

## 수면관통형 터널 프로펠러의 성능해석을 위한 실험적 연구

정성욱\*, 이승희†\*

인하대학교 선박해양공학과\*

### An Experimental Study on the Performance of a Surface Piercing Propeller in Tunnel

Seong Wook Jeong\* and Seung-Hee Lee†\*

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University\*

#### Abstract

A surface piercing propeller (SPP) in tunnel has been proposed recently as a new propulsion system for a high speed air cavity ship. The purpose of the present study is to investigate the characteristics of the SPP in tunnel through a series of model tests. A model propulsion system is placed on a dummy body made of Acrylics. The tunnel is divided into two regions by a guide vane extending from the inlet to the center of the propeller shaft. Air has been supplied from an air nozzle placed at the bottom of the dummy body and the changes in propeller performances caused by the air flow are investigated. The measurements are done for open water and in-tunnel conditions, both for fully and partially submerged propeller. The influence of the guide vane configurations on the propeller performance is also studied. The experiments are performed at the variable pressure circulation water channel of Inha University

※Keywords: Surface piercing propeller in tunnel(수면관통형 터널 프로펠러), Model test(모형시험), Circulation water channel (회류수조), Guide vane(유도 깃)

#### 1. 서론

최근 공기공동선의 새로운 추진시스템으로 수면관통형 터널 추진장치가 제안되고 있다. 일반 프로펠러는 고속 회전 시 캐비테이션 발생에 따른

침식 및 추력감소 등으로 한계가 있고 최근 고속 선박에 많이 채택되고 있는 워터제트도 공기 유입에 따른 성능저하와 상대적으로 낮은 효율 그리고 고속회전에 따른 임펠러의 캐비테이션 위험 등이 단점으로 지적되고 있다. 이에 따라 일반적으로 빠른 회전이 필요할 경우에는 초월공동이나 준 초월공동 프로펠러 등이 사용되어 왔다.

그러나 이들 또한 40Kts이상의 높은 속도 대역

접수일: 2005년 12월 7일, 승인일: 2006년 4월 9일

† 교신저자: shlee@inha.ac.kr, 032-860-8812

에서는 그 성능에 한계를 가지고 있다(안진현 2002). 수면 관통형 프로펠러(Surface Piercing propeller, 이하 SPP)는 반 침수 상태에서 작동하고 프로펠러 흡입면이 공기층으로 둘러싸이기 때문에 캐비테이션 발생 위험이 없고 고속화가 가능하므로 40Kts이상의 선박에서 사용이 늘어나고 있는 추세이다.

그러나 SPP를 사용할 경우 선박의 속도에 따른 자세변화, 해상상태에 따른 운동특성의 변화 등으로 프로펠러의 침수 깊이를 일정하게 유지하기 어렵기 때문에 별도의 조절장치가 필요하게 된다. 그러나 이러한 조절장치의 기계적 취약성 때문에 아직 SPP가 널리 사용되지 못하고 있는 실정이다.

관로형 터널에 SPP를 위치시키고 별도의 조절장치 없이 터널 내부에 고정된 유도 깃만으로 침수 깊이를 조절할 수 있는 수면관통형 터널 프로펠러가 제안되고 있으며 이러한 장치들 중의 하나인 Hydro-Air Drive를 Fig.1와 같이 공기공동선에 적용하기 위한 연구가 미국, 유럽 등지에서 활발하게 진행되고 있다. 수면관통형 터널 프로펠러는 워터제트와 달리 완전 침수된 Impeller 대신 SPP를 사용하므로 캐비테이션 발생 위험이 없고 저속 구간에서는 침수 깊이를 증가시켜 추력을 높일 수 있으므로 기존의 SPP가 충분한 추력을 제공하지 못하는 Hump구간에서도 필요한 추력을 얻을 수 있다 (Gary and Van 1992).

워터제트 추진 장치에도 공기 유입을 통해 캐비테이션 위험을 방지하기 위한 연구가 이진태 등 (1999)에 의해 수행 되어 80Kts이상의 선박에 적

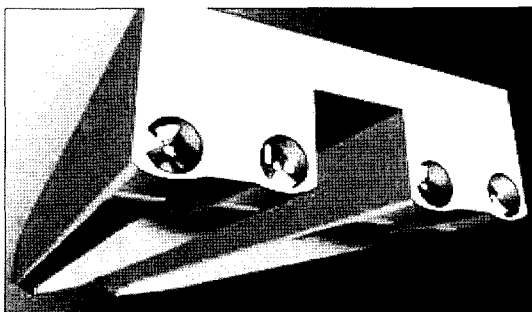


Fig. 1 An artistic sketch of an air cavity ship with hydro-air drive(DKgroup)

용하기 위한 추진장치로 논의되기도 했으나 아직 실용화에 이르지 못하는 못하였다.

수면관통형 터널 프로펠러의 모형시험 기법과 설계 요소기술의 확보를 위하여 인하대학교 가변 압력 회류수조에서의 모형시험을 수행하였다. 추진시스템의 모형을 제작하고 선형이 단순한 모형선에 탑재하여 반 침수 및 완전 침수 상태에서 SPP의 단독효율과 터널 내 효율을 비교하고 터널 및 유도 깃의 형상이 추진효율에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 주요 제원

### 2.1 터널 모형

수면관통형 터널 프로펠러의 경우, 터널 내부의 자유수면 높이를 일정하게 유지하는 것이 중요하기 때문에 수면을 안정시킬 수 있도록 유도 깃을 설치하였다. 또한 이 추진기를 공기공동선에 적용할 경우 터널 내로 유입되는 공기로 인한 영향을 최소화하기 위하여 유도 깃을 기준으로 터널의 유입구를 두 부분으로 나누어 앞쪽 유입구에서 공기를 유입하도록 설계하였다.

수면관통형 터널 추진기 모형의 주요치수와 기하학적 형상은 터널과 워터제트 흡입구 형상에 관한 기존 연구결과를 참고로 하였다(안진현 2002, 박일룡 등 2003).

Table 1에 보인 터널 모형의 주요 치수는 추진장치 실험에 사용할 모형 프로펠러 Model 841-B의 크기를 기준으로 선정하였다. 수면관통형 터널

Table 1 Principal dimensions of the tunnel model

Length( $L_{OA}$ )	350mm
Breadth(B)	100mm
Propeller diameter(D)	98mm
Inlet length( $L_{IN}$ )	185mm
Height to propeller axis	65mm
Location of Guide vane ( $L_{VANE}$ from leading edge)	10%, 15% of $L_{IN}$

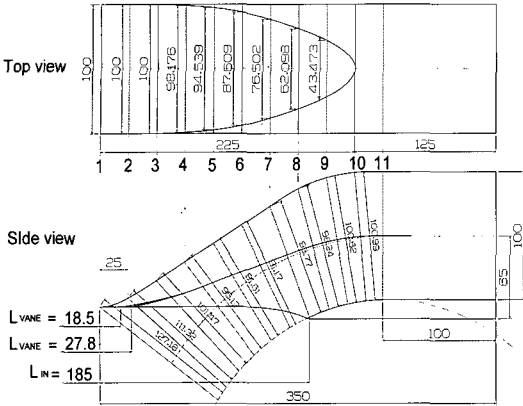


Fig. 2 Geometric configuration of the tunnel

추진기는 반 침수상태에서 작동하므로 프로펠러 반 원판 면적을 기준 면적으로 정하였다. 또한 워터제트의 경우 유입구의 길이가 임펠러 직경의 3~4배의 범위에 있음을 고려하여 터널 유입구의 길이( $L_{in}$ )를 프로펠러 반경의 3.7배로 정하였으며 유입구 면적은 프로펠러 반 원판 면적의 4배가 되도록 하였다. Fig. 2의 터널형상을 정의할 때에는 우선 터널 곡선부를 10등분하고 각 Station에서의 단면형상을 정의한 후 CAD프로그램을 이용하여 3차원형상을 생성하였다. 이 때 터널 단면적은 유입구에서 5번 Station 구간까지는 점차 줄어들다가 그 이후에는 일정하게 유지 되도록 하였다.

2.2 프로펠러 모형

Fig. 3의 터널 추진장치 프로펠러인 Model 841-B는 SPP 중에서도 ROLLA형 단면을 가지는 것으로 원래 비교적 복잡한 기하학적 형상을 가지고 있으나 수치계산을 용이하게 수행하기 위하여 단순화시킨 모형으로 통상의 초월공동 단면과 유사하게 수정 되었다(Young and Kinna 2001).

또한 이 프로펠러는 가변 피치 수면 관통형 프로펠러로 설계되어 일반 프로펠러보다 상대적으로 굵은 허브를 가지고 있으며 이를 이용하여 허브 내부에 스트레인 게이지를 부착해 추력과 토크뿐만 아니라 날개에 걸리는 5가지 힘과 모멘트를 측정 하는 실험이 Olofsson에 의하여 수행되기도 하였다(Young 2002). 이번 실험에 사용된 841-B모형의 주요요목은 Table 2와 같다.

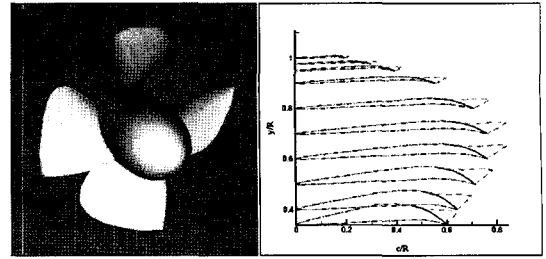


Fig. 3 Model 841-B shape and section

Table 2 Characteristics of the model propeller

Diameter	98 mm	$A_e/A_0$	0.58
Pitch	124.52 mm	Material	Aluminum
Pitch ratio	1.24	Rotation	R.H.
Hub diameter	33 mm	Blade number	4 ea
Hub-Propeller ratio	0.34	Section	Super Cavitation

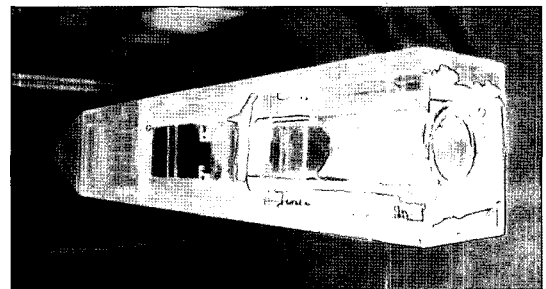


Fig. 4 Photograph of the model ship (bottom up)

2.3 터널모형 부착을 위한 모형선

관로형 터널 추진기를 탑재하고 공기를 공급하기 위하여 Fig. 4의 공기공동선 모형을 단순한 형태로 제작하였다. 모형의 크기는 L(1.5m) X B(0.26m) X D(0.19m)로 선저에 약 0.3m X 0.1m 넓이의 공기층을 형성할 수 있도록 설치된 단과 공기 공급 노즐을 가지고 있다.

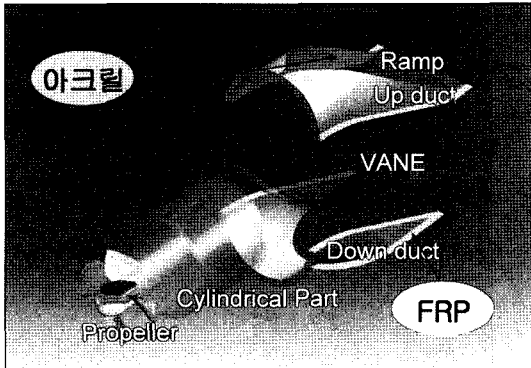


Fig. 5 Parts and Material of the tunnel model

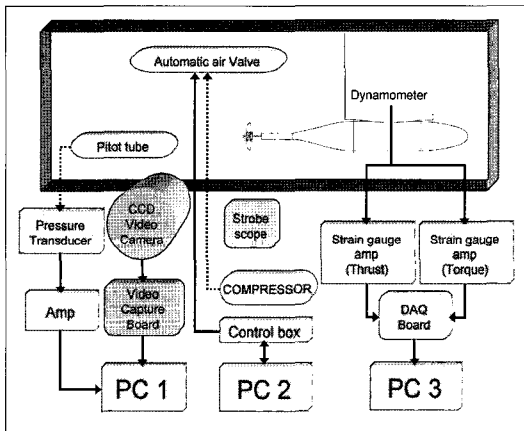


Fig. 6 Schematic diagram of experimental Setup

### 3. 모형 및 실험장치 구성

터널모형은 Fig. 5에 보인 것과 같이 관찰의 편이를 위하여 대부분 아크릴을 사용하여 모형을 제작하였으나 터널 곡선부는 FRP로 제작 되었다. 프로펠러 모형은 서울대학교 추진연구실에서 제작 한 모형추진기를 사용하였다.

Fig. 6은 실험장치 구성도를 나타낸다. 프로펠러의 단독효율을 측정하기 위하여 추력 50N, 토크 2.5N·m까지 계측 가능한 프로펠러 동력계를 사용 하였다. 유속은 1-hole피토관에 걸리는 압력차를 SETRA M230(Wet/Wet type) 차압계를 이용하여 sampling rate 20Hz로 취득하고 그 자료를 속도로 변환하여 계측하였다. 수면관통형 프로펠러의

모형시험 시 프로펠러의 흡입면에 부착된 공기층의 형상을 관찰하고 프로펠러 회전수를 검증하기 위하여 Strobe Scope를 이용하였다. 또한 모형선 선저에 공급하는 공기의 유량을 조절하기 위하여 Mass flow meter와 controller를 이용하여 Air compressor에서 공급하는 공기를 PC로 제어할 수 있도록 공기공급장치를 구성하였다.

### 4. 실험 결과 및 검토

SPP의 단독성능과 터널에 부착된 후의 성능을 비교하기 위한 모형시험을 수행하였다. 프로펠러 단독성능은 완전 침수와 반 침수 상태에서 계측하였으며 터널 내부에서의 성능은 유도 길의 위치가 유입구 시작 부위에서 27.75mm(유입구 길이  $L_{IN}$ 의 15%)일 때와 18.5mm ( $L_{IN}$ 의 10%)일 때에 대하여, 그리고 공기를 공급할 때의 성능 변화 등 총 6가지 조건에 대한 실험을 수행하였다.

SPP는 일반 프로펠러보다 고속으로 회전하므로 모형시험에서도 빠른 회전수가 요구된다. 제 15차와 제 17차 ITTC에서는 프로펠러 단독성능 실험조건으로 식(1)에 따른 Reynolds수  $R_n$ 이  $3.0 \times 10^5$  이상이 될 것을 권장하고 있으나 그 이후 Reynolds수가 최소한  $5.0 \times 10^5$  이상은 되어야 축척 효과에 의한 오차를 줄이고 안정적인 데이터 취득이 가능하다는 연구결과가 발표되었다(김기섭 등 2000).

$$R_n = \frac{C_{0,TR} \cdot n \cdot D \cdot \sqrt{J_A^2 + (0.7\pi)^2}}{v} \quad (1)$$

$$F_n = \frac{\pi \cdot n \cdot D^2}{\sqrt{gh_s}}, h_s = (0.5D - 0.5hubD) \quad (2)$$

또한 제 23차 ITTC 보고서에서는 SPP의 경우 식(2)의 회전 수에 따른 Froude 수  $F_n$ 이 각각 12.5와 6.2일 때의 추력 및 토크 계수를 비교하였는데 일반적으로 Froude 수가 12.5일 경우에 SPP의 유체역학적 특성이 잘 나타나는 것으로 보고되었다. 이때 식(1)의  $C_{0,TR}$ 은 프로펠러 중심으로부터 반경의 70% 만큼 떨어진 위치에서 날개 단면 Chord 길이,  $n$ 은 초당 프로펠러 회전수,  $D$

는 프로펠러 직경,  $J_A$  는 전진비,  $v$  는 점성 계수이다. 식(2)의  $g$  는 중력가속도,  $h_s$  는 프로펠러 직경에서 허브 직경을 제거한 것으로  $F_n$  에 프로펠러 침수율을 반영하기 위한 변수이다.

식 (1), (2)를 참고로 하여 모형프로펠러의 적정 회전수를 24rps로 결정하였다. 이 경우  $F_n$  은 13.1 이며 모형시험에서 구현할 수 있는 전진비  $J_A$  의 범위는 0.1~1.3 이다. 그러나 회류수조의 유속과 프로펠러 모형의 직경이 제한적 이므로  $R_n$  는 실험 전진비 구간에서 2.03~2.35 $\times 10^5$  사이에서 구현 가능하기 때문에 축적효과 등에 의한 영향은 피할 수 없을 것으로 보인다.

터널 내에서의 성능 실험은 터널모형이 부착된 모형선을 회류수조에 고정시키고 유속이 없는 상태에서 터널 내 프로펠러가 직경의 60%만큼 잠기도록 침수 깊이를 조절하였다. 프로펠러 위치는 터널 유출구 에서 프로펠러 허브 두께만큼 선수 방향으로 들어가도록 조절하였다. 또한 유속에 따라 회류수조의 수면 높이가 변화되므로 각 속도 대역에서 수위를 측정후 관측부에 설치된 False bottom의 높이를 조절하고 회류수조에 물을 공급 또는 배출함으로써 수면 높이를 일정하게 유지하였다.

실험의 계획단계에서 적정 공기공급량을 알아보기 위해 공기공급장치를 이용하여 1~5기압의 압력 범위에서 공기공급량을 분당 1~20리터 범위에서 조절하면서 테스트하였다. 그 결과 2기압에서 분당 5리터의 공기를 공급 했을 때 모형선 선저에 안정적인 공기층이 형성되고 터널 유입구로도 지속적인 공기공급이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 공기 공급량이 그 이하일 경우에는 선저에 공기층이 고르게 형성되지 않았으며 그 이상 일 때는 안정적인 공기층이 형성되지 않고 매우 복잡한 물과 공기의 혼합유동이 발생되었다. 실제의 공기공동선의 경우 최소한의 공기공급으로 선저에 얇은 공기층을 형성하여야 할 것이므로 분당 5리터의 공기공급량을 실험조건으로 선택하였다.

프로펠러의 전진비  $J_A$  및 추력계수  $K_T$  및 토크 계수  $K_Q$  와 효율  $\eta_0$  은 일반적으로 사용되는 식 (3)을 이용하였다.

$$J_A = \frac{V_A}{nD} \quad \eta_0 = \frac{J_A}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (3)$$

#### 4.1 프로펠러 단독성능

프로펠러 단독성능 실험은 완전 침수상태와 반 침수상태의 두 가지 경우에 대하여 수행하였다. 완전침수 상태일 경우 침수 깊이가 직경의 1.5배 일 때에는 자유수면 으로부터 많은 양의 공기가 빨려 들어가는 현상을 보였으나 직경의 3배 이상의 깊이에서는 더 이상의 aeration 현상은 관찰되지 않았다. 그러나 만일의 경우를 대비하여 아크릴 평판으로 프로펠러 위의 자유수면을 부분적으로 덮어 주었다.

반 침수상태에서의 실험에서는 일반적으로 SPP가 선미단을 가진 선박에 설치된다는 점을 감안하고 실제 유동에 근접한 유속분포를 만들어 줄 필요가 있다(Young 2002). 이를 위해 프로펠러 전방 15cm지점의 자유수면에 아크릴 평판을 설치하였다. 평판 설치 후 프로펠러에 유입되는 유동을 보다 균일하고 정도 있게 유지할 수 있었으며 각 속도구간에서 추력, 토크 값을 안정적으로 계측할 수 있었다

모형시험은 전진비 0.1~1.3구간에서 0.1간격으로 수행하였고 이 때 프로펠러 회전수는 24rps로 고정하였다.

Fig. 7에는 완전 침수상태와 반 침수상태에서의 프로펠러 모형시험 결과가 비교되어 있다. 완전 침수상태에서의 최대 효율은  $J_A=0.9$ 에서 약 63%이다.

반 침수상태에서는  $J_A=1.0$  부근에서 약 65%에 달하였으며 그 이후에는 완전 침수된 경우와는 달리 프로펠러 효율이 완만하게 감소하였다. 단독성능 곡선을 비교하여 보면 추력 및 토크 값이 반 침수상태의 경우 완전 침수상태의 경우에 비하여 낮게 나타나고 있는데 이는 프로펠러 유입면적 감소를  $K_T$ ,  $K_Q$  계산에 고려하지 않았기 때문이나(23<sup>rd</sup> ITTC 2003) 정성적인 면이나 효율의 계산에는 영향을 미치지 않으므로 기존식을 그대로 사용하였다.

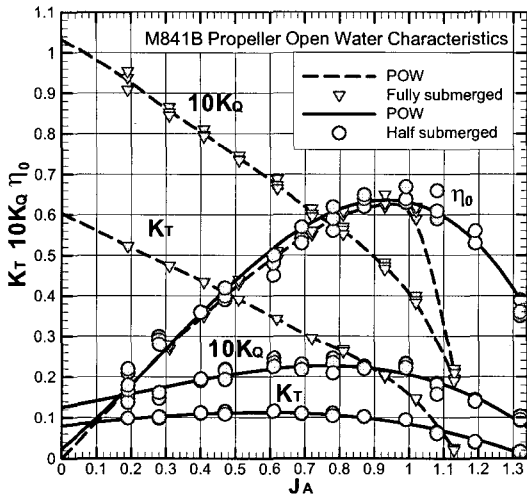


Fig. 7 Comparison of open-water characteristics of the model 841-B propeller at fully and half submerged condition

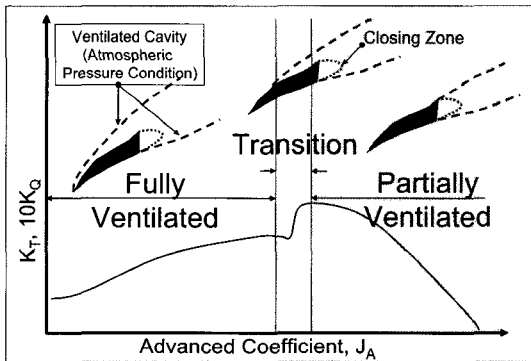


Fig. 8 Schematic diagram of the three major flow regimes

Young and Kinnas(2004)는 SPP 전진비의 변화에 따른 날개 주변의 유동 경향을 Fig.8가 같이 3가지 영역으로 구분 했다. SPP의 설계 전진비를 넘어 서면 흡입면 전체를 덮고 있던 Ventilated cavity의 시작 지점이 Leading edge에서 Trailing edge로 불규칙하게 변화하는 Transition 영역이 존재하는데 이를 넘어서면 흡입면을 둘러싼 공기 층은 날개 후방으로 완전히 이동하고 추력과 토크가 급격하게 떨어진다. SPP 는 일반적으로 Fully Ventilated 상태에서 작동 되도록 설계된다.

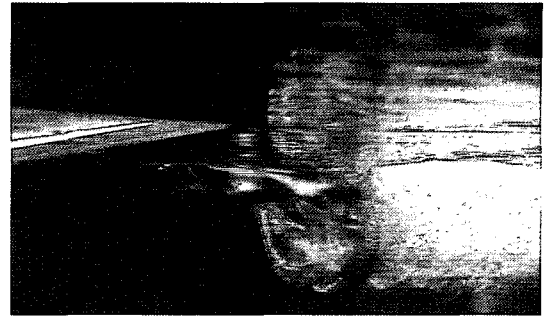


Fig. 9 Ventilated air cavity pattern for  $J_A=0.6$  for partially submerged condition

반 침수상태의 단독실험에서 이러한 날개 흡입면에 형성된 Cavity를 관찰 하였는데 Fig. 9는  $J_A=0.6$ 에서 날개 흡입면이 Fully ventilated 상태에 있는 모습을 보여준다

#### 4.2 터널 내 프로펠러 성능

터널 내 프로펠러 성능을 확인하기 위하여 유도깃의 시작점이 터널 유입구 선단에서 27.75mm( $\Gamma = L_{VANE}/L_{IN}=0.15$ )에 위치한 경우에 대하여 실험을 수행하고 공기를 공급할 때의 성능변화를 예측하였다. Fig.10, 11 에는 각각 공기를 공급하지 않았을 경우와 공급하였을 경우에 반 침수상태에서의 터널 내 프로펠러 성능을 단독성능과 비교하고 있다.

Fig.10을 보면 공기를 공급하지 않았을 경우, 터널 내에서의 프로펠러 효율은 단독일 경우보다 5~15% 증가하며평균 10% 증가하였다.

그러나 Fig. 11에 보인 바와 같이 공기를 공급할 경우에는 효율증가는 평균 5%에 그쳤고 특히 전진비가 높은 구간에서 증가 폭이 크게 감소하였는데 이러한 효율감소는 공기를 공급할 경우 프로펠러 토크 값이 증가하였기 때문으로 보인다. 그 이유는 공기를 공급하면 유도깃 상부로 물이 유입되어 모형 프로펠러의 점수면적이 증가하기 때문이나 실선 프로펠러의 경우에는 이러한 영향은 상당히 줄어들 것이다.

반 침수상태의 프로펠러 단독성능 실험에서도 일정한 유속에서 프로펠러의 침수 깊이 변화에 따라 프로펠러 단독효율이 변하는 것이 관찰 되었는데

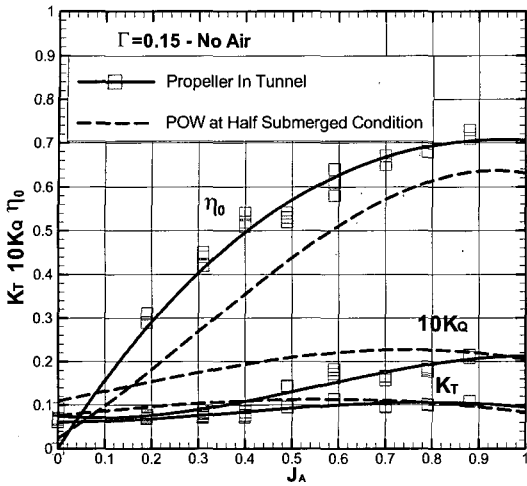


Fig. 10 Propeller characteristics in tunnel ( $\Gamma=0.15$ : No Air)

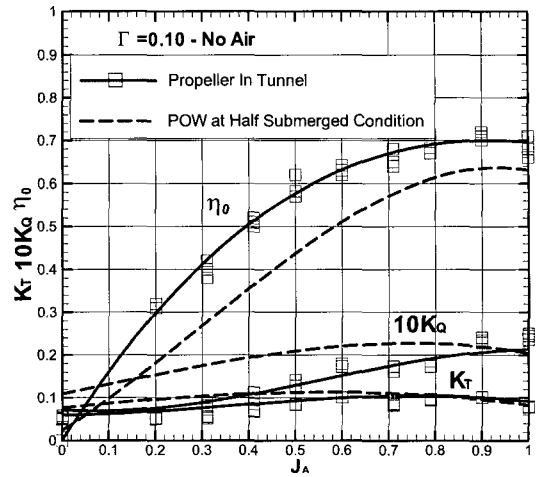


Fig. 12 Propeller characteristics in tunnel ( $\Gamma=0.10$ , No Air)

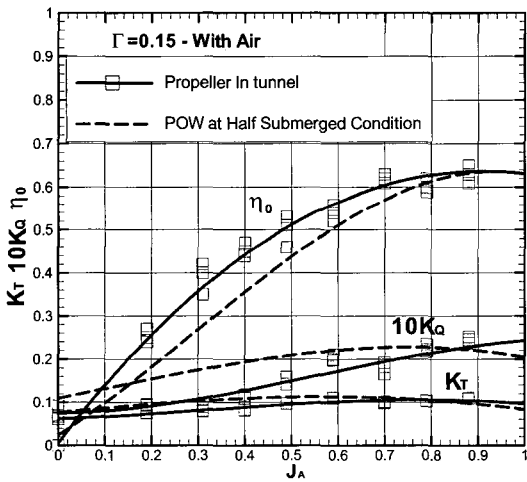


Fig. 11 Propeller characteristics in tunnel ( $\Gamma=0.15$ , with Air)

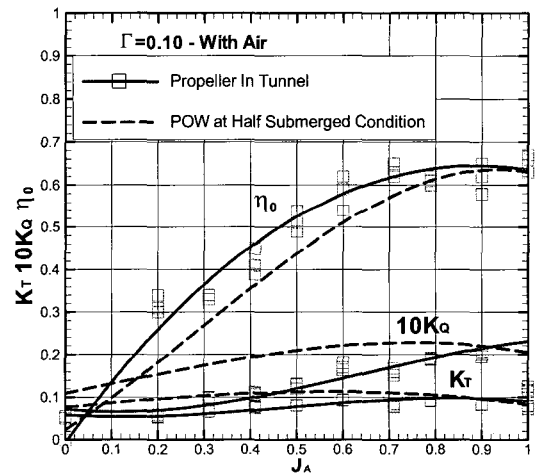


Fig. 13 Propeller characteristics in tunnel ( $\Gamma=0.10$ , with Air)

데 이러한 현상 또한 점수면적 증가에 따른 토크 증가율이 추력 증가율 보다 크기 때문인 것으로 보인다. Fig. 14에는 선저에 공기를 공급하였을 경우와 공급하지 않았을 경우의 프로펠러 성능을 비교하고 있다.

유도 길의 시작지점이 터널 유입구 선단에서 18.5mm(10% of  $L_N$ )인 경우에 대하여 동일한 시험을 수행하였다. 이 경우에는 Fig. 12에 보인 바와 같이 공기를 공급하지 않았을 경우 터널 내 프

로펠러 효율은 단독효율보다 4% ~ 17% 증가 하여 효율은 평균 11% 증가하였으나 공기 공급 시에는 평균 6% 증가 하는데 그쳤다(Fig. 13).

Fig. 15은 공기 공급 유무에 따른 성능을 한 도 표에 나타낸 것이다.

유도 길의 시작 위치에 따라 공기공급이 터널내부 유동에 미치는 영향도 달라졌다. Fig. 16을 보면 유도 길의 시작점이  $L_N$ 의 15%인 경우에는 유속이 빠른 구간에서도 ( $J_A=0.9$ ) 공기 층이 유도 길

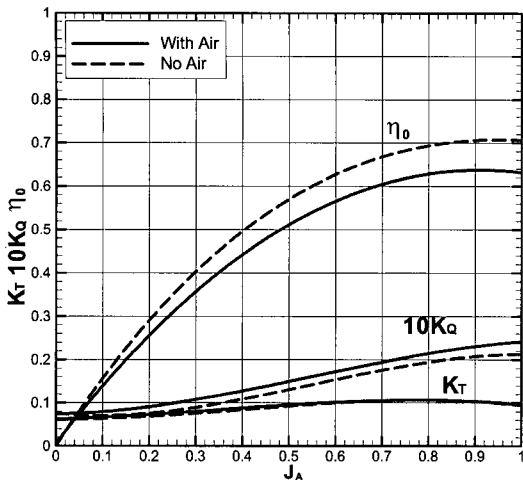


Fig. 14 Changes in propeller characteristics due to air supply ( $\Gamma=0.15$ )

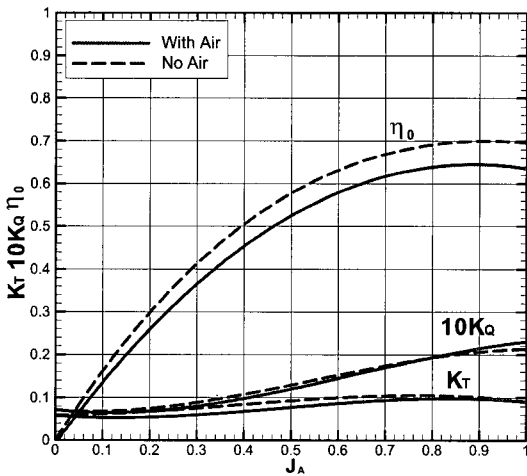


Fig. 15 Changes in propeller characteristics due to air supply ( $\Gamma=0.10$ )

에 의하여 효과적으로 분리 되었으나 공기 유입 면적이 상대적으로 좁은 경우(10% of  $L_{IN}$ )에는  $J_A=0.8$  에서 유도 길에 의한 공기층 분리 능력이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 그러나 이러한 경우에도 유입된 공기는 대부분 프로펠러에 도달하기 전에 이미 자유수면 위로 떠올라 프로펠러에 도달하는 기포는 거의 없었다.

결론적으로 모든 전진비 구간에서 터널 내에서의 프로펠러 효율은 단독 상태일 경우 보다 증가

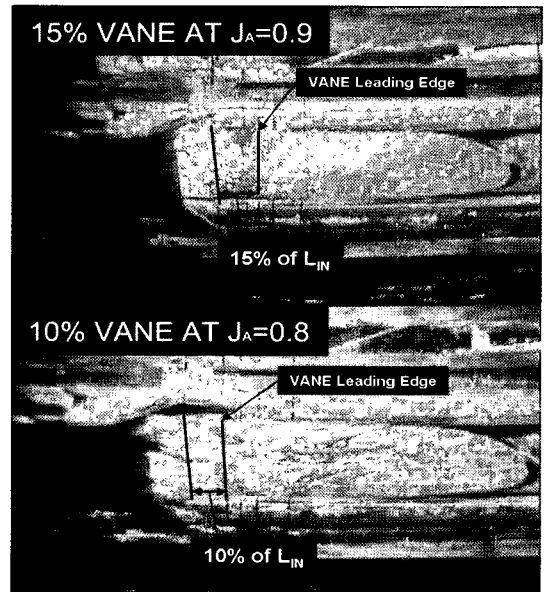


Fig. 16 Difference in tunnel inlet flow for two vane location 10% of  $L_{IN}$

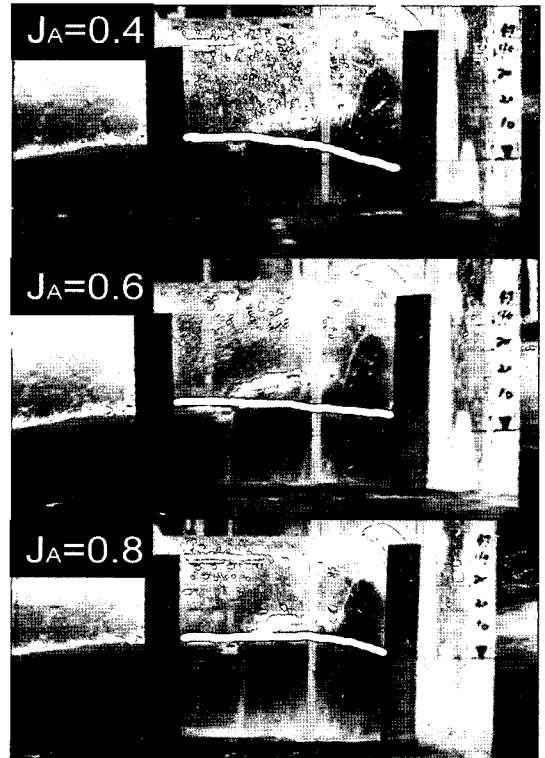


Fig. 17 Free surface patterns near the propeller planes



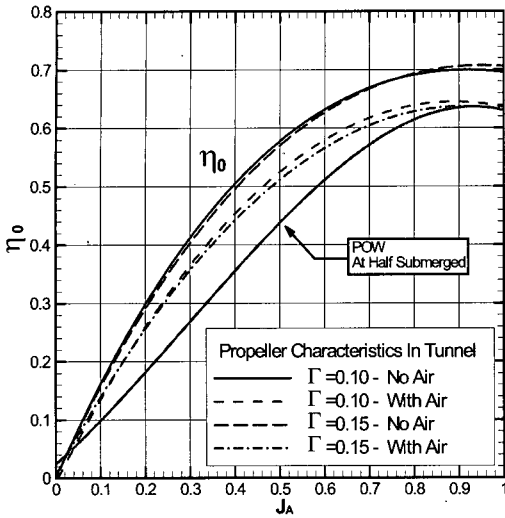


Fig. 18 Comparison of propeller characteristics at all conditions

하는 것으로 보인다. 또한 Fig. 17과 같이 모형이 고정된 상태에서 유속을 변화시켜도 터널 내에서의 프로펠러 침수 깊이는 거의 변하지 않고 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

실선에서는 선속에 따른 선체의 자세 변화로 유입류의 패턴이나 터널 내부의 유입유량이 변화하므로 유도 길의 성능도 달라 질것으로 예상되나 이번 실험에서는 선체자세의 영향은 배제하고 프로펠러 효율차이에 의한 상대적인 성능 비교에 주안점을 두었다.

또한 Fig. 18에 보인 프로펠러 효율을 비교하여 보면 터널 안에서는 단독상태에 비하여 효율이 증가함을 알 수 있으나 공기 공급 유무에 따라 그 증가량은 차이가 남을 알 수 있다.

5. 결론

수면 관통형 터널 프로펠러의 성능을 평가 하기 위하여 회류수조에서의 모형시험을 수행하고 유도 길의 형상과 공기공급 유무에 따른 프로펠러특성 변화를 계속하고 단독성능과 비교하였으며 그 과정에서 수면 관통형 프로펠러 (SPP)의 단독성능과 터널내 성능확인을 위한 실험 방법을 확보하였다.

또한 일련의 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 수면과 평행한 터널내에서 작동하는 SPP의 효율은 그렇지 않은 경우보다 증가한다.
- 2) 터널 내부에 공기를 공급할 경우 수면관통형 터널 프로펠러의 성능이 낮아진다. 그러나 이 경우에도 효율은 단독일 경우보다 증가한다.
- 3) 공기를 공급할 경우 유입구 부근에서의 유도 길의 위치와 형상이 터널 프로펠러의 성능에 큰 영향을 미친다.

앞으로 선박의 자세변화를 고려하여 수면 관통형 터널 프로펠러의 보다 정확한 유체역학적 성능 검증을 위한 실험적 연구가 필요한 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 인하대학교의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김기섭, 김경열, 안종우, 이진태, 2000, "Reynolds 수, 표면 거칠기 및 공기항유량이 모형프로펠러 캐비테이션 성능에 미치는 영향," 대한조선학회 논문집, 제 37권, 제 1호, pp. 10-25.
- 박일룡, 김기섭, 이순섭, 안종우, 2003, "워터제트 추진장치의 흡입구 형상변화에 따른 유도관 효율 특성 연구," 대한조선학회 논문집, 제 35권, 제 ? 권, pp. 175-181.
- 안진현, 2000, 공동터널에서 부분 노출 프로펠러의 모형시험을 위한 선행연구, 서울대학교 대학원 석사 졸업논문, pp. 30-60.
- 이진태, 문일성, 박영하, 김경열, 김기섭, 1999, "초고속선을 위한 공기유입 물제트 추진기 개발," 대한조선학회 논문집, 제 36권, 제 3호, pp. 41-49.
- Gary W, Van Tassel, 1992, "Application of the

'AIRDRIVE' ventilated Tunnel/Surface Piercing Propeller Propulsion System," Proceedings of the Intersociety High Performance Marine Vehicle and Exhibit , Vol. 2, pp. 31-40.

- Yin L. Young, Spyros A. Kinnas, 2001, "Numerical Modeling of Supercavitating and Surface Piercing Propeller Flows," CAV2001 session B9.006, pp. 1-12.
- Yin L. Young, 2002, "Numerical Modeling Of Supercavitating And Surface Piercing Propellers," Doctoral Dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Texas At Austin
- Yin L. Young, Spyros A. Kinnas, 2004, "Performance Prediction of Surface-Piercing Propellers," Journal of Ship, Vol. 28, No. 4, pp. 288-304.

- 23<sup>rd</sup> ITTC 2003, "Propulsion Committee: Final Report and Recommendations to the 23rd ITTC," Proc. 23rd International Towing Tank Conference, Vol. 1, pp. 91-95.



< 정 성 욱 >   < 이 승 희 >