

應用不同方法計算波浪航行中之船舶失速

張顥瓊* 陳冠臻** 林宗岳** 辛敬業*¹

*國立臺灣海洋大學系統工程暨造船學系

**財團法人中國驗船中心研究處研發組

關鍵詞：失速、氣候因子、自推模擬、RANS、經驗公式

摘要

本文應用不同的方法計算波浪航行中的船舶失速，並比較與評估其計算結果。本文將展示三種不同方法進行失速的計算，分別是計算流力方法，Kwon 的半經驗公式計算，以及國際海事組織應用的回歸經驗公式計算。國際海事組織的回歸公式，針對不同船型以及其大小，可以計算得到船舶失速。Kwon 的半經驗公式則考慮到船型、吃水、幾何與海況等因子。至於計算流力的方法，失速的計算則建立於靜水中與波浪中相同馬力的自推模擬。本文將應用計算流力方法與體積力方法模擬船舶在靜水與波浪之自推試驗，藉由此二自推試驗模擬得到船舶在波浪中航行時的失速。文中將展示應用不同方法計算所得之貨櫃輪 KCS 以及散裝貨輪 JBC 的結果，並進行比較與分析。

前言

準確估算海上航行失速有助於預測船舶性能及評估船舶可能對環境所造成的影響。歷年來，已有許多關於船舶波浪中失速之理論見於相關文獻。1976 年，Journée[1][2]研究船體運動對於螺槳性能的影響，估算航行失速並進行實驗比較其結果。Faltinsen[3]研究了船舶的阻力與推進，他宣稱波浪的遭遇頻率遠小於螺槳旋轉的頻率，故船舶在波浪中的垂直運動(heave)才是影響螺槳性能的主要因素。Nakatake[4]應用小板法(Panel method)，使用源點(source)與匯點(sink)的分佈去模仿船殼、螺槳及舵，用以計算研究三者之間的交互影響。Kashiwagi[5]使用了 Enhanced Unified Theory (EUT) 研究螺槳在波浪中的表現，ETU 是從船舶運動理論延伸而來的。Chuang 跟 Steen[6]以實驗方法研究了波浪中的能量以及失速。Jasna[7]用經驗公式證明了波浪中的附加阻力受到海況的影響比附加阻力來得大。Chuang[8]使用模型測試去預測波浪中的推減因子，而結果顯示頂浪入流的角度影響比波浪的阻力還要大。近年來，成熟的 CFD 去計算各種情況下的失速已經廣泛應用在大部分的船舶設計上。例如：Kim[9]應用非定常 RANS(Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes, URANS)去計算船體在不同的方向來波的附加阻力。Wei[10], Hsin[11], Lin[12]以及 Lu[13]應用

體積力方法計算了船舶在靜水與波浪中的自推，並使用不同的假設方法模擬自推試驗。另一方面，日本[14]研發的經驗方程式，Kwon[15]則結合了勢流計算以及半經驗公式，提供了非常有效率計算失速的方法。公式中雖假設主機轉速與性能為常數，但 Kwon 的半經驗公式方法及 MEPC 的經驗公式估算方法簡單而有效率，不需要計算或量測附加阻力、推進係數或者是螺槳性能。

本文將概要說明以上的計算方法，並使用不同方法計算 KCS 貨櫃船及 JBC 散裝貨輪的失速，並以計算流力方法為基準，修改 Kwon 提出的計算方程式，提高海上航行失速估算值的準確度。

應用之方法

在此將敘述本文應用於船舶失速計算的半經驗公式，Kwon 估算法，國際海事組織應用的經驗公式，以及計算流力方法。

1. 半經驗公式：Kwon 估算法

Kwon 的半經驗公式係建立於勢流計算以及經驗公式上，估算法同時考量波浪和風的影響。方塊係數介乎 0.55 - 0.85，佛勞德數介乎 0.05 - 0.30 的貨櫃船、散裝貨輪和油輪，都能套用該方程式以預測在不規則的波浪及風的情況下的失速。以下為對於

¹ 辛敬業 (hsin@mail.ntou.edu.tw)

Kwon 估算方法公式的整理。方程式(1) 是 Kwon 對於船舶海上航行失速百分比估算的公式：

$$\frac{\Delta v}{v_1} \cdot 100\% = C_\mu \cdot \Delta R \cdot C_F \quad (1)$$

公式中， v_1 為沒有風跟波浪的情況下的靜水航速 (m/s)； v_2 為海上航行時實際航速 (m/s)。相對船舶失速 $\Delta v = v_1 - v_2$ ，移項後，公式整理如下

$$v_2 = v_1 - \left(\frac{\Delta v}{v_1} \cdot 100\%\right) \frac{1}{100\%} v_1 \quad (2)$$

$$v_2 = v_1 - (C_\mu \cdot \Delta R \cdot C_F) \frac{1}{100\%} v_1 \quad (3)$$

v_1 又可以弗洛德數 Fr 表示，弗洛德數與靜水條件下的設計船速相關，以 m/s 為單位。方程式(4) 中 L_{pp} 是船舶垂標間距長，以 m 為單位， $g = 9.80$ 為重力加速度，以 m/s^2 為單位。

$$v_1 = Fr \cdot \sqrt{L_{pp} \cdot g} \quad (4)$$

方程式(1) 中的 3 個無因次數包括：

1. 隨風浪方向與風級 BN (Bft)變化的失速方向因子 C_μ (如表 1)
2. 隨方塊係數 C_B 、裝載狀況以及弗勞德數 Fn 變化而變化的失速修正係數 ΔR (如表 2)
3. 與船型、風級 BN (Bft)和以 m^2 為單位之船舶排水量 (∇) 有關聯的船型因子 C_F (如表 3)

風力為單位時間內風的行程，泛指平均風速。世界氣象組織規定其單位為 (m/s) 或 (kt/hr)。Kwon 估算法採用的蒲福氏風級(如表 4) 按強弱，將風力劃為「0」至「12」，共 13 個等級。如若只有浪級資料，可參考浪級表(如表 5) 轉換成蒲福氏風級。

表 1. 失速方向因子 C_μ

風(浪)方向	風(浪)向角 β	失速方向因子 C_μ
頂浪(不規則波)、頂風	0°	$2 C_\mu = 2$
艏斜浪(不規則波)、前迎風	$30^\circ \sim 60^\circ$	$2 C_\mu = 1.7 - 0.03(B_N - 4)^2$
橫浪(不規則波)、橫風	$60^\circ \sim 150^\circ$	$2 C_\mu = 0.9 - 0.06(B_N - 6)^2$
順浪(不規則波)、順風	$150^\circ \sim 180^\circ$	$2 C_\mu = 0.4 - 0.03(B_N - 8)^2$

表 2. 失速修正係數 ΔR

方塊係數 C_B	船舶裝載狀況	失速修正係數 ΔR
0.55	普通	$1.7 - 1.4Fn - 7.4(Fn)^2$
0.60	普通	$2.2 - 2.5Fn - 9.7(Fn)^2$
0.65	普通	$2.6 - 3.7Fn - 11.6(Fn)^2$
0.70	普通	$3.1 - 5.3Fn - 12.4(Fn)^2$
0.75	滿載或普通	$2.4 - 10.6Fn - 9.5(Fn)^2$
0.80	滿載或普通	$2.6 - 13.1Fn - 15.1(Fn)^2$
0.85	滿載或普通	$3.1 - 18.7Fn + 28.0(Fn)^2$
0.75	壓載	$2.6 - 12.5Fn - 13.5(Fn)^2$
0.80	壓載	$3.0 - 16.3Fn - 21.6(Fn)^2$
0.85	壓載	$3.4 - 20.9Fn + 31.8(Fn)^2$

表 3. 船型因子 C_F

船型	船型因子 C_F
所有船型(貨櫃輪除外) 滿載狀態	$0.5BN + BN^{6.5}/(2.7\nabla^{2/3})$
所有船型(貨櫃輪除外) 壓載狀態	$0.7BN + BN^{6.5}/(2.7\nabla^{2/3})$
貨櫃輪 普通裝載狀態	$0.7BN + BN^{6.5}/(22.0\nabla^{2/3})$

表 4. 蒲福氏風級 Beaufort scale (Bft)

Bft	風力術語	風速 (m/s)
0	無風	0.0--0.2
1	軟風	0.3--1.5
2	輕風	1.6--3.3
3	微風	3.4--5.4
4	和風	5.5--7.9
5	清風	8.0--10.7
6	強風	10.8--13.8
7	疾風	13.9--17.1
8	大風	17.2--20.7
9	烈風	20.8--24.4
10	狂風	24.5--28.3
11	暴風	28.5--32.7
12	颶風	>32.7

表 5. 浪級表 (海況等級)

浪級 Sea scale	Bft	海上 情況	平均近似值	
			浪高 (m)	波長 (m)
0	0	無浪	0 – 0.1	0
1	1	微浪	0.1 – 0.3	$H_{1/3} < 0.1$
2	2-3	小浪	0.3 – 0.9	$0.1 \leq H_{1/3} < 0.5$
3	4	輕浪	0.9– 1.25	$0.5 \leq H_{1/3} < 1.25$
4	5	中浪	1.25– 2.5	$1.25 \leq H_{1/3} < 2.5$
5	6	大浪	2.5 – 3	$2.5 \leq H_{1/3} < 4.0$
6	7	巨浪	3 – 4	$4.0 \leq H_{1/3} < 6.0$
7	8-9	狂浪	4 – 9	$6.0 \leq H_{1/3} < 9.0$
8	10	狂濤	9 – 11	$9.0 \leq H_{1/3} < 14.0$
9	11-12	怒濤	>11	$14.0 \leq H_{1/3}$

2. 統計回歸法：MEPC 估算公式

國際海事組織(The International Maritime Organization, IMO)下的海洋環境保護委員會 (MEPC) 於 2012 正式通過日本建議關於船舶氣候因子(weather factor) f_w 的計算準則並通函發報。船舶氣候因子係船舶於靜水中與波浪中船速的比值，有關建議奠定 IMO 計算能源效率設計指標 Energy Efficiency Design Index (EEDI) 中 f_w 基準值的公式，如方程式 (5)。

$$f_w = a \times \ln(\text{排水量}) + b \quad (5)$$

方程式(5) 中的參數 a 和 b，根據不同的船舶種類進行統計分析所擬定，詳見表 6。

表 6. EEDI 中 f_w 判斷參數

船舶種類	a	b
散貨船	0.0429	0.294
油船	0.0238	0.526
貨櫃船	0.0208	0.633

與 Kwon 估算法不同，MEPC 估算公式的 f_w 是在 75% 主機額定功率下的氣候因子。船舶氣候因子 f_w 數值越高，代表船舶在海上 (Bft 6) 和在靜水的航

速差距越小，船舶航海性能也越好。

3. 計算流力方法

應用計算流力計算船舶失速，必須進行靜水中以及波浪中的自推模擬。為進行波浪中的自推，必須進行船舶運動的計算，在本文中，我們將利用截片法進行船舶運動與附加阻力的計算，再結合黏性流計算完成於波浪中的自推模擬計算。其程序如下：

1. 進行靜水中的自推模擬。
2. 選用給定海況作為波浪中自推的模擬條件，首先是計算此狀況下的附加阻力。由於 IMO 對於波浪中失速規定的是海況 5(Sea State 5)時與靜水時的比較，因此我們通常也選用此海況，但計算上當然不受限於此海況。
3. 將附加阻力加上靜水中的船舶阻力，進行波浪中的自推模擬。
4. 分別計算靜水與海況 5 狀況下三個不同船速的自推模擬，以比較出在相同馬力下的速度差異。我們因此可以得到靜水中與自由液面兩種自推試驗模擬方法在給定海況條件下的失速計算：在給定馬力的情形下，內插可得在靜水條件與海況條件時的船速，進而可得到失速。
5. 由靜水與波浪中兩者船速的比例可以得到氣候因子 f_w 。

不同方法的計算結果

以下為我們應用兩艘不同船型，應用以上方法所進行失速計算的結果與比較。

1. 計算之船型

本文中所有船舶失速的計算將會以貨櫃船 KCS (圖 1)和散裝船 JBC(圖 2)兩種不同的公開船型為分析與研究的對象。主要的船舶明細表附在表 7 及表 8。進行 CFD 模擬阻力及運動計算時，KCS 和 JBC 船舶模型的縮尺比分別為 1/31.6 及 1/40。

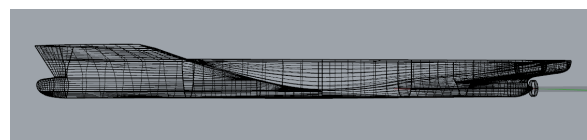


圖 1：KCS 船型圖

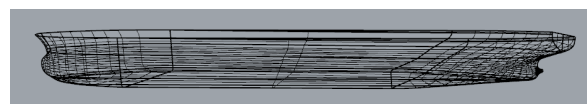


圖 2. JBC 船型圖

表 7：KSC 貨櫃船船舶明細表

主尺度	實船
垂標間距長, L_{pp} (m)	230.0
船寬, B (m)	32.2
吃水, T (m)	10.8
方塊係數, C_B	0.651
排水量, ∇ (m^3)	52,030
85% 主機額定功率 (m/s)	12.35

表 8. JBC 散裝船舶明細表

主尺度	實船
垂標間距長, L_{pp} (m)	320.0
船寬, B (m)	58.0
吃水, T (m)	20.8
方塊係數, C_B	0.81
排水量, ∇ (m^3)	312,622
85% 主機額定功率 (m/s)	7.97

2. Kwon 估算法之計算結果

2.1 KSC 貨櫃船

以 Kwon 估算法計算 KCS 貨櫃船在海況等級 5 (蒲福氏風級 6) 的步驟敘述如下：

在頂風、頂浪的情況下 (風浪向角 β 為 0)，失速方向因子 C_μ 等於 1。

$$2 C_\mu = 2, \quad C_\mu = 1.0 \quad (6)$$

普通裝載狀態的 KCS 貨櫃輪之方塊係數 C_B 為 0.65，在 85% 主機額定功率下的弗洛德數 Fn 為 0.260，參考表 4，以方程式(7) 計算失速修正係數 ΔR 等於 0.85；參考表 5，以方程式(8) 計算船型因子 C_F 等於 7.93。

$$2.6 - 3.7Fr - 11.6(Fr)^2 = 0.85 \quad (7)$$

$$0.7 \cdot BN + BN^{6.5} / (22 \cdot \nabla^{\frac{2}{3}}) = 7.93 \quad (8)$$

將方程式(6)-(8)的答案代入方程式(1)，船舶海上航行失速百分比估算的表達式呈現如下：

$$\frac{\Delta v}{12.35} \cdot 100\% = 1 \cdot 0.85 \cdot 7.93$$

KCS 貨櫃輪以 Kwon 估算法求得船舶海上航行

失速百分比 Δv 為 0.84。

$$\Delta v = v_1 - v_2 \quad (10)$$

$$0.84 = 12.35 - 11.51 \quad (11)$$

在主機額定功率保持不變的情況下，船舶若受風力與波浪的影響，航速都較在靜水時減小。船舶氣候因子 f_w 就是船舶在主機額定功率保持不變的情況下，船舶在蒲福氏風級 6 中航行的航速與在風級 0 中航行的航速的比值。根據 Kwon 估算法的結果，在 85% 主機額定功率下，KCS 貨櫃輪以航速 24 節航行的氣候因子 f_w 為 0.932。

$$f_w = \frac{v_2}{v_1} \quad (12)$$

$$f_w = \frac{11.51}{12.35} = 0.932 \quad (13)$$

2.2 JBC 散裝船

以 Kwon 估算法計算在海況等級 5 (蒲福氏風級 6) 航行的散裝船，除船型因子 C_F 外，計算方法與貨櫃船並無太大相異之處。

在頂風、頂浪的情況下 (風浪向角 β 為 0)，JBC 散裝船的失速方向因子 C_μ 等於 1。JBC 之方塊係數 C_B 為 0.81，在 85% 主機額定功率下的弗洛德數 Fn 為 0.142，參考表 4，以方程式(14) 計算失速修正係數 ΔR 等於 1.01。

$$3.1 - 18.7Fr + 28.0(Fr)^2 = 1.01 \quad (14)$$

由於非集裝箱船分為滿載或壓載兩種裝載狀態，參考表 5，滿載狀態的 JBC 以方程式(15) 計算船型因子 C_F 得 7.93。

$$0.5 \cdot BN + BN^{6.5} / (2.7 \cdot \nabla^{\frac{2}{3}}) = 16.36 \quad (15)$$

代入方程式(1)，JBC 散裝船在海上航行失速百分比估算的表達式呈現如下：

$$\frac{\Delta v}{7.46} \cdot 100\% = 1 \cdot 1.01 \cdot 16.36 \quad (16)$$

將 v_1 與 v_2 相減，求得船舶海上航行失速百分比 Δv 為 1.23。根據 Kwon 估算法的結果，在 85% 主機額定功率下，KCS 貨櫃輪以航速 14.5 節行駛的氣候因子 f_w 為 0.835。

$$f_w = \frac{6.23}{7.46} = 0.835 \quad (17)$$

3. MEPC 估算公式之計算結果

3.1 KSC 貨櫃船

KCS 貨櫃船的排水量 ∇ 為 $52,030 \text{ m}^3$ ，IMO 標準 f_w 判斷參數 a 和 b 分別是 0.0208 跟 0.633 ，代入 MEPC f_w 估算公式，見方程式(18)。

$$f_w = 0.0208 \times \ln(52030) + 0.6330 \quad (18)$$

KCS 貨櫃船在 75% 主機額定功率下的氣候因子 f_w 基準值等於 0.859 。

3.2 JBC 散裝船

至於 JBC 散裝船的排水量 ∇ 為 $178,370 \text{ m}^3$ ，IMO 標準 f_w 判斷參數 a 和 b 分別是 0.0429 跟 0.294 ，由下式計算：

$$f_w = 0.0429 \times \ln(178,370) + 0.294 \quad (19)$$

從方程式(19) 得知，JBC 散裝船在 75% 主機額定功率下的氣候因子 f_w 基準值等於 0.813 。

4. 計算流力方法之計算結果

應用前所述之計算流力方法，我們可以計算出 KCS 貨櫃船與 JBC 散裝貨輪分別在靜水中與波浪中的船速馬力圖。KCS 的計算結果如表 9，以及圖 3 與圖 4。圖 3 與圖 4 的橫軸為船速，縱軸為制動馬力 (BHP)，我們因此可以計算出在 85% MCR 以及 Sea State 5 狀況的船舶失速，如表 10 所列。

表 1. KCS 貨櫃船與 JBC 散裝貨輪分別在靜水中與波浪中的船速馬力計算值

	Vs (knots)	BHP (calm water)	BHP (sea state 5)
KCS	16.0	9,359	14,953
	20.0	17,665	25,666
	24.0	35,178	46,721
JBC	9.0	52,674	113,194
	12.0	117,434	213,379
	14.5	196,983	333,871

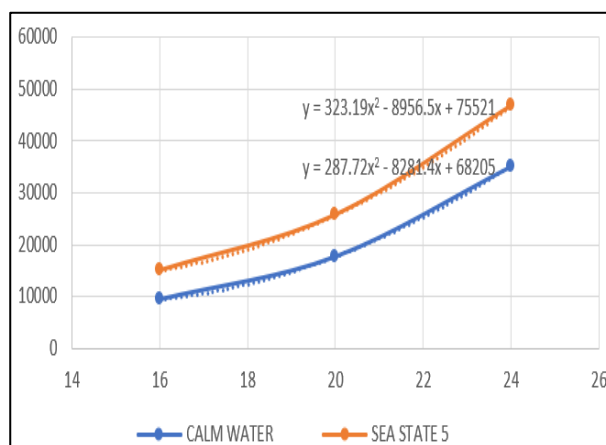


圖 3：KCS 貨櫃船在靜水中與波浪中的船速馬力圖。橫軸為船速，縱軸為制動馬力(BHP)。

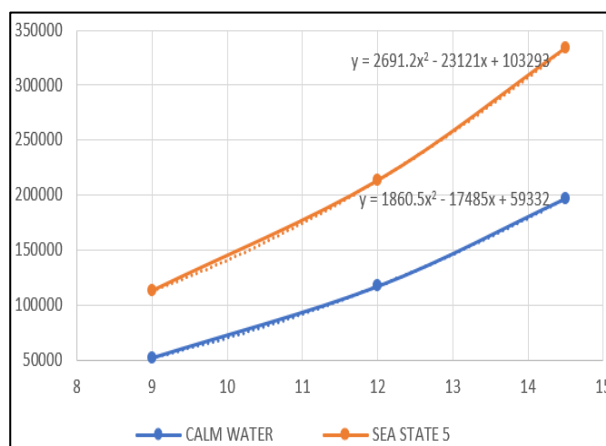


圖 4：JBC 散裝貨輪在靜水中與波浪中的船速馬力圖。橫軸為船速，縱軸為制動馬力(BHP)。

表 2. 由圖 3 與圖 4 計算出在 85% MCR 以及 Sea State 5 狀況的船舶失速。

State	KCS	JBC
Engine power at 85% MCR	BHP= 35,178 (ps)	BHP= 196,969(ps)
Calm water (knots)	24.00	14.50
Sea State 5 (knots)	22.05	11.59
Speed Loss	1.95	2.91
f_w	0.919	0.800

計算結果之比較與改進

為驗證半經驗公式計算方法的準確性，我們將 Kwon 估算法對 KCS 貨櫃船和 JBC 散裝船的船舶氣候因子 f_w 計算結果和 MEPC 估算公式以及計算流力的 f_w 計算值相互比較，並整理成表 11 和 12。表 11 反映出 MEPC 的 f_w 標準值比較保守，而 Kwon 估算法則有高估船舶氣候因子 f_w 的趨勢。

表 3：船舶氣候因子 f_w 的計算結果

	MEPC	CFD	Kwon
	75% 主機額定功率	85% 主機額定功率	
KCS	0.859	0.919	0.932
JBC	0.813	0.800	0.835

表 4：對比數值方法與 Kwon 估算法之結果

		CFD	Kwon	差異(%)
KCS	f_w	0.919	0.932	1.4
JBC		0.800	0.835	4.4
KCS	v_2 (knots)	22.05	22.39	1.5
JBC		11.59	12.11	4.5

我們假設計算流力的計算值較接近真實情況，因此以“廣義既約梯度法”(Generalized Reduced Gradient Method, GRG)，修改 Kwon 估算公式，使其更接近計算流力方法計算的結果。Kwon 估算法的計算結果對船舶排水量和風力變化敏感，GRG 作為非線性規劃問題解法，能調整上述的比例常數，逼近數值方法所計算的 f_w ，求得最佳化的船型因子 C_F 公式。以 Kwon 估算法為基礎，代入方程式 (20) 和 (22)，整理公式後，求得 KCS 貨櫃船和 JBC 散裝船的海上航行時實際航速 v_2 ，如方程式(21)與(23)，以及船舶氣候因子 f_w ，如方程式(24)與(25)。經修改的 Kwon 估算法(本文稱之為“修正 Kwon 估算法”)和計算流力方法預估航速結果之間的差異為 0 (如表 13)，而 KCS 和 JBC 的船舶氣候因子 f_w 分別為 0.919 和 0.800，亦與數值方法結果完全匹配 (如表 14)。

$$C_F = 0.7 \cdot 1.2BN + BN^{6.5} / (22 \cdot 0.82\sqrt[3]{\quad}) \quad (20)$$

$$v_2 = 12.35 - (1 \cdot 0.85 \cdot 9.59) \frac{1}{100\%} \cdot 12.35 \quad (21)$$

$$C_F = 0.5 \cdot 1.2BN + BN^{6.5} / (22 \cdot 0.82\sqrt[3]{\quad}) \quad (22)$$

$$v_2 = 7.46 - (1 \cdot 1.01 \cdot 19.89) \frac{1}{100\%} \cdot 7.46 \quad (23)$$

$$f_w = \frac{22.05}{24} \quad (24)$$

$$f_w = \frac{11.59}{14.50} \quad (25)$$

表 5：修正 Kwon 估算法與計算流力計算所得之波浪中航行航速 v_2

		CFD	修正 Kwon	差異(%)
KCS	v_2 (knots)	22.05	22.05	0
JBC		11.59	11.59	0

表 6：修正 Kwon 估算法與計算流力計算所得之船舶氣候因子 f_w

		CFD	修正 Kwon	差異(%)
KCS	f_w	0.919	0.919	0
JBC		0.800	0.800	0

結論

本文探討了三種計算船舶失速的方法，並參考以計算流力方法計算貨櫃船 KCS 跟散裝貨船 JBC 所得的結果；在不影響快速計算難度的前提下，藉修改 Kwon 對於船舶海上航行失速百分比估算的表達式，提高以半經驗公式估算海上航行失速的準確度。從表 13 和 14 中，“修正 Kwon 估算法”和計算流力方法之對比結果來看，經改良的 Kwon 估算法能更有效計算出貨櫃船跟散貨船，這兩種類型的船隻在蒲福氏風級 6 中航行的航速與在風級 0 中航行的航速的比值。

為增加精度和使修改後的 Kwon 公式更具有工程實用性，如應用在天氣定航系統，未來我們將對比在相同主機馬力但不同海況下，船舶失速的 CFD 計算結果，進行更深入的分析與驗證，反映更多實際的失速現象。另外擴大研究對象，納入更多類型和數量的船隻的比較結果，期望經改良的 Kwon 估算法更具有代表性。

參考文獻

1. Journée, J.M.J., "Prediction of Speed and Behaviour of a Ship in a Seaway", Report 0427-P, 1976, Delft University of Technology, Ship Hydromechanics

- Laboratory, Delft, The Netherlands
2. Journée, J.M.J., "Motions, Resistance and Propulsion of a Ship in Regular Head Waves", Report 0428, 1976, Delft University of Technology, Ship Hydro-mechanics Laboratory, Delft, The Netherlands
 3. Faltinsen, O.M., "Prediction of Resistance and Propulsion of a Ship in a Seaway", Proc. 13th Symposium on Naval Hydrodynamics, 1980, Tokyo, Japan
 4. Nakatake, K., Oda, K., Kataoka, K., Nishimoto, H. and Ando, J., "Free Surface Effect on the Propulsive Performance of a Ship (1st Report)", West Japan Soc. Nav. Arch. Trans. (72), August, 1986, pp.129-139
 5. Kashiwagi, M., Sugimoto, K., Ueda, T., Yamasaki, K., Arihama, K., Kimura, K., Yamashita, R., Itoh, A. and Mizokami, S., "An Analysis System for Propulsive Performance in Waves", Journal of the Kansai society of naval architects, No. 241, 2004
 6. Chuang, Z. and Steen, S., "Prediction of Speed Loss of a Ship in Waves", Second International Symposium on Marine Propulsors (smp'11), Hamburg, Germany, June 2011
 7. Jasna, P. O., and Odd, M. F., "Estimation of ship speed loss and associated CO2 emissions in a seaway", *Ocean Engineering*, 44, 1-10. 2012.
 8. Chuang, Z., and Sverre, S., "Speed loss of a vessel sailing in oblique waves", *Ocean Engineering*, 64, 88-99. 2013.
 9. Kim, M., Olgun, H., Osman T., Sandy, D. Atilla, I. (2017). "Estimation of added resistance and ship speed loss in a seaway", *Ocean Engineering*, 141,465-476.
 10. Wei, W.-C., "The Influence of the Propeller Loading Distributions to the Propulsive Efficiency", Master thesis, Nation Taiwan Ocean University, 2011
 11. Hsin, C.Y., Lin, C.T., Lee, C.P., Lin, C.C. and Chen, J.H., "Study of the Wave Effects on Propeller Performance by Computations", *Journal of Taiwan Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 35, No. 4, 2016
 12. Lin, C. T., Hsin, C. T., Lu, L., Chen, C. C., and Lin, C. W., "Evaluation of the Speed Loss in Seaway by Computational Methods" Proc 7th PAAMES and AMEC, Hong Kong, 2016
 13. Lu, L., Mao, Y.T. and Hsin, C.Y., "Computation of the Speed Loss in Seaway by Different Approaches". The 28th International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE 2018), Sapporo, Japan June 10-15, 2018
 14. MEPC.1/Circ.796. IMO, 12 October 2012
 15. Kwon, Y. J., "Speed loss due to added resistance in wind and waves", *The Naval Architect*, RINA, London, March, 14-16. 2008.

Evaluations of the Ship Speed Loss in Waves by Different Methods

Ho King Cheung Kuan-Chen Chen** Tsung-Yueh Lin** Ching-Yeh Hsin**

*Department of Systems Engineering and Naval Architecture
National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan

**CR Classification Society, Taipei, Taiwan

Keywords: Speed loss, weather factor, self-propulsion, RANS, empirical formula

ABSTRACT

The evaluation of speed loss in seaway becomes more important due to environmental regulations, and the speed loss is also an important element in the development of digitalization in shipping. In this paper, the speed loss in seaway is evaluated by three different methods, and the reliability and efficiency of them are analyzed. Moreover, the remodified Kwon's formulae are presented and aimed to get a closer approximation of speed loss in seaway. A container ship KCS and a bulk carrier JBC are used to demonstrate the speed loss computations of the Kwon's and IMO's empirical formula in addition to the Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation, and results of all approaches are compared to each other and investigated.