

出國報告（出國類別：其他）

赴大陸參加 SWAT2014 與 IEA Task 27 會議暨參訪 NWIC 出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：蘇煒年 副工程師

派赴國家：大陸

出國期間：103 年 8 月 23 日~103 年 8 月 30 日

報告日期：103 年 9 月 29 日

摘 要

歐美等先進國家在近幾年來開始重視小型風力發電系統這部分獨特的市場需求，除了於 2013 年完成 IEC 61400-2 小型風力機設計標準更新之外，近幾年亦結合國際研究單位研發能量，開始進行城市紊流對於小型風力機影響研究，以及國際上仍欠缺的小型垂直軸風力機相關之設計標準研究。小型風力機測試者組織會議(Small Wind Association of Testers, SWAT)，以及國際能源總署(IEA)風能系統研究發展合作協定第 27 工作組會議(IEA Wind Task 27)等即是針對上述目的所形成的國際合作工作小組，本次大陸公差行程，即是參加 SWAT 2014 與 IEA Task 27 工作會議，並且發表本所於小型垂直軸風力機負載計算之研究成果。此外，亦藉由主辦單位大陸國家能源大型風電併網系統研發(實驗)中心(National Wind Power Integration Research and Test Center, NWIC)之安排，參訪 NWIC 張北測試基地、國家電網公司的國家風光儲輸示範電站、以及中節能風力發電(張北)有限公司於張北之大型風場等，藉此瞭解大陸於再生能源領域之開發重點與現況，並且於專業技術人員進行技術交流。

目 次

摘 要.....	I
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	27
四、建議事項.....	29
附件一.....	30
附件二.....	42

附 圖 目 錄

圖 1、SWAT 2014 與會人員合照.....	3
圖 2、2014 IEA TASK 27 與會人員合照.....	3
圖 3、大陸小型風力機歷年生產量.....	8
圖 4、台灣小型風力機歷年銷售量.....	8
圖 5、韓國小型風力機驗證機制.....	9
圖 6、施工中的山東東營市小型風力機測試場.....	11
圖 7、設置於台北海洋技術學院建築物屋頂之測風塔示意圖.....	12
圖 8、IMUT CFD 模型輸出點位置示意圖.....	12
圖 9、IMUT CFD 風速擴大係數模擬結果.....	13
圖 10、IMUT CFD 紊流強度模擬結果.....	13
圖 11、本所蘇員於 SWAT2014 會議簡報情形.....	14
圖 12、IEA WIND TASK 27 2013~2016 的工作項目與目前的里程碑.....	18
圖 13、那須電機公司屋頂紊流量測.....	19
圖 14、金澤大學 KONO 教授 CFD 分析模型.....	20
圖 15、金澤大學 KONO 教授 CFD 模型入流風速分佈.....	20
圖 16、金澤大學 KONO 教授 CFD 模型入流紊流強度分佈.....	20
圖 17、金澤大學 KONO 教授 CFD 模擬初步結果.....	21
圖 18、NASA JOHNSON 太空中心第 12 號建築屋頂的量測配置現況.....	22
圖 19、NWIC 張北測試基地.....	24
圖 20、國家風光儲輸示範電站.....	25
圖 21、中節能風力發電(張北)有限公司張北風場.....	25
圖 22、NWIC 張北測試基地監控室畫面.....	26
圖 23、國家風光儲輸示範電站太陽能發電站.....	26

附表目錄

表 1、大陸公差行程表.....	2
表 2、SWAT 2014 第一天議程.....	5
表 3、SWAT 2014 第二天議程.....	6
表 4、SWAT 2014 第三天議程.....	7
表 5、台灣再生能源發電躉購費率.....	7
表 6、日本風力發電躉購費率.....	9
表 7、通過日本驗證之小型風力機產品.....	9
表 8、2014 IEA TASK 27 第一天議程.....	16
表 9、2014 IEA TASK 27 第二天議程.....	17

一、目的

近幾年來，各國政府紛紛針對小型風力發電設備提出各種優惠措施，躉購費率與國際需求，種種誘因促使國內中小企業積極投入小型風力發電設備之開發。歐美等先進國家亦開始重視小型風力發電系統這部分獨特的市場需求，並著手訂定國家標準與產品認證規範，除了於 2013 年完成 IEC 61400-2 小型風力機設計標準更新之外，近幾年亦結合國際研究單位研發能量，開始進行城市紊流對於小型風力機影響研究，以及國際上仍欠缺的小型垂直軸風力機相關之設計標準研究。

IEA Wind Task 27 是國際能源總署(IEA)於執行風能系統研究發展合作協定下所形成的一個國際合作工作小組，該小組於 2009 年開始召集會員國及其相關組織有興趣的參與人員，進行關於小型風力機消費者標章(Consumer Labeling)之推動，以及高紊流(城市型)地區風力機性能量測技術的研討工作。Task 27 的參與成員為 IEA Wind 的會員國所指定之組織，目前 Task 27 的運作秘書機構為西班牙的 CIEMAT 研究所，由該研究所的 Ignacio Cruz 負責運作，會議主席則由目前美國小型風力機驗證協會(SWCC)執行董事的 Trudy Forsyth 擔任。台灣則是從 2011 年 11 月開始，藉由台灣中小風力機發展協會(TSWA)，以觀察員名義參與會議。核能研究所(本所)為 TSWA 成員之一，於 2011 年完成小型垂直軸風力機簡易負載計算模式之開發，為台灣在 Task 27 工作會議上的技術研發單位之一。

SWAT 是 Task 27 裡面的重要成員邀集國際上重要的風力機系統測試組織所組成的測試者組織會議，目的在交換各項風力機測試與驗證的技術訊息，並分享重要測試資料，參與成員大多為已通過國際驗證之小型風力機測試場，如 Intertek 於紐約之測試場、TUV SUD 於英國之測試場等，藉由工作小組會議之交流，相關議題亦成為小型風力機測試標準更新時之參考，同時藉由每年之工作會議，各測試場間亦可進行實驗室能力比對，依據 ISO 17025 之標準程序，會員可選擇自由參加實驗室能力比對，藉此確認實驗室測試方法與能力是否在標準差異之內。

本屆 SWAT 與 IEA Task 27 工作會議於大陸河北省張北縣舉行，主辦單位為大陸國家能源大型風電併網系統研發(實驗)中心(National Wind Power Integration Research and Test Center, NWIC)。本次大陸公差行程即是參加 SWAT 2014 與 IEA Task 27 工作會議，並且發表本所於小型垂直軸風力機負載計算之研究成果。此外，亦藉由主辦單位 NWIC 之安排，參訪 NWIC 位於張北之測試基地、國家電網公司的國家風光儲輸示範電站、以

及中節能風力發電(張北)有限公司於張北之大型風場等，藉此瞭解大陸於再生能源領域之開發重點與現況，並且於專業技術人員進行技術交流。

二、過程

此行於 103 年 8 月 23 日出發，先赴大陸北京，隔日中午搭乘大會安排之專車前往河北省張北縣，8 月 25 至 8 月 27 日參加為期三天的 SWAT 2014 工作會議，8 月 28 至 8 月 29 日則參加為期二天的 IEA Task 27 工作會議，最後於 8 月 30 日上午參訪 NWIC 位於張北之測試基地、國家電網公司的國家風光儲輸示範電站、以及中節能風力發電(張北)有限公司於張北之大型風場等，並且於 103 年 8 月 30 日晚上返國，為期共 8 天。本次大陸公差行程彙整於表 1，與會人員合照分別如圖 1 和圖 2 所示。

表 1、大陸公差行程表

日期	行程
8/23 (星期六)	去程 (桃園-北京)
8/24 (星期日)	去程 (北京-張北縣)
8/25 (星期一)	SWAT 2014 會議
8/26 (星期二)	SWAT 2014 會議
8/27 (星期三)	SWAT 2014 會議
8/28 (星期四)	IEA Task 27 會議
8/29 (星期五)	IEA Task 27 會議
8/30 (星期六)	參訪 NWIC 等/回程



圖 1、SWAT 2014 與會人員合照



圖 2、2014 IEA Task 27 與會人員合照

(一) SWAT 2014 工作會議

本次 SWAT2014 會議為第三屆工作會議，由 IEA Task 27 主席 Trudy Forsyth，以及 IEA Task 27 執行秘書 Ignacio Cruz 等主持，為期三天的議程彙整於表 2 至表 4。第一天會議主要為各國成員針對國家小型風力機發展現況進行報告，早上由中國可再生能源學會秘書長沈冬生，以及台灣中小型風力機發展協會(TSWA)之張欽然博士，分別針對中國大陸與台灣在小型風力機產業發展現況進行報告。由資料顯示，大陸小型風力機裝機容量大多集中在 100 W 至 5 kW 之間，大於 5 kW 之機種主要輸出至外國市場，2013 年大陸小型風力機總生產數量為 110000 組，銷售量則為 98000 組，相較於 2012 年(生產數量為 133000 組，銷售量則為 115000 組)，生產量減少約 23000 組，主要原因為缺乏政策支持，大陸歷年小型風力機總生產數量如圖 3 所示；而台灣在小型風力機的發展上漸趨成熟，目前已具備設計，以及製造上完整的供應鏈，圖 4 顯示台灣小型風力機近幾年銷售量，顯示為上揚之趨勢，表 5 為彙整台灣能源局公佈之各種再生能源發電躉購費率，小型風力機為 8.17 NTD/kW-h。

表 2、SWAT 2014 第一天議程

Time	Subject	Speaker
Monday, 25 August		
08:30	Registration and Check-in	
08:45	Welcome and Opening Remarks	1. Trudy Forsyth 2. Leaders of China Electric Power Institute
09:45	China's SWT Industry	Shen Dechang (CWEEA)
10:15	Break	
10:30	Taiwan SWT Industry	Dr. Chang, Chin-Jen (TSWA)
11:00	Overview of SWAT	Trudy Forsyth (SWAT)
11:15	Explanation of Duration Proficiency Test Exercise	Liu Brook (Intertek)
11:30	IEA/IEC Consumer Label Finding Host	Discussion – led by Ignacio Cruz (CIEMAT)
12:00	Lunch	
Status of Certification		
13:00	Certification in China	LV Bo (CGCC)
13:30	Impact of IEC 61400-2 New Version to SWT Industry	Huang Ivan (Intertek)
14:00	SWCC (US)	Brent Summerville (SWCC)
14:30	Korea National Certification Scheme	Dr. Kim, Seokwoo (KIER)
15:00	Break	
15:20	Danish National Certification Scheme	Peggy Friis (DTU) (Virtual)
15:50	Chinese National Standards	Wang, Chunguang (CGCC)
16:10	Japan National Standards	Hikaru Matsumiya (HIKARUWIND Lab.)
16:40	US National Standards	Brent Summerville (SWCC)
17:00	Adjourn	

表 3、SWAT 2014 第二天議程

Time	Subject	Speaker
Tuesday, 26 August		
Unaccredited Test Lab Pannel		
08:40	Development of SWT field test site in Canada	Gerald GIROUX (WEICan) (virturally)
09:20	Development of SWT field test site in US West Texas A&M	Ken Starcher (WTAMU) (virturally)
10:00	Break	
10:20	Development of SWT field test site in Argentina	Guillermo Martin (INTI) (virturally)
11:00	Test method and data analysis of S/M wind turbine noise	Jiang Xingguo (CWPSI)
11:40	Development of SWT field test site in China mainland	Dr. Bao Daorina (Inner Mongolia University of Tech.)
12:20	Test method and data analysis of S/M wind turbine power curve	Sun Tongjin (CWPSI)
13:00	Lunch	
Accredited Test Lab Pannel		
14:00	China- Intertek	Huang, Ivan (Intertek)
14:40	A status report of Cigu test site in Taiwan	Dr. Iong Pei-Tat (MIRDC, Taiwan)
15:20	Break	
15:40	Spain- CIEMAT	Luis Cano (CIEMAT) (virtually)
15:50	Spain- Barlovento test site	Jesus Pinedo (virtually)
17:00	Adjourn	
18:00	Welcome Reception at Zhangjiakou Honghao Holiday Inn Hotel	

表 4、SWAT 2014 第三天議程

Time	Subject	Speaker
Wednesday, 27 August		
09:00	IRENA Q1 SWT results	Trudy Forsyth
Lessons learned from SWT testing		
09:40	Relationship and application among vehicle test, wind tunnel test and site test	Shi Yunyan (ZKenergy S&T Co. Ltd)
10:30	Break	
10:50	Research on vibrating accelerations of wind wheel changing with yaw angle	Ma, Jianlong (Inner Mongolia University of Technology)
12:00	Lunch	
13:00	Numerical simulation of wind energy utilization on the roof of city building	Zhang, Liru (Inner Mongolia University of Technology)
13:50	Numerical simulation of wind characteristics above container top in Zhangbei wind farm	Hou, Yali (Inner Mongolia University of Technology)
14:40	Break	
S-VAWT Simplified Load Equations		
15:00	Development and verification of V-SLM using CFD	Su, Wei-Lian (INER, Taiwan)
15:50	Japanese SWT standard regarding V-SLM	Dr. Matsumiya, Hikaru (HIKARUWIND Lab., Japan)
17:00	Adjourn	

表 5、台灣再生能源發電躉購費率

Energy Types	Category	Capacity	2010	2011	2012	2013		2014	
						Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
太陽能 Solar PV	屋頂型 Roof-top	1kW~10kW	11.1883	10.3185	9.4645	8.3971	8.1836	7.1602	7.1602
		10kW~100kW	12.9722	9.1799	8.5394	7.5432	7.3297	6.4190	6.4190
		100kW~500kW	12.9722	8.8241	8.1836	7.1162	6.9027	6.0448	6.0448
		> 500kW	11.1190	7.9701	7.3297	6.3334	5.9776	5.2316	5.2316
	地面型 Ground Standing	> 1kW	11.1883	7.3297	6.9027	5.9776	5.6218	4.9222	4.9222
風力 Wind	陸域 Onshore	1kW~10kW	7.2714	7.3562	7.3562	7.3562		8.1735	
		> 10kW	2.3834	2.6138	2.5971	2.6258		2.6338	
	離岸 Offshore	—	4.1982	5.5626	5.5626	5.5626		5.6076	
川流式水力 Traditional Hydro	—	—	2.0615	2.1821	2.3302	2.4652		2.5053	
地熱能 Geothermal	—	—	5.1838	4.8039	4.8039	4.8039		4.9315	
生質能 Biomass	無厭氣設備 non-anaerobic	—	2.0615	2.1821	2.3302	2.4652		2.5053	
	有厭氣設備 anaerobic	—	2.0615	2.1821	2.6995	2.8014		3.2511	
廢棄物 Waste	—	—	2.0879	2.6875	2.8240	2.8240		2.8240	
其他 Others	—	—	2.0615	2.1821	2.3302	2.4652		2.5053	

生產機組



圖 3、大陸小型風力機歷年生產量

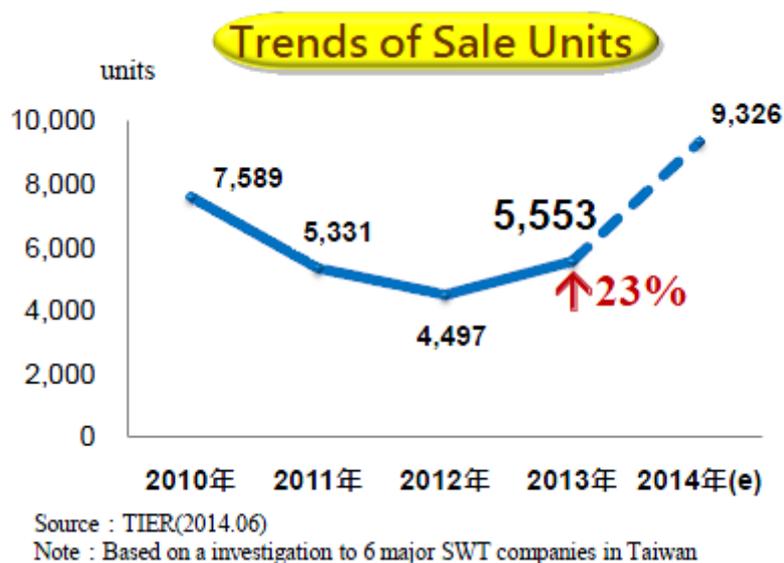


圖 4、台灣小型風力機歷年銷售量

第一天下午則分別由大陸、美國、日本、韓國、以及西班牙專家分別針對各自國家之標準與驗證現況進行報告，值得注意的是日本自 2012 年 7 月通過小型風力機補助方案(表 6)，每度電躉購電價為 55 日元，為目前全世界補助最高之國家，但截至 2103 年底為止，日本小型風力機成長並不如預期，主要原因為日本缺乏測試場，產品驗證費用太高，以及 JET(日本電氣安全環境研究所)併網型式驗證尚未發展完成等，

日本至目前為止僅有 7 組產品通過驗證，其中就有 4 組為外國產品(表 7)，第三個通過驗證之產品即為本所去年輔導之台灣廠商，目前已與日本 Fujita 公司合資於日本成立小型風力機公司；而韓國目前的小型風力機驗證機制(<30kW)如圖 5 所示，驗證組織是 KEMCO(Korea Energy Management Corporation)，KEMCO 並負責執行工廠查驗；測試組織是(KIER Korea Institute of Energy Research)，KIER 已與德國的測試組織 DEWI 簽訂測試互相認可，目前 KIER 的測試場設在濟州島，測試項目只有功率性能和耐久性測試兩項為必要要求項目，而 KEMCO 所發的證書有效期為三年。

表 6、日本風力發電躉購費率

Wind	>20kW	=<20kW
FIT	22Yen+Tax	55Yen+Tax
Period	20 Years	20 Years

表 7、通過日本驗證之小型風力機產品

Name of Applicant	Name of Manufacturer	Date of Initial Certification	Type Number of Certified Product
ZEPHYR CORPORATION	ZEPHYR CORPORATION	2012/6/29	Airdolphin GTO / Z-1000-250
ZEPHYR CORPORATION	Evance Wind Turbines Ltd	2013/2/20	Z-9000
FUJITA BUSINESS PARTNERS Co., Ltd	Hi-VAWT Technology Corp.	2013/6/3	DS3000
Japanlife Co., Ltd.	SONKYO ENERGY	2013/7/18	WINDSPOT3.5KW
NIKKO COMPANY	NIKKO COMPANY	2013/11/22	NWG-1K
Bergey WindPower Co.	Bergey WindPower Co.	2013/12/12	EXCEL 10
RIAMWIND	RIAMWIND	2014/7/17	RW3K-JA-01



圖 5、韓國小型風力機驗證機制

第二天會議著重在各國小型風力機測試場與測試方法發展現況，進行報告國家分別為加拿大、美國、阿根廷、台灣(金屬工業研發中心)、大陸、西班牙、巴拿馬等。由中國內蒙古工業大學的 Dr. Bao Daorina(包道日娜教授)報告顯示，藉由中國科技部“十二五”科技支撐計畫專案，包括內蒙古工業大學、內蒙古農牧業機械試驗鑒定站、和北京鑒衡認證中心三個單位共同執行。內蒙古工業大學負責中小型風電機組測試系統研製，以及中小型風力發電機組沿海地區野外測試站的建設；內蒙古農牧業機械試驗鑒定站負責中小型風力發電機組高原寒冷地區野外測試站的建設；北京鑒衡認證中心負責中小型風電機組檢測認證技術研究。高原寒冷地區測試站選定位於內蒙蘇尼特右旗東南方向 45 公里處，朱日和鎮西南 6.5 公里，東經 113 °41’ 北緯 42 °5’，其海拔高度為 1230 米；此地區主要以西北風為主，冬春季風速較大，夏季風速相對較小；設計建設 5kW\20kW\50kW\ 100kW 風機基礎及相應的測風塔；目前正在整地中；而沿海地區野外測試站選定位於山東東營經濟開發區，占地面積約 100000 平方米，地勢比較平坦，年平均氣溫 12.4 °C，10 米處年平均風速為 5.2 米，主導風向為東南風。目前測試場規畫建置六個風機基礎 A、B、C、D、E、F。A 是 10 kW 風機基礎；B 是 30KW 風機基礎；C 是 50KW 風機基礎；D 是 200KW 風機基礎；E，F 是 3 kW 風機基礎，目前風機基礎皆已完成，部分測風塔已完成(圖 6)。每個風機機位旁都建有小的測試房，測試房內放測試設備和配電櫃、所測風機的逆變控制器等設備。目前測試站的輸配電系統建設已經完成，鋪設了從風機基礎到變壓器的電源線；風機發出的電通過 380V/10 KV 的變壓器輸送到電網上。此測試場已自 2014 年 8 月初開始開展測試工作，預備明年十月應可對對場地內的 100 kW、30 kW、3 kW、1.5 kW、600 W 風機開始進行全面性的功率特性、耐久性、安全與功能、雜訊測試等。



圖 6、施工中的山東東營市小型風力機測試場

第三天會議則著重在小型風力機特殊的議題進行討論，主要著重在城市紊流與垂直軸風力機標準發展等。城市紊流研究部份由來自內蒙古工業大學(IMUT)的 Zhang, Liru (張麗茹)主講，這個研究主要是與我國的台灣大學進行合作。緣於與 IEA Task 27 國際團隊間的分工，在經濟部標檢局申請的科發基金補助的 ” 中小型風力機驗證技術規範與參與國際標準會議計畫” 項下，我國配合進行屋頂高紊流的風力機性能量測計畫，此量測計畫由標檢局委託台灣大學和金工中心分別在南北各擇一處進行屋頂高紊流量測。台灣大學的量測選在位於淡水的台北海洋技術學院(Taipei College of Marine Technology)(圖 7)。標檢局執行的本項計畫由於沒有包括利用 CFD 進行數值分析的部分，因此在兩岸合作參與 Task 27 工作的共識下，IMUT 配合台灣大學進行數值分析的工作。這個分析目前採用台灣大學提供的地形地物資料，進行 CFD 建模，以計算受建築影響的風速擴大係數($C_v = V/V_0 - 1$) 做為風能利用的評估指標；以及紊流強度(Turbulent Intensity)做為評估風力機於屋頂安裝位置的指標，模型輸出點位置如圖 8所示，初步分析結果分別如圖 9和圖 10所示。

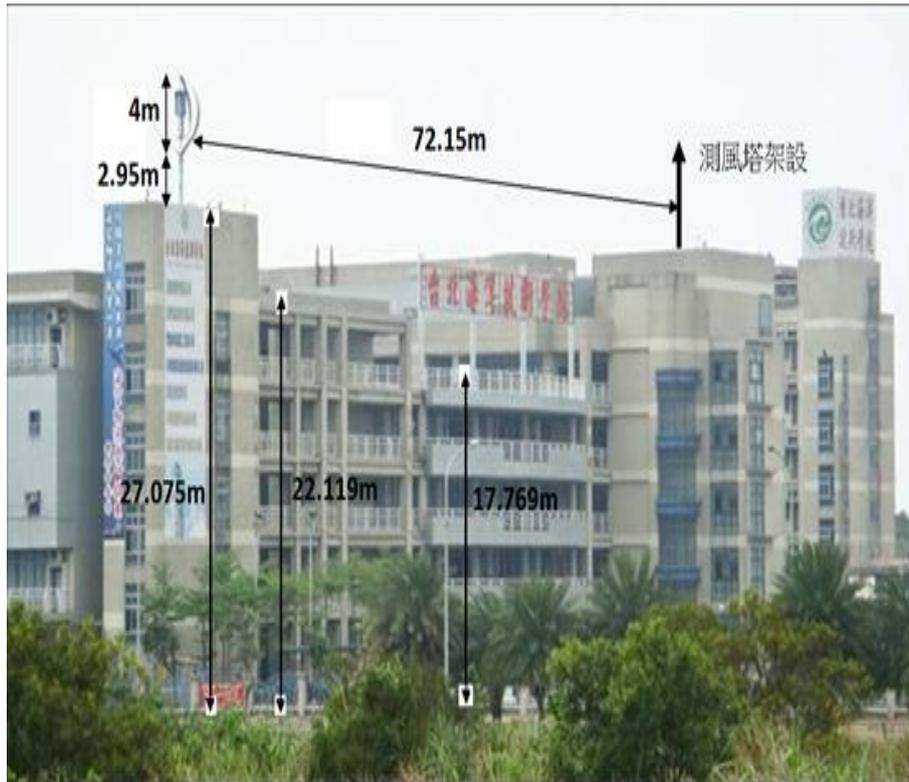


圖 7、設置於台北海洋技術學院建築物屋頂之測風塔示意圖

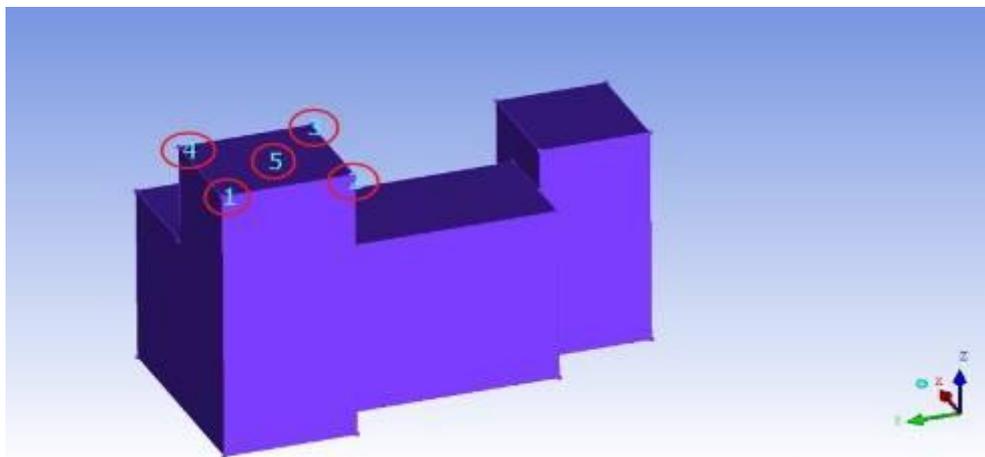


圖 8、IMUT CFD 模型輸出點位置示意圖

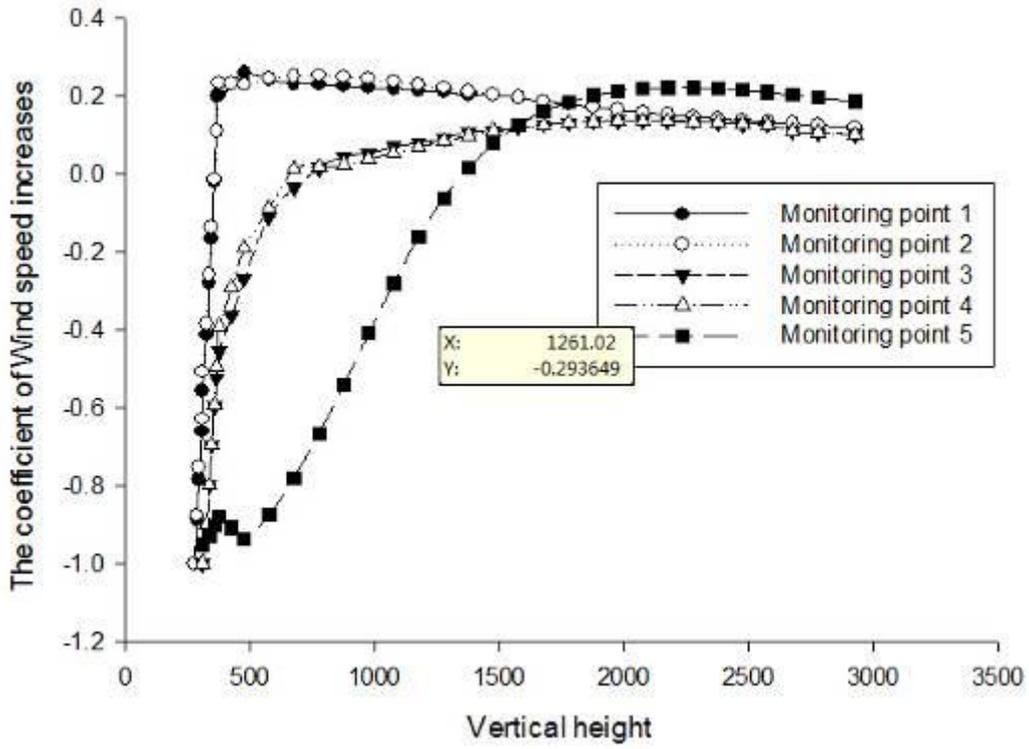


圖 9、IMUT CFD 風速擴大係數模擬結果

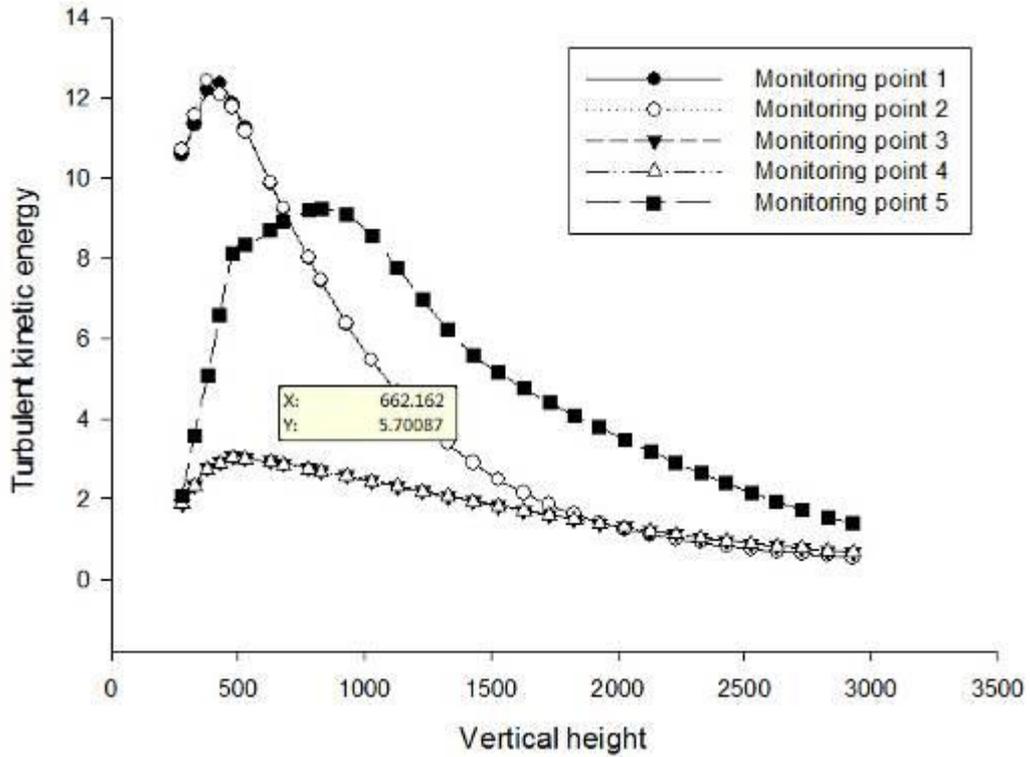


圖 10、IMUT CFD 紊流強度模擬結果

本所蘇員在下午針對「Development and verification of V-SLM using CFD」題目進行簡報(圖 11)。小型垂直軸風力機簡易負載計算模式(V-SLM)為我國領先開發，目的在補充目前 IEC 61400-2 的簡易負載計算模式僅適用於水平軸風力機的問題。我國初次於 2011 年參與 IEA Task 27 會議時便已提出這個觀念，日後並趁著與中國大陸一起發展垂直軸風力機共通標準時，將我國所發展的 V-SLM 納入於目前兩岸已公布的共通標準的附錄中，期間並於 2013 年 4 月的 Task 27 會議上，也由本所蘇員以視訊方式針對 V-SLM 的使用方式對眾多國外專家進行解說，得到很大的迴響。日本遂於 2013 年於其更新版的日本小型風力機標準 JSWTA 0001:2013 中，將 H 葉片型式的 V-SLM 放入其附錄 C 中。這些都使得 Task 27 慎重考慮將 V-SLM 的發展納入其工作項目五 (Working Package 5)，並準備向 IEA Wind 的執委會提出工作計畫書。蘇員簡報摘錄於附件一中，美國、日本、以及大陸等專家均對於本所開發之計算模式深感興趣。



圖 11、本所蘇員於 SWAT2014 會議簡報情形

日本小型風力機標準中的垂直軸風力機簡易負載計算模式則由日本 HikaruWind 風能研究室的 Hikaru Matsumiya 主講。日本的小型風力機標準 JSWTA0001 於 2013 年的更新版中加入了垂直軸風力機簡易負載計算模式(V-SLM)於其附錄 C 中。這個模式是由日本的 Mie University 所發展，主要使用於 H 型式垂直軸風力機。模式的限制條件為至多五葉片；轉子主軸於負載案例 H 的條件下，至多僅能有 0.3%的變形；風切對於疲勞的影響可以不考慮。Matsumiya 教授解釋了模式的各個公式，包括負載案例 A~H(其中 B 和 C 和風向變化相關問題可以不考慮)所用參數的範圍和使用來源。Mie University 並也用風洞來驗證這些公式，並獲得結論為這些公式的計算結果比較保守。由於本所發展的 V-SLM 公式，除了 Savonius 以及 Darrieus 混合型外，也有 H 型，但看起來公式的內涵和參數與日本的公式略有不同，因此，大會主席 Trudy 請本所蘇員能整理台灣與日本計算模式之差異，並且於接下來的 IEA Task 27 會議中進行討論。

(二) IEA Task 27 工作會議

為期兩天的 IEA Task 27 工作會議，第一天由 IEA Task 27 主席 Trudy Forsyth，以及 IEA Task 27 執行秘書 Ignacio Cruz 主持，第二天由於 Trudy Forsyth 生病缺席，則由美國小型風力機驗證委員會(SWCC)技術總監 Brent Summerville 代替主持，相關議程彙整於表 8和表 9。參加此次 IEA Wind Task 27 會議的各國代表計有美國、西班牙、中國、台灣、日本、韓國等代表約三十多人，但也另有澳洲、西班牙、美國等其他代表已視訊會議的方式參與。我國方面的出席代表為經濟部標檢局的張嶽峰和龔子文、台經院的蘇美惠和張欽然、台灣大學的李坤彥和曾玠文、本所蘇員、以及金工中心的容丕達。本次的會議並也經我國標檢局與會長官與 Task 27 執行秘書商議，確認將由我國於台北主辦明年第一次的 IEA Wind Task 27 會議。

表 8、2014 IEA Task 27 第一天議程

Time	Subject	Speaker
Thursday, 28 August		
09:00	Task 27 Extension Package and Exco Feedback	Ignacio CRUZ (CIEMAT, Spain)
Country Reports (Include small wind financial incentives, number of turbines produced, number of turbines sold [and if possible the size], small wind research and testing summary)		
10:00	CWEEA-China	SHEN, Dechang
10:30	TIER-Taiwan	Dr. CHANG, Chin-jen
11:00	Break	
11:20	HikaruwInd Lab.-Japan	Dr. MATSUMIYA, Hikaru
11:40	KIER - Korea	Dr. KIM, Seokwoo
12:00	CIEMAT - Spain	Ignacio CRUZ
12:20	AWEA - United States	Trudy FORSYTH
12:40	Lunch	
Working Package 2: Analyze and model highly turbulent wind resource Activity 2.1 and 2.2 – Identification of existing high resource data sets and results of data sets focused on turbulence characteristics Activity 2.3 – Develop CFD models for rooftop measurements		
13:30	On measurements from Port Kennedy to characterise the turbulence and make recommendations regarding the NTM in -2	Amir Bashirzadeh Tabrizi (Murdoch University)
14:00	BWT Analyses of wind conditions at the Tokyo observation site	Dr. Takaaki KONO (Kanazawa University)
14:30	Presentation of CFD analysis with Taiwan field data information	Shandong University
15:00	Break	
Working Package 3: Collection of “new” wind resource and turbine power performance data for highly turbulent sites Activity 3.3 Implement the rooftop wind resource measurement strategy Activity 3.4 Characterize the rooftop test site- discussion		
15:20	A high turbulence measurement at Chighu test site, Taiwan	Long, Pei-Tat (MIRDC, Taiwan)
15:50	What common parameters should be used?	Discussions(all participants ; lead by Brent Summerville)
16:30	Adjourn	

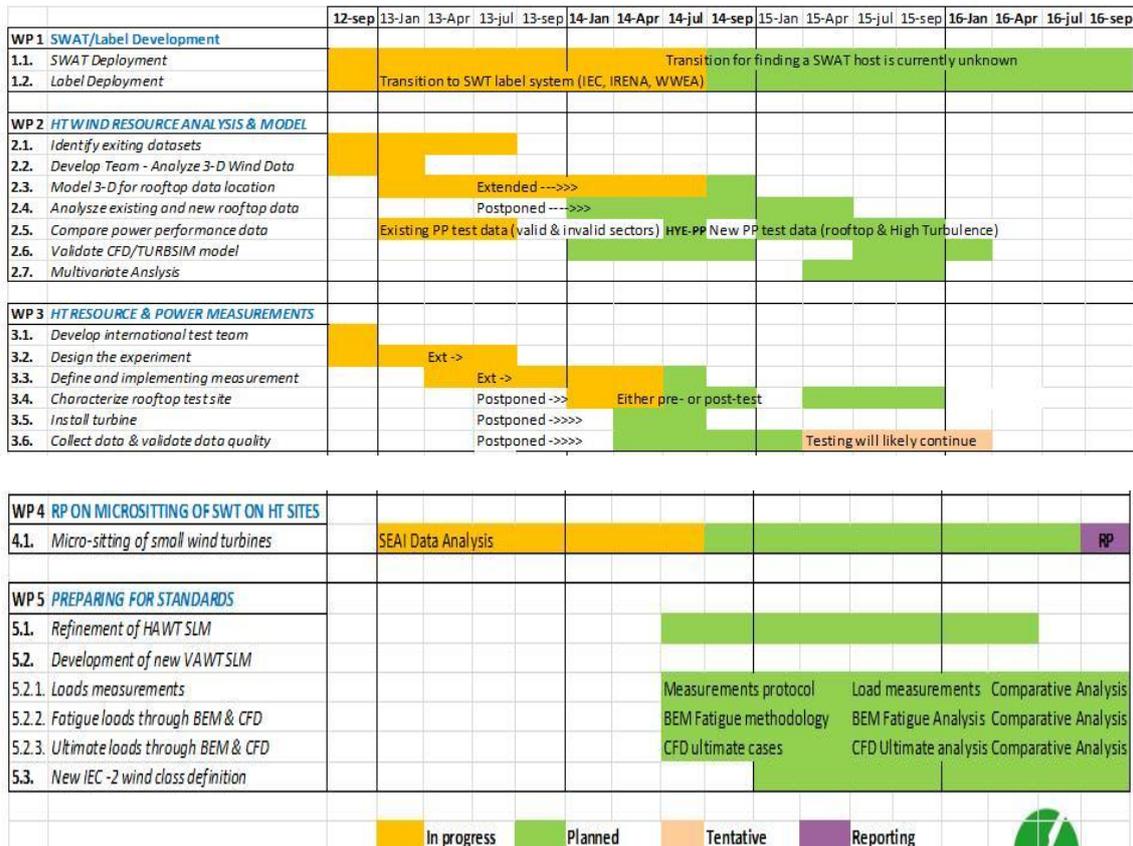
表 9、2014 IEA Task 27 第二天議程

Time	Subject	Speaker
Friday, 29 August		
Activity 3.3 Implement the rooftop wind resource measurement strategy (continue)		
09:00	Progress in U.S. Johnson Space Center wind resource measurements	Jason Fields (NREL) (virtual)
09:30	A high turbulence measurement at rooftop of Taipei College of Maritime Technology, Taiwan	Prof. LEE Kung-yen (NTU, Taiwan)
10:00	Break	
Working Package #5 – VAWT and HAWT SLM		
10:20	Comparison of V-SLM between CNS and JSWTA	Su, Wei-Nian (INER, Taiwan)
11:00	ExCo Presentation of Working Package 5	Discussion(all participants) Lead by Ignacio CRUZ (CIEMAT, Spain)
12:00	Lunch	
13:00	Site Tour : National Wind Power Integration Research and Test Center(NWIC)	All participants
17:00	Adjourn	

第一天早上議程為 Task 27 整體進度，以及各國小型風力機發展現況報告，報告國家有大陸、台灣、日本、韓國、以及西班牙等。Task 27 整體進度由執行秘書西班牙籍的 Ignacio Cruz 進行報告，而各國小型風力機發展現況與 SWAT 2014 第一天報告內容類似，在此則不再重複敘述。Ignacio 主要針對 Task 27 目前的工作進度、未來規劃、以及 IEA Wind 執委會對 Task27 的工作成果之回應等做報告。Ignacio 在 2014 年五月於英國 Newcastle 對 IEA Wind 第 73 次執委會(ExCo)會議做 Task 27 的進度報告，主要重點為：(1) Task 27 2012~2015 的主要成果為建立國際性小型風力機消費者標章，並發佈標章使用的導則；英國已首先採用此標章，IEC TC88 的驗證諮詢委員會也將發佈採行此標章。(2) Task 27 也建構 SWAT 會議，以持續增強或改善各測試或驗證組織間的符合一制性。(3) 執委會第 70 次會議(2013 年十月於東京)通過 Task 27 下一個四年計畫，並訂名為”高紊流場小型風力機計畫”(Small Wind Turbines in High Turbulence Sites)，此計畫目標為：(i) 發展在高紊流環境下的小型風力機選址導則；(ii) 針對未來 IEC 61400-2 改版，提出與紊流強度參數 I15 等參數相關的新的風力機設計類別(design class)所須的各項佐證數據和結果；(iii)提供現有驗證過的風力機功率曲線與高紊流下的功率曲線之差異比較數據。(4) 建議與提出未來 IEC 61400-2 改

版時，關於垂直軸風力機的簡易負載計算模式。圖 12顯示 IEA Wind Task 27 2013~2016 的工作項目與目前的里程碑。

Time schedule (Years 2013-2016)



* This time schedule includes expected new WP5 activities



圖 12、IEA Wind Task 27 2013~2016 的工作項目與目前的里程碑

第一天下午則是針對工作項目 2(Working Package 2: Analyze and model highly turbulent wind resource)進行進度報告，報告人員分別為澳洲 Murdoch University 的 Amir Bashirzadeh Tabrizi、日本 Kanazawa University 的 Dr. Takaaki Kono、以及大陸山東大學的劉淑琴教授等，主要著重在城市紊流特性研究、城市紊流數值模擬、以及城市紊流量測方法研究等議題。工作項目 2 是高紊流風能分析與模擬，主要是結合更多國際專家進行高紊流的 CFD 流場模擬與資料分析、比較平地與高紊流場的功率性能

差異、分析 CFD 和 NREL TurbSim 程式的差異等，目前這一項工作有多個國家團隊在進行，其中以日本、澳洲、和愛爾蘭的工作成果最多。

日本參與 Task 27 關於屋頂高紊流量測的團隊，測試場地選擇位於那須電機公司的屋頂(Nasu denki tekko Co., Ltd)(圖 13)，量測部分主要由那須電機的 Hideki Tokuyama 負責，搭配的 CFD 模擬計算則由金澤大學(Kanazawa Univ.)的 Takaaki Kono 教授負責。第一期的量測(2013 九月至 2014 九月)，以建立屋頂風場校正方法為主，以左邊高度較高的 2D 風速計做為參考風速計，和右邊高度較低的 3D 風速器的量測做比對，建立 2D/3D 的風速修正關係，並同時以 CFD 比對量測和計算模擬的差異。接著第二期(2014 九月至 2015 九月)，則在 3D 風速計的位置放上真正的風力機，以量測屋頂紊流環境下的功率曲線。Kono 教授選用日本開放程式 FrontFlow 為求解器，計算模型如圖 14所示，流場為不可壓縮流，以及標準 k- ϵ 紊流模型，入流風速與紊流條件分別如圖 15和圖 16所示，圖 17顯示 Kono 教授目前 CFD 模擬的初步結果。



圖 13、那須電機公司屋頂紊流量測

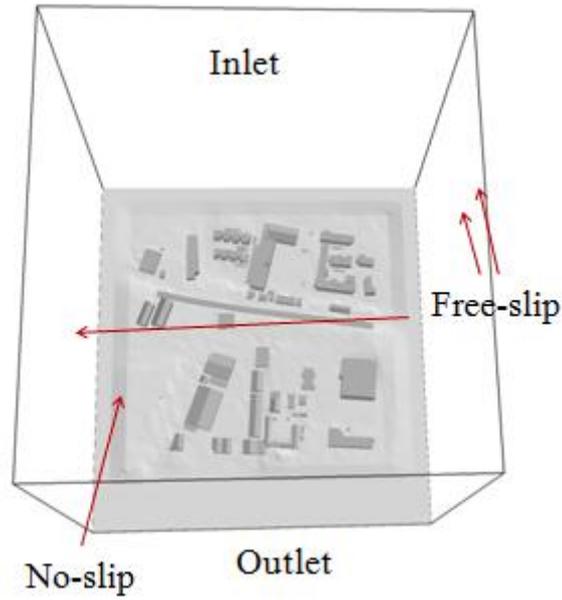


圖 14、金澤大學 Kono 教授 CFD 分析模型

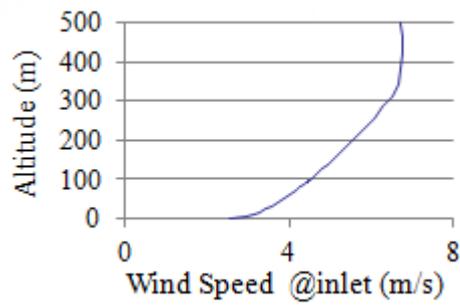


圖 15、金澤大學 Kono 教授 CFD 模型入流風速分佈

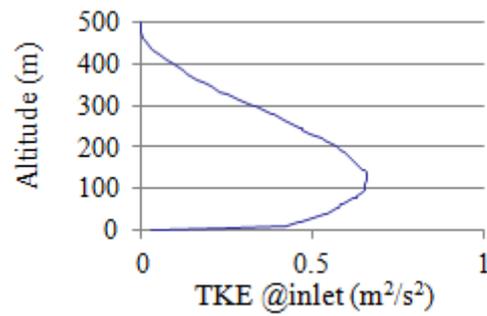


圖 16、金澤大學 Kono 教授 CFD 模型入流紊流強度分佈

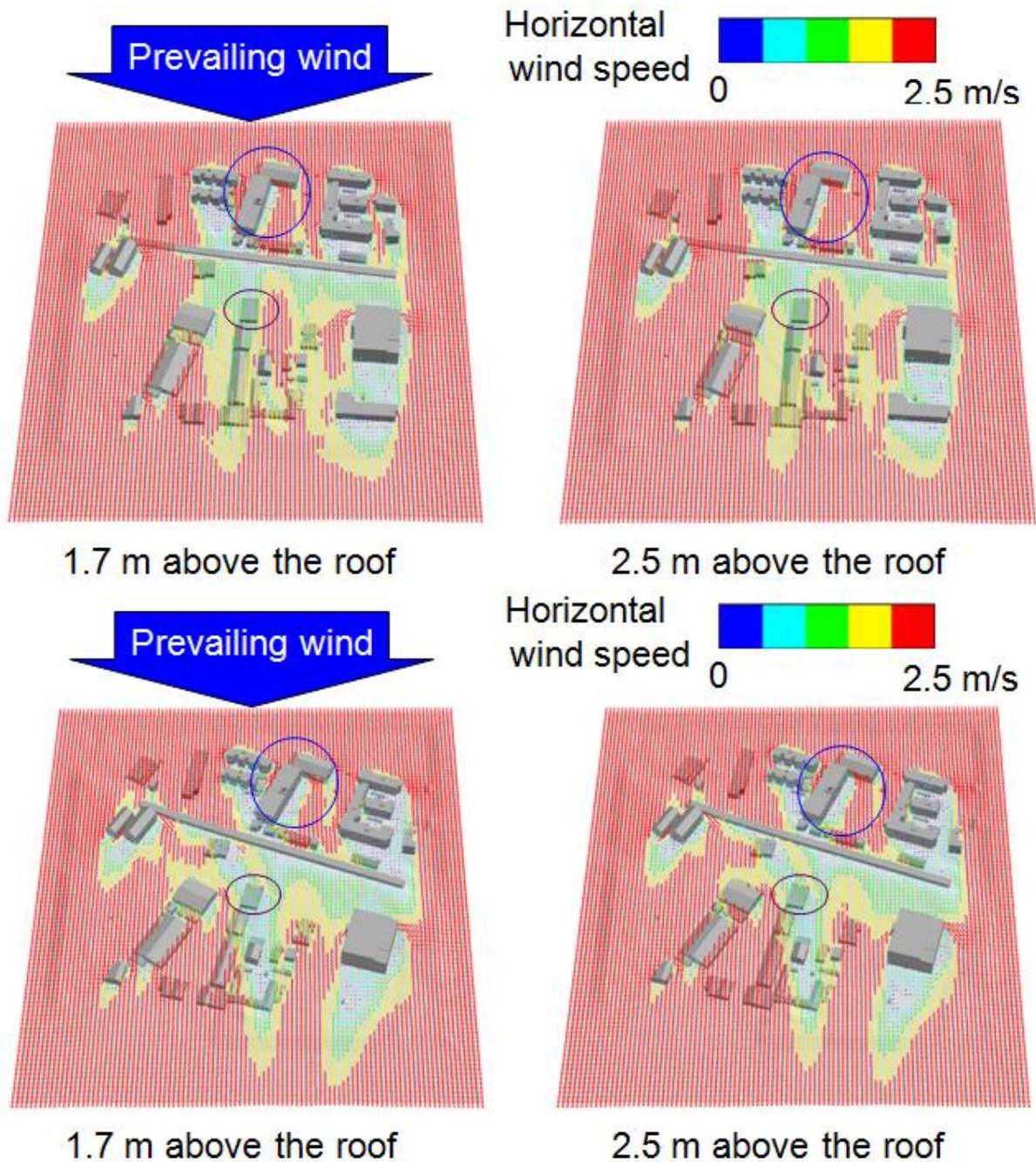


圖 17、金澤大學 Kono 教授 CFD 模擬初步結果

第二天早上議程為工作項目 3(Working Package 3: Collection of new wind resource and turbine power performance data for highly turbulent sites)進行進度報告，報告人員分別為美國 NREL 的 Jason Field，以及台灣大學曾玠文研究生，主要為量測資料與分析結果分享。工作項目 3 是高紊流風場和功率性能的實地量測，主要是結合更多國際團隊進行高紊流環境的現地量測、實驗的設計、定義現地量測進行的一致性通則以及進行量測、量測場地的特性描述與分類、安裝風力機量測、以及資料收集和確認資料的

品質。目前已有實質計畫投入進行這項量測計畫安排的至少已有五個國家團隊，包括美國、澳洲、日本、愛爾蘭、和西班牙的五個團隊在進行高紊流環境(特別是城市建築屋頂)的量測計畫，並配合 CFD 進行驗證分析。

美國 NREL 風能研究中心的 Jason Fields 以視訊進行報告，內容重點包括：(1) 解釋進行屋頂量測的原因在於目前的風力機設計標準當初並非為了城市環境而考量，而目前的測試標準也非為了城市環境而設計，(2) IEC 61400-2 目前的版本在考量城市高紊流環境方面，其各項定義以及關於風況模式方面可能必須考慮修正，(3) 在風資源特性方面，必須考量入射風角度、紊流、三維的流場；在風力機的反應方面，必須考慮偏航速率(Yaw rate)、振動、和實際的功率產生，(4) NREL 與美國 DOE 合作，進行位於德州休士頓 NASA Johnson 太空中心的第 12 號建築屋頂的量測計畫，目標在取得屋頂風資源評估、包含安裝風力機前後的流場量測、以即時方式各種量測資訊，(5) 規劃將以四部 Urban Green Energy 公司的 1kW 垂直軸風力機為量測對象，目前已安裝好四部三維超聲波風速風向計以及搭配的其他量測設備，準備開始資料擷取(圖 18)。

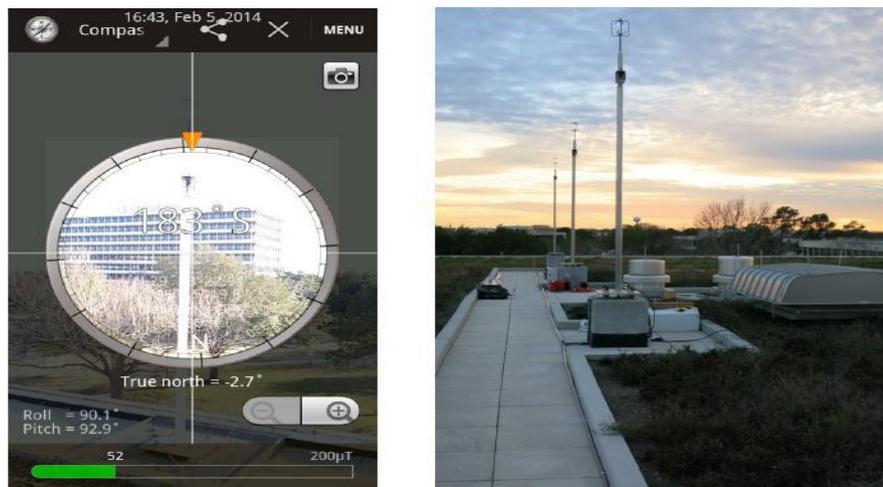


圖 18、NASA Johnson 太空中心第 12 號建築屋頂的量測配置現況

下午議程則為工作項目 5(Working Package 5: VAWT and HAWT SLM)進行進度報告，分別由日本 AIST 的 Hikaru Matsumiya，以及本所蘇員進行簡報。工作項目 5 是小型風力機新標準的準備工作，主要是針對 IEC 61400-2 的第四版。前四項工作都已由執委會通過進行中，但這項工作仍在提計畫規劃階段，預計在下一個執委會開會時提請執委會通過。這項工作包括水平軸簡易負載計算模式的更新、發展垂直軸簡易負載計算模式、發展配合簡易負載計算模式的負載量測、以 BEM 和 CFD 同時做極限應

力和疲勞的相互驗證計算、提出對新的小型風力機分類(尤其針對高紊流)的標準內容。蘇員簡報為臨時安排議程，主要是大會主席 Trudy Forsyth 於 SWAT 會議中有鑑於垂直軸負載計算的熱烈討論，因此提議本所蘇員針對日本與台灣在小型垂直軸風力機設計標準的差異上進行探討(附件二)，蘇員利用兩個晚上的時間以 400 W 垂直軸風機設計資料為研究標的，依據日本與台灣設計標準進行試算比對，初步結果顯示台灣設計標準較為嚴謹與保守，日本代表 Hikaru Matsumiya 由於並非日本小型垂直軸風力機設計標準的開發成員，因此僅能就各人所知進行回覆，但 Hikaru Matsumiya 承諾會將相關議題轉交給參與日本小型垂直軸風力機設計標準開發之成員。

(三) 參訪行程

本次公差最後一天在主辦單位 NWIC 安排下，參訪以下三個單位：分別為 NWIC 張北測試基地(圖 19)、國家電網公司的國家風光儲輸示範電站(圖 20)、以及中節能風力發電(張北)有限公司的大型風場(圖 21)等。NWIC 位於河北省張北縣之風電試驗基地為大陸國家級具備風電機組特性檢測，以及低壓穿越試驗能力等之試驗基地，除了進行相關測試之外，亦具備電網整合模擬、風資源評估、以及風能預報等之技術能量，圖 22 為監控室畫面；國家電網公司的國家風光儲輸示範電站為大陸十二五計畫之一，同時具備風力發電、太陽能發電、以及儲能系統等，並且已併入張北電網，其中的太陽能發電即為有名的大陸金太陽計畫，最終目標為建立 100 MW 風力發電、40 MW 太陽能發電(圖 23)、以及 20 MW 儲能系統的示範電站，規模相當龐大，目前將風力發電與太陽能發電以各別專線併入張北電網；而中節能風力發電(張北)有限公司為中國節能環保集團所屬的子公司，其張北風場風力機組大多為國外進口如 GE 1.5 MW 等，結合其他公司如中水顧問集團公司、龍源電力集團公司、中電投華北分公司等，2020 年張北縣風力發電建置容量目標為 5 GW，值得一提的是，依據現場運轉員所述，風能預報系統為目前大陸風力發電站必備之系統，也是電力公司在審查風電場併網許可時的重點項目之一。



圖 19、NWIC 張北測試基地



圖 20、國家風光儲輸示範電站



圖 21、中節能風力發電(張北)有限公司張北風場



圖 22、NWIC 張北測試基地監控室畫面



圖 23、國家風光儲輸示範電站太陽能發電站

三、心得

本所進行風力發電相關技術之研發已有多年時間，從 25 kW 風機第一代至第二代的研發，一直到完成 150 kW 風機第一代至第二代的開發與架設，期間引進認證的概念，更以自行開發之機種，分別進行符合 IEC 61400-2(小型風機標準規範)，以及 IEC 61400-1(中大型風機標準規範)之設計認證分析，此外，本所亦投入小型垂直軸風力機技術研發，於 2011 年完成小型垂直軸風力機簡易負載計算模式(V-SLM)之開發，我國初次於 2011 年參與 IEA Task 27 會議時便已提出小型垂直軸風力機簡易負載計算這個觀念，日後並趁著與中國大陸一起發展垂直軸風力機共通標準時，將我國所發展的 V-SLM 納入於目前兩岸已公布的共通標準的附錄中，期間並於 2013 年 4 月的 Task 27 會議上，也由本所蘇員以視訊方式針對 V-SLM 的使用方式對眾多國外專家進行解說，得到很大的迴響。日本遂於 2013 年於其更新版的日本小型風力機標準 JSWTA 0001:2013 中，將 H 葉片型式的 V-SLM 放入其附錄 C 中。這些都使得 Task 27 慎重考慮將 V-SLM 的發展納入其工作項目五(Working Package 5)，並準備向 IEA Wind 的執委會提出工作計畫書。本次公差行程參與 SWAT 2014 與 IEA Task 27 工作會議討論，並且參訪 NWIC 等機構，經由與各國專家之討論與交換意見，對於問題的釐清，以及提升本所在風能系統工程技術能量上獲益良多，大致上可彙整如下：

1. 我國自從 2011 年 11 月開始，以與中國風能協會有合作夥伴關係的台灣中小風力機發展協會(TSWA)，以觀察員名義參與 IEC 和 IEA 與小型風力機相關的標準和測試驗證等相關會議，其中主要以 IEA Wind Task 27 為主，本所為 TSWA 成員之一，於 2011 年完成 V-SLM 之開發，為台灣在 Task 27 工作會議上的技術研發單位之一，由於前幾次會議無法派員參家，藉由 TSWA 顧問張欽然博士等參與會議，並且推廣 V-SLM 之應用，期間僅於 2013 年 4 月的 Task 27 會議上，由本所蘇員以視訊方式針對 V-SLM 的使用方式對眾多國外專家進行解說，得到很大的迴響。本次得以親自參與 2014 年中國和北的會議，可已深切感受到由於我國相關人員積極的參與，提供我國小型風力相關測試驗證的實績資料，貢獻關於城市屋頂高紊流量測的技術見解與完整計畫構想，提出垂直軸風力機簡易負載計算模式等，Task 27 的各國與會者對於我國代表的貢獻相當肯定。因此，我國與 Task 27 秘書處相關人員發展出很好的互信關係，此種默契

有賴有賴日後各研發單位投入心力維持，藉由對於國際標準開發之貢獻，提升我國小型風力機研發技術在國際上的能見度。

2. 我國於今年會議也順利與 Task 27 秘書處協商完成，明年(2015)第一次的 Task 27 會議將由我國於台北主辦，屆時將由各國代表實際來台或透過視訊會議參與，這對我國小型風力機產業的實質發展以及相關標準測試驗證的表現是一個很好的肯定。由於在台北舉辦會議，我國的出席會議者將可以更多，但同時也必須對大會做出最多的技術發言。因此，從目前到明年會議，相關的研究和實驗，例如屋頂量測、CFD 計算、或測試驗證的方法與實績等，必須盡早累積相關數據或資料，在會場上提出報告，讓與會的國際代表參與提出意見，並肯定我國各方面的技術能力。
3. 我國這幾年來由本所提出的垂直軸風力機簡易負載計算模式，除了納入我國和大陸的垂直軸風力機共通標準外，日本也效法我國，將其中 H 型的垂直軸風力機簡易負載計算模式納入其小型風力機標準中。透過前幾年在 Task 27 會議上我國代表的發言，以及引導技術討論，已經讓 Task 27 甚至 IEC Wind CAC 重視到這個議題，並考慮於下一版的國際標準中予以納入。今年 Task 27 已經將我國的規畫想法以及歸納其他會員國的想法，針對垂直軸風力機簡易負載計算模式訂出工作項目 5(WP5)，準備提請其執委會通過。因此，本所應積極因應這項工作，特別是在經費與計畫的支援下，依照規劃持續發展，將簡易模式發展、負載量測驗證、以及 CFD 驗證三者同時並進，以建立本所在這個領域的領導地位。
4. IEA Wind Task27 目前整合各國團隊進行技術討論與研究的重要方向係著重在小風機微觀選址、高紊流模型與參數、高紊流風機效能及其分級、高紊流風機性能試驗方法等，這些研究都是因為過去小型風力機標準依襲大型風力機標準而無法看到的重要技術問題。Task 27 的與會專家希望經由這些研究使得小型風力機的設計、安全、與性能考量脫離過去承襲自大風機的窠臼，而形成新的一套理論基礎。因此，衡諸於我國小型風力機產業目前除了進駐中國市場，並已突進日韓市場的前景來看，Task 27 的相關研究議題對小型風力機產業的未來影響，是不容忽視的。

四、建議事項

- (一)、城市紊流為目前小型風力機研發重點之一，但各研究單位目前僅止於靜態建築物流場分析與量測，本所可將風力機氣動力動態模型結合建築物流場，進行城市紊流對於小型風力機性能與安全性之探討，進而提升小型風力機於城市應用之安全性。
- (二)、目前世界上僅有日本與台灣正式公佈小型垂直軸風力機設計標準，其他各國仍處於觀望階段，若能加緊驗證標準之正確性，並且獲得 IEA Task 27 專家認同，將有機會納入 IEC 61400-2 國際標準中。
- (三)、執行 IEA Wind Task27 的研究工作，需要長期性的政府計畫經費支援，像日本就是以全國性的組織-日本 IEA 組織，透過政府重要研究單位(例如：AIST)，在有組織及經費支援下長期參與 IEA 研究工作。其他各國包括澳洲、愛爾蘭、美國等國家實驗室或大學在歷次會議中也貢獻與分享了很多成果。本所於風能系統工程技術開發與研究的小型風力機研發分項計畫，應持續投入人力與經費，積極參與 IEA Task 27 會議，提升本所於小型風力發電領域之國際能見度。

附件一、Development and verification of V-SLM using CFD



SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN/EVALUATION LAB

Development and verification of V-SLM using CFD

Wei-Nian Su

Institute of Nuclear Energy Research

August 27, 2014



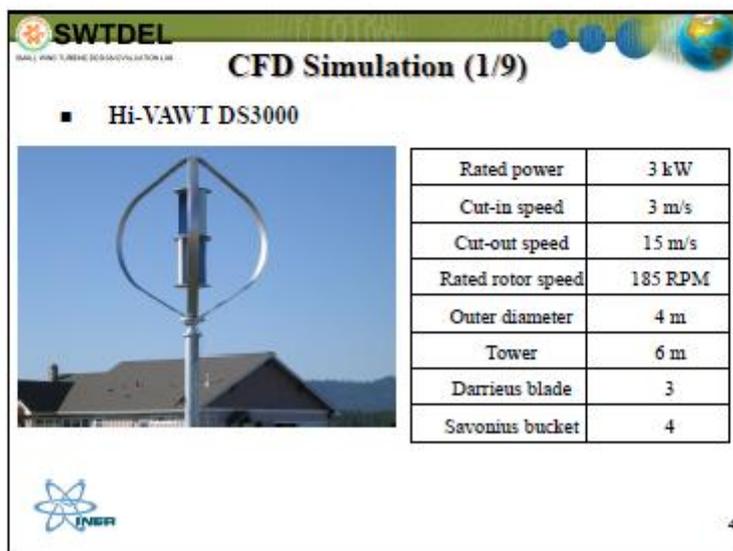
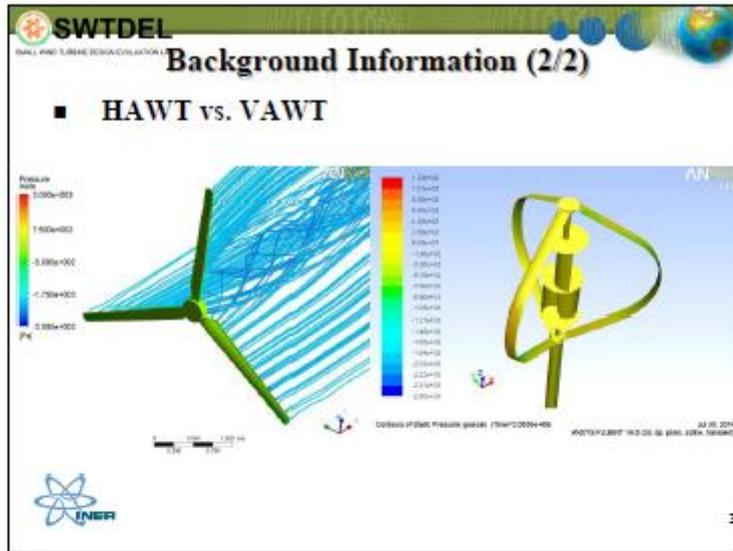
SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN/EVALUATION LAB

Background Information (1/2)

- Load Cases for HAWT: (IEC 61400-2:2006)
 - ✓ A: Fatigue
 - ✓ B & C: Yawing (ω_{yaw}) & Yaw error (30°)
 - ✓ D: Maximum thrust (Thrust @ $V_{hub} = 2.5 V_{avg}$, $C_T=0.5$)
 - ✓ E: Maximum rotational speed (ω_{max})
 - ✓ F: Short at load connection
 - ✓ G: Manual shutdown (braking)
 - ✓ H: Survival wind speed (50 year extreme wind speed)
 - ✓ I: Survival wind speed (1 year extreme wind speed)
 - ✓ J: Transport, assembly, maintenance and repair



2



SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

CFD Simulation (2/9)

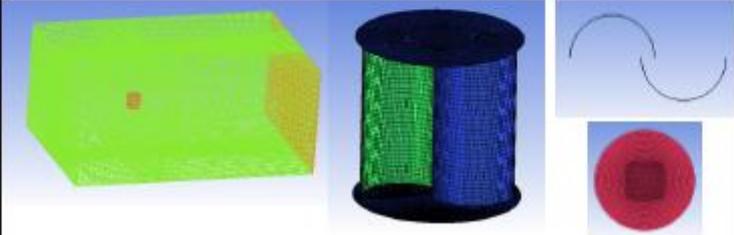
- **CFD: ANSYS Fluent**
 - Velocity inlet: distance from rotor center ($5 \times D$)
 - Pressure outlet: distance from rotor center ($10 \times D$)
 - Incompressible flow
 - Large eddy simulation
 - Moving mesh: time step $0.002 \sim 0.005$ s

 5

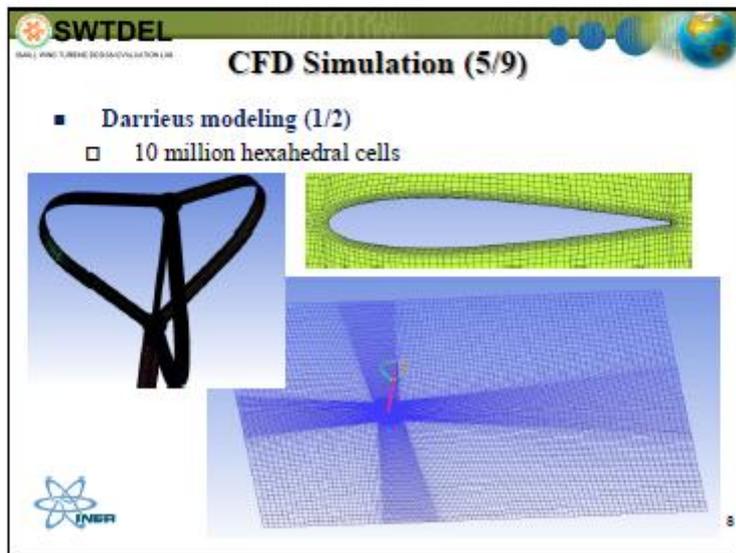
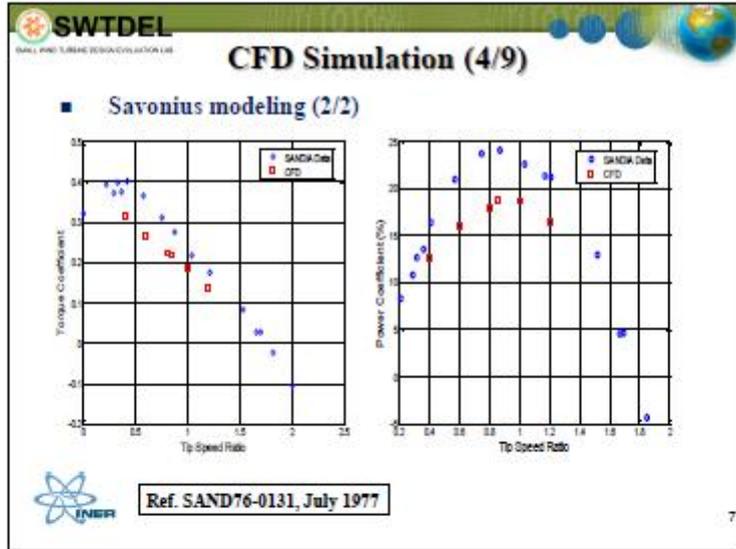
SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

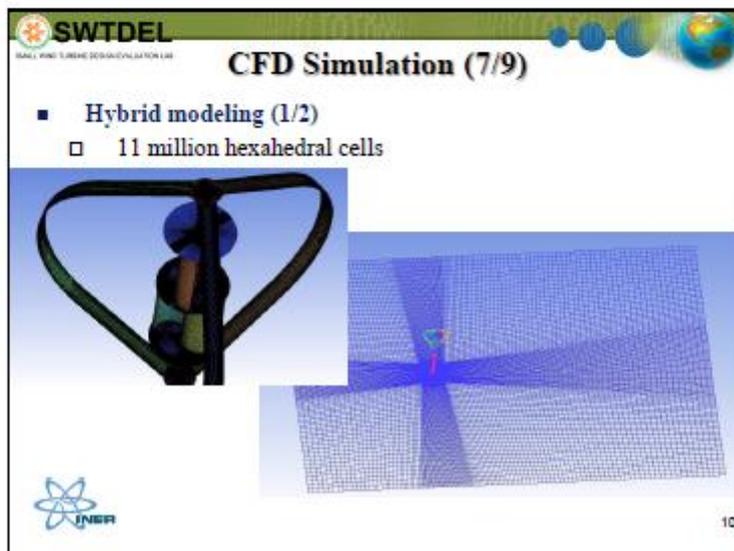
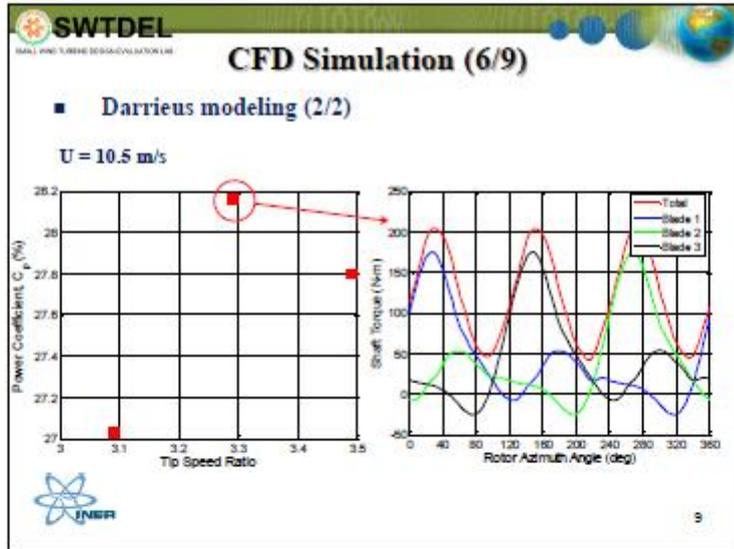
CFD Simulation (3/9)

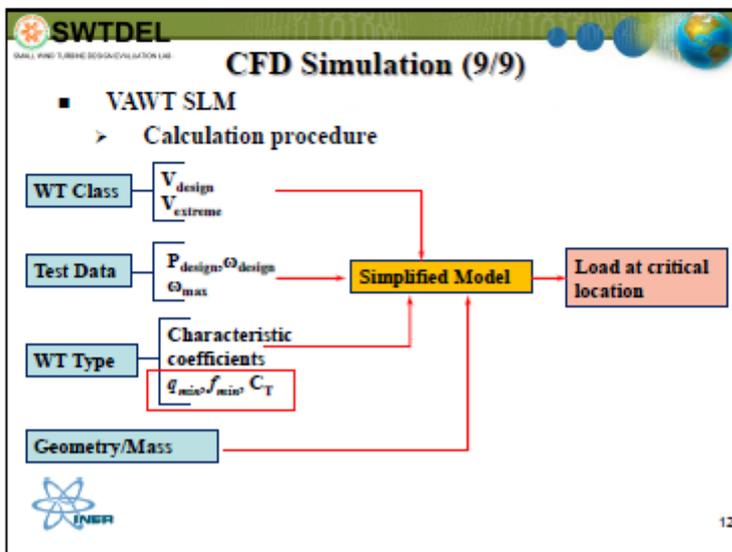
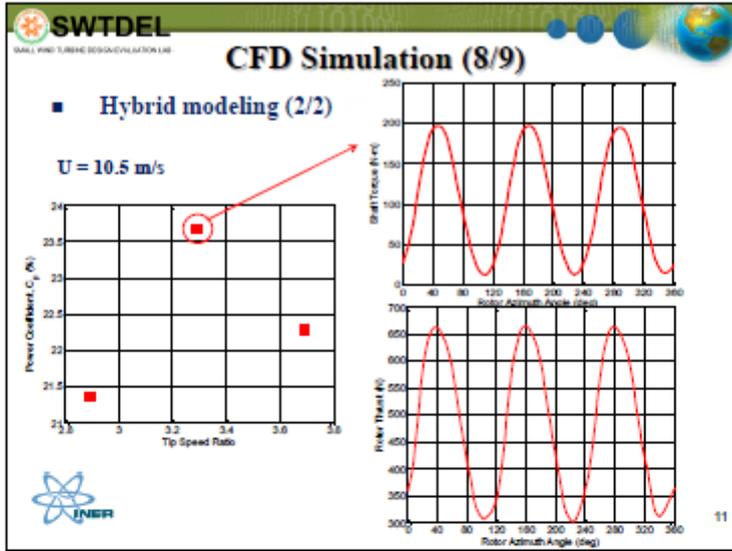
- **Savonius modeling (1/2)**
 - 5 million hexahedral cells



 6







SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Verification of Model (1/2)

- Cross strait benchmark campaign (1/2)

Taiwan: A company **Mainland China: B company**

Wind turbine class	Class III	Wind turbine class	Class II
Type	Darrieus/Savonius hybrid	Type	H-Type
Rated output power	3 kW	Rated output power	3 kW
Outer radius	2 m	Number of blades	5
Hub height	6 m	Outer radius	1.5 m
Cut-in wind speed	3 m/s	Rated rotor speed	110 RPM
Rated wind speed	12 m/s	Over speed protection	Pitch control / Disc brake
Cut-out wind speed	15 m/s		
Rated rotor speed	185 RPM		
Over speed protection	Electrical brake		




INMRA

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Verification of Model (2/2)

- Cross strait benchmark campaign (2/2)

	Simplified load model			A company design value		
	Blade	Bucket	Tower	Blade	Bucket	Tower
	$F_{Y_{\text{Design, low}}}$	$F_{Y_{\text{Design, low}}}$	F_{Y_0}	$F_{Y_{\text{Design, low}}}$	$F_{Y_{\text{Design, low}}}$	F_{Y_0}
Load Case D	-	-	2993.19	-	-	3005.8
Error (%)	-	-	-0.4%	-	-	-
Load Case H	1137.71	638.34	5372.46	841.5	1077	5735
Error (%)	35%	-40%	-6%	-	-	-

	Simplified load model		B company design value	
	Blade	Tower	Blade	Tower
	$F_{Y_{\text{Design, low}}}$	F_{Y_0}	$F_{Y_{\text{Design, low}}}$	F_{Y_0}
Load Case D	-	3584.5	-	4370
Error (%)	-	-18%	-	-
Load Case H	2780.98	16685.66	2761	15577
Error (%)	0.7%	7%	-	-

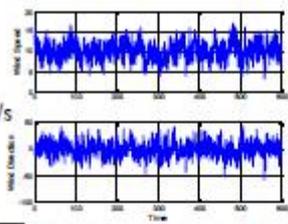
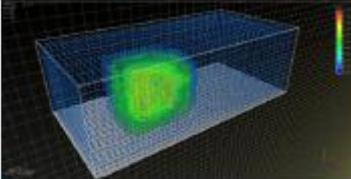
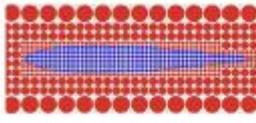
INMRA

14

SWTDEL
SHANGHAI WIND TUNNEL RESEARCH & DEVELOPMENT CO., LTD.

One-Way FSI Model (1/6)

- Approach (1/3)
 - Wind condition:
 - NTM: $I_{15}=0.18$
 - Mean wind speed: 10.5 m/s
 - Fluid dynamics: XFlow
 - Simulation time: 620 s

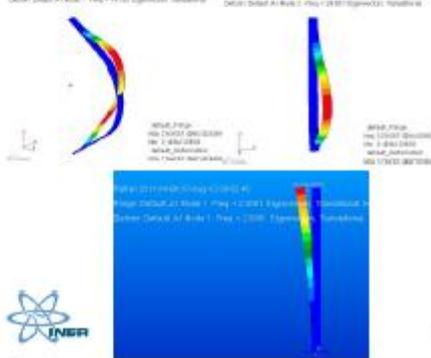
INSEI

15

SWTDEL
SHANGHAI WIND TUNNEL RESEARCH & DEVELOPMENT CO., LTD.

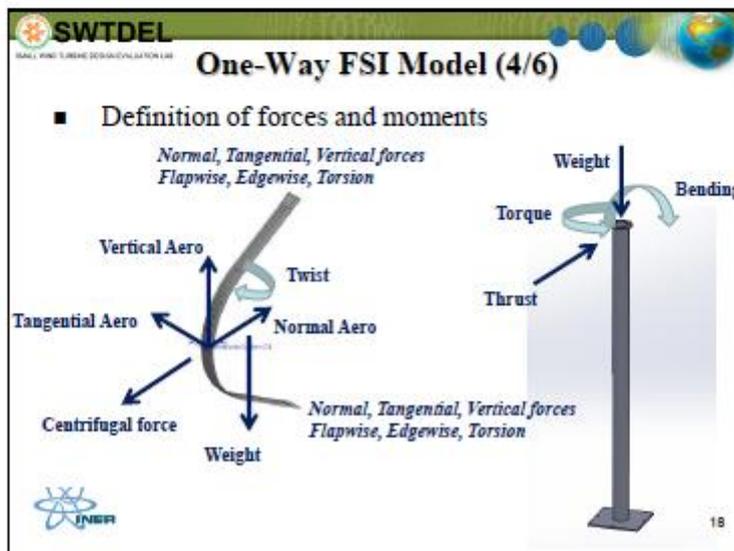
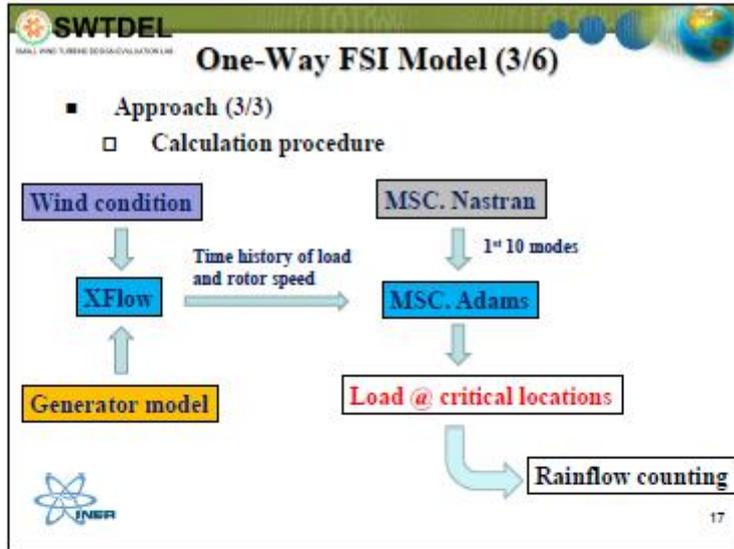
One-Way FSI Model (2/6)

- Approach (2/3)
 - Structural dynamics: MSC. Nastran & Adams




INSEI

16



SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

One-Way FSI Model (5/6)

- Fatigue load (1/2)
 - Extend to 20 years (multiply by 1051200)

Blade normal force

INSRA

19

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

One-Way FSI Model (6/6)

- Fatigue load (2/2)

Tower top thrust force

INSRA

20

SWTDEL
SMART WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Comparison of Results

- Fatigue equivalent damage load (5.2E9 cycles)

	Darrieus blade root		Rotor/tower connection		
	SLM	1 Way-FSI		SLM	1 Way-FSI
$\Delta F_{b\text{-normal}}$ (N)	7157.56	1824.6	ΔF_{st} (N)	1928.04	1126
$\Delta F_{b\text{-tangential}}$ (N)	305.77	283.8	ΔM_{st} (N-m)	513.17	469.4

 21

SWTDEL
SMART WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Future Work (1/2)

- Test site at INER:



 22

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Future Work (2/2)

- Load measurement
 - IEC TS 61400-13



INMST

23

The photograph shows a tall, slender wind turbine tower on a grassy field. A red rectangular box is drawn around the nacelle area of the turbine, which is the part that houses the generator and gearbox. The background includes trees and a cloudy sky.

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

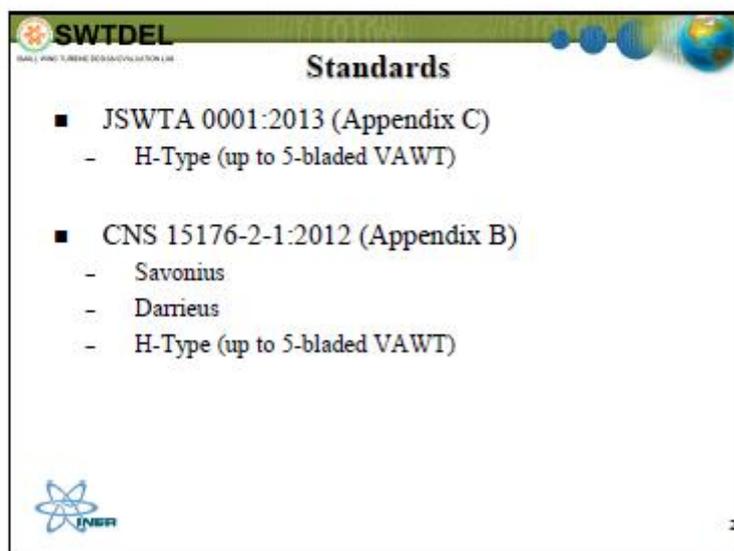
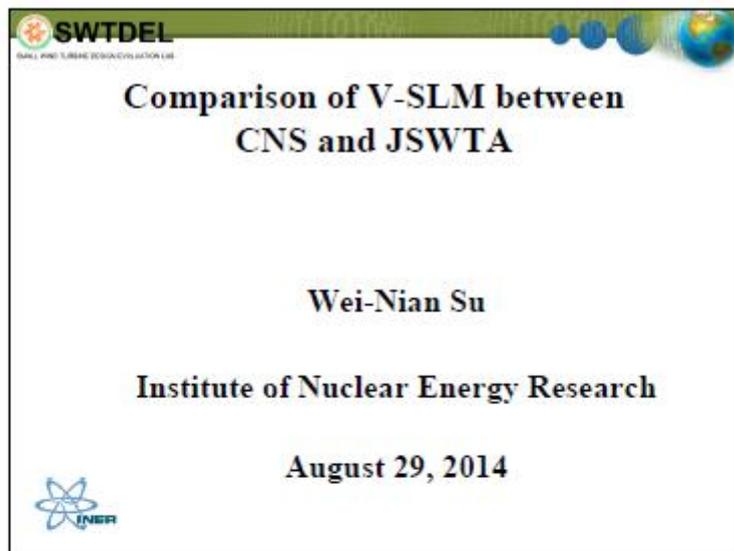
Thanks for your attention



INMST

The image is an artistic rendering. In the foreground, there are green, leafy plants. In the middle ground, several white wind turbines are scattered across a grassy field. In the background, a power plant with several large cooling towers and smokestacks is visible against a blue sky with white clouds.

附件二、Comparison of V-SLM between CNS and JSWTA



SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

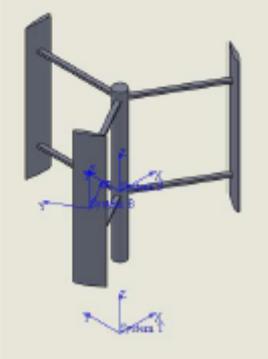
Load Cases

- A: Fatigue
- ~~B & C: Yawing (ω_{yaw}) & Yaw error (30°)~~
- D: Maximum thrust
- E: Maximum rotational speed
- F: Short at load connection
- G: Manual shutdown (braking)
- H : Survival wind speed (50 year extreme wind speed)
- I: Survival wind speed (1 year extreme wind speed)
 - Ignored in JSWTA
- J: Transport, assembly, maintenance and repair

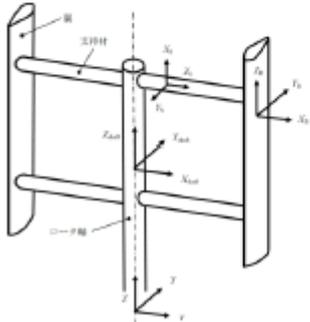
3

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Coordinate Systems



CNS



JSWTA

4

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LTD

Loads @ Blade / Support Arm

CNS

Blade / Support Arm		
	Force	Moment
Aero	Tangential	Edgewise
	Normal	Flapwise
	Vertical	
		Twist
Inertial	Weight	Flapwise
	Centrifugal (unbalance)	Flapwise

JSWTA

Blade / Support Arm		
	Force	Moment
Aero	Tangential	Edgewise
	Normal	Flapwise
	Vertical	
		Twist
Inertial	Weight	Flapwise
	Centrifugal	Flapwise

only for Load Case E



5

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LTD

Loads @ Shaft / Tower

CNS

Shaft/Tower		
	Force	Moment
Aero	Thrust	Bending
		Torque
	Inertial	Weight (Eccentricity)
	Centrifugal (unbalance)	Bending

JSWTA

Shaft/Tower		
	Force	Moment
Aero	Thrust	Bending
		Torque
	Inertial	Weight (Eccentricity)
	Centrifugal (unbalance)	Bending



6

SWTDEL
SOUTH WEST TERNES DESIGN CONSULTANTS LTD

Load Case A (1/3)

- Blade normal force
 - JSWTA $\frac{1}{2} \rho A_{\text{proj},B} (1.5V_{\text{design}})^2 \cdot (8.5\lambda_{\text{design}} - 3.2)$
 - CNS $2(m_B + \Delta m_B) R \omega_{\text{design}}^2$
- Shaft/Tower Torsion
 - JSWTA $\Delta M_{z-\text{shaft}} = Q_{\text{design}}$ IEC 61400-2:2006
 - CNS $\Delta M_{Z_s} = \Delta Q$ $\Delta M_{x-\text{shaft}} = Q_{\text{design}} + 2m_r g_e r$

400 W reference VAWT

	CNS	JSWTA
ΔF_{zB}	2994 N	1096 N
ΔM_z	62.88 N-m	15.72 N-m

 7

SWTDEL
SOUTH WEST TERNES DESIGN CONSULTANTS LTD

Load Case A (2/3)

q_{ref}	ΔQ	B=2	B=3	B=4	B=5
-4.0	$10Q_{\text{design}}$	$11.25Q_{\text{design}}$	$13.02Q_{\text{design}}$	$13.9Q_{\text{design}}$	$14.72Q_{\text{design}}$
-3.5	$9Q_{\text{design}}$	$10.13Q_{\text{design}}$	$11.81Q_{\text{design}}$	$12.7Q_{\text{design}}$	$13.55Q_{\text{design}}$
-3.0	$8Q_{\text{design}}$	$9Q_{\text{design}}$	$10.59Q_{\text{design}}$	$11.51Q_{\text{design}}$	$12.39Q_{\text{design}}$
-2.5	$7Q_{\text{design}}$	$7.88Q_{\text{design}}$	$9.37Q_{\text{design}}$	$10.31Q_{\text{design}}$	$11.23Q_{\text{design}}$
-2.0	$6Q_{\text{design}}$	$6.75Q_{\text{design}}$	$8.15Q_{\text{design}}$	$9.13Q_{\text{design}}$	$10.08Q_{\text{design}}$
-1.5	$5Q_{\text{design}}$	$5.63Q_{\text{design}}$	$6.94Q_{\text{design}}$	$7.94Q_{\text{design}}$	$8.94Q_{\text{design}}$
-1.0	$4Q_{\text{design}}$	$4.5Q_{\text{design}}$	$5.72Q_{\text{design}}$	$6.77Q_{\text{design}}$	$7.81Q_{\text{design}}$
-0.5	$3Q_{\text{design}}$	$3.38Q_{\text{design}}$	$4.52Q_{\text{design}}$	$5.61Q_{\text{design}}$	$6.72Q_{\text{design}}$
0.0	$2Q_{\text{design}}$	$2.25Q_{\text{design}}$	$3.33Q_{\text{design}}$	$4.5Q_{\text{design}}$	$5.68Q_{\text{design}}$
0.5	$1Q_{\text{design}}$	$1.13Q_{\text{design}}$	$2.33Q_{\text{design}}$	$3.55Q_{\text{design}}$	$4.81Q_{\text{design}}$

 8

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Load Case A (3/3)

- Thrust
 - JSWTA $F_T = C_T \frac{1}{2} \rho (1.5V_{\text{design}})^2 A$
where $C_T = 1.2$
 - CNS $\rho V_{\text{design}}^2 C_T A_R (1 - f_{\min}) + 4.5 \Delta m_B R_{\text{cog}} \omega_{\text{design}}^2$
where $C_T = 1$ and $f_{\min} = 0 \sim 0.5$

400 W reference VAWT

	CNS	JSWTA
ΔF_T	522 N	526 N

INSPIRE

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN EVALUATION LAB

Load Case D

- Maximum Thrust
 - JSWTA $F_T = C_T \frac{1}{2} \rho (2.5V_{\text{ave}})^2 A$
where $C_T = 1.2$
 - CNS $F_{X3} = \frac{1}{2} \rho V_{\text{hub}}^2 C_T A_R (2 - f_{\min})$
where $V_{\text{hub}} = 2.5V_{\text{ave}}$, $C_T = 1$ and $f_{\min} = 0 \sim 0.5$

400 W reference VAWT

	CNS	JSWTA
F_T	1244 N	746 N

INSPIRE

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN/ANALYSIS LAB

Load Case H (parked)

- Blade normal force
 - JSWTA $F_{xB} = C_{r,max} \frac{1}{2} \rho A_{proj,B} V_{e50}^2$
where $C_{r,max} = 2$ 400 W reference VAWT
 - CNS $F_{xB} = \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 C_d A_B$
where $C_d = 1.5$
- Thrust
 - JSWTA $F_{shaft} = C_{Fshaft} \frac{1}{2} \rho A_{proj,B} V_{e50}^2$

	CNS	JSWTA
F_{xB}	1220 N	1626 N
F_T	2196 N	1626 N

B	1	2	3	4	5
C_{Fshaft}	1.1	2.0	2.0	2.9	3.2

- CNS $F_{XB} = 0.6B(F_{XB})$

 11

SWTDEL
SMALL WIND TURBINE DESIGN/ANALYSIS LAB

Summary

- Weight of rotor & blade should have certain impact on the structural integrity.
- For blade: centrifugal force vs. aerodynamic force in normal direction
- Flapwise bending moment resulted from blade normal force should have certain impact on the structural integrity.
- Choice of aerodynamic coefficients

 12