

海上에서의 氣象狀態에 基因된 附加抵抗에 關한 考察

權 寧 中* · R.L. Townsin**

(1993년 1월 18일 접수)

A Research on the Added Resistance Due to Weather at Sea

Young Joong Kwon* · Robert L. Townsin**

Key Words : Estimation Method for Added Resistance(부가저항 산정법), Graphic Method (도식법), Direction Reduction Factor(방향수정계수), Ratio of Resistance Increase Due to Winds and Waves(파랑과 바람 부가저항 비)

Abstract

Standard values in graphic forms are presented for the ratio of added wave resistance to the sum of added wave and wind resistances in head sea for three ship types, tanker, container ship and passenger ship. The effect of ship length on the ratio defined above is investigated for the three ship types.

Oblique sea added resistance is determined using wave direction reduction factor. The factor is obtained from model test results and cubic spline interpolation technique.

1. 서 론

선박의 설계 및 운용비의 절감노력을 위해서는 해상의 바람 및 파랑에 기인된 부가저항을 구하여야 한다는 것은 이미 잘 알려진 사실이라 하겠다. 즉 試運轉 結果의 精確한 解釋, Service Power Margin 算定法의 改善, 燃料경제성을 고려한 最 速力 算定 및 充足한 用船계약의 체결등을 위

해서는 氣象狀態에 基因된 附加抵抗의 算定이 반드시 필요할 것이다. 뿐만아니라 최근 영국에서 수행된 최적화 설계법에 관한 연구보고서¹⁾에서 지적된 바와 같이 선박설계의 최적화 및 효율화를 위해서도 이의 算定이 필요할 것이다(Fig. 1).

하지만 回折波 및 反射波영향 고려법의 부정확성 때문에 야기되는 문제점이 심각하므로 그 개선의 필요성이 많은 학자들에 의해서 강조되어 오고 있는 실정이며, 특히 임의의 방향에서 접근

* 정회원, 울산대학교 공과대학 조선·해양공학과

** Department of Marine Technology, University of Newcastle upon Tyne, U.K.

되는 斜波 영향 고려법은 더욱더 어려운 연구과제로 되어 있다고 하겠다. 예컨대 제15회 및 제16회 국제수조회의에서도 이를 반복적으로 지적하고 있다.²⁾

또한 이의 산정을 위한 기존의 방법들이 너무 복잡한 과정을 거쳐서 수행될 수 있기 때문에 실제로 산업현장에서 이를 이용하기에는 많은 어려움이 있다고 하겠다.

이에 본 논문에서는 精度 높은 算定法을 例示함과 아울러 세가지의 대표적인 船型에 대한 船首波 및 바람에 의한 경우에 여러가지의 Beaufort Number(BN) 및 배의 길이에 관한 부가저항을 구하여 圖式化 하므로써 이용의 편리성을 높이도록 試圖했으며, 또한 Oblique wave 경우를 위하여 方向修正係數를 제안하였다.

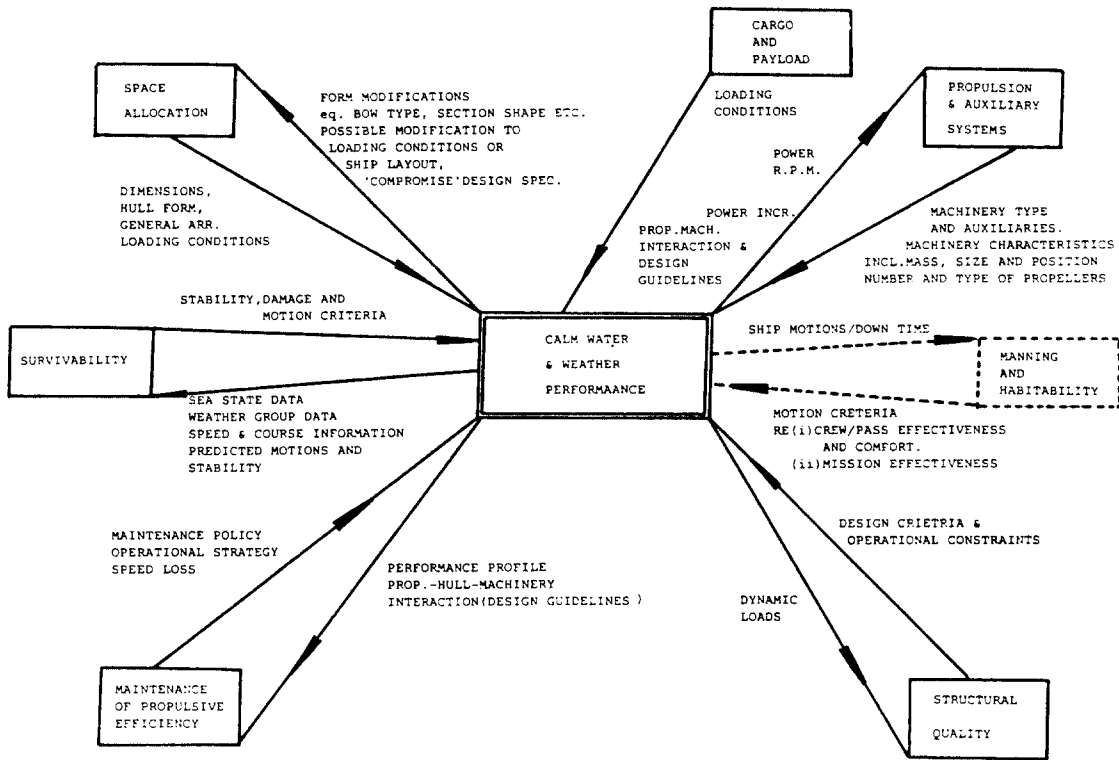


Fig. 1 Interactions with Calm Water & Weather Performance

2. 부가저항 산정법

2.1 Head Weather의 부가저항

Head Weather에 기인된 부가저항을 다음과 같은 방법으로 산정하는 것이 實用性이 있는 것으로 문헌에 나타나 있다.³⁾

(1) 규칙파에서의 선체운동

: NSRDC 컴퓨터 프로그램⁴⁾

(2) 규칙파에서 선체운동에 기인된 부가저항 : Maruo법⁵⁾

(3) 규칙파에서 반사파 및 회절파에 기인된 부가저항 : Kwon법³⁾

(4) 불규칙파에 기인된 부가저항

: ITTC스펙트럼 및 Linear Super-position

Technique

- (5) 바람에 기인된 부가저항 : van Berlekom법⁶⁾
- (6) Beaufort Number(BN), 擬似波高(Significant Wave Height), 풍속과의 관계 : Pierson-Moskowitz의 정의(1964)

以上的 방법들을 이용하여서 구체적인 계산을 할 수 있으며, 또 Fig. 2~Fig. 4를 이용하면 다소의 오차는 있겠지만 이용의 간편성 때문에 실제 문제에의 적용이 容易할 것이다. 본 그림의 결과는 대표적인 3가지 船型-유조선($C_b=0.84, L/B=6.06$), 컨테이너선($C_b=0.62, L/B=8.51$), 여객선($C_b=0.55, L/B=7.18$)-의 常速경우에 대하여 여러가지 船長 및 Beaufort수에 따른 부가저항들을 上記 방법들을 이용하여 계산하고 이를 圖式化한 것이다. 여기서 C_b, L, B 는 방형계수, 배의길이 및 폭을 각각 의미한다.

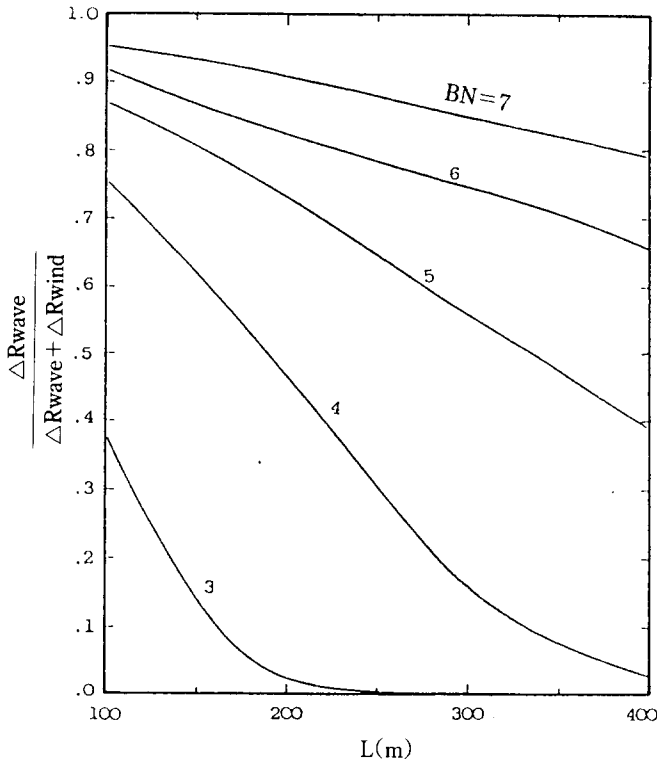


Fig. 2 Ratio of resistance increase due to winds and waves for tanker($F_n=0.15$, laden)

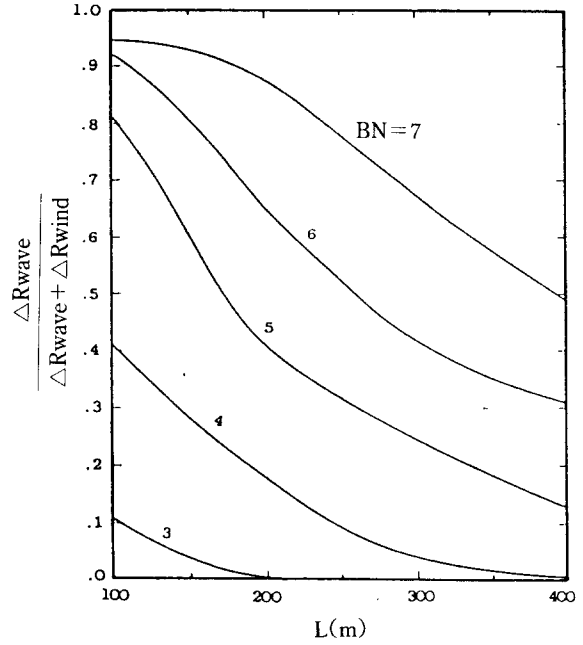


Fig. 3 Ratio of resistance increase due to winds and waves for container ship($F_n=0.25$, laden)

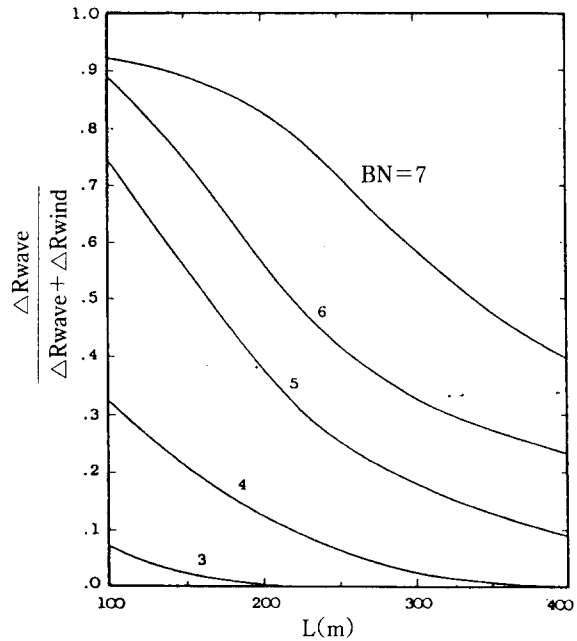


Fig. 4 Ratio of resistance increase due to winds and waves for passenger ship($F_n=0.25$, laden)

본 그림의 종축은 불규칙파에 기인된 파랑저항 값을 파랑 및 바람에 기인된 전체 부가저항값으로 나눈 값을 나타내므로 본 비율과 다음식으로 구해질 수 있는⁶⁾ 바람저항 값을 이용하여서 쉽게 파랑저항이나 전체 부가저항을 산정할 수 있을 것이다.

즉,

$$\Delta R_{wind} = 0.615 \times 10^{-6} C_x L^2 V_r^2 \dots\dots\dots(1)$$

여기서 ΔR_{wind} 는 MN단위로 표시된 부가저항, C_x 는 바람저항계수, V_r 는 m/sec 단위의 상대속도 L 은 m 단위의 선박길이를 각각 의미한다.

2. 2 Oblique Weather의 부가저항

斜風의 부가저항 산정법을 위하여서는 풍동의 모형시험 결과를 이용한 경험적 방법들이 많이 알려져 있으며 이들 대부분이 실용성이 있는 것으로 알려져 있다.³⁾ 예를 들면 Isherwood법, van Berlekom법, Aage법, Tsuji법, Gould법, Wagner법, Wilson법등이며, 이들 법에 의한 결과값 사이의 差異는 10% 이내인 것으로 알려져 있다.^{3),6)}

반면에 斜波영향 고려를 위한 기존의 방법들은 實用性 측면에서 많은 문제점을 내포하고 있는 것으로 지적되어 오고 있다.^{3),7)} 이에 본 논문에서는 모형시험 결과값을 이용하여서 oblique wave의 부가저항을 산정할 수 있는 방향수정계수를 제안코자 한다.

斜波中の 모형실험은 Vossler등이 MARIN에서 방대하게 수행한 바 있다.⁸⁾ 이 실험에서는 다섯 가지 방향에서 접근하는 oblique wave 중의 Series 60에 관한 실험을 수행 하였는데, 이 실험의 대상이 된 모형선의 船長(L) 및 船幅(B) 比의 범위는 5.5~8.5 이었으며 방향계수(C_b)는 0.55~0.8, 船長 및 흘수(H) 比는 11~24였고, Fround 수(Fn)는 0.10~0.25이었다.

이 실험결과와 Chebyshev minimax polynomial fit 및 cubic spline interpolation법을 이용하여 다음과 같이 방향수정계수(μ)를 구하였다. 이를 위하여 NAG EO2ACF 컴퓨터 프로그램⁹⁾이 사용되었다.

즉,

$$\mu = \frac{\text{oblique wave의 부가저항}}{\text{head wave의 부가저항}} = Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_3 \dots\dots\dots(2)$$

여기서

$$Y_1 = \sum_{j=1}^7 A_j X_1^{j-1}$$

$$Y_2 = \sum_{j=1}^7 B_j X_2^{j-1}$$

$$Y_3 = \sum_{k=1}^8 C_k X_3^{k-1}$$

$$Y_1 : \left[\frac{\tau(\alpha)}{\tau(170^\circ)} \right]_{L/b=7.0, L/H=17.5, C_b=0.70}$$

$$Y_2 : \left[\frac{\tau(\alpha)/\tau(170^\circ)}{Y_1} \right]_{L/b=7.0, C_b=0.70, L/H \text{ varying}}$$

$$Y_3 : \left[\frac{\tau(\alpha)/\tau(170^\circ)}{Y_1} \right]_{L/b=7.0, L/H=17.50, C_b \text{ varying}}$$

X_1 : 파장/선장(= λ/L)

X_2 : 선장/흘수(= L/H)

X_3 : 방향계수(C_b)

A_j, B_j, C_k : Polynomial Coefficient

$\tau(\alpha)$: 파랑 방향 α 에서의 Thrust 증가계수, $\tau(170^\circ)$ 을 head sea로 간주했음

τ : Thrust 증가계수 [= (T · L)/($\rho g B^2 \zeta_a^2$)], 여기서 T는 측정된 Thrust, ζ_a 는 파의 진폭, ρ 는 밀도, g는 중력가속도를 각각 의미함

3. 考 察

Head weather 경우에 본 논문의 2.1에서 소개된 방법들의 실용가능성이 있는 것으로 이미 나타난 바 있다.³⁾ 특별히 파랑부가저항 산정 때 부정확성이 문제되고 있는 반사파 및 회절파에 기인된 부가저항 산정을 위한 Kwon법³⁾의 精度는 Fig. 5에서도 다시한번 찾아볼 수 있겠다. 본 그림에서는 여러가지의 λ/L 에 따른 부가저항계수(C_{RAW})를 Kwon법³⁾에 의하여 구한 결과와 모형실험 결과를 비교하고 있다. 계산결과가 대체적으로 측정치에 잘 접근하고 있으나 λ/L 이 0.

6~0.8에서는 측정치보다 다소 낮게 산출된 것으로 나타나 있다. 하지만 短波에서는 측정치간의 오차 또한 상당히 크게 나타난다는 것을 감안할 때 본 법의 이용가능성이 있는 것으로 判斷된다.

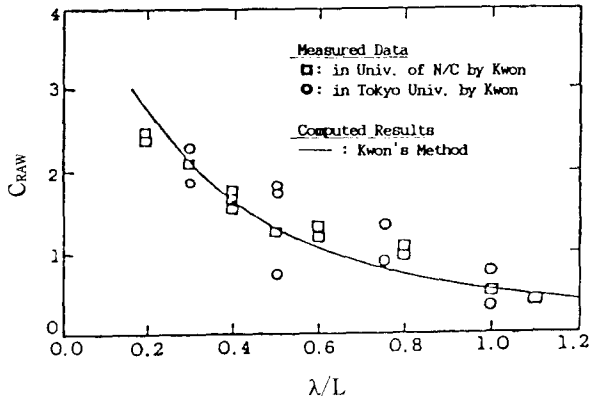


Fig. 5 Added resistance coefficient due to reflection in regular head waves ($C_b=0.8$ for \circ and 0.83 for \square , $F_n=0.10$)

또한 實際 海上의 불규칙한 斜波에 基因된 부가저항과 관련된 측정자료를 구할 수 없으므로 본 논문의 2.2에서 제안된 방향수정계수의 실용성을 직접 비교 검토하는 것은 현실적으로 불가능한 듯하다. 하지만 본 수정계수를 구할 때 모형실험 결과에 fitting된 精度를 Table 1을 통하여 알 수 있겠다. 즉 fitting上的 誤差가 다소 있는 것으로 나타나 있으나 이는 실용상의 오차범위 內에 속할 것으로 사료된다.

海上의 氣象狀態에 基因된 부가저항과 船型과의 關係를 Fig. 2~Fig. 4를 통하여 찾아볼 수 있겠다. 즉 선형이 뚱뚱할수록 기상상태에 기인된 총 부가저항중에서 파랑영향이 차지하는 비율이 높아짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 $BN \leq 5$ 에서 더욱 현저한 것으로 나타났으며 이러한 기상상태는 실제 航路에서 흔히 나타나는 상태로 알려져 있다.³⁾ 또한 배의 길이가 작아질수록 파랑영향이 크게 나타나고 있으며 이러한 경향은 배의 길이가 200m 이하인 선박에서 더욱더 뚜렷하다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Results of model test and fitting

$F_n=0.20$ $C_b=0.70$ $L/H=17.50$ $\alpha=130^\circ$

λ/L	Y_1	Y_1	Residual
	from model test	from fit	
0.600	0.8800E+01	0.8775E+01	0.2484E-01
0.700	0.5775E+01	0.5800E+01	-0.2484E-01
0.800	0.3121E+01	0.3097E+01	0.2484E-01
0.900	0.1212E+01	0.1237E+01	-0.2484E-01
1.000	0.2926E+00	0.3006E+00	-0.8035E-02
1.100	0.1048E+00	0.7998E-01	0.2484E-01
1.200	0.2647E+00	0.2425E+00	0.2225E-01
1.300	0.4312E+00	0.4536E+00	-0.2242E-01
1.400	0.4354E+00	0.4602E+00	-0.2484E-01
1.500	0.1515E+00	0.1336E+00	0.1789E-01
1.600	-0.5024E+00	-0.5272E+00	0.2484E-01
1.700	-0.1432E+01	-0.1432E+01	-0.3387E-03
1.800	-0.2500E+01	-0.2475E+01	-0.2484E-01

$F_n=0.20$ $\alpha=130^\circ$ $\lambda/L=0.90$

L/H	Y_2	Y_2	Residual
	from model test	from fit	
14.250	0.1867E+01	0.1865E+01	0.1703E-02
15.000	0.1633E+01	0.1635E+01	-0.1703E-02
16.000	0.1341E+01	0.1340E+01	0.1703E-02
17.000	0.1097E+01	0.1097E+01	-0.1713E-03
17.500	0.1000E+01	0.1002E+01	-0.1703E-02
18.000	0.9243E+00	0.9255E+00	-0.1256E-02
19.000	0.8282E+00	0.8268E+00	0.1391E-02
20.000	0.7896E+00	0.7879E+00	0.1703E-02
20.750	0.7865E+00	0.7863E+00	0.2020E-03
22.000	0.8102E+00	0.8119E+00	-0.1703E-02
23.000	0.8459E+00	0.8441E+00	0.1703E-02
24.000	0.8885E+00	0.8902E+00	-0.1703E-02

$F_n=0.20$ $\alpha=130^\circ$ $\lambda/L=0.90$

C_b	Y_3	Y_3	Residual
	from model test	from fit	
0.550	0.6954E+00	0.7146E+00	-0.1923E-01
0.575	0.8691E+00	0.8498E+00	0.1923E-01
0.600	0.1059E+01	0.1078E+01	-0.1912E-01
0.623	0.1252E+01	0.1271E+01	-0.1923E-01
0.650	0.1320E+01	0.1301E+01	0.1923E-01
0.675	0.1175E+01	0.1176E+01	-0.9061E-03
0.700	0.1000E+01	0.1019E+01	-0.1923E-01
0.725	0.9812E+00	0.9620E+00	0.1923E-01
0.750	0.1040E+01	0.1023E+01	0.1672E-01
0.775	0.1034E+01	0.1053E+01	-0.1923E-01
0.800	0.8303E+00	0.9111E+00	0.1923E-01

4. 結 言

본 논문의 2장에서 제안된 방법은 海上의 氣象狀態에 基因된 附加抵抗의 算定 때 實用化될 수 있는 것으로 思料된다. 또한 본 방법과 기존의 바람 저항 구하는 법(예컨대 Van Berlekom 법⁶⁾)을 이용하여서 海上에서의 파랑과 바람이 각각 서로 다른 각도로 접근하는 경우에도 부가저항을 算出할 수 있을 것이다.

해상의 바람과 파랑에 기인된 총 부가저항중에 파랑영향이 차지하는 비율은 선형이 뚝뚝할수록 또한 소형선이 될수록 더욱더 현저하게 증가됨을 알 수 있다.

後 記

본 연구의 내용은 “海上에서 船舶의 速度性能解析에 關한 研究”라는 題下로 추진된 國際共同研究의 一部이다. 本 研究遂行을 教育部가 지원하였으며, 이에 感謝하는 바이다.

참 고 문 헌

1) University of Newcastle upon Tyne, British Maritime Tech., Marine Design Consultant Ltd., Harland and Woelf PLC and University of Ulster, “Reports of Integrated Design Project—Efficient Ship Programme”, May

1988

- 2) Seakeeping and Performance Committees ITTC, “Esp. 15th & 16th ITTC Proceedings”, 1978, 1981
- 3) Kwon, Y. J., “The Effect of Weather, Particularly Short Sea Waves, on Ship Speed Performance”, Ph.D Thesis, University of Newcastle upon Tyne, 1982
- 4) Meyers, W. G., Sheridan, D. J. & Salvesen, N., “NSRDE Ship—Motion and Sea—load Computer Program”, NSRDC Report 3376, 1975
- 5) Maruo, H., “The Theory of the Wave Resistance of a Ship in a Regular Seaway”, Bull. Fac. Eng., Yokohama Nat. Univ., Vol. 6, 1957
- 6) Van berlekom, W. B., “Wind Forces on Modern Ship Forms—Effect on Performance”, Trans. NECI, Vol. 97 No. 4, 1981
- 7) Townsin R. L. & Kwon, Y. J., “Approximate Formulae for the Speed Loss Due to Added Resistance in Wind and Waves”, Trans. RINA, Vol. 125, 1983
- 8) Vossers, G., Swaan, W. A. & Rijken, H., “Experiments with Series 60 Models in Waves”, Tran. SNAME, Vol. 68, 1960
- 9) NAG, “Curve and Surface Fitting”, NAG Fortran Lib. Manual, NAG Ltd., 1977.