

出國報告（出國類別：開會）

## 2016 年第五屆亞洲漏水防治 論文發表暨研討會

服務機關：經濟部台灣自來水股份有限公司

姓名職稱：陳昭賢 工程師兼隊長

林志憲 課長

派赴國家：印尼（雅加達）

出國期間：105 年 9 月 5 日 至 9 月 8 日

報告日期：105 年 11 月 1 日

## 摘要

無收費水量(Non-Revenue Water, NRW)為進入供水管網的水量與向用戶收取水費的水量之間的差額，世界銀行(World Bank)估計在發展中國家每天有 4,500 萬立方公尺水經由供水管網漏水損失，而這些水量足以供應 2 億人使用。在亞洲城市的水公司，亞洲開發銀行(Asian Development Bank) 估計每年的 NRW 為 290 億立方公尺，造成水公司每年損失近 90 億美元。因此，有效管理 NRW 已成為全球迫切的議題。

台灣自來水公司 2015 年之漏水率為 16.63%，NRW 比率為 24.73%。依據經濟學人雜誌 2012 年所做全球綠色城市調查評比 (Green city index)，高於美國及加拿大地區 27 個城市 2011 年平均漏水率 13%，惟尚低於亞洲地區 22 個城市 2011 年平均漏水率 22%。「降低漏水率計畫 (2013 至 2022 年)」刻由台灣自來水公司積極辦理管線汰換、地理資訊系統建置、檢漏作業、修漏作業及擴大民間參與技術服務等工作，預計於 2022 年將降低漏水率至 15%。

本次參與第五屆亞洲漏水防治會議(Water Loss Asia 2016)於 2016 年 9 月 6 日至 7 日於印尼雅加達舉辦，主要行程包括第一日的論文發表(林志憲: SessionB2 第一位；陳昭賢: Session A3 第三位)及第二日的降低漏水率研討會

本次研討會提出許多的漏水防治及 NRW 評估與降低的方法，這些都是非常有用的方法，但是無論是印尼或是馬來西亞的水公司，尚無法全盤施行，而多以部分試辦的方式執行，且試辦的成果仍有待討論，在台灣亦有相同的情形。其中原因就如會議中主持人 Gary Wyeth 的回應，這些方法對於水公司或供水事業單位而言都是投資，而在水價普遍偏低且政府將其視為公共政策的一環，水公司或供水事業單位是否有足夠的資金可以挹注於此並且願意長期投資，又政府部門的相關配套措施是否能配合，都是重要的影響因素。另外各國環境不同，許多技術需因地制宜，進行修正才可運用於不同區域。因此，水平衡分析與 NRW 策略應用於台灣，仍有許多值得研究與改進之處。

# 目 錄

壹、目的.....	7
貳、過程.....	10
參、心得及建議.....	46

# 圖 目 錄

圖 1 本報告作者在會場程序表前留影 .....	9
圖 2 台灣自來水公司採用 IWA 建議方式控制真實漏水 .....	12
圖 3 NRW 界線說明暨估算 .....	13
圖 4 Ranhill 自 2002 年執行未計費水量降低計畫成果 .....	13
圖 5 各城市不同管徑漏水頻率比較圖 .....	15
圖 6 漏水聲傳遞與管徑和距離關係圖 .....	15
圖 7 可偵測漏水聲頻率範圍 .....	16
圖 8 管中檢漏技術示意圖 .....	16
圖 9 漏水偵測數據無線傳輸示意圖 .....	16
圖 10 DMA 區隔步驟圖 .....	17
圖 11 本報告作者論文發表照片 .....	18
圖 12 輸送水量管徑與周長和面積關係示意圖 .....	19
圖 13 自由球測漏技術介紹 .....	19
圖 14 繫鍊測漏技術介紹 .....	19
圖 15 ATB 公司供水情勢管理畫面 .....	21
圖 16 Sofrel 支援智慧型手機管理畫面 .....	22
圖 17 馬來西亞沙巴省 2001~2015 年 NRW 變化情形 .....	23
圖 18 DMA 資料可使用多種方式呈現 .....	23
圖 19 nrwmanager 軟體功能部分畫面擷取 .....	23
圖 20 預測漏水及實地調查成果分布 .....	24
圖 21 場站供應與配送 DMA 水量情形 .....	25
圖 22 ATB 公司 2015 至 2016 年之 NRW 變化 .....	25
圖 23 減壓閥控制系統 .....	26
圖 24 南安國中臨界點水壓與南方澳減壓閥後裝置前後水壓變化情形 .....	27
圖 25 PDAM 水務公司 PRV 安裝控制系統情形 .....	27
圖 26 PRV 安裝 3 段響導閥時間控制結果情形 .....	28
圖 27 Wyeth 顧問商提出 NRW 的組成 .....	28
圖 28 Wyeth 顧問商在關丹所執行的方案 .....	29
圖 29 B 級與 C 級水表偏差曲線 .....	30
圖 30 Sensus 公司的 iPERL 水表及 wMBus 無線傳輸技術方式 .....	31
圖 31 Itron 公司自動讀表介面及超音波水表 .....	32
圖 32 提供計量及水壓管理的 DMA 方案與系統具有水表流量分布分析 .....	32
圖 33 Aetra 水務公司取締非法使用的證物 .....	33

圖 34 漏水分類 .....	35
圖 35 求取 NRW 的經濟準位.....	36
圖 36 ISO4064：1993 水量計分級 .....	38
圖 37 DMAs 的應用情境 .....	39
圖 38 漏水事件發生總時間與單位漏水量的關係 .....	39
圖 39 使用夜間最小流分析來判斷漏水 .....	39
圖 40 使用 NRW 分析水量損失.....	40
圖 41 降低不可避免的實質損失的四個面向 .....	40
圖 42 各國 FAVAD 公式推估的 N1 值與關係圖.....	41
圖 43 水壓與爆管風險關係圖 .....	41
圖 44 應用流量監測及減壓閥調控維持臨界點壓力穩定 .....	42
圖 45 Leak Noise Correlators 的原理 .....	43
圖 46 Trunk Mains 的原理.....	43
圖 47 Fixed Leak Detection 的操作方式.....	43
圖 48 漏水事件修復及影響性 .....	44
圖 49 夾具修漏方式 .....	45
圖 50 BRINKER PLATELETS 修漏方式 .....	45
圖 51 參加本會議台灣出席人員合影 .....	46

# 表 目 錄

表 1 印尼舉辦 2016 年亞洲漏水防治研討會 9 月 6 日議程表 .....	8
表 2 印尼舉辦 2016 年亞洲漏水防治研討會 9 月 7 日議程表 .....	9
表 3 台灣自來水公司依據 AWWA 水平衡計算表 .....	11
表 4 小區內外 NRW 分析表 .....	14
表 5 全球各地區大型管線漏水頻率比較 .....	14
表 6 IWA 水平衡表( water balance analysis table) .....	35
表 7 不同型式水表的準確度 .....	36

## 附 件

附件一、陳昭賢論文發表簡報資料

附件二、林志憲論文發表簡報資料

附件三、出國報告審核表

## 壹、目的

無收費水量(Non-Revenue Water, NRW)為進入供水管網的水量與向用戶收取水費的水量之間的差額，世界銀行(World Bank)估計在發展中國家每天有 4,500 萬立方公尺水經由供水管網漏水損失，而這些水量足以供應 2 億人使用。在亞洲城市的水公司，亞洲開發銀行估計每年的 NRW 為 290 億立方公尺，造成水公司每年損失近 90 億美元。因此，有效的管理 NRW 已成為迫切的議題。

台灣自來水公司 2015 年之漏水率為 16.63%，NRW 比率為 24.73%。依據經濟學人雜誌 2012 年所做全球綠色城市調查評比 (Green city index)，高於美加地區 27 個城市 2011 年平均漏水率 13%，惟尚低於亞洲區 22 個城市 2011 年平均漏水率 22%。「降低漏水率計畫 (2013 至 2022 年)」刻由台灣自來水公司積極辦理管線汰換、地理資訊系統建置、檢漏作業、修漏作業及擴大民間參與技術服務等工作，預計於 2022 年降低漏水率至 15%。

有感於降低漏水率對於台灣自來水公司之重要趨勢，本公司第八區管理處林志憲及陳昭賢分別撰寫論文投稿本研討會，並均獲審查通過排進大會之口頭簡報議程。另為瞭解各國執行降低漏水率之成功案例並作為台灣自來水公司參考借鏡，且本研討會綜整世界各國供水損失管理策略、檢測漏技術與實務、分區計量及先進降漏技術與成功案例，將為台灣自來水公司後續推動降低漏水率業務之重要依據。

本次參與第五屆亞洲漏水防治會議(Water Loss Asia 2016)於 2016 年 9 月 6 日至 7 日於印尼雅加達舉辦，主要行程包括第一日的論文發表(林志憲: SessionB2 第一位；陳昭賢: Session A3 第三位)及第二日的降低漏水率研討會。會議行程如表 1、表 2 所示。

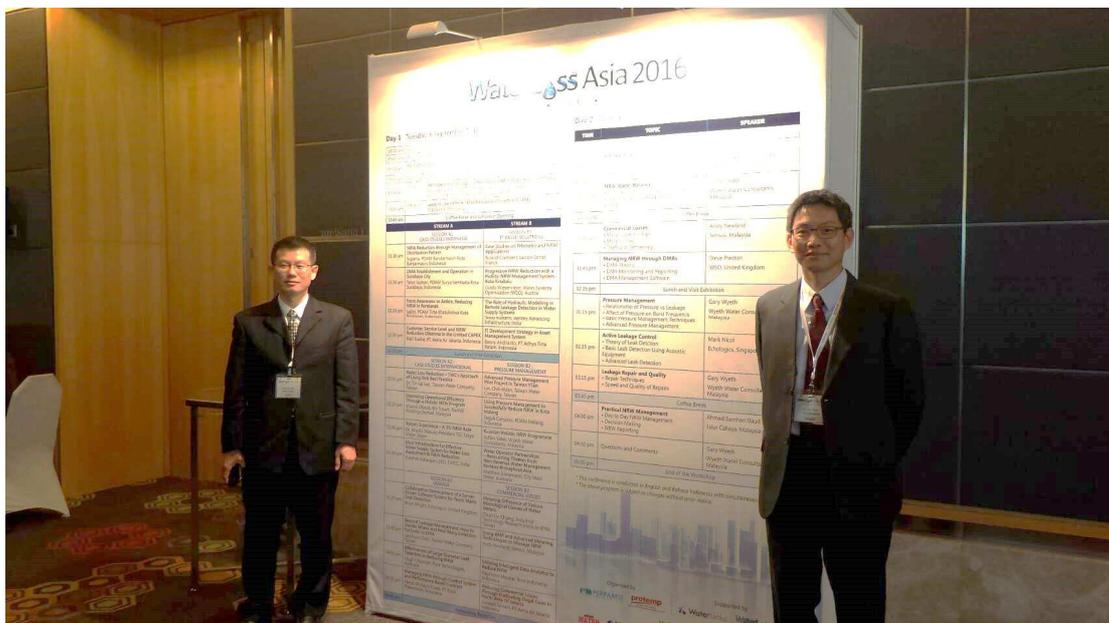
表 1 印尼舉辦 2016 年亞洲漏水防治研討會 9 月 6 日議程表

08.00 am	Registration	
09.00 am	Welcome Remarks by Chairman PERPAMSI	
09.00 am	Keynote Address by Mr. Cahyo Kumolo, Minister of Home Affairs of the Republic of Indonesia	
09.40 am	MOU Signing of Partnerships between PERPAMSI and Australian Water Association (AWA)	
09.45 am	Plenary 1 : NRW Reduction Strategy, Current Status of NRW Regulatory in Indonesia Mohammad Natsir, Director of Water Supply Development, Ministry of Public Works and Housing, Indonesia	
10.15 am	Plenary 2 : Lessons Learnt from NRW Reduction Project in PDAMs PERPAMSI, Indonesia	
10.45 am	Coffee Break and Exhibition Opening	
	<b>STREAM A</b>	<b>STREAM B</b>
	<b>SESSION A1: CASE STUDIES INDONESIA</b>	<b>SESSION B1 : IT BASED SOLUTIONS</b>
11.30 am	NRW Reduction through Management of Distribution Pattern Superia, PDAM Bandarmasih Kota Banjarmasin, Indonesia	Case Studies on Telemetry and NRW Applications Roland Crambert, Lacroix Sofrel, France
11.50 am	DMA Establishment and Operation in Surabaya City Tatur Jauhari, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, Indonesia	Progressive NRW Reduction with a Holistic NRW Management System - Kota Kinabalu Guido Wiesenrieter, Water Systems Optimization (WSO), Austria
12.10 pm	From Awareness to Action, Reducing NRW in Pontianak Lajito, PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak, Indonesia	The Role of Hydraulic Modelling in Remote Leakage Detection in Water Supply Systems Tanay Kulkarni, Bentley Advancing Infrastructure, India
12.30 pm	Customer Service Level and NRW Reduction Dilemma in the Limited CAPEX Hari Yudha, PT. Aetra Air Jakarta, Indonesia	IT Development Strategy in Asset Management System Benny Andrianto, PT Adhya Tirta Batam, Indonesia
12.50 pm	Lunch and Visit Exhibition	
	<b>SESSION A2: CASE STUDIES INTERNATIONAL</b>	<b>SESSION B2: PRESSURE MANAGEMENT</b>
02.00 pm	Water Loss Reduction – TWC’s Approach of Using IWA Best Practice Dr. Tin-Lai Lee, Taiwan Water Company, Taiwan	Advanced Pressure Management Pilot Project in Taiwan Yilan Lin, Chih-Hsien, Taiwan Water Company, Taiwan
02.20 pm	Improving Operational Efficiency Through a Holistic NRW Program Khairul Effendy Bin Tusam, Ranhill Holdings Berhad, Malaysia	Using Pressure Management to Successfully Reduce NRW in Kota Malang Teguh Cahyono, PDAM Malang, Indonesia
02:40 pm	Tokyo’s Experience – A 3% NRW Rate Dr. Atsyshi Masuko President TSS Tokyo Water, Japan	Kuantan Holistic NRW Programme Sufian Sidek, Wyeth Water Consultants, Malaysia
03.00 pm	Ideal Infrastructure for Effective Water Supply System for Water Loss Assessment & NRW Reduction K.Ashok Natarajan, CEO, TWICL, India	Water Operator Partnerships – Reoccurring Themes from Non-Revenue Water Management Reviews throughout Asia Matthew Gieseemann, City West Water, Australia
	<b>SESSION A3: LEAKAGE</b>	<b>SESSION B3 : COMMERCIAL LOSSES</b>
03.20 pm	Collaborative Development of a Server-Driven Software System for Trunk Mains Leak Detection Brian Wright, Echologics, United Kingdom	Metering Difference of Various Metrological Classes of Water Meters Chun-Lin Chiang, Industrial Technology Research Institute (ITRI), Taiwan
03.40 pm	Beyond Leakage Management: How to Decide Where and How Many Detectors for Leaks in DMA Jaoshyan Chen, Taiwan Water Company, Taiwan	Using AMR and Advanced Metering Technologies to Manage NRW Andy Newland, Sensus, Malaysia
04.00 pm	Effectiveness of Large Diameter Leak Detection in Reducing NRW Hugh Chapman, Pure Technologies, Australia	Utilizing Intelligent Data Analytics to Reduce NRW Raymond Moukar, Itron Indonesia, Indonesia
04.20 pm	Managing NRW through Control System and Performance Based Contract Hendi Muhayin Fuadi, PT Risdil Pratamindo, Indonesia	Reducing Commercial Losses Through Eradicating Illegal Cases in North Area Of Jakarta Junaedi Tamam, PT Aetra Air Jakarta, Indonesia
04.40 pm	Networking Reception	

表 2 印尼舉辦 2016 年亞洲漏水防治研討會 9 月 7 日議程表

TIME	TOPIC	SPEAKER
08.00 am	Registration	
09.00 am	<b>Introduction</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● What is NRW</li> <li>● Why Should we Reduce NRW</li> <li>● The Economics of NRW</li> </ul>	Gary Wyeth Wyeth Water Consultants, Malaysia
09.30 am	<b>NRW Water Balance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● What are the Components of NRW</li> <li>● The IWA NRW Water Balance</li> <li>● NRW</li> </ul>	Sufian Sidek Wyeth Water Consultants, Malaysia
10.30 am	Coffee Break	
10.45 am	<b>Commercial Losses</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Metering Accuracies</li> <li>● Meter Sizing</li> <li>● Theft and Tampering</li> </ul>	Andy Newland Sensus, Malaysia
11.45 pm	<b>Managing NRW through DMAs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● DMA Theory</li> <li>● DMA Monitoring and Reporting</li> <li>● DMA Management Software</li> </ul>	Steve Preston WSO, United Kingdom
12.15 pm	Lunch and Visit Exhibition	
01.15 pm	<b>Pressure Management</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Relationship of Pressure vs Leakage</li> <li>● Affect of Pressure on Burst Frequency</li> <li>● Basic Pressure Management Techniques</li> <li>● Advanced Pressure Management</li> </ul>	Gary Wyeth Wyeth Water Consultants, Malaysia
02.15 pm	<b>Active Leakage Control</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Theory of Leak Detection</li> <li>● Basic Leak Detection Using Acoustic Equipment</li> <li>● Advanced Leak Detection</li> </ul>	Mark Nicol Echologics, Singapore
03.15 pm	<b>Leakage Repair and Quality</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Repair Techniques</li> <li>● Speed and Quality of Repairs</li> </ul>	Gary Wyeth Wyeth Water Consultants, Malaysia
03.45 pm	Coffee Break	
04.00 pm	<b>Practical NRW Management</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Day to Day NRW Management</li> <li>● Decision Making</li> <li>● NRW Reporting</li> </ul>	Ahmad Samhan Daud Jalur Cahaya, Malaysia
04.30 pm	Questions and Comments	Gary Wyeth Wyeth Water Consultants, Malaysia
05.00 pm	End of the Workshop	

圖 1 本報告作者在會場程序表前留影



## 貳、過程

本次研討會主軸是針對自來水公共給水系統的漏水防治技術及輸配管理方法，於亞洲各國不同區域實行的成效與方案進行交流與討論，希望透過相互的學習與案例分享，使與會者能獲得新的想法或技術改良，以達到更好的漏控管理績效。本次參與的國家包含有印尼、馬來西亞、新加坡、澳洲、印度、日本、台灣、英國及法國等國的專家學者、自來水事業單位代表及相關事業廠商。議程安排第 1 天，由印尼供水協會(PERPAMSI)主席 Mr. Rudie Kusmayadi 與印尼政府掌管水資源管理的內政部長 Mr. Cahyo Kumolo 開場，並安排 1 位印尼官員及水協人員報告印尼在公共給水的管理與漏水防制上的基礎建設改善、作法及初步成效，印尼的供水協會並與澳洲自來水協會(Australian Water Association, AWA)簽訂合作備忘錄，並由澳洲水協主席發表致詞。其後開始進行分組演講及討論，主要議程分成 Stream A 的印尼及國際上漏水防治案例分享與漏水議題與 Stream B 的 IT 應用、壓力管控及商業漏水等議題進行論文發表及討論。以下分別就重要相關議題簡要說明。

### Session A2: 國際案例研究

#### 1. Water Loss Reduction- TWC' s Approach of Using IWA Best Practice (演講者：台灣自來水公司漏水防治處 李丁來處長)

介紹台灣自來水發展的概況及目前統計資料，如供水系統、設施容量、供水量、售水量、管線長度、供水普及率等，並說明關鍵的挑戰如老化的設施、低廉的水價、乾旱、都市集中化、服務品質及供水管網效能。

依據 AWWA 水平衡計算，2015 年售水率為 75.27%、無收費水量為 24.73%，漏水率為 18.92%，漏水原因分析最主要為路面震動及管線腐蝕。

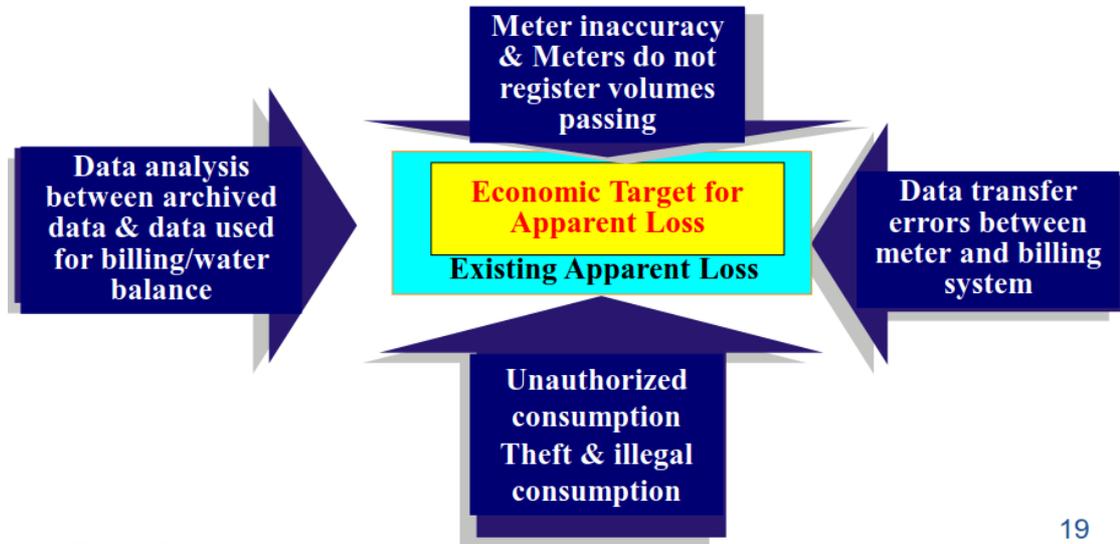
表 3 台灣自來水公司依據 AWWA 水平衡計算表

Water Own Sour. 2.978B (95.5%)	Sys. Inp. 3.119B (100%)	Water Exp. 0	Aut. Cons. 2.5B (81.07%)	Billed Aut. Cons. 2.348B (75.27%)	Billed Water Exported 0		Revenue Water 2.348B (75.27%)	Revenue Water 2.348B (75.27%)
					Billed Metered Cons. 2.347B(75.26%)	Billed Unmetered Cons. 0.001B(0.01%)		
Water Imp. 0.14B (4.52%)		Water Sup. 3.119B (100%)	Water Losses 0.59B (18.92%)	Unb. Aut. Cons. 0.181B (5.80%)	Unb. Metered Cons. 0.003B(0.01%)	Unb. Unm. Cons. 0.1806B(5.79%)	Eff. Unb. Cons. 0.252B (8.1%)	NRW 0.771B (24.73%)
				App. Losses 0.071B (2.29%)	Cust. Met. Inac.& Sys. Data Handling 0.067B(2.14%)			
				Real Losses 0.519B (16.63%)	Leakage from Serv. Con. Up to Customer Meter		Leakage 0.519B (16.63%)	
					Leakage and overflow at TWC Storage Tank			
								9

台灣自來水公司啟動降低漏水率十年(2013-2022)計畫，預計 10 年內要將國內的自來水管線漏水率，從原來的 20%降到目前 17%(2015)至 15%(2021)以下，目標在十年內達成減少漏水 10 億立方公尺，約為五座石門水庫的蓄水量。降低漏水十年計畫分為四個策略，從「水壓管理」、「提升修漏速度及品質」、「主動漏水控制」、「管線資產維護」等處著手。以前三項措施優先處理，如果漏水仍嚴重，就會進入第四個方式，也就是汰換管線。

圖 2 台灣自來水公司採用 IWA 建議方式控制真實漏水

■ **TWC adopts the international practices that are promoted by the IWA Task Force to manage apparent losses**

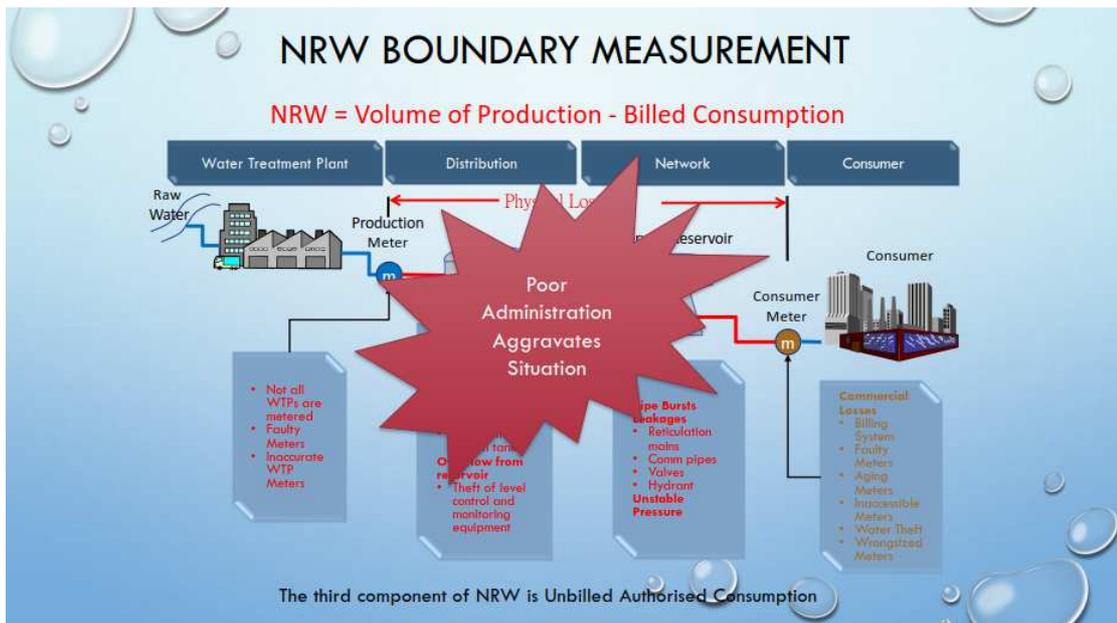


19

2. **Improving Operational Efficiency Through a Holistic NRW Program (演講者：Khairul Effendy Tusam)**

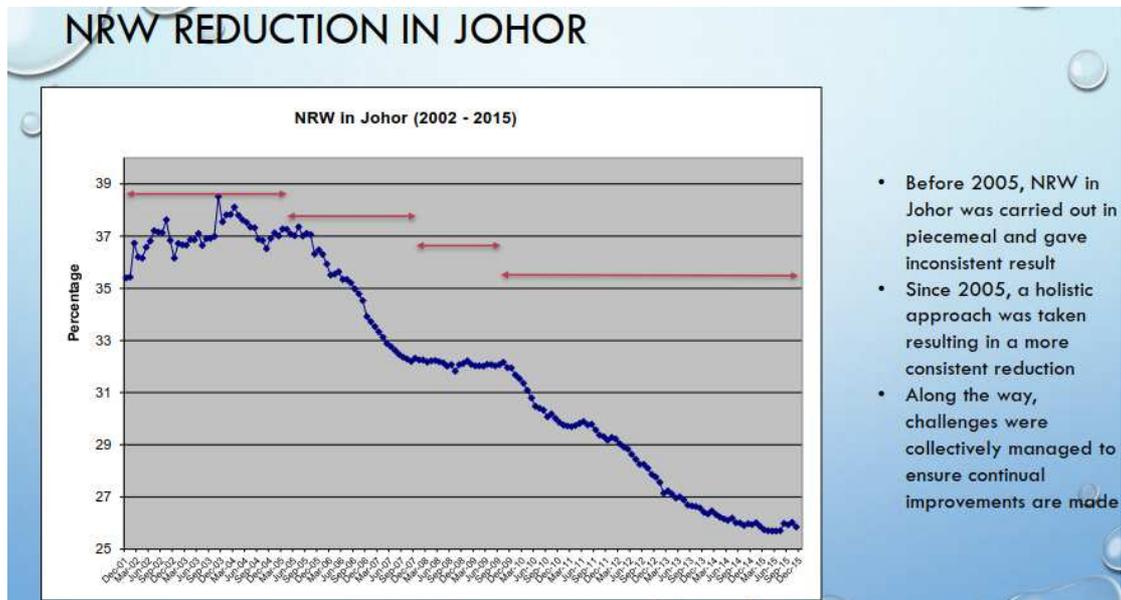
利用未計費水量(NRW)的水準作為量測自來水事業單位操作效率的指標，可以瞭解所生產和所計費水量的差異，而完整的未計費水量管理需要考量實體(physical)和行政(administrative)兩大完整區塊的執行。實體的完整涵蓋所有供水系統的組成，從淨水廠到顧客端的水表及計費。行政的完整涵蓋所有的單位及程序以達成未計費水量的管理成功，包括政治、領導經理人、技術專家、預算、體認、承諾及策略。

圖 3 NRW 界線說明暨估算



Ranhill(馬來西亞)執行本方案(未計費水量降低計畫)自 2002 年,至今已超過 10 年。經過 4 個階段降低未計費水量達每日 212 百萬公升,未計費水量率自 37%降至 25.5%。

圖 4 Ranhill 自 2002 年執行未計費水量降低計畫成果



## Session A3: 漏水

### 1. Collaborative Development of a Server-Driven Software System for Trunk Mains Leak Detection (演講者：Brian Wright)

在馬來西亞 Selangor 專案執行的經驗，NRW 計畫均在分區計量(DMA)內執行，而 NRW 由 42.8%降低至 32.3%(2005-2011)，但又逐漸增加至 34.6%(2014)，雖然小區內 NRW 降低，但是小區外卻快速成長，經評估區外 NRW 為區內的 2.3 倍。

表 4 小區內外 NRW 分析表

#### Strategy to focus Outside DMZ

Percentage coverage of account and pipe network within Client's DMZ/PMZ: 65% and 57.3% respectively.

No	Description	Total DMZ/PMZ / WBA	Pipe Length (km)	% pipe length coverage	Total accounts (nos)	% accounts coverage	SIV (m3/d)	NRW (m3/d)	NRW (%)
1	Inside DMZ	1,182	14,905.6	57.3%	1,262,616	65.0%	1,778,504	484,334	27.2%
2	<b>Outside DMZ</b>		<b>11,094.4</b>	<b>42.7%</b>	<b>680,293</b>	<b>35.0%</b>	<b>2,882,950</b>	<b>1,124,531</b>	<b>39.0%</b>
3	TOTAL		26,000	100.0%	1,942,909	100.0%	4,661,453	1,608,866	34.5%

NRW level **outside** DMZ is x2.3 higher than **inside** DMZ

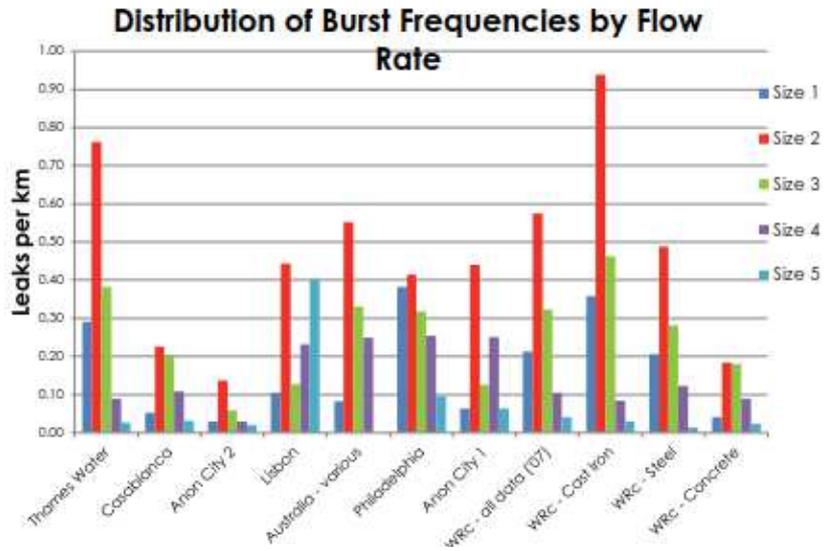
大型管線漏水嗎？依統計數據來看確實需注意。

表 5 全球各地區大型管線漏水頻率比較

Region	Distance (km)	# Leaks	Leaks/100 km
Worldwide	3,221	2,966	92
Europe	1,583	2,023	128
North America	711	496	70
Africa	383	244	64
APAC	298	150	50
Latin America	186	40	22
Middle East	60	13	22

Source: Laven & Lambert, Water Loss 2012, Manila

圖 5 各城市不同管徑漏水頻率比較圖



大型管線漏水偵測比一般配水管往更不容易進行，其挑戰如下：

- 大多數檢漏設備設計用於偵測配水管漏水，於大型管線卻不易進行
- 大型管線傳輸頻率不同
- 大型管線有更多的環境噪聲（交通、水流聲音）
- 聲音在大型管線衰減快
- 更少的管線附屬物(如制水閥、消防栓等)可供使用

圖 6 漏水聲傳遞與管徑和距離關係圖

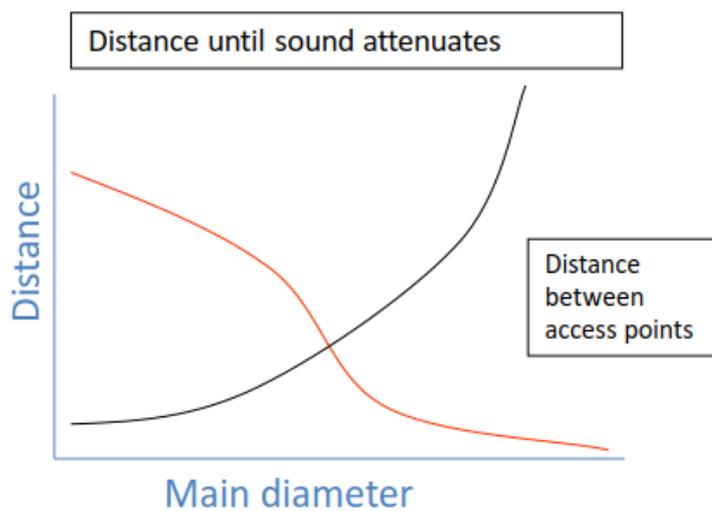
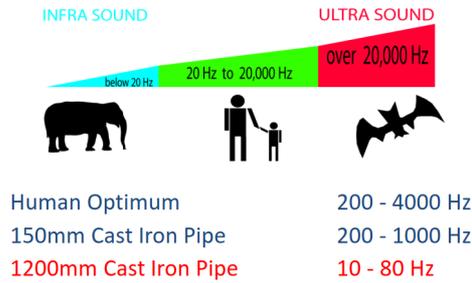
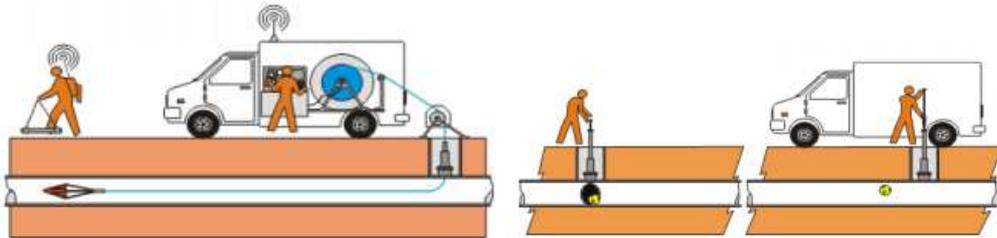


圖 7 可偵測漏水聲頻率範圍  
Trunk Main Leak Detection Challenges



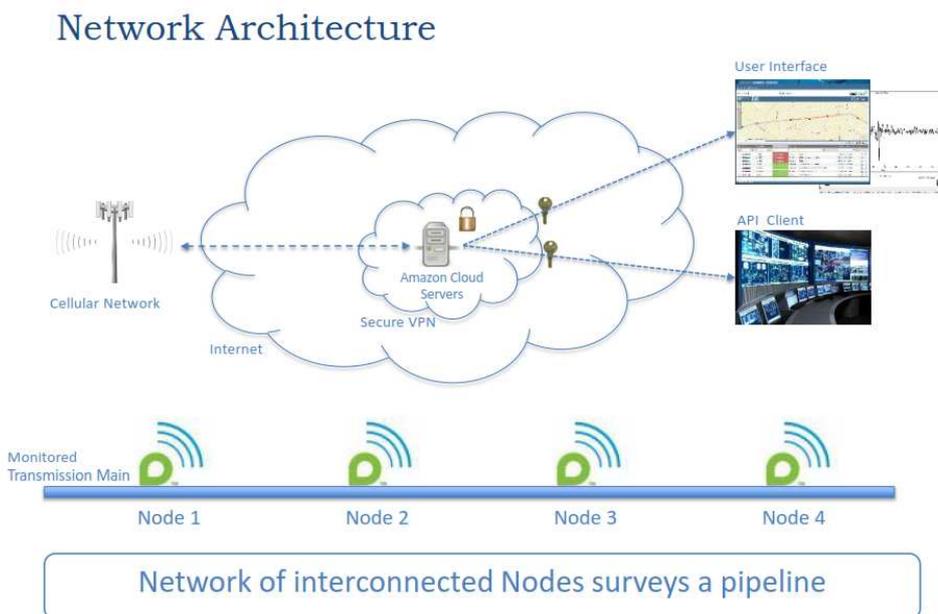
目前市面上可用的大型管線管中檢漏技術，已被證實能成功檢漏，但是在操作上的挑戰(流量、流速、偵測器取出等)必須克服，也須有經有專業訓練的操作者及許多配合作業人員在現場才能執行。

圖 8 管中檢漏技術示意圖



本計畫採 Echoshore® -M 於大型管線一定距離佈設一只偵測器，透過無線網路將偵測數據傳輸回資料中心分析，當有漏水發生時自動發生警報通知人員前往處理。

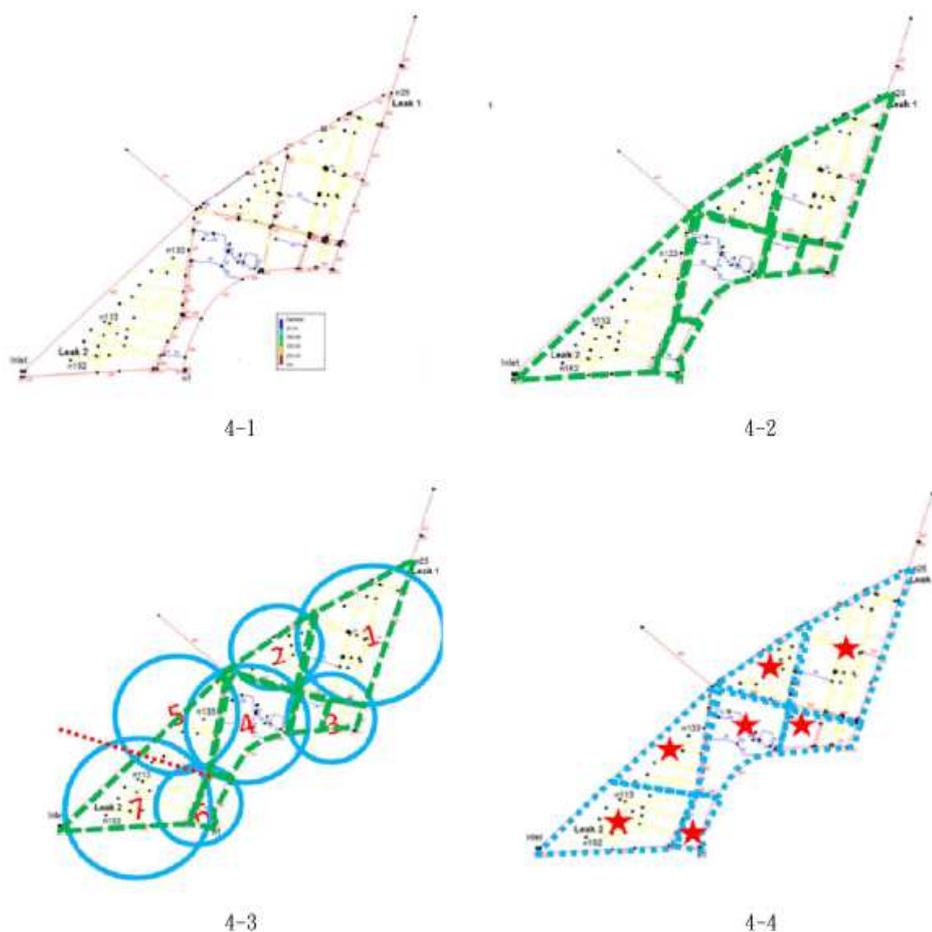
圖 9 漏水偵測數據無線傳輸示意圖



## 2. Beyond Leakage Management: How to Decide Where and How Many Detectors for Leaks in DMA (演講者：台灣自來水公司第八區管理處管線隊 陳昭賢，簡報內容詳附錄)

自來水漏水不僅浪費寶貴的水資源，而且增加自來水業者的成本，傳統上在供水管網搜尋漏水位置是一件勞力密集的工作，即使輔以最新的技術或設備，例如漏水相關儀、噪音記錄器等，這項工作仍需要昂貴的儀器和專業的技術人員來執行。雖然分區計量管網(District Metered Area, DMA)的建置能協助自來水業者縮減搜尋漏水的範圍和時間，但是確認漏水的位置一直以來仍不是件簡單而容易完成的任務，使用監控系統(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)所傳輸的現場即時資料及供水網路數值模型，可協助解決上述困境。根據小區的配水流量資料比對歷史供水量合理範圍，自來水業者可依管網狀況設定小區是否漏水的標準，當確定有漏水發生時，就需要將漏水點位置確定以修漏。而供水管網數值模型需要在小區內設置一定數量與正確位置的壓力偵測器，始能藉由比較分析各偵測點的模擬預估值和實地測量值的差異，協助找出漏水位置。

圖 10 DMA 區隔步驟圖



本研究的主要目的是在自來水業者有限預算下，提供在小區內設置最少數量和最佳位置的壓力偵測器，以提升漏水定位效率。研究中所發展漏水定位的管網數值模型應用在實際小區，所獲得的成果亦在本文中呈現及討論。

圖 11 本報告作者論文發表照片



本研究在探討有限經費下，為偵測漏水位置所需設置偵測器的問題，以達到所需漏水定位績效。為此發展出基於偵測器可感應水壓下降之小區區隔步驟及方法，所需偵測器的數量視小區區隔(次小區)的數量而定。同時亦討論偵測器在已區隔的次小區中的佈設位置，主要視次小區內住戶的分布狀況而定。上述方式所發展的模式，應用在實地的小區，經由模擬測試確實能適當定位漏水位置，而這樣的方法對自來水事業而言是容易明瞭而簡單易行。

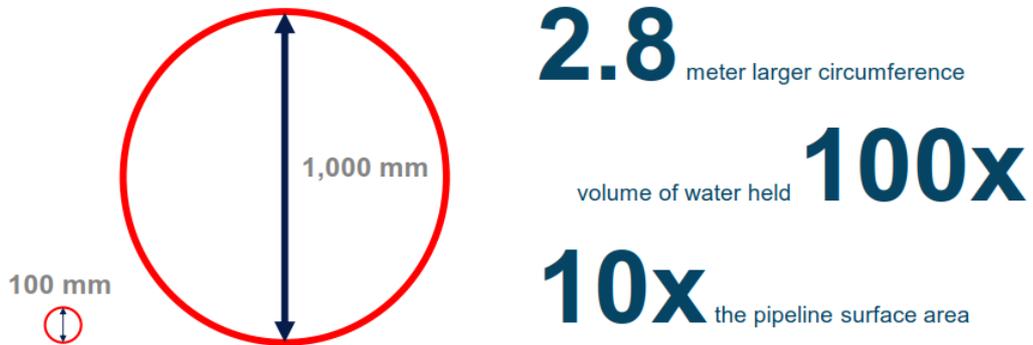
### 3. Effectiveness of Large Diameter Leak Detection in Reducing NRW (演講者：Hugh Chapman)

大管徑漏水為何如此重要？以口徑 100mm 與 1000mm 來比較，其周長僅為 2.8 倍，面積為 10 倍，但其可輸送水量差異為 100 倍。

- 大管徑管線通常不會重複發生
- 輸送明顯可觀的水量

- 漏水可能是災難性故障的前兆
- 長期被忽略，就如同大管徑漏水從未發生，專業技術也從不存在。

圖 12 輸送水量管徑與周長和面積關係示意圖



本計畫介紹自由球(Free Swimming)及繫鍊(Tethered)技術，藉由置入偵測球於管中或由線牽引偵測器進入管中，蒐集管中漏水資訊，如漏水聲或 CCTV 等，以確認是否漏水，簡報中並舉出兩個實際應用案例。

圖 13 自由球測漏技術介紹



## Free Swimming

- Can complete many kilometers per insertion
- All pipe materials (incl. PE, PVC)
- Tracked above ground in real-time; results analyst post extraction
- Finds all leaks (not just the big ones)
- Will soon be able to XYZ map pipelines



12

圖 14 繫鍊測漏技術介紹





圖 16 Sofrel 支援智慧型手機管理畫面

STATIONS		ALARMS	
70001 Adhya Tirta Batam			
1	WTP Playu Ph 1 (F)	02/24/2015 12:00:00	
1	Totalizer		9,184,601.53 m3
1	WTP Playu Ph 1 (F)	02/24/2015 12:00:00	
15	Flowrates		112.76 L/S
2	WTP DRK 1&2 (F)	02/24/2015 12:00:00	
1	Totalizer DRK 1&2 F to Beringin		5,616,588.47 m3
2	WTP DRK 1&2 (F)	02/24/2015 12:00:00	
15	Flowrate DRK 1&2 F to Beringin		845.92 L/S
3	WTP DRK 2 (F/P)	02/24/2015 12:00:00	
1	Totalizer DRK 2 F to Punggur		2,490,798.48 m3
3	WTP DRK 2 (F/P)	02/24/2015 11:45:00	
5	Pressure		7.15 Bar
3	WTP DRK 2 (F/P)	02/24/2015 12:00:00	
15	Flowrate DRK 2 F to Punggur		333.19 L/S
4	Smpg Barelang (P)	02/24/2015 12:15:00	
5	Pressure		3.98 Bar
5	Central Sukajadi (P)	02/24/2015 11:45:00	
5	Pressure		4.59 Bar
6	Coin Centre (P)	02/24/2015 08:00:00	
5	Pressure		2.54 Bar
7	Reankono Indah (P)	02/24/2015 11:45:00	

## 2. Progressive NRW Reduction with a Holistic NRW Management System- Kota Kinabalu

(演講者：Guido Wiesenrieter)

來自澳洲的 WSO 公司 Guido Wiesenrieter 先生，介紹該公司於馬來西亞沙巴省所進行的 DMA 專案，該省的無計費水量(NRW)情形詳圖 17 所示，近年共建置了 130 個 DMAs，更換 19,000 只用戶表，完成 1,500 處修漏作業，辦理 70 個 DMAs 壓力管理，並控管 NRW。該專案實施步驟包含：設計、執行及維護 DMA 區域的計量與供水區域，安裝或確認壓力量測點，積極進行主動漏水檢測及修漏，並提供當地人員培訓，加強用戶水錶更換並列入管理，加速管線更新汰換工作，導入該公司開發的無計費水量管理系統，以利同時管理多個計量分區。該 nrwmanager 系統軟體是基於 DMA 管網進行 NRW 評估及漏水管理，採用 web-based 網路架構，收集 DMA 流量及用戶計量計費數據和 GIS 的所有管線設施及用戶相關資料。再將所有數據進行分析(詳如圖 18 所示)，整合地理圖資，讓數據更具可讀性以提高 NRW 有效管理，並將資料儲存於網路伺服器中，使用者無論是在何處或使用何裝置(手機或平版電腦)詳如圖 19 所示，便可即時進行 NRW 管理。不過他也陳述雖已顯著節省出水量，但 NRW 仍然居高不下，未來的方向將是主動漏水偵測及修漏，並加強非法用水取締，推動智慧水錶及先進式水壓管理，以改善其困境。

圖 17 馬來西亞沙巴省 2001~2015 年 NRW 變化情形

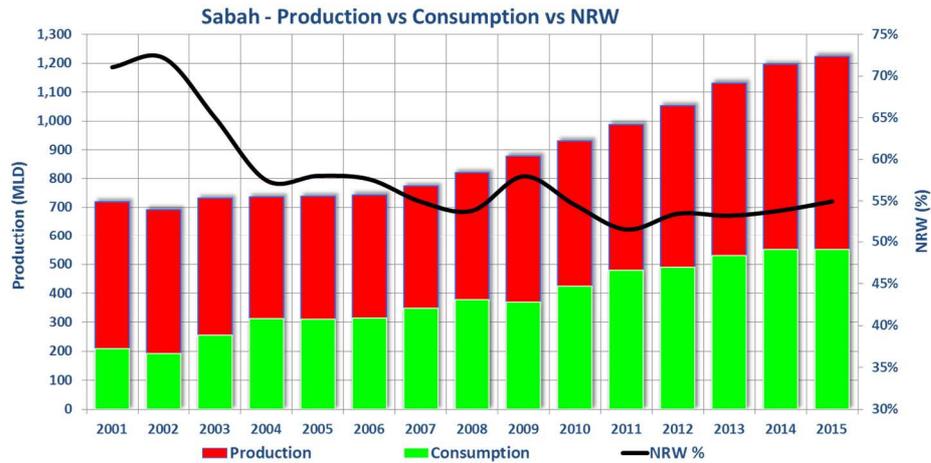


圖 18 DMA 資料可使用多種方式呈現

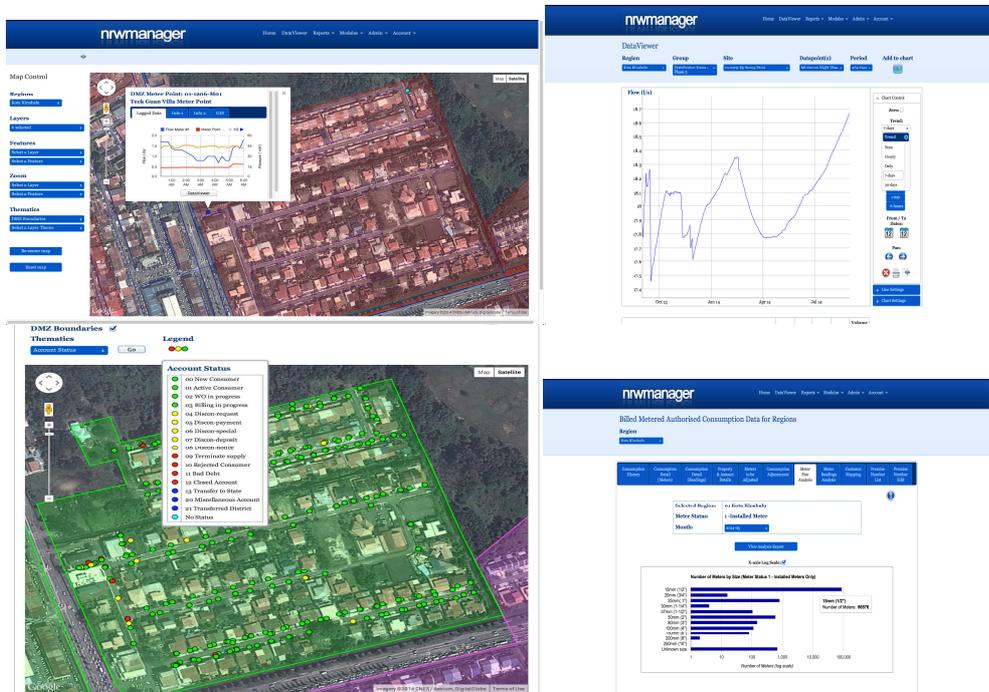


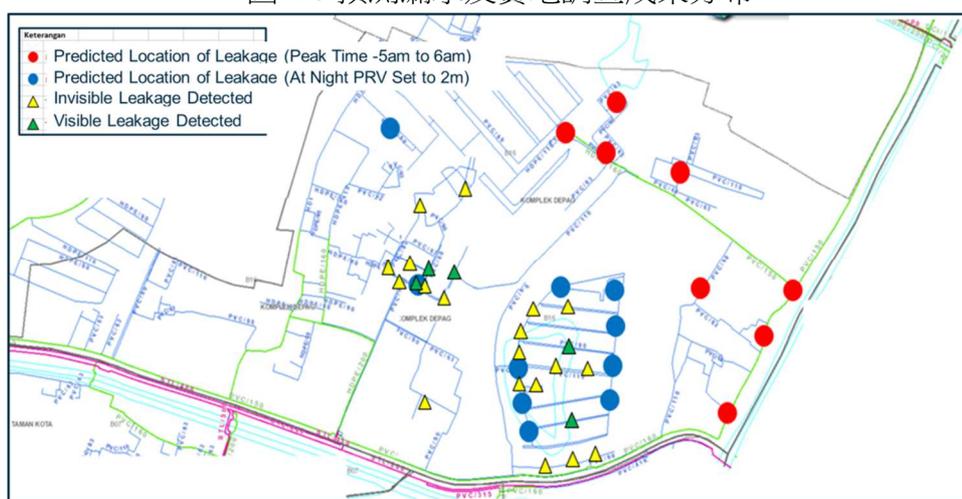
圖 19 nrwmanager 軟體功能部分畫面擷取



### 3. The Role of Hydraulic in Remote Leakage Detection in Water Supply Systems (演講者：Tanay Kulkarni)

來自印度的 Bentley Systems 公司 Tanay Kulkarni 先生則介紹該公司的 Bentley WaterGEMS 管理系統，利用水力模型來計算預測漏水點。該系統係基於先進的遺傳演算法(Genetic Algorithm)電腦計算工具，並以實地量測的壓力與流量數據紀錄，藉由達爾文校正工具(Darwin Calibrator)發展出具有智慧辨識可能漏水點的一套系統。並且提出該公司與印尼 PALYJA 水務公司配合執行的專案加以說明成效，如圖 20 所示為預測漏水點及實地調查成果，而 Kulkarni 先生說明此工具可作為檢漏作業時的建議路徑，可快速找到漏水點以縮短漏水時間，並可持續偵測及預測。我們認為該方法如果應用於台灣環境，尚須考量管線圖資的正確性，必須在預測漏水前進行圖資校對、確認閘栓操作狀態，以排除部分造成誤判的因素。

圖 20 預測漏水及實地調查成果分布



### 4. IT Development Strategy in Asset Management System (演講者：Benny Andrianto)

印尼 ATB 水務公司的總工程師 Benny Andrianto 則介紹該公司在水資產管理上所應用 IT 技術以降低 NRW 及相關配合系統與成效，ATB 公司供應 1.2 百萬人口用水，出水量 30 萬 CMD，用戶表超過 26 萬只，管線長度大於 3,500 公里，應用 SCADA 進行監控生產及配送與 NRW，並劃分場站供應與配送 DMA 水量情形(詳圖 21)，其中 NRW 部分結合 GIS 提供實質損失及商業損失地圖直觀查詢及圖表分析，而這些 IT 技術的應用讓該公司有效的管控降低 NRW，如圖 22 所示從

2015 年 8 月 NRW 年均線為 20.92%至 2016 年 7 月降至 15.41%，已有顯著成效。而我們反觀國內，IT 技術應用在自來水事業大多仍以本國自有產業技術在發展，鮮少全面性導入外資技術，此部分仍值得政策的導引，方向確立，以利達成降低 NRW 的目標。

圖 21 場站供應與配送 DMA 水量情形

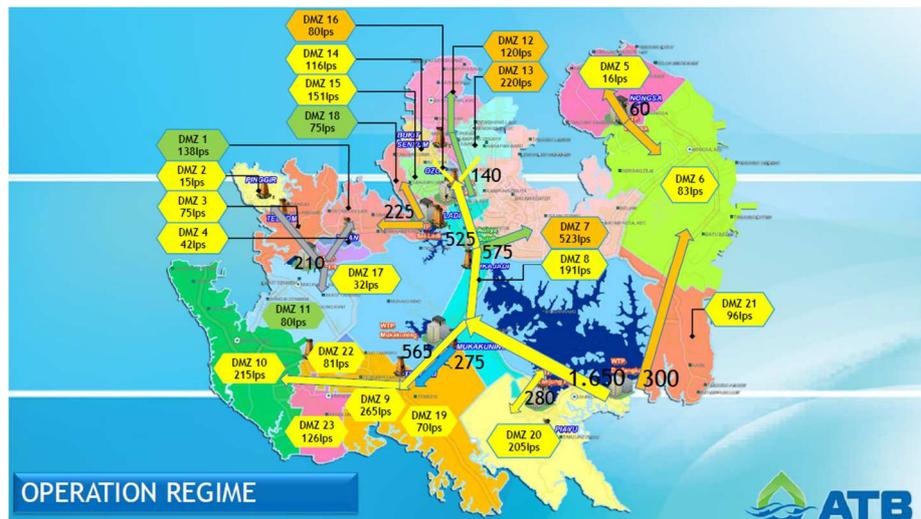


圖 22 ATB 公司 2015 至 2016 年之 NRW 變化



## Session B2

在 Session B2 的壓力管控部分有 4 位演講者，其中一位來自澳洲的 Matthew Giesemann 先生因故請假未出席。

### 1. Advanced Pressure Management Pilot Project in Taiwan Yilan (演講者：台灣自來水公司第 8 區管理處 林志憲，簡報內容詳附錄二)

由本篇共同作者，說明進階式水壓管理應用在宜蘭的試點情形與成果，依據 FAVAD 漏水關係式得知水壓大小與漏水量成次方比，因此利用減壓閥(PRV)搭配控制系統(詳圖 23)，使壓力分區(PMZ)根據時間變化或參考臨界點壓力回授控制，以獲得較穩定區域水壓，藉此降低以往離峰期間水壓偏高所相對增加的漏水量。經二處測試發現，在大進地區其口徑 100mm 減壓閥裝設時間控制系統，達到 33.6%的節水成效；另外在南方澳地區在 300mm 減壓閥裝設臨界點壓力回授控制系統，其臨界點及減壓閥出水端調控前後水壓對照如圖 24 所示，有 7.87%的節水效果，而夜間最小流則降低 16.2%。經證實在尖離峰用水壓力變化明顯區域，安裝此控制系統有節水的效益，且有穩定供水能力；但是對於水壓變化不甚明顯區域或行動網路通訊不良的區域，仍須審慎評估、不建議採用。

圖 23 減壓閥控制系統

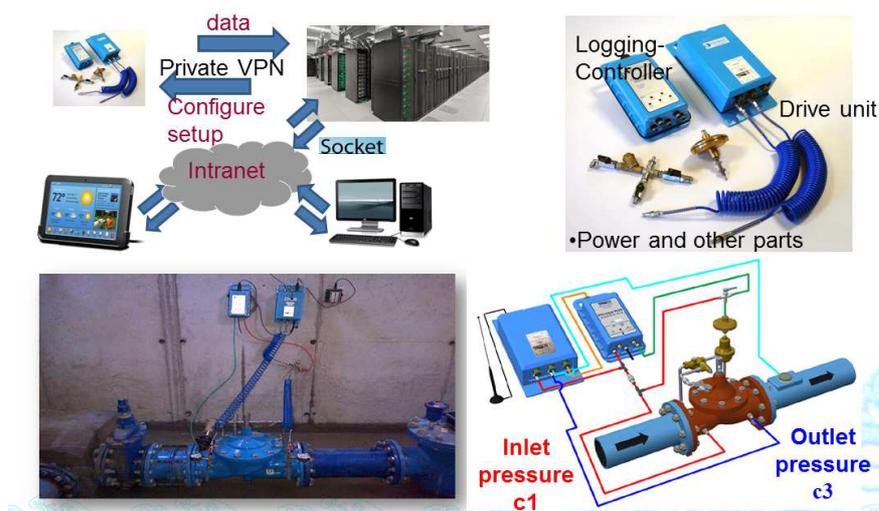
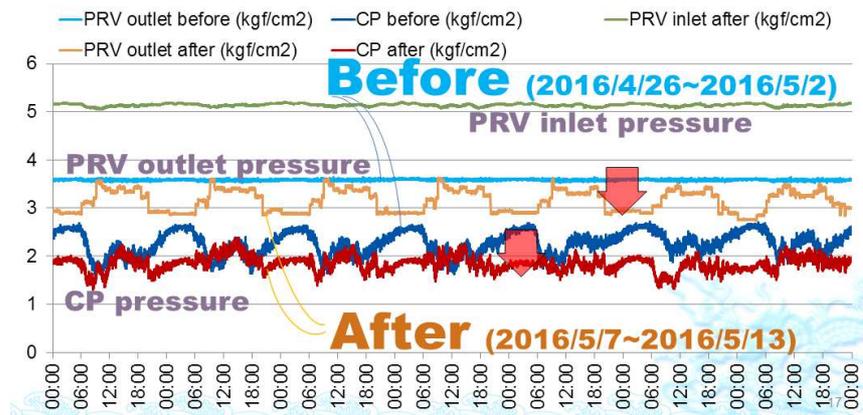


圖 24 南安國中臨界點水壓與南方澳減壓閥後裝置前後水壓變化情形



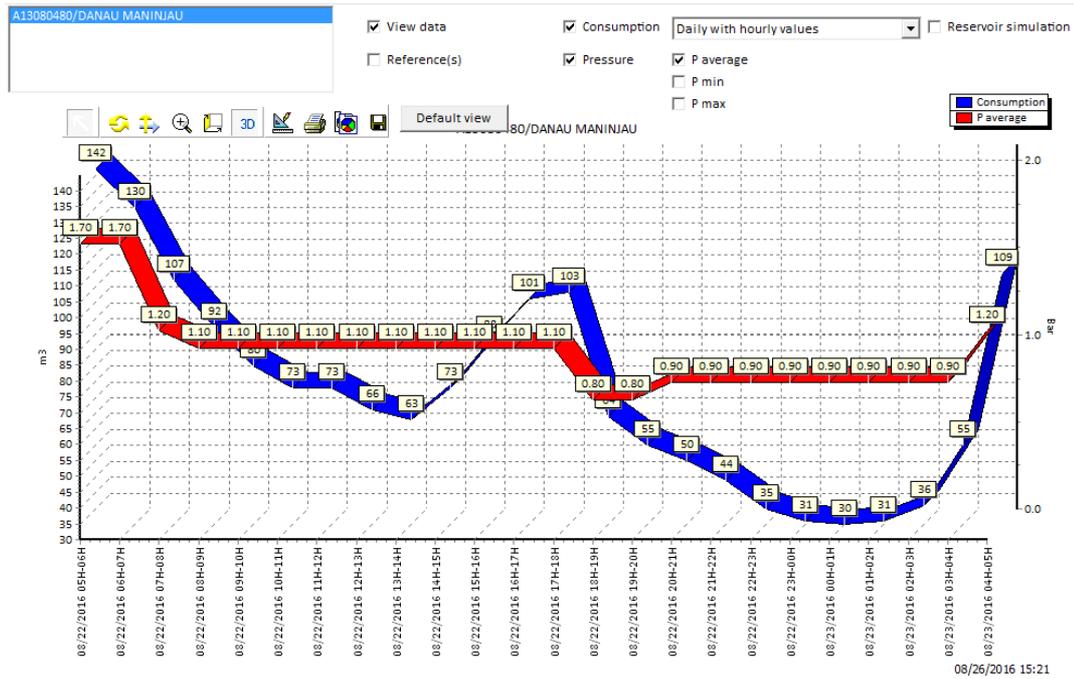
## 2. Using Pressure Management to Successfully Reduce NRW in Kota Malang (演講者：Teguh Cahyono)

接著是來自印尼瑪琅 PDAM 水務公司的 Teguh Cahyono 先生，同樣也是應用控制系統裝置於 PRV 上，施行水壓管理以減少 NRW。該公司服務的瑪琅市人口 82 萬人、用戶數 15 萬戶、154 個 DMA 並搭配 154 只流量計，具有自動讀表功能型式的 C 級用戶表共 10.7 萬只、一般 C 級用戶表 3.3 萬只，已納入自動讀表有 2 千只，管網當中安裝 PRV 控制系統，其中採用 2 或 3 段響導閥時間控制有 138 處，使用流量控制模式有 21 處(詳圖 25)，並安裝臨界點水壓紀錄器 70 只。其結果從圖 26 即可發現，採用 3 段響導閥時間控制模式，在離峰用水期間成功將水壓調降，因此可以推測將有不錯的節水效果。不過由於未提供安裝前後的比較及臨界點水壓趨勢線，所以無法確認其實際節水及穩定水壓的成果。另一方面，我們從數據發現該城市具有自動讀表功能型式用戶表比率竟高達 73%，而且 93%採用 C 級表，如此的積極作為，相信用心對於帳面損失部分將會有不錯得成效。

圖 25 PDAM 水務公司 PRV 安裝控制系統情形



圖 26 PRV 安裝 3 段響導閥時間控制結果情形



### 3. Kuantan Holistic NRW Progress (演講者：Sufian Sidek)

接下來是來自馬來西亞惠氏水顧問商(Wyeth water consultants)的 Sufian Sidek 先生，談他們在馬來西亞彭亨州關丹城市的整體 NRW 專案，該城市管線總長 2800km，每月生產 13 百萬立方米。他提出從淨水場、送配設施至用戶端探討 NRW 組成分布(圖 27)，而從關丹城市選擇哪些對策方案(圖 28)做為執行切入點，經過該專案的努力 NRW 從 57.37%降至 34%，所以不到 5 年即回收所投資的成本。因此我們發現導入專家服務快速找出正確策略及方法，對症下藥，對於高 NRW 區域，或許不需先從管線更新汰換著手，亦可收其功效。

圖 27 Wyeth 顧問商提出 NRW 的組成

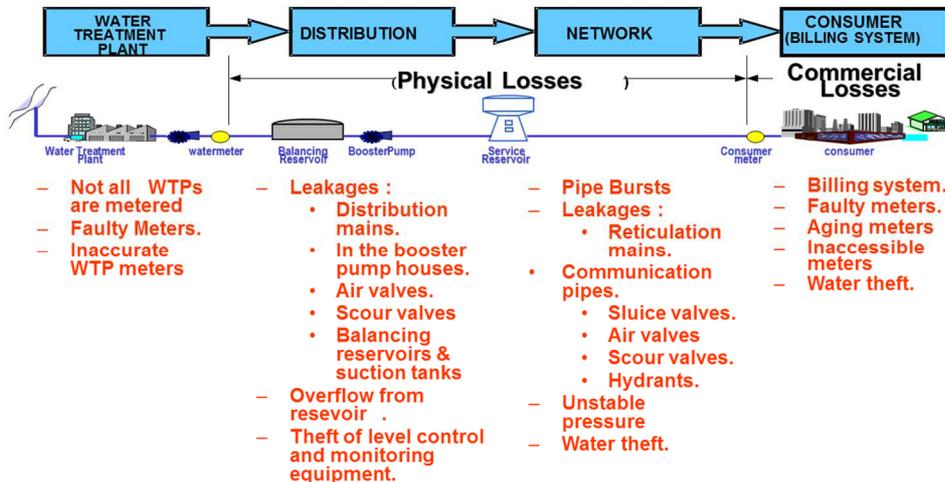
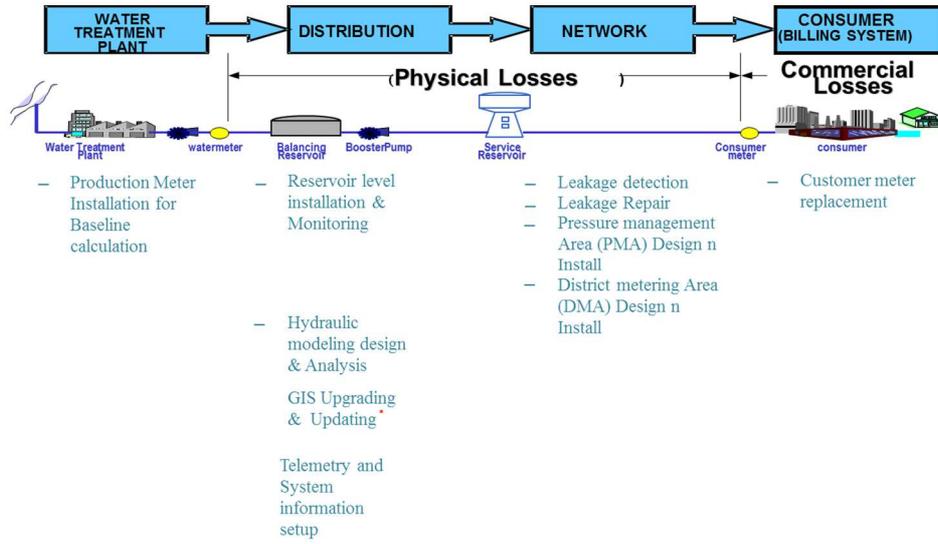


圖 28 Wyeth 顧問商在關丹所執行的方案



## Session B3

在 Session B3 的商業漏水則有 4 位演講者。

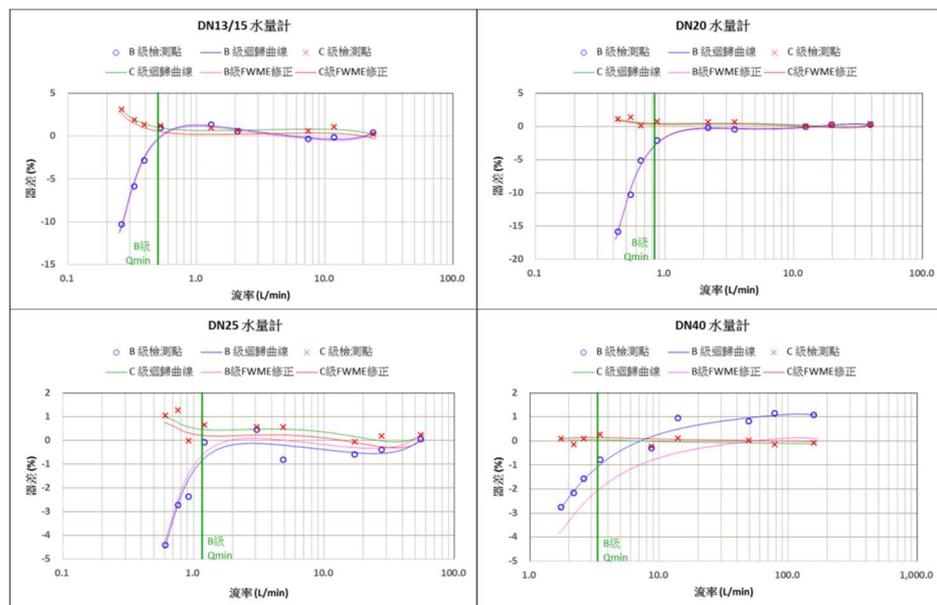
### 1. Metering Difference of Various Metrological Classes of Water Meters (講者工業技術研究院量測中心江俊霖)

有關水表在各種計量級別上的計量差異，是以台灣自來水公司為專案研究對象，將現有 B 級水錶加掛 C 級表，以流量權重平均誤差(Flow Weighted Mean Error, FWME) 如下公式所示，做為分析指標。DN13~40 之 B 級表在  $Q_{min}$  流量之下即造成大幅負誤差，相對 C 級表僅些微的正誤差，如圖 29 所示。經該研究結果顯示，C 級表較 B 級表平均用水計量增加 4.9%至 8.5%之間，然而現今水栓多以開關型態設計，用水習慣導致間歇流量，此將造成各種類型水表的計量差異的重要因素。

$$FWME = \frac{\sum \left( \frac{Q_i}{Q_{max}} \times E_i \right)}{\sum \left( \frac{Q_i}{Q_{max}} \right)} \dots\dots\dots(1)$$

$Q_i$ :  $i^{th}$  flowrate point (B1 to B6)  
 $Q_{max}$ : max. flowrate tested ( $Q_p$ )  
 $E_i$ : meter deviation at  $i^{th}$  flowrate

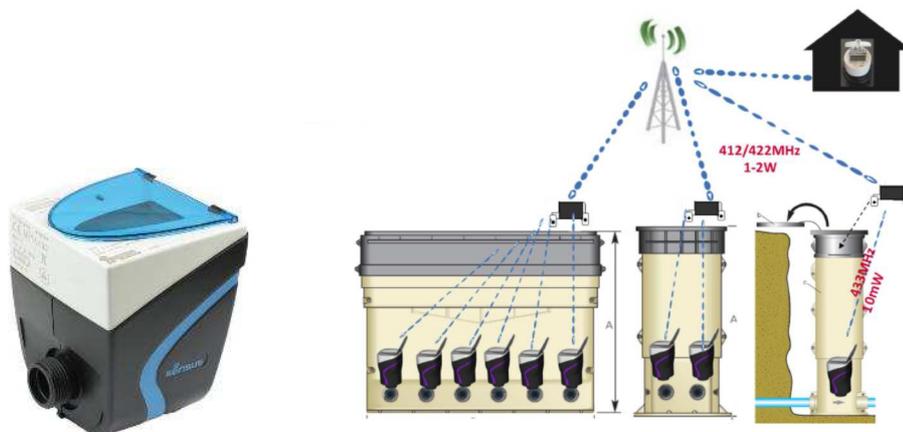
圖 29 B 級與 C 級水錶偏差曲線



## 2. Using AMR and Advanced Metering Technologies to Manage NRW (演講者：Andy Newland)

來自馬來西亞 Sensus 公司的 Andy Newland 先生介紹使用自動讀表及先進計量技術來管理 NRW，內容主要以該公司產品技術做延伸說明，其中提到歐盟已定義 AMI 所需的計量無線傳輸標準 EN 13757-4，該公司已成功開發符合 OMS/wMBus 433MHz 新世代的無線傳輸技術，可以將地下 1.5 米深或 130 米遠且 5 層樓高的計量訊號完成無線讀取，而且完全採用電池供電技術。此外 iPERL 水表具有 IP68、15 年電池壽命、內部無轉動元件，可以量測 1L/H 以下的啟動流量及資料紀錄功能，所以他也表示對於改善 NRW 的帳面損失將會有不錯的效益。從這裡我們也發現部分先進國家水表廠商，同樣已開發出非機械式、全電子水表，一樣具有長電池壽命，此舉將改變原有機械式水表 8 年使用壽命的限制，將進多一倍的使用壽命且減少人工換表次數，免去人工抄表或駕車抄表，的確如 Newland 先生所述是下世代水表。

圖 30 Sensus 公司的 iPERL 水表及 wMBus 無線傳輸技術方式



## 3. Utilizing Intelligent Data Analytics to Reduce NRW (演講者：Raymond Maukar)

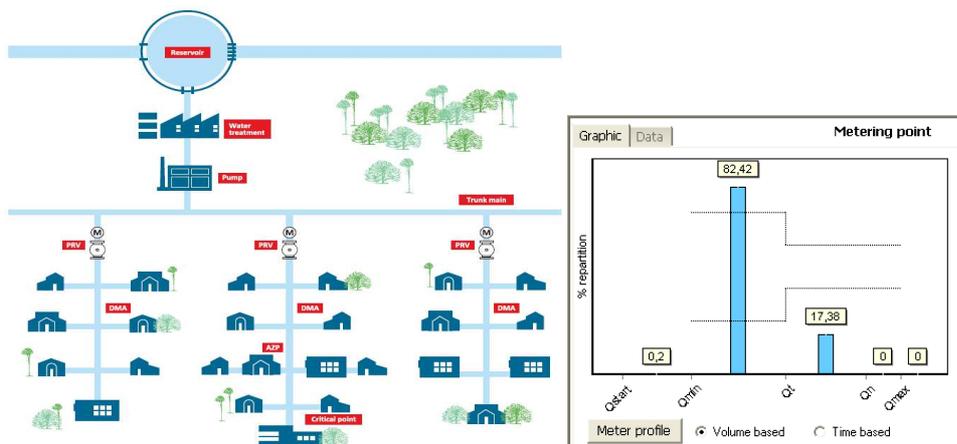
來自印尼 Itron 公司 Raymond Maukar 先生的主題是利用智慧資料分析以減少 NRW，並說明該公司 CYBLE RF 產品具有無線傳輸、15 年電池壽命、資料紀錄、IP68 等級的自動讀表設備，可直接加掛於該公司的流量計上，無需複雜接線及安裝。另一個產品 INTELIS 水表採用超音波量測技術，可以量測 1.5L/H 以下的啟動流量，並具有與 CYBLE RF 相同的自動讀表全項功能(詳圖 31)。此外，以自家

系統做為開端，藉由流量數據擷取及分析並搭配 PRV 壓力控制來進行 DMA 管理，可以檢測用戶使用流量分布，並說明目前於印尼的實施區域及 NRW 成效。從該公司發展沿革與產品線可以發現，在智慧計量、自動讀表及管理系統方面技術成熟，值得從中學習的對象。

圖 31 Itron 公司自動讀表介面及超音波水表



圖 32 提供計量及水壓管理的 DMA 方案與系統具有水表流量分布分析



#### 4. Reducing Commercial Losses Through Eradicating Illegal Cases in North Area of Jakarta (Junaedi Tamam)

來自印尼雅加達 Aetra 水務公司的 Junaedi Tamam 先生簡報以消除非法案件減少商業損失於雅加達北部的實際經驗分享，從人員培訓、抄表數據分析、現場實地檢驗、取締移送的執行情形，在這個區域他們共檢查 38,252 個用戶房舍，佔總客戶的 27%，結果發現有 1,088 處非法篡改水表及非法串接 388 條管線，可增加 1.9% 售水量，成效顯著。據我們所知，因應國情不同有不同竊水樣態，查察竊水能力是需要不斷的累積經驗，才能提高查察的效能，對於 Tamam 先生能將此作為研究議題，仍值得我們推崇效法。

圖 33 Aetra 水務公司取締非法使用的證物



第 2 天為研習會，探討主題為無計費水量(NRW)的影響，共區分為 8 個子題。透過深入淺出的方式，先說明何謂 NRW 及其對供水事業單位的影響層面，再由基礎的 water balance analysis 來引出 NRW 的定義，並對於非物理性漏水所造成營業損失之因子加以說明，然後提出了幾個對於實際漏水防治的解決方案，包含有 DMA、壓力檢測、利用聲波檢測(noise logger)等方法，當然所有管理與檢測方法的目的是要能將漏水降至最低，所以如何有效迅速更換或修護漏水管線，才是最終目標。以下整理出 8 位演講者重點摘錄如下：

### 1. NRW 簡介(演講者：：Gary Wyeth)

水資源管理是目前各個國家及城市日益注重的問題，漏水管控是大家所重視的議題，以 IWA 的 water balance analysis 如表 6 所示，而漏水分類如圖 34 所示，主要區分為計費水量與無計費水量。一般而言水費為公共政策的一環，水資源非私有財而是公共財，因此水價一般無法隨物價波動而即時調整，常造成水價的不合理現象(多為低廉)，如果自來水事業單位的無計費水量無法有效降低，常會造成收益不足，無法更新基礎建設，如此惡性循環，使得漏水管控更加困難。

NRW 的定義是供水量(water supplied)減去售水量(metered consumption)如下公式所示，當實質損失(physical losses)因素減少，供水量 P 亦會隨之減少，而使 NRW 下降；當商業損失(commercial losses)下降，則有效的售水量 C 增加，同樣可以使 NRW 下滑。此一 NRW 標準化的計算方式，可以使各事業單位、政府單位、相關廠商在漏水管控議題的溝通與比較上有一致性的基礎，但是不同區域、城市的 NRW 值比較仍須考量外在的影響因子、環境因子等才可以獲得合理的結果。就經濟效益面而言，降低 NRW 的好處，包含有降低電力成本、降低化學品成本、增加收入結算、降低運營成本、提高公司信譽、提高公司股價資產值、合理提高售價等效益。

$$(P - C)/P = \text{NRW} \%$$

P: Production

C: Consumption

在這個演講中，並提出了 NRW 對於自來水事業單位在營運財務層面的影響性。自來水事業單位可以利用下列手法如的洩漏檢測與維修、壓力管理、管線更換及設備資產維護來降低漏水對公司財務的影響性，但是在進行這些工程的同時，

勢必將投入金錢和資源，因此自來水事業單位可以從 NRW 經濟準位角度思考(圖 35)，以求取最大的投資效益。

表 6 IWA 水平衡表( water balance analysis table)

System Input Volume	Authorised Consumption	Billed Authorised Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water
			Billed Unmetered Consumption	
		Unbilled Authorised Consumption	Unbilled Metered Consumption	Non Revenue Water
			Unbilled Unmetered Consumption	
	Water Losses	Apparent Losses	Unauthorised Consumption	
			Billing & Customer Meter Inaccuracy	
		Real Losses	Leakage On Overflows At Storage Tank	
	Leakage On Transmission And Distribution Main			
	Leakage On Service Connections Up To Point Of Customer Meter			

圖 34 漏水分類

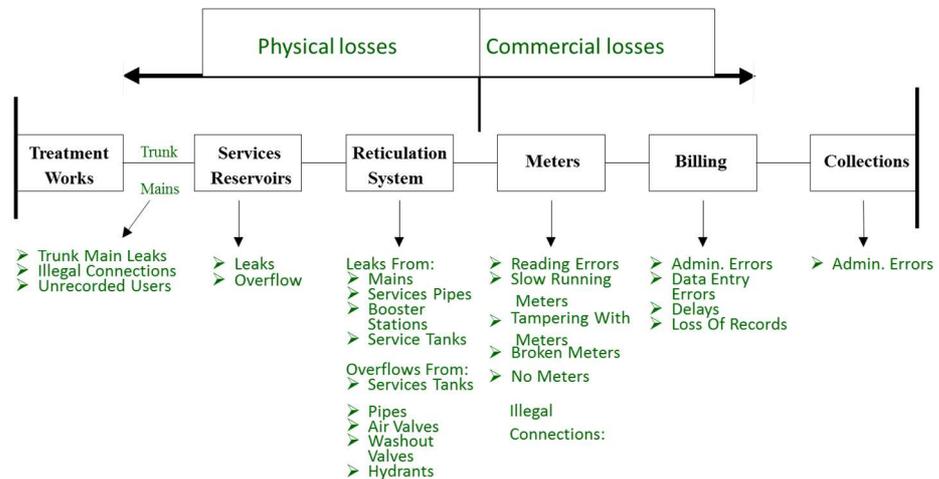
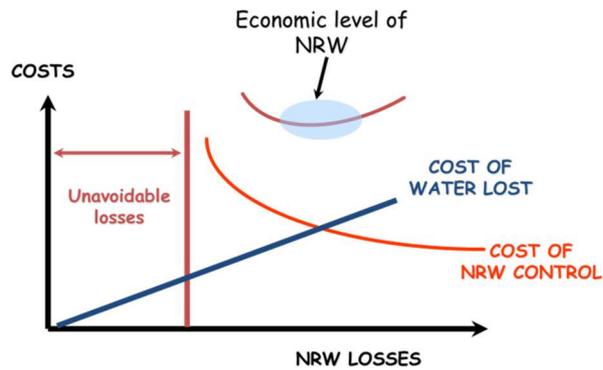


圖 35 求取 NRW 的經濟準位



## 2. Water Balance(演講者：Sufian Sidek)

在這個演講中主要是提出計算 water balance 的 4 個步驟及其限制，包含有步驟 1 為確定系統的配水量，步驟 2 為確定合法用水量，其中包含有計費合法用水量及無計費合法用水量，對於無計費合法用水量中包含有消防用水、水管和下水道排水沖洗、清洗街道等需考量用水長短及衍生費用，而公共噴泉及公共園林灌溉等是否可以改為收費方式，以合理使用者付費原則。步驟 3 為計算帳面(商業)損失，這包含有非法用水及竊水、水量計不準度及資料處理誤差，步驟 4 為計算實際損失水量。並說明不同水量計的計量誤差範圍如下表 7

表 7 不同型式水表的準確度

Equipment/Method	Approximate Accuracy Range
Electromagnetic Flow Meters	< 0.15 – 0.5 %
Ultrasonic Flow Meters	0.5 – 1 %
Insertion Probes	≥ 2 %
Mechanical Meters	1.0 – 2 %
Venturi Meters	0.5 – 3 %
Meas. Weirs in open channels	> 5%
Volume calculated with pump curves	10 – 50 %
<b>Note: actual meter accuracy will depend on many factors (like flow profile, calibration, meter installation, maintenance) and has to be verified case by case.</b>	

Water Balance Analysis 是瞭解供水系統流入、耗用及損失的重要工具。但是，仍然有許多問題存在需加以克服，如大多數自來水事業單位缺乏足夠的管理資訊，對於漏水性質及位置無法有效掌握。因此，建議的改進作為是實質損失組成分析

及使用 DMA 對系統漏水測量進行管理。

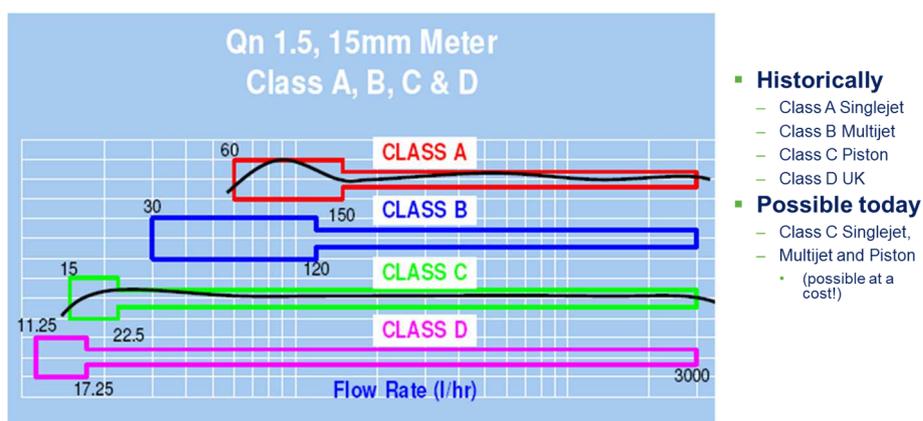
### 3. Commercial Losses(演講者：Andy Newland)

對於帳面(商業)損失，一直是自來水事業單位所不樂見的事情，4 個主要造成的因素為水表不準度、非法竊水、資料蒐集與傳輸處理的誤差，以及客戶資料基本誤差(如資料失去連結性、漏記或誤記水表讀值)。其中水表不準度的原因有水表口徑不符及水表等級型式等問題，在澳洲大於 DN50 水表雖只佔總安裝 1.29 百萬只水表的 1%，但卻佔了 25% 的計量，再者不同等級水量計的計量準確性曲線及量測範圍如圖 36 所示，如果安裝水表口徑不符合用水特性，對於常於低流量使用的用戶，有可能造成很大的計量誤差。再者，採用不同構造原理的水表，其計量準確度的特性曲線及遭受干擾因子不同，因此在選用水表型式上也需加以考量。如一些公用場所就可以採用量測範圍大，準確度高的電磁式水量計來計費。還有應用於低流量計量、自動紀錄、自動讀表、低採購與安裝成本、易於維護、有無裝置效應等各式特定需求。

非法盜用或竊水是另一個造成帳面損失的主要因素，常見的包含有篡改水表運作、非法盜接管線等，因此必須加強用水資料及現場查察，來對水表及管線進行保全。另外，如何防止漏記或誤記水表讀值，也是防制帳面損失的重要一環，其對應方案如採用 AMR/AMI 或人工確認等方式來改善或降低損失。

總結預防帳面損失的措施為，1.需要清楚的了解所使用的水表量測性能及限制，並選用適當的表種及尺寸；2. 按照製造商的建議，正確的安裝水表；3.依據用水型態選擇適合的尺寸，而非配合管線安裝；4.維護與確認水表的運作，定期校正與保養，以及水表汰換策略；5.查察非法盜接及篡改水表運作，提高水表計量及傳輸的準確性；6.採用 AMR/AMI 等技術來協助改善上述問題。

圖 36 ISO4064：1993 水量計分級



#### 4. Managing NRW through DMAs(演講者：Steve Preston)

本議程主要在探討如何使用 DMAs 來協助進行 NRW 管理，DMA 的起源是英國在 1980 年代為 NRW 管理所開發的一種管理方式。其定義為在一封閉的供水管網中，可以透過計量總輸入與總輸出水量，來比對出 NRW，同時可以應用夜間最小流(MNF)評估漏水的情形。如圖 37 所示，漏水事件的發生可以分為背景(background)漏水、未顯(un-reported)漏水，及已顯(reported)漏水。而圖 38 則是說明，總漏水量為漏水事件發生總時間及單位時間漏水量的乘積，而漏水時間可分為 3 個階段，包括發覺意識時間(Awareness Duration, A)，位置確認時間(Location Duration, L)，及修復時間(Repair Duration, R)。

而 DMAs 是要求可以持續監測流量，若流量增加則可識別漏水象徵，藉由 DMA 歷史流量及用戶水量資料以了解常態模式，可以使用夜間最小流量分析進行漏水情形評估等，所以 DMAs 與傳統檢測方式比較，對於未顯漏水可以減少發覺意識時間，而漏水量與水壓相關，可以針對該 DMA 水壓管理最佳化，減少背景漏水或降低可能產生新的漏水。此外可搭配供水平衡分析，計算出 NRW。藉由軟體工具的協助，對於所紀錄的流量數值進行夜間最小流量及 NRW 分析，在圖 39 所示為長期紀錄累積的歷史資料，分析用戶夜間用水行為及分布狀況，明瞭用戶的夜間最少用水量變化情形，夜間最小流量使用週移動平均線及一般趨勢線，藉此評估出背景洩漏及可能的未顯漏水。在圖 40 所示即區分各式水表(智慧水表、自動讀表、人工抄表)讀表數值進行時間差修正與合法未計費水量，以計算出水量漏失量。

圖 37 DMAs 的應用情境

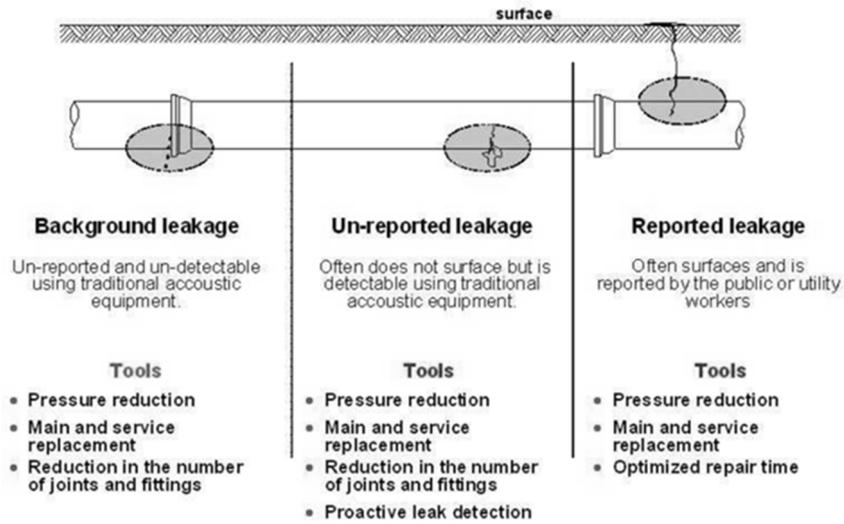


圖 38 漏水事件發生總時間與單位漏水量的關係

$$\text{Leak Volume} = (A+L+R [\text{time}]) \times \text{Flow Rate}[\text{volume}/\text{time}]$$

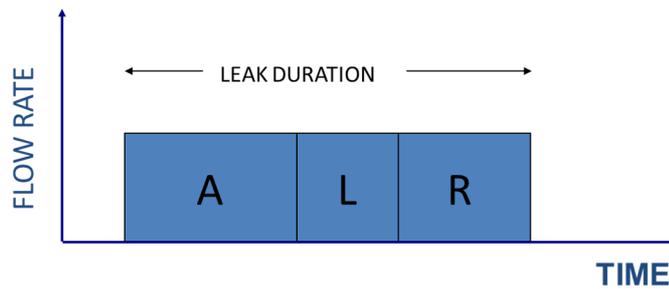


圖 39 使用夜間最小流分析來判斷漏水

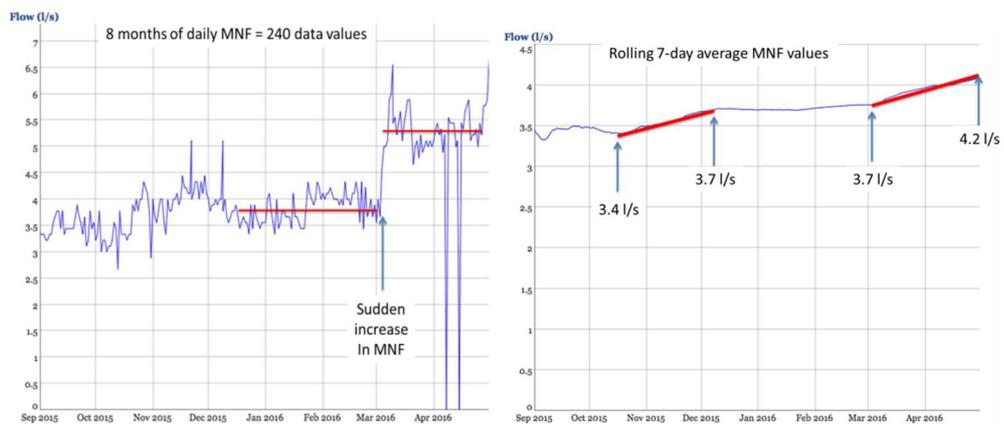
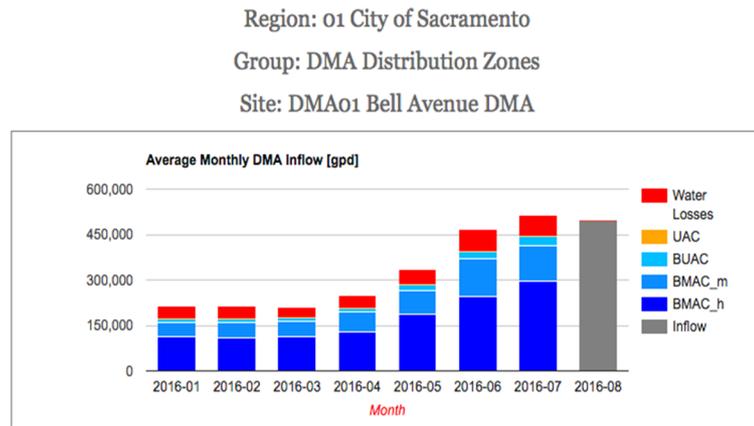


圖 40 使用 NRW 分析水量損失



### 5. Pressure Management(演講者：Gary Wyeth)

依據 IWA 降低不可避免的實質損失的四個面向其一即是水壓管理(圖 41)，一般來說，高水壓將會提高售水量及客戶滿意度且可提高漏水檢出效率等，而低水壓則可減少漏水及爆管與控制流量。典型水力公式得知流速與水壓平方根等比關係，而從 FAVAD 原理則可估算管網水壓與對漏水量關係式，如下公式所示，其中 L 表示漏水量而 P 表示為管內壓力，而各國測試得出的 N1 值及壓力與漏水的對應關係圖如圖 42 所示。然而如圖 43 所示諸多原因將使爆管臨界壓力點變小，因此必須減少水壓以降低爆管風險。

$$L_i/L_0 = (P_i/P_0)^{N1}$$

$$N1 = \ln(L_i/L_0)/\ln(P_i/P_0)$$

圖 41 降低不可避免的實質損失的四個面向

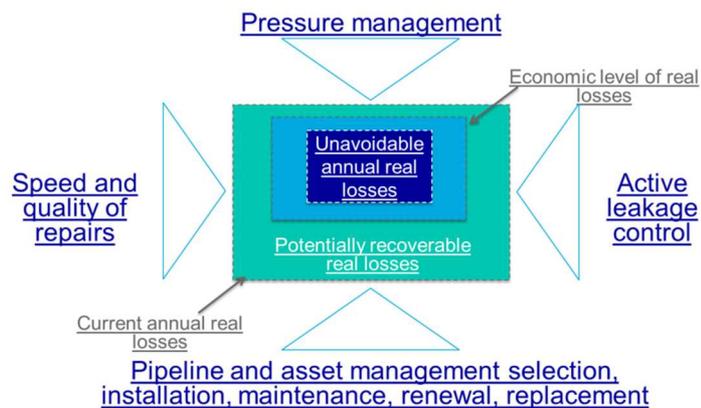
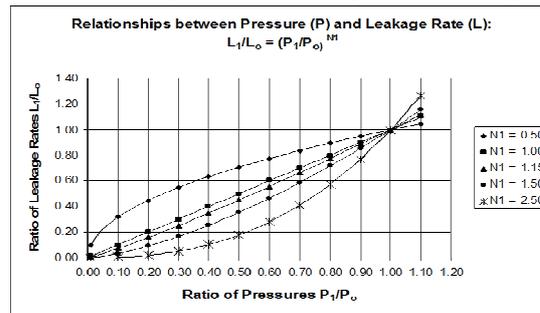


圖 42 各國 FAVAD 公式推估的 N1 值與關係圖

Country value	No. of sectors tested	Mean value of N1	Range of N1
UK (TR154)	17	1.13	0.70 to 1.68
JAPAN (1979)	20	1.15	0.63 to 2.12
BRAZIL (1988)	13	1.15	0.52 to 2.79
UK (2003)	75	1.01	0.36 to 2.95
CYPRUS (2005)	15	1.47	0.64 to 2.83



他也提出水壓管理基本手法有安裝 PRV、平壓塔、重新分區、主幹管控制、組合加壓設備和 PRV、緩起動及變速泵控制、水池進水控制、節流閥、夜間壓力分區控制等。而在運用 PRV 調控水壓如圖 44 所示，監測流量回饋控制 PRV 以獲得較佳平穩的臨界點水壓。也藉由緩起動及變速泵控制，以避免產生壓力突波現象，進而降低爆管發生頻率。

圖 43 水壓與爆管風險關係圖

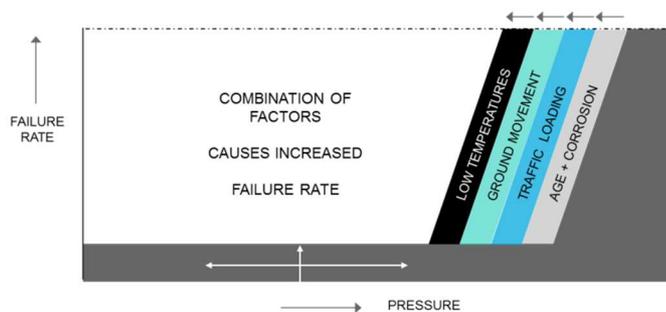
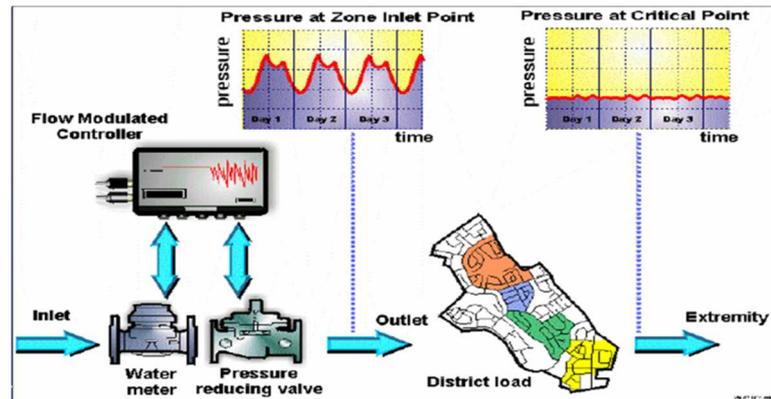


圖 44 應用流量監測及減壓閥調控維持臨界點壓力穩定



## 6. Active Leakage Control(演講者：Mark Nicol)

根據國際水協會水平衡表，實質損失水量總共包括 3 個項目，分別是送水幹管及（或）配水幹管之漏水量、配水池之漏水量及溢流量以及接管點至用戶水表間之漏水量。而在東南亞每年實際漏水量達 36 億立方公尺，等於每天倒掉 50 億瓶 500 ml 的瓶裝水，是一個非常嚴重的問題。所以不可避免實質漏水防治四個面向之一的主動漏水控制即是本演講主要探討對象。

漏水控制一般可分為主動尋找、檢測及修漏三階段。基本漏水偵測方法包括有 Visual Inspection、Sounding 及 Noise Loggers，Sounding 的方式是目前常用也是最有效的方式，但是這取決於人員的經驗，且耗時費力。Noise Loggers 則是目前正在推廣的應用，暫時或永久安裝監聽器於管路系統中進行漏水偵測，並進而定位漏水可能範圍。其他進階的檢漏方法有，Leak Noise Correlators、Trunk Mains 及 Fixed Leak Detection，其中 Leak Noise Correlators 是測量信號達到每個傳感器的時間延遲，再配合傳感器距離和聲速傳播相結合，可以精確的定位洩漏點如圖 45 所示。Trunk Mains 則是直接將傳感器伸入管中偵測，加以判斷漏水發生處，適合較大管徑如圖 46 所示。而 Fixed Leak Detection 則是在一定區域內裝置多只傳感器，藉由無線網路回傳監測紀錄，經由系統端複雜計算精確定位漏水點，如圖 47 所示。

圖 45 Leak Noise Correlators 的原理

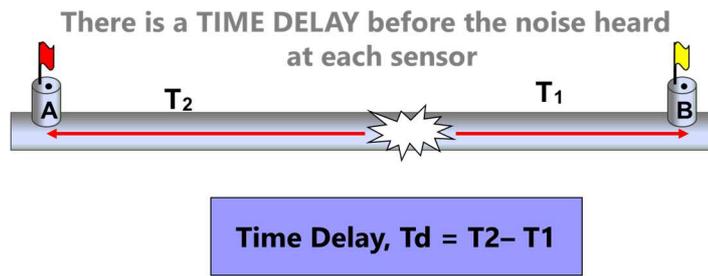


圖 46 Trunk Mains 的原理

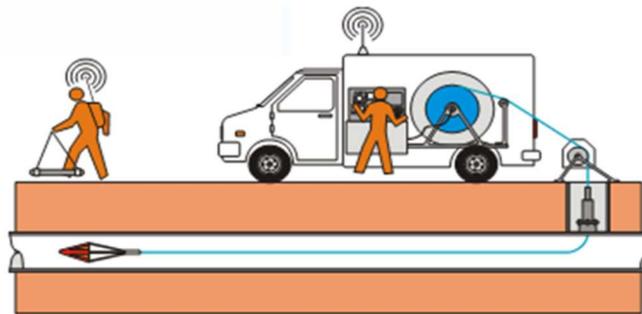


圖 47 Fixed Leak Detection 的操作方式



## 7. Leakage Repair and Quality(演講者：Gary Wyeth)

這一部分的演講主要是提及修漏復原方式及漏水造成的損失，由圖 48 可以發現不同大小的漏水發生後，所需的復原時間與漏失水量的關係；大漏水通常可以輕易察覺，雖然瞬時漏水量大，但由於修復時間相對短，所以總漏水量反而小；而小漏水由於不易察覺，反而容易造成較大的漏水量，因修復時間相對較長，對自來水事業相對損失反而大。

漏水成因一般包括有管材品質不佳、管材存放方式不佳、管材運輸過程造成損傷、不良的安裝、過高的供水壓力、壓力突波、土壤條件及環境因素、沒有妥善維護等。而良好的修漏品質與速度應該要有清楚的維修政策及程序、組織化的作業流程、充足的設備和材料、足夠的資金、施工過程對於工法及用料應有相應的標準與規範、良好的管理和工作人員、委外修漏則須做好監督工作。所以講者也強調，除非修漏不然檢漏是沒有意義的。此外也提供採用夾具(圖 49)或 BRINKER PLATELETS 修漏方式(圖 50)，此部分仍值得觀察。

圖 48 漏水事件修復及影響性

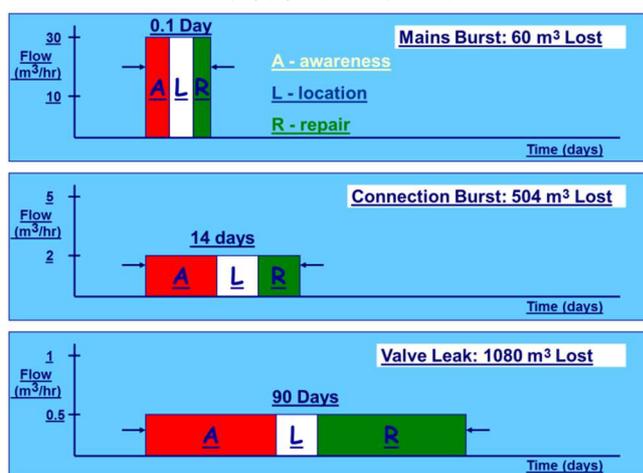
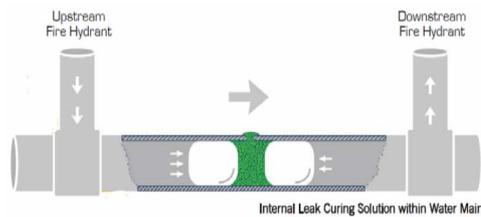


圖 49 夾具修漏方式



圖 50 BRINKER PLATELETS 修漏方式



## 8. Practical NRW Management(演講者：Ahmad Samhan Daud)

這部分的演講主要是帶入幾個實際的案例，來說明上述的方法如何應用於降低 NRW 的管控。但演講者也提及，即使是使用非常上述方式進行水網的監測與管控，但統計發現，洩漏復發的情形仍然是非常高，所以仍須有更多研究或更有效的方式或技術引進來加以解決。

## 參、心得及建議

本研討會由中華民國自來水協會組團，秘書長吳陽龍先生(前臺北市自來水事業處處長)，帶領多家自來水相關設備廠商至印尼設攤參展，包括有水量計製造的弓銓公司、自來水管線製造的興南鑄造公司、不鏽鋼波狀管製造的昭和國際公司、自來水工程規劃的集美工程顧問公司、輸水泵浦的泉溢電機、管線更新內面套管的宇泰豐公司(Itron 水量計台灣總代理)、工業技術研究院量測中心江俊霖先生，台灣自來水公司則是由漏水防治處李丁來處長、第 8 區管理處管線隊陳昭賢隊長及工務課林志憲課長參與。另有其他國際廠商參與如澳洲的 WSO(DMA)、法國的 Lacrox(DMA)及馬來西亞的 polyware(PVC 管)等，會議期間自來水相關產業互相交流、討論，並對自來水未來發展提出相當多建言。

圖 51 參加本會議台灣出席人員合影



會議參與期間與台灣自來水公司漏水防治處李丁來處長、中華民國自來水協會秘書長吳陽龍先生、集美工程顧問公司董事長楊有信先生、弓銓公司總經理楊崇明先生、宇泰豐公司經理陳逸群先生、澳洲 WSO 公司 Director Mike Tomkins 先生及印尼 BRPAM 水公司的 Dormaringan H. Saragih 先生針對漏水防治及供水管理議題充分交換意見。

台灣自來水公司漏水防治處李丁來處長建議，工研院量測中心作為國家計量的最高單位，應可以從事更多的基礎研究來協助水公司釐清相關的計量問題，且應提出相關的研究主軸，及明確的研究方向，讓水公司及廠商可以依循及配合。因此，如果工研院能在公共給水系統的管理、漏控的相關研究上，能有長遠目標及短、中程的研究規劃及項目，絕對可以協助台灣在水資源管理上解決許多問題，水公司也可以提出相對應的配合，甚至是研究經費的挹注。

弓銓公司總經理楊崇明先生則建議工研院應從事基礎與學理的研究，而應用型的研究與開發則由廠商來執行，如此更可以創造雙贏的機會。中華民國自來水協會秘書長吳陽龍先生則提及希望自來水協會可以扮演更重要的角色，如檢測或糾紛鑑定等，來協助事業單位的發展。而 Itron 公司則建議以其水量計分析技術與台灣自來水公司辦理小區管網示範區的建置。

就如同參與研討會的人員，於研討會總結討論時所提及的問題，本次研討會提出許多的漏水防制及 NRW 評估與降低的方法，這些應該都是非常有用的方法，但是無論是印尼或是馬來西亞的水公司，為何無法全盤施行，而多是以部分試辦的方式在執行，且試辦的成果尚有待討論，而台灣亦有相同的情形產生。原因就如同研討會主持人 Gary Wyeth 的回應，這些方法對於水公司或供水事業單位而言都是投資，而在水價普遍偏低且政府將其視為公共政策的一環，水公司或供水事業單位是否有足夠的資金可以挹注於此並且願意長期投資，又政府部門的相關配套措施是否能配合，都是重要的影響因素。另外各國環境不同，許多技術需因地制宜，進行修正才可運用於不同區域。因此，水平衡分析與 NRW 策略應用於台灣，仍有許多值得研究與改進之處。

從台灣目前(104 年度)自來水售水率落在 75%(台水公司 75.27%、北水處 75.06%)數據來看，對於提高售水率議題尚有努力的空間；此外遭遇道路申挖案件受限，

管線汰換更新進度無法大幅躍進；另一方面為提升政府服務品質，滿足民眾用水資訊及供水穩定需求；再者考量降低 NRW 的投資經濟效益；綜觀上述因素，就短期而言應思考可快速執行、有效提升售水率的策略，對於慣行降低非法用水及非地下自來水設施查修漏作為之外，建議可以從帳面損失以及真實損失其中的壓力管理與主動漏水控制方面著手。考量國外技術發展與本土環境的適用性，可以參照國外模式在台灣辦理試行智慧水網計畫，導入國外專家顧問經驗及先進科技協助本國專業知能提升，例如：引進固態(非機械轉動式)智慧型用戶表、先進聲噪檢漏系統…等；同時也針對壓力管理不佳的區域，就其適當環境採用進階控制技術的抽水機或減壓閥，以降低實質損失。長期而言，建議政府可以投入研究經費培植本土專家顧問團隊，及其前後垂直或水平整合的應用設備與技術服務，以台灣複雜環境做為試煉基地，創造出獨特的藍海市場。