

# 프로펠러 보호터널 형상이 추진성능에 미치는 영향에 대한 실험적 고찰

서성부\* · 박충환\*\* · 문일성\*\*\*

\*동의대학교 조선해양공학과

\*\*중소조선연구원 선박기술부

\*\*\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

## Experimental Investigation For Various Propeller Tunnel Geometry Effect On Propulsion Performance

SUNG-BU SUH\*, CHOONG-HWAN PARK\*\* AND IL-SUNG MOON\*\*\*

\*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Donggeui University, Busan, Korea

\*\*Department of Ship Technology, RIMS, Busan, Korea

\*\*\*Maritime & Ocean Engineering Research Institute(MOERI), KORDI, Daejeon, Korea

**KEY WORDS :** Protect tunnel 보호터널, Circular water channel 회류수조, Open water performance 단독성능, Thrust coefficient 추력계수, Torque coefficient 토크계수

**ABSTRACT :** This study was performed to investigate the effect of various propeller tunnel shapes on the propulsion performance of a fishing boat. The propeller tunnel reduces the problem resulting from the open propeller accidentally catching the waste net and cable on the sea, as well as increasing the cruising speed. For 3 different tunnel geometries, the model test is conducted in the circular water channel, and the potential based panel method was applied to analyze the hydrodynamic characteristics of propeller. Also, both results are compared with each other to represent the difference between results of the model scale test and the potential theory. It is expected that these results could be referenced in the design of the propeller tunnel in consideration of the hydrodynamic interaction between the propeller and the tunnel.

### 1. 서 론

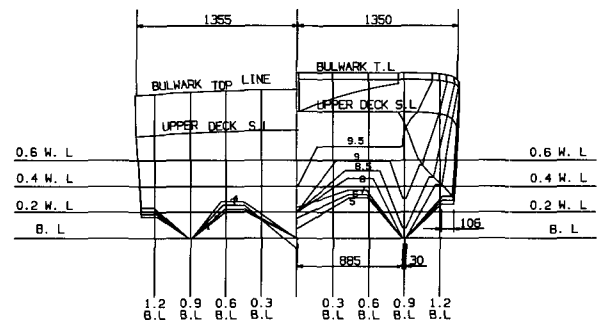
최근 세계 연안국들의 배타적 경제수역(EEZ)선포와 총 허용 어획량(TAC) 제도의 실시 등으로 기존 어선어업의 구조조정과 새로운 사회, 경제적 환경에 부응하는 선형개발이 요구되고 있다. 또한 그물, 부유물 및 갯벌이 많은 국내의 서·남해 연안에서 작업 및 항해하는 연안 어선들은 노출된 프로펠러에 부유폐어망, 로프 등이 감기는 해난사고가 매년 증가하고 있는 실정이다. 이에 전체 해난사고 중 70%를 차지하는 어선의 해난사고 방지 및 고속화 등을 위하여 선미형상을 개선하거나(이귀주와 이광일, 1997; 최희종과 전호환, 2001) 연안어선의 프로펠러 보호터널(Protect tunnel)에 대한 연구가 수행되었다(고재용 등, 2003). Blount(1997)는 프로펠러 보호터널은 측경사각을 줄이고, 항해흡수를 낮추며 추진기관을 선미 쪽으로 옮길 수 있어 적합한 Longitudinal center of gravity(LCG)를 얻을 수도 있다고 발표하였다. 따라서 경사축 프로펠러나 고가의 Waterjet 추진기의 대안으로 활용할 수 있는 프로펠러 보호터널에 대한 연구를 할 만한 가치가 있다

본 논문에서는 이러한 보호터널이 부착된 프로펠러에 대해 회류수조에서 시도한 단독특성 시험(서성부와 문일성, 2003)을

토대로, 3종류의 단순 덕트 형태를 가지는 보호터널이 프로펠러 단독특성에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 또한 포텐셜 기저 패널법을 이용한 수치계산(서성부 등, 2003) 결과와 비교하여, 앞으로 개발될 다양한 형태의 연안 어선용 프로펠러 보호터널 설계 및 실용화 관련 연구에 유효한 핵심 기초자료로 활용하고자 한다.

### 2. 프로펠러 보호터널

본 연구에서의 프로펠러 보호터널이란 그물이나 부유물이 선박의 돌출부분에 걸리지 않도록 프로펠러를 선체 안쪽으로 배치하고 이를 터널 형태로 둘러싸고 있는 것을 말한다.



교신저자 서성부: 부산광역시 부산진구 엄광로 995

051-890-2591 sbsuh@deu.ac.kr

Fig. 1 Body plan of the 4-ton class fishing boat

프로펠러 보호터널을 부착할 대상선박은 Fig. 1의 정면선도에서 보이는 바와 같은 삼동형 G/T 4톤급 연안 어선이다. 선미형상은 기존의 박스 킬 형상에서 프로펠러 보호터널을 부착할 수 있는 터널형태로 수정하였으며, 선수형상은 고속에서의 조파저항 감소를 고려하여 삼동형 선형으로 설계되었다(심상목 등, 2003).

Fig. 2와 Fig. 3은 대상선박의 저항시험에 사용한 모형선의 보호터널 부착 선미개략도와 프로펠러 보호터널 단면도이다. 회류수조에서의 프로펠러 단독특성(Propeller open water, POW) 시험에 사용된 모형의 기본제원은 Table 1과 같다. 한편 프로펠러 보호터널 형상은 3가지 종류의 단순한 덕트(Duct) 형태로서, 형상 I은 유동의 유입부와 유출부의 직경(Diameter,  $D$ )이 동일하고 형상 II는 유입부의 직경이 유출부보다 작은 유속

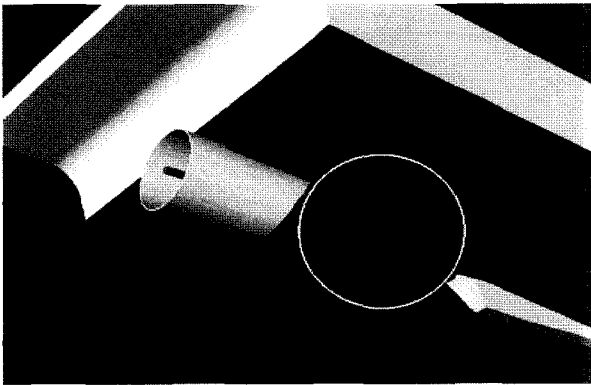


Fig. 2 Schematics of the modified stern shape and the propeller tunnel

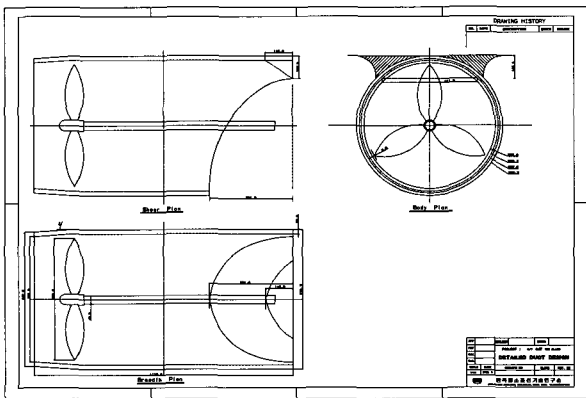


Fig. 3 Propeller tunnel of the 4-ton class fishing boat

Table 1 Basic geometry of the propeller

Diameter [mm]	Ship	Model
	550	55
Mean pitch ratio, $(P/D)_{mean}$	0.95	
Expanded area ratio, $A_e/A_o$	0.85	
Number of blades, $Z$	3	
Propeller type & section	FPP & MAU	

감속 형태이며, 형상 III은 유입부의 직경이 유출부보다 큰 유속 가속 형태로 하였다. 모형의 길이는 프로펠러 직경의 1.2배인 66mm로 하였으며 형상별 유입부 및 유출부의 직경은 Table 2와 같다.

### 3. 회류수조 단독특성시험

실험에 이용된 회류수조의 주요특성 및 개략적인 형상은 Fig. 4와 같고, 제과관으로부터 1.2m의 단면에서 계측한 유속 분포는 Fig. 5에 표시한 바와 같이 벽면 부근을 제외하면 유속의 편차는  $\pm 1.5\%$  정도 이내로 균일하다.

- $L \times B \times D$ (whole body) : 17.6 m  $\times$  3.1 m  $\times$  6.4 m
- $L \times B \times D$ (measuring body) : 6.0 m  $\times$  2.0 m  $\times$  1.55 m
- Water Capacity : about 90 ton
- Velocity range : 0.1~3.0 m/sec

Table 2 Dimension of protect tunnels

Protect tunnel type	Diameter [mm]	
	Inlet	Outlet
Parallel (I)	56.5	56.5
Diffusion (II)	56.5	65.0
Contraction (III)	65.0	56.5

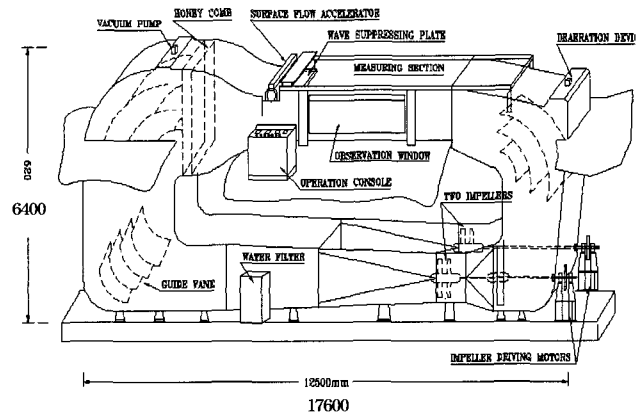


Fig. 4 Schematics of circular water channel (CWC), unit: mm

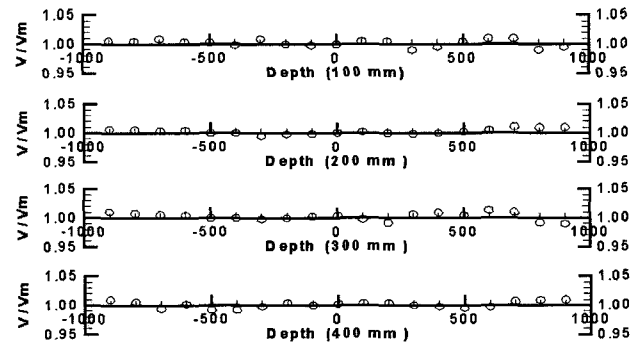


Fig. 5 Water velocity distribution varying depth in CWC

3.1 시험방법

단독특성시험은 전진계수(Advance coefficient)  $J = V_A/nD$  는 회류수조의 유속과 모형 프로펠러의 회전수( $n$ ) 및 직경으로 계산하였으며, 추력(Thrust) 과 토크(Torque)의 계측치는 각각 추력계수(Thrust coefficient)  $K_T = T/\rho n^2 D^4$  및 토크계수(Torque coefficient)  $K_Q = Q/\rho n^2 D^5$ 로 표현하였다. 전진계수  $J$  의 그 범위는 0.1부터 1.0까지로 하였으며, 회전수  $n$ 은 25rps로 수행하였다. 프로펠러축의 중심 깊이( $h$ )와 프로펠러 직경의 비는 관측부에서의 자유표면 영향을 고려하여 2.0으로 하였다.

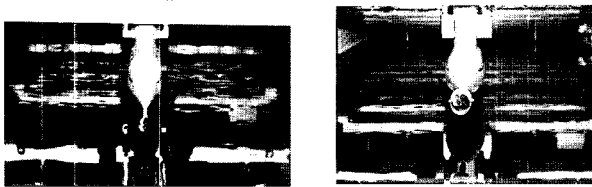
프로펠러 허브(Hub) 및 실험용 허브 캡(Cap) 등의 보정을 위해 우선 프로펠러 제거 후, 허브와 허브 캡만을 부착한 상태에서 추력 및 토크를 계측하였으나 그 값은 미미하였다.

Fig. 6은 실험 전, 프로펠러 단독상태(a)와 보호터널을 부착한 상태(b)에서의 추력 및 토크 계측장치 모습을 나타내고 있으며, Fig. 7은 3가지 형상의 보호터널을 프로펠러에 부착한 모습을 각각 보이고 있다.

3.2 시험 결과 및 고찰

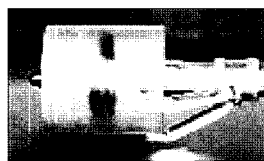
프로펠러 단독상태에서의 3가지 형상의 보호터널을 부착한 상태에서의 추력 및 토크 계측 결과를 Fig. 8 및 Fig. 9에 각각 나타내었다.

그림에서 보는바와 같이 전진계수  $J=0.45$  이하에서는 보호터널 형상에 관계없이 추력 및 토크 계측치 모두가 프로펠러

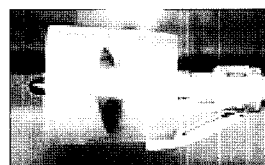


(a) Without tunnel (b) With tunnel

Fig. 6 Experimental apparatus for P.O.W



(a) Parallel type (I)



(b) Diffusion Type (II) (c) Contraction Type (III)

Fig. 7 Three different propeller tunnel types

단독의 경우 보다 적게 나타남을 알 수 있다. 이는 보호터널 부착이 프로펠러 평면으로 유입되는 유동을 제한하는 효과를 주어, 프로펠러 허브 캡과 보호터널 내부 사이의 유입 단면적 감소로 이어지고 이로 인해 유속이 증가하게 되는 영향으로 보여 진다. 또한 김기섭 등(2000)이 제안한 낮은 레이놀즈수가 미치는 영향도 있는 것으로 보여 진다.

따라서 향후 보호터널 모형의 취부 설치 및 난류측진장치 사용 등에 대한 시험방법 개선과 시험조건 수정을 위한 세심하고도 추가적인 연구가 계속되어야 할 것으로 보여 진다.

전진계수  $J=0.45$  이상에서는 추력 및 토크 계측치가 보호터널 형상에 따라 다른 형태를 보이는데, 형상 I의 경우 프로펠러 단독상태와 유사하고, 형상 II는 적게, 그리고 형상 III은 크게 나타난다. 이는 회류수조의 유속이 증가함에 따라 프로펠러의 날개 끝에서 발생하게 되는 와류(Tip vortex)의 영향이 커지게 되는 변화로 생각된다. 즉 프로펠러 평면 후류에서 유속이 더욱 증가하는 형상 III이 형상 I의 경우 보다 그 영향이 큰 반면에, 후류에서 유속이 점점 감소하는 형상 II의 경우에는 그 영향이 반대의 경향을 보이고 있다. 또한 그림에서 보듯

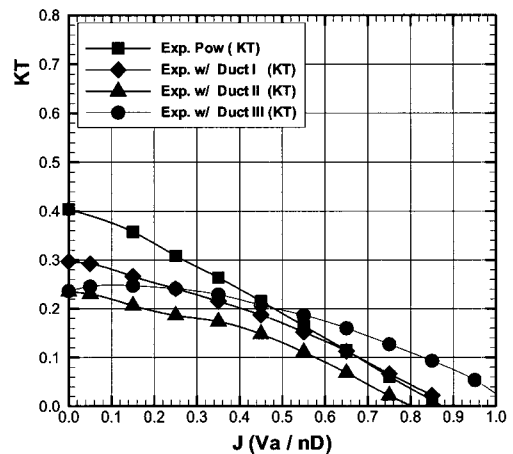


Fig. 8 Comparison of  $K_T$  for each propeller tunnel type

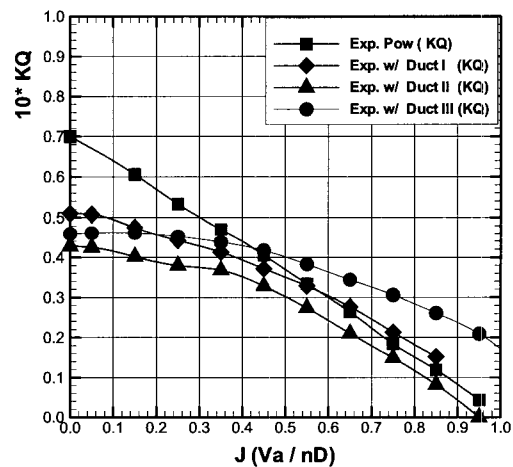


Fig. 9 Comparison of  $K_Q$  for each propeller tunnel type

이 이러한 효과는 토크 값 에서 더욱 분명하게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 프로펠러 단독효율(Propeller efficiency in open)  $\eta_o = (J/2\pi) \cdot (K_T/K_Q)$ 을 나타내고 있다. 본 연구에서 형상 II의 단독효율은 보호터널이 없는 프로펠러 단독상태보다 낮은 것을 알 수 있다. 형상 I의 경우에도 추력의 증가뿐만 아니라 토크도 함께 증가함에 따라 단독효율의 증가는 기대하기 어렵다. 형상 III의 경우 전진계수  $J=0.65$ 이상에서 유속이 증가함에 따라 토크도 증가하지만 추력의 증가가 현저하여 단독효율이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 보호터널 자체에서도 양의 추력이 추가로 발생하게 되므로 가장 우수한 보호터널 형상으로 판단된다.

한편 본 논문에서는 회류수조에서의 실험 결과를 포텐셜을 기저로 한 패널법에 의한 수치계산결과와 비교하여 보았다.

프로펠러를 수치계산을 통해 정확하게 해석하기 위해서는 비정상적 작용을 포함하는 난류 점성 유동장을 해석하여야 한다. 그러나 본 연구에서와 같이 프로펠러의 매 회전각도에 따른 보호터널을 부착한 프로펠러의 비정상적인 유동해석은 많은 계산시간 등의 문제를 수반하기 때문에 비정상적인 프로펠러의 작용을 평균적인 물체력으로 대체시키거나, 프로펠러에 의한 유기속도(Induced velocity)를 평균적으로 구하여 경계조건으로 처리하는 방법을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 후자의 방식을 택하였으며, 최근에 프로펠러의 유기속도를 구하는데 적용되었던 문일성 등(1996)이 제안한 포텐셜을 기저로 한 패널법(Potential Based Surface Panel Method)을 사용하였다. 패널법은 프로펠러의 표면에 지배방정식을 만족하는 법선 다이폴과 소오스를 분포시켜 포텐셜을 구하고, 포텐셜을 미분함으로써 속도와 압력을 구하는 유한차분법이다. 본 연구에서는 프로펠러의 경계치 문제를 해석하고 프로펠러 표면에서 구하여진 포텐셜 분포에 의하여 임의의 제어점에서의 축 방향 평균 속도분포를 구하여 경계조건으로 처리하였다.

일반적으로 덕트 프로펠러(Ducted propeller)에서 덕트와 프

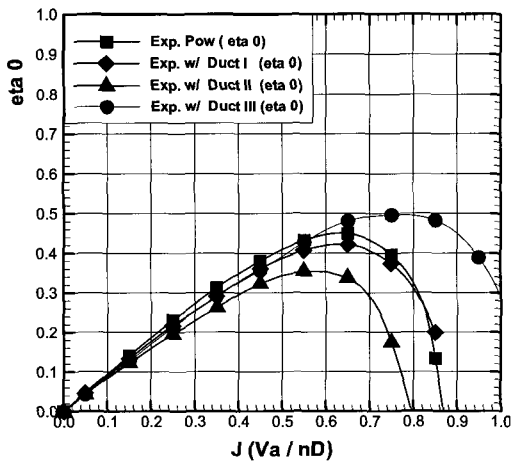


Fig. 10 Comparison of  $\eta_o$  for each propeller tunnel type

로펠러의 상호 간섭을 고려할 경우 전통적으로 덕트 프로펠러는 프로펠러를 해석하여 유기속도분포를 구하고 다시 덕트를 해석하는 방법을 많이 사용하였으나(김광 등, 1999), 본 연구에서는 덕트와 프로펠러를 동시에 해석함으로써 덕트와 프로펠러의 상호 간섭을 좀 더 정확히 고려함과 동시에 계산시간의 향상을 도모하였다.

Fig. 11에서는 회류수조에서의 실험 결과와 이러한 수치계산결과를 MAU 계열도표(서정천과 이창섭, 1984)에서 추정된 결과와 함께 비교하여 보았다.

패널법에 의한 프로펠러 단독특성 계산결과, 추력의 경우는 실험값과 좋은 일치율을 보이고 있으나 토크는 약간의 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 점성항력에 의한 영향인 것으로 판단된다. 그러나 예인수조에서의 모형시험 결과를 토대로 작성된 계열도표에 의한 추정치는 토크가 비교적 잘 일치하고 있는 반면, 추력이 조금 크게 나오고 있다. 이는 계열도표에서 지원하는 전개면적비( $A_e/A_0$ )의 범위 0.5를 초월하여 추정한 것에도 약간의 영향이 있는 것으로 생각된다.

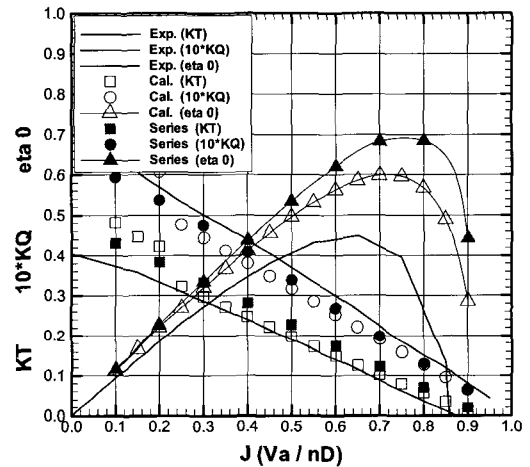


Fig. 11 Open water performance (w/o tunnel)

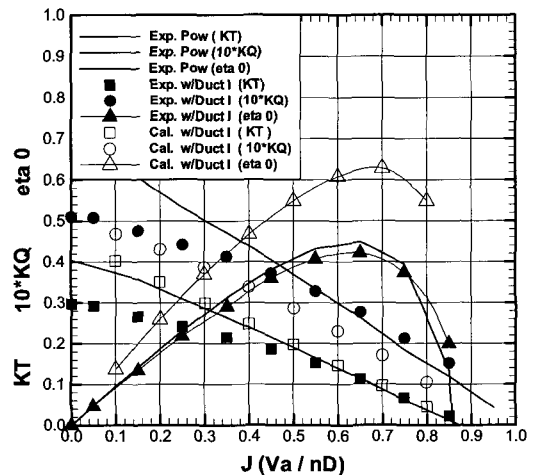


Fig. 12 Open water performance (w/ type I)

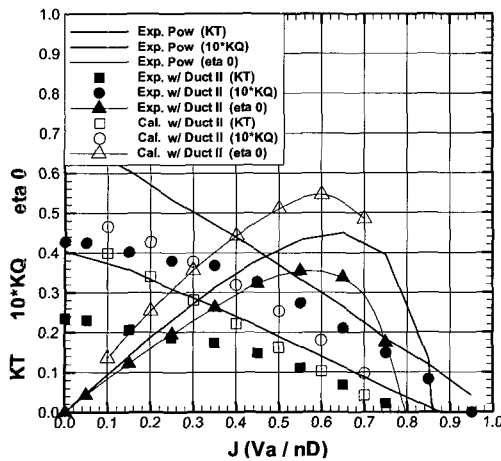


Fig. 13 Open water performance (w/ type II)

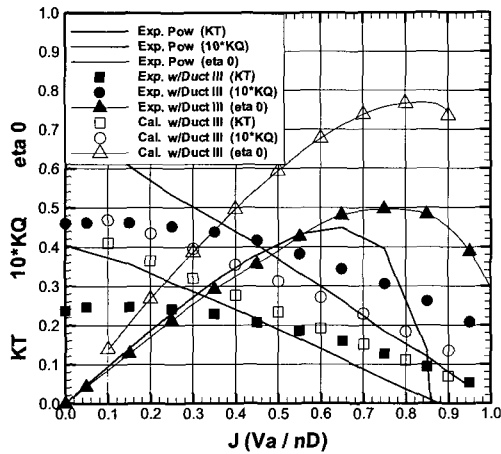


Fig. 14 Open water performance (w/ type III)

Fig. 12, 13, 14에서는 프로펠러 보호터널 형상 I, II, III를 장착한 상태에서의 단독특성시험 및 수치계산 결과를 프로펠러 단독상태에서의 결과와 비교하여 보았다.

프로펠러 허브 캡의 영향을 확인하기 위하여, 모형시험에서 사용된 것 보다 길이가 작은 허브 캡을 사용하여 수치계산을 수행 하였다. 그 결과 보호터널 형상에 관계없이 전진계수  $J=0.45$  이하에서의 추력 및 토크의 감소량이 현저히 줄어드는 것을 확인하였다. 전진계수  $J=0.45$  이상에서는 추력의 계산치가 실험값과 거의 일치하고 있으나, 토크의 경우 실험값과 큰 차이를 보이고 있으며 형상 III은 프로펠러 단독상태에서의 실험값과 유사하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이는 프로펠러 날개 끝에서의 와류 생성이 점성항력과 매우 밀접한 관계가 있다는 것을 보여 주는 결과라고 생각된다.

이상의 결과를 통하여 본 연구에서의 프로펠러 보호터널 형상 III은 프로펠러 단독효율이 우수할 뿐만 아니라, 가속형 형태로 인한 보호터널 자체의 추가 추력 증가도 기대되고 있다. 이에 따라 최적의 추진효율을 갖는 프로펠러 보호터널 형상 설계 결과가 형상 III이라는 가정 하에, 프로펠러 직경 감소효과에 의한 축 경사각의 감소 가능성을 검토해 보고자 한다

Table 3 Propeller design point

NCR		Ship	Sea
Power	Rpm	speed	nargin
[ps]	[1/min]	[knots]	[%]
323	1065.99	18	15

Table 4 Self propulsion factors

$V_s$	ehp	$t$	$w$	$\eta_R$
[knots]	[ps]			
14	92.07	0.13	0.15	1.0
16	120.54	0.13	0.15	1.0
18	152.52	0.13	0.15	1.0
20	188.00	0.13	0.15	1.0
22	227.00	0.13	0.15	1.0

본 연구에서의 설계 대상선박에 대한 프로펠러 설계점 등을 정리하면 Table 3과 같고(서성부 등, 2003), 속도( $V_s$ )별 유효마력(Effective horse power, ehp)은 회류수조에서의 저항시험 결과로부터 추정하여(심상목 등, 2003) Table 4에 나타내었다. 또한 기타 각종 추진계수들도 유사선박에 대한 저항시험 결과를 수록한 자료로부터 추정하여(Edward, 1988) 함께 나타내었다.

MAU계열 도표를 이용한 프로펠러 초기설계를 수행하면 (Yokoo and Yasaki, 1973), 피치비 및 전진계수의 값을 각각 0.95 및 0.575로 결정하여 최적 직경 0.77m를 구할 수 있다. 전개면적비는 Burill(1978) 등의 판정 기준에 따라 0.85로 결정할 수 있다.

이러한 최적 직경의 비교로부터, 프로펠러 보호터널 부착이 축 경사각을 줄일 수 있는 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 회류수조에서 보호터널이 부착된 프로펠러에 대한 단독특성시험을 시도하여 3종류의 단순 덕트 형태를 가지는 보호터널이 프로펠러 단독특성에 미치는 영향을 조사하였고, 그 결과를 포텐셜 기저 패널법에 의한 수치계산 결과와 비교하였다. 이로 부터 다음의 결론을 얻을 수 있다.

(1) 전진계수  $J=0.45$  이하에서는 보호터널 형상에 관계없이 추력 및 토크 예측치 모두가 프로펠러 단독의 경우 보다 적게 나타난다. 이는 보호터널 부착으로 프로펠러 평면에서의 유입 속도 증가에 따른 영향으로 보여 진다.

(2) 전진계수  $J=0.45$  이상에서는 추력 및 토크 예측치가 보호터널 형상에 따라 다른 형태를 보이는데, 형상 I의 경우 프로펠러 단독상태와 유사하고, 형상 II는 적게, 그리고 형상 III은 크게 나타난다. 이는 유속이 증가됨에 따라 프로펠러의 날개 끝에 발생하게 되는 와류의 영향에 의한 변화로 판단된다.

(3) 수치계산 결과와 비교해 보면, 전진계수  $J=0.45$  이상에서 추력은 좋은 일치를 보이고 있으며 토크의 경우도 점성항력

등의 영향을 고려하면 적합한 결과를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서의 프로펠러 단독효율은 보호터널 형상 III의 경우가 가장 우수한 것으로 판단된다.

(4) 또한 본 연구에서의 프로펠러 직경 0.55m 와의 비교를 위하여 보호터널이 없는 일반 프로펠러의 최적 직경을 추정한 결과 0.77m로서, 프로펠러 보호터널 부착이 축 경사각을 줄일 수 있는 대안도 될 수 있음을 확인하였다.

본 연구 결과는 앞으로 개발될 다양한 형태의 연안 어선용 프로펠러 보호터널 설계 및 실용화 관련 연구에 유효한 핵심 기초자료로 활용하고자 한다. 이를 위하여 향후 회류수조에서의 보호터널 모형의 취부 설치 및 난류축진장치 사용 등에 대한 시험방법 개선과 시험조건 수정을 위한 세심하고도 추가적인 연구를 계속할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- 고재용, 심상목, 박충환, 서성부, 배동균 (2003), "세미워터제트 형 연안어선 개발에 관한 연구", 한국항해항만학회지 제27권, 제1호, pp 16-22.
- 김기섭, 김경열, 안중우 (2000), "예인수조와 캐비테이션 터널에서 프로펠러 단독특성의 실험적 상호관계 해석", 대한조선학회논문집 제37권, 제1호, pp 26-39.
- 김광, 표상우, 서정천 (1999), "정상 및 비정상 유동중 덕트 프로펠러의 성능해석", 대한조선학회논문집 제36권, 제1호, pp 30-36.
- 문일성, 김영기, 이창섭 (1996), "포텐셜을 기저로 한 패널법에 의한 프로펠러의 비정상유동해석", 대한조선학회논문집 제33권, 제1호, pp 9-18.
- 서성부, 문일성 (2003), "프로펠러 보호터널 단독특성 해석", 대한조선학회 추계학술대회 pp 440-445.
- 서성부, 박충환, 문일성 (2003), "보호터널 부착 추진장치 설계 및 성능추정", 한국해양공학회 춘계학술대회 pp 48.
- 서정천, 이창섭(1984), "MAU 프로펠러 단독특성의 수식표현", 한국기계연구소 소보, 제11집, pp 95-101.
- 심상목, 박충환, 서성부, 고재용(2003), "프로펠러 보호터널 부착 연안어선 개발에 관한 연구", 대한조선학회추계학술대회, pp 117-121.
- 이귀주, 이광일 (1997), "G/T 340톤급 고속 어업지도선의 선형개발에 관한 연구", 한국해양공학회지 제11권, 제4호, pp 221-226.
- 최희중, 전호환 (2001), "트랜섬 선미를 가지는 선형의 포텐셜 유동해석", 한국해양공학회지 제15권, 제1호, pp 1-6.
- Blount, L.D. (1997), "Design of Propeller Tunnels for High Speed Craft", FAST '97 Papers, pp 151-156.
- Burrill, L.C. and Kerwin, J.E. (1978), Propeller cavitation : further tests on 16in propeller models in the King's College Cavitation Tunnel, Tmas. NECIES, 195.
- Edward, V. (1988), Principles of Naval Architecture, 2nd revision, SNAME, NJ.
- Yokoo and Yasaki (1973), 프로펠러 설계법 및 참고도표집, 성산당서점, Japan.

2007년 5월 27일 원고 접수

2007년 6월 7일 최종 수정본 채택