

臺中港液化天然氣載運船進出港作業機率探討

羅冠顯 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員
蔡立宏 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
陳子健 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究助理

摘要

近年由於世界能源日漸短缺，天然氣 (Liquefied Natural Gas, LNG) 等新興能源逐漸受到重視，天然氣經低溫液化處理，透過船隻、車輛及天然氣輸送管線等途徑運送至目的地，本研究以台灣中油股份有限公司（以下簡稱中油）臺中港液化天然氣廠為研究範疇，並以交通部運輸研究所港灣技術研究中心（以下簡稱港研中心）臺中港海氣象資料為分析樣本，分析臺中港液化天然氣載運船 (LNG Carrier, 以下簡稱 LNG 船)，於不同月份、季節及作業時段可進出港作業機率。

研究顯示，12 月作業機率最低，5~8 月機率較高，以 10 時~18 時時段為例，10 月時東北季風逐漸增強，作業機率曲線呈現明顯下降趨勢，作業機率於各延時較 9 月減少約 30%，11 月作業機率小幅上升後於 12 月再降低，直至隔年 2 月東北季風稍微趨緩後，作業機率逐漸增加，於 5~8 月達到作業機率高峰，9 月後再逐漸降低。本研究將各月延時機率分佈採迴歸分析，所求得迴歸公式可用於推估臺中港 LNG 船，於某特定月份及時段欲進出港作業時可能之作業機率，惟仍需經長期驗證，或增加其他變異因素，提升推估準確率。本研究提出 LNG 船在不同月份、季節及時段作業機率，相關研究成果可做為 LNG 船於管理、調度與分析評估應用參採。

一、緣起及目的

臺中港為臺灣主要國際商港，為我國南北交通航線中心，中油於 2003 年 10 月取得台灣電力公司大潭電廠供氣合約，並於 2004 年 7 月開始著手興建臺中港液化天然氣廠，於 2009 年 7 月正式啟用後，開始上線供應予國內天然氣市場。

LNG 船為設計專門用以運送液化天然氣之液貨船，有關 LNG 船卸載、運送及航行條件均有明確相關規定，如「臺中港液化天然氣船進出港與繫泊作業規定」，即依據商港法與商港港務管理規則，明確定義出 LNG 船進出臺中港作業條件及限制，而有關不同海事作業目的與海氣象環境及作業延時相關性分析，以往亦有學者針對此部分提出論述，如朱等人 (2000) 就波浪、風速及過繼時間對可工作日數之個別及共同影響進行研究，估算各種影響因素的發生機率特性，推導可工作日數，加入過繼時間之影響，以龍洞海域實測海氣象資料為例，估算其可工作日數。黃等人 (2012) 以 SWAN 模式推算 1948~2008 年臺灣周邊海域可工作天數，以有義波高 0.6 m 為門檻，探討每個月波高小於該門檻並且持續 6、12、18、24 小時等 4 種延時條件發生機率。陳等人 (2018) 採用波浪擾動模擬 (MIKE 21 BW) 與大範圍長期波浪模式 (MIKE 21 SW) 對桃園觀塘海域施工區域之不可作業時間進行分析，以不同海上作業項目做為波高標準區隔，統計不可作業時間。

本研究依據「臺中港液化天然氣船進出港與繫泊作業規定」，參考前人相關

研究，分析港研中心臺中港歷年風波流場資料，探討臺中港 LNG 船於不同月份、季節及時段可能之作業機率，做為臺中港 LNG 船管理調度應用參考。

二、港區海氣象觀測系統

臺灣位處歐亞大陸與太平洋交界處，氣候廣受季風影響，我國現有基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港、澎湖港、馬祖港及金門港等商港，各港海氣象受地理位置、季風及颱風影響變化萬千，特性均不相同，港研中心已陸續於前述商港布建海氣象監測設備，做為商港港區施工、工程規劃設計、防災應變、事故釐清及船舶航行安全應用，提升船舶進出港及停泊之航行安全，維持營運航線、垂釣及遊憩區人員安全。

本研究選用臺中港北堤防外底碇式波流觀測儀 AWAC (Acoustic Wave and Current profiler) 及北堤防綠燈塔風速觀測儀所蒐集風波流場資料，並參考「臺中港液化天然氣船進出港與繫泊作業規定」，探討臺中港 LNG 船之作業機率，有關波流與風力觀測系統架設位置，如圖 1 所示。

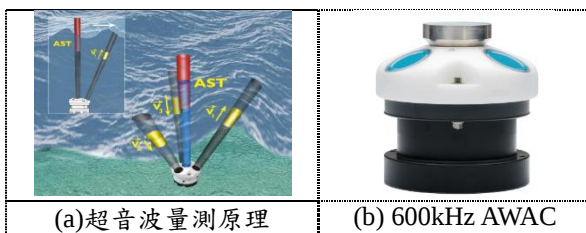


圖 1 臺中港海氣象觀測站位置圖

本研究用於執行波流場監測觀測儀器 AWAC 由挪威 Nortek 公司生產，其原理係透過儀器上方音鼓，量測設置地點波浪及海流粒子運動情形（如圖 2 所

示），臺中港波流觀測儀設置於北防波堤堤頭外約 700~800 公尺處，觀測水深約 30 公尺，並選用 600kHz 型號執行該海域波流觀測作業。

剖面海流量測間距設定為 1 公尺，於每小時第 0 分鐘至 10 分鐘連續量測 600 秒，再將總和平均代表其每一間距層之海流剖面流速及流向等資料，波浪的取樣頻率為 1Hz，每小時取樣 2048 筆（第 10 分鐘至 44 分鐘）資料，量測取得之資料再做整合而得到波高、波向及週期等資料。



（圖片來源：AWACuser manual）

圖 2 AWAC 波流儀觀測原理及儀器示意

風速觀測儀架設於北防波堤堤頭綠燈塔塔頂，觀測儀器採用英國 GILL 公司生產之 WindObserver 二維超音波式風速風向儀，資料擷取頻率為 1Hz，蒐集臺中港海域不同時段平均風速、平均風向、最大陣風及最大陣風時風向等數值，如圖 3 所示。



（圖片來源：GILLuser manual）

圖 3 GILL WindObserver 二維超音波式風速風向儀

三、臺中港 LNG 船進出港作業機率分析

3.1 統計方式

為提升分析資料可信度，本研究定義風波流觀測站每月資料蒐集率至少需達 7 成，未達此標準將不列入統計分析樣本，資料分析區間為 2005 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日，其間共蒐集風速 119,471 筆，波浪波高 110,764 筆，海流流速 110,764 筆等資料，做為本次分析主要樣本，資料筆數及蒐集率，如表 1 所示。

本研究風速資料係取整點前 10 分鐘內風速數據加以統計，而得出該區間內平均風速；波浪波高的取樣頻率為 1 Hz，每小時取樣 2,048 筆，而獲得該小時波高數據；海流流速係指觀測期間表層（上層 1/3 海流）海流流速平均值。

表 1 分析資料樣本數及蒐集率統計表

	風速	波高	流速
樣本數 (時)	119,471	110,764	110,764
蒐集率 (%)	85.24	79.03	79.03

依據「臺中港液化天然氣船進出港與繫泊作業規定」，該規定第 3 點針對臺中港 LNG 船進出港口作業海氣象條件及時段均有限制，如進出港海氣象環境或時段不符合此作業條件，原則不開放船舶進出港作業，限制條件如下：

- (1) 平均風速超過 15 公尺/秒。
- (2) 海流流速大於 2.5 節。
- (3) 北防波堤示性波高大於 2.5 公尺。
- (4) LNG 船限於白天且天候良好情況下進出港，並安排以日出後至早上

7 時及早上 10 時至日落前之時段進出港為原則。

本研究參考交通部中央氣象局所發佈臺中地區日出日落時刻表，將日出時間定義為上午 5 時整，日落時間定義為下午 6 時整，每日劃分為 5 時~7 時及 10 時~18 時兩區段分析，探討 LNG 船於不同月份、季節與時段可進出臺中港作業機率，作業機率估算公式如式(1)所示。有關季節定義，12 月至 2 月為冬季，3 月至 5 月為春季，6 月至 8 月為夏季，9 月至 11 月為秋季，以此原則執行分析。

$$\text{作業機率} = \left(\frac{\text{符合連續 } N \text{ 小時筆數}}{\text{資料總筆數}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

3.2 工作機率分析探討

本研究將資料分為 5 時~7 時及 10 時~18 時兩區塊分別探討。

3.2.1 5 時~7 時時段機率分析

圖 4~圖 15 為臺中港 12 月份 5 時~7 時時段，不同延時條件下之機率分佈，圖中橫軸代表延時，縱軸代表作業機率，顯示可提供 LNG 船進出臺中港作業機率 (Probability) 隨著作業延時 (Time Lag) 增加而於各月呈現不同程度遞減趨勢，將各月以線性迴歸分析，由各圖斜率發現，10~2 月作業機率變化程度最高，因現場海氣象環境於短時間內急遽改變，導致作業機率呈大幅度下降，以 1~2 月為例，作業延時 3 小時較 1 小時之作業機率低約 10%，即 3 天。4~9 月不同延時變化趨勢較平緩，作業延時 1~3 小時均有約 9 成以上作業機率，如不考慮颱風事件所造成短延時影響，臺中港 LNG 船於 4~9 月間可有相對較佳之作業機率。

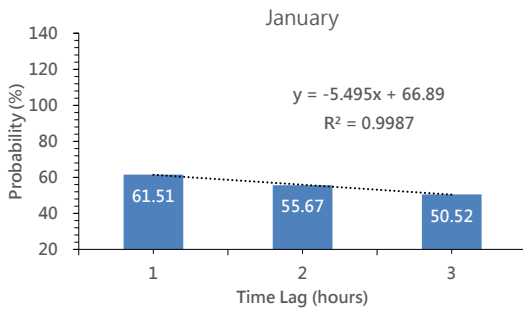


圖 4 1 月不同延時作業機率分佈圖

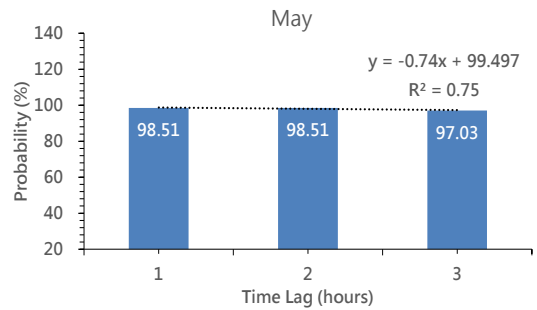


圖 8 5 月不同延時作業機率分佈圖

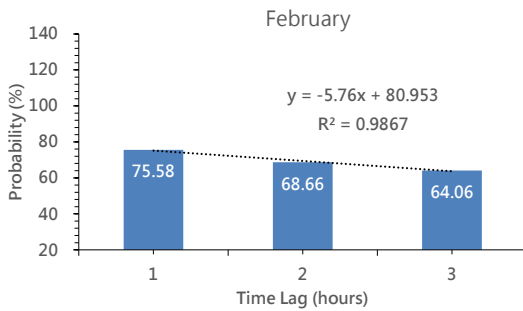


圖 5 2 月不同延時作業機率分佈圖

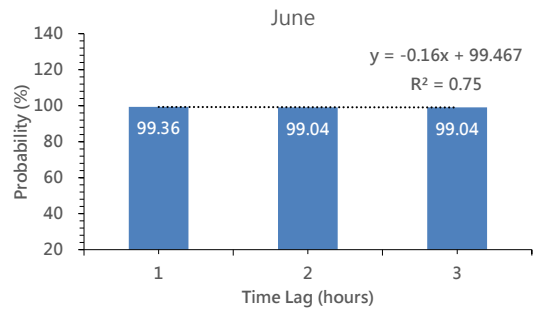


圖 9 6 月不同延時作業機率分佈圖

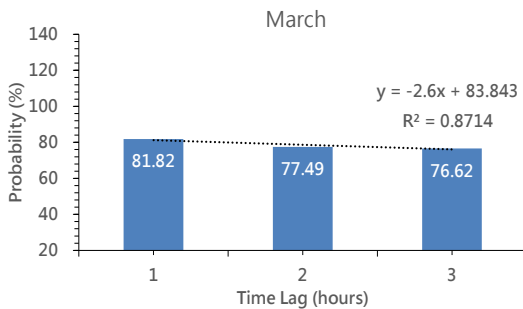


圖 6 3 月不同延時作業機率分佈圖

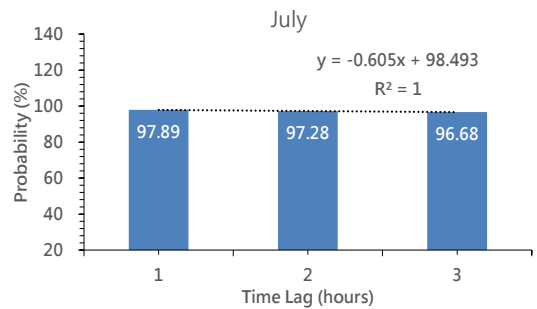


圖 10 7 月不同延時作業機率分佈圖

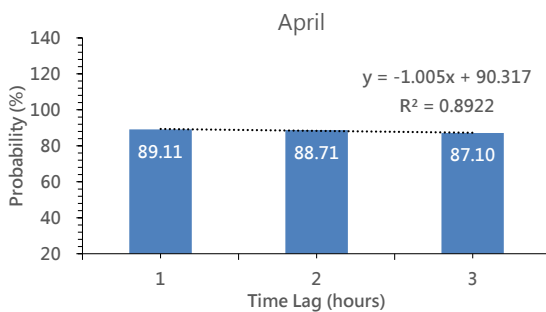


圖 7 4 月不同延時作業機率分佈圖

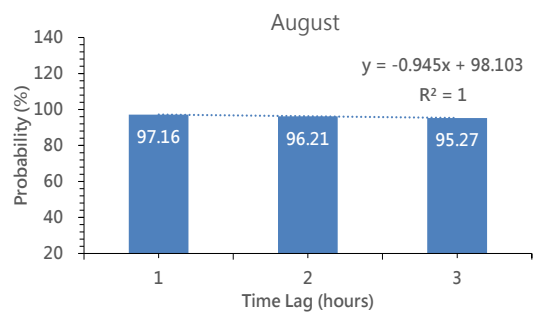


圖 11 8 月不同延時作業機率分佈圖

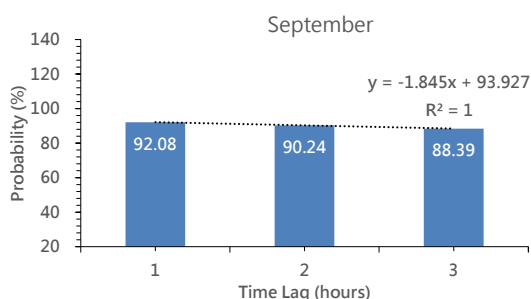


圖 12 9 月不同延時作業機率分佈圖

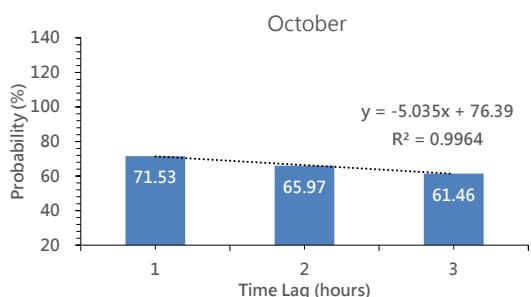


圖 13 10 月不同延時作業機率分佈圖

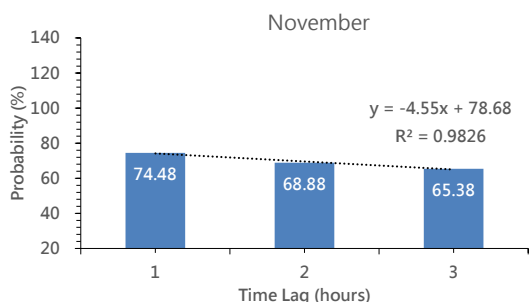


圖 14 11 月不同延時作業機率分佈圖

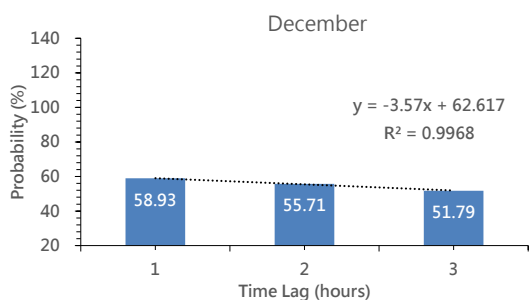


圖 15 12 月不同延時作業機率分佈圖

本研究分析臺中港近 16 年風波流氓資料，各月份經線性迴歸，相關係數 R^2 約落在 0.75~1.0。表 2 為各月份迴歸

公式及相關係數 R^2 ，可用於推估臺中港域 LNG 船，於某特定月份欲進出港作業時，該月在 5 時~7 時時段內之可能作業機率，以 2021 年 10 月為例，如有 1 艘 LNG 船約需 1.5 小時作業時間，則該船約有 21 天作業天數，可提供船商或管理調度單位規劃。此方法雖可約略推估某月可能之作業機率，惟仍需經長期驗證，或增加其他變異因素，以提升推估準確率。

表 2 各月迴歸公式及相關係數 R^2 表

月份	迴歸公式	相關係數 R^2
1	$y = -5.495x + 66.89$	0.9987
2	$y = -5.76x + 80.953$	0.9867
3	$y = -2.6x + 83.843$	0.8714
4	$y = -1.005x + 90.317$	0.8922
5	$y = -0.74x + 99.497$	0.75
6	$y = -0.16x + 99.467$	0.75
7	$y = -0.605x + 98.493$	1.00
8	$y = -0.945x + 98.103$	1.00
9	$y = -1.845x + 93.927$	1.00
10	$y = -5.035x + 76.39$	0.9964
11	$y = -4.55x + 78.68$	0.9826
12	$y = -3.57x + 62.617$	0.9968

表 3 及圖 16~圖 19 為本分析時段季節機率分佈情形，橫軸為作業延時，縱軸為作業機率，春季於不同延時條件下均有 85% 以上作業機率，即 78 天以上作業天數；夏季機率最高，於 1~3 小時作業延時分析皆超過 97%，即約 90 天；秋季因受東北季風影響，不同延時作業機率皆未達 80%，作業機率較夏季減少約 20%；冬季因東北季風越發強勁，海氣象環境不利於 LNG 船作業，延時 1 小時之作業機率約 65%，延時 3 小時之作業機率僅餘 55%，即整季僅有約 50 天可供規劃，如將夏季與冬季在 1~3 小時延時條件下比較，兩季作業機率相差約為 1。

5 倍。將各季在不同延時條件下之作業機率，彙整如圖 20，圖中橫軸為季節，縱軸為作業機率，藍色實線為延時 1 小時分析結果，紅色虛線為延時 2 小時，綠色實虛線為延時 3 小時各月份機率分佈情形，可發現作業機率於秋冬季節，呈現較大幅度減少，各作業延時間機率差異也愈加明顯，表示風波流場逐時變化幅度較大，短延時內港域海氣象環境即可能產生劇烈之變動，因而影響船舶操船及調度，相對秋冬兩季，春季及夏季各延時間變化相較為平緩，有利於 L NG 船進出港作業規劃調度。

表 3 四季不同延時作業機率(%)

季節	1 小時	2 小時	3 小時
春季	89.81	88.24	86.92
夏季	98.14	97.51	97.00
秋季	79.36	75.03	71.74
冬季	65.34	60.01	55.46

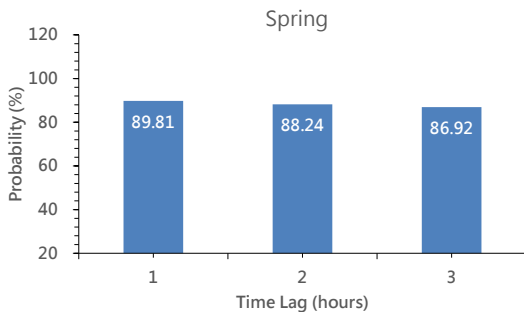


圖 16 春季不同延時作業機率分佈圖

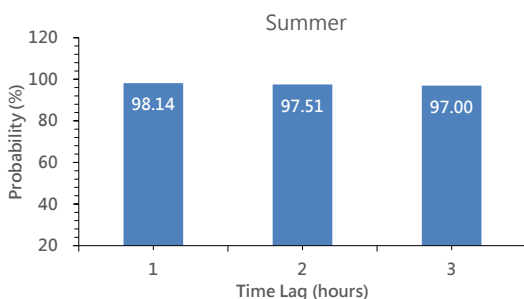


圖 17 夏季不同延時作業機率分佈圖

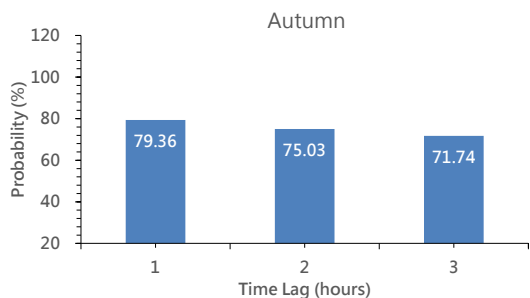


圖 18 秋季不同延時作業機率分佈圖

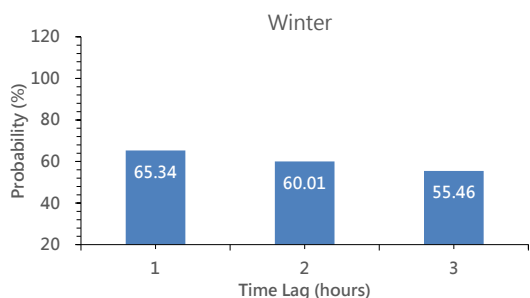


圖 19 冬季不同延時作業機率分佈圖

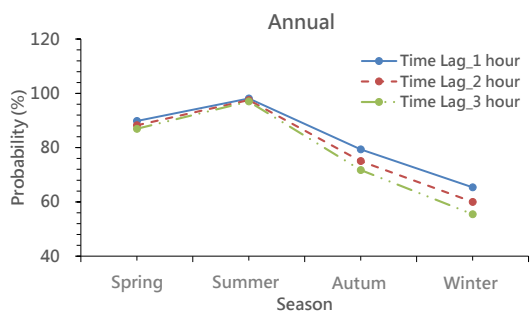


圖 20 四季不同延時作業機率分佈圖

將前述 1~12 月不同延時條件下之作業機率，整理如表 4 及圖 21，圖中橫軸代表月份，縱軸代表每月作業機率，不同曲線代表意義與前述四季相同。

延時 1 小時情況下，12 月作業機率最低，機率為 58.93%，表示該月約 17 天可提供船舶規劃進出港作業，5~9 月機率均逾 9 成，單月可提供 27 天以上作業天數，作業延時增加為 3 小時，各月

作業機率均有明顯減少趨勢，以 10~2 月間減少幅度最多，約 7~12% (2~4 天)，此期間臺中港正處於秋冬季，強勁之東北季風，使港區海氣象環境較不穩定，因而導致作業機率呈現較明顯下降之趨勢。4~8 月降幅較低，約 0.3~2%，少於 1 天，探究其原因，4~8 月臺灣大氣環境屬春夏季，此期間臺中港天氣相較秋冬季穩定，除偶發性颱風所帶來之劇烈海氣象變化，西南季風對臺中港影響較輕微，由於天氣變化相對穩定，因此，長短延時無較明顯之差異，亦表示於 4~8 月期間，在 5 時~7 時時段，臺中港可提供 LNG 船較佳之作業機率，供船商及管理單位第調度規劃。

9~11 月為秋季，由圖 21 可發現，臺中港於 5 時~7 時時段，9 月後機率大幅度下降，而於 11 月呈些微上升，9、10 兩月在不同延時條件下，作業機率相差約 20~30%，此現象係因臺中港海氣象環境大幅度變化所導致，本研究將分析期間 (2005 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日) 5 時~7 時時段風速、波高及海流流速加以統計繪製，如圖 22~圖 24，可發現臺中港海域海氣象環境，1~2 月期間因受東北季風影響，現場作業條件嚴苛，於 3 月後，東北季風影響逐漸趨緩，6~8 月期間雖有西南季風，惟季風吹拂至臺中港海域時，吹風能量大幅減低，影響較東北季風弱，而颱風所造成之海氣象環境變化屬短期影響，整體而言，6~8 月作業環境相對較穩定，9 月後逐漸轉入秋季，10 月開始東北季風效應逐漸增強，直接影響海域海氣象環境，直至隔年 2 月才漸漸趨緩。

表 4 12 月份不同延時作業機率 (%)

月份	1 小時	2 小時	3 小時
1	61.51	55.67	50.52
2	75.58	68.66	64.06
3	81.82	77.49	76.62
4	89.11	88.71	87.10
5	98.51	98.51	97.03
6	99.36	99.04	99.04
7	97.89	97.28	96.68
8	97.16	96.21	95.27
9	92.08	90.24	88.39
10	71.53	65.97	61.46
11	74.48	68.88	65.38
12	58.93	55.71	51.79

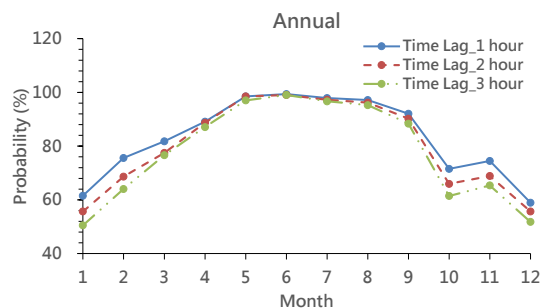


圖 21 歷年各月不同延時作業機率分佈圖

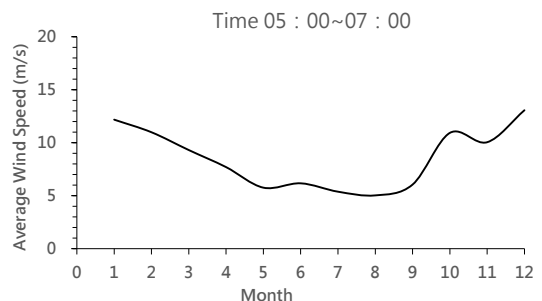


圖 22 5 時~7 時時段風速歷線圖

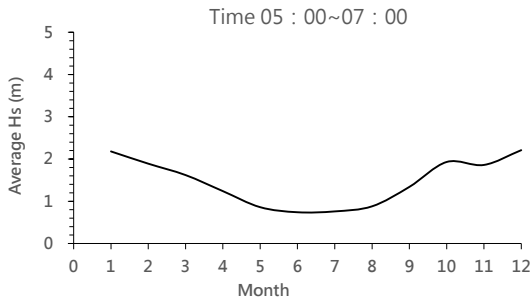


圖 23 5 時~7 時時段波高歷線圖

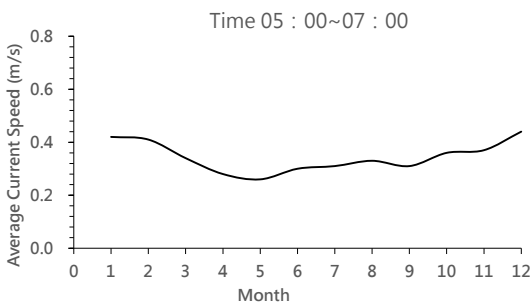


圖 24 5 時~7 時時段流速歷線圖

3.2.2 10 時~18 時時段機率分析

本研究將 1~12 月臺中港 10 時~18 時時段，延時 1~9 小時期間 LNG 船進出港作業機率整理如圖 25~圖 36，縱橫軸分別代表作業機率及延時。4~8 月於不同延時下分析顯示，相較其餘月份有較高作業機率，此分析結果與 5 時~7 時時段一致，臺中港 LNG 船於 4~8 月期間執行進出港作業，將可獲得較高之作業機率。作業延時 4 小時，10~1 月所能提供作業低於 60%（18 天），將作業延時增加至 9 小時，5~8 月份仍有近 90%（28 天）以上作業機率，但 10 月、12 月及 1 月機率僅餘約 30%，兩者機率差約 60%，作業機率分佈相當兩極。

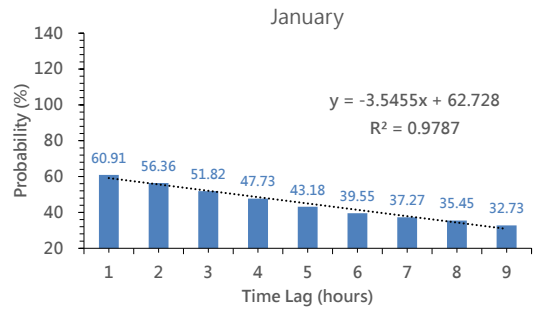


圖 25 1 月不同延時作業機率分佈圖

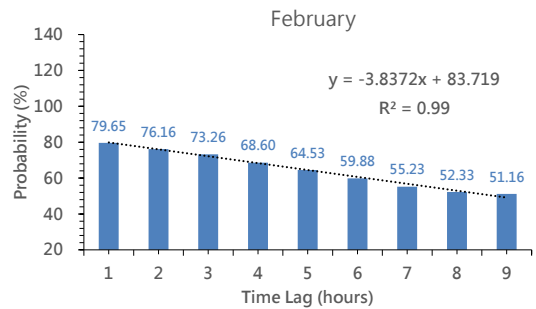


圖 26 2 月不同延時作業機率分佈圖

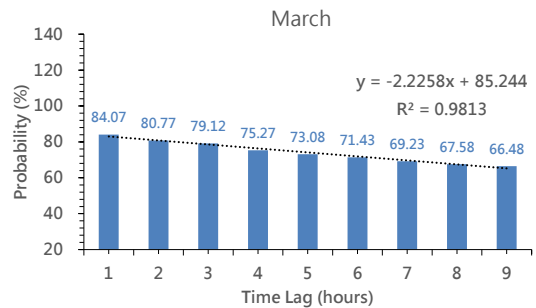


圖 27 3 月不同延時作業機率分佈圖

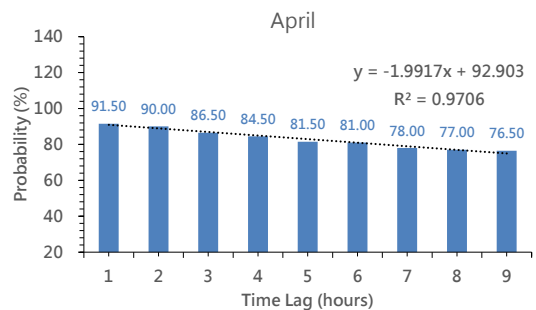


圖 28 4 月不同延時作業機率分佈圖

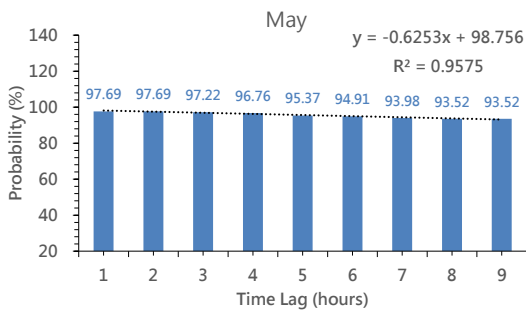


圖 29 5 月不同延時作業機率分佈圖

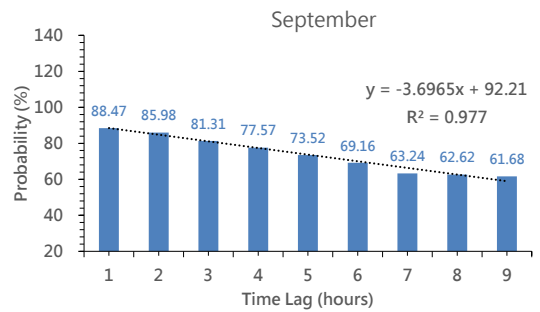


圖 33 9 月不同延時作業機率分佈圖

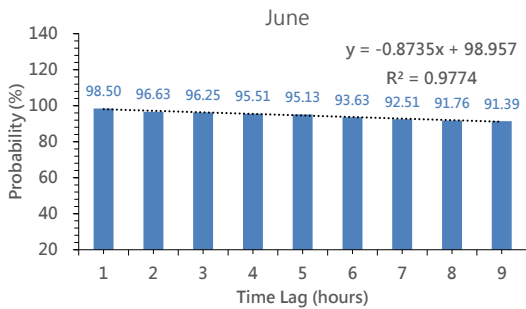


圖 30 6 月不同延時作業機率分佈圖

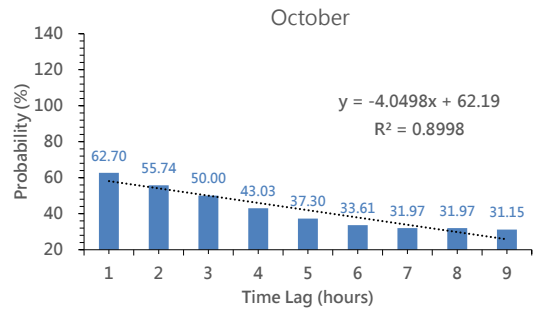


圖 34 10 月不同延時作業機率分佈圖

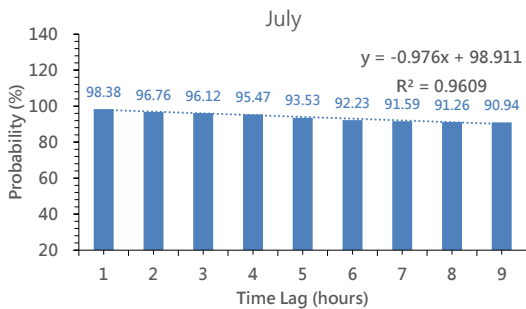


圖 31 7 月不同延時作業機率分佈圖

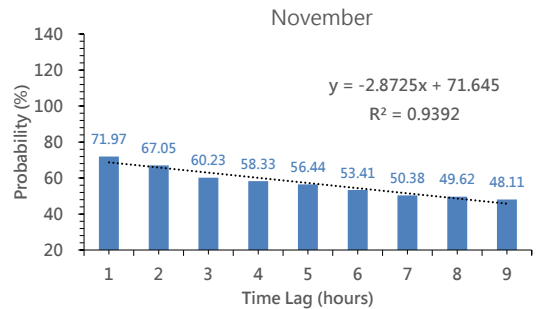


圖 35 11 月不同延時作業機率分佈圖

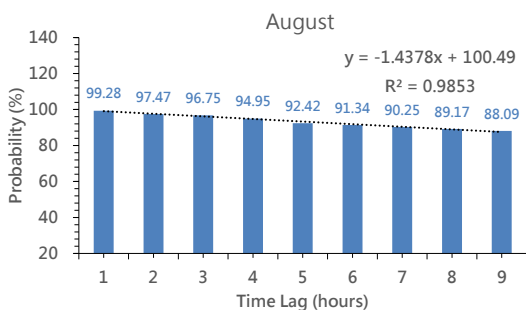


圖 32 8 月不同延時作業機率分佈圖

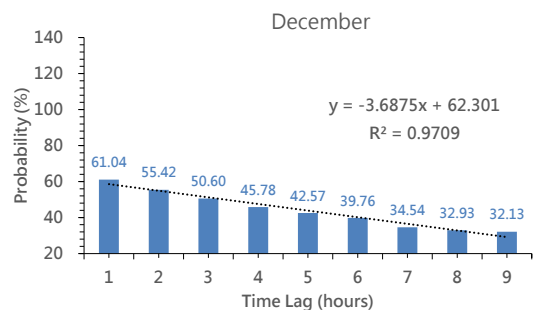


圖 36 12 月不同延時作業機率分佈圖

本研究將各月取線性迴歸，迴歸公式及相關係數 R^2 彙整如表 5，各月相關

係數均大於 0.9，可提供船商或管理調度單位，大約推估 10 時~18 時時段 LNG 船可能之作業機率。

表 5 各月迴歸公式及相關係數 R^2 表

月份	迴歸公式	相關係數 R^2
1	$y = -3.5455x + 62.728$	0.9787
2	$y = -3.8372x + 83.719$	0.99
3	$y = -2.2258x + 85.244$	0.9813
4	$y = -1.9917x + 92.903$	0.9706
5	$y = -0.6253x + 98.756$	0.9575
6	$y = -0.8735x + 98.957$	0.9774
7	$y = -0.976x + 98.911$	0.9609
8	$y = -1.4378x + 100.49$	0.9853
9	$y = -3.6965x + 92.21$	0.977
10	$y = -4.0498x + 62.19$	0.8998
11	$y = -2.8725x + 71.645$	0.9392
12	$y = -3.6875x + 62.301$	0.9709

將四季延時 1~9 小時作業機率彙整如表 6~表 8 及圖 37~圖 40，圖中縱軸為作業機率，橫軸為作業延時。圖 41 為四季在不同延時條件下分佈曲線，圖中圓形實線代表延時 1 小時機率曲線，圓形虛線代表延時 2 小時，圓形實虛線代表延時 3 小時，4~6 小時部分以方形代表，7~9 小時則以三角形代表。春季因屬於東北與西南季風轉換過渡期，作業機率僅次於夏季，各延時機率相差約 8~12%，夏季時臺中港海域雖有颱風及西南季風影響，惟颱風侵襲屬短暫之影響，且根據港研中心歷年海氣象統計資料顯示，西南季風對於臺中港海域影響較不顯著，因此，夏季期間各延時仍有 90% 以上作業機率。秋季時季風由西南逐漸轉向東北，東北季風對於臺中港海域影響甚鉅，由圖 41 可發現，因受東北季風影響，作業機率大幅度降低，延時 1 小時作業機率未達 70%，延時 7 小時作業機率已低於 50%。冬季時，東北季風對

臺中港海域影響越明顯，冬夏季作業機率差約 30~50%，延時 1~5 小時機率差約 30~40%，延時 6~9 小時機率差約 45~50%，作業機率差隨延時遞增，延時越久作業機率差約大。

表 6 四季不同延時作業機率 (%)
[1~3 小時]

季節	1 小時	2 小時	3 小時
春季	91.09	89.49	87.61
夏季	98.72	96.95	96.37
秋季	74.38	69.59	63.85
冬季	67.20	62.65	58.56

表 7 四季不同延時作業機率 (%)
[4~6 小時]

季節	4 小時	5 小時	6 小時
春季	85.51	83.32	82.45
夏季	95.31	93.69	92.40
秋季	59.64	55.75	52.06
冬季	54.04	50.09	46.40

表 8 四季不同延時作業機率 (%)
[7~9 小時]

季節	7 小時	8 小時	9 小時
春季	80.40	79.37	78.83
夏季	91.45	90.73	90.14
秋季	48.53	48.07	46.98
冬季	42.35	40.24	38.67

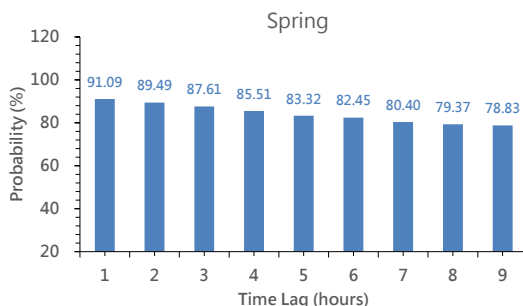


圖 37 春季不同延時作業機率分佈圖

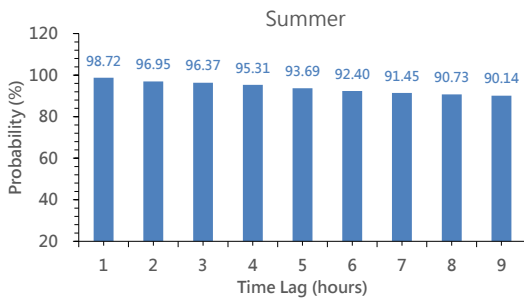


圖 38 夏季不同延時作業機率分佈圖

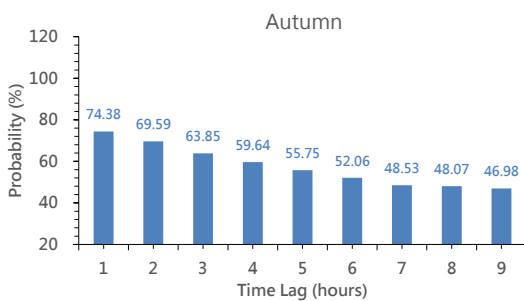


圖 39 秋季不同延時作業機率分佈圖

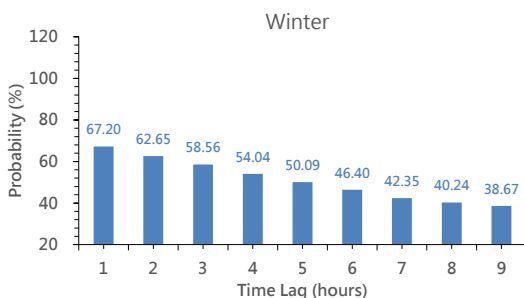


圖 40 冬季不同延時作業機率分佈圖

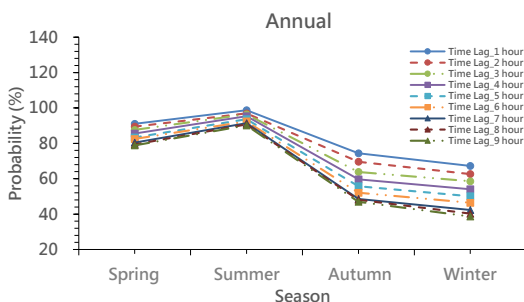


圖 41 四季不同延時作業機率分佈圖

表 9~表 11 及圖 42 為 10 時~18 時時段，不同月份作業延時 1~9 小時，臺中港 LNG 船進出港作業機率分析，各曲線代表意義與前述四季機率分佈圖相同。如比較 5 時~7 時及 10 時~18 時時段之延時 1~3 小時作業機率，可發現 2 月、9 月、10 月及 11 月機率有較明顯差異產生，此 4 個月為東北季風影響初期或較顯著之季節，9~11 月間 5 時~7 時時段於 1~3 小時延時條件，均可獲得較高作業機率，以 10 月差異最大，同延時下較 10 時~18 時時段高出約 8~12%，如 LNG 船商需於 9~11 月間進出港區作業，且作業時間於 3 小時內，則建議選擇於 5 時~7 時時段規劃作業，可獲得較高作業機率。2 月雖同為東北季風好發季，惟其機率差特性與前述 9~11 月呈現截然不同情形，10 時~18 時時段相較 5 時~7 時時段有較佳之工作機率，1~3 小時作業率差約 4~9%，2 時段機率差整理如表 12。

另由圖中可發現，各月機率分佈特性與 5 時~7 時時段相似，將分析期間 10 時~18 時時段風速、波高及海流流速加以統計繪製如圖 43~圖 45，10 月時東北季風逐漸增強，作業機率曲線呈現較明顯下降趨勢，作業機率於各延時平均較 9 月減少約 30%（約 10 天），11 月作業機率微幅上升後於 12 月在降低，直至 2 月東北季風稍微趨緩後，作業機率逐漸增加，於 5~8 月達到作業機率高峰，9 月後在逐漸降低，如此周而復始，呈現出臺中港海域之海氣象環境與作業機率。

表 9 月不同延時作業機率（％）

[1~3 小時]

月份	1 小時	2 小時	3 小時
1	60.91	56.36	51.82
2	79.65	76.16	73.26
3	84.07	80.77	79.12
4	91.50	90.00	86.50
5	97.69	97.69	97.22
6	98.50	96.63	96.25
7	98.38	96.76	96.12
8	99.28	97.47	95.75
9	88.47	85.98	81.31
10	62.70	55.74	50.00
11	71.97	67.05	60.23
12	61.04	55.42	50.60

表 11 月不同延時作業機率（％）

[7~9 小時]

月份	7 小時	8 小時	9 小時
1	37.27	35.45	32.73
2	55.23	52.33	51.16
3	69.23	67.58	66.48
4	78.00	77.00	76.50
5	93.98	93.52	93.52
6	92.51	91.76	91.39
7	91.59	91.26	90.94
8	90.25	89.17	88.09
9	63.24	62.62	61.68
10	31.97	31.97	31.15
11	50.38	49.62	48.11
12	34.54	32.93	32.13

表 10 月 不同延時作業機率（％）

[4~6 小時]

月份	4 小時	5 小時	6 小時
1	47.73	43.18	39.55
2	68.60	64.53	59.88
3	75.27	73.08	71.43
4	84.50	81.50	81.00
5	96.76	95.37	94.91
6	95.51	95.13	93.63
7	95.47	93.53	92.23
8	94.95	92.42	91.34
9	77.57	73.52	69.16
10	43.03	37.30	33.61
11	58.33	56.44	53.41
12	45.78	42.57	39.76

表 12 不同時段 1~3 小時作業機率差異
表（％）

月份	1 小時	2 小時	3 小時
1	0.60	-0.69	-1.30
2	-4.07	-7.50	-9.20
3	-2.25	-3.28	-2.50
4	-2.39	-1.29	0.60
5	0.82	0.82	-0.19
6	0.86	2.41	2.79
7	-0.49	0.52	0.56
8	-2.12	-1.26	-1.48
9	3.61	4.26	7.08
10	8.83	10.23	11.46
11	2.51	1.83	5.15
12	-2.11	0.29	1.19

註：機率差=[5 時~7 時作業機率]-[10 時~18 時作業機率]

四、結論及建議

本研究參考「臺中港液化天然氣船進出港與繫泊作業規定」，該作業規定明確定義進出臺中港 LNG 船所需符合之海氣象條件及作業時段，將作業條件設定為平均風速 15 公尺/秒、海流流速 2.5 節及波高 2.5 公尺，並分為 5 時~7 時及 10 時~18 時兩時段，探討臺中港 LNG 船在不同延時下作業機率，並提出不同月份及季節之作業機率，提供臺中港 LNG 船商與管理調度單位參考應用。

研究顯示，兩時段 10~2 月作業機率變化程度最高，因現場海氣象環境於短時間內急遽改變，導致作業機率大幅度下降，以 1~2 月 5 時~7 時時段為例，作業延時由 1 小時延長至 3 小時，作業機率下降約 10%。4~8 月期間延時分析顯示，不同延時變化趨勢較平緩，相較其餘月份可提供較高作業機率，此分析於 5 時~7 時及 10 時~18 時時段呈現相同現象，臺中港 LNG 船於此期間執行進出港作業，將可獲得較高之作業機率。

本研究將各月延時機率分佈取線性迴歸，各迴歸公式可用於推估臺中港域 LNG 船，於某特定月份欲進出港作業時，該月在 5 時~7 時或 10 時~18 時時段內可能作業機率，此方法可約略推估某月可能作業機率，惟仍需經長期驗證，或增加其他變異因素，以提升推估準確率。

臺中港海氣象特性，東北季風對港域影響較西南季風顯著，分析 5 時~7 時及 10 時~18 時兩時段，12 月作業機率最低，5~9 月機率相對較高，有利於 LNG 船進出港作業規劃調度，以 5 時~7 時時段為例，5~9 月機率逾 9 成，單月可提供 27 天以上作業天數。整體而言，臺中港海域 1~2 月期間受東北季風影響，現場作業條件嚴苛；3 月後東北季風影響

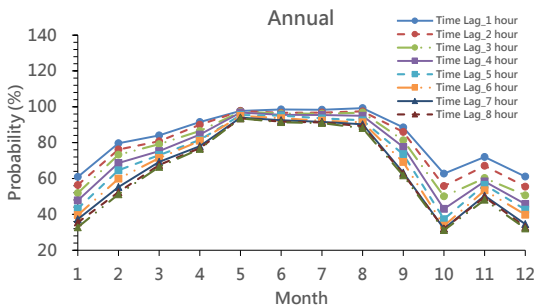


圖 42 歷年各月不同延時作業機率分佈圖

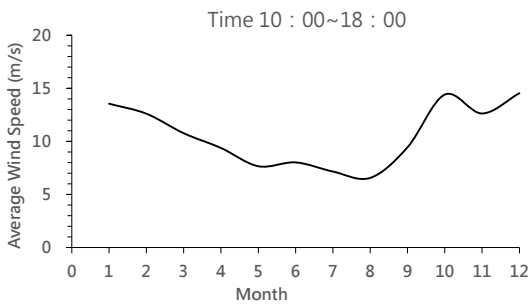


圖 43 10 時~18 時時段風速歷線圖

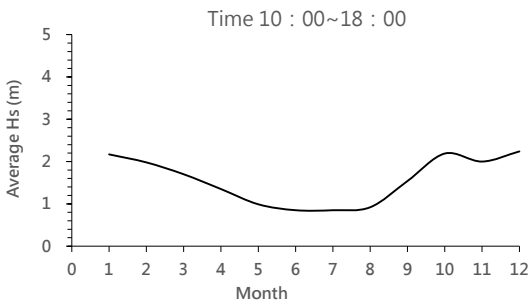


圖 44 10 時~18 時時段波高歷線圖

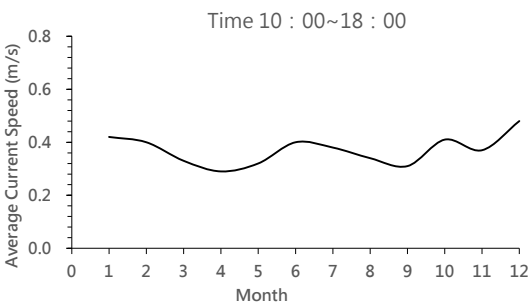


圖 45 10 時~18 時時段流速歷線圖

逐漸趨緩；4~8 月屬春夏季，此期間天氣相較秋冬季穩定，除偶發性颱風所帶來之劇烈海氣象變化，西南季風對臺中港影響較輕微，由於天氣變化相對穩定，因此，長短延時無較明顯之差異；9 月後逐漸轉入秋季；10 月開始東北季風效應逐漸增強，直接影響海域海氣象環境，直至隔年 2 月才漸漸趨緩。

本研究針對臺中港 LNG 船進出港規定，提出 LNG 船在不同月份、季節與不同延時條件下之作業機率，建議未來可將港區能見度納入一併分析探討，研提風波流場及港區能見度作業延時機率統計圖表，做為港區 LNG 船管理、調度及風險評估應用。

五、參考文獻

1. 朱宗蔚、錢樺、高家俊、莊士賢（2000）「海事工程可工作日分析之探討」第 22 屆海洋工程研討會論文集，第 480-486 頁。
2. 黃清和、錢樺、李文欽、游微娟、洪子軒等（2012）「台灣周邊海域可工作日數分析」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，第 607-612 頁。
3. 陳宗邦、劉恩昊、張君名等（2018）“桃園觀塘海域海上可施工日探討”，第 40 屆海洋工程研討會論文集，第 185-190 頁。
4. 臺灣港務股份有限公司，「臺中港液化天然氣船進出港與繫泊作業規定」，108 年 7 月。
5. 交通部中央氣象局，「臺中地區日出日沒時刻表」，110 年 1 月。