

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：風力發電機噪音地圖評估技術

頁數 33 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人力資源處/陳德隆/022366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

唐文元/台灣電力公司綜合研究所/能源研究室/機械研究專員/02-80782279

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：104 年 9 月 4 日至 9 月 13 日

出國地區：丹麥、荷蘭

報告日期：104 年 11 月 11 日

分類號/目

關鍵詞：風機(Wind Turbine) 噪音(Noise) 分貝(decibel)

內容摘要：(二百至三百字)

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

## 摘要

本次出國參訪實習風力發電機噪音地圖評估技術主要是針對風場噪音的量測與風場環境噪音地圖的分析模擬兩個議題，其一為風場噪音的量測與監測技術，能提供敏感區噪音量即時監測資訊與噪音量的分佈，瞭解現行風機運轉條件下風力發電機運轉的噪音量，是否符合噪音管制標準，是否是風力發電機運轉時產生的噪音亦或是背景噪音影響附近居民生活品質，如此可以進行調整風機運轉模式因應對策，妥善回應鄰近住戶對風機噪音的抱怨與投訴。

另一個為風場環境噪音地圖的模擬議題是建立正確量化之噪音衰減分佈圖，近來由於民眾針對風機噪音陳情案件數漸增，勢必要提出噪音改善對策，提出量化之噪音衰減地圖讓附近居民清楚的瞭解，在相對風機運轉條件下也能夠與之共同生活，擁有風能資源的優勢下亦能享有舒適的環境，避免未來風力發電機組設置後付出龐大的噪音改善費用，應於設置前先進行環境影響評估，有必要建立風機噪音地圖及噪音分佈影響評估能力。

# 目次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 摘要 .....                | 2  |
| 目次 .....                | 3  |
| 圖目錄&表目錄 .....           | 4  |
| 目的 .....                | 5  |
| 一、行程概要 .....            | 6  |
| 二、研習內容 .....            | 7  |
| 1、研習風力發電機噪音量測技術 .....   | 7  |
| 1-1 噪音量測技術參訪討論 .....    | 7  |
| 1-2 風力發電機噪音技術 .....     | 10 |
| 1-3 風力發電機運轉監測技術 .....   | 16 |
| 2、研習風力發電機噪音地圖評估技術 ..... | 19 |
| 2-1 噪音模擬技術參訪討論 .....    | 19 |
| 2-2 風力發電機噪音地圖評估概述 ..... | 23 |
| 2-3 風機噪音測試規劃 .....      | 25 |
| 2-4 風機噪音地圖評估 .....      | 27 |
| 三、結論與建議 .....           | 32 |

## 圖目錄

|  |    |
|--|----|
| 圖 1 應變規為量測標準之衝擊感測器校正架構 .....   | 9  |
| 圖 2 一維麥克風陣列對訊號源之空間解析原理 .....   | 12 |
| 圖 3 Beamforming 中 Delay and Sum 之邏輯與程序 .....                             | 12 |
| 圖 4 感測器陣列之時域(左)與頻域(右)訊號處理程序 .....  | 13 |
| 圖 5 麥克風陣列(陣列尺寸 13.6 m×8.5 m 橢圓形星狀之<br>麥克風陣列、麥克風數量 108 支) .....           | 14 |
| 圖 6 麥克風陣列與風機之相對位置(風機為 down wind 形式) .....                                | 14 |
| 圖 7 B&K Delay-and-sum beamforming 對風機特定葉片<br>在 1 KHz 之噪音調查 .....         | 15 |
| 圖 8 Blade 1 通過量測點噪音分布圖 .....   | 15 |
| 圖 9 Blade 1 通過量測點各頻率噪 .....  | 15 |
| 圖 10 Blade 2 通過量測點各頻率噪音貢獻圖 .....   | 16 |
| 圖 11 Blade 3 通過量測點各頻率噪音貢獻圖 .....   | 16 |
| 圖 12 B&K Vibro 之 VibroSuite 介面 .....                                     | 18 |
| 圖 13 典型之風力發電機運轉監測策略感測器對應不同部件之監測 .....                                    | 18 |
| 圖 14 B&K SV，與聲學專家 Erling Olsen (中)和工研院精密與<br>動態工程計量研究室涂聰賢博士(左)參訪合影 ..... | 18 |
| 圖 15 與工研院精密與動態工程計量研究室涂聰賢鼻博士於 B&K 參訪合影 ..                                 | 18 |
| 圖 16 DGMR 之簡報資料摘錄 .....  | 20 |
| 圖 17 環境地形變化對於噪音散射問題影響很大 .....  | 24 |
| 圖 18 Pridictor-Lima 分析系統提供各項功能 .....                                     | 28 |
| 圖 19 Pridictor-Lima 分析系統完成多點聲源噪音分析 .....                                 | 29 |
| 圖 20 噪音分析系統導入 GIS 系統 .....   | 30 |
| 圖 21 手提式噪音分析儀導入衛星影像圖 .....   | 31 |
| 圖 22 噪音分析系統匯入衛星影像圖 .....   | 32 |

## 表目錄

|  |    |
|--|----|
| 表 1 風力發電機噪音管制標準值(環保署 102 年 8 月 5 日修正發布)..... | 11 |
| 表 2 IEC 風力發電規範說明表.....                       | 26 |

## 目的

本公司近年來配合政府低碳能源政策降低溫室氣體排放，大量的開發風能資源加強再生能源利用，陸續完成本島與離島陸域風力發電計畫共建置完成 169 部風機，然而伴隨風力發電機的快速成長，在地狹的台灣，建置風力發電機所產生之噪音卻也困擾著風場附近居民。隨著社區環保意識抬頭，生活水準的提高，民眾對於噪音認知與感受敏感度的提昇，風力發電機產生之低頻噪音問題對民眾之影響更為關鍵，甚至造成附近居民長期抗爭，本次實習參訪單位是丹麥 B&K 公司，也是全世界最大的聲音、振動測量分析儀器量測技術與服務的領導者與在風力發電機噪音模擬與皆有極高評價的荷蘭 DGMR(B&K)公司，目前世界先進國家使用者大都是應用它們所提供軟硬體技術進行風機噪音改善解決方案，也提供許多風機噪音改善經驗以及未來風機建置環境之噪音分佈地圖模擬技術，值得我們借鏡，尤其在量化風機產生噪音分佈圖與即時噪音監測，能讓附近居民很清楚的瞭解建置風力發電機後，距離風力發電相對安全距離下，能夠與之共同生活，在擁有風資源的優勢下亦能享有舒適的環境。

另藉由風場噪音量測分析與噪音模擬建立，評估現行噪音預測值與實際運轉條件下之地區環境噪音量大小、影響範圍、進行噪音影響評估與改善參依據考，從實務與理論中建立風機噪音分析與評估，徹底解析風力機噪音特性，也才能提出正確的噪音判斷與決定，找出噪音解決方案，事先與在地居民溝通協調，降低民怨，如此斧釜底抽薪從根源著手，往往比事後各項改善的工程與社會觀感來的有經濟效益。

## 一、行程概要

本案出國實習往返期間共 10 天，自民國 104 年 9 月 04 日至 104 年 9 月 13 日。行程概要如下：

- 1040904-1040905 由桃園國際機場赴丹麥哥本哈根行程
- 1040906-1040908 丹麥 B&K 公司實習風力發電機噪音量測技術
- 1040909-1040909 丹麥哥本哈根→荷蘭阿姆斯特丹行程
- 1040910-1040911 荷蘭 B&K(DGMR)公司學習風力發電機噪音地圖評估技術
- 1040912-1040913 由阿姆斯特丹返回桃園國際機場行程

## 二、研習內容

### 1、研習風力發電機噪音量測技術

#### 1-1 噪音量測技術參訪討論：

研習風力發電機噪音量測技術為本次出國參訪議題之一，此議題參訪對象為 Bruel & Kjaer 公司，其總公司位於丹麥哥本哈根，B&K 聲學與振動量測是 Spectris 控股集團(A/S)之子公司，提供振動與聲音量測、分析之感測器、設備與軟體，是全球聲量、振動量測與校正設備生產之領導廠商，各校正實驗室使用之標準麥克風，幾乎都是使用該公司生產之實驗室標準麥克風(Laboratory standard microphone)。本次拜訪 B&K Sound and vibration 及 Vibro 兩部門，由該 B&K 公司之歐洲區事務經理 Peter Jensen 協助接洽，麥克風生產過程是由 Erling Sandermann Olsen 先生介紹，在校正技術與訪談上是由振動校正系統之產品經理 Torben Licht 及麥克風校正系統之開發人員 Henrik Carlsen 一起討論。

Erling Olsen 先生是麥克風開發方面的專家，在帶領麥克風製造生產線時一直強調校正的重要性以及 B&K 公司對於品質的要求，並且不斷的針對麥克風薄膜材質及麥克風加工技術上精進，所以至今能夠保持世界第一的麥克風製造廠商。麥克風製造工廠全程是禁止拍照，麥克風製造主要分成三個區域，第一區為機構製造區，無塵室為 Class 1000，主要是為了保證電容式麥克風背板 (back plate) 絕對的乾淨，若有雜質沾附在其表面，則會對於量測訊號有相當大的影響。第二區為薄膜加工區，主要是製作麥克風薄膜

(diaphragm)與薄膜與固定圈之雷射焊接製程，無塵室等級為 Class 100。第三區則是薄膜與麥克風機構(背板、電路)結合區，要求完全的乾淨無塵，故等級最高為 Class 10。在生產線上各種參數之測試儀器琳瑯滿目，介紹人也自豪的介紹 B&K 為降低麥克風前置放大器之電雜訊而引進之恆溫 PCB 板與電子元件組裝與點焊機台。

(1) 因應 3C 產品之發展與物聯網趨勢，低價之 MEMS 加速規、麥克風、陀螺儀大量應用在手持與攜帶式之行動載具上，校正技術與產業發展上之連接不是很密切，一則是因為 MEMS 感測器之價格便宜，一則是因為在消費性電子設備使用之感測器與傳統計量測試感測器之應用條件不同，所以目前半導體產業在其感測器規格上，以性能測試與一些關鍵參數之測試為主，使用上使用大量之訊號加權、補償、修正方式提升使用者之感受性。在 MEMS 感測器之校正上，B&K 給的建議是 MEMS 結構上與感應之物理量與輸出電性是微機電結構設計之專業知識(know-how)，但性能確認上可朝關鍵參數規格之確認，方法上可藉由具追溯性之量測方式進行測試。

(2) 在高衝擊位準之加速度校正如圖 1，B&K 在前幾年與學術單位及研究單位合作以 Hopkinson bar(霍普金桿為利用壓縮波在均質原桿之張力波傳遞方式)開發高衝擊位準之校正設備，但是在技術上牽涉到諸多之動態問題”dynamic problem”，所以該項計畫目前為停頓階段，討論中也提到使用應變規(strain gauge)貼附於張力波傳遞之路徑上，用來觸發感測

器之量測也扮演量測標準件、因為在壓縮波假設為一維平面波之條件下 Hopkinson bar 末端之加速度位準(a(t))與桿中壓縮波傳遞之應變(ε) 有如方程式(5)關係

$$a(t) = 2C_0 \times \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

(5)

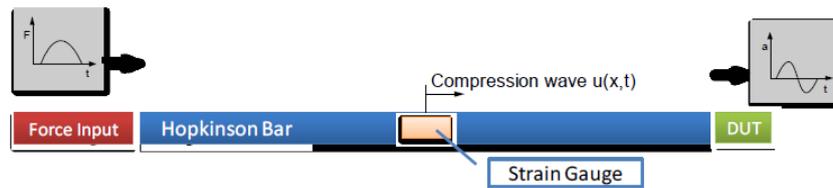


圖 1 應變規為量測標準之衝擊感測器校正架構

因為在 Hopkinson bar 壓縮波傳遞時會因邊界、與材質不均勻產生波的散射與扭曲這現象稱為散射(dispersion)，定義上是與頻率有關之相位速度 (phase velocity)，因為衝擊端(input force)之衝擊波具有不同頻率之能量輸入，而各頻率傳遞之波速不同，造成壓縮波之波前產生扭曲，所以經過修正後(5)式可改寫如(6)式，因為應變規黏貼位置與桿末端衝擊感測器之相對位置不同，所在應用第(6)式時需要以雷射干涉儀在桿末端之速度量測量進行修正。

$$a(t) = \frac{2 \times C_0}{U_s \times K_{SG}} \frac{dU(t)}{d(t)} = S_{SG} \times \frac{dU(t)}{dt}$$

(6)

其中  $U_s$  是應變規之橋式電路震盪電壓

$K_{SG}$  是應變規之均稱靈敏度

$C_0$  之 Hopkinson bar 傳遞之聲速

(3) 在與麥克風校正系統之開發人員 Henrik Carlsen 之討論中主要是聲量標準研究室之麥克風比較校正系統之汰換討論，也討論圍於經費問題一些儀器延用與共用可能性討論，也在目前新購入儀器之交機與訓練上進行說明，於今年完成性能測試與驗收，期能符合計畫進度。

## 1-2 風力發電機噪音技術

風力發電一直是世界各國致力發展的再生能源之一。雖然風力發電屬乾淨能源，但是風力發電機組運轉時所產生之噪音(noise)是目前台灣設置風場最主要之阻力。因台灣地狹人稠，也因此風力發電機架設的距離，也越來越接近居民，風力機組運轉時所產生的噪音，一直困擾著風力電廠附近的居民。去年苗栗縣苑裡也因為風力發電廠商要在他們的家園附近架設風力機組，而進行一連串的抗爭活動。風力發電機組附近居民，常年受其噪音所苦，但又無專門管制標準可茲參考，引用工廠噪音管制標準進行管制有衍生其適用之明確性問題，以及因周界不明確造成量測地點之爭議。風力發電機噪音原依據環境噪音管制標準之工廠噪音管制標準進行管制，但產生了法規運用之適用性及明確性問題，且因周界不明確常造成量測地點之爭議。因此環保署於 102 年 08 月 05 日公告修正噪音管制標準同時，增列風力發電機組噪音管制標準，全頻噪音則參考義大利、法國、英國及南澳等國家現行風力發電機組噪音管制方式，新增以增量方式管制風力發電機組之全頻噪音，低頻噪音之管制標準如表 1 所示。希望以噪音量分貝(decibel)之管制降低發力發電業者及居民之間的衝突，並保障國人的身體健康。

| 頻率  |     | 低頻<br>(20 Hz 至 200 Hz) |    |    | 全頻<br>(20 Hz 至 20 kHz)  |
|-----|-----|------------------------|----|----|---|
| 時段  |     | 日間                     | 晚間 | 夜間 | 1. 當整體音量日間或晚間超過 50 dB(A) 或夜間超過 40 dB(A)時，採噪音增量管制，風力發電機組運轉時其噪音增量不得超過背景音量 5 dB(A)。<br>2. 經限期改善之風力發電機組，於複查時在室內關窗且噪音發生源運轉時之全頻噪音測量結果，若未逾開窗且噪音發生源關閉時之音量，視為完成改善。 |
| 管制區 | 第一類 | 39                     | 39 | 36 |   |
|     | 第二類 | 39                     | 39 | 36 |   |
|     | 第三類 | 44                     | 44 | 41 |   |
|     | 第四類 | 47                     | 47 | 44 |   |

表 1 風力發電機噪音管制標準值(環保署 102 年 8 月 5 日修正發布)

B&K Vibro 之 Peter Allpass 分別對 Beamforming (波束成形) 技術應用於風力發電機噪音源確認、振動噪音訊號分析於風機結構運轉監測(CMS, Condition Monitoring System)進行介紹，Beamforming 的原理為利用擺放在空間中的多支麥克風(一般稱麥克風陣列)，調整各麥克風擷取訊號之相位以及振幅，以便在部分空間中的訊號能夠獲得相位相同、振幅相加、訊號變強的效果；而部分空間產生相位相反、振幅相減、訊號變弱。換句話說 Beamforming 是一種空間之濾波器，感測器在任何傳遞波的介質中可形成對特定方向具有高度敏感性之響應特性，此技術已普遍應用在聲納(SONAR)、雷達(RADAR)、電波天線、醫學顯影、及未來之無線通訊上。Beamforming 訊號之處理以一維陣列說明如圖 2，在空間中之噪音源(感興趣之訊號源)傳遞至各感測器，感測器收到之訊號時間會有時間差( $\tau$ )，需將每個麥克風接受之訊號利用相位領先或落後(Lead or lag)邏輯及延遲計算模塊(圖 3 中之  $\delta(t-[M-x]T)$  模塊)，判斷同一事件訊號之先後順序關係與時間差，獲得訊號先後順序與時間差後，再以方向解碼器判斷方向。對於固定 (fix array) 與

隨機 (adaptive array) 之麥克風分布之陣列，在時域與頻率之訊號處理程序如圖 4 所示。

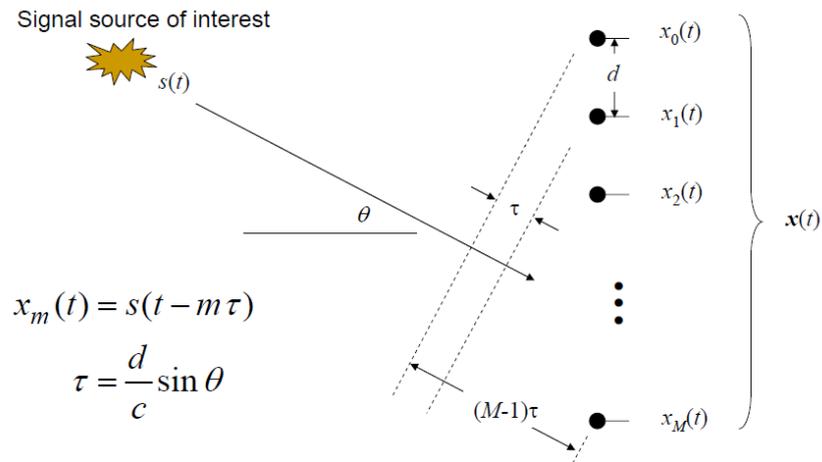


圖 2 一維麥克風陣列對訊號源之空間解析原理

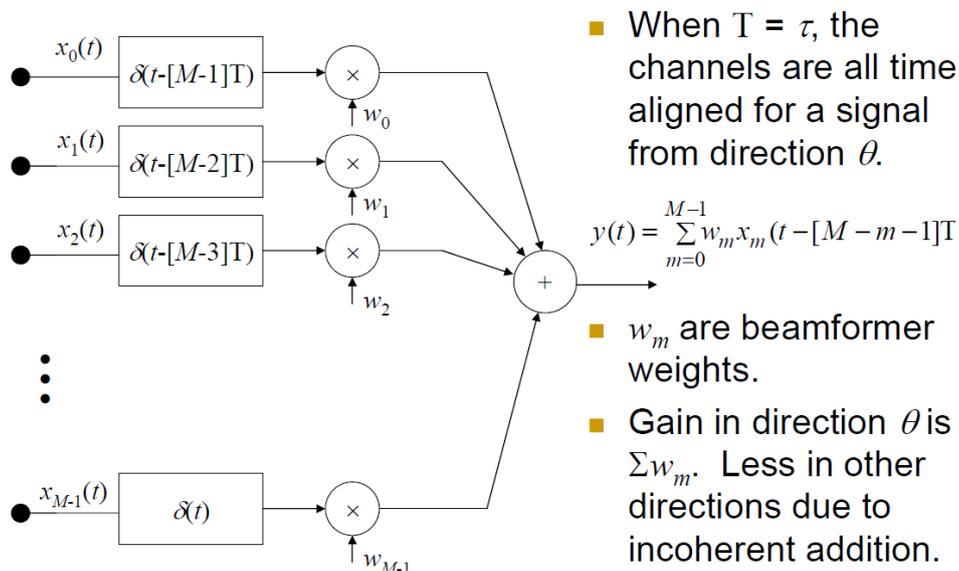


圖 3 Beamforming 中 Delay and Sum 之邏輯與程序

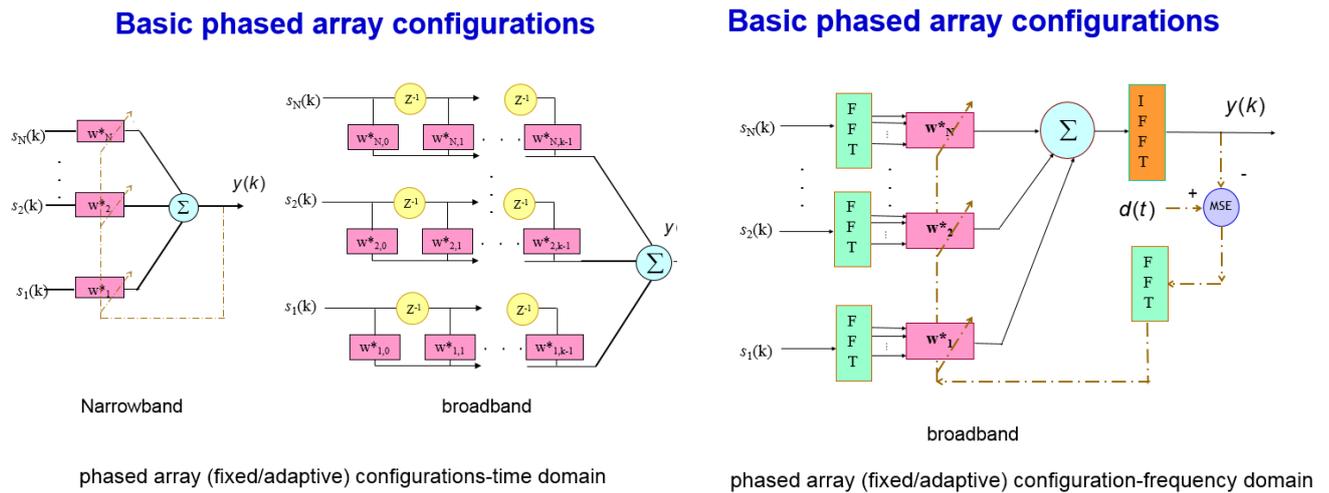


圖 4 感測器陣列之時域(左)與頻域(右)訊號處理程序

風力發電機之噪音問題可能會在運轉數年之後發生，例如風機葉片發生裂縫，一般風機營運單位並無法輕易地判斷噪音之來源與原因，用影像檢視方式將會花很長之時間，這種情況下，beamforming 是一個快速、可靠之方法可尋找主要音源之發生位置。

風機製造商是依據 IEC 61400-11:2012 Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques 及對應之 CNS 15176-11:風力發電機系統—第 11 部：噪音量測技術進行噪音測定 IEC 61400 風力發電機相關之噪音檢測，依據測定之結果再依循行 IEC 61400-14:2005 Wind Turbines - Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values 及對應之 CNS 15176-14 風力機-第 14 部:視在聲功率位準及聲值之宣告，而 IEC 61400-11 與行政院環檢所公告之 NIEA P201.92C 環境噪音測量辦法中對量測位置之定義與風機操作條件上之要求不同，造成營運單位在風機運轉控制與噪音防制之困擾。另外在台灣風力發電機噪音之陳

情常發生在特定之風向、風速區間與特定之地理周邊，營運單位在風力發電機噪音控制上，可藉由風機之運轉操作方式如降載、改變迎風角度 (Yaw - control)、與葉片姿態控制 (pitch-Control) 進行源頭噪音減量工作，但是一般調查工作僅侷限在量測點位置之噪音量值調查，無法獲得風機本體之主要噪音產生位置與現象之資訊，對無法提供風機本體噪音之抑制之策略與作法。B&K 提出實際可行之 Beamforming 技術，可對風機運轉噪音進行詳細之剖析。B&K 實際運用鋪設在地面之麥克風陣列 (如圖 5)，麥克風陣列架設在地面的原因是要避面地面之反射音對噪音調查之影響，圖 6 所示風機為下風式，圖 7 B&K Delay-and-sum beamforming 對風機特定葉片在 1 KHz 之噪音調查，圖 8 至圖 11 為對單一葉片之噪音量與各頻率之貢獻與發生位置之調查結果。唯有對噪音源發生之頻率與發生之位置進行解析與調查，才能提出明確有效之噪音減量策略。



圖 5 麥克風陣列  
(陣列尺寸 13.6 m×8.5 m 橢圓形星狀之麥克風陣列、麥克風數量 108 支)

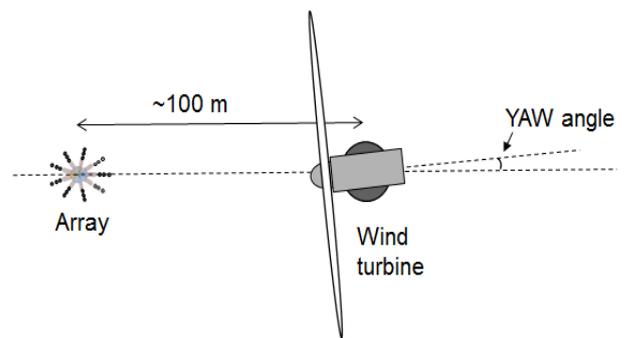


圖 6 麥克風陣列與風機之相對位置  
(風機為 down wind 形式)

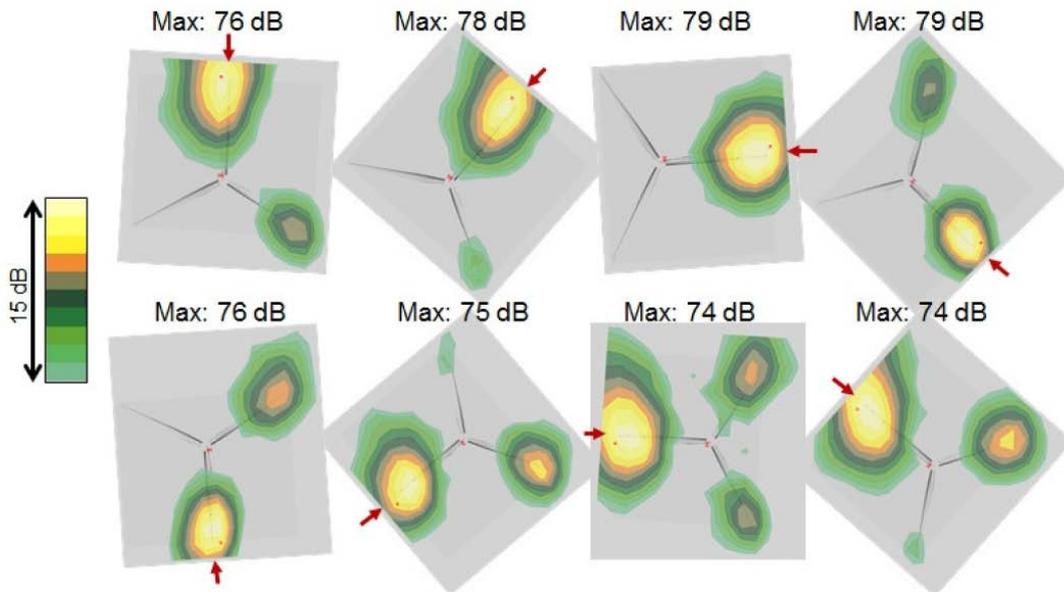


圖 7 B&K Delay-and-sum beamforming 對風機特定葉片在 1 KHz 之噪音調查

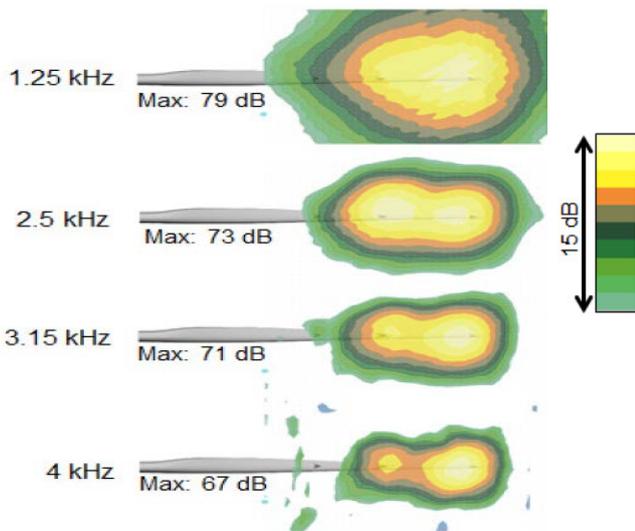


圖 8 Blade 1 通過量測點噪音分布圖

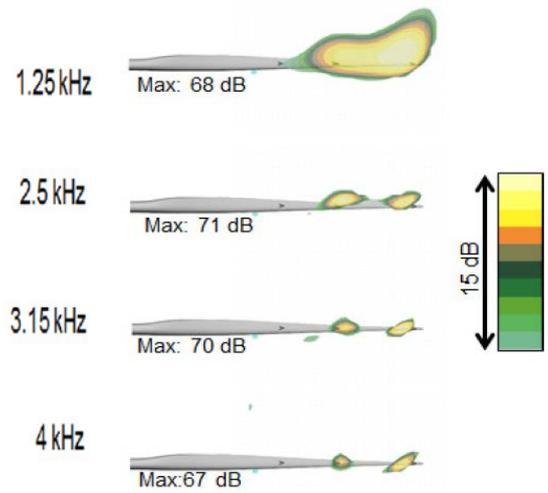


圖 9 Blade 1 通過量測點各頻率噪音貢獻圖

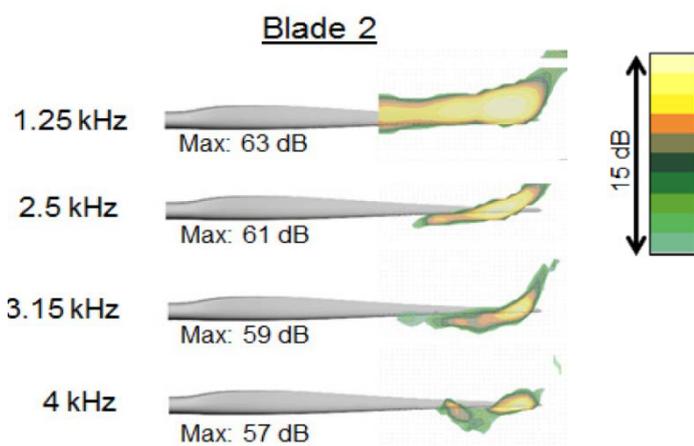


圖 10 Blade 2 通過量測點各頻率  
噪音貢獻圖

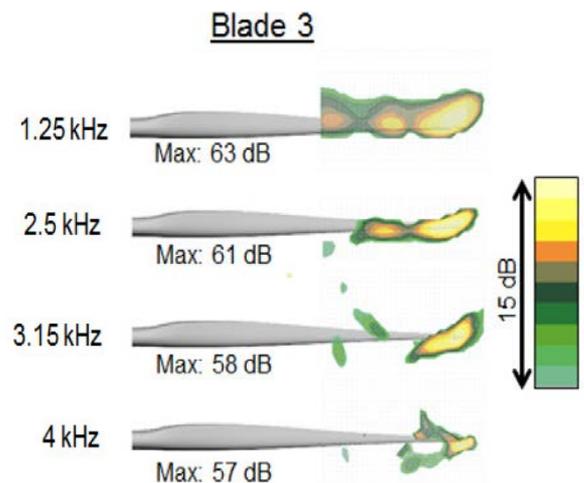


圖 11 Blade 3 通過量測點各頻率  
噪音貢獻圖

### 1-3 風力發電機運轉監測技術

B&K 公司也對風力發電機運轉監控系統(Condition Monitoring System)進行介紹，運轉監控系統、預知保養系統與運轉安全監測系統是屬於同一工作範疇，在機械或是標的物上預先安裝感測器(結構整體變形、局部應力、振動加速度、發電機轉速、與氣象條件)，理想之運轉監測系統在合適之關鍵參數與位準之設定後，可以準確迅速的在旋轉機械或是結構發生故障、損壞初期，提供警訊，可適當調整操作或調整維護保養時程，避免後續具災害性之損失與停機修復，目前 B&K Vibro 也有進行風機運轉監測，加速規、風機轉速等監測參數利用 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)數據擷取與控制系統，Bruel&Kjaer Vibro 為目前全球最大之獨立之運轉狀態監測系統供應商，圖 12 為 B&K 以十幾年風力發電機專為風力發電機設計之監測系統 VibroSuite，Alarm Manager，圖 13 為典型之風力發電機運轉監測策略感測器對應不同部件之監測配置，可處理與簡化大量之監測資料，

並提供損壞狀況發展之自動評估功能，建議損壞之極限值與評估更換時程，AlarmTracker 可由警告(Alarm)發生之歷程圖，快速的對目前之警訊進行對應。而 WTG Analyzer 比較偏重在技術人員針對時域訊號找尋警訊、損壞發生之成因，也包含了風力發電機損壞分析之必要分析診斷軟體。此系統已成功銷售 10000 套應用在義大利之 Enel Green Power 公司 142 架包含 Gamesa, Vesta, GE 及 Repowerz 風機，及美國之 EDP 公司共 391 架風機。

圖 14 與圖 16 分別與聲學專家 Erling Olsen 和工研院精密與動態工程計量研究室涂聰賢博士參訪合影



圖 12 B&K Vibro 之 VibroSuite 介面

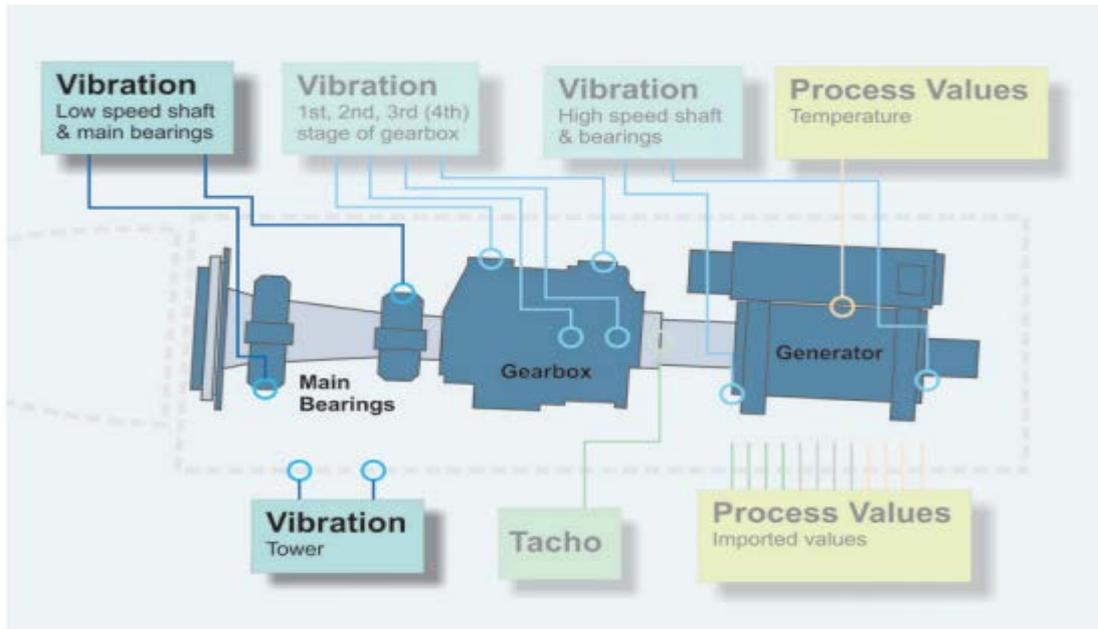


圖 13 典型之風力發電機運轉監測策略感測器對應不同部件之監測

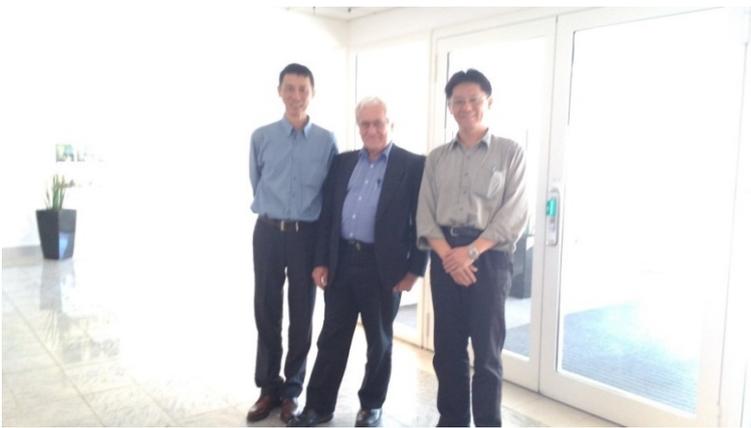


圖 14 B&K SV，與聲學專家 Erling Olsen (中) 和工研院精密與動態工程計量研究室涂聰賢博士(左)參訪合影

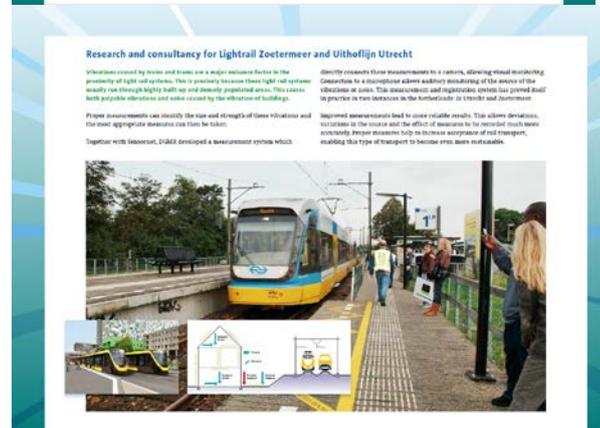
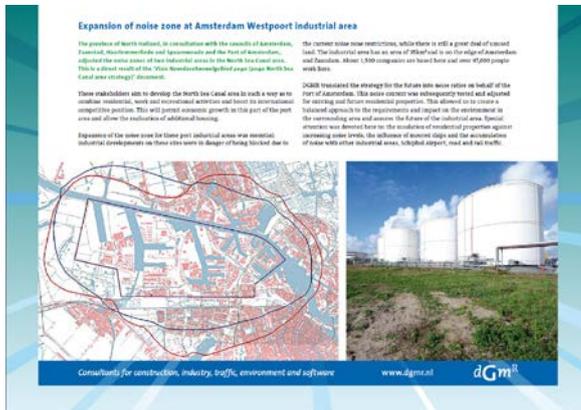
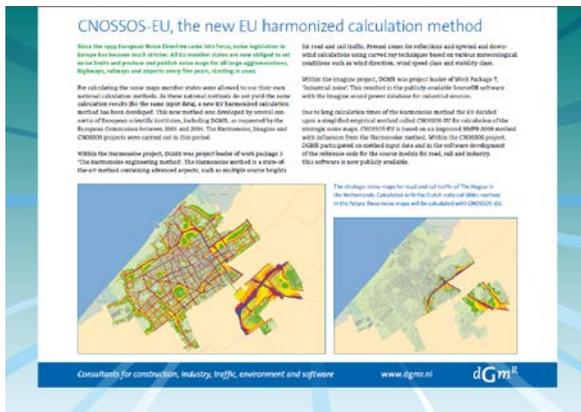


圖 15 與工研院精密與動態工程計量研究室涂聰賢博士於 B&K 參訪合影

## 2、研習風力發電機噪音地圖評估技術

### 2-1 噪音模擬技術參訪討論

研習噪音地圖評估為本次出國參訪之另一項議題，此議題選擇參訪對象為荷蘭 DGMR(B&K)公司，總部位於荷蘭，該公司為主要營運專注於解決在建築，製造，基礎設施，空間規劃和環境等等的噪音、室內噪音、噪音隔音、空氣品質與能源議題、也開發和相對應客製化軟體與地理資訊系統資料處理及應用。技術上包含聲學，城市健康和安安全，建築物理，火災調查，消防安全，節能與綠能建築等持續發展的業務。圖 16 是 DGMR 軟體經理 Erwin Hartog van Banda 於參訪當日提供之簡報摘要。



### Vibrations and the railway in Vught

The Netherlands has nearly 2000 inhabitants who live within proximity of a rail link and experience severe nuisance from the vibrations caused by trains. This nuisance of building vibrations, edges and discomfort and of their sleep being disturbed at night. By far the greatest nuisance and disturbance to sleep come from vibrations from goods trains.

The Programme Bouwrijper (Programme for the construction of Rail Transport) provides for adjustments to the track and network and its use. Adjustments have already been planned for the railway line between Utrecht and Dordrecht for the next few years. These are needed in order to continue setting the growing number of rail passengers. Additional capacity is also required for the growing amount of goods transport.

The village of Vught is in the province of Brabant in an location where infrastructure adjustments are being executed with great care. Vught is already a hub for motorways and coastal railways. Adjustments to the rail infrastructure will also increase pressure on the environment and the surrounding residential areas.

In cooperation with consultant, DGMR has conducted advanced vibration measurements and modelled the data. This is what it means in a real measurement, in order to be able to isolate and equipaged against the effects of the vibrations caused by the trains for the future.

### Consultancy for ECT and RWG container terminals

DGMR acts as consultant to many large container terminals in the ports of Rotterdam and Amsterdam on the ongoing environmental issues: noise, air quality and external safety.

We have been doing this for Europa Container Terminals with ECT for the last 10 years. ECT's major terminal (offshore) in the Rotterdam Maasvlakte area, with 12 berths, cranes and large gantry cranes, is now fully operational.

We also work together with Akerhaken World Container Terminals, in which two other modern container terminals are currently being constructed on newly reclaimed land in the Maasvlakte 2 area. This terminal, with three berths, cranes and fully electric gantry cranes, will be operational in 2025.

Consultants for construction, industry, traffic, environment and software [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

### About DGMR consultant engineers

Our consultants apply a comprehensive approach to your problem or project and deliver a cost-effective solution. With the efficient use and discipline our focus is on the fastest and most reliable, safety and health, without being dependent on other companies. This guarantees absolute objectivity in our consultancy work.

Consultants for government and business

DGMR is brought in for research, evaluation and consultation in the broadest sense of the word. We conduct research on noise and light pollution, on quality, safety, working conditions and efficiency. In doing so, we provide technical, policy-related and organizational support to our clients.

We oversee the planning, S&B of our industrial clients. We are also very familiar with planning and decision-making processes for the environment and spatial planning of local government authorities.

Software for environmental issues

Industry infrastructure and industrial projects can be implemented, it must be demonstrated that the environmental burden caused by traffic and industry meets Dutch and European standards. Compliance is an advanced software package for agencies that calculate, analyze and present ambient noise, environmental issues, air quality and odors. The package is frequently used by government authorities, consultants and business.

**Sustain ability health safety**

Would you like to know more?  
For more information on DGMR's services relating to industry, traffic and the environment, please contact:

**Joost van Leeuwen**  
Senior Advisor on Industry, Traffic and the Environment  
Telephone: +31 (0)6 51 97 07 00

**Dirk Willems**  
Senior Advisor on Industry, Traffic and the Environment  
Telephone: +31 (0)6 51 97 07 00

**Wim van de Ven**  
Director of DGMR services  
Telephone: +31 (0)6 51 97 07 00

**DGMR Desi Wang**  
Consultant for air quality, environment  
writing address: P.O. Box 10, 1000 AA Amsterdam  
telephone: +31 (0)20 610 0000  
mobile: +31 (0)6 51 97 07 00

**DGMR Anshu**  
writing address: Van Nieuwstraten 11, 1017 CA Amsterdam  
telephone: +31 (0)20 610 0000  
mobile: +31 (0)6 51 97 07 00

**DGMR Doreen**  
writing address: Looisewijk 10, 1054 PJ Amsterdam  
telephone: +31 (0)20 610 0000  
mobile: +31 (0)6 51 97 07 00

More information on DGMR services can be found on [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

Consultants for construction, industry, traffic, environment and software [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

### Large petrochemical plant in Scotland



DGMR consultancy:

- A one day course on general acoustics.
- A one day hands on training on how to build a noise prediction model in the Predictor software.
- Additional consultancy on how to solve noise problems with flares.

Consultants for construction, industry, traffic, environment and software [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

### Kemira olefins project in Saudi Arabia

#### Environmental noise abatement



Consultants for construction, industry, traffic, environment and software [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

### Large electric power transformer in Korea



The south-Korean company Hyosung was the manufacturer of a large power transformer with very stringent noise demands. The Dutch buyer hired DGMR to perform and witness the noise measurements in the factory before shipment to The Netherlands.

Consultants for construction, industry, traffic, environment and software [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

### Gas turbine in Singapore



Mitsubishi Heavy Industries in Japan introduced a new type of gas turbine, that was going to be installed in a new power plant in The Netherlands. Since all permits were already final, this might cause a future problem. DGMR was hired to perform noise measurements on the only operating gas turbine of this type in Singapore.

Consultants for construction, industry, traffic, environment and software [www.dgmr.nl](http://www.dgmr.nl)

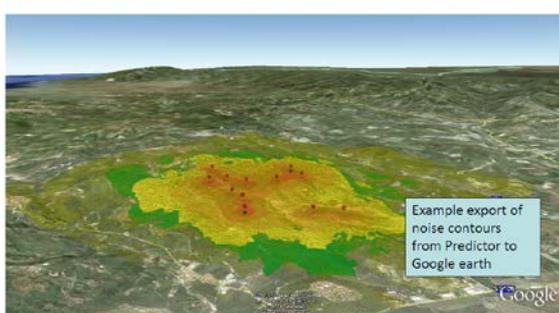
### Prediction of noise from wind turbines with Predictor V10.0

Erwin Hartog van Banda  
[ha@softnoise.com](mailto:ha@softnoise.com)



**SoftNoise**  
CLASSIFIED CONSULTANTS & LTD.

### Export noise contours to Google Earth



Example export of noise contours from Predictor to Google earth

**SoftNoise**  
CLASSIFIED CONSULTANTS & LTD.

圖 16 DGMR 之簡報資料摘錄

在 DGMR 之環境噪音傳遞模擬軟體中(Predictor)主要依循 ISO 9613 規範設計與模擬，ISO 9613-1 包括第一部份大氣衰減之估算與第二部分戶外聲

學傳遞之衰減計算。ISO 9613-2 旨在預測風向、風速傳遞路徑之障礙之八音階頻帶的聲音壓力位準，是目前已發表的預測方法中在國際間最容易被接受的，可以應用於許多種類的地面音源，用於環境噪音影響評估、**建築工程與噪音源之傳遞影響、智慧城市之環境規劃、風力發電機噪音之傳遞模擬與評估**，在衰減計算的內容涵蓋隔音牆、建築物、樹林、地形等效應。此方法之應用與限制包括

- (1) 僅模擬點音源或組合式點音源之噪音分布，因此，線或面音源需由多點之「點音源」組合計算。
- (2) 衰減特性包括幾何距離、大氣吸收、地面吸收與反射、隔音牆、建築物、樹林等在傳遞路徑產生之「屏障」，所以對一些噪音改善設施之安裝前後之模擬預估可直接進行成效之評估。
- (3) 應用於平面、高架道路、鐵路、工廠、營建工地等地面活動之噪音分布計算。
- (4) 並不適用在衝擊噪音之計算與評估。

風力發電機之噪音測試視在聲功率之宣告依循 IEC 61400 與 CNS 15176 相關規範進行，在風力發電機噪音模擬時，會依風力發電機等效成一個點音源之視在聲功率值，向四面八方均勻之傳遞，受音點的噪音計算方式，音源出發、經過衰減距離、大氣吸收衰減、地面條件產生之衰減、繞射衰減、過剩衰減得到受音點之聲壓位準。而反射音則由音源經過反射面反射衰減後，視為「鏡向音源」(image source)，同樣經過一連串的衰減計算到達受音點，而受音點的音壓位準則為各音源的貢獻值加成而得。

$$L_{fT}(DW)=L_w+D_C-A$$

其中  $L_{fT}(DW)$  為下風處(downwind)受音點之音壓位準

$L_w$  點音源所產生之八音度(octave)聲功率位準(單位: dB / ref 1 pW)

$D_c$  是指向性修正(單位: dB)

$A$  為點音源至受音者間之為八音度頻帶之衰減(單位: dB)

上式音源至受音者間之衰減量  $A$  可以表示

$$A=A_{div}+A_{atm}+A_{gr}+A_{bar}+A_{misc}$$

其中  $A_{div}$  是距離之衰減 (attenuation due to geometrical divergence)

$A_{atm}$  為大氣吸收衰減 (attenuation due to atmospheric absorption)

$A_{gr}$  為地面條件產生之衰減(attenuation due to ground effect)

$A_{bar}$  為屏障繞射衰減(attenuation due to a barrier)

$A_{misc}$  為過剩衰減(attenuation due to miscellaneous other effects)

所以風力發電機噪音發散之指向性問題，在模擬中僅藉由傳遞環境之衰減項進行模擬修正，而音源本身 DGMR 建議還是依據 ISO 9613 之無方向性之點音源方式進行設定，其他例如 DAL 32 模式也可應用於風機噪音模擬分析，但是為了避免造成風機噪音模擬之差異(此差異指不同軟體於相同模型、相同方法之模擬結果的差異)，DGMR 仍建議採用 ISO 9613 模式進行。

對於台灣風力發電機噪音抱怨問題之發生，常與季節之風向有關，風機噪音軟體對於短期間之噪音模擬上，DGMR 建議由環境參數著手，以調查

期間之環境條件代表風場之長期環境狀態，進行風場噪音模擬評估，可降低特定期間範圍之噪音量測結果與模擬評估結果之差異。

對於噪音模擬結果中所獲得之噪音抱怨者位置之噪音量，為數種音源所貢獻，對於那個音源貢獻最明顯之分析，DGMR 建議由軟體之風力發電機特性與音源特性方式進行設定，如此可判斷那個風機、或是音源是優先減噪之對象，對於可能之風機噪音抱怨者之環境噪音控制會更有直接、且風場營運之效益不至於會降低太多。

## 2-2 風力發電機噪音地圖應用概述

利用 DGMR 發展噪音地圖評軟體 Lima - Predictor 進行模擬噪音分佈並配合噪音監測，是對現有或將來的風場進行噪音估計或噪音符合證明最佳選擇，利用這分析功能，可獲得風機製造廠家能的聲功率和音質，風機使用前能檢驗新購或維修時設備組件產生的噪音位準，而規劃和諮詢人員能對單一風機或整個風場的環境噪音計算進行調整和驗證，這些長期非永久性評估設備在單個風機評估量測等情況時，能方便地重新部署，分析量測進行中可快速獲悉環境散射值及方位，參考圖 17，監測環境地形變化對於噪音散射問題影響很大，適當的模擬預知噪音是量測所必須的。



圖 17 環境地形變化對於噪音散射問題影響很大

由於環保署已將風力發電機噪音列入噪音管制標準以及近年來民眾針對風機噪音陳情案件數漸增，有必要建立風力發電機噪音影響評估能力，以評估風機設置前後對週遭噪音影響範圍及影響程度及建立民眾陳情風機噪音時所應採取的評估、測量方法，同樣也可運用在未來風機噪音對環境影響之評估、管理及預測。本次參訪之噪音分析公司建議除了上述的計畫，應包括需具有高標準的後援服務，能夠追蹤測試結果對相關國家標準的有效性，整合從測量用傳聲器到分析平臺的全方位量測結果，也包括對複雜環境要求，各個方面進行控制的管理軟體。量測結果的通用性能也允許這一系統能重新組合形成範圍廣泛的測試方案。

## 2-3 風機噪音測試規劃

風機噪音實地測試分析及工具的運用，在風機運轉中的地位越來越重要，顯示降低噪音對於開發與安裝運轉為成功關鍵因素之一，從葉片設計到吊艙安裝，風機組成的各個層面步驟，需要有噪音定位和準確估計。在現場測試系統方面，從掌上型分析儀到最新的麥克風陣列，從單通道聲學測量到複雜的 beamforming 方法，幾乎要考慮滿足各種狀況需求，無論是進行單台風機測試、現有裝置評估或風機齒輪箱故障檢測，均需有軟體的聲學測試解決方案，其所提供內涵資料為測試所需要的全部，配合噪音的量測選擇適當時機環境條件。測試評估工具需具備至現場量測之風機噪音監測設備 1 組，包含：噪音監測分析儀、氣象儀(風速、風向)及 GPS 自動定位功能，可持續測量 24 小時以上，並將監測數據自動依 GPS 定位點自動匯入系統中進行噪音地圖模擬運算，以驗證噪音影響評估範圍之準確性。

較適當之風機噪音測試系統，需可於監控中心即時顯示噪音監測數值，進行遠端連線設置監測參數，並可分別設置日、夜噪音事件觸發位準，進行噪音事件記錄並回播噪音事件記錄聲音檔。系統必須能設定風速超標功能，並將風速超標之噪音事件進行標註(不列入計算)。系統也須能自動計算日、晚、夜 LEQ 及 DNL，並可出具噪音監測報告。

風機噪音測試規畫也應包含噪音規範的應用，各種頻率散射影響不同，對於低頻噪音，以往沒有法規可以遵循，尤其人耳對於低頻率聲音感受和 中、高頻明顯不相同。頻率在 20Hz 以下的聲音，雖然大部分人聽不到，可

是當音量大到可感受時，其感受像心跳或振動，其噪音也會讓門、窗或玻璃製品輕微振動作響。文獻指出有些人感覺得到低頻噪音壓力的存在，可能會產生憂慮的反應，也有令人不舒服的感覺。頻率在 20-60 Hz 的聲音，人耳依稀可以聽得，國內定訂低頻範圍在 20-200 Hz，算是符合一般人對噪音的感受。目前國際用於風力發電系統之量測規範 IEC61400-11 風機噪音標準，有關風力發電規範國際規範 IEC 61400 系列如下表 2 所示：

| ICE 規範                           | 原文名稱  | 中文名稱                                  |
|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| IEC 61400-1 :<br>1999(E)         | Wind turbine generator systems – Part 1 :<br>Safety requirements  | 風力發電機系統-第 1<br>部:安全需求                 |
| CEI/IEC 1400-<br>2 : 1996        | Wind turbine generator systems – Part 2 :<br>Safety of small wind turbines  | 風力發電機系統-第 2<br>部:小風機安全需求              |
| IEC 61400-11 :<br>2006           | Wind turbine generator systems – Part<br>11 : Acoustical noise measurement<br>techniques  | 風力發電機系統-第 11<br>部:噪音量測技術              |
| IEC 61400-12 :<br>1998(E)        | Wind turbine generator systems – Part<br>12 : Wind turbine power performance<br>testing   | 風力發電機系統-第 12<br>部:風機性能曲線測試            |
| IEC /TS<br>61400-13 :<br>2001(E) | Wind turbine generator systems – Part<br>13 : Measurement of mechanical loads   | 風力發電機系統-第 13<br>部:機械負載量測              |
| CEI/IEC<br>61400-21 :<br>2001    | Wind turbine generator systems – Part<br>21 : Measurement and assessment of<br>power quality characteristics of grid<br>connected wind turbines | 風力發電機系統-第 21<br>部:風機併網發電品質<br>特性量測與評估 |
| IEC/TS 61400-<br>23 : 2001(E)    | Wind turbine generator systems – Part<br>23 : Full-scale structural testing of rotor<br>blades  | 風力發電機系統-第 23<br>部:轉子葉片全尺寸結<br>構測試     |

表 2 IEC 風力發電規範說明表

有關風機噪音法規公共政策的決定，面臨很多挑戰，尤其是低頻噪音，主要問題在於諸多的認知變數，大部份聲音法令是根據噪音的平均值，比如

說連續 2 分鐘的平均值，然而在風機鄰近居民認為得以及所聽到的，都以所感受到聲音峰值為準。在此多變的噪音標準下，會有更多的報怨提出其受到某種程度干擾，環保法規依據 IEC61400 - 11 國際標準，以確定風機聲功率要求，對於噪音認知的爭議，也應以國際共同認定的依據。

在測試技術方面，使用高品質設備對風機噪音，是穩定而準確的測試所必須，而設備的標定過程須能在國際機構進行追蹤。高品質設備之測試工具係依據 IEC 61400 - 11 的風機聲功率測試，可便利使用的完整實驗系統，可滿足標準條款要求，具有嚴格要求標準的方法則，通過一個直觀的使用者介面以大幅簡化，其中包括複雜噪音輻射的測試、分析和報告等部分。永久噪音監測在噪音監測及解決方案，得能在各種氣候條件下，持續的時間段內準確地記錄資料，構建噪音特徵的完整畫面。

#### 2-4 風機噪音地圖評估：

風機環境噪音是否符合環保法規，需從環境噪音限值之監測分析著手，為應用於風機運轉所必須，在大環境條件之下，對噪音敏感的人或區域常會抱怨聽到難以忍受的聲音，尤其在靠近風機的社區或住戶，從持續量測分析監測報告提供噪音及風速資料，可以及早獲得環境噪音之分析結果，以處理相鄰風機住戶抱怨。在一般生活圈範圍，對於風機噪音的容忍程度有所不同，郊區因人口較少比市區容忍度高。另一方面，在風場的區域範圍，風機噪音主要是受大氣條件所影響如風速、溫度等，風機的發電

量由風速所決定，較高的風速產生較大的發電量，同時噪音也增加了，從溫度的高低比較，白天或夜晚，地面溫差大也會造成聲音上傳或下傳不同方向，造成夜晚噪音特別明顯的情況。再一個問題，紊流也是噪音來源的一大因素，越大的紊流噪音量越大，對於社區生活圈之噪音來源，風速及紊流將是最大的問題所在，如此需研擬風力發電機噪音影響評估方法。

每一個風場開發時須通過環境噪音評估，其評估方法均需監測環境背景噪音準位，每種風速下的背景噪音量均需評估，以獲得各種條件下可容許之噪音量。風場量測設備可提供有效率之蒐集風速及噪音資料，協助完成必要的有用資料。噪音分析軟體 Pridictor-Lima 有上述功能外，可提供風機噪音音量及配合各風場噪音限值，如圖 18. 及圖 19. 來完成各種氣候條件評估及長期平均準位監測。

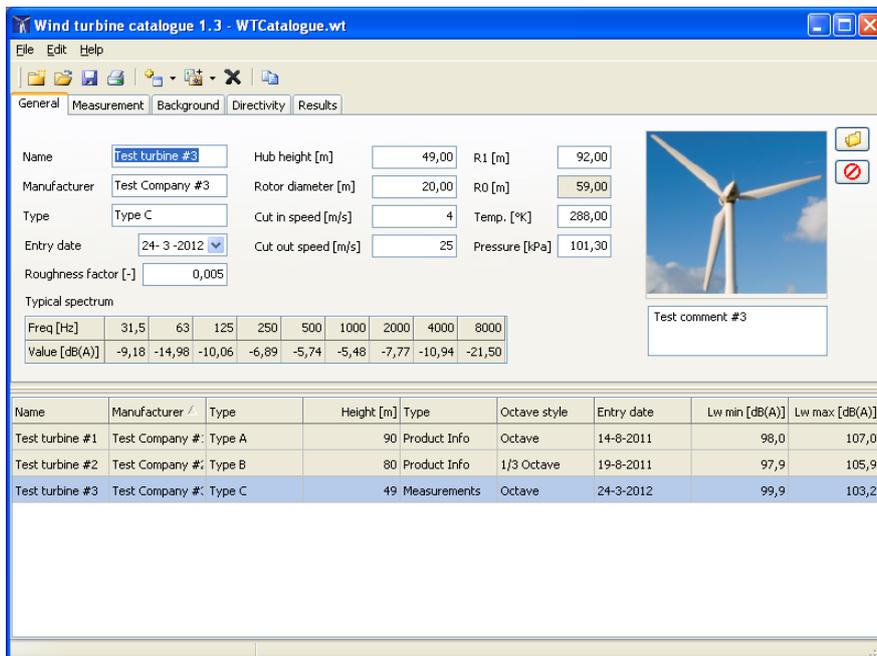


圖 18. Pridictor-Lima 分析系統提供風機噪音模擬各項功能

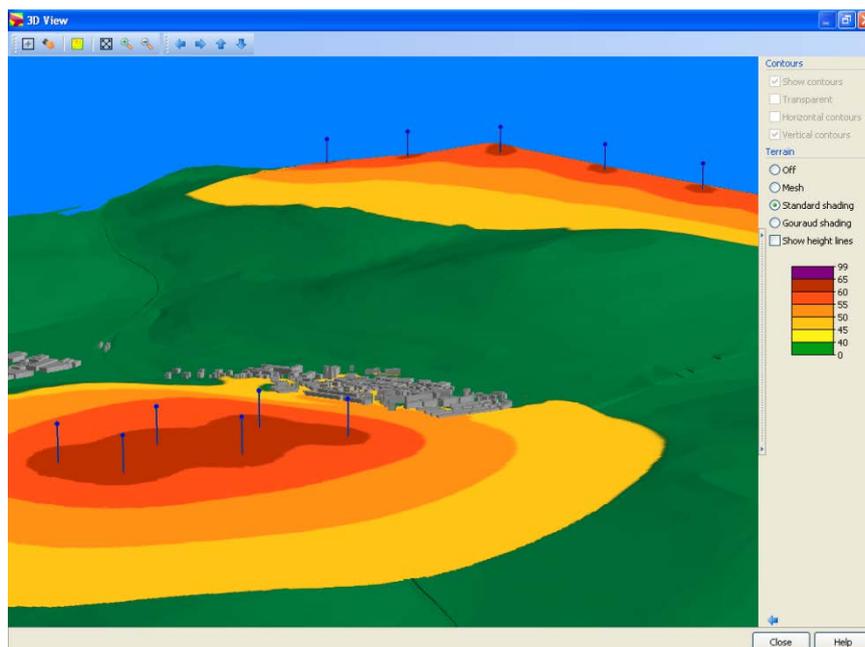


圖 19 Predictor-Lima 分析系統完成多點聲源噪音分析

建立風力發電機設置前選址、以及現行運轉風機噪音及民眾陳情點影響評估能力等。須針對法規規定之風機噪音管制，提出未來設站選點及風力發電機組設置後長期監測、管理原則。評估能力須含匯入道路交通噪音、特定音源、風力發電機噪音、其他障礙物(如建物、隔音牆等)、地形高層資料及自 Google Earth 匯入衛星影像圖，模擬評估噪音影響範圍，如圖 20. 為噪音分析系統導入 Google Earth 匯入衛星影像圖並加以計算後結果。

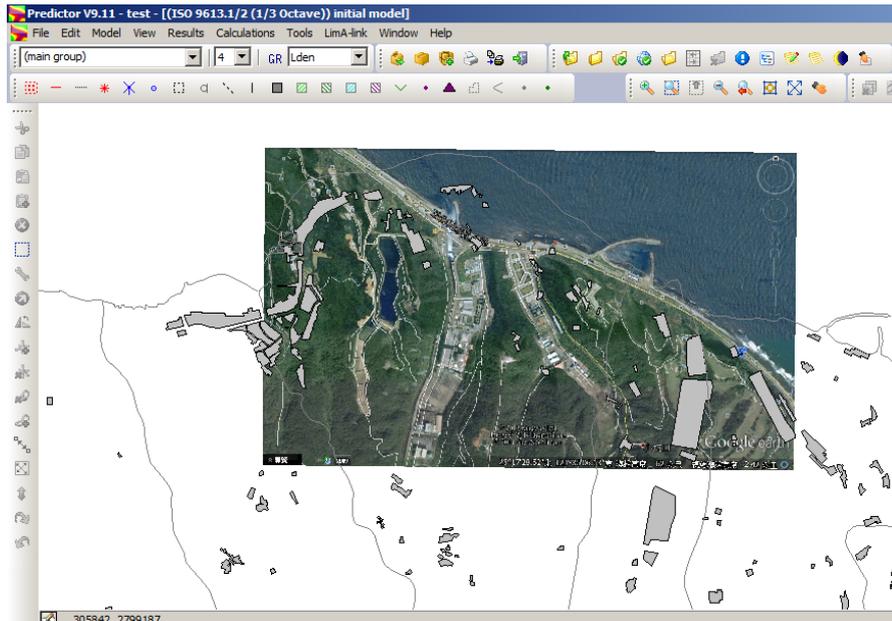


圖 20 噪音分析系統導入 GIS 系統

匯入衛星影像圖後分析結果須能將風力發電機出廠測試數據輸入至系統中，模擬模式至少需具有依國際標準 ISO9613 進行風力發電機噪音影響範圍模擬評估。也應具有平面及三維的噪音地圖顯示功能，以呈現平面及三維風力發電機噪音地圖，量測點及住戶建物平面及建物高層影響程度，並能將模擬結果自動匯出套疊至 Google Earth 呈現。為進行量測位置選點評估，需具有現地量測會勘選所使用之手持式噪音計 1 台，並符合噪音管制標準 IEC61672-1 Class 1 及 IEC61260 Class 1 等級，噪音計需具有同時即時顯示全頻(16Hz~20KHz)及低頻(20Hz~200Hz)功能，並可同步錄音，設定噪音事件觸發位準之噪音計，如圖 20 及圖 22 之噪音分析儀自動套疊至 Google Earth 呈現。



圖 21 手提式噪音分析儀導入衛星影像圖

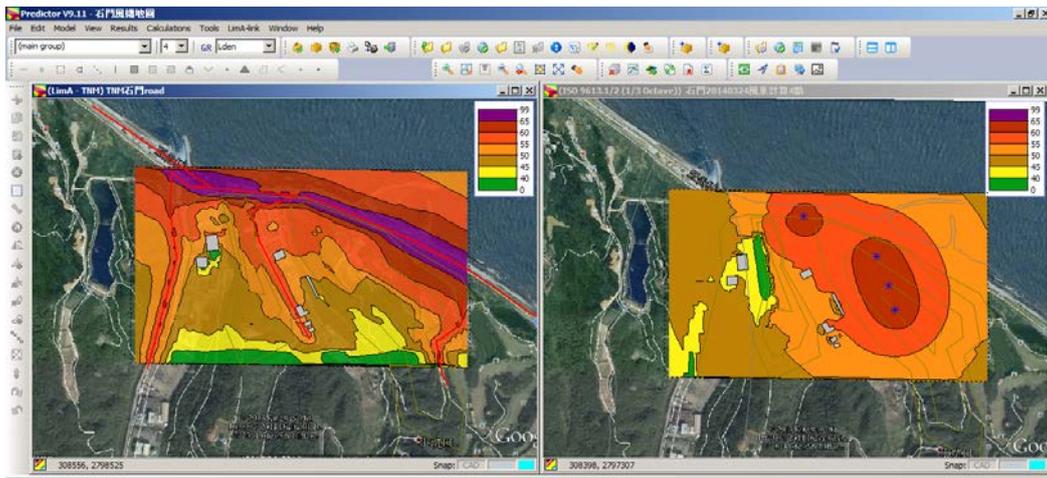


圖 22 噪音分析系統匯入衛星影像圖

## 四、結論與建議

本次公務出國至丹麥與荷蘭實習，除搭乘飛機也利用歐洲鐵路四通八達的快速與便捷的交通工具，尤其是各大城市間的連結，所以此次公務採取搭乘歐聯鐵的方式也非常便利舒適的順利到達目的地也是另類經驗，雖然歐盟各組成國家官方語言雖不是英語，但多數商家及居民都能使用英語溝通，使用英語溝通也是不成問題。其中德國和丹麥沿鐵路之間有看到許許多多大小不同款式的風機在運轉中包括陸上與離岸風力機，見識到先進國家對風能資源的利用，尤其值得一提的是到哥本哈根需通過波羅的海海峽，整列火車開上輪船載到對岸後繼續行駛，對外國旅客是一個奇特的經驗，雖然在邊境仍可見到過往通關的查驗建築，現在想想持有台灣護照即享有歐盟國家免簽待遇，對我們商務旅遊的人士真是一大福音，俗稱安全、舒適與便捷的公務旅程。

以下是本次公務出國的結論及建議：

- 1、Predictor-Lima 軟體是目前電腦模式進行風機噪音模擬分析的理想工具之一，該軟體採易於使用的視窗有善介面，且具有巨量資料的處理數學及聲學理論模擬快速計算功能，快速準確的模擬噪音影響程度，其噪音分佈地圖整合 GIS 系統，能清晰描述噪音量大小與噪音分佈範圍，成為目前風機噪音分析模式應用的主流技術。提出減噪對策。
- 2、風場環境噪音地圖的模擬可以應用建立風力發電機設置前選址、以及現行運轉風機噪音及民眾陳情點噪音影響評估等等，可以針對法規規定之風機噪音

管制標準，提出未來提出減噪對策及風力發電機組廠址設站選點依據。

- 3、當風機運轉一段時間後，因轉子葉片表面耗損或撞擊，葉片流場勢必改變，而產生較大紊流，如此情況，風機葉片的擾流增加，噪音會因此增加。然而噪音敏感點的噪音監測隨即提供噪音量即時資訊到底增加了多少，可以讓風機營運單位能立即作出運轉模式調整因應對策。
- 4、本次參訪國外具有噪音專業領域及豐富經驗之公司，對應用各種噪音量測分析技術創造舒適生活環境有更明確的認知，且提供本公司很好的借鏡，不論是合作或引進該項技術，對於現有風機噪音量監測或未來風機設置噪音地圖評估分析都會有很大的幫助。