

港灣季刊

(原港灣報導季刊)

第 104 期

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 6 月

港灣季刊第 104 期

刊期頻率：季刊

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw

電 話：(04)26587176

總 編 輯：林信得

編輯委員：邱永芳、朱金元、許英正、謝明志、何良勝、蘇青和、
單誠基、馬維倫

出版年月：每年 2、6、10 月

創刊年月：中華民國 77 年 2 月 1 日

定 價：100 元

本次出刊：100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

印 刷 者：群彩印刷科技股份有限公司

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：

10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：2007700020 ISSN：1019-2603

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

目 錄

一、太陽能應用於台灣港灣之初步研究1

邱永芳 交通部運研所港灣技術研究中心主任
李賢華 國立中山大學海洋環境及工程系教授
黃茂信 交通部運研所港灣技術研究中心副研究員
張正憲 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理
方鉢淳 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理

二、由臺北港波浪與颱風觀測資料評估氣候變遷影響量7

張憲國 國立交通大學土木工程學系教授
何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
陳志弘 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
劉勁成 國立交通大學土木工程學系博士後研究
陳蔚璋 國立交通大學土木工程學系博士後研究

三、高雄港船舶污染減量措施對鄰近地區空氣品質提昇之效益評估16

吳義林 國立成功大學環境工程學系教授
楊榮元 國立成功大學環境工程學系研究助理
葉雨松 螢諮科技股份有限公司協理
許真瑜 螢諮科技股份有限公司副理

四、地理資訊系統應用於港區溢淹災害潛勢圖29

陳冠宇 國立中山大學海洋科學系教授
劉俊志 國立中山大學海洋科學系研究助理
張義偉 國立中山大學資訊管理系博士生

五、風能應用於台灣港灣之初步研究40

邱永芳 交通部運研所港灣技術研究中心主任
黃茂信 交通部運研所港灣技術研究中心副研究員
李賢華 國立中山大學海洋環境及工程系教授
余聿祥 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理
方鉢淳 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理

太陽能應用於台灣港灣之初步研究

邱永芳 交通部運研所港灣技術研究中心主任
李賢華 國立中山大學海洋環境及工程系教授
黃茂信 交通部運研所港灣技術研究中心副研究員
張正憲 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理
方鉢淳 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理

一、綠色能源

綠色能源 (Green energy) 也稱為清潔能源 (Clean energy)，是指無污染的能量來源，在能源的獲得或生產過程中污染物的排放較一般能源來得少或幾近無污染，由於非再生能源面臨乾竭的困境，以及近年工業、運輸、商業及家庭等因素大量燃燒石油及天然氣，產生過多的二氧化碳及廢熱，地球暖化的問題日益嚴重，大自然的各種極端性災害接踵而至，使得各國學者提出必須改變舊的能源利用方式，因此開發綠色能源的技術與決心成為近年來的重要議題。

而所謂綠色能源分為狹義與廣義兩種闡述，狹義來說，即指再生能源 (或可再生能源)，如太陽能 (Solar energy)、風能 (Wind energy)、水能 (Hydropower)、海洋能 (Ocean energy)、地熱能 (Geothermal energy) 等，再生能源消耗後可再行循環利用，對環境的負擔

小。而廣義上則指在能源的生產與消費過程中，使用對生態環境造成低污染或無污染的能源，如天然氣、清潔煤則在此列。

本研究中思考如何將綠色能源應用於港埠結構物上，如防波堤及既有建築物上，在不影響到港埠作業的前提下發展綠色能源，可用提供港埠照明用電或部分民生用電。首先考慮者為目前發展較為成熟且在台灣已較廣泛被應用的太陽能及風能系統，利用各大港口之衛星影像，以較粗略的判別方式，配合氣象局及其他調查單位於各港之天候環境資料，概估台灣各港在發展太陽能及風能之可行性。

二、太陽能發展簡介

太陽能始於 19 世紀時的「光起電力」行為，到了 1950 年代，隨著對半導體物性的了解及加工技術的進步，第一個太陽能電池在 1954 年，於美國的貝爾實驗室誕生，此後的發展則如

雨後春筍般的廣泛應用，1957 年蘇聯的第一顆人造衛星，一直到 1969 年美國登陸月球都有應用到太陽能電池的技術，1973 年爆發了石油危機，各國更加積極的發展替代能源，太陽能發展至今效率已成長數倍。

一般常見之太陽能板種類如下表 1。

太陽能屬於可再生能源，應用方便且不具危險，是極具潛力的乾淨能源，其在作用過程中不會產生有害物質，對於環境的汙染較低，且無地區性或資源的限制，僅需日照充足的地方即可使用。

太陽能的轉換主要有三種形式：分為光化學轉化、太陽能光熱轉化、太陽能光電轉換。

光化學轉化：係指在太陽光的照射下，物質發生化學、生物反應，如

植物體中之葉綠素，在光照下進行的光合作用。

太陽能光熱轉化：藉由反射、吸收等方式蒐集太陽輻射能並轉化為熱能，一般常見如太陽能熱水器、太陽能溫室等。

太陽能光電轉化：利用光電轉換元件將太陽能轉成電能，此即為太陽能電池，從 1960 年代開始發展，至今已廣泛應用於各領域，如常見的路燈、計算機、手錶等設備電源。

太陽能電池 (solar cell) 是以半導體製程製成的，其發電原理是將太陽光照射於太陽電池上，使太陽電池吸收太陽光能透過 p- 型半導體及 n- 型半導體使其產生電子 (負極) 及電洞 (正極)，同時分離電子與電洞而形成電壓降，再經由導線傳輸至負載，而太陽能電池產生的電為直流電。

表 1 太陽能電池種類^[1]

種類	使用之材料與技術		能量擷取率
晶片型太陽能電池	單晶矽		12~20%
	多晶矽		10~18%
	非晶矽		6~9%
薄膜型太陽能電池	薄膜矽技術		7~8.5%
	化合物半導體技術	III-V 族 (聚光型太陽能電池)	26~28%
		II-VI 族 (GIGS、CdTE)	10~20%
	新興材料技術	有機電池	8.5%
		球狀矽技術	11.7%
		染料敏化電池	12%
		串疊型電池	39%

三、太陽能發電系統設置條件

根據中央技術研究院－太陽能光電資訊網^[1]，設置太陽光電系統時應考慮設置地點與面積：1 峰瓩*(kWp) 太陽光電系統所需使用設置面積約為 10 平方公尺。(峰瓩：大約是正中午時的陽光照射量下的太陽電池輸出功率。即約在攝氏 25 度時，以 1,000W/m² 強度的陽光，光譜為 AM1.5 的照射，可輸出 1 瓩電力之太陽電池容量，稱為 1 峰瓩。)

近年設置太陽能板之單位成本參考資料如下：

- (1) 經濟部能源局推動「陽光屋頂百萬座」計畫調查價格(屋頂型)：新台幣 7~10 萬元/kWp
- (2) 根據近年標案調查最近得標資料(如表 2)。

參考綠能趨勢網 (EnergyTrend) 之每周太陽能價格趨勢評論，因 2015 年

八月底加工貿易手冊暫停後，歐美太陽能板大廠銷往中國的多晶矽需課高額關稅，因此損失了中國市場後僅能出口至台灣、韓國等地，造成中國以外的地區多晶矽有過供過於求的現象，目前價格維持在 US\$13.5~14/KG 的低水位。

電池片方面，台灣已有不少轉換效率達 17.8% 以上的電池廠穩站 US\$0.32/watt，並有機會向 US\$0.325/watt 靠攏。而矽晶圓部分，因中、台及第三地電池價格上漲，台灣受中國二線廠的低價銷售挑戰，目前呈現較持平的局面，價格於 US\$ 0.82~0.825/pc 間。

包含裝設工本費及成本等，目前國內之太陽能板裝設成本落於 4~10 萬/kWp，而本研究中以 6 萬/kWp 為成本計算(實際裝設成本以配合廠商與當時價格為主)

表 2 依標案查詢近年太陽能板設置得標資料

檔案名稱	採購屬性	決標日期	採購機關	設置容量(kWP)	金額(元)	元/kWP
T-102149 20.16kW 太陽能發電系統組	財務	102.06.06	清華大學	20.16	1,120,000	55,556
K015014 6kW 太陽發電系統	財務	102.05.20	崑山科技大學	6	715,000,	119,167

(資料來源：聚恆科技股份有限公司)

四、太陽能發電應用於各港口之概略分析

本研究內容以台灣四大港口：基隆港、台中港、高雄港、花蓮港作為研究案例，初步構想為將太陽能板架設於港區內可利用的建築物屋頂上，以達到最佳效率，而本研究現階段因人力、經費等問題尚在構思階段，對於現地勘查的進行有其難度，因此先使用 GIS 軟體估算港區屋頂面積，以高雄港為例：

先於 Google Earth 軟體中將高雄港區的衛星圖片擷下，並於 Photo shop 軟體中拼接成港區圖（如圖 1），再於 GIS 軟體中將高雄港區圖座標化，利

用軟體中之計算工具計算港區內之屋頂總面積（去除部分已裝設其他裝置的建築物屋頂），即可得裝設太陽能板之概估屋頂面積。

太陽能板發電量會因日照量而變動，其他如光電板體積塵、太陽電池效率、電力迴路等因素也會造成發電量下降，故在發電量估算上還需乘上一折減係數，根據文獻 [2] 中所述此折減係數一般取 0.7。

估算裝設面積後，利用中央技術研究院－太陽能光電資訊網中提供的相關資料，以及各港區的日照時間表（如表 3），作為裝設成本及發電量的預估。



圖 1 高雄港區衛星圖

表 3 2008~2014 年各港之日照時間 (單位：小時)

	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	平均
基隆港	1364.2	1473.4	1657.4	1173	1276.2	1345.7	1454.1	1392
台中港	1952.8	2094	1886.1	1842.1	1795.6	1889.4	1962.9	1917.6
高雄港	2282.5	2523.1	2378.4	2136.7	2255.4	2307.2	2494.4	2339.7
花蓮港	1630.9	1773.2	1677.2	1473.2	1433.9	1566.1	1679.8	1604.9

(資料來源：中央氣象局 2008~2014 年氣象監測報告)

表 4 各港口太陽能發電功率與成本估算

港口位置	港區總面積 (公頃)	屋頂覆蓋面積 (公頃)	年平均日照時間 (小時)	發電量 (萬度)	成本 (億元)	成本 (萬元) / 每十萬度
基隆港	572	19	1392	1718	11.4 億元	663.6 萬元
台中港	3793	76	1917.6	9233	45.6 億元	493.9 萬元
高雄港	17678	96	2339.7	11654	57.6 億元	494.3 萬元
花蓮港	308	8.1	1604.9	626	4.8 億元	766.8 萬元

五、四大港區設置太陽能條件

根據目標港口 (基隆港、台中港、高雄港及花蓮港) 之日照時間、港區面積等資料，估算太陽能發電系統應用之發電量及預期成本，以基隆港為例：

可裝設之屋頂面積為 19 萬平方公尺，每 10 平方公尺的太陽能電池功率為 1kWp，故基隆港的設置容量大約為 19,000 kWp，將值輸入經過概算，可得年發電量約為 1553 萬度，乘上折減係數 0.7 後，約為 1087 萬度；而裝設成本粗估約為 19,000 kWp*6 萬元 / kWp = 11.4 億元。

以同樣方式估算台中港、高雄港、花蓮港之發電功率與成本，其結果彙

整如表 4，可發現日照時間充足的區域，其裝設太陽能板的發電成本越低，代表其發展太陽能板的成效越佳，由本研究四個案例中發現台中港與高雄港較適合發展太陽能。

六、結論

本研究中探討太陽能及風能發電系統應用於港區，以結合現有之港灣結構並不影響港區工作的前提下估算其應用的成本及效率，檢討本研究成果分析，太陽能發電系統重度倚賴日照時間，因此在本研究中的案例比較中，高雄港與台中港兩港的雨季短，日照時間較長，比起花蓮港跟基隆港更適合發展太陽能發電系統做綠能發電。

參考文獻

1. 太陽光電資訊網 <http://solarpv.itri.org.tw/memb/main.aspx>。
2. 歐文生、何明錦、陳瑞、陳建富、繫時麒，台灣太陽能設計用標準日射量之研究，中華民國建築學會「建築學報」第 64 期，2008 年 6 月，103~118 頁。
3. 台灣港務股份有限公司 <http://www.twport.com.tw/>。

由臺北港波浪與颱風觀測資料評估氣候變遷影響量

張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授
何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長
陳志弘 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員
劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究
陳蔚璋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

摘要

為響應國際航海學會 (PIANC) 對氣候變遷造成海事工程之影響議題，本研究針對臺北港長期監測的波浪資料與颱風資料利用多種檢測法 (線性回歸、Seasonal Kendall、EMD) 進行分析，以評估颱風及波浪受氣候變遷影響的顯著性。分析結果顯示臺北港中度颱風侵襲次數有隨著時間增加的趨勢，每 50 年約會增加 1.1 個颱風的侵襲機會。另透過多種趨勢分析方法所獲得的結果顯示臺北港波高年增率為約為 0.0236 m/year。

一、前言

1.1 研究動機與目的

近年來由於全球氣候的改變而使大眾逐漸將研究焦點在放氣候變遷的議題上，交通部運輸研究所為響應國際航海學會 (The World Association

for Waterborne Transport Infrastructure, PIANC) 對氣候變遷造成海事工程之影響探討，亦展開許多相關研究。港灣或海岸工程規劃設計階段或管理營運階段目前已有許多合適的波浪推算模式來做出適當的決策。然而許多波浪推算模式無論是在建立階段或驗證階段皆仰賴往昔的波浪實測資料，因此須考量在氣候變遷的影響下這些模式與數值方法是否會受影響，本研究以臺北港的颱風與波浪實測資料分析其長期變遷趨勢，評估其所受氣候變遷的影響量。

1.2 文獻回顧

在 20 世紀中期以後地表或是海面之溫度隨著時間逐漸升高的現象愈漸明顯。早期所稱「全球暖化」已被「氣候變遷」取代，強調氣候的改變，且不僅止於溫度的變化，其影響所造成海象與環境變化也是需要評估的重點。

在臺灣氣候變遷相關研究中葉

(2012) 發現全球溫室效應增強，氣候變遷現象影響風能潛勢，臺灣西部離岸未來整體風力可能因為氣候變遷影響東北季風減弱。邱 (2012) 以熱帶氣旋動能指數 (Revised Accumulated Cyclone Energy, RACE) 分析西北太平洋颱風活動及其影響因素，並改良 GPI(Genesis Potential Index) 分析模式資料，以解析颱風活動與氣候變遷的關連性。結果顯示臺灣平均每年約增加 0.1 個颱風。近年來氣候變遷所造成的極端氣候現象已是必須面對的議題，聯合國提出了減緩以及調適作為回應之方案，歐盟的海岸帶調適管理中整合性海岸帶管理策略引導各國合作，提供了多種技術、經驗以及經費的補助，並提醒各沿海成員國海岸帶管理與國土安全的直接連結，使各成員國願意投入各個不同層級的海岸帶管理策略行動之中。

在資料趨勢分析技術的往昔研究中，往昔已有許多研究採用最小二乘法求得回歸係數這種方法進行趨勢的分析 (Woolf et al., 2003)，然而 Sen(1968) 即提出這種方法容易導致誤判且其結果的可靠度受限於常態分布的母體樣本。Hirsch et al.(1982) 分析河川水質資料，顯示大部分水質項目成偏態分佈。Hirsch et al.(1984) 指出，當資料呈非常態分佈或有缺漏資料情況，適合應用無母數檢定法，無母數法較

具有顯著之效率且呈現之結果也較不受離群值影響。

Mann-Kendal 趨勢檢測為無母數方法，為 Mann(1945) 以及之後的 Kendall(1975) 所提出，能針對資料進行趨勢偵測。此法能處理缺漏值。Hirsch 與 Slack(1984) 應用此方法分析季節性資料的變遷趨勢，之後為國外研究學者廣為採用於水質趨勢分析之無母數方法。Mann Kendall 趨勢偵測被廣泛的應用在相關的環境科學研究中，例如雨量 (Yue and Hashino, 2003)、水質 (郭與李, 2004; Raika et al., 2003; Walker, 1991; Zipper et al., 2002)、氣溫 (吳志剛, 2000)、海水面抬升與大氣變化 (Audiffren, 2000) 等長期趨勢分析。Hirsch 等人 (1982) 針對 Mann-Kendall 趨勢檢定法提出修改，提出能應用於有週期特性樣本資料的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法。

二、侵台颱風長期變化趨勢

日本氣象廳 RSMC-Tokyo Center 有針對往昔熱帶氣旋提供較完整的中心資訊，故本研究依據日本氣象廳所發布 1951 年至 2013 年西太平洋熱帶氣旋的路徑及氣壓資料進行整理，並建立颱風資料庫以評估各港長期受颱風侵襲的紀錄。

颱風中心與目標點的距離為颱風侵襲與否的主要判斷因子，本研究首

先以臺北港為目標點，並以不同的距離門檻值篩選颱風，若颱風中心接近臺北港的距離小於門檻值，則將其標記為侵台颱風，並將影響臺北港這段期間內的最低中心氣壓依中央氣象局所劃分的颱風規模做分級，以評估該颱風所屬級別。中央氣象局所定義颱風級別可分為四類：1. 熱帶低壓；2. 輕度颱風；3. 中度颱風；4. 強烈颱風。將各場颱風依據距離門檻值與颱風規模進行篩選，可計算出每年侵襲臺北港的颱風次數，再依一階線性回歸找出每年次數的長期趨勢如下表：

表 1 臺北港 1951 年至 2013 年颱風侵襲次數趨勢

	門檻值 300km	門檻值 500km	門檻值 1000km
所有熱帶低壓	0.0169	0.0061	0.0159
強烈颱風	0.0006	-0.0016	-0.0020
輕度颱風	0.0008	-0.0031	-0.0054
中度颱風	0.0155	0.0213	0.0281

表 1 顯示三種距離門檻值對應各種不同颱風規模的資料集所統計出 1951 年至 2013 年歷年侵襲臺北港次數的趨勢分析結果，整體而言除中度颱風以外，強烈颱風與輕度颱風的變化趨勢相對較小。較具有明顯趨勢變化的中度颱風以 300、500 與 1000km 為門檻值的趨勢分析結果可發現，中度颱風侵襲臺北港次數有明顯的增加，

每年增加率平均約為 0.022 次 / 年，以現有颱風紀錄而言每 50 年約會增加 1.1 個颱風的侵襲機會，圖 1 為中度颱風侵襲臺北港的歷年紀錄與一階線性回歸後的趨勢線，該線斜率為 0.0213(門檻值設為 500km)。

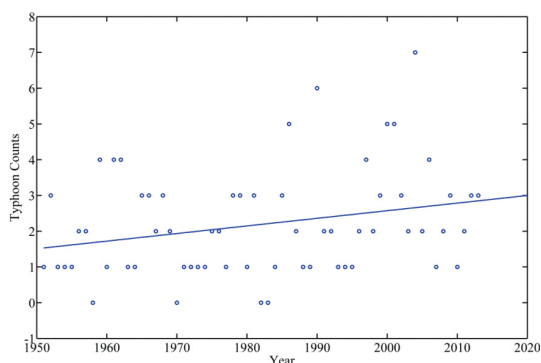


圖 1 中度颱風侵襲臺北港次數的趨勢分析 (500km 門檻值)

三、波浪長期變遷趨勢

3.1 趨勢分析

波浪資料採用交通部運輸研究所的波浪觀測資料來進行分析。不同於颱風一年平均出現 3 至 4 個的獨立事件，波浪現象為一連續的時間序列。若要評估其長期變化趨勢，可用數值方法來進行評估。趨勢偵測法中最簡單的方式即是採用一階線性回歸方式進行資料回歸，如式 (1) 與式 (2)：

$$y(t) = a_1 t + b_1 \quad (1)$$

$$y(t) = a_2 t + b_2 \sin(2\pi / 12t + c_2) + d_2 \quad (2)$$

式 (2) 中有共有四個係數 a_2 、 b_2 、 c_2 、 d_2 ，亦可經由最小二乘法進行推求。雖然這種回歸型式有機會可分離出季節性影響，但與所有回歸方式相同，此法仍會因為母體樣本內的雜訊而產生偽造的趨勢結果。Mann-Kendall 趨勢檢測法是一種無母數方法，能針對時間序列資料做相對趨勢的檢測。此法能處理母體樣本中有缺漏的狀況。在隨機資料不存在趨勢的假設狀況下，樣本 $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ 為 n 個獨立且同樣為隨機分布的變數。可以定義一測試統計量 S

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(y_j - y_k) \quad (3)$$

其中

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

在樣本無趨勢的假設下，當 $n \rightarrow \infty$ 趨近於無窮大時 S 的分布應為對稱的常態分布，且其平均值應為 0，變異量 V_S^2 應為

$$V_S^2 = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (5)$$

可導出雙尾檢驗

$$Z = [S - \text{sgn}(S)]/V_S \quad (6)$$

若以 $\alpha/2$ 為顯著水準，若 $|Z| < Z_{\alpha/2}$ 成立則顯示此樣本符合原假設狀況（無趨勢），若不成立則代表樣本帶有顯著

趨勢，且 Z 值為正代表有增加趨勢，反之則具有降低的趨勢。

Hirsch 等人 (1982) 針對 Mann-Kendall 趨勢檢定法提出修改，提出 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，將 m 個季節的個別檢定結果合併，並以式 (7) 計算全部統計量 S'

$$S' = \sum_{j=1}^m S_i \quad (7)$$

其中 S' 為測試統計量，而 S_i 為 Mann-Kendall 趨勢檢定法在 i 季的統計量 ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)。整體統計量應為對稱的常態分布，且其平均值應為 0，變異量 $V_{S'}^2$ 應為

$$V_{S'}^2 = \sum_{i=1}^m V_{S_i}^2 + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{k=i+1}^m \text{cov}(S_i, S_k) \quad (8)$$

其中 S_i 、 S_k 分別為 Mann-Kendall 趨勢檢定在第 i 、 k 季的統計量， $\text{cov}(S_i, S_k)$ 為 S_i 、 S_k 的共變異數 (covariance)，若為獨立變量則可簡化為

$$V_{S'}^2 = \sum_{i=1}^m V_{S_i}^2 \quad (9)$$

而 Seasonal Kendall 趨勢檢定法的常態檢定變量 Z' 為近似標準常態分布並定義如

$$Z = \begin{cases} \frac{S'-1}{V_{S'}^2} & \text{if } S' > 0 \\ 0 & \text{if } S' = 0 \\ \frac{S'+1}{V_{S'}^2} & \text{if } S' < 0 \end{cases} \quad (10)$$

其中 S' 為正值表示為遞增趨勢，負值為遞減趨勢。

除了上述線性回歸與無母數分析外，另以經驗模態分解法對長期波高資料來進行分析。我國黃鵬院士所提出之經驗模態分解法 (Empirical Mode Decomposition method, EMD) 為希伯特 - 黃轉換 (Hilbert-Huang Transform, HHT) 的程序之一，被認定對於獲得非平穩 (non-stationary) 以及非線性 (nonlinear) 訊號的趨勢擁有良好效果。

EMD 法是將訊號分解成多個本質模態函數 (Intrinsic Mode Function, IMF) 及一個均值趨勢 (mean trend)，每個 IMF 皆需滿足下列兩個條件：1. 整筆資料中，局部極大值 (local maxima) 與局部極小值 (local minima) 的數目之和與跨零點 (zero-crossing) 的數目要相等或是最多相差一個。2. 在任一

時間點上，由局部極大值所定義的上包絡線 (upper envelope) 與局部極小值所定義的下包絡線 (lower envelope)，所得到之均值為零或幾乎為零。此外 Rilling 等人 (2003) 提出篩選程序中新的停止準則 (stopping criterion) 以避免篩選程序的篩選次數過多而破壞本質模態函數的特性。本研究採用 Rilling 等人 (2003) 所提出的新停止準則來實作經驗模態分解，針對不同取樣方式的波浪記錄資料進行模態分解，並選用各模態外之殘差來進行趨勢分析。

3.2 分析結果

本研究蒐集臺北港波浪資料自 1996 年至 2013 年共 18 年，將逐時資料進行一階線性回歸可獲得逐時資料的趨勢線，如圖 2 所示。圖中趨勢線之斜率為 0.000063，換算為年增率則

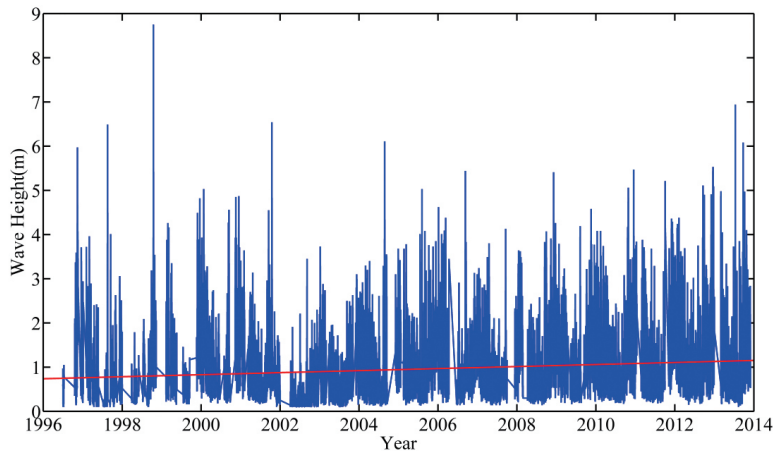


圖 2 臺北港逐時波浪資料與其趨勢線

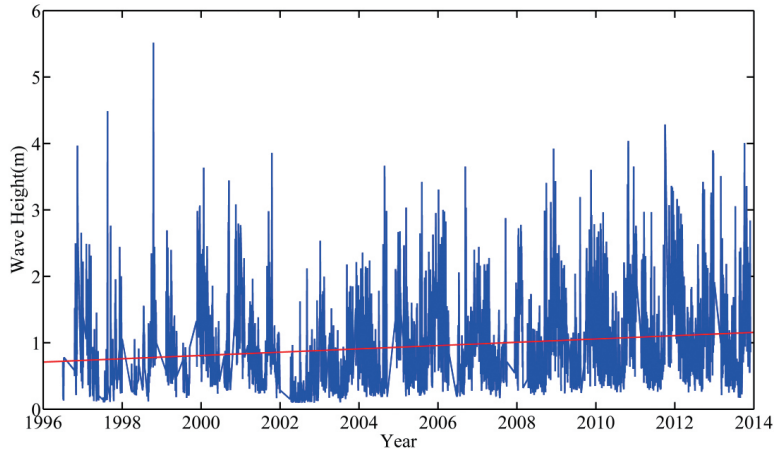


圖 3 臺北港日平均波浪資料及其趨勢線

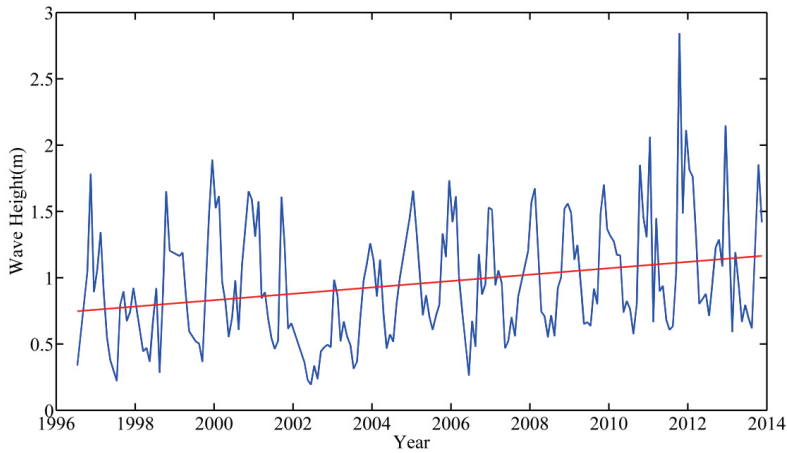


圖 4 臺北港月平均波浪資料及其趨勢線

為 0.0230m/year ，顯示臺北港逐時波浪資料的長期趨勢呈現些遞增情況。將逐時資料進行日平均分析後進行分析的結果如圖 3，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 0.0248m/year 。以月平均波高來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 4，將圖中趨勢線之斜率換算為年增率為 0.0240m/year 。此外以年平均波高

來進行長期趨勢分析則可繪製如圖 5，圖中趨勢線年增率為 0.0166m/year 。

為能比較不同取樣方式對長期波高趨勢的影響，另採用波高的日平均資料、月平均資料及年平均資料來進行分析。以 EMD 分解後的趨勢分量進行一階線性回歸可獲得資料的長期變遷趨勢，在逐時資料分析中其趨勢分

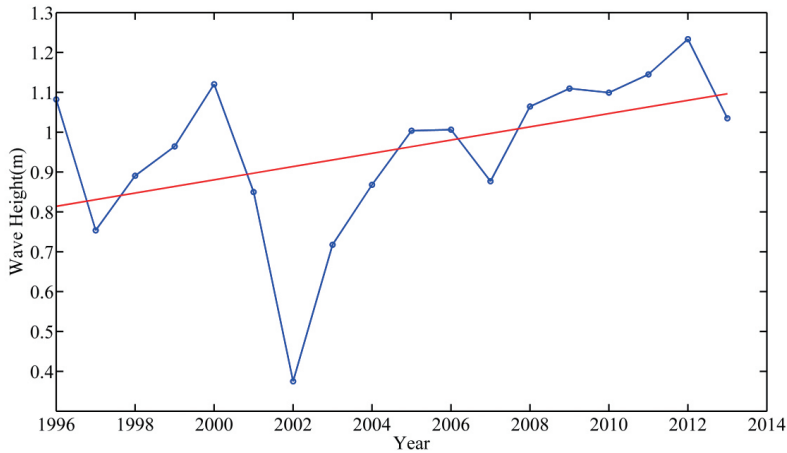


圖 5 臺北港年平均波浪資料及其趨勢線

量的年增率為 0.0262m/year ，日平均資料為 0.0132m/year ，月平均資料的年增率為 0.0286m/year ，年平均資料的年增率為 0.0043m/year 。其中可發現月平均波浪資料的趨勢分量有明顯分為為兩段不同特性，若以 2005 年為界可發現 1996 至 2005 年的趨勢略為遞減，其年增率為 -0.011m/year 。而 2005 年至 2013 年的趨勢則為遞增，其年增率為 0.0586m/year 。

另外除了以上述一階線性回歸方式來估算的年增率，本研究並採用 Mann-Kendall 趨勢檢測法來進行檢定，其結果顯示在顯著水準 0.05 下，臺北港的波浪資料在各種取樣方式包括逐時、日平均、月平均與年平均皆顯示原假設狀況不成立，即皆歸納為有趨勢的資料。為進一步考量季節性變化影響下的波浪長期變化趨勢，本

研究採用考慮季節性變化的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法，將每年 3~5 月、6~8 月、9~11 月及 12~2 月分為四個季節指標，在顯著水準 0.05 的情況下，臺北港月平均波浪資料不符合原假設，是為一含有趨勢的資料集，其年增率經計算為 0.0236m/year 。

經上述多種趨勢檢定方法與不同波高取樣方式所分析的結果如表 2 所示，其結果顯示以逐時取樣、日平均、月平均或年平均等取樣方式所計算出來的年增率皆為正值，雖然各種取樣方式不同造成年增率有所差異，但整體而言臺北港自 1996 年至 2013 年間的波浪趨勢是屬於遞增的。而各種方法與取樣方式的比較可以發現，線性回歸在不同取樣方式下其回歸結果相近，僅年平均有較大的差異，而 EMD 法所得到的趨勢分析結果在不同取樣

方式下有較大的差異。本研究所分析的結果臺北港波高年增率為 0.0116 至 0.0286 m/year。但若以趨勢檢定法的特性而言，無母數分析的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法可適用於資料缺漏與週期性變化的情形，其分析結果臺北港波高年增率為 0.0236m/year 應較具代表性。

表 2 臺北港長期波浪趨勢分析結果

分析與取樣方式	年增率 (m/year)
逐時資料線性趨勢	0.0230
日平均線性趨勢	0.0248
月平均線性趨勢	0.0240
年平均線性趨勢	0.0116
Seasonal Kendall 月平均趨勢檢定	0.0236
EMD 趨勢分析 (逐時)	0.0262
EMD 趨勢分析 (日平均)	0.0132
EMD 趨勢分析 (月平均)	0.0286
EMD 趨勢分析 (年平均)	0.0043

四、結論

對近 60 年內侵襲臺北港颱風做相關統計與趨勢分析後發現只有中度颱風侵襲次數有隨著時間增加，輕度颱風與強烈颱風則無明顯趨勢。中度颱風侵襲臺北港的年增加率平均約為 0.022 次/年，以現有颱風紀錄而言每 50 年約會增加 1.1 個颱風的侵襲機會。透過多種趨勢分析方法所獲得的結果顯示臺北港波高年增率為 0.0116

至 0.0286 m/year。但若以趨勢檢定法的特性而言，無母數分析的 Seasonal Kendall 趨勢檢定法可適用於資料缺漏與週期性變化的情形，其分析結果臺北港波高年增率為 0.0236 m/year 較具代表性，顯示臺北港自 1996 年至 2013 年間的波浪趨勢是屬於遞增的。

參考文獻

1. 吳志剛，「氣候變遷對高屏溪流域水資源衝擊之探討」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文 (2000)。
2. 郭鎮維、李建堂，「翡翠水庫上游集水區水質趨勢分析」，地理學報，第三十八期，111-128(2004)。
3. 葉弘德，「氣候變遷對台灣西部離岸風能潛勢與發電量之影響評估」，台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文 (2012)。
4. 邱品竣，「西北太平洋地區颱風活動研究：與氣候變遷之關係」，中國文化大學地學研究所博士論文 (2012)。
5. Audiffren, N.(2000)"Mann-Kendall data tests for Ozone 1995-1999 data series at the PUY de Dome and in the AUVERGNE Region(France)," Tropospheric Ozone Research Annual Report 2000, 43-93.
6. Hirsch, R. M., Slack, J. R. and Smith,

- R. A.(1982)"Techniques of trend analysis for monthly water quality data," *Water Resources Research*, 18, 1, 107-121.
7. Hirsch, R. M. and Slack, J. R.(1984)"A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence," *Water Resources Research*, 20, 6, 727-732.
8. Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M.L., Shih, H.H., Zheng, Q., Yen, N.C., Tung, C.C. and Liu, H.H.(1998)"The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis," *Proc. Roy. Soc. London A*, 454, 903-995.
9. Kendall, M. G.(1975)"Rank Correlation Methods," London: Charles Griffin.
10. Mann, H. B.,(1945)"Non-parametric tests against trend," *Econometrica*, 13, 245-259.
11. Raika, A., Pietilainen, O. P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkanen, H., Niemi, J., Raateland, A. and Vuorenmaa, J.(2003)"Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finish rivers and lakes in 1975-2000," *The Science of the Total Environment*, 310, 47-59.
12. Rilling, G., Flandrin, P. and Goncalves, P.(2003)"On empirical mode decomposition and its algorithm," *Proc. IEEE-EURASIP Workshop NonLinear Signal Image Process*.
13. Sen, P. K.(1968)"Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau," *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389.
14. Walker, W. W.(1991)"Water quality trends at inflows to Everglades National Park," *Water Resources Bulletin*, 27, 1, 59-72.
15. Woolf, D. K., Cotton, P. D. and Challenor, P. G.(2003)"Measurements of the offshore wave climate around the British Isles by satellite altimeter," *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 361, 27.
16. Yue, S. and Hashino, M.(2003)"Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan," *Journal of the American Water Resources Association*, 39, 3, 587-596.
17. Zipper, C. E., Holtzman, G. I., Darken, P. F., Gildea, J. J. and Stewart, R. E.(2002)"Virginia USA water quality, 1978 to 1995: regional interpretation," *Journal of the American Water Resources Association*, 38, 3, 789-802.

高雄港船舶污染減量措施對鄰近地區 空氣品質提昇之效益評估

吳義林 國立成功大學環境工程學系教授
楊榮元 國立成功大學環境工程學系研究助理
葉雨松 螢諮科技股份有限公司協理
許真瑜 螢諮科技股份有限公司副理

摘要

本文以 AERMOD 大氣擴散模式，模擬高雄港區域內遠洋船舶對空氣品質之實際影響，並評估遠洋船舶(商船)高壓岸電、切換低硫油對鄰近港區的高雄市區可以減少多少濃度的空氣污染。模擬貨櫃中心全面實施岸電結果，濃度年平均值並未明顯降低， NO_x 及 SO_2 年均值減量均低於 1ppb，僅 NO_x 小時值減量較明顯，約 15~20ppb；旅運中心郵輪使用岸電前後的污染年均值減量極微，但使用岸電後對 NO_x 及 SO_2 的小時值及 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均值減量明顯，以 NO_x 小時值可減量 112ppb 最顯著。在假設現有船舶皆使用重油的情況下，評估全面切換低硫油後，臨港地區 SO_2 年均值約可降低 4ppb。因此，應可朝推動切油政策努力。

關鍵詞：高雄港，空氣污染，排放清冊，
AERMOD 模式模擬、高壓岸電、切油

一、前言

商港區空氣污染物排放對區域空氣品質的影響，近年來引起重視。尤其是大型商船，除了是港區主要的排放源，由於使用大型柴油引擎，並且燃燒硫含量較高的重油，排放的氮氧化物、氧化物及懸浮微粒，成為環保單位亟欲降低的污染。近年國際間主要商港推動的大型商船空氣污染減量措施，主要有：(1) 商船靠岸時使用高壓岸電，停止船舶輔助引擎(發電機)運轉(2) 鼓勵或強制將燃料由重油(平均硫含量約 2.7%)切換為柴油(硫含量 <0.5%)(3) 港區鄰近海域要求商船航行減速。其中船舶減速形成的污染減量僅發生在港外，對陸地影響較小；而岸電及切油是在港區內實施，對鄰近陸地空氣品質改善較為明顯。

前述措施在國內雖有推動，但都屬於自願配合或試驗性質，對船公司並未有實質補貼獎勵或處分規定。其中高壓岸電由於投資金額高，目前僅

有高雄港部份碼頭完成岸電建置，包括第四貨櫃中心 115-116 碼頭有 4 座岸電、第六貨櫃中心 108-111 碼頭有 6 座岸電，以及中鋼專用的 96 碼頭有 1 座。岸電設施並非商船上的標準配備，國際間僅少數港口提供商船使用岸電，高雄港已是亞洲岸電碼頭最多的國際商港。但目前高雄港的岸電碼頭，僅中鋼碼頭提供特定貨輪持續使用岸電，其餘尚未全面商轉。

高雄港鄰近有三座環保署空氣品質測站(表 1)可監測大氣中的污染物濃度。環保署評估過前述三項措施可減少的空氣污染排放量 [1]。然而空氣污染濃度的減量幅度不見得與排放量削減一致，因為污染物從排放源排到大氣後，會受到排放高度、氣流、風速、風向、溫度、濕度、地面輻射、地形等各式環境條件的影響，造成污染物擴散、稀釋、移動或沉降而改變在空氣中的實際濃度。因此本文擬以大氣擴散模式，針對港區內主要的減量措施—岸電及切換低硫油進行情境模擬，評估在這些措施施行的情境下，對高雄港鄰近地區空氣品質的改善成效。

表 1 高雄港鄰近環保署測站 2013 年平均值

測站	NO _x (ppb)	SO ₂ (ppb)	PM10 (μg/m ³)	PM2.5 (μg/m ³)
前鎮	27.5	6.39	69.5	42.1
小港	31.6	8.48	72.3	42.1
復興	31.2	6.32	71.4	35.9

二、研究方法

高雄港周遭環繞多個空氣污染來源，空氣品質監測難以釐清各污染源的影響，亦無法預測污染改善措施對降低污染濃度的成效，因此需以模式進行模擬預測。本研究使用的是 AERMOD 空氣品質擴散模式，模擬已知的污染排放量，在受地形、氣象、氣候影響的情況下，對鄰近地區污染濃度造成的增量。由於假設前提為各污染物之間沒有化學反應，因此適合於小區域範圍內的模擬(假設小範圍內污染物擴散時間不足以產生大量反應產物)，故適用於高雄港及鄰近地區的模擬。

1. AERMOD 空氣品質擴散模式

AERMOD (AERmic MODeL) 模式涵蓋複雜地形的煙流運動、地表排放、建築物的煙流下洗、都會區的擴散問題等。2005 年 11 月美國 邦法 取代 ISC3 成為美國環保署推薦的法規模式，我國環保署隨後引進臺灣，並委託學者建立台灣地區的相關參數。

使用 AERMOD 模擬污染物排放情形，需要當地之氣象資料，包含地面及探空資料。本研究地面資料採用 2014 年氣象局高雄測站，而探空資料因高雄港地區採樣資料不足，因此在模擬全年度資料時，仍以其它資料為準。目前能找到最適合高雄的探空資

料為板橋測站，同時將 2015 年 1 月及 4 月高雄港兩次採樣期間（共 6 天）之風速、風向、溫度、溼度等實測資料，替換 2014 年同時段之氣象資料。並依據張艮輝等人 (2011)[2] 所製作之土地分類之相關地表參數，將模擬範圍區分為城市及水體兩個區域，其中高雄市區域採用反照率 0.16、包溫比 0.8 及地表粗糙度 1.2；高雄港外水體區域則採用反照率 0.10、包溫比 0.2 及地表粗糙度 0.0001，藉以製作模式需要之氣象資料。

地形資料則是運用交通部運輸研究所 102 年度 UAV 攝影測量所得之地表高程資料，初始網格間距為 5m*5m，且僅包含高雄港區域，故利用內差及外差的方式修正為 100m*100m 網格，並擴展到模式模擬的高雄市區範圍。

AERMOD 模式係模擬增量，預定模擬高雄港範圍內之污染增量造成的空氣品質影響。模擬的影響範圍，約為 12 公里 × 13 公里，涵蓋整個主要高雄港區，以及高雄市主要市區之範圍。模擬時採用的排放量分佈範圍如下，此範圍之外則未計入排放量：

陸域：限定於高雄港行政管轄範圍。

海域：以 22°37'01"N, 120°15'25"E 為圓心，20 哩範圍之海域。

高雄港內排放源的位置，依據高雄港務局 (<http://kh.twport.com.tw/>) 所提供之港區總圖，可以得知高雄港內各碼頭的相關位置。將 2014 年度各碼頭停放的船隻數，依船隻數量做煙囪高度之權重平均，獲得該碼頭之船隻煙囪排放高度，而排放速度、溫度及煙囪內徑等則依照 Rich Mason(2008)[3] 等人之文獻值代入，並將各碼頭對應該年度之排放量，最後將年度模擬結果，依 NO_x、SO₂、PM10 及 PM2.5，繪製等濃度圖。

高雄港外 20 哩排放資料採用 2013 年 AIS 資料，網格間距使用 1000 m 間隔，統計該網格內之船隻資料筆數，計算網格內資料點佔港外所有資料筆數之百分比，刪除比例過低的網格，以節省模式運算時間。先選取港外佔比大於 0.0002 的網格點（資料筆數佔港外總資料筆數之 90.3%），再拿掉不屬高雄港之資料（行經高雄港 20 哩範圍但未入港之船舶），則高雄港外最後使用之資料筆數佔全部原始資料之 82.8%。模擬時，將港外區域劃分為 <3 海哩、3~5 海哩、5~10 海哩及 >10 海哩等 4 個區域。煙囪高度、排放速度、溫度及煙囪內徑等參數設定採用 Rich Mason(2008)[3] 等人之文獻值代入（如表 2）。

表 2 船舶排放模式模擬參數設定值

參數	設定值
煙囪直徑 (Stack Diameter)	0.8m (2.625 feet)
煙流速度 (Stack Velocity)	25 m/s (82.05 feet/sec)
排煙溫度 (Stack Gas Exit Temperature)	282oC (539.6 oF)
資料來源：Rich Mason, et al.,(2008)[3]	

2. 排放量及削減量推估

AERMOD 運算需輸入污染排放量，若代入負排放量則模擬結果為減量。因此可以計算出各種不同情境下的排放量，計算出與現有排放量的差值，代入模式模擬，即可得出該情境下空氣中的污染濃度減量情形。推估方式依據「港區溫室氣體及空氣污染排放量調查作業手冊」2.0 版(2015)[4]。

遠洋船舶上的空氣污染來源包括主引擎、輔助引擎及鍋爐，每艘船都需分別推估排放量。在大海上行駛時，僅開啟主引擎，除提供船舶前進動力外，可同時供電與供熱。進港停泊後，主引擎關閉，因此需開啟輔助引擎及鍋爐，作為船上的電源及熱源，一般在進港前就會先開啟。因此推估排放量時，分為三個部份：港外時及調度（港內行駛）期間的主引擎、輔助引擎、調度及停泊期間的鍋爐排放量。

排放量估算的基本公式為：

$$E = \text{Energy} \times \text{EF} \times \text{FCF} \quad (1)$$

其中，E：指引擎的排放量（此處單位為公克，統計時轉換為公噸）。

Energy：指所需要的能量，以 kW · h 表示。

EF：排放係數，以 g/kW · h 表示。

FCF：燃料校正係數。

其中能量需求項與各港口的實際運作有相當大的關聯性，它可以由以下公式計算：

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act} \quad (2)$$

其中，MCR：指最大引擎動力，以 kW 表示。

LF：指負載係數，無單位。

Act：指活動量，以小時數表示。

計算港外時依據 AIS 的時間紀錄，港內則依據高雄港提供的船舶動態資料中之時間計算。

1. 主引擎

船舶負載資料與船舶行進速度有密切關聯性，一般在 20%~80% 的負載時，可估計為實際船速與最大船速比值的 3 次方值 (Propeller Law)：

$$\text{LF} = (\text{AS}/\text{MS})^3 \quad (3)$$

其中：AS 為實際船速，MS 為最大船速，單位均為節。實際船速可由臺灣海域船舶動態資訊系統的 AIS 資料獲得，最大船速則查詢勞氏船籍資料，或以同類型船舶平均值給定。活動強度指船舶航行的小時數，亦由 AIS 資料獲得。主引擎排放係數參考

洛杉磯港使用之係數 [5]。當負載小於 20% 時 (主要為調度期間)，上述方程式會有誤差，需另乘上低負載調整因子，修正方式詳見文獻 [4-5]。

2. 輔助引擎

輔助引擎與主引擎排放量推估方法大致相同，僅操作時數與相關係數取得方式有異，排放係數亦參考文獻 [4-5]。船舶註冊資料中僅少數登記輔助引擎資料，故需由文獻中各類船型的輔助引擎馬力與年份的平均值，作為無資料船舶的預設值。而輔助引擎的活動量是以船舶的航行、調度加上停泊的時間作為其活動量係數。負載因子則需要由文獻中查得一般船舶柴油引擎的操作負荷。

3. 鍋爐

船舶註冊資料完全未登錄鍋爐資料，因此根據文獻中 [4-5] 的排放係數及能量消耗預設值來推估其排放量。

三、結果與討論

研究設定的情境有三，包括貨櫃碼頭全面使用岸電、未來設置旅運中心後的郵輪碼頭使用岸電前後、以及在離港不同距離切換低硫油。分別計算出各情境下的空氣污染排放量減量，再以模式模擬後，繪成濃度減量的等量線圖與圖 1~ 圖 5，圖中 Δ 表示環保署測站位置，說明如下。

1. 貨櫃碼頭岸電

假設高雄港所有貨櫃碼頭皆裝設岸電設施，所有靠港貨櫃輪皆使用岸電的情況下，靠岸期間輔助引擎排放量皆降至 0，僅剩鍋爐的排放量，設定此狀態為貨櫃輪使用岸電之最大可能減量，並依據 2013 年船舶進出資料計算各污染物之減量 (表 3)，分析結果繪成圖 1 及圖 2。

圖 1 是年均值削減量，環保署所在測站範圍的減量， NO_x 約在 0.5~1.0

表 3 貨櫃輪全面使用岸電之減量推估

單位：公噸 / 年

貨櫃中心	碼頭	NO_x	SO_2	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$
第 1 貨櫃中心	#42~#43	22.6	22.6	2.8	2.2
第 2 貨櫃中心	#63~#66	230.6	220.4	26.9	21.5
第 3 貨櫃中心	#68~#70	147.1	142.1	17.3	13.9
第 4 貨櫃中心	#115 ~ #122	223.1	207.8	25.3	20.3
第 5 貨櫃中心	#75 ~ #81	326.9	306.4	37.4	29.9
第 6 貨櫃中心	#108~#110	123.3	119.5	14.6	11.7
合計		1,073.6	1,018.7	124.2	99.4

ppb， SO_2 約在 0.3~0.6 ppb，而 $\text{PM}_{2.5}$ 以及 PM_{10} 減量濃度皆在 $0.1\sim0.2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，與測站的年均值(表 1)相較，佔比很小。

圖 2 顯示短時間內(日均值或小時值)之影響。於環保署所在測站範圍內， NO_x 的小時值最大濃度減量約在 15~20ppb， SO_2 約在 8~12 ppb；而 $\text{PM}_{2.5}$ 的 24 小時值減量濃度在 $0.6\sim0.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間， PM_{10} 在 $0.8\sim1.2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。顯示即使是短時間的影響， $\text{PM}_{2.5}$

及 PM_{10} 還是很小，僅 NO_x 及 SO_2 較顯著。

2. 郵輪碼頭(旅運中心)

郵輪部分，根據高雄港到港郵輪統計 2009 年~2014 年，加上 2015 年預報船舶 52 艘的預定時間，統計出每次平均停泊時間為 9.4 小時。以 POLA 建議 [5] 的郵輪靠泊時輔助引擎負載功率 5,104 kW，鍋爐負載功率 1,393kW 進行排放量推估，結果一併列於表 4

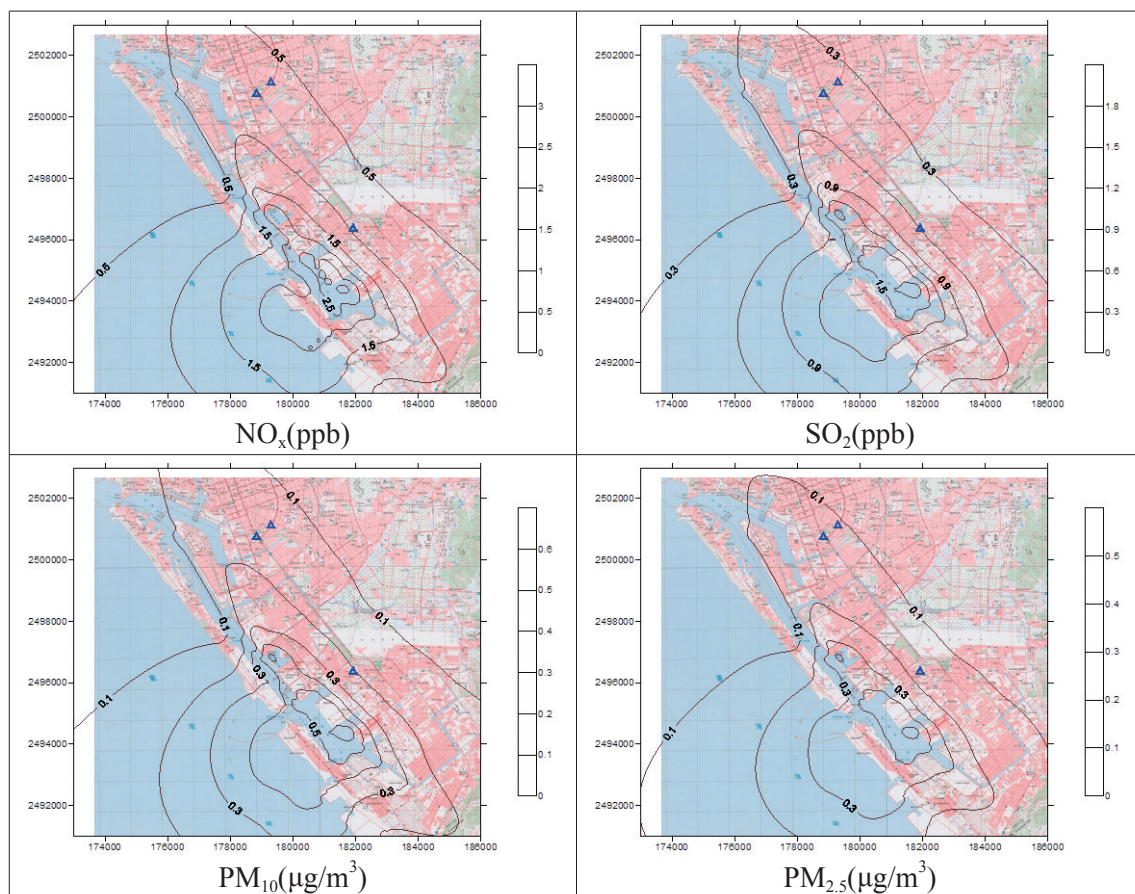


圖 1 高雄港貨櫃中心全面使用岸電後模擬結果 (年均濃度削減)

中。使用岸電後，輔助引擎可以全部關閉，因此表中郵輪的排放量相當於僅剩鍋爐的排放量。

郵輪所在地的旅運中心尚未建置，因此分別模擬使用岸電與未使用岸電情形下，污染增量的情形。若以

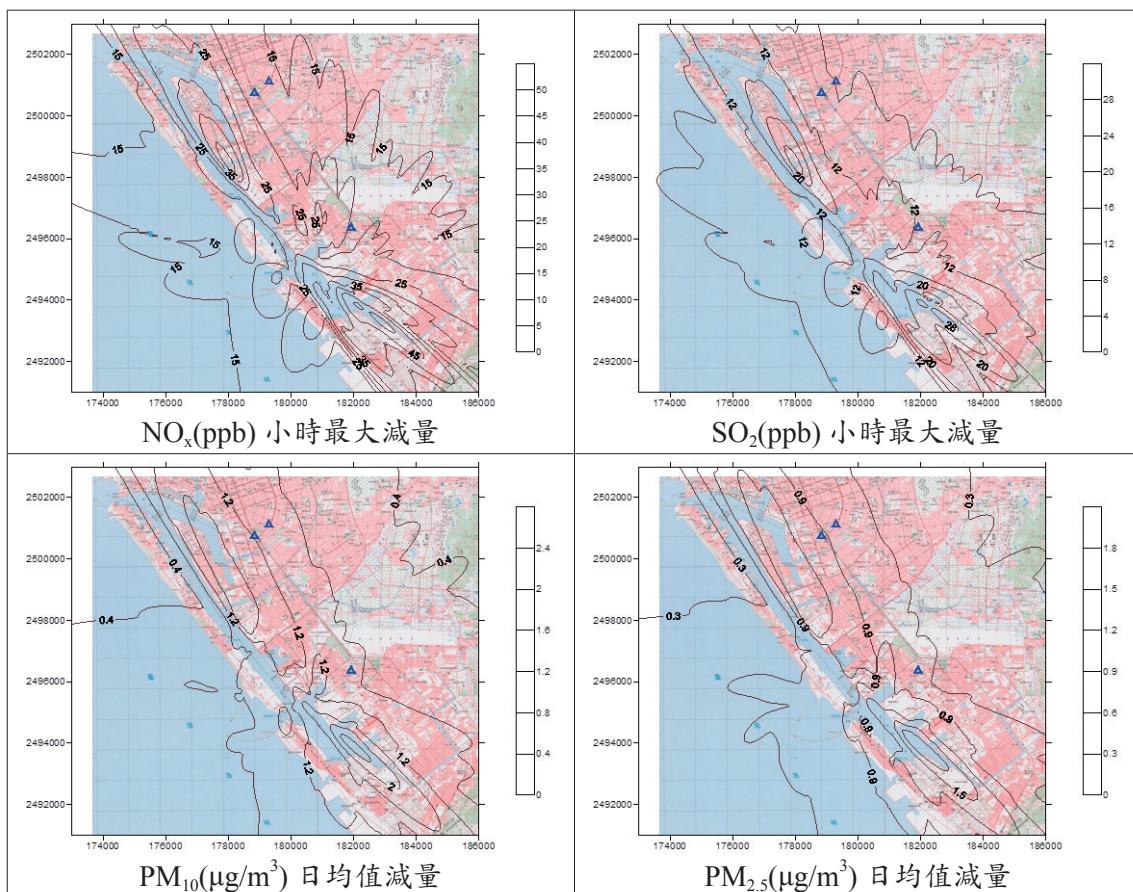


圖 2 高雄港貨櫃中心全面使用岸電後模擬結果 (日 / 小時)

表 4 郵輪岸電前後之污染排放量推估

設定情境	進港 郵輪數	停留 時數 (h)	NO _x (公噸 / 年)	SO ₂ (公噸 / 年)	PM ₁₀ (公噸 / 年)	PM _{2.5} (公噸 / 年)	位置
沒有使用 岸電之 排放量	50	470	32.56	40.31	4.12	3.30	22°17'33.3"N, 120°36'38.7"E
	100	940	65.12	80.62	8.24	6.60	
	150	1410	97.68	120.93	12.37	9.89	
全部使用 岸電之 排放量	50	470	1.37	10.80	0.52	0.42	
	100	940	2.75	21.61	1.05	0.84	
	150	1410	4.12	32.41	1.57	1.26	

年到港 50 艘次郵輪計，使用岸電後，高雄港區一年可以減少 31.19 公噸 NO_x ，29.51 公噸 SO_2 ，3.60 公噸 PM_{10}

或 2.88 公噸 $\text{PM}_{2.5}$ 。旅運中心 18~20 號碼頭預定設置 2 座郵輪碼頭，因此設定年到港艘次達 150 艘郵輪的情形，

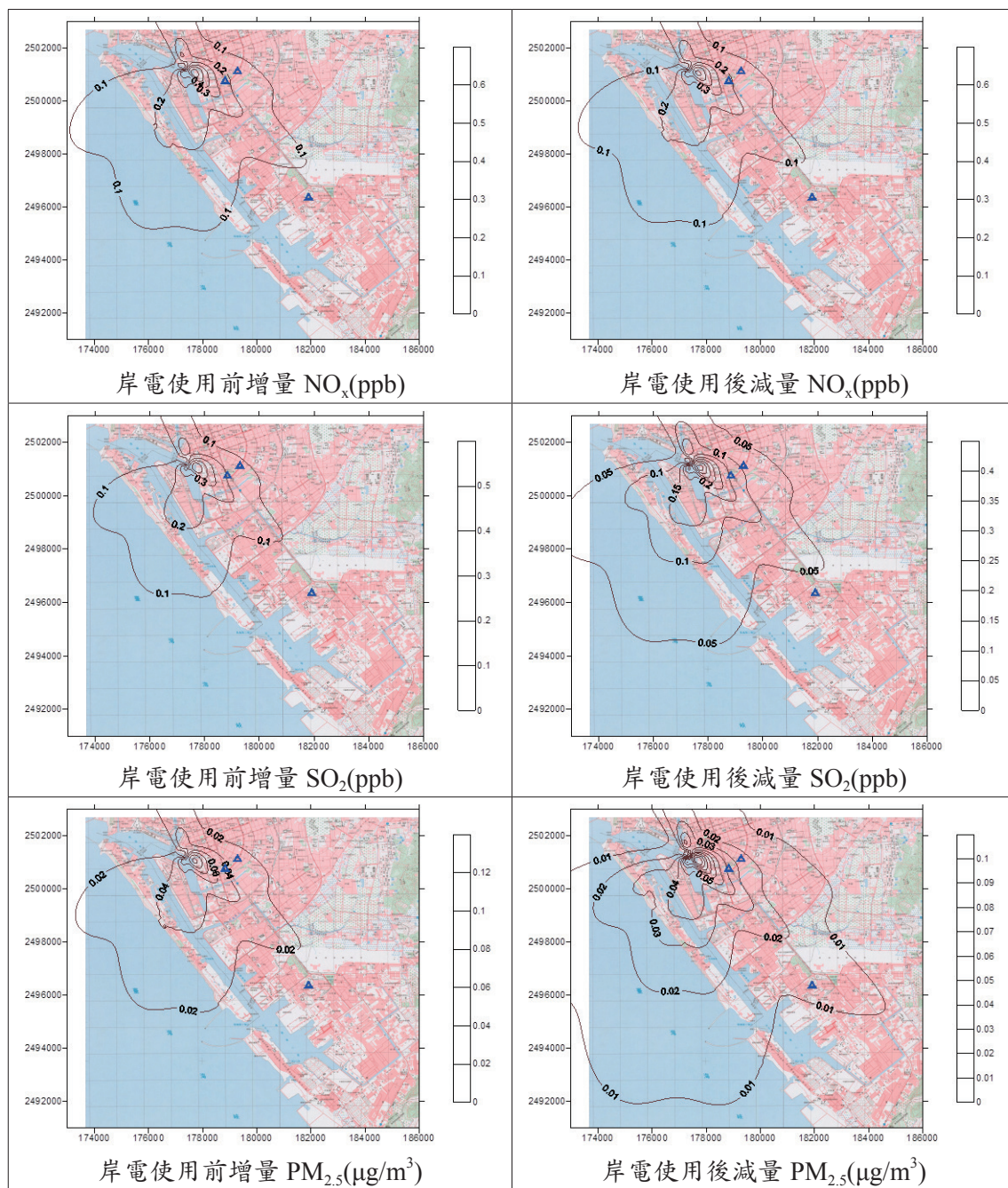


圖 3 旅運中心岸電使用前後年均濃度增量模擬情形 (150 艘 / 年)

並挑選排放量最大的 NO_x 、 SO_2 ，以方便比較。

模擬結果，旅運中心設置後在未

使用岸電的情況下， NO_x 及 SO_2 在碼頭以外地區的年平均增量都在 1ppb 以下， $\text{PM}_{2.5}$ 增量約在 $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下（圖

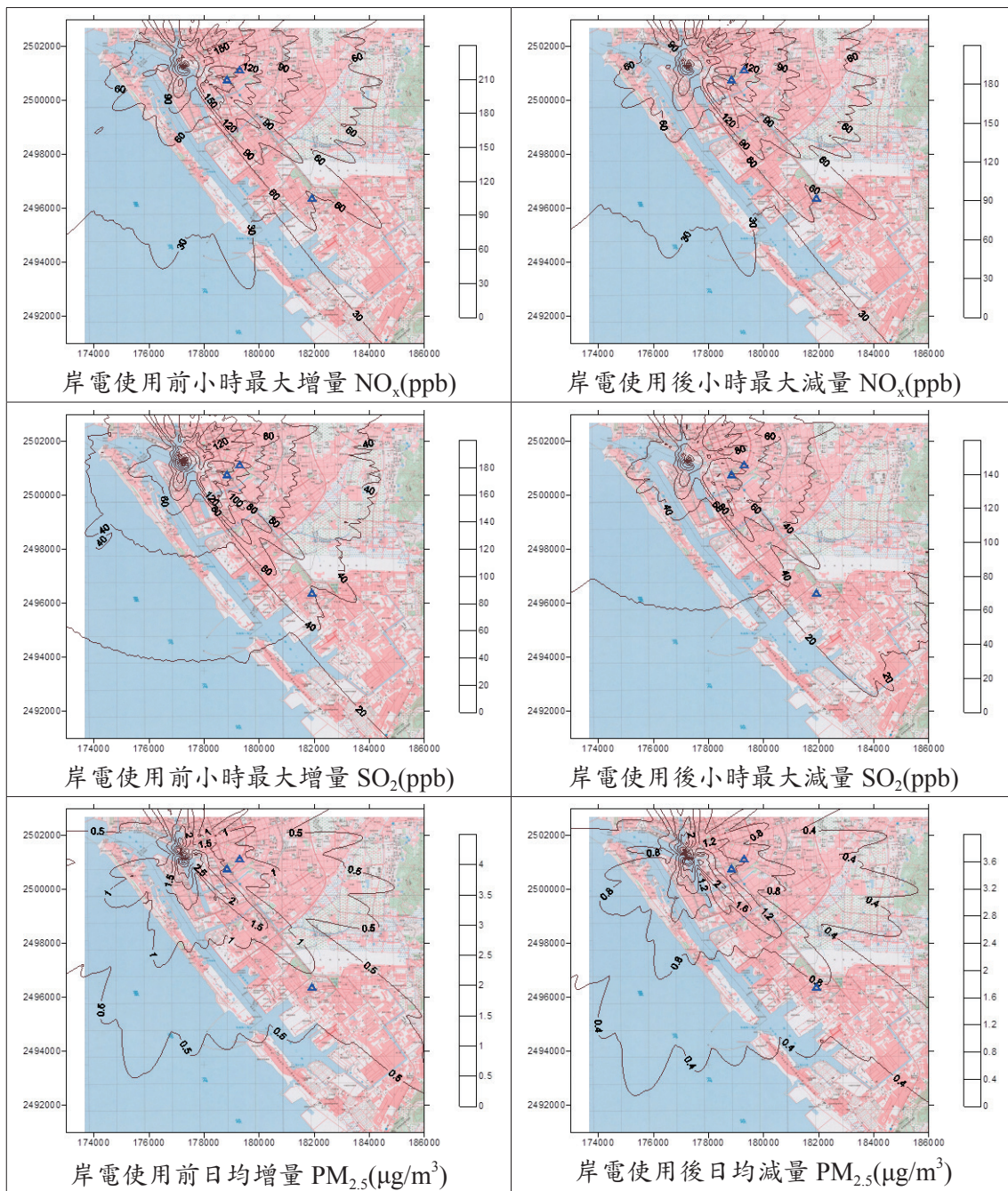


圖 4 旅運中心岸電使用前後短期濃度增量模擬情形 (150 艘 / 年)

3)，因此使用岸電後可以減少的量也在此水準以下。

若模擬日或小時等短時間的影響，則較為明顯(圖4)。在鄰近碼頭的市區部份(中華四路~成功一路範圍)， NO_x 小時最大增量可以高達150ppb， SO_2 可達120ppb， $\text{PM}_{2.5}$ 的日增量則可以達到 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上。使用岸電後，環保署測站範圍內， NO_x 小時最大減量約在60~150ppb， SO_2 約在20~80 ppb，而 $\text{PM}_{2.5}$ 的日均值減量濃度在 $0.8\sim 1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。 NO_x 降幅較大的原因，是使用岸電後，郵輪僅開啟鍋爐供熱，而鍋爐的 NO_x 排放量較低；但因未使用低硫油，所以 SO_2 排放仍高。

因此就本研究模式模擬結果，郵輪碼頭開通後，因為增加的排放量有限，因此對鄰近地區的年平均污染濃度未見明顯的影響，使用岸電也未有明顯減量效益；但在郵輪靠泊的期間，鄰近地區的小時(日)平均污染濃度則會明顯增加，使用岸電的效益較明顯。

3. 切換低硫油

切換低硫油的減量推估是將各污染102年的遠洋船舶年度排放量，再乘上燃油校正係數。原推估所使用的排放係數是假設使用重油，硫含量為2.7%；切油後使用柴油，硫含量降為0.5%，因此各污染物需再乘上修正係數，結果列於表5中。表中分別列出

以20海浬、10海浬、5海浬、3海浬為切油點的情境，再加上進港後才需切油的狀況，依據AIS的經緯度資料區分出各種不同階段的排放量。從表中可以看出，若在20海浬即切油，則每年 NO_x 可以降低598公噸， SO_2 可以降低10,726公噸， PM_{10} 可以降低1,130公噸， $\text{PM}_{2.5}$ 降低905公噸。若要求進港後才切油，則 NO_x 減量僅有250公噸，為20海浬內切油的41.8%；但是 SO_2 在港內切油的削減量即可達8,843公噸，比例已達20海浬即切油的82.4%。就管制角度而言，20海浬範圍內仍有可能是路過而為入港的船舶，不易管制；但入港後航港局可以隨時上船檢查，而且遠洋船舶排放最大的污染物 SO_2 已可降低絕大部分，限制入港後需切油為最單純的管制作法。

AERMOD 模擬結果，切油後，不論是在20海浬還是在3海浬切油，高雄港東岸陸地臨港部分 SO_2 都可以有4ppb以上的降幅(圖5)，相對於這個地區的測站 SO_2 年平均僅有約10ppb，此為相當大的降幅。船舶在20海浬或3海浬時切油，對港外污染濃度的影響差異較明顯，但是對陸上地區的影響大致相同，主要是因為原本的排放量超過80%集中在港內，加上緊鄰陸地，因此陸上受港內排放影響大，受港外影響小。

表 5 高雄港推動船舶切換低硫燃油減量推估

單位：公噸／年

切油情境	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
港內	250	8,843	557	446
<3 海浬	310	9,190	661	529
<5 海浬	409	9,709	834	667
<10 海浬	590	10,674	1,118	894
<20 海浬	598	10,726	1,130	905

目前石油輸出國組織為了保持市場佔有率以對抗美國的油頁岩，持續維持原油生產量；且伊朗禁運解禁，生產的原油亦將投入國際市場，現有原油存量持續增加。加上目前全球經濟趨緩，供應量明顯大於需求量，估計現有存量，仍要數年才能消化，因此低油價必將持續。此時切換低硫油進港，對航商而言，增加的成本較少（目前低硫油的價格約為先前高硫的重油之價格），應為推動的好時機。

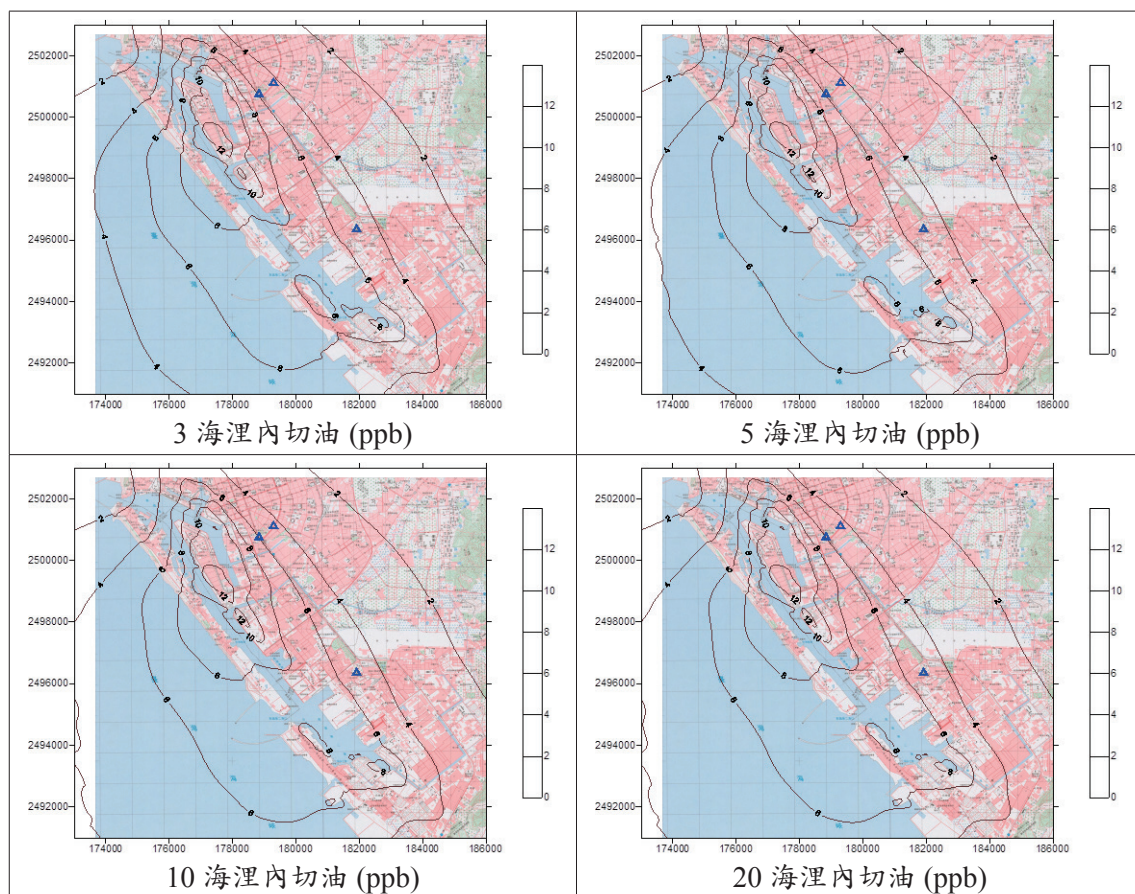


圖 5 切油後 SO₂ 濃度削減模擬情形 (年均值)

四、結論與建議

根據本研究模式模擬顯示，高雄港區大規模設置與推廣貨櫃輪使用岸電，對改善陸上民宅集中地區的空氣品質效益並不顯著。旅運中心設置郵輪碼頭後，對鄰近住宅密集地區 NO_x 及 SO_2 年平均增量皆小於 1ppb， $\text{PM}_{2.5}$ 小於 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，因此設置岸電亦沒有明顯改善效益。但 NO_x 及 SO_2 產生的最大小時值皆超過 120ppb，佔小時平均值標準的一半 (250ppb)，影響顯著；而使用岸電後對 NO_x 及 SO_2 小時值的減量非常明顯， $\text{PM}_{2.5}$ 的日均值增量則可以由 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降到 $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。

若所有遠洋船舶皆使用重油，則切換低硫油後，陸上鄰近高雄港的環保署測站 SO_2 年均值可再降低約 4ppb 的 (現年均值約 10ppb)。但因目前已有部份船舶進港時會切油，此部份切油效果應已反應在實際測值上，因此可再降低的空間實際低於 4ppb。

以船舶在 20 海浬開始切換低硫油估算，港內的 SO_2 削減量即佔了 82.4%。由於港外僅佔 17.6%，且離陸地較遠，因此設定從不同距離切油的情境模擬結果中，陸上 SO_2 濃度降低的幅度皆與進港後才切油沒有顯著差異。

由於岸電效益評估並不顯著，建議現階段可先暫停擴充貨櫃碼頭之岸

電設施，而在各碼頭翻修或新建時先預留未來鋪設岸電管路的空間，視國際間發展趨勢，再於適當時機擴大陸上的岸電建設。現有岸電設施則以提高使用率，建立岸電使用經驗為首要。

郵輪停靠時會造成瞬間的空氣污染高峰值，岸電能有效減少短時間內的污染濃度增量，且鄰近市區，建議仍應推動設置郵輪碼頭岸電。

依據國外經驗，成功的岸電推動有幾種方式：法規強制、政府補貼、定點定時運輸船舶使用岸電。定點定時運輸船舶數量有限，在不以法規強制的情況下，建議利用補貼，使岸電費率接近燃油發電成本。

然而因目前油價處於近年來新低點，使用岸電與燃油的價差擴大，不利推動岸電，但卻是推動切油的好時機。與二年前相較，目前柴油的油價約相當於當時的重油油價。中國大陸 2016 年擬推船舶排放控制區，兩岸應共同推動船舶排放控制區，限制於控制區內僅可使用低硫含量柴油。

致謝

本文係「高雄港區空氣污染擴散與監測規劃之研究」的部份成果，承蒙臺灣港務公司高雄港務分公司補助經費及提供相關資料，使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

參考文獻

1. 行政院環境保護署，「港區空氣污染物減量策略推動與成效評估計畫」期末報告，民國 102 年。
2. 張艮輝、張能復等，「空氣品質模式技術及對策支援計畫(二)」，行政院環保署(EPA-998-FA11-03-A079)，2011
3. Rich Mason, et al., “Emissions Processing and Sensitivity Air Quality Modeling of Category 3 : Commercial Marine Vessel Emissions”, 17th Annual International Emission Inventory Conference "Inventory Evolution - Portal to Improved Air Quality" ,(2008)(<http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei17/session6/mason.pdf>)
4. 「港區溫室氣體及空氣污染排放量調查作業手冊」2.0 版，交通部運輸研究所，民國 104 年 7 月
5. Port of Los Angeles(POLA),“ Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions 2012”(2013).

地理資訊系統應用於港區溢淹災害潛勢圖

陳冠宇 國立中山大學海洋科學系教授

劉俊志 國立中山大學海洋科學系研究助理

張義偉 國立中山大學資訊管理系博士生

一、前言

2004 年南亞海嘯與 2011 年東日本 311 海嘯都造成重大傷亡；為有效減少這樣的災害造成之傷亡，我們發展一個具實用性，可在海嘯發生初期即快速計算出到達時間及波高之海嘯預報與速算系統。惟目前的預報系統只提供外海波高，未能提供港內可能的受災狀況，故各港務分公司不知如何應變。若能結合視覺化之防災溢淹潛勢圖 (Inundation Map) 並與地理資訊系統之圖資一起展現，則不論一般民眾或是主管機關都能快速掌握港內受災狀況，大幅降低災害之威脅。

本研究延續先前建構之海嘯預報系統，自動擷取美國地質調查所 (United States Geological Survey) 網站來更新地震資料，再自動進行海嘯模擬。發展淹水潛勢預報系統，提供溢淹潛勢圖並結合 Google Earth 地理資訊系統之圖資，以建立 Google Earth

地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。

二、溢淹潛勢圖之必要性

海嘯所造成之災害不同於其他天然災害，由於海嘯是整個水體被帶動且波長甚長，故能攜帶之水體通常會造成大範圍之溢淹，以 2004 年南亞海嘯東斯里蘭卡為例，可造成長度約 2.5km 之溢淹；薩摩亞海嘯也有此一現象產生。後續衍生之衛生、心理及重建問題亦是甚為棘手之問題。其次是海嘯波引致之水流速度，2011 年 3 月 11 日東日本海嘯事件中，由現場實況及事後調查報告均顯示即使海嘯波已經造成溢淹，其殘餘水流速度仍足夠衝垮目前現有之結構物。因為海嘯具有強大破壞性，故自南亞海嘯之後，印度洋周邊國家開始建立區域性海嘯預警系統；美日兩國也加強與周邊國家之資訊交流，但在薩摩亞海嘯事件

中證明現有之海嘯預警系統 / 流程對於近域海嘯幾乎無事先預警之功能。日本先前所建立之海嘯預警系統及應變措施在這次的海嘯事件中有發揮其功效，有效降低傷亡之人數。自 2004 年南亞海嘯事件後，至 2015 年 12 月為止，較具規模之海嘯事件共十起，如表 1 所示。

表 1 2004~2015 年間重大海嘯事件

資料來源：美國 NGDC/WDS 之 Global Historical Tsunami Database

Date (Earthquake Magnitude)	Country	Name	Max. wave height (m)	Death
2004/12/26 (9.1)	Indonesia	Sumatra	50.9	226,898
2005/3/28 (8.7)	Indonesia	Indonesia	3	10
2006/7/17 (7.7)	Indonesia	Java	10	802
2007/4/1 (8.1)	Solomon	Solomon	12.1	52
2007/4/21 (6.2)	Chile	Chile	7.6	10
2009/9/29 (8.0)	Samoa	Samoa	22.35	192
2010/2/27 (8.8)	Chile	Chile	29	156
2010/10/25 (7.8)	Indonesia	Sumatra	7	431
2011/3/11 (9.0)	Japan	Honshu	38.9	15,854
2013/2/6 (8.0)	Solomon	Solomon Islands		10
2014/4/1 (8.2)	Chile	Chile	4.40	6
2015/9/16 (8.3)	Chile	Chile	4.70	8

以表 1 發現，同為智利 2010 及 2015 地震所引發的海嘯，2015 年災害所造成的死亡人數遠遠小於 2010 年的災害死亡人數，所以有良好的預警系統是可以有效的減少災害的傷亡。

三、研究方法

海嘯溢淹模擬最佳之方式就是確切得知發生一已知之震源或是一組斷層參數，得知初始水位高度後據以模擬海嘯之溢淹行為及特性。但實務上，上述之方法有其困難度：

- (1) 首先是震源位址，目前並無法準測事先預測地震之發生；其次，斷層破裂的錯動也多不均勻。
- (2) 另一方面，目前也無法確知各個可能震源點所能產生之最大地震矩規模。

由以上兩點可知，在許多必要條件均缺乏之情況下進行海嘯於近岸地區之數值模擬是相當不便的，加以防災需求宜作較為保守之推估；因此，利用單一波形及情境模擬方式來進行溢淹模擬除了可獲得較為保守之結果外，更可匯集成一資料庫，在實際海嘯事件發生時，得知外海波高後，即可知對應可能之海嘯資訊。採以 COMCOT 模式模擬高斯波入射溢淹區域，紀錄模擬期間內每個空間點所發生的最大水位高度來當作溢淹高度。其溢淹高度為進水水位高度減原地形

高度。藉由數值模式進行影響範圍之潛勢分析將有助了解各港區之警戒範圍。溢淹潛勢圖可分為實體圖與電子圖；前者不易臨時改變，後者則可依需要增減或局部改變所呈現的圖資。

3-1 海嘯速報系統及海嘯預警系統

由於海嘯預警系統建置所需成本高昂，其所量測之訊號也需進一步判讀，且須包含通報程序及系統；依此定義而言，本研究所開發之系統是一種「海嘯速報系統/預報系統」，其主要目的在於在海嘯發生初期即利用歷史參數或是即時地震參數計算各港口對應可能水位變化及到達時間，而後將資訊彙整至權責單位憑以進行後續程序；其優勢為在有限之成本及時效，可得出實用性甚高之海嘯初期評估資料。

3-2 海嘯數值模式

本計畫採用美國康乃爾大學土木與環境工程學系團隊發展出的 COMCOT Multigrid COupled Tsunami model (COMCOT) 模式作為主要模擬工具(陳等，2011；陳等，2012)。模式經過智利海嘯、花蓮海嘯以及南亞海嘯之實例驗證，其研究成果也常發表於國內外知名期刊，該模式也為國內其他相關學術單位所使用。而 COMCOT 模式之基本理論是淺水方程組 (shallow water equations)，由康乃爾大學劉立

方教授領導建立 (Liu 等人，1998)，至今已進行多次改版。我們研究團隊前期採用 COMCOT 1.7 版為基礎，加入 OpenMP 平行運算語法，檔案輸出由文字檔更動為 nc 檔 (netcdf) (陳與陳，2012；陳等，2013；陳，2013)。

3-3 地形資料

(1) 海域地形

海域地形主要是採用海科中心網格間距為 500 公尺之水深資料 (TaiDBMV6)，如圖 1；除了 TaiDBMV6 外，港區之水深亦採用港研中心所提供之船測資料加以校正。陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 5m×5m 之 DSM 數值地形資料，其中平面坐標採內政部 1997 臺灣大地基準 (TWD97)，高程坐標採內政部 2001 臺灣高程基準 (TWVD2001)。即是定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境下，並採用基隆潮位站 (基隆平均海水面) 1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得，即為中潮系統。每一網格點是一組 E、N、H 三個坐標值，組成右旋坐標系的三個 X、Y、Z 坐標 (如 250000 2670000 123.0，坐標之間以一空格隔開)；無法測製區及湖泊、水庫等水體區則以影像當時邊界線高測製。無法測製區及水體區則依地形特徵資 檔格式加測並儲存記 邊界線。海域水體部分以海岸線及圖幅邊界組成邊界線。

(2) 陸域地形 DEM 及 DSM

本研究為考量 DSM 數值地形資料，於港區的貨櫃容易被誤判成建築，另以陸域地形資料是由內政部地政司所提供之 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 之 DEM 數值地形資料，無建物之地形資料來模擬，以代表所有建築物被一掃而空之最糟情況。其中 DSM(Digital Surface Model) 則指的是地表上所有地物，包含人工構造物或自然森林或人工作物覆蓋地面的高程，DEM (Digital Elevation Model) 經由大量自動與人工的植生濾除過程以得到原始地表高程。陸域地形需轉成經緯度座標。 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 數值地形資料之測繪在實務上實屬不易，雖然無法表示局部地區之建物構造特色與實際情況，但是此一解析度已可做為溢淹圖資之用，以安平港為例，圖 2 為安平港之陸域數值地形。由於兩者解析度不同，在無其他較為精細海底地形之來源時，將海域地形以內插之方式製作成與陸域地形資料相同解析度之數值地形。圖 3 為海陸域整合後之數值地形檔。並將港研中心所提供之港內實測地形資料整併至數值地形圖 4。各港均以此方法建構其模擬用之數值地形。

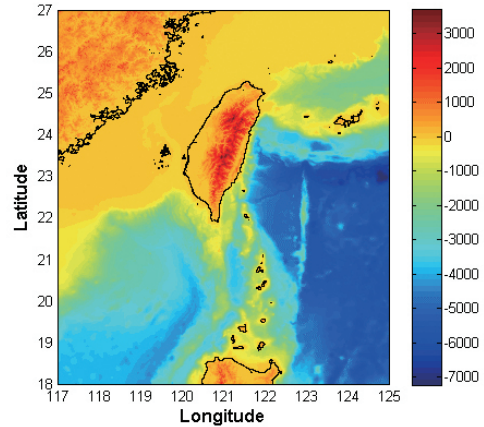


圖 1 臺灣 500m 解析度水深地形資料

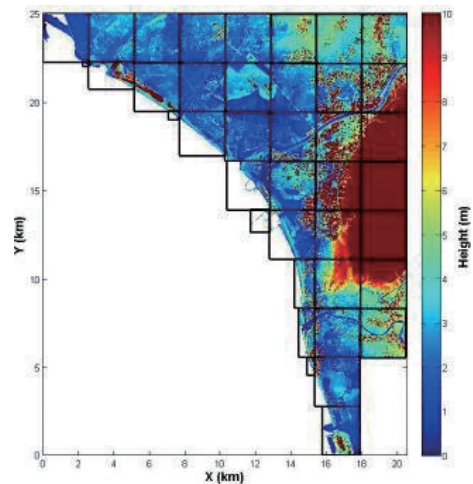


圖 2 安平港 5m 解析度數值地形檔

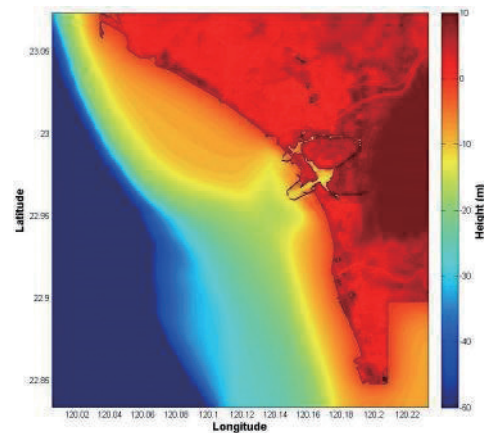


圖 3 安平港整合海陸域之數值地形檔

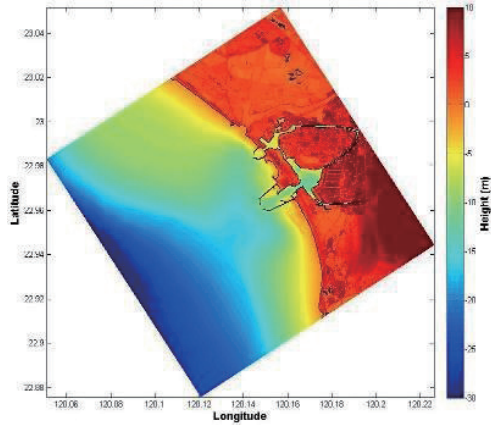


圖 4 安平港整併港內實際地形之數值地形檔

3-4 安平港之模擬結果

本研究使用 COMCOT 溢淹模式，以不同波高之高斯波模擬海嘯波垂直岸線入射 (0.5m~10m)；海嘯波為長週期之重力波，一般週期約為 15~30 分鐘，其所攜帶之水量遠大於季風所引起之短週期風浪，而孤立波之高度及寬度有一固定關係，本研究所稱之高斯波為說明其週期與波高的不同而定義，採用之週期為約 20 分鐘，以安平港為例，海嘯波模擬採用之週期為約 20 分鐘，圖 5 為波高 4m 週期約 20 分鐘之高斯波，以此波形在模式地形邊界上入射，模擬此情境下陸地之溢淹狀況；研究所設定之海嘯潛勢波源區為整個環太平洋地震帶，圖 6(a),(b)z 分別為安平港入射 0.5 公尺高斯波及 2 公尺高斯波之溢淹潛勢圖。

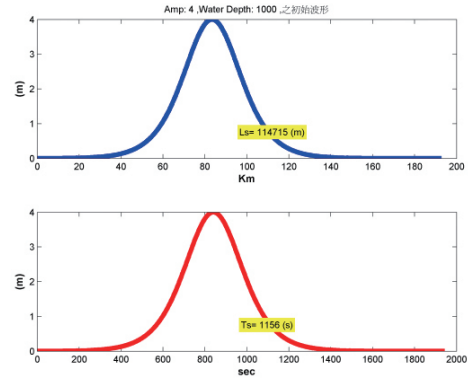


圖 5 週期 20 分鐘波高 4m 高斯波

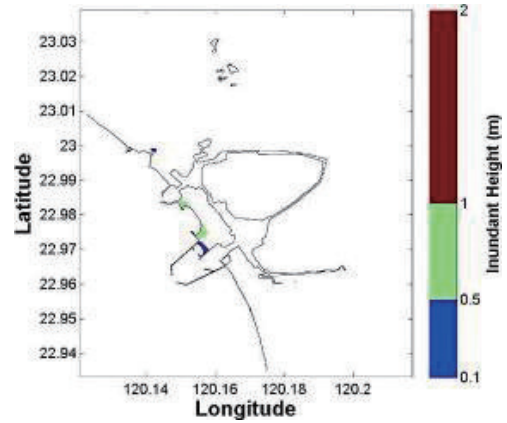


圖 6(a) 安平港入射 0.5m 之溢淹潛勢圖

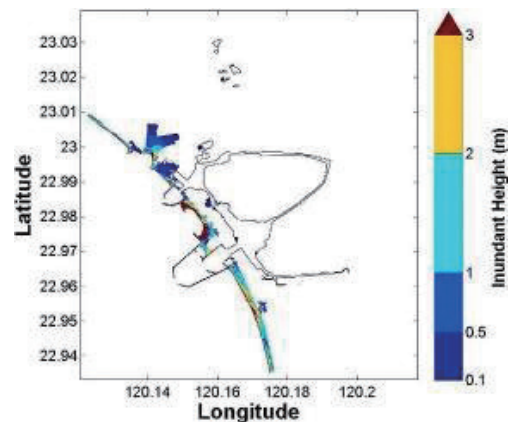


圖 6(b) 安平港入射 2m 之溢淹潛勢圖

3-5 地理資訊系統

前期研究所建構之預報系統只提供外海波高，未能提供港內可能的受災狀況，本研究將結合前節所呈現之視覺化之防災溢淹潛勢圖 (Inundation Map) 並整合地理資訊系統之圖資一起展現，以建立 Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，其方法將每一網格水位的高度已製做成溢淹的範圍並顯示水位高度 (圖 7)，藉此將所計算出來的水位資料疊加原始的地形資料，並轉將其經緯度座標轉換成地理資訊系統座標，與地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 相結合 (圖 8)，配合各種圖層 (圖 9)，依照每個溢淹潛勢圖的功能，以最一目了然的方式呈現。各地理資訊系統中尤其以 Google Earth 最方便經濟，系統使用者可直接於網上下載使用應用軟體，同時可以免除建立基本圖層及位資之困擾，其強大之多圖層功能可應用於防災圖資之建立，做為溢淹潛勢圖的展示平臺，因此海嘯速報系統將可輸出 Google Earth 圖資地形用之 kmz 檔。圖 10(a)(b) 為安平港之 DSM 地形數值模擬結果，圖 11(a)(b) 為安平港之 DEM 地形數值模擬結果。

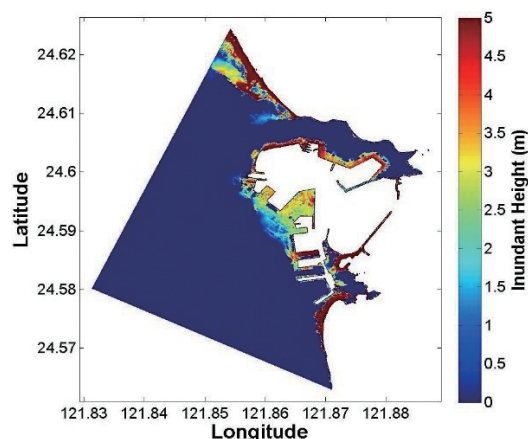


圖 7 溢淹潛勢圖 (實體圖)



圖 8 溢淹潛勢圖 (電子圖)

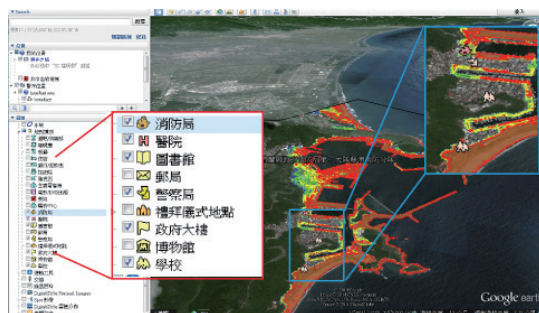


圖 9 Google Earth 圖層

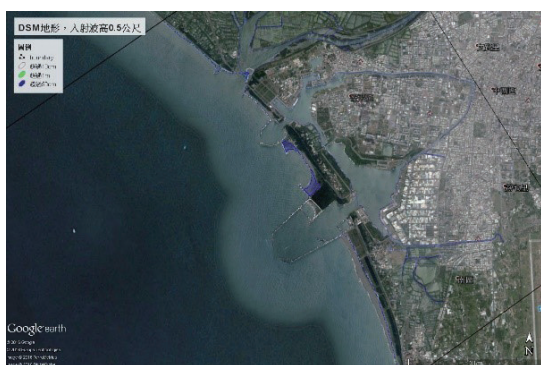


圖 10(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖 (DSM)，入射波高 0.5 公尺

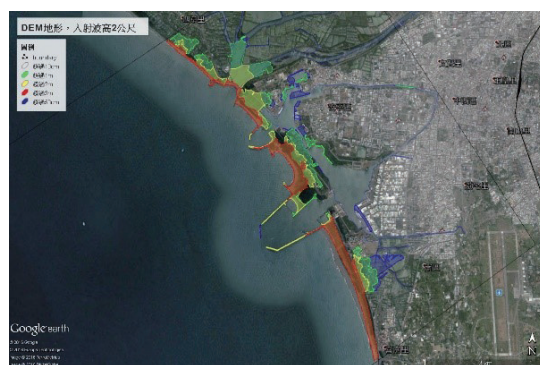


圖 11(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖 (DEM)，入射波高 2 公尺

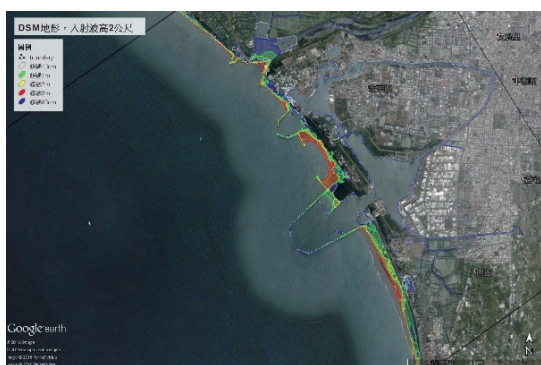


圖 10(b) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖 (DSM)，入射波高 2 公尺

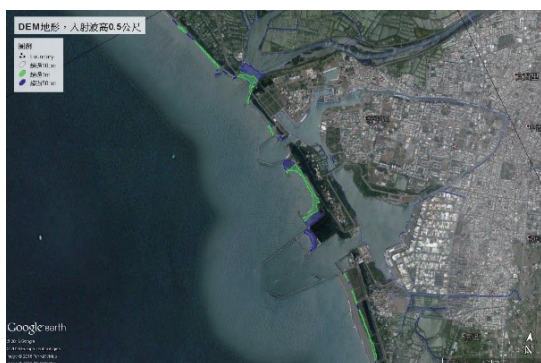


圖 11(a) 安平港結合 Google Earth 之溢淹圖 (DEM)，入射波高 0.5 公尺

3-5 G-R 關係式

當一般區域震源可用指數規模分佈模式來表示，而此模式中之地震規模與再現頻率關係式 (Gutenberg and Richter, 1944)，稱為 G-R 關係式，其形式為：

$$\log (N) = a - bM \quad (1)$$

G-R 關係式中，b 值是地震危害分析中一個極為重要的參數，其表示地震在某一地震規模內的大地震與小地震間的比例關係。b 值隨著研究區域內的地質分佈、構造、地溫與應力…等條件的不同而有所變化。此一回歸分析法，即是在一區域內對於地震規模 $\geq M_b$ (設定之地震下限) 而言的，式中 M 代表地震矩規模，並依小而大之順序排列，式中之 N 表示規模大於或是等於 M 之次數，在本研究中地震矩規模 M 的區間為 4.25、4.75、5.25、5.75、6.25、6.75、7.25、7.75、8.25、

8.75、9.25 取各區間內累計數即為 N ，而 a 、 b 則為線性迴歸係數。以日本東側東經 133 到 139 度，北緯 34 到 36 度為例，圖 12 藍點為各地震矩累計次數，35 年為過去地震次數記錄的時間長度，將此回歸線上各點除以統計年時間長度 35 乘上評估年時間長度 50、100 再轉換回 G-R 關係式，則可得到圖 5 上未來 50 年及未來 100 年的回歸係數與回歸線，紅點線 (50 年) 及綠點線 (100 年)，此回歸線為評估未來 50 年及未來 100 年，可能發生之累計次數，進而可得到各地震矩規模區間的可能發生次數，如表 2 所示。

表 2 各地震規模區間未來預估可能發生之次數值

Mw	6.5	7	7.5	8	8.5	9
50 年	4.0552	1.1116	0.3047	0.0835	0.0228	0.0062
100 年	8.1099	2.2231	0.6094	0.1670	0.0457	0.0125

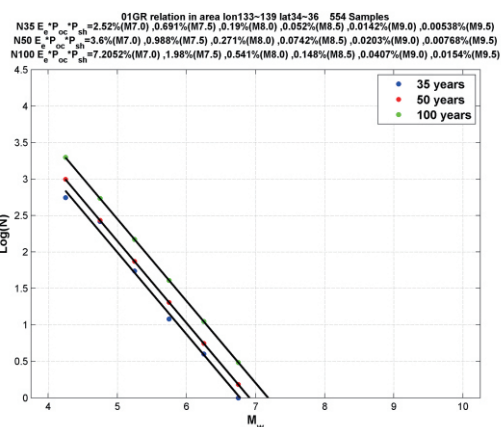


圖 12 G-R 關係式之計算範例 (東經 113 到 139 度，北緯 34 到 36 度)

以高雄港為例，當馬尼拉海溝北段東經 120.75 度，北緯 20.96 度的位置發生地震矩規模 8.0 的地震時，於高雄港外海造成約 1.5 公尺的海嘯波高。由美國地質調查所 1973 至 2010 年期間的地震資料求得的 G-R 關係式可知每個地震規模所對應的再現頻率。當地規模 8.0 的地震在 100 年間的期望次



圖 13 高雄港 DSM 地形的溢淹範圍



圖 14 高雄港 DEM 地形的溢淹範圍

數約 0.04，即每 2500 年發生 1 次規模 8.0 以上的地震。圖 13 及圖 14 各為 1.5 公尺海嘯波高在 DSM 和 DEM 地形下所造成的溢淹範圍(由海嘯模式分別模擬 1 和 2 公尺高斯波形入射，再利用兩者的結果作溢淹水位的空間線性內插)。

四、結果

整合先前研究所建構之海嘯波高資料庫，提高海嘯計算之效率，在遠/近域海嘯發生後，能夠快速掌握可能之最大波高以及到達時間，本研究也應用地理資訊系統整合溢淹潛勢圖，使能在 Google Earth 讀取，標註主要道、醫院、學校等重要地點供防災應變之用，提供給各港務(分)公司作為後續應變之作為之參考，並將各個港口之資料庫整合在單一操作界面如圖 15，其預警系統主要流程如圖 16 所示。

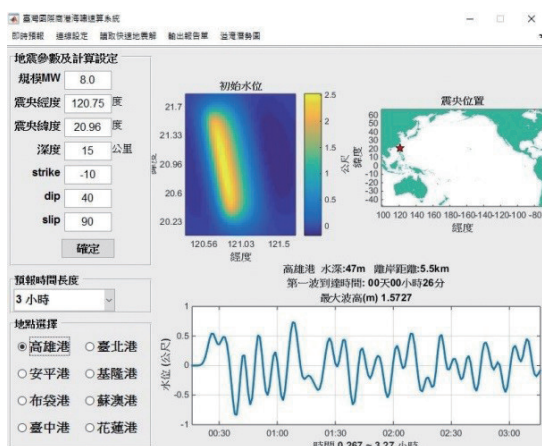


圖 15 海嘯預報系統介面

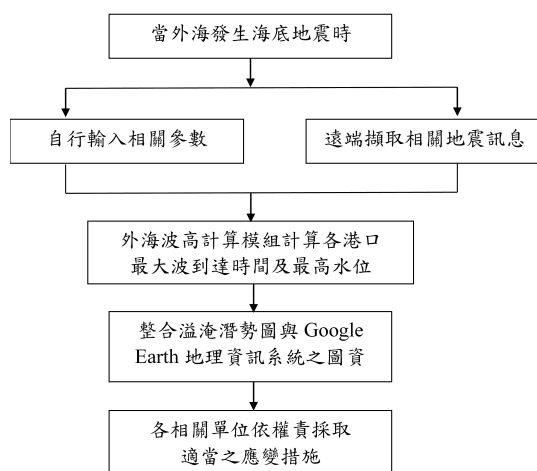


圖 16 海嘯速報系統流程圖

以安平港之溢淹圖顯示，地形採用 DSM 之數值地形，入射波若大於 2 公尺，對安平港超過 1 公尺的溢淹；地形採用 DEM 之數值地形，入射波若大於 1 公尺，對安平港有超過 1 公尺的溢淹，因 DEM 數值地形資料，是無建物之地形資料，此溢淹圖代表所有建築物被一掃而空之最糟情況。若透過 Google Earth 地理資訊系統的圖資，可以提供給各港務(分)公司相關溢淹的資訊，進一步可由相關的地理資訊圖資作支援決策。

五、結論

本研究以海嘯模擬技術為主軸，整合相關研究計畫之成果，海嘯資料蒐集、海嘯數值模式實例探討及海嘯溢淹模擬，結合視覺化之防災溢淹潛勢圖(Inundation Map)並整合地理資訊系統之圖資以展現溢淹模擬，以建立

Google Earth 地理資訊系統圖資之視窗化操作介面，可透過原有的海嘯速報系統介面輸出 Google Earth 地理資訊系統之 kml 檔，分別實際應用於評估臺中、布袋、安平、高雄等主要商港。使主管機關都能快速掌握港內受災狀況，大幅降低災害之威脅，也作為海嘯警報發布時各港務分公司之應變參考。

參考文獻

1. 陳冠宇 (2013) 海嘯預警與溢淹潛勢圖數值模擬之回顧與探討，海洋工程學刊，第 13 卷，第 1 期，第 69-91 頁。
2. 陳冠宇、陳陽、邱永芳、蘇青和、單誠基 (2011)，「臺灣沿岸海嘯影響範圍與淹水潛勢分析 (4/4)」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
3. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎 (2012)，「提昇海岸及港灣海嘯模擬技術之研究 (1/4)」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
4. 美國 NGDC 資料庫 <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/hazards.shtml>.
5. 美國地調所 USGS 國家地震訊息中心 NEIC 資料庫 <http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.
6. Chen, G. Y. and C. C. Liu (2009), “Evaluating the Location of Tsunami Sensors: Methodology and Application to the Northeast Coast of Taiwan”, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 20(4), pp.563-571.
7. Chen, G. Y., C. C. Liu and C. H. Lin (2011), “Probabilistic Forecast of Tsunami Inundation (PFTI) and Earthquake-induced Tsunami Inundation Probability (ETIP) — Algorithm and Application to the Southwest Coast of Taiwan”, *Tsunami Simulation for Impact Assessment*, pp.74-83.
8. Chen, G. Y., C. H. Lin and C. C. Liu (2012), “Quick Evaluation of Run-up Height and Inundation Area for Early Warning of Tsunami”, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 6(1), 1250005, pp. 1-23.
9. Chen, G. Y., Y. F. Chiu, J. H. Lin, C. C. Lin, Y. W. Chang and C. J. Lien (2014), “Combining Tsunami Hazard and Vulnerability on the Assessment of Tsunami Inundation Probability in Taiwan”, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 8(3), 1440003 [23 pages]
10. Chen, G. Y., C. C. Liu, and C. C. Yao, (2015), “Forecast System for Offshore Water Surface Elevation With Inundation Map Integrated

- for Tsunami Early Warning”, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 40(1), pp. 37-47.
11. Gusiakov, V. K.(2005), “Tsunami generation potential of different tsunamigenic regions in the Pacific”, Marine Geology, 215, pp.3-9.
 12. Gutenberg, B. and C. F. Richter (1944), “Frequency of earthquake in California”, Bulletin of the Seismological Society of America, 34, pp.185-188.
 13. National Geophysical Data Center / World Data Service(NGDC/WDS): Global Historical Tsunami Database. National Geophysical Data Center, NOAA. doi:10.7289/V5PN93H7
 14. Wang, X. M. and P. L.-F., Liu, Cornell Multigrid Coupled Tsunami model (COMCOT)User Manual, Cornell University, 2007.

風能應用於台灣港灣之初步研究

邱永芳 交通部運研所港灣技術研究中心主任
黃茂信 交通部運研所港灣技術研究中心副研究員
李賢華 國立中山大學海洋環境及工程系教授
余聿祥 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理
方鉢淳 國立中山大學海洋環境及工程系研究助理

一、風能的簡介與發展

風能是因空氣流做功產生的一種可利用的能量。空氣流具有的動能即為風能，空氣流速越高則動能越大。人們可以用風車將風的動能轉化為機械能推動發電機，以產生電力，方法為透過傳動軸，將轉子(由空氣動力推動的扇葉組成)的旋轉動力傳送至發電機。到 2008 年為止，全世界以風力產生的電力約有 94.1 百萬千瓦，供應的電力已超過全世界用量的 1%。風能雖然對大多數國家而言還不是主要的能源，但在 1999 年到 2005 年之間已經成長了四倍以上 [3]。

風能的應用具有許多的優點，風能的發展起步早，技術於近代已漸趨成熟，使應用成本降低，於現行各種再生能源中是相當具經濟競爭力及發展潛力的一項；風能設備多為立體化設施，風能之空氣汙染及碳排放低，對於環境之衝擊較小，且風力發電可

以為分散式發電，沒有大型發電設施過於集中的風險問題。

唯一缺點是風力供應為間歇性的，因此風力發電會有在某些時段、區域運作效率不高的問題，如台灣於用電量較高的白天及夏季就常面臨風力短缺的問題，另外大型風機的設置也需大量的土地面積，因此近年漸漸發展出適應各種環境條件的小型風力發電機。

二、小型風力發電機

風力發電機分為大型風力發電機及小型風力發電機，美國定義，單機容量 100kw 以下為小型風力發電機，100~600kw 則為中型風力發電機；而由於大型風力發電機機組體積十分龐大，再加上必須選擇風能非常良好的空曠地區，大部分設置於沿海、平原及離島地區，在土地面積的條件下有其發展的限制。相較於大型風力發電機，中小型風力機的應用範圍更廣，產生的壓迫感較小，安裝上也較為容

易，因此在近年來漸漸地受到了重視。圖 1 為小型垂直軸式風力發電機與太陽能發電系統並用的情形。



圖 1 小型垂直軸式風力發電機
(參考資料：新高能源科技股份有限公司)

在此研究中，由於港灣空地位置均有貨物堆置貨運輸交通等用途，必須將風力發電機架設於屋頂或相關之建築，因此規劃使用中小型的風力發電機來輔助發電，所需的空間較小。在國外案例中亦多直接裝設於屋頂上，中小型風力機可滿足偏遠地區、家庭用電、交通號誌、路燈、通訊設備、遊艇等用電需求，可自成獨立供電網路，亦可與市電系統相接。本案中若

進一步以垂直軸的風力發電機，其產生噪音較小，更可解決噪音問題。

圖 2 為一典型之小型風機風速與功率曲線圖，表 1 即表 2 則為小型風力發電機機型及其功率與各項風速資料(由新高能源科技股份有限公司與特力寶科技有限公司所提供兩公司所提供)，而彙整成表 3 則為各型號風機在不同風速所對應之功率。參照以上各表可知小型風機的啟動風速約在 3m/sec，額定風速則為 12m/sec。各型號風機在額定風速所對應之功率則約為各廠商所設定之該型風機發電功率。

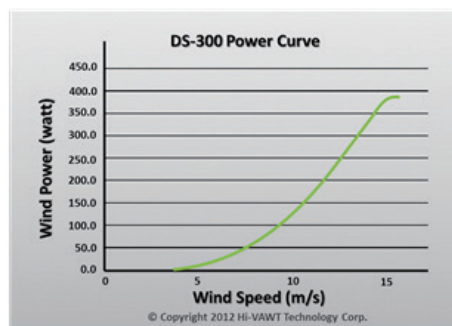


圖 2 DS-300 風速與功率曲線圖
(資料來源：新高能源科技股份有限公司)

表 1 新高能源科技股份有限公司小型風力發電機

產品編號	DS-300	DS-700	DS-1500	DS-3000
額定功率	300W	700W	1500W	3000W
切入氣流速度	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s
額定氣流速度	13.5 m/s	12 m/s	12 m/s	12 m/s
切離氣流速度	15.5 m/s	15 m/s	15 m/s	15 m/s
可承受極限氣流速度	60 m/s	60 m/s	60 m/s	60 m/s

(資料來源：新高能源科技股份有限公司)

表 2 特力寶科技有限公司小型風力發電機

產品編號	1kW VAWT	4KW VAWT
額定功率	1000W	4000W
切入氣流速度	3m/s	3.5m/s
額定氣流速度	12 m/s	12 m/s
切離氣流速度	30m/s	30 m/s
可承受極限氣流速度	55 m/s	55 m/s

(資料來源：特力寶科技股份有限公司)

註：

切入風速：風電機組開始發電時，輪轂高度處的最低風速。

額定風速：風電機組達到額定功率輸出時，輪轂高度處的設計風速。

切離風速：風電機組保持額定功率輸出時，輪轂高度處的最高風速。

表 3 各型號風機在不同風速所對應之功率 (W)

氣流 速度 型號	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	10 m/s	12 m/s	14 m/s	16 m/s	18 m/s	20 m/s	30 m/s
DS-300	-	-	10	25	40	65	130	225	340	-	-	-	-
DS-700	65	100	150	235	325	450	750	845	-	-	-	-	-
DS-1500	0	35	85	165	265	400	800	1520	1540	-	-	-	-
DS-3000	-	110	250	420	700	1000	2000	3055	3110	-	-	-	-
1kW VAWT	-	40	70	130	200	300	600	1000	1000	1000	1000	1000	-
4kW VAWT	75	230	330	530	870	1190	2430	4000	4000	4000	4000	4000	-

三、風能發電應用於各港口概略分析

風能發電於港區利用所使用的方式為概略估算，並假設港區內所有建築物均能架設風機系統(實際應用時、建築的實際使用狀況以及與風機結構結合之可行性則需要仔細評估)，這樣

能減少一些建築物的阻隔，風速不受影響較能穩定的發電。若風機系統沿著港邊海岸線架設時，則假設海岸線每 100 公尺範圍內排除相關設施後，至少能架設一座風機。並從港灣技術研究中心的網站上取得台灣四大港口幾年內的風速資料，以港口之歷年各級風速概率搭配各家廠商所提供之功

率風速曲線圖來估計各港口之發電量。

架設在屋頂上的數量亦是由 Google Earth 去估算總面積，再分為兩種算法去計算出架設的風機數量，搭配風速資料以及小型風力發電機之功率風速曲線圖來估算出每台小型風力發電機可產生的電量，又由各港口所裝設的風機數量來估計每年各港口可發電的總量。

風機系統架設於建築物上時之估算方式為：a、將小型風力發電機以每 10 公尺裝設一部的方​​式裝設於每一座建築物屋頂四周（以建物周圍邊長為依據）；b、以所有建物總合面積做概略估算，並以每 200 平方公尺為單位架設一部風力發電機於屋頂上（以建物面積為估算依據）。以下分別舉例說明之：

a、以 Google Earth 概估港區內建築物面積，以基隆港為例則為 19 萬平方公尺，而基隆港的屋頂數量為 158 座，則平均每座屋頂所佔面積約為 1202.5 平方公尺，假設每座屋頂皆為邊長 34.7 平方公尺的正方形，將小型風力發電機以每 10 公尺裝設一部的方​​式裝設於屋頂四周，則每個屋頂可裝 8 部機組，整個基隆港區則可安裝 1264 部。

b、將屋頂總面積想像為一大屋頂，以每 200 平方公尺為單位架設一部風力發電機，則基隆港區可安裝 950 部發電機組。

另外再將海岸線的部分考慮進去，而沿海岸線地帶的路徑長同樣由 Google Earth 概略估算之，再扣除一些從 Google Earth 上可明顯看出有地形、建築障礙問題的路徑長，即可獲得可裝設風機之海岸線長度，若每 100 公尺裝設一台風力發電機（100 公尺是在考慮到各小型風力發電機之間不會太緊密造成過度裝設，同時也不會太鬆散造成發電量縮小的一個概估值），以基隆港為例，基隆港沿海岸邊之路徑長（扣除建築物及障礙物），概估為 8503 公尺，考量到港邊作業方便，以每 100 公尺裝設一部來估算，則基隆港於海岸線部分可裝設 85 部。

以上述方式估算四大港口可裝設之小型風力發電機數量，數量統計如表 4。其中發現以無論以建築物的周長或面積為估算基準，高雄港及台中港可裝設的機組均為最多，花蓮港則為最少。再根據各港口歷年各級風速概率，由此推算出各級風速每年所佔之時數，表 5 所示則為台灣各港口歷年各級風速概率。各型風機（假設全面安裝同型風機）在各港口每年能發出之電量，依據各及風速發生概率可估算出來，其發電量彙整如表 6，其中計算方式如前所述分成兩種方式。

若每部小型風力發電機以 40,000 元來計算安裝成本，則各港之發電成本如表 7 所示。可看出在各個型號的

表 4 各港口可裝設之小型風力發電機數量（部）

	港區面積 (m ²)	算法 a 可 裝設數量	算法 b 可 裝設數量	海岸線長 (m)	可裝設數 量	總裝設數 量 (a)	總裝設數 量 (b)
基隆港	19 萬	1264	950	8503	85	1349	1035
台中港	76 萬	3600	3800	12945	129	3729	3929
高雄港	96 萬	4040	4800	17798	177	4217	4977
花蓮港	8.1 萬	480	405	5548	55	535	460

表 5 各港口歷年各級風速概率（%）

風速 (m/s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
基隆港	12.7	22.7	18.5	12.9	9.9	7.9	6.1	4.4	3.5	1.1	0.3	0.1	0	0	0
台中港	3.5	16.4	16.7	13	9.4	7.2	5.5	4.9	9.3	6.9	4.3	1.7	0.8	0.3	0.3
高雄港	23.7	26.8	22.3	14.1	6.9	3	1.5	0.8	0.6	0.2	0.1	0	0	0	0
花蓮港	5.9	19.4	24.6	18.6	11.8	7.1	4.9	3.3	3.3	0.9	0.2	0	0	0	0

（資料來源：港灣技術研究中心）

表 6 各港於不同風機下之發電總量（百萬度）

	基隆港		台中港		高雄港		花蓮港	
	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b
DS-300	0.10	0.08	1.13	1.19	0.07	0.08	0.03	0.03
DS-700	1.00	0.77	6.12	6.45	1.17	1.38	0.38	0.32
DS-1500	0.72	0.55	7.04	7.41	0.56	0.66	0.24	0.20
DS-3000	1.85	1.42	16.36	17.24	1.48	1.75	0.62	0.53
1kw VAWT	0.56	0.43	5.52	5.82	0.46	0.54	0.19	0.16
4kw VAWT	2.52	1.94	22.91	24.14	2.48	2.93	0.88	0.76

表 7 各港之風力發電成本（萬元／十萬度）

	基隆港		台中港		高雄港		花蓮港	
	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b	算法 a	算法 b
DS-300	5396	5175	1320	1321	24097	24885	7133	6133
DS-700	540	538	244	244	1442	1443	563	575
DS-1500	749	753	212	212	3012	3016	892	920
DS-3000	292	292	91	91	1140	1138	345	347
1kw VAWT	964	963	270	270	3667	3687	1126	1150
4kw VAWT	214	213	65	65	680	679	243	242

表 8 風速 3m/s 以上比例（％）

基隆港	台中港	高雄港	花蓮港
46.1	63.4	27.2	50.1

發電機組的使用效率上，都以台中港的條件為佳，高雄港之風力發電因其單位發電成本最高，在風力發電應用上則較不合適，其餘兩個案例則須搭配該地區之風速級數來搭配適用之發電機型以達最佳效率。

四、結論

風能發電系統則主要有兩個影響因子：一為各級風速的分布，二為小型風力發電機型的選擇，須參考該地區最多比例之風速級數來選擇風力發電機，以達到最佳效率，尤其注重高於 3m/s 的風速比例（因小型風力發電機之切入速度約為 3m/s），在本研究四個案例中以台中港之效率最佳，主因即為其高於 3m/s 的風速比例達 63.4%，明顯高於其他案例（如表 8），相對的高雄港則因其風速平均不高的條件下，最不适合發展風力發電系統。

本研究初步探討風能應用於港灣結構上之可行性，由其運行效率及成本考量為出發點，台中港風力資源豐沛，對於風能的發展有其潛力，花蓮港與基隆港之條件雖然相對較不适合發展太陽能及風能，但從過往之文獻資料來看，其蘊含的海洋能極為豐富，

而綠色能源之層面甚廣，尚有波浪能、潮汐能亦或生質能等，在不破壞既有港灣結構的安全性及功能性前提下，選用最適合該地區的綠能設施，除可節省部分的能源開支外，也有助於紓緩日漸嚴重的能源危機。

參考文獻

1. Gorban, Alexander N., Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. Journal of Energy Resources Technology. 2001.December, 123: 311-317
2. 英華威風力發電集團 Infravest，台灣風力發電發展現況。
3. 台灣港務股份有限公司 <http://www.twport.com.tw/>。
4. 交通部運研所港灣研究中心，可循環再生能源於綠色港灣之應用 1/4，2013

港 灣 季 刊 徵 稿 簡 訊

1. 本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。
2. 投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。
3. 來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：
 - (1) 以紙本或是數位方式出版。
 - (2) 進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。
 - (3) 再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
 - (4) 為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。
4. 作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。
5. 稿件每篇以八頁（含圖）（4000～5000字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。
6. 本刊每年刊行3期，分別於2月、6月、10月出版。如蒙惠稿請於每期出版前30日寄交本刊。
7. 聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
傳真電話：(04)2656-4415
E-mail：elisa@mail.ihmt.gov.tw
8. 歡迎賜稿，來稿請寄：
43542 臺中縣梧棲鎮中橫十路2號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣季刊編輯委員會」收