

## Water jet propulsion system 모형의 개발 및 시험

### Development and test of prototype water-jet propulsion boat

손 영락\*, 이 정수\*, 최 우현\*

\* ㈜한진중공업 기술연구소

**ABSTRACT** Water jet propulsion system has high efficiency on middle to high speed, and it provides better safety than conventional screw propeller because it has not projected propeller and rudder. So many leisure boat and high-speed ferries use this propulsion system. We developed water-jet propulsion unit for small planning boat, and launched that in the boat, after that we tested water-jet unit in the lake. As a result, we certify heat dissipation at the bearing housing and reverse duct's shape for neutral position are important at the design, and alignment water-jet unit and keel line are important at the launching, and ship's resistance performance and jet's propulsion performance also are needed to consideration.

## 1. 서 론

물 분사 추진 장치는 저속에서 추진 효율이 일반 프로펠러에 비해 낮지만, 캐비테이션 성능이 우수하여 임펠러의 고속회전이 가능하기 때문에 고속선의 추진기로 많이 사용되고 있다. 뿐만 아니라 선체의 양호한 진동 특성과 승선감을 얻을 수 있으며, 프로펠러가 외부에 돌출되어 있지 않고 덕트 내부에서 회전하여 임펠러에 의한 부상의 위험이 적다. 이런 이유로 고속 여객선, 구난함, 경비정, 그리고 소형 레저용 보트의 추진기로 많이 사용되고 있다. 물 분사 추진 장치는 선저의 흡입구(Inlet)로 유입된 물을 임펠러와 스테이터로 압력과 속도를 증가시켜 선미로 향한 노즐을 통해 분사함으로써 발생하는 운동량의 차이로 추진된다. 노즐을 통해 분사된 물의 방향은 steering duct와 reverse bucket을 이용하여 분사 방향을 조절하며, 추진 방향을 중립 및 360°로 조절할 수 있다. 따라서 주축의 역회전 없이 매우 빠른 시간에 역-추진이 가능하며, 급정지 및 제자리에서의 선회 등이 가능하여 충돌이나 선박 접안에서의 적극적인 대처가 가능하다. 물 분사 추진장치는 선저에 돌출된 프로펠러나 타가 없기 때문에 얕은 흘수에서 운항할 수 있으며, 안전하다. 특히 선속이 증가할수록 추진 효율이 일반적인 프로펠러 추진에 비해 증가하여 차세대

고속선의 추진장치의 하나로 많이 연구되고 있다.

고속 화물선에서 선호하는 물 분사 추진 장치는 대유량 저수두에 적합한 축류형(Axial type)이며, 이러한 이유로 본 연구에서도 펌프의 종류로 축류형을 선정하였다. 흡입구 덕트는 강화 플라스틱으로 제작하였으며 stator와 nozzle 그리고 steering duct와 reverse bucket은 금속으로 제작되었다. 제작된 추진기를 소형 활주선에 장착하여, 시운전을 실시 하였다. 본 연구는 주로 모형 선박의 제작 및 시운전에 관련된 것이지만 제작 과정에서 용접 작업이 많이 행해졌고, 또한 용접 및 선박 관련된 종사자들에게 있어서도 흥미가 높은 주제라고 판단되어 본 학회 발표를 추진하게 되었다.

## 2. Water-jet unit

### 2.1 Water-jet unit의 구조 및 효율

일반적인 축류형 water-jet unit은 Fig.1과 같은 구조를 가진다. Fig. 1은 single stage water-jet unit의 단면을 나타낸 것으로 선미에 장착된 형태이다. 엔진과 연결된 주축이 회전하면 선저로부터 물이 흡입구를 통해서 들어오고 임펠러와 스테이터를 지나며 속도와 압력이 증가하게 된다. 이 물은 노즐을 통해서 선미 방향으로 분사되게

된다. 이때 steering duct와 reverse bucket을 이용하여 분사되는 물을 방향을 조절하여 동일한 주축의 회전에서 추진력의 방향과 추진력의 크기를 조절할 수 있다.

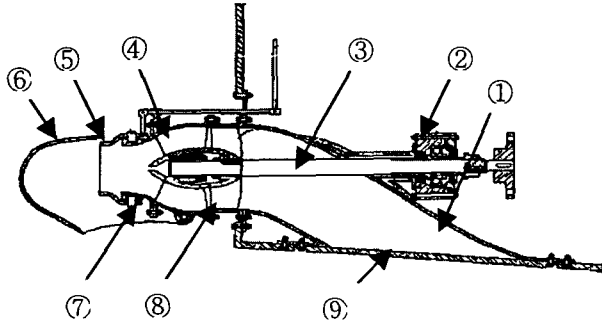


Fig 1. Cross section of water-jet unit  
 ①: Intake                      ②: Bearing housing  
 ③: Main shaft                ④: Stator  
 ⑤: Steering duct            ⑥: Reverse bucket  
 ⑦: Nozzle                     ⑧: Impeller  
 ⑨: Screen

물분사 추진장치의 추진 효율( $\eta_{jet}$ )은 식(1)와 같이 계산된다.

$$\eta_{jet} = E_u / E_i$$

$$= \frac{2(V_j / V_s) - 1}{\{(V_j / V_s)^2 - 1\} + 2gh_L / V^2} \text{-----(1)}$$

$E_u$ : 유효 구동에너지       $E_i$ : 입력 에너지  
 $V_j$ : Jet 속도                 $V_s$ : 선속도  
 $2gh_L / V^2$ : 무차원화된 유체역학적 손실  
 $h_L$ : 선박의 주행 손실양정

$V_j / V_s$ 이 1일때 추진 효율이 최대가 되며, 증가하게 되면 제트 효율이 감소한다. 물 분사 추진기의 설계에는 임펠러의 추진 효율 뿐만 아니라 펌프, 흡입구, 노즐형상 등이 고려 되어야 하나 본 연구에서는 일반적인 소형 활주선에 널리 사용 가능하고 실선 실험이 적절한 물 분사 추진기의 조건을 선정하여 익수형 흡입구, 축류형 펌프, 임펠러 직경 200mm, 주축의 구동력 70PS를 만족하는 water-jet unit을 개발하였다.

### 2.2 Water-jet unit의 제작

위의 조건을 만족하는 임펠러의 설계를 하고 이를 Fig.2(left)와 같이 제작하였으며 고속회전과 장시간의 시운전을 견디기 위해서 재질로는 망간-브론즈 단조강을 사용하였다. unit의 intake duct는 stainless steel과 FRP를 결합하여 제작

하였다. 특히 intake duct 전면부의 베어링 하우징과 duct를 독특한 방법으로 결합하여, duct와 하우징의 연결부를 예압 하였다. 이는 물 분사 추진기 가동시 발생하는 추력이 연결부에 집중되는 것을 흡입 덕트와 스테이터가 결합하는 플랜지로 분산하여 구조적인 취약점을 보완하는 동시에 제작을 용이하게 하는 장점을 가지고 있다. 아래 Fig.2(Right)는 추진기가 활주형 선박에 장착된 모습을 보트의 위에서 본 모습이다. 선미에 보이는 2개의 push-pull 케이블은 steering duct와 reverse bucket을 조절하여 선박의 운동을 제어하기 위해 설치 되었다.

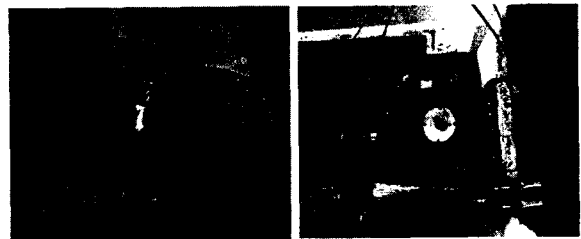


Fig. 2 Impeller (Left) and Launched water-jet unit (Right)

## 3. 시운전

### 3.1 Water-jet boat의 시운전

물분사 추진기의 성능과 정상적인 작동 여부를 확인하기 위해서 파랑의 영향이 적은 담수호에서 시운전을 시행하였다. 아래의 Fig.3은 시운전 장면이다. 시운전은 시작 모형의 내구성과 기계적인 문제점을 파악하기 위해서 장기간 행해졌으며, 주축의 회전수와 선박의 중량을 변화해 가며 속도를 측정하였다. 속도는 GPS 수신기를 이용하여 측정하였고, 선박의 중량 측정에는 로드셀을 이용하였다. 이 실험의 결과들은 선형과 상호 연관된 사항들로서 본 실험에서는 정성적인 데이터와 경향을 얻었고, 추진기를 구성하고 있는 각

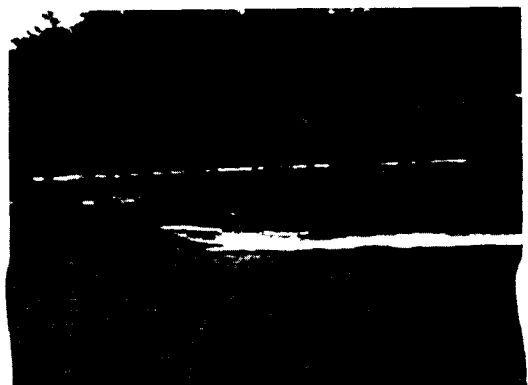


Fig. 3 Water-jet boat test in the lake

구성품들의 설계, 추진기의 선박 설치시 고려해야 할 점들과 정상적인 작동여부, 구성품 간의 상호 간섭 등을 확인하였다.

### 3.2 시운전 결과

아래의 Fig.4는 선박의 중량 750kg인 경우 노즐 직경의 변화에 따른 선속의 변화를 나타낸 것으로 약 15km/h 부근에서 활주선의 자세 변환이 일어나는 것을 볼 수 있다. 그리고 노즐의 직경이 커서 선속과 제트 분사 속도의 차이가 작은 경우, 선속이 저속인 구간에서 더 효율적이거나 이 경향은 선속이 증가 할수록 감소하는 경향을 보이고 있다.

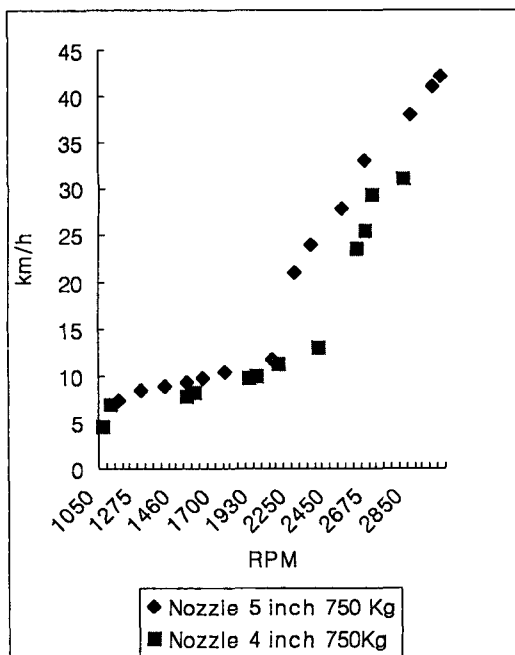


Fig.4 Comparison of ship speed at nozzle diameter.

Fig.5는 선박의 자세변환이 일어난 이후의 선박의 중량과 노즐의 직경 변화에 따른 선속 변화를 나타내었다. 선속과 제트의 속도 차이가 큰 경우 선박의 저항 증가에 보다 민감하게 속도가 반응하고, 특히 활주선의 자세변환 속도에 이르지 못하는(4inch 노즐, 900kg의 중량) 선박과 Water jet의 결합은 추진 효율이 급격하게 감소되는 것을 보여준다.

### 4. 결 론

소형 어선과 레저용 보트에 많이 사용되는 크기의 물 분사 추진기를 제작하였고, 활주선에 장착하여 시운전을 행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

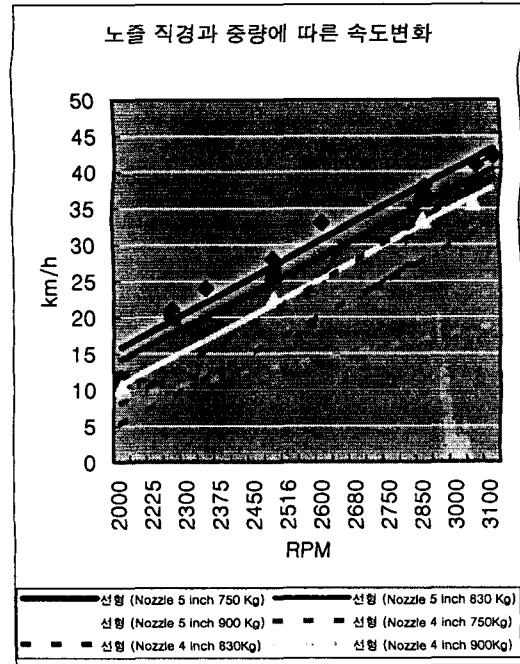


Fig.5 Comparison of ship speed at nozzle diameter and various ship weights.

- 1) 물분사 추진기를 선박에 장착할 경우 선박의 Keel line과 물 분사 추진 장치의 추진 방향과의 정렬이 중요하다.
- 2) Reverse duct에는 매우 큰 하중이 작용하고 있으므로 구조적으로 견고해야 하며, 노즐에서 분사되는 물의 반작용에 의해서 상하로 향하는 힘이 지나치게 크게 되지 않도록 설계하여 용이한 제어가 되도록 해야 한다.
- 3) 동일한 물분사 추진기에서 노즐의 직경을 변화 시킴으로써 선박의 저항 성능에 능동적인 대처가 가능하다.

### 참고문헌

1. 김기섭, 송인행, 안종우, 문일성: Pod형 물분사 추진 장치 성능시험 연구, 대한조선학회 논문집 vol.34, No.4, 1997, 21-30
2. Water jet 추진장치 개발 2차년도 최종보고서, 1996, 통상산업부.
3. 양준호, 김문찬, 전호환: 축류형 물 분사 추진 장치의 성능 해석에 관한 실험적 연구, 대한 조선학회 추계 학술대회 논문집, 2004, 494-500
4. G. Dyne and P. Lindell: Water jet test in the SSPA towing tank, RINA international symposium on waterjet propulsion, London, 1994