

예인수조와 캐비테이션 터널에서 프로펠러 단독특성의 실험적 상호관계 해석

김기섭*, 김경열*, 안종우*

Experimental Correlation Analysis of Propeller Open-water Characteristics at Towing Tank and Cavitation Tunnel

by

K.-S. Kim*, K.-Y. Kim* and J.-W. Ahn*

요 약

예인수조와 캐비테이션 터널에서 레이놀즈 수가 프로펠러 단독 특성시험에 미치는 영향을 시리즈 모형 프로펠러(날개수 = 4, $0.3 \leq Ae/Ao \leq 0.75$, $0.5 \leq P/D \leq 1.1$)에 대하여 실험적인 방법으로 조사하였다. 예인수조에서 프로펠러 단독 특성시험을 위한 시험조건으로 제15차와 17차 ITTC에서 추천한 레이놀즈 수($R_n \geq 3.0 \times 10^5$)는 시험조건으로써 불충분함을 보였으며 적합한 시험조건 선정방법을 제안하였다. 예인수조와 캐비테이션 터널에서 프로펠러 단독특성들의 상호관계를 나타내는 상관계수(k)를 도출하였다. 프로펠러 축 주위에서 형성된 경계층 유동이 프로펠러 특성에 미치는 영향을 레이저 유속계를 이용한 계측에 의해 조사하였으며, 그 영향이 작지 않다는 것을 보였다.

Abstract

This paper presents the influence of Reynolds number on propeller open-water performance at the towing tank and the cavitation tunnel for series propellers(No. of blade = 4, $0.3 \leq Ae/Ao \leq 0.75$, $0.5 \leq P/D \leq 1.1$). It is shown that the Reynolds number recommended by 15th and 17th ITTC is not large enough to obtain reliable P.O.W. test results and then the suitable test conditions for the both facilities is suggested. The correlation of the propeller open-water characteristics at the cavitation tunnel and the towing tank is described and a correlation factor k is deduced from those test results. The

접수일자 : 1999년 1월 28일, 재접수일자 : 1999년 6월 30일

*정회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소 해양운송시스템연구센터

viscous effect of the flow around the propeller shaft on the propeller characteristics is investigated from the velocity measurement by Laser Doppler Velocitometry (L.D.V.). The measured velocity distribution shows that viscous flow effect is not negligible.

Nomenclature

- $J_A = \frac{V_A}{nD}$: advance coefficient
- J_d = Advance coefficient based on V_A at design condition
- $J_{w.l}$ = Lower advance coefficient based on V_W
- $J_{w.o}$ = Advance coefficient around J_d based on V_W
- $J_{w.h}$ = Higher advance coefficient based on V_W
- $R_{0.7R} = \{C_{0.7R} \cdot n \cdot D \cdot J_A^2 + (0.7\pi)^2\} / \nu$
- R_n = Reynolds number at 0.7R based on J_A
- $R_{n.w}$ = Reynolds number at 0.7R based on V_W at cavitation tunnel
- V_A = Advance speed of propeller, m/s
- V_W = Water velocity calculated by the pressure measured on the wall of cavitation tunnel
- U_o = Water velocity out of stream tube at the propeller plane
- ν = Kinematic viscosity of water, m^2/s .
- R = Radius of propeller, m
- $C_{0.7R}$ = Chord length at 0.7R, m
- η_o = Propeller open - water efficiency
- D = Diameter of propeller, m
- H/R = Hub ratio
- n = rps of propeller
- C = Chord length, m
- P/D = Pitch ratio
- A_E/A_O = Expanded area ratio
- kp = Kilogram force(9.8 Newton)
- kp · m = Kilogram force meter
- ρ = Density, $kg \cdot s^2/m^4$
- K_T = Propeller thrust coefficient, $T / (\rho n^2 D^4)$
- K_Q = Propeller torque coefficient, $Q / (\rho n^2 D^5)$
- Rey. T* = Reynolds No. variation test at the towing tank at a constant J_A

- Rey. Q* = Reynolds No. variation test at the cavitation tunnel at a constant J_A
- $(P.O.W)_T$ = Propeller open - water test at the towing tank.
- $(P.O.W)_Q$ = Propeller open - water test at the cavitation tunnel.
- Q = Propeller torque, kp · m
- T = Propeller thrust, kp

1. 서언

모형 프로펠러 단독특성시험은 프로펠러 회전수와 전진속도 변화에 따른 추력과 토크를 계측하여 프로펠러의 추진성능을 파악하고, 자항 추진시험 수행, 실선 추진 성능해석 및 프로펠러 캐비테이션 관련 시험을 수행함에 있어서 필수적인 중요한 기본자료이다. 실선 프로펠러 주위의 유동은 거의 난류인데 반해서, 모형프로펠러 시험에서는 축척비 및 시험장치 등의 제한으로 실선 프로펠러 주위의 유동을 재현하기는 곤란하다. 그러나, 모형 시험시 가급적 높은 레이놀즈 수(R_n)에서 시험이 행해지도록 노력하여 안정된 계측치를 얻을 수 있어야 한다. 본 연구에서는 씨리즈 프로펠러 [1]($0.3 \leq A_E/A_O \leq 0.75$, $0.5 \leq P/D \leq 1.1$, 날개수=4, 직경=250mm)에 대해서 수조와 캐비테이션 터널에서 R_n 이 프로펠러 단독특성에 미치는 영향을 시험적으로 조사하고 적합한 시험조건 선정방안을 제시하였다. 선정된 씨리즈 프로펠러의 제원은 Table 1 과 2에 보인다. 수조와 캐비테이션 터널에서 직경이 250mm인 프로펠러들의 단독특성들의 상관계수를 시험적으로 도출하였으며, 이것을 임의의 모형 프로펠러에 적용한 결과 수조와 터널에서 프로펠러 단독특성이 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있었다. 이와 같이 도출된 상호관계와 Wood & Harris의 모멘텀 이론(2)에 의한 벽면효과 고려방법과 비교하였는데 매우 큰

차이가 있었다. 이의 원인을 밝히기 위하여, 터널의 프로펠러 동력계 축 주위에 형성된 경계층 유동을 L.D.V로 유속을 측정하여 경계층 유동이 프로펠러 추력에 큰 영향을 미치고, 따라서 수조와 터널의 상호관계에 중요하게 영향을 미치는 것을 보였다.

Table 1 Geometries of the model propellers

Propeller	KP029	KP185	KP201 ~ KP220
No. of blade	5	4	4
Dia.(mm)	250.0	250.0	250.0
A_E/A_o	0.6	0.614	Table 2
(P/D)mean	0.6419	0.9521	Table 2
H/R	0.20	0.18	0.17
Section	NACA	NACA	KH18
Skew(°)	15.0	24.1	24.86
Rake(°)	0.0	0.0	0.0

Table 2 P/D and A_E/A_o of the series propellers

A_E/A_o	0.30	0.45	0.60	0.75
P/D				
0.50	KP201	KP206	KP211	KP216
0.65	KP202	KP207	KP212	KP217
0.80	KP203	KP208	KP213	KP218
0.95	KP204	KP209	KP214	KP219
1.10	KP205	KP210	KP215	KP220

2. 수조에서의 프로펠러 단독특성 시험법

예인수조(towing tank)에서의 P.O.W. 시험 장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 동력계의 구

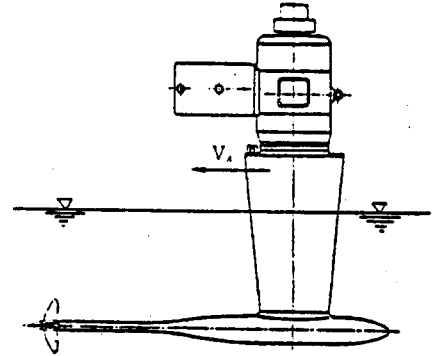


Fig.1 Dynamometer(H29) for the propeller open-water test at towing tank

동축이 하류 쪽에 위치하고 있다. 프로펠러의 추력과 토크 측정 시 시험조건에 따라서 동일한 전진계수에서도 P.O.W 결과에는 많은 영향을 주게되므로 시험조건 선정에 특별한 주의를 하여야 한다(3,4,5).

15차와 17차 ITTC 추천에 의하면 모형프로펠러 단독특성시험 조건 선정은 $0.7R_n$ 에서 R_n 이 3.0×10^5 보다 크면 좋다고 하였다. Kim은(3) NACA, NSMB 및 MAU 날개 단면을 갖는 모형프로펠러에 대해서 R_n 이 단독특성에 미치는 영향을 조사하였으며, ITTC에서 추천한 R_n 이 충족치 못함을 지적하였다. 그리고 모형선 자항시험시 모형프로펠러의 $R_n(1 \times 10^5 \sim 4 \times 10^5)$ 가 매우 낮기 때문에 경우에 따라서는 자항시험 해석을 위하여 별도의 P.O.W시험을 실시해야 함을 제안한 바 있다.

당 연구소(KRISO) 수조에서 사용된 모형 프로펠러의 직경이 대부분 200~250mm이거나 경우에 따라서는 그보다 더 작다. 그리고 사용되는 프로펠러 동력계(H29)의 사용 가능한 용량은 추력 $\pm 40kp$, 토크 $\pm 1.5kp \cdot m$, 회전수 $\pm 33rps$ 이며 예인전차의 최대 속도는 6m/s이다. 따라서 일반적인 프로펠러의 경우는 문제되지 않지만 피치비가 크거나, 전개면적비가 큰 프로펠러의 경우에는 프로펠러 동력계의 추력 혹은 토크 용량에 제한을 받게 된다. 그리고 피치비가 작거나, 전개면적비가 작거나 혹은 날개의 코오드(C)

길이가 매우 작은 프로펠러의 경우에는 회전수 증가 혹은 에인전차 속도증가 등에 제한을 받게 되므로 시험 조건 선정에 매우 유의하여야 한다. 특히, 허브비가 매우 크고 프로펠러 날개 스패น(Span) 길이가 매우 작은 경우는 더욱 그러하다. 따라서, 시험 모형 프로펠러의 크기나 기하학적 형상에 따라서 시험조건(rps, V_A) 선정에 세심한 검토가 필요하다.

프로펠러 기하학적 형상변화에 따라 R_n 의 영향을 보기 위해서 씨리즈 프로펠러중 선정된 8개의 모형 프로펠러들(KP201, KP206, KP211, KP216, K P205, KP210, KP215, KP220)에 대해서 각각 설계점 전진계수(J_d)를 유지하고, R_n 을 변화시키면서 K_T 와 K_Q 를 측정하였다. 설계점 전진계수(J_d)는 Table 3에서 보는 바와 같으며 시험결과를 Fig. 2와 Fig. 3에서 보여준다. 전반적으로 P/D가 큰 경우의 K_T, K_Q 값들이 P/D가 작은 경우보다 불안정성이 심함을 알 수 있다. P/D가 작은 프로펠러들 경우에는 AE/AO변화와 무관하게 비교적 안정된 값을 갖는다. 그리고 AE/AO가 작아질수록 비교적 일정한 계측치를 얻기 위해서는 더 큰 R_n 에 해당하는 시험조건을 선정해야 함을 알 수 있다. 특히, KP201(AE/AO = 0.3, P/D=0.5)은 아직 R_n 가 충분치 않음을 알 수 있으며 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 프로펠러 동력계의 회전수(rps) 제한으로 시험점이 충분치 못한 것에 기인한다. 그리고 P/D가 큰 경우에는 KP205를 제외하고 일정한 K_T, K_Q 를

Table 3 J_d of the model propellers

Propeller	J_d	Propeller	J_d
KP201	0.233	KP211	0.173
KP205	0.905	KP215	0.845
KP206	0.203	KP216	0.143
KP210	0.875	KP220	0.815

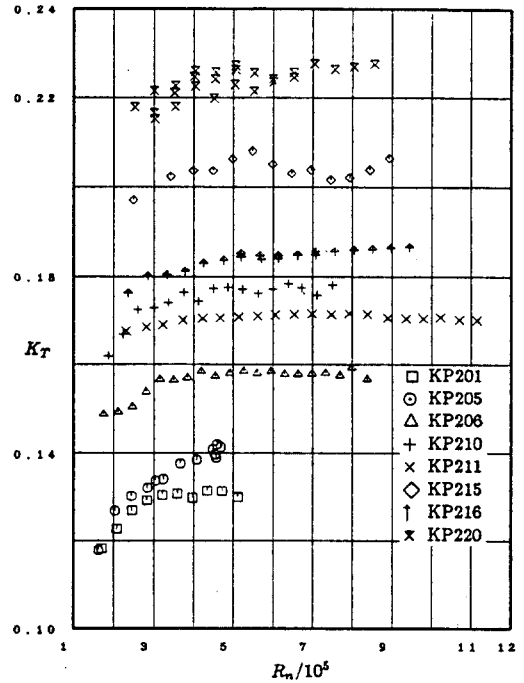


Fig.2 Effects of Reynolds number on the K_T at the towing tank(J_d)

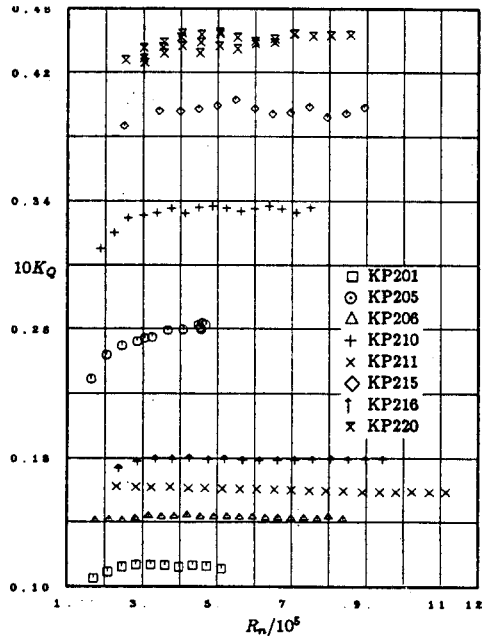


Fig.3 Effects of Reynolds number on the $10K_Q$ at the towing tank(J_d)

주는 R_n 는 AE/AO의 변화에 대해서 거의 무관함을 알 수 있다. KP205(AE/AO= 0.3, P/D=1.1)인 경우는 KP201보다 훨씬 더 높은 R_n 에 도달해서야 안정된 값들을 줄 것이다. 이상과 같은 K_T , K_Q 와 η_o 의 변화는 유체의 점성효과와 날개주위 유동특성등이 프로펠러의 기하학적 형상에 따른 변화에 기인된다고 사료된다. 따라서 예인수조에서 모형 프로펠러 단독특성 시험시 날개주위의 유동등을 고려해서 비교적 안정된 계측값(K_T , K_Q)들을 얻기 위해서는 가급적 높은 R_n 에서 시험조건(rps, V_A)들을 선정해야 한다. 이상과 같은 프로펠러의 시험 결과로부터 $0.3 \leq AE/AO \leq 0.75$, $0.5 \leq P/D \leq 1.1$ 범위에 있는 유사한 프로펠러들의 $(P.O.W)_T$ 시험조건은 적절히 선정될 수 있다.

Fig. 4는 모형선 자항시험 상태시의 조건($R_n = 1.9 \times 10^5$)과 $Rey.T$ (수조에서 레이놀즈 수 변화에 따른 시험)로 선정된($R_n = 4.7 \times 10^5$) 조건에 해당하는 $(P.O.W)_T$ 를 보여준다.

그리고 Fig. 5는 SRC(일본 운수성 산하 선박 연구소)에서 제작된 KP029와 동일한 프로펠러에 대해서 SRC(6)와 당 연구소에서 수행한

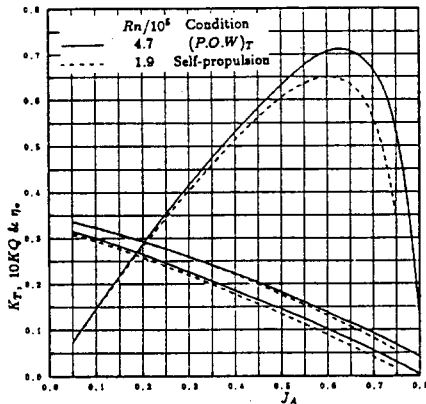


Fig.4 Comparison of $(P.O.W)_T$ results at self-propulsion and $(P.O.W)_T$ conditions

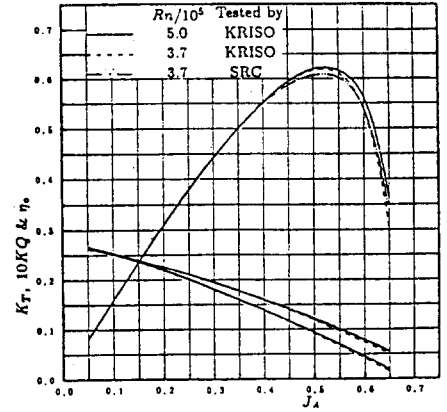


Fig.5 Comparison of $(P.O.W)_T$ results at KRISO and SRC

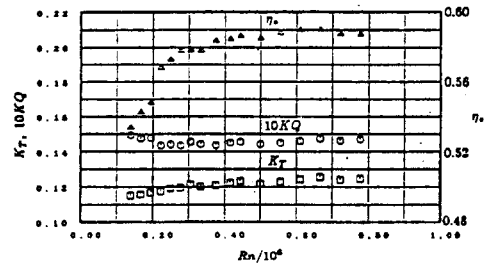


Fig.6 Influence of Reynolds No. on K_T and $10K_Q$ at $J_d = 0.4356$

$(P.O.W)_T$ 를 비교하였다. KRISO의 P.O.W. 시험조건 선정은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 $Rey.T$ 시험을 통해서 $R_n = 5.0 \times 10^5$ 으로 선정하였으며, $R_n = 3.7 \times 10^5$ 에서의 시험은 SRC 시험결과와 비교목적으로 수행하였다. J_d 근처에서 양기관의 시험결과는 잘 일치하고 있으나 높은 J_d 에서는 SRC의 시험조건(R_n)이 조금 작게 선정된 것 같다.

이상에서 본바와 같이, $(P.O.W)_T$ 시험에 대해서는 다음과 같이 결론을 정리할 수 있다.

첫째, 모형 프로펠러 단독특성시험은 P/D가 클수록, AE/Ao가 작아질수록 그리고 코오드 길이가 작아질수록 R_n 가 더 높은 시험조건(rps, V_A)에서 시험을 해야하는 경향을 볼 수 있으며, 일반적

으로 $R_n \geq 5.0 \times 10^5$ 이 되면 비교적 안정된 값을 예측할 수 있다. 특히 P/D가 매우 크고, A_e/A_o 가 매우 작으면 그 이상의 R_n 에서 $(P.O.W)_T$ 를 수행해야 한다. 따라서 ITTC의 추천 $R_n \geq 3.0 \times 10^5$ 은 재고되어야 한다.

둘째, KP029 모형 프로펠러에 대한 Rey, T 시험을 통해서 당 연구소에서 수행한 $(P.O.W)_T$ 와 일본 SRC에서 수행한 $(P.O.W)_T$ 가 상당히 일치하고, 당 소의 $(P.O.W)_T$ 가 시험조건 선정과 시험법이 매우 타당하다고 사료된다.

셋째, 자항 시험 해석용 $(P.O.W)_T$ 시험은 낮은 R_n 에서 실시하는데 특히 P/D가 큰 경우에는 예측치 즉, 현상자체가 불안정해서 순정하기가 매우 어렵다. 따라서 이 경우에는 프로펠러 날개에 난류촉진 장치의 사용이 검토되어야 된다고 생각된다.

3. 캐비테이션 터널에서의 프로펠러 단독특성 시험법

캐비테이션 터널(7)에서 $(P.O.W)_Q$ 시험을 위한 장치는 Fig. 7에서 보는 바와 같으며 사용하는 동력계(J25)의 추력, 토크 및 회전수의 용량은 각각 $\pm 300\text{kp}$, $\pm 15\text{kp}\cdot\text{m}$ 및 $\pm 4000\text{RPM}$ 이고, 터널의 최고 유속은 12m/s이다. 터널용 동력계는 수조에서 프로펠러 동력계(H29) 설치와는 달리 상류 쪽에 동력계의 축이 위치하게 된다. 우선 프로펠러 없이 터널에서의 유동특성을 살펴보면 프로펠러 작동면에서 유속의 균일도(uniformity)는 $\pm 0.25\%$ 이내이고, 관측부 길이 방향의 유속의 균일도는 $\pm 0.37\%$ 이내로 되어서 전반적으로 관측부내에서 유동특성은 만족할만하다. 그리고 프로펠러 작동 면에서 평균유속(L.D.V.계측)이 4.735m/s일 때 V_w 은 4.805 m/s로써 V_w 이 약 1.48% 크게 나타난다.

터널에서도 안정된 K_T, K_Q 계측치를 얻기 위해서 앞에서 수행한 수조의 경우와 마찬가지로 프로

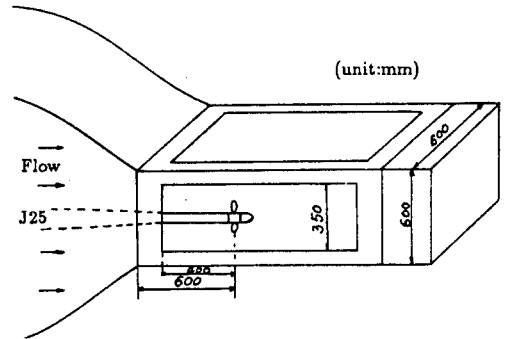


Fig.7 Experimental apparatus for $(P.O.W)_Q$ with J25 dynamometer

Table 4 Geometries of the model propellers

propeller \ J_w	$J_{w.l}$	$J_{w.o}$	$J_{w.h}$
KP201	0.20	0.35	0.50
KP203	0.40	0.625	0.80
KP205		0.80	1.10
KP211		0.30	0.45
KP213	0.30	0.565	0.70
KP215	0.50	0.80	1.10
KP216		0.30	0.45
KP218	0.35	0.535	0.80
KP220	0.40	0.815	1.00

펠러의 기하학적 형상에 따라서 R_n 의 영향을 조사하였다. 각각의 프로펠러에 대해서 Table 4에서 보는바와 같이 3개의 J_w 에 대해서 시험하였으며 그 결과는 Fig. 8 ~ Fig. 13에서 보인다. 이때 사용된 모형 프로펠러는 KP201, KP203, KP205, KP 211, KP213, KP215, KP216, KP218 및 KP220으로 9개이며, 그 제원은 Table 1과 2에서 보는 바와 같다. Rey, Q 시험에서는 일반적으로 낮은 R_n 에서는 K_T 와 K_Q 가 큰

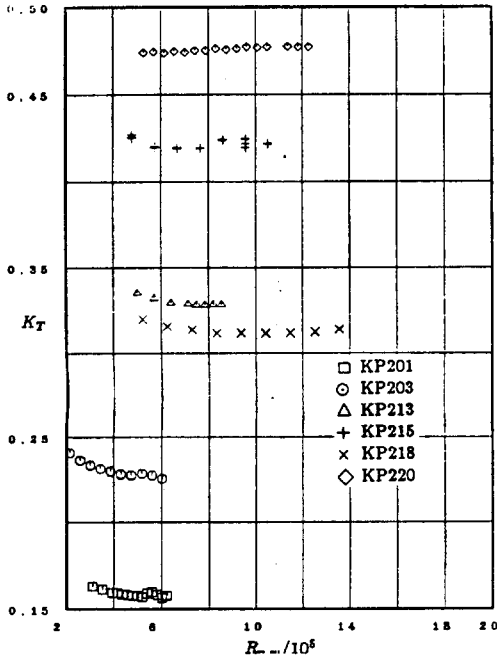


Fig.8 Effects of Reynolds no. on the K_T at the cavitation tunnel($J_{w,t.}$)

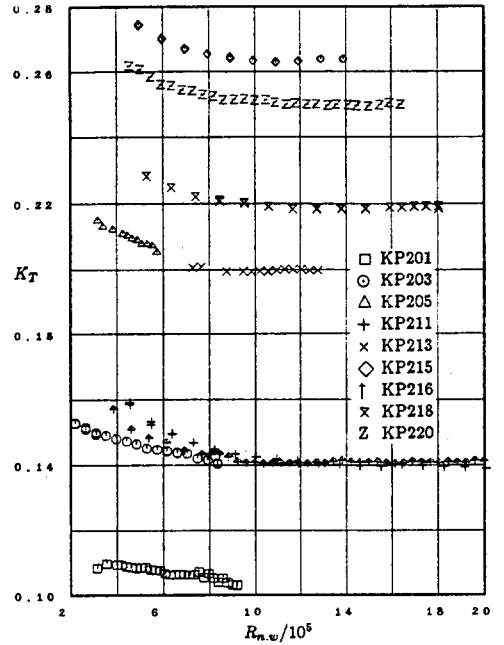


Fig.10 Effects of Reynolds no. on the K_T at the cavitation tunnel($J_{w,o}$)

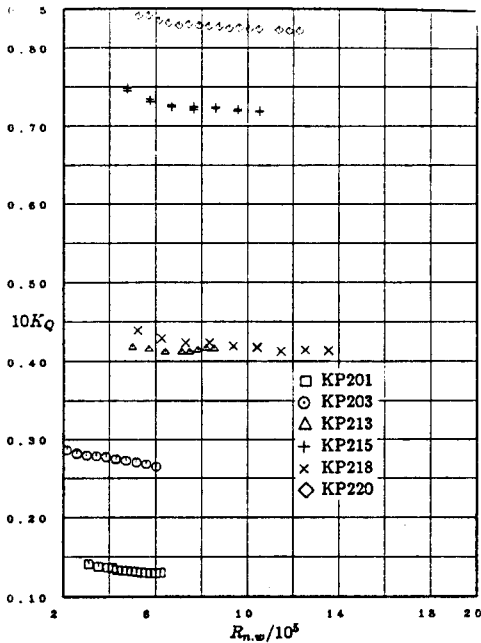


Fig.9 Effects of Reynolds no. on the $10K_Q$ at the cavitation tunnel($J_{w,t.}$)

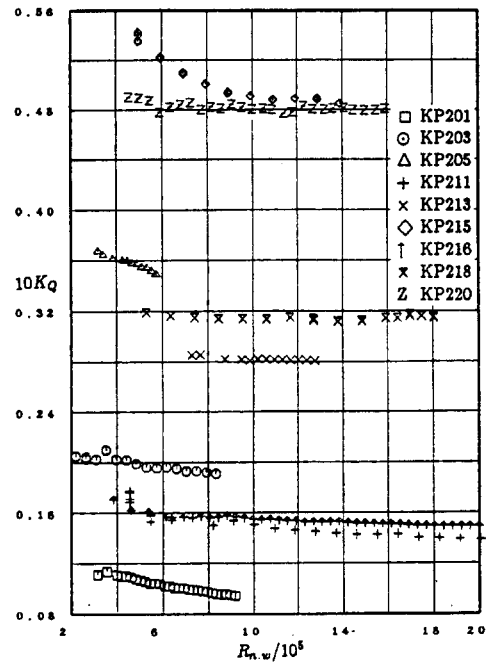


Fig.11 Effects of Reynolds no. on the $10K_Q$ at the cavitation tunnel($J_{w,o}$)

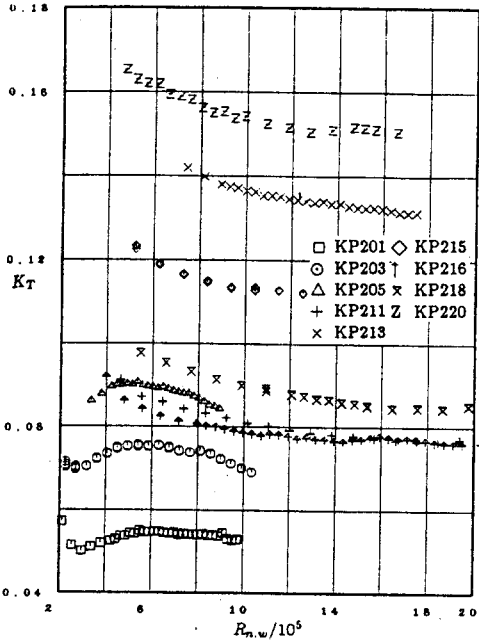


Fig.12 Effects of Reynolds no. on the K_T at the cavitation tunnel ($J_{w,h}$)

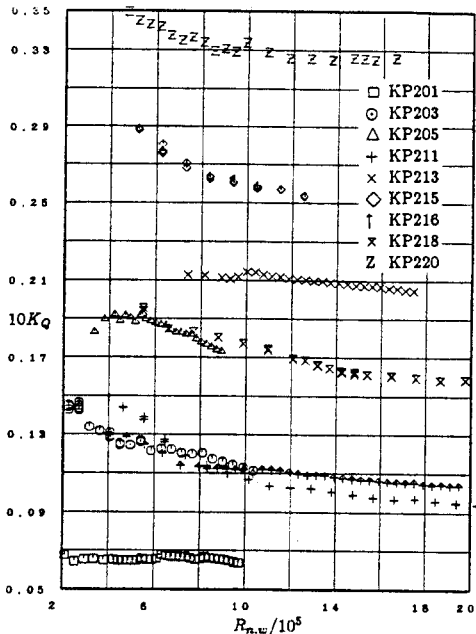


Fig.13 Effects of Reynolds no. on the $10K_Q$ at the cavitation tunnel ($J_{w,h}$)

값을 갖다가 R_n 이 커짐에 따라서 점점 작아져서 일정한 값에 도달하게 된다. R_n 이 작을 때 수조에서의 Re_y, T 와는 다른 경향을 보여주는데, 그 이유는 $Re_y, Q(J25)$ 경우에는 프로펠러 상류부분에 있는 동력계 축 주위에서 경계층 유동이 형성되어 프로펠러 허브근처의 날개단면에 유입되는 유속을 감소시켜 추력의 증가를 초래한 것으로 생각된다. 그리고 높은 전진계수에서는 낮은 전진계수 경우보다 높은 R_n 에서 $(P.O.W)_Q$ 를 행해야 안정된 계측 값을 얻을 수 있다.

$(P.O.W)_Q$ 시험조건은 Re_y, Q 시험 결과로부터 각 프로펠러가 안정된 K_T, K_Q 를 보여주는 R_n 을 선정하였다. R_n 은 $(P.O.W)_Q$ 경우가 $(P.O.W)_T$ 경우보다 훨씬 크다. 이때 동일한 K_T 에서 수조와 터널에서 계측한 K_Q 의 상관관계를 보기 위하여 $(P.O.W)_T$ 시험 결과를 기준으로 추력일치법(thrust identity)을 적용해서 $(P.O.W)_Q$ 의 전진계수(J_A)를 구하여 각각의 J_A 에 대응하는 K_Q 를 비교하였다. 비교결과는 A_E/A_0 별로 구별해서 정리하면 Fig.14~Fig.16에서 보는 바와 같으며, K_Q 값이 $(P.O.W)_T$ 의 결과와 비교적 잘 일치하고 있으며 K_T 와 K_Q 의 서로 대응되는 변화율이 수조와 터널에서 거의 비슷함을 알 수 있다. 따라서 터널의 벽면효과(wall effect)와 축 주위의 경계층 효과가 있는 터널에서 $(P.O.W)_Q$ 와 $(P.O.W)_T$ 특성과의 상호관계를 알 수 있으면 앞장에서 설명한 바와 같이 수조 시험에서 여러 가지 제한을 받는 프로펠러도 터널에서 단독특성시험을 수행할 수 있다.

4. 수조와 캐비테이션 터널의 상호관계

4.1 상관계수

캐비테이션 터널은 제한수로이므로 P.O.W 시험을 할때 벽면효과(2)등을 포함하게 되므로 터널의 V_w 을 기준해서 시험을 수행하면 $(P.O.W)_T$

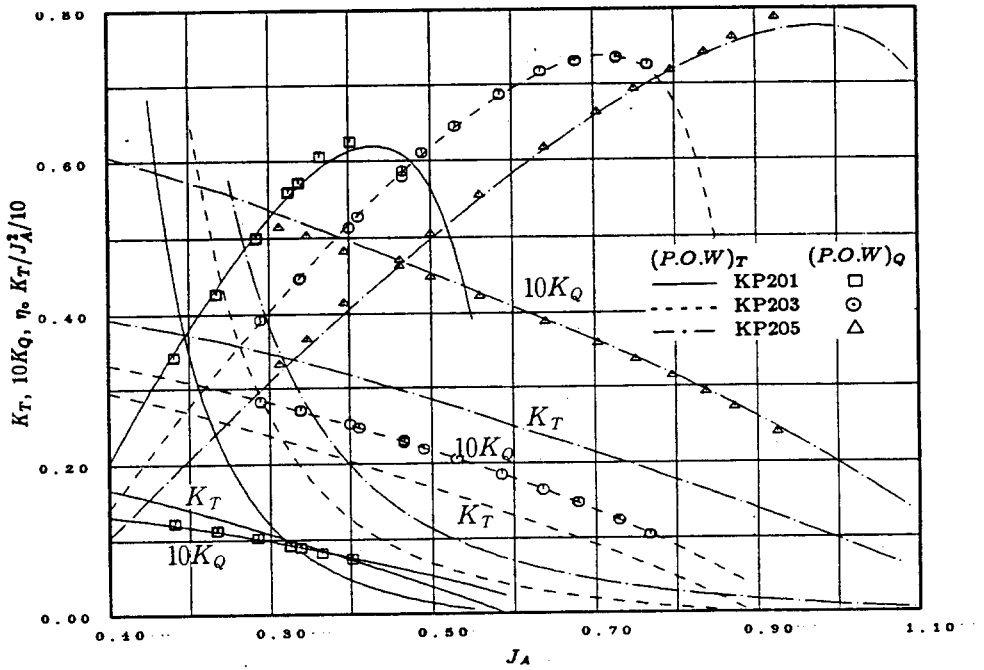


Fig.14 $(P.O.W)_Q$ test results for KP201, KP203 & KP205 ($A_E/A_0=0.3$)

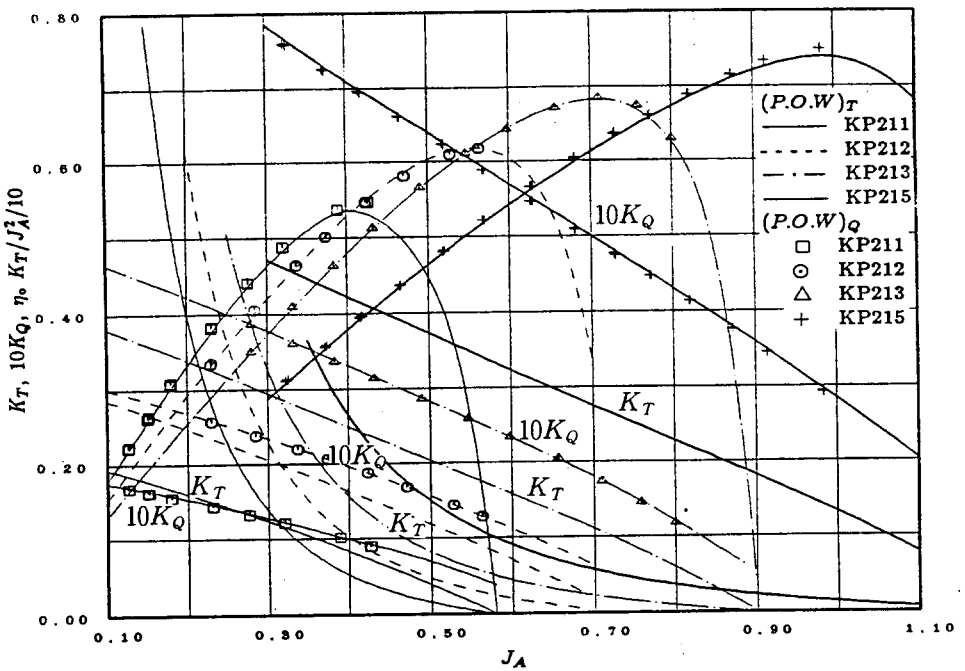


Fig.15 $(P.O.W)_Q$ test results for KP211, KP212, KP213 & KP215 ($A_E/A_0=0.6$)

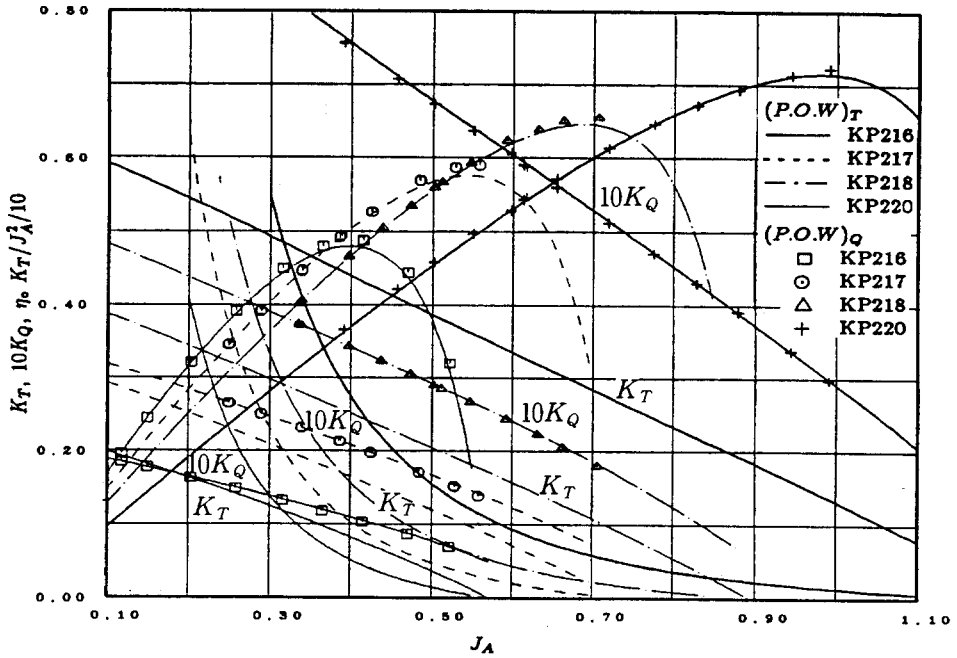


Fig.16 $(P.O.W)_Q$ test results for KP216, KP217, KP218 & KP220 ($A_E/A_0=0.75$)

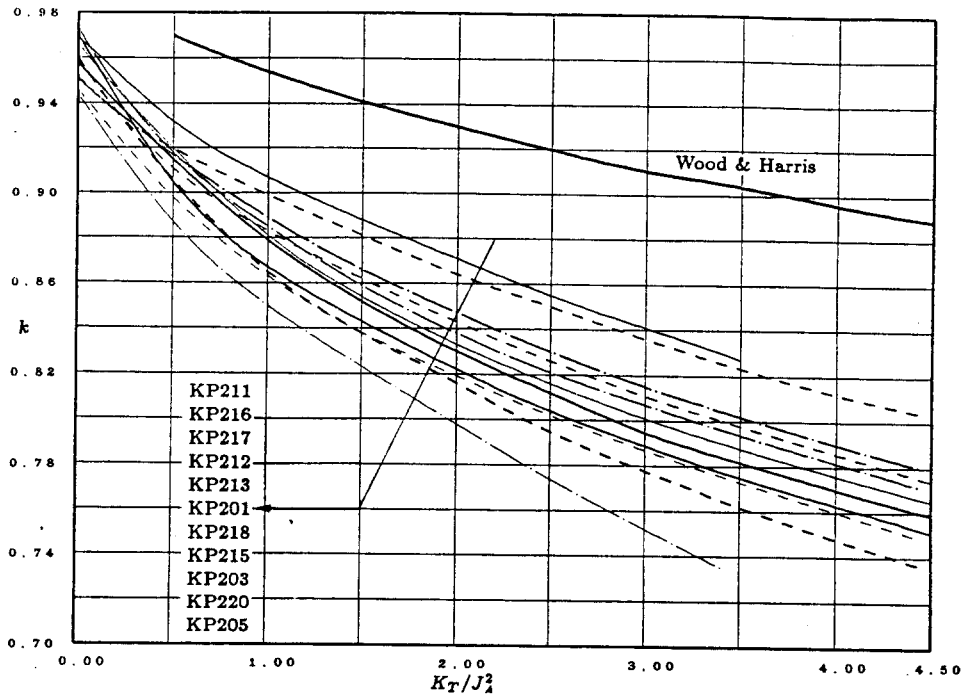


Fig.17-a Correlation factor curves based on K_T/J_A^2

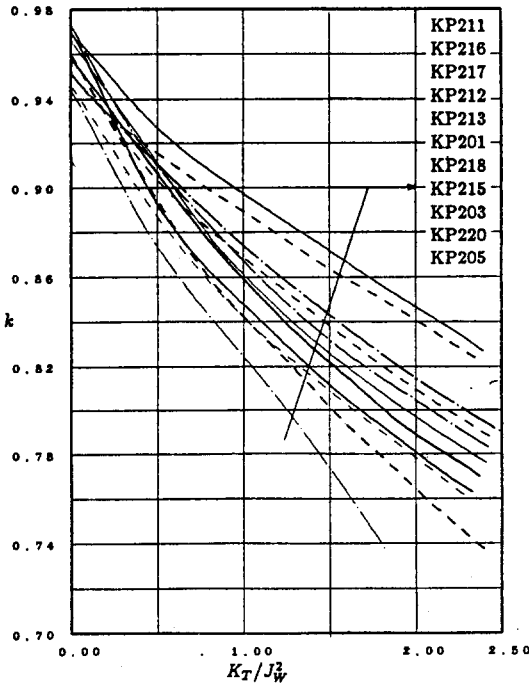


Fig.17-b Correlation factor curves based on K_T/J_W^2

시험 결과와는 매우 큰 차이를 보이게 된다. 수조와 터널에서 P.O.W 시험 상관계수 $k(V_A/V_W)$ 는 2장과 3장에서 정립된 시험법에 따른 $(P.O.W)_T$ 와 $(P.O.W)_Q$ 시험 결과에 추력일치법을 적용해서 Fig. 17-a,b 와 같이 얻을 수 있다. 여기서는 11개의 모형 프로펠러들이 사용되었고, 그 결과는 전반적으로 AE/AO가 커지고 P/D가 작아질수록 점점 커지며, AE/AO가 작아지고 P/D가 커질수록 k 값은 작아진다. Wood & Harris(2)의 모멘텀 이론에 의한 벽면효과를 프로펠러 직경이 250mm인 경우에 적용해보면 Fig. 17-a에서 보는 바와 같이 시험적 상관계수 k 와는 많은 차이가 있다. 시험적 상관계수 k 는 P/D와 AE/AO 변화에 따라 다른 특성을 보이는 반면 모멘텀 이론에 의한 벽면효과는 일정하다. 유동방향으로 프로펠러 면의 위치 변화에 따른 k 의 변화는 Fig. 18에서 보는바와 같이 KP205에 대해서 조사하였으며, 본 연구에서 선정된 프로펠

러 면의 위치가 안정된 상관계수를 주는 것이라 판단된다. 여기서 프로펠러면 위치 0 mm는 Fig. 7에 보이는 프로펠러 위치를 의미하며 음의 방향은 상류 쪽으로의 이동을 의미한다.

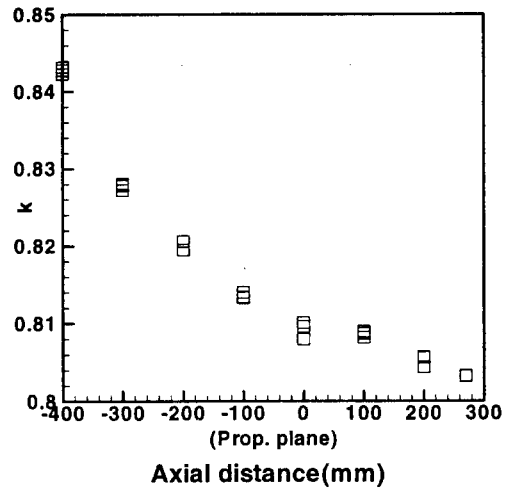


Fig. 18 Correction factor k vs propeller axial position

4.2 프로펠러 축 주위의 점성유동 효과

터널에서 프로펠러 동력계 (J25)의 축 주위의 점성 유동이 프로펠러 추력에 미치는 영향을 조사하기 위해서 프로펠러면의 상류(A-station : 전방 27.5mm, B-station : 전방 60mm)에서 동력계 축 주위의 경계층 유동을 계측하였다. 그 결과는 Fig. 19에서 보여지는 바와 같이 축 주위의 경계층 유동이 프로펠러 날개에 영향을 미치는 범위는 직경이 250mm 프로펠러 경우는 0.34R 까지이며, 200mm 프로펠러 경우는 0.42R까지에 해당한다.

동력계 축 주위의 경계층 유동의 변화가 추력에 미치는 영향을 파악하기 위해서, 프로펠러 축이 매끄러운 경우와 거칠기(roughness)를 준 경우에 추력에 미치는 영향을 조사하였다. 각각의 경우에 KP205 프로펠러가 작동할 때 시험적으로 k 곡선을 구하고 프로펠러 앞날 전방 27.5mm 위치에서 L.D.V로 총 유속(total velocity)을 계측하였다. 결과는 각각 Fig. 20과 Fig. 21에서 보

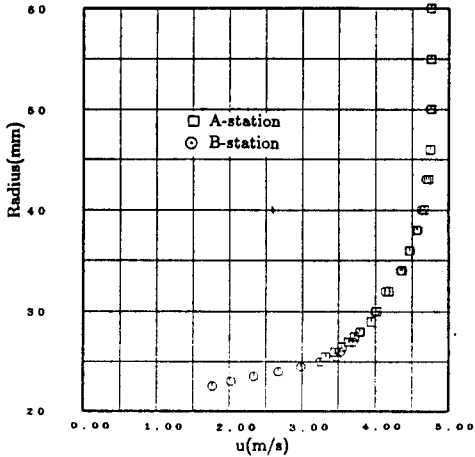


Fig.19 Boundary layer measurement for the propeller dynamometer shaft(J25)

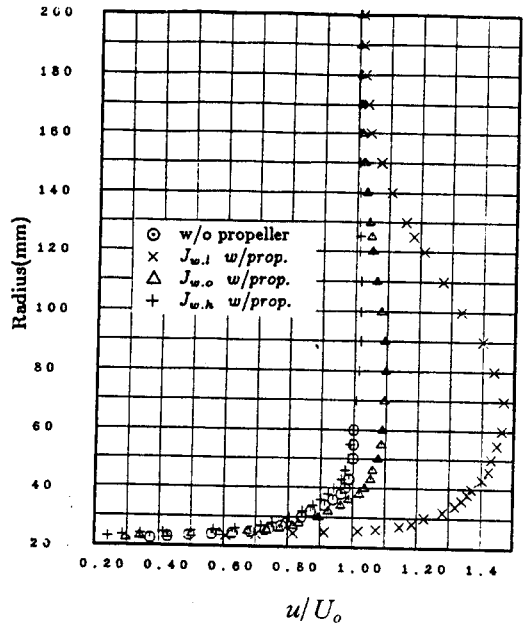


Fig.22 Measurement of total velocity for KP205 propeller

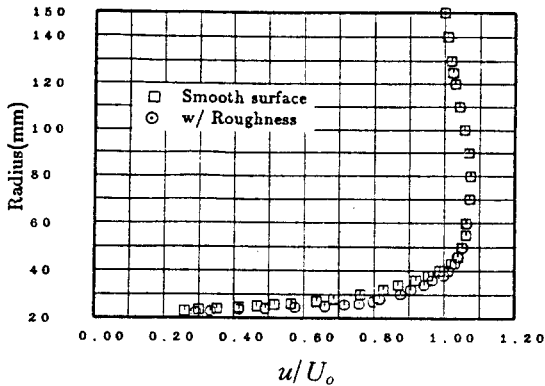


Fig. 20 Measurement of total velocity for the smooth and rough surface of J25 propeller shaft(KP205)

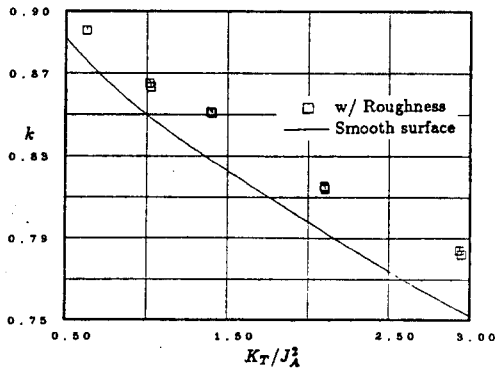


Fig. 21 Correlation factor k for the smooth and the rough surface of J25 propeller shaft(KP205)

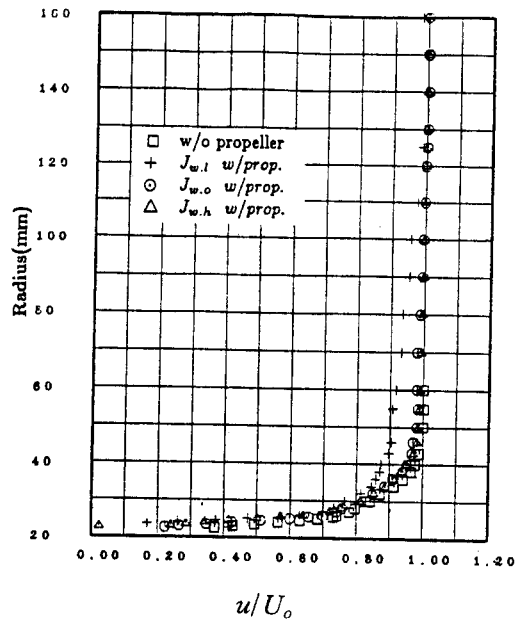


Fig. 23 Effective velocity for KP205 propeller

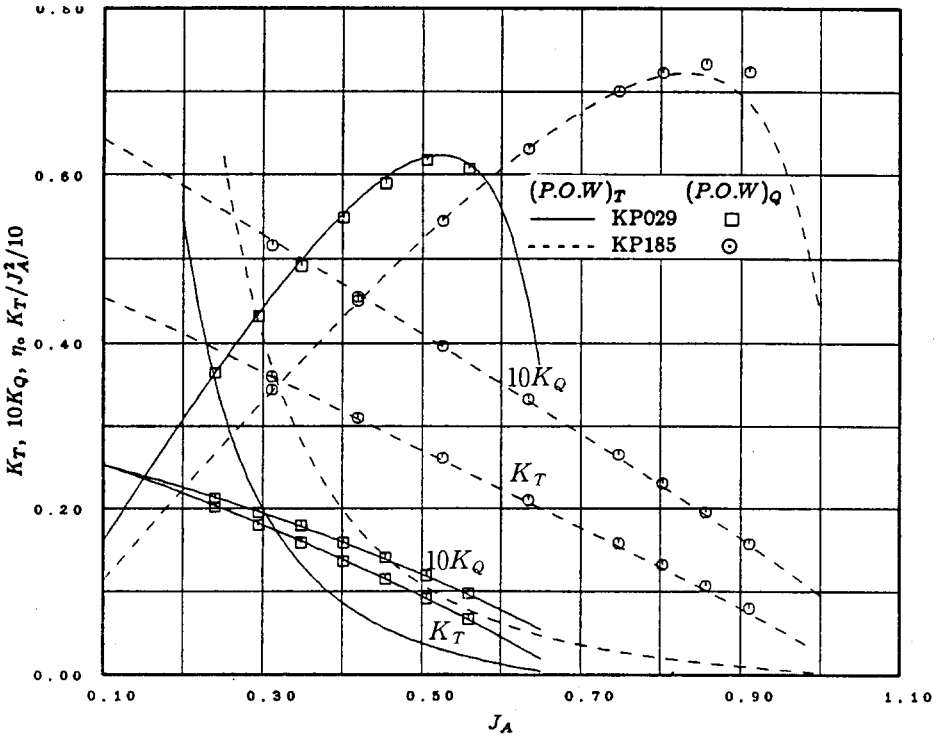


Fig.24 Application of the correlation factor to KP029 and KP185 propellers

여주는데 동력계 축 주위 경계층 유동의 변화로 프로펠러 추력에 큰 변화를 주어서 상관계수 k 값에도 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 그리고 프로펠러 면에서 상류 쪽으로 27.5mm 이동한 위치에서 KP205 프로펠러가 작동중일 때 측정된 총유속은 Fig. 22에서 보인다. 시험에서 측정된 총유속에서 양력면 이론에 의한 KPD2[8]로 계산된 프로펠러 유기속도를 뺀 유효속도 분포는 Fig.23에서 보여준다. 설계점 전진계수와 높은 전진계수에서의 유속분포는 동력계 축 자체의 경계층 유동과 거의 비슷하며 낮은 전진계수에서는 유속감소(velocity defect)가 비교적 크게 나타난다. 따라서 동력계 축 주위의 경계층 유동이 추력 일치법에 따른 상관계수 k 값이 낮은 전진계수에서 더 작은 k 값을 갖도록 작용하는 것으로 생각된다.

4.3 상관계수 적용 예

시험적 방법에 의한 상관계수 k 곡선은 Fig. 17-b를 사용해서 직경이 250mm이고, NACA 단면을 갖는 임의의 2개 프로펠러 KP029, KP185에 대해서 터널에서의 $(P.O.W)_Q$ 와 수조에서의 $(P.O.W)_T$ 시험결과를 비교하였다. 적용된 프로펠러 제원은 Table 1에서 보여주고, 결과 비교는 Fig. 24에서 보는 바와 같이 매우 좋은 일치를 보여주고 있다. 따라서 직경이 250mm인 대부분 모형프로펠러는 적용될 수 있으리라 생각된다.

5. 결론

이상과 같은 시험결과들을 정리, 분석하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 예인수조 및 캐비테이션 터널에서 레이놀즈수가 프로펠러 단독특성에 미치는 영향을 조사하

였으며 ITTC가 제안한 $R_n \geq 3.0 \times 10^5$ 은 재고되어야 할 것으로 생각된다.

2) 예인수조와 캐비테이션 터널에서 프로펠러 단독특성 시험조건 선정기준 및 시험법이 정립되었다

3) 예인수조와 캐비테이션 터널에서 프로펠러 단독특성의 상관계수를 도출하였다. 그리고 임의 프로펠러에 그 상관계수를 적용한 결과는 $(P.O.W)_T$ 와 $(P.O.W)_Q$ 가 비교적 잘 일치하고 있음을 확인하였다. 직경이 250mm인 모형 프로펠러에 대해서는 캐비테이션 터널에서도 프로펠러 단독특성 시험을 할 수 있으리라 생각된다.

4) 프로펠러 축 주위 경계층 유동이 허브근처의 프로펠러 날개에 유입속도를 감소시켜 프로펠러 추력에 미치는 영향이 비교적 큼을 알 수 있다. 또한 캐비테이션 관련 시험이 추력 일치법에 의해서 이루어질 때 프로펠러 날개 스펠의 바깥쪽 영역(outer region)에서는 상대적으로 하중이 작아지게 되어 국부적으로 이상유체 이론계산에 의한 캐비테이션 추정 및 변동압력 계산시 조건들과 다를 수 있다. 따라서 시험조건에 어떤 수정이나 이론 계산시 허브근처의 경계층 유동을 고려하는 모델링이 도입되어야 할 것으로 생각된다.

5) 프로펠러의 유효반류 추정등에 프로펠러 축 주위 점성유동이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 이진태 외, "대우 표준 프로펠러 계열 개발 연구", BSI584-1030-D, 1989.
- [2] Glauert, H., "Airplane Propellers," Division L, Aerodynamic Theory, W.F. Durand, 1943.
- [3] 김기섭, 이창섭, "프로펠러 단독특성에 미치는 Reynolds 수의 영향(I)," 한국기계연구소보 제14집, 1985.
- [4] 김경열, 김기섭, "레이놀즈수가 모형프로펠러 단독특성에 미치는 영향 (II)," 선박해양기술, 제4호, 1990.12.
- [5] Noriyuki Sasaki, "Study on Contra-Rotating Propellers(4th report)", 元年 5月 西部造船會報 第78號.
- [6] "Report of Cavitation Test : K81-110," Report of the Shipbuilding Research Centre of Japan, M.P.No.K0151, October 1981.
- [7] 이창섭, 김기섭외, "캐비테이션 터널의 시운전 시험 및 캐비테이션 시험법 개발에 관한 연구," 1982.12. 한국기계연구소 UCN131A-276-D.
- [8] Kerwin, J.E. & Lee, C.S., "Prediction of Steady and Unsteady Marine Propeller Performance by Numerical Lifting-Surface Theory," SNAME transactions, Vol. 86, 1978.