

워터제트 추진기

서 성 부 <선박해양공학연구센터>

1. 서 언

워터제트(Waterjet) 추진의 개념은 선박용 스크류 프로펠러 만큼이나 오래 되었지만, 1960년대 까지도 많은 이용이 없었다. 왜냐하면 스크류 프로펠러가 더 간단하고 가벼우면서 훨씬 더 효율적인 추진기구로 간주되어 왔기 때문이었다. 그러나 최근 수년 사이에 워터제트로 추진되는 세계적인 선박들 및 제작회사들의 수가 괄목할만한 증가를 보이고 있고, 선진국의 초고속선 개발과 관련하여 워터제트 추진방식에 대한 새로운 시각에서의 연구가 활발히 진행되어지고 있다[1].

21세기 해상교통수단을 선도할 수 있으리라 판단되고 있는 초고속선 개발 연구를 수행하고 있는 선박·해양공학연구센터에서도 초고속선용 추진 장치로서 워터제트 추진기를 선택하였었다[2]. 이러한 대표적인 이유로서는 종래의 일반적인 선박용 스크류 프로펠러로서는 고속 추진에 한계를 가지고 있는 반면, 워터제트 추진방식은 각 요소들의 최적 설계를 통해 고속에서의 추진효율 향상을 꾀할 수 있기 때문이었다. 선진국에서는 이미 이러한 워터제트 추진에 대한 성능해석 기법이 정립되어 있고[3], 중·소형 워터제트 추진기 제작을 통한 경험을 바탕으로 대출력 워터제트 추진기 개발도 가능한 단계이다[4]. 그러나 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 없어 외국의 기술에 의존하고 있는 실정이다. 본 고에서는 워터제트 추진기의 기본적인 개념과 당 연구센터에서 수행하고 있는 모형시험법 개발 연구의 일부를 소개하고자 한다.

2. 워터제트 추진기의 정의 및 구성

넓은 의미에서는 워터제트 추진기란 물을 둘러싸고 있는 관제역(control volume)내의 운동량 변화로 추력을 얻는 모든 추진기에 적용되는 말로서, 일반적으로 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 일반적인 내부 펌프제트
- 물과 가스 혼합 제트
- 덕트 프로펠러

본 원고에서는 일반적인 내부 펌프제트를 워터제트 추진기로 정의하였다. 여기에서 일반적인 내부 펌프제트란 선체내부에 펌프를 가지고 있는 경우를 말한다. 또한 선체의 어떤 지점에 있는 흡입구를 통해 유입되어진 물은 일반적인 선박용 나선형 프로펠러의 직경에 비해서 상대적으로 작은 직경의 출구를 통해서 수면 아래 혹은 공기중으로 분사되어 진다. Fig. 1에 본 원고에서 정의한 워터제트 추진기의 개략적인 구성도를 나타내었다.

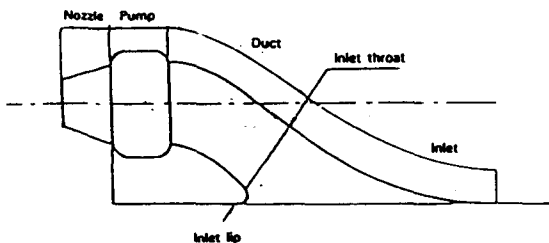


Fig. 1 The structure of the waterjet propulsor

그림에서 보는 바와 같이 워터제트 추진기는 3개의 기본적인 부분 즉,

- 물이 흡입되는 Inlet(혹은 Intake) 및 펌프까지의 덕트(Duct) 부분
- 펌프(Pump)
- 물이 분사되어지는 노즐(Nozzle) 부분

으로 이루어져 있다. 여기서 Inlet 형상은 크게 두 가지로 나누어 Fig. 1과 같은 Flush형과 주로 수중익선(Hydrofoil craft) 등에 사용되어지는 Pod-strut형이 있다. Flush형 Inlet에서 선수쪽의 곡선면을 램프(Ramp), 선미쪽의 돌출부분을 립(Lip)이라고 부른다.

3. 추력의 정의

워터제트 추진기에서도 선박용 프로펠러의 경우처럼 많은 양의 물을 가속시킴으로써 추력이 발생된다. 워터제트 추진기는 선박용 프로펠러의 특별한 경우 즉, 로터(펌프내의 임펠러)가 기다란 튜브시스템 내에 위치한 것으로 생각할 수 있다. 워터제트 추진기를 장착한 모든 선박들은 Inlet 시스템을 통하여 물이 들어가고 펌프의 작동으로 덕트내의 유동에 에너지가 더해지면서 고속으로 가속된 물이 출구쪽 노즐로 배출된다. 워터제트 추진기의 물 흡입과 배출에 따른 이러한 모멘트 변화가 추력을 발생한다. 한편, Inlet 주위의 유동을 Fig. 2와 같이 정의한다면 유입 유동의 평균 유속과 운동량 유속을 식 (1)과 (2)에 따라 계산할 수 있다.

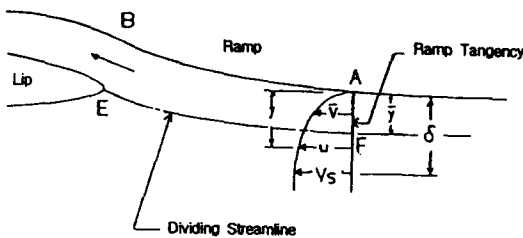


Fig. 2 Flow around inlet

Ramp Tangency AF에서의 평균 유속, \bar{V} :

$$\bar{V} / V_s = (\delta / \bar{y}) \int_0^{\bar{y}/\delta} (u / V_s) \cdot d(y / \delta) \quad (1)$$

Ramp Tangency AF에서의 운동량 유속, V_m :

$$V_m / V_s = (V_s / \bar{V}) \cdot (\delta / \bar{y}) \int_0^{\bar{y}/\delta} (u / V_s)^2 \cdot d(y / \delta) \quad (2)$$

여기서, V_s : 선속

u : 선저 경계층내의 국부 유속

\bar{y} : 선저 아래로의 유입유동 높이

δ : Ramp Tangency AF에서의 경계층 두께

또한 유입유동의 높이를 계산하기 위해서, Inlet 전방의 유관 유효폭이 Inlet 입구에서의 폭과 같다는 가정을 사용한다.

따라서 워터제트 추진기의 추력은 운동량의 변화로부터 다음식과 같이 계산된다.

$$T_{gross} = \rho \dot{Q} (V_j - V_m) \quad (3)$$

여기서, ρ : 물의 밀도

\dot{Q} : 단위시간당 유량

V_j : 제트(jet) 유속

4. 워터제트 추진기와 선체의 상호작용

워터제트 추진기는 Inlet, 덕트, 펌프, 노즐 등의 많은 요소들로 구성되어 있으며, 워터제트 추진기를 장착한 선박의 전체추진계수 OPC(Overall Propulsive Coefficient)는 이러한 각 요소들에 대한 단독효율들에 의해 표현되어진다. 따라서 워터제트 추진기를 가진 선박의 추진성능을 추정하기 위해서는 워터제트 추진기의 각 요소들에 대한 효율을 먼저 알아야 한다. 그러나 일반적인 프로펠러에서의 추력감소계수(thrust deduction factor : 1-t)에 해당하는 선체와 워터제트 추진기 간의 상호작용 효과가 워터제트 추진에서는 추진효율에 많은 영향을 끼치고 있다. 따라서 상호작용 효과에 의한 추진효율의 감소가 OPC의 20%보다도 많이 계속되어진다는 보고도 있다[5]. 오늘날과 같이 고속 선박의 크기와 속도가 증가해 가고 있는 추세에서는 이러한 효과는 더욱 더 중요하게 여겨지고 있다. 워터제트 추진기와 선체간의 이러한 상호작용 효과는 모형 워터제트 추진기를 장착한 모형선에 대해서 예인수조에서의 자항시험으로서 구할 수 있다[6]. 그러나 예인수조에서의 모형 워터제트 추진기를 사용한 자항시험해석 결과에 대한 발표자료가 최근까지도 많이 보이지 않고

있다. 이것은 워터제트 추진기의 축소 모형을 설치하기가 까다로울뿐만 아니라 그 결과에 대해서도 대외비의 성격을 띠기 때문일 것이다.

본 원고에서는 당 연구센터의 초고속선 개발 연구사업의 여러선형중에서 카타마란선에 플러쉬형 Inlet과 Axial Flow형의 펌프를 갖는 축소 모형 워터제트를 장착하고 수행한 모형시험 결과[7]를 소개하였다. 모형시험은 먼저 예인수조에서의 알몸 선체저항 시험을 수행하였다. 다음으로 모형선을 정지시킨 상태에서 워터제트 추진기의 펌프 작동에 의한 유량을 계측하고 이것으로부터 워터제트 추진기만의 추력을 계산하였다. 마지막으로 예인수조에서 워터제트로 추진되는 모형선의 예인력을 계측하고 이것으로부터 선체와 워터제트 추진기간의 상호작용 효과를 검증하였다.

알몸선체 저항값을 R_{BH} 로 표시하고, 워터제트 추진기로 추진되는 모형선을 저항시험시의 속도들로 예인할 때의 힘을 F_D 라고 하면 워터제트 추진기와 선체와의 상호작용(즉 Inlet에 의한 저항)값 D_i 는 다음식과 같이 표시할 수 있다.

$$D_i = F_D + T_{cal} - R_{BH} \quad (4)$$

여기서 T_{cal} 은 추력을 나타낸다. 뒷식의 값들을 나타내고 있는 Fig. 3에서 워터제트로 추진할 때의 예인력이 알몸 선체저항값보다 더 크게 나옴을 알 수 있다. 이것은 본 연구의 경우에 워터제트 추진에 의한 추력보다도 Inlet 저항값(즉, 선체와 워터제트간의 상호작용)이 더 큼을 알 수 있다.

한편 워터제트 추진기가 장착된 선박의 성능 추정을 위해서 수행되는 모형시험들은, 스크류 프로펠러로 추진되는 선박들의 경우에 하나 혹은 두개의 모형시험(자항시험과 캐비테이션 시험들) 결과에 대해 직접적인 축척효과를 고려해 줌으로써 실선에서의 표준 추정이 가능한 것과는 달리, 워터제트 추진기가 여러 요소들로 구성되어 있기 때문에 표준성능 추정의 정확성 여부가 연구내용 및 요소별 성능추정에 따라 좌우되고 있다. 이것은 전체 워터제트 추진기의 정확한 성능추정을 위해서는 적절한 이론적 모형이 필요함을 나타내고 있다. 본 원고에서의 모형시험에서는 18차 ITTC에서 제안한 Etker의 방법을 중심으로 이론적 모형을 작성하였다.

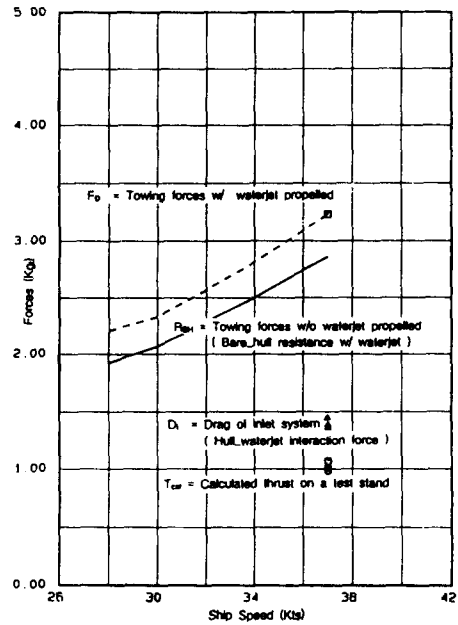


Fig. 3 Typical subdivision of towing forces

5. 결 언

21세기 해상교통수단을 선도할 수 있는 중,장거리용 복합지형 초고속선을 개발하기 위해서는 우리나라에서도 초고속선용 워터제트 추진기의 개발이 필수적이다. 그러나 서언에서도 언급했듯이 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 없어 외국의 기술에 의존하고 있는 실정이므로, 워터제트 추진기의 국내 기술개발을 위해서는 폭넓은 연구와 정보교환이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 원고에서 소개한 워터제트 모형시험법 개발 과정에서 도출된 문제점을 바탕으로 앞으로 추진해야 할 연구내용을 개략적으로 정리해 보면 다음과 같다. 우선 선체와 워터제트 추진기 간의 상호작용이 추진효율에 미치는 양을 추정하기 위해서는 Inlet 앞에서의 유속을 계측하는 작업이 진행되어야 할 것이다. 다음으로 워터제트의 추진성능 추정을 위한 시스템 전체 추진계수 정의를 위해서는 펌프효율 및 제트효율 등과 같은 요소별 단독효율이 Inlet, 덕트, 펌프, 노즐 등에 대한 각 요소별 모형시험을 통해 정의되어야 할 것이다. 그리고 최종적으로 워터제트 추진기의 설계기법을 확립하고 Prototype용 워터제트 추진기의 실선 장착 및 시험이 이루어져야 되겠다.

참 고 문 헌

- [1] J. Allison, "Marine Waterjet Propulsion", SNAME Trans., Vol. 101, 1993.
- [2] 양승일외, "21세기 쌍동형 초고속선 개발을 위한 타당성 연구", 해사기술연구소 연구보고서 UCN230-1442.D, 1991.
- [3] R. Sato, Y. Saito, "Waterjet Propulsion", 日本造船學會, 차세대선 개발에 있어서의 추진공학 심포지움, 제4회 보고서 April 1991.
- [4] R. Svensson, "Experience with the KaMeWa Water Jet Propulsion System", AIAA Intersociety Advanced Marine Vehicles Conference, 1989.
- [5] T. Terwisga, "The Effect of Waterjet-Hull Interaction on Thrust and Propulsive Efficiency", FAST '91, Norway, 1991.
- [6] R. Etter, "Model Testing of Waterjet Propeller Craft", Proceedings of 19th General Meeting of ATTC, Michigan, 1980.
- [7] 서성부, "Waterjet과 선체 사이의 상호작용이 추력에 미치는 영향", 선박해양기술 소보, 제19호, 1994.

