

出國報告（出國類別：進修）

參加「離岸風電運輸與物流」教育 訓練報告

服務機關：臺灣港務股份有限公司臺中港務分公司

姓名職稱：徐菀璘副管理師

派赴國家：荷蘭

出國期間：108年11月19日 108年11月23日

報告日期：109年02月13日

摘要

DOB-Academy 是一個專門開辦與離岸風電有關之訓練課程的機構位於荷蘭代爾夫特(Delft, the Netherlands)，其開辦之「離岸風電運輸與物流」課程主要係由離岸風電相關之各領域專家分析離岸風機相關組件於進行運輸、物流及執行離岸風場安裝過程中，面臨的各項挑戰，並教授可因應之方案及策略。課程從離岸風電之各項組件介紹，包含風機、水下基礎等組件之型式，及風場安裝因應不同安裝策略所使用不同之安裝船型式，並教授風場開發商為完成一個離岸風場安裝，其採取之策略及考量面向，使學員得認識及瞭解實務面運輸及物流所涉及之各項層面及因素。

目次

壹、	課程基本資料.....	3
貳、	教育訓練課程重點概述.....	5
參、	心得及建議.....	14

壹、課程基本資料

一、課程時間

由 DOB-Academy 開辦之「離岸風電運輸與物流課程」為期 2 日，自 108 年 11 月 20 日起至 108 年 11 月 21 日止。

二、課程目的

離岸風機之相關組件（包含但不限於葉片、機艙、塔架、水下基礎等）從生產、製造端出廠，行經出貨港、進貨港至離岸風機預組裝基地，再由離岸風機安裝船載運至離岸風場安裝之過程中，將面臨各項運輸及物流之挑戰，故本課程設計先以書面講授基礎知識，教導各種運輸及物流策略，再藉由實際模擬演練操作，給予學員更深入的探討與瞭解。

學員藉由各層面瞭解及認識離岸風電運輸及物流，培養學員思考各項決定因子所得之運輸與物流策略利弊，於各開發目標訂定下，研擬出最佳之運輸與物流方案，為離岸風場專案之整體開發達最高效益。

三、課程師資

本課程主要有 DOB-Academy 內部 7 位講師及外部 3 位講師，相關背景如下表所述。

	姓名	背景
內部師資	ELENA STROO-MOREDO	海洋技術專業，課程規劃與安排
	NIEK MEURS	離岸風電產業之安裝與物流及運維規劃策略
	ROBERT HASSELAAR	DOT 計畫之負責人，包含風機安裝及除役
	WINK DE GROOT	設計實際模擬操作課程
	HENDRIK GOOS	自 1986 年開始進入離岸風電產業工作，於課程制訂與設定有非常多的經驗，培育產業需要的人才。
	THIJS KAMPHUIS	領有離岸風電工程人員執照，專業領域為離岸風機。
	ROB ATKINSON	畢業於離岸風電工程領域，專業於離岸風

		機基礎，刻正研究下一世代的風機。
外部 師資	WILLEM SCHRIJVER	達美勞埃德(Delta Lloyd)之經理，專門於離岸風電保險工作。
	ERIK BERTHOLET	Eemshaven 港口的業務經理
	STEPHANIE QUESNEL	Van Oord 經理，並係一位工程師，專門於離岸風電之海纜安裝業務

四、課程總覽

(一) 靜態課程

1. 離岸風電簡介 OFFSHORE WIND INTRODUCTION
2. 風機組件：風機 COMPONENTS I: Turbine
3. 風機組件：水下基礎與電力基礎建設
COMPONENTS II: Support structures & electrical infrastructure
4. 安裝船與策略 INSTALLATION VESSELS AND STRATEGY
5. 適航 SEAFASTENING
6. 陸上運輸 ONSHORE TRANSPORTATION
7. 港口 PORTS
8. 海纜安裝準備
PREPARATION FOR OFFSHORE INSTALLATION - cable example
9. 職安衛 HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT
10. 離岸風電保險 INSURANCE IN O&M OFFSHORE WIND
11. DOT 計畫安裝與除役
PRACTICE EXAMPLE: Installation and decommissioning DOT
12. 未來挑戰 FUTURE CHALLENGES IN T&L

(二) 模擬實作課程

1. 實作 1：適航性 CASE I: SEAFASTENING
2. 實作 2：規劃陸上運輸路線 CASE II: ONSHORE ROUTING
3. 實作 3：物流方案 CASE III: LOGISTIC MODELLING
4. 實作 4：安裝離岸風場 CASE IV: INSTALLATION MINIATURE WINDFARM

貳、教育訓練課程重點概述

一、離案風電起源

離岸風電的概念於 1970~1980 年間開始發展及研究，於 1991 年丹麥商 Dong Energy(現 Ørsted 沃旭能源公司)開發了全球第 1 個 Vindeby 離岸風場(Offshore Wind Farm)，其位於丹麥洛蘭島 Vindeby 鎮外海，Vindeby 風場總設置容量共 4.95MW，每架離岸風機(Offshore Wind Turbine)發電容量 450KW，水下基礎係採重力式結構

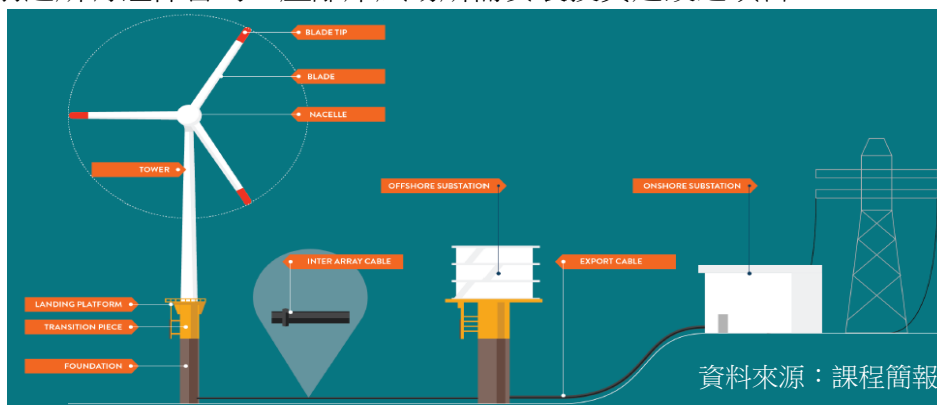


(Gravity-based structure, GBS)型式，總共安裝 11 架風機。

二、離岸風機相關組件介紹

(一) 風機組件

離岸風機大部組件除風機本身之葉片(Blade)、機艙(Nacelle)、塔架(Tower)、轉接段(Transition Piece)、水下基礎(Foundation)外，為使風機產生之電量能輸送回岸上，另須透過設置風場裡風機間海底電纜(Inter Array Cable)(通常 1~10 公里長)，其將電先輸送至海上變電站(Offshore Substation)匯集變壓，再經由輸出海底電纜(Export Cable)(通常 10~100 公里)將電送回陸上變電站(Onshore Substation)。前述所有組件皆為一座離岸風場所需安裝投資建設之項目。



(二) 圖片介紹

1. 海纜



(風機間海纜 Inter Array Cable)



(輸出海纜 Export Cable)

2. 風機組件



基礎結構



轉接段



塔架



機艙



葉片

資料來源：課程講義

3. 水下基礎型式



單樁式(Monopile)



套筒式(Jacket)



重力式結構(Gravity Base Structure)



浮力式(Floating)

資料來源：課程講義

三、離岸風場安裝策略

(一) 安裝及施工之影響因素及限制

1. 風及海氣象條件

海上的風速、風的尾流效應、風切、風流、海平面、海浪、海流都是在決定出海施工與否的重要影響因子，其會影響可工作性，進而影響施工期程。爰此，施工前調查極為重要，其將直接影響工作者的生命安全，而生命安全是離岸風電工作者最為重視之事項。

2. 生物氣候

離岸風場之設置將會影響海上、海底之生物，包含鳥、海底哺乳類動物及魚類等，爰離岸風場規劃階段會調查水下文資、鳥類遷徙路徑等，其將影響風機可安裝性及安裝位置。

3. 海洋其他使用者

海上有很多活動，包含船舶運輸、捕魚、軍事演習、海上公共建設等，不同團體間都須透過充分之溝通與協調，方可順利進行離岸風場之安裝。

4. 可及性

離岸風場建置包含海上施工及岸上預組裝作業，運輸船、安裝船之租賃與安排，及鄰近風場之預組裝施工碼頭及用地可行性，亦將直接影響安裝作業。

5. 離岸風場建置成本

成本估算是整個風場建置專案最重要考量之一，其直接限制執行專案之各項所需活動。

(二) 安裝方法與物流海上運輸策略

1. 離岸風場組件安裝順序

基本上海上安裝順序如次，不過有些施工工作可同時進行：

- (1) 水下基礎設施
- (2) 轉接段
- (3) 海上變電站
- (4) 海纜
- (5) 拋石保護(Scour protection 防沖刷)
- (6) 風機(Turbines)

2. 風機安裝方法

風機安裝方式主要分為四種，傳統式、One piece rotor、Bunny Ear 及 One-go，開發商會視岸上碼頭與土地組裝條件及安裝船等條件選擇適用的方式安裝。

- (1) 傳統式(圖 1)：塔架→機艙→輪轂(Hub)→葉片
- (2) One piece rotor(圖 2)：塔架→機艙→Rotor(輪轂及 3 片葉片)
- (3) Bunny Ear(圖 3)：塔架→機艙與輪轂及 2 片葉片→第 3 片葉片
- (4) One-go(圖 4)：整個風機組裝好直接拉至海上安裝。



圖 1 傳統式



圖 2 One piece rotor



圖 3 Bunny Ear



圖 4 One-go
資料來源：課程簡報

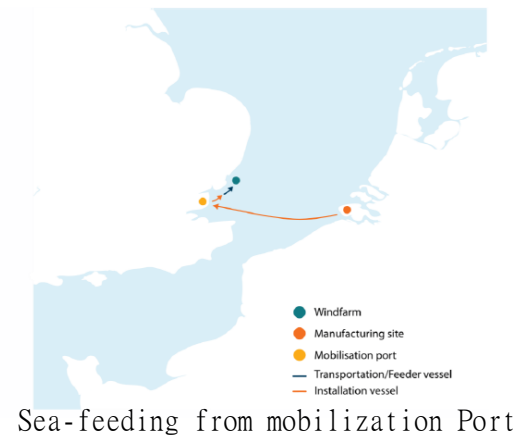
3. 運輸策略

因應各風機組件接來自不同之生產製造地，主要有三種可參考之運輸策略，Transiting、Feeding 及 Sea-feeding。

(1)Transiting(圖 5)：直接從生產製造廠出貨運送至風場。

(2)Feeding(圖 6)：生產製造廠→預組裝港口(Mobilisation Port)→風場。

(3)Sea-feeding：生產製造廠→海上預組裝地 (Mobilisation location on sea)→風場。



資料來源：課程講義

(三) 安裝策略

開發商在選擇採用何種安裝策略時，主要會從三個面向進行分析規劃，包含內在因素、規劃與策略、外在因素。內在因素將會考慮選定之風機型式、水下基礎型式、運輸與安裝船設備、港口條件、氣候資料與許可與限制；規劃與策略包含預組裝條件與方式、生產與載貨地點、運

輸方式與路徑、安裝形式；外在因素包含可用時間、可用資源、成本及風險評估。每個環節都是開發商所考量之重要因素，以規劃出最合適之方案。

安裝策略亦會影響到開發商選擇之契約承包策略，開發商有多種組合之承包策略，選擇將 EPC(I)(工程 Engineering, 採購 Procurement, 施工與安裝 Construction & Installation)及設計與建置 Design & Build, 採各別簽署承包契約或一家統包形式等。而契約是採專案總價或是依時間計價也會有所不同。

四、 陸上運輸與物流

(一)運輸需求與限制

離岸風機相關組件皆係屬超長、超寬、超重之特殊貨物，一支單樁水下基礎長 40 公尺以上、重達 800 噸以上；一個轉接段高 20~50 公尺、重 300~400 噸；一支塔架長 100 公尺以上，重 100~300 噸以上；機艙長 22 公尺、高 10 公尺，重 300~450 噸；葉片長 70~100 公尺。且隨著離岸風電產業成熟，風機也有大型化的趨勢。為因應風機超長、超寬、超重特性，運輸機具、生產製造地點及運輸道路條件皆係開發商須考量的需求與限制。

(二)運輸形式與策略

以歐洲為例，陸運(如圖 7)、鐵路運輸(如圖 8、9)、內陸水運(如圖 10)皆係開發商考量的運輸方式，不同運輸形式所載運之貨物數量、運送時間、運輸成本等條件都不相同，對環境影響的程度也不同，如採陸運將使用大量運輸工具，有交通影響之可能，亦產生較多二氧化碳；如採用水運，雖然運輸量大、運輸單位成本低，但可能將花較長的運送時間；如採用鐵路，火車載運貨物可能有貨物規格等限制。

開發商會參採前述各項運輸條件及專案條件，安排最佳化之陸上運輸策略。



圖 7 陸運



圖 8 鐵路運輸



圖 9 鐵路運輸



圖 10 水運

資料來源：課程講義

五、 港埠資源

以歐洲為例，歐洲可供風場開發商進行風電專案作業之港口有相當多之選擇，如何加強港埠條件與其他港口競爭，爭取風場專案至港口作業，是港口重要的課題。

荷蘭 Eemshaven 港口(如圖 11)距離 70 海浬以內有 35 個風場，其中有 12 個風場在 48 海浬以內，亦靠近德國之風場。港口可供組裝好之三支葉片進出港，吃水深 7.5m~14m，潮差 2.5 公尺，提供重件碼頭每平方公尺承載力達 30 噸，碼頭總長度有 5 公里。其可及性高，可走陸運、鐵路運輸、水運及海運，亦有直升機停機坪。



圖 11 2018 年 4 月 Eemshaven 港

資料來源：課程講義

開發商選擇港口考量的因素，包含其與風場的距離、技術需求、港口可供碼頭及土地大小、併網位置、港口當地之風機產業鏈、港口設施條件與限制及勞工條件等。而就港口條件來說，吃水深、可停靠船席、碼頭載重及長度、航道寬度、港口載運限制(包含電線桿、橋梁、高度限制等)、潮差、海床條件(可否供安裝船站立)、可供使用土地範圍、可供陸上物流服務項目及道路載重等，每項因素亦會影響開發商之選擇。

六、 未來挑戰

未來隨著風機大型化，相關配套設施皆要配合研發及調整。例如風機系統商奇異再生能源公司(GE Renewable Energy) 研發出 12MW 風機，機艙達 600 噸、塔架 800 噸、水下基礎達 2000 噸以上，葉片長度達 107 公尺，開發商如要採購此風機，其須考量有無適合之運輸船、安裝船，陸上運輸有無適合的運輸工具都是選擇的考量因素。

而風場越來越深海，現有水下基礎型式是否足夠因應，且為因應深海安裝方式亦可能調整為浮式安裝(Floating)，相關安裝技術是否成熟、配合之工作船舶及安裝設備是否已經開始研發或現有資源是否足夠因應，都係現在須開始考量的課題。

參、心得及建議

一、心得

透過本課程學習到原來為執行一個離岸風場專案，風場開發商就運輸及物流之議題，所須考量的層面及其所涉及之細節就如此之寬廣。而課程除以書面教授以外，另以模擬實作方式讓學員更深入瞭解各策略之相關聯性，例如於運輸方式選擇的議題，課程提供水運、鐵路運輸、道路運輸之路線（如圖 12），及其所產生的二氧化碳、所需的運送時間及運送成本，並給與學員一個專案執行目標，以此目標條件內完成安排複合式運輸。



圖 12 課程模擬道具

此外，亦提供學員風機組件模型、船舶模型及其租賃成本與運送條件、工作角色等(如圖 13)，請學員模擬執行整個運輸及安裝過程，讓學員體驗及學習過程中相關細節的重要，也讓我對課程有更深刻瞭解與印象。

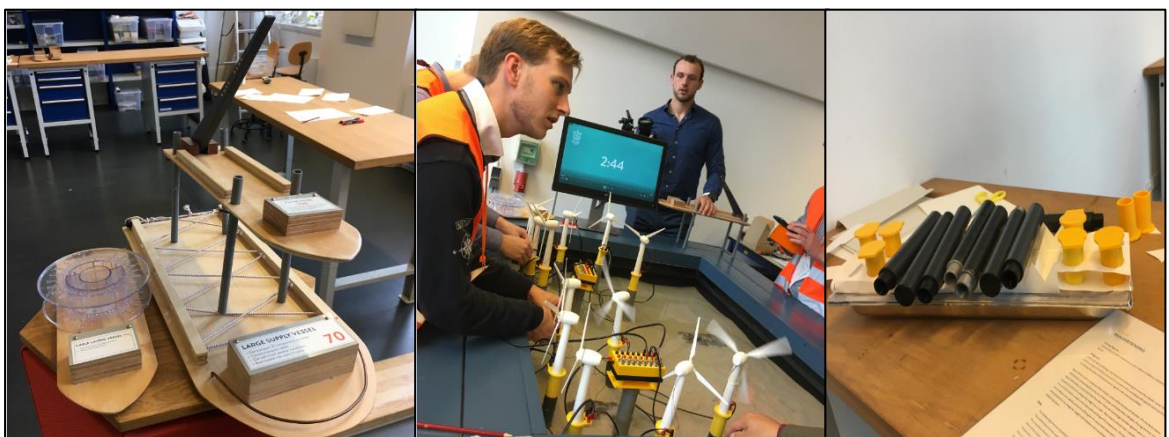


圖 13 模擬道具

二、建議

(一)離岸風機國產化基地應規劃鄰近於港口

臺灣現在離岸風電發展政策如火如荼的在執行，因應風機大型化，未來為因應風機運輸與物流順利進行，相關風機之製造地仍係距離港口越近越為便利，且造成市區道路交通的影響性也會降低很多。

(二)以國外經驗作為與離岸風電開發商談判港口條件之基礎

另因歐洲離岸風電發展背景與我國條件仍不盡相同，以臺中港為例，臺中港有別於國外離岸風電專業港係屬於國際商港，並非專為離岸風電打造之港口，所以港口方面較能以離岸風電開發商於國外港口要求之港口資源作為與這些開發商進行港口條件談判時之知識背景基礎。

(三)如港口有意經營離岸風電之陸上運輸與物流，應具備各項特殊貨物運輸工具，規劃良好道路運輸環境

離岸風電之組件皆屬超長、超寬、超重之特殊貨物，如有意於經營離岸風電陸上運輸與物流業務，應具備特殊貨物載運工作，並且提供良好的港口環境，例如：道路之寬度、載重及運輸轉彎等條件，並規劃足夠之土地、建置足夠碼頭承载力等相關條件，都係離岸風電開發商所考量的重要因素。