

具預旋流功能之對轉式水平軸雙渦輪於海流能發電研究

黃揚傑*1 楊敏雄**

*國立高雄科技大學 造船及海洋工程系

**國立高雄科技大學 造船及海洋工程系

關鍵詞: 海流能源、水平軸渦輪、預旋流、CFD、雙端鰭葉片渦輪

摘要

近十幾年來人類對於能源的需求與日俱增，顯得可再生能源的重要性提高，目前最重要的議題是更有效率提升可再生能源的運用，本文是針對海流能發電之研究方向，本研究目前以水平軸渦輪發電機為主，渦輪葉片的外貌及發展已趨於成熟。因此要再進行更多的突破，就必須從其他方面下手。預旋流裝置(Pre-swirl)是一種在船舶螺旋槳前方設置的固定葉片，其產生跟螺旋槳旋轉方向相反的預旋流，以回收旋向的能量損失，而對於船舶的推力也增加了2%至6%的推進能力，也減少了船舶燃料的消耗。預旋流裝置已應用在船舶來增進效率，目前尚未有人將預旋流裝置加裝至水平軸渦輪發電機進行海流發電。

本文以數值模擬分析研究預旋流功能之對轉水平軸雙渦輪葉片發電之性能，使其預旋流裝置也自由旋轉，變成對轉式雙渦輪機之設計，讓海流流過兩渦輪葉片時造成反向旋轉，所以可增加流體能量轉換效果與發電機的相對轉速，模型設計的兩渦輪葉片是由一預旋流渦輪在前面，而後面裝上一個雙端鰭水平渦輪葉片，設計特點是將原本運用在水下的細長型渦輪葉片增寬，增加葉片能擷取到水流的有效面積，提升流體轉換，並增加預旋流渦輪來增進水流推進的效率，再以計算流體力學套裝軟體ANSYS之Fluent模組進行模擬雙渦輪葉片於流體中的運轉狀態，並分析出葉片轉速和其參數變化；分析預旋流功能之對轉水平軸雙渦輪葉片後，相對單獨雙端鰭水平渦輪的功率提升了40%。

前言

聯合國政府間氣候變化專門委員會在2022年2月公布第六次評估報告指出，全球暖化將在近20年內升溫至攝氏1.5度，多種氣候危害的增加，如極端氣候災難、熱浪、生物多樣性喪失等，全球皆無法倖免。這些危害衝擊到了能源、水資源與糧食安全，並造成許多居住地與生物棲地的喪失。

隨著全球暖化及環境保護議題日益受到關注方面，近幾十年來因人類對於能源的依賴日益增加，使現在的能源短缺，也配合聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs), SDGs目標7:確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的，及現代的能源。而台灣受限於缺乏天然資源，海洋能源的應用是一種具潛力的方式，然而台灣四面環海擁有豐富的海洋能源，東部則有世界第二大洋流黑潮流經過，其擁有穩定的流速約為每秒一到兩公尺，因此在再生能源方面十分有潛力，若能有效的運用海洋能源，將改善國家的能源問題，其中的海流發電更為發展重點。

本次研究的主題，主要是在以數值模擬分析研究一個創新型預旋流功能之對轉水平軸雙渦輪葉片發電之性能，藉由對轉式雙渦輪機之設計，讓海流流過兩渦輪葉片時造成反向旋轉，所以可增加流體能量轉換效果與發電機的相對轉速，提升海流能應用之電功率輸出。

本研究之模型設計的兩渦輪葉片是由一預旋流渦輪如圖在前面，而後面裝上一個雙端鰭水平渦輪葉片，設計特點是將原本運用在水下的細長型渦輪葉片增寬，增加葉片能擷取到水流的有效面積，提升流體轉換，並增加預旋流渦輪來增進水流推進的效率。

因此，我們希望透過預旋流渦輪的概念加在渦輪葉片前，增進水流對於水平軸葉片之轉動慣量。再以計算流體力學套裝軟體ANSYS之Fluent模組進行模擬雙

渦輪葉片於流體中的運轉狀態，並分析出葉片轉速和其參數變化。

具預旋流功能之對轉式水平軸雙渦輪旋轉方向如圖1，雙渦輪進行前後反轉進而提升其相對轉速，使其效率提高，探討預旋流渦輪如圖2，其順時針旋轉去增進後面渦輪效率以及雙端鰭水平渦輪如圖3和圖4，其逆時針旋轉並透過雙端鰭來增進其流場性能，這兩者其葉片數、攻角和兩渦輪間距對於轉矩輸出及輸出功率的影響，並找出對轉式水平軸葉片之最佳化組合設計，最後得出的結果，應用於水平軸的海流發電機，也可以為海流發電機的設計帶來更新穎的構想。

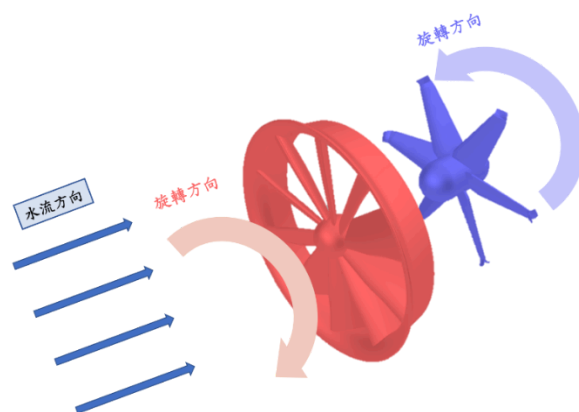


圖1. 預旋流渦輪與雙端鰭水平渦輪旋轉方向

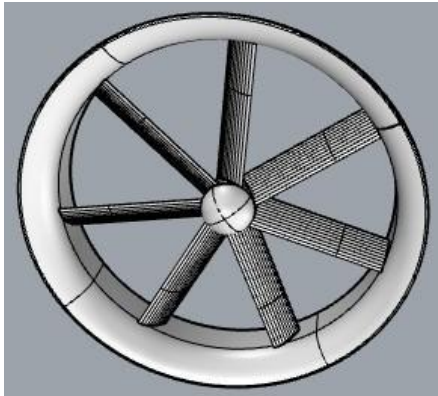


圖2. 預旋流渦輪(Pre-swirl Turbine, PST)

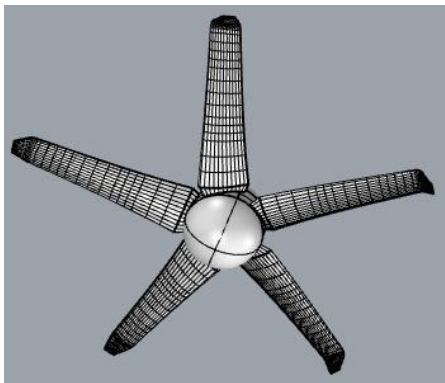


圖3. 雙端鰭水平渦輪(Double End-fin Turbine, DEFT)

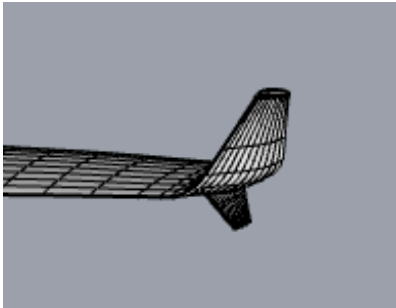


圖4. 雙端鰭之側視圖

研究目的

能源一直以來是文明發展的基石也是生命延續的源泉, 自古以來, 人類活動對於能源的依賴性相當高, 因近幾十年來不可再生能源的大量消耗, 如煤炭、石油、天然氣等化石燃料, 導致能源的短缺以及價格節節攀升的雙重因素作用下, 凸顯可再生資源的必要性。

現今可獲得的可再生資源, 如太陽能、風力、潮汐能、地熱能、水能、生物燃氣, 其中就以太陽能、風力及水力為大宗, 海洋佔地球約70%的面積是最具有潛力來開拓再生資源。

一般來說, 海洋再生資源(Marine Renewable Energy, MRE)包括洋流、波浪、潮汐、溫差和風力等,

台灣為一個海島國家擁有的海洋資源極為豐富, 且因台灣的面積不大所擁有的天然資源並不多, 表示許多不可再生能源的原料需要從國外進口, 跟其他國家相比成本相對較高。

由於台灣四面環海, 因此利用海洋可再生資源來發電對於台灣是相當好的, 台灣的地理位置在使用風能及海洋能上有非常大的優勢。例如:在風能上因鄰近台灣海峽而擁有優良風場, 在海洋能上因台灣東部有向北流經過的黑潮, 它的寬度約為200 km, 平均流速為1.0~2.0 m/s, 黑潮為全年穩定流動之流域, 因此黑潮為台灣海流發電的重要潛在能源

文獻回顧

Seungmin 等人[1]針對反轉式雙葉輪進行研究, 探討風力發電機後葉輪受速度之變化, 根據貝茲定律單葉輪所吸收的最大效率為 59%; 而反轉式渦輪葉片最大效率為 64%, 從他們研究發現產生之功率係數比原本貝茲定律高出 5%。接著以空氣動力學中的渦格法來驗證, 進行雙葉輪及單葉輪的分析, 結果發現雙葉輪之前葉片在葉尖速度比的功率較高, 反觀, 雙葉輪之後葉片為較低。主要是能量被前葉片吸收所導致的, 而雙葉輪效率比單葉片明顯增加 12%。

目前海流渦輪機的葉片主要是透過葉片元動量理論(Blade Element Momentum Theory, BEMT)進行設計, Bahaj等人[2]也證明可以通過這種方法來設計出葉片去研究其流體動力學特性及載荷, 為提高海流渦輪機的工作效率, 在初步設計後往往需要優化, 優化方法多則是利用多島遺傳算法(Multi-Island Genetic Algorithm, MIGA), 尋找性能最佳之模型參數, 基本上是針對葉片弦長、扭轉角、厚度等參數。Pan[3]對海流渦輪機進行了研究, 主要研究三個葉片的水平軸渦輪機在翼型、葉片扭轉角、葉片攻角、弦長周比等不同參數下的影響。結果表明, 渦輪機功率輸出的影響主要受攻角的影響。

Ren等人[4]研究三種帶有小翼的水平軸渦輪機的能量轉換效率, 在葉尖安裝了梯形、三角形及混和型的小翼, 結果發現到三角形的小翼有最佳的功率係數, 在TSR=5時功率係數分別增加3.65%、4.34%及2.01%, 小翼會降低葉尖渦流的產生來提高能量轉換效率

Lec等人[5]對單轉子跟雙轉子進行數值模擬分析, 觀察出隨著距離的增加, 流動分離發生在靠近後緣的位置, 進行數值模擬分析後結果表明, 在1 m/s的情況下雙轉子裝置比單轉子裝置產生的功率輸出更高, 數值結果還分析出雙反向旋轉渦輪機的最大功率輸出提高了3%, 增加水流速度導致功率輸出增加, 但為了獲得最佳的功率輸出, 轉子之間的距離應減少, 數值模擬分析和實驗的最大功率係數分別為0.457和0.456, 輸出功率和功率係數顯示了數值分析和實驗結果的良好一致性, 因此使用這種數值設置, 可以估計不同渦輪葉片設計的性能並模擬更大的反向旋轉渦輪機

模型介紹

本研究使用的葉型為NACA 63-815如圖5, 圖中C為弦長, β 為攻角角度。利用此葉型進行設計製作出具

預旋流功能之對轉式水平軸雙渦輪來進行數值模擬分析, 再以增加雙端鰭葉片

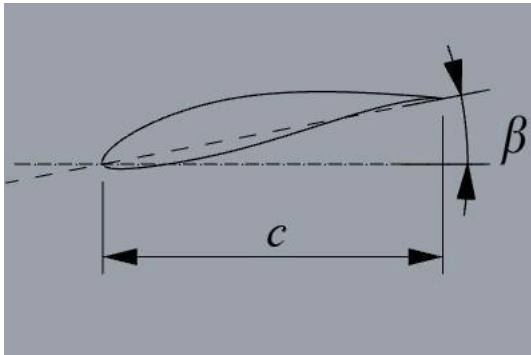


圖5. 葉型NACA 63-815

預旋流渦輪(Pre-swirl Turbine, PST)其最大外徑, D_{PS} 為450 mm, $R_{v,PS}$ 為200 mm, 渦輪中心之輪殼直徑, $D_{v,PS}$ 為80 mm, 預旋葉片攻角, θ 為38°, 兩渦輪之中心間距, H 為150 mm。

雙端鰭渦輪(Double End-fin Turbine, DEFT)其最大外徑, D_{DF} 為380 mm, 渦輪葉片之長度, $R_{v,DF}$ 為190 mm, 渦輪中心之輪殼直徑, $D_{v,DF}$ 為80 mm, 端鰭角度, θ 為60°, 端鰭長度為12 mm。

探討雙端鰭渦輪水平渦輪葉片數, 為 B_{DF} =3及4, 比較不同葉片數的渦輪葉片的性能, 找出不同葉片數之最大功率係數 $C_{p,max}$ 與所對應葉尖速比 TSR 的最佳轉速。將不同葉片數的渦輪機於最佳轉速下探討葉片對

表 2預旋流渦輪與雙端鰭渦輪葉片幾何參數

| Symbol | Description | PST Value | DEFT Value |
|-------------|---------------|-----------|------------|
| D | 渦輪之最大外徑(mm) | 450 | 380 |
| R_v | 渦輪葉片之長度(mm) | 200 | 190 |
| D_v | 渦輪中心之輪殼直徑(mm) | 80 | 80 |
| θ | 端鰭角度 | | 60°, 60° |
| l | 端鰭長度(mm) | | 12, 6 |
| \emptyset | 預旋葉片攻角 | 38° | |
| H | 兩渦輪之中心間距(mm) | 150 | |

研究方法

首先以對轉水平軸葉片文獻分析為基礎, 以及預旋流裝置的原理和作用, 進一步去將兩者結合, 創造出一個新型態的渦輪葉片組合, 再結合關於各式水平軸葉片的研究分析, 依照最佳的各種條件, 接著再以3D繪圖軟體Rhino 6繪製本研究渦輪葉片, 本研究葉片使用的葉型為NACA63-815, 在後方水平葉片繪製出雙端鰭的情形, 前方繪製具預旋流導罩渦輪, 再以分析計算軟體ANSYS Fluent進行模擬海流之性能分析, 進一步了解各種情形之預旋流導罩的性能差異, 探討雙葉輪的葉片數量、葉片攻角, 進而找出適合的相關

流場之影響, 將流場狀態以流線場、壓力場及速度場分佈圖呈現並說明。

探討雙端鰭水平渦輪前方加入預旋流渦輪後, 將針對葉片數量, 分別為 B_{PS} =3、4、5、6及7進行性能分析比較, 找出不同葉片數的渦輪發電機之最大功率係數 $C_{p,max}$ 與所對應葉尖速比 TSR 的最佳轉速, 將不同葉片數的渦輪機於最佳轉速下探討葉片對流場之影響, 將流場狀態以流線場、壓力場及速度場分佈圖呈現並說明

表 1雙端鰭葉片之各截面參數

| r (mm) | c (mm) | β (deg) |
|----------|----------|---------------|
| 0 | 30 | 20 |
| 50 | 60 | 20 |
| 90 | 50 | 19 |
| 130 | 40 | 19 |
| 170 | 30 | 18 |
| 190 | 25 | 18 |

參數。在相同的海流流速下, 找出適合雙葉輪之葉片數量、攻角、葉片中心距離及葉輪直徑比, 求得轉矩隨葉輪轉速之變化, 進而求得葉輪之功率輸出和功率係數。

研究方法以三維3D模型在套裝軟體ANSYS FLUENT 進行模擬, 求得壓力場、速度場、各葉輪之轉矩, 設定不同幾何參數之計算, 用Navier-Stokes 方程式求解不可壓縮流體之速度與壓力, 根據統御方程式中的連續方程式及動量方程式進行數值運算; 設定流速 1m/s 及邊界條件, 以錶壓力出口為零來定義, 運算出雷諾數當成選用紊流模式 Standard k- ϵ 模組之參考, 接著分析不同葉尖轉速下之葉輪之轉矩大小, 進

而算出較佳之功率係數及適合的轉速，希望本模擬的參數分析之結果，未來可運用於海流發電系統作為大型化葉片設計之參考。

性能分析

為了有效的了解水平軸渦輪機之能量轉換效率，因此當流體流經渦輪機後，所產生的功率可表示為如式(1)所示

$$P_{out} = T \times \omega \quad (1)$$

其中 P_{out} 為渦輪機之輸出功率， ω 為渦輪機之角速度(rad/s)， T 為渦輪機之扭矩(N-m)。

為了能夠判斷出渦輪機之功率輸出，較常用功率係數(Power Coefficient, C_p)作為重要的參考指標之一，其公式如式(2)所示

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{T \times \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (2)$$

其中 ρ 為流體之密度， A 為渦輪機之掃略面積， V 為流體之流速，根據德國物理學家貝茲所提出的貝茲理論(Betz's Theory)表示，任何渦輪機所能從流體提供的動能中，最大功率係數約為59%，因為到如今為止各種風力發電機之功率係數都無法達到貝茲所提出的理論數值，因此被大家所認為這是渦輪機之功率係數的極限值，亦被稱作為貝茲極限(Betz limit)。

另外，為了能夠更容易比較出渦輪機在流體中之轉速，常用無因次化之參數葉尖速比(Tip speed ratio, TSR)，其公式如式(3)所示

$$TSR = \frac{\omega \times R}{V} \quad (3)$$

其中 R 為渦輪機之最大外徑，在設計葉片時， TSR 就被廣泛用來作為一重要參數，配合扭矩、輸出功率及功率係數等參數，就能夠得到不同尺寸下的最佳化之設計。

理論與數值方法

在計算流體力學中，連續方程式(Continuity equation)及動量守恆方程式(Momentum equation)是統御方程式之中的基礎，其統御方程式是以數值方法來求解，並利用數值方法表達物理性質守恆，其連續方程式表示方法如下。

連續方程式又可稱為質量守恆方程式，其定義為，其公式如式(4)所示：

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

其中， u 、 v 、 w 為 x 、 y 、 z 上之速度向量(m/s)。

由於本論文是用穩態去進行數值分析，故分析不隨時間改變而變化，因此將上式改寫成式(5)

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

動量守恆方程式(Momentum equations)，根據牛頓第二運動定律，動量變化率等於作用在流體上的力，其方程式如下，其公式如式(6)、(7)及(8)所示：

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (7)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (8)$$

其中， p 為壓力(Pa)， g 為重力加速度(m/s²)， u 、 v 、 w 為 x 、 y 、 z 方向之速度向量。

並將連續方程式與動量方程式進行聯立計算，即可將 u 、 v 、 w 、 p 四個未知物理量求出。

在流體力學當中，為了求出流場之速度及壓力，經常用流體力學中的連續方程式(Continuity equations)以及動量方程式進行求解，其中動量方程式又稱為納維爾史托克方程式(Navier-Stokes equations)，假設流場性質為穩態、不可壓縮之紊流模型中，動量守恆方程式則是以雷諾平均納維爾史托克方程式

(Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, RANS)表示為如式(9)所示

$$\frac{\partial(\overline{\rho u_i u_j})}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{\rho u_i u_j} \right) + S_i \quad (9)$$

其中， $-\overline{\rho u_i u_j}$ 為雷諾應力，下標的 i, j 為 x, y 之分量， S_i 是原項， p 表示為流體壓力。

本文主要探討具預旋流功能之對轉式水平軸雙渦輪之流能轉換效率，假設海水流動為水平方向，流速為穩定且海水溫度為常數，並利用商用模擬軟體 ANSYS FLUENT 進行模擬分析，採用計算流體力學之方法為有限體積法，藉由將模型網格化，依控制體積離散化後進而求出具預旋流功能之對轉式水平軸雙渦輪的流線場、速度場以及壓力場之分布情形，進而求出流場中各物理參數。

模擬分析

數值模擬完成後計算得出的大量數據，為了能夠更清楚看出速度、壓力和流線分佈圖，利用 ANSYS Fluent 的後處理(Post-process)功能進行數據處理，並藉由其將求出的數據進行繪製出速度場、壓力場及流線場分佈圖，再將計算出之扭矩 T (N-m)及轉速 ω (rad/s)等物理量，以套裝軟體 Tecplot 繪製成 X-Y 圖和 3D 等輪廓圖。

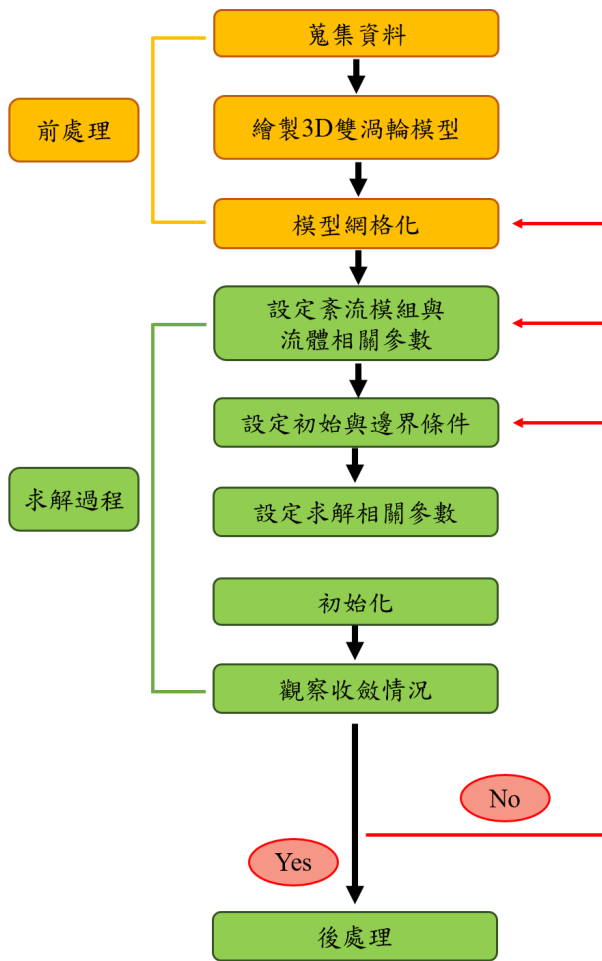


圖6. 研究方法流程圖

本研究水平軸渦輪應用於洋流發電，圖為模擬中的計算區域如圖7，其中包括流場和旋轉流體，流場區域及旋轉流體皆是用圓柱體。預旋流渦輪直徑 D_{PS} 為主要特徵長度參數，其旋轉流體直徑為 $1.2 D_{PS}$ ，流場區域的長度則是 $12 D_{PS}$ ，其直徑為 $2.5 D_{PS}$ ，雙端鰭渦輪直徑 D_{DF} 其旋轉流體直徑為 $1.2 D_{DF}$ ，其他詳細尺寸如圖8所示。

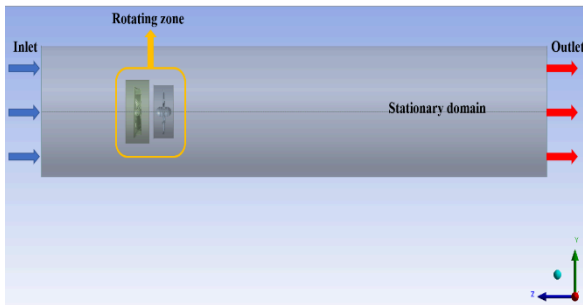


圖7. 流場計算區域

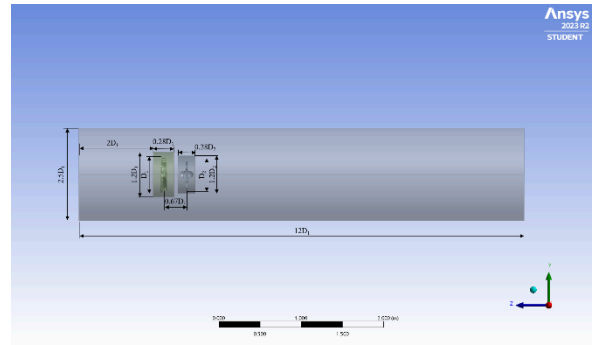


圖8. 流場計算區域尺寸

為了要讓求出的數值更精確，求出流體作用於葉片上的速度、壓力、扭矩及流場變化，將模型切割成數個網格，並透過數個網格交叉計算得流場之物理量。本研究之幾何模型較複雜，使用非結構型的四面體網格來計算。為流場網格的立體分布圖，圖中有一個網格密度高的區塊是模型的旋轉流體區域，可以從流場網格分布圖的側視圖，如圖9所示，流體從模型的左邊進入，到右邊流出。

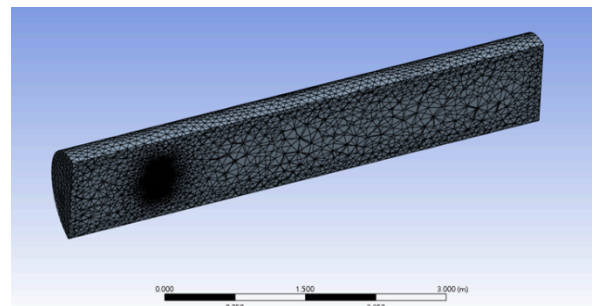


圖9. 雙渦輪流場網格分布

結果與討論

本研究主要探討雙端鰭水平軸渦輪之葉片前方增加反轉後方50%轉速的預旋流渦輪對渦輪機整體性能之影響，並進行流場分析與功率係數之探討。

性能分析

圖10為DEFT, $B_{DF}=3$ 增加PST之角速度與扭矩關係圖，由圖中可以發現，在DEFT, $B_{DF}=3$ 時，其扭矩的變化是不太明顯的，在PST, $B_{PS}=3$ 時，其增進扭矩的程度相對其他組合還來的優異。

圖11為DEFT, $B_{DF}=3$ 增加PST之角速度與功率關係圖，由圖中可以發現，在單獨DEFT, $B_{DF}=3$ 時，其扭矩是相對最低的，增加PST渦輪後，扭矩都有相當程度的提升效果，其中在PST, $B_{PS}=3$ 時，其增進扭矩的程度相對其他組合還來的大，其扭矩的峰值提升了17%，最佳轉速也從 $\omega=8(\text{rad/s})$ 提升到 $\omega=9(\text{rad/s})$ 。

圖12及圖13分別為單獨DEFT, $B_{DF}=3$ 及DEFT, $B_{DF}=3$ 增加PST, $B_{PS}=3$, $V=1 \text{ m/s}$, DEFT在最佳轉速時的流線場分布。

圖14及圖15分別為單獨DEFT, $B_{DF}=3$ 及DEFT, $B_{DF}=3$ 增加PST, $B_{PS}=3$, $V=1$ m/s, DEFT在最佳轉速時的速度場分布。

圖16及圖17分別為單獨DEFT, $B_{DF}=3$ 及DEFT, $B_{DF}=3$ 增加PST, $B_{PS}=3$, $V=1$ m/s, DEFT在最佳轉速時的壓力場分布。

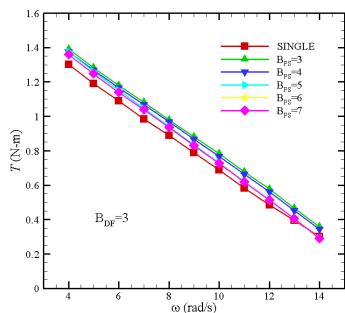


圖10 搭配預旋流葉片數 $B_{PS}=3$ 、4、5、6及7的 ω 與 T 之關係

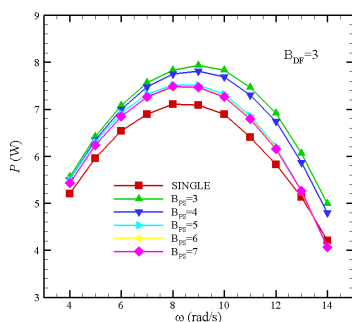


圖11 搭配預旋流葉片數 $B_{PS}=3$ 、4、5、6及7的 ω 與 P 之關係

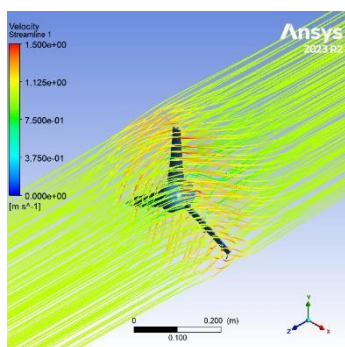


圖12 單一雙端鰭葉片數 $B_{DF}=3$ 時之流線場

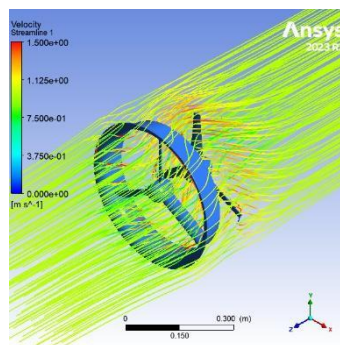


圖13 搭配預旋流葉片數 $B_{PS}=3$ 以50% ω 之流線場

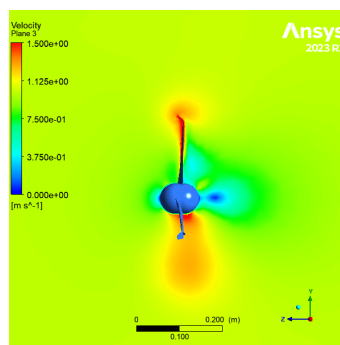


圖14 單一雙端鰭葉片數 $B_{DF}=3$ 時之速度場

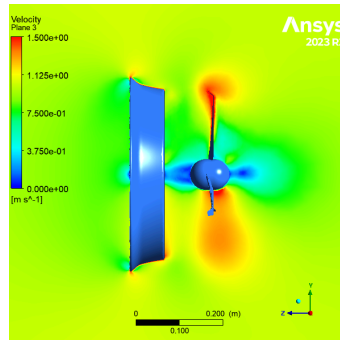


圖15 搭配預旋流葉片數 $B_{PS}=3$ 以50% ω 之速度場

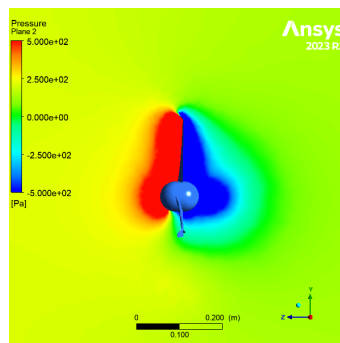


圖16 單一雙端鰭葉片數 $B_{DF}=3$ 時之壓力場

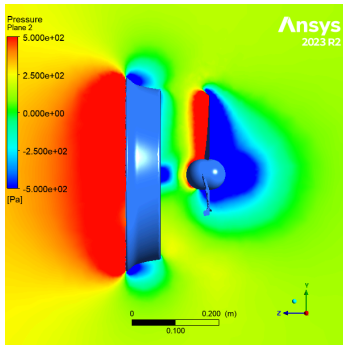


圖17 搭配預旋流葉片數 $B_{PS}=3$ 以 $50\% \omega$ 之壓力場

圖18為DEFT, $B_{DF}=4$ 增加PST之角速度與扭矩關係圖, 由圖中可以發現, 在DEFT, $B_{DF}=4$ 時, 其扭矩有明顯的變化, 在圖中可以發現說在PST PST渦輪, $B_{PS}=4$ 及5, 扭矩是相對單獨DEFT, $B_{DF}=4$ 時還要來的低, 但PST渦輪葉片數在3葉時, 其增進扭矩的程度, 相對其他組合表現得出有顯著的提升。

圖19為DEFT, $B_{DF}=4$ 增加PST之角速度與功率關係圖, 由圖中可以發現, 在單獨DEF, $B_{DF}=4$ 時, 其扭矩是比DEFT, $B_{DF}=3$ 有所增加, 但增加PST渦輪後, 扭矩不一定是正向的提升, 可以發現說PST渦輪, $B_{PS}=4$ 及5, 在扭矩的增益中是有反效果的, 反而比獨DEFT渦輪葉片數在4葉時還來的低, 但在PST, $B_{PS}=3$ 時, 其增進扭矩的程度相對其他組合還來的大, 其扭矩的峰值提升了40%, 最佳轉速也從 $\omega=8(\text{rad/s})$ 提升到 $\omega=11(\text{rad/s})$ 。

圖20及圖21分別為單獨DEFT, $B_{DF}=4$ 及DEFT, $B_{DF}=4$ 增加PST, $B_{PS}=3$, $V=1 \text{ m/s}$, DEFT在最佳轉速時的流線場分布。

圖22及圖23分別為單獨DEFT, $B_{DF}=4$ 及DEFT, $B_{DF}=4$ 增加PST, $B_{PS}=3$, $V=1 \text{ m/s}$, DEFT在最佳轉速時的速度場分布。

圖24及圖25分別為單獨DEFT, $B_{DF}=4$ 及DEFT, $B_{DF}=4$ 增加PST, $B_{PS}=3$, $V=1 \text{ m/s}$, DEFT在最佳轉速時的壓力場分布。

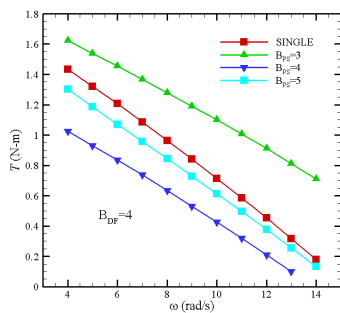


圖18 搭配預旋流葉片 $B_{PS}=3, 4$ 及5的 ω 與 T 之關係

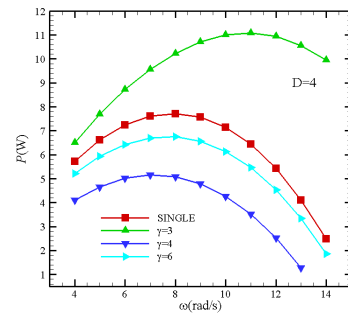


圖19 搭配預旋流葉片 $B_{PS}=3, 4$ 及5的 ω 與 P 之關係

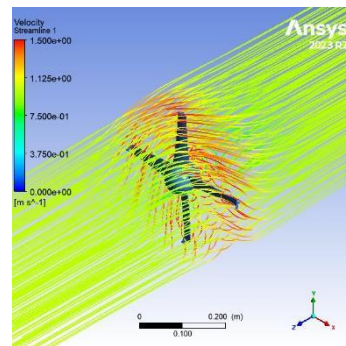


圖20 單一雙端鰭葉片 $B_{DF}=4$ 時之流線場

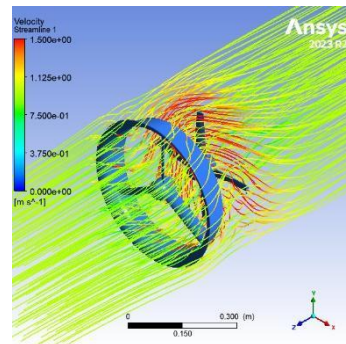


圖21 搭配預旋流葉片 $B_{PS}=3$ 以 $50\% \omega$ 之流線場

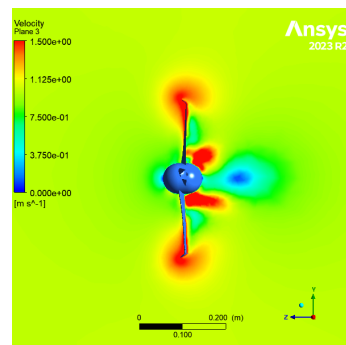


圖22 單一雙端鰭葉片 $B_{DF}=4$ 時之速度場

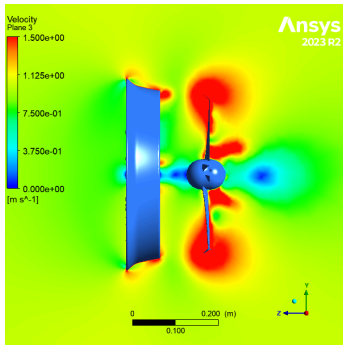


圖23 搭配預旋流葉片數 $B_{PS}=3$ 以50% ω 之速度場

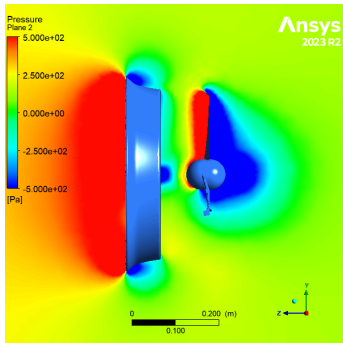


圖24 單一雙端鰭葉片 $B_{DF}=4$ 時之壓力場

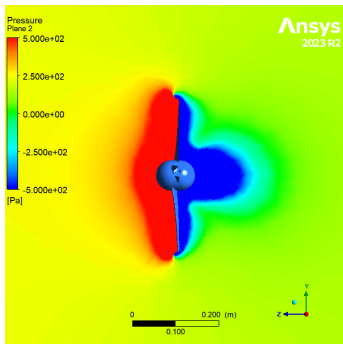


圖25 搭配預旋流葉片 $B_{PS}=3$ 以50% ω 之壓力場

圖26為DEFT, $B_{DF}=3$ 增加PST, $B_{PS}=3, 4, 5, 6$ 及7之 TSR 與功率係數關係圖, 由圖中可以發現單獨DEFT的功率係數是較低的, 增加PST後都有所提升, 其中以PST, $B_{PS}=3$ 最為明顯。

圖27為DEFT, $B_{DF}=4$ 增加PST, $B_{PS}=3, 4$ 及5之 TSR 與功率係數關係圖。

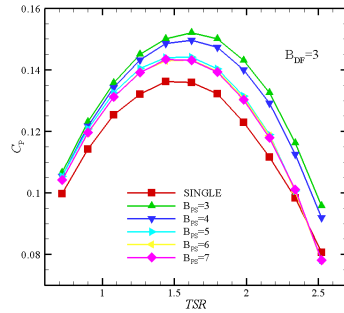


圖26 雙端鰭葉片 $B_{DF}=3$ 時, 配合預旋流葉片 $B_{PS}=3, 4, 5, 6$ 及7的 TSR 與 C_p 之關係

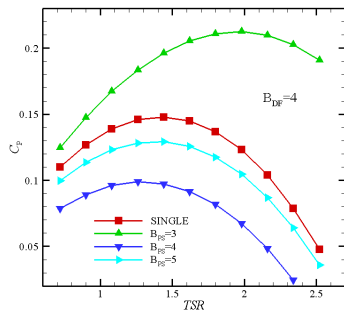


圖27 雙端鰭葉片 $B_{DF}=4$ 時, 配合預旋流葉片 $B_{PS}=3, 4$ 及5的 TSR 與 C_p 之關係

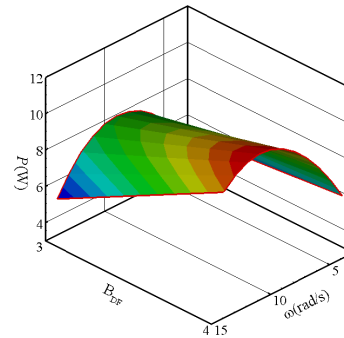


圖28 預旋流葉片 $B_{PS}=3$, 配合不同雙端鰭葉片數的功率輸出

分析結果討論

在本研究中, 主要為探討將雙端鰭水平軸渦輪增加預旋流渦輪進行數值模擬比較, 並得出兩種渦輪的最佳化之設計參數, 進一步探討其性能。

1. DEFT, $B_{DF}=4$ 與PST, $B_{PS}=3$, 流速 $V=1$ m/s的情況下, 可以發現到DEFT在 $TSR=1.98$ 時有最佳功率係數 $C_p=0.212$ 。
2. DEFT, $B_{DF}=4$ 與PST, $B_{PS}=3$, 流速 $V=1$ m/s的情況下, 可以發現到DEFT在最佳轉速為 $\omega=11$ (rad/s)時有最佳功率輸出 $P=11.08$ (W)。

參考文獻

- [1]Lee S, Son E, Lee S. Velocity interference in the rear rotor of a counter-rotating wind turbine. *Renewable Energy* 2013;54:235-40.
- [2]Bahaj AS, Batten WMJ, McCann G. Experimental verifications of numerical predic-tions for the hydrodynamic performance of horizontal axis marine current turbines. *Renewable Energy*. 2007;32:2479-90.
- [3]Almohammadi KM, Ingham DB, Ma L, Pourkashan M. Computational fluid dynamics (CFD) mesh independency techniques for a straight blade vertical axis wind turbine. *Energy*. 2013;58:483-93.
- [4]Ren Y, Liu B, Zhang T, Fang Q. Design and hydrodynamic analysis of horizontal axis tidal stream turbines with winglets. *Ocean Engineering*. 2017;144:374-83..
- [5]Lee NJ, Kim IC, Kim CG, Hyun BS, Lee YH. Performance study on a counter-rotating tidal current turbine by CFD and model experimentation. *Renewable Energy*. 2015;79:122-6.
- [6]Taveira-Pinto F, Rosa-Santos P, Fazeres-Ferradosa T. Marine renewable energy. *Renewable Energy*. 2020;150:1160-4.
- [7]Wang X, Yan Y, Wang W-Q, Hu Z-P. Evaluating energy loss with the entropy production theory: A case study of a micro horizontal axis river ducted turbine. *Energy Conversion and Management*. 2023;276.
- [8]Wang W-Q, Song K, Yan Y. Influence of interaction between the diffuser and rotor on energy harvesting performance of a micro-diffuser-augmented hydrokinetic turbine. *Ocean Engineering*. 2019;189.
- [9]Magedi Moh. M. Saad NA. Comparison of Horizontal Axis Wind Turbines and Vertical Axis Wind Turbines. *IOSR Journal of Engineering*. 2014;4.
- [10]Das A, Chimonyo KB, Kumar TR, Gourishankar S, Rani C. Vertical axis and horizontal axis wind turbine- A comprehensive review. 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS 2017, August 1, 2017 - August 2, 2017. Chennai, India: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2017. p. 2660-9.
- [11]Ren Y, Liu B, Zhang T, Fang Q. Design and hydrodynamic analysis of horizontal axis tidal stream turbines with winglets. *Ocean Engineering*. 2017;144:374-83..
- [12]Chen B-F, Chen L-C, Huang C-c, Jiang ZL, Liu J-Y, Lu S-y, et al. The deployment of the first tidal energy capture system in Taiwan. *Ocean Engineering*. 2018;155:261-77.

The performance investigation of the horizontal axis turbine with pre-swirl function of twin contrary-rotation impellers for energy conversion in ocean current

Huang YJ Yang MH***

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineerin,
National Kaohsiung University of Science and Technology

**Department of Naval Architecture and Ocean Engineerin,
National Kaohsiung University of Science and Technology

Keywords: ocean current energy, horizontal axis turbine, pre-swirl, CFD, double-ended fin blade turbine

ABSTRACT

In the past ten years, human beings demand for energy has been increasing day by day, which shows that the importance of renewable energy has increased. The most important issue at present is to improve the use of renewable energy more efficiently. This article is aimed at the research direction of ocean current power generation. This research direction is currently Mainly horizontal axis turbine generators, the appearance and development of turbine blades have become mature. Therefore, if we want to make more breakthroughs, we must start from other aspects. The pre-swirl is a fixed blade installed in front of the ship's propeller. It generates a pre-swirl flow in the opposite direction of the propeller's rotation to recover the energy loss in the rotation direction and increase the thrust of the ship. It increases propulsion capacity by 2% to 6% and also reduces ship fuel consumption. Pre-swirl have been used in ships to improve efficiency, but no one has yet installed a pre-swirl into a horizontal axis turbine generator for ocean current power generation.

This article uses numerical simulation analysis to study the power generation performance of the counter-rotating horizontal axis twin turbine blades with the pre-swirl function, so that the pre-swirl can also rotate freely, turning into a counter-rotating twin turbine design, allowing the ocean current to flow through the two turbine blades. Causes reverse rotation, so it can increase the fluid energy conversion effect and the relative speed of the generator. The two turbine blades of the model design are composed of a pre-swirl turbine in the front, and a double-ended fin horizontal turbine blade is installed at the back. The design features are The slender turbine blades originally used underwater are widened to increase the effective area of the blades that can capture the water flow, improve flow energy conversion, and add a pre-swirl turbine to improve the efficiency of water flow propulsion, and then use the computational fluid dynamics suite The Fluent module of the software ANSYS simulates the operating status of the twin turbine blades in the fluid, and analyzes the blade speed and parameter changes, After analyzing horizontal axis turbine with pre-swirl function of twin contrary-rotation, we can see that when PST, $\gamma=3$ and DEFT, D=4, the power of the DEFT is improved compared to that of a single double-fin horizontal turbine. 40%