

물분사 추진 (WATER-JET PROPULSION)

이 영 호, 박 명 규
〈한국해양대학교 교수〉

1. 처음말

선박의 추진방식으로는 나선프로펠러가 주류를 이루어 왔고 선박의 고속화경향에 따른 공동(cavitation, 캐비테이션)대책에 많은 발전을 가져와서 현재에는 초월공동 프로펠러까지 등장하였다. 따라서 원양용 컨테이너선을 비롯한 고속대형선에는 예외없이 프로펠러 추진방식을 택하고 있으며 금후에도 이와 같은 나선프로펠러에 의한 추진방식이 변함없이 채택될 것으로 예상된다.

이와같이 다양한 용도를 갖는 선박의 추진방식으로서 프로펠러식이 거의 독점적으로 사용되어 왔던것은 추진효율면에서 필적할 만한 대체방식이 없었기 때문이었다고 추정된다.

예를들어 컨테이너선으로 대표되는 고속선의 순항속도가 25노트 전후인데, 이보다 두배 이상의 속도를 내기 위해서는 공동발생 및 이로 인한 손상문제가 필연적으로 제기된다.

따라서 이와 같은 대형 초고속선에 종래의 프로펠러 추진방식을 택하는 것은 공학적인 관점에서 한계가 있을 수 있으며 이에 대체할 수 있는 추진방식의 하나로서 이전부터 물분사 추진(Water-Jet Propulsion, WJP)방식이 검토되어 왔다.

WJP방식은 원리적인 면에서 고속으로 갈수록 추진효율이 증가하나 저속시에는 효율이 낮기 때문에 종래에는 용도가 한정되어 특수선박 외에는 잘 사용되지 않았다. 즉, 과거의 WJP방식은 추진효율면에서 일반적으로 프로펠러방식보다 떨어짐으로써 연료비를 포함한 경제성면에서 주목을 받지 못한 것이다. 그러나 다양한 용도 및 특성을 갖는 초고속선의 수요가 증대함에 따라 이에 대응할 수 있는 최적추진방식으로서 WJP가 새롭게 각광을 받고 있다. 즉, 소형의 경우에는 잘 설계된 WJP의 성능이 가변피치 초월공동 프로펠러에 상당할 만큼 발전되었다. 외국의 경우에는 다수의 제작자가 장기간에 걸친 개발과정을 거쳐 다양한 규격을 갖는 고부가가치 상품으로서 실용화를 꾀하였으며 특히 표면효과선(Surface Effect Ship, SES)방식을 택하는 초고속선의 추진방식으로서 적극적으로 검토되고 있다. 또한 KaMeWa사를 위시한 전문제작 회사들이 대출력의 WJP개발을 적극적으로 추진중에 있다.

일예로써 항만운송과 컨테이너에 의한 해상운송과의 중간적인성격을 갖는 상품류 운송시스템을 위한 원양용 초고속 컨테이너선의 개발이 현재 진행중에 있으며 그 추진방식은 WJP를 택하도록

되어 있다.

그러나 국내의 경우에는 이에 관한 설계지식이나 정보가 극히 제한되어 있는 실정이며 소수의 업체가 완제품을 그대로 수입하거나 분해조립하여 장착하는 초보적인 수준에 머물고 있다.

이와 같은 배경으로부터 이 해설에서는 WJP에 관한 이해를 돕기 위하여 그 내용을 개설적으로 정리하였다. 주요내용은 크게 WJP의 장단점, 고속선에의 적용예, 구성시스템 및 각국의 개발동향 등으로 나누어져 있다.

참고로 선박의 추진방식을 대별하면 다음과 같다 <참고서> [3].

가. 수중추진(water propulsion)

(1) 워터 제트(water jet)

(2) 수중 프로펠러(water propeller)

- 서브 캐비테이팅 프로펠러(sub-cavitating propeller)
- 슈퍼 캐비테이팅 프로펠러(super-cavitating propeller)
- 트랜스 캐비테이팅 프로펠러(trans-cavitating propeller)
- 베이스 벤티레이티드 프로펠러(base ventilated Propeller)
- 가변 피치 프로펠러(controllable /reverse pitch propeller, CPP)

나. 공기 추진(air propulsion)

(1) 에어 제트(air jet)

(2) 공기 프로펠러(air propeller)

- 자유 프로펠러(free propeller /un-shrouded propeller)
- 쉬라우드 프로펠러(shrouded propeller)

(3) 쿠션 추진(cushion propulsion)

2. WJP의 특징

우선 WJP추진방식의 장점을 요약해 보면 다음과 같다.

가. 수심이 얇은 곳에서도 가능하다(약 0.5mm)나. 부유물에 의한 프로펠러의 손상이 없다
다. 프로펠러에 의한 인명 또는 수중동물의 피해가 없다

라. 기계적 계통이 간단하다

마. 다양한 운전 조건에도 엔진의 과부하 염려가 없다

바. 설치가 용이하다

사. 전후진 및 방향전환이 정확신속하다

아. 가속성능이 우수하며 전범위의 속도제어가 쉽다

자. 수중음향 및 소음면에서 우수하다
(프로펠러식보다 약 10dba 감소)

차. 유지 및 보수비용이 저렴하다

카. 돌출부에 의한 저항이 적다

타. 고속으로 갈수록 효율이 좋다

그러나 단점으로는 다음과 같은 점들이 지적될 수 있다.

가. 프로펠러방식에 비해 무겁다

나. 일반적으로 저속시에 효율이 낮다

다. 입구부에서의 캐비테이션 대책이 필요하다

라. 펌프 임펠러의 검사 및 보수가 불편하다

이상에서와 같이 WJP의 장단점들을 열거하여 보았으나 추진방식의 구체적인 선정을 위하여는 선박의 운전조건, 안전성 및 신뢰성 등을 포함한 종합성능면에서 검토되어야 할 것이다.

예를들어 호화여객선이나 고속합정에서와 같이 캐비테이션에 의한 수중음향 및 소음이 문제가 되는 경우에는 WJP방식이 유리하며 작업선, 유람선 및 순시선 등과 같이 선체주위의 인명에 손상을 줄 우려가 있는 경우, 또는 부유물에 의한 돌출부의 손상이 염려가 되는 때에도 프로펠러방식에 비해 유리한 점이 될 수 있다.

한편 예인선이나 쇄빙선과 같이 높은 추력을 얻기 위하여 양호한 가속성능 및 작은 선회반경 등이 요구되는 경우에도 유용하다고 보아진다. 수중익선에 프로펠러를 사용하는 경우에는 근접한 프로펠러간의 상호간섭 및 추진축계의 고속기어시

스텝의 신뢰성 문제가 대두되며 이 경우에도 WJP는 적당한 대체수단이 될 수 있다.

또한 초월공동 프로펠러의 경우에는 구조적으로 강도문제가 무시될 수 없는 단점이 있다.

한 실험결과에 의하면 40노트에서는 WJP의 연료소비율이 프로펠러방식보다 12%정도 작으며, 21노트에서 연료소비율이 같아짐을 보이고 있다. 현재에는 최적설계된 가변입구 WJP의 성능이 가변피치 초월공동 프로펠러의 것과 비교될 수 있을 정도로 성능이 크게 개선되었다.

3. 고속선에의 적용

고속선의 역사는 1896년 영국의 Charles Parsons가 공기부양선(Air Cushion Vehicle, ACV)의 일종인 실험선 Turbini호(그림1)을 제작하여 34.5노트의 속력을 얻은 때부터 시작한다고 한다. 이어서, 1905년에는 Forlanini가 61노트의 수중익선을 개발하였으며 1950년대 부터는 원양용의 SES 및 ACV의 개발이 본격적으로 이루어져 왔다.

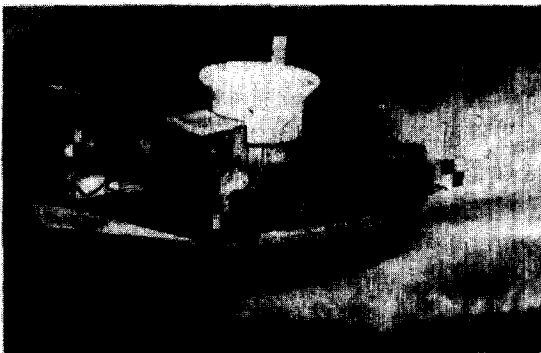


Fig. 1 First ACV to cross the english channel

그림 2는 고속선을 외형에 따라 분류를 한 것으로서 ACV를 제외하면 어느경우에나 전물수 또는 반물수의 수중추진방식을 요하며, 프로펠러식과 WJP식의 두가지 추진방식이 채택될 수 있다. 이 경우에 제반 운전효율면에서 순항속도가 클수록

WJP에 대한 선호도가 높으며 이 때에는 각각의 선형에 알맞는 WJP의 최적배치, 공동현상 대책을 위한 입구형상의 최적설계 등이 중요한 문제가 될 수 있다.

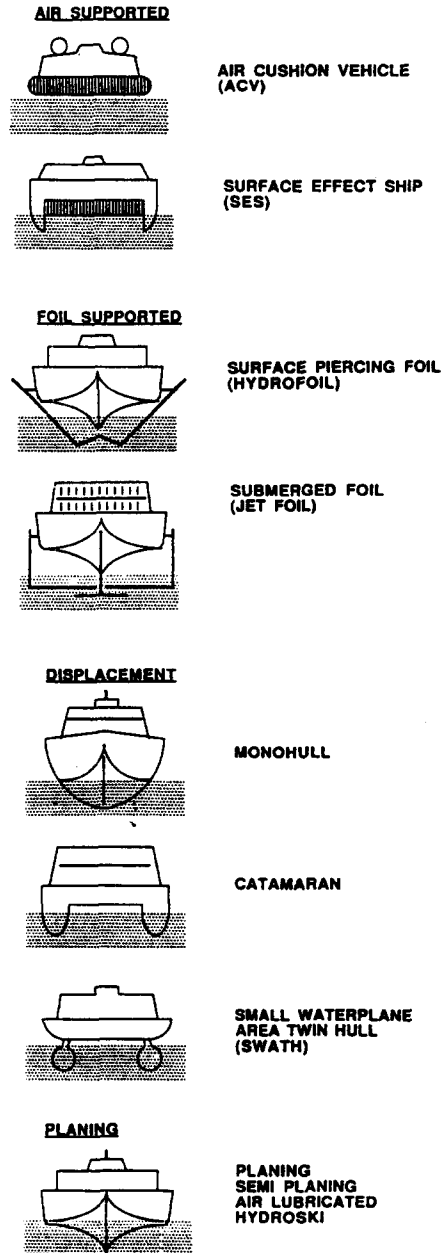


Fig. 2 Types high-speed crafts

Table 1 Total operation cost per boat,
(w: WJP, p: Propeller[25])

Vessel	under-water & Jet (\$)	Eng & gear (\$)	Fuel (\$)	Lost Time (\$)	Total (\$)
Fair Oaks(w)	3,200	18,000	100,500	800	122,500
Jackson(w)	2,900	18,000	100,500	0	121,400
livingstone(w)	2,450	18,000	100,500	0	120,950
Sharpsburg(w)	2,600	18,000	100,500	0	121,100
Winchester(w)	2,850	18,000	100,500	1,400	122,750
Cedar Creek(p)	6,600	15,000	88,500	1,800	118,900
Widerness(p)	10,350	15,000	88,500	12,000	126,350

표1은 1980년의 한해동안에 걸쳐 동남아시아 근해에서 작업선에 사용된 WJP 및 프로펠러 추진 방식간의 연간 비용을 비교한 결과이다[25].

표에서 보면 중저속 WJP의 저효율성이 연료비에서 나타남을 알 수 있으나 유지, 보수면에서는 강점을 가짐으로써 전체비용에서는 큰 차가 나지 않음을 알 수 있다. 따라서 WJP추진방식을 택한 경우에 금전으로 환산이 안되는 제반 작업상의 잇점까지를 고려한다면 중저속의 경우에도 유용하게 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

미국은 80노트, 4000톤급의 원양용 SES를 건조하기 위한 계획을 세우고 이의 추진방식으로서 WJP와 반물수형 초월공동 프로펠러를 모형시험을 통해 상호비교하였다[13]. 그 결과, 가변플러시(Control flush)형의 입구 형상을 갖는 WJP가 안전성, 조정성 및 신뢰성면에서 상대우위에 있음을 보고하고 있다. 또한, 750톤급의 수중익선에 대한 비교에서도 실용적인 면에서 WJP가 선택될 수 있음을 보이고 있다.

이상에서와 같이 고속선에 채택되는 WJP의 예를 들어 보았으나 WJP가 선택될 수 있는 경우를 특성에 따라 다음과 같이 정리 할 수 있다.

- 가. 고속: 고속상선, 고속페리, 고속유람선, 경비정, 순시선 등
- 나. 조종성: 예인선, 쇄빙선, 구조선, 소방선, ROV(Remote Operated Vehicles) 등(그림 3)
- 다. 저소음: 호화여객선, 구축함 등

라. 오락 및 교통: 수상스키(그림 4), 통근용, 쾌속요트, 경기용 등

마. 기타: 동력구명정, 양식작업선, 통선(Crew boat) 등

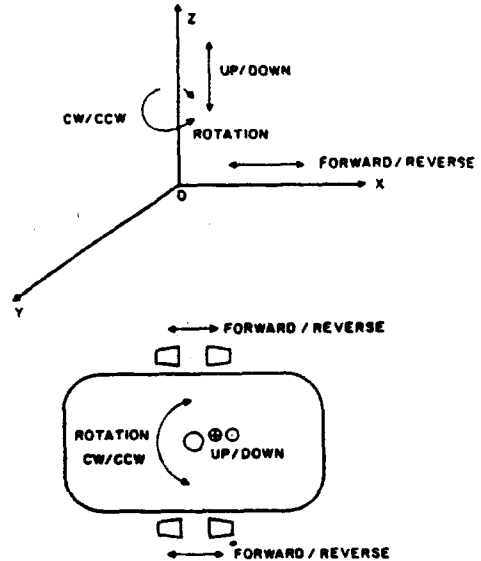


Fig. 3 ROV(remote operate vehicles) movements and nozzle positions

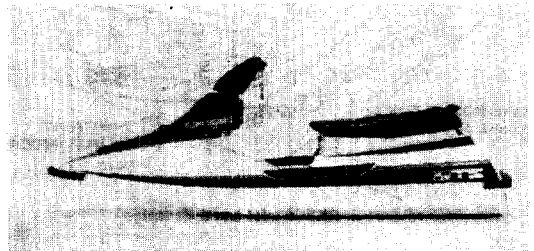
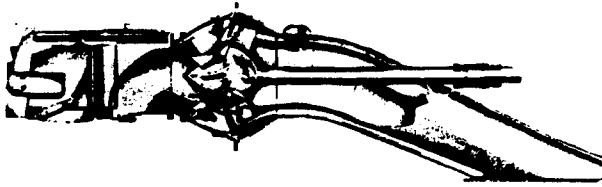


Fig. 4 SKI with jet propulsion(57 knots, 49 PS)

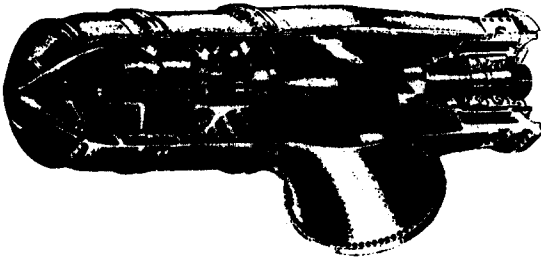
4. WJP의 구성

그림 5는 WJP의 구성을 보여주며 위의 그림은 펌프의 형식상 혼류형의 경우를 아래그림은 유도-축류형의 경우를 보이고 있다.

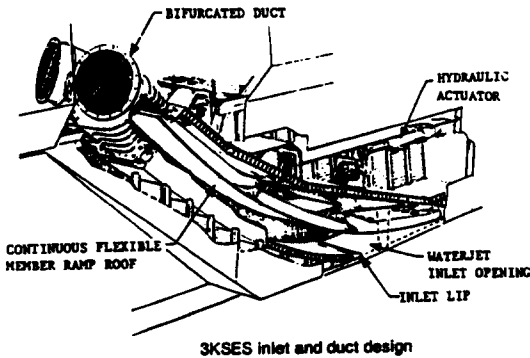
WJP의 주요 구성품은 입구(inlet), 펌프, 확산부(diffuser) 및 덕트, 노즐, 엔진 그리고 동력전달장치로 대별될 수 있다. 구성요소를 다음과 같



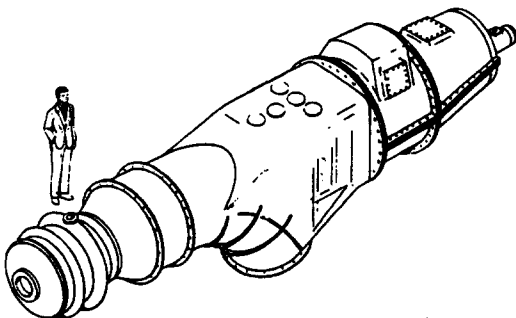
Mixed-flow waterjet propulsor (KaMeWa Type S62)



Inducer-type waterjet propulsor (Rocketdyne PJ46)



3KSES inlet and duct design



3KSES waterjet propulsor assembly

Fig. 5 Typical arrangements of water-jet propulsor

이 요약하여 설명한다.

4.1 입구

WJP의 입구형상은 크게 두가지로 나누어 평접(flush)형(그림 6)과 파드-스트럿(pod-strut)형(그림 7)이 있다.

평접형(이하 F형)은 그림에서 보는 바와 같이 선저에 직접 흡입구를 설치한 경우이며 선수쪽의 곡선면을 램프(ramp), 선미쪽의 돌출부분을 립(lip)이라고 부른다. 특히 립부분이 램프부분보다 내려와있는 경우를 준 평접(semi-flush)형이라고 하며 고속시의 작동수 흡입에 유리한 형상을 제공한다.

F형은 돌출부의 영향이 적음으로 부수되는 저항 또는 항력이 감소되는 잇점이 있으나 램프부에서의 경계층의 발달로 확산부에서 박리가 발생할 염려가 있다. 한편 파드-스트럿형(이하 P형)에서의 파드부는 균일류를 흡입하여 곡면 안내날개(guide vane)를 통하여 스트럿부에 흐름을 원활하게 공급하는 역할을 한다. 스트럿부는 선체와 파드부의 지지대 역할을 하며 동시에 적선확산부에 의해 작동유체의 속도에너지가 압력에너지로 바꾸어 펌프에 공급한다. F형은 수중익선에서 채택되는 입구형상이다.

한편 입구부의 면적을 운전조건에 맞추어 바꿀 수 있는 가변입구 구조가 가능하다. 이 경우에는 넓은 범위의 입구속도비(IVR: Inlet Velocity Ratio)를 얻을 수 있으므로 입구부의 저항감소 및 공동현상 발생억제 효과를 가져올 수 있다.

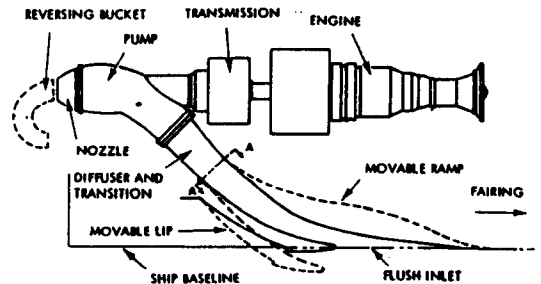


Fig. 6 Typical water-jet system showing alternative variable-area flush-inlet schemes

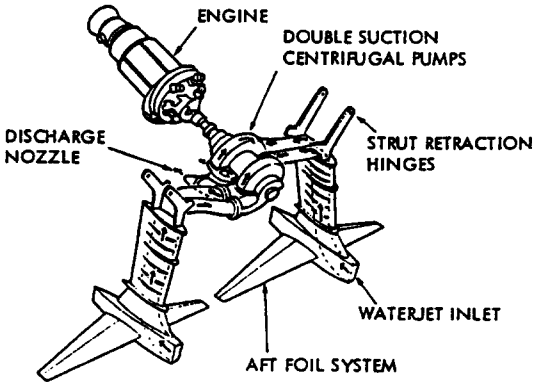


Fig. 7 Hydrofil with pod-strut system

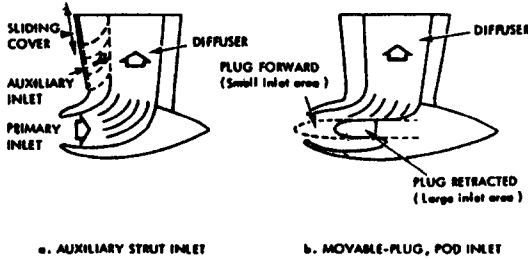


Fig. 8 Variable inlet area and pod-strut inlets

일반적으로 F형은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 가. 입구부에서의 부가저항이 적다
 - 나. 선체의 운동 및 조종특성에 기인하는 공동(cavitation)문제가 적다
 - 다. 입구면적을 용이하게 바꿀 수 있다
 - 라. 부유물에 의한 충동손실이 적다
- 한편 P형의 장점은 다음과 같다.
- 가. 균일한 흐름을 받을 수 있어 확산부의 효과가 높다
 - 나. 황천 항해시에 공기흡입의 염려가 적다

준 F형의 경우에는 완전한 F형의 경우와 비교하여 항력계수가 증가하나 어느경우에도 선체의 전체저항에 비하면 적은 부분을 차지한다. 따라서 준 F형을 택하여도 배 전체에 미치는 영향은 무시될 수 있다.

초고속선의 경우에는 가변입구 형상결정에 여

전히 많은 연구가 행해져야 한다. 펌프의 변형 및 립의 회전에 의한 조절에는 기계적인 면과 함께 유체역학적인 검토가 동시에 이루어져야 한다. 소형 컴퓨터를 이용한 최적설계법의 활용도 가능하다.

입구형상의 설계가 양호하기 위해서는 내부손실이 적어야 한다.

특히, 이수(take-off)시의 공동현상 발생이 억제되어야 하며 순항중에는 외부항력이 적어야 한다. 따라서, 최적설계를 위해서는 항공기용의 익형개발에서와 같이 많은 이론적인 검토와 실험적인 검증이 요구되는 부분이다.

향후, WJP를 채택하는 선박의 대형화 및 고속화를 위한 성능개선을 위해서는 효율좋은 가변입구시스템의 개발이 필수적이며 공동현상대책과 함께 중요한 요소를 차지할 것으로 보인다.

한편, 입구부 전면에는 부유물의 혼입을 방지하기 위해 그릴을 설치한다. 이로 인해 내부흐름은 난류적인 특성이 더욱 강해지나 전체의 성능에는 거의 영향을 미치지 않으며, 한 계산예에 의하면 1% 미만의 효율감소를 가져오는 것으로 보고되어 있다.

그러나 실선에서 잘 설계된 그릴은 오히려 15%의 속도증가를 가져온 경우가 있으며, 특히 120-150노트 of 경주선에서는 그릴의 최적설계가 중요한 문제로 되어 있다. 또한 수중익선 및 공기부양선 등에서와 같이 공기흡입의 염려가 있는 경우에도 신중한 설계가 요청된다.

4.2 펌프

WJP용의 펌프는 일반적으로 고효율, 경량, 고회전속도 및 공동현상에 의한 손상방지등의 운전특성을 만족시켜야 한다. 또한, 원리상 배의 속도에는 둔감한 성질을 가지며, 작동유체에 고속 또는 고압의 에너지만을 공급하는 역할만을 수행한다. 따라서 육상용의 펌프원리 및 운전조건 등이 그대로 적용될 수 있다.

펌프형식으로는 어느 경우이나 터보식의 원심, 축류 또는 혼류형이 사용된다. 특히 경량화를 위해서는 높은 흡입비속도를 갖는 펌프가 필요하

다. 펌프입구에 유도장치(inducer)를 설치하여 공동현상을 방지하기도 한다. 펌프의 효율은 설계상태에서 0.88-0.90의 범위이다. 펌프의 최적선정에는 비속도의 개념이 쓰이며 펌프의 형식에 따라 최고효율을 내는 비속도의 범위가 다르다.

펌프의 효율은 축류펌프가 가장크며 2차원 원심펌프가 가장 낮다.

WJP용의 펌프형식으로는 주로 축류형이 선호된다. 축류펌프는 배치상의 잇점, 소형화, 단수(stage)증가가 용이한점, 그리고 높은 비속도를 낼 수 있는 점등이 특징이다.

배의 선속과 추력(thrust) 관계에서 보면 고속이 될수록 축류펌프의 경우가 원심식에 비해 추력이 감소하며, 저속에서는 반대로 축류식이 높은 특성을 나타낸다. 축류펌프의 경우에는 내부흐름이 대유량, 저압, 저유속인 것이 특징이며 원심식의 경우에는 반대로 저유량, 고압, 고속인 것이 특징이다.

따라서 WJP용으로는 이 두가지 특성을 동시에 갖는 혼류식이 범용성을 지닌다. 선속에 따른 편의상의 구분에 의하면 저속, 대추력선에는 축류식이, 고속, 경량선에서는 원심식에 가까운 혼류형이 적합하며, 20노트 전후의 중속선으로는 축류식과 원심식이 균형을 이룬 혼류형이 알맞다.

WJP의 효율면에서 보면, 최적의 입구속도비, 즉 선속에 대한 입구흡입속도비는 비교적 낮다. 따라서, WJP용의 펌프는 대용량의 작동유체를 저압 또는 저속으로 분출시켜야하는 운전조건이 필요하다. 일반적으로 WJP용의 펌프로서는 정상류 고정운전용의 기존펌프를 사용하며 임펠러등에 약간의 수정을 가한 형태가 주로 쓰이고 있다.

4.3 확산부 및 덕트

확산부 및 덕트는 입구에서 흡입된 유체를 펌프에 공급하기 위한 배관요소이다. 형상은 입구의 형식 및 면적, 입구중회비, 펌프의 위치, 플랜지형상 그리고 격리판 등에 의해 영향을 받는다.

입구형식면에서 보면 P형에서는 확산부 형상 및 성능이 외부형태 및 계통항력(system drag)에

의해 좌우된다. 반면, F형에서는 거의 영향을 받지 않는다.

P형에서는 균일류의 회전방향을 입구부의 곡선안내날개에 의해 효율 좋게 바꾸며, 스트럿부의 직선확산부에 의해 속도를 더욱 감소시킨다.

따라서 손실은 주로 마찰손실 및 방향전환에 기인한다. 수중익선의 경우에는 낮은 홀수에 대한 대책으로 스트럿과 포일이 상방향으로 수축되는 구조를 가지기도 한다. F형의 경우에는 선저전면에서 발생한 두꺼운 경계층의 영향을 받는다.

따라서, 속도의 불균일성에 의해 확산부의 내부에서 박리가 발생할 수 있으며 고속시에는 더욱 현저하다.

손실의 계산에는 일반적인 배관손실 데이터가 그대로 사용되나 F형의 경우에는 형상의 종류가 다양하여 이용할 수 있는 데이터가 부족하다.

이 경우에는 모형실험등을 통한 실험적인 근거가 필요하다.

확산부 내부에서의 공동현상 발생은 이수시의 험프(hump)상태에서 특히 심하며 P형의 경우에는 입구의 곡선 확산부에서, F형의 경우에는 입구부 형상에 기인하는 일종의 벤추리 공동현상이 발생할 염려가 있다.

또한 확산부의 형상이 펌프입구에서 장방향에서 원형으로 바뀌는 경우의 최적형상결정, 복수의 펌프 및 복수의 입구를 채택한 경우의 최적배관설치 등이 중요하다.

4.4 노즐

노즐은 교축작용에 의해 압력에너지를 속도에너지로 변환시키는 일종의 에너지 변환장치이며 이 과정에서 일부의 에너지가 손실로서 소비된다. 따라서, 노즐효율은 이와같은 손실이 적을수록 높으며 잘 설계된 노즐은 97-98%의 값을 보인다.

노즐면적을 조정할 수 있는 가변노즐을 채택한 경우에는 펌프와 엔진과의 원활한 맞춤이 가능하여 운동량 손실을 감소함으로써 효율의 개선을 가져올 수도 있다. 그러나 기계적인 구조가 복잡해지는 단점이 있어 고정단면의 노즐이 일반적으로

사용된다.

노즐에 관련해서 한가지 특징은 프로펠러 추진 방식에서의 전진계수(advance coefficient) 개념이 전혀 적용되지 않으며 WJP에서는 입구속도비가 이에 대응한다고 볼 수 있다.

역전이나 방향조정은 전용의 부속장치를 사용하여 분사방향을 기계적으로 바꾸어 줌으로써 가능하며 이들은 전체성능에 거의 영향을 미치지 않는다.

그러나 중량의 증가 및 배치상의 문제를 초래할 수도 있다. 일반적으로 프로펠러식보다는 역전 및 전후진의 조작특성이 우수한 것이 특징이다.

한편, 노즐의 분사각도를 약간 하방으로 하여 선체가 반작용으로 들어 올려짐으로서 수중익이 부담하여야 할 양력을 줄이는 방법도 가능하다.

이 경우에는 최적의 노즐각도 결정이 WJP의 효율전체에 영향을 미칠 수가 있다.

4.5 기관

WJP에 사용되는 동력원으로서 채택되는 기관은 특별한 요구조건이 없으며 기존의 기관이 그대로 사용된다. 이상적으로는 WJP의 특성에 맞는 엔진을 개발하여 사용할 수도 있으나 여기에는 비용을 감안한다면 기존의 엔진을 수정하여 사용하는 쪽이 훨씬 유리하다고 볼 수 있다.

이와 같은 이유로서는 다음과 같은 점들을 들 수 있다. 즉, WJP추진방식은 원리적으로 구동엔진에 과도토크 또는 과속을 유발하지 않는 장점이 있음으로서 다양한 운전조건하에서도 엔진은 이상적인 동력-축회전속도곡선에 따른 운전이 가능하다. 따라서, WJP용의 엔진은 프로펠러 방식과 비교하여 황천항해 등의 해상조건에 따른 속도 변화에 영향을 받지 않음으로서 과부하의 염려없이 MCR상태에서 운전이 가능하여 악천후에서도 속도성능이 우수하다. 이와 같은 원리적인 장점이 있음으로서 프로펠러방식에 사용되었던 엔진이 그대로 사용될 수 있다고 보아진다.

현재 초고속선에 채용되는 엔진은 크게 가스터빈 및 경량디젤엔진의 두가지가 있다. 표2는 엔진

의 중량 및 연료소비율을 정리한 것이다. 중량면에서는 가스터빈이 압도적으로 우월하나 연료소비율 면에서는 디젤엔진쪽이 우수하다. 따라서 원양용으로서 터빈을 사용할 경우에는, 엔진자체의 중량은 작으나 탑재연료의 중량이 커짐으로서 선체의 초기무게가 증가하는 문제점이 동시에 검토되어야 한다.

Table 2 Engine and fuel weight for high-speed craft

Engine	Weight of Eng. lb/hp	Fuel Cons. Rate lb/hp-hr	Weight of Engine Plus Fuel lb/hp			
			1 hr	5 hr	10 hr	20 hr
Diesel	10	0.375	10.375	11.875	13.75	17.5
Developed diesel	4	0.35	4.35	5.75	7.5	11
Piston	1.4	0.55	1.95	4.15	6.9	12.4
Gas turbine	0.75	0.60	1.35	3.75	6.75	12.75

또한 두가지의 엔진이 동시에 사용될 수 있다. 한 예로 NATO에서 개발중인 고속함정에는 CODOG(Combined Diesel or Gas Turbine)개념에 따라 주추진용으로서 두가지의 엔진을 겸용해서 사용하는 방식을 택하고 있다(그림9참조).

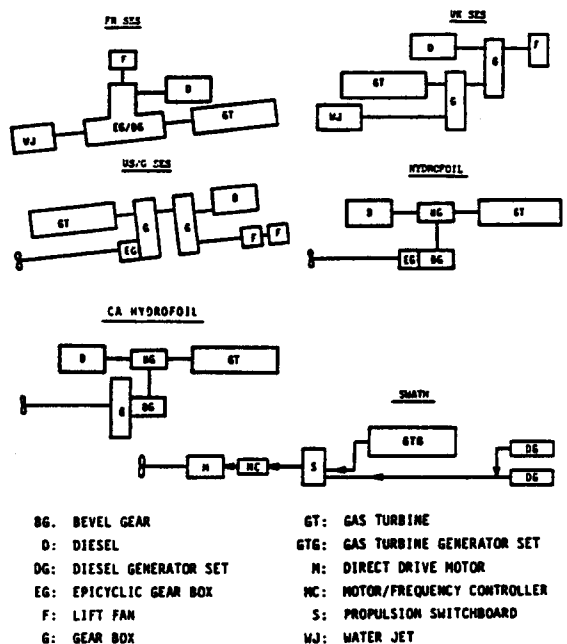


Fig. 9 Propulsion system schematics for ANV

일본에서는 테크노 슈퍼 라이너계획에 의거하여 50노트 속도를 갖는 1000톤규모의 원양용 컨테이너선을 개발 중에 있으며 여기에 사용되는 엔진으로써 가스터빈을 택하였다.

한편, 국내의 경우에는 다양한 규격의 WJP에 대응할 수 있는 엔진의 생산이 불가능한 실정이며 소수의 중소형 박용엔진이 대신 사용될 수 있을 것이다. 그러나 종류가 많지 않으므로 만일 WJP 시스템을 먼저 구입한 뒤에, 여기에 맞는 엔진을 수배하는 경우에는 애로가 따를 것으로 예상된다. 따라서, 현실적으로는 엔진을 먼저 선정 한 뒤에 여기에 맞는 WJP를 선택하는 것이 편의적인 방법으로 보인다.

또한 WJP용의 엔진으로 고효율의 가스터빈이 점차 많이 쓰이는 추세에 있으나 국내의 경우에는 이에 관한 국산화기술이 일천하여 초고속선에 적합한 경량디젤엔진의 개발과 함께 해결하여야 할 과제로 여겨진다.

4.6 동력전달장치

WJP의 경우에는 엔진과의 연결에 직접연결방식이 주로 사용되며 대개의 경우 기어박스나 클러치 등이 필요하지 않다. 그러나 입구형상이 P형인 경우에는 직각기어 등이 필요하며 실링 및 윤활문제 등이 부수적으로 발생하기 쉽다.

저속의 경우에는 유니버샬 조인트가 사용된다. 감속기어의 경우에는 유성기어가 스퍼기어 또는 헬리컬기어보다 가볍고 컴팩트한 장점이 있으나 출력에 제한이 있다. 일반적으로는 스퍼기어가 무리없이 사용될 수 있다.

4.7 배치방법

WJP에서도 프로펠러식과 마찬가지로 단수 또는 복수개의 추진기를 사용할 수 있다. 단일엔진에 단일WJP를 채용하는 방식이 가장 간단한 방법이나, 안정성 또는 조정성 등의 면에서 복수의 엔진 및 추진기를 배치하는 경우가 흔하다.

일례로서 세대의 WJP추진시스템을 설치한 선박의 경우 전속력을 얻고자 할 때에는 전부를 사

용하고 크루징 스피드에서는 사이드의 두대만을 운전하여 항상 최적의 운전조건을 갖추는 경우도 있다.

초기설치비용은 프로펠러식에 비해 많이 들 수 있으나 운전중의 제반 보수비용은 WJP방식이 적게 든다. 한 실적보고서에 의하면 단일프로펠러 추진선의 경우가 3대의 WJP를 장치한 선박보다 보수비용이 3배 이상 증가함을 보이고 있다.

한편 두대의 WJP를 설치한 경우에는 선회반경이 종래의 프로펠러방식보다 40% 이상 감소하며, 선회속도는 두배 이상 증가한 실험결과도 보고되어 있다.

5. 각국의 개발동향

초고속선의 추진방식으로서 WJP가 세계적으로 각광을 받고 있으며 특히 유럽 및 미국을 중심으로 채택실적이 두드러진다.

예를들어, NATO를 중심으로 한 고속함정의 추진시스템으로서, 또는 거대SES 및 고속페리선의 추진방식으로서 많은 활용을 보이고 있다. 이하, 각국의 적용 예 및 WJP메이커를 중심으로 소개하고자 한다.

5.1 WJP의 적용예

NATO는 해군력 증강계획의 하나로써 차세대 ANV(Advanced Naval Vehicle) 프로젝트를 수행하고 있으며 SWATH, SES, 수중익선 및 ACV 등의 고속함정의 개발에 중점을 주고 있다. 구체적인 서브 프로그램으로서 MCM(Mine Counter-Measure) 및 ASW(Anti-Submarine Warfare)계획을 SWG/6(Special Working Group Six)의 주도하에 진행 중이다.

현재 WJP를 채택한 최대급의 SES는 미해군 소유의 SES200(200톤, 사진10참조)이나, 1300-1900톤 까지를 개발목표로 세우고 있다.

독일은 1993년에 700톤급의 WJP추진방식 SES를 건조하기 위한 모형실험(사진11참조)을 진행 중이다.

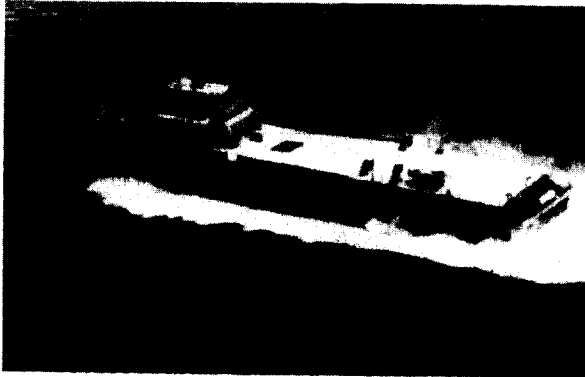


Fig. 10 U.S. navy SES200 with WJP

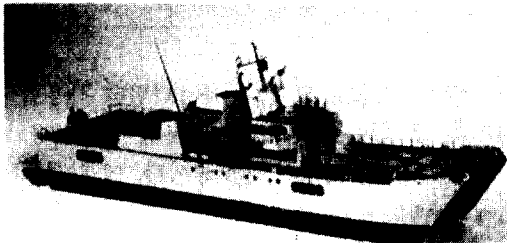


Fig. 11 Experimental ship SES700(German Navy)

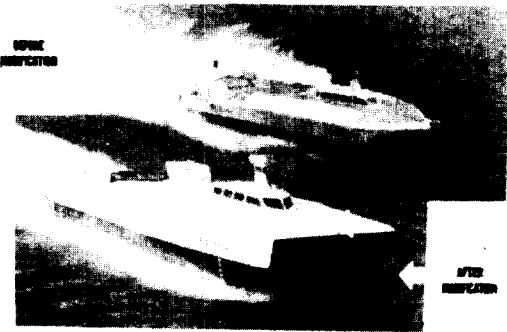


Fig. 12 U.S. navy SES100A(76 knots)

한가지 흥미있는 사실은 WJP를 채택한 세계최대급의 SES와 76노트(속력)를 자랑하는 세계최고속의 SES(SES100, 사진12참조)는 전부 미해군에서 개발하였으나 상기의 ANV계획에서 보면 미국은 종래의 프로펠러 방식을, 유럽은 WJP방식을 선호함을 알 수가 있다. 그 이유로서 미국은 추진효율면, 유럽은 안전성 및 신뢰성을 포함한 전체적인 시스템운영면에서 평가를 하기 때문에 보아진다. 그림13은 NATO에서 WJP방식을 채택한 고속함의 예를 보인다.

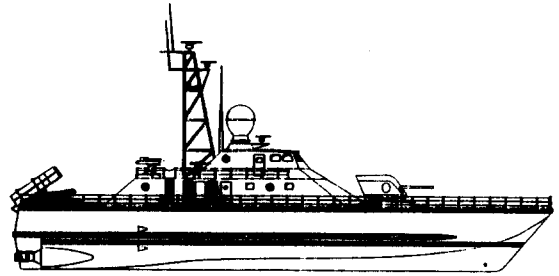


Fig. 13 SES for NATO ANV program

한편 미국은 오대호 및 내륙수운용으로 ACV와 SES를 중심으로한 고속선을 운영하고 있으며 추진방식으로서 WJP를 주로 택하고 있다. 예를 들어 표3은 60노트의 카페리용으로 요구되는 규격의 일부이나 수중추진방식은 WJP를 택하고 있다.

영국 및 호주는 고속쌍동선에 WJP를 택하여 우수한 실적을 올리고 있다. 표4는 제원의 일부를 보이고 있으나 추진기가 2대 또는 4대이며 주로 디젤엔진이 사용된 점이 특징이다. 그림14는 실선의 스케치이나 선미에 분사노즐이 장착된 모습을 보이고 있다.

마지막으로 일본에서 계획, 추진중인 TSLRA (Techno-Super Liner Research Association)의 프로젝트를 소개하고자 한다. 이 프로젝트는 일본의 조선 7대 메이커가 합동으로 결성한 연구 계획이며, 주요목적은 선속50노트, 항속거리 500해리 이상의 1000톤급 원양컨테이너선의 설계, 건조기술을 확립하고자 함에 있다.

그 배경으로서는 다음과 같은 점이 제안되고 있

Table 3 Requirements for an ACV or SES car ferry

Rayload : 90 tons
Payload deck space : automobile=6500 ft ² , passengers=300 ft ²
Design cruise speed(calm water) : 60 knots
Range : 240 nautical miles
Engine type : gas turbines
Propulsion system : 4 airscrews for ACV ; 2 waterjets for SES
Hull construction : light alloy
Skirt type : bag and finger

Table 4 Specification list of wave piercer

	31m	38m	42m	49m	52m	71m
전 장	30.45~39.75m	36.00~39.00m	42.00m	48.70m	52.10m	71.00~74.00m
전 폭	13m	13~16m	15.60m	18.70m	18.20m	25.80~26.00m
흘 수	2.00~2.12m	1.06~1.30m	1.60m	1.50m	1.50m	2.40~2.50m
출 력	1,000HP×2(디)	1,640HP× 2~(디)2,240 HP×2	3,700HP×2(가)	1,680HP× 4~(디)2,240 HP×4	2,240HP×4(디)	4,770HP×4(디)
추 진	프로펠러×2	WJP×2	WJP×2	WJP×4	WJP×4	WJP×4
최고속력	29~31kn	31~41kn	45kn	35~39kn	40kn	40~43kn
항해속력	25~27kn	28~38kn	42kn	32~36kn	36kn	35~37kn
여객정원	200명	250명~350명	200명	450명	300명	450명
탑재차량	-	-	-	-	20대(승)또는 4~5 대(버), +(승)	84대(승용차환산)

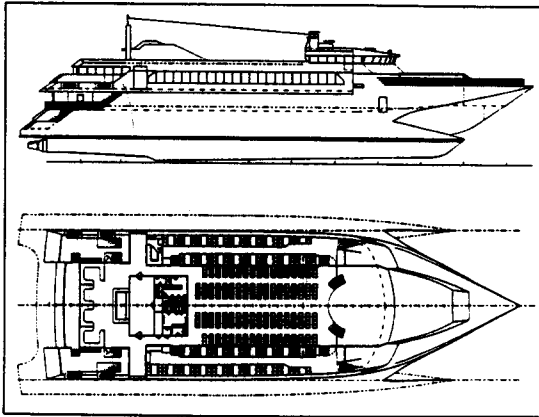


Fig. 14 Car ferry wave-piercer(71m long)

다. 우선, 제품의 고부가가치화, 생산거점의 해외 이전 등으로 수송의 고속화가 요구되나 종래의 항공수송은 비용면에서 실용적이 되지 못하는 실정이다. 따라서, 항공수송과 선박수송의 중간적인 성격을 가진 상품운송수단의 출현이 요구되어 온 점을 들 수가 있다.

다음으로 선박의 작업환경이 주는 이미지로 인해 젊은 세대의 선호도가 떨어지는 점을 감안하여, 제트여객기에서 연상되는 고급 또는 첨단 이미지를 창출하기 위해 종래의 개념과는 전혀 다른 설계방식을 도출하는데 목적이 있다. 그림15에서 보는 바와 같이 선형은 전혀 다른 모습을 보이고 있다. 추진방식으로서 WJP를 택하고 있으

며, 엔진은 10,000 SHP의 가스터빈을 사용할 예정이다. 동시에 초고속성능에 부합하는 선형, 구조 및 재료면의 연구가 진행중이다. 예를 들어 선저에는 페인트도료를 사용하지 않는다거나, 선체 재료로서는 스테인레스 또는 티타늄을, 상부구조에는 강화섬유를 채택할 예정으로 되어있다. 이 계획은 1989년에 시작되어 5개년 사업으로 추진중에 있다. 내용에 의하면 동경-한국은 0.5일, 동경-대만은 0.8일, 동경-상해는 0.9일이 소요되며, 운임은 항공운임의 1/10이하로 떨어질 것으로 예상하고 있다.

우리나라의 경우에는 소형의 외국제품을 수입 판매하는 업체가 소수 있으며, 최근에 한일항로에 투입된 고속여객선, 포항-울릉도간의 고속여객선 등에 WJP추진방식을 택하고 있다.

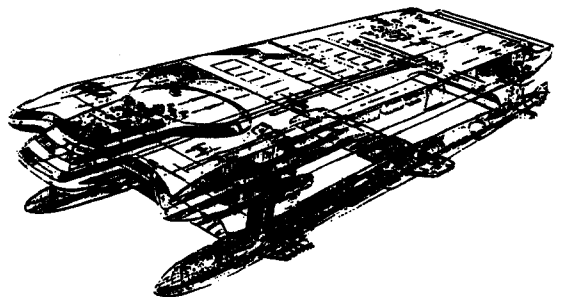


Fig. 15 The projected techno-super liner configured as a containership(50knots, 1000ton)

5.2 WJP제조업체

전세계적으로 WJP시스템을 자체기술로 생산하는 나라는 독일, 이탈리아, 뉴질랜드, 스웨덴, 영국, 미국등이며 일본의 경우에는 기술제휴의 형태로 생산하고 있다. 나라별로 제조업체를 간략히 소개하면 다음과 같다. 단, 인용한 수치들을 거의 1988년도가 기준임을 밝힌다.

먼저 독일의 경우에는 Schoffel - Werft사의 Schoffel Pump Jet 시리즈가 있다. 구조가 특이하여 원심식의 펌프로 되어 있으며 특히, 수심이 낮은 곳에서도 운전이 가능하도록 설계되어 있다. 1978년에 처음으로 생산을 하였으며 최대 400Kw급이 선을 보이고 있다.

이탈리아는 Riva Calzoni SpA사가 1912년에 처음으로 생산을 개시하였으며 IRC시리즈로서 25000Kw급이 최대이다. NATO의 CODOG추진계에도 채택이 되어 7600 PS의 가스터빈에 연결, 사용되고 있다.

뉴질랜드는 CWF Hamilton사가 1953년부터 생산을 개시하여 Hamilton Jet시리즈를 내고 있다. 최대 650Kw급이 있으며 우리나라의 호수유람선에 동급의 제품을 1986년에 납품한 실적을 가지고 있다.

스웨덴은 KaMeWa사가 1930년대부터 프로펠러를 생산하였으나, 1960년대 중반부터 WJP추진기를 제작하기 시작하였다. 1983년에 요트용으로 출력 10220Kw의 가스터빈에 연결되어 사용된 것이 최대이다. 홍콩경시청의 패트롤선 및 스웨덴 해군의 코르벳급 함정에 다수 채택되고 있다. 이 회사는 현재 100,000 마력의 것을 개발중에 있으며 그림16은 자사가 제시한 WJP의 추진효율을 보이고 있다. 45노트에서 70%를 상회하는 효율을 보이고 있다.

영국에는 DHV(Dowty Hydraulic Units)사 및 PP Jets사가 있고 각각 최대 600Kw, 그리고 500Kw의 것을 생산하고 있다.

미국은 North American Marine Jet Inc. 사가 Nomera시리즈를 생산하고 있으며 1984년에는 Jacuzzi Marine Jet사를 합병하여 최대 700마력

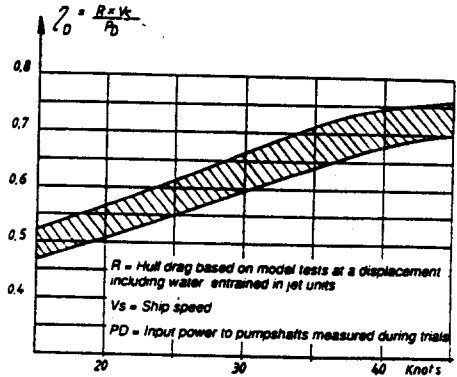


Fig. 16 Waterjet propulsive efficiency based on monhulls, catamarans and SESs in the range 85-400t (power ranging upto 14000HP/shaft)

의 것을 생산하고 있다.

6. 맺음말

이상에서와 같이 WJP에 관한 내용을 개설적으로 설명하였다. 요약하면 향후의 초고속선의 추진 방식으로서 WJP가 유리한 위치를 차지할 것으로 전망된다. 만일 50노트의 고속선이 취항하는 경우에 서울-부산간을 $418\text{Km} / (50\text{knots} \times 1,852\text{Km}) = 4.51\text{h}$, 즉, 4시간반만에 주파할 수 있는 속도이며 이는 현재의 새마을호의 운행속도와 비교될 수 있다.

따라서, 여객 및 화물을 이와 같이 고속으로 수송할 수 있다면 연안선박수송은 육상의 고속 버스 또는 트럭과도 속도면에서 경쟁이 되며 나아가 선박수송의 장점이 충분히 발휘될 것으로 전망된다. 한편 국제적인 상품운송수단으로서도 각광을 받을 수 있을 것이다.

머지않아 국내에도 첨단기술을 자랑하는 하이패션의 대형초고속선이 등장하여, 특히 젊은 인력의 매력적인 일터로서도 각광을 받을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

이상의 내용을 정리하는데 인용된 참고문헌을 다음과 같이 구분하여 제시한다. WJP에 관한 최신의 문헌은 거의가 해설적인 수준에 머물고 있으며 기술논문은 대외비의 성격을 띠고 있다.

따라서, 이에 관한 연구를 수행하는데 있어서 연구자 상호간의 긴밀한 정보교환 및 토론이 무엇보다 필요하다고 보여진다.

<논문>

- [1] Barr, R.A., and Etter, R.J., "Selection of Propulsion Systems for High-Speed Advanced Marine Vehicles", *Marine Technology*, 33-49, Jan, 1975.
- [2] Bandau, J.H., "Performance of Waterjet Propulsion Systems-A Review of the State-of-the-Art", *J.Hydroautics*, Vol. 2, No.2, 61-73, April, 1968.
- [3] Brandau, J.H., "Waterjet Propulsion-A Critical Survey of the State of the Art and a Recommended Research and Development Program", *Hydromechanics Laboratory TN70*, April 1967.
- [4] Kim, H.C., "Hydrodynamic Aspects of Internal Pump-Jet Propulsion", *Marine Technology*, 80-98, Jan, 1966.
- [5] Hatte, R., and Davis, H.J., Selection of Hydrofoil Waterjet Propulsion Systems, *J. Hydroautics*, Vol.1, No.1, 12-22, July, 1967.
- [6] Johnson, JR., V.E. "Waterjet Propulsion for High-Speed Hydrofoil Craft", *J.Aircraft*, Vol.3, No.2, 174-179, March-april, 1966.
- [7] Nereng, B., Holden, K., and Svendsen C.V., "Development and Experience of Waterjet Propulsion System", *Int. Cong. Int. Maritime Assoc. Trieste*, 1148-1179, Sep, 1981.
- [8] Svendsen, R., "Experience with Jet-Propulsion Systems", in *Various Type of Craft*, (unknown), 1986.
- [9] Wilson, M.B., "A Survey of Propulsion-Vehicle Interaction on High-Performance Marine Craft", *Proc. 18th ATTC*, Ann-apolis, 201-249, 1977.
- [10] Levy, J., "The Design of Water-Jet Propulsion Systems from Hydrofoil Craft", *Marine Technology*, 15-25, Jan, 1965.
- [11] Etter, R.J., "Waterjet Propulsion-An Overview, Marine Propulsion", *Ocean Eng. Div. ASME, N.Y.*, Vol.2, 97-128 1976.
- [12] Parker, R.G., "Waterjet Drive, RINA Small Craft Group", *Int. Con., Sterngear*, Paper No. 10, Nov. 1982.
- [13] Gangdharan, S.N., Krein H., "Jet-Propelled Remote-Operated Underwater Vehicles Guided by Tilting Nozzles", *Marine Technology*, Vol.26, No.2, 131-144, April, 1989.
- [14] Seastrom, J., "Successful High-Speed Fleets Prove Viability of Water-Jet Propulsion", *North American Marine Jet Inc. Report* (unknown).
- [15] Di Blasi, D.G., "Choice of Hydrofoil Propulsion", *High-Speed Surface Craft*, (unknown), 443-454.
- [16] Venturini G., "Waterjet Propulsion in High Speed Surface Craft High-Speed Surface Craft", (unknown), 125-142.
- [17] Blount, D.L., Fox, D.L., "Small-Craft Power Prediction", *Marine Technology*, Vol. 13, No.1, 14-15, Jan, 1976.
- [18] Fujisawa, N., Takebe, T., Shirai H., "Optimum Design of Water-Jet Propulsion Systems for High-Speed Hydroplane Boat", 3rd Japan-China Joint Conf. on *Fluid Machinery Osaka*, Vol.2, 17-24, 1991.
- [19] Venturini, G.N., "Waterjet Propulsion Dynamics", *Hovering Craft and Hydrofoil* Nov 17-27, 1973.
- [20] Hoshino, T., Baba E., "Self-Propulsion Test of a Semi-displacement Craft Model with a Waterjet Propulsor", *J.of Soc. Nav. Archit.* Vol.155, 50-57, 1984.
- [21] Traksel, J., Beck, W.E., "Waterjet Propulsion for Marine Vehicles", *J.Aircraft*, Vol.3,

No.2, 167-173, March-April, 1966.

- [22] McGown, J.G., Murthy, S.N., "A Feasibility Study of a Hydromagnetic Waterjet Propulsion System", *J.Hydroautics*, Vol.5, No.1, 31-37, Jan, 1971.
- [23] Gausiunas, A., Lewis, W.P., "Hydraulic Jet Propulsion: A Theoretical and Experimental Investigation into the Propulsion of Seacraft by Water Jets", *Proc. Instn Mech. Engrs.* 178 Pt.1 No.7, 185-206, 1963-64.
- [24] Hewins, E.F., Reilly, J.R., "Condenser Scoop Design", *Soc. of Naval Architects and Marine Engineers*, Trans. Vol.48, 277-304, 1948.
- [25] Pallabazzer, R., "Improvement of the Performance of a Waterjet by Means of Polymeric Additives-Experimental Investigation", *J.Ship Research* Vol.28, No.3, 202-207, Sep, 1984.
- [26] Gongwer, C.A., "The Influence of Duct Losses on Jet Propulsion Devices Jet Propulsion", 385-386, Nov-Dec, 1954.
- [27] Svensson, R., "Water Jet Propulsion of High Speed Craft", *Ka Me Wa AB Reprint*(unknown).
- [28] Svensson, R., Water Jet Propulsion of Large Naval Craft(unknown).
- [29] 村尾麟一, 井龜 優, 水ジェット推進側壁型エアクション船の動力推定, 日本航空宇宙學會誌 第27巻 第301號, 73-80, 1979.
- [30] 矢木孝宣, 小型ハドロジェット艇の性能試験について, 日本造船學會論文集, 第125號, 45-53.
- [31] 田英正, 村井麟一, 水ジェット推進用吸入口の特性, 日本航空宇宙學會誌 第27巻 第301號, 80-85, 1979.
- [32] 藤田延行, その他, ウォータージェット推進を用いた高速滑走艇の加速推進特性の測定, ターボ機械 第15巻 第11號, 46-50, 1987.
- [33] 藤澤延行, 田部真眞史, 白井紘行, ウォータージェット推進用水取入口における基本特性の測定と流れの可視化, ターボ機械 第18巻 第2號, 20-27, 1990.
- [34] 柏谷達男, ウォータージェット水取入口形状の

研究(第1報), 日本造船學會論文集 第157號, 118-128, 1986.

- [35] 谷達尾男, ウォータージェット水取入口形状の研究(第2報), 日本造船學會論文集, 第159號, 118-128, 1986.
- [36] 石川明男, 水ジェット推進器吸入口表面の壓力分布計算について, 關西造船協會誌 第189號, 83-90, 1983.

〈참고서〉

- [1] 丹翊誠一, 高速艇工學, 舵社, 1971.
- [2] 池田勝, 高速艇の設計と製圖, 海文堂, 1978.
- [3] 이성길, 이채우, 공기부양선, 과학세기사, 1987.
- [4] Bhattacharyya, R., Dynamics of Marine Vehicles, Wiley-Interscience Pub., 1978.
- [5] Clayton, B.R., D.Bishop, R.E., Mechanics of Marine Vehicles, E. F.N. Spon, Ltd., 1982.

〈해설 및 기타〉

- [1] Lavis, D.R., Spauldig, K.B., "Jr, Surface Effect Ship(SES) Developments Worldwide", *Naval Eng. J.*, Sep 39-83 1991.
- [2] MER, "High Power Waterjets Proposed for Techno-Super Liner Project", March 17 1990.
- [3] The Motor Ship, Car-Carrying Catamaran Enters Channel Service, May 38-42 1990.
- [4] Wright, C., "Operation and Cost of High-Speed Craft", *Marine Technology*, Vol. 27, No.2, 104-113, March, 1990.
- [5] Lavis, D.R., Rogalski, W.W., Jr. and Spaulding K.B., "The Promise of Advanced Naval Vehicles for NATO", *Marine Technology*, Vol. 27, No.2, 65-93, March, 1990.
- [6] Allison, J.L., "Air-Cushion Vehicles and Surface Effect Ships for Great Lakes and Great River Transportation", *Marine Technology*, Vol.27, No.6, 337-355, Nov, 1990.
- [7] Hamilton Jet Workshop Manual, 1985.
- [8] Davison, G.H., "Modern Marine Jet Propulsion, Nav. Archit. No.6, 234-235, Nov, 1979.

- [9] MER, Unlimited Potential for Waterjets in High-Speed Market, 37, May, 1990.
- [10] MER, Waterjets feature strongly in High-Speed Craft, 37, Feb, 1988.
- [11] MER, Naval Machinery-Waterjets on the Move, 38, Aug, 1991.
- [12] Jewell, D.A., "Possible Naval Vehicles", *Ocean Engng.* Vol.6, 247-272 1979.
- [13] McGhee, G.D., Navy, U.S., 3000-LT Surface-Effect Ship(3KSES)Program, SNAME Trans. Vol.85, 396-418 1977.
- [14] 赤木新介, 輸送機關の高速化とエネルギー技術, 日本機械學會 95卷 878號, 62-66, 1992.
- [15] 菅井和夫, 新形式超高速船の研究開發の紹介, 日本造船學會誌 第739號, 2-6, 1991.
- [16] 西村博和, 解説-テクノスーパーライナー, メカライフ, No.23, 22-23, 1991.
- [17] 船の科學, 新形式 超高速船の研究開發について, Vol.42, 38-42, 1989.
- [18] 岩崎佑次, 山口義則, ジェット スキー-TS, 内燃機關28卷 7號, 87-83, 1989.
- [19] 船の科學, オーストラリア生まれの波浪貫通型, 輕合金高束雙胴旅客船 42卷, 66-69, 1989.
- [20] マリン エンジニア, 超高速旅客船 川崎ジェットフオイル, 第518號 18-23, 1991.
- [21] E.G.Tattersall, ホーバーマリンの展望-過去及び將來の20年間-, 日本航空宇宙學會誌, 第27卷 第301號, 57-66, 1979.
- [22] 成合秀樹, Water Jet 推進について, 日本造船學會誌 第476號, 67-74, 1969.
- [23] 정운선, 일본의 조선조기기술의 전망, 대한조선학회지, 제28권 제2호, 29-43, 1991.
- [24] 황종홀, 이규열, 21세기를 지향한 조선기술개발 동향(1), 대한조선학회지, 제28권 제3호, 36-46, 1991.
- [25] 양승일, 전망-선박고속화의 한계, 대한조선학회지 제28권 1호, 25-29, 1991.
- [26] 한국선급협회, 회보-Water-Jet 추진장치의 검사요령 No. 87-8-E
- [27] 박명규, 신고속선 등장에 따른 활용화 연구, 해양대학보, 제88호, 1990년 11월 24일
- [28] 조선일보, 시속100km 워터젯트쌍동선개발, 1990년 11월 8일 5판.
- [29] 조선일보, 해상운송고속화, 1991년 6월 3일
- [30] 朴命圭, 초고속화물선개발논단, 부산일보, 1992년 4월 22일

단체 회원 가입을 축하합니다.

홍익대학교 과학기술대학 조선해양공학과
Naval Architecture & Ocean Engineering
College of Science & Technology HONGIK UNIV.

학과장: 김익재

충남 연기군 조치원읍 신안동 산 34-11

TEL : (0415) 60-2545

FAX : (0415) 60-2238