

중소형 조선소를 위한 산학연 활동 사례

이춘주, 문일성(한국해양연구원), 신종계(서울대학교), 이현엽(충남대학교)

1. 서 언

1970년대 초에 시작한 우리나라의 조선산업은 2005년도에 최대 선박 수주 실적을 기록하면서 세계 점유율은 40%이상을 달성할 것으로 예상되며 세계 1위의 조선입국으로서 자리를 굳히고 있다.

우리나라 조선산업을 주도하는 대형 조선소의 경우 설계 및 생산기술력 그리고 제품의 국제적 경쟁력을 갖출 수 있는 기반을 갖추면서 약 3년분의 조업량을 확보하는 등 세계 최강의 경쟁력을 확보하며, 대형상선 분야에서 수주잔량 기준으로 세계 1-7등까지 부동의 위치를 차지하고 있다.

그러나 세계 50위권내는 성동조선과 신아조선 및 SPP조선 등의 일부 조선소만 포진할 정도로 부진한 반면에 일본과 중국의 조선소들은 대형상선 분야뿐 아니라 중소형 선박건조 시장에 대한 국제경쟁력을 지속적으로 강화하고 있다.

세계 조선시장에는 대형 상선, 해양레저, 중소형 선박, 크루저선, 합정과 해양구조물 등이 주요 제품류를 이루고 있으나 우리나라는 주로 컨테이너선, 유조선, 액화 천연가스 운반선(LNG선) 등의 대형상선 분야에만 강세를 유지하고 있는 반면에, 벌크선 부문에서는 일본과 중국이 주로 강세를 유지하고 있는 상황이다.

앞으로 우리나라 조선산업이 지속적으로 세계 선두 경쟁력을 고수하며 국가경제에 기여되도록 하기 위해서는 대형 조선소과 중소형 조선소의 균형발전을 도모하고, 저변을 확대하며 내실을 강화하는 것이 대단히 중요하다.

그러나 우리나라 중소형 조선소의 경우에는 고질적인 자본력 영세에다 기술인력 구득난이 더욱 가중되고, 정부의 지원정책마저 미흡하여 독자적으로

기술능력을 확보에는 한계가 있는 실정이다. 특히, 최근에는 세계 유류가격 급등과 조선용 후판 등 원자재의 가격폭등이 원가 압박요인으로 작용하고, 내수기반 침체로 경영난을 가중시키고 있다.

일본 조선산업은 비록 대형선 시장에서 우리나라에 1위 자리를 내주었지만 중소형 선박 시장의 우위에는 변함이 없다. 일본 중소형 조선산업은 소형선에서 대형선에 이르기까지 다양한 크기와 선종을 생산하고, 그에 따른 기술경쟁력을 확보하기 위해 노력하고 있다. 특히 조선노동력의 고령화에 대비하고 생산성 향상을 위한 중소형 조선소를 위한 시설자동화 및 로봇화의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 차세대 선박과 고부가가치 선박에 대한 지속적인 관심과 연구개발을 추진하고 있다.

또한 중국의 대형 상선에 대한 조선산업은 새로운 선형 개발과 고부가가치 선박에 대한 독자적인 설계능력 등 기술적 측면에서는 우리 나라에 비해 낙후되어 있지만, 정부의 육성정책과 대형 설비 확보, 저임금을 바탕으로 한 가격경쟁, 잠재적인 기초 기술 등을 감안할 때 7~10여년 후에는 강력한 경쟁자가 될 것으로 보인다.

최근 열린 ‘중국 500대 기계기업’ 발표회에서 중국기계산업 연합회 위진(于珍) 회장은 중국이 수주한 전세계 선박 주문량은 2002년의 13%에서 2005년 18% 수준으로 올랐고 2006년 1분기에는 무려 27%까지 뛰어 일본을 제치고 한국의 뒤를 이은 세계 2위의 조선국가로 부상했다고 밝혔으며, 2010년 경 선박 건조능력을 현재의 1250만DWT에서 4000만DWT로 늘려 세계 1위의 조선 대국으로 부상할 것이라며 자신감을 보이고 있다.

이에 대해 우리나라는 한국은 걸으로는 한국 조

Table 1.1 선종별 중소 조선소 업체 현황

구분	연 도	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
강 선	신조 및 수리	50	45	52	47	42	40	40
	수리전문	18	19	14	14	13	11	16
	소계	68	64	66	61	55	51	56
FRP선		44	48	36	40	41	45	46
목 선		24	23	23	23	22	22	20
합 계		136	135	125	124	118	118	122
강선, FRP선 겸업		12	13	13	13	13	13	17

선산업이 2020년대까지 세계 1위 자리를 유지할 수 있을 것으로 느긋한 입장이지만 속으로는 긴장감을 늦추지 못하고 있다.

우리나라는 한국조선공업협동조합에 가입된 회원 조선업체가 건조할 수 있는 최대선박을 기준으로 하여 재화중량이 약 25,000 톤까지 중소형 선박으로 보고 있으나 대부분의 중소형 조선소들은 Table 1.1에서 보는 바와 같이 소형 선박을 주로 건조하고 있으며, 남해안에 위치하고 있다(Table 1.2). 그러나 일부 중소형 조선소를 제외하고는 대부분의 중소형 조선소들이 자본과 설비가 영세하고, 전문 기술인력이 부족하여 독자적인 자체 기술개발은 엄두도 못내는 실정이므로, 적극적인 정부지원을 통한 산학연 공동연구 중심으로 활성화가 요구되고 있다.

특히 요즘 국내 중소형 조선소들은 중소형 선박의 특수를 맞이하여 선종/규모별 표준선형 개발을 비롯하여 선형개발과 건조기량 확보가 요구되며, 아울러 경쟁력 확보를 위해서는 설비현대화와 자동화

건조공법 도입, 품질관리 기법 및 지원시스템 확보가 시급히 요구된다.

특히 중소형 조선소는 경영규모의 영세성과 업체간 과다경쟁으로 신규 물량 확충에 한계가 있고, 적정 선가 확보가 어렵기 때문에 해외시장에서 신규물량을 확보하기 위해 고

부가가치선박 건조기량 확보, 납기준수 및 품질 보증 등의 기술적인 보완이 필요하다.

따라서 우리나라에서도 정부출연연구기관을 비롯한 대학 등과 산학연 공동으로 중소형 조선소의 애로기술을 부분적으로 해결하고자 그동안 중소형 조선소를 위한 산학연 활동의 일환으로 국내 주력선종인 “DWT 13,000 Ton Class Oil/Chemical Tanker”(이하 ‘대상선’이라함)에 대하여 성능개선 연구를 진행한 바가 있으며, 2006도 춘계조선학회의 기획세션을 통하여 산학연 활동 결과를 Table 1.3과 같이 발표한 바가 있으며, 산학연의 많은 참석자로부터 많은 호응과 격려를 받은 바가 있다.

본 논문을 통하여 향후 산학연 공동으로 중소형 조선소의 애로기술을 효과적으로 지원하기 위한 방안도 제시하고자 한다. 먼저 건조 조선소와 설계용역회사는 기본설계, 기본계산, 초기선형 도출 및 시운전 계측 등의 설계분야에 대한 전문성을 확보하고, 정부출연연구기관인 한국해양연구원에서는 선형설계와 성능해석, 수치해석, 속도-마력 추정, 선형

Table 1.2 지역별 중소 조선소 업체 현황

구분	부산	인천	전북	전남	충남	경남	경북	울산	강원	제주	계
강선	14	6	5	15	5	7	2	0	2	0	56
FRP선	3	4	0	18	5	5	2	1	4	4	46
목선	1	0	0	0	0	19	0	0	0	0	20
계	18	10	5	33	10	31	4	1	6	4	122
비중	14.7%	8.1%	4%	27%	8.1%	25.4%	3.3%	0.8%	4.9%	3.2%	100

Table 1.3 2006년계 조선학회 기획세션 발표 내용

발표제목	발표자	소 속직 위
중소형 선박의 산업기술동향 분석	신중계	서울대학교 교수
중소형 선박의 선형설계 기술 분석	이춘주	한국해양연구원 해양시스템안전연구소 책임연구원
중소형 선박의 추진기 기술 분석	문일성	한국해양연구원 해양시스템안전연구소 선임연구원
중소형 선박의 전선 진동해석	이현엽	충남대학교 교수
중소형선박의 국부진동해석 및 실선 계측	지용진	(주)수퍼센츄리 연구원

및 추진기 설계를 수행하여 모형시험(기본선형과 추진기 시험 및 조종/운동시험 등)과 시운전 해석을 전담하며, 대학에서는 진동해석과 특수성능 해석 및 적절한 산업기술동향 분석 및 정책지원 방안을 강구토록 하여 산학연이 공히 전문성을 확보하는 것이다.

2. 중소형 선박의 산업기술동향 분석

중소형 조선소는 현재 해방 이후 최대의 호황이다. 계약이 선주 중심에서 조선소 중심으로 이루어지고 있고, 기존의 조선소는 시설 확충을, 블록공장은 신조선을 하기 위해 변신을 하고 있다. 또한 서남권에는 중형 조선소가 신설되고 있어 가히 중소조선 산업의 봄이라고 할 수 있다. 이는 석유 제품과 화학 제품의 시장 변화에 기인한 것으로 향후 수요가 지속될 것으로 전망된다.

한편, 환율의 변동과 기자재 확보, 인건비 상승, 치열한 수주 경쟁, 일본과 중국의 경쟁력 등은 중소조선 산업이 쉽게 번창할 수 없는 우려 요소들이다.

현재 중소형 조선소에서 건조되는 선박은 일반 상선에서부터 현재 가장 많이 발주된 석유제품 운반선(Product Carrier)와 화학제품운반선(Chemical Tanker) 등이다. 가장 핵심적인 기술을 설계와 생산 관점에서

서 고찰하여 본다.

중소 선박의 설계는 설계전문회사에서 수행하고 있다. 그러나, 설계회사에만 의존하여서는 경쟁력을 높이기 어렵다. 설계 회사에서는 실적선을 바탕으로 설계를 수행하는데, 중소형 선박의 실적선이라는 것이 다양한 시험과 데이터 축적을 통해 검증된 선박이라고 보기 어렵고, 새로운 선박의 경우 데이터가 없기도 하기 때문이다. 선박의 체계적이며 과학적인 성능을 추정하기 위해서 많은 전문 인력이 필요한데, 설계 회사에서 이러한 인력을 다 보유하기도 어려운 현실이다. 경쟁력을 높이기 위해, 산학연의 전문가들이 선형, 추진, 구조, 진동, 소음 등 핵심 기술 분야에 참여하여 선박의 품질 향상을 도모하여야 할 것이다.

생산 기술의 경우, 용접 등 생산 품질 관련 기술과 생산 계획 및 관리 기술이 무엇보다도 중요하다. 용접, 도장 등의 기능 분야는 인력 양성은 물론 국제 기준에 맞도록 기술을 유지하여야 한다. 외국 선사들이 우리 중소조선의 생산 기술력에 다소 우려를 표시하는 사례가 있는데, 품질은 양보되어서도 감추어져서도 안되는 핵심 요소이다. 많은 선박을 수주받아 동시에 건조하기 위해서는 생산 계획과 관리 기법이 갖추어져 있어야 한다. 작업 인원을 많이 확보한다고, 또 외주 처리를 많이 한다고 생산성이 높아지는 것은 아니기 때문이다. 선박 건조 프로세스, 생산 계획, 위기 관리 등에 대한 명확한 인식과 그에 따른 전산시스템을 갖추어 체계적으로 생산을 관리하여야 한다.

설계와 생산 분야 외에도 조선소의 영업, 홍보, 설비 등 다양한 분야에도 산학연 전문가의 참여는 절실하다.

모처럼 찾아온 중소조선의 호황에 정부는 “중소형 수출선박 기술평가위원회”를 구성하여 금융업무를 측면지원하고 있으며, 목포대학교에 지역혁신센터를 설립하여 산학 협업을 지원하고 있다. 기존의 중소조선연구원과 한국해양연구원 등 연구기관과 대학들이 거들면 중소조선의 중흥을 이룰 수 있을 것



이다. 무엇보다도 조선소를 경영하는 CEO의 기술 혁신에 대한 의지가 중요하다. 본 논문에서 보듯이, CEO의 결단이 대학과 연구기관의 지원으로 조선 경쟁력에 얼마나 큰 영향을 주는지 확인할 수 있다.

3. 중소형 조선소를 위한 산학연 활동

본 장에서는 중소형 조선소를 위한 산학연 활동의 일환으로 국내 중소형 조선소, 설계용역회사, 한국해양연구원, 충남대학교 및 서울대학교가 그동안 공동으로 진행하여 왔던 국내 중소형 선박의 주력선종에 대한 성능개선 연구에 대한 산학연 활동 사례를 소개하고자 한다.

중소형 선박에 대한 경쟁력을 확보하기 위하여 먼저 선형을 단계적으로 최적화하고, 모형시험과 수치계산을 통한 성능검증뿐만 아니라 추진기 설계를 수행하고 캐비테이션 시험을 통하여 추진기 성능을 검증하였고, 반류분포조사시험 결과와 변동압력값을 이용하여 전선 진동해석과 국부진동 해석 및 실선계측을 수행하였다.

대상선은 21세기 조선소의 DWT 13,000 Ton Class Oil/Chemical Tanker를 선정하였으며, 주요목과 선형계수는 Table 3.1과 같다.

선형개발은 건조조선소의 주도하에 설계용역회사와 한국해양연구원이 주관하고, 모형시험과 추진기

설계는 한국해양연구원에서 수행하였고, 진동해석과 실선계측은 충남대학교 선박해양공학과에서 주도적으로 수행하였다.

3.1 중소형 선박의 선형설계 기술 분석

우리나라의 대형 조선소들은 1980년대에는 대부분의 모형시험을 유럽수조를 수행하였으며, 그 당시 개발된 선형들은 이미 유럽 조선소에서 건조되었던 선형들로, 유럽수조의 선형개발 수준은 우리나라보다 월등한 경험을 가지고 있었다. 그래서 일부 조선소에서는 국내 조선소의 선형설계자들을 양성하고자 자체적으로 개발한 선형과 유럽수조에서 개발된 선형 등 2축에 대한 모형시험을 동시에 수행하여 우수한 선형(대부분 유럽 수조 설계선형)을 최종으로 선정하는 절차를 거치곤 하였다.

이와 같은 과정을 통하여 국내 대형 조선소들은 선형개발 기술을 꾸준히 향상시켜서 현재에는 세계 최고의 선형설계 수준을 자랑하고 있다.

그러나, 중소형 조선소들은 선형개발과 성능추정에 대한 전문성이 열악하고 인력과 조직 및 연구개발비 부족으로 선형설계 및 성능해석 지원프로그램의 채택과 모형시험을 통한 성능개선의 기회가 절대적으로 적은 것 등의 주요 이유로 아직도 우리나라 일부 중소형 조선소들은 유사실적선을 거의 모방하거나 전래의 방식을 답습하는 수준을 탈피하지 못하고 있다.

Table 3.1 Principal Particulars

P/P		13K P/C
LWL	(M)	123.5
LBP	(M)	120.4
B	(M)	20.4
Td	(M)	8.35
L/B		5.902
B/Td		2.443
CB at Td		0.791
LCB	(%)	0.89
BHP×RPM (w/ 15% SM)		5,454BHP×167.0
Vs	(knots)	13.4 (Fn=0.20)

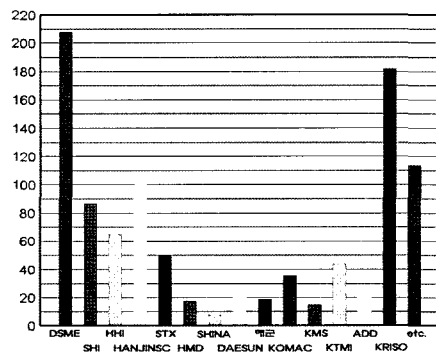


Fig. 3.1 MOERI 예인수조 모형시험 수행 현황

요즘에는 중소형선박에 대한 선형설계 기술은 중소형 선박의 성능향상과 중소형 조선소의 신조물량 확보에 핵심과제로서 선박건조의 첫 출발점이자 선박의 주요성능을 좌지우지한다는 인식하에 우수한 성능을 갖는 선형을 확보하고자 노력중이다.

그래서 아직도 전문인력이 절대 부족한 상태에서도 선형설계 수준 크게 향상되어 일부 중소형 조선소에서는 대형조선소 선형설계 수준에 못지않게 선형설계를 수행하고 있으며, 또한 최근에는 개발된 선형에 대한 성능평가를 위해 MOERI 예인수조에서 기본적인 모형시험을 수행하는 빈도수가 Fig. 3.1 과 같이 증가 추세를 보이고 있다. 그러나 체계적인 선형개발과 수치해석과 모형시험을 통한 성능검증에 대한 인식이 충분치 않으며, 특히 추진기 설계를 통한 설계프로펠러에 대한 성능검증시험에 대한 필요성이 아직까지 제대로 전달되고 있지 않은 상황이다.

일본에서는 이미 20여년 전부터 선형시험과 사전에 성능검증 연구를 통한 선형개발 체계가 대부분의 중소형 선박에 관례화되어 있다. 그래서 최근 모 일간지에 “국내 모 중소형 조선소는 일본 ‘IHI조선’과 공동으로 독일 선박 3,200TEU 컨테이너선 10척 규모의 프로젝트를 진행하고 하고 선형개발은 IHI가 맡고 국내 모 중소형 조선소 건조하기로 했다”는 정도로 선형설계 기술에 대하여 자신감을 보이고 있다.

3.1.1 개요

일반적으로 선형은 선주와의 일반적인 보증사항 즉 재회중량, 계획속력 및 연료소모율 등과 연관되어 있으며, 모든 설계공정의 선행공정으로 선형의 결정 없이는 어떠한 후행공정의 설계도 진행할 수 없다.

선수선형은 조파저항과 쇄파저항이 적으면서 화물창배치가 유리하도록 하고, 선미선형은 주기배치 등을 만족시키면서 점성저항과 형상저항이 적고 추진효율이 우수한 선형을 설계하는데 중요한 영향을

미치는 설계개념을 체계적으로 정립하고, 이러한 설계개념들을 각 단계별로 최적화시켜 유체성능이 우수하고 효과적인 구획배치가 가능한 선형을 효율적으로 개발이 이루어져야 한다.

이러한 선형설계 단계는 보통 일반적인 선형설계 과정은 개념설계 단계와 상세설계 단계로 구분되는데, 개념설계 단계는 선주의 요구조건과 조선소의 설계조건을 충족시키면서 유체성능과 구획배치에 큰 영향을 미치는 주요 설계개념, 즉 배길이 방향의 배수량 분포, 배수량의 길이 방향의 중심, 선수미의 늑골선 형상, 선수미 profile형상 및 계획흡수의 수선형상 등을 최적화하는 과정으로, 대부분의 유체 성능에 영향을 미친다.

따라서 중소조선소의 선형설계자들이 초기에 다양한 설계개념만 쉽게 정립할 수 있다면 모형시험 전에 수치계산을 이용하여 개념설계 과정에서 생성된 선형에 대해서 저항성능 추정 및 파형 해석을 수행하여, 종합적인 성능을 비교 검토함으로써 훨씬 우수한 성능을 갖는 선형을 쉽고 빠르게 개발할 수 있다.

그러나 앞서서도 설명한 바와 같이 중소형 조선소에서는 선형을 설계할 전문인력과 체계적인 조직 및 선형설계 지원프로그램이 빈약한 관계로 선주의 요구조건, 즉 재회중량과 계획속력 및 기타 조건을 모두 만족시키면서 유체특성이 우수하면서 일반배치가 콤팩트하도록 기하학적 형상으로 선형을 단계적으로 최적화하기가 힘들다.

또한 대부분의 중소형조선소들은 아직까지 추진기 및 축타 관련 설계기술과 성능검증 기술 및 성능을 향상시킬 수 있는 부가물 설계들은 대단히 취약한 상태에 있다.

따라서 본 연구에서는 산학연이 공동으로 성능을 개선시키기 위하여 그 동안 진행하여 왔던 결과들, 즉 유사실적선을 기준선으로 선정하여 초기선형을 설계하고, 모형시험과 수치계산을 통하여 단계적으로 선형을 수정하고, 추진기설계와 성능검증시험 등의 과정을 소개하고자 한다.

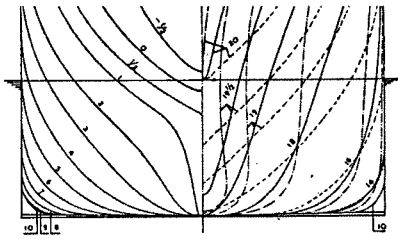


Fig. 3.2 General Hull Form

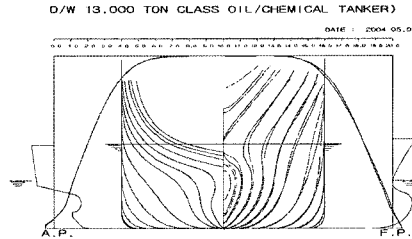


Fig. 3.4 Comparison of Hull Forms(F1, F2)

3.1.2 초기선형 설계(1단계)

Fig. 3.2에서는 중소형 선박에 일반적으로 적용되는 선형을 보여주고 있다. 선수선형은 중속선의 속도를 얻기 위하여 V형 늑골선 형상에 채택하고 있으며, 낮고 작은 Tear drop형 선수벌브를 부착하거나 아예 선수벌브도 없는 선형을 설계하기도 한다.

선미선형은 Fig. 3.3과 같이 전통적으로 shoe-piece가 달려 있는 V형 늑골선 선형을 채택하여 왔으며, 따라서 추진기 직경이 상대적으로 작은 추진기를 사용하게 된다. Shoe-piece가 달려 있는 V형 늑골선 선형은 저항추진성능과 추진효율이 나쁘며, 특히 반류분포가 불리하기 때문에 진동을 유발하는 원인이 되기도 한다. 또한 전통적으로 반류분포가 나쁜 선형임에도 불구하고 모형시험에서 계측된 선미 반류분포에 따라 새로 설계된 추진기를 장착하지 않는다는 것이다.

그러나 요즘은 중소형 선박들도 shoe-piece를 제거하고 상대적으로 직경이 큰 추진기를 모형시험을 통하여 계측한 반류분포에 따라 설계하여 장착하는 추세로 변하고 있다.

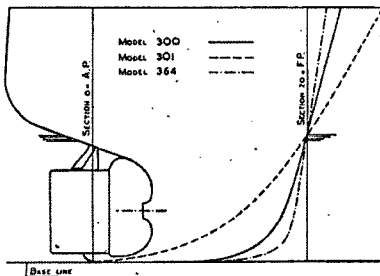


Fig. 3.3 Center Contour

또한 요즘 중소형 선박은 계획속력이 계속 빨라지고 있기 때문에 현재 대상선의 설계속도가 Table 3.1에서 보는 바와 같이 13.4노트이지만 프루이드수는 0.2가 넘는 중속선의 범주에 속하고 있으며, 따라서 선형설계에 어려움이 있을 것으로 예상되어 Fig. 3.4와 같이 선수 입사각이 작은 V형 늑골선 형상(선수선형 I, F1)과 선수 입사각이 좀 더 큰 V형 늑골선 형상(선수선형 II, F2)으로 선수선형을 2척 각각 설계하고, shoe-piece를 제거한 V형 늑골선의 선미선형(선미선형 I, A1) 1척을 개발하였다.

선수선형과 선미선형은 본 과제에서 기준선으로 선정된 유사실적선의 선형을 선형설계 전용프로그램인 Hcad를 이용하여 선형변환하여 설계하였다.

일반적으로 선형개념중에서 cp curve 형상이 선수선형에 미치는 영향이 가장 크다. 새로 설계된 2척의 선수선형에 대한 cp curve 형상은 전체적으로 완만하나, 선수선형 I(F1)이 선수 끝단부에서는 hollowness를 좀 더 갖고 선수어깨부에서는 좀더 hard한 형상으로 설계하였다. 특히 늑골선 형상은 서로 연관되어 같이 변하는 DLWL형상은 만재 계획흘수에서 선수의 입사각을 약 36°(F1)와 40°(F2)로 설계하여 조파저항과 쇄파저항에 유리하도록 하였다.

선미선형에서는 늑골선 형상이 성능이 미치는 영향이 가장 지대하므로 저항추진성능이 비교적 우수하도록 shoe-piece를 제거한 V형 늑골선으로 선미선형 I(A1)을 설계하였다.

이와 같이 설계된 선수선형 2척과 선미선형은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소(MOERI)의 예인수조에서 동시에 2척에 대한 모형시험을 수행하

였으며, 모형선은 수조시험조건을 고려하여 1/17.2의 축척으로 제작하였다. 모형선은 난류유동을 재현하기 위하여 19 스테이션과 밸브 중간에 직경 1.2 mm, 높이 2.0 mm의 난류촉진장치를 10.0 mm 간격으로 부착하였다.

저항시험은 2개의 흡수 즉, 계획흡수와 발라스트 흡수에서 수행하였으며, 각 속도별로 전저항과 침하량을 측정하였다. 시험속도는 계획흡수에서 설계속도인 13.4노트를 포함하여 8.0노트부터 16노트까지 수행하였다. Fig. 3.5는 계획흡수 상태에서 선수선형 I과 II에 대한 13.4노트에서 선수에서 발생하는 파계를 보여 주고 있으며, 여기서 선수선형 II가 조파저항과 쇄파저항이 불리하게 발생함을 알 수 있다.

저항시험에서 측정된 결과는 ITTC 1978에서 제안한 프루이드의 2차원 해석법을 이용하여 해석되었고, 이 때 마찰저항곡선은 ITTC 1957 곡선을 사용하였다. 실선의 전저항계수는 다음과 같이 구하였다.

$$C_{TS} = C_{FS} + C_R + C_A + C_{AA}$$

$$P_{ES} = 1.36 \cdot C_{TS} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot S_s \cdot 10^{-3}(PS)$$

여기서 잉여저항계수 C_R 은 모형선과 실선에서의 값이 같다고 보았으며, 마찰 저항계수는 1957-ITTC 상관곡선을 사용하였다. C_A 는 모형선-실선 상관수정계수 C_{FS} 로서 여기서는 0.21×10^{-3} 을 사용하여 결과해석을 수행하였다.

저항시험에 사용된 재고 프로펠러의 직경이 약 25cm이고, 전개면적비가 0.793이며, 날개수가 4개이다.

저항시험 결과 저항요소중에서 유효반류계수와 추력감소계수 및 상대회전효율은 각각 0.24, 0.36, 1.006 정도이며, 준추진효율은 약 0.64 수준이다.

위와 같이 2척의 선형에 대한 모형시험 결과를 종합하면 계획속력을 2척의 선형 모두 만족하는 수준이었으나, Fig. 3.6에서 보는 바와 같이 속도성능

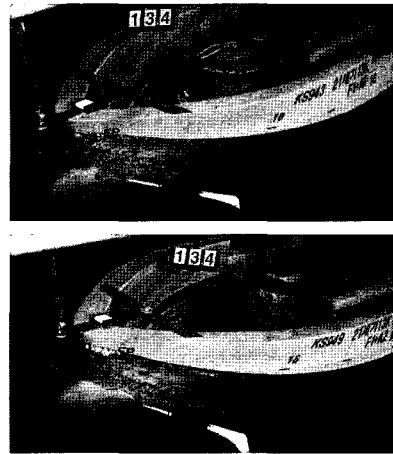


Fig. 3.5 Running Model ships(F1, F2)

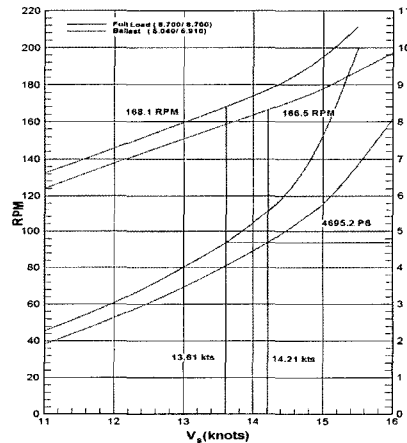


Fig. 3.6 Speed-power curve(F1+A1)

이 다소 우수한 F1+A1 선형을 선정하여 반류분포 조사시험을 계획흡수와 계획속력에서 5공 피도관을 이용하여 수행하여 프로펠러 면에서 축방향, 반경방향 및 원주방향에서 측정하였다.

Fig. 3.7은 프로펠러 면에서의 반류시험결과는 전체적으로는 축방향 속도분포는 선미 늑골선 형상과 동일한 V형 형상을 가지고 있으며, 이러한 반류분포는 일반적으로 캐비테이션 성능과 진동성능에 가장 나쁜 영향을 미치게 된다.

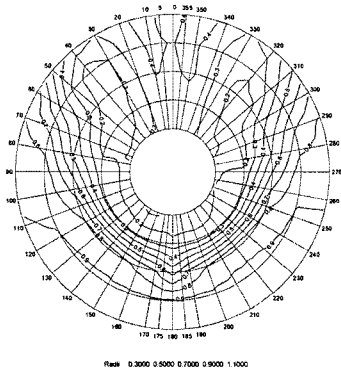


Fig. 3.7 Measured Wake Survey(F1+A1)

3.1.3 선형 수정(2단계)

기존의 유사실적선을 선형변환하여 설계한 2척의 선형에 대하여 모형시험을 수행한 결과 속도성능을 모두 만족스러운 결과를 보여주었다.

그러나 반류분포조사시험 결과에서 보듯이 선미 능골선 형상과 유사한 V형 축반류 형상을 가짐에 따라 프로펠러 설계의 어려움과 진동문제가 예상될 수 있는 상황이었다.

보통 중소형 선박의 선형의 경우 선형특성이 유체역학적 특성에 미치는 영향이 크므로, 선형개발에 있어서는 선수와 선미선형을 서로 다른 개념으로 생각되어야 한다. 즉 선수선형은 조파저항, 쇄파저항 감소 및 내항성능 향상이라는 견지에서, 선미선형은 선미침하에 의한 저항 감소, 그리고 추진효율 개선 및 선미 반류분포의 개선에 의한 진동을 향상시키는 관점에서 개발되어야 한다.

따라서 긴박한 설계일정을 고려하여 선미 반류분포만을 개선하여 진동문제만 피할 수 있도록 최소

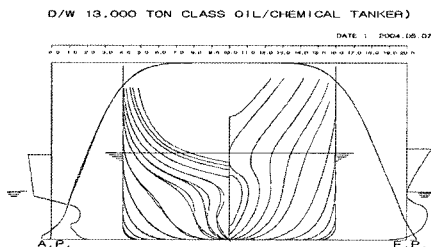


Fig. 3.8 Comparison of Hull Forms(A1, A2)

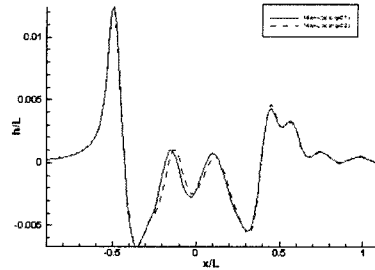


Fig. 3.9 Calculated Wave Profiles(F1, F2)

한 선형수정만 하기로 결정하고, 선미 스케그부의 초기 V형상을 U형상으로 수정하여 먼저 수치계산을 수행하였다.

수치계산을 선체주위의 점성저항 특성과 유동특성을 조사하기 위해 계획회수와 설계속도 조건에 대해 WAVIS 점성유동 해석을 수행하였다. Figs. 3.9와 3.10에서 수정전후의 선형들에 대한 wave pattern과 wave profile을 각각 비교하였다.

Fig. 3.11에는 선형 I(F1+A1)에 대한 반류분포 계산결과를 보여 주고 있으며, 예인수조에서 측정한 반류시험결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 동일한 계산 조건에서 수정선형(F1+A2)에 대하여 수치계산으로 반류분포를 계산한 결과, Fig. 3.12처럼 V형 반류분포가 동심원 형상으로 크게 바뀐 것을 확인할 수 있었다.

따라서 수정된 선형에 대하여 동일한 조건에서 모형시험을 수행한 결과 속도성능 결과도 0.1노트 정도 개선되었으며, 수치계산 결과와 마찬가지로 캐비테이션에 의한 진동문제가 전혀 발생하지 않을

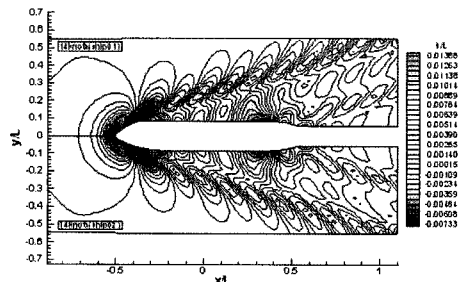


Fig. 3.10 Calculated Wave Pattern(F1, F2)

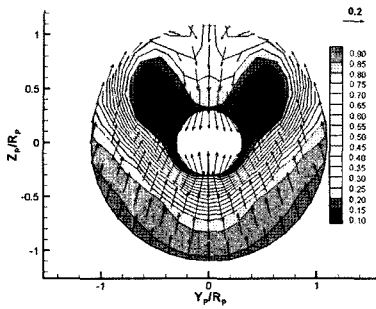


Fig. 3.11 Calculated Wake Distribution(F1+A1)

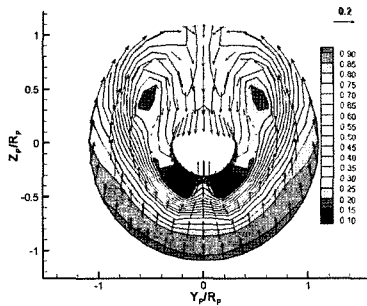


Fig. 3.12 Calculated Wake Distribution(F1+A2)

정도로 반류분포 결과를 획기적으로 개선시켰다.

3.1.4 기대 성과

그동안 중소형 조선소에서는 경제적인 압박과 전문성의 확보부족으로 추진성능이 조금 뒤떨어지고, 진동문제가 야기될 수 있는 전통적인 선형을 주로 답습하여 왔다.

또한 앞에서 설명한 바와 같이 중소형 조선소에는 선형설계를 전담하는 전문가와 조직 및 지원프로그램이 부족하기 때문에 유사실적선에 고질적으로 발생하였던 진동문제를 효과적으로 해결하는 것을 기대하기는 힘든 상황이었다.

따라서 산학연이 주축이 되어 추진성능을 개선하면서도 진동문제를 근본적으로 없앨 수 있는 선형을 작은 수정으로 얻을 수 있었던 것이 가장 큰 수확이었던 같다.

또한 중소형 선박에 대한 수주경쟁력을 강화하기 위해서는 중소형조선소들이 독자적으로 선형개발능

력을 확보하는 것보다는 국내의 산학연 공동연구 과제를 도출하여 꾸준히 선형개발 노력을 지속하여야 할 것으로 판단된다.

3.2 중소형 선박의 추진기설계 기술 분석

3.2.1 개요

최근 국내조선소가 세계 조선 건조순위의 상위권을 모두 석권했다는 기사가 보도된 적이 있다. 국내 최초의 조선소에서 선박 건조를 시작한 이래로 가장 반가운 소식중에 하나일 것이다. 그 동안 국내조선소에서의 선박 건조기술은 비약적으로 발전하였으며 선박건조뿐 아니라 건조기술에서도 세계 최고권에 위치하였다.

그러나 국내선박의 건조기술은 현재 대형 조선소에 한정하여 축적되어 왔으며 중소형 조선소에는 활발한 기술이전이 이루어져 오지는 않았다. 더욱이 최근 대형 조선소의 건조 성향을 보면 고부가가치 선박 중심으로 건조가 이루어지고 있으며 중소형 선박은 점차 중소형 조선소로 넘어가고 있는 실정이다. 따라서 중소형 조선소에서 중소형선박의 건조를 위한 기술습득에 매우 민감한 시기라고 말할 수 있다. 특히 선박건조에 대하여 도약단계에 돌입한 중국과 같은 국가에서는 저렴한 인건비를 무기로 국내 중소형 조선소에 경쟁자로 떠오른 요즈음 선박건조기술의 축적 및 습득은 중요한 핵심이 아닐 수 없다.

중소형 조선소에서 축적하여야 할 선박 건조기술에는 선형설계 및 선박성능향상기술, 선박구조, 내부의장 등 매우 많은 기술을 나열할 수 있으나 이 중에서 본 장에서는 선박 추진기의 설계기술에 집중적으로 다루어 보고자 한다.

3.2.2 추진기설계 기술 수준

국내 선박추진기의 설계기술은 이론적인 측면과 실용적인 측면에서 세계최고의 수준까지 발전을 해왔다. 중소형선박과 대형 컨테이너선 및 LNG 등 고가의 선박과 특수선의 추진장치까지 자체적으로



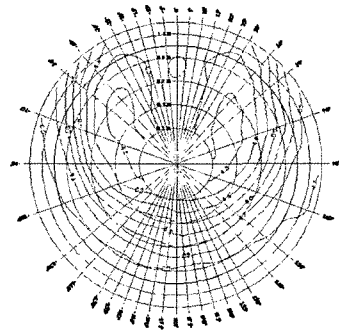
설계하고 제작하여 명실 공히 조선 1위의 국가로 성장해 왔다. 그러나 최근에 들어 고가의 선박 및 고부가가치 선박에 너무 치중한 나머지 중소형 선박의 설계기술은 다소 등한시 해 온 것은 매우 아쉬운 일이 아닐 수 없다. 특히 중소형 조선소에서는 아직도 추진기분야에 설계인력의 부족으로 인하여 외부연구기관이나 설계사무소의 설계에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 중소형 선박의 추진기의 특성 및 설계방향을 검토하고 실선 추진기의 설계 및 모형시험을 통하여 중소형선박 추진기의 최적설계 기법을 정리하고자 한다.

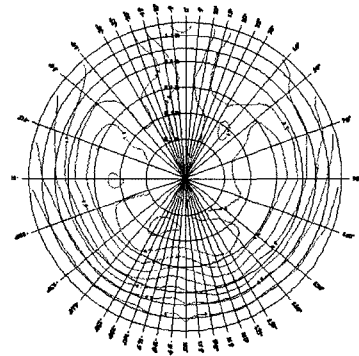
중소형 선박의 추진기설계 기술수준을 파악하기 위하여 최근 5년간의 설계실적을 바탕으로 DWT 10,000톤급에서 DWT 30,000 톤급 사이의 중소형 선박에 대하여 분석하였다.

프로펠러의 설계에 미치는 중요인자는 관점에 따라 매우 다양하게 분류 될 수 있다. 그러나 일반적으로 프로펠러 설계자들이 중요하게 여기는 주요 설계인자에 대하여 우선적으로 고려하였다. 프로펠러 설계의 주요인자는 주로 반류분포, 설계속도 및 회전수, 캐비테이션수로 분리하였으며 프로펠러 설계에 따른 캐비테이션 및 변동압력은 설계 주요 인자를 가지고 설계후에 나타나는 설계결과로서 생각하였다.

첫 번째로 반류에 대하여 생각하면 반류는 선형의 설계에 따라 여러 가지 형태로 나타난다. 더욱이 프로펠러는 선미반류에서 작동하는 추진장치로서 반류에 의한 영향은 매우 지대하다. Fig. 3.13은 전형적인 중소형 선박의 반류분포이다. 두 가지 반류를 비교하면 프로펠러가 작동하는 영역중 주로 캐비테이션이 발생하는 영역(-40° 에서 40°)에서의 속도분포가 매우 다르게 나타남을 알 수 있다. 프로펠러에 유입되는 국부유동의 받음각은 프로펠러에 유입되는 유입유동과 회전속도에 의한 유입유동의 속도벡터로 표시할 수 있다. 따라서 저속구간이 많은 반류는 프로펠러의 캐비테이션 입장에서 좋지



(저속구간이 많은 반류)



(저속구간이 적은 반류)

Fig. 3.13 전형적인 탱커선박의 반류분포 비교

않음을 알 수 있다. 또한 0° 근처에서의 반류분포가 매우 급격히 변하는 경우, 유속의 변화하는 범위가 좁은 경우 모두 프로펠러의 캐비테이션 입장에서 좋지 않은 결과를 가져온다. 따라서 선미선형의 경우 선체의 효율적인 입장과 더불어 프로펠러의 입장을 반드시 고려하여 설계 하여야 한다.

선박의 크기에 따른 설계속도 및 회전수를 Fig. 3.14에 도시하였다. 선박의 크기에 따라 설계속도 및 엔진의 회전수가 정해지는 것은 아니지만 현재 조선소에서 선정하는 엔진의 종류가 한정되어 있으며 선박의 크기에 따라 요구 선속의 변화가 그리 큰 폭을 가지고 있지 않으므로 선박의 크기에 따른 선속과 회전수의 변화추이를 보면 현재 건조중인 선박의 제원이 기존의 선형에 비해 어느 정도 타당한

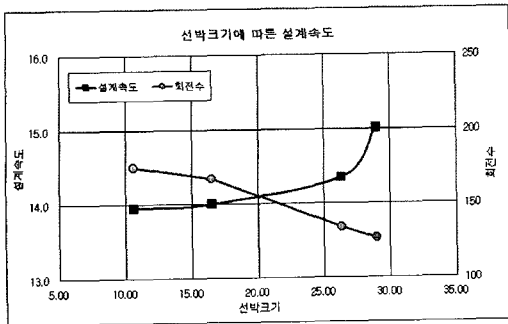


Fig. 3.14 선박의 크기에 따른 선속 및 회전수

선박인지를 평가하기 위한 지표로 사용할 수 있다.

프로펠러에서 캐비테이션 수는 프로펠러에 발생하는 캐비테이션을 지배하는 가장 큰 요소 중에 하나이다. 물론 캐비테이션 수는 프로펠러의 회전수 및 축 물수깊이에 따라 차이가 있으나 선박의 크기에 따라 나누어 보면 현재 설계하고자 하는 선박의 캐비테이션 영역이 어느 정도인지 평가할 수 있다. 따라서 기존의 선박의 캐비테이션 수 변화를 Fig. 3.15에 도시하였다.

선박 프로펠러의 설계는 선박의 크기나 선종에 관계없이 다음과 같은 기본 개념으로 수행하여야 한다.

효율 및 캐비테이션의 합의

일반적으로 최고의 효율을 가지면서 최저의 캐비테이션을 나타내는 프로펠러를 설계하는 것은 거의

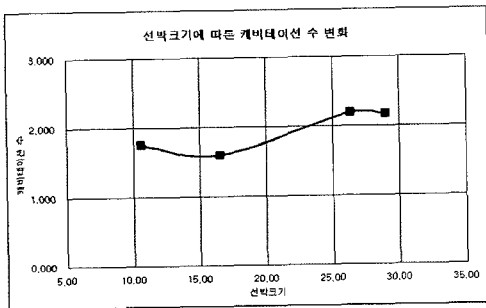


Fig. 3.15 선박크기에 따른 캐비테이션 수

불가능하다. 따라서 프로펠러의 선속을 만족시킬 수 있는 효율을 가지면서 캐비테이션에 의한 폐해가

발생하지 않도록 설계하여야 한다.

최적효율: 속도 및 회전수

캐비테이션의 폐해가 발생하지 않는 한도에서 프로펠러의 최적 직경, 전개면적비, 최적피치분포, 최적캠버분포 등을 수치계산을 통하여 설계하며 모형 시험을 통하여 검증하여야 한다.

캐비테이션 저감: 선박의 안전 및 쾌적함

프로펠러에서 발생하는 캐비테이션은 최대한 적을수록 좋으나 프로펠러에서 캐비테이션의 발생은 피할 수 없는 문제이기도 하다. 따라서 캐비테이션의 발생은 양적인 감소 및 캐비테이션의 발생과 소멸과정의 안정성을 염두에 두고 설계하여야 한다.

따라서 성능이 좋은 프로펠러를 설계하기 위한 환경을 만들기 위해서는 다음과 같은 요인들을 고려하여야 한다.

첫째, 반류의 개선을 위하여 선형설계 단계에서 선체효율과 프로펠러와의 합의에 의한 선미형상 설계를 수행하여야 한다.

둘째, 캐비테이션 수의 증가를 위하여 축 물수 깊이의 증가, 엔진 회전수 감소 등을 도모하여야 한다.

셋째, 프로펠러 설계점의 개선을 위하여 선속의 감소, 엔진 마력의 증가 등을 고려 하여야 한다.

그러나 위의 항목들은 현실적으로 만족하기 어렵거나 불가능한 경우도 많이 있다. 따라서 설계단계 전부터 프로펠러의 설계를 고려하는 것이 요구된다.

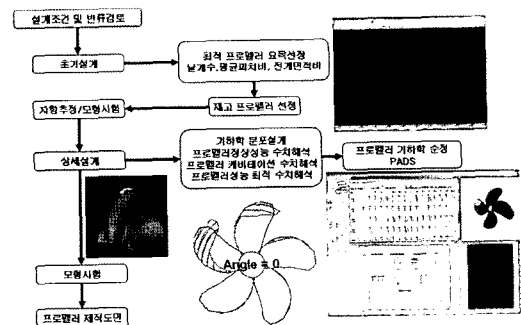


Fig. 3.16 전형적인 프로펠러 설계 흐름



Table 3.2 설계를 수행한 실선의 제원

설계요소	제 원
선박특성	DWR 13,000 Ton Tanker
엔진특성	5454 BHP×167 rpm
설계선속	13.4 knots
캐비테이션 수	1.906
직경	4.3m

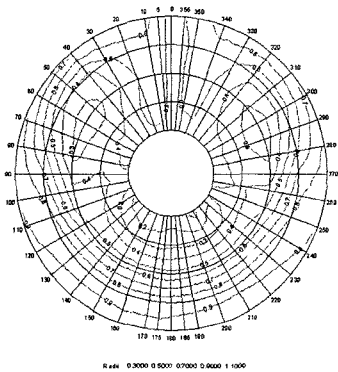


Fig. 3.17 설계 적용한 반류분포

이상의 설계요소들을 고려한 다음에 프로펠러 설계는 Fig. 3.16과 같은 흐름에 의하여 설계되어진다.

3.2.3 추진기설계 사례

실선 중소형 선박의 프로펠러 설계를 수행하였다. 설계한 프로펠러를 모형시험 및 수치계산을 통하여 설계요소에 따른 프로펠러의 영향을 살펴보았다. 설계를 수행한 실선의 제원은 Table 3.2와 같다.

기존의 선박과 비교하여 보면 캐비테이션 수가 다소 크고 선속도 적게 설정되어 있어 프로펠러를 설계하기 좋은 상태임을 알 수 있다. 또한 반류분포(Fig. 3.17)도 매우 좋은 형상과 속도값을 가지고 있다. 따라서 설계하기 전부터 프로펠러의 성능 및 캐비테이션에 대한 문제는 적다는 것을 짐작할 수 있다.

설계된 프로펠러의 도면을 Fig. 3.18에 도시하였으며 캐비테이션 수조에서 모형시험한 캐비테이션의 모습을 Fig. 3.19에 나타내었다.

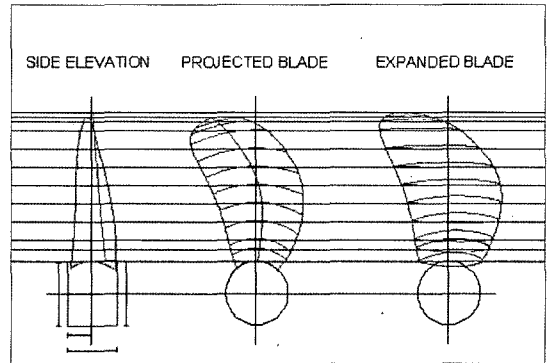


Fig. 3.18 설계된 프로펠러



Fig. 3.19 캐비테이션 모형시험 결과

3.2.4 기대 효과

실선 시운전 결과와 모형시험의 비교 분석결과 선속 및 회전수의 좋은 일치를 보였으며, 설계속도 보다 다소 큰 속도를 얻었다. 또한 프로펠러에 의한 진동 및 변동압력도 매우 작은 결과를 나타냈다.

이와 같은 결과는 프로펠러의 설계환경을 매우 좋게 하였기 때문에 나타난 당연한 결과이었다. 더욱이 설계속도 및 효율적인 측면에서도 우수한 선형이 도출되었다.

따라서 향후 선박의 설계는 프로펠러 및 선체를 동시에 고려한 설계를 수행하여야 됨을 다시 한번 강조하면서 향후 추진기설계의 기본개념이 되기를 기대한다.

3.3 중소형 선박의 전선 진동해석과 국부진동해석 및 실선 계측

3.3.1 서론

선박의 진동에 대해서는 우선 설계단계에서는 과도한 진동의 발생가능성을 이론해석을 통하여 검토하고 필요시 대책을 강구하여 설계에 반영하여야 한다. 건조 후에는 실선계측을 통하여 요구된 기준을 만족하는지 검증하여야 하며, 필요시 방진대책을 강구하여야 한다.

본 연구에서는 대상선에 대하여, 설계단계에서의 선체진동에 대한 이론해석 및 실선계측 결과를 정리·검토하였다. 대상선에 대한 하중조건은 Table 3.3과 같다.

3.3.2 설계단계에서의 이론적 검토

설계단계에서는 일반적으로 선박진동의 가장 큰 기진력인 프로펠러기진력과 엔진 기진력에 의한 진

Table 3.3 Loading Conditions

Ballast	d_r	4.466 M
	d_a	7.069 M
	Displacement	10,902 ton
Full Load	d_r	7.952 M
	d_a	9.392 M
	Displacement	17,474 ton

동을 검토하였다. 프로펠러기진력은 이론적으로 해석하였고, 엔진기진력에 대해서는 엔진메이커의 shop test 자료를 제공받았다.

고유진동 해석을 통해 대상선의 글로벌 진동모드와 주요 기진력과의 공진 가능성을 검토하였으며, 상기의 기진력에 의한 강제진동해석을 수행하여 관심위치에서의 진동응답을 ISO 6954(1984E)의 허용기준[V1]과 비교하여 과도한 진동발생 여부를 검토하였다.

3.3.2.1 프로펠러 기진력

축전달 기진력(Bearing Force)은 비정상 양력면이론에 의하여 추정하였으며, 표면전달 기진력(Surface Force)은 Vortex Lattice method에 의해 프로펠러에 발생하는 캐비테이션의 범위 및 크기를 추정하고,

Table 3.4 Particulars of the Propeller

Number of blades	5 EA
Blade diameter	4.30 m
Hub diameter	0.75 m
Propeller RPM	170.87 RPM
Speed	13.4 knots
J_A (전진계수)	0.361
F_n (Froude Number)	3.556
Cavitation Number	2.114

이 캐비테이션을 고려하여 선체표면에 작용하는 변동압력을 패널법에 의해 구하였다. 해석은 설계속도에서 수행하였으며, 주요 추진기 제원은 Table 3.4와 같다. 다른 프로펠러 rpm에서의 기진력은 일반적으로 ‘프로펠러 기진력은 rpm의 3승에 비례한다’고 가정하여 구한다.

1) 축전달 기진력

산정된 1차 축전달 기진력(3축방향의 변동력과 변동모멘트)을 평균추력과 평균토크로 무차원화한 결과를 Table 3.5에 정리하였으며, BV의 상선에 대한 허용기준[V2]과 비교하여 보면, 모든 성분이 허용한계 보다 매우 작음을 확인할 수 있다.

2) 표면전달 기진력

Table 3.5 Non-Dimensionalized Bearing Force at 170.87 rpm

	Analysis Result	Allowable Limit (BV)
$F_x/F_{x_{mean}}$	0.05	0.06
$F_H/F_{x_{mean}}$	0.01	0.10
$F_V/F_{x_{mean}}$	0.02	0.10
$F_x/M_{x_{mean}}$	0.06	0.07
$F_H/M_{x_{mean}}$	0.01	0.60
$M_V/M_{x_{mean}}$	0.01	0.60

($F_{x_{mean}}$: Mean Thrust, $M_{x_{mean}}$: Mean Torque, X: Longi., H: Athwartships, V: Vertical)



Table 3.6 Unsteady Surface Pressure & Force at 170.87 rpm

	1st Order		2nd Order		Allowable [KR]
	Freq.	Mag.	Freq.	Mag.	
Peak Pressure	14.24 Hz	1.0 kPa	28.48 Hz	0.15 kPa	8.0 KPa
Force		17.56 kN		3.56 kN	

Table 3.7 Engine Excitation Force at 178.6 rpm

Order of E/G rpm	Mode	Magnitude
2	Unbalanced moment	200 kNm
3	X-type moment	141 kNm
4	X-type moment	73 kNm
6	H-type moment	155 kNm

설계속도에서의 1차와 2차 성분의 최대 선체표면 전달압력과 프로펠러 상부 선체표면에 분포된 압력을 적분하여 구한 선체표면전달 기진력을 Table 3.6에 정리하였으며, 한국선급(KR)의 상선에 대한 허용기준[V2]과 비교하여 보면, 허용한계 보다 매우 작음을 확인할 수 있다.

3.3.2.2 엔진 기진력

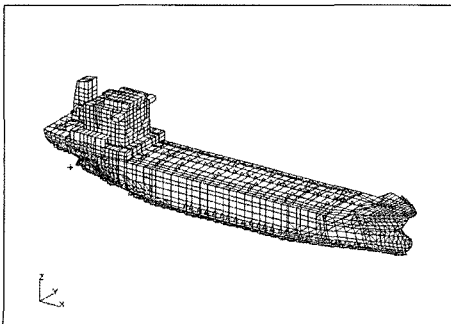


Fig. 3.20 3-D FE Model for Vibration Analysis

Table 3.7은 대상선에서 사용하는 6기통의 엔진에 대해 (주)21세기조선이 제공한 엔진 기진력 데이터로서 shop-test시 178.6 rpm에서 측정된 결과이다. 일반적으로, 엔진 기진력은 rpm의 자승에 비례한다고 가정한다.

3.3.2.3 선체진동 해석

범용 유한요소 구조해석 프로그램 중의 하나인 MSC/NASTRAN을 사용하여 대상선의 3차원 상해 유한요소 진동해석을 두 가지 하중조건(발라스트상태, 만재상태)에 대해 수행하였으며, 해석모델을 Fig. 3.20에 도시하였다.

접수효과를 고려하기 위하여 MSC/ NASTRAN에서 제공하는 유체-구조 상호작용 해석방법의 하나인 Constant Panel Method의 Virtual Mass Method를 사용하여 부가수 질량을 고려한 해석을 수행하였다.

1) 고유진동해석

대상선의 글로벌 진동모드와 주요 기진력과의 공진 가능성 여부를 검토하고자 고유진동해석을 수행하였는데, NCR(165rpm)에서 주요 기진력과 공진 가능성은 다음과 같다.

- 만재상태에서 엔진2차 기진력(5.5Hz)과 4절상하진동모드(5.274Hz)
- 발라스트상태에서 엔진 2차 기진력(5.5Hz)과 4절상하진동모드(5.747Hz)

2) 강제진동해석

선주가 요구한 19개소(Table 3.8)에서 과도한 진동이 발생하는지 여부를 검토하기 위해 각 rpm에서(60~173)에서의 강제진동 응답을 해석하였다. 선박진동응답 계산시 중요한 인자인 감쇠계수는 대략 임계감쇠의 2~3% 내외로 알려져 있으나, 본 해석에서는 6Hz 이하에서는 임계감쇠의 1%를, 그 이상에서는 2%를 가정하여 보다 보수적인 해석을 수행하였다.

Table 3.8 Locations of Forced Vibration Analysis

No.	Deck	Room Name(Direction)
1	NAV.	WHEEL HOUSE (V)
2	BRI.	ON NAV. BRI. DECK (V)
3	DECK	ON NAV. BRI. DECK (V)
4	CAPTAIN DECK	C/ENG. DAY ROOM (V)
5		CAPT. DAY ROOM (V)
6		AFT ROOM (V)
7		FRONT WALL FUNNEL (V)
8	"B" DECK	2/ENG. ROOM (V)
9		2/OFF. ROOM (V)
10	"A" DECK	OILER(A) ROOM (V)
11		SAILOR(A) ROOM (V)
12	POOP DECK	OFF. MESS ROOM (V)
13	DECK	CREW MESS ROOM (V)
14	UPPER DECK	ENG. CONTROL ROOM (V)
15		E/R SPACE (V)
16		STEER. GEAR ROOM (V)
17	PARTIAL DECK	E/R SPACE(FORE) (V)
18	DECK	E/R SPACE(AFT) (V)
19	ENGINE FLOOR	E/R SPACE(FORE) (V)

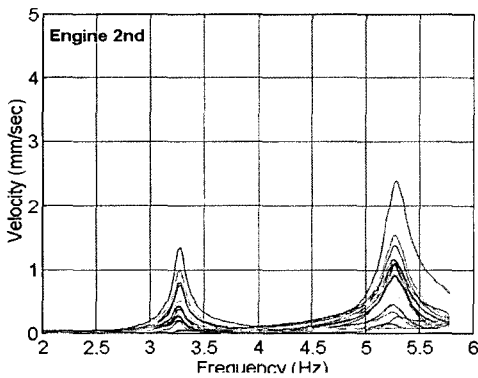


Fig. 3.21 Vertical Response due to 2nd Order Component of Engine Excitation Force at 19 points (Full Load Condition)

발라스트상태와 만재상태에 대해서 각 기진력별로 60rpm 부터 173rpm까지 각 위치에서 강제진동

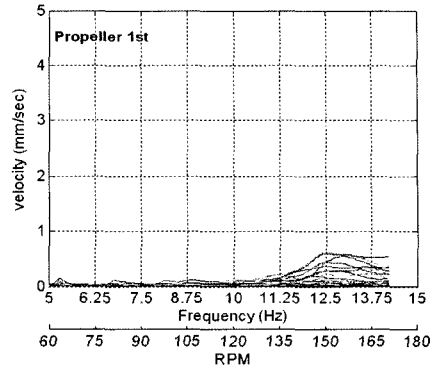


Fig. 3.22 Vertical Response due to 1st Order Component of Propeller Surface Force at 19 points(Full Load Condition)

응답해석을 수행한 결과, Table 3.8의 각 위치에서의 진동응답은 ISO 6954(1984E)의 허용기준 (4-9mm/sec for 6-100Hz)을 충분히 만족하였다.

참고로 만재상태에서 공진가능성이 있는 엔진 2차 기진력에 의한 19개소의 응답과 선체표면 전달력 1차성분에 의한 19개소의 응답을 Fig. 3.21과 Fig. 3.22에 나타내었다.

3.3.2.4 검토결과

프로펠러 기진력은 일반상선에 대한 허용기준에 비해 매우 작다.

Table 3.5와 Table 3.6에서 보듯이 축전달 기진력과 선체표면 전달기진력 2차성분은 선체표면 전달 기진력 1차성분에 비해 매우 작으므로, 본 연구에서는 프로펠러 기진력으로서의 선체표면 전달력 1차성분만 고려하였다.

고유진동 해석결과, 발라스트상태에서 4절상하 진동모드와 NCR에서의 엔진2차기진력과의 공진가능성과 만재상태에서 4절상하 진동모드와 NCR에서의 엔진2차 기진력과의 공진가능성이 있으나, Fig. 3.21에서 보듯이 공진이라 할지라도 최대응답이 ISO 6985(1984E)의 허용치(4-9mm/sec)보다 작다. 이는 비교적 고차모드이고 엔진기진력이 크지 않기 때문이다.



Table 3.9 Loading Conditions at Measurement and Analysis

		Measurement	Analysis
Ballast	DISPLACEMENT (TON)	9928	10846
	DRAFT FORWARD(m)	4.681	5.700
	DRAFT AFT (m)	5.900	5.700
	DRAFT MEAN(m)	5.291	5.700
Full Load	DISPLACEMENT (TON)	17409	17418
	DRAFT FORWARD(m)	8.490	8.700
	DRAFT AFT (m)	8.862	8.700
	DRAFT MEAN(m)	8.676	8.700

강제진동 해석결과, 선주가 요구한 19개소의 NCR에서의 진동은 허용치 이내이다. 따라서, 대상선은 허용치 이내의 진동이 예상된다.

3.3.3 실선 진동계측

ISO 6954(2000E)[V3]에 따라 대상선에 대한 발라스트상태와 만재상태에서의 해상 시운전시 NCR(165rpm)에서 Table 3.8의 19개소에서 진동계측 및 평가를 수행하였다.

Table 3.9에는 실선계측시 적재상태를 진동해석시의 적재상태와 함께 정리하였으며, Table 3.10에는 ISO 6954(2000E)의 허용기준을 정리하였다.

ISO 6954(2000E)에 따라 Table 3.8의 19개소에 대한 주파수별가중치 적용속도(frequency-weighted velocity r.m.s value)를 구하여, 그 결과를 3.3.2장의 이론해석 결과와 함께 Table 3.11에 정리하였으며, Fig. 3.23과 Fig 3.24에 허용기준과 함께 도시하였다.

Fig. 3.23과 Fig. 3.24에서 보면, 대상선의 총 19개소의 진동계측 결과는 허용기준의 하한치 이하로 기준을 충분히 만족하고, 또한 적재상태의 차이를 감안한다면 이론 예측치와 실선 계측치가 잘 일치함을 확인할 수 있다.

3.3.4 고찰

설계단계시 이론해석을 통하여, 프로펠러 기진력

Table 3.10 Guidelines for the habitability for different areas on a ship

Habitability	Area classification*		
	A	B	C
	mm/s	mm/s	mm/s
Values above which adverse comments are probable	4	6	8
Values below which adverse comments are not probable	2	3	4

* The table gives frequency weighted r.m.s values from 1 Hz to 80 Hz

Classification A: Passenger Cabins

Classification B: Crew Accommodation Areas

Classification C: Working Areas

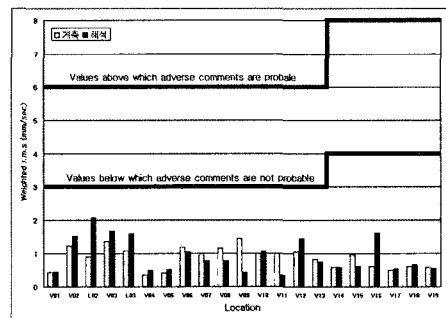


Fig. 3.23 Comparison of Frequency Weighted Velocity Between Measurement and Analysis for Ballast Condition

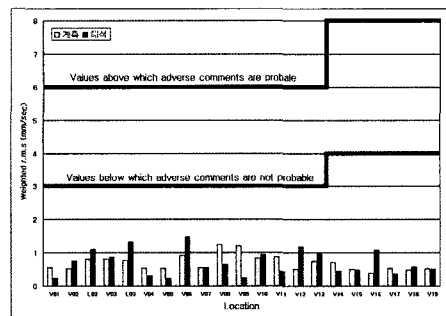


Fig. 3.24 Comparison of Frequency Weighted Velocity Between Measurement and Analysis for Full Load Condition

Table 3.11 Frequency Weighted Velocity

No.	Classification	Frequency Weighted Velocity(RMS) [mm/s]			
		Ballast		Full Load	
		Measure	Analysis	Measure	Analysis
1	B	0.445	0.462	0.566	0.213
2	B	1.242	1.542	0.534	0.738
3	B	1.376	1.718	0.813	0.867
4	B	0.382	0.465	0.548	0.288
5	B	0.444	0.502	0.548	0.195
6	B	1.219	1.091	0.926	1.511
7	B	0.958	0.779	0.558	0.521
8	B	1.181	0.817	1.268	0.666
9	B	1.467	0.452	1.233	0.248
10	B	1.02	0.108	0.849	0.990
11	B	1.015	0.377	0.886	0.457
12	B	1.067	1.506	0.527	1.226
13	B	0.851	0.798	0.766	0.994
14	C	0.608	0.517	0.716	0.453
15	C	0.980	0.566	0.524	0.462
16	C	0.630	1.584	0.397	0.993
17	C	0.521	0.450	0.544	0.365
18	C	0.638	0.574	0.487	0.533
19	C	0.612	0.450	0.535	0.513

이 매우 작고 선체 저차모드와의 공진가능성이 없음을 확인하였으며, 강제진동 해석결과 대상선의 진동은 허용한계 이내의 수준으로 예상되었다.

실선계측결과, 대상선의 진동은 매우 적으며 ISO6954 (2000E)를 충분히 만족하였으며, 해석결과는 실선계측결과와 잘 일치하였다.

4. 맺는말

2020년 이후까지 한국이 조선업 세계 1위를 하려면 고도의 기술력을 동반한 고부가가치 선박에 집중해야만 가능하다. 따라서 우리나라도 중소조선소들의 사업다변화와 고부가가치선박 물량확보 측면에서 이 분야에 대한 기술 확보를 위해 관련 인프리를 구축이 시급하다.

따라서 산학연이 주축이 되어 선박설계 관련 인프라를 구축하면 적은 투자로 우수한 성능을 갖는 중소형 선박을 건조하고 중소형 선박 수주 경쟁력을 확보할 수 있을 뿐아니라 국내 설계기반 다면화 및 기술축적을 통한 선진조선대국으로서 지속적인 위상유지가 가능할 수 있음을 확인하였다.

앞으로 다음과 같은 산학연 역할분담론에 따라 중소형 조선소와 산학연이 긴밀히 상호 협력하여 산학연 공동연구 과제를 지속적으로 도출하고, 공동활용을 통하여 내수 중소형선의 고급화 및 성능향상을 이끌어 간다면 선박건조비의 절감과 대외 수주경쟁력 확보에 크게 기여할 수 있을 것이라 확신한다.

- 조선소(설계용역회사): 설계, 건조, 기본계산, 초기 선형 도출 및 시운전
- 학계: 특수 설계기술, 산업기술 동향 분석 및 정책지원 강구
- 연구소: 선형, 추진기, 수차해석, 속도-마력 추정, 성능 검증 및 시운전해석

다만 본 과제를 통하여 느낀 점은 초기단계부터 산학연 협조체계가 제대로 구축되어 산학연이 체계적으로 본 과제를 수행하였다면, 보다 적은 예산과 시간투자로 보다 우수한 성능을 갖는 선박건조가 가능할 수 있었겠다는 아쉬움이 조금 남는다.

마지막으로 한국조선산업의 격동기를 거치면서 지금도 중소조선소에 헌신적으로 몸담고 계시면서 본 주제발표를 가질 수 있도록 결정적인 기회를 만들어 주시고 춘계조선학회의 기획세션 발표장까지 참석하여 산학연 활동에 대한 필요성을 역설해 주신 (주)21세기조선 문귀호 사장님께 진심으로 감사드립니다.


5. 참고 문헌

- [1] 강병윤, "2004년도 중소조선산업 백서", 한국중소조선기술연구원 한국조선공업협동조합, 2004. 10.
- [2] 이춘주, "체계적인 선형개념 정립과 선형설계 프로그램 개발", 석사학위논문 충남대학교, 2000



이춘주, 문일성, 신종계, 이현엽

- [3] S.I. Yang, "Model Test of ITTC Standard Model and Study on Measuring Equipment", KRIS Report No. UCE 35-56, 79, May 1979
- [4] E.C. Kim and S.I. Yang, "The Development of the analysis Program for the Resistance and Propulsion Test Result", Bulletin of KIMM Vol. 17, October 1987.

- [5] ISO 6954-1984 (E) Mechanical Vibration and Shock-Guidelines for the Overall Evaluation of Vibration in merchant ships, 1984.
- [6] 한국선급, 선박 진동·소음 제어 지침, 1997.
- [7] Mechanical Vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration in merchant ship, 2000. 

이 춘 주



- 1956년생
- 2003년 충남대학교 선박해양공학 박사
- 관심분야: 특수선형 최적선형 도출 및 성능 평가
- 연 락 처: 042-868-7248
- E-mail : reslcj@moeri.re.kr

문 일 성



- 1965년생
- 공학박사
- 관심분야: 추진기 최적설계 및 성능수치해석
- 연 락 처: 042-868-7255
- E-mail : misprop@moeri.er.kr

신 종 계 | 서울대학교 조선해양공학과



- 1955년생
- 1988년 MIT 해양공학과 박사
- 관심분야: PLM기반 시뮬레이션 생산시스템
- 연락처: 02-880-7129
- E-mail: jgshin@anu.ac.kr

이 현 엽



- 1954년생
- 1991년 MIT 해양공학과 박사
- 관심분야: 진동, 함정
- 연 락 처: 042-821-6626
- E-mail : hylee@cnu.ac.kr