵應為較佳運轉策略!此結果與傳統之人工判斷操作知經驗顯然不同，亦顯示出運用 BEMS 系統進行診斷之重要與優勢。

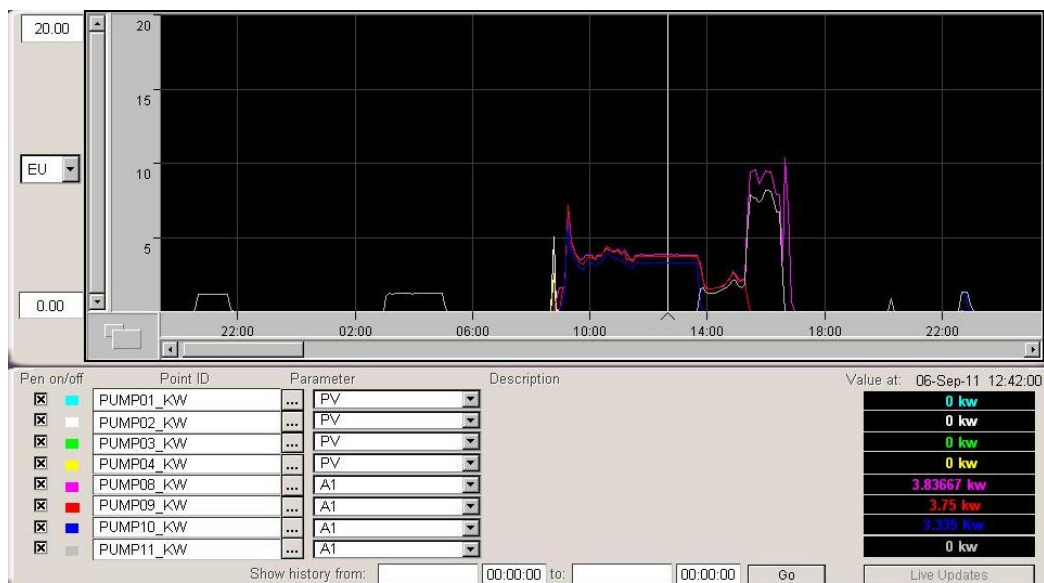


圖 60. 融冰泵運轉耗電情形

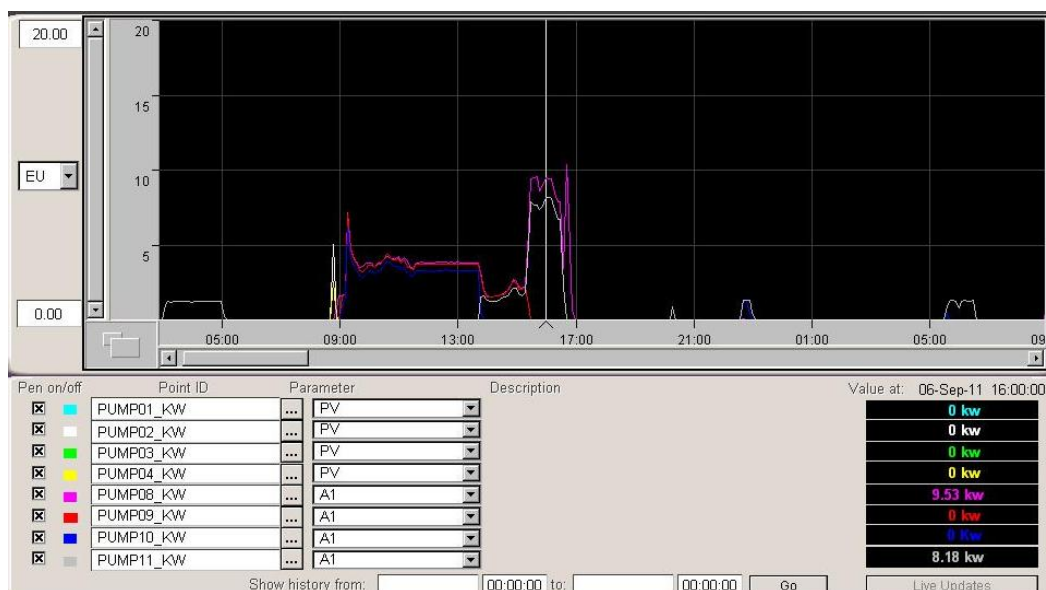


圖61. 融冰泵運轉耗電情形

融冰泵運轉台數除了與耗電量相關以外，也與現場空調負載型態有關。下圖 62 為實施融冰泵台數控制前，科工館單日實際空調需求變化圖。於下午 15:00 時，大樓空調負荷為 1301.64RT；由兩台融冰泵所提供之冷能分別為 670RT 及 704RT。圖 63 則進一步顯示，在融冰泵台數增加後，若同時增加夜間之儲冷能力，則融冰能力供應之冷能將更為長久。於春秋季時，甚至可以全量式儲冰級融冰之方式供應空調，不需額外運轉冰水主機，而獲得之最大之電費節約，亦即「分量設計、全量運轉」之最佳化運轉模式！此亦為本計畫提出之較先進儲冰系統最佳化運轉模式。

第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

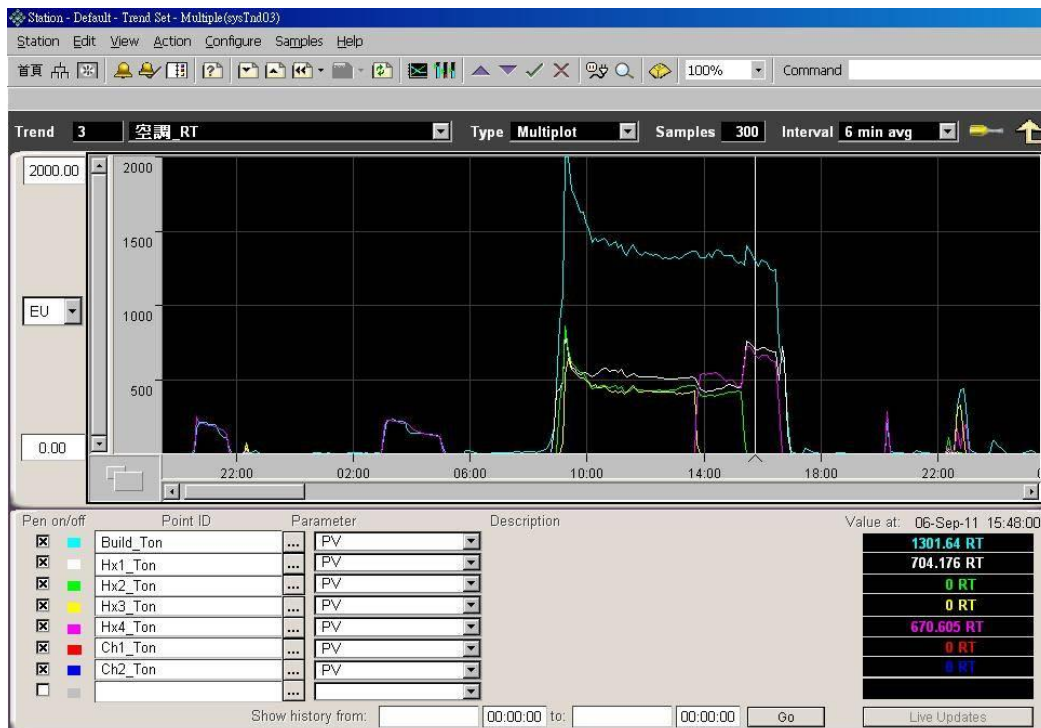


圖62. 現場空調負荷變化圖

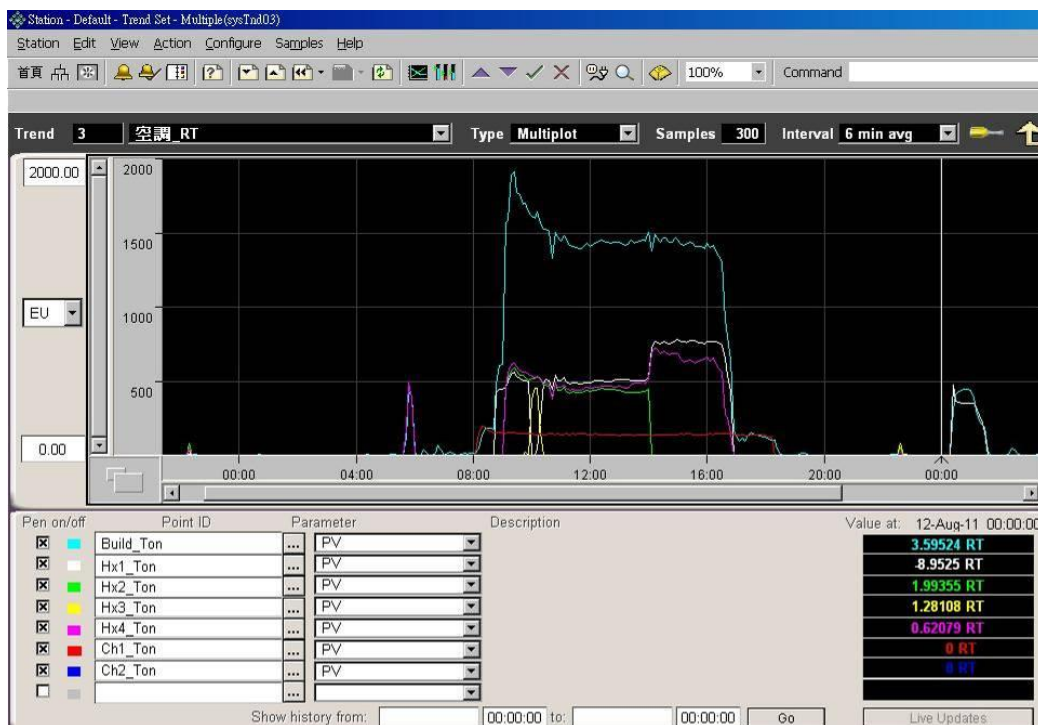


圖63. 現場空調負荷變化圖

### 3.分量設計與全量運轉之最佳化策略分析

圖 64 所示為典型建築物整體負載型態曲線下之總冷凍能量，其單位為「冷凍噸小時」。所謂的「全量儲冷」方式，就是將此面積所需的總能量「完全」由夜間時段冷凍主機運轉，並將此冷房能力儲存起來，於白天空調供應期間主機可不必運轉，其電力負載情況可示如圖 65。

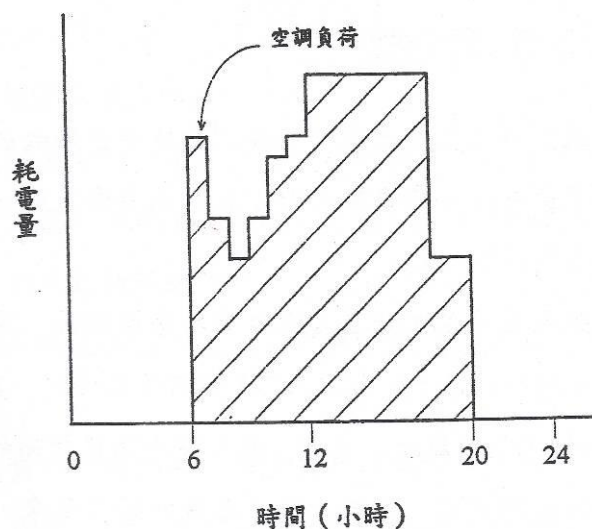


圖64. 建築物空調負載示意圖

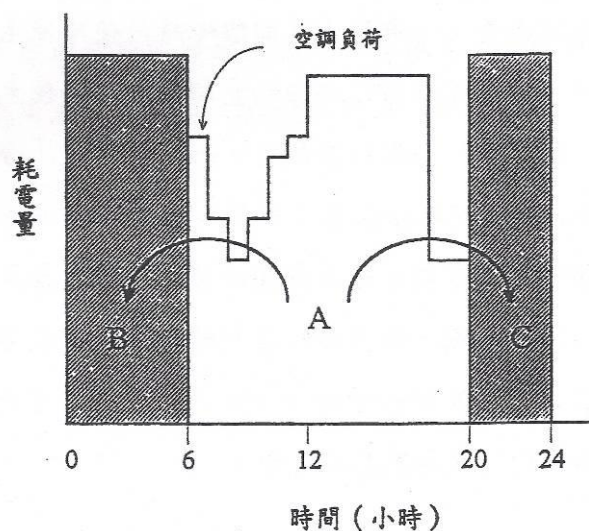


圖65. 建築物以全量儲冰時之空調負載

在圖 65 中，可看出其白天因空調供應期間，主機不運轉，而儲冷槽提供冷能能力，所以其電力負載可變得相當低，負載轉移幾乎是 100%。而「分量儲冷」方式，係將全日之總冷凍能量，一部份由夜間離峰時段使冷凍主機運轉，將其冷

房能力儲存起來，作為提供翌日部份的空調負載，而主機於白天空調供應期間亦運轉，提供另一部份冷房能力，如此則為主「分量」儲冷方式，其空調系統之電力負載情況如圖 56。

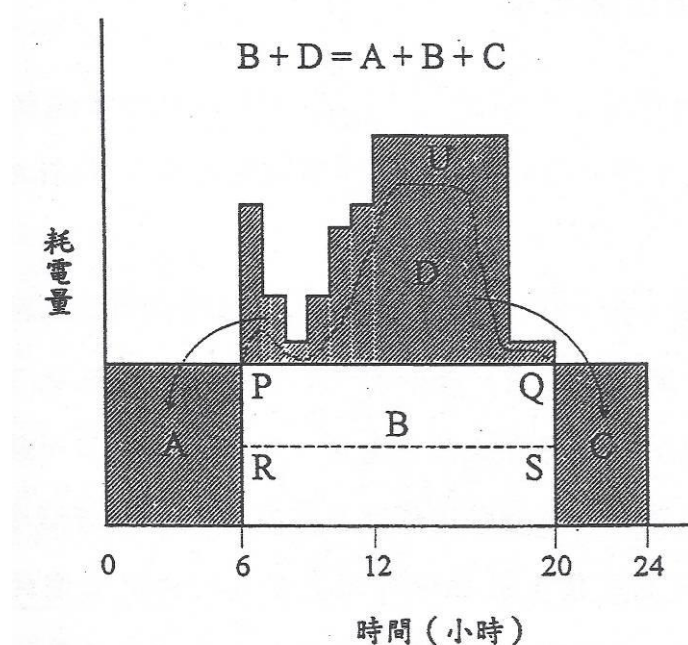


圖 66. 建築物以分量儲冰時之空調負載

在圖 66 中，可以看出白天空調供應時，有部份冷房能力是由夜間所儲存的冷凍能量不如全量儲冷方式多，因此其電力負載亦不如全量儲冷方式高，所以可大大的降低向電力公司申請之契約容量，節省基本電費。因此，分量設計與全量運轉之最佳化運轉意即降低圖中 B 部份的負載，以提升儲冷能力及泵浦運轉頻率來進行控制。

分量儲存系統係藉冷凍主機於離峰時段完全運轉，在離峰或空調段儲冷，待尖峰或空調時段由儲冷設備提供調能力，不足部分則再運轉冷凍主機分擔部分空調負載。而科工館即屬此種設計，以降低電力需量以及較小的主機容量，節省初設成本。

然而，於一年四季之中外氣溫度之變化與及室內參觀人數多寡所造成室內之熱負荷不同將形成不同之空調負荷型態。此時，若採取一成不變之運轉模式，佈但無法獲得節約電費之成效，有時反額造成需量超約罰款或耗電量大幅上升之狀態。因此，於分量設計階段以節省出設成本之情況下，若能進一步盡量利用夜間

離峰時段將冰儲存至最大限度，來使白天開空調主機之頻率降至最低，則可達到分量設計與全量運轉之最佳化運轉模式。

#### 4. 夜間製冰最大化與白天融冰最佳化運轉策略之實證

在進行儲冰桶排水改善後，桶內儲冰增加使空調能力得以提升，為更有效使用儲冰系統，應增加晚間離峰時間將儲冰桶儲滿，而白天運轉時則進行融冰速率最佳化及台數最佳化策略，使達到最佳運轉。

從圖 67 BEMS 所記錄歷史數據 kwh 圖，得知空調系統從改善前 2 台冰主機需運轉兩台冰水機到 9 月 9 日只需進轉一台主機(CH01)，更進一步於 9 月 14 日已完全不需運轉空調主機，節約效益明顯!另外，空調主機自 8 月 21 日所需耗電量 4018 kwh 降至 9 月 9 日之耗電量 1538 kwh，甚至進一步達到 9 月 14 日之 237 kwh，已接近全量運轉之境界!

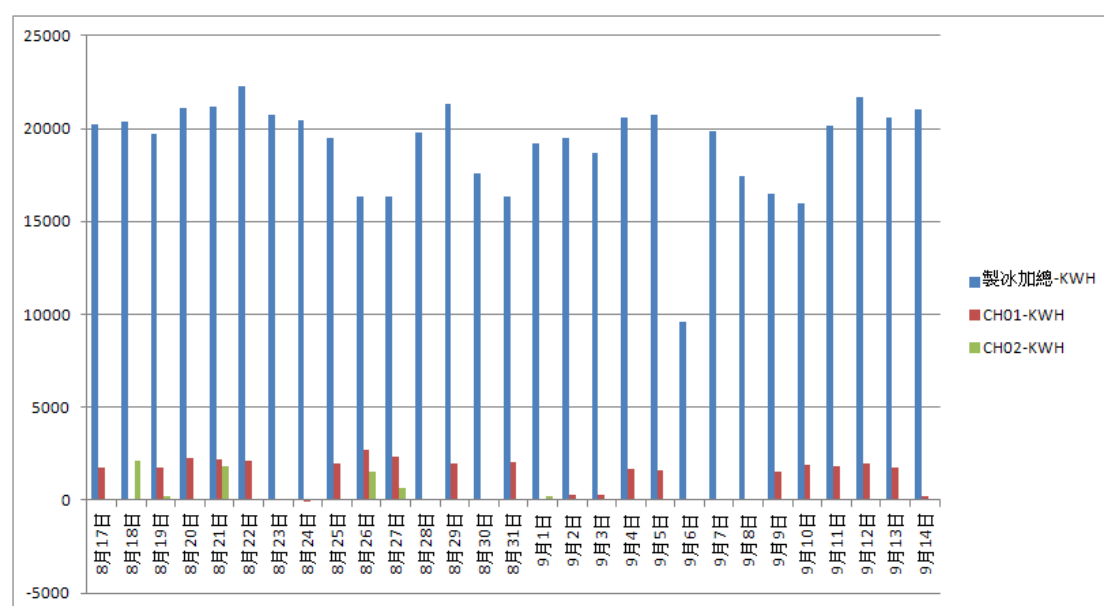


圖67. 製冰機與冰水主機耗電變化圖

自 BEMS 運轉資料亦可看出儲冰能力之顯著提升。圖 68 可看出儲冰所能提供之 RTH 明顯上升，如 9 月 7 日及 9 月 14 日已提升至 11,000 RTH 左右約為 10% 至 15% 之提升。

第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

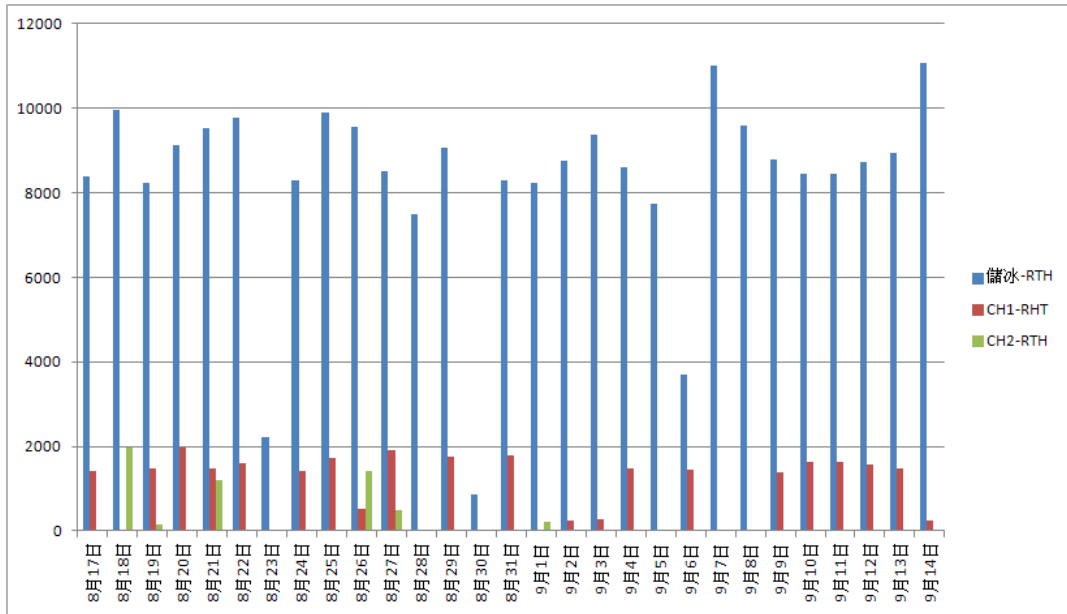


圖68. 製冰機與冰水主機冷凍噸變化圖

運轉模式改善前後之效益分析

於儲冰槽水位改善前，製冰機運轉及冰水運轉時間如下圖 69 所示。製冰機於夜間 23:00 開始製冰至隔天早上 07:00 停止，製冰時間共 8 小時，能提供科工館 07:00~17:00 時間內的空調需求，但仍需運轉 1 台 250RT 的冰水主機。

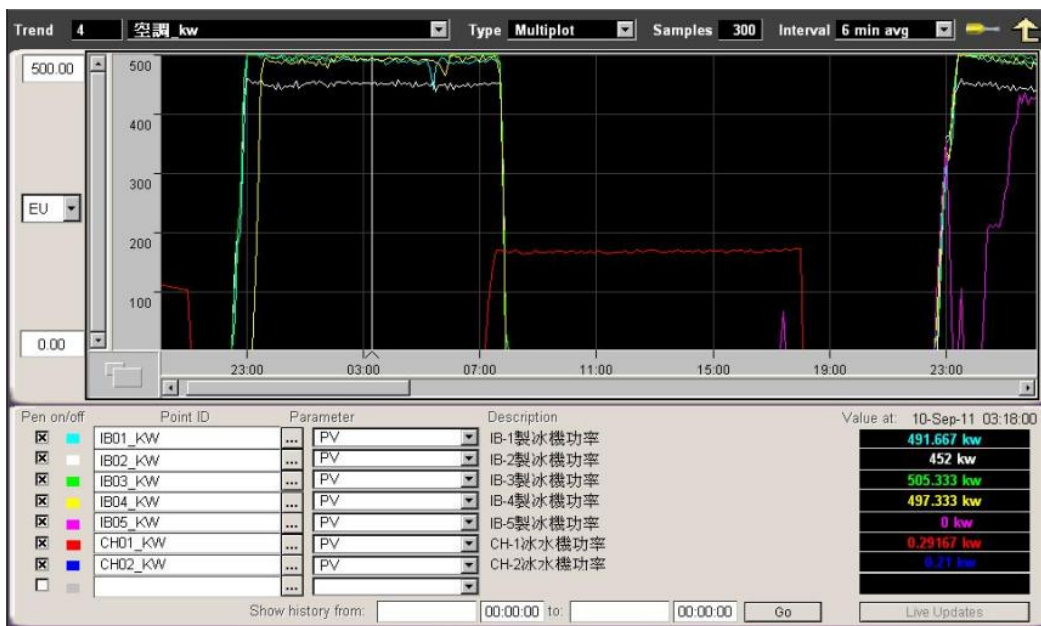


圖69. 改善前製冰機及主機耗電分佈圖

水位改善後，儲冰桶儲冰量增加，5 台製冰機運轉功率皆為滿載，約各為 500 kw。且充分利用離峰時段將儲冰桶製滿儲冰，製冰時間由原本 8 小時增加到 10 小時，如圖 70 所示。

由下圖 70 紅線看出，白天空調系統已從原本需加開 1 台冰水主機減為不需開冰水主機。其中，CH-01(冰水主機 1 號)僅從 07:00 運轉到 09:00，幫助儲冰系統負擔剛開館時的負荷較大空調需求，其餘時段完全關機，達到全量運轉之境界!

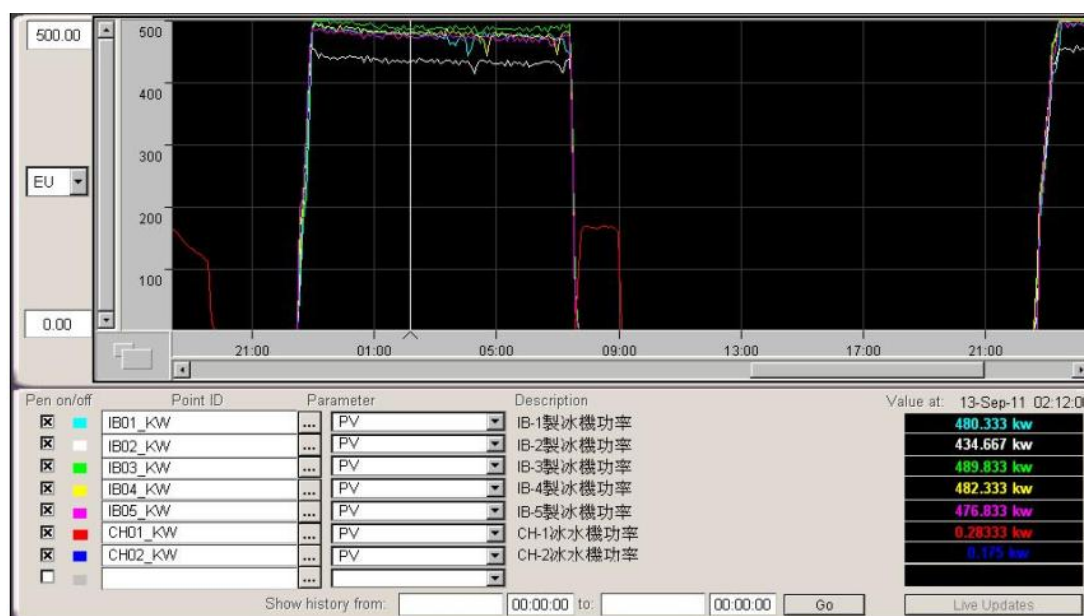


圖70. 改善後製冰機及主機耗電分佈圖

## 實際成效

圖 71、72 分別為科工館 99 年 9 月及 100 年 9 月電費單，分別代表改善前即改善後。改善前(99 年 9 月)科工館契約容量為 3100 仟瓦，離峰最高需量為 2736 仟瓦，離峰用電度數為 689600，總電費為 3,394,403 元。

改善後(100 年 10 月) 契約容量為 3100 仟瓦，離峰最高需量為 3120 仟瓦，離峰用電度數為 960000，總電費為 3,310,294 元，與改善前相比省下 430,272 元之電費，改善成效良好。



第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

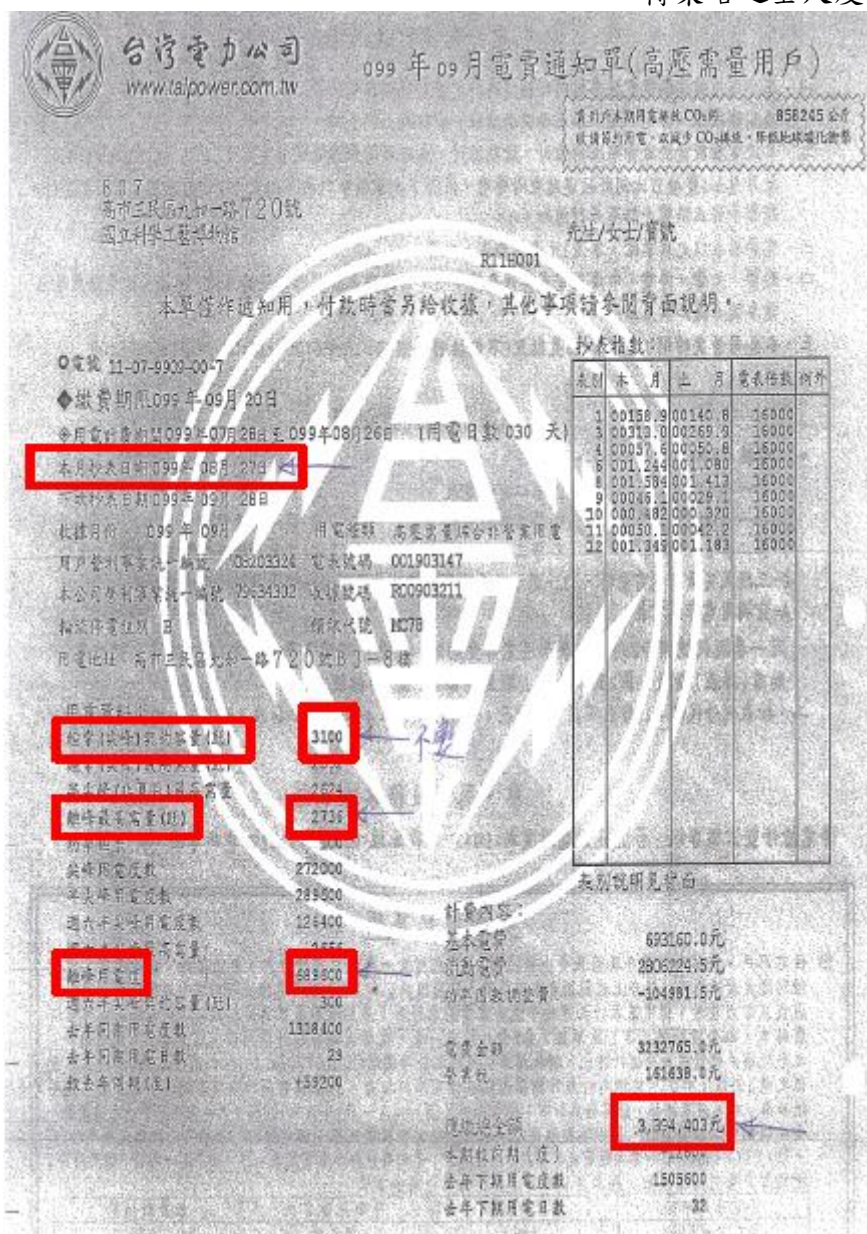


圖71. 科工館 99 年 9 月電費單

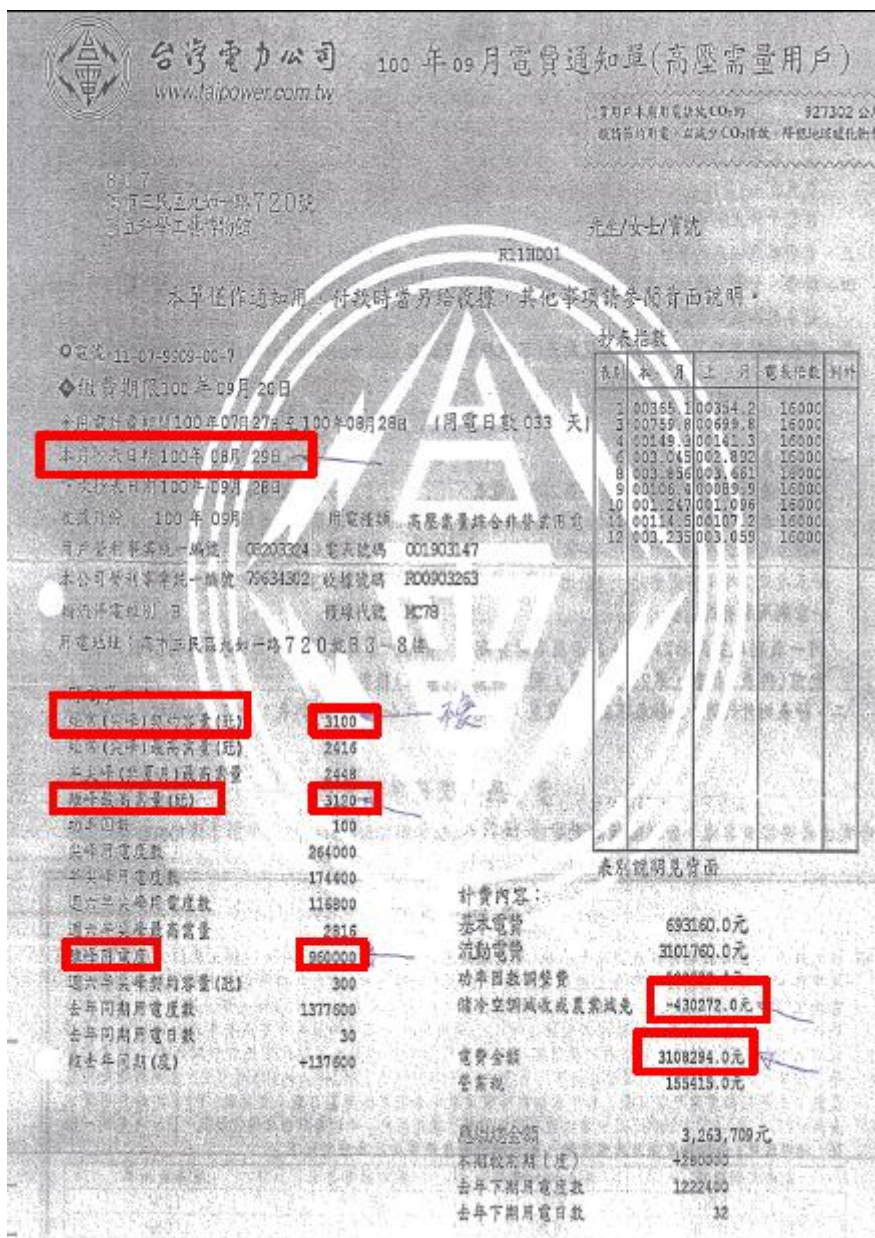


圖72. 科工館 100 年 9 月電費單

## 第二節 大型工廠之空調系統診斷與節能策略導入之實例驗證

### 南部某大型工廠概述

廠區內共有 5°C 之冰水主機 14 台，其中 2 台為備用主機，最低基載台數則為 8 台；另還有 13°C 之冰水主機 4 台，冰水主機、水泵詳細資料如表 2、表 3 所示。冷卻水塔之設計為一台冰水主機搭配一獨立之冷卻水塔，位於廠房頂樓，共有 18 座冷卻水塔。

表26. 冰水主機規格表

	5°C	13°C
冰機類型	離心式	離心式
數量	14 台	4 台
冷凍噸	1250 RT	1250 RT
耗電量	803.8 kw	618.2 kw
蒸發器出水溫	5°C	13°C
蒸發器進水溫	11.6°C	19.6°C
蒸發器流量	9511 LPM	9534 LPM
冷凝器進水溫	32°C	32°C
冷凝器出水溫	37°C	37°C
冷凝器流量	15074 LPM	14559 LPM

表27. 水泵規格表

	CHP	CP
數量	7	7
流量	9558 LPM	15771 LPM
馬力	42.4 hp	106 hp
效率	88%	81%
馬達規格	460V/3PH/60Hz	460V/3PH/60Hz

## 空調系統運轉現況分析

在經由現場 BEMS 進行系統診斷後，發現空調系統存在運轉模式不合邏輯及耗電量不合理之問題。從監控系統中發現，某工廠冰水主機加載模式是依主機使用年份多寡，判別性能係數高低，選取使用年分較少者優先進行加載；或為了平均其負荷狀態，將所有主機輪流加載，而不過問其性能。但實際上，主機群組中各單機之效率隨著其容量、使用年份、及形式（如離心式，螺旋式，及往復式等）不同，有相當大的差異，若能以與最佳搭配形成最佳運轉策略，可獲得顯著之節能效益。

## 空調策略之擬定及成效 高性能係數主機先發策略

南科某工廠其空調主機為 1250 噸離心式冰水主機，共有 14 台，其中 2 台做為備用。其主機所需運轉台數依現場工作人數、設備多寡、現場須維持溫度及外氣溫度而變化，以改善期間，夏季而言，南科某工廠，最少需運轉 6 台主機，不足，則再加載未運轉主機。然而，從歷史資料中發現，高科技廠房實際運轉台數為 8 台，而運轉 8 台主機已超過現場所需空調負荷，其原因為避免部分冰水主機因負載過高而自動停機之問題發生，而加開數台主機，此為必要之惡，無可避免。

如前述知主機群最少須同時運轉 8 台主機，根據 WF Stoecker 的 Experimental model 來重新量測主機係數，結果如下表 4，並選出 8 台性能係數高者，建議作為優先加載機台。分別為 CH-11、CH-2、CH-9、CH-12、CH-10、CH-5、CH-4、CH-1。

表28. 14 台冰水主機性能係數

主機性能係數 (COP)	CH-11	CH-2	CH-9
	6.0	5.7	5.6
	CH-10	CH-5	CH-4
	5.5	5.4	5.4
	CH-6	CH-7	CH-8
	5.3	5.0	5.0
	CH-3	CH-14	CH-12
	4.9	4.6	5.6
	CH-1	CH-13	
	5.3	5.0	

### 多台主機並聯運轉技術策略之建立

南科某工廠空調系統最低基載台數為 8 台，不足，再加開機台補足負荷，其主機負載皆為滿載；在冰水主機設計中，負載量 80% 時，耗電量最小，空調主機群若能隨時保持負載量 80%，將能達到較小之耗電量。利用監控系統之記錄歷史數據來進行繪製回歸分析曲線而得知耗電量與負載量之關係後，進而提出不同負載不同機台數下的節能策略。

14 台冰水主機，其中 8 台為最低機載不可變動，2 台做為備用機台，剩下 4 台冰水主機進行最小耗電量分析。以現場所需空調為 13,000RT 為例，提出下表二、三、四、五，不同負載不同機台數之策略。從表 3 中得知，運轉 CH6(70%)、CH8(90%)、CH3(80%)可獲得最小耗電量 2,046kw。

如上所述，類推出不同負荷所需運轉之台數後，交由 BEMS 系統自動運轉，以維持最小之耗電量，此方法即為本研究提出之多台主機並聯運轉技術策略。

表29. 運轉策略 1(CH6、7、8)

	CH-6	CH-7	CH-8	CH-3	主機系統 總耗電 (KW)
運轉策略 1(運轉 CH6、 7、8)	1250RT(100%)	1125RT(90%)	625RT(50%)	0RT(0%)	2127
	803	804	520	0	
	1125RT(90%)	1250RT(100%)	625RT(50%)	0RT(0%)	2127
	803	804	520	0	
	1125RT(90%)	1125RT(90%)	750RT(60%)	0RT(0%)	2139
	803	804	532	0	
	1125RT(90%)	1000RT(80%)	875RT(70%)	0RT(0%)	2155
	803	737	615	0	
	1125RT(90%)	875RT(70%)	1000RT(80%)	0RT(0%)	2115
	803	594	718	0	
	1000RT(80%)	1125RT(90%)	875RT(70%)	0RT(0%)	2139
	720	804	615	0	
	1000RT(80%)	875RT(70%)	1125RT(90%)	0RT(0%)	2090
	720	594	776	0	
	875RT(70%)	1125RT(90%)	1000RT(80%)	0RT(0%)	2058
	537	804	718	0	
875RT(70%)	1000RT(80%)	1125RT(90%)	0RT(0%)	2049	
537	737	776	0		

第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

表30. 運轉策略 2(CH6、7、3)

	CH-6	CH-7	CH-8	CH-3	主機系統總耗電 (KW)
運轉策略 2(運轉 CH6、7、3)	1125RT(90%)	1125RT(90%)	0RT(0%)	750RT(60%)	2090
	803	804	0	483	
	1125RT(90%)	1000RT(80%)	0RT(0%)	875RT(70%)	2194
	803	737	0	654	
	1125RT(90%)	875RT(70%)	0RT(0%)	1000RT(80%)	2131
	803	594	0	734	
	1000RT(80%)	1125RT(90%)	0RT(0%)	875RT(70%)	2178
	720	804	0	654	
	1000RT(80%)	875RT(70%)	0RT(0%)	1125RT(90%)	2118
	720	594	0	804	
	875RT(70%)	1125RT(90%)	0RT(0%)	1000RT(80%)	2074
	537	804	0	734	
	875RT(70%)	1000RT(80%)	0RT(0%)	1125RT(90%)	2077
	537	737	0	804	

表31. 運轉策略 3(CH6、7、8)

運轉策略 3(運轉 CH6、 8、3)	CH-6	CH-7	CH-8	CH-3	主機 系統 總耗 電 (KW)
	1250RT(100%)	0RT(0%)	625RT(50%)	1125RT(90%)	2127
804	0	520	804		
1125RT(90%)	0RT(0%)	625RT(50%)	1250RT(100%)	2127	
803	0	520	804		
1125RT(90%)	0RT(0%)	750RT(60%)	1125RT(90%)	2139	
803	0	532	804		
1125RT(90%)	0RT(0%)	875RT(70%)	1000RT(80%)	2152	
803	0	615	734		
1125RT(90%)	0RT(0%)	1000RT(80%)	875RT(70%)	2175	
803	0	718	654		
1000RT(80%)	0RT(0%)	875RT(70%)	1125RT(90%)	2139	
720	0	615	804		
1000RT(80%)	0RT(0%)	1125RT(90%)	875RT(70%)	2150	
720	0	776	654		
875RT(70%)	0RT(0%)	1000RT(80%)	1125RT(90%)	2058	
537	0	718	804		
875RT(70%)	0RT(0%)	1125RT(90%)	1000RT(80%)	2046	
537	0	776	734		



表32. 運轉策略 4(CH7、8、3)

	CH-6	CH-7	CH-8	CH-3	主機系統總耗電 (KW)
	運轉策略 4(運轉 CH7、 8、3)	0RT(0%)	1250RT(100%)	625RT(50%)	1125RT(90%)
0		804	520	804	
0RT(0%)		1125RT(90%)	625RT(50%)	1250RT(100%)	2127
0		804	520	804	
0RT(0%)		1125RT(90%)	750RT(60%)	1125RT(90%)	2140
0		804	532	804	
0RT(0%)		1125RT(90%)	875RT(70%)	1000RT(80%)	2153
0		804	615	734	
0RT(0%)		1125RT(90%)	1000RT(80%)	875RT(70%)	2175
0		804	718	654	
0RT(0%)		1000RT(80%)	875RT(70%)	1125RT(90%)	2223
0		804	615	804	
0RT(0%)		1000RT(80%)	1125RT(90%)	875RT(70%)	2233
0		804	776	654	
0RT(0%)		875RT(70%)	1000RT(80%)	1125RT(90%)	2258
0		737	718	804	
0RT(0%)		875RT(70%)	1125RT(90%)	1000RT(80%)	2246
0		737	776	734	

## 系統流量之平衡及調整

經實際導入空調節能策略後，發現其結果未如預期之成效。重新檢查各項數據後，發現原系統流量數據乃是透過水泵之運轉頻率來估算其流量，此舉會造成實際流量和欲調整流量之差異，且後續更會導致在計算主機 COP 時失準，而使排序產生問題，因此再進行相關之系統流量平衡工程，重新調效使流量達到可允許之誤差值內。

在進行調整流量時，先透過超音波流量計量測正在運轉中之流量並同步比對 BEMS 系統上顯示之流量，若兩者差距超過 200 LPM，即需進行流量調整。首先透過進出水閥圈數之控制來改變其流量使其達到預定之值，而後將水泵頻率調到滿載觀察其流量最大值和趨勢，而後調回原頻率後觀察其流量是否仍在原先調整之值內，在調整完全部流量之後，因其水泵具有變頻功能，需量測最初幾台冰機的流量，以確定其流量並無改變。

表33. TAB 流量調整數據

主機	頻率 Hz	流量 LPM	調整圈數	調整後流量 LPM
R1	42	6550	+1.5	6550
R2	42	6900	+2.5	7200
R3	42	7000	無需調整	
R4	42	7150	無需調整	
R6	42	7400	-0.5	7200
R7	42	7800	-2.5	7200
R8	42	7400	-2.5	7150
R9	42	7050	無需調整	
R10	42	6900	+2.5	7150
R11	42	6850	+2.5	7000
R12	42	7050	無需調整	
R13	42	7250	無需調整	
R14	42	7250	無需調整	
R21	42	7370	-1	7250
R22	42	7600	-5	7200
R24	42	7950	-3.5	7350

第四章 中央空調系統經由 BEMS 進行系統診斷與最佳化運轉策略之全尺度實驗印證

經修正後，本研究提出之多台主機並聯運轉技術、高性能係數(COP)主機先發策略於實際運轉後，可獲得減少 3%的節能效益，如下表 34 所示，成效明顯。

表34. 節能效益

	改善前	改善後
空調負荷耗電量	8,796KW	8,470KW
節能效益	3%	



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本計畫研究我國運轉中之大型中央空調系統，在本地濕熱型氣候條件下，經由主機負載率之變動而調變供應冰水溫度之運轉迴歸分析式；藉此，完成對於主機群之運轉發揮良好之系統診斷功能，並進一步建立運用 BEMS 進行專家智慧診斷之相關技術。

本計畫共完成了展覽類及醫院類典型建築及工廠之空調系統診斷，與全尺度實驗印證，以建立 10 小時空調及 24 小時空調不同型態之空調系統耗能改善比例值。經實驗結果顯示，展覽類建築物，改善前耗電量為 3037 kw，改善後耗電量為 2799 kw，改善比例值達 7%。醫院類，改善前耗電量為 637 kw，改善後耗電量為 503 kw，改善比例值預計為 16%。此皆為透過 BEMS 進行之專家系統診斷與節能策略導入成果，為低成本、無成本之策略，成效良好。

本研究進行之全尺度實驗印證，除已獲得良好之成效外，並發展出大型中央空調儲冰式系統之智慧型運轉策略；不但打破傳統式融冰泵之運轉模式，且整體儲冰系統可於夜間儲能極大化之後，而獲得分量設計與全量運轉之最佳運轉策略，值得廣為推廣運用。

## 第二節 建議

### 建議一 立即可行建議：

大型中央空調系統，應經由 BEMS 進行長期運轉監控，並確立其負載型態，以作為高效主機先發、儲冰系統容量極大化、融冰運轉最適化及分亮式設計與全量式運轉最佳化模式之建立，可獲致 10% 至 12% 之節能效益。建議內政部建築研究所進行「建築節能與綠廳舍改善補助計畫」時，可將此技術納入考量。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築學會

### 建議二 中長期可行建議：

中央空調系統應建立 BEMS 專家智慧診斷技術，並經由雲端運算平台與進行大型社區數十個或數百個建築物之運轉耗能監控與最適化，並可與內政部建築研究所推動「智慧綠建築推動方案」相互配合，建置未來智慧電網，形成我國重要之節能減碳策略之一。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築學會

## 附錄一 期中審查會議評審意見與回應

審察委員	評審意見	執行單位回應
<p>台灣省建築材料商業同業公會聯合會(書面意見)</p>	<p>1.國內都市高樓林立，中央空調與智慧系統連結形成良好的架構，是政府推動節能之重要項目之一。</p> <p>2.國內既有大樓中央空調耗能極為普遍，建議研究建立耗能診斷技術之標準作業程序，作為建築節能參考之基準與依據。</p>	<p>1.感謝委員意見。</p> <p>2.遵照辦理，將於未來計畫進行。</p>
<p>中華民國全國建築師公會</p>	<p>1.建議空調系統 BEMS 之運轉策略可加入使用人數之多寡及季節性之變化等因素；另有需修改建築技術規則或施工規範等部分建議列表表示。</p> <p>2.有關本案 BEMS 之運轉策略將如何納入綠建築評估系統，及最佳化的定義係為能源使用效率或財務效率？請補充說明。</p>	<p>1.室內使用人數之因素已考慮至本研究試驗中，因人數多寡將影響熱負荷值，而直接反應在冰水之回水溫度上。</p> <p>2.目前 BEMS 專家系統已納入綠建築評估系統，依智慧等級分為直接 on-off，可排時間順序及可進行邏輯控制 3 個等級，給予不同之日常節能指標優惠係數。此處最佳化之定義，係指能源使用效率。</p>
<p>江教授哲銘</p>	<p>1.預期成果符合計畫目標，有助於智慧綠建築產業之發展，應可順利</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p>

	<p>完成。</p> <p>2.建議本研究增列動態主動啟動最佳化機制之判斷基準，及取得節能效果與室內環境品質之平衡。</p>	<p>2.有關 BEMS 能否自動診斷改善，因自動化診斷耗能之可能原因繁多，尚無法有效收斂，目前仍須仰賴專業人力判斷。另於融冰模式時，可提高冰水出水設定溫度係良好之節能策略，將納入本研究進行試驗。</p>
周教授鼎金	<p>本案診斷技術完成後，應用人員是否需要進行訓練，才能提出良好的診斷與調適策略，請補充說明。</p>	<p>診斷技術完成後，可透過 TAB 團隊之訓練一併完成。目前 BeeUp 計畫已有完整之訓練計畫，可一併辦理。</p>
黃技師克修	<p>1.報告書第四章結論與建議部分，展覽類最佳耗能門檻值等文語意不清，建議補充說明其基準值。P.39 表 17 建議補充 COP 值。</p> <p>2.融冰模式時，在能夠維持系統冰水出水溫度之情況下，調整主機設定之冰水溫度，應可提高整體系統之 COP 值，建議可納入試驗探討。</p>	<p>1.有關文字誤繕、語意不清、改善前後之耗能值等已遵照委員之意見補正。至節能與室內環境品質之平衡將一併補述。</p> <p>2.遵照辦理。</p>
黃簡任技正拯中	<p>1.報告書中 P.9 之表 2，研究進度宜列出所有工作項目、預定執行期程及實際執行期程。P.13 之改善效益評估，其改</p>	<p>1.遵照辦理。</p>



	<p>善前與改善後之花費數值單位之正確性請再確認。</p> <p>2.報告書中 P.14 表 3 之比較表，建議列出未改善時之耗能，並加以確認各項數據之正確性。</p> <p>P.17 表 6 之省能效益計算，第 4 欄所列之百分比似為改善工程後數值與改善工程前數值之比值，與該欄之標題似不一致。</p> <p>3.本計畫尚未完成，惟報告書第四章卻以後續工作方向作為結論與建議，建議修正。</p>	<p>2.遵照辦理。</p> <p>3.遵照辦理。</p>
<p>黃教授瑞隆(柯教授佑沛代理)</p>	<p>1.建議於本計畫成果中提出利用 BEMS 來提升空調系統效能之操作準則。</p> <p>2.報告書中「門檻值」之定義不明確，有限的個案如何整理初步同型態建築之空調系統門檻值？請補充說明。</p>	<p>1.由於 BEMS 監控之建築類別相當多，因此，難以歸類成一種可通用實施之操作準則。然而，基本上本案所建立之 BEMS 操作模式，可針對不同建築類別依相同順序進行。</p> <p>2.由於原門檻值語意不清，以更正為節能改善前後之比對效益百分比。</p>
<p>內政部建築研究所 廖組長慧燕</p>	<p>本研究成果如需應用於既有建築物之節能改善時，可適用之對象、需添購之設備及所需之成</p>	<p>1.原則上 BEMS 可適用於辦公、醫療、百貨、旅館、展覽及住宅等六大類建築。所需建置設</p>

中央空調 BEMS 專家智慧診斷技術研究

	本為何？建議補充說明。	備則分為第一至第四級。所需成本自 70 萬元到 300 萬元之範圍，回收年限約 3 到 5 年之間。
--	-------------	--

## 附錄二 期末審查會議評審意見與回應

審察委員	評審意見	執行單位回應
台灣省建築材料商業同業公會聯合會(王總幹事英吉)	中央空調系統 BEMS 專家智慧診斷技術研究，具有顯著之節能策略，為系統診斷的工具之一，值得廣為推廣運用。	感謝委員肯定。
中華民國全國建築師公會（曹建築師昌勝）	建議中央空調系統 BEMS 專家智慧診斷技術未來如辦理推廣講習時，能多邀請建築師或事務所同業人員參與。	遵照辦理。
周教授鼎金	建議說明建置本 BEMS 系統所需之費用，以供參考。	BEMS 所需建置設備則分為第一至第四級。所需成本自 70 萬元到 300 萬元之範圍，回收年限約 3 到 5 年之間。
張教授又升（王副理佑萱代理）	<p>1.本研究透過全尺度實驗模式，驗證 BEMS 對建築節能工作之實際價值，給予肯定。</p> <p>2.本研究在 BEMS 輔助下，發展出提升儲冰系統製/融冰效率之具體改善模式，且以耗能、用電度數、電價等最直接之參數加以舉證，極具參考價值。</p> <p>3.建議本案應可在未來衍生性研究，搭配以下</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p> <p>2.感謝委員肯定。</p> <p>3.遵照辦理。將於未來計畫進行中，全部納入考</p>

	<p>產出，將更具業界實務參考價值：</p> <p>(1)節電量、節電費結果，應同步輔以追蹤檢測室內空間溫溼度變化。</p> <p>(2)應整理出所展出儲冰槽操作模式修正之具體建議方式。</p> <p>(3)應可由本案，實質算出 BEMS VS 節能節費效益之投報率及回收年限，以利所內向上級主管機關提報。</p>	<p>量。</p>
<p>梁教授漢溪</p>	<p>1.採用 BEMS 診斷技術其效率，適用於多大空調噸數？即是否有最佳化調整之控制（空調面積與儲冰量）？</p> <p>2.空調技師（電機技師）對此技術了解大致如何？</p>	<p>1. BEMS 系統可分為分為第一至第四級。分別適用建築面積 2,000 以下、2,000~5,000 平方米、5,000~30,000 平方米、30,000 平方米以上之建築物。因此，大約為 100RT、350RT、2,000RT、2,000RT 以上之建築空調噸數可以適用。原則上，空調面積與儲冰量之並無絕對比例關係，然而以台電之時間電價結構而言，儲冰比例 40%可達到系統運轉之最佳化。</p> <p>2.基本上空調計師皆具備儲冰式系統與 BEMS 系統設計能力，但對於</p>

		最佳化運轉策略則或許尚未能完成明瞭。可於未來加以必要之訓練加強。
黃教授瑞隆	<p>1.本案研究內容豐富，具實務應用價值，執行成果符合預期。</p> <p>2.期末報告第二章國外案例只介紹了一個案例，建議多介紹幾個案例。</p> <p>3.國內案例成功的測試了 BEMS 的節能效益，數據呈現深具價值，若能進一步呈現除測試日外，長期運轉資料的彙整將更好，更有說服力。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p> <p>2.遵照辦理。已於第二章第二節及第三節增列兩個案例。</p> <p>3.將於未來計畫中辦理。</p>
內政部建築研究所 廖組長慧燕	<p>1.中央空調系統 BEMS 未來是否需持續維護？</p> <p>2.本研究其成本效益很好，未來應辦理推廣講習讓更多專業人員了解 BEMS 內容，對象應包括空調技師、建築師及一般業界。</p> <p>3.請補充何種建築類型其適用 BEMS 之效率較高？</p>	<p>1. BEMS 系統亦需保養維護且可透過 TAB 及 CX 長期追蹤運轉績效及維護。</p> <p>2.遵照辦理。</p> <p>3.原則上 BEMS 可適用於辦公、醫療、百貨、旅館、展覽及住宅等六大類建築。所需建置設</p>

	<p>4.BEMS 系統內之建物條件情況未來若有變動，該系統是否需配合調整，是否也需由專業人員去校正(即 TAB)?</p>	<p>備則分為第一至第四級。原則上以大型中央空調系統來設置 BEMS 效益較高。</p> <p>4.建築物使用條件改變時，其運轉條件亦必須隨之調整；此時 BEMS 系統及提供良好之工具及資訊平台。此部份之調適由 TAB 專業人員校正，效果較為良好。</p>
--	--	--

## 參考書目

1. <http://www.bsca.or.jp/english/1stapcbc.html>
2. [http://www.energyinst.org.hk/Activity/2008\\_APCBC\\_07Nov08.pdf](http://www.energyinst.org.hk/Activity/2008_APCBC_07Nov08.pdf)
3. Steven Meyers, Evan Mills, Allan Chen, and Laura Demsetz, “Building Data Visualization for diagnostic”, ASHRAE Journal, pp.63-71, June 1996.
4. Donald P. FIORINO, “How to Raise Chilled Water Temperature Differentials”, ASHRAE Trans., V.108, Pt.1, 2002.
5. Winston, “The Canadian Response to Open Systems for Building Automation”, ASHRAE Journal, November 1994.
6. Trane, “Building Management System”, the Trane Company, 1999.
7. Battelle-Columbus Division and Synergic Resources Corporation “Demand-Side Management”, EPRI, report EA/EM-3597, August, 1984.
8. J.E. Braun, S.A. Klein, J.W. Mitcell and W.A. Beckman, “Applications of Optimal Control to Chilled Water System without Storage”, ASHRAE Transactions VOL.95(1),1989.
9. 建築能源效率提升計畫，內政部建研所，計畫起迄 97.2.1~進行中。
10. 建築中央空調節能設計評估制度之研究，內政部建研所，計畫起迄 97.2.1~97.12.31。
11. 林憲德著，「建築及空調節能設計規範的解說與實例」，詹氏書局，民國 84 年。
12. Bronson, D., 1992. “Calibrated computer simulations for the analysis of retrofit energy savings. Master’s Thesis. Energy Systems Laboratory Report Nos. ESL-TH-92/04-02 and ESL-TH-92/04-01. College Station: Texas A&M University System.
13. Claridge, D.E., M. Liu, Y. Zhu, M. Abbas, A. Athar and J.S. Haberl, 1996. “Implementation of Continuous Commissioning in the Texas LoanSTAR Program: `Can You Achieve 150% of Estimated Retrofit Savings’ Revisited,” Proc. ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency In Buildings, American Council for an Energy Efficient Economy, Washington,D.C., pp. 4.59-4.67.

14. Liu, M., D.E. Claridge, 1998. "Use of Calibrated HVAC Models to Optimize System Operation," ASME Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 120, pp. 131-138
15. Wei, G., M. Liu and D.E. Claridge, 1998, "Signatures of Heating and Cooling Energy Consumption for Typical AHUs," The Eleventh Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates Proceedings, June 1-2, 1998, Ft. Worth, Texas, pp. 387-402.





## 中央空調系統 BEMS 專家智慧診斷研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：楊冠雄、蔣鎮宇、唐士傑、

張凱強、戴奇甫、蘇煌文

出版年月：100年12月

版次：第一版

ISBN：978-986-03-0610-1（平裝）