선박용 연료절감장치 Pre-Swirl Duct의 설계 및 평가방법 연구

신현준^{1,†} · 이강훈¹ · 한명륜¹ · 이창열¹ · 신성철²

(주)현대중공업¹

부산대학교 조선해양공학과²

Pre-Swirl Duct of Fuel Oil Saving Device Design and Analysis for Ship

Hyun-Joon Shin^{1,†} · Kang-Hoon Lee¹ · Myung-Ryun Han¹ · Chang-Yul Lee¹ · Sung-Chul Shin²

Hyundai Heavy Industries¹

Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Recently, with oil price jumping and environmental issues, Green ship is paid deep attention to by ship owner, operator, builder, class and government. Fuel efficiency and reduction of CO₂ emissions are expected to have a strong influence on the design and operation of merchant ships. Many ship owners and operators are seeking the more economic method by the best operating route and the application of reliable and effective energy saving devices. With the Energy Efficiency Design Index (EEDI) in 2013 attention will more than ever be focused at achieving maximum fuel economy in the hydrodynamic design of hull forms, their appendages and propellers. IMO requirements for CO₂ emission for ships will now be implemented for vessels ordered from 1st January 2013. So far, a lot of new idea and patents have been proposed, tested, claimed and applied for various kinds of ship type. This paper shows numerical and experimental work related to a study on a energy saving devices particularly for fuller ship such as merchant vessel of Tanker and Bulker. From the bare hull wake measurements, typical upper/lower asymmetry of hull wake at the propeller disk was found. The pre-swirl duct have been designed and reviewed to recover the loss of propeller running in that condition. The general function of the pre-swirl duct was set to work against this asymmetry of wake and generate pre-swirled flow into the propeller against the propeller rotating direction.

Keywords : Energy saving(에너지 절감), Pre-swirl duct(전류 고정 덕트), Recover the loss of propeller(프로펠러 손실 회복)

1. 서론

지속적인 원유가격 인상과 환경오염 방지 이슈들과 함께, 그린십이 선주, 운항사, 선박건조회사, 선급과 정부 등 모두의 최대 관심사다. 그린십은 선박운항과정에서 연비를 높이고 온실가스 배출을 줄이는 기술이다. 최고의 그린십을 만들기 위해 각 조선 업계는 치열한 전쟁을 벌이고 있고, 그만큼 연료효율 향상과 CO₂ 배출량 감소는 설계와 선박운항에 강력한 영향력을 미치고 있다. 또한, 선사들과 운항사들도 기존 선박의 효과적이고 신뢰성 있는 선박연료 절감 장치를 찾고 적용하기 위해 최선의 노력을 기울이고 있으며, 전류고정 날개 (Kang, et al., 2004; Takekuma, et al., 1980)를 비롯한 각종 선박용 에너지 절감 장치에 대한 학계의 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히, 국제 해사 기구 (IMO)가 2013년부터 EEDI(Energy Efficiency Design Index)지수

채택을 의무화 하면서, 선형, 추진기 그리고 연료절감 장치의 유체역학적 설계가 연료 경제성 확보에 있어 어느 때보다 최고의 관심사가 되었다. 선박용 연료절감장치는 지금까지 많은 아이디어와 특허가 제안, 개발되었고, 실선에 대한 수치적 연구 (Choi, et al., 2003; Choi, et al., 2011)가 이루어져 여러 종류의 선박에 적용되어 왔다.

다양한 선박용 연료 절감 장치 중에서 Pre-swirl duct는 프로펠러 전방에 설치되어 프로펠러로 유입되는 유체흐름을 가속시키고, 프로펠러 회전과 반대 방향으로 미리 유체흐름을 바꾸어 주는 장치이다. 이를 통해 프로펠러로 유입되는 반류(wake)를 개선하여, 진동, 소음, 캐비테이션 측면에서의 프로펠러 성능을 향상시키고, 프로펠러 후류의 회전손실을 막아 추진효율을 상승시킨다. 이와 같은 장치를 설계하기 위해서 프로펠러 전후방의 흐름에 대한 유체역학적 이해를 바탕으로 Pre-swirl duct의 효과적인 설계인자를 결정하고, 수치 해석을 통해 각 설계인자를 변화시키

면서 최적 설계를 찾아가는 것이 유효한 방법으로 생각한다. 이에 더하여, 유전자 알고리즘과 최적 설계 기법 (Kim, et al., 2002; Kim, et al., 2003; Davis, 1991; Michalewicz, 1995)의 활용은 최적해(최적설계 안) 탐색하거나 혹은 다양한 선박에 동일 개념의 아이디어를 확대적용 하는데 있어 보다 효과적인 설계방법이 될 것이다.

본 연구에서는 유조선(TANKER) 및 살물선(BULK CARRIER)등 저속 비대선에 효과적으로 적용 가능한 Pre-swirl duct의 설계 과정과 성능 평가 방법을 수치해석 및 모형시험을 통해 개발하고, 검증한 내용을 소개 하고자 한다.

2. 연료 절감 장치 설계 원리 및 과정

최적의 연료절감 장치를 설계하기 위해서는 유체역학적 특성을 고려하여 선체와 프로펠러가 기본적으로 갖고 있는 에너지 손실을 어떻게 회복할 것인지를 먼저 결정하여야 한다. 즉, 목적에 맞추어 개발하고자 하는 선박용 연료절감장치 적용의 개념적 정의를 내려두어야 한다. 선박의 운항 특성 및 종류에 따라서 효과적인 연료절감 부가장치의 종류도 달라질 것이다. 그리고, 저항 추진 성능의 향상을 위한 최종 달성 목표를 설정한다. 적용하기로 한 선박 연료 절감 장치의 각 부분을 요소 별로 분해하고, 각 요소에 설계 목표치를 배분하여 수정설계와 수치해석 그리고 모형시험의 반복적 수행을 통해 최종의 최적 연료 절감 부가 장치를 설계하는 것이다.

Fig. 1 은 선박용 연료절감 장치를 개발하기 위한 전반적인 설계 절차를 Pre-swirl duct로 예를 들어 나타낸 것이다. 먼저 선박의 종류 및 설계 조건을 파악하고 그에 따라 개발하고 적용할 최선의 선박용 연료 절감 장치를 생각하고 관련 자료를 조사한다. 일반적으로 연료절감 부가물은 프로펠러 전, 후 혹은 프로펠러면에 장착하게 된다. 해당 연료절감 장치가 선체에 작용하는 영향력을 분석하고 물리적인 작동 원리를 고려한 개념설계를 통해 대략적인 설계 방향을 정한 후, 설계 인자를 결정한다. 수치해석을 통해 설계인자 별 영향력 연구를 수행한 후, 이를 변화시켜가며 반류, 압력 분포, 유선을 분석하고 전달마력을 계산한다. 이와 같은 절차를 순환하여 최종 목표가 되는 전달마력에 도달하도록 설계변경을 수행하게 된다.

프로펠러는 일반적으로 선체 뒤에서 구동하기 때문에 선체로 인해 프로펠러 상 하면에 비대칭 반류가 생기고, 이로 인한 캐비테이션 및 진동 문제가 발생되기도 한다. 또, 프로펠러는 회전을 하여 추력을 냈고 동시에 후방에 회전류를 만듦으로써 에너지 손실을 발생 시킨다. 이러한 프로펠러의 후방 회전 손실 에너지를 회수하거나 캐비테이션, 진동문제를 해결하기 위해서 목적에 따라 상반회전프로펠러나 전류고정 날개 혹은 반류 균일화 덕트(Wake Equalizing Duct) 사용될 수 있다. 또는, Pre-swirl duct와 같이 프로펠러 전방에서, 덕트로 추력을 발생시키고, 프로펠러로 유입되는 반류를 균형화하는 역할을 함과 동시에 덕트 내부에 핀을 사용하여 프로펠러 전방에서 역회전 방향의 유동을 발생시킴으로써 프로펠러 후류의 회전에너지 손실을 회수하는 효과적인 복

Fig. 1 Design procedure for optimum design using design parameter

합 선박연료 절감장치가 사용되기도 한다.

Pre-swirl duct는 크게 덕트와 핀으로 구성된다. 덕트는 Fig. 2 에서와 같이 노즐의 단면 형상에 따라 중립 노즐, 가속 노즐, 감속 노즐로 분류할 수 있으며 필요한 선박 성능 향상 목적에 따라 각 덕트 노즐 타입이 적절히 사용되고 있다.

Fig. 2 Nozzle type; (a) neutral nozzle (b) accelerating nozzle (c) decelerating nozzle

선미 스캐그형 일반 상선의 경우, 프로펠러로 유입되는 유체는 프로펠러 앞에 위치하는 선미선형의 그늘로 인해 프로펠러 평면

에서 아래, 윗부분의 속도가 다르게 된다. 이러한 불균형을 개선하기 위해서 가속 노즐형태를 사용하여 프로펠러 윗부분의 유입류의 속도를 증가시키면, 덕트는 추력을 내게 되고 프로펠러로 유입되는 유체의 흐름 반류분포를 균일화시킬 수 있다. 이를 통해, 프로펠러 효율을 개선하고, 프로펠러 캐비테이션과 선체진동 주요한 선박성능을 향상시킬 수 있다.

가속 덕트노즐의 효과적인 설계를 위해서는, 덕트가 추력을 얻는 동시에 덕트의 유입 구에서 적절한 양의 유동을 확보할 수 있도록 다음 두 가지 요건을 고려한다.

- ① 덕트와 선형간의 상관 관계: 선미의 유선을 고려한 덕트 단면 각도/ 덕트의 위치
- ② 덕트와 추진기간의 상관 관계: 덕트와 프로펠러간 거리/덕트의 크기

다음은 핀을 이용하여 접선 반경 방향의 유속 반류장을 변화시키는 방법이다. Fig. 3에서 대상선의 반류 분포와 이를 크게 4등분한 모습을 나타내었다. 효율적인 연료절감 장치(Energy Saving Device 이하 ESD)가 되기 위해서는 추진기의 회전수를 낮추는 것과 동시에 토오크를 낮추어 줄 수 있어야 한다. 이를 위해서 Fig. 3의 (c)에서와 같이 접선(tangential) 방향 반류 성분을 추진기 회전 방향과 반대가 되도록 만들어 주어야 하는데, 추진기 앞에 설치된 핀으로 그 위치에 따라 유동 방향을 강제적으로 조절하게 된다. 이는 상반회전 프로펠러의 원리와 같은 것으로 전류고정 날개에서 이러한 원리를 이용하고 있다. Pre-swirl duct는 이렇듯 덕트의 효과와 전류고정날개의 효과를 동시에 갖게 된다고 말할 수 있다. Fig. 3의 (b)는 각 영역별 핀의 역할을 설명하기 위해 나타낸 것으로, “1영역”에 설치하는 핀은 상승하는 유동을 억제하여 유동이 좌현 하방으로 향할 수 있게 하고, “2영역”에서는 유동을 “3영역”으로 유도하여야 한다. “3영역”의 핀은 상승하는 유동이 발생함으로 이를 억제하는 핀이 불필요하며, “4영역”에서는 상승되는 유동을 이용하면서 하강하는 유동이 “1영역”으로 향하게 조절하여야 한다. 이러한 역할을 가능하게 하기 위해 핀의 위치와 피치 각이 적절히 정의되어야 하나, 반류를 개선시키기 위해 피치 각을 크게 할 경우 저항이 증가해 추력 감소비(t)를 크게 할 수 있으므로 주의하여야 한다.

핀을 이용해서 추진 효율을 효과적으로 향상시키기 위해서 추진기의 피치 각에 맞추어 프로펠러 앞쪽의 유체 흐름의 각도를 조절하여 유효 반류비(effective wake fraction, w)를 향상시키는 것이다. 가급적으로 프로펠러 평면에서의 유효 반류를 조사하여 핀의 위치를 결정하는 것이 좋다. 핀의 설치 위치는 Fig. 4에서 보듯 크게 다섯 영역으로 나눌 수 있다. 3과 5영역에 핀을 설치할 경우 와류를 분산시키는 효과와 더불어 유동의 방향을 조절할 수 있고, 4영역의 핀은 우현의 유동을 좌 현으로 이동시킬 수 있다. 1영역의 핀은 내려오는 유동을 우현으로 돌리는 역할이 가능하다.

선형과 프로펠러를 고려한 반류 개선 및 연료 절감 장치를 효과적으로 설계 하기 위한 설계 인자는 Table 1과 같다. 먼저 덕

트의 경우 축 대칭 원통형을 기본으로 하나, 덕트 단면 각도, 덕트의 지름, 덕트의 위치에 따라 덕트의 성능이 크게 좌우된다. 덕트는 각 선형 별로 반류 분포가 다르므로 각 선형 특성에 맞춰 최적설계가 되도록 적절히 설계인자를 요소 별로 조정하여야 한다.

Fig. 3 Tangential-radial velocity distribution on the propeller plane

Fig. 4 Fin location on the effective wake distribution

Table 1 Design parameter for Duct & Fin

DUCT	FIN
<ul style="list-style-type: none"> - Diameter - Section type - Profile length - Profile thickness - Duct position 	<ul style="list-style-type: none"> - Circumferential location - Section type - Profile length - Profile thickness - Pitch angle

본 논문에서는 덕트 형태 중에서 특별히 반 원통형 덕트를 적용하였다. 반 원통형 덕트는 프로펠러 축을 기준으로 아래 위의 다른 반류 속도 분포를 균일하게 만들고, 유속이 빠른 하단부에서의 불필요한 부가저항을 제거하는 데 있어 원통형 덕트 보다 유리할 것으로 판단하였다. Table 1은 덕트와 핀의 설계인자들을 나타낸 것으로, 각각이 요소들을 매트릭스로 조합하여 초기에 검토하면 덕트의 설계 방향을 결정하는 데 도움이 될 것으로 생각한다.

3. 수치 해석 기반 최적 설계

선미에 부착된 Pre-swirl duct를 수치 해석하기 위해 트림격자와 프리즘 경계층기법을 이용하였다. 트림격자 법이란 Fig. 5 (a)와 같은 형태로, 도메인 내 형상을 세밀하게 표현하기 위해서 절단된 격자를 이용하고, 그 나머지는 정구 격자를 이용하는 형태이다. 또한 프리즘 경계층기법은, Fig. 5 (b)와 같이 선형 주위에 일정한 비율을 가진 격자 층을 생성하여, 선형 주위 유동장 해석의 정확성을 높일 수 있게 하는 기법이다. 저항 계산 시 추진기의 회전을 묘사하기 위해 추진기 주위를 디스크 형태의 영역으로 생성한 후 격자 연결처리를 하였으며, 추진기의 복잡한 곡률을 표현하기 위해 다면격자를 사용하였다. 본 논문은 STAR-CCM+를 사용하여 계산을 수행하였으며, Table 2의 격자 설정을 사용하였다. 저항 해석을 위해 250만~300만 개의 격자를 사용하였고 자유 수면은 고려하지 않았다.

Fig. 5 Grid systems; (a) trim mesh (b) prism layer

추진기의 회전을 표현하기 위한 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째, MRF(Moving Reference Frame)법으로 회전하는 물체를 표현하기 위해 프레임의 정보를 회전수에 맞게 회전시키는 방법이며 추진기의 KT, KQ 값을 허용 오차 내에서 구할 수 있지만, 프로펠러 후류를 정확히 표현하지 못한다. 둘째, Sliding Mesh법으로 추진기와 회전 영역을 구성하는 격자를 회전시키는 방법이며 프로펠러 후류를 구현할 수 있지만, 계산 시간이 MRF기법에 비해 2배 이상 소요되기도 한다.

본 논문에서는 추진기 후류에 대한 영향을 고려하지 않았으며

로 MRF기법을 이용하여 프로펠러 회전을 구현하였고, 허용 오차 범위 내 KT, KQ 값을 얻을 수 있었다. 또한 난류 해석을 위해 Realized K- ϵ Model을 사용하였으며, 해석 도메인의 유입 영역 난류강도는 0.1, 점성비는 1.0으로 설정하였다.

Table 2 Mesh information

	Hull	Propeller
Type	Trim	Polyhedral
Default Size(m)	0.32	0.32
Thickness of Prism Layer (%)	10	2
Number of Prism Layer	10	5
Stretching ratio of Prism Layer	1.01	1.01

Fig. 6 Comparison of CVM value between MT and CFD (CTM; Total resistance, CVM; Viscous resistance)

Table 3 Resistance value comparison between MT and CFD

VS [kts]	MT		CFD		Diff. of CVM
	RTm	CVM	RT	CVM	
13	37.26	3.810E-03	36.82	3.844E-03	0.90%
14	43.15	3.761E-03	42.13	3.789E-03	0.73%
15	49.53	3.716E-03	47.72	3.740E-03	0.65%
16	56.49	3.675E-03	53.63	3.696E-03	0.57%
17	64.45	3.636E-03	59.92	3.655E-03	0.53%

수치해석을 통해 연료절감 장치 설계를 수행할 때에, 대상선의

저항 성능과 반류 분포를 모형시험과 비교해 그 차이를 미리 알면 상대비교를 통하여 효율증가로 인한 연료 절감량을 정량적으로 정도 있게 추정해 볼 수 있다. 본 연구에서는, 저속비대선 73K급 탱커 선을 대상으로 수치해석을 수행하고 나선(w/o ESD)의 13kts에서 17kts사이 저항 값을 Table 3과 같이 모형 시험 결과와 비교하였다. 저항값의 차이는 약 1%미만이며, Fig. 6에서 보듯 수치해석적으로 계산한 저항값 추이가 모형시험 결과와 유사한 경향을 보여 주었다.

앞에서 선박용 연료절감장치 설계 방법을 언급한 바와 같이, 최적설계를 위해 ESD와 프로펠러와 상관 관계와 더불어 중요한 요소 중 하나는 ESD와 선형과의 상관 관계이다. Fig. 7 (a)는 선체 표면에서의 유선을 나타낸 것이다. 수치해석 결과로부터 선미 유동이 프로펠러 전방에서 급격하게 아래로 떨어지는 경향이 있음을 알 수 있다. 만약 이를 고려하지 않고 반류 개선 장치를 설계할 경우, Fig. 7 (b)와 같이 덕트 위의 유선이 덕트 내부로 들어오지 못하고 흘러나가는 현상을 보이게 될 지도 모른다.

Fig. 7 Stream line simulation; (a) bare hull (b) with Pre-swirl duct

저속비대선 73K급 탱커 선을 대상으로 수치해석을 통해 프로펠러 전방에 부착할 Pre-swirl duct형태의 연료절감 장치를 개발하였다. 앞서 언급한 바와 같이 프로펠러 축 중심을 기준으로 아랫부분의 유속은 충분히 빠르므로 프로펠러 축 중심 기준 윗부분의 유속분포를 개선하는 것으로 설계 개념을 설정하고, 반원통 모양의 Half circular pre-swirl duct를 개발하였다. Half circular pre-swirl duct는 프로펠러 축 아랫부분의 덕트를 제거함으로써, 불필요한 저항 증가 요인을 사전에 막아 에너지 절감 효과를 극대화하려고 하였다.

먼저 반 원통형 덕트에 중앙 핀을 갖는 구조의 부가물(ESD I) 설계하였다. 덕트 단면의 각도를 선미 유동을 고려하여 정하였고, 덕트의 선수 방향 지름과, 선미 방향 지름도 이에 따라 결정하였다. Fig.8 은 유효 반류 분포를 나타낸 것으로 덕트가 있을

경우 좌현 윗부분의 반류는 좌현 아래로 향하게 되고, 측방향 속도는 느려지게 된다. Fig. 8 (b)와 (c)는 덕트의 중앙에 핀의 유무에 따른 유효 반류를 비교한 것으로 덕트의 중앙에 설치한 핀은 우현의 유동을 좌현으로 이동시키면서, 좌현에서 우현으로 넘어오는 유동을 방해한다. 계산된 T, Q값을 이용하여 전달 마력을 비교하였더니 Half circular pre-swirl duct를 설치 시 전달 마력이 나선에 비해 약 3% 저감되었다. 덕트는 추력을 발생함과 동시에 반류를 개선시키는 역할을 하며, 회전수와 토크를 감소시켰다. 수치해석 결과로 분석할 때, 덕트는 제 역할을 하고 있는 것으로 보여지지만, 핀의 반류의 방향을 조절 역할은 개선의 여지가 있다고 판단하였다. 우현의 핀이 상승반류의 방향을 방해하고 있었으며, 좌현 부분의 핀은 좌현 아래의 반류 방향을 바꾸는데 미흡하다고 판단되기 때문이다.

Fig. 8 Effective wake distribution and stream line on the hull surface; (a) bare hull (b) ESD w/o center fin (c) ESD w/center fin (d) half duct with center fin (ESD I) (e) stream line with ESD

ESD I의 비효율적인 핀에 의한 반류 조절을 개선하기 위해 덕

트의 좌 현과 우 현 핀에 대한 연구를 수행하여 Fig. 9 (c)와 같은 형상을 얻었다. 수치해석 결과로 전달 마력을 추정할 때 약 4.5 % 저감 효과를 보였다. Fig. 9 (a)는 ESD II와 유효 반류 분포를 나타내는 것으로 덕트의 우현부분을 부채꼴 형태가 되도록 들어올려 우현에서 상승하는 유체를 방해하지 않도록 하였고, 좌현의 경우 핀의 길이를 연장하여 좌현의 상승되는 반류를 더 효과적으로 아래 쪽으로 돌려 보내도록 하였다. 결과적으로 좌현, 우현의 핀은 덕트 지지와 동시에 반류 방향을 더욱 효과적으로 조절하게 됨으로써, ESD I과 비교해 전달마력을 더욱 저감시킬 수 있었다.

Fig. 9 Effective wake distribution and stream line on the ESD II

4. Cavitation 및 변동압력 계산

공동은 유동장 내부의 속도가 커짐에 따라 압력이 증기압보다 낮아져 물이 기화하는 데 따른 현상이다. 일단, 공동이 발생하면 프로펠러의 추력이 감소하고, 날개의 침식이 일어날 수 있으며, 선미부의 진동과 소음 등의 심각한 문제를 발생 시킬 수 있다. 선박 운항 시 추진기의 회전에 의해 발생한 공동과 큰 변동 압력이 지속되면 선체의 구조적 결함을 야기시킬 수 있다.

일반적으로 Pre-swirl duct는 프로펠러 전방의 유동속도를 증가시킴으로써 프로펠러의 캐비테이션과 변동압력을 개선 할 것으로 예상할 수 있다. 그러나, 동 부가물은 선미 프로펠러 전방에 설치되는 부가물이므로 자칫 그 설계에 따라 예상치 못한 이상 공동현상을 가져올 악 영향을 배제할 수 없으며, 이로 인해

선체 및 추진기 이상 진동 문제를 야기시킬 수도 있다. 이를 실선 적용 설치 이전에 확인할 수 있는 가장 유효한 방법 중 하나는 Fig. 10과 같이 대형공동 터널에 모형선을 넣고 캐비테이션 시험을 수행하여 프로펠러에 발생하는 공동현상을 재현하고, 변동 압력 치를 계측하는 방법이다. 그러나, 모형시험에서 문제가 발생하면 실제로 덕트 형상을 개선하고 대응하는 것이 쉬운 일이 아니다. 왜냐하면, 설계 초기 단계로 돌아가 수치해석과 저항추진 모형시험 등 일련의 작업들을 처음부터 다시 수행해야 하기 때문이다.

Fig. 10 Installation of model ship for the large cavitation tunnel test

Fig. 11 Measurement point of hull pressure fluctuation

특히, 근래와 같이 단 날기 선박이 많은 경우, 설계, 제작과 모형시험을 동시에 진행하는 경우가 있어, 혹시라도 모형시험에서 문제가 되는 경우, 실물을 수정 제작해야 하는 경우도 발생

할 수 있어 비용과 시간 측면에서 큰 손실이 아닐 수 없다. 경우에 따라 전체 선박의 제작 공정에도 영향을 미칠 수 있을 것이다. 그러므로, 이러한 문제점을 설계 단계에서 사전에 예방하기 위한 기술적, 경제적 접근법으로 수치해석을 사용하여 이상 징후를 미리 점검하고 예측하여 설계에 반영하는 것이 중요하다고 하겠다.

프로펠러 캐비테이션 및 변동 압력을 모형시험 이전 설계단계에서 분석하기 위해 수치해석을 수행하였다. 추진기의 회전을 묘사하기 위해 Sliding mesh기법을 이용하였으며, 변동압력 값을 비교하기 위해 Fig. 11과 같이 총 7개 Point에서 계산 결과를 시뮬레이션 하였다.

Fig. 12에서 추진기 1 회전 시 미리 결정해 둔 각 포인트에서 계산된 변동압력 값을 나타내었다. 계산 결과, Pre-swirl duct가 장착되어 있을 경우 변동 압력의 폭은 약간 증가했지만, 다중 피크 치가 발생하지 않았으므로 이상 진동에 대한 징후가 없을 것으로 예상된다.

Fig. 12 Hull pressure calculation by one rotation of propeller

5. 결 론

전 세계적으로 환경 규제가 강화되면서 자연히 친환경 선박에 본 대한 관심이 커지고 있다. 과거에 비해 치솟아 오른 연료용 벙커C유 가격으로 선사 입장에서 연료비를 줄일 수 있는 친환경 선박 수를 늘릴 수 밖에 없다. 경기 침체 여파로 신규 발주가 많이 줄어든 가운데, 그린십이 신규수주를 결정하는 오늘, 각 조선업체에서는 연료절감형 부가장치의 개발에 박차를 가할 수 밖에 없는 실정이다.

최적의 선박용 연료절감 장치를 설계하기 위해서는, 먼저 선박의 종류 및 설계 조건을 파악하고 그에 따라 개발하고 적용할 최선의 선박용 연료 절감 장치를 생각하고 관련 자료를 조사한다. 일반적으로 연료절감 부가물은 프로펠러 전, 후 혹은 프로펠러면에 장착하게 된다. 해당 연료절감 장치가 선체 및 프로펠러에 작용하는 영향력을 분석하고 물리적인 작동 원리를 고려한 개념설계를 통해 설계 방향을 정한 후, 설계 인자를 결정한다. 수치해석을 통해 설계인자 별 영향력 연구를 수행한 후, 이를 변화시켜가며 반류, 압력 분포, 유선을 분석하고 전달마력을 계산한다. 이와 같은 절차를 순환하여 최종 목표가 되는 전달마력에 도달하도록 설계변경을 수행하게 된다.

본 논문에서는 73k급 탱커 선을 대상으로 저속 비대선에 일반적으로 적용 가능한 반 원통형 pre-swirl duct를 수치 해석 기법을 이용해 개발하고 개발 절차를 정립하여 보았다. 이 개발절차에 따라 여러 저속 비대선에 적용하여 계산해본 결과 설계 조건에 따라 반 원통형 구조의 선박용 연료절감 장치로 약 4~6%의 연료 절감 효과를 얻을 수 있었다.

한편, 더욱 효과적인 최적의 연료절감 장치를 얻기 위해서는 많은 반복적인 설계와 해석이 필요하므로, 제한된 시간에 최적해를 탐색할 수 있도록 잘 설계된 자동화 시스템을 만들 필요가 있다. 따라서, 향후 유전자 알고리즘과 같은 최적화 기법을 도입하여 각 설계 인자들의 선정, 조합하고 변경시켜가면서, 각 선형설계조건에 최적화된 설계를 찾을 수 있는 방법을 연구해야 할 것이다. 이를 위해서는 자동 격자 생성법과 같이 선행되어 해결되어야 할 문제들도 상당 수 있을 것으로 예상된다.

수치 해석을 통한 연료절감 부가 장치의 성능평가는 모형 시험과 정성적으로 같은 경향을 보이고 있었으나, 보다 정량적으로 성능을 잘 추정할 수 있는 방법을 찾을 필요가 있을 것으로 생각한다. 특히, 실선에서의 절감 마력을 정량적으로 추정하기 위해서는 실선 성능 계측자료와 실선스케일 수치해석과의 상관관계를 정립하고, 모형시험과 모형선스케일 수치해석의 상관관계로부터 보다 정밀한 실선 추정 방법이 될 수 있도록 연구해 나가야 할 것이다. 현재, 모형시험에서 부가물의 실선 성능 추정할 때 많은 기관에서 수정된 ITTC78방법(ITTC1999)을 사용하고 있다. 그러나, 각종 부가물의 다양한 작동 원리에 맞는 적절한 이론을 바탕으로 한 실선 추정법이 필요한 실정이다. 다양한 선박용 연료절감 부가장치를 부착한 실선 시운전 데이터를 확보하고, 모형시험 및 수치해석과의 상관관계를 공고히 하는 등 보다 신뢰성 높은 실선 성능 추정법을 만들어 나가야 한다.

친환경 녹색선박을 위해서 선형, 추진성능, 보조동력, 기관, 전력효율화, 신추진 동력 등 여러 가지 기술이 개발되고 적용되고 있다. 그 가운데, 상당 기술들이 소재, 전기 및 에너지 관련한 것이나, 유체역학적으로도 보다 경제적이며 효과적인 많은 연료절감 부가장치를 개발하는 등 친환경 선박을 설계하고 만들기 위해 총체적 연료절감 기술을 전방위로 발전시켜 나가야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Choi, J.E. Min, K.S. Chung, S.H. & Seo, H.W., 2003. Study on the scale effects on the flow characteristics around a full slow-speed ship. *Proceedings of the 8th Numerical Ship Hydrodynamics*, Busan, Korea.
- Choi, J.E. Kim, J.H. & Lee, H.G. 2011, Computational Study of the Scale Effect on Resistance and Propulsion Performance of VLCC, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(3), pp.222-232
- Davis, L., 1991. *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold.
- Kang, Y.D. Kim, M.C. & Chun, H.H., 2004. A Study on the Design of a Biased Asymmetric Pre-swirl Stator Propulsion System. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 41(3), pp.13-21.
- Kim, S.Y. Shin, S.C. & Kim, D.E., 2002. A Study on Form Parameter Method by Optimum Vertex Point Search. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 39(4), pp.60-65.
- Kim, S.Y. Shin, S.C. & Goh, C.D., 2003. A Study on Optimization of Neuro-fuzzy System Parameter using Taguchi Method. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(1), pp.69-73.
- Michalewicz, Z., 1995. *Genetic Algorithms*. Springer.
- Takekuma, K. Tsuda, S. Kawamura, A. & Kawaguchi, N., 1980. Decelopment of reaction fin as a device for improvement of propulsice performance of high block coefficient ships. *SNAME Shipboard Energy Conservation Symposium*, pp.74-84.

신 현 준

이 강 훈

한 명 룬

이 창 열

신 성 철