

大韓造船學會論文集
 第 36 卷 第 1 號 1999 年 2 月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 36, No. 1, February 1999

도크내 시운전시 프로펠러 추력에 대한 연구

정경남*, 원종천*, 서흥원*, 최군일*

A Study of Propeller Thrust in Dock Trials

by

K.N. Chung*, J.C. Won*, H.W. Seo* and G.I. Choi*

요 약

해상 시운전을 수행하기 전에 그 예비단계로서 주기관 등을 점검하는 도크내 시운전을 행하게 되는데, 이때 선박은 계선용 밧줄에 의해 그 움직임이 제한된다. 따라서 계선 상태에 대한 해석이 필요한데 이를 위한 입력자료로서 계선시 프로펠러에 의한 추력 값이 주어져야 한다. 현대중공업에서는 간단한 수식을 이용하여 이를 추정하고 있으나 최근 선박의 대형화 및 고속화와 더불어 기존 수식에 대한 타당성 검토가 요구되고 있으며 또한, 예상되는 대형 사고의 위험을 미리 방지하기 위하여 보다 정확한 계선상태 해석이 요구되고 있다. 본 연구에서는 계선시 프로펠러 추력의 예측에 관한 수식을 검토하고 계선 해석을 위한 신빙성 있는 자료를 도출하고자 실적선을 대상으로 모형시험을 수행하였다.

Abstract

Prior to sea trials, dock trials are usually carried out in order to check the main propulsion system and auxiliaries. At that time the motion of a ship is limited by mooring ropes. In Hyundai Heavy Industries, a simple equation is used to obtain propeller thrust which is used as an input data of mooring analysis. Recently the ship size and the engine power become larger. Therefore a careful analysis of the mooring condition is necessary in order to avoid possible accidents. In this study propeller thrust at dock trials is reviewed and examined through a series of model tests.

발 표 : 1997년도 대한조선학회 추계학술대회('97. 11. 13)

접수일자 : 1997년 11월 29일, 재접수일자 : 1999년 2월 9일

* 정회원, 현대중공업 선박해양연구소

1. 서 언

해상 시운전을 수행하기 전에 통상적으로 주기 관 등을 점검하기 위하여 도크내 시운전을 수행하게 되는데, 이때 선박은 계선용 밧줄에 의해 그 움직임이 제한된다. 도크내 시운전을 수행하는 동안 이러한 계선용 밧줄에 상당히 큰 힘이 작용하게 되므로 필요한 밧줄의 수와 굵기를 결정하여야 하는데, 이를 위하여 계선 상태에 대한 해석이 필요하다. 계선상태 해석을 수행하기 위해서는 계선시 프로펠러 추력에 대한 정보가 필요한데, 현대중공업에서는 간단한 수식을 이용하여 이를 추정하고 있다. 하지만 최근 선박의 대형화 및 고속화와 더불어 기존 수식에 대한 타당성 검토가 요구되고 있으며, 또한 예상되는 대형 사고의 위험을 미리 방지하기 위하여 보다 정확한 계선상태 해석이 요구되고 있다. 이와 같은 필요성에 의해 최근 도크내 계류중인 선박의 프로펠러 추력에 관한 관심이 높아져 이와 관련된 연구가 진행되었다 [1][2][3]. 본 연구에서는 현재 현대중공업에서 사용하고 있는 계선시 프로펠러 추력의 예측에 관한 수식을 검토하고 계선 해석을 위한 보다 신빙성 있는 자료를 도출하고자 실적선을 대상으로 모형시험을 수행하였다.

2. 도크내 시운전시 추력계산

2.1 수식에 의한 추력계산

현재 현대중공업에서는 도크내 시운전시 프로펠러 추력을 엔진 출력 값으로부터 구하고 있다. 즉 1 마력당 추력 값은 0.0120 ton/PS라는 간단한 수식을 사용하고 있다. 최근 선박의 대형화 및 고속화에 따른 이 수식의 타당성을 알아보기 위하여 프로펠러 특성을 사용한 관계식을 만들어 비교하기로 한다.

일반적으로 프로펠러의 성능을 예측하기 위해서는 예인수조에서 프로펠러 단독시험을 수행하게 되는데 그 결과는 (프로펠러 전진속도와 회전속도 사이의 비를 나타내는 무차원 계수인) 프로펠러

전진비 J 에 대한 프로펠러의 추력계수 K_{T_0} , 토오크계수 K_{Q_0} 그리고 프로펠러 단독효율 η_0 를 나타내는 양식으로 정리된다. 도크내 시운전의 경우 프로펠러는 선미부에 장착되어 작동하므로 상대회전효율을 도입하여야 하지만 선체의 존재를 무시하여 상대회전효율을 1.0이라 놓으면 단독상태에 대한 추력계수와 토오크계수를 사용하여 도크내 시운전시 엔진 출력과 프로펠러 추력 사이의 관계를 간단한 계산을 통하여 아래와 같이 표현할 수 있다[2].

$$T = 0.709 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{K_{T_0}}{K_{Q_0}} \cdot \frac{P_B}{D} \quad (1)$$

위의 식에서 T 는 프로펠러 추력(ton)을, n 은 프로펠러 회전수(rpm)를, P_B 는 제동마력(PS)을, D 는 프로펠러 직경(m)을 각각 나타낸다. 식 (1)에서 전달효율은 0.99라 가정하여 제동마력과 전달마력 사이의 관계를 구하였다.

만약 도크내 시운전시 선박이 움직이지 않는다고 가정하면 프로펠러 추력은 식 (1)에서 전진비가 0인 상태에서의 추력계수와 토오크계수의 값을 사용하여 쉽게 구할 수 있다. 참고문헌 [2]에서는 현대중공업 실적선 중 최근에 건조된 선박을 중심으로 모두 34척의 선박에 대하여 식 (1)을 사용하여 1 마력당 추력을 계산하였다. 계산 결과 각 선박에 대한 마력당 추력은 대부분 그 값이 0.0090 - 0.0110 ton/PS의 범위에 있었다. 이 값은 기존의 간단한 수식에 의한 마력당 추력 값과 비교하여 약 8 % 작은 값을 보이고 있다. 한편, 참고문헌 [4]에 언급된 도크내 시운전시 최대 추력은 약 180 ton이며 이 경우 마력당 추력 값은 0.0113 ton/PS이다. 이로부터 기존의 간단한 수식에 의한 값이 최근 선박의 대형화 및 고속화에도 불구하고 여전히 유용한 값을 주는 것으로 보인다. 하지만 식 (1)은 프로펠러 단독상태에 대한 식이므로 선체가 있는 경우와 차이를 보일 것이다. 따라서 보다 정확한 해석을 위하여 프로펠러 단독시험과 모형 bollard pull test를 수행하였다.

2.2 프로펠러 모형시험

2.2.1 시험 조건

참고문헌 [2]에서는 34척의 실적선 프로펠러를 엔진마력의 크기에 따라 5 개의 그룹으로 나누고 각 그룹별로 부하가 많이 걸리는 프로펠러를 선정하여 프로펠러 단독시험을 수행하였다. 이 중에서 대표적인 선종이라 생각할 수 있는 4410 TEU 컨테이너선과 135k DWT 원유운반선에 대하여서는 다양한 조건에서 모형시험을 수행하였다. 따라서, 여기서는 이 두 프로펠러에 대한 결과만 살펴도록 하겠다. Table 1은 이 두 프로펠러의 주요 제원을 나타낸다.

Table 1 Main particulars of model propellers

	4410 TEU C/C propeller	135k DWT COT propeller
직경, D (mm)	216.3	228.0
허브비	0.207	0.160
피치비 (at root)	0.781	0.580
피치비 (at 0.7R)	1.136	0.750
피치비 (at tip)	0.798	0.678
전개면적비	1.003	0.532
날개수, Z	6	4

프로펠러 단독시험은 전진 상태와 후진 상태에 대하여 수행하였다. 선박이 후진하는 경우 실제 상태와 같은 조건이 되게 하기 위하여 통상의 프로펠러 단독시험의 경우와 달리 동력계 뒤에서 예인전차가 진행되는 방향으로 볼 때 날개의 압력면이 보이도록 모형 프로펠러를 반대 방향으로 프로펠러 동력계에 설치하고 프로펠러가 시계방향으로 회전하도록 하였다. 수면으로부터 프로펠러 축까지의 거리 또는 축 잠김을 I라 표시하면 전진상태의 경우 I=1.5/0.5/0.35/0.0 D에 대하여 후진상태의 경우는 I=1.5/0.0 D에 대하여 단독시험을 수행하였다. 여기서 전진상태 I=1.5 D인 경우에 대하여서는 기존의 프로펠러 단독시험 결과를 사용하였다. 한편 모형 bollard pull test는 만재상태에서 선박이

전진하는 경우와 후진하는 경우에 대하여 수행하였는데, 모형선에 모형 프로펠러를 장착하고 예인전차는 정지되어 있는 상태에서 프로펠러 회전수를 변화시키면서 프로펠러의 추력과 토오크를 계측하였다. 또한 축 잠김에 따른 변화를 살펴기 위하여 4410 TEU 컨테이너선의 경우 I=0.5 D에 대하여도 bollard pull test를 수행하였다.

통상의 단독시험에서는 과도한 척도효과를 피하기 위하여 점성의 영향을 나타내는 Reynolds 수가 프로펠러 축으로부터 0.7 R(Radius) 되는 곳에서 2.0×10^5 보다 크도록 프로펠러의 회전수를 결정한다. 하지만, I=0.5/0.35/0.0 D의 경우처럼 자유수면의 효과가 큰 경우 프로펠러의 회전수는 Froude 수에 의해 결정된다. 한편 air-ventilation 수를 사용하여 프로펠러 회전수를 결정하기도 하는데 이 수는 축 잠김에 대한 함수로서 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_{air} = \frac{2gh}{(\pi nD)^2} \quad (2)$$

여기서 $h=I+R$ 이다. 위의 식 (2)에서 알 수 있듯이 이 air-ventilation 수는 Froude 수의 일종이다. 만재상태 NCR에서 Froud 수에 따른 모형 프로펠러 회전수는 4410 TEU 컨테이너선의 경우 10.3 rps이며 135k DWT 원유 운반선의 경우는 8.6 rps이다. 흘수의 변화에 따른 프로펠러 회전수의 변화는 초기에 알 수 없으며 작다고 판단되고 또한 만재상태의 결과와 비교하기 위하여 상기 회전수 값을 I=0.5/0.35/0.0 D의 경우에도 그대로 적용하였다.

2.2.2 단독시험

예인전차의 속도, 프로펠러 회전수, 프로펠러가 내는 추력과 토오크를 계측하여 얻은 단독시험 결과를 Fig. 1 - 4에 나타내었다. 그림에서 계측 자료는 4차 다항식을 이용하여 순정하였으며 모형 프로펠러에 대한 값을 나타내고 있다. 단독시험 결과에서 두드러진 특징중의 하나는 축 잠김이 작아짐에 따라 프로펠러의 추력과 토오크가 크게 감소한다는 것이다. 이의 한 원인으로서는 축 잠김이

작아짐에 따라 프로펠러가 부분적으로 물 밖에 노출되면서 추력과 토크의 손실을 가져오기 때문이다. 프로펠러 날개가 물 밖에 있는 경우 공기에 의한 추력이 있으나 그 양은 밀도 차이에 의해 물 속에 있는 경우와 비교하여 약 0.1%에 해당하므로 무시할 수 있을 만큼 작다. 따라서 물 밖에 있는 부분만큼 추력이 손실된다고 할 수 있다. 또한 공기의 유입(air drawing)으로 인한 추력 및 토크의 손실을 들 수 있다. Lehn[1]은 날개표면에서의 압력이 어떤 임계값보다 작아져 공기가 유입되어 추력이 약 20-30% 감소되며 날개가 물 밖에 있는 경우 이 양은 더욱 증가한다고 보고하였다. 또한

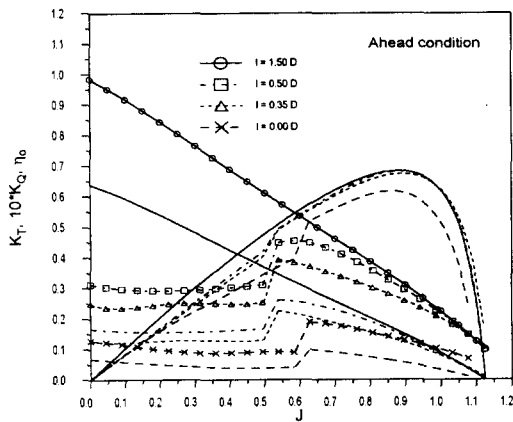


Fig.1 POW characteristics of 4410 TEU C/C propeller at ahead condition

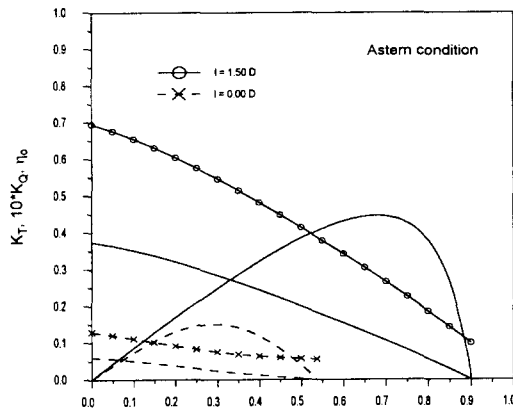


Fig.2 POW characteristics of 4410 TEU C/C propeller at astern condition

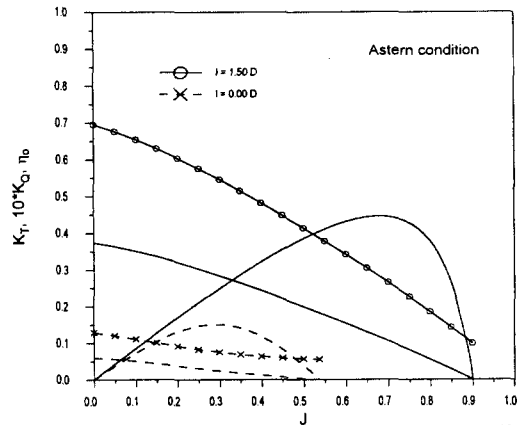


Fig. 3 POW characteristics of 135k DWT COT in ahead condition

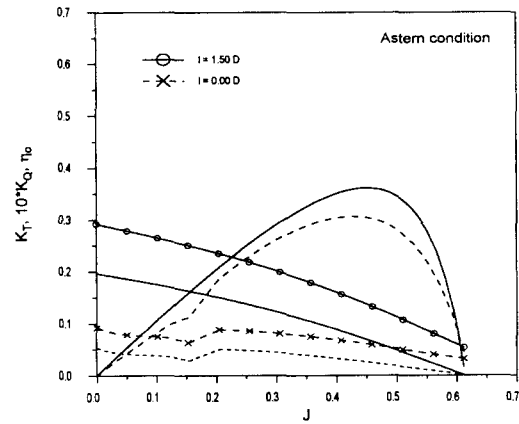


Fig. 4 POW characteristics of 135k DWT COT in astern condition

공기유입은 프로펠러 추력, 축 잠김, 자유수면의 교란에 대한 함수라고 지적하였다. 한편 하문근 등[3]은 축 잠김에 따른 추력감소 뿐만 아니라 프로펠러 회전수를 변화시켜 air-ventilation 수에 따른 추력감소를 살펴보고 공기유입이 air-ventilation 수가 0.23이하에서 발생한다고 보고하였으며 모형 시험 결과를 토대로 안벽 계류시 프로펠러 추력에 대한 식을 유도하였다. 다른 원인으로서는 축 잠김이 작아짐에 따라 자유수면이 가까워지면서 경계면의 존재에 의하여 프로펠러 주위의 유동장이 변화하게 되며 파의 발생이 크게 되어 에너지의 손실을 갖게 된다. 하지만 이의 영향은 작다고 알려

져 있다[3].

그림에서 알 수 있듯이 공기의 유입에 인한 추력 및 토오크의 감소는 단독시험에서 어떤 특정 전진비를 경계로 급격한 변화를 보여준다. 이것은 특히 4410 TEU 컨테이너선의 전진상태에서 두드러지게 나타나고 있다. 이러한 공기유입에 의한 추력의 급격한 변화는 프로펠러 후류의 유동과 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 예로서 4410 TEU 컨테이너선이 $I=0.35$ D인 상태에 있는 경우에 대하여 살펴보기로 하자. 프로펠러 제원으로부터 $r=0.7$ R에서 피치각을 구해보면 27.3 도가 된다. 프로펠러가 $J=0.494$ 에서 작동하는 경우(이 때 예인전차의 속도는 1.1 m/s 임) advance angle(전진각)은 12.7 도이므로 날개단면에 대한 유체의 받음각은 14.6 도가 되며 전진비가 0.538일 때(예인전차의 속도는 1.2 m/s 임) 전진각은 13.8 도이므로 유체의 받음각은 13.5 도가 된다. 통상 캠버가 없는 대칭 날개단면의 경우 받음각이 15-20 도에서 날개단면 전체에 걸쳐 유동박리가 일어난다고 알려져 있으므로 캠버가 있는 날개단면의 경우 이보다 약간 작은 받음각에서도 유동박리가 일어날 것이다. 실제로 예인수조에서의 실험에 있어서 프로펠러가 $J=0.494$ 에서 작동하는 경우 프로펠러 후류는 유동박리 등에 의해 3차원의 복잡한 흐름을 띠면서 공기유입이 함께 이루어지나 예인전차 속도가 증가하여 프로펠러가 $J=0.538$ 에서 작동하는 경우 프로펠러 전진속도의 증가로 프로펠러에 유입되는 유체의 받음각이 상대적으로 작아지면서 유체가 매끄럽게 흘러가는 것을 관측과 소리로 확인할 수 있었다. 따라서 프로펠러 후류에서의 유동박리는 공기유입 현상을 일으키는 한 원인으로 볼 수 있다. Fig. 5와 6은 서로 다른 두 전진비에서의 프로펠러 후류 유동을 사진으로 보여주고 있으며 Bruel & Kjaer사의 Type 2230 precision integrating sound level meter를 사용하여 축 잠김 $I=0.35$ D인 경우 $J=0.494$ 와 $J=0.538$ 에서 프로펠러로부터 약 30cm 떨어진 곳에서 소리의 세기를 측정 한 결과 각각 88.7dB, 83.3dB의 값을 얻었다. 이는 소리의 세기가 2배 이상 차이나는 것을 뜻한다.

한편 공기유입에 따른 추력 감소가 상당히 클

수 있다는 것을 그림에서 알 수 있는데 전진상태 $I=0.50$ D인 경우 전진비 $J=0.0$ 에서 추력계수와 토오크계수의 값을 $I=1.50$ D인 경우에서의 값과 비교하면 135k DWT 원유 운반선에서는 약 60%, 4410 TEU 컨테이너선에서는 약 30% 밖에 되지 않는 것을 알 수 있다. 이와 같이 원유 운반선의 경우와 비교하여 컨테이너선의 경우 추력과 토오크의 감소가 약 2 배 크게 나타난 이유는 컨테이너선의 경우 전진비가 0.55 - 0.60 부근에서 공기흡입에 의한 추력 감소가 크게 발생하였으나 원유 운반선의 경우 공기흡입에 의한 추력 감소가 거의 없기 때문이다. 전진상태 $I=0.0$ D인 경우 축 잠김에 따른 추력의 손실량은 컨테이너선의 경우 80% 이상에까지 이르고 있다.

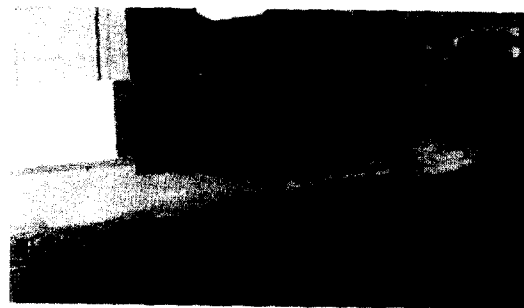


Fig. 5 Photo of flow pattern behind the propeller at $I=0.35$ ($J=0.494$)



Fig. 6 Photo of flow pattern behind the propeller at $I=0.35$ ($J=0.538$)

배가 후진하는 경우 전진하는 경우와 비교하여 보면 추력, 토오크, 프로펠러 효율이 크게 감소하

는 것을 알 수 있다. 전진상태 $I=1.5 D$ 인 경우를 기준으로 하여 살펴보면, 선박이 후진하는 경우 전진비 $J = 0$ 에서 추력과 토크 값이 전진상태에서의 추력과 토크 값의 50 - 60%, 70 - 80%인 것을 알 수 있다. 이와 같이 추력과 토크 값이 감소하는 이유는 날개단면의 캠버에 의한 영향이 프로펠러의 추력과 토크를 감소시키는 방향으로 작용하기 때문이다. 추력 감소에 대한 또 다른 원인으로서는 후진시 날개단면의 형상을 들 수 있다. 즉, 단면 모양이 전진시와 같이 높은 양력을 주기에 적합한 형상이 아니라는 것이다. 추력 감소에 비하여 토크의 감소가 적은 이유는 단면 형상이 앞부분이 날씬하고 뒷부분이 뚱뚱한 모양을 가짐으로서 전진시에서와 같은 유선형의 단면보다 상대적으로 큰 항력을 주게되기 때문이다[5]. 선박이 후진하는 경우에는 공기흡입에 의한 추력 감소가 원유 운반선에서만 일어났는데 추력과 토크계수의 변화는 컨테이너선의 경우와 비교하여 상대적으로 작은 것을 알 수 있다.

2.2.3 모형 bollard pull test

Bollard pull test에 대한 결과는 Fig. 7과 8에 각각 나타내었는데 전진상태와 후진상태를 함께 보여주고 있다. 그림에서 $I=1.0 D$ 는 만재상태를 나타내며 계측 자료는 5차 다항식을 이용하여 순정

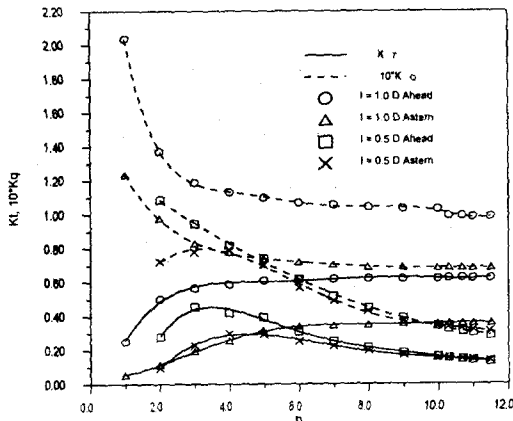


Fig. 7 Result of bollard pull test for 4410 TEU C/C

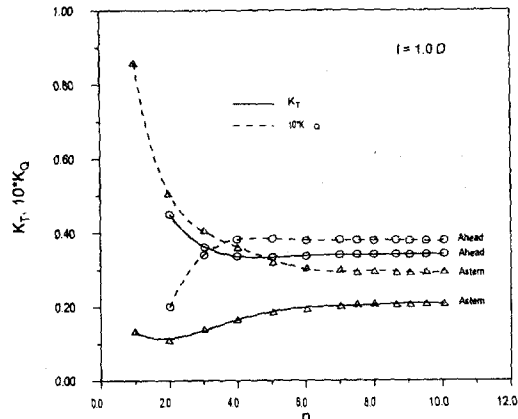


Fig. 8 Result of bollard pull test for 135k DWT COT

하였다. 시험결과를 살펴보면 만재상태의 경우 배의 진행방향에 관계없이 대체로 약 4.0 rps 이상에서는 추력계수와 토크계수가 큰 변화를 보이지 않고 있다. 이는 이 구간에서 프로펠러의 추력이 프로펠러 회전수의 제곱에 비례하여 변화한다는 것을 의미한다. 한편 Fig. 7의 컨테이너선의 경우 축 잠김에 대한 영향도 함께 보여주고 있다. 만재상태에서와는 달리 $I=0.50 D$ 에서 프로펠러의 추력계수와 토크계수는 회전수에 따라 큰 변화를 보이고 있다. 그림에서 보듯이 전진상태에서 프로펠러 회전수가 약 3.5 rps에서 추력계수 값이 NCR 상태에서보다 약 2배 큰 것을 알 수 있는데 이러한 추력계수의 증가가 곧 추력의 증가를 의미하지는 않는다. 한편 bollard pull test 결과를 전진비 $J=0$ 에서의 프로펠러 단독시험 결과와 비교하여 보면 약 2 - 8%의 추력계수와 토크 계수의 변화가 있다는 것을 알 수 있는데 이로부터 프로펠러 단독시험에 대한 선체의 영향은 크지 않다고 말할 수 있다.

2.2.4 안벽계류시 프로펠러 추력

도크내 시운전시 축 잠김에 따른 프로펠러 추력에 대하여 살펴보기 위하여 프로펠러 단독시험 결과와 모형 bollard pull test 결과를 정리하면 Fig. 9와 같다. 그림에서 T_m 은 $I=1.5 D$ 인 경우 $J=0$ 에서의 추력 값이다. 그림에서 보듯이 공기유입에

의한 추력감소가 있는 경우가 추력감소가 없는 경우와 뚜렷이 대비되고 있으며 이러한 경향은 원점을 지나는 두 개의 서로 다른 직선으로 표시되고 있다($\sigma=0$ 이라 함은 $h=0$ 인 경우인데 이는 축 잠김이 -R인 상태로서 프로펠러가 물 밖으로 완전히 나온 상태를 의미한다. 따라서 이 경우 프로펠러 추력은 2.2.2에서 언급한 바와 같이 무시할 수 있을 만큼 작은 값이므로 0이라 놓을 수 있다). 또한 air-ventilation 수가 0.23 이하라 하더라도 공기유입에 의한 추력감소가 일어나지 않을 수 있다는 것을 알 수 있다. 이같이 공기유입에 의한 추력감소가 서로 다른 운항조건에서 일어나고 그 변화의 정도가 차이나는 것은 추력과 토오크의 감소가 프로펠러에 걸리는 하중과 관계가 있기 때문인 것으로 설명할 수 있다. 추력 및 토오크의 감소와 프로펠러 하중과의 연관성은 Lehn이나 하문근 등이 언급한 바 있으나 본 연구에서 보다 구체적인 예를 보이고 있다고 하겠다.

한편 Fig. 9로부터 안벽 계류시 프로펠러 추력을 나타내는 식을 다음과 같이 구할 수 있다. 즉, T_m 이 침수상태에서 전진비가 0인 상태에서의 추력 값이므로 안벽 계류시 프로펠러 추력은 그림에서 공기유입에 의한 추력감소가 없는 경우를 나타내는 점선의 경우를 택하여 구하면

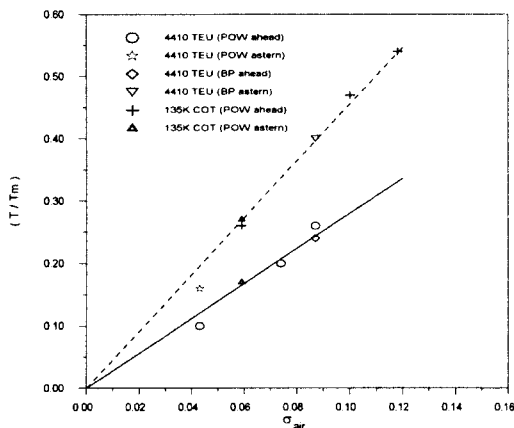


Fig. 9 Measured thrust with shaft immersion

$$T = 4.555 \sigma_{air} K_{T0} \rho n^2 D^4 \quad (3)$$

와 같이 표현할 수 있다. 이 식을 air-ventilation 수가 0.12인 경우에 대하여 적용하여 하문근 등이 제시한 식에 의한 값과 비교해 보면 약 46% 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 여기서 식 (3)은 air-ventilation 수가 0.23 이하인 경우에 대하여 적용하여야 한다는 것에 주의하여야 한다. 하지만 위의 식을 실제로 적용하기 위해서는 추가적인 모형시험을 통한 검증이 필요하다고 생각된다.

2.2.2의 프로펠러 단독시험 결과와 2.2.3의 bollard pull test 결과로부터 도크내 시운전시 프로펠러에 의한 추력이 만재상태에 비하여 크게 감소하고 선체의 존재에 의한 영향도 약 8% 이하로서 크지 않다는 것을 알 수 있다. 따라서 도크내 시운전시 마력당 추력을 0.0120 ton/PS로 하여 계선 작업을 준비하는 기존의 방법은 침수상태를 기준으로 마련된 식으로 판단되며 최근의 선박의 대형화 및 고속화에도 불구하고 여전히 유용하게 사용할 수 있다고 하겠다.

3. 결론

본 연구를 통하여 도크내 시운전시 프로펠러에 의한 추력의 변화에 대하여 조사하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 현재 사용하고 있는 도크내 시운전시 1 마력당 추력을 0.0120 ton으로 추정하는 방법은 최근의 선박의 대형화 및 고속화에도 불구하고 여전히 유용하게 사용할 수 있다.
- 2) 도크내 시운전시 축 잠김의 감소에 따라 프로펠러의 추력 및 토오크의 손실이 크게 증가되는데 이는 물 밖으로의 날개 노출과 자유수면에 의한 영향 그리고 공기의 유입으로 인하여 프로펠러의 추력 및 토오크가 감소하기 때문이다. 한편, 공기유입에 의한 추력 및 토오크의 감소는 프로펠러의 하중과 관계된다는 것과 프로펠러 후류에서의 유동박리가 공기유입 현상을 일으키는 한 원인이라는 것을 시험결과로부터 알 수 있었다.

3) 후진상태의 경우 날개형상에 의한 영향으로 전진상태와 비교하여 추력과 토오크 값이 상당히 작다.

4) 프로펠러 단독시험과 비교한 결과 bollard pull test에서 선체의 영향은 비교적 작음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구를 수행하는 계기를 마련해주신 1야드 기술관리부의 박정호 차장과 소음계측에 도움을 준 동력학연구실의 배종국 책임연구원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] E. Lehn (1992), "Practical Methods for Estimation of Thrust Losses," MARINTEK Report 513003.00.06., Trondheim, Norway.
- [2] 최군일, 정경남, 원종천, 서홍원 (1996), "안벽 계류호선 Dock Trial시 추력 계산," HMRI Technical Report, HMRI-96-06-R113.
- [3] 하문근, 송인행, 김도정, 위기섭, 김성환 (1997), "계류중인 선박의 프로펠러 추력 추정에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제34권 1호.
- [4] R. Taggart (1980), "Ship Design and Construction," SNAME, pp 701-702.
- [5] F. White (1987), Fluid Mechanics, McGraw-Hill Book Company, pp. 412-419.