

分區管網復漏問題探討- 以草屯營運所碧山小區爲案例

洪崇禎¹、林堂華²、黃冠洲³、吳孔嘉⁴

¹⁻⁴台灣自來水公司第四區管理處技術士、

摘要

台灣地處四面環海，東西部遍佈大小河川，年平均降雨量爲世界平均值的 2.5 倍，但是台灣卻名列世界第 18 名的缺水國家!造成台灣缺水的原因除了地形高低起伏過大，因此除了以水庫保存水源，難以再留住珍貴的水資源；此外，自來水輸配水管線也存在管線嚴重漏水問題。爲了改善漏水率與提升售水率，台灣自來水公司自 93 年度已開始採用漏水控制最有效方法之一「小區管網」計畫，並且於碧山小區建置監控系統，以期有效找到管線「漏水」處，進而改善售水率不佳區域。

本研究將針對 98 年建置規劃的碧山小區進行探究，當地除了設置流量監設系統，並運用無線傳輸技術與簡訊(SMS)通訊模組，同步將管段流量、壓力等數據即時傳回監控中心。管理者能利用遠端監控，主動查核、分析管段漏水之經濟效益，大幅改善嚴重管線漏水問題。此外，管線因無法全面性的汰換，管線漏水復發情況也存在許多不明因素，本研究也探究碧山小區之小區管網建置之實質效益，並研究管線漏水復發之相關因素，以期各區域在發展小區管網時，能有更多參考實例，達到小區管網建置的最大功效。

關鍵字：分區管網、漏水率、無線傳輸技術、流量壓力監測系統

ABSTRACT

Taiwan ranks No. 18th in the list of water-impooverished country in the world even though it has been surrounded by seas and full of rivers and Taiwan's annual rainfall is 2.5 times when compared with other countries. The main reason for the water shortage in Taiwan is not because of the water shortage but because of the serious pipes leakage. In order to reduce the percentage of the pipes leakage, Taiwan Water Corporation has been conducted DMA (District Metered Areas) since 2004 and constructed monitoring system in Bishan District so as to solve the problems of pipes leakage and increases the percentage of water sold.

In this paper, the authors examine the Bishan DMA which was established in 2009. The Bishan DMA can not only monitor flow-rate and flow-volume but also transmit the statistics of flow-rate and water pressure into the monitoring center by means of SMS (Short Message Service). The Bishan DMA has greatly helped the administrator monitor pipes pressure remotely and examine the improvements of pipes leakage; as a result, the pipes leakage problems have been improved significantly. However, the broken pipes has not been replaced entirely and other unknown reasons continue to cause the recurring leakage problems; therefore, this paper intends to discuss the necessity of constructing the flow-rate and water

pressure monitoring system and whether we should keep observing recurring leakage problems when DMA has been fully established. It's hoped that this paper can provide more DMA case studies for further references for the maximum effectiveness of the construction of DMA in the future.

Key Words: DMA (District Metered Area) , Pipes Leakage Percentage, Wireless Transmission Technology, Water Flow and Water Pressure Monitoring System

1 研究背景

近年來，溫室效應對於我們的生態環境與全球氣候產生了嚴峻的變化，導致極地冰原融化、海平面上升，導致不正常暴雨、乾旱現象、沙漠化現象擴大，對於人類整體生活造成很大的傷害。如 2009 年發生於台灣的莫拉克颱風 (Typhoon Morakot)，當時造成台灣相當嚴重的損害，亦稱八八水災。但是在莫拉克颱風侵襲之前，台灣則面臨了相當嚴重的限水措施，備用水源嚴重不足。由此可知，縱使台灣擁有豐沛降雨量，卻無法有效管理與應用水資源，主因乃是氣候變遷造成台灣氣候的變化難以預料，致使我們應當更加注重水資源的管理。此外，管理台灣水資源的自來水事業單位需同時面對政府、環境保護主義者、用水用戶等方面的壓力，致使水資源開關不易或難以保存珍貴水資源；因此，自來水事業單位只能朝節流層面作努力，積極且有效地減少水資源的浪費與漏損。

93 年起，自來水事業單位為了有效管控漏水導致的損失，已從供水端的水源至用戶用水的層面進行實質的控管，其中最重要的漏水控制則是自來水員工所需學習的重要課題。此外，網路科技化的管理模式也是自來水事業單位積極運用的操作模式，只要善加運用即時監控管理水資源的模式，將可大幅減少因輸配水管線漏水導致的漏“財”損失。

早期的漏水管理乃從水平衡概念的使用水量推估，至各地裝置水量計進行個別用戶用水計量，但是輸配水管線的分析始終缺少系統性的規劃，各別獨立進行運作。由此可以得知，管線漏水管理的演變，都只是針對某部份幹管獨立進行，實質上所缺少的是對於供水管理網路進行區域性的對比分析。當前最普遍的作法乃是裝置水量計，並且架設資料記錄器記錄使用水量，最後再進行各別的分析與檢討。這樣的管線漏水分析模式不僅耗時、耗力，更是缺乏即時性與不具效益。

為了讓管線漏水的分析管理模式達到全面性的經濟效益，管理者除了須更有效的切割各個分區，整合即時通訊模組的技術，並應用靈敏度佳的 C 級計量電子水表與無線傳輸通訊介面，透過資訊系統全面性整合，即時掌握供水管線的流量與壓力實況，進而控管漏損。全面性的建置 C 級計量的水量計與壓力監測管理系統，提高分區計量工作效能、降低成本，達到高管理效益，便能整體性的有效提升供水服務品質。

2 研究動機與方法

一、研究動機

考量改善計量管理績效為前提下，草屯營運所碧山小區除了裝置 C 級計量的水表進行初步的漏水評估，亦藉由壓力觀測站做為供水操作的參考指標。為使各分區流量、壓力達到自動回傳模式，一致性的整合流量與壓力資訊系統，便可即時觀察各分區流量與壓力實際數值，並採用趨勢圖台的圖表分析模式，觀測流量與壓力即時的變化趨勢，探究不同分區的供水關係與漏水異常之變化趨勢，以科

技化的方式找出減少的水量數值，並且佐證檢、修漏的經濟效益，讓管理者用實際的數字來進行科學化的管理模式。

二、研究方法

1. 採文獻回顧模式探討分區計量建置模式，整理與歸納其理論，建立客觀性的分區計量模式基礎。
2. 以台灣自來水公司第四區管理處草屯營運所碧山小區為例，探討小區是否要建置流量計、管線汰換的效益、小區漏水復漏的探討。
3. 評估流量與壓力監測系統建置效益，針對不足之處，提出相關改善之建議，以利後續研究及建置者作為參考，俾使流量與壓力監測系統建置方法與系統功能，更臻完善。

3 文獻探討

一、水平衡法

無收益水量(Non-Revenue Water, NRW)是漏水管理當中相當重要的指標。減少無收益水費(NRW)的第一步，就是從整體上認識整個供水系統。國際水協會(International Water Association, IWA)制訂了國際標準水量平衡表的組成要素和專業術語(如表一)，表一的標準水量平衡表已被世界上多個國家相繼採用。

表一、(a) IWA 標準水量平衡表(2) (原文)

System Input Volume (corrected for known errors)	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption	Billed Metered Consumption (including water exported)	Revenue Water
			Billed Unmetered Consumption	
		Unbilled Authorised Consumption	Unbilled Metered Consumption	Non- Revenue Water (NRW)
			Unbilled Unmetered Consumption	
	Water Losses	Apparent Losses	Unauthorised Consumption	
			Customer Metering Inaccuracies	
		Real Losses	Leakage on Transmission and/or Distribution Mains	
			Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks	
	Leakage on Service Connections up to point of Customer metering			

表二、(b) IWA 標準水量平衡表 (中文翻譯)

系統供給 水量	合法 用水量	計費 合法用水量	計費計量用水量	收益水量
			計費不計量用水量	
		不計費 合法用水量	不計費計量用水量	無收益水量 (產銷差水量)
			不計費不計量用水量	
	漏損水量	表觀漏損	非法用水量	
			用戶計量不準確	
		實質漏損	輸配水幹管漏失	
			蓄水池之漏失及溢流	
	用戶管段漏失			

無收益水量(NRW)=系統供給水量-計費合法用水量

無收益水量的構成要素含蓋整個供水系統，即從淨水場出水到用戶端的水表，這代表著控制無收益水量乃是自來水所有營運單位的共同責任，而供水企業管理者應該用水量平衡表計算每一個構成要素，進而查明漏水的原因。

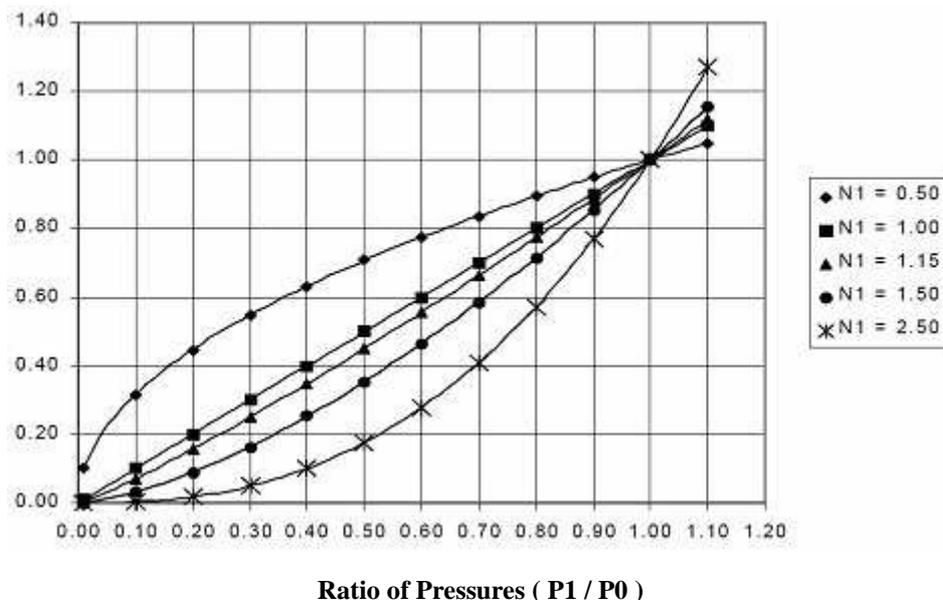
二、漏水評估方法

漏水一般無法直接測得，而需採取兩種互為確認的方法進行評估：(1) 從上至下法；亦可稱為水平衡法，也就是將系統供給水量減去各已知合法用水量及表觀漏水，餘數等於系統的實質漏損量。此過程極易因用水量和給水計量的可靠性影響，造成評估不準確。(2) 由下而上法；亦稱為夜間流量分析法，即是測量夜間最小流量 (Minimum Night Flow-MNF)，然後扣除區域管網中接管用水戶之夜間

合法用水量所得到的數據，最終的最小流量等於系統的漏水量。無論哪種情況，只要經過完善的區域規劃，然後將跨越過界的各幹管均設置關閉的閘門或裝置測量進出區域水量的水表，也將流量數據的採集藉由自動回傳系統，或使用可定期下載的記錄儀表，並且利用收集到的數據處理產生最小流量值，有了最小流量值，便可規劃改善檢漏的先後順序。

三、FAVAD 漏水量理論

根據漏水量理論 (Fixed and Variable Area Discharges-FAVAD)，N1 是水壓管理的重要指標 (如圖三)。



圖一、供水壓力與漏水量關係圖(3)

簡言之，N1 值越大，小區內實質漏損便隨著水壓變化程度而增加。根據吳珊、劉彥輝等 (2007) 便提出：「管徑越大，透過壓閥控制壓力，對管線漏水率控管的幅度便越大。」我們可以得知，在相同破損面積中，壓力的變化會影響漏水量的高低。

壓力 p 與漏水量 q 的關係可以制定為 $q=f(P^{N1})$ 。公式中變數 N1 代表破損面積的大小，而相對的漏水量會因為破損面積而呈現等比級數的增加。自來水管線中也會因裂縫、水垢、和高程差異，佈滿著不平均的壓力，然而壓力控制的精準度也會影響管線供水的品質與效率。

根據漏水的流量與壓力成正比關係下，若出水壓力愈小，相對漏水流量愈小。因此，對於漏水率之改善，適時的調水操作乃是必須的。理論上，水壓及漏水流量關係中的漏水量理論 (FAVAD- Fixed and Variable Area Discharges) 漏水量理論 QL (Volume/unit time) varies with Pressure N1 最簡單型態：

$$Q \frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1}$$

L 為漏水量，P 水壓，N1 為參數，故漏水量將隨水壓變大而加大。

4、小區管網建置實例

自 96 年即規劃與建置復興路地區的小區管網，小區管線長度總計為 6.5 公里、用戶數為 1023 戶，符合分區管網建置作業的規劃原則。初期規劃時，此小區僅建置 C 級電子水量計，並且進行兩個月一次的抄表對比，然後偶爾佐以水表記錄器從凌晨 2 時至 4 時之間的夜間最小流進行推估管線漏水量。因為兩個月比對一次的時程過久，且因規劃初期經驗值不足，造成小區建置之區域多有重疊之處，並因規劃之範圍過大不易進行小區檢測，初期執行不見對等之效益。第四區營運所與漏水防治大隊研討研究後，再度尋找合適地點進行切割小區，並訂為碧山小區為最合適之區域，整體規劃且切割後小區管線長度為 4.82 公里、用戶數為 501 戶，縮小範圍進行小區管網建置後，此時的區域範圍更適合小區管網之研究。

碧山小區建置小區管網時，全面選用裝置自備電源之 C 級計量的電子水量計，搭配自備電源之資料無線傳訊設備，即時地將流量及壓力數值回傳至研究中心，至此管理者便能得到最即時的流量與壓力數值，以便立即分析數據，作出重要的決策，表一乃小區建置之差異分析及策略執行表。

期別 (年/月)	用戶抄見 量(CMD)	總表抄見量 (平均每日量)	差異水量 (CMD)	差異比 率%	差異原因分析及策略執行
98/12	301.1	510.8	209.60	41.05	因復興小區範圍過大不易進行小區檢測，故經與漏水防治大隊研討後，於碧山路義成橋處切割為一小區，裝置自備電源的 C 級電子水量計及壓力計並以 GSM 無線將現場之流量及壓力值回傳。
99/02	278.6	961.9	683.30	71.04	關閉制水閥測試，確認小區是否封閉；重新調整用戶抄表，以釐清正確之售水率。
99/04	314.0	707.3	393.20	55.60	派員夜間聽音檢漏，並進行修漏作業。
99/06	289.2	641.6	352.40	54.93	漏水率仍高.擬再加強檢測漏;但判斷管線過於老舊,檢、修漏效益不彰,故管線汰換計劃
99/08	312.7	485.6	172.90	35.61	1.抽換管線中.俟抽換完成.再加強檢測漏 2.經檢漏碧山路地區-8 處漏水 3.碧山路第三淨水場內-排氣閥損壞更新-1 處 150mm
99/10	300.8	1222.6	921.80	75.40	抽換管線中.俟抽換完成.再加強檢測漏
99/12	293.9	1688.8	1394.80	82.59	抽換管線中.俟抽換完成.再加強檢測漏
100/02	326.9	2436.6	2109.70	86.58	抽換期間，加強檢測修漏

100/04	327.8	1793.9	1466.00	81.72	<p>1、本小區均已完成封閉，汰換管線已完工。因巷內管線並未汰換,主管線未漏水壓力增加,造成巷內漏水變大，反造成漏水量改善並不明顯。</p> <p>2、經派員夜間檢測,發覺保安街、碧山路 1225 巷、碧山路 981 巷、碧山路 1193 巷、陳平巷...流量異常,隨即派員測漏並檢修完成</p> <p>3、檢測漏措施</p> <p>(1)南投縣草屯鎮碧山路 1193 巷 4 號-PVCP 40</p> <p>(2)南投縣草屯鎮碧山路 1213 號前-挖無漏水</p> <p>(3)南投縣草屯鎮碧山路 1144 號前-PVCP 20</p> <p>(4)南投縣草屯鎮碧山路 981 巷口--挖無漏水</p> <p>(5)南投縣草屯鎮碧山路 985-1 號前-50PVCP 殘存管</p>
100/06	347.4	1641.2	1293.70	78.83	<p>1. 因巷內管線並未汰換,主管線未漏水壓力增加,造成巷內漏水變大，反造成漏水量改善並不明顯。</p> <p>2.用戶數由 501 戶調整 628 戶(重新核對用戶數)。</p> <p>3.經多次檢測，仍未達目標，已填寫 34-1 表，請漏水防制總隊協助檢測</p> <p>4.檢測漏措施</p> <p>(1)南投縣草屯鎮碧山路 1193 巷 4 號-PVCP 20</p> <p>(2)南投縣草屯鎮碧峰里碧山路 1193 巷 6 號-PVCP 20</p> <p>(3)南投縣草屯鎮碧峰里碧山路 1173 巷 6 號-PVCP65</p> <p>(4)南投縣草屯鎮碧峰里碧山路 1170-5 號-PVCP13</p>
100/08	352.3	1181.3	829.00	70.18	<p>1.本小區均已完成封閉，汰換管線已完工。</p> <p>2.用戶數由 501 戶調整 628 戶(重新核對用戶數)。</p> <p>3.經派員夜間檢測,發覺保安街.碧山路 1225 巷.碧山路 981 巷.碧山路 1193 巷.陳平巷...流量異常,隨即派員測漏並檢修完成</p> <p>4.檢測漏措施</p> <p>(1)南投縣草屯鎮碧山路 1123-1 號前-PVCP 20</p> <p>(2)南投縣草屯鎮碧山路 1096 號邊-PVCP 20</p> <p>(3)南投縣草屯鎮碧峰里碧山路 1191 號-PVCP40</p>

5、小區管網之即時監測系統建置

除了完善的規劃所建置之區域，小區管網之建置更是不可缺少自備電源之 C 級計量的電子水量計（如圖 4），與自備電源之傳訊設備（如圖 5），以及現場所裝置的儀表箱（如圖 6），以上這些都是小區管網即時監測系統必備的裝置。自備電源的 C 級電子水量計比 B 級計量等級的水量計更能確保精確計量，並且適合用於探查尖、離峰流量之差異，也能配合夜間最小流（Minimum Night Flow-MNF）的應用，並且能大幅減少因不感流量無法得到真實漏水之數據。自備電源之傳訊設備則能除去設立電線桿的麻煩，免電力、免電費、免專線費用等多項優點，抄表員更是不需要至水量計裝置現場抄表，管理者更是能藉由密集記錄流量與壓力之數值，每日獲得小區最正確且立即的數據資料的資訊。然而台灣天氣多潮溼並且天氣炎熱，C 級計量之電子水量計與自動傳訊設備最適合安裝於儀表箱，且此儀表箱兼具防水、抗高溫、抗雜訊之功能，保證通訊之穩定。



圖 4- 自備電源 C 級橫軸奧多曼式電子水量計現場建置圖



圖 5 橫軸奧多曼式水量計傳訊設備圖
(自備電源)



圖 6 現場建置儀表箱

即時監測系統之圖示分析

以下各式瞬間流量與壓力趨勢圖之數值皆取自於碧山小區，由以下的圖示可以得知管理者可以根據瞬間流量與壓力之趨勢圖作出不同的資料分析，而每一種分析方式都有助於管理者判斷小區建置之成效，並且即時監控輸配水管線之現況。

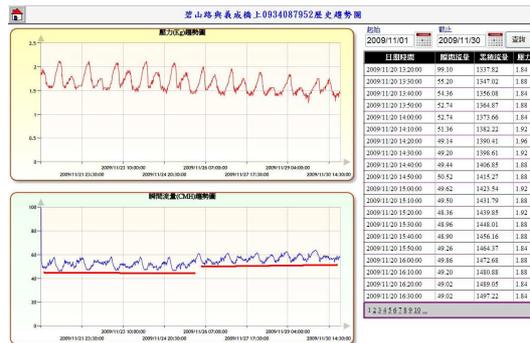


圖 7 98 年 11 月 20 日瞬間流量與壓力的歷史趨勢圖

根據碧山小區所建置的即時監測系統所得到的歷史趨勢圖（如圖 7），得知 98 年 11 月 20 日所偵測的數據資料。此圖示中可以清晰的得知瞬間流量從 40 CMH 逐漸上升至 50 CMH，由於壓力數值並無呈現等比的上升，由此可得知此區域之漏水有逐漸增加之趨勢。若是管理者能夠及時得到此數據之分析趨勢圖，漏水地區之管線的修復便可立即進行，管線漏水便不會繼續惡化。

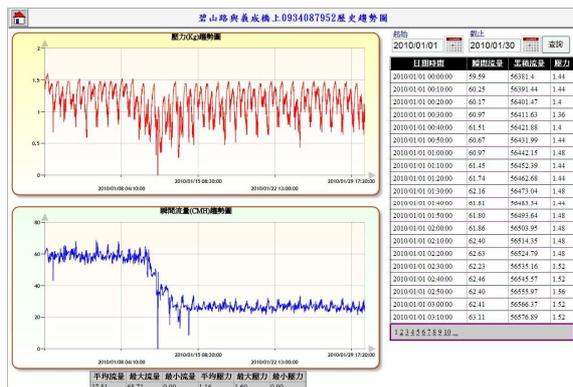


圖 8 99 年 1 月 1 日瞬間流量與壓力的歷史趨勢圖

圖 8 所顯示的歷史趨勢分析圖可以清楚的指出，該區域 99 年 1 月的瞬間流量由 60 CMH 大幅減少至 30 CMH，30 CMH 所代表的乃是每日約減少 720 噸的供水，以每噸水約為 10 元計算，自來水事業單位每日約少收 7200 元的水費，每月則約為 21 萬 6 千元，每年則少收取 250 萬的水費。若是管理單位無法運用即時監測管理系統，每年各區處的收益則大幅減少，管線漏水的修復作業與供水與壓力的運用則難以改善。

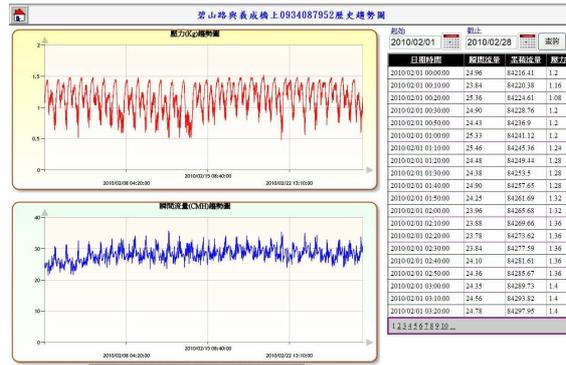


圖 9 99 年 2 月 1 日瞬間流量與壓力的歷史趨勢圖

根據圖 9 所呈現的瞬間流量與壓力歷史趨勢圖，可以得知壓力與瞬間流量並沒有呈現正比的趨勢，圖表數值顯示壓力值越來越大，但是瞬間流量的變化則相差無幾。由此可知，此區域的管線漏水有回復的趨勢。此時管理者若能及時發現此現象，便可立即改善管線復漏的現象，減少浪費水資源，改善營運之成效。

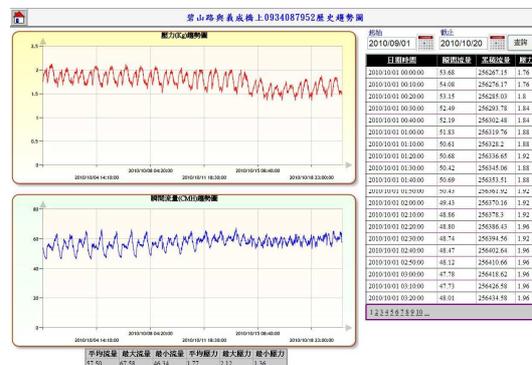


圖 10 99 年 10 月 1 日瞬間流量與壓力的歷史趨勢圖

根據圖 10 的歷史趨勢圖，管理者可以輕易的發現管線施加的壓力沒有超過 1 倍，但是瞬間流量的卻由 24 CMH 大幅提升至接近 50 CMH 的數值。由此可知，流量與壓力並沒有呈現正對比，由此可判定管線漏水的現象又開始惡化，此區域的漏水現象又回復至建置時的漏水量。此時，管理者若無法及時派遣人員前往修復管線漏水現象，每日將有許多可用的水源浪費於無形之中，此區域的管理處也將浪費許多營運成本，然後售水率也無法跟著提升。若是管理者能經由此管理系統，及時作出管線修復的決策，每日便可節省許多成本費用，以達節流之效益。

圖 11 所呈現的為 100 年 3 月 1 日管線汰換的工作時間，根據此瞬間流量與壓力之趨勢圖，管理者能得知管線修復的現況，並且加以判斷管線修復的工作是否正常。此外，管理者還能根據此趨勢圖

得知最大流量、最小流量、最大壓力、最小壓力、平均流量與平均壓力等數值，並且記錄流量與壓力之數值，將管線汰換前後的時段的流量與壓力進行對比之作業，藉以評斷此區之流量與壓力值是否正常呈現正比值，並且進行管線作業效益之評估。

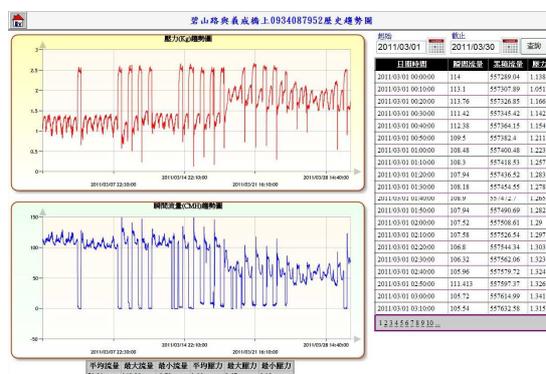


圖 11 100 年 3 月 1 日瞬間流量與壓力的歷史趨勢圖

圖 12 所呈現的數據乃是 100 年 7 月 1 日所記錄的瞬間流量與壓力趨勢圖，跟據此份趨勢圖之數據可以得知瞬間流量已大幅下降，每日已減少 600 噸的漏水量，這便是修漏的最大效益。每日管線減少約 600 噸的漏水，每月便可減少 18 萬噸的漏水，營運成本便可大幅提小。由此可知，即時找出管線漏水之處，早日進行管線破損之修復作業，便能為自來水事業單位減少相當可觀的營運成本。然而流量與壓力的數值分析與效益評估，都需藉由小區管網即時監測系統的建置，以利自來水事業處長期的發展。

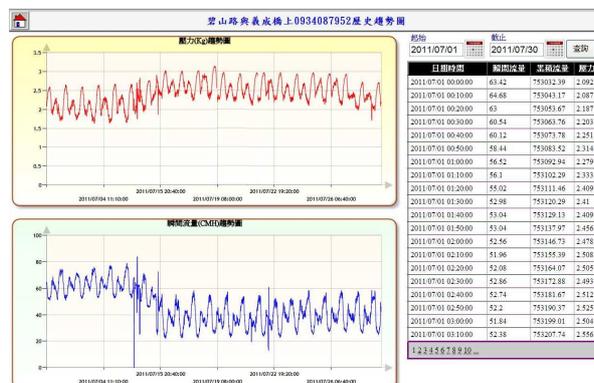


圖 12 100 年 7 月 1 日瞬間流量與壓力的歷史趨勢圖

6、結論與建議

小區管網的建置將是未來水資源管理的趨勢與主流，小區管網對於未來北、中、南區域的水資源管理系統建置也將扮演重要的角色，若能經由整體性的規劃與建置，各區域之水資源管理系統將能邁向更即時及迅速的管理模式。然而，小區管網的建置因先行規劃與分析，進行分區總水表設置及計量監測的比對，高感度的 C 級電子式水量計，搭配無線傳訊設備，囿於當今路權（政）管理更加嚴格，須採自備電源以減去設置電力電桿之工事與成本，此在小區管理上功不可沒。再者，後續的檢修漏、

管線更生及整合輸配水管線之設備，進而比對分區總表與分表，判別輸配水管線的漏水率，最終進行資料彙整與效益分析。

此外，小區管網之即時監控系統縱然有實質上的效益，並且能協助管理者及早發現管線破損之現況以便進行後續之修復動作，但小區管網之建置乃是長遠之計，因管線破管發生之因素難以掌握，故後續之探究乃有其重要性，以其確實掌握售水率達成之目標。

根據草屯碧山小區之小區管網實例研究，可以得到以下幾項結論：

(一) 即時發現管線漏水現象，即刻派遣人員前往修復，減少無收益之水費，改善整體售水率，提升自來水事業單位整體營運績效

(二) 隨時掌握各別區域之瞬間流量與壓力的變化值，並根據歷史紀錄資料，進行有效數據之比對，進而改善管線供水壓力之運用

(三) 多樣性的瞬間流量與壓力數值的記錄與運用，可供不同型態之小區運用，提升小區管網之建置效益

本研究因人力、財力、物力的不足，故無法提供更詳細之研究數據，整個研究期間也因時間之限制，無法蒐集長期的流量與壓力數值。然而，目前全台小區管網建置區域的實例不多，故此研究結論希望能對後續全台小區管網建置有些許貢獻，並以本實例研究之方式提供後續研究人員與建置人員相關小區之資訊，以期對全台之小區管網的建置及效益有所幫助。

7、參考文獻

1. 供水管道壓力調控對漏水量影響的試驗研究，吳珊;劉彥輝;張申海;王維燕;馬則中,水利水電科技進展，27卷3期(2007/06)
2. FAVAD 漏水量理論 QL (Volume/unit time) varies with Pressure $N1$; $Q L_1/QL_0 = (P_1/P_0)^{N1}$ 資料來源：Roland Liemberger, Bristol Water Services Ltd.
3. 實際估算水量估算方法之研究,周國鼎 第 27 屆自來水研究發表會論文集
4. 如何估算自來水漏水量,周國鼎,2010 水利產業研討會
5. 自來水區域計量水量計與壓力監測管理系統建置探討,林清鑫 2009 水利產業研討會
6. Water Loss Control Manual 供水漏損控制手冊,Julian Thornton 著,周律;周玉文、邢麗貞譯
7. 廿一世紀供水漏損控制,黃佑仲 台灣弓銓企業股份有限公司 董事長
8. IWA Water Loss Task Force, Practical Approach Initiatives to Water Loss Reduction, Water 21 (2003)
9. IWA Water Loss Task Force, Assessing Non-Revenue Water and its Components : A Practical Approach, Water 21 (2003)
10. IWA Water Loss Task Force, Managing Leakage by Managing Pressure – A Practical Approach, Water 21 (2003)
11. IWA Water Loss Task Force, Leakage Detection Practices & Techniques – A Practical Approach, Water 21 (2003)
12. IWA Water Loss Task Force, Managing Leakage by District Metered Areas, Water 21 (2003)
13. IWA Water Loss Task Force, Assessing Real Losses, including Component Analysis and Economic Considerations : A Practical Approach, Water 21 (2003)

14. IWA Water Loss Task Force, Apparent Water Loss Control, Water 21 (2003)
15. IWA Water Loss Task Force, Best Practice Performance Indicators for Non-Revenue Water and Water Loss Component : A Practical Approach, Water 21 (2003)
16. Alegre, H., Baptista, J. M., et al., Performance Indicators for Water Supply Services, IWA Publishing (2006)