

전투 차량용 포드형 물 분사 추진장치의 모형시험 및 해석

변태영^{†*}, 김문찬*, 전호환*, 김종현**

부산대학교 조선해양공학과*
(주) 로템**

Self-propulsion Test and Analysis of Amphibious Armored Wheeled Vehicle with Propulsion System of POD Type Waterjet

Tae-Young Byun^{†*}, Moon-Chan Kim*, Ho-Hwan Chun* and Jong-Hyun Kim**

Dept. of Naval Arch. & Ocean Eng., Pusan National University*
Rotem company**

Abstract

A waterjet propulsion system has many advantages compared with a conventional screw propeller especially for amphibious armored wheeled vehicles because of a good maneuverability at low speed, good operation ability at shallow water, high thrust at low speed to aid maneuverability and exit from water, etc. The POD type waterjet is adequate for the present wheeled vehicle because the weight is lighter and L/B is longer than the conventional armored amphibious vehicle. Resistance and self-propulsion tests with a 1/3.5-scale model are conducted at PNU towing tank. Based on these measurements, the performance is analyzed according to ITTC 96 standard analysis method and also according to the conventional propulsive factor analysis method. Based on these two methods, the full-scale effective and delivered powers of amphibious armored wheeled vehicle are estimated. This paper emphasizes the analysis method of model test of the waterjet propulsion system for a amphibious armored wheeled vehicle and the model test technique together with the comparison of the two analysis methods.

※Keywords: Waterjet(물 분사 장치), Pod type(Pod 형), Wheeled vehicle(차륜 전투차량), Propulsion system(추진 장치), Self-propulsion test(자항시험), Impeller(임펠러)

1. 서론

선박의 고속화를 위한 다양한 형태의 추진시스템이 개발되어 왔으며, 고속에서 여러 가지 잇점이 있는 물 분사 추진 시스템은 그 적용 범위가 점점 넓어지고 있다. 물 분사 추진장치는 물을 선체 바닥에서부터 흡입하여 유도관 속에 있는 임펠러, 스테이터를 지나면서 회전동력을 압력 에너지로 변환시켜 노즐을 통하여 물을 고속으로 분사시킴으로써 추력을 발생시키는 추진장치이다. 이러한 물 분사 추진장치는 유도관의 내부압력이 증가되어 프로펠러에 비해 캐비테이션 발생 여유를 충분히 확보할 수 있기 때문에 고속영역에서도 캐비테이션에 의한 선체진동, 소음 및 날개침식의 피해를 줄일 수 있다. 그리고 저속 또는 정지상태에서 조종 성능이 우수하며 덕트로 둘러싸여 있어 파손의 위험이 적어 고속선과 특수선박에의 응용이 날로 증가하고 있는 추세이다.

전투차량의 경우 선박에 비하여 무게가 무겁고 차체가 유선화되어 있지 못해 큰 추진력이 필요하며 일반 프로펠러를 적용할 경우 프로펠러 직경이 매우 커져야 하며 또한 손상의 위험성이 있기 때문에 물 분사 추진이 적합하다. 본 차륜 전투차량은 전투차량 중에서는 비교적 무게가 가볍고 폭에 비해 길이가 큰 형상이며 바퀴에 의한 구동으로 인해 후미에 플러쉬형 물 분사 추진 장치를 장착하기에 어렵기 때문에 비교적 부하가 작게 소요되는 포드형 물 분사 추진 장치를 장착하는 것이 가장 최적이라 판단된다.

여기서 포드형 물 분사 추진 장치는 선저에서 유체가 유입되어 노즐로 나가는 플러쉬형과는 달리 마치 덕트형 프로펠러와 유사한 짧은 덕트 구조를 가지며 유도관 입구와 출구가 같은 높이에 위치한다. 일반 선박에서의 포드형 추진장치와는 다른 형태의 추진장치이다.

물 분사 추진 장치의 추력을 정의하는 것은 혼란스러운 주제이며 그동안 여러 가지 다른 정의들이 제시되어 왔다. 운동량변화에 의한 추력해석법과 직접 추력을 계측하는 방법이 있으나 직접추력을 계측하는 것은 실험적으로 쉽지가 않아 실제적으로 적용되지 못하고 있다. 운동량 이론에 의한

모멘트 플럭스법 또한 제시된 방법들이 다양하며 여러 가지 불확실한 정도 있지만 ITTC(1996)에서는 운동량 플럭스법을 정리하여 표준 실험법을 제시하고 있다.

본 논문에서는 모형 시험결과에 대한 해석을 ITTC96 표준방법과 일반 선박에서 적용되는 전통적인 방법을 사용하였다. 일반 플러쉬형 물 분사 추진 장치에 적용되는 ITTC96방법을 포드형 물 분사 추진 장치에 그대로 적용하는데는 약간의 무리가 있지만 두 가지 방법을 사용하여 해석을 하였고 그 결과를 비교하여 보았다. 그리고 실선 확장 시에는 기존에 나와있는 궤도차량의 실선 결과를 사용하여 상관요소를 선정하여 실선 성능을 추정하였다.

2. 성능해석법

2.1 ITTC1996 표준법

1996년 ITTC(1996)에서 제안한 운동량 변화에 의한 추력정의를 바탕으로 하여 해석하였다. ITTC1996 표준법은 일반 플러쉬형 물 분사 추진 장치에 적용되는 해석방법이므로 본 연구의 포드형 물 분사 추진 장치에서는 이에 맞게 적용할 필요가 있다.

포드형 물 분사 추진 장치는 비속도가 상당히 높은 축류형이라 펌프가 상류의 흐름에 영향을 많이 미친다. 따라서 유도관 입구지점(1)이 덕트 입구부가 아니라 그보다 위쪽에서 정의되어야 한다. 그리고 본 연구의 포드형 물 분사 추진 장치는 선체로부터 분리되어 있어 선체 표면에 의한 경계층의 영향은 무시하였다. 이로 인해 추력은 모형의 속도값을 성분으로하는 유도관 입구에서 선수 쪽으로 떨어진 지점의 운동량과 노즐에서의 운동량 차이가 된다. Table 1과 Fig. 1은 본 연구에서 정의한 station을 보여준다.

2.2 전통적인 해석법

일반선박에서 전통적으로 사용하는 방법으로 추력감소에 의한 순 추력 개념을 사용한 해석법이다. 순 추력은 자항 시 추진력에 의해 이론적으로 극복되어야 할 총 저항으로서 나선저항 값과 자항

Table 1 Definition of station numbers

번호	위치
0	선수 앞쪽의 교란되지 않은 유동 중의 지점
1	펌프의 영향을 받지 않는 유도관 입구에서 앞쪽으로 충분히 떨어진 지점
3	펌프 바로 앞의 지점
5	스테이터 뒤쪽
7	노즐 출구 단면 뒤쪽의 젯에서 정압계수가 0이 되는 지점, 즉 베나컨트랙타

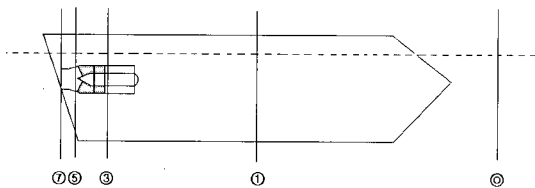


Fig. 1 Principal particulars of the model

에서의 예인력의 차이로서 정의된다. 총 추력은 운동량이론에 의한 모멘트 플럭스이고 순 추력과 의 관계로부터 추력강소계수를 구할 수 있다.

3. 모형시험 및 성능해석

3.1 Model

모형의 제원은 수조의 제원과 기존 시험 장비를 활용할 수 있는 범위에서 결정하였다. 축적비 1/3.5로 FRP와 목재를 사용하여 모형을 제작하였다. 펌프 또한 1/3.5로 축소하여 제작하였고 스테이터와 임펠러는 알루미늄으로 가공 제작하여 부식방지를 위하여 도금 처리를 하였다. 덕트는 알루미늄으로 가공 제작하였다. Table 2와 Fig. 2는 모형의 제원과 모형 전투차량을 보여준다. 그리고 Table3은 펌프의 제원을 보여준다.

3.2 시험 준비 및 장치 Set-up

설계 회전수 2200rpm을 만족시키기 위해서는 Froude 상사조건에 의하여 모형에서 4000rpm이 상의 고속 회전이 요구된다. 모형의 구조를 고려

할 때 축을 직접 연결할 수 없었고 고 rpm이어서 배발기어도 사용하기 어려웠다. 물 분사 추진 장치의 크기가 너무 작아서 체인을 사용할 수도 없는 상황이어서 동력을 전달 장치로 벨트를 사용하였다. 그러나 벨트의 경우 강도면에서 충분하지 못해 폴리를 2:1로 설치하고 장력 조절 장치도 설

Table 2 Principal dimensions of the model vehicle (scale ratio =3.5)

Length between perpendiculars(m)	1.891
Length at designed water line(m)	1.693
Breadth moulded(m)	0.771
Draught (m)	0.341

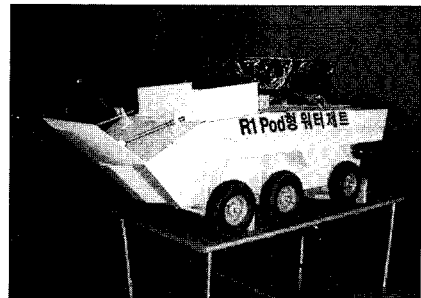


Fig. 2 Model of amphibious armored wheeled vehicle

Table 3 Principal particulars of the model waterjet pump

Impeller diameter (mm)	94.3
Number of blades, Impeller	5
Stator diameter (mm)	94.3
Number of blades, Stator	11
Nozzle diameter(mm)	30.3
P/D of Impeller at 0.7r	0.764
P/D of Impeller (Mean)	0.76

치하였다. 이로 인해 벨트와 풀리의 접촉 면적을 늘려 전단응력을 줄였고 장력조절 장치로 인해 고속회전에 적당한 장력을 찾을 수 있었다. Fig. 3은 토오코미터와 풀리, 벨트 그리고 장력 조절 장치를 보여주고 있다.

2기의 추진장치는 같은 사양의 서보모터(4kW)를 통해 독립적으로 작동시키고 한 쪽에는 2 N·m 용량의 토오코미터를 장착하였다. 그리고 임펠러로 들어가는 축에서 실제로 입력되는 회전수는 Ono Sokki사의 HT-441 모델 디지털 타코미터를 사용하여 직접 계측하였다. 확인 결과, 모터로 입력된 회전수와 임펠러에 입력되는 회전수는 5RPM 이내에서 일치하였다.

덕트 표면에서의 압력은 Validyne사의 증폭기 내장형 P305D 모델로서 노즐출구에서는 최대수두 35m(350kPa), 임펠러 앞 덕트에서는 최대수두 2.25m(22kPa) 용량의 압력센서를 사용하였다. 평균 유량은 노즐 출구와 펌프 바로 뒤의 차압을 계측하여 계산하였다. 압력 Tab은 Fig. 1에서 ③, ⑤, ⑦ 위치의 덕트 각 단면에서 90° 간격으로 4point, reference 1point(① 위치의 전투차량 표면) 총 13지점에 설치하였다. Fig. 4는 물 분사 추진 장치에 설치된 압력탭과 비닐튜브를 보여주고 있다.

저항의 계측에는 200N 용량의 저항 동력계를 사용하였고 트림은 선수와 선미에 각각 연결된 트림미터를 통해 계측하였다.

3.3 저항시험

저항 시험은 선형에 대한 기초적인 자료를 제공하고 추력감소계수를 사용해서 해석하는 방법에 사용되므로 속력별로 저항을 계측하였다. 저항 시험시 intake로 유입되는 유동으로 인한 간섭효과를 막기 위하여 인테이크에 캡을 부착하였다.

본 연구의 차륜 전투차량은 일반 선박과는 달리 유선형화 되어있지 않아 저항 성능이 현저히 떨어진다. 이로 인해 초기 선수익이 평판형 일 때 선수의 유동이 하류로 부드럽게 흘러가지 못하고 선수의 앞에서 쌓여서 저항 성능 저하 및 유동이 선체위로 넘어 고속에서 침수의 위험을 가져왔다. 따라서 선수익을 유선형으로 변화시켜 저항을 약

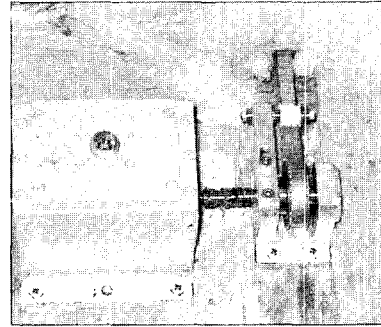


Fig. 3 Experiment model assembly



Fig. 4 Pressure tap fitted with vinyl tube

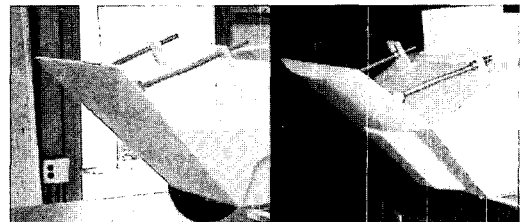


Fig. 5 Comparison of plate type vane and parabolic type vane

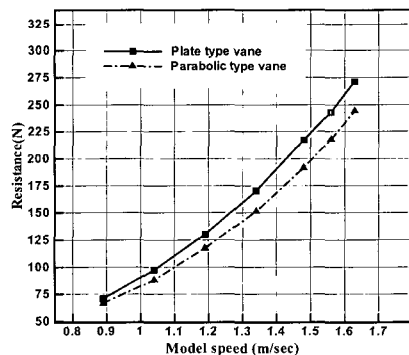


Fig. 6 Resistance test results

10% 감소시키고 안정성을 개선 시켰다.

Fig. 5 는 평판과 유선형의 두 가지의 선형 변화를 보여주고 있다. Fig. 6 는 선형변화로 인한 개선된 저항성능을 보여준다.

3.4 저항시험

저항시험에서는 젓을 통해 유출되는 유량을 정의하기 위하여 노즐 입출구에서의 압력을 계측하고 동시에 저항과 토오크를 함께 계측하였다. 저항시험은 실선의 속도 8,9,10km/h에 대응되는 모형속도 1.19, 1.34, 1.48 m/sec에서 수행하였다.

순 추력의 정의는 저항 상태에서 추진력에 의해 이론적으로 극복되어야 할 총 저항이다. 즉 나선 상태의 저항과 저항 시 예인력과 차이로 전통적인 개념의 순 추진력을 의미한다. 총 추력은 운동량 이론에 의한 모멘트 플럭스이다. 이 두 값으로부터 추력감소계수를 구할 수 있다.

압력계측치의 신뢰성을 위해서 블라드 시험을 시행하였다. 이 시험에서 운동량 이론에 의해 구한 총 추력은 저항동력계로 계측한 저항 값 즉 순 추력과 이론적으로 같아야 한다. Table 4에서 두 결과가 고rpm으로 갈수록 잘 일치함을 보여준다.

모형과 실선의 거칠기와 부가물들의 차이로 인한 영향을 고려해 주기 위하여 물 분사 추진시스템이 실선에 적용된 사례를 바탕으로 상관요소를 결정하였다.

모형시험을 통해 실선 확장 시 모형과 실선의 전 효율은 같다고 가정하고 상관요소의 크기만큼 저항을 증가시켜 실선의 유효동력과 전달동력을 추정하게 된다. ITTC96 표준법과 전통적 해석법의 두 가지 해석법에 상관요소를 적용하여 실선의 전체 효율 및 유효동력, 전달동력을 계산한 결과 두 이 두 가지 해석법이 대체로 일치함을 알 수

Table 4 Results of bollard test

RPM	Momentum (N)	Net thrust (N)	error (%)
2200	104.1	96.1	-8.26
2600	142.7	134.5	-6.09
3000	182.0	180.0	-1.15
3400	231.1	230.6	-0.20

있었으나 속도가 빨라짐에 따라 조금 차가 벌어지고 있음을 알 수 있었다. Fig. 7-8에서 두 가지 해석법에 의해 계산된 전체효율과 유효동력을 비교해 보았다. Table 5-6은 ITTC96 표준법과 전통적 해석법 두 가지로 해석한 결과이다. Table 5-6에서 전달마력(P_D) 값이 같은데 이것은 실제 ITTC 방법에 의해 계산을 할 경우 실선의 펌프 효율이 필요한데 본 연구의 물분사 추진장치는 자체 개발되었고 또한 아직 실선으로 제작되지 않아 실선에서의 펌프 효율을 알 수 없다. 따라서 모형시험에서의 값($2\pi Qn$)을 사용하였다. 그리고 Table 6에서의 A_3 값은 Fig. 1의 3위치에서 덕트단면 ($r=0.04179m$)에서 허브단면($r=0.02084m$)의 값을 뺀 값이다.

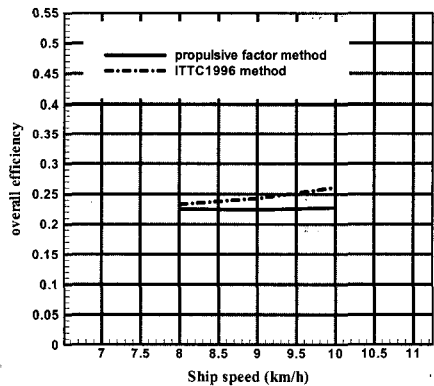


Fig. 7 Overall efficiency vs. speed estimated by two analysis methods

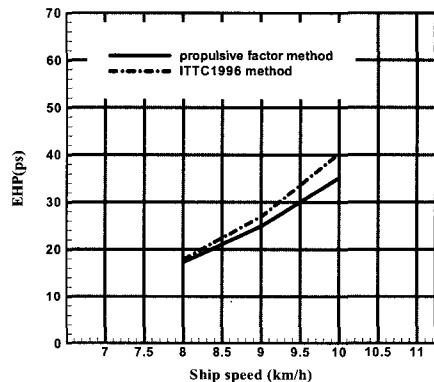


Fig. 8 Effective power vs. speed estimated by two analysis methods

Table 5 Self-propulsion test analysis results (propulsive factor method) by adjusting towing force(F_D)

Model speed V_M (m/s)	Ship speed V_S (km/h)	Rev. n rpm	Flow rate per unit Q_J (m ³ /sec)	Efficiency			Effective power P_E (ps)	Shaft power $2\pi Qn$ (ps)	Effective full scale P_E (ps)	Shaft full scale P_D (ps)
				hull η_H	jet η_{jet}	overall η_{oa}				
1.19	8.01	2771	0.0156	0.616	0.595	0.225	0.197	0.893	17.3	76.6
1.34	9.02	3141	0.0177	0.606	0.595	0.224	0.286	1.291	25.0	111.6
1.48	9.97	3542	0.0196	0.603	0.595	0.227	0.399	1.730	34.9	153.5

Table 6 Self-propulsion test analysis results (ITTC 1996 method) by adjusting towing force (F_D)

Model speed V_M (m/s)	Ship speed V_S (km/h)	Rev. n (rpm)	Area A_3 (m ²)	Momentum flux(N)			Jet system power(W) E_7-E_1	Effective pump power (W) $P_{PE} = E_5-E_3$	Flow rate per unit Q_J (m ³ /sec)	IVR
				M_1	M_7	M_7-M_1				
1.19	8.01	2771	0.0041	30.00	158.68	128.68	333.03	333.21	0.0156	3.18
1.34	9.02	3141	0.0041	31.01	202.85	171.85	490.17	490.38	0.0177	3.20
1.48	9.97	3542	0.0041	23.59	246.99	223.40	653.90	654.30	0.0196	3.21
Model speed V_M (m/s)	Ship speed V_S (km/h)	Rev. n (rpm)	Q_J/A_3 (m/sec)	Pump Efficiency $(E_5-E_3)/P_D$	Eff. Overall η_{oa}	Effective power P_E (W)	Shaft power $2\pi Qn$ (W)	Full scale		
								Momentum flux M_7-M_1 (N)	Effective power P_E (ps)	Shaft power P_D (ps)
1.19	8.01	2771	3.785	0.508	0.233	153.134	656.30	5517	17.9	76.6
1.34	9.02	3141	4.287	0.517	0.243	230.276	948.86	7368	27.1	111.6
1.48	9.97	3542	4.749	0.515	0.260	330.632	1271.49	9578	39.9	153.5

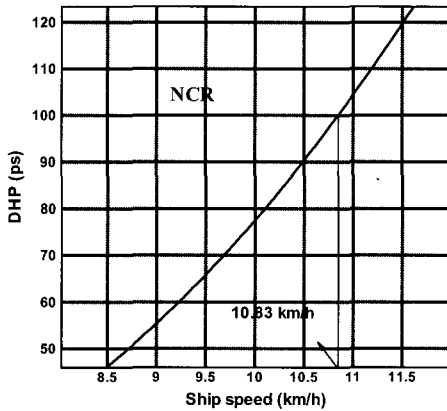


Fig. 9 Estimated delivered power vs. speed

Fig. 9는 NCR이 100마력에서 추정된 실선 속도가 선형 개선 및 물 분사 추진 장치 최적 설계로 인하여 울트라사에서 예상한 실선속도 예상치 10km/h보다 약 8% 높은 10.83km/h가 나타남을 보인다.

4. 결론

차량 전투차량용 포드형 워터 제트 시스템의 저항 성능 시험 및 해석을 위한 일련의 연구를 수행하였다. 구체적인 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 압력에 의한 모우멘텀 값의 신뢰성을 위해 볼라드 상태에서 계측한 저항 값과 비교하여 시험의 정도를 검증하였다.

- 플러쉬형 물 분사 추진 장치에 적용되는 ITTC1996 표준법을 상대적으로 덕트 길이가 짧은 포드형 물 분사 추진 장치에 적용하여 해석한 결과 propulsive factor 방법과 전체적인 성능 즉 전체 효율, 유효동력, 전달동력이 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다.

- 기존 실선의 자료를 바탕으로 상관요소를 결정하여 NCR 100마력에서 실선의 속도를 추정한 결과 10.83km/h로 예상치 보다 약 8% 높게 나왔다.

- 본 연구에서는 유사 차량인 궤도차량 하나의 실선 성능만으로 상관요소를 결정 하였다. 그러나 좀더 정확한 실선 성능 추정을 위해 보다 많은 연구와 실선의 데이터가 있어야 하겠다.

후 기

본 논문의 내용은 (주)로템과 한국과학재단의 우수연구센터(ASERC)의 지원으로 연구되었으며 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김문찬, 전호환, 박원규, 2002, “궤도차량용 물 워터제트 설계 연구,” 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 281-286
- 전호환, 2001, 수상추진장치의 저항 및 추력에 관한 연구, 국방과학연구소 연구보고서 UD000031CD, pp. 68-128
- 전호환, 2003. R1 Pod형 물 분사 추진 시스템 연구, 로템사 연구보고서 로기연 Y02S09, pp. 120-210.
- 전호환, 2003, 중소형 Waterjet 추진시스템 개발 (궤도차량용), 과학기술부 최종 연구보고서 UCN00420(2)-2456, pp. 281-368.
- 전호환, 안봉환, 차상명, 2001, “물분사추진 궤도차량의 저항성능시험 및 해석,” 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 146-150.
- Allison, J.L., 1993, "Marine Waterjet Propulsion," SNAME Transactions, Vol.101, pp. 275-335.
- Dyne G. and Lindell P., 1994, "Waterjet Testing in the SSPA Towing Tank," RINA International Symposium on Waterjet Propulsion, London.
- ITTC, 1996, "Waterjet Group "Final Report and Recommendations to the 21st ITTC," Proc. 21st International Towing Tank conference, Vol.1, pp.189-209.



< 변태영 >



< 김문찬 >



< 전호환 >



< 김종현 >