

空氣壓縮能源監測模組開發與應用案例

陳俊漢^{1*} 翁英哲² 楊竣翔³ 沈宗福¹

摘要

本研究針對運轉中的空氣壓縮機組，發展具有強健性的能源效率監測模組，以確保可以長時效的不間斷量測，減少動員人力與能源使用成本。藉由所開發的空氣診斷工具，為設備管理和節能分析，提供關鍵方向指引，同時導入工業物聯網，以達成運轉高效率及低耗電量的特性。藉由提高工廠的生產管理和效率，全面監測並掌握相關系統之能耗狀態，提供較佳產能，有效優化生產環境，實現產能提升與製程成本降低，也為製造企業提供各類創新節能應用。

關鍵詞：空壓系統，工業物聯網，能效分析，監測模組

1. 前言

將物聯網導入工業領域，使工業領域結合物聯網的趨勢，而轉型為工業物聯網(IIoT, Industrial Internet of Things)，對傳統自動化設備帶來新的變革，增加對營運技術，包括遠端管理和營運分析的功能，也創造更多的增值機會(Cai *et al.*, 2014)。工業物聯網與一般的物聯網相同，需先在底層架構感測器網絡，從各種設備收集巨量的生產數據資料，接著由閘道器執行格式的正規化程序，將許多異質工業通訊協定，轉為雲端運算可辨識的語言，再經由網際網路或手機通訊傳至雲端系統，透過機器學習和人工智慧處置，讓管理者解析，生產系統的工作和維護，然後再將資料轉換為有價值的商業資訊，以作出透過數據為根據的關鍵決策，工業物聯網也將使工業生產更優化與智能(Zhong *et al.*, 2017)，如圖1為工業物聯網概念圖所示。在將工業物聯網策略實行時，產業面臨的關鍵挑戰，包括由異質網路處理資料擷取，

以及需使用可承受嚴苛環境條件的設備，並針對大規模工業物聯網應用，提供整合資料擷取和設備管理的工業運算解決方案，可視為未來廠房的核心基礎(Shariatzadeh *et al.*, 2016)，如圖2為工業物聯網架構圖所示。

本論文針對國內工廠運轉中的動力機械設備之空氣壓縮機組，進行長期運轉效率即時量測，量測資料經過處理和分析之後，可以為節能分析和設備管理，提供即時巨量資料量化的依據。藉由空壓能源監測模組的開發，導入工業物聯網的技術，優化空壓機系統的能源使用情形。

2. 研究方法

2.1 模組架構

本計畫的空壓能源監測模組，針對空壓機組規格的差異，可選用不同的電力量測感應器，使量測馬力變動時皆有合理之精確性。而

¹工業技術研究院機械與機電系統研究所 工程師

²工研院機械所 資深工程師兼副理

³工研院機械所 資深工程師兼經理

*通訊作者，電話: 03-5912897, E-mail: chen1390@itri.org.tw

收到日期: 2021年05月27日

修正日期: 2021年07月26日

接受日期: 2021年08月03日

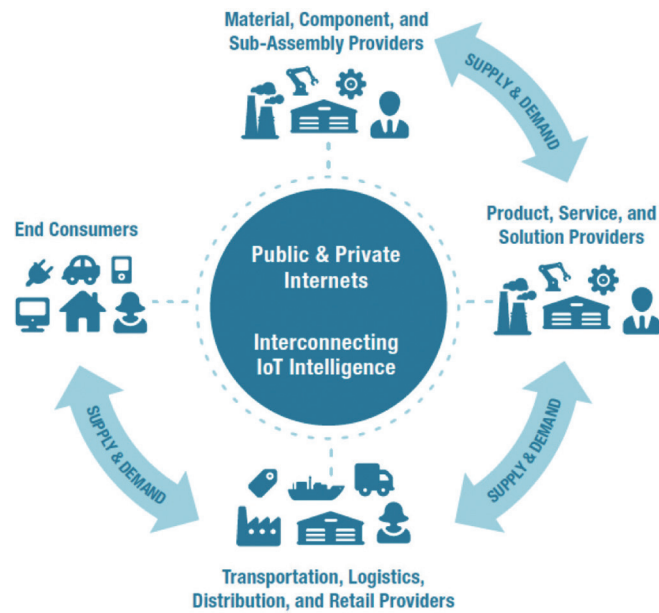


圖1 工業物聯網概念(LNS Research, 2015)

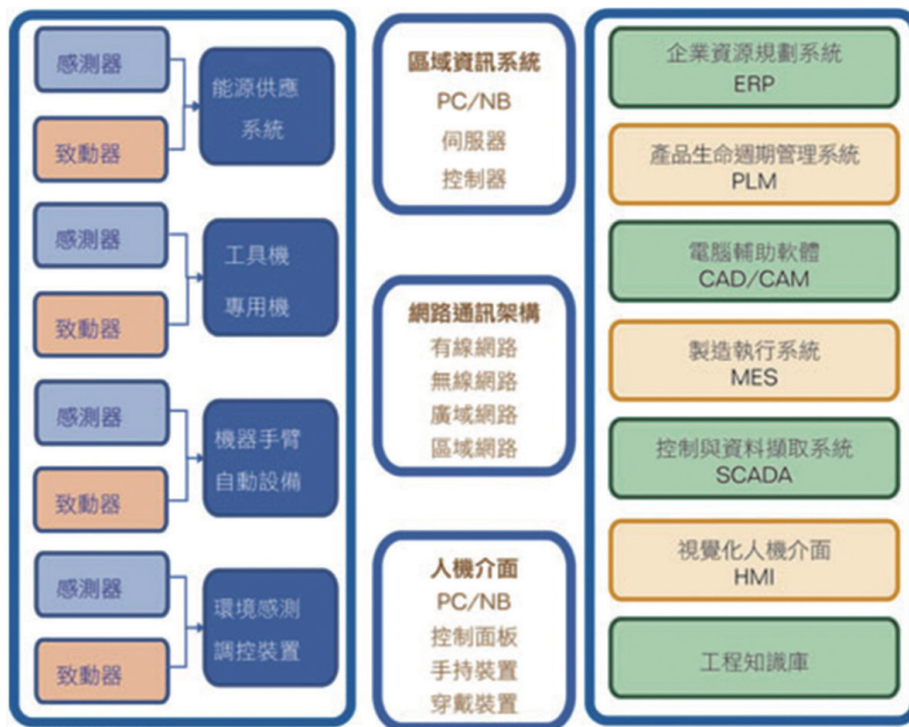


圖2 工業物聯網架構(新製造產業策略專輯，2015)

模組擷取裝置主要包含電力模組感測電力相關參數、壓力計量測壓力數值、流量模組感測流量數值及露點計擷取溫度數值，以MCU(微控制器，Microcontroller Unit, MCU)運算單元進行整合與運算，提供給空壓機系統節能改善的自動化量測。IIoT模組內建閘道器通訊單元，以網路訊號或手機網路訊號，連結雙向的溝

通，可提供雲端服務系統中的空壓機組聯網依據，將從機器中收集數據，並進行分析以提高生產效率，從而降低生產成本。從而實現能源效率監控，如圖3為系統架構所示，主要包含空氣壓縮機組單元，以監測電力、壓力、流量及露點訊號，而嵌入式系統組成的空壓能耗監測IIoT節能診斷模組，藉由資料擷取器、電力

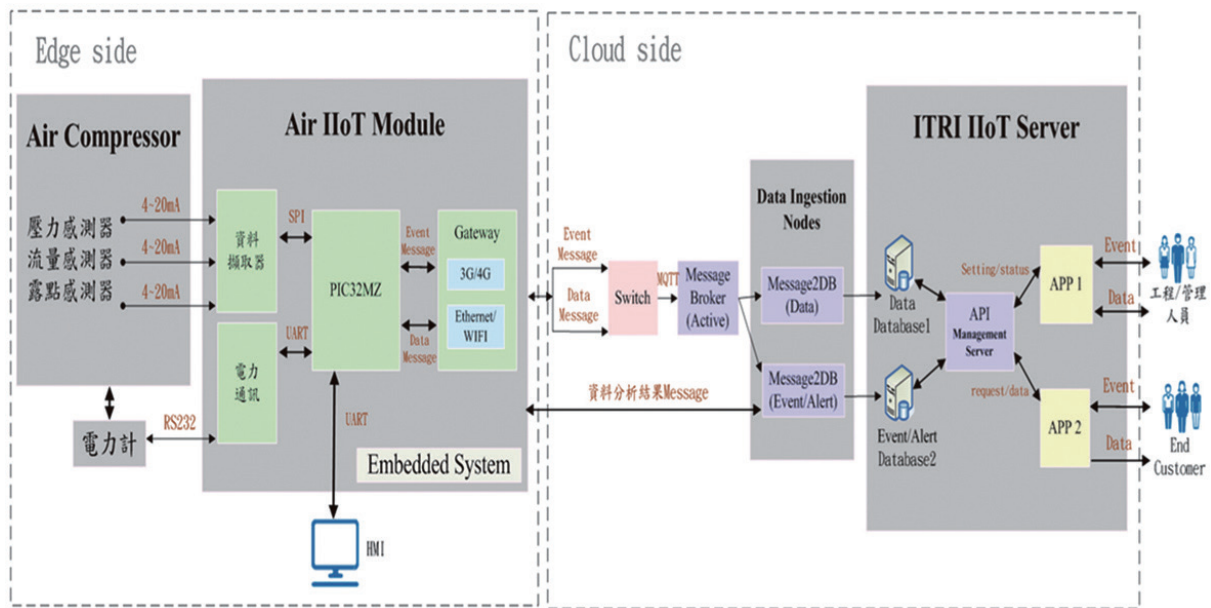


圖3 模組系統架構(本研究繪製)

通訊、MCU演算及閘道器整合，而雲端ITRI IIoT的伺服器單元，主要匯整相關資料(Data)及事件(Event)以進行終端的分析運算與通報處理(Boyes *et al.*, 2018)。

2.2 資料處理

本計畫的能源監測運作流程，需要先將機組系統的感測基本設定與資料建立輸入完成，即開始監測空壓主機相關參數，包括流量、電力資訊、壓力、露點、空重車狀態等訊息，輸入完畢後，將量測到的相關參數，進行即時特性的運算分析，負載比例、CO₂排放量、運轉能耗與電費成本等數值，並進入自我診斷判別，根據空壓機型式與參數，判斷量測與運算結果是否為正常合理結果，如為正常合理結果則進行結果與顯示的輸出，如異常則重新進行量測與分析。同時，以遠端的能源服務系統，整合專家系統與空壓資料庫，將空壓機組的狀態，給使用者即時設備資料，進行大數據資訊的蒐集與運算。藉由本模組，可以將製程最適化、強化風險管理與開創新產業與服務，提供能源診斷即時服務功能(Zheng and Ying, 2014)，其資料擷取與分析流程如圖4所示。

2.3 原理與架構

本研究採用嵌入式系統建置，監測空氣壓縮機組(Air Compressors)，以精簡指令集架構的微處理器為執行中樞，可強健的將空壓能耗監測IIoT節能診斷模組(ITRI IIOT DEVICE)的指令計算，並進行內建閘道器優化，達成通訊電腦網路訊號與手機網路訊號之通訊電路設計規劃(LAN/4G/WIFI)，以連結遠端與近端達到相互連結，可提供雲端即時服務系統平台(ITRI Cloud)下之空壓機互聯網的監測，以嵌入式系統組成的空壓能耗監測IIoT節能診斷模組，藉由資料擷取器、電力通訊、MCU演算及閘道器整合，而雲端ITRI的伺服器單元，主要匯整相關資料及事件以進行終端的分析運算(Maintenance Staff)與通報處理(Email)，來達成系統即時響應的機制，其系統運作如圖5所示。

模組持續進行空壓系統量測，包含壓力數值、電力參數、流量資訊及露點溫度等量測擷取，包括觸控型人機介面輸入，實現類比輸入通道、串列通訊、電錶通訊及網路通訊，將量測到的數值演算分析，並將整合MCU中，以提供結果顯示與輸出，其系統架構如圖6所示。在MCU軟體整合，包含訊號擷取、無線傳輸、系

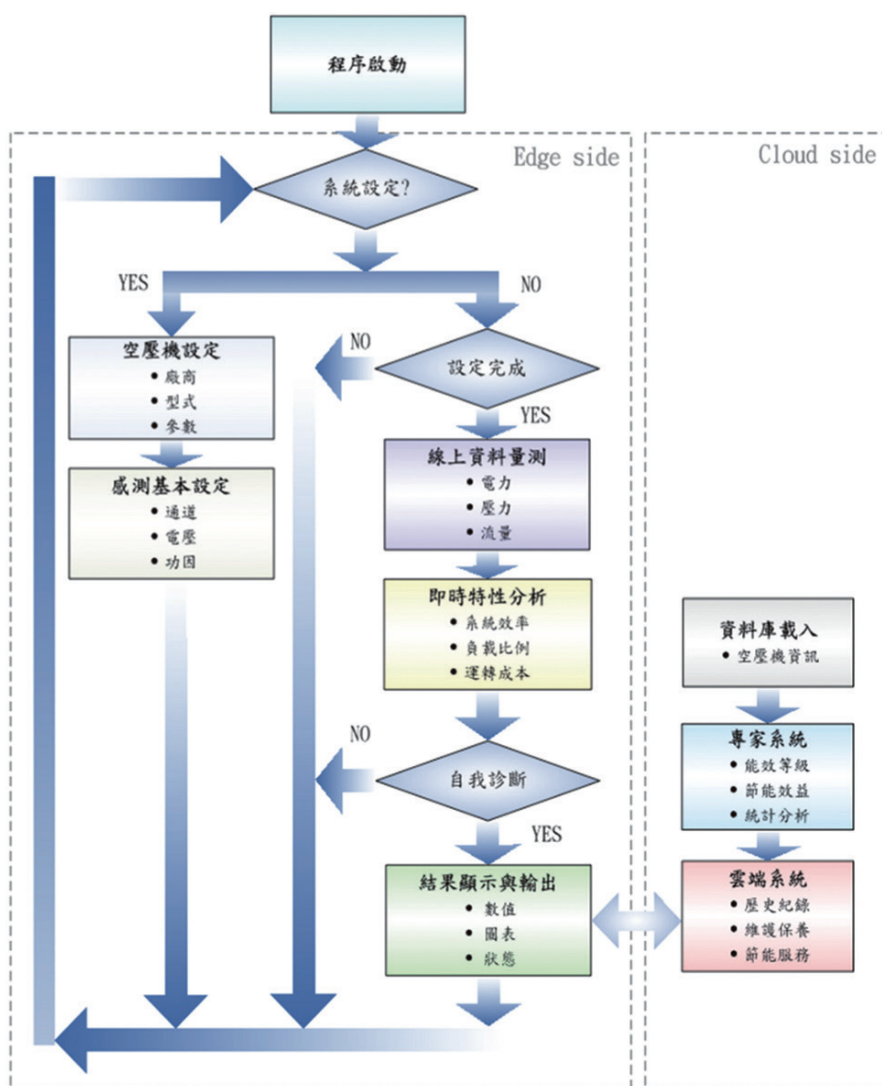


圖4 資料擷取與分析流程(本研究繪製)

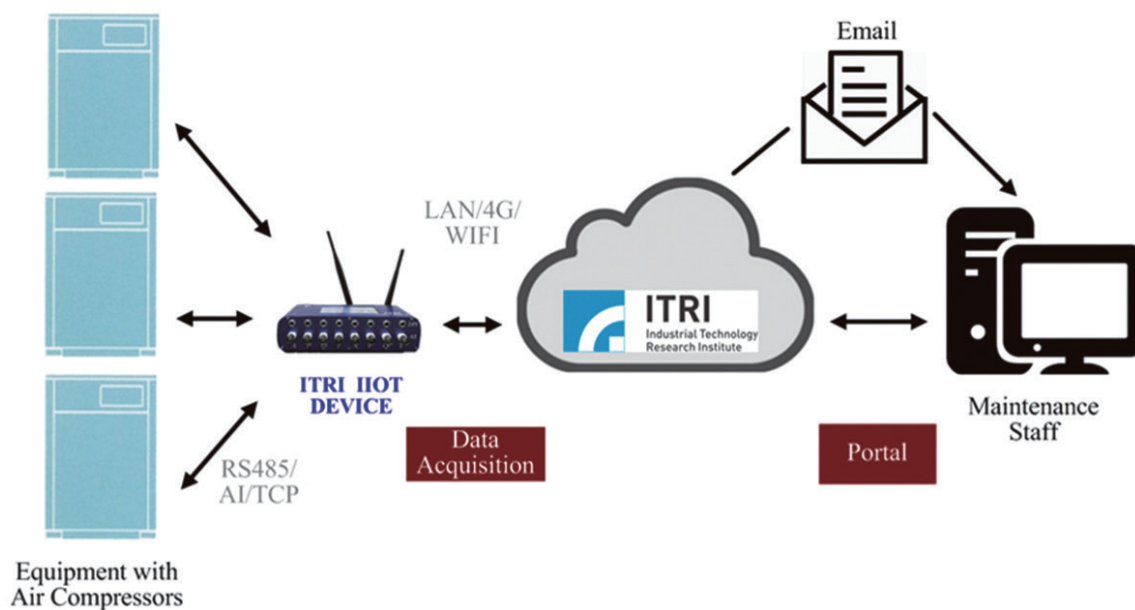


圖5 模組運作架構(本研究繪製)

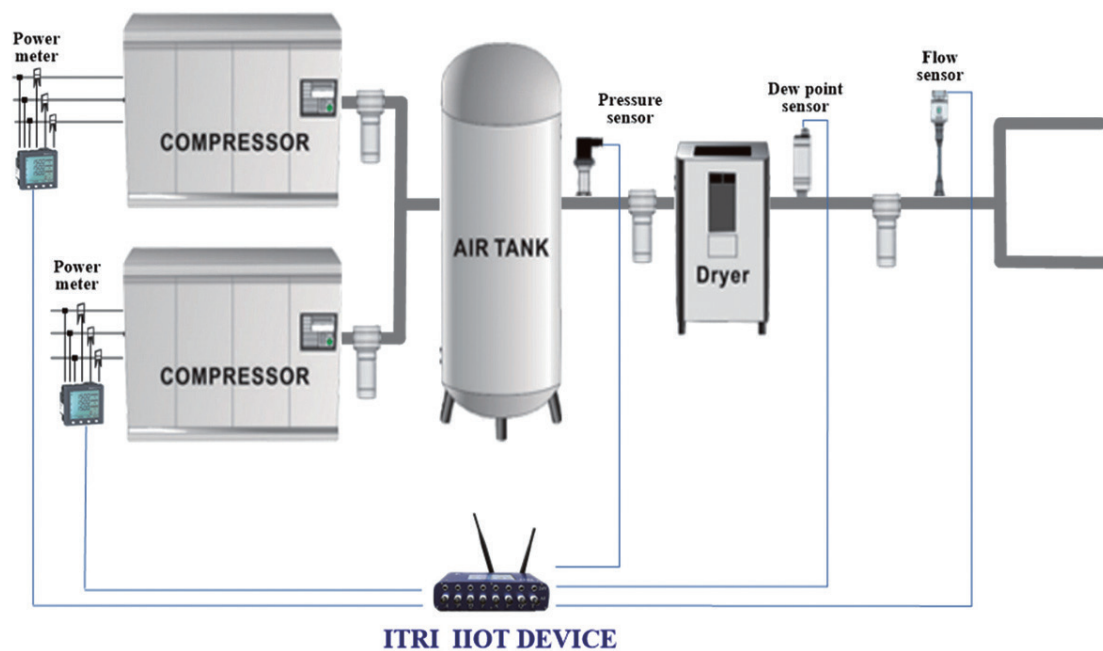


圖6 模組系統架構(本研究繪製)

統設定、資料存檔、人機介面及分析運算共六個模塊，其模組功能方塊如圖7所示。

2.4 設計與成果

本模組軟體的介面優化設計共六個頁面，主要是以監測主畫面包含電流、露點、流量及壓力的即時數值顯示和各個頁面切換，專案資料功能是記錄實場地點與空壓機組狀況，系統設定頁面為針對控制模式與物理量對應輸入定義，空壓顯示設計是能快速將系統資訊量化呈現給使用者，耗能分析則是主要統計空重車耗能比展現，性能報告將各項空壓狀態指標數值統計輸出，其顯示單元部分，選用觸碰增強型人機單元進行測試建置，其人機介面設計如圖8所示。對於運作流程，透過感測裝置的資料監測，得到系統性能資訊，其CDA性能分析如表1所示。

藉由主從式模型(Haroon, 2014)，將現場端與伺服端的資訊連結，由伺服端提供主機名稱資料庫的維護及回應請求；客戶端將使用者想要查詢的資料轉換成令，以接收自伺服端的回應，如圖9所示，透過網路通訊，使伺服端的電腦也能達成通訊交換，以接收相關訊號，將資



圖7 MCU軟體整合(本研究繪製)

料傳送至伺服端電腦，並陸續進行數據儲存與效能分析，伺服端人機畫面設計與建置，監測資料主要包含場域位置、現行時間、電流、功率、比功率、單位能耗、壓力訊息、露點溫度等，如圖10所示。

最後建置之電路設計為多層板印製電路板建置方案，完成空壓能耗監測節能診斷模組，並與人機介面整合鋁合金的金屬殼體實現，達成商品化的開發目標與實際應用需求。本模組之優化主要電路其設計之功能特色包含五大部分 DC電源電路、串列通訊、類比數位轉換與

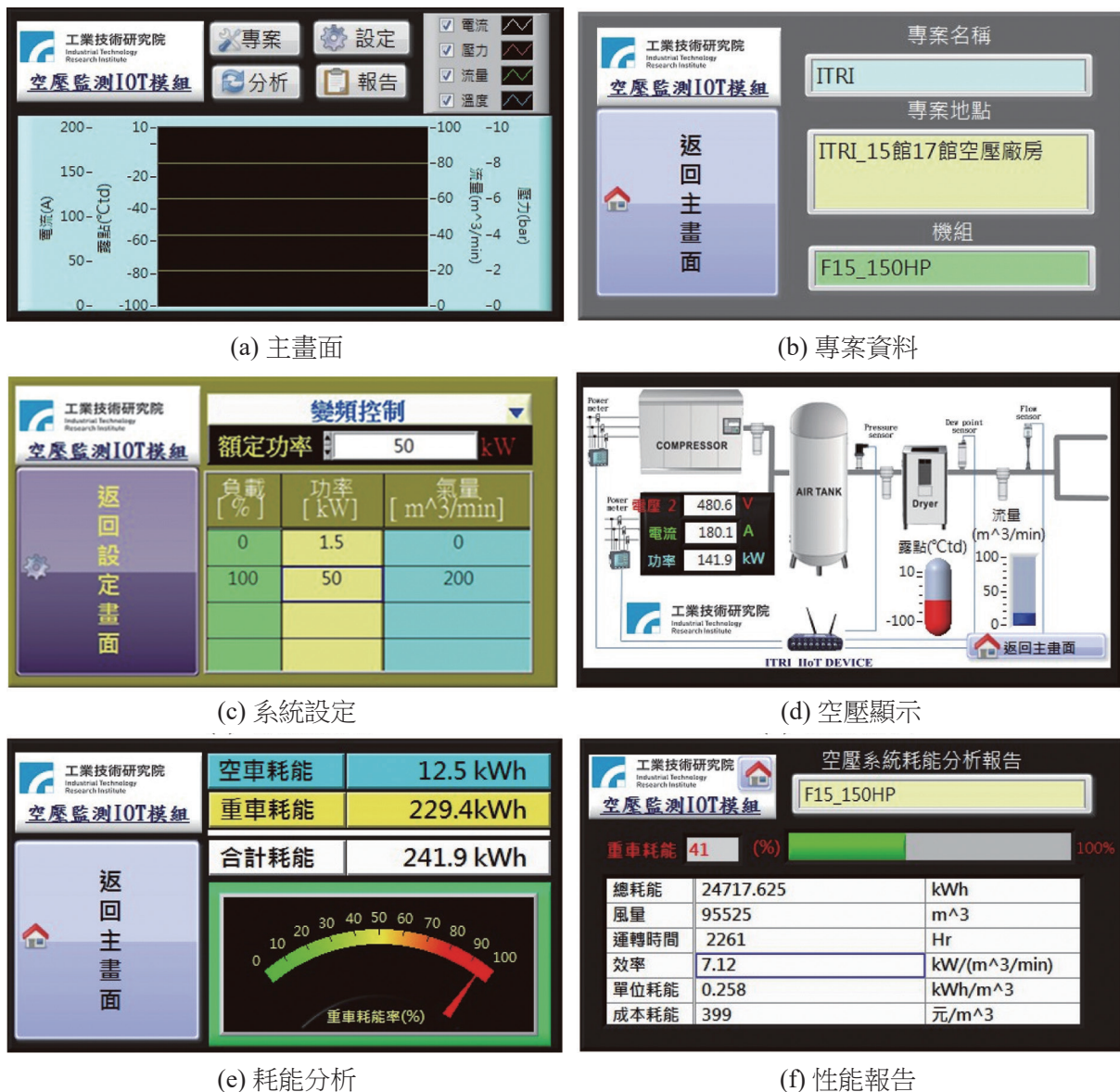


圖8 模組介面(本研究繪製)

表1 性能指標分析表(本研究整理)

項次	指標	公式
CDA 性能	設備用氣(m ³)	根據空壓機規格與耗電量估算
	重車耗能比例(%)	$(\text{重車時間hrs}/\text{運轉時數hrs}) \times 100\%$
	空車耗能比例(%)	$(\text{空車時間hrs}/\text{運轉時數hrs}) \times 100\%$
	稼動率(%)	$(\text{實際工作時間}/\text{計畫工作時間}) \times 100\%$
	運轉成本(元)	$(\text{額定馬力} \times 0.746 \div \text{馬達效率}) \times \text{負載比例} \times \text{運轉時數} \times \text{電費費率}$
	比功率(kW/(m ³ /min))	空壓機輸入功率kW/空壓機容積流量m ³ /min
	單位耗能比值(kWh/m ³)	量測期間總耗電量kWh/量測期間總氣量m ³
	年節能耗電(kWh)	年設備用氣m ³ × (改善前單位耗能比值-改善後單位耗能比值) kWh/m ³
	抑低CO2年排放量(kg)	年節能耗電kWh × 二氧化碳排放值kg/kWh
	回收期(年)	置換須額外支付之成本/每年節省之電費
	節能比率(%)	$((\text{改善前單位耗能比值}-\text{改善後單位耗能比值})/\text{改善前單位耗能比值}) \times 100\%$

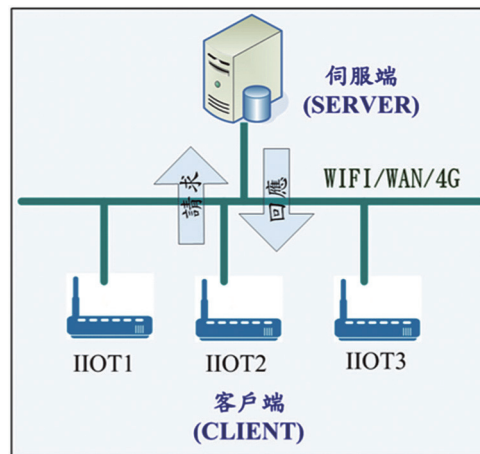


圖9 主從式架構圖(本研究繪製)

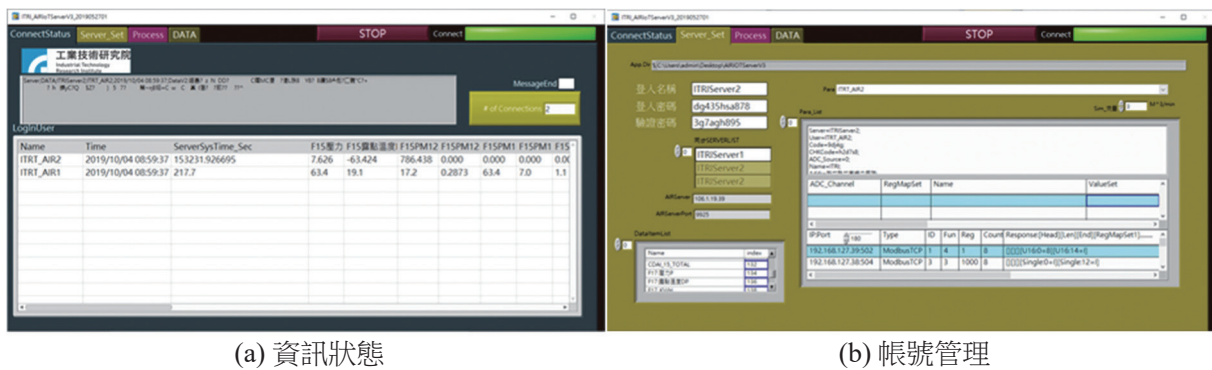


圖10 伺服器端HMI(本研究繪製)

輸入保護電路、網路通訊電路、微處理器單元電路。模組周邊輸出輸入埠包含類比輸入通道8組、RS485串列通訊1組、RS232串列通訊1組、RJ45電錶通訊1組、RJ45網路通訊2組、MicroUSB 1組、MicroSD 1組、WIFI天線1組、天線1組，如圖11所示。

2.5 場域測試

本計畫首先針對工研院中興院區內的空壓機房全面進行盤點，如圖12及表2所示，用氣量較大主要包含機械(22)、電光(15/17/23)、材化(77/79)、綠能(78)、生醫(78)等單位館別，以工研院為示範場域，並考慮案場建置需要進行



(a) 模組電路



(b) 模組實體

圖11 IIoT模組(本研究繪製)

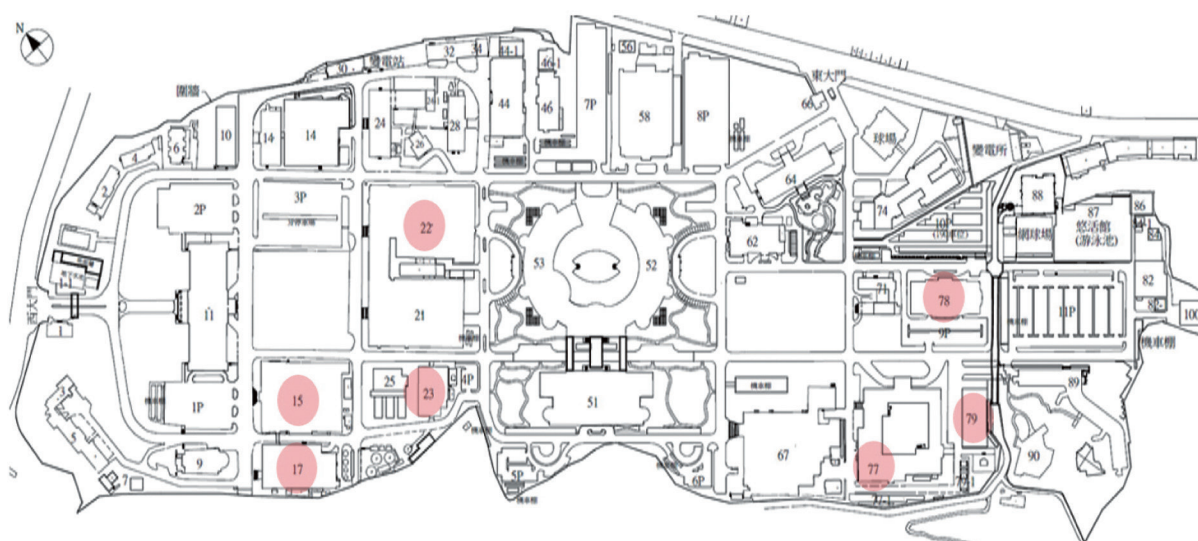


圖12 工研院中興院區平面圖(本研究繪製)

表2 工研院中興院區空壓系統配置表(本研究整理)

單位	館別	樓層	馬力	數量	型式
機械所	22	1F	50HP	4	變頻 微油 螺旋
材化所	77	B1	30HP	2	變頻 微油 螺旋
			15HP	1	定頻 微油 螺旋
材化所	79	2F	75HP	1	定頻 微油 螺旋
			50HP	1	
研究館 (生醫/綠能/電光)	78	4F	75HP	1	變頻 無油 螺旋
			100HP	1	
電光所	17	1F	150HP	1	變頻 無油 螺旋
	15		150HP	1	變頻 無油 螺旋
			300HP	1	定頻 無油 螺旋
			125HP	1	
	23	200HP	1	變頻 無油 螺旋	

感測器及布線的施作，需要配合各單位的設備維護時程才得以進場，最終確認將以產業現況較為貼近之電光所15館為試量產面板產線及17館試量產Micro LED/半導體產線，以及機械所22館的試量產CNC (電腦數值控制，Computer Numerical Control, CNC)工件產線為驗證測試的實際案場，進行IIoT模組導入實際案場測試與

韌體相關驗證。

本文以案場電光所(15館)空壓機房為實際量測的場域為示範，進行IIoT模組的驗證與測試，機房內空壓機有3台馬力數分別是125 HP、150 HP及300 HP，量測期間2019/3/27~2019/08/11約140日。電力資訊以Schneider PM750電力錶頭來量測空壓機實際耗用電力

狀態，配合流量計以熱值式DIELEN GMBH L4S0I0DR量測得流量數值，露點資訊採用Michell CT2X模組擷取得露點溫度，壓力採用SMC ISE40壓力傳感器量測得到壓力數值，空壓機房的量測資訊透過模組內的無線裝置傳送至機械所伺服器端，以進行資料記錄與分析，而實際場域量測架設與模組測試照，如圖13所示。

本模組的取樣週期以1秒鐘進行擷取1筆資訊，每筆的數據包含電壓、電流、功率、壓力、流量及露點。現場量測所得的資料量每日約有86,000筆資訊，140日的原始場域數據資料量總計約12百萬筆資料，操作Microsoft Power BI為統計分析工具，以2019.3月~2019.8月來區分，分別展示如圖14所示，並將每個月的壓力、流量、露點溫度、電流(125 HP)、電壓

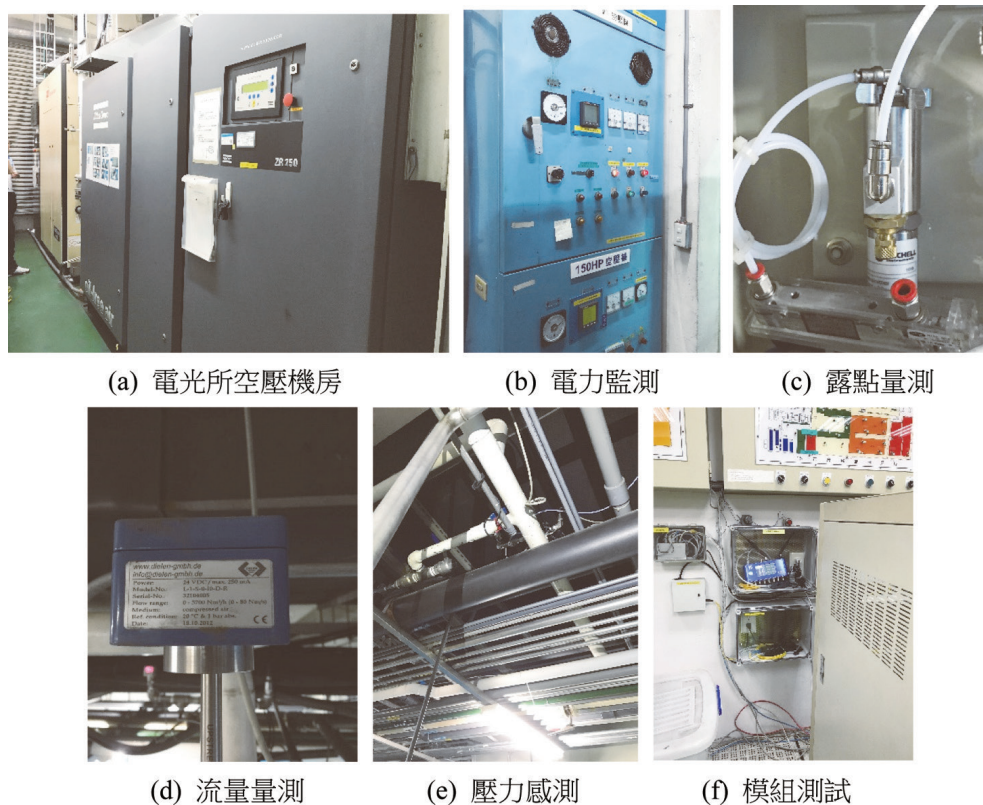


圖13 IIoT電光實場測試(本研究繪製)

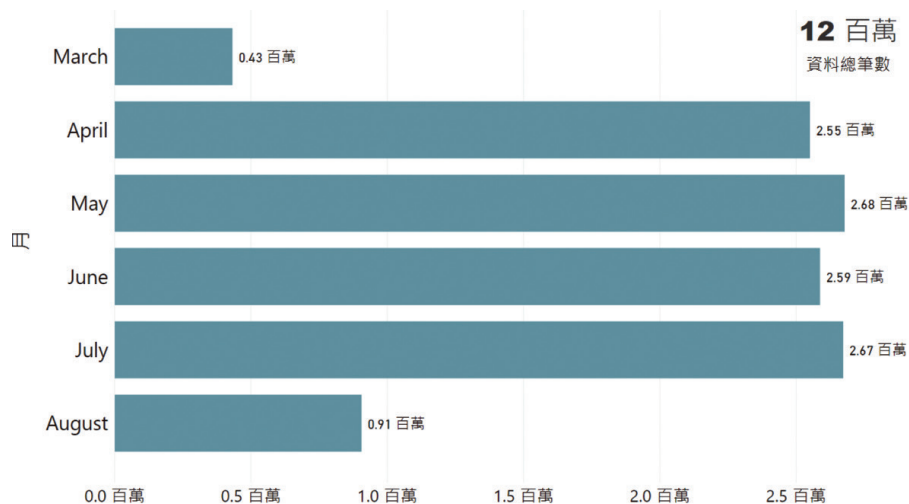


圖14 每月實場數據資料量(本研究繪製)

(125 HP)、功率(125 HP)、電流(150 HP)、電壓(150 HP)、功率(150 HP)及電流(300 HP)、電壓(300 HP)、功率(300 HP)之數值，取平均值運算其長條統計結果狀況，如圖15所示。而場域能耗資訊將以1日產出1組為基準，將原始場域數據資料，經過運算診斷分析後，內容包含比功率、單位耗能、累積耗電量、累積氣量、空重車比率及用電成本等，統計分析資料如圖16所示。針對於場域能耗資訊，進行數據分析，圖16(a)分別以累積氣量、累積電量、電費成本與CO₂排放數值之柱狀圖統計，圖16(b)(c)(d)將空重車時間、空重車耗能、空重車氣量個別以圓餅圖展示、圖16(e)(f)(g)透過顯示單位耗能與比功率的長期趨勢圖，其中CO₂的排放以每kWh為0.536 Kg換算，每度電的成本以3.4元計算。透過本系統所量測的巨量資料，分析後得知目前場域的空壓機組運轉多年，風量有逐漸衰退現象，改善前單位能耗平均值為0.154 kWh/m³，如圖16(e)(f)(g)，效能不佳，若能逐步汰舊更新為市售一級能效機組其單位能耗平均值約為0.125 kWh/m³，而節能量化計算為節能比率=(改善前單位能耗0.154 kWh/m³－改善後單位能耗0.125 kWh/m³)/改善前單位能耗0.154 kWh/m³

為18.8%，可提升空壓系統運轉效能，降低生產成本。

3. 結 論

本研究完成動力機械能耗監測IIoT模組開發與測試驗證，針對空氣壓縮機組所發展的輔導診斷工具，提供線上機組能效診斷，並建立工研院中興院區內的場域驗證，IIoT模組之穩定性與節能效益，包含22館CNC試量產線、15館面板試量產線及17館Micro LED試量產線，各個場域透過IIoT模組長期精確地監測分析，節能率均可達15%–20%以上。同時達成初步商品化測試，建立產業的能耗可視性指標，提供用戶設備能效優化與管理，以利後續產業推廣。

誌 謝

本文承蒙經濟部能源局(計畫編號L453CK1140)的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

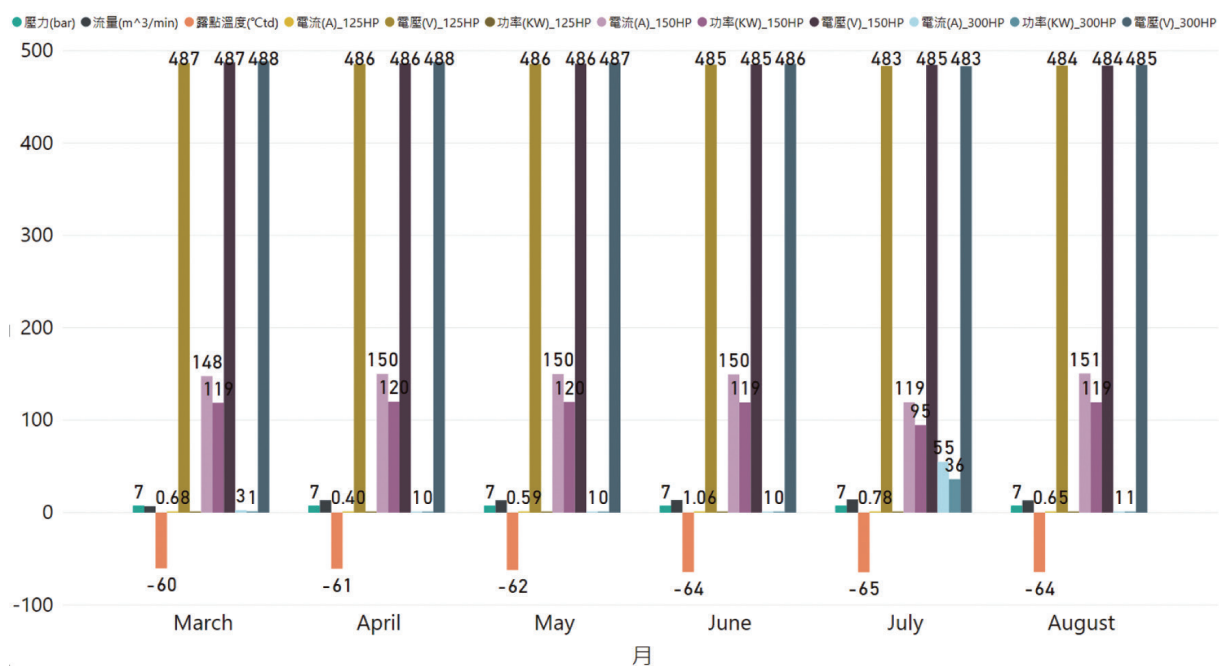
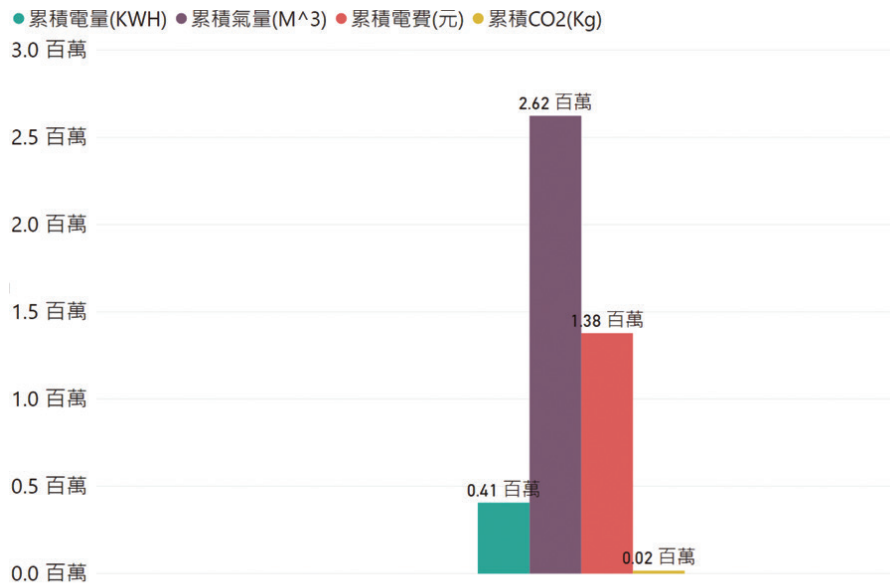
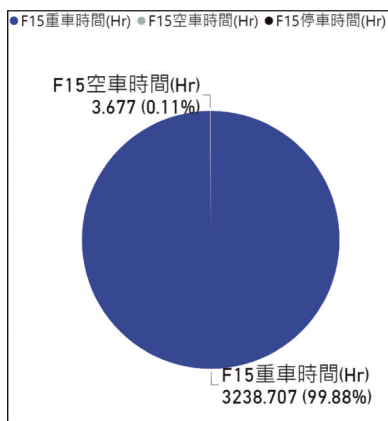
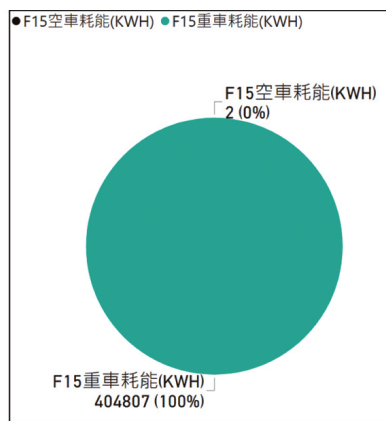


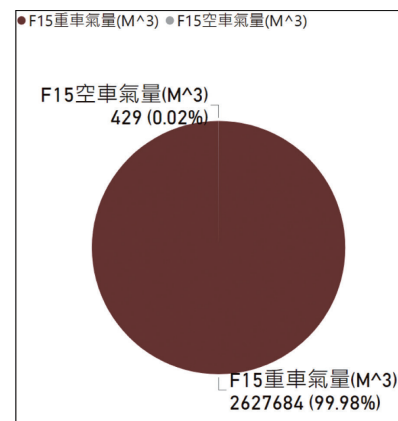
圖15 每月實場量測平均值資訊(本研究繪製)

(a) 累積氣量/電量/電費成本/CO₂排放

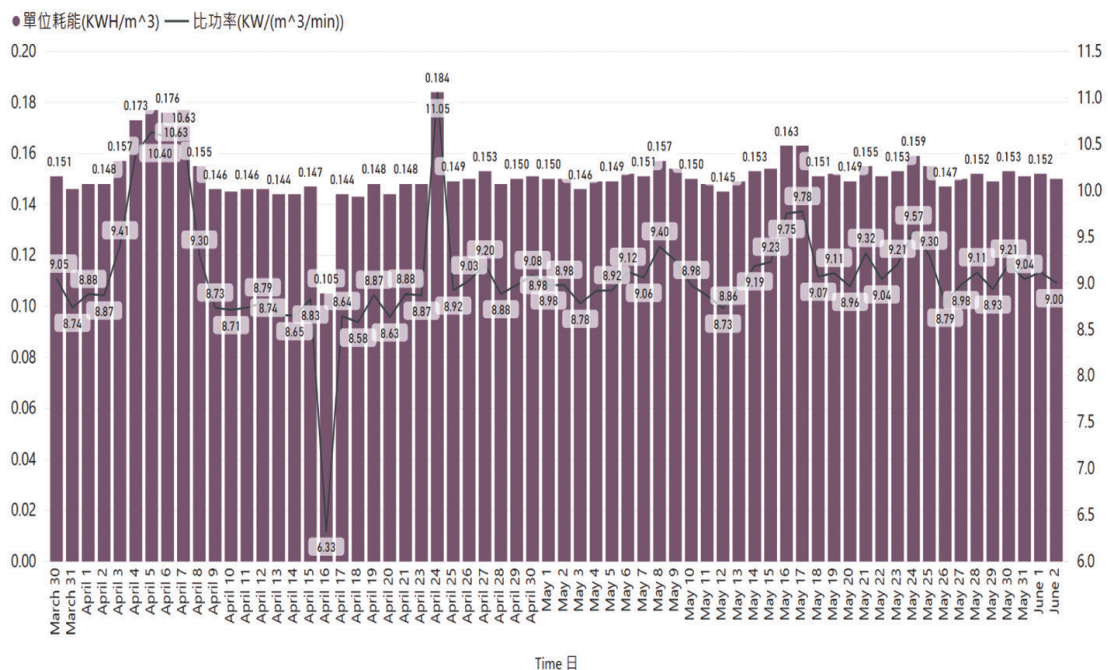
(b) 空重車時間



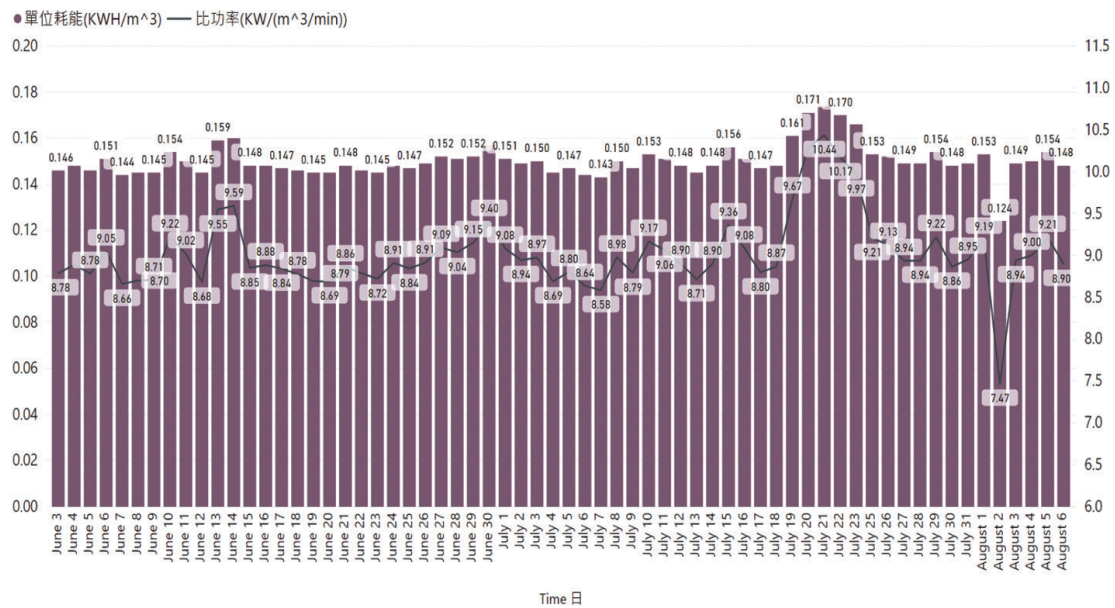
(c) 空重車耗能



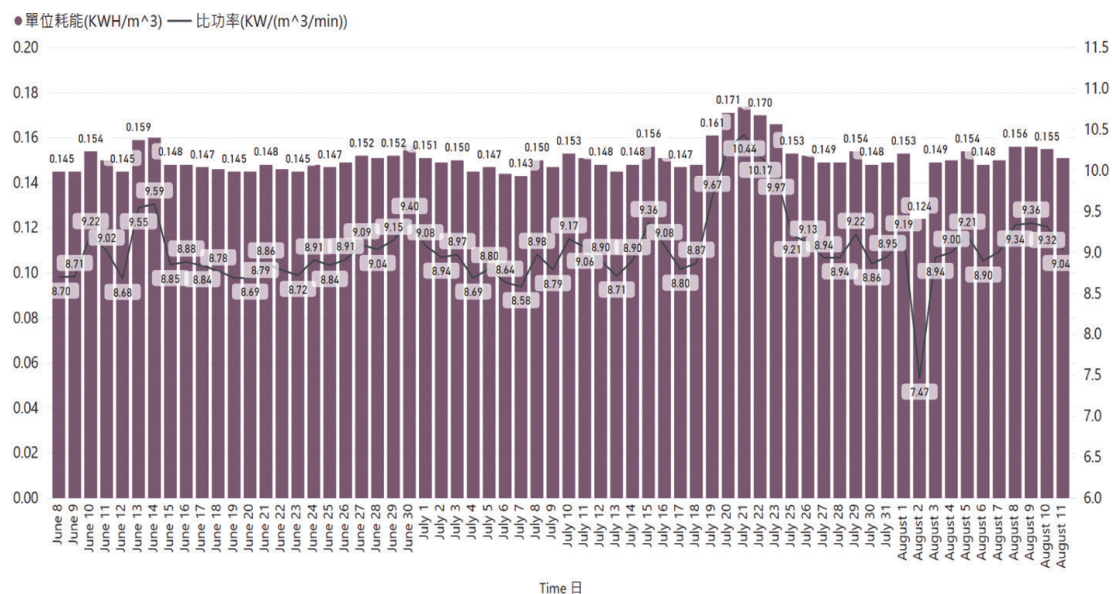
(d) 空重車氣量



(e) 單位耗能及比功率1



(f) 單位耗能及比功率2



(g) 單位耗能及比功率3

圖16 實場能耗資訊(本研究繪製)

參考文獻

新製造產業策略專輯，2018。產官學聯手推動工業4.0加速上路。

Boyes, H., B. Hallaq, J. Cunningham and T. Watson, 2018. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework, Computers in Industry, 101, 1-12.

Cai, H., L. D. Xu, B. Xu, C. Xie, S. Qin and L. Jiang, 2014. IoT-Based configurable

information service platform for product lifecycle management, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(2), 1558-1567.

Haroon, S. O., 2014. Client-Server Model, IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), 16(1), 67-71.

LNS Research, 2015. Leveraging the Internet of Things to Improve Product Quality: What You Need to Know.

Shariatzadeh, N., T. Lundholma, L. Lindberga

- and G. Sivard, 2016. Integration of digital factory with smart factory based on Internet of Things, *Procedia CIRP*, 50, 512-517.
- Zhong, R.Y., X. Xu and L. Wang, 2017. IoT-enabled Smart Factory Visibility and Traceability Using Laser-scanners, *Procedia Manufacturing*, 10, 1-14.
- Zheng Y. and C. Xiao-Ying, 2014. Exploration of Fault Diagnosis Technology for Air Compressor Based on Internet of Things, *Proceedings of International Conference on Soft Computing Techniques and Engineering Application. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 250.

The Development of Air Compressor Energy Monitoring Module and Applications

Chun-Han Chen^{1*} Ying-Che Weng² Chun-Hsiang Yang³ Tsung-Fu Shen¹

ABSTRACT

This research aims at developing a robust energy efficiency monitoring module for the air compressor unit in operation and to ensure long-term uninterrupted measurement without increasing manpower and energy cost. It provides useful, real-time strategy and evaluation and energy-saving diagnosis for unit management with the air compressor diagnosis tool. To achieve the higher operation efficiency and the lower power consumption characteristics by importing the Industrial Internet of Things simultaneously. By improving the production management and efficiency of the factory, monitoring and grasping the energy consumption status of related systems comprehensively, it could provide better production capacity and optimize production environment effectively. To achieve productivity increase and manufacturing process cost reduction, monitoring energy consumption status of related systems also provides various innovative energy-saving applications for manufacturing enterprises.

Keywords: Air Compressor System, Industrial Internet of Things, Energy Efficiency Analysis, Monitoring Module.

¹Engineer, Mechanical and Mechatronics Systems Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

²Senior Engineer & Assistant Manager, MMSL, ITRI.

³Senior Engineer & Manager, MMSL, ITRI.

* Corresponding Author, Phone: +886-3-5912897, E-mail: chen1390@itri.org.tw

Received Date: May 27, 2021

Revised Date: July 26, 2021

Accepted Date: August 3, 2021