大 韓 造 船 學 會 誌
第20卷 第4號 1983年 12月
Journal of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 20, No. 4, December 1983

콘테이너船의 波浪中 運動·抵抗·推進性能 硏究

梁承一*·洪錫原*·李尙武**·金恩燦*

Ship Motion, Resistance and Propulsive Performance of a Container Ship in Regular Head Waves

by

Seung-Il Yang*·Seok-Won Hong*·Sang-Moo Lee**·Eun-Chan Kim*

Abstract

A series of model tests on a container ship in regular head waves were executed. This paper presents the results of resistance, self-propulsion, and ship motion tests.

The experimental results of ship motion measured on a towed model and a self-propelled model were compared with those of Japanese' model test showing fairly good agreements. The results of added resistance tests were compared with those of Japanese' model test and also compared with the calculation results by Gerritsma's method showing somewhat large discrepancies at higher speeds.

Also the results of added resistance tests measured on a fixed model were compared with the calculation results by Gerritsma's method. Finally the results of self-propulsion tests were presented.

1. 序 言

船舶이 大洋을 항해하게 되면 靜水중을 항해하는 때보다 속력이 감소되는데, 이러한 속력감소는 악천후시에도 운항해야 하는 군함 및 경비함 또는 정기적인 항해를 해야하는 고속콘테이너선 등의 운용상 중대한 문제가 된다.

船速 감소의 내용을 두 가지로 나누어 보면, 첫째가 소위 겉보기 속력감소(Nominal loss of speed)로, 바람 및 波浪에 의한 船體抵抗 증가와, 推進효율감소에 기인하는 자연적인 것이고 둘째는 고의감속(Deliverate loss of speed)으로, 선체운동이 격심해짐에 따라 green water에 의한 甲板浸水, slamming 및 높은 수직가속도 등에 의해 선박의 운항속도를 줄이는데 의한 것이다.

본 논문에는 波浪에 의한 推進馬力의 증가와 관련하여 波浪에 의한 船體抵抗增加 및 推進特性의 變化를, 일련의 模型試驗으로 推定하여 해석한 연구결과를 소개하였으며 모형선으로 고속콘테이너선을 이용하였고 모형시험 결과를 일본수조기관에서의 실험결과와 비교하였으며, 또한 이론 계산에 의한 결과와도 비교하여 보았다.

2. 模型船 및 試驗方法

2.1. 模型船

本 硏究의 대상선형은 國際水槽會議(ITTC)의 耐航性分科委에서, 각 회원수조별로 현재 사용하고 있는 船體運動推定技法의 精度를 확인하기 위해 채택한 船

接受日字：1983年 6月 10日, 再接受日字：1983年 10月 4日.

* 正會員, 韓國機械硏究所
** 準會員, 韓國機械硏究所

Table 1 Main particulars of ship and propeller

Denomination		Ship	Model
Length between perpendiculars	L(m)	175.00	4.0
Breadth	B(m)	25.40	0.5806
Draft, even keel	d(m)	9.50	0.2171
Displacement	(m^3)	24119	0.28825
Block coefficient	C_B	0.5717	0.5717
Waterplane area coefficient	C_W	0.7108	0.7108
Longitudinal C.G. from midship (AFT)	L_{cg}(m)$\overline{LCG}$	2.48	0.057
Vertical C.G. from B.L.	K_g(m)$\overline{KG}$	9.52	0.2190
Transverse metacentric height	$\overline{GM_T}$(m)	1.0	0.216
Longitudinal metacentric height	$\overline{GM_L}$(m)	202.0	4.86
Pitch radius of gyration	K_{yy}(m)	42.0	0.96
Roll natural periord	T_ϕ(sec)	18.0	2.72
Appendage			rudder

Denomination		Propeller	Model
Diameter	(m)	6.5	0.1486
Pitch ratio	—	1.055	1.055
Expanded blade area ratio	—	0.73	0.73
Rake angle	(deg)	9.65	9.65
Number of blades, Direction	—	5R.H.	5R.H.

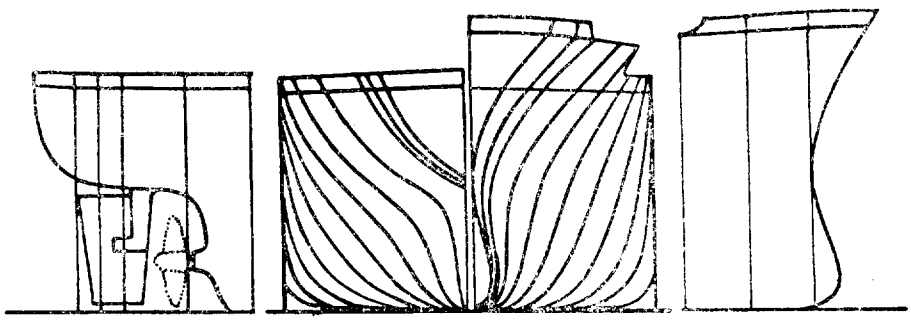

Fig. 1 Body plan, bow and stern profile of a container ship

型으로 S-175 콘테이너船이라 하며 선체길이가 175m, 선체의 폭이 25.4m, 흘수가 9.5m 및 설계선속이 22 knots이다. 模型船의 길이는 4m로 하여 FRP로 제작하였다. 상세한 船型 및 프로펠러 등의 諸元은 Table 1 및 Fig. 1에 수록하였다.

2.2. 試驗의 種類 및 狀態

模型試驗의 종류 및 시험상태는 Table 2와 같이 船體運動, 波浪中船體抵抗, 波浪中自航시험 등의 모형시험을 수행하였으며 波는 정면규칙파(regular head wave)로 하였고, 波長은 波長船體길이비 λ/L을 0.5~2.0 사이의 11개로 하였으며, 파고는 8cm($\zeta_\omega=L/50$)를 기준으로 하고, 파고영향을 보기 위해 6cm($\zeta_\omega=3L/200$) 및 10cm($\zeta_\omega=L/40$)를 추가하였다.

또한 시험선속은 Fn=0.15, 0.20, 0.25 및 0.30으로 하였다.

2.3. 試驗方法

規則波中 船體運動 및 抵抗試驗을 Fig. 2와 같은 carriage형의 6自由度 運動 계측장비를 이용하여 수행하였다. 이때 모형선의 sway, yaw, roll 운동은 선수부에 설치한 guide 장치로 구속하였으며 예인력은 Fig. 2에 있는 바와 같이 重力式 抵抗動力計(gravity type resistance dynamometer)에 연결된 tension wire를 통

Table 2 Conditions of resistance self-propulsion, motion and propeller open-water tests

Test	Condition		Fn	w	/L	Measuring Items
Motion and Resistance tests	Motion free	Wave height variation	0.2 0.25	6cm 8cm 10cm	1.0	Pitch, Heave, Surge
		Constant wave height	0.15 0.20 0.25 0.3	L/50 =8cm	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 2.0	Resistance, Wave
	Calm water			0		Resistance
Motion and Self-propulsion tests	Motion free	Wave height variation	0.2 0.25	6cm 8cm 10cm	1	Pitch, Heave, Surge, Propeller thrust, torque revolution, Wave
		Constant wave height	0.15 0.20 0.25 0.3	L/50	5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 2.0	
	Calm water			0		thrust, torque, revolution

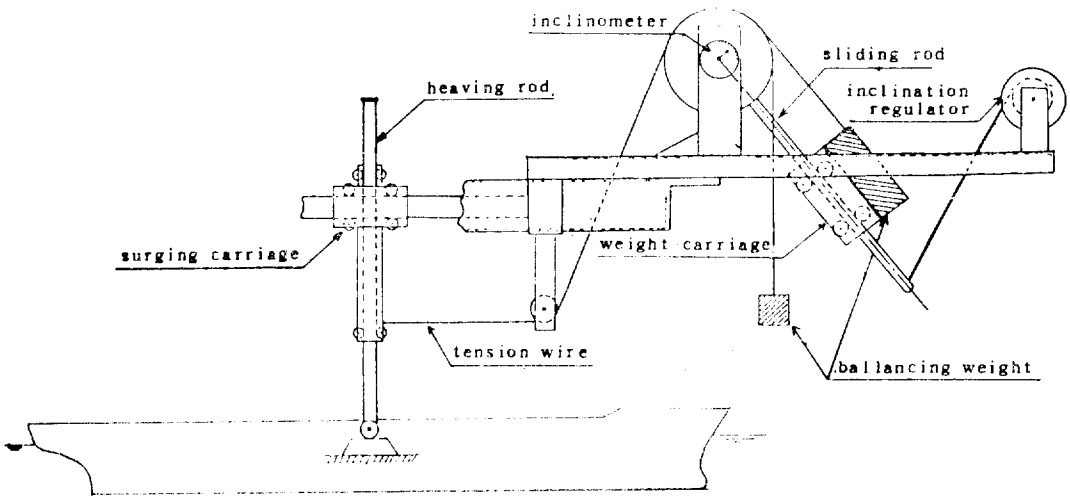

Fig. 2 Gravity-type resistance dynamometer of ship model in wave

하여 주었다. 船體의 운동은 운동계측장비의 heaving rod에 연결되어 있는 potentio-meter형의 검출기로부터 계측하였고, 抵抗은 평형상태에서 증력식 저항동력계의 重錘무게의 合으로 계측하였다. 이때 평형상태라 함은 선체에 작용하는 길이 방향힘의 평균치와 重錘의 무게가 같아질때를 말하며, 이 상태에서는 선체의 surge운동의 계측치가 drift 없이 일정한 조화운동만을 하게 되는데, 일정한 속도로 예인전차를 전진시키면서 이 상태를 만들어 주기 위하여는 重錘의 무게를 조정하는 作業이 필요하다. 重錘의 무게를 쉽게 조정하기 위하여 Fig. 2에 있는 바와 같이 경사면위에 weight를 두고 경사면의 경사각을 조정하는 方法을 채택하였으

며, 미끄럼 마찰을 최대로 줄이기 위하여 2-point bearing에 의한 活車를 제작하여 사용하였다.

다음 規則波中 自航試驗은 저항시험과 동일한 장비를 사용하되 중력식 저항동력계를 제거하고, 推進器 자체의 推力을 에인력으로 하였으며 저항시험의 경우와 유사하게 평형상태를 만들어 주기 위하여 추진기의 회전수를 조정하는 方法을 사용하였다.

이때 추진기의 推力, 토오크, 회전수 등은 propeller dynamometer를 사용하여 계측하였다.

각 시험에 사용한 정현규칙파는 flap형의 造波장치로 발생시키었으며, 試驗後의 消波를 위해 수조 끝단에 설치된 消波장치와 수조 양옆에 설치된 side beach를 이용하였다. 또한 입사파의 파고는 에인전차에 설치한 抵抗式 파고계로 계측하였다.

3. 試驗結果

3.1. 船體運動

規則波中 抵抗試驗 및 自航試驗시에 계측된 선체운동의 해석결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 정리하였다.

Fig. 3은 波의 振幅으로 무차원화한 선체의 heave운동결과로, 船速이 커질때 최대 應答이 커지며 최대 應答이 일어나는 파장도 커짐을 보여준다. 또한 파장이 길어지면 heave운동진폭 Z_a/ζ_a는 1.0에 가까와짐을 보여준다. heave운동 결과는 일본의 실험 결과[1]와 대체로 잘 일치하였으며 이론계산프로그램[2]에 의한 결과와 비교하여 보면 최대 應答의 크기가 작게 나타남을 보여주고 있다.

Fig. 4는 波의 기울기로 무차원화한 pitch운동결과로

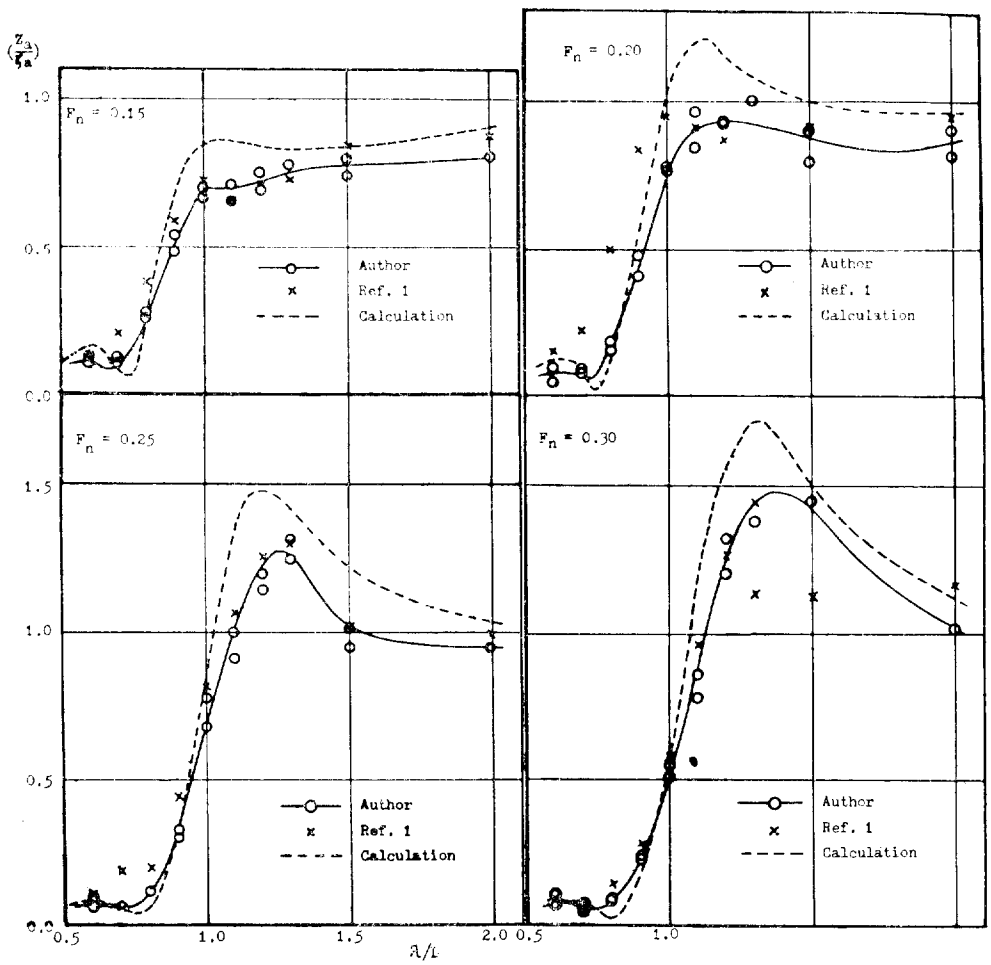

Fig. 3 Comparison of heave response in regular head wave between experiments and calculations

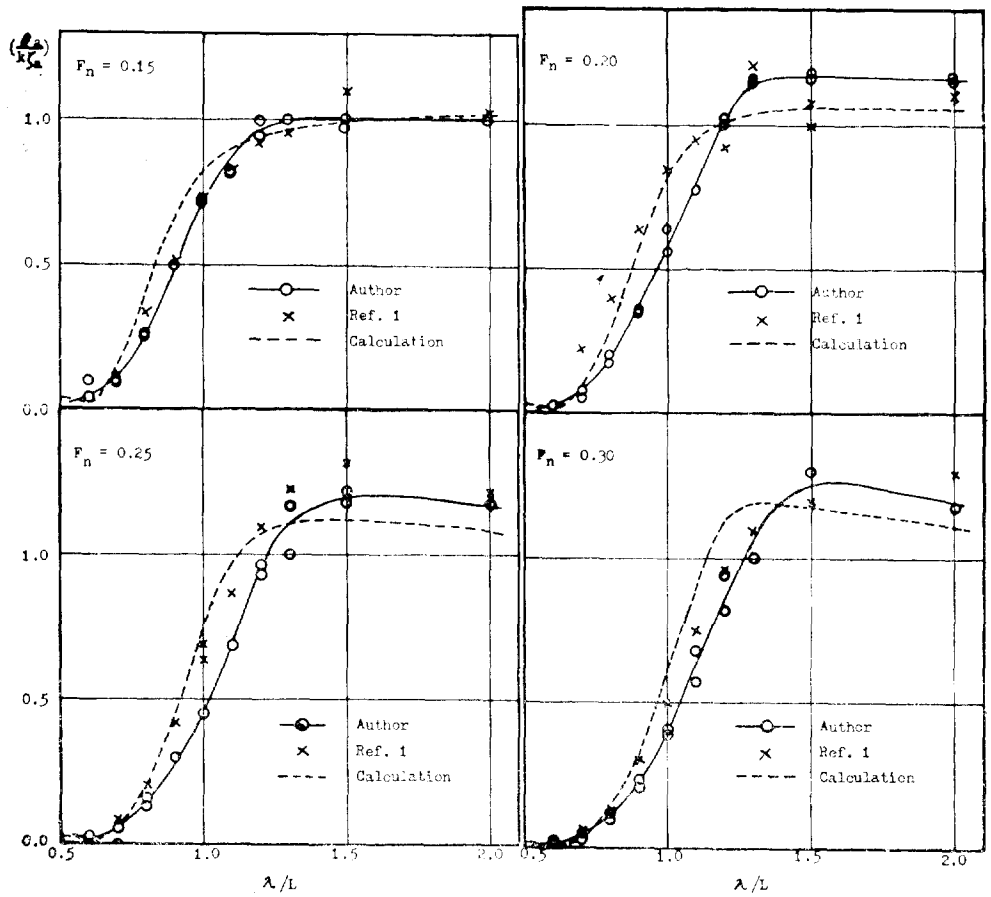

Fig. 4 Comparison of pitch response in regular head wave between experiments and calculations

船速이 커짐에 따라 최대응답이 긴 파장에서 일어나며 그 크기도 증가함을 보여주며, 짧은 파장의 波에서는 응답의 크기가 감소함을 보여준다. 또한 $Fn=0.15$일 때는 本 硏究의 실험결과가 일본의 실험결과 및 이론계산 결과와 잘 일치하였다. 다음 $Fn=0.20$ 및 0.25 일때는 本 硏究의 결과가 짧은 파장에서는 일본의 실험치보다 작고, 긴 파장에서는 대체로 비슷한 값이 되었으며 이론계산결과와 비교하여 보면 짧은 파장에서는 이론계산치보다 작고, 긴 파장에서는 이론 계산치보다 크게 되었다. $Fn=0.30$일때는 일본의 실험치와 잘 일치하였으며, 이론계산과는 $Fn=0.25$을 결과와 유사한 경향을 보여주었다.

3.2. 抵抗增加

規則波中 抵抗增加를 다음과 같이 무차원화하여 Fig. 5에 정리하였다.

$$\sigma_{AW}=R_{AW}/(\rho g\zeta_a^2B^2/L)$$

여기서 $R_{AW}=(R_{TM})_w-(R_{TM})_c$

$(R_{TM})_w$: 규칙파중 全抵抗
$(R_{TM})_c$: 정수중 全抵抗
ζ_a : 波의 진폭
B : 船幅
L : 선체길이

Fig. 5의 계산치는 Gerritsma and Beukelman [3]이 제안한 방법에 의한 결과로서 일반적으로 細長船의 경우 船首波 상태에서 좋은 결과를 준다고 알려져 있다.

이 방법에 의하면 파랑중 저항증가는 다음과 같이 표현된다.

$$R_{AW}=\frac{K}{2\omega_e}\int_0^L\left(N-U\frac{\partial S}{\partial x}\right)V_{ra}^2dx$$

여기서 N : zero선속시 단면의 heave감쇠계수
S : zero선속시 단면의 heave부가질량계수
U : 선속
V_{ra} : 수직상대유속의 진폭
ω_e : encounter frequency
K : 波數

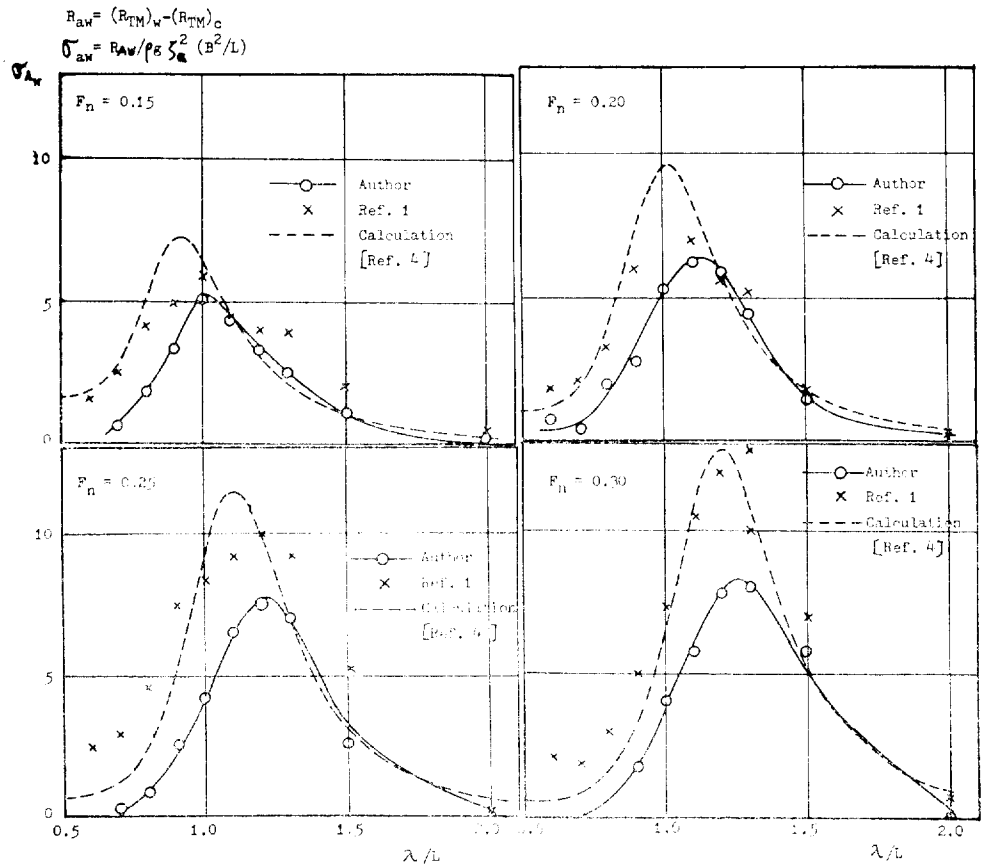

Fig. 5 Comparison of resistance increase coefficients in regular head waves between experiments and calculation

本 硏究의 실험결과를 보면 船速이 커지면 최대 抵抗增加가 긴파장 근처에서 나타나며 그 크기도 증가함을 보여주고 있으며, 파장이 극히 짧거나 극히 큰 값이 되면 抵抗增加는 없음을 보여준다.

또한 일본의 실험결과[1]와 비교하면 저항증가 계수는 $Fn=0.15$ 및 $Fn=0.20$에서는 비교적 잘 일치하나 $Fn=0.25$ 및 $Fn=0.30$에서는 일본의 실험치보다 작은 값이 얻어졌다.

또한 Gerritsma방법에 의한 이론계산 결과와 비교하여 보면 저항증가계수의 실험치가 계산치보다 작은 값이 되었다.

본 연구의 실험저항증가 계수가 일본의 실험결과 및 이론계산결과에 비하여 작게 추정된 것은 Gerristma방법에 의한 이론계산시의 선체운동이 실험시보다 크게 계산된 영향과, 실험시에 가이드장치에 걸리는 마찰력의 영향 및 계산상태와 모형선간에 생길 수 있는 약간의 중량분포 차이에 의한 것으로 추정된다.

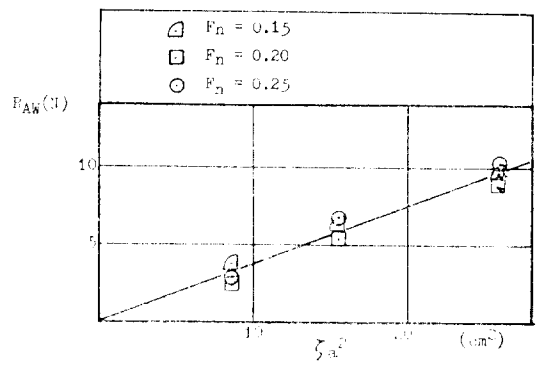

Fig. 6 Effect of wave height on resistance increase in regular head waves

다음 파고변화에 따른 영향을 조사하기 위해 $\lambda/L=1.0$일때 파고를 6cm, 8cm 및 10cm로 변화시킨 상태에 대한 실험결과를 Fig. 6에 도시하였다. 이 경우 파의 기울기는 1/66~1/40로 저항증가가 선속에 관계없

이 파고의 제곱에 비례함을 보여주고 있는데 이는 Kwon[4]의 조사결과와 일치하는 결과이다.

3.3. 推進特性

規則波中 自航試驗으로부터 추력, 토오크 및 회전수의 증가량을 다음과 같이 구하여 Fig. 7~Fig. 9에 각각 도시하였다.

$$T_{AW}' = T_{AW}/(\rho g \zeta_a^2 B^2/L)$$

$$Q_{AW}' = Q_{AW}/(\rho g \zeta_a^2 D B^2/L)$$

$$N_{AW}' = N_{AW}/(g\zeta_a^2 B^2/L)\cdot U\cdot D^3$$

여기서, $T_{AW} = T_W - T_C$

$Q_{AW} = Q_W - Q_C$

$N_{AW} = N_W - N_C$

D : 프로펠러직경

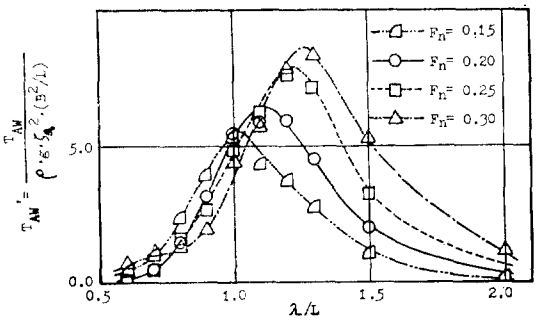

Fig. 7 Nondimensional thrust increase in regular head waves

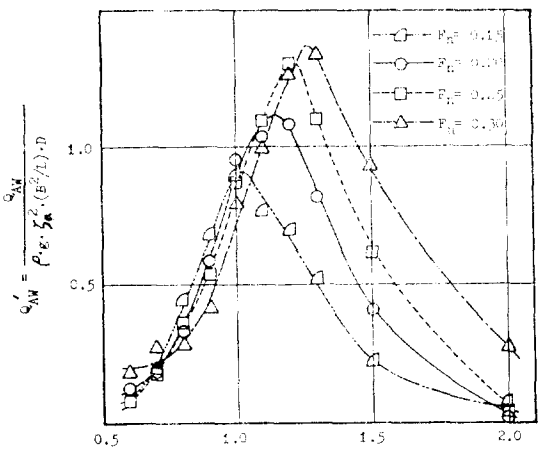

Fig. 8 Nondimensional torque increase in regular head waves

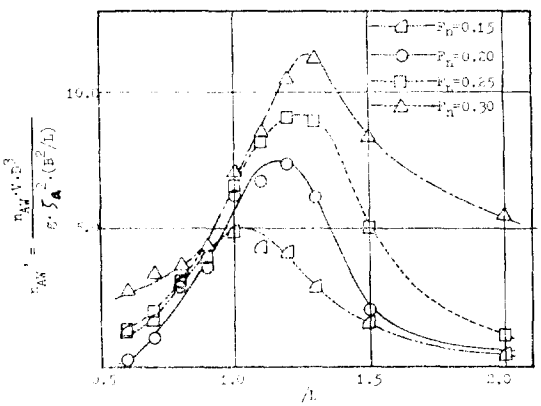

Fig. 9 Nondimensional revolution increase in regular head waves

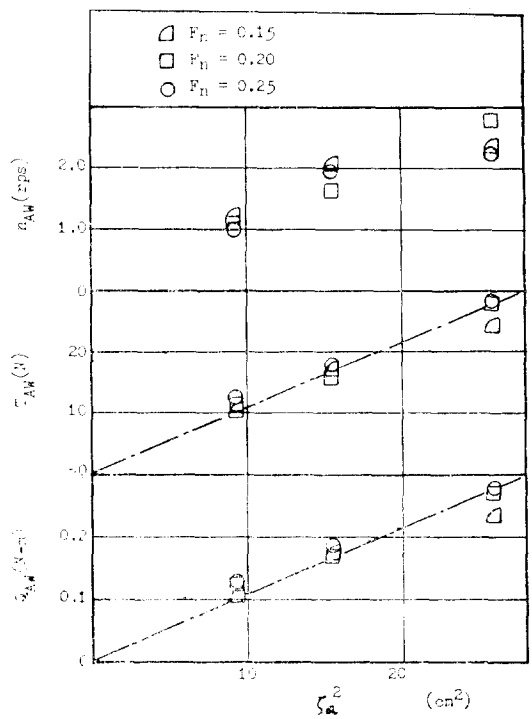

Fig. 10 Effect of wave height on thrust increase, torque increase and revolution increase in regular head waves

推力, 토오크 및 회전수의 증가량은 $\lambda/L=1.0$ 이하에서는 船速에 따라 큰 변화가 없으나, 船速이 증가함에 따라 최대치의 위치가 $\lambda/L=1.0$에서 1.3까지 변화하며 그 값의 크기도 커진다. 추력증가는 저항증가와 동일한 경향을 보여주고 있다. Fig. 10은 $\lambda/L=1.0$에서의 추력, 토오크 및 회전수의 증가량을 파고 변화에 따라 도시한 것으로 추력과 토오크의 증가량은 파의 기울기가 1/66~1/40인 파중에서는 파고의 제곱에 비례하나, 회전수의 증가량은 종래 알려진 결과와는 달리 파고의 제곱에 비례하지 않음을 알 수 있다.

또한 規則波中 각종 推進係數는 抵抗시험, 自航시험

및 靜水中 프로펠러單獨시험 결과를 다음과 같이 기준으로 해석하여 추정하였다.

* Froude해석법 : 推力一致法 사용
* 마찰저항계수 : 1957 ITTC 模型船一實船 相關曲線 사용
* 추력감소계수 t, 반류계수 W, 상대회전효율 η_R, 프로펠러 단독효율 η_0의 尺度效果 무시
* 靜水中 모형프로펠러 단독특성곡선 사용
* 실선상태 : 15°C 해수상태, CA=0.0

船首規則波中에서의 추진계수들의 波長變化에 따른 변화를 정수중에서의 값들과 비교해보면, 선체운동이 격심해지는 波長 근처에서는 프로펠러 單獨效率 η_0가 대체로 감소하며, 伴流比($1-W$)는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 伴流比($1-W$)가 정수중의 값보다 크게 나타나는 이유는 Faltinsen[5] 등에 의하면, 선체운동으로 境界層(boundary layer)의 두께가 작아지기 때문이다. 船體效率 η_H는 정수중의 값보다 대체로 작으며, 準推進係數 η_D도 정수중의 값보다 적다. 선속이 커지면 推力減少比($1-t$)와 相對回轉效率 η_R 등은 정수중의 값과 비슷한 크기가 되었다.

4. 結 言

고속콘테이너 模型船에 대한 規則波中 선체운동, 저항 및 자항추진시험 등을 수행하여 이로부터 파랑중 운동응답, 저항증가, 추력, 토오크 및 회전수 증가와 추진계수들의 변화를 해석하였으며, 외국수조에서의 실험결과 및 이론계산결과와 비교하였다.

앞으로 規則波中 시험결과를 해석하는 기법을 확립해야 하며 특히 프로펠러의 단독특성을 자항시험결과 해석에 사용할 때 선체운동에 의한 프로펠러의 沒水깊이 변화 및 전진비의 변화 등을 고려하는 방법을 개발해야 한다. 또한 실선의 추진마력증가 또는 선속감소를 추정하기 위해서 추진계수에 대한 척도 영향의 고려방법 및 불규칙파중에서의 추력증가 또는 마력증가 추정법의 개발이 선행되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

〔1〕 "超高速 コンテナ船の 耐航性に 關する研究", 日本造船研究協會 第125研究部會 研究報告書 研究資料 No. 211, 1975.

〔2〕 梁承一, 洪錫原 外, "船體運動性能 推定을 위한 전산프로그램개발에 관한 研究", 韓國船舶研究所 研究報告書 UCE 37-55.79, 1979.

〔3〕 Gerristma J. and Beukelman W., "Analysis of the Resistance Increase in Waves of a Fast Cargo Ship", Report of the Laboratorium Voor Scheepsbouwkunde, Technisch Hogeschool Delft, 1971.

〔4〕 Kwon, Y.J., "The Effect of Weather Particularly Short Sea Waves, on Ship Speed Performance", Ph.D. Thesis of U. of Newcastle upon Tyne, 1981.

〔5〕 Faltinsen, O. et al., "Prediction of Resistance and Propulsion of a Ship in a Seaway", Proc. 13th ONR/SNH, Tokyo, Oct. 1980.