

워터제트추진 (Water-Jet Propulsion)

한국해양대학교기계공학과
부교수 이영호

1. 머리말

미래의 선박형식은 종래의 정력학적 부력에 의한 단동부양체에 의한 것으로부터 발전하여, 양력면 주위의 고속유동에 의한 동력학적 부양방식, 또는 동력에 의한 수직추력 및 압력에 의한 양력방식을 갖는 초고속선이 될 수 있다.

이 경우에 필요한 기술은 해상운전에 적합한 최적선체구조의 결정, 선체자세제어시스템의 확립, 고속성능에 부합하는 신재료의 개발 및 추진전달계의 최적화 등이 거론된다. 여기에서는 추진전달계에 있어서 초고속선의 추진방식으로 주목을 받고 있는 워터제트추진(Water-Jet Propulsion, 이하 WJP로 부름)에 관하여 개설적으로 언급하고자 한다. 특히 장래의 어선용추진기로서의 채택가능성을 검토할 수 있도록 기본 원리 및 장단점 그리고 구성요소 등을 중심으로 소개한다.

2. WJP의 원리

프로펠러방식의 추진기는 수심 수m하에서 회전하게 된다. 따라서, 대기압 및 낮은 수두정압 하에서 회전하는 프로펠러익의 주위에서는 캐비테이션의 발생이 필연적이며 이것은 수중개방형의 프로

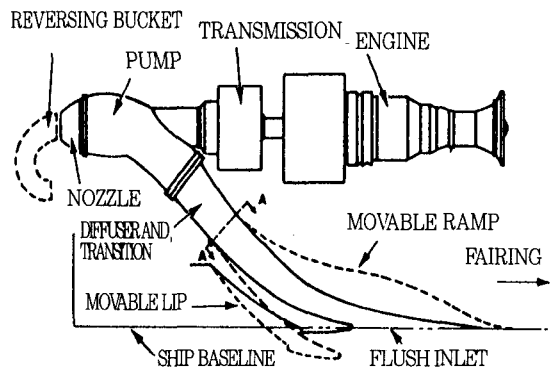


그림 1 평점형 워터제트추진장치

펠러추진기의 한계점이기도 하다. 지금까지 이와 같은 캐비테이션대책에 관하여 꾸준한 발전이 이루어져 현재에는 다양한 종류의 프로펠러가 생산되고 있다. 그러나, 초고속선에서는 캐비테이션방지를 위한 팔목할 만한 기술의 개발이 눈에 띄지 않고 있으며, 결국 WJP가 대체수단으로 자리를 잡게 되었다. 현재, 운항 중이거나 건조계획 중인 초고속선은 WJP방식이 주류를 이루고 있다.

WJP는 그림1에서 보는 바와 같이 선저에서 작동류를 흡입하고 펌프의 형식을 빌어서 동력기관으로부터 공급받은 회전기계에너지로 유체의 압력

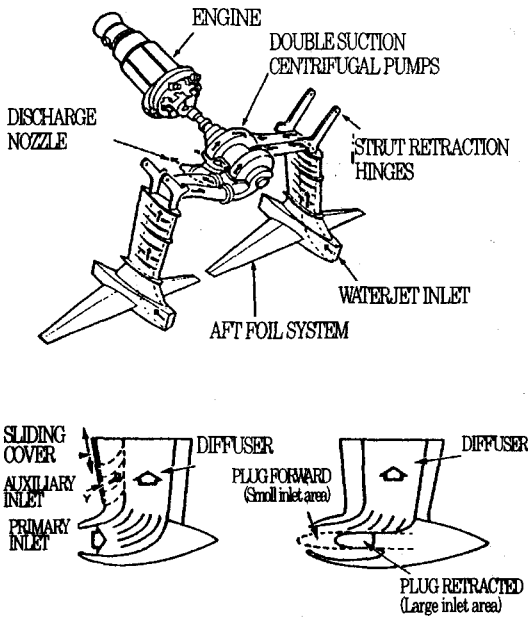


그림 2 돌출형 워터제트추진장치

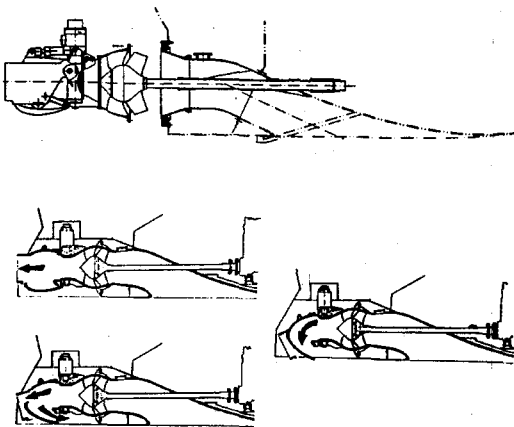


그림 3 전후진 및 정지시의 작동상태

에너지로 변환시킨다. 다음, 연결된 노즐을 통하여 압력에너지를 속도에너지로 바꾸며 운동량의 원리에 의해 노즐에서 가속된 유체는 전진방향으로 추진력을 발생시킨다. 방향전환은 노즐출구에 설치된 디플렉터에 의해 용이하게 행해진다. 작동유체

의 흡입부의 형상에 따라 크게 평접형(flush type)과 돌출형(pod-strut type)으로 구분되며 그림1은 평접형을 그림2는 돌출형의 구조를 보여준다.

3. WJP의 장단점

- 우선 WJP방식의 장점을 요약해 보면 다음과 같다.
- 가. 다양한 운전조건 하에서도 엔진 과부하의 염려가 적다.
- 나. 전후진 및 방향전환이 신속하다.
- 다. 가속성능이 우수하며 전범위의 속도제어가 쉽다.
- 라. 수중음향 및 내부소음발생이 적다(프로펠러 방식보다 약 10dB 감소)
- 마. 돌출부에 의한 저항이 적다.
- 바. 수심이 낮은 곳에서도 사용이 가능하다.
- 사. 부유물에 의한 손상이 적다.
- 아. 회전체에 의한 인명 또는 수중동물의 피해가 없다.
- 자. 유지 및 보수비용이 저렴하다.
- 차. 고속일수록 효율이 좋다.

그러나, 다음과 같은 단점도 가지고 있다.

- 가. 프로펠러방식에 비해 무겁다.
- 나. 입구부 및 임펠러에서의 공동대책이 필요하다.
- 다. 검사 및 보수가 불편하다.
- 라. 일반적으로 저속시에 효율이 낮다.

이상에서와 같이 WJP의 장단점을 열거하여 보았으나 추진방식의 구체적인 선정을 위해서는 선박의 운전조, 안전성 및 신뢰성을 포함한 종합적인 성능 검토가 행해져야 한다. 예를 들어, 호화여객선이나 고속함정에서와 같이 캐비테이션에 의한 수중음향 및 소음이 문제가 되는 경우에는 WJP방식이 유리하며 작업선, 유람선 및 순시선 등에서와 같이 선체주위의 인명에 외상을 줄 우려가 있는 경우, 또는, 부유물에 의한 돌출부의 손상이 염려가 되는 때에는 프로펠러방식에 비해 유리한 점이 될 수 있다. 한편, 예인선이나 쇄빙선과 같이 높은 추력을 얻기 위하여 양호한 가속성능 및 작은 선회반경이 요구되는

때에도 유용할 것이다. 수중익선에 프로펠러를 사용하는 경우에는 근접한 프로펠러간의 상호간섭 및 추진축계의 고속기압시스템의 신뢰성 문제가 대두되며 이 경우에도 WJP는 적당한 대체수단이 될 수 있다. 한 실험결과에 의하면 40노트에서는 WJP의 연료소비율이 동급의 프로펠러방식보다 12%정도 작으며 21노트에서 연료소비율이 같아짐을 보이고 있다.

최근에는 WJP의 설계제작기술에 많은 발전을 가져와 소형선의 경우에는 20~25노트의 속도에서도 종래의 프로펠러방식에 필적하는 효율을 나타내고 있다. 또한, WJP방식을 채택한 경우에는 프로펠러방식에 비하여 조종성, 안전성, 신뢰성면에서 상대적으로 우수한 것으로 평가되고 있다. 예를 들면, 80노트 4,000톤급의 원양용 SES의 추진방식 모형시험비교에서 가변평점(controllable flush)형의 입구부를 갖는 WJP방식은 반몰수형 초월공동프로펠러에 비하여 제반성능이 우수하며, 700톤급의 수중익선에 대한 비교에서도 실용적인 면에서 WJP방식이 선택될 수 있음을 보이고 있다.

한편, 대형어선에서 WJP방식이 채용된 실적은 미확인상태이나 상기에서와 같이 제반장점이 있으므로 장래에는 새로운 선형의 개발과 함께 WJP방식이 적극적으로 채택되어 경쟁력을 갖춘 어선의 운항시스템구축이 가능할 것이다.

WJP방식이 채택될 수 있는 경우를 배의 특성에 따라 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 가. 고 속 : 고속상선, 고속패리, 고속유람선, 경비선, 순시선 등
- 나. 조종성 : 어선, 예인선, 쇄빙선, 구조선, 소방선, 해저탐사 ROV 등
- 다. 저소음 : 호화여객선, 구축함, 어선 등
- 라. 오락 및 교통 : 수상스키, 쾌속요트, 경주선, 통근선 등
- 마. 기 타 : 동력구명정, 양식작업선, 통선 등

4. WJP의 구성

4.1. 입구부

WJP의 입구형상은 크게 두가지로 나누어 평점형(그림1, 이하 F)과 돌출형(그림2, 이하 P)이 있다.

F형은 그림에서 보는 바와 같이 선저에 직접 흡입구를 설치한 경우이며, 선수쪽의 곡선면을 램프(ramp), 선미쪽의 돌출부분을 립(lip)이라고 부른다. 특히, 립부분이 램프부분보다 내려온 경우를 반평점(semi-flush)형이라고 하며, 고속시의 작동수 흡입에 유리하다.

F형은 돌출부의 영향이 적음으로서 수반하는 저항 또는 항력이 감소되는 이점이 있으나, 램프부에서의 경계층 발달로 디퓨저에서 박리가 발생할 염려가 있다. 또한, 입구부의 면적을 운전조건에 맞추어 바꿀 수 있는 가변입구구조도 가능하다. 이 경우에는 넓은 범위의 입구속도비(IVR: Inlet Velocity Ratio)를 얻을 수 있음으로서 저항감소 및 공동발생 억제효과를 가져올 수 있다.

일반적으로, F형은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 가. 입구부에서의 부가저항이 적다.
- 나. 선체의 운동 및 조종특성에 기인하는 공동 문제가 적다.
- 다. 입구면적을 용이하게 바꿀 수 있다.
- 라. 부유물에 의한 충돌손상이 적다.

P형의 장점은 다음과 같다.

가. 균일한 흐름을 받을 수 있어 디퓨저의 효과가 크다.

나. 황천향해시 공기흡입의 염려가 적다.

반평점형의 경우에는 완전한 평점형에 비하여 항력계수가 증가하나, 어느 경우에도 선체의 전체 저항에 비하면 적은 부분을 차지한다. 따라서, 반평점형을 택하여도 배전체에 미치는 영향은 무시될 수 있다. 입구형상의 설계가 양호하기 위해서는 내부손실이 적어야 한다. 특히, 이수(take-off)시의 공동발생이 억제되어야 한다.

한편, 입구부의 전면에는 부유물의 혼입을 방지하기 위해서 그릴을 설치한다. 이로 인해 내부의

흐름은 난류적인 특성이 더욱 강해지나 전체의 성능에는 거의 영향을 미치지 않으며, 한 계산예에 의하면 1% 미만의 효율감소를 가져오는 것으로 보고되어 있다. 그러나, 잘 설계된 그릴은 오히려 속도증가를 가져올 수가 있으며 120~150노트의 속력을 내는 경주선에서는 그릴의 최적설계가 중요한 문제로 지적되고 있다.

또한, 수중익선 및 하버크래프트 등에서와 같이 공기흡입의 염려가 있는 경우에도 신중한 설계가 요청됨을 보이고 있다.

4.2. 펌프

WJP방식에서 채택되는 터보식의 임펠러회전체는 원동기로부터의 기계회전에너지를 유체에너지로 변환시키는 에너지변환장치의 한가지이다.

WJP의 추진력 및 손실을 무시한 이론효율은 운동량의 원리로부터 다음의 식으로 구해진다.

$$F = \rho \times Q \times (V_j - V_m) \quad (1)$$

$$\eta = 1 / \{1 + (V_j - V_m) / 2V_m\} \quad (2)$$

단, Q는 유량이며 V_m 는 입구속도, V_j 는 입구속도, V_j 는 제트출구속도를 의미한다. 식(2)에서 보면 효율이 증가하기 위해서는 주어진 V_m 에 대하여 $(V_j - V_m) / 2V_m$ 의 값이 작아야 한다. 따라서, 식(1)의 추진력이 커지기 위해서는 유량 Q가 증가하여야 한다.

큰 유량을 얻기 위해서는 유속을 크게 하거나, 단면적을 크게 하면 가능하다. 그러나, 유속을 크게 하는 경우에는 손실이 속도의 제곱에 비례하여 증가하므로 될 수 있으면 단면적을 크게 하는 경우에는 손실이 속도의 제곱에 비례하여 증가하므로 될 수 있으면 단면적을 크게 하는 쪽이 유리할 것이다. 이 경우에는 펌프를 비롯한 유로체적이 증가함으로써 유로 내의 유체를 포함한 전체의 중량이 증가한다.

결국, 중량을 증가시키지 않고 유량만을 늘리기 위해서는 펌프의 회전수를 늘리는 방법으로 귀착이 되나, 이 경우에는 블레이드의 회전속도 증가에

따른 공동발생이 우려된다. 따라서, WJP방식에 채택되는 추진펌프는 이와 같은 상반된 조건을 만족시켜야 하며 최적의 펌프형식을 선정하는 문제는 WJP전체성능을 좌우하는 중요한 요소가 될 수 있을 것이다.

한편, 터보식 유체기계의 원리상 펌프의 출구압력은 펌프출구로부터 배관을 거쳐 최종적으로 방출되는 곳까지의 제반손실값 및 배관의 수직높이에 해당하는 수두위치에너지에 의해 정해진다. WJP방식의 경우에는 일반적으로 배관의 수직높이는 무시할 수 있으며, 결국, 회전차출구로부터 동압회복용 안내익을 거쳐 노즐까지의 짧은 구간에 있어서의 제반손실양정 및 흡입양정만을 필요로 한다. 따라서, 이와 같은 특성을 갖는 WJP방식의 경우에는 저양정-대유량의 펌프가 필요함을 알 수 있다.

4.3. 디퓨저 및 노즐

디퓨저는 입구부에서 유입된 작동유체의 압력을 균일하게 증가시켜 펌프에서 부담하는 동력을 줄이며, 또한, 펌프 내에서의 공동발생억제효과를 가져온다. 따라서, 디퓨저의 역할은 중요하며, 내부에서의 흐름이 균일하도록 형상을 결정하여야 한다. 노즐은 교축작용에 의해 압력에너지를 속도에너지로 변환하거나, 운동량을 변환시키는 배관요소이다. 잘 설계된 노즐은 97~98%의 높은 효율을 보인다.

그림3은 전후진 및 중립위치시의 제트분사모양을 보이고 있으나, 조종이 용이함을 알 수 있다.

4.4. 엔진

WJP방식의 동력원으로서 디젤엔진 또는 가스터빈이 이용된다. 중량면에서는 가스터빈이 우수하나, 연료소비율에서는 디젤엔진이 우수하다. 따라서, 기존의 디젤엔진을 사용하는 경우에는 중량 증가에 따른 문제, 가스터빈의 경우에는 탑재연료의 증가문제가 검토되어야 할 것이다.

한편, WJP방식은 원리적으로 구동엔진에 과토크 또는 과속을 유발하지 않는 장점이 있음으로서, 다양한 운전조건 하에서도 엔진은 이상적으로 동력-축 회전속도 곡선에 따라 운전된다. 따라서 WJP의 엔진은 프로펠러방식과 비교하여 황천항해 등의 해상조건에 의한 속도변화에 둔감하여, 악천후에서도 안전한 기관운전이 가능하다. 또한, 균일한 속도특성에 의해 엔진의 마모 등에 따른 보수비용이 절감될 수 있다.

경량디젤엔진의 경우에는 MTU 시리즈가 대표적이다. 예를 들어, 마력은 2,690~5,880BHP, 회전수는 1,500~1,800rpm이며, 최대출력상태에서, 12실린더의 경우에는 3.0kg/kW의 중량비를 보이고 있다. 이 엔진은 현재 국내에 취항하고 있는 400

~500톤급의 SES에 탑재되어 있으나 16기통 1기당 약 2,000kW의 출력을 내며 중량은 불과 5톤미만이다.

5. 맺음말

차세대의 유력한 해상운송시스템 추진방식으로서 주목을 받고 있는 물분사추진(WJP)에 대한 내용을 개설적으로 요약하였으며, 특히, WJP방식의 원리, 장단점 및 구성요소를 중심으로 설명하였다. WJP를 어선에 적용하는 경우에는 원리적인 장점이 많이 있음으로서 경쟁력을 갖춘 어선의 건조가 가능할 것으로 예상하며 이에 적합한 새로운 건조설계기법이 필요하다고 보여진다.

불안속의 불법어업

전업하여 밝은 생활