

궤도 차량용 물 분사 추진 장치의 임펠러 직경 변화에 따른 성능 비교

김현열^{†*}, 김문찬^{**}, 전호환^{**}

부산대학교 조선해양공학과^{*}
부산대학교 조선해양공학과^{**}

Comparison of Waterjet Performance for Tracked Vehicle according to the Variation of Impeller Diameter

Hyun Yul Kim^{†*}, Moon Chan Kim^{**} and Ho Hwan Chun^{**}

Dept. of Naval Arch. And Ocean Eng., Graduate School ,Pusan National Univ.*
Dept. of Naval Arch. And Ocean Eng. ,Pusan National Univ.**

Abstract

A waterjet propulsion system has many advantages compared with a conventional screw propeller especially for amphibious military vehicles because of a good maneuverability at low speed, good operating ability at shallow water, high thrust at low speed to aid maneuverability and exit from water, etc. Especially, compact design is important for the tracked-vehicle because of buoyancy in water and available space inside the tracked vehicle. The experiment is parametrically performed for various impeller diameters for more compact design. The experimental results are analyzed according to the ITTC 1996 standard analysis method as well as the conventional propulsive factor analysis method. The full-scale effective and delivered power of the tracked-vehicle are evaluated according to the variation of impeller diameter. This paper emphasized the effect of impeller diameter on the performane of waterjet system.

※Keywords : Waterjet (물분사 장치), Impeller (임펠러), Tracked-Vehicle (궤도차량), Propulsion system (추진 장치), 1996 ITTC Method(1996 ITTC 해석 방법), Propulsive Factor Method(추력 계수 해석 방법)

1. 서론

접수일: 2004년 6월 2일, 승인일: 2004년 7월 27일

† 주저자, E-mail: hyukim@pusan.ac.kr

Tel: 051-510-2757

오늘날 선박의 고속화 및 대마력화에 따라 캐비테이션의 문제가 더욱 중요시 되고있다. 일반 프로펠러로는 이러한 문제를 극복하기 어렵기 때문에

물분사 추진이 여러 선종에 많이 적용되고 있다. 이는 임펠러를 덕트가 길게 싸고 있어 압력이 높아짐에 따라 고속에서의 일반 스크류 프로펠러가 갖는 캐비테이션의 문제를 극복 할 수가 있는 이 점이 있기 때문이다.

소방선, 어선 및 각종 특수 작업선과 군사 목적의 특수한 선박등에서는 추진효율보다는 임무수행을 우선적으로 고려해야 하기 때문에 저속임에도 불구하고 물분사 추진장치의 활용도가 높아지고 있다. 특히 군사 작전용으로 쓰이는 궤도 차량에서 사용될때에는 전통적인 스크류 프로펠러와 비교하면 다음과 같은 여러 이점 때문에 물분사 추진장치의 사용이 증가되고 있다. 우선 저속에서도 우수한 조정성과 기동성을 가지며, 강과 같은 천수에서도 좋은 성능을 가지고 이수하기 위한 높은 추력을 가질 수 있기 때문이다. 그러나 군사 작전용으로 쓰이는 데에 대한 여러 가지 제약조건이 있는바, 가장 중요한 것으로는 공간배치의 중요성과 함께 부양을 위해 중량을 최대한 작게 하여야 하는 것이다. (전호환 2001) 이러한 이유로 본 연구를 수행하게 되었으며, 본 연구에서는 성능 비교를 위해서 제작한 3가지의 모형으로 저항실험, bollard test, 자항실험등을 압력계측과 추력, 토크계측을 수행하였다. 일반 스크류 프로펠러와는 달리 물분사 추진장치는 시스템의 운동량변화에 의해 추력이 발생하므로 일반 프로펠러에 대한 해석방법을 그대로 적용하기 어려우며, 실험방법 및 실험결과에 대한 해석법이 정립되어 가고 있는 중이며, 여러 기관에서 각각의 방법으로 해석을 하고 있다.

본 논문에서는 물분사 추진장치의 모형시험 결과를 두가지 방법으로 해석함으로써 임펠러의 직경에 따른 성능비교를 하였다. 해석방법은 기존의 추력감소계수를 사용한 해석과 ITTC1996해석법에 의해 해석방법이며 이를 이용하여 성능을 비교하였다. (Dyne/Lindell 1994)

2. 실험 모형

모형의 제원은 수조의 제원과 기존 시험 장비를 활용할 수 있는 범위 내에서 결정하였다. 본 실험

을 위하여 T.V.(Tracked Vehicle)의 모형은 1/5의 축적비로써 제작되었으며(Fig. 1), 제원은 Table. 1에 보인바와 같다.

앞서 말한 바와 같이 직경 변화에 따른 성능확인을 위해 3개의 다른 직경으로 모형을 제작하였다. 직경의 변화에 따라서 덕트를 포함한 전체적인 시스템의 형상은 비슷하게 축적 설계되었으나, 성능에 큰 영향을 미치는 임펠러나 노즐은 동일한 마력을 흡수하기 위해 약간 다르게 설계 제작되었다. 본 연구에 앞서 임펠러 형상등의 설계변수에 대해서는 수치해석적인 방법을 통하여 미리 검증하여본 결과, 임펠러의 형상이나 다른 설계변수들에 대해서는 최적 성능에서 크게 벗어나지 않는 것으로 판단되어 본 연구에서는 성능변화에 크게 영향을 미치는 임펠러의 직경만을 고려하였다.(전호환 등 2001, 김문찬 등 2002, Chun. 2003)

Table 2과 Fig. 2에서는 직경의 변화에 따른 각 모형의 제원과 각 모형의 형상등을 보여주고 있다. 전체 모형은 3가지로 구성이 되며, DS375, DS320, DS280으로 명명한다.

Table 1 Principal particulars of the T.V. model (Scale ratio = 5)

Length between perpendiculars (m)	1.423
Length at design waterline (m)	1.428
Breadth moulded (m)	0.948
Depth moulded (m)	0.238
Draught (m)	0.284



Fig. 1 T.V.(Tracked Vehicle) model

3. 모형 시험 해석 방법

물 분사 추진장치의 추력을 정의 하는 것은 아직도 확실히 정립이 되어있지 않다. 초기에는 추력 감소에 의한 순추력개념을 사용한 해석법이 사용되었으나 여러 가지 물리적 현상의 불일치로 인하여 대안의 필요성이 제기 되었다.

Table 2 Principal particulars of impeller and stator

Items	Impeller			Stator		
	DS 375	DS 320	DS 280	DS 375	DS 320	DS 280
No. of Blades	4			9		
A_E/A_O	0.757	0.811	0.698	1.18	1.02	1.01
$(P/D)_m$	1.54	1.45	1.73	1.05	1.08	1.10
Hub ratio	0.5	0.516	0.5	0.5	0.516	0.5

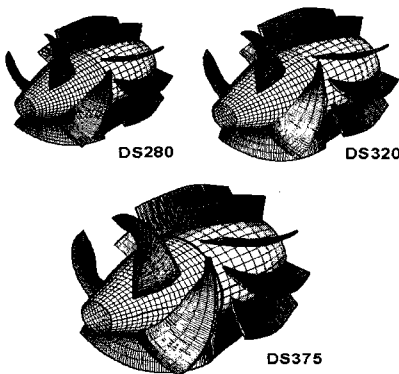


Fig. 2 Geometry of models

운동량 변환에 의한 추력해석법과 직접적인 추력 계측을 이용한 방법에 제시되어 왔으나, 실선에서 직접 추력을 계측하는 것 또한 쉽지가 않아 실제적으로 적용되지 못하고 있다. 운동량이론에 의한 모멘텀 플럭스법 또한 제시된 방법들이 다양하며 여러 가지 불확실한 면이 있지만 ITTC (1996)에서는 모멘텀 플럭스법을 정리하여 표준 실험 방법을 제시하고 있다. 그리고 ITTC에서 제안하는

모멘텀 플럭스 방법과는 달리 순추력 개념의 해석법은 저항시험이 필요하지만, 노즐 출구에서의 유량과 토크 계측만으로도 성능해석이 가능하다는 간편함 때문에 아직도 많이 사용되고 있다. 여기서는 위의 ITTC 1996 성능 해석방법과 순추력개념의 추력 계수 성능 해석방법을 간략히 언급하겠다.

3.1 ITTC 1996 모형시험 해석 방법

1996년 ITTC에서 제안된 운동량 변화에 의한 추력의 정의는 펌프에서 발생시키는 추력, 그리고 덕트 내부의 힘, 트림효과를 포함하는 추진장치의 작동으로 인한 선체 저항의 변화를 포함하고 있다. 모멘텀 플럭스 방법은 물분사 추진장치 내부를 통과하는 유관에 대하여 각 위치에서 갖는 총 에너지를 정의함으로써 전체적인 성능을 해석한다. 여기서 사용되는 각 위치의 정의는 Fig. 3과 Table 3에 보인바와 같은 ITTC 정의를 사용하였다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 무차원화된 에너지 플럭스는 상류에서 제트까지의 에너지 플럭스 변화를 나타낸다. 상류(㉠)에서의 교란되지 않은 에너지 플럭스는 유도관입구(㉡)에 이르기까지 선체 표면과의 마찰로 서서히 줄어들고 유도관(㉢)으로 들어오면서 유도관 손실에 의해 펌프 앞(㉣)에 이르기까지 더욱 감소한다. 펌프(㉤)로 전달된 유체는 임펠러로부터 에너지를 얻고, 스테이터에 의해 정류된 뒤 펌프뒤쪽(㉥)으로 보내진다. 노즐(㉦)에서는 이 유동을 가속시켜 젯(㉧)형태로 내뿜어 추진에 필요한 힘으로 변환시킨다.

이러한 원리를 이용하여 해석을 하기 위해서는 저항시험시 계측해야 될 항목은 다음과 같다.

- 제트의 체적 유량(Volume Flow rate)
- 토크, 회전수
- 유도관입구에서의 속도
- 정압계수 : 유도관입구에서의 정압(p_1)과 상류에서의 정압(p_0)와의 차이로 구함
- 국부 에너지 속도, 이를 위한 각 단면에서의 유속 및 정압
- 유도관입구에서의 속도
- 출구 제트 속도 성분
- 예인력

3.2 추력 계수 해석방법

위에서도 언급한 바와 같이 이 방법은 용이성과 선박에서 사용되는 전통성으로 인하여 아직도 널리 사용되고 있다.. (Chun et al. 2003) 특히 저항 요소와 자항요소를 분리하여 이해할 수 있으므로 물분사 추진장치와 선체와의 상호작용을 이해 하는데 도움이 된다. 해석하기 위해서 계산되거나 예측되는 값들은 다음과 같다.

- 연속방정식이용한 제트 속도
- 경계층이론 또는 계측된 유도관에서의 평균 속도
- 속도차에 의한 추력과 반류계수
- 저항시험결과와 추력에 의한 추력감소계수
- 선각 효율

4. 모형 시험

4.1 모형 시험 장치 및 시험 내용

본 연구를 위하여 제작된 T.V 모형과 Waterjet 모형은 앞서 설명한 바 있으며 저항시험, 자항시험 등을 수행하기 위해서는 그 외에도 여러 가지 실험장치 및 시설이 있어야만 한다. 본 실험은 부산대학교 선박예인수조(길이 : 100m, 폭 : 8m, 깊이 : 3.5m, 최대전차속도 : 7m/s)에서 실험하였으며, 임펠러 작동을 위한 4kW, 최대 3000rpm 의 서브모터를 사용하였으며, 또한 4000rpm이상의 고속회전을 위해서 1×2의 증속기어를 사용하였다. 증속기어 이후에는 2 N-m 용량의 토오크미터를 장착하여 토오크를 계측하고 Ono Sokki사의 HT-4100 모델 디지털 타코미터를 사용하여 입력회전수와 추력 회전수를 검증하였다. 그리고 덕트 표면의 압력은 Validyne사의 증폭기 내장형 P305D모델의 압력센서를 사용하였다. 압력 Tab은 Fig. 3에서 보는바와 같이 7개의 단면에 총 17지점에 설치하였다. Fig. 4에서는 이러한 압력계측장치 장착된 물분사 추진장치 시스템을 보여주고 있다. 저항계측에는 200N용량의 저항 동력계를 사용하였다.

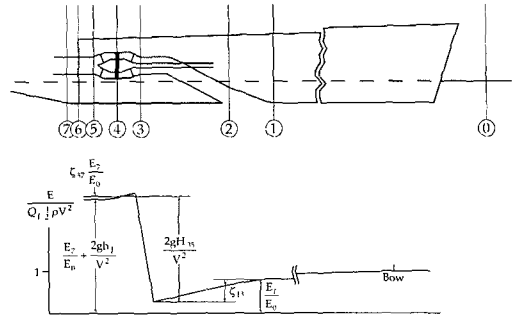


Fig. 3 Definition of station number and normalized energy flux

Table 3 Definition of station numbers

번호	위 치
0	선수 앞쪽의 교란되지 않은 유동 중의 지점
1	유도관에서 앞쪽으로 충분히 떨어진 유도관 손실이 발생하기 전의 지점
2	유도관 립 위쪽에서 내부유동에 법선방향의 단면
3	펌프 바로 앞의 지점
4	펌프와 스테이터 사이의 지점
5	스테이터 뒤쪽
6	노즐 출구 단면
7	노즐 출구 단면 뒤쪽의 제트에서 정압계수가 0이 되는 지점.(즉 베나 콘트랙타)

저항 시험은 상사법칙을 만족하는 모형선의 실험을 통하여 실선의 저항을 추정하기 위한 실험의 과정이다. 선형의 기초적인 자료를 제공할 뿐만 아니라, 추력감소계수를 사용해서 해석할 때에 사용된다.



Fig. 4 Pressure measurement device and waterjet system

Bollard 시험은 실질적인 선체 성능을 추정하는데 사용되지는 않지만, 저항시험에서 ITTC(1996) 방법에 의한 성능추정 시에 계측한 압력들이 올바른 값인지를 검증한다는 면에서 중요하다. 즉 운동량 이론에 의해 구한 총 추력은 저항동력계로 계측한 저항값, 순 추력과 이론적으로는 같아야 한다. 이는 실험의 신뢰성을 주는 것으로 유량과 제트 속도의 계측이 정확하다는 것을 보여준다.

저항 시험은 각각의 속도에 대응되는 모형선의 저항, 압력, 토크를 계측하여 모형의 rpm 및 추력, 동력값을 알기 위해 수행되어지는 시험으로, 제트를 통해 유출되는 유량을 정의하기 위하여 노즐 입·출구에서의 압력을 계측하고 동시에 저항과 토오크를 함께 계측하였다. 저항 실험의 결과를 분석하기 위해서는 먼저 예인력이 결정되어야 하는데, 물분사 추진장치 선박에서는 모형과 실선에서의 서로 다른 마찰 조건의 영향 때문에 정확한 예인력을 결정하기가 쉽지 않고 선박과 같이 일반화된 공식도 없다. 특히 본 모형(T.V.)와 같은 경우 실선 시운전의 데이터가 없기 때문에 정확한 저항점을 찾을 수가 없다. 본 연구에서는 ITTC 표준법에 의해 ΔC_F 값을 계산하여 예인력 계산에 사용하였다. (Chun et al. 2003)

4.2 시험 결과 및 성능 해석

ITTC(1996)에 의해 제안된 모멘텀 플럭스 방법에서는 저항 시험이 반드시 필요한 것은 아니지만, 추력 계수 해석방법에서는 필수적인 요소이므로 시험을 수행하였다. Fig. 5에서 저항시험의 결과를 보여주고 있다.

저항 시험은 0(Bollard test), 실선속도 0, 7, 8, 9, 10, 11, 11.5km/h와 같은 0.87, 0.99, 1.12, 1.24, 1.37, 1.43m/s에서 시행되었다.

우선 Table 4에서는 3가지의 모형에 대한 bollard test에 대한 결과와 오차를 보여 주고 있다. 이 시험은 저항동력계로 계측한 순추력의 값과 운동량 이론에 의해 구한 총추력이 일치함을 보임으로써 실험의 신뢰성을 주는 것이다. Table 4에서는 두가지 값이 거의 일치하는 것을 보임으로써 이 시험의 신뢰성을 주고 있다.

Fig. 6 ~ 9에서는 3가지 모형에 대한 두가지

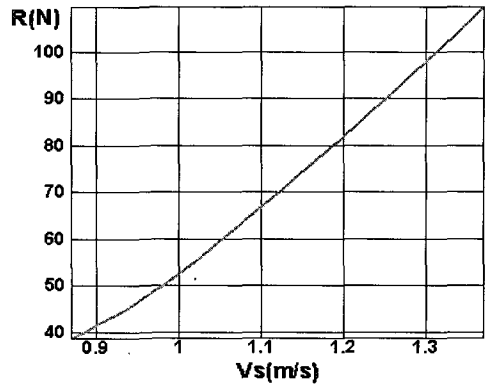


Fig. 5 Naked model resistance versus speed

Table 4 Results of bollard test

Model	RPM	Momentum (N)	Net thrust (N)	error (%)
DS 375	3200	136.30	136.75	0.33
	3600	170.17	167.10	1.84
	4000	207.40	210.73	1.58
	4400	250.78	256.64	2.28
	4800	289.90	302.75	4.25
DS 320	5000	323.39	329.23	1.78
	3200	73.91	79.91	7.5
	3600	94.72	100.26	5.53
	4000	117.91	124.66	5.42
	4400	142.83	149.38	4.38
DS 280	4600	155.29	162.96	4.71
	3200	54.34	51.38	5.76
	3600	70.17	65.68	6.83
	4000	85.67	82.84	3.42
	4400	105.40	90.4	6.04
DS 280	4800	122.29	117.12	4.42
	5000	135.08	126.95	6.41

해석방법의 결과를 이용하여 추정한 실선속도에 대한 EHP, DHP 실선 확장한 결과를 도시하고 있다. Fig. 6~ 8에서 보는 바와 같이 ITTC(1996) 방법이 추력 계수 방법에 비교하여 실선의 유효 마력이 다소 큰 값을 주고 있다. 특히 주목할 점은 임펠러 직경이 줄어들수록 따라서 그 차이가 더 커진다는 것을 알 수가 있다. 이는 임펠러 직경이 감소에 따라서 노즐 출구의 면적 역시 줄어들는데, 이렇게 됨으로써 노즐 출구에서의 제트 속도는 증가한다. 그리고 본 모형선은 이러한 출구가 수중에

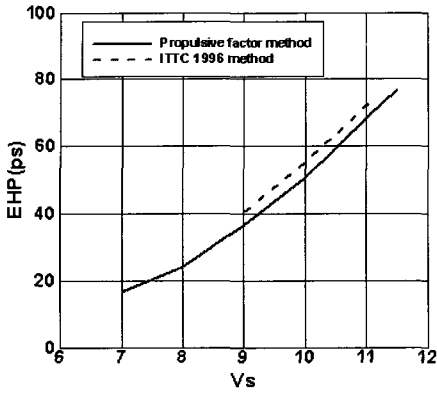


Fig. 6 Effective power(DS375) vs. speed estimated by two method

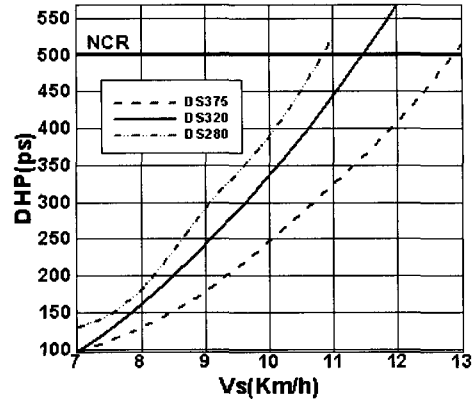


Fig. 9 Estimated delivered power vs. speed

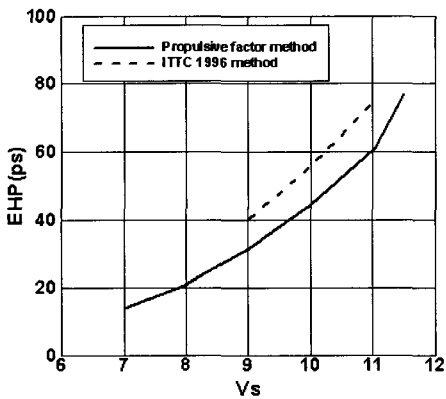


Fig. 7 Effective power(DS320) vs. speed estimated by two method

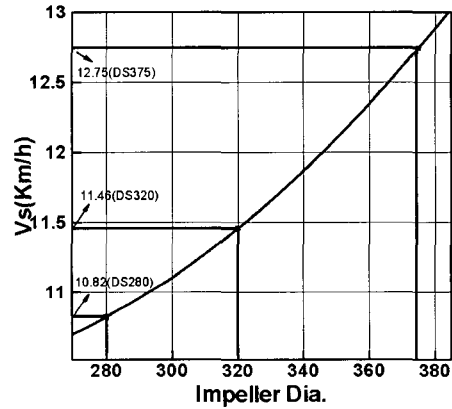


Fig. 10 Estimated speed vs. Impeller diameter

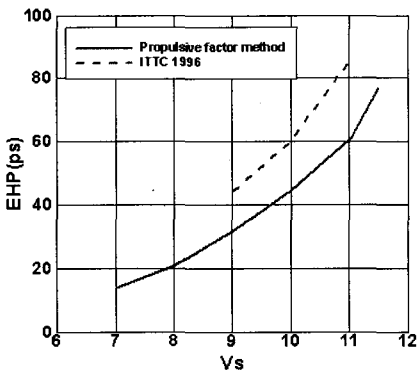


Fig. 8 Effective power(DS280) vs. speed estimated by two method

잠겨 있으므로 이러한 제트 속도 증가의 영향이 주위에 미칠 수가 있다고 본다. 이러한 현상을 추력 계수 방법은 추력 감소 계수가 고려해 주나, ITTC 방법은 이를 고려할 수가 없으므로 본 연구에서와 같은 JVR(Jet Velocity Ratio)이 매우 크고, 수중에서 제트를 분사할 경우 그리고 저항, 자항시의 트림의 변화가 크지 않은 경우 ITTC 모멘텀 방법보다 추력 계수 방법이 더 타당하리라 생각된다. 실선의 DHP는 모형과 실선의 펄프효율을 같다고 보았기 때문에 동일하다. Fig. 10에서는 각 임펠러 직경변화에 따른 3가지 실험결과에 의한 추력 계수 해석 방법에 의한 실선 추정 속도 나타내고 있다. 임펠러 직경의 변화에 따른 실선 추정 속도가

매우 크게 변화됨을 알 수가 있다. 직경 375mm와 280mm의 속도차이가 약 2Km/h나 나타내고 있는 것을 알 수가 있다. 그러므로 콤팩트한 설계도 중요하지만 성능측면에서는 크기를 너무 줄이는 것은 매우 안 좋은 결과를 초래함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구의 목적은 임펠러 직경 변화에 따른 성능을 파악하기 위해 일련의 연구를 수행하였다. 구체적인 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 본 연구에서는 궤도 차량용 물분사 추진장치 (1/5 scale)를 3가지의 임펠러 직경에 대하여 모형 시험하였다.

- Bollard 시험에서는 운동량 변화에 의한 총 추력과 저항 동력계로부터 얻어지는 순 추력의 일치를 보여줌으로써 실험의 정확성을 입증하였다.

- 각 모형 시험에 대해서는 ITTC 1996 모멘텀 플럭스 방법과 전통적인 추력 계수 방법으로 해석, 비교 하였다. 두가지 방법에 의해서 추정된 EHP는 다소 차이를 보인다. 이에 대한 원인을 분석한 결과, ITTC 운동량 방법보다 추력 계수 방법이 더 타당할 것이라 생각된다.

- 마지막으로, 모형 시험 결과, 임펠러 직경의 변화에 대해서 실선의 추정 속도가 매우 크게 변화됨을 알 수가 있었다. 직경 375mm와 280mm의 속도 차이를 비교했을때, 약 2Km/h나 된다. 따라서, 적절한 크기와 중량을 위해서 콤팩트한 설계도 중요하지만, 성능 측면에서는 크기를 너무 줄이는 것은 매우 안 좋은 결과를 초래함을 알 수 있다.

후 기

본 논문의 내용은 과학 기술부의 중소형 Waterjet 추진시스템 개발 (UCN00420(2)-2486)의 일부로 수행된 것을 함께 정리한 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김문찬, 전호환, 박원규, 2002, “궤도차량용 워터제트 설계 연구,” 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 281-286.
- 전호환, 2001, “수상추진장치의 저항 및 추력에 관한 연구,” 국방과학연구소 연구보고서 UD000031CD, 2001, pp.68-128.
- 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 춘계학술대회 논문집, pp. 146-150.
- Chun, H.H., Kim, M.C., An, B.H. and Cha, S.M., 2003, "Self-Propulsion Test and Analysis of an Amphibious Tracked Vehicle with Waterjet," Proceedings of SANME, San Francisco, CD.
- Dyne, G. and Lindell, P., 1994, "Waterjet Testing in the SSPA Towing Tank," RINA International Symposium on Waterjet Propulsion, London, Paper No.2, pp1-8.
- ITTC, 1996, "waterjet Group : Final Report and Recommendations to the 21st ITTC," Proc. 21st International Towing Tank Conference, Vol.1, pp. 189-209.



< 김 현 열 >



< 김 문 찬 >



< 전 호 환 >