

圖書館建築空調系統之耗能模擬 Energy Modeling for the HVAC system of a library building

王輔仁¹、蕭成翰¹、李浩詮²、杜威達²
Fu-Jen Wang¹, and Cheng-Han Shiau¹, Hao-Chuan Lee², Wei-Da Tu

¹ 國立勤益科技大學冷凍空調與能源系

¹ Department of Refrigeration, Air Conditioning and energy Engineering
National Chin-Yi University of Technology

² 綠能與環境研究所, 工業技術研究院

² Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

E-mail: fjwang@ncut.edu.tw

E-mail: bigdqddy@yahoo.com.tw

E-mail: haochuan_lee@itri.org.tw

E-mail: weidatu@itri.org.tw

NSC: 100-2221-E-167-023-MY3

摘要

空調系統的耗能在商用建築中是佔最大的部分，而最近原物料的價格上漲，因此須要對空調系統的耗能重新評估，本研究是以圖書館建築的空調系統耗能進行模擬及分析，使用建築能源模擬軟體(eQUEST)模擬空調系統的耗能，並將實際測量數據與模擬數據進行比對，由數據比對可以知道此模型是相當可靠的，以及針對軟體內建之冰水主機性能曲線與實際冰水主機性能曲線進行模擬，發現之間的數據誤差只有 3.61%，預計此研究將使圖書館建築的空調系統有更高的成本效益。

關鍵字詞： 能源模型，eQUEST，冰水主機系統

Abstract

Heating Ventilating and Air Conditioning (HVAC) systems in commercial buildings consume the largest amount of energy usage. Recent surge of energy cost necessitates constant re-evaluation of chillers water system for most of buildings. The objective of this study is to present the strategic approach on energy saving analysis of the chillers water system for a library building. Energy simulation tool for buildings (eQuest) has been applied to verify and predict the long term energy consumption for the HVAC systems. Field measurement data of chiller power consumption of overall HVAC system have been conducted comprehensively to quantify energy saving results. The results from energy simulation code revealed the good agreement for energy simulation and field measurement data. Energy modeling of chillers system using built-in data and performance curve data represents the deviation about 5.82%, which is quite reliable for energy simulation. It is expected that the study will stimulate a more robust investigation of energy-efficient and cost-effective HVAC system specific for the library buildings.

Keywords: energy modeling, eQuest, chiller system

1. 前言

近年來原物料價格上漲，替代能源尚未普及的情況下，每個人都已經意識到節約能源的重要，不論在新建建築物或老舊建築物的能源使用中，空調耗能都佔其中相當大的比例，而且隨著科技的進步，建築物能源模擬軟逐漸被接受。

因此在純模擬方面，Kim [1]等人在建築物設計階段，即使用建築模擬軟體進行模擬取得大量的數據資料，其改變的參數有屋頂、牆壁、空調、

方位...等，而屋頂、牆壁又包括厚度、使用建材、使用的保溫...等，再由改變參數取得之數據中找尋高效率的模式，方便於建築師、工程師進行設計規劃。Yu[2]等人利用模擬軟體 eQuest 改變建築物之參數並觀察比較其效果，其包括改變外牆保溫材質、改變外牆表面之顏色達到改變太陽輻射吸收率、改變窗與牆之比例並觀察南北向之差別、改變玻璃類型、增加室內外遮陽以及綜合其策略並觀察其耗能情形。Liu [3]等人使用電腦模

擬軟體建一棟相同的建築物來比較變冷媒量(variable refrigerant flow, VRF)系統和地源式熱泵(ground source heat pump, GSHP)系統之差別,其位置在邁阿密及芝加哥,由模擬結果得知地源式熱泵系統較變冷媒量系統節省 2.4%及 24.1%,並可看出在較寒冷的地方可有較大節能效果。Yin [4]等人利用 eQUEST 模擬軟體配合上海的氣候條件進行大樓模擬,主要針對玻璃的部份進行探討,分別對於在內側及外側上隔熱膜進行能源的探討,發現傳導及輻射的熱傳量會有所差異,結果是在外側上膜較好。

Li [5]等人使用模擬軟體,比較氣冷及水冷的變冷媒量系統之耗電量,並改變不同的設定參數下進行比較,由結果發現從壓縮機的角度去看,可看出水冷卻系統確實較氣冷卻系統省電,但是在濕度非常高時卻不一定;由總耗電量來看,由於水冷卻系統增加水塔及水泵的耗電量,所以總耗電量是水冷卻較為耗電,以及在部份附載時的效率較高。

此外 Yezioro [6]等人使用一週收集到的數據,透過artificial neural network(ANN)預測未來一年的數據,並利用四種不同的模擬軟體(Green Building Studio, Energy 10, eQUEST, EnergyPlus)與ANN預測的數據進行比較,而eQUEST在加熱及製冷之總耗電量誤差為3%,其中提到TMY2氣象資料與實際情況沒有一致,以致於每小時的數據誤差較大,但每年、每月的數據影響不大。Zhu [7]利用電腦模擬軟體eQUEST,創造一個與實際相同的建築與環境,然而複雜的建築物會導致建模的時間較長,且需要收集建築內的數據資料,在完成模型之後,先將量測數據與模擬數據進行比較,比較其中的誤差,再利用電腦模擬的重複性,進行不同的節能計畫的比較。Zhou [8]等人挑選建築模擬軟體DOE-2.2與有指標性的辦公大樓的能源數據資料做比較,並在考量人體適合的工作環境下,針對20個不同設定溫度的時程進行模擬,選擇最佳的設定參數,且進行回收年限的計算。

2. 系統描述

本研究之圖書館建築位於中部地區,其建築物為地上 5 層,地下 2 層,1 樓為 3.6m,2~5 樓皆為 2.6m,B1 為 3.2m,B2 為 3.5m。建築外牆採用鋼筋混凝土厚度為 15 公分,玻璃為雙層 Low-E 玻璃,1~5 樓大部分都是開放空間,B1 則有特藏室、自修室、停車場,B2 為停車場及機房。

圖書館開放時間為星期二到星期六皆為早

上 9 點開放到晚上 9 點,星期日則為早上 9 點到下午 5 點,星期一及國定假日為休館日,因此空調的使用時間大部分皆配合圖書館開放時間,只有 B1 的特藏室 24 小時運轉。

此棟圖書館的空調系統為兩台 500 USRT 的離心冰水主機再加上一台 100 USRT 的雙螺旋冰水主機來供應整棟的空調負荷,搭配三台主機冰水泵、三台主機冷卻水泵及四台變頻的冰水區域泵,提供冰水到兩個不同的迴路之負載,另外還有兩台 625 USRT 的冷卻水塔及一台 125 USRT 的冷卻水塔,以及 32 台空調箱提供整棟空氣側所需之風量,空調系統冰水側系統如圖 1。

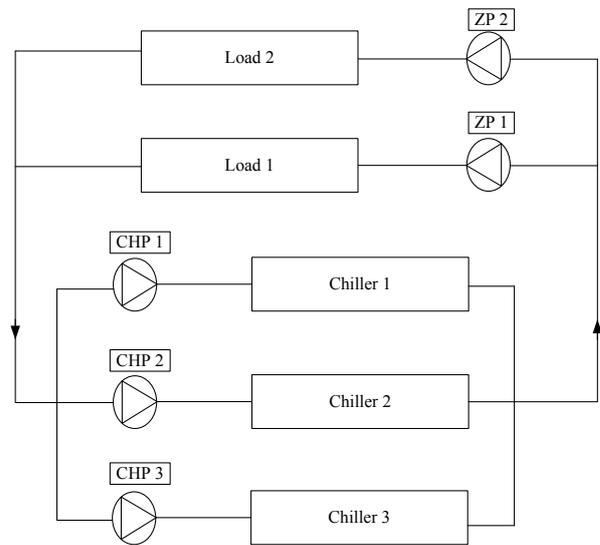


圖 1. 空調系統冰水測

3. 建築耗能模擬

本文使用 eQUEST 建築模擬軟體,輸入當地的平均氣象年資料(Typical Meteorological Years, TMY)進行模擬,且載入建築底圖幫助建造其建築外型如圖 2 所示,其空調系統為 3 台冰水主機共計 1100 冷凍噸如表 1 所示,冷卻水塔 3 台共計 1375 冷凍噸如表 2 所示,冰水泵 3 台總功率為 44.76kW 如表 3 所示,冷卻水泵 3 台總功率為 67.14kW 如表 4 所示,冰水負載分為兩個迴路使用,以 4 台區域泵提供所需水量,而總功率為 82.06kW 如表 5 所示,而空調箱共有 32 台,將以上參數輸入 eQUEST 建築模擬軟體內,軟體會自動構成空調系統,如圖 3 所示。

為了模擬可以更加符合實際情況,因此將冰水主機之性能參數輸入至模擬軟體內,其性能表如表 6 所示,再以回歸方程式計算出冰水主機之性能曲線 Capacity-f(X,Y)、EIR-f(X,Y)、

EIR-f(PLR,dT)如表 7 所示，將方程式輸入至 eQUEST 模擬軟體內進行計算。

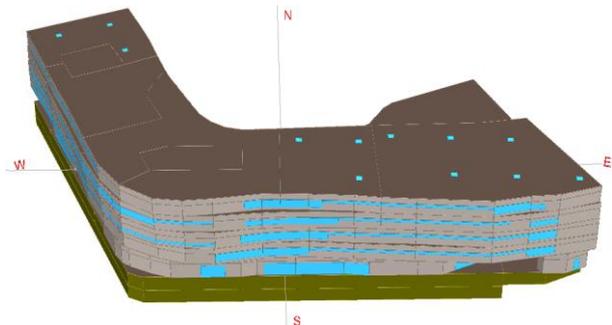


圖 2. 模擬軟體之建築外型

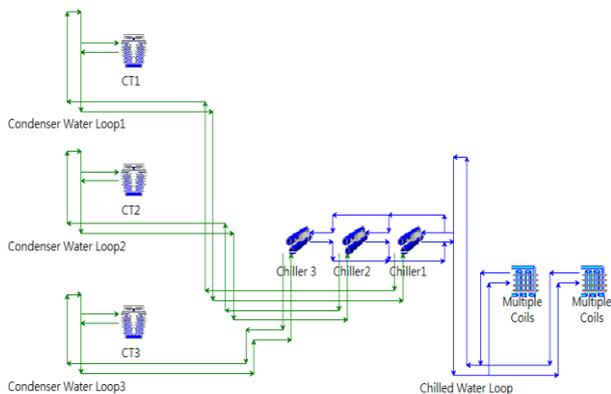


圖 3. 模擬軟體之空調系統

表 1. 冰水主機之參數設定

Capacity (USRT)	Power (kW)	Type	
CH1	500	314.29	Centrifugal
CH2	500	314.29	Centrifugal
CH3	100	66.60	Screw

表 2. 冷卻水塔之參數設定

Capacity (USRT)	Power (kW)	Type	
CT-1	625	14.92	Open Tower
CT-2	625	14.92	Open Tower
CT-3	125	3.73	Open Tower

表 3. 冰水泵之參數設定

Flow (L/s)	Head (m)	Power (kW)
------------	----------	------------

CHP-1	76.4	18	18.65
CHP-2	76.4	18	18.65
CHP-3	15.3	15	7.46

表 4. 冷卻水泵之參數設定

	Flow (L/s)	Head (m)	Power (kW)
CWP-1	95.5	20	29.84
CWP-2	95.5	20	29.84
CWP-3	19.1	20	7.46

表 5. 區域泵之參數設定

	Number of cells	Flow (L/s)	Head (m)	Power (kW)
ZP-1	2	80.3	24	29.84
ZP-2	2	28.4	24	11.19

表 6. 離心機之性能參數

Part load(%)	Power (kW)	Evaporator		Condenser	
		entering (°C)	leaving (°C)	entering (°C)	leaving (°C)
100	314.29	12.70	7.20	32.20	37.66
90	255.70	12.15	7.20	29.43	34.27
80	213.83	11.60	7.20	26.65	30.91
70	181.99	11.05	7.20	23.88	27.58
60	156.46	10.50	7.20	21.11	24.27
50	135.01	9.95	7.20	18.33	20.98
40	121.05	9.40	7.20	18.33	20.47
30	104.91	8.85	7.20	18.33	19.96
20	84.31	8.30	7.20	18.33	19.44
10	54.44	7.75	7.20	18.33	18.90

表 7. 離心機之參數設定

參數設定項目	參數意義	參數輸入值	備註
Capacity-f(X,Y)	在不同冰水出口溫度 X 與冷卻水進口溫度 Y 之條件下的冷凍能力	a=-6.37573433 b=-0.13031019 c=0.00318931	X: T evaporator leaving

	$Z=a+bX+cX^2+dY+eY^2+fXY$	$d=0.02332299$	Y: T
		$e=-0.00073499$	condenser
		$f=0.00263222$	entering
			Z:capacity
			X: T
		$a=0.38370845$	evaporator
	在不同冰水出口溫度 X 與	$b=0.00653740$	leaving
	冷卻水進口溫度 Y 之條件	$c=-0.00054646$	Y: T
EIR-f(X,Y)	下的 EIR	$d=0.00767181$	condenser
	$Z=a+bX+cX^2+dY+eY^2+fXY$	$e=0.00017209$	entering
		$f=-0.00016217$	Z:EIR
			X: part
		$a=0.44601539$	load ratio
	在不同部分負荷 X 與溫度	$b=0.77452630$	Y:
	差 Y 之條件下的 EIR	$c=-0.71646178$	evaporator/
EIR-f(PLR,dT)		$d=-0.03011364$	condenser
	$Z=a+bX+cX^2+dY+eY^2+fXY$	$e=0.00058130$	dT
		$f=0.01607135$	Z:EIR

4. 結果與討論

本研究針對中部某一棟圖書館進行 eQUEST 建築能源模擬，利用圖書館電錶的數據與模擬軟體輸出的數據進行每個月的能源用量分析，如圖 4 所示，將電錶抄得之數據與模擬數據做能源用量之比對分析，而模擬數據又分為實際冰水主機性能曲線與 eQUEST 內建的性能曲線兩種，由圖上可以看出三種數據的差異並不大，而仔細的進行計算，實際冰水主機之性能曲線得到的數據與抄表的數據最大誤差為 8.77% 在九月的時候，而內建冰水主機之性能曲線得到的數據與抄表的數據最大誤差為 8.09% 是在十月的時候，兩種模擬數據之間的差異最大為 3.61% 在 4 月時。

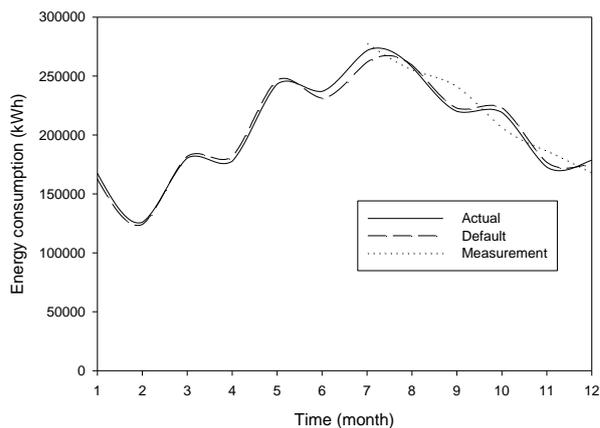


圖 4. 量測與模擬之能源用量

而圖 5 可看出大部份的時間是使用實際的性能曲線比內建的性能曲線還要耗能，而此從每個月的能源用量來看，兩者間的最大的誤差到 12.17%，但從整年度來看卻只有 4.07% 的誤差。

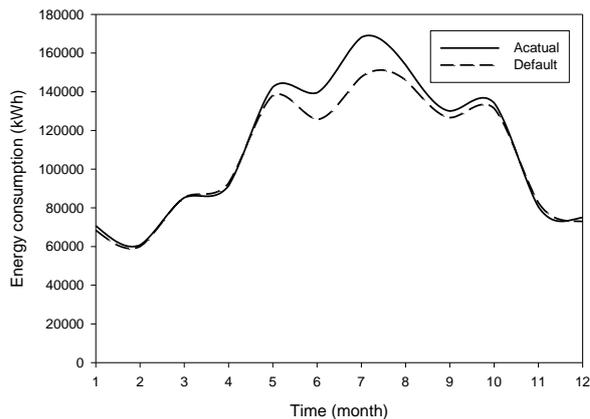


圖 5. 冰水主機在不同性能曲線下的能源用量

圖 6 是水泵在不同冰水主机的性能曲線下的能源用量變化，由圖上可以明顯看出內建的性能曲線導致水泵的耗電量高於實際的性能曲線，因此進一步的看伸入的資料發現，是因為實際的性能曲線使水泵的運轉時間較短所以耗電量較低。

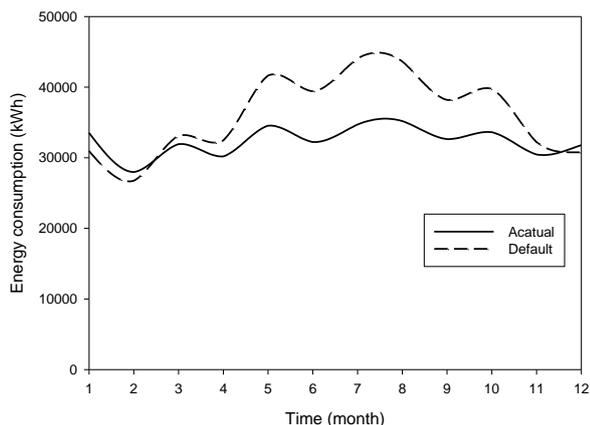


圖 6. 水泵的能源用量變化

而圖 7 是水塔風扇的耗能在不同冰水主機性能曲線下的變化，由圖上可以看到內建的冰水主機性能曲線導致冷卻水塔風扇較為耗能，而實際的冰水主機性能曲線影響的水塔風扇相對下較為省電，而省電的原因與水泵相同，是因為運轉時間較短，所以比較省電。雖然實際的性能曲線導致冰水主機的耗電量較高，但是加上水泵及水塔風扇的耗電量來看卻是實際的性能曲線較為省能，導致如此情況是因為主機就算是在較高負載的情況下造成效率較差，所以主機耗電量較高，但在高負載的情況下使空調系統的運轉時間縮短，所以水泵及水塔風扇的耗電降低，以致於整體耗電量較低。

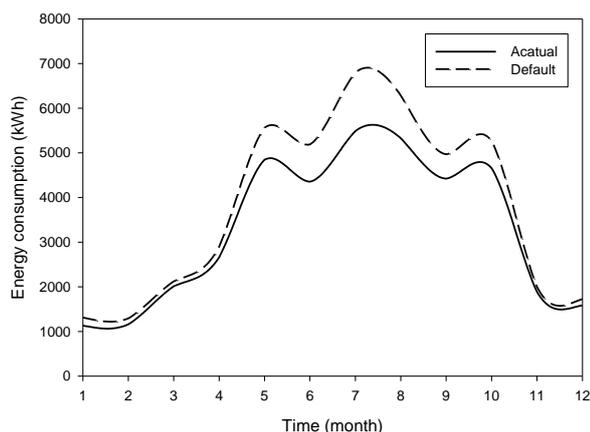


圖 7. 水塔風扇的能源用量變化

5. 結論

由以上的數據可以看出，利用 eQUEST 建築模擬軟體進行模擬的數據與實際電錶抄得之數據之間的誤差最大有 8.09 的誤差，而使用實際的

性能曲線與軟體內建的性能曲線，在能源用量的誤差最大在 3.61%，由此可知就算沒有實際的性能曲線，而使用軟體內建的性能曲線，也可以有相當的可信度，因此建築物在設計階段可以利用 eQUEST 建築模擬軟體來進行模擬來達到最節能之效果。

6. 誌謝

本研究國科會計劃 (NSC-100-2221-E-167-023-MY3) 補助，特此致上感謝之意。

7. 參考文獻

- 1.H. Kim, A. Stumpf, and W. Kim, "Analysis of an energy efficient building design through data mining approach," *Automation in Construction*, Vol. 20, pp. 37-43, 2011.
- 2.J. Yu, C. Yang, and L. Tian, "Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China," *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp.1536-1546, 2008.
- 3.X. Liu, and T. Hong, "Comparison of energy efficiency between variable refrigerant flow systems and ground source heat pump systems," *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 584-589, 2010.
- 4.R. Yin, P. Xu, and P. Shen, "Case study: Energy savings from solar window film in two commercial buildings in Shanghai," *Energy and Buildings*, Vol. 45, pp. 132-140, 2012.
- 5.Y. Li, J. Wu, and S. Shiochi, "Modeling and energy simulation of the variable refrigerant flow air conditioning system with water-cooled condenser under cooling conditions," *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 949-957, 2009.
- 6.A. Yezioro, B. Dong, and F. Leite, "An applied artificial intelligence approach towards assessing building performance simulation tools," *Energy and Buildings*, Vol. 40, pp.612-620, 2008.
- 7.Y. Zhu, "Applying computer-based simulation to energy auditing A case study," *Energy and Buildings*, Vol. 38, pp. 421-428, 2006.
- 8.D. Zhou, and H. P. Sung, "Simulation-Assisted Management and Control Over Building Energy Efficiency-A Case Study," *Energy Procedia*, Vol. 14, pp. 592-600, 2012.
- 9.<http://www.doe2.com/equest/>