

바우 스러스터 터널 그리드 개선을 위한 연구

김성표^{†*}, 박제준*, 전동수*, 김용수*, 이춘주**

대우조선해양(주) 유체 R&D 팀*
한국해양연구원 해양시스템안전연구소**

A Development of New Device for Bow Thruster Tunnel Grids

Sungpyo Kim^{†*}, Jaejun Park*, Dongsu Jun*, Yongsoo Kim* and Chunju Lee**

DAEWOO Shipbuilding & Marine Engineering Co., LTD*
Maritime and Ocean Engineering Research Institute**

Abstract

For protection of the thruster against mechanical damage and reduction of tunnel resistance at ship forward speed, the tunnel grids are normally installed. Some of ship operators however, have a strong distrust of the protective function of the tunnel grids and so they do not want to install the protective grids for higher thruster efficiency.

Since the grids should be installed at very close to the side shell as far as possible in due consideration of flow direction to minimize additional resistance induced by tunnel openings, it has been too hard and time consuming work to install the grids on the curved and chamfered tunnel entrances considering its relatively low resistance reduction effect.

DSME (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd) developed a substituting device named TG (Tunnel Guides) for bow thruster tunnel grids which is characterized by higher resistance reduction, higher thruster efficiency and easy to installation. This paper provides the principle idea of the TG with short history of the development using CFD calculations and model experiments in MOERI (former KRISO).

※Keywords: Thruster tunnel grids(스러스터 터널 그리드), CFD(계산유체역학), TG(터널 가이드), Tunnel opening(터널 개구부), Bow thruster(바우 스러스터)

1. 서론

적인 형상과 설계 방안은 Manoeuvring Technical Manual 1993, page 17 & 26 참조) 터널 개구부에 의한 저항 증가를 최소화 하기 위하여 보통 개구부 주위에 유선의 직각 방향으로 그리드를 설치하기도 하고 또한 개구부 뒤쪽에 스칼롭(scallop)형상을 두기도 한다.

바우 스텔러스터 개구부에 의한 선체 저항 증가는 선형, 선속, 개구부의 위치와 크기 등 다양한 영향 변수가 있으며, 개구부 주위의 흘수선의 각도(waterline angle)나 횡단면(section)형상의 변화가 급할수록, 선속이 빠를수록 그리고 개구부 직경이 클수록 좀더 큰 저항의 증가가 예상된다. 이와 같이 저항에 영향을 주는 많은 변수들은 간단히 선종과 선박의 크기로 묶어서 생각해 볼 수 있는데, 바우 스텔러스터를 설치하는 선종은 대개 컨테이너 선박, 자동차 운반선 그리고 가스 운반선이 주종을 이루고 있으며, 다행히 스텔러스터 개구부의 선형 변화가 심한 유조선이나 벌커는 특별히 DP(Dynamic Positioning)가 요구되지 않는 한 장착되는 경우는 별로 없다.

일각에서는 바우 스텔러스터 그리드의 설치 목적을 부유물의 유입에 의한 스텔러스터 자체 손상을 방지하는 목적으로만 고려하는 경우도 있으나, 특수한 상황을 제외하면 실질적인 손상 방지의 목적은 큰 의미가 없다. 특히, 터널 내부에 유입된 이물질이 그리드에 걸려 오히려 외부로 빠져 나오지 못한다거나 그리드 자체의 파손으로 인한 손상이 우려되어 아예 그리드의 장착을 피하는 선주도 있는 실정이다.

또한, 터널 개구부에 그리드를 설치 함으로써 선체 저항 일부 억제할 수 있는 반면에 스텔러스터 자체 효율을 감소시키는 원인이 되기도 한다. Fig. 1은 Taniguchi et al.(1966)의 연구 결과를 인용한 그림인데, 예를 들면 사각바 3 개와 지지대로서 환봉 3 개로 이루어진 터널 그리드의 경우 그리드에 사용된 자재의 총 길이가 스텔러스터 직경의 약 5 배 이상 되므로 Fig. 1에 나타난 바에 의하면 스텔러스터 효율을 약 6%이상 감소시키는 결과가 된다.

개구부에 의한 선체 부가 저항 감소 측면을 살펴 보면, 그리드를 선체 외벽 가까이 설치하더라도 선체 곡면을 충분히 반영하지 못하므로

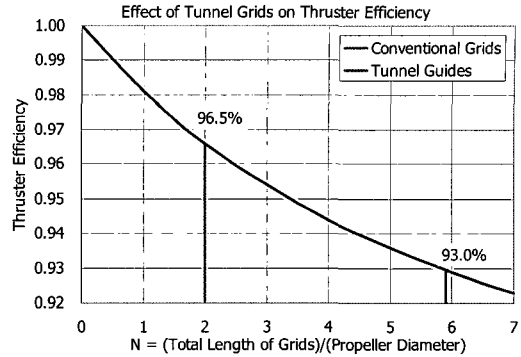


Fig. 1 Thruster efficiency to the tunnel grid

빠른 유속에 의한 저항을 억제하는데 한계가 있다. 더군다나 바우 스텔러스터의 효율을 고려해 모따기(chamfering)된 개구부에 그리드를 설치하는 작업은 매우 어렵고 많은 시간을 요하기도 한다.

개구부에 의한 부가 저항을 최소화 할 수 있는 그리드의 형상으로 생각해 볼 수 있는 것은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 사각바 대신 선체 곡면을 따르는 형상을 가진 그리드를 설치하는 방법이 있다. 그러나 이 방법으로는 저항 증가를 최소화할 수는 있지만 제작 측면과 스텔러스터 자체 효율 측면의 문제는 여전히 개선되지 않으므로 Fig. 3과 같이 선체 곡면을 갖는 단 하나의 날개만 설치하고도 개구부 저항 감소 효과가 기존의 터널 그리드 보다 우수하거나 비슷한 수준이라면 제작의 난이도, 스텔러스터 자체 효율 그리고 제작비용 측면 모두 개선하는 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 Fig. 3과 같은 바우 스텔러스터 터널 그리드 대체 장치의 (장치명칭: Tunnel Guides, TG), 성능 검증을 통해 실제 선박에 장착하려는 목적으로 수행 되었다.

2. CFD 를 이용한 저항 성능 추정

대형 및 소형 컨테이너 선박, 가스 운반선(7,900TEU CV, 2,700TEU CV, 200k LNGC)을 대상으로 다양한 경우에 대한 저항 성능 비교를 위한 계산을 수행 하였다.

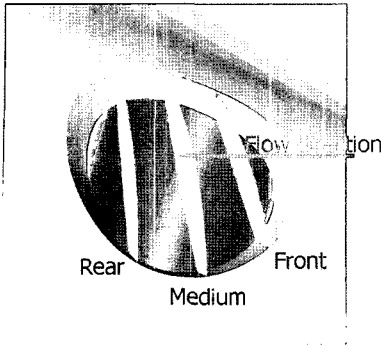


Fig. 2 Concept of new grid shape for minimization of tunnel resistance

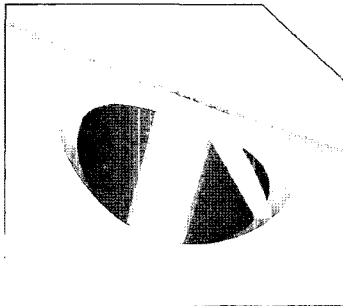


Fig. 3 Concept of TG (Tunnel Guides)

계산은 상용 소프트웨어인 FLUENT (ver. 6.2)를 사용하였고, 격자는 상용 격자 생성 소프트웨어 GRIDGEN(ver.15.08)을 사용하였다.

개구부는 선수 하부에 위치하므로 선미 유동에 의한 영향이 거의 없는 영역이라고 간주하여 계산의 효율성을 위해 선체 앞부분만 모델링 하였다. 그러므로 계산에서 얻어진 저항(drag)의 상대적인 비교만 의미가 있다.

격자는 선체 주위의 유동 해석을 위한 일반적인 격자생성법과 마찬가지로 O-H 형의 정규 격자를 사용하였으며, 개구부 주위의 격자를 집중하고 개구부 내부는 멀티 블록 격자를 끼워 맞추는 형상으로 하였다. Fig. 4는 생성된 격자계의 형상을 나타내었다. 기존 그리드 및 TG 는 모두 선체 주위 유동 방향에 수직하게 설치하여야 하므로 먼저, 개구부가 없는 경우에 대한 계산을 수행하여 Fig. 5 와 같이 선체 표면에서의 한계 유선의

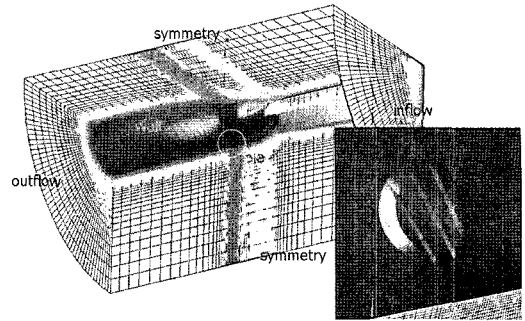


Fig. 4 Grid system and boundary condition (7,900TEU containership, 25kts)

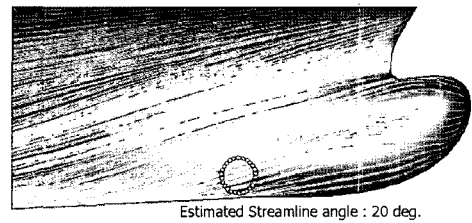


Fig. 5 Estimated streamline around hull (7,900TEU containership, 25kts)

흐름 각을 파악하였다. Fig. 5 는 7,900TEU 컨테이너 운반선의 계산 결과로서 개구부 주위의 유선 각이 20 도인 것으로 밝혀졌다.

FLUENT 를 이용한 CFD 계산을 수행하기 위한 조건은 아래의 표와 같으며 모든 경우에 대하여 기본적으로 모따기(chamfering)가 되어있고 scallop 의 유/무를 O, X로 나타내었다. 국부 유선에 수직한 방향을 따라 터널의 지름을 4 등분하여 터널 앞 부분으로부터 지름의 25, 50, 75% 위치에 그리드 및 TG 를 설치하였다. 표의 “ Element Shape” 의 Line 형은 기존 그리드의 직선형상(사각바)을, curve 형은 TG 에서 제한하는 선체를 따르는 곡선형상을 의미한다.

Table 1, Table 2, 그리고

Table 3에 대상선 7,900TEU 컨테이너 운반선, 200K LNGC, 2700TEU 컨테이너 운반선에 대해 각각 부가 저항 비교를 목적으로 수행한 계산 조건을 나타내었다.

Table 1 Case for resistance comparison study (7,900TEU Containership)¹

Case A	Chamfer	Scallop	Plate Location			Element Shape	Name
			25%	50%	75%		
1	○	×	×	×	×	-	
2	○	×	○	○	○	Line	grids
3	○	×	○	×	×	Line	
4	○	×	×	○	×	Line	
5	○	×	×	×	○	Line	
6	○	○	×	×	×	-	
7	○	○	○	○	○	Line	
8	○	○	○	×	×	Curve	TG
9	○	×	○	×	×	Curve	TG
10	○	×	×	○	×	Curve	
11	○	×	×	×	○	Curve	
12	○	×	○	○	○	Curve	

3. CFD 계산 결과

Fig. 6, Fig. 7 그리고 Fig. 8은 대상 선박들에 대한 개구부 주위의 압력 분포를 나타내었고 Table 4에는 개구부만 있는 경우 대비 저항 감소 비를 나타내었다.

압력 분포 계산 결과, 개구부가 있음으로 해서 선체를 따라 흐르던 유동의 일부는 개구부 안쪽으로 유입되고 일부는 개구부 후반부에 부딪혀 높은 압력 분포 영역을 만들게 되고, 결과적으로 저항 증가로 나타남을 알 수 있다. 또한, 개구부에 그리드나 TG를 설치하게 되면 이 부분의 압력이 완화되며 특히, scallop은 저항 감소에 탁월한 효과가 있는 것으로 평가되었다.

Table 4에 나타낸 바와 같이 case A8, B7의 경우 즉, TG와 scallop형상을 적용한 경우 저항 감소 효과가 가장 큰 것으로 밝혀졌다.

7,900TEU의 경우 기존의 그리드만 장착하는 경우는 큰 저항 감소 효과를 기대할 수 없다.

반면에 수선면의 각도가 비교적 크고, 개구부의 횡단면(section)이 가로 타원형에 가까운 LNG 선박의 경우는 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 개구부 뒤

Table 2 Case for resistance comparison study (200k LNGC)

Case B	Chamfer	Scallop	Plate Location			Element Shape	Name
			25%	50%	75%		
1	○	×	×	×	×	-	
2	○	×	○	○	○	Line	grids
3	○	×	○	×	×	Line	
4	○	×	×	○	×	Line	
5	○	×	×	×	○	Line	
6	○	○	×	×	×	-	
7	○	○	○	×	×	Curve	TG
8	○	×	○	×	×	Curve	TG

Table 3 Case for resistance comparison study (2,700TEU Containership)

Case C	Chamfer	Scallop	Plate Location			Element Shape	Name
			25%	50%	75%		
1	○	×	×	×	×		
2	○	×	○	○	○	Line	Grids
3	○	×	○	×	×	Curve	TG

쪽에 높은 압력이 발생되고, 비교적 폭이 작은 개구부의 위에서 아래로 흐르는 유선이 발생되어 개구부에 매우 복잡한 흐름이 만들어진다. 이러한 경우 TG보다 설치 개수가 많은 기존의 그리드가 저항 감소 효과가 높은 것을 알 수 있고, 또한 이때 B7과 같이 scallop형상을 두면 매우 탁월한 저항 감소 효과를 볼 수 있다.

한편, 2,700TEU의 경우에는 TG에 걸리는 저항이 너무 과도하여 TG를 설치해서 얻은 저항 감소 효과는 기대할 수 없었으며, 이는 개구부의 위치 및 선형에 따라 자칫 잘못하면 TG가 오히려 저항을 증가시킬 가능성을 배제할 수 없음을 알게 하였으며, 향후 모형 시험 결과를 통해 좀 더 명확한 결론을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

TG의 적절한 위치를 선정하기 위해 수행한 계산 조건 즉, case A9, A10, A11에서는 선수 쪽 25%위치에 장착하는 것이 저항 감소에 유리함을 알 수 있었으나, A11의 경우 개구부만 있는

¹ ○: Yes, X: No

Table 4 Comparison of calculated drag reductions

Case		Drag reduction (%)
7,900TEU	A1	0.00 [기준]
	A2	0.06
	A3	0.05
	A4	0.04
	A5	0.07
	A6	0.66
	A7	0.72
	A8	0.80
	A9	0.28
	A10	0.21
	A11	-0.24 (increase)
	A12	0.31
200k LNGC	B1	0.00 [기준]
	B2	0.68
	B3	0.21
	B4	0.40
	B5	0.13
	B6	0.84
	B7	1.13
	B8	0.48
2,700TEU	C1	0.00 [기준]
	C2	0.01
	C3	-0.21 (increase)

경우보다 저항이 크게 증가하는 결과를 얻어 적절하지 못한 위치임을 확인하였다.

이상과 같은 계산 결과를 통하여 TG 가 어느 정도의 저항 감소 효과가 있음을 알 수 있었지만, 계산의 한계(선수 파가 고려하지 않은 유선)로 인해 좀더 정도 높은 비교를 위해서는 모형시험 수행이 요구되었다.

4. 모형 시험

비용과 시간이 수반되는 모형시험을 보다 빠

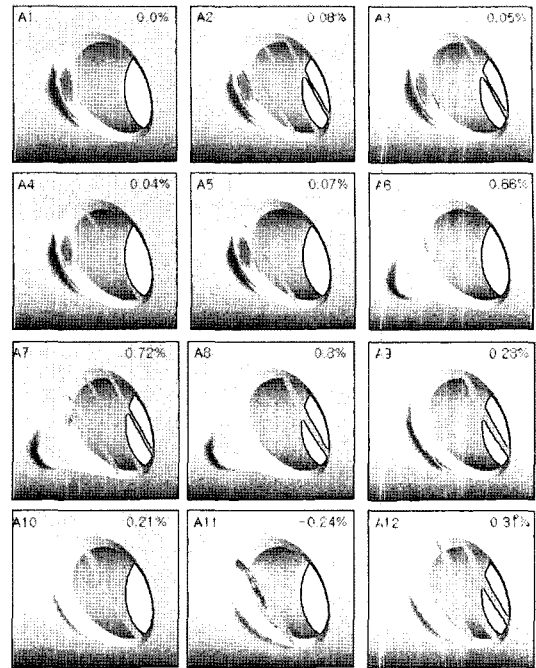


Fig. 6 Calculated pressure distribution & drag coefficients (7,900TEU containership)

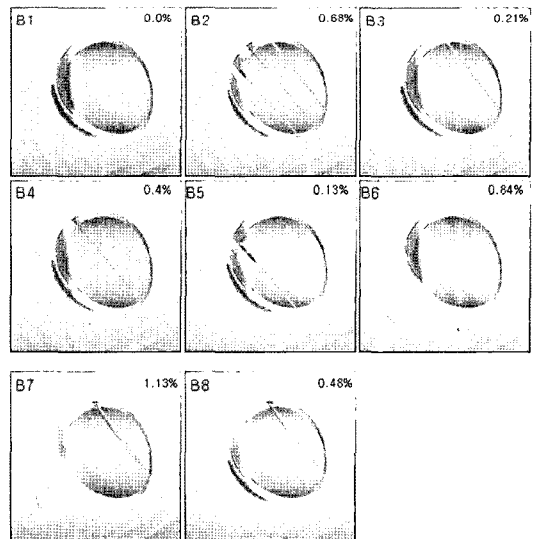


Fig. 7 Calculated pressure distribution & drag coefficients (200k LNGC)

른 시간 내에 저렴한 비용으로 수행하기 위하여 MOERI 에서 보유하고 있는 당사 선박의 모델을

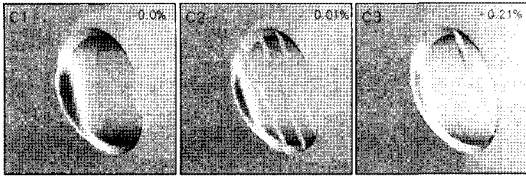


Fig. 8 Calculated pressure distribution & drag coefficients (2,700TEU containership)

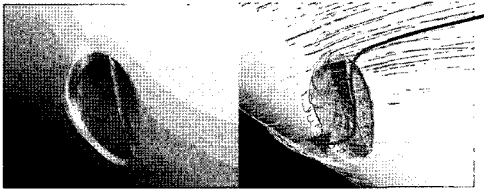


Fig. 9 Calculated pressure & flow path line (200k LNGC)

활용하기로 했다. 비교적 최근에 제작된 모델 중 가장 적당한 다음의 두 모델을 선정하였다. 두 모델의 스러스터 제원은 Table 5 에 나타내었다.

DSME 200k LNGC (single skeg)
 DSME 2,700TEU 컨테이너 운반선

모형시험은 MOERI (Maritime and Ocean Engineering Research Institute)의 예인 수조에서 설계흡수에 대한 저항시험만 수행하였다. 저항시험은 기본적으로 스러스터 개구부에 의한 저항증가, 기존의 터널 그리드 또는 TG 를 설치했을 때 각각의 저항을 비교함으로써 개구부에 의한 부가 저항을 어느 정도 억제할 수 있는지를 확인할 수 있도록 계획하였다.

기존의 모형선 선체에 구멍을 만들고 Fig. 10과 같은 개구부 모형을 번갈아 장착하는 방법으로 모형시험을 수행 하였으며(Fig. 11과 Fig. 12 참조), 두 선박을 대상으로 수행한 모형시험 조건은 Table 6과 같다. LNG 선박의 경우 TG 를 선측 흐름을 무시하고 수직으로 장착했을 경우 저항 억제 효과를 검증하기 위한 시험과 4 익을 갖는 더미 임펠러를 터널 내부에 장착한 경우와 장착하지 않은 경우의 저항 차이를 비교하기 위한 두 가지

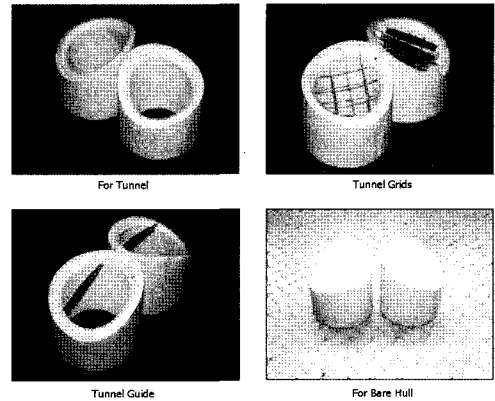


Fig. 10 Tunnel opening models for tests

Table 5 Principal particular of two different object ships for model experiments (model scale, design speed)

항목/모델	200k LNG	2,700TEU
모델 축척 비	34.4	29.2
모델 길이 (m)	8.8	7.3
선속 (knots)	19.5	21.7
Fn	0.185	0.244
유선각 (degrees)	35	15
방향비척계수	0.75	0.65
스러스터 직경 (m)	0.084	0.075
스러스터 위치 (from FP, m)	0.306	0.397
위치 (from Bottom, m)	0.102	0.098

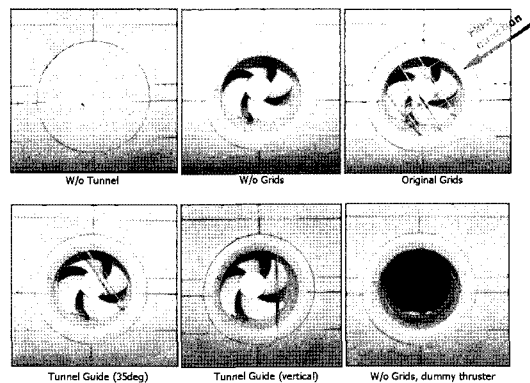


Fig. 11 Prepared test models for 200k LNGC

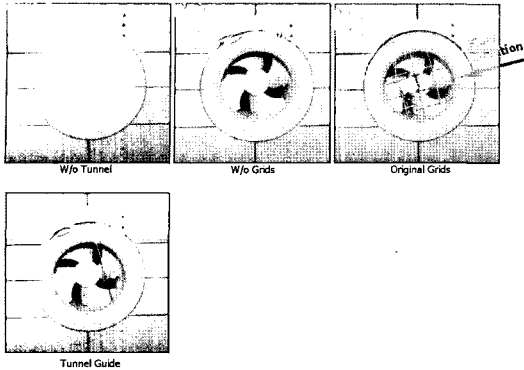


Fig. 12 Prepared test models for 2,700TEU

Table 6 Resistance tests case²

번호	시험 조건	200k LNG	2,700TEU
1	개구부 폐쇄	Yes	Yes
2	개구부만 설치 (더미 임펠러 장착)	Yes	Yes
3	기존 터널 그리드 설치	Yes	Yes
4	TG (유선의 직각 방향)	Yes	Yes
5	TG (선박의 길이 방향에 수직)*	Yes	No
6	개구부만 설치 (더미 임펠러 미장착)	Yes	No

경우의 모형시험을 추가하였다.

5. 모형시험 결과

5.1 200k LNGC

Table 6 에서와 같은 총 6 가지 경우에 대한 저항시험을 설계 흡수에서 수행한 결과 Fig. 13과 같은 결과를 얻었다. 개구부를 폐쇄한 경우 즉, 스러스터를 장착하지 않고 계속한 저항 값을 기준으로 볼 때 개구부만 설치한 경우 19.5 노트로 운항할 때 요구되는 유효저항이 1.82%증가하는 것으로 밝혀졌다. 이는 황보승면과 손석호(2000) 연

구 결과인 7%저항 증가와는 큰 차이를 보이는데, 선속, 스러스터 위치에서의 선폭 변화 차이 등에 따른 개구부 주위의 압력 분포가 달라짐으로써 개구부에 의한 부가 저항 차이는 나타날 수 있다고 판단 된다. 그러나 2000 년 연구에 스러스터 위치와 선형에 대한 구체적인 언급이 없어 깊이 있는 비교 분석이 어려우며, 향후 검토가 필요한 실정이다.

또한, 본 시험 결과, 터널 내부에 더미 임펠러를 장착한 경우의 저항이 그렇지 않은 경우에 비해 약 0.7%가량 저항이 큰 것으로 밝혀졌다.

기존의 그리드를 설치할 경우 저항 증가를 어느 정도 억제하는 것으로 나타났으며, 유선 방향을 고려하여 설치한 TG 는 기존의 그리드 보다 약 0.6% 향상된 결과를 보여주고 있어 저항 측면에서 효과가 있음이 확인되었다. (MOERI Model Test Report BSI03080-05059E)

5.2 2,700TEU 컨테이너 운반선

Table 8 에서 보인 바와 같이 총 4 가지 경우에 대한 저항시험을 설계 흡수에서 수행한 결과 Fig. 14과 같은 결과를 얻었다.

기존의 그리드 설치, TG 를 장착한 경우 그리고 개구부만 있는 경우 모두 바우 스러스터 개구부를 폐쇄한 경우 즉, 스러스터를 장착하지 않고 21.7 노트로 운항할 때 계속한 저항 값 대비 요구 마력이 0.8%증가하는 것으로 밝혀졌다 이는 바우 스러스터 개구부에 그리드나 기타 부가 저항을 줄이려는 목적으로 별도의 장치를 설치하는 것은 효과가 없음을 알 수 있다.

반면에 모형시험을 별도로 수행하지 않고 단지 CFD 계산만 수행한 7,900TEU 대형 컨테이너 운반선은 개구부에 기존의 그리드와 TG 모두 부가 저항의 감소 효과가 있는 것으로 예측되었다. 다시 말하면 대형 컨테이너 선박의 경우 TG 가 부가 저항 감소 효과를 가져오지만 소형 컨테이너 선박의 경우 별도의 부가 장치를 설치할 필요성을 알 수 있다.

5.3 저항 계속 정도 문제의 토의

박동우 등(2003)이 자승의 평방근법(Root

² 5 번의 경우 개구부 주위의 유선 방향을 고려하지 않고 선박의 길이방향(x 축)의 수직 방향으로 설치함

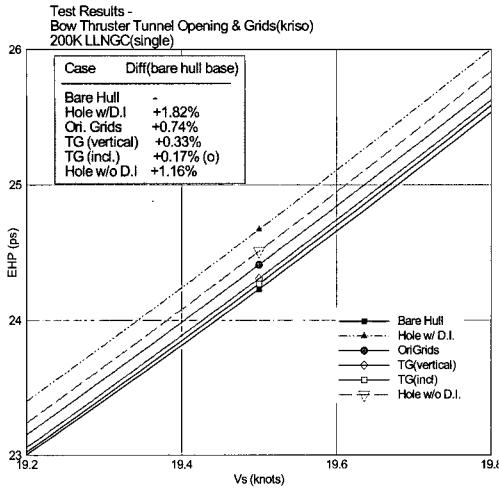


Fig. 13 Model test results at design draft for 200k LNGC (EHP curve)

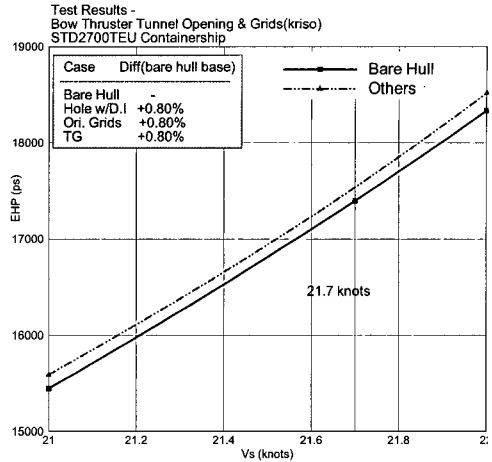


Fig. 14 Model test results at design draft for 2,700TEU containership (EHP curve)

Table 7 Comparison of required EHP for ship speed of 19.5 knots (200k LNGC, design draft)³

번호	시험 조건	EHP Diff (% of bare hull)
1	개구부 폐쇄	[기준]
2	개구부만 설치 (더미 임펠러 장착)	+1.82
3	기존 터널 그리드 설치	+0.74
4	TG (유선의 직각 방향)	+0.17
5	TG (선박의 길이 방향에 수직)*	+0.33
6	개구부만 설치 (더미 임펠러 미장착)	+1.16

Table 8 Comparison of required EHP for ship speed of 21.7 knots (2,700TEU, design draft)

번호	시험 조건	EHP Diff (% of bare hull)
1	개구부 폐쇄	[기준]
2	개구부만 설치 (더미 임펠러 장착)	+0.80
3	기존 터널 그리드 설치	+0.80
4	TG (유선의 직각 방향)	+0.80

Sum Square, RSS)을 근간으로 수행한 165,000 TDW 급 원유 운반선과 6,200TEU 급 컨테이너 운반선의 모형시험 불확실성 해석 연구에 따르면 총 저항의 예측 오차는 평균 1%수준으로 예상되며, Fn 가 높을수록 예측의 오차는 매우 낮아지는 경향을 보인다. 이 결과는 비록 HMRI(Hyundai Maritime Research Institute)에서 시험을 수행한

경우지만 저항시험의 정밀도를 엿볼 수 있는 자료이다.

본 연구에서 여러가지 형상의 바우 스러스터 터널 그리드에 대한 부가 저항 우열을 비교할 목적으로 저항 시험을 시도 하였다. 저항시험의 예측 정도를 고려해 보면 측정된 우열의 차이는 예측 오차의 한계를 넘기기 어려운 수준일 것으로 판단 되었으므로, 가능한 한 예측의 신뢰성을 확보하기 위해 정도 높은 모델의 제작, 수 차례의 반복 예측, 그리고 수조의 물이 교란되지 않는 시간대에 시험을 수행하는 등의 노력을 기울였다.

³ 5 번의 경우 개구부 주위의 유선 방향을 고려하지 않고 선박의 길이방향(x 축)의 수직 방향으로 설치함

또한, Table 5에 보인 바와 같이 비교적 높은 Fn 를 갖는 선박들에 대한 예측이므로 예측 값이

크게 분산(scatter)되지 않았고, 시험의 정밀도는 상당히 높은 것으로 판단되었다.

이상과 같은 저항 시험의 추정 계측 정도를 고려하면, 측정된 물리량의 엄밀한 차이를 논하기는 어렵지만 본 연구의 시험 목적인 부가저항의 우열을 판단하기 위한 신뢰도는 어느 정도 확보 되었다고 판단된다.

6. 결론

- 1) CFD 계산과 모형시험을 통해 바우 스러스터 터널 그리드 대체 장치인 TG 의 부가 저항 감소 효과의 검증을 시도 하였으며, 계산 수행의 한계와 모형시험의 계측 정도로 인해 엄격한 비교는 어려웠으나 기존의 그리드 수준과 유사한 저항 감소 효과가 있는 것으로 판단되었다.
- 2) TG 는 단 하나의 날개만 장착하므로 스러스터의 자체 효율을 기존의 그리드 대비 약 3%이상 향상시킬 뿐만 아니라 설치 작업도 용이한 큰 장점을 갖고 있다.
- 3) 소형 컨테이너 선박의 경우 터널 그리드에 의한 저항 감소 효과는 거의 없어 보이며, 대형 컨테이너 선박이나 가스 운반선의 경우 저항 감소 효과를 기대할 수 있다.
- 4) 새로 개발된 TG 의 장점인 스러스터의 자체 효율의 향상, 그리드 장착 시 발생하는 고소 작업등 위험한 작업의 최소화와 생산성 향상 측면 등을 고려하면, 부가저항 감소 효과가 최소한 기존의 그리드 수준인 것으로 기대되는 TG 의 적용이 효과적이라 판단된다.
- 5) 향후 TG 의 실선 적용을 위해 보다 정도 높은 계산과 시험 기법의 확립이 요구된다.

참 고 문 헌

- 박동우, 김민규, 강선형, 2003, “ 저항, 자항시험에 있어서의 불확실성 해석,” 대한조선학회 논문집, 제 40 권, 제 5 호, pp. 1~9.
- 황보승면, 손석호 , 2000, “ 저항, 추진 관점에서 의 Bow Thruster 영향에 대한 실험적 고찰,” 선박 설계연구회 동계 연구발표회, pp. 5-1 ~ 5-7
- A group of experts Capt. Dipl.-Ing.J.Brix, Hamburg “ Manoeuvring Technical Manual,” Seehafen Verlag GmbH, Hamburg, 1993. pp. 17 - 35
- Lee, A Study on the Grid Performance for DSME Vessels. MOERI Model Test Report BSI03080-05059E, 2005. 12.
- Taniguchi, K., Watanabe, K. and Kasai, H., 1966, “ Investigations into Fundamental Characteristics and Operating Performances of Side Thrusters,” Mitsubishi Tech Bulletin.



< 김 성 표 >



< 박 제 준 >



< 전 동 수 >



< 김 용 수 >



< 이 춘 주 >