

出國報告（出國類別：其他）

赴德國風能研究所進行風力機電力 品質標準與量測技術訓練

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：董建利 技士

派赴國家：德國

出國期間：106年8月19日至9月3日

報告日期：106年11月16日(待奉核後填入)

赴德國風能研究所進行風力機電力品質訓練簡要報告

訓練名稱	風力機電力品質標準與量測技術訓練
訓練時間	106年8月21日至9月1日共10天課程
訓練組織	德國風能研究所(German Wind Energy Institute GmbH, DEWI)及海上風電驗證中心(DEWI Offshore and Certification Centre GmbH, DEWI-OCC)。
參與訓練人員	董技士建利
訓練摘要	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本次訓練之講師分別來自德國風能研究所(DEWI)及海上風電驗證中心(DEWI-OCC)兩家機構，兩家原為全球安全科學機構 UL(Underwriters Laboratories)集團所併購之子公司，為符合德國離岸風力機驗證法規之要求，故分拆為測試與驗證兩家完全獨立之公司。 2. 本次訓練主要依據之國際標準為 IEC 61400-21，相對應的國家標準為 CNS15176-21「併網型風力發電機組之電力品質特性量測與評估」。 3. 有關電力品質評估項目可分為電壓變動、功率因素、電力諧波、三相不平衡率、系統穩定度等，本次訓練課程內容包括標準原理介紹、相對應之法規說明及量測技術見習等。 4. 本次訓練最後一天由不來梅港(Bremerhaven)搭船至北海參觀德商達德能源集團位於德國西北方名為 Nordergründe 的離岸風場。
心得與建議	<ol style="list-style-type: none"> 1. 併網型風力機電力品質的量測評估是很重要的，尤其風力機運轉及併網所造成的電力可靠度衝擊，有可能造成電網系統的風險產生，國內目前係依據「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」對再生能源設備包括風力機進行電力品質要求。 2. 盤點國內風力機電力品質測試能量，目前尚缺低電壓持續運轉能力(Low Voltage Ride Through, LVRT)及高電壓持續運轉能力(High Voltage Ride Through, HVRT)檢測設備及檢測能力，此部分的設備經費約在千萬以上，後續若有相關計畫以支持建置檢測能量，應做更深度的量測操

	<p>作訓練課程。</p> <ol style="list-style-type: none">3. 國際標準 IEC 61400-21 主要應用於風力機併網時電力品質量測與評估，目前使用之版本為 2008 年版，但 IEC 組織針對 IEC 61400-21-1 已有 CDV(Committee Draft for Voting)版本，預計在 2017 年或 2018 年出版，國內應持續追蹤最新標準動態。4. 目前國內再生能源併聯技術要點對於電力品質之要求應加強思考大規模再生能源設備併網情形下對電網可靠度及系統運轉穩定性之影響，並且考慮臺灣電力系統特性，多參考國外不同國家之限制條件及最新國際標準的走向，增加再生能源設備關於電力品質能力要求項目。5. 隨著臺灣發展離岸風力發電，運轉維護服務將會是一個具專業性、在地性、也充滿商機的產業，無論是國產或是進口的風機，若運維服務無法即時滿足需求，可能造成無法供電或供電成本增加的風險，優先發展國內的運維服務公司是很重要的。6. Nordergründe 離岸風場建置在離不來梅港以西約 40 公里、平均水深約 5 公尺的區域，此區域水深較淺故工程的施工技术較為成熟。臺灣海峽深度變化較大，未來施工時平均深度會落在約 50 公尺的位置，此深度的難度較大，國際上技術較不成熟，因此在施工時需考慮基底的穩定度。
--	---

目錄

壹、前言與目的.....	6
貳、訓練概述.....	8
一、8月21日.....	10
二、8月22日.....	12
三、8月23日.....	15
四、8月24日.....	16
五、8月25日.....	22
六、8月28日.....	23
七、8月29日.....	26
八、8月30日.....	29
九、8月31日.....	32
十、9月1日.....	34
參、訓練內容.....	41
一、電力品質技術說明.....	41
二、電力品質量測項目介紹.....	44
肆、心得與建議.....	55

附件：

1.IEC 61400-21-1 2017 年(CDV 版)

2.上課講義

圖目錄

圖 1	FRITZ SANTJER 講師對課程進行介紹	12
圖 2	待測物保護電驛及其接線圖	13
圖 3	測試設備架構	14
圖 4	(左) KOCOS ARTES 繼電保護測試儀 (右) DEWETRON 電力品質分析儀	14
圖 5	課堂上課情形	16
圖 6	LVRT 設備解說	18
圖 7	LVRT 測試設備單線接線(上)與測試示意圖(下)	19
圖 8	LVRT 測試箱內部組件說明	20
圖 9	外部電纜設計	20
圖 10	不斷電系統供應 LVRT 測試儀器使用	21
圖 11	ENERCON 測試風場	22
圖 12	JENS DIRKSEN 講師講授 LVRT 測試	23
圖 13	主要的電力品質量測分析設備	25
圖 14	電力品質量測軟體操作	25
圖 15	模擬風力機大電流之裝置	26
圖 16	FRITZ 講師說明 IEC 61400-21-1 標準新舊版本差異說明	26
圖 17	電網法規符合性及營運關係圖	28
圖 18	德國風力機驗證的相關規範	28
圖 19	MR. SATISH 說明德國電網法規符合性驗證	29
圖 20	專案驗證步驟	31
圖 21	MR. ALBERT 進行離岸風場驗證說明	32
圖 22	與 DEWI-OCC 公司進行結束會議情況	33
圖 23	海纜剖面圖	34
圖 24	風力機葉片之剖面	34
圖 25	NORDERGRÜNDE 風場地理位置	36
圖 26	採用三腳架基底的離岸風力機	37
圖 27	採用套管式基底的離岸風力機	37
圖 28	NORDERGRÜNDE 離岸風場	38
圖 29	SENVION 6.2 MW 風力機機組	39
圖 30	海上變電站基座	40
圖 31	施工船進行進行補給吊掛作業	40
圖 32	電力系統示意圖	41
圖 33	不同國家之 LVRT 測試曲線	52
圖 34	臺灣 LVRT 測試曲線	53

表目錄

表 1 訓練課程表.....	9
表 2 電力品質污染因素、影響對象與改善對策.....	44
表 3 閃爍之測試條件.....	45
表 4 閃爍之測試數據表格.....	46
表 5 切換運轉之測試數據表格.....	47
表 6 諧波電流之測試條件.....	48
表 7 量測儀器精度規格.....	50
表 8 電壓降測試風力機未併接時之測試條件.....	52

壹、前言與目的

綠色能源發展是我國重要政策，並且以太陽光電及風力發電為核心的發展項目，以達成 114 年再生能源發電占比達 20% 的目標。在風力發電發展上，本(經濟)部擬定風力發電 4 年推動計畫(106-109 年)，目標是 4 年內達成風力發電累計 1,334 MW(百萬瓦)設置量，更配合相關中長期計畫的推動，以建構發展環境並帶動國內風力發電相關產業發展，進而達成 114 年風力機 4.2 GW(十億瓦)設置量，其中陸域 1.2 GW、離岸 3 GW 之設置目標。

世界各國所投入運轉的風力發電系統主要分為離岸型、陸域型與中小型風力機系統。離岸型與陸域型屬於大容量風力機，具有 MW 等級發電輸出，主要以集中式發電風場取代傳統大型燃煤電廠。隨著再生能源設備大量投入發電使用，包括大型風力機等再生能源設備其併網所產生之電力品質現象及因應對策會是刻不容緩的議題。

由於國內離岸風力發電開發技術經驗不足，而歐洲發展風力發電國家如英國、德國、丹麥等均已發展多年，其海事工程、驗證技術等經驗豐富。本次出國係依據 106 年度「參與前瞻及基礎科技之國際標準化活動」科發基金計畫，赴德國風能研究所(German Wind Energy Institute GmbH, DEWI)及海上風電驗證中心(DEWI Offshore and Certification Centre GmbH, DEWI-OCC)進行國際標準 IEC61400-21 風力機電力品質標準與量測技術訓練。

風力機(Wind Turbine)或風力發電廠(Wind Farm)是利用風能來產生電力的發電設備，由於風速具有不穩定性的特性，風力機在併入電力系統網路時常需進行解聯(Grid disconnection)與併聯(Grid

connection)模式的切換。當風力機在解聯模式下運作時，輸出電壓及頻率都會偏離電網的標準電壓及頻率，除了頻率及電壓波動的問題，發電設備諧波(Harmonics)電流污染的問題也是電力品質探討的課題之一，諧波污染除影響系統供電品質外，亦可能破壞電力設備或影響其它設備之正常運轉。而功率因數(或稱功率因子)亦是電力品質項目，功率因數(Power Factor, PF)是指有效電流占總電流之比例，功率因數的高低也會影響到供電品質。此外三相不平衡率除會對電力系統造成影響，亦會造成電力的浪費而產生經濟損失。其他有關係統穩定度之電力品質測試項目包括低電壓持續運轉能力(Low Voltage Ride Through, LVRT)及高電壓持續運轉能力(High Voltage Ride Through, HVRT)。低電壓持續運轉能力是指在風力發電機在高壓併網點電壓跌落的時候，風力機必須有能力保持並維持一定的時間，甚至向電網提供一定的無效功率，以支持電網恢復。而高電壓持續運轉能力則是目前世界各國逐漸開始重視，而相關國際標準及電力法規也正在增加此一電力品質測試項目，高電壓承載能力是指高壓側電網因故障而電壓驟升時，風電機組應能維持連續運行而不脫網，並提供足夠大的故障恢復電流。

此次出國訓練除對於上述電力品質項目相關的國際檢測標準原理進行學習了解，相對應之德國驗證法規說明及實際量測設備與量測技術見習，也都是這次出國主要之目的，而在本次訓練的最後一天由不來梅港(Bremerhaven)搭船至北海參觀德商達德能源集團位於德國西北方名為 Nordergründe 的離岸風場，也是第一次有機會真正近距離的參觀離岸風力發電場。

貳、訓練概述

本次訓練的主要地點是為位於德國西北部的不來梅，主要訓練場所是德國風能研究所(DEWI)的訓練教室及試驗室，並且隨課程進度至其它試驗設備場地了解低電壓持續運轉能力（「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」的用語，不同文件或稱低電壓穿越、低電壓承載能力等）試驗設備，而訓練之講師分別來自德國風能研究所(DEWI)及海上風電驗證中心(DEWI-OCC)兩家機構，DEWI 約有 100 名員工，DEWI-OCC 約有 45 名員工，這兩家公司皆為全球安全科學機構 UL(Underwriters Laboratories)集團下之子公司，原為同一家公司，為符合德國離岸風力機驗證法規之要求，故分拆為測試與驗證兩家完全獨立之公司，本次受訓時間是 106 年 8 月 21 日至 9 月 1 日共兩周十天課程，如表 1 所示為訓練課程表。而本次訓練同行的學員有來自財團法人台灣大電力研究試驗中心的藍培修經理與黃鴻文工程師。

訓練課程包含 IEC61400-21 併網型風力發電機組之電力品質標準介紹、德國併網規範驗證(Grid Code Certification)介紹、電力品質測試流程介紹與試驗室觀摩、低電壓持續運轉能力試驗設備的現場解說，最後一天並且由不來梅港(Bremerhaven)搭船至北海參觀德商達德能源集團位於德國西北方名為 Nordergründe 的離岸風場參訪。

表 1 訓練課程表

日期	訓練課程
8月21日 (一)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Introduction (Fritz Santjer) ■ General aspects of IEC61400-21 (Fritz Santjer) ■ Grid Code Certification (Phubade Pasakawee, DEWI OCC) ■ Control behavior requirements according to IEC61400-21(Kai-Uwe Ravnsborg-Gjertsen)
8月22日 (二)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Control behavior requirements according to IEC61400-21 (Kai-Uwe Ravnsborg-Gjertsen) ■ Grid protection tests (Fritz Santjer, Andreas Gentsch) ■ General requirements practical training in Lab: test systems and performance of tests (Fritz Santjer)
8月23日 (三)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aspects of Measurements systems Location of measurements (Fritz Santjer) ■ Power Quality (Kai-Uwe Ravnsborg-Gjertsen)
8月24日 (四)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Visitation of the LVRT test system of UL DEWI (Andreas Gentsch)
8月25日 (五)	<ul style="list-style-type: none"> ■ LVRT and HVRT tests according to IEC61400-21 (Jens Dirksen) [Test systems 、 General requirements 、 Analysis of tests]
8月28日 (一)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Practical measurement in Lab.(Andreas Gentsch, Fritz Santjer) ■ Questions and Answers (Fritz Santjer, Jens Dirksen, Kai-Uwe Ravnsborg-Gjertsen, Andreas Gentsch)
8月29日 (二)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Grid Protection / Grid Compliance Certification IEC 61400-21 6.8/7.8 (Satish Kashibathla)
8月30日 (三)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Offshore projects requirements (Fritz Santjer) ■ Project planning phases and required assessments (Tees, UL Albert)
8月31日 (四)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concluding meeting
9月1日 (五)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Offshore Windfarm(Holger Söker, Hergen Bolte)

一、8月21日

講師：Fritz Santjer (DEWI 公司)、Kai-Uwe Ravensborg-Gjertsen (DEWI 公司)、Phubade Pasakawee (DEWI-OCC 公司)

課程摘要：

一早至 DEWI 公司報到開始訓練課程，首先由該公司電子系統測試部門經理 Fritz Santjer(圖 1)對於講師經歷、公司介紹及兩周課程進行說明，Fritz Santjer 講師同時也是國際電工委員會(International Electrotechnical Commission，IEC)關於 IEC 61400-21 標準的技術委員會(Technical Committee，TC)第 88 技術委員會的成員。

首先講師對於這兩周的課程安排進行說明，並且對於 DEWI 的公司成立歷史以及主要任務進行介紹，接著請學員自我介紹並提出課程內容需求進行討論，以協調是否需要適度的調整兩周之課程內容，讓學員在短時間內獲得最大的訓練效果。因為本次訓練最主要的目的是希望協助國內試驗室建立 IEC 61400-21 驗證能量並建立相關驗證文件，取得財團法人全國認證基金會的驗證項目認證為目標，故課程中也向講師提出是否能取得該試驗室已建立的試驗室品質文件及試驗報告做為參考，然這方面因為有商業機密的問題，故最後取得的相關參考文件為簡易版本。接下來的課程則是以 IEC 61400-21 風力機併網電力品質的量測項目進行說明，包括介紹量測電力品質時控制行為的要求，也就是依據標準進行電力品質量測時風力機該在什麼狀態條件下，接著也介紹德國併網規範要求，講師說明電力併入電力系統中時，一定會將對既有的電力系統造成衝擊與影響，因此各國對再生能源發電系統併網均有相關規範，在德國目前有四家民營輸電公司

(Transmission Owners, TO)，而這次課程主要是以該公司在德國進行測試驗證多年的經驗進行技術訓練，所以講師也提到應該注意德國與臺灣的差異性，比如德國是 50 Hz 的系統，而有關德國主管離岸風電的機關是德國海事局(Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie，簡稱 BSH)。而 IEC 61400-21 電力品質量測雖然在 IEC 61400-22 風力機符合性驗證是選擇性的項目，但目前國際上的趨勢有越來越多的風力機廠商自主要求要進行 IEC 61400-21 測試驗證，一般而言取得驗證證書有 5 年的有效期。有關技術說明的部分將在第三部分訓練內容進行說明。

而在再生能源發電系統併網上各國皆訂有電網法規(Grid Code)，這部分德國的業者在德國申請中壓併網的風能與太陽能發電系統都必須符合德國聯邦能源與水資源協會(Bundesverband der Energieund Wasserwirtschaft，簡稱 BDEW)和德國風能和其它可再生能源聯盟(Forderungsgemeinschaft Windenergie，簡稱 FGW)公布的技術規則 TR3、TR4、TR8 的要求。BDEW 2008 年頒布的「與中壓電網相連的發電系統技術規範」也需要遵守，這部分的併網性能要求除了要通過諧波測試，設備還要能接收電網的指令能進行實功和虛功控制，並且符合低電壓持續運轉能力等多項技術指標的要求。



圖 1 Fritz Santjer 講師對課程進行介紹

二、8 月 22 日

講師：Fritz Santjer (DEWI 公司)、Andreas Gentsch (DEWI 公司)、Kai-Uwe Ravensborg-Gjertsen (DEWI 公司)

課程摘要：

今日的課程除了半日對於昨天課程的補充說明，下午則是進入 DEWI 的試驗室了解他們的測試環境、使用的設備等。試驗訓練是以一個保護電驛 (Protective Relay) 產品(圖 3)的實際測試過程進行說明。保護電驛在電力設備中是經由比流器 (Current Transformer, CT) 或比壓器 (Potential Transformer, PT) 等相關設備檢測出故障的情形，故當有設備發生事故時，可以快速檢出故障訊息，適時清除故障，隔離事故範圍，所以保護電驛是確保電力系統安全運轉重要裝置，也因此保護電驛跳脫功能的量測驗證是必要的，訓練中所使用的樣品就是電力設備中常見的保護電驛產品，透過此試驗方式可模擬電網保護器跳脫功能

或逆變器(INVERTER)跳脫功能的執行確認。此測試架構如圖 4 所示，主要是由能夠多通道供應測試時所需的電壓、電流、頻率的儀器，並且由測試軟體進行流程控制及量測結果分析，而相關設備(圖 5)本局於今年計畫中已陸續建置。

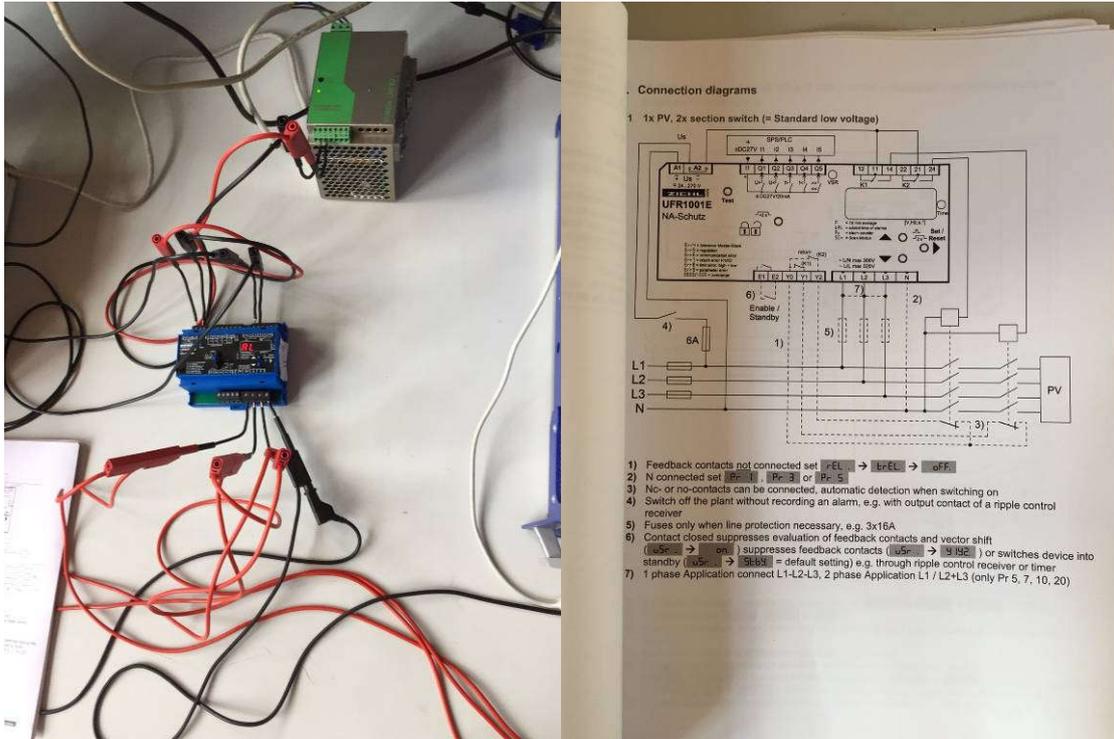


圖 2 待測物保護電驛及其接線圖

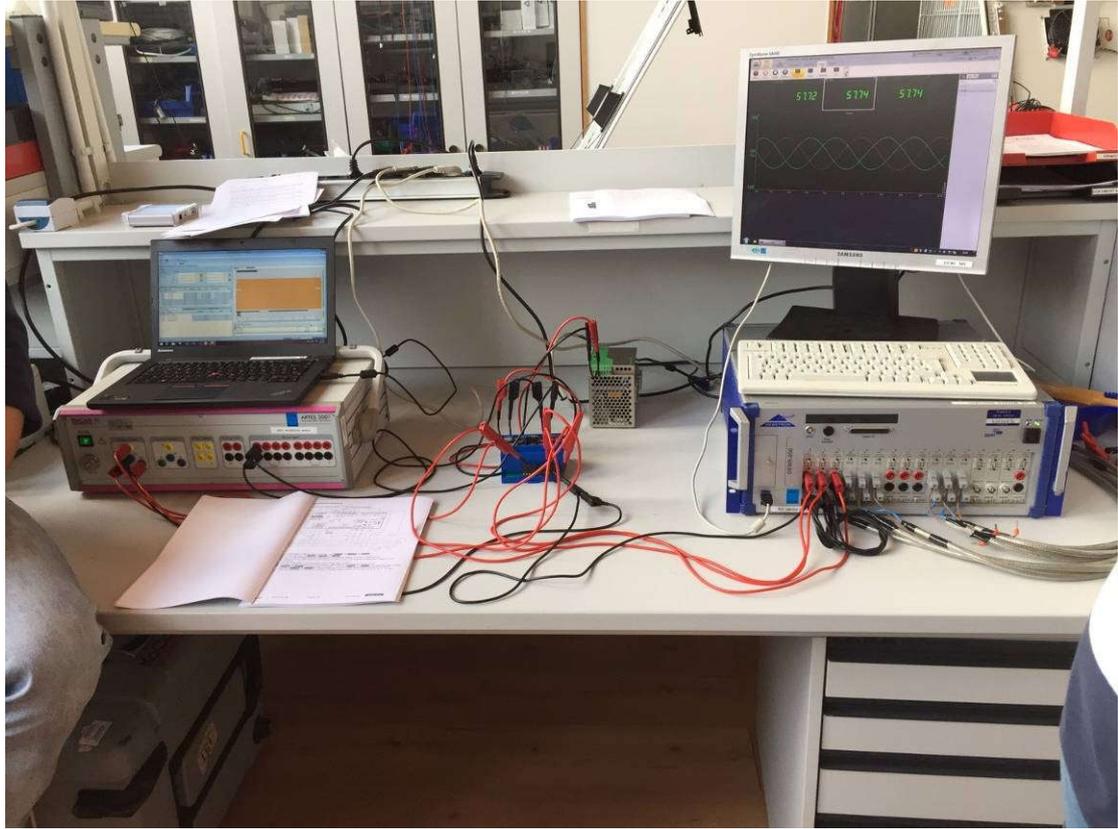


圖 3 測試設備架構

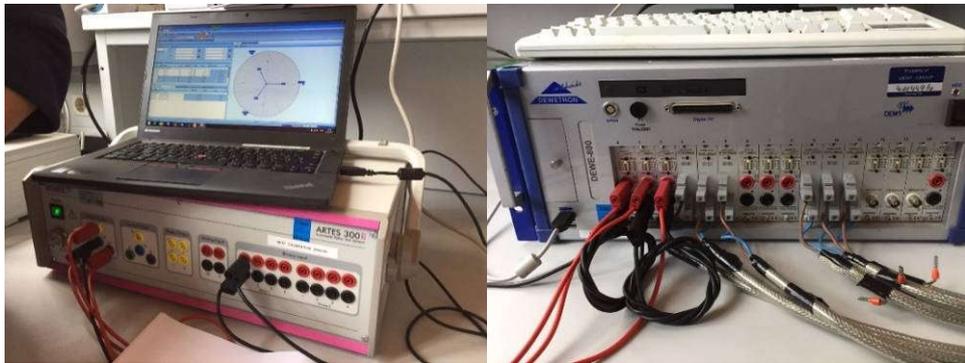


圖 4 (左) KOCOS ARTES 繼電保護測試儀 (右) DEWETRON 電力
品質分析儀

三、8月23日

講師：Fritz Santjer (DEWI 公司)、Kai-Uwe Ravensborg-Gjertsen (DEWI 公司)

課程摘要：

今日的課程除了上午繼續了解昨天的保護電驛測試，下午課程(圖 5)則開始對於電力品質的測試項目逐步的介紹說明。今日主要介紹的電力品質測試項目是電壓閃爍(Voltage Flicker)測試與諧波(harmonics)測試。

電壓閃爍是影響電力品質的重要因素之一，隨著風力發電機數量與機組容量的增加，在不穩定的風速下，因輸出電壓及電流之變動，直接造成電壓閃爍的影響，電壓閃爍會造成日光燈等燈具的閃變，使人眼睛有不舒適的感覺，長期而持續的閃爍會造成視力的衰退，所以閃爍管制主要是避免產生照明閃爍對眼睛的影響。進行電壓閃爍測試時，必須使用符合 IEC 61000-4-15 規範的閃爍測試儀(flicker meter)。又講師舉出德國的例子說明要進行德國電力電子及資訊科技協會 (VDE)驗證時，閃爍量測法是使用 IEC 61400-21 但限制值則必須參考 BDEW 規範。

電力系統雖是以固定頻率(臺灣為 60 Hz)正弦波運轉，但再生能源設備會使用高速切換的電力電子元件，使得原本供應電源之 60 Hz 正弦波，衍生其它頻率雜訊(統稱諧波)，除了對電子設備產生電磁干擾外，諧波電流經由線路入侵電力系統，往往造成不可預期的傷害，輕者造成跳電，重者供電設備毀損。而進行諧波量測時必須依據 IEC 61000-4-7 之相關規定進行量測。一般而言濾波器可以有效解決諧波

問題，但這也必須要透過進一步的測試才能夠設計合適的濾波器阻抗進行對策。講師最後也提到新的 IEC 61400-21 標準 CDV 版本，目前有提到新的諧波測試方法，不過這也是要等到各國代表投票之後才會公布新的標準版本。



圖 5 課堂上課情形

四、8月24日

講師：Andreas Gentsch (DEWI 公司)

課程摘要：

今日的課程是至德國靠近荷蘭的一個城市黑克(Heek)實地參觀 DEWI 公司的 LVRT 測試設備(圖 5)，由於我們上課的地方至黑克路程遙遠單程車程約需 2 小時，講師在回程路上也順道帶我們到耶費爾(Jever)參觀 Enercon 公司的風力機測試風場。

所謂的低電壓持續運轉能力(LVRT)是指在風力發電機併網點電壓跌落的時候，風力機要能保持低電壓穿越併網，甚至向電網提供一定的虛功率，支持電網恢復，直到電網恢復正常，LVRT 是對併網風機在電網出現電壓跌落時仍保持併網的一種運行功能要求。一般由於

風力機是大功率的電力設備，LVRT 測試設備也都是貨櫃型式，以利裝載至各地風場地進行實地測試。

如圖 6 為 LVRT 設備測試時之單相電路圖，左側為電網(GRID)右側為風力機待測物(DUT)，試驗時透過 CB1 開關將電導入電網此為正常狀態，測試時可透過 CB2 或 CB3 開關其一，將電壓跌至 15%額定電壓條件，此測試時風力機需保證不跳脫電網且可連續運行 500 毫秒(ms)之能力。

講師也提到了 LVRT 測試設備的一些小細節，比如圖 8 LVRT 測試箱內部組件中，黃色的部分為開關設備，此設備用途除了在開關功能外其設計亦可減少瞬間接觸時所造成的電弧現象產生，這是他們的設備接觸開關的特點。圖 9 則是外部電纜，設計上需有隔離層，以防電磁干擾現象。又在控制室中需有不斷電系統以供應量測儀器電源使用(圖 10)。

傍晚回程我們至 Enercon 測試風場參觀，Enercon 是德國的風力機製造商，由於耶費爾(Jever)的測試風場是開放式的，所以我們可以看到一架架壯觀的風力機矗立在田野之上，這個測試是風力機製造商開發的每一台風力機原型機(prototype)都希望能夠長時間自主觀察運行以計算實際發電狀況(圖 11)。



圖 6 LVRT 設備解說

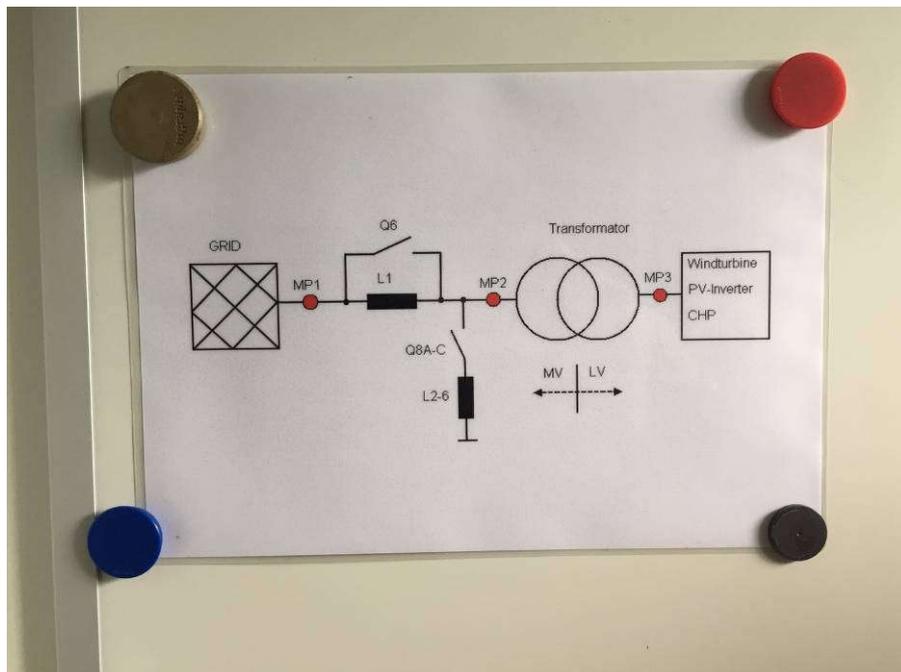
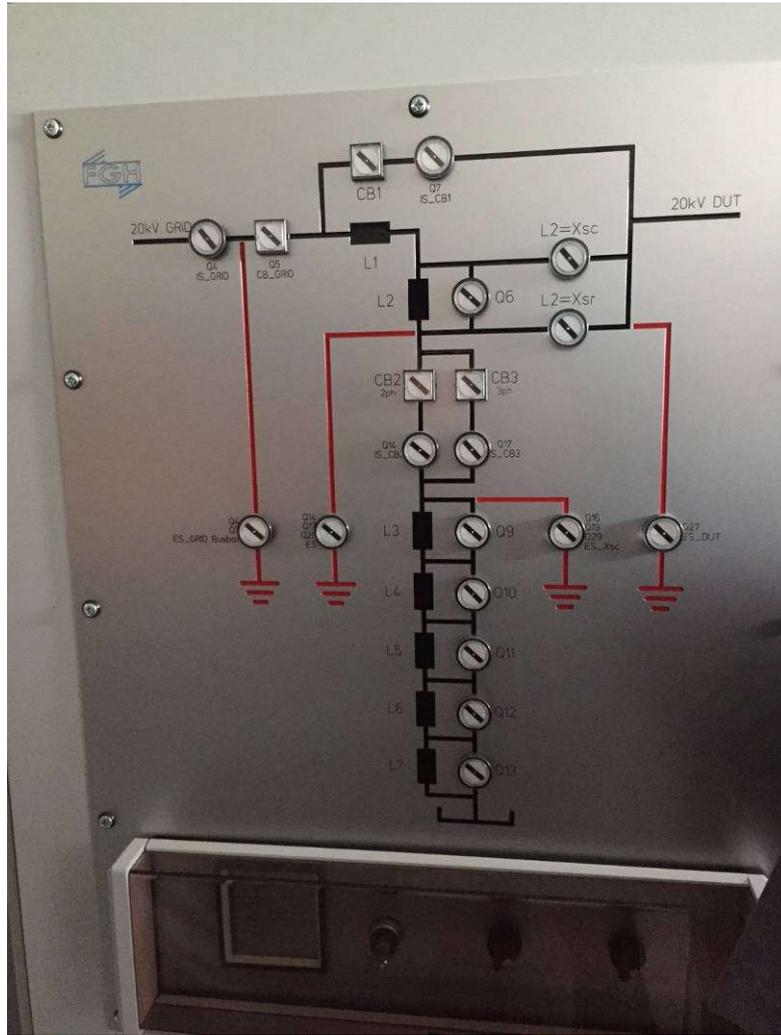


圖 7 LVRT 測試設備單線接線(上)與測試示意圖(下)



圖 8 LVRT 測試箱內部組件說明



圖 9 外部電纜設計



圖 10 不斷電系統供應 LVRT 測試儀器使用



圖 11 Enercon 測試風場

五、8月25日

講師：Jens Dirksen(DEWI 公司)

課程摘要：

延續昨天實地參觀 DEWI 公司的 LVRT 測試設備，今天則回到課

堂上，就 LVRT 測試項目內容進行講解。講師 Jens Dirksen 是個有 7 年工作經驗的工程師，講師提到 IEC 61400-21 對於 LVRT 接受測試報告或模擬報告的結果，至於各國 LVRT 要符合的限制法規，業者在測試前也應該先了解以符合各地法規。講師也提到了測試數據的分析可以使用 imc FAMOS、MATLAB、Excel 等資料分析軟體，由於 imc FAMOS 是德國公司的產品，我們也發現大部分的德國試驗室都是使用此一軟體進行量測結果的資料分析。



圖 12 Jens Dirksen 講師講授 LVRT 測試

六、8 月 28 日

講師：Andreas Gentsch (DEWI 公司)、Fritz Santjer(DEWI 公司)

課程摘要：

今天上午的課程又回到了試驗室，由 Andreas 工程師進行量測電力品質的量測設備與測試方法進行解說，主要進行電力品質的量測與

監控設備是由 DEWETRON 公司出廠之 DEWE-800(圖 13)，主要用於風力機併網時之電力諧波、電壓閃爍、頻率量測、電壓突波及電壓不平衡等項目分析，這設備本局也配合計畫量測需求進行採購並且已經交貨驗收。

這個測試系統另一個優點是可以帶至風力機安裝現場進行實際量測，此設備配合該公司的 DEWE Soft 軟體，工程師可以自行編輯適當之量測介面，並且容易取得某區間之量測資料進行分析。課程中也利用系統模擬風力機產出之電力，並利用此軟體進行操作說明，說明如何在電力品質發生問題時選擇適當的區間進行資料儲存與分析，如圖 14。

下午由 Fritz 進行 IEC 61400-21 標準內容解說(圖 16)。IEC 61400-21 主要應用於風力機併網時電力品質量測與評估，目前使用之版本為 2008 年版，但 IEC 組織針對 IEC 61400-21-1 已有 CDV(Committee Draft for Voting)版本，預計在 2017 年或 2018 年出版。IEC 61400-21-1 標準主要在定義風力機併網之電力品質特性參數、電力品質量測程序、評估風力機併網是否有符合其連接要求程序。亦針對新舊版本差異之處課程中也予以解說，例如新版 IEC 61400-21-1 之 8.6.4.2 之頻率變化率(The rate of change of frequency, ROCOF)的測試，與舊版本之差異之處在於如何決定保護的階層及如何決定保護的時間，而電壓閃爍測試、附錄 G 的諧波評估方法等也是新舊版本之差異。

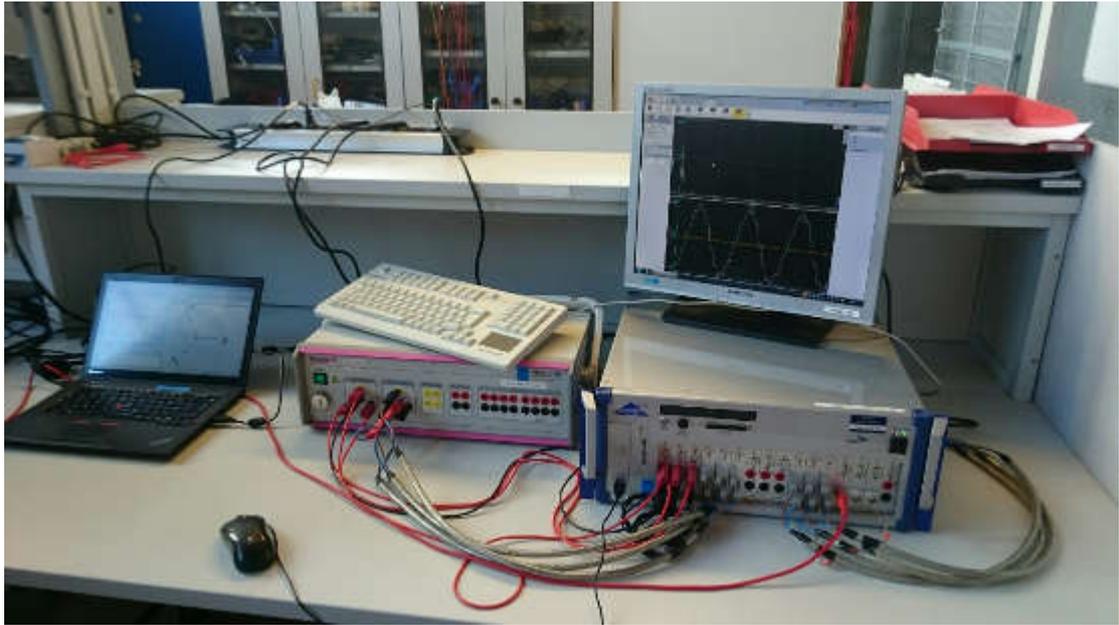


圖 13 主要的電力品質測分析設備

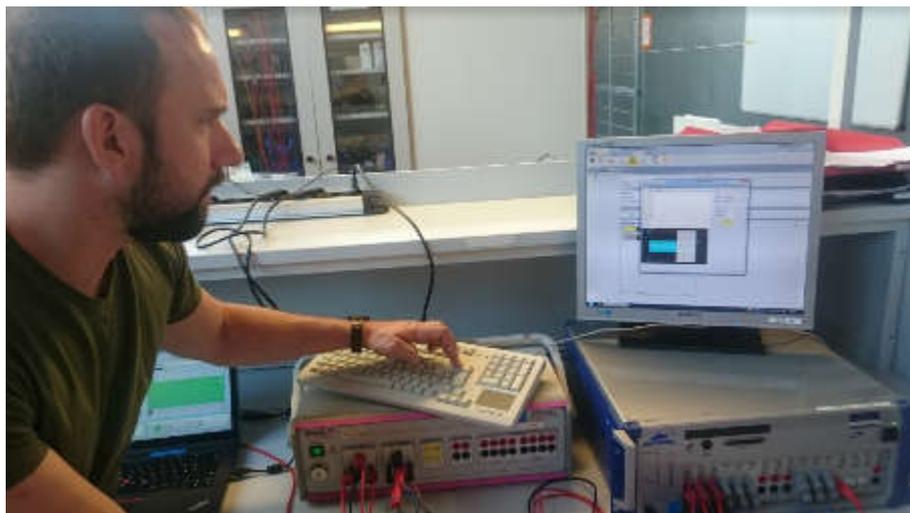


圖 14 電力品質測軟體操作



圖 15 模擬風力機大電流之裝置



圖 16 Fritz 講師說明 IEC 61400-21-1 標準新舊版本差異說明

七、八月 29 日

講師：Satish Kashibathla (DEWI-OCC 公司)

課程摘要：

結束了前期的電力品質測試技術的課程，今天的課程是以風力機驗證及電網相容性進行介紹。首先 DEWI-OCC 公司的 Satish 先生介紹有關電網法規符合性 (Grid Code Compliance, GCC) 概念，電網法規主要訂定了電力輸電系統的各项技術要求，以確保輸電系統安全，並且有效率的運轉。隨著電力系統需求不斷增加，加上舊電廠的退役，大量新興能源，包括傳統的化石燃料和再生能源，連接到輸電系統。如何確認這些新興能源併網時不會對電力系統的可靠性性能產生負面影響，為一項重要的議題，此亦為 DEWI OCC 提供驗證服務的目的。

德國電網法規符合性牽連到幾個不同的單位如圖 17，PGS 為發電系統(Power Generating System)、Wind farm operator 為風場營運商、TSO 為輸電調度中心(Transmission System Operator)、DSO 為配電業者(Distribution System Operator)，發電系統於發電時需符合各國的法規才能併網至輸配電業者。針對德國風力機的併網測試包含了風力發電整機驗證及風場驗證兩種，如圖 18。風力發電整機驗證包含量測及模型確認兩種，量測主要用於確定風力機整機連接至電網之電力參數；模型確認主要用於風力機整機及系統之電力參數模型確認。

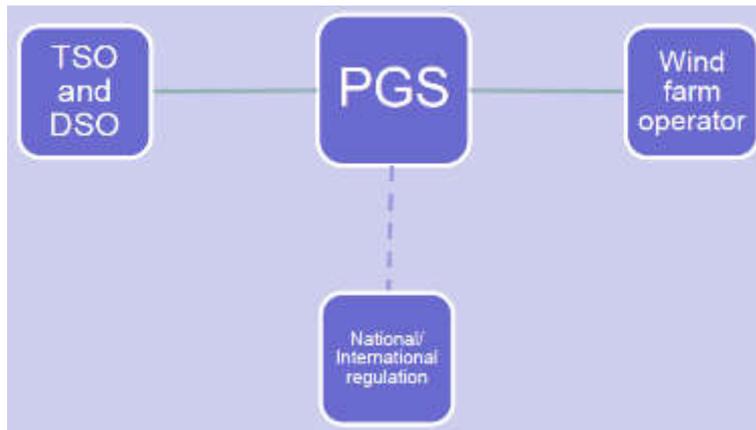


圖 17 電網法規符合性及營運關係圖

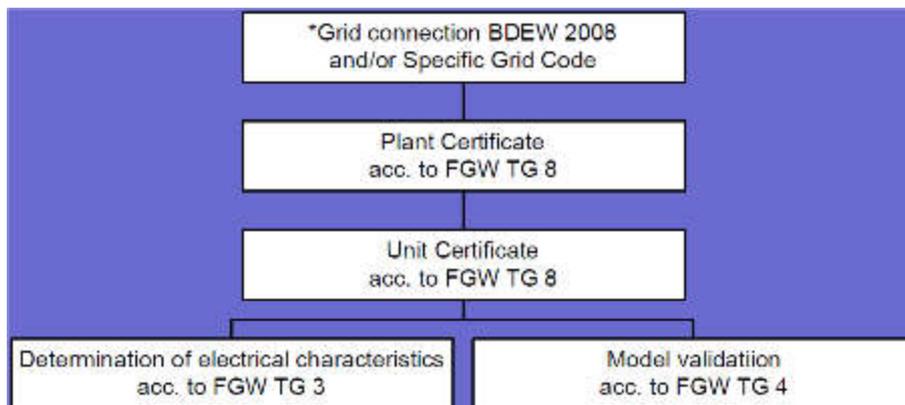


圖 18 德國風力機驗證的相關規範

最後講師(圖 19)提到風場系統驗證主要基於風力機發電系統併網的法規，應檢視及確認法規項目如下：

- 饋給功率(Feed-in active power)
- 電壓波動和閃爍(Voltage fluctuations and flicker)
- 諧波、間諧波及高頻(Harmonics, interharmonics and higher frequencies)
- 在電網故障期間仍可連接到電網
- 發電系統之短路電流

- 超頻之實功控制(Active power control for overfrequency)
- 虛功容量(Reactive power capacity)
- 切入條件(Cut-in conditions)
- 保護設定(Protection setting)

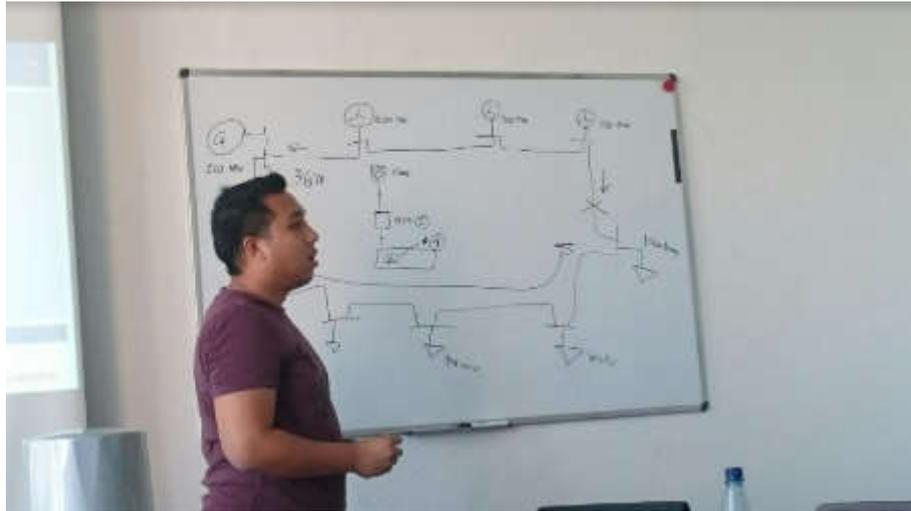


圖 19 Mr. Satish 說明德國電網法規符合性驗證

八、8月30日

講師：Tees Nachtigall(DEWI-OCC 公司)、Albert Kriener(DEWI-OCC 公司)

課程摘要：

今天的課程主要還是在離岸風場專案驗證的說明，所以還是由來自 DEWI-OCC 公司的 Tees 與 Albert 先生說明風力機、風場驗證流程。有關風力機的驗證可分成針對風力發電整機的形式認證(Type Certification)及針對整個風場的專案驗證(Project Certification)。一般而言風力機要能夠持續運轉 25 年才能達到一定的經濟效益，這也是風

力機必須要取得相關驗證的重要性，講師也提到以風力機設計製造商西門子為例，開發一隻新型式的風機由前期設計開始至驗證成功約需要 3 年的光陰，這麼長時間的設計驗證過程無非是要確保風力機在運行時的安全無虞。

型式驗證包含三個評估項目：

- (1) 設計基礎/設計評估(Design Basis/Design Evaluation)
- (2) 型式及組件測試評估(Type and Component Test Evaluation)
- (3) 生產評估(Manufacturing Evaluation)

通過此三項評估後，驗證業者會進行最後評估，若均符合規範則判定為通過型式驗證。

執行專案驗證的步驟如圖 20，此驗證步驟係參照至 IEC61400-22 標準，共分成設計基礎評估、設計評估、生產評估、運輸及安裝評估、委託評估、專案認證評估項目。進行專案驗證時需要進行評估的組件不只為風力機，包括海上變電站及電纜線等也要一併進行評估考量。Mr. Tees 說明進行專案驗證時步驟很多，在進行設計評估時若發現系統設計不良的問題則需退回上一步驟重新驗證。另外驗證過程中有些步驟是可以同時進行，不需要等待其他步驟，因此可以稍微縮短測試驗證的時程。

Scope of Project Certification

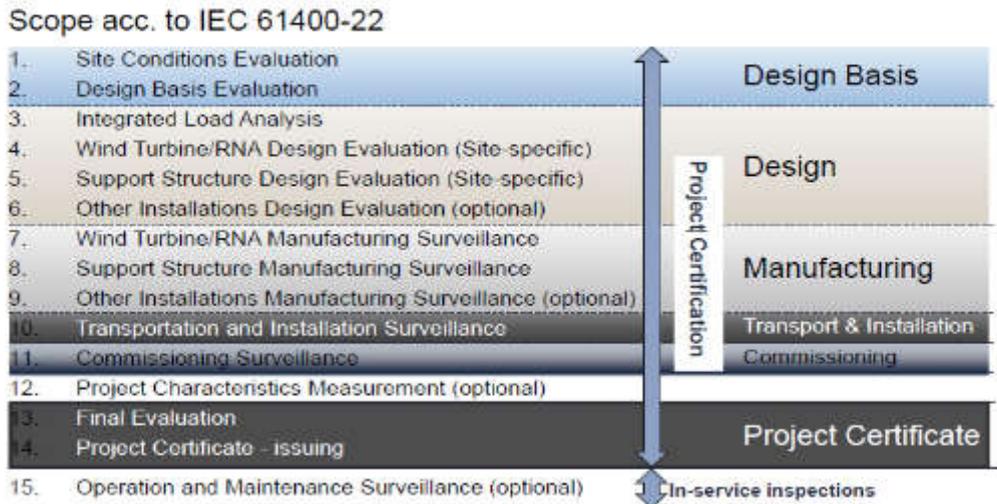


圖 20 專案驗證步驟

Mr.Tees(圖 21)亦說明離岸風力機於不同國家的驗證需求，比如德國、丹麥專案驗證為強制性的，德國的離岸風場主管機關為德國海事局。而在英國則非強制性的，但當申請貸款融資時，銀行、投資者或保險業者通常會有這項要求。講師最後也提到目前德國共有 23%能源是由再生能源提供，未來在 2050 年的時候預計再生能源占比目標可以達到 80%，而離岸風力發電則將為再生能源中扮演重要的角色。目前於北海位置共有 36GW 的裝置容量、波羅的海位置共有 0.5GW 的裝置容量，此為德國目前再生能源及離岸風力發電發展情況。



圖 21 Mr. Albert 進行離岸風場驗證說明

九、8月31日

拜會人員：Hergen Bolte (DEWI-OCC 公司)、Sebastian Flores (DEWI-OCC 公司)、 Satish Narayana Kasibhatla (DEWI-OCC 公司)、 Dong Liu(DEWI-OCC 公司)

行程摘要：

由於明天要搭船至離岸風場參訪，今天由上課地點 DEWI 公司轉至 DEWI-OCC 公司的位於不來梅辦事處進行課程結束會議及拜會相關人員。DEWI-OCC 為全球公認於離岸風力機及其零組件的獨立驗證機構，Mr. Sebastian 說明他們目前與韓國合作的情況，目前風力機發證的部份仍由 DEWI-OCC 執行，但測試的部份他們委由韓國當地的檢測單位進行，他們再依據檢測單位之測試結果進行發證。當中也有提及目前韓國風力機除了大部份依循 IEC 標準外也有增加一些不同的測試要求，因此若是國外風力機想進入韓國市場時，仍須在經由韓國

的檢測單位針對這些額外項目進行測試。而我方也提到臺灣政府希望發展再生能源的同時，風力發電機相關零組件也能達到自主化開發的目標。

Mr. Sebastian 提及 IEC 61400-1 將風力機定義很多不同的等級，主要是因為每個國家有他自己特殊的環境，如歐洲的風力機可能會面臨冬天海水結冰的問題，而在臺灣的風力機則可能遭遇到颱風的問題，風力機製造廠商是無法製造一款風力機可以符合所有的環境條件的風力機，若有也必須是很高的建置成本，不符合發電效益，因此驗證的制度就變的非常的重要。在德國風力機需符合 class2 的等級，但在韓國即要求符合 class1 的等級，或者更高的 Type S 等級。最後 Mr. Satish 也拿出他們進行驗證的一些組件，包括海纜(圖 23)及葉片(圖 24)進行說明。



圖 22 與 DEWI-OCC 公司進行結束會議情況



圖 23 海纜剖面圖



圖 24 風力機葉片之剖面

十、9月1日

講師：Holger Söker (DEWI 公司)

行程摘要：

今天主要的行程是參觀由德商達德能源集團(wpd)所投資之 Nordergründe 離岸風場(地理位置如圖 25)，此風場仍在興建當中，風場位於德北威悉河河口附近。風場距離不來梅港以西約 40 公里的 12 海里內，本次參訪係由 DEWI 公司之 Mr. Holger 安排搭乘德國 wpd 公司協助安排之工作船，因 wpd 舉辦公司全球部門一年一度的內部研討會，聚集了來自各國的業務同仁，一同搭乘前往風場參觀，航行時間單程約 1.5 小時，風場共有 18 座 6.2 MW 的離岸風力機，總發電量約 111 MW，預計能為七萬戶家庭提供用電。此專案 2003 年取得規劃許可，2008 年遭環保團體抗爭與法院訴訟，2011 年才與邦政府以及環保組織達成協議。原定 2016 年建造完成，目前風力機、海纜、基礎均已安裝完成，惟因離岸變電站履約不順，故延至 2017 年第 3 季安裝完成，第 4 季才能正式運轉。其規格簡列如下：

- 總裝置容量 111 MW
- 總投資金額約 411 百萬歐元
- 保證躉購電價每度電 19.4 歐分，為期 8 年
- 開發商 wpd 約佔 1/3 股權，並由銀行提供專案融資
- 水深小於 10.3 公尺
- 年平均風速約 9.3 公尺/秒
- 18 架 Senvion 6.2MW 機組，設計使用年限 25 年
- Senvion 提供 10 年維修服務、單樁基礎
- 電網營運商負責電網與離岸變電站之連接



圖 25 Nordergründe 風場地理位置

MR. Holger 開車載學員前往位於不來梅哈芬搭船的途中，經過一風力機基座測試場，Holger 也利用此一時機解說在海上進行離岸風力機基底組裝動工前，必須先在岸上試作確認，施工工程的步驟及困難度，待一切步驟確認後，才在水下施工。離岸風力機常見基底如圖 26 為三腳架基底(tripod foundation)，與圖 27 為套管式基底(jacket foundation)，Mr. Holger 表示目前常用在離岸風場的基底以套管式基底居多，係因此工法之施工費用較為便宜。



圖 26 採用三腳架基底的離岸風力機



圖 27 採用套管式基底的離岸風力機

到了 Nordergründe 離岸風場(圖 28)，MR. Holger 也介紹該風場的特性，該風場係使用德國廠商 SENVION 生產之 6.2MW 的風力機(圖 29)，使用單樁基底(Monopile foundation)，建置在水深平均約 5 米的海上。在現場可以看到 18 支風力機皆已立起，但唯有海上變電站(圖 30)尚未建置，僅可看到基座，基座上可明顯看到其刻度約 5 米及警戒線。現場也見到了施工船進行補給吊掛作業(圖 31)，在離岸風力機上的操作及維修人員皆需有受嚴格的安全及潛水相關訓練時數，因此相關人員培訓亦不容易。



圖 28 Nordergründe 離岸風場



圖 29 SENVION 6.2 MW 風力機機組



圖 30 海上變電站基座



圖 31 施工船進行進行補給吊掛作業

參、訓練內容

由於本次訓練目的是希望協助國內試驗室能建立 IEC 61400-21 驗證能量並建立相關品質文件，並以取得財團法人全國認證基金會的驗證項目為目標，故將電力品質量測與評估技術在此一部分進行說明。簡易的電力系統架構如圖 32 所示，電力系統係由發電系統、供電系統、配電系統之結合。

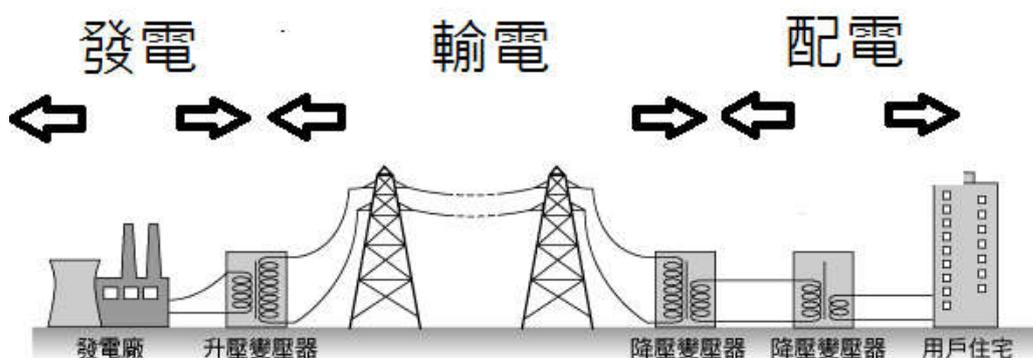


圖 32 電力系統示意圖

一、電力品質技術說明

目前臺灣已依據國際標準 IEC61400-21 修訂 CNS 15176-21「網型風力發電機組之電力品質特性量測與評估」，相關的參考法規與標準如下：

- IEC 61400-21: Wind Turbine Generator Systems - Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid

connected wind turbines. (Ed. 2, 2008)

- MEASNET: " Power quality measurement procedure" , Oct. 2009
- Germany: Technische Richtlinien, Teil 3: Bestimmung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Rev. 22. FGW.
- Spain(AEE): PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACION, VALIDACION Y CERTIFICACION DE LOS REQUISITOS DEL PO 12.3 SOBRE LA RES-PUESTA DE LAS INSTALACIONES EOLICAS Y FOTOVOLTAICAS ANTE HUECOS DE TENSION, Version 9, 17.05.2011

而 IEC 61400 風力渦輪發電機國際標準系列係由國際電工委員會第 88 技術委員會《風力渦輪發電機系統》(Wind Turbine Generator Systems) 負責擬訂，IEC 61400 系列國際標準包括下列部分：

- Part 1: Design Requirements
- Part 2: Design Requirements for Small Wind Turbines
- Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques
- Part 12: Wind Turbine Power Performance Testing
- Part 13: Measurement of Mechanical Loads
- Part 14: Declaration of Apparent Sound Power Level and Tonality Values
- Part 21: Measurement and Assessment of Power Quality Characteristics of Grid Connected Wind Turbines

- Part 22: Conformity Testing and Certification of Wind Turbines
- Part 23: Full-Scale Structural Testing of Rotor Blades
- Part 24: Lighting Protection
- Part 25: Communication
- Part 26: Availability
- Part 27: Electrical Simulation Models

而在進行電力品質量測上，亦需要參考其它輔助標準，例如：

- IEC 61000-4-15 Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications(量測電壓閃爍)
- IEC 61000-4-7 Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto(量測諧波)

有關電力品質的污染因素、影響對象與改善對策可以分類如表 2 所示。

表 2 電力品質污染因素、影響對象與改善對策

污染因素	污染源	影響對象	改善對策
電力諧波	非線性負載： 如電力電子類、鐵 心激磁類與電弧 爐	減短電力設備使 用壽命，嚴重過 壓、過流或過載 可導致設備故障	(1) 採高脈波整流方式 (2) 裝設被動式濾波器 (3) 裝設主動式濾波器 (4) 採用 Δ 接變壓器
電壓閃爍	驟變負載 如電弧爐	使眼睛不舒適、 發電機激磁系統 與變壓器 OLTC 不穩定。	(1) 裝設虛功補償器 (2) 採專線供電 (3) 增加限流電抗 (4) 提昇供電系統短路容量
三相不平衡	單相負載：如單相 高週波爐、高速鐵 路、捷運系統等	馬達過熱、電腦 螢光幕扭曲與通 訊干擾	(1) 導線相序適當换位 (2) 裝設虛功補償器 (3) 均勻分配三相負載
電磁場	家電、行動電話與 輸配電線	保護電驛誤動作 與通訊干擾	(1) 三相導線適當排列 (2) 減少不平衡電流 (3) 利用高導磁材料遮蔽
電壓突波與 電流突波	雷擊、開關切換與 電容器切換	瞬間過壓或過流 可導致設備故障	(1) 裝設避雷與突波吸收器 (2) 串接限流電抗 (3) 裝設動態電壓調整器
電壓驟降與 電壓昇	雷擊、鹽害與人為 事故	瞬間停電	(1) 採專線供電 (2) 裝設動態電壓調整器
電力中斷	維修、人為事故與 天災	保護系統動作， 導致區域停電	(1) 供電線路地下化 (2) 強化保護協調系統 (3) 採常閉環路供電 (4) 自備發電系統 (5) 裝設大型不斷電設備

二、電力品質量測項目介紹

(一)電壓品質 (Voltage quality)、電壓波動 (Voltage fluctuations)、閃爍與電壓變化(flicker and voltage changes during)之測試

1.連續運轉(Continuous operation)條件：

測試目的：

試驗時風力機須併接至中壓(MV)電網。中壓電網正常情況下擁有其他變動負載，造成試驗量測處的風力機輸出端上顯著的電壓變動。因此風力機本身輸出之電壓變動取決於電網特性。

測試方法：

藉由風力機輸出端所量測之電流與電壓時間序列以模擬在虛擬電網上的電壓變動，在此虛擬電網中，除風力機外，無其他電壓變動來源，其試驗程序如下：

- a.在風力機輸出端應量測三相瞬時線路電流及三相瞬時相對中性點電壓。
- b.風速從切入風速到 15m/s 風速中間的每 1m/s 風速區間中，至少需紀錄 15 段 10 分鐘的瞬時電壓與瞬時電流時間序列量測值(包含三相，5 個測試)。
- c.依 IEC61400-21 與 CNS15176-21 第 7.1.3 節量測風速。
- d.除了於風力機連續運轉期間的電容器切換以外，切換運轉是不允許的。測試者須報告試驗期間之電壓閃爍。而電壓閃爍須在風力機輸出端被量測，並以 IEC 61000-4-15 做為依據。參照第 7.3.1 節之備考，詳細流程可參照 IEC61400-21 與 CNS15176-21 之試驗程序。

測試條件要求：

表 3 閃爍之測試條件

Reactive set-point control, Q = 0
Other mode:

測試數據報告表格：

表 4 閃爍之測試數據表格

Flicker:

Network impedance phase angle, ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Annual average wind speed, v_a (m/s):	Flicker coefficient, $c(\psi_k, v_a)$:			
6.0 m/s				
7.5 m/s				
8.5 m/s				
10 m/s				
Operational mode (reactive set point control Q=0 / others)				

2.切換運轉(Switching operations)條件測試：

測試目的：

試驗中風力機須併接至中壓(MV)電網。中壓電網正常情況下擁有其他變動負載，造成試驗量測處的風力機輸出端上顯著的電壓變動。因此風力機本身輸出之電壓變動取決於電網特性。

測試方法與條件：

- a.風力機在切入風速時啟動 (Wind turbine start-up at cut-in wind speed)
- b.風力機在額定風速或較高風速時啟動(Wind turbine start-up at rated wind speed or higher wind speed)
- c.發電機間切換之最差狀況(The worst case of switching between generators)

測試數據報告表格：

表 5 切換運轉之測試數據表格

Switching operations:

Operational mode for switchings (reactive set point control $Q=0$ / others)				
Case of switching operation:	Start-up at cut in wind speed			
Maximum number of switching operations, N_{10m} :				
Maximum number of switching operations, N_{120m} :				
Network impedance phase angle, ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Flicker step factor, $k_f(\psi_k)$:				
Voltage change factor, $k_U(\psi_k)$:				

Case of switching operation:	Start-up at rated wind speed or higher			
Maximum number of switching operations, N_{10m} :				
Maximum number of switching operations, N_{120m} :				
Network impedance phase angle, ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Flicker step factor, $k_f(\psi_k)$:				
Voltage change factor, $k_U(\psi_k)$:				

Case of switching operation:	Worst case switching between generators:			
Maximum number of switching operations, N_{10m} :				
Maximum number of switching operations, N_{120m} :				
Network impedance phase angle, ψ_k :	30°	50°	70°	85°
Flicker step factor, $k_f(\psi_k)$:				
Voltage change factor, $k_U(\psi_k)$:				

3.諧波電流(Harmonic currents)測試

測試目的：諧波產生的根本原因是由於電力系統中某些設備和負荷的非線性特性，即所加的電壓與產生的電流不成線性（正比）關係而造成的波形畸變。當電力系統向非線性設備及負荷供電時，這些設備或負荷在傳遞（如變壓器）、變換（如交直流轉換器）、吸收（如電弧爐）系統發電機所供給的基波能量的同時，又把部分基波能量轉換為諧波能量，向系統倒送大量的諧波，使電力系統的正弦波形畸變。故須量測風力機在連續運轉期間的電流諧波、間諧波及較高頻率成分。

測試方法與條件：

表 6 諧波電流之測試條件

Operational mode during the test (reactive set point control Q=0 / others)	
---	--

測試數據包括：

(1)諧波電流(Integer harmonic current components)

(2)間諧波電流(Interharmonic current components)

(3)高頻失真(High frequency components)

(二)電力控制/電網控制能力(Power control / Grid control capability)之測試

1.有效功率(Active power)之測試項目：

- 最大測量功率(Maximum measured power)
- 升降率限制(Ramp rate limitation / Active power gradient)

- 設定點控制(Set-point control)
- 頻率過高的情況下降低有效功率[Reduction of active power in case of over-frequency (TR3 要求)]

有效功率(Active power)量測：

最大量測功率(Maximum measured power)方法：列程序取得 600 秒平均值(P600)、60 秒平均值(P60)及 0.2 秒平均值(P0.2)。

升降載率限制(Ramp rate limitation/Active power gradient)：設定升降載率為每分鐘額定功率的 10%。其程序如下，

- (1) 風力機應從靜止狀態下開始啟動。
- (2) 設定升降載率為每分鐘額定功率的 10%。
- (3) 試驗須進行至風力機已併接至電網後 10 分鐘。
- (4) 在整個試驗期間，所獲得的有效功率輸出須至少為額定功率的 50%。
- (5) 於風力機輸出端量測有效功率。
- (6) 試驗結果須以 0.2 秒平均資料做記錄。

設定點控制(Set-point control)：風力機操作模式，有效功率設定點控制模式。其程序如下，

- (1) 試驗進行須持續 10 分鐘。
- (2) 在試驗期間撤除升降載率限制以確保最快可能的響應。
- (3) 設定點訊號應該以每次下降 20 %之步階式的方式進行，且在整個

試驗期間，獲得有效功率輸出須至少為額定功率之 90%。

(5) 有效功率須於風力機輸出端量測。

(6) 試驗結果須以 0.2 秒平均數據資料記錄。

2.無效功率(Reactive power) 之測試項目：

- 無效功率能力(Reactive power capability / PQ-Diagram)
- 設定點控制(Set-point control)
- 功因調節 Q(U) Control (Voltage regulation) (TR3 要求)

量測設備之需求：資料量測擷取系統、比壓器、比流器及風速計，所需要使用的量測儀器精度規格如表 7。

表 7 量測儀器精度規格

設備	要求精確度	參考標準
比壓器	1.0 級	IEC 60044-2
比流器	1.0 級	IEC 60044-1
風速計	±0.5 m/s	IEC 61400-12-1 (作為準則)
濾波器+ 類比/數位訊號轉換器+資料擷取系統	全尺度的 1%	IEC 62008

測試目的：藉由有效功率、無效功率、有效電流、無效電流及風力機輸出端電壓之時間序列來說明響應結果，此響應說明需包含各案例\中的 2 個連續試驗之結果，不過同時亦須規範風力機運轉模式。此試驗基本上是檢驗風力機因電網故障引起的電壓降響應，能為確認風力機數值模擬模型提供基礎。

無效功率/PQ 圖(Reactive power capability / PQ-Diagram)測試

- 最大電感性無效功率 maximum inductive reactive power
- 最大電容性無效功率 maximum capacitive reactive power

控制無效功率(Q(U) Control)測試

測試目的：當單一或系統產生電壓變動或頻率變動使得單一或系統在瞬間產生功率輸出不穩定的情況會使得系統電壓不穩，進而導致系統崩潰，故風力發電機需能夠控制無效功率或功率因數調整器來補償以穩定系統電壓輸出。

測試條件：此項目不在目前 IEC61400-21 的版本，但 TR3 版本已納入，未來 IEC61400-21 改版亦會要求功因補償項目作為試驗項目之一。

(三)電壓驟降之響應(Response to voltage drops)

- 低電壓持續運轉能力 Low-Voltage-Ride-Through (LVRT)測試
- 高電壓持續運轉能力 High-Voltage-Ride-Through(HVRT)測試

測試目的：

隨著再生能源的成長，若風力機因電壓驟降必須與電網斷開，這將導致不可控制的功率損失與電力潮流系統崩塌，故需要要求風力機具有低電壓穿越故障的能力，在電壓期間產生無功功率，支持風電場的電網電壓。此響應說明需包含各案例（VD1-VD6）中的 2 個連續試驗之結果，不過同時亦須規範風力機運轉模式。

測試條件與要求：

表 8 電壓降測試風力機未併接時之測試條件

Case	Magnitude of voltage phase to phase (fraction of voltage immediately before the drop occurs)	Magnitude of positive sequence voltage (fraction of voltage immediately before the drop occurs)	Duration (s)	Shape
VD1 – symmetrical three-phase voltage drop	$0,90 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD2 – symmetrical three-phase voltage drop	$0,50 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD3 – symmetrical three-phase voltage drop	$0,20 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,02$	
VD4 – two-phase voltage drop	$0,90 \pm 0,05$	$0,95 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD5 – two-phase voltage drop	$0,50 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD6 – two-phase voltage drop	$0,20 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,02$	

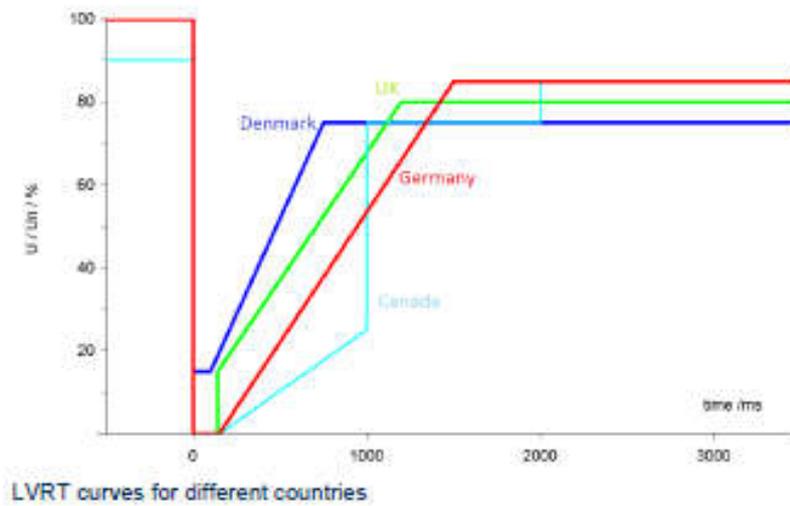


圖 33 不同國家之 LVRT 測試曲線

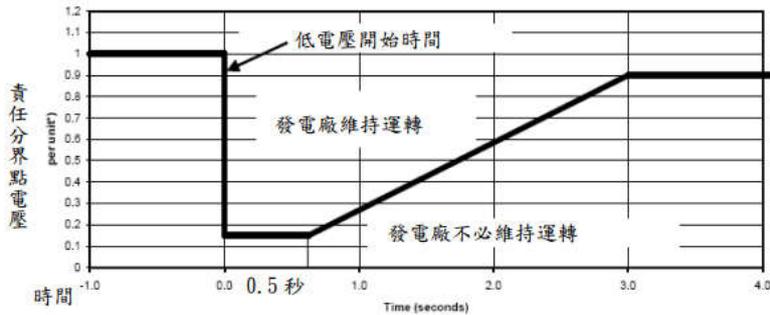


圖 34 臺灣 LVRT 測試曲線

測試方法：

- 1.風力發電設備責任分界點電壓降低至額定電壓百分之十五時，應持續運轉至少 0.5 秒以上。
- 2.電壓驟降時，風力發電設備於責任分界點電壓高於附圖 34 之實線，風力發電設備應持續運轉。

IEC 61400-21 係參照各地區併網之要求，目前台電之要求如下：

- 1.併接 22,800 伏特以下者：其發電設備於責任分界點額定電壓之百分之八十八以上百分之一百一十以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。但總發電設備容量在 100 瓩以下者，不適用上述電壓跳脫設定值之規定。
- 2.併接 69,000 伏特以上者：其發電設備於責任分界點額定電壓之百分之九十以上百分之一百一十以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。
- 3.併接於離島獨立高壓系統者，應符合該地區之要求個案檢討。

(四)電網保護/保護系統(Grid protection / Protection system)之測試

- 電網保護 Grid protection
- 切入條件驗證 Verification of cut-in conditions
- 重新連接時間 Reconnection time

1.電網保護(Grid protection)測試

測試目的：測試風力機電網保護系統之功能，並藉由給定之解聯等級與解聯時間，判斷當過高、過低電壓(over-and under-voltage)與過高、過低頻率(over- and under-frequency)發生時，風力機實際解聯等級與解聯次數。

[註]:解聯等級意指造成風力機解聯之電壓或頻率。

[註]:解聯時間意指從過低/過高電壓或頻率開始發生與直到風力機解聯之持續期間。

2.切入條件驗證(Verification of cut-in conditions)

測試目的：模擬電壓從步階方式增減之電壓或頻率條件下的風機啟動能力

3.重新連接時間(Reconnection time)

因電網故障引起風力機解聯後之重新併接應藉由表格中呈現試驗結果表現其特性。該表格應顯示出電網故障後 10 秒、1 分鐘與 10 分鐘的重新併接時間。重新併接時間是當電網恢復正常且可接受風力機端併接至風力機開始發電的這段期間。

肆、心得與建議

這次能夠有機會參加風力機電力品質測試課程，對於從事檢測工作的我而言是個難得的經驗，第一是可以實地了解國外試驗室測試能量與運作狀態，可以從中學習到試驗室的技術或管理經驗，第二個難得的經驗是第一次有機會搭船參觀離岸風場，雖然那天的風浪並不算大，但由於船隻噸位有限，也略覺得有點頭暈，在與同船的離岸風場開發商聊過之後才知道，離岸風力機上的操作及維修人員皆需受嚴格的安全訓練並且領有相關證照的，這也才能確保作業上的安全。這次出國的心得與建議如下：

1. 併網型風力機電力品質的量測評估是很重要的，尤其風力機運轉及併網所造成的電力可靠度衝擊，有可能造成電網系統的風險產生，國內目前係依據「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」對再生能源設備包括風力機進行電力品質要求。

2. 盤點國內風力機電力品質測試能量，目前尚缺低電壓持續運轉能力(Low Voltage Ride Through, LVRT)及高電壓持續運轉能力(High Voltage Ride Through, HVRT)檢測設備及檢測能力，此部分的設備經費約在千萬以上，後續若有相關計畫以支持建置檢測能量，應做更深度量測操作訓練課程。

3. 國際標準 IEC 61400-21 主要應用於風力機併網時電力品質量測與評估，目前使用之版本為 2008 年版，但 IEC 組織針對 IEC 61400-21-1 已有 CDV(Committee Draft for Voting)版本，預計在 2017 年或 2018 年出版，國內應持續追蹤最新標準動態。

4. 目前國內再生能源併聯技術要點對於電力品質之要求應加強

思考大規模再生能源設備併網情形下對電網可靠度及系統運轉穩定性之影響，並且考慮臺灣電力系統特性，多參考國外不同國家之限制條件及最新國際標準的走向，增加再生能源設備關於電力品質能力要求項目。

5. Nordergründe 離岸風場建置在離不來梅港以西約 40 公里、平均水深約 5 公尺的區域，此區域水深較淺故工程的施工技術較為成熟。臺灣海峽深度變化較大，未來施工時平均深度會落在約 50 公尺的位置，此深度的難度較大，國際上技術較不成熟，因此在施工時需考慮基座的穩定度。

6. 隨著臺灣發展離岸風力發電，運轉維護服務將會是一個具專業性、在地性、也充滿商機的產業，無論是國產或是進口的風機，若運維服務無法即時滿足需求，可能造成無法供電或供電成本增加的風險，優先發展國內的運維服務公司是很重要的。

7. 離岸風力機上的操作及維修人員皆需受嚴格的安全訓練，相關人員培訓亦不容易，又天候因素會是重要的風險條件之一。

8. 風力機的驗證除了 IEC 所規範之要求皆需符合外，各國政府有時依其地理環境之需求制定了額外之測試項目，確保風力機能符合當地的環境，因此風力機想進入不同市場時需進行符合當地法規之測試驗證，建議我國亦可參照，於離岸風力機之元件、整機、系統與專案等驗證制度，建立一套適合我國環境需求之法規，也能扶植國內相關產業的發展，願意在能源產業國產化上盡一分心力。