creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000265115

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2015년 8월
석사학위 논문

중형선박의 추진효율 향상을 위한 부가물 개발에 관한 연구

조선대학교 대학원

선박해양공학과

이 건 호

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중형선박의 추진효율 향상을 위한 부가물 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Appendage for Improvement of Propulsion Efficiency in Medium Sized Vessels

2015년 8월 25일

조선대학교대학원

선박해양공학과

이 건 호

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중형선박의 추진효율 향상을 위한 부가물 개발에 관한 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 선박해양공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2015년 4월

조선대학교대학원

선박해양공학과

이 건 호

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이건호의 석사학위 논문을 인준함

위원장 거창대학교 교 수 좌 순 원 (인)

위 원 조선대학교 교 수 이 귀 주 (인)

위 원 충남테크노파크선임연구원 안 정 선 (인)

2015년 5월

조선대학교 대학원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

List of Tables ····· ii
List of Figures ····· iii
Abstract ····· v

제 1장 서론 ····· 1
제 1절 연구개발 배경 ····· 1
제 2절 연구개발의 필요성 및 중요성 ····· 2
제 3절 연구 관련 기술의 현황 ····· 4

제 2장 설계 및 수치해석 ····· 7
제 1절 Stator 설계 및 계산 ····· 7
1. Stator 설계 ····· 7
2. Stator의 구조 및 강도 계산 ····· 17
제 2절 부가물 설계 및 계산 ····· 19
1. 추진효율 향상을 위한 부가물 설계 ····· 19
2. Crown Duct 구조 및 강도 계산 ····· 26
3. Crown Duct의 Supporter 설계 ····· 28
4. CFD code를 이용한 이론계산 및 분석 ····· 30

제 3장 모형시험 ····· 42

제 4장 결론 ····· 49

참고문헌 ····· 50

부록

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table. 2-1 Stator의 구조 및 강도계산 결과 ····· 18
Table. 2-2 Stator Fin의 offset Table ····· 24
Table. 2-3 Crown Duct의 구조 및 강도계산 결과 ····· 27
Table. 2-4 15kn에서 나선 및 부가물 부착상태의 CFD계산 결과 ····· 30
Table. 3-1 Main particulars of Towing Tank in SSPA ····· 42
Table. 3-2 Main dimension of ship and model ····· 43
Table. 3-3 Main particulars for model propeller ····· 43
Table. 3-4 Crown Duct의 만재상태에서 모형시험 결과 ····· 48
Table. 3-5 Bare Hull Ballast 상태에서 모형시험 결과 ····· 48

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. 1-1 대한민국 온실가스 감축 목표 ····· 1
Fig. 1-2 Energy saving devices ····· 3
Fig. 1-3 Ecoship project 기본 개념도 ····· 6
Fig. 1-4 국외에서 개발한 부가물 ····· 6
Fig. 2-1 프로펠러 단면에서의 유동계산 결과 ····· 7
Fig. 2-2(a) Rotation Angle vs VX/VM ····· 8
Fig. 2-2(b) Rotation Angle vs VR/VM ····· 8
Fig. 2-2(c) Rotation Angle vs VT/VM ····· 9
Fig. 2-2(d) Rotation Angle vs INFLOW ANGLE [deg] ····· 9
Fig. 2-2(e) Rotation Angle vs INFLOW VELOCITY/VM ····· 10
Fig. 2-2(f) r/R vs INFLOW ANGLE [deg] ····· 10
Fig. 2-2(g) r/R vs INFLOW VELOCITY/VM ····· 11
Fig. 2-3 부가물 단면에서의 유동계산 결과 ····· 11
Fig. 2-4(a) Rotation Angle vs VX/VM ····· 12
Fig. 2-4(b) Rotation Angle vs VR/VM ····· 12
Fig. 2-4(c) Rotation Angle vs VT/VM ····· 13
Fig. 2-4(d) Rotation Angle vs INFLOW ANGLE [deg] ····· 13
Fig. 2-4(e) Rotation Angle vs INFLOW VELOCITY/VM ····· 14
Fig. 2-4(f) r/R vs INFLOW ANGLE [deg] ····· 14
Fig. 2-4(g) r/R vs INFLOW VELOCITY/VM ····· 15
Fig. 2-5 유동계산 결과 종합 ····· 15
Fig. 2-6 Port에서 유입각 ····· 16
Fig. 2-7 Starboard에서 유입각 ····· 16
Fig. 2-8 Stator 날개의 단면 ····· 17
Fig. 2-9 Stator의 3D형상 ····· 18
Fig. 2-10 각 Stator Fin의 크기 ····· 20
Fig. 2-11 Stern Profile ····· 21

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2-12 각 Fin의 단면 형상 ····· 22
Fig. 2-13 각 Stator 위치 및 도면 ····· 23
Fig. 2-14 Rhino에 의한 Crown Duct 설계 3D View ····· 25
Fig. 2-15 Structural illustration and symbols of Crown Duct ····· 26
Fig. 2-16 Crown Duct Supporter의 2-D 도면 ····· 28
Fig. 2-17 Crown Duct Supporter의 3-D 도면 ····· 29
Fig. 2-18 Crown Duct Supporter의 선체 부착 시 3-D 도면 ····· 29
Fig. 2-19 Without Crown Duct(상)와 with Crown Duct(하)의 Stream line 비교 ····· 31
Fig. 2-20 Without Crown Duct(상)와 with Crown Duct(하)의 유동계산 결과 비교 ·· 32
Fig. 2-21 Without Crown Duct(상)와 with Crown Duct(하)의 선미 유동 비교 ····· 33
Fig. 2-22 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 회전 방향 속도 비교 ····· 34
Fig. 2-23 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 접선 방향 속도 비교 ····· 35
Fig. 2-24 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Transvers 속도 비교 ····· 36
Fig. 2-25 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Wake fraction 비교 ····· 37
Fig. 2-26 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Vtr 비교 ····· 38
Fig. 2-27 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Wake 비교 ····· 39
Fig. 2-28 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 $U_{x=4}$에서 Wake 비교 ····· 40
Fig. 2-29 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 $U_{x=5}$에서 Wake 비교 ····· 41
Fig. 3-1 Towing Tanker in SSPA ····· 42
Fig. 3-2 Crown Duct의 모형 사진 ····· 45
Fig. 3-3 Crown Duct 부착 시 만재상태의 V=15kn에서의 모형시험 사진 ····· 46
Fig. 3-4 Crown Duct 부착 시 Ballast 상태에서 V=15kn에서의 모형시험 사진 ····· 47

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on the Development of Appendage for Improvement of Propulsion Efficiency in Medium Sized Vessels

Lee Gun Ho
Advisor : Prof. Lee Kwi-Joo, Ph. D.
Department of Naval Architecture
& Ocean Engineering
Graduate School of Chosun University

In this thesis, the development of propulsive efficiency improvement device for medium size vessels has been studied.

Developed device "Crown Duct" is a Semi-Duct mixture to small size of the Stator to properly guide the direction of flow.

Crown duct designs were performed, and structural calculation in the point of safety and practical application. A qualitative analysis by theoretical calculation with CFD code of Shipflow, and model test in towing tank has been carried out.

The model tests showed 4.4% efficiency gain with Crown Duct at full load condition and 6.87% at ballast condition compared with the bare hull ones.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발 배경

최근 무분별한 발전과 자원사용으로 꾸준히 증가된 온실가스로 인해 해수면 상승, 이상기상 현상 등 전 세계적으로 생태계와 인간생활에 영향을 주고 있다. 이로 인해 전 세계적으로 온실가스 감축을 위해 노력을 하고 있다. 한국의 경우 1990년 이후 제조업 중심의 경제성장으로 온실가스 배출량이 2배가량 급격히 증가해 OECD 가입국 중 증가율 1위와 온실가스 배출량 9위를 기록했다. 이에 2010년 4월 녹색성장법이 시행되었으며 2020년까지 국가 온실가스 감축목표를 2005년 대비 4%(배출전망치 대비 30%) 수준으로 최종 확정했다.

온실가스 감축에 대한 경제부문별 감축 목표량(Fig. 1-1)은 전체적으로 균등하나 수송이 가장 높은 감축 목표량을 가지고 있다. 또한, 국제해사기구(IMO)는 2010년 3월 22일 60차 MEPC회의를 열어 전 세계 이산화탄소 배출량의 3.3%를 차지하는 선박에 대한 연비 규제와 선박 운항 시 온실가스 감축 방안에 대한 논의를 하였다. 이를 위하여 친환경선박 설계기술, 연료절감을 위한 추진시스템 구축 등 선박을 효율적으로 유지하고 관리하기 위한 기술들이 개발되어져야한다.

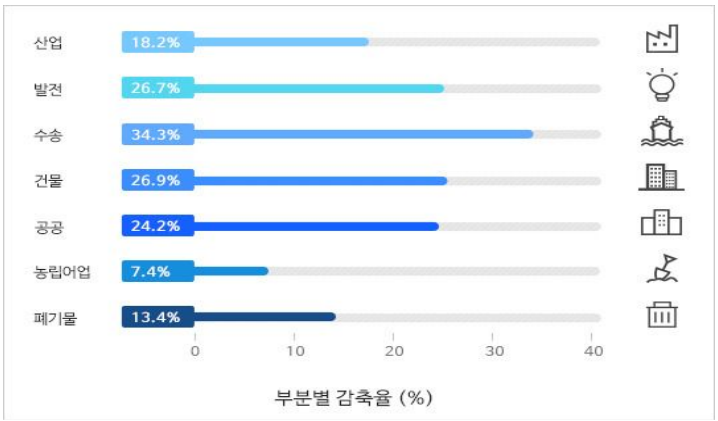


Fig. 1-1 대한민국 온실가스 감축 목표

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

현재 국내에서는 대형선박의 에너지절감에 대한 관심도는 높은 편이지만 중형 선박에 대한 관심도는 낮을뿐더러 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

반면에 조선기술 선진국인 유럽 및 일본에서는 중형 선박에 대한 관심도도 높으며 에너지 절감을 위한 연구도 많이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 중형 선박을 위한 추진효율 향상을 위한 부가물 연구 및 개발하였다.

제 2 절 연구개발의 필요성 및 중요성

1. 기술적 측면

현재 우리나라는 선박 수주량에서 세계 1,2위를 다투고 있다. 그러나 최근 Green Ship 관련 고부가가치를 고려한 Compensated Gross Tonnage (CGT)의 관점에서는 아직도 많이 부족한 실정이다. 이러한 선박은 유럽, 일본 등 조선 선진국에서 점유해온 선종으로 유체성능과 친환경측면이 일반 상선에 비해 특히 중요시되는 선박으로, 우리나라 조선 산업이 향후 앞으로도 세계 1위를 유지하기 위해서는 이러한 고부가가치선의 설계 기술에서 선진국 수준을 보장할 수 있어야만 경쟁력을 확보할 수 있다.

추진효율 향상을 위한 복합 추진 장치(Compound Propulsor)의 개발은 조선기술 선진국인 유럽 및 일본을 중심으로 새로운 장치의 개발에 많은 노력을 투입하고 있는 연구 분야이다. 현재까지 개발된 연료절약 추진 장치로는 상반회전 프로펠러(Contra-Rotating Propeller), Vane wheel 추진 장치, 덕트 추진 장치 등이다.

2. 경제적 측면

기존 에너지 절약장치 중 현재 가장 효과적이고 실제적으로 큰 문제없이 적용되어 온 에너지 절약장치인 전류고정날개는 이미 1990년대 초부터 Mitsubishi 조선소에서 VLCC에 적용하였다. 이는 국내에서 건조되고 있는 VLCC 대비 속도경쟁력이 있는 것으로 보고되고 있다. 국내 조선소의 설계수준이 높고 시운전에 의한 차이가 조금 있다하더라도 상당부분 전류고정날개에

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

의한 효과가 있는 것으로 분석되고 있다. 전류고정날개 추진 장치는 상반회전 프로펠러에 비하여 축계가 복잡해지지 않고 설치가 용이하기 때문에 초기 설치비가 저렴할 뿐 아니라 운항 중 고장의 염려가 적다는 이점이 있다.

전류고정날개에 대한 국내에서의 연구는 1990년대 초부터 끊임없이 KRISO를 중심으로 이어 왔고 KRISO에서 최종적으로 개발된 기존 전류고정날개의 모형시험 결과 전류고정날개를 부착하지 않았을 때 대비 약 3~4%정도의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다. 이를 전류고정날개 단가로 환산하여 계산하면 44만 불 투자된 비용을 약 2년 반 만에 회수할 수 있고 선박 수명을 25년으로만 보아도 전체적으로 약 400만 불의 에너지 절감효과가 있다고 할 수 있다.

Fig. 1-2에 에너지 절감에 대한 방법이 나타나 있다.

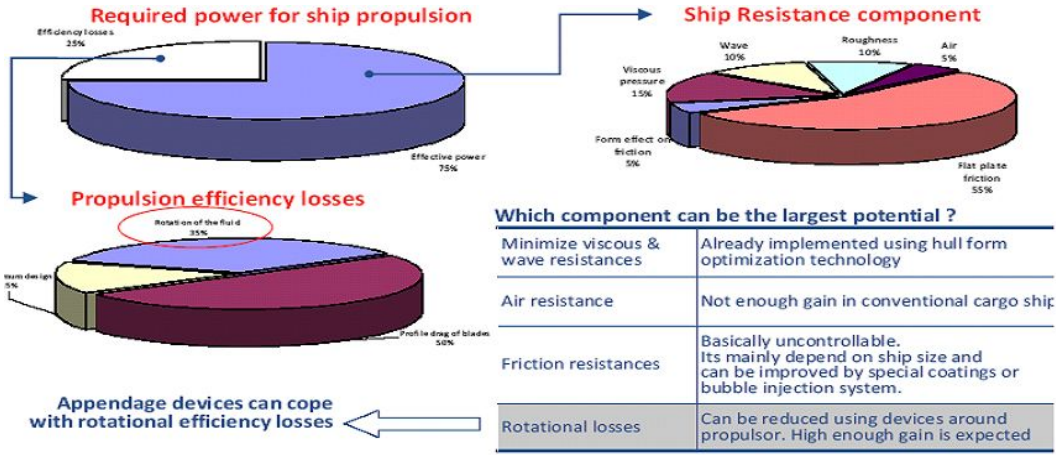


Fig. 1-2 Energy saving devices

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 연구 관련 기술의 현황

1. 국내 관련 기술의 현황

고효율 친환경 선박 개발에 대한 연구가 대형 조선소와 연구소에서 대형선박 위주로 진행되고 있다.

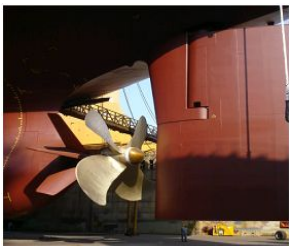
대우조선해양은 선미 프로펠러 앞부분에 전류고정 날개를 설치하여 3-4% 연료절약목표를 성공적으로 달성한 것으로 알려져 있다.

삼성중공업은 최근까지 20척의 선박에 '세이버 핀(SAVER Fin)'을 선주들의 요청에 따라 부착했으며 60여척의 선박이 장착을 대기 중으로, 총 85척에 이르는 선박에 날개를 부착하기로 확정했다. 현대중공업은 추력날개(Thrust Fin)는 프로펠러 뒤에 있는 방향타에 장착돼 추진력을 극대화하는 비행기 날개 모양의 장치로, 추력날개 장착으로 3~4%의 연료절감 효과가 있어 하루에 300톤 이상 연료가 들어가는 대형 컨테이너선의 경우 연료비 절감효과가 크다고 보도하였다.

현재 중형 선박에 대한 연구는 전무한 실정이며 또한 본 연구에서 개발한 Crown Duct에 대한 연구는 전 세계적으로 수행한 적이 없다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

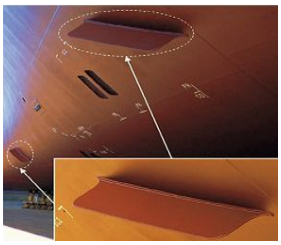
▪ 전류고정날개-대우조선해양



▹ 기존 선박에 비해 약 3~4% 가량의 연료 절감 효과
▹ 같은 연료를 사용할 경우 약 0.24노트 정도의 속도 증가 효과
▹ 장비 설치를 위해 투입된 비용도 선종이나 유가에 따라 다르지만, 6개월에서 1년 정도만 운항하면 충분히 회수할 수 있을 정도로 경제성을 가지고 있음.

[출처 : 메탈넷코리아(대우조선해양, 전류고정날개-PSS기술)]

▪ 세이버 핀-삼성중공업



▹ 선체의 진동을 50%이상 감소시켜 3~4%의 연료를 절약하는 효과
▹ 유류비 4% 절감을 연간 비용으로 환산한 경제적 효과는 선박이 1년간 사용하는 유류비로 환산한다면, 선박 가격의 20~30%에 달함.
▹ 장치의 구조적 안정성과 적용성이 뛰어나 다양한 종류의 선박에 부착할 수 있는 것도 세이버 핀의 강점.

[출처 : ⓒ 매일경제 & mk.co.kr, 조류흐름 정확히 감지해 연료비 절감']

▪ 추력날개-현대중공업

▹ 3~4% 가량의 연료절감 효과
▹ 유가를 감안하면 추력날개를 장착할 경우 컨테이너선 1척이 연간 240만 달러(약 24억 원)를 절감

[출처 : 현대중공업 추력날개|작성자 오자룡]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 국외 관련 기술의 현황

국외기술개발의 동향은 크게 유럽의 ECOSHIP, TRESHIP project 그리고 일본의 'SuperEcoShip projects'를 통해 살펴볼 수 있다. 유럽의 Ecoship project는 "에너지절감/저공해 선박 추진기 및 관련 시스템을 실현하고 설계와 건조단계에서부터 이 시스템에 대한 선박 lifecycle이 고려된 환경적 책임을 완성하는 선박 창조"에 목표를 두고 있으며 기본 개념도는 Fig. 1-3에 나타내었다.

일본을 중심으로 선박기술 선진국에서는 이미 전류고정날개와 같은 에너지 절감장치를 개발하여 주도권을 쥐고 있다. 대표적 회사는 MHI, IHIMU, Fluid Techno 등이 있으며 Fig. 1-4에 기 개발된 연료절약형 부가물을 도시하였다.

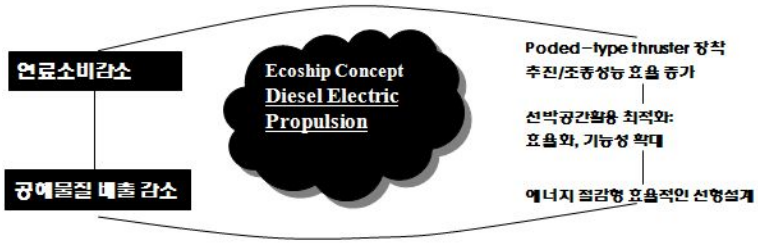


Fig. 1-3 Ecoship project 기본 개념도

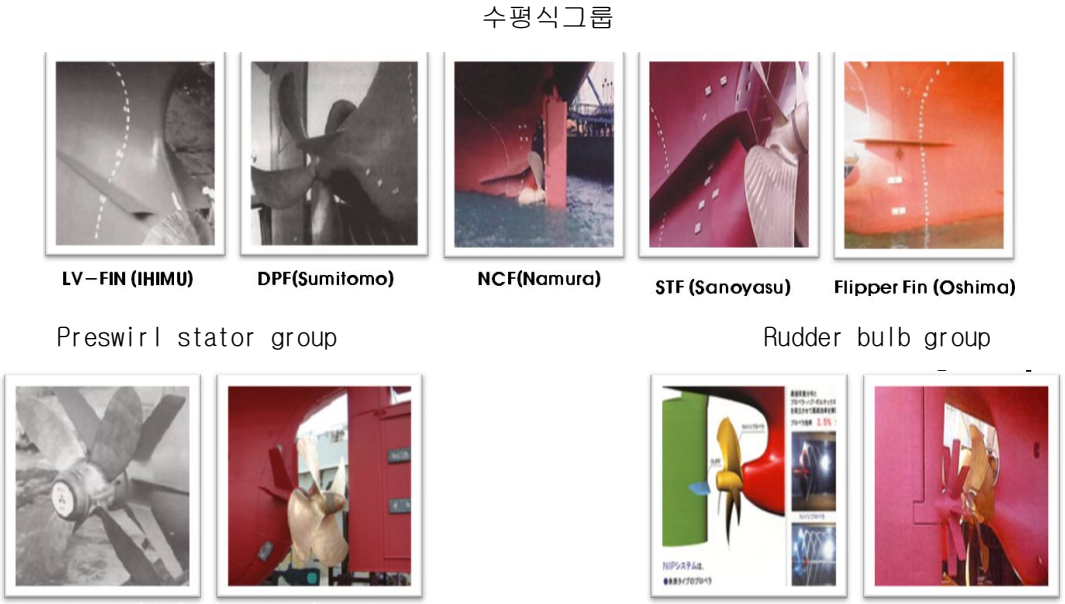


Fig. 1-4 국외에서 개발한 부가물

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 설계 및 수치해석

제 1 절 Stator 설계 및 계산

1. Stator 설계

Stator를 설계하기 위하여 CFD Code를 사용하여 유동계산을 수행하고 유동계산 결과와 반류모형시험결과를 비교 검토하여 Stator 부착위치를 결정하였으며 Stator의 단면은 NACA Series의 단면을 사용하였다. 프로펠러 단면에서 유동계산결과는 Fig. 2-1에 그리고 부가물 단면에서의 유동계산결과는 Fig. 2-3에 나타내었고, Fig. 2-2와 Fig. 2-4에 각도와 속도성분별로 종합적으로 각각 도시하였으며, 이 결과들을 참조하여 계산된 부가물 위치에서의 유동계산 결과는 Fig. 2-5와 같다.

유동계산에 의한 유입각 계산결과는 Port 부분은 Fig. 2-6 및 Starboard 부분은 Fig. 2-7에 보인 바와 같다.

여기서 VM은 평균 속도, VX는 X방향의 속도, VR은 직경방향의 속도, VT는 접선방향(tangential 방향) 속도이다.

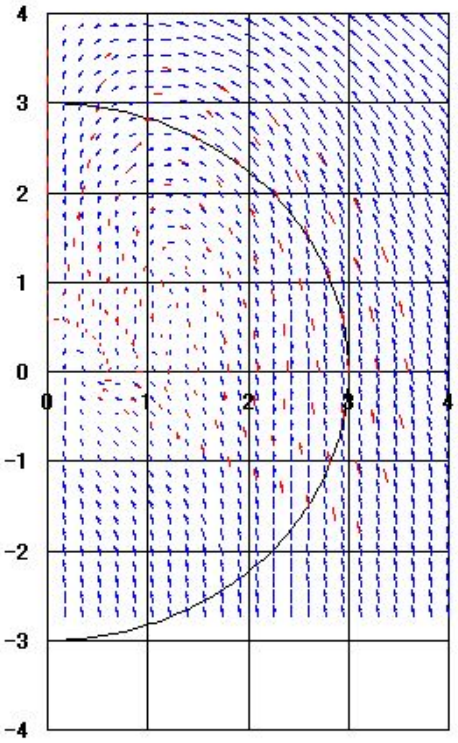


Fig. 2-1 프로펠러 단면에서의 유동계산 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

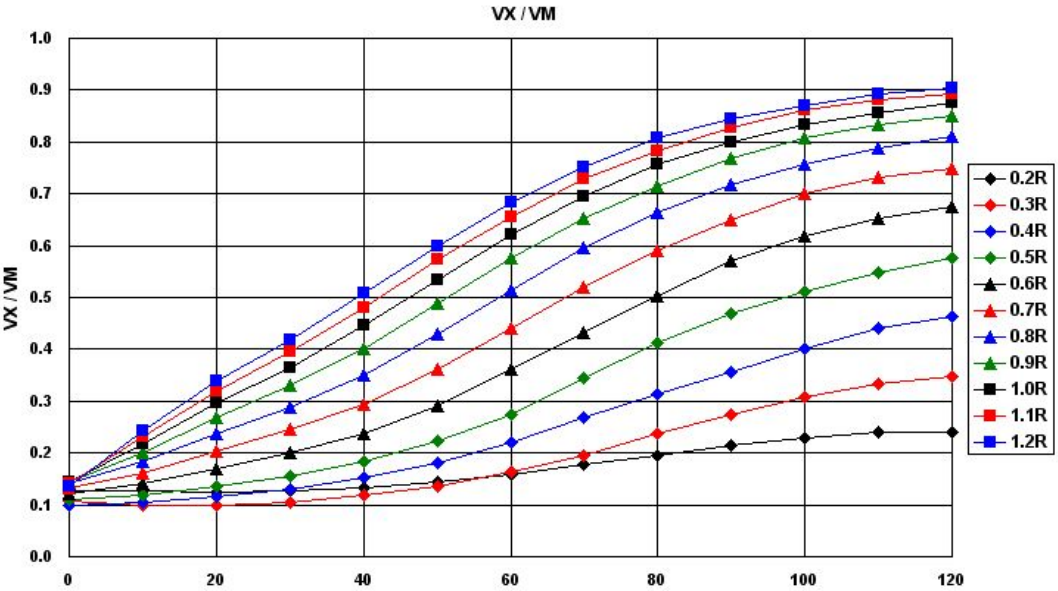


Fig. 2-2(a) Rotation Angle vs VX/VM

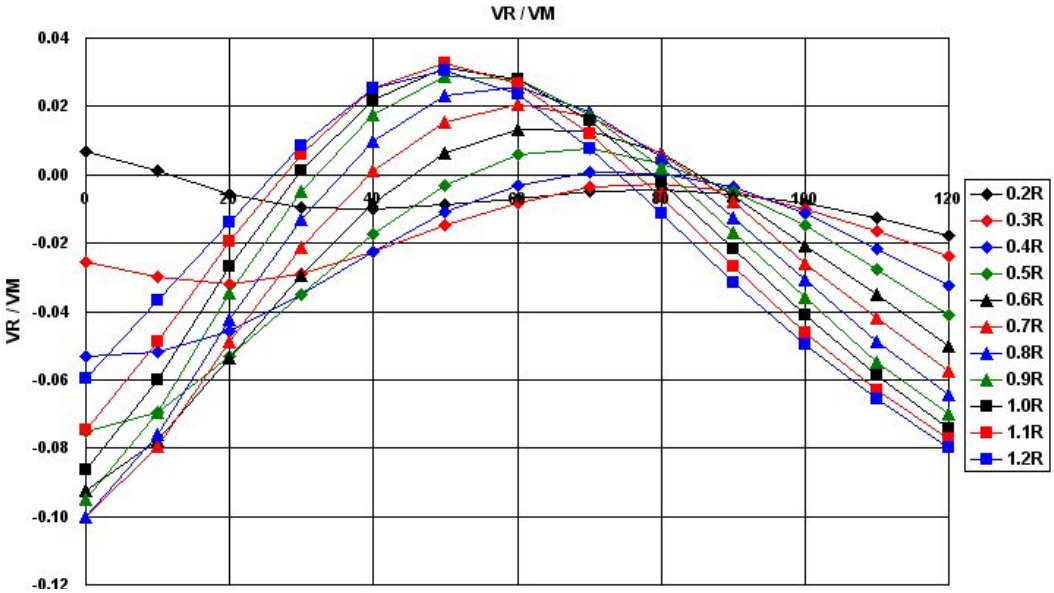


Fig. 2-2(b) Rotation Angle vs VR/VM

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

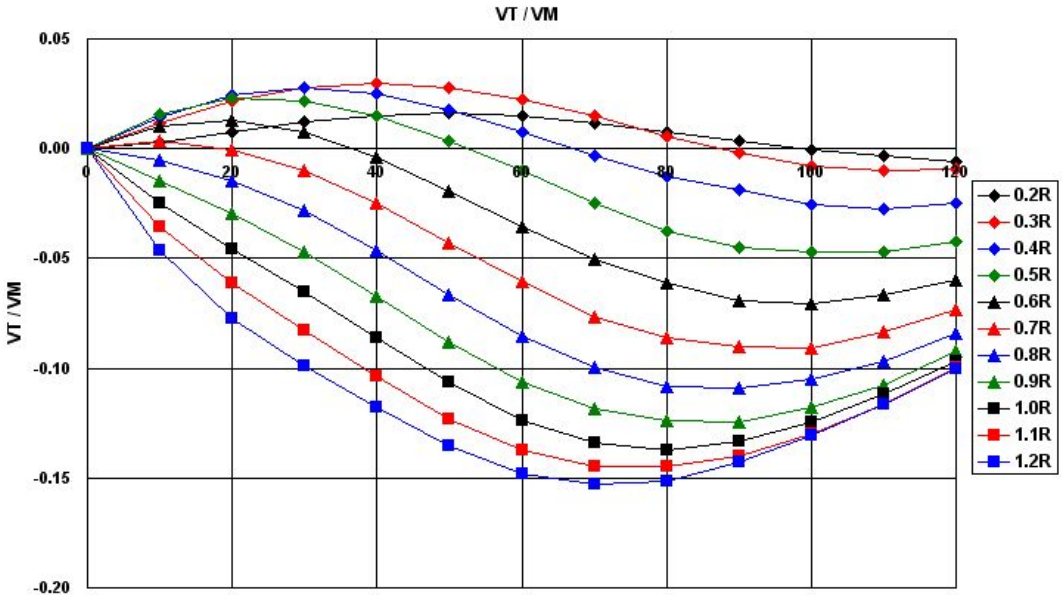


Fig. 2-2(c) Rotation Angle vs VT/VM

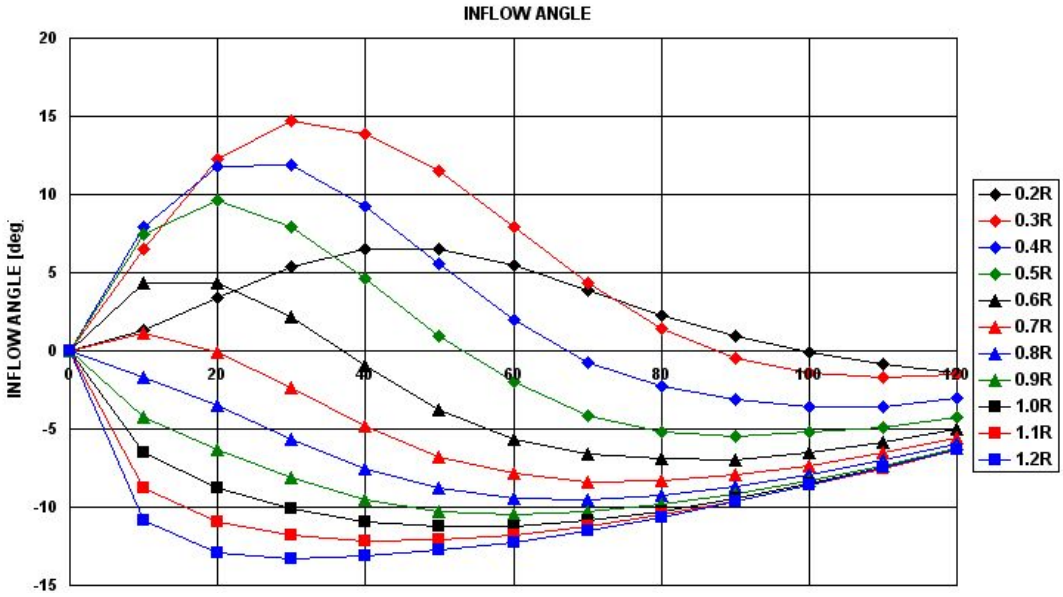


Fig. 2-2(d) Rotation Angle vs INFLOW ANGLE [deg]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

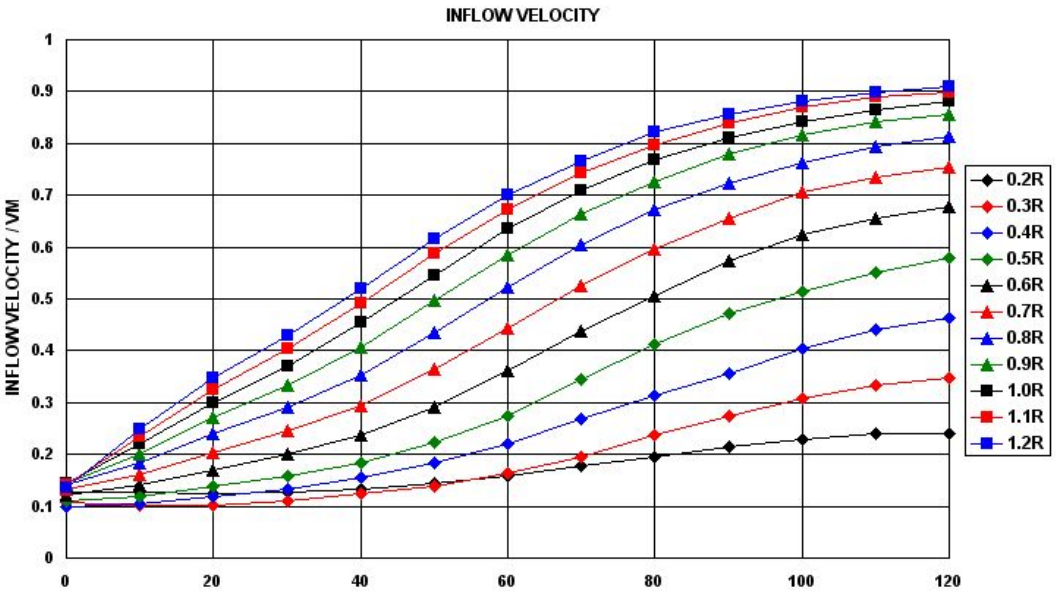


Fig. 2-2(e) Rotation Angle vs INFLOW VELOCITY/VM

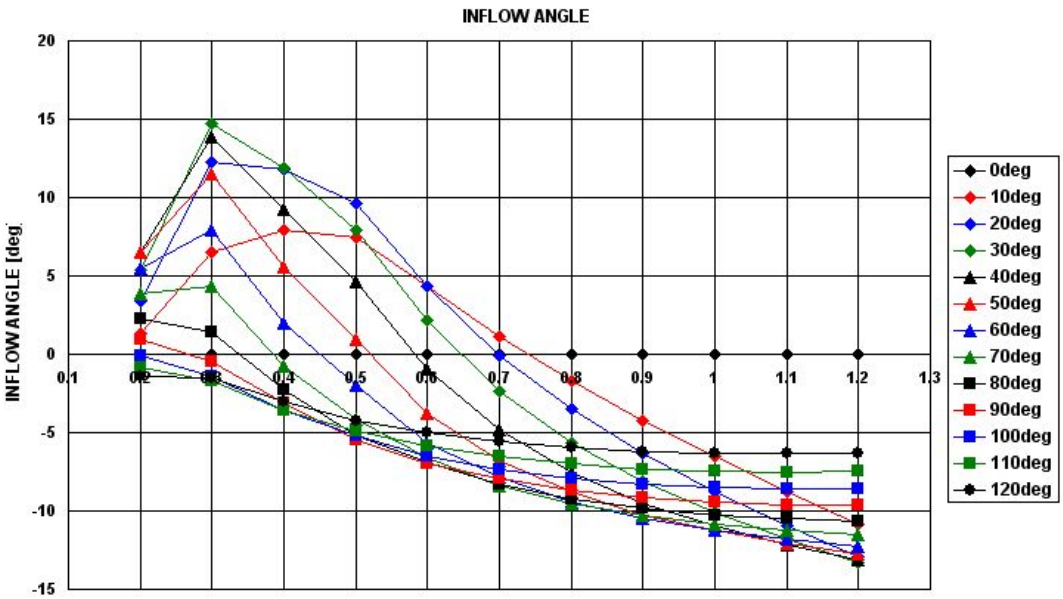


Fig. 2-2(f) r/R vs INFLOW ANGLE [deg]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

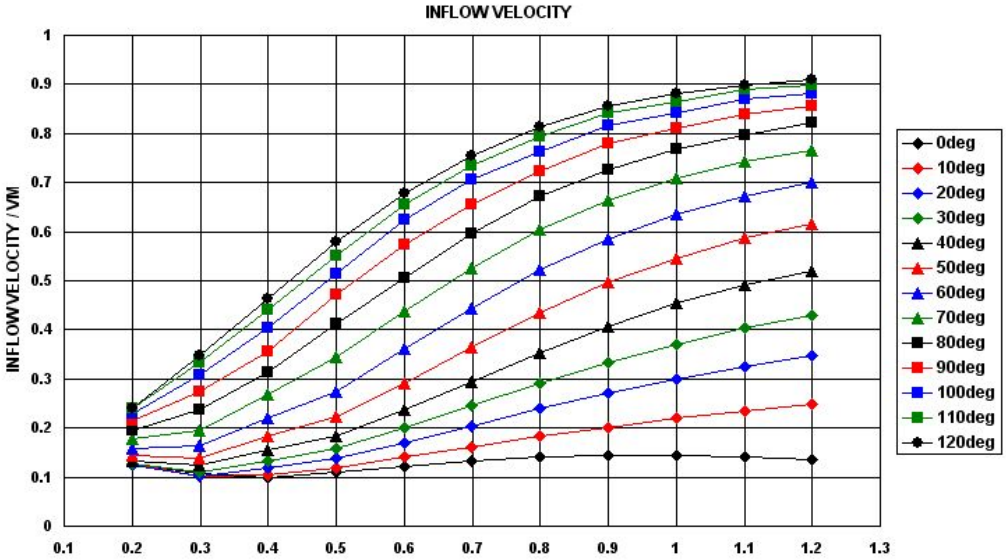


Fig. 2-2(g) r/R vs INFLOW VELOCITY/VM

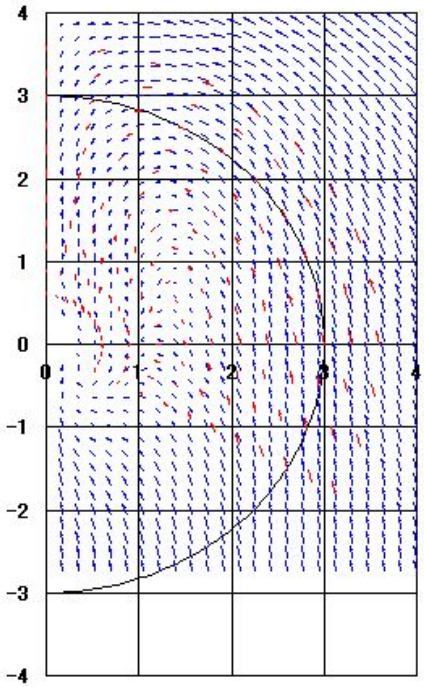


Fig. 2-3 부가물 단면에서의 유동계산 결과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

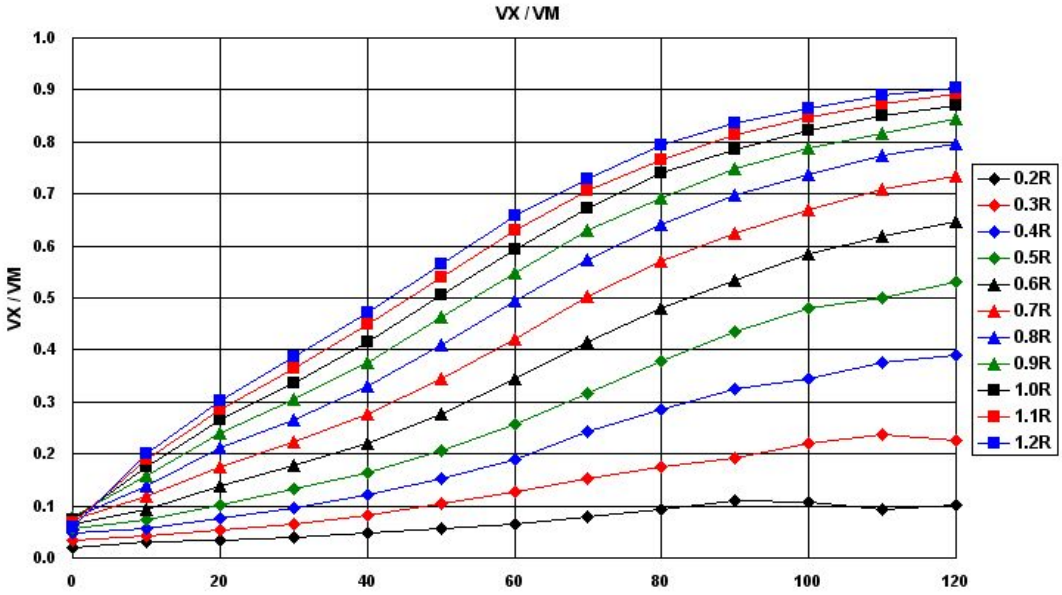


Fig. 2-4(a) Rotation Angle vs VX/VM

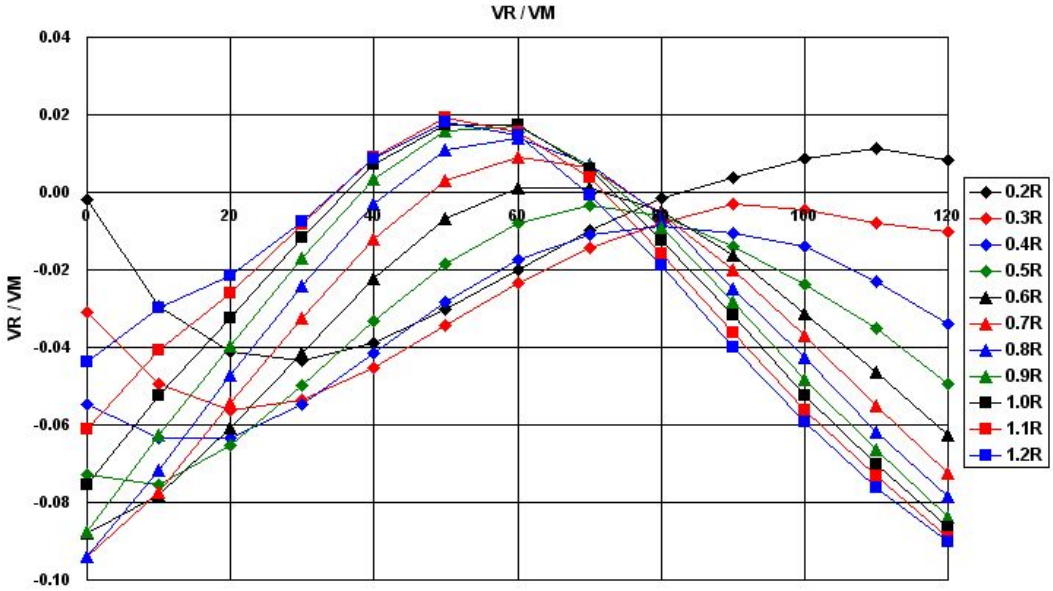


Fig. 2-4(b) Rotation Angle vs VR/VM

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

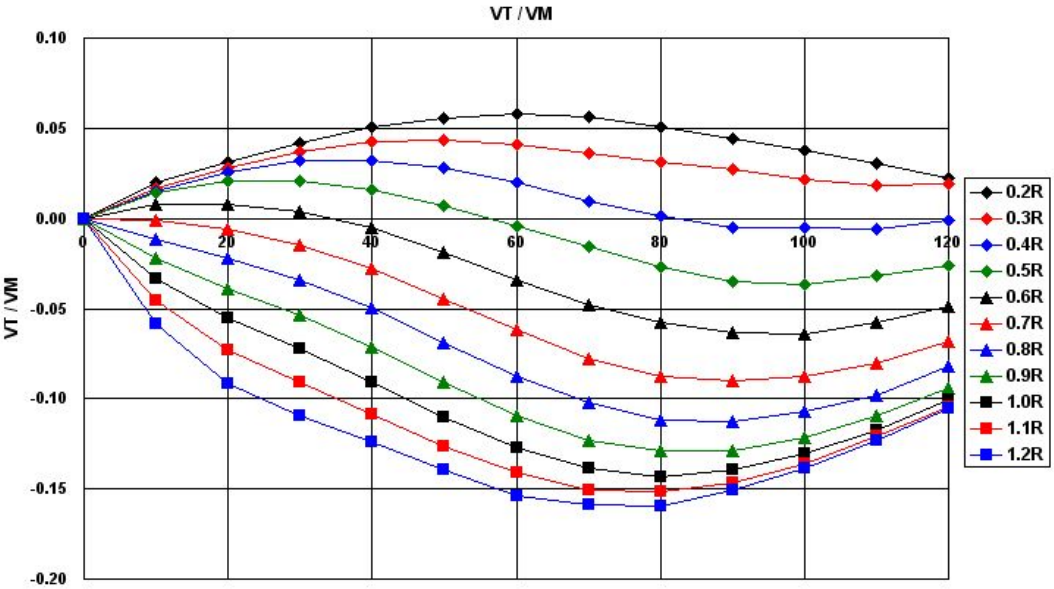


Fig. 2-4(c) Rotation Angle vs VT/VM

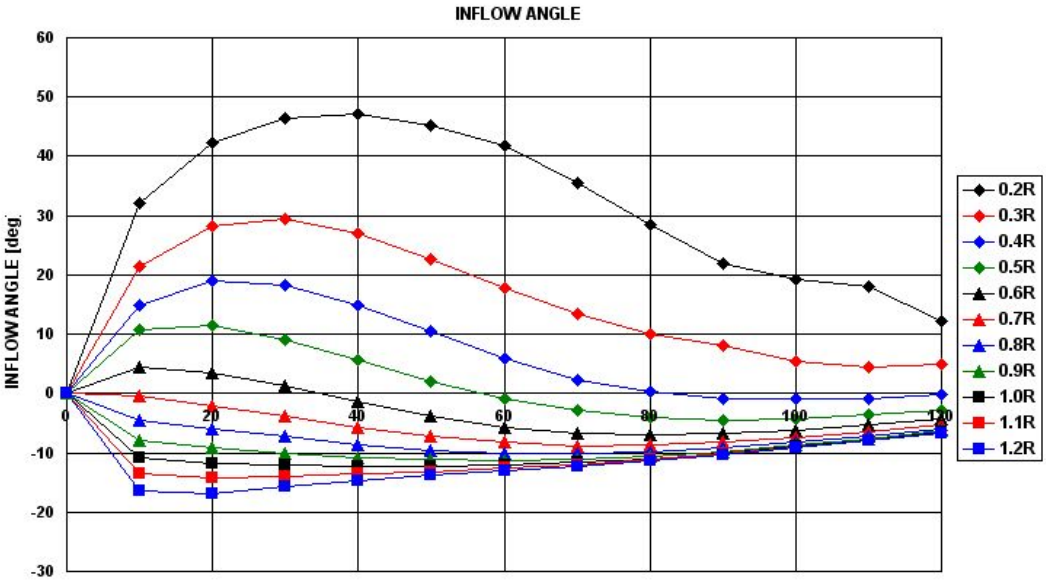


Fig. 2-4(d) Rotation Angle vs INFLOW ANGLE [deg]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

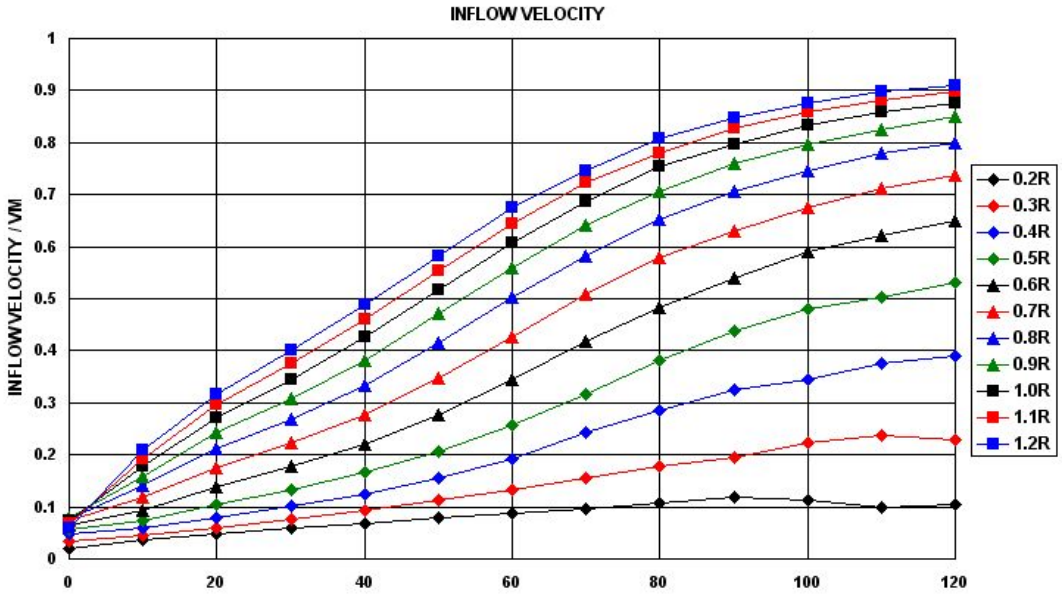


Fig. 2-4(e) Rotation Angle vs INFLOW VELOCITY/VM

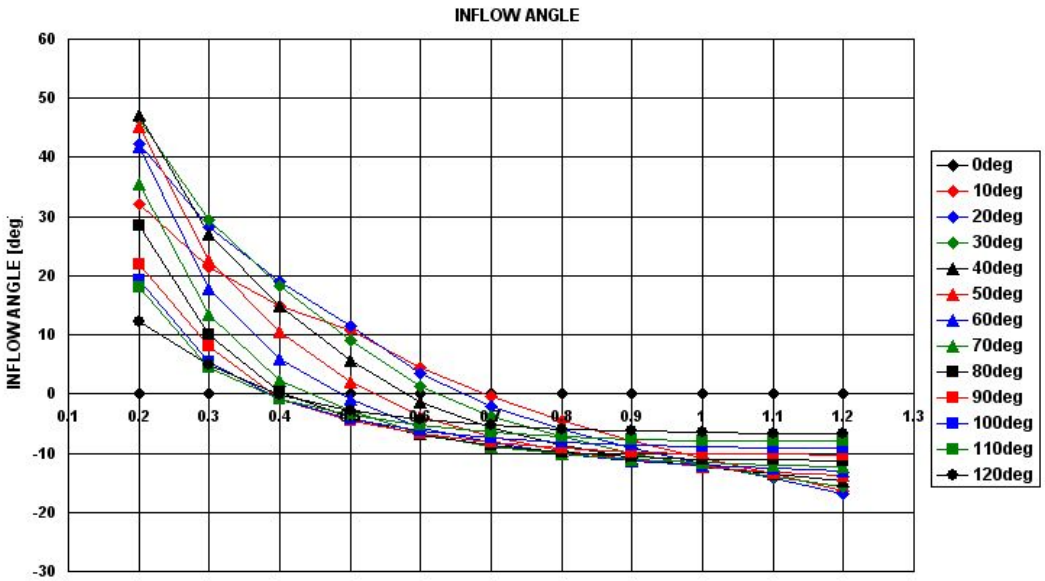


Fig. 2-4(f) r/R vs INFLOW ANGLE [deg]

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

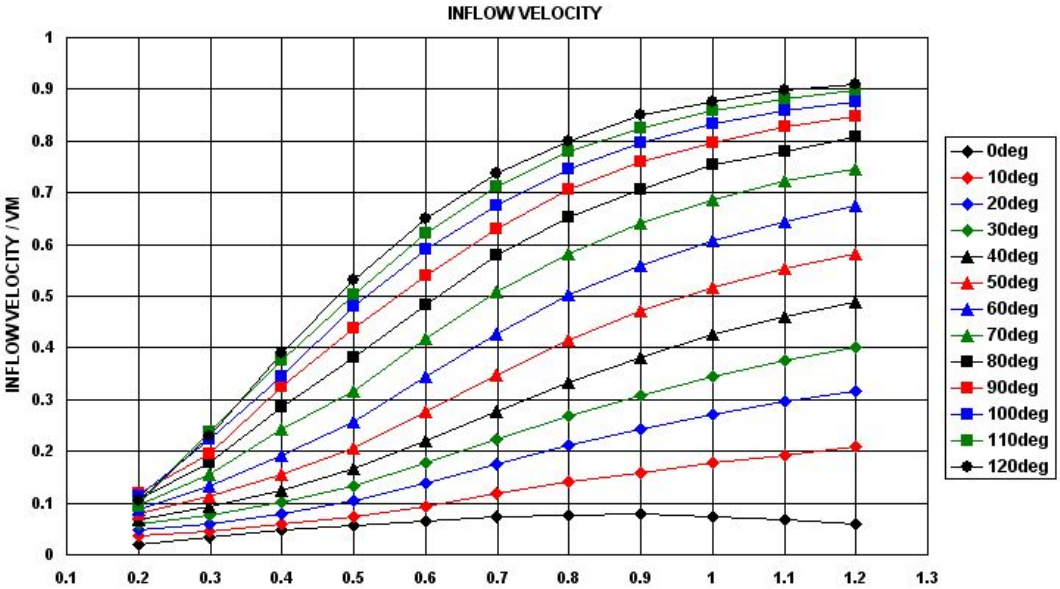


Fig. 2-4(g) r/R vs INFLOW VELOCITY/VM

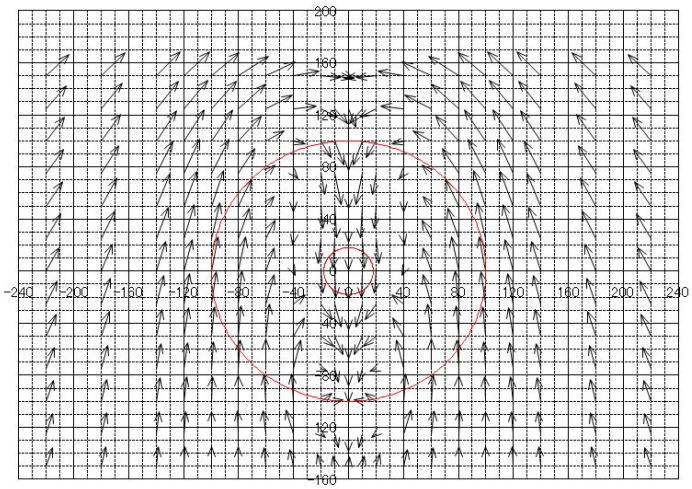


Fig. 2-5 유동계산 결과 종합

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

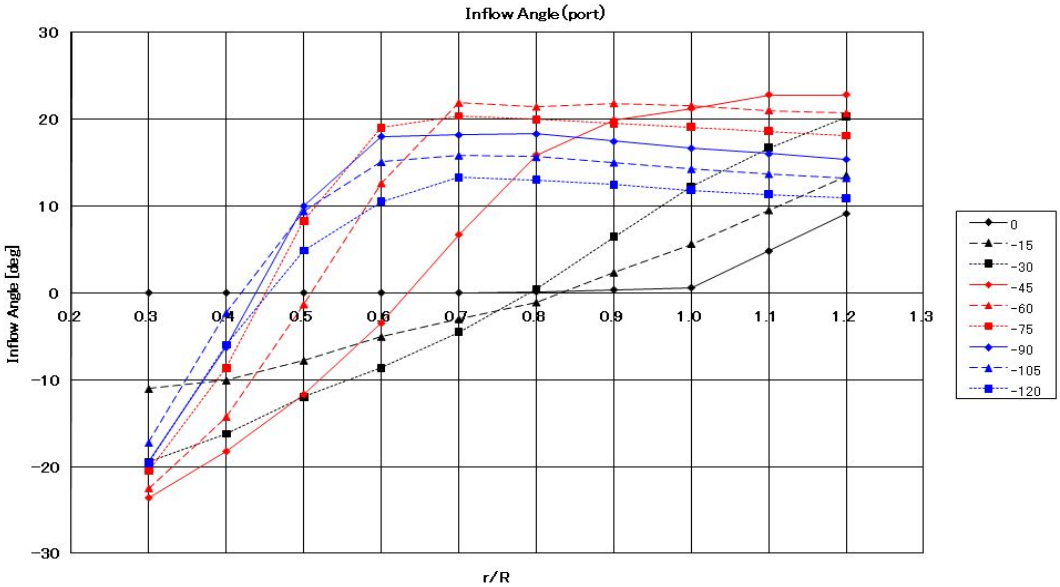


Fig. 2-6 Port에서 유입각

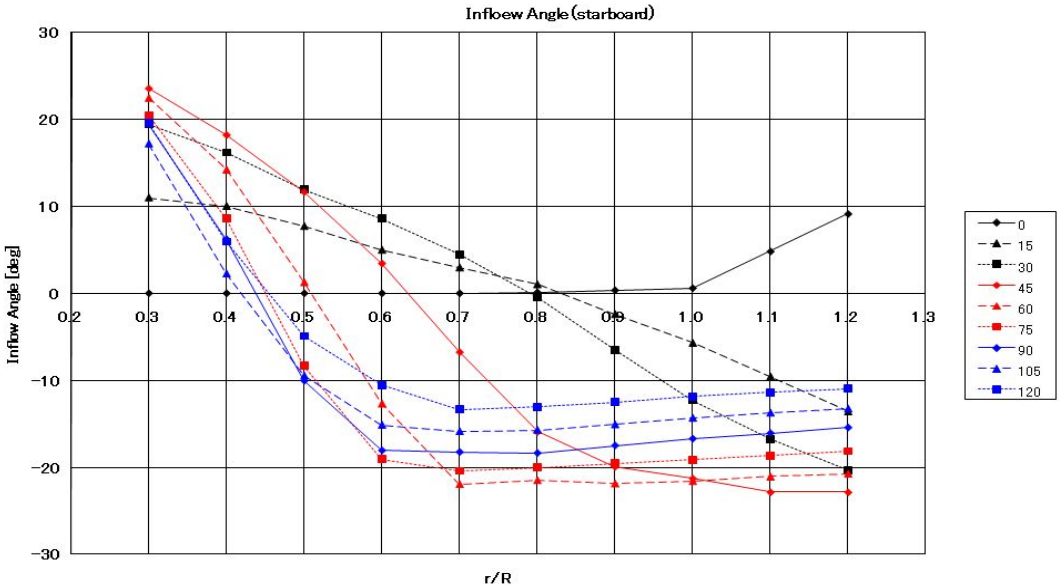


Fig. 2-7 Starboard에서 유입각

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. Stator의 구조 및 강도 계산

Stator는 날개 끝부분으로 가면서 폭이 작아지고 두께가 얇아지는 변화단면 형상을 가지고 있다. 강도는 단면 각 위치에서의 단면 계수와 모멘트에 의해 응력이 결정된다. 날개 단면은 Fig. 2-8과 같이 두 경우의 하중을 고려한다.

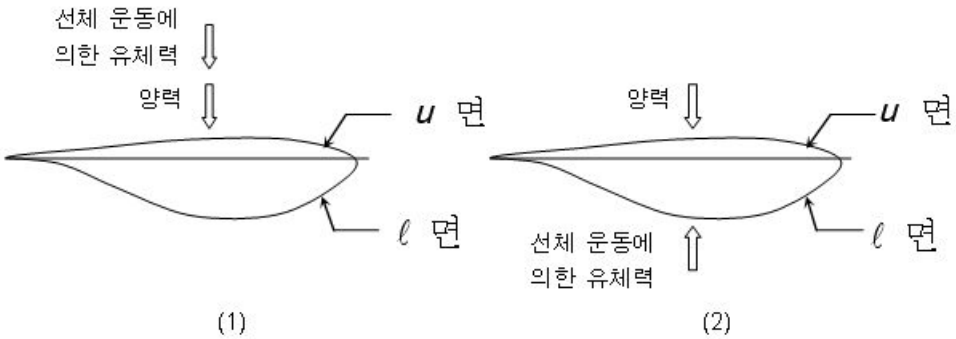


Fig. 2-8 Stator 날개의 단면

이 두 경우에 대해 강도를 확인하고 계산은 4개의 Stator 중 가장 힘이 많이 작용하는 수평한 Stator와 근사한 경우의 25° 영각을 갖는 Stator에 대해 수행한다. I면에 작용하는 힘 Stator의 수중 진동은 변하는 단면 형상을 가지는 Stator의 수중 진동수를 굽힘과 전단의 연성문제로 계산한다. 또한 전단 강도는 Stator에 설치되는 웹에 추가해서 Stator의 외주 판의 전단에 대한 효과도 고려한다. Stator의 진동은 보스 부를 고정단으로 하는 1차 모드를 대상으로 하지만, 이것은 일반적으로 선체 진동과 대비시키면 2차 진동에 상당하기 때문에 부가중량에 대한 3차원 수정 계수를 사용한다.

허용 응력은 타 구조처럼 +와 - 방향의 사각이 동등하게 잡은 $16kgf/mm^2$, 전단 응력 $10kgf/mm^2$정도가 허용 응력 기준이 되므로 안전 범위 내에 있다. 이 Stator는 유장 제어를 목적으로 하기 때문에 하중에 의한 응력은 선체 운동에 의한 변동 하중을 고려해도 한 방향 진동에 가깝다. 따라서 키의 허용 응력을 직접적으로 적용하는데 문제가 있다고 생각된다. 따라서 여기서 Goodman에 의한 피로 진폭의 수정 방법을 적용하여 본 Stator의 양쪽 방향 진동상태에 대응한 응력의 환산방법을 시도했다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

계산결과 요약은 Table. 2-1과 같다.

Table. 2-1 Stator의 구조 및 강도계산 결과

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th colspan="2">P1</th><th colspan="2">P2</th></tr>
<tr><td rowspan="4">선박의 운동에 의해 발생한 상대 유속 및 유체 압력 계산</td><td>최대 선미 상하 가속도(g)</td><td colspan="2">0.833</td><td colspan="2">0.833</td></tr>
<tr><td>등가 규칙파 파고 (파장 = 2L)(m)</td><td colspan="2">26.92 (파장 / 파고 = 1/13)</td><td colspan="2">26.92 (파장 / 파고 = 1/13)</td></tr>
<tr><td>Stator주위 상대 유속(m/s)</td><td colspan="2">11.28</td><td colspan="2">11.28</td></tr>
<tr><td>상대유속에 의해 Stator가 받는 유체력(tf)</td><td colspan="2">3.70</td><td colspan="2">4.49</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Stator 강도</td><td rowspan="2">u면에 인장 굽힘 응력 발생 할 때의 응력(kgf/mm^2)</td><td>max</td><td>7.5</td><td>max</td><td>4.3</td></tr>
<tr><td>min</td><td>-3.9</td><td>min</td><td>-4.2</td></tr>
<tr><td>l면의 압축 응력(kgf/mm^2)</td><td colspan="2">5.477~-10.5</td><td colspan="2">5.845~-6.0</td></tr>
<tr><td>웹에 발생하는 최대 전단 응력(kgf/mm^2)</td><td colspan="2">0.92</td><td colspan="2">0.74</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Stator의 수중 진동</td><td>기본 고유 진동수(cpm)</td><td>3084</td><td rowspan="2">6.10배 (공진 발생하지 않음)</td><td>5037</td><td rowspan="2">9.90배 (공진 발생하지 않음)</td></tr>
<tr><td>프로펠러 날개의 진동수(cpm)</td><td>508</td><td>508</td></tr>
</table>

*P1과 P2는 Fig. 2-9에 도시한 위치와 같다.

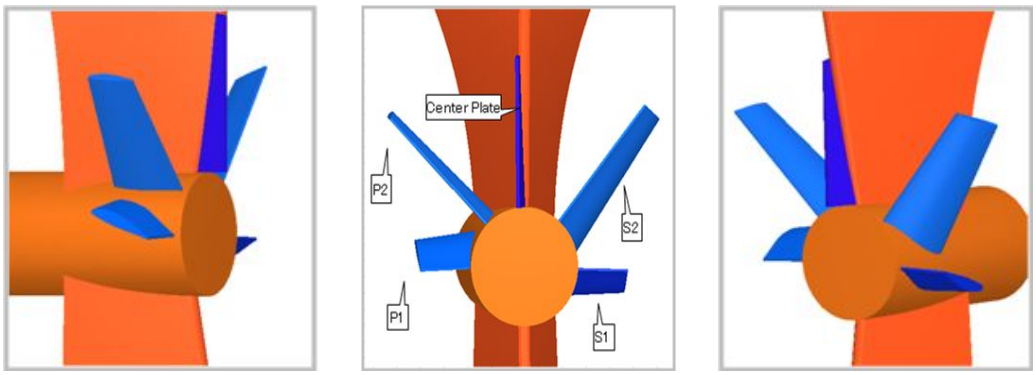


Fig. 2-9 Stator의 3D형상

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.1 NK Rule에 의한 검토 (P1, P2)

1) Stator의 두께, 중간에 설치되는 rib의 두께에 대해 검토 결과, 규칙 값보다 적용 두께는 충분히 두꺼움을 확인하였다.

2) Stator 자체의 굽힘 또는 전단 응력에 대한 허용 값은 정의되어 있지 않지만, 방향타 구조 변형 특성 (응력의 변동 특성)과 Stator의 변동 특성의 차이를 고려하여 허용치에 대해 검토하였다.

3) 피로의 Goodman 수정 방법을 이용하여 허용 응력을 계산해본 결과 Stator에 실제로 작용하는 최대 응력은 충분히 허용할 수 있는 범위 내에 있다는 것을 확인했다.

제 2 절 부가물 설계 및 계산

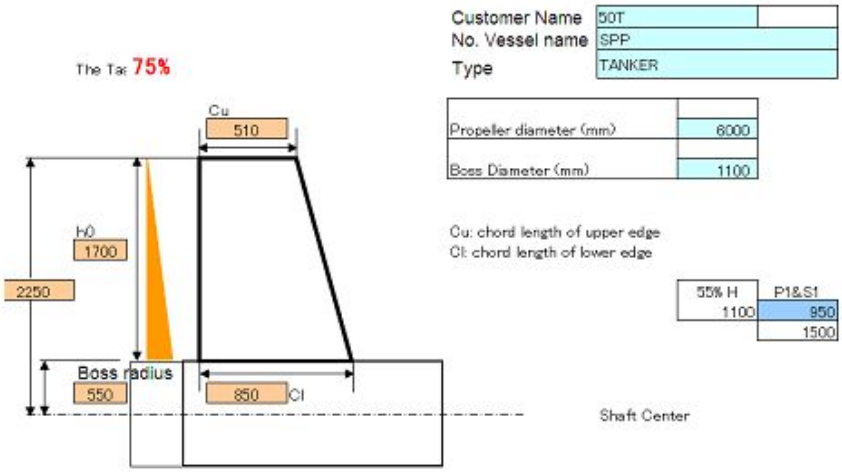
1. 추진효율 향상을 위한 부가물의 설계

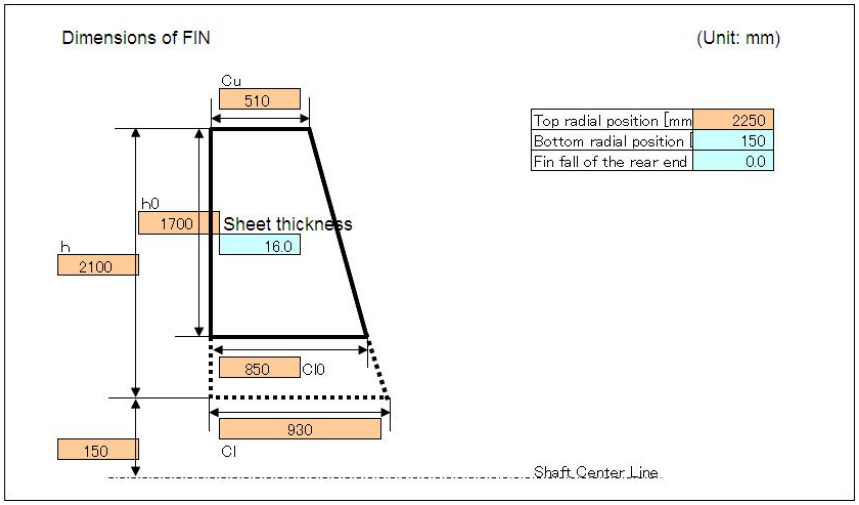
부가물로 인한 저항을 최소화하기 위하여 Stator의 크기를 최소화하고 유동의 방향을 적절히 유도할 수 있도록 Propeller 반경의 직경을 갖는 Semi-Duct를 혼합한 부가물을 개발하고 Crown Duct로 명명하였다.

Crown Duct는 개발·사용 한 적이 없는 세계 최초의 기술로 Duct의 효과와 Stator 효과를 동시에 기대 할 수 있는 이점이 있다.

Crown Duct의 stator 부분은 유동계산 결과를 참조하여 설계되었다. 설계된 stator의 상세도면 및 부착 위치는 Fig. 2-10부터 Fig. 2-12과 같고, Stator Fin의 offset Table은 Table 2-2에 보인바와 같다. 유입각을 고려하여 설계된 Stator도면은 Fig. 2-13과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY





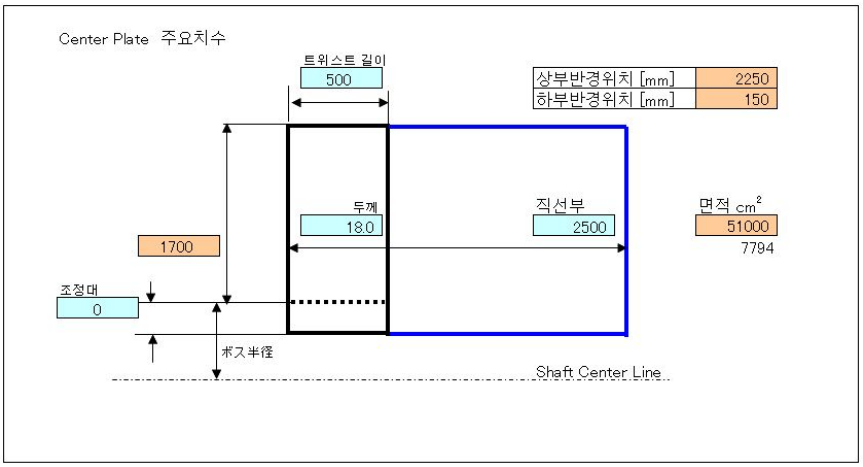
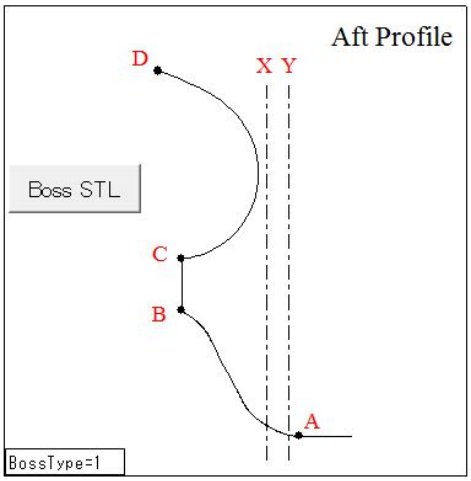


Fig. 2-10 각 Stator Fin의 크기

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

C to C.L Fin [m]	0.4
C와 Fin위치 간격 [m]	0.400
X 단면위치 [m] From A.P.	6.525
Y 단면위치 [m] From A.P.	8.700



Aft Profile [m]		
No.	From A.P.	From B.L.
A	11.500	0.000
B	4.341	2.750
C	4.341	3.850
D	4.320	8.000
A to B (without A and B)		
No.	From A.P.	From B.L.
1	8.170	0.500
2	7.060	1.000
3	6.240	1.500
4	5.700	2.000
5	5.370	2.500
6		
7		
C to D (without C and D)		
No.	From A.P.	From B.L.
1	5.340	4.000
2	6.377	5.000
3	6.470	6.000
4	5.980	7.000
5		
6		
7		

No.	X 단면형상 [m]		Y 단면형상 [m]	
	From C.L.	From B.L.	From C.L.	From B.L.
1	0.000	0.50	0.4101	0.50
2	0.000	0.75	0.6140	0.75
3	0.000	1.00	0.7710	1.00
4	0.000	1.50	1.0000	1.50
5	0.800	2.00	1.1470	2.00
6	0.85	2.50	1.2290	2.50
7	0.900	3.00	1.2530	3.00
8	0.81	3.50	1.2253	3.50
9	0.660	4.00	1.1530	4.00
10	0.46	4.50	1.0507	4.50
11	0.250	5.00	0.9670	5.00
12	0.190	5.50	0.9511	5.50
13	0.120	6.00	1.0400	6.00
14	0.270	6.5	1.2847	6.5
15	0.420	7.0	1.7320	7.0
16	1.200	7.5	2.5262	7.5
17	2.000	8.0	3.9160	8.0
18				
19				
20				
21				
22				

Fig. 2-11 Stern Profile

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

	FIN P1	FIN P2	FIN C	FIN S2	FIN S1
위치 [deg]	92.0	45.0	5.0	45.0	92.0
취부각[deg]	25.0	10.0	15.0	30.0	25.0
상부위치 [mm]	1500.0	2250.0	2250.0	2250.0	1500.0
하부위치 [mm]	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
상부길이 [mm]	510.0	510.0	510.0	510.0	510.0
하부길이 [mm]	930.0	930.0	930.0	930.0	930.0
이동X mm 두께 [mm]			18.0		
이동Y mm			500.0		

50mm

No.	Fin 상부형상			fin 하부형상		
	xu/L	tl/L	tu/L	xu/L	tl/L	tu/L
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	5.0000	0.5725	-0.1250	5.0000	0.8104	-0.1983
3	10.0000	1.3625	-0.3000	10.0000	1.9924	-0.4495
4	15.0000	2.2350	-0.5717	15.0000	3.3542	-0.8232
5	20.0000	3.2550	-0.9200	20.0000	4.8508	-1.3250
6	25.0000	4.3700	-1.2834	25.0000	6.4201	-1.8481
7	30.0000	5.4375	-1.6486	30.0000	7.9590	-2.3741
8	35.0000	6.4300	-2.0009	35.0000	9.3869	-2.8813
9	40.0000	7.3050	-2.3298	40.0000	10.6468	-3.3550
10	45.0000	8.0275	-2.6239	45.0000	11.6873	-3.7785
11	50.0000	8.5475	-2.8726	50.0000	12.4343	-4.1366
12	55.0000	8.8175	-3.0594	55.0000	12.8256	-4.4056
13	60.0000	8.8625	-3.1542	60.0000	12.8878	-4.5420
14	65.0000	8.7050	-3.1588	65.0000	12.6604	-4.5486
15	70.0000	8.3650	-3.1026	70.0000	12.1738	-4.4678
16	75.0000	7.8475	-2.9830	75.0000	11.4282	-4.2956
17	80.0000	7.1400	-2.7970	80.0000	10.4102	-4.0275
18	85.0000	6.2125	-2.5336	85.0000	9.0735	-3.6484
19	90.0000	5.0050	-2.1691	90.0000	7.3337	-3.1234
20	92.5000	4.2575	-1.9286	92.5000	6.2575	-2.7770
21	95.0000	3.1750	-1.6088	95.0000	4.9830	-2.3169
22	97.5000	1.7000	-1.1975	97.5000	3.3674	-1.7239
23	98.5000	0.8250	-0.9433	98.5000	2.4736	-1.3588
24	99.2500	0.0000	-0.6503	99.2500	1.5455	-0.9378
25	99.9000	-1.2000	-0.1856	99.9000	0.0000	-0.2934
26	100.0000	0.0000	0.0000	100.0000	0.0000	0.0000
27						
28						
29						
30						

<높이> (단위:mm)

2100.0	상부길이	510.0		하부길이	930.0	
No.	Fin 상부형상			Fin 하부형상		
	xu	tl	tu	xu	tl	tu
1	0.0	-12.0	0.0	0.0	-12.0	0.0
2	25.5	-14.9	0.6	46.5	-19.5	1.8
3	51.0	-18.9	1.5	93.0	-30.5	4.2
4	76.5	-23.4	2.9	139.5	-43.2	7.7
5	102.0	-28.6	4.7	186.0	-57.1	12.3
6	127.5	-34.3	6.5	232.5	-71.7	17.2
7	153.0	-39.7	8.4	279.0	-86.0	22.1
8	178.5	-44.8	10.2	325.5	-99.3	26.8
9	204.0	-49.3	11.9	372.0	-111.0	31.2
10	229.5	-52.9	13.4	418.5	-120.7	35.1
11	255.0	-55.6	14.7	465.0	-127.6	38.5
12	280.5	-57.0	15.6	511.5	-131.3	41.0
13	306.0	-57.2	16.1	558.0	-131.9	42.2
14	331.5	-56.4	16.1	604.5	-129.7	42.3
15	357.0	-54.7	15.8	651.0	-125.2	41.6
16	382.5	-52.0	15.2	697.5	-118.3	39.9
17	408.0	-48.4	14.3	744.0	-108.8	37.5
18	433.5	-43.7	12.9	790.5	-96.4	33.9
19	459.0	-37.5	11.1	837.0	-80.2	29.0
20	471.8	-33.7	9.8	860.3	-70.2	25.8
21	484.5	-28.2	8.2	883.5	-58.3	21.5
22	497.3	-20.7	6.1	906.8	-43.3	16.0
23	502.4	-16.2	4.8	916.1	-35.0	12.6
24	506.2	-12.0	3.3	923.0	-26.4	8.7
25	509.5	-3.9	0.9	929.1	-10.0	2.7
26	510.0	0.0	0.0	930.0	0.0	0.0

xu : 후단부부터 거리
tu : 중심선부터 상단까지의 거리
tl : 중심선부터 하단까지의 거리

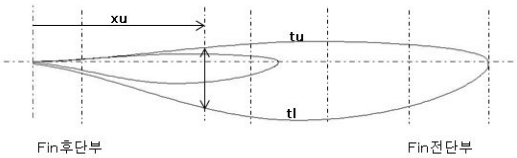


Fig. 2-12 각 Fin의 단면 형상

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

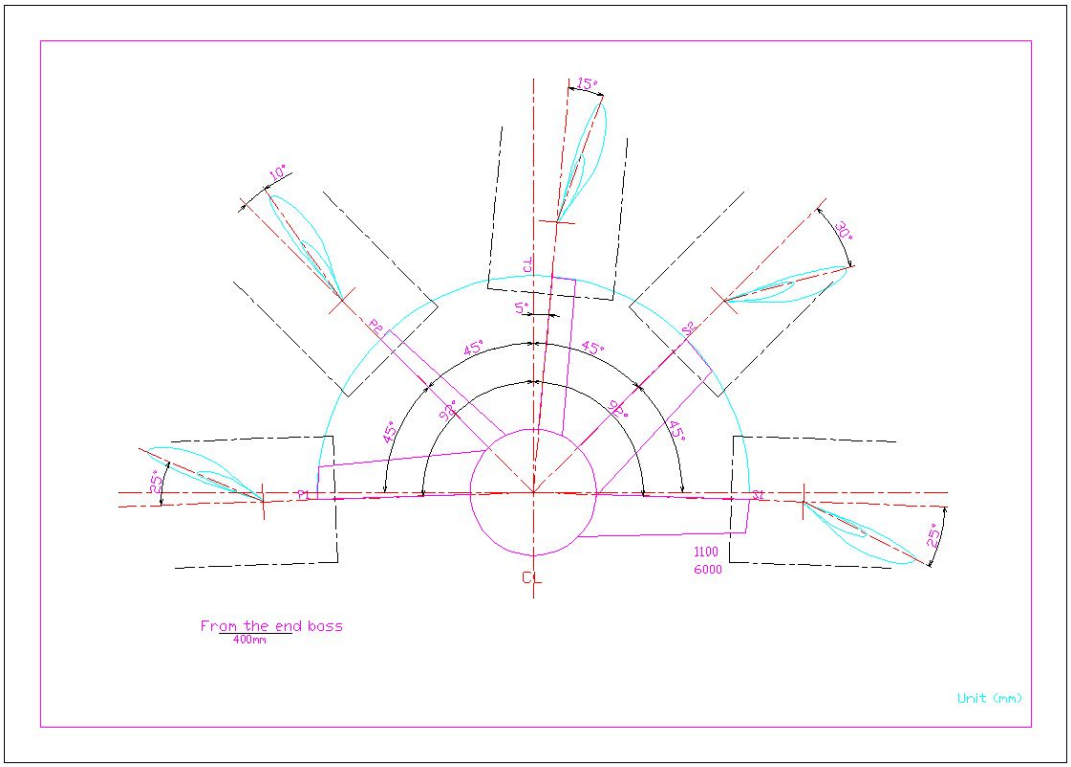


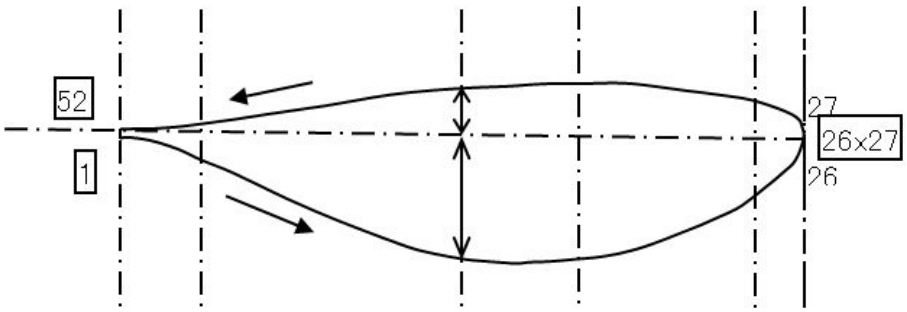
Fig. 2-13 각 Stator 위치 및 도면

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2-2 Stator Fin의 offset Table

	(1) Fin Top		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)BOSS면		(7)Low end	
	H =0.0		H =490.0		H =980.0		H =1470.0		H =1960.0		H =2450.0		H =2900.0	
No.	L	B	L	B	L	B	L	B	L	B	L	B	L	B
1		-12.0	0.0	-12.0	0.0	-12.0	0.0	-12.0	0.0	-12.0	0.0	-12.0	0.0	-12.0
2	36.5	-16.2	41.4	-17.3	46.3	-18.4	51.2	-19.4	56.1	-20.5	61.0	-21.6	65.5	-22.6
3	73.0	-21.9	82.8	-24.7	92.6	-27.4	102.4	-30.1	112.2	-32.9	122.0	-35.6	131.0	-38.1
4	109.5	-28.3	124.2	-33.0	138.9	-37.7	153.6	-42.3	168.3	-47.0	183.0	-51.7	196.5	-55.9
5	146.0	-35.8	165.6	-42.5	185.2	-49.2	204.8	-55.9	224.4	-62.6	244.0	-69.4	262.0	-75.5
6	182.5	-43.9	207.0	-52.7	231.5	-61.5	256.0	-70.4	280.5	-79.2	305.0	-88.0	327.5	-96.1
7	219.0	-51.7	248.4	-62.6	277.8	-73.5	307.2	-84.4	336.6	-95.3	366.0	-106.2	393.0	-116.3
8	255.5	-58.9	289.8	-71.8	324.1	-84.6	358.4	-97.5	392.7	-110.3	427.0	-123.2	458.5	-135.0
9	292.0	-65.3	331.2	-79.9	370.4	-94.4	409.6	-109.0	448.8	-123.5	488.0	-138.1	524.0	-151.5
10	328.5	-70.6	372.6	-86.6	416.7	-102.5	460.8	-118.5	504.9	-134.5	549.0	-150.4	589.5	-165.1
11	401.5	-76.4	455.4	-93.9	509.3	-111.4	563.2	-128.9	617.1	-146.4	671.0	-163.9	720.5	-180.0
12	474.5	-75.5	538.2	-92.8	601.9	-110.1	665.6	-127.4	729.3	-144.7	793.0	-162.0	851.5	-177.9
13	547.5	-69.3	621.0	-84.9	694.5	-100.5	768.0	-116.1	841.5	-131.8	915.0	-147.4	982.5	-161.7
14	620.5	-57.4	703.8	-69.8	787.1	-82.2	870.4	-94.6	953.7	-107.0	1037.0	-119.5	1113.5	-130.9
15	675.3	-43.1	765.9	-51.7	856.6	-60.3	947.2	-68.9	1037.9	-77.5	1128.5	-86.1	1211.8	-94.0
16	711.8	-24.4	807.3	-29.8	902.9	-35.1	998.4	-40.5	1094.0	-45.8	1189.5	-51.2	1277.3	-56.1
17	724.5	-12.0	821.8	-15.4	919.1	-18.8	1016.3	-22.3	1113.6	-25.7	1210.9	-29.1	1300.2	-32.2
18	730.0	0.0	828.0	0.0	926.0	0.0	1024.0	0.0	1122.0	0.0	1220.0	0.0	1310.0	0.0
19	729.3	1.4	827.2	1.8	925.1	2.2	1023.0	2.6	1120.9	3.0	1218.8	3.5	1308.7	3.8
20	719.1	6.9	815.6	8.7	912.1	10.6	1008.6	12.4	1105.2	14.3	1201.7	16.1	1290.4	17.8
21	693.5	11.7	786.6	14.9	879.7	18.0	972.8	21.2	1065.9	24.3	1159.0	27.5	1244.5	30.4
22	657.0	15.8	745.2	20.1	833.4	24.3	921.6	28.5	1009.8	32.8	1098.0	37.0	1179.0	40.9
23	584.0	20.4	662.4	25.9	740.8	31.3	819.2	36.8	897.6	42.3	976.0	47.7	1048.0	52.8
24	511.0	22.6	579.6	28.7	648.2	34.8	716.8	40.8	785.4	46.9	854.0	53.0	917.0	58.5
25	438.0	23.0	496.8	29.2	555.6	35.4	614.4	41.5	673.2	47.7	732.0	53.8	786.0	59.5
26	365.0	21.0	414.0	26.6	463.0	32.2	512.0	37.8	561.0	43.4	610.0	49.0	655.0	54.2
27	292.0	17.0	331.2	21.6	370.4	26.1	409.6	30.7	448.8	35.2	488.0	39.8	524.0	44.0

Note : 높이는 Fin Top 기준



조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1.1 Rhino를 이용한 Crown Duct 설계

앞 절에서 설계한 Stator blade에 Semi Duct를 부착한 Crown Duct를 설계하였으며 결과는 Fig. 2-14과 같다.

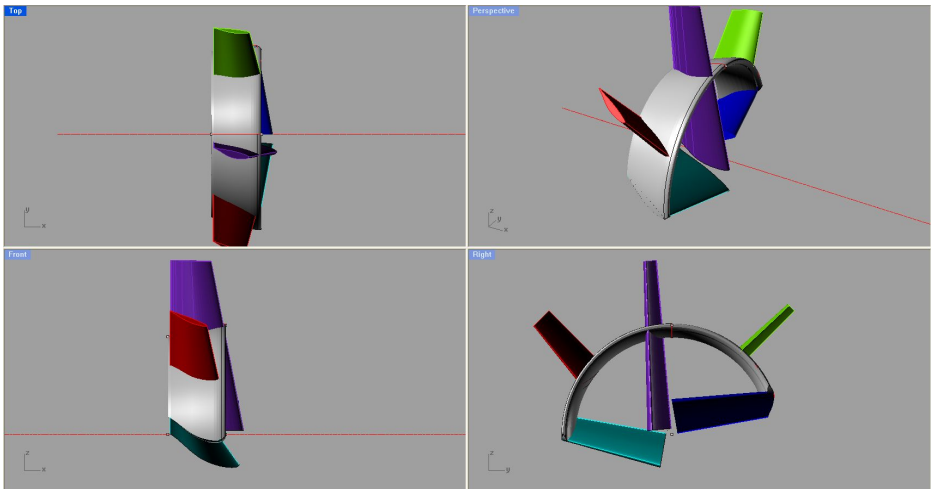


Fig. 2-14 Rhino에 의한 Crown Duct 설계 3D View

위의 덕트는 NACA 단면으로 이루어져 있고, 덕트의 각도는 -11° (프로펠러 방향으로 축소)로 설계되어 있다. S_2, P_2 안쪽 덕트 핀은 저항을 줄여주기 위해서 제거하였으며, 유동의 방향이 덕트 상방향유동의 방향과 반대이므로 추력향상에 도움이 되지 않는 부분이다. 이때 덕트 부분의 Diffusive angle을 -11도로 한 것은 프로펠러 날개상단부로 유동을 유도하기 위한 것이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. Crown Duct 구조 및 강도 계산

Crown Duct의 구조 안전성을 확인하기 위하여 구조 및 강도 계산을 수행하였다. Crown Duct의 구조는 Semi Duct와 수평 직선 날개 두 개와, 수직직선 날개 한 개와 기울어진 두 개의 날개로 총 다섯 개의 straight blades로 구성되어있다. Fig. 2-15에서는 Semi Duct와 3, 9, 12, 10.5 및 1.5시에 위치되는 Blade의 Crown Duct의 프레임 구성을 나타낸다.

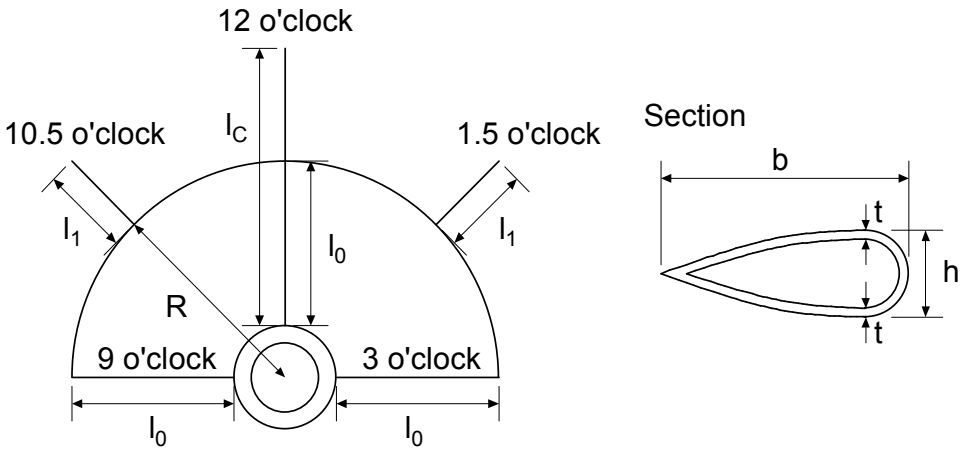


Fig. 2-15 Structural illustration and symbols of Crown Duct

Crown Duct는 propeller의 최상층에 위치해 있다. 그래서 Crown Duct가 손상되는 경우 propeller 또한 손상을 입을 수 있다. 일반적으로 구조계산은 수치적 분석과 기초역학이론을 통해 계산되었다.

응력은 $12kgf/mm^2$이 허용 응력 기준이 된다. s-1는 안전 범위 내에 있다. s-2는 단위를 kgf/mm^2로 맞춰주면 응력범위 안으로 들어간다. s-3는 12이상의 정상치수가 나오지 않지만, Impact Pressure은 현실상 거의 일어나지 않는 현상이므로 무시한다. 진동수의 값은 1000[cpm] 이상이여야 한다. v-1,v-3는 기준에 적합하지만, v-2의 경우 646.305[cpm] 기준 이하의 값을 가진다. 서포터를 달아서 Rolling 진동문제를 해결 할 수 있다.

자세한 계산은 부록에 첨부하였고, 계산결과 요약은 Table. 2-3과 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2-3 Crown Duct의 구조 및 강도계산 결과

Crown Duct	하중분포(N/mm^2)	0.0588
	관성모멘트(mm^4)	6.92E+07
	단면계수(mm^3)	8.54E+05
Crown Duct 강도	(s-1) 유동 대칭으로 발생하는 응력(kgf/mm^2)	12.67
	(s-2) 유동 비대칭으로 발생하는 응력(N/mm^2)	28.79
	(s-3) Impact pressure로 발생하는 응력(kgf/mm^2)	25.59
Crown Duct의 수중 진동	(v-1) 기본 고유 진동수(cpm)	3202.925
	(v-2) Rolling의 진동수(cpm)	646.305
	(v-3) Duct 중심의 진동수(cpm)	1740.456

구조 요소에 힘과 모멘트의 평가를 위해 다음 조건들이 고려되어진다.

1) Forces on hull in waves.
2) The propeller lift force.
3) The stress evaluation of structure based on the energy method.
4) The hydrodynamical pressure such as impact force is studied as a dynamic response of structure.

유체역학 힘과 충격으로 가해지는 힘은 다음과 같다.

1) Hydrodynamical force and its distribution has been evaluated considering ship motion in waves
2) Lift force on blades
3) Impact pressure on blades

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. Crown Duct의 Supporter 설계

Crown Duct의 선체 부착 시 구조적 안정성을 향상시키기 위해서 Fig. 2-16 부터 Fig. 2-18에 보인바와 같은 Supporter를 설계하였다.

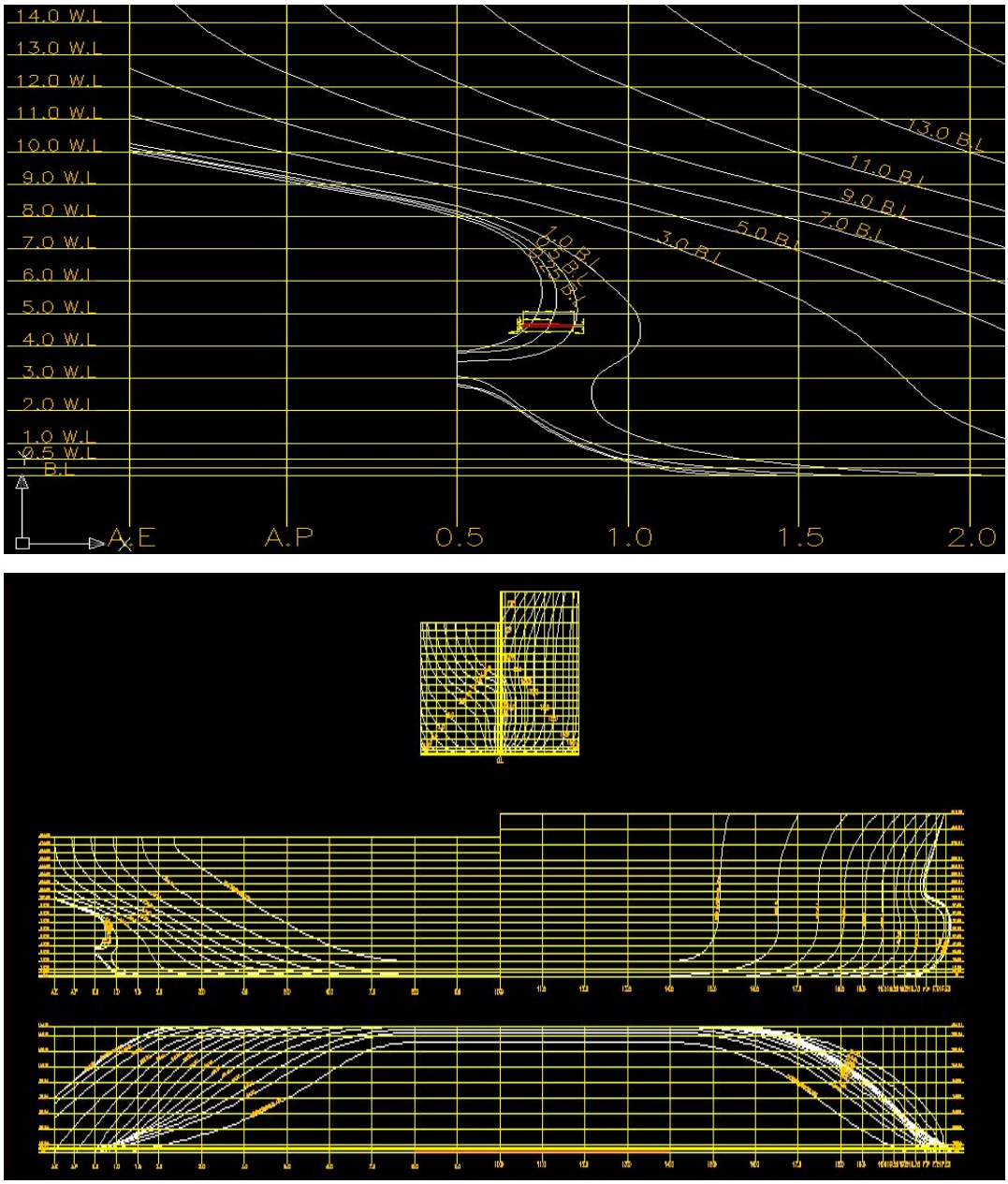


Fig. 2-16 Crown Duct Supporter의 2-D 도면

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

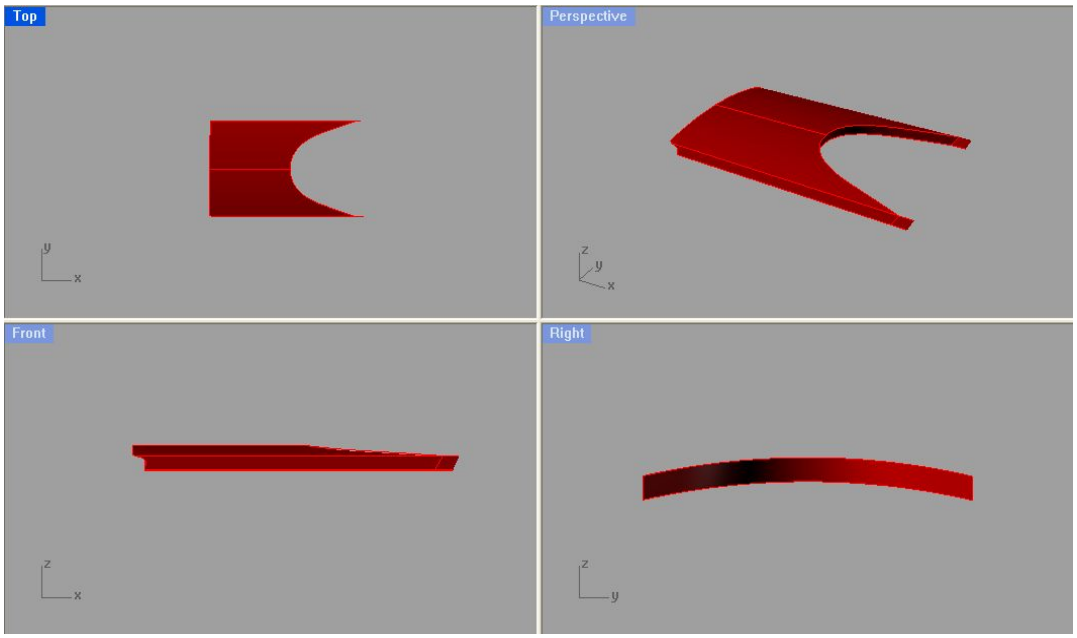


Fig. 2-17 Crown Duct Supporter의 3-D 도면

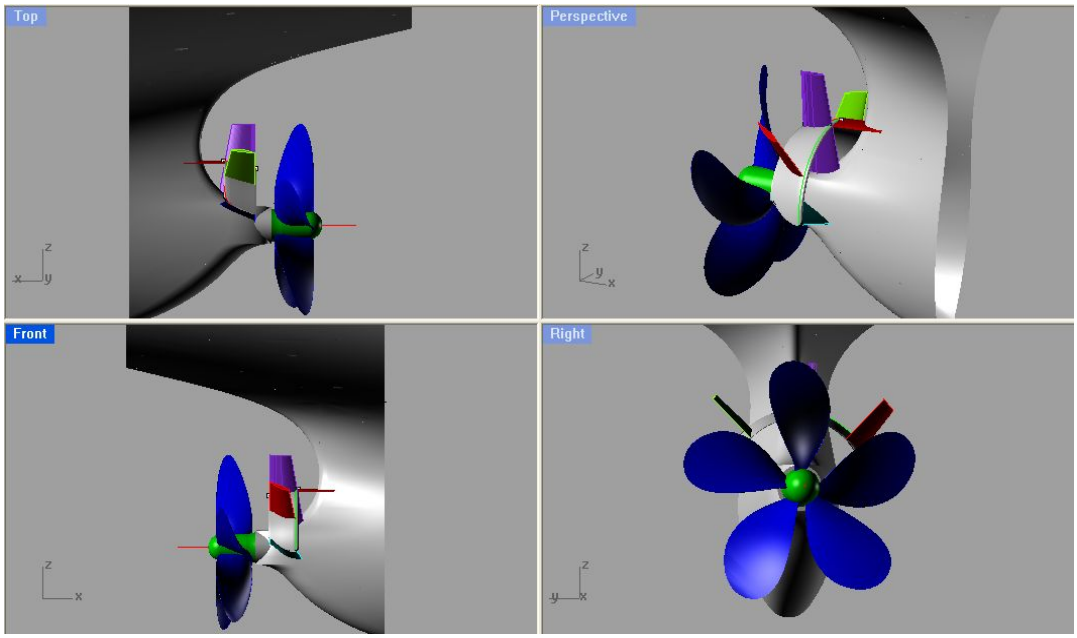


Fig. 2-18 Crown Duct Supporter의 선체 부착 시 3-D 도면

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

4. CFD code를 이용한 이론계산 및 분석

전산 유체 역학(CFD, Computational fluid dynamics)은 유체 현상을 기술한 비선형 편미분 방정식인 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes Equations)을 FDM (Finite Difference Method), FEM (Finite Element Method), FVM(Finite Volume Method) 등의 방법들을 사용하여 이산화하여 대수 방정식으로 변환하고, 이를 수치기법(numerical methods)의 알고리즘을 사용하여 유체 유동 문제를 풀고 해석하는 것이다. Shipflow라는 CFD 프로그램을 이용하여 이론계산을 수행하였으며, 이 프로그램은 선박설계에 최적화되어 있고, RANS 해법뿐만 아니라 XPAN을 위한 메쉬(mesh)에 대한 그리드(grid)는 선체형상에서 자동으로 생성된다. 선체모양의 다양한 종류와 같은 monohulls, multihulls, 세일링 요트 등이 효율적인 중복그리드기술을 사용하므로 처리 할 수 있다. CFD code는 배의 성능평가 및 예측 비용을 감소시킨다.

Auto CAD를 이용한 제작도면을 바탕으로 Rhino에서 3D로 모델링한 후 offset file을 만들고 이를 Shipflow Program을 이용하여 이론계산을 수행하였다. 설계한 Crown Duct에 대하여 계산한 값에 실선 보정계수를 산정하여 결정된 최종계산 결과는 Table. 2-4에 보인바와 같다.

Table. 2-4 15kn에서 나선 및 부가물 부착상태의 CFD계산 결과

계수		$P_E(kW)$	w	t	η_R	η_O	η_D	$P_D(kW)$
CFD 계산 결과	나선상태	4557	0.408	0.094	0.989	0.539	0.815	5135
	with Crown Duct	4558	0.501	0.123	0.987	0.667	1.157	5021
	차이	+0.02%	+0.093	+0.029	-0.002	+0.128	+0.342	-2.23%

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

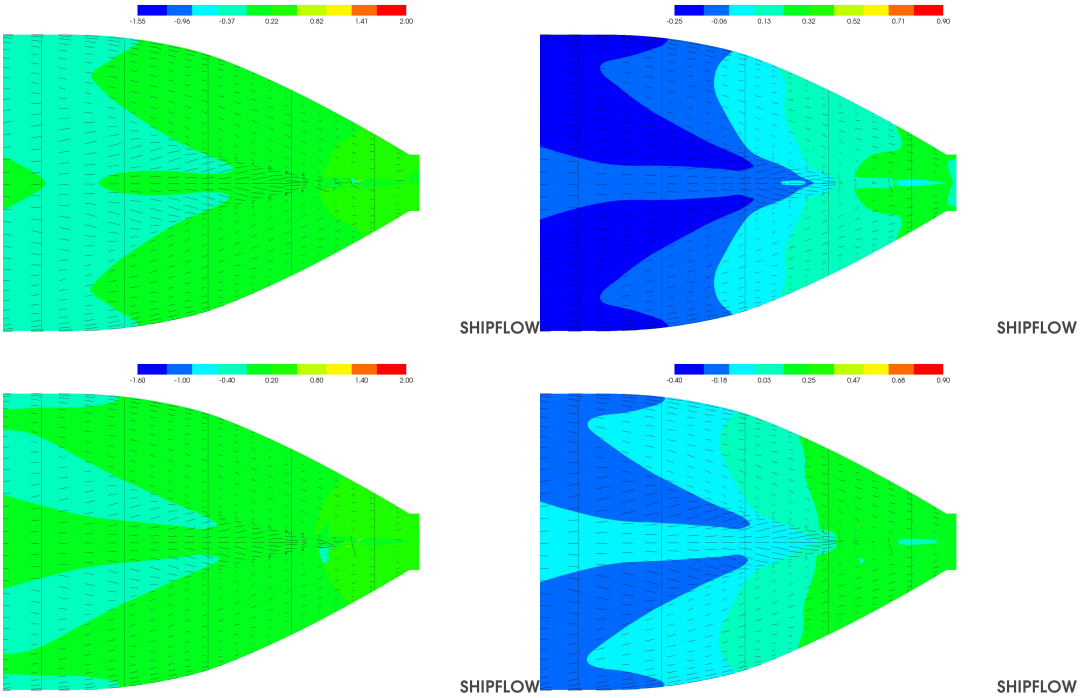


Fig. 2-19 Without Crown Duct(상)와 with Crown Duct(하)의 Stream line 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

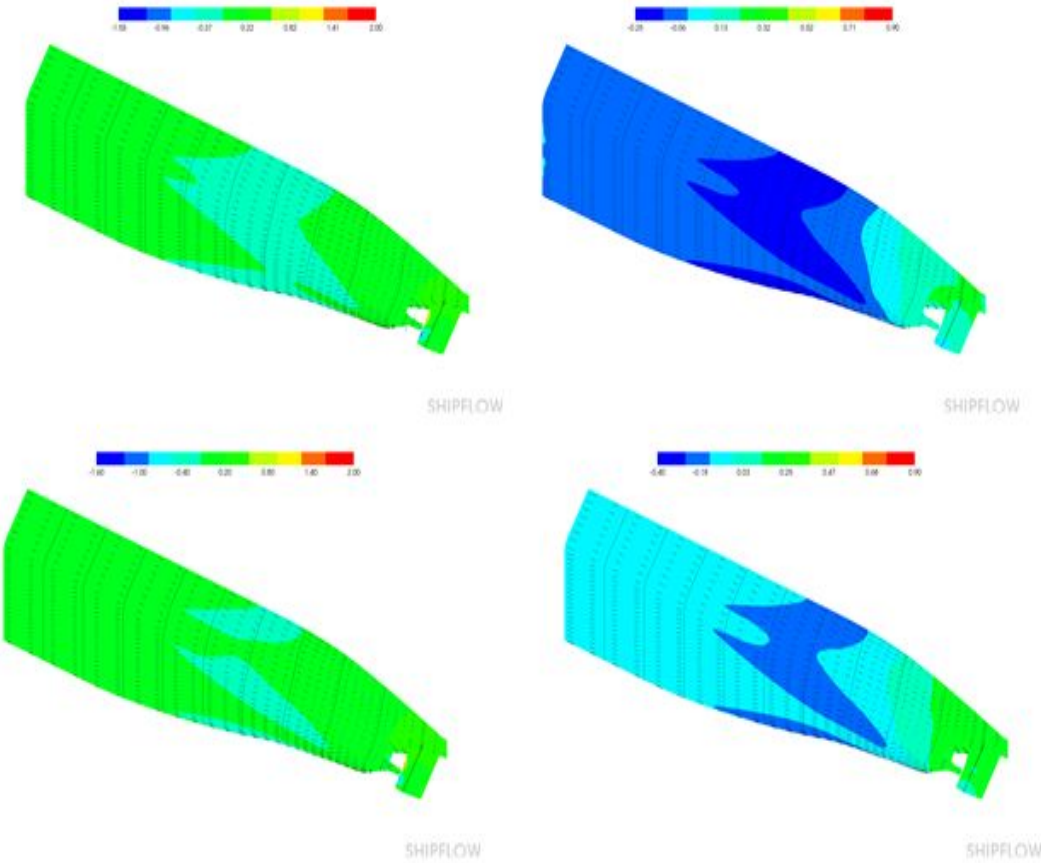


Fig. 2-20 Without Crown Duct(상)와 with Crown Duct(하)의 유동계산 결과 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

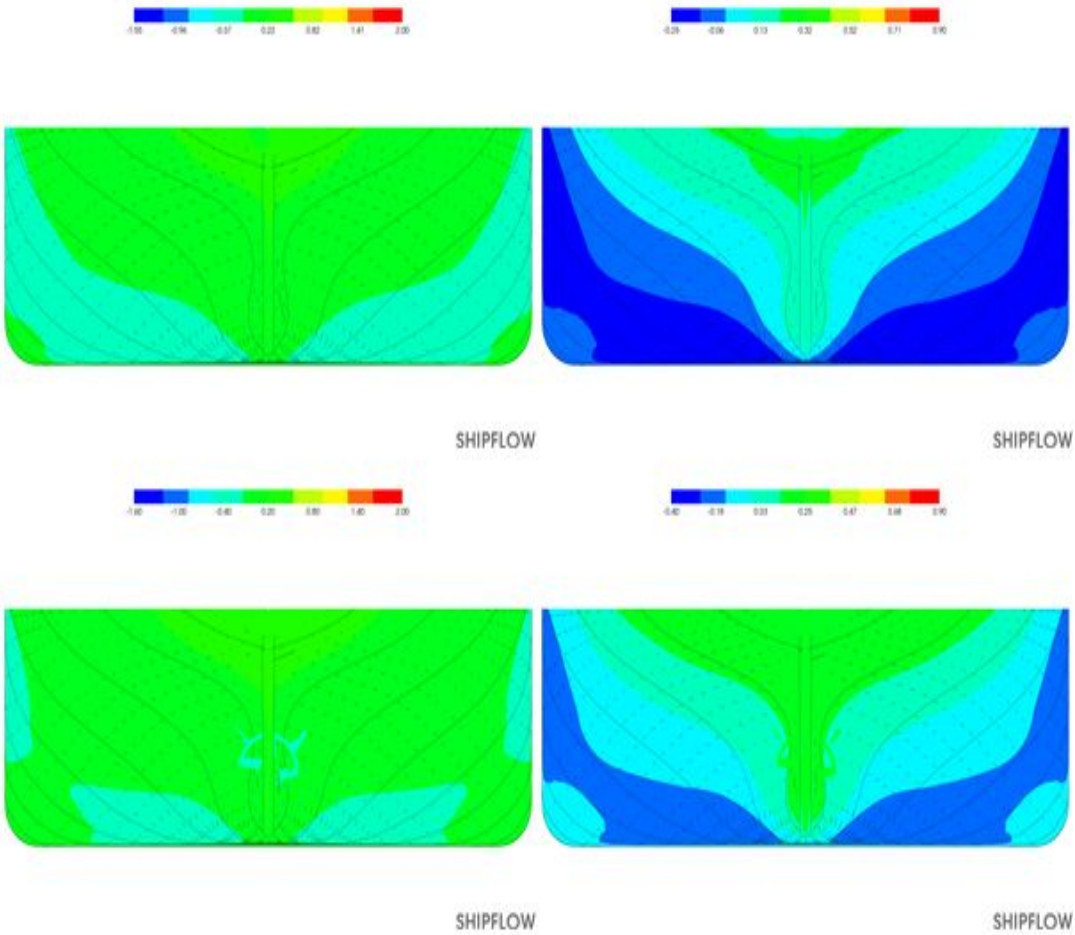


Fig. 2-21 Without Crown Duct(상)와 with Crown Duct(하)의 선미 유동 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

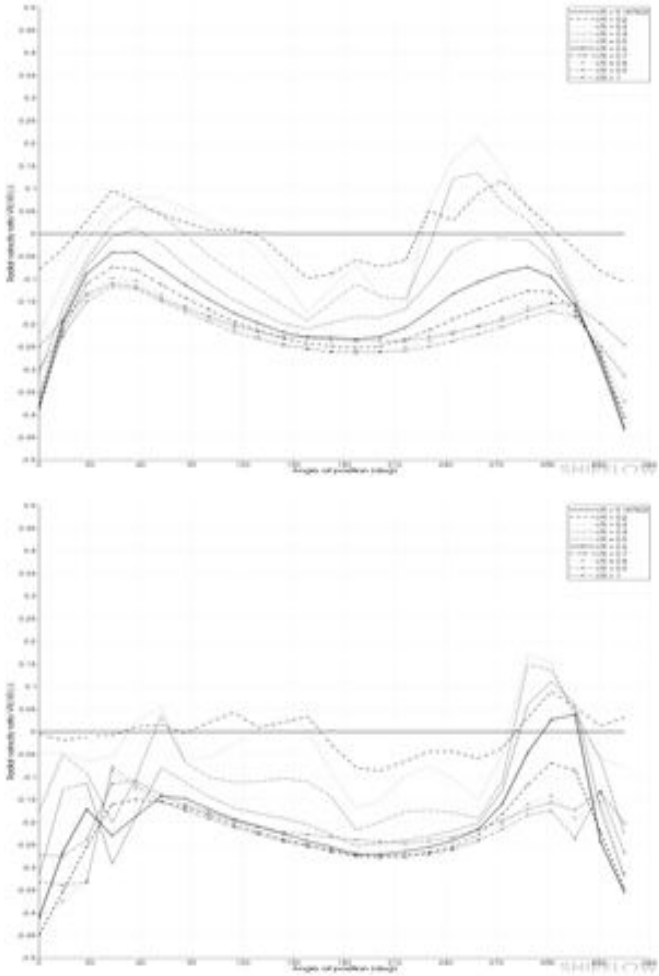


Fig. 2-22 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 회전 방향 속도 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

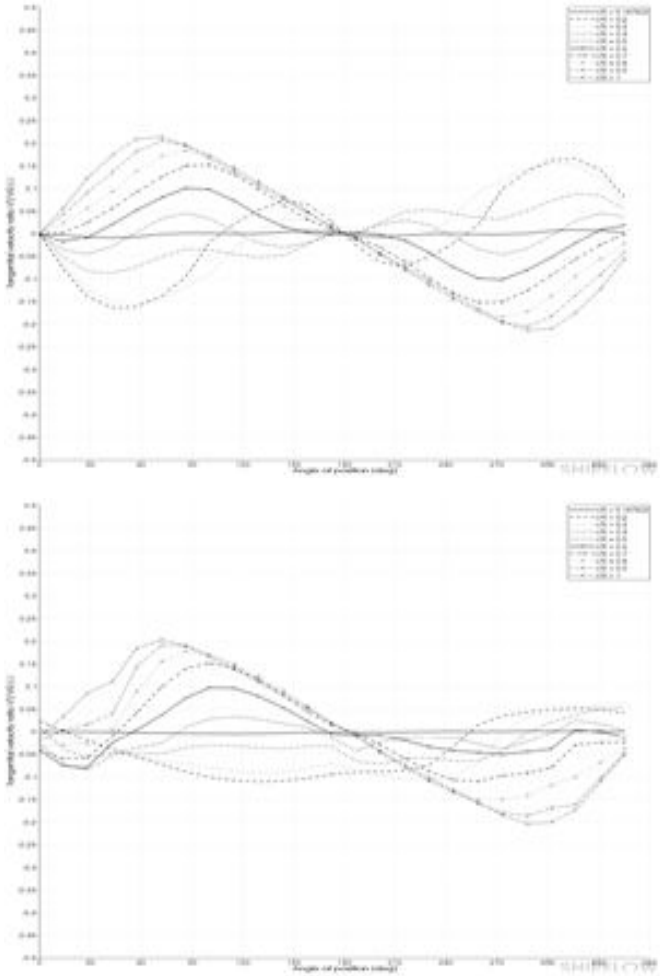


Fig. 2-23 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 접선 방향 속도 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

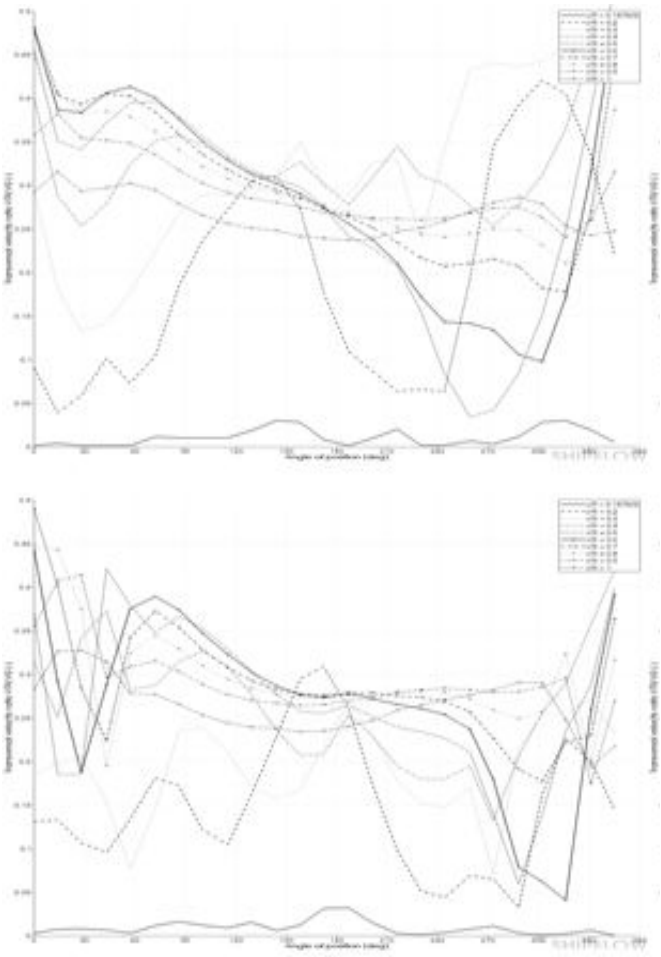


Fig. 2-24 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Transvers 속도 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

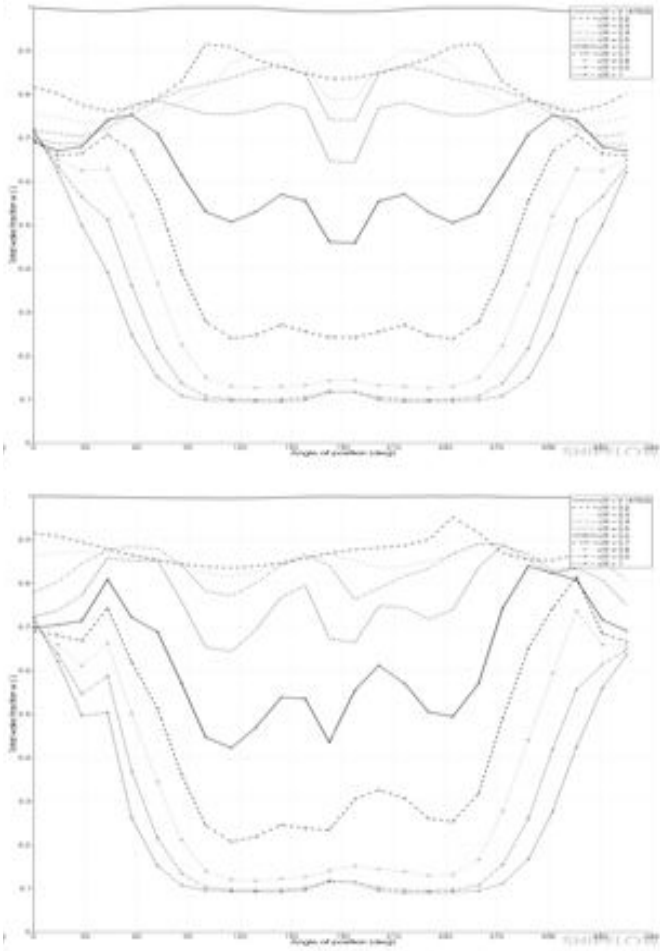


Fig. 2-25 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Wake fraction 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

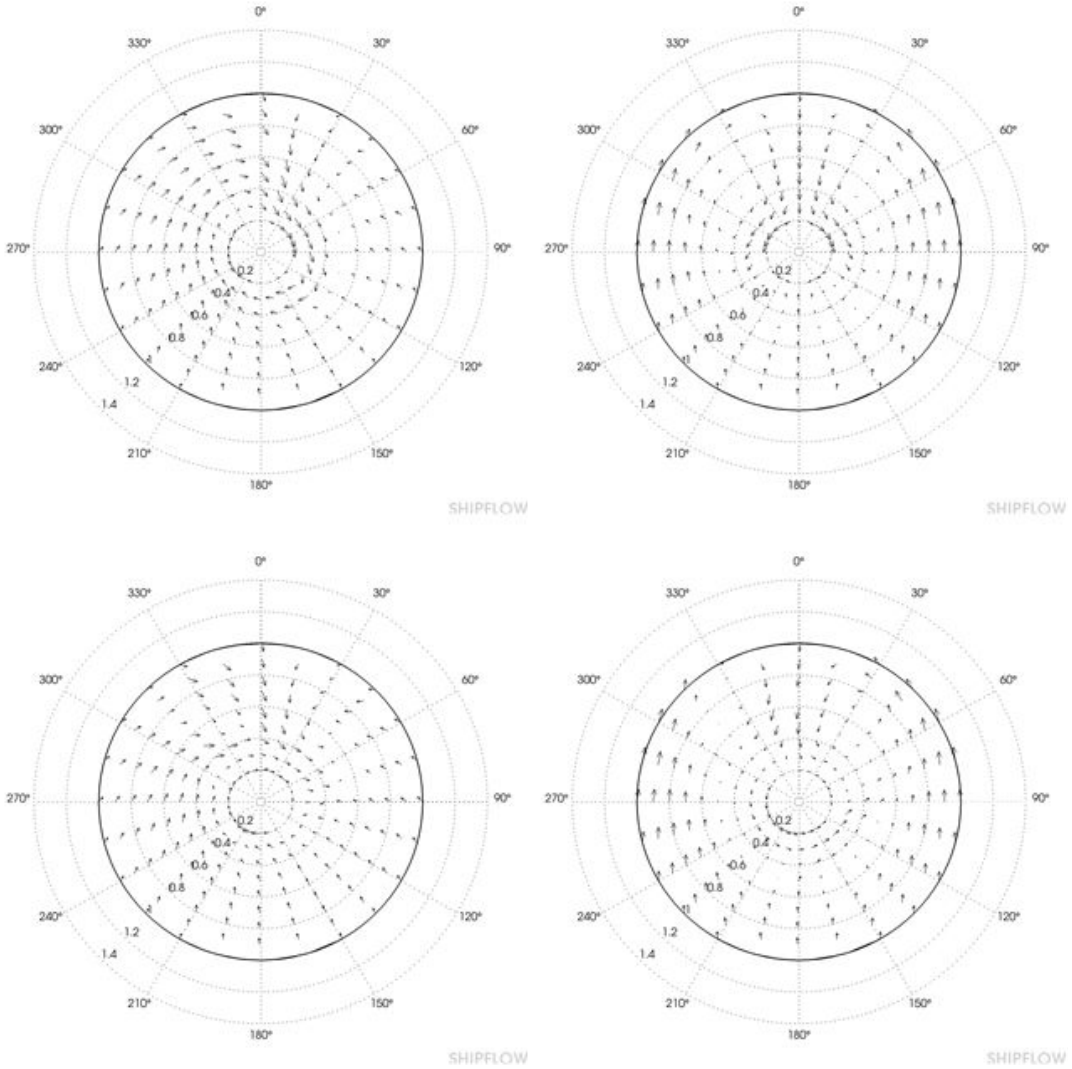


Fig. 2-26 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Vtr 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

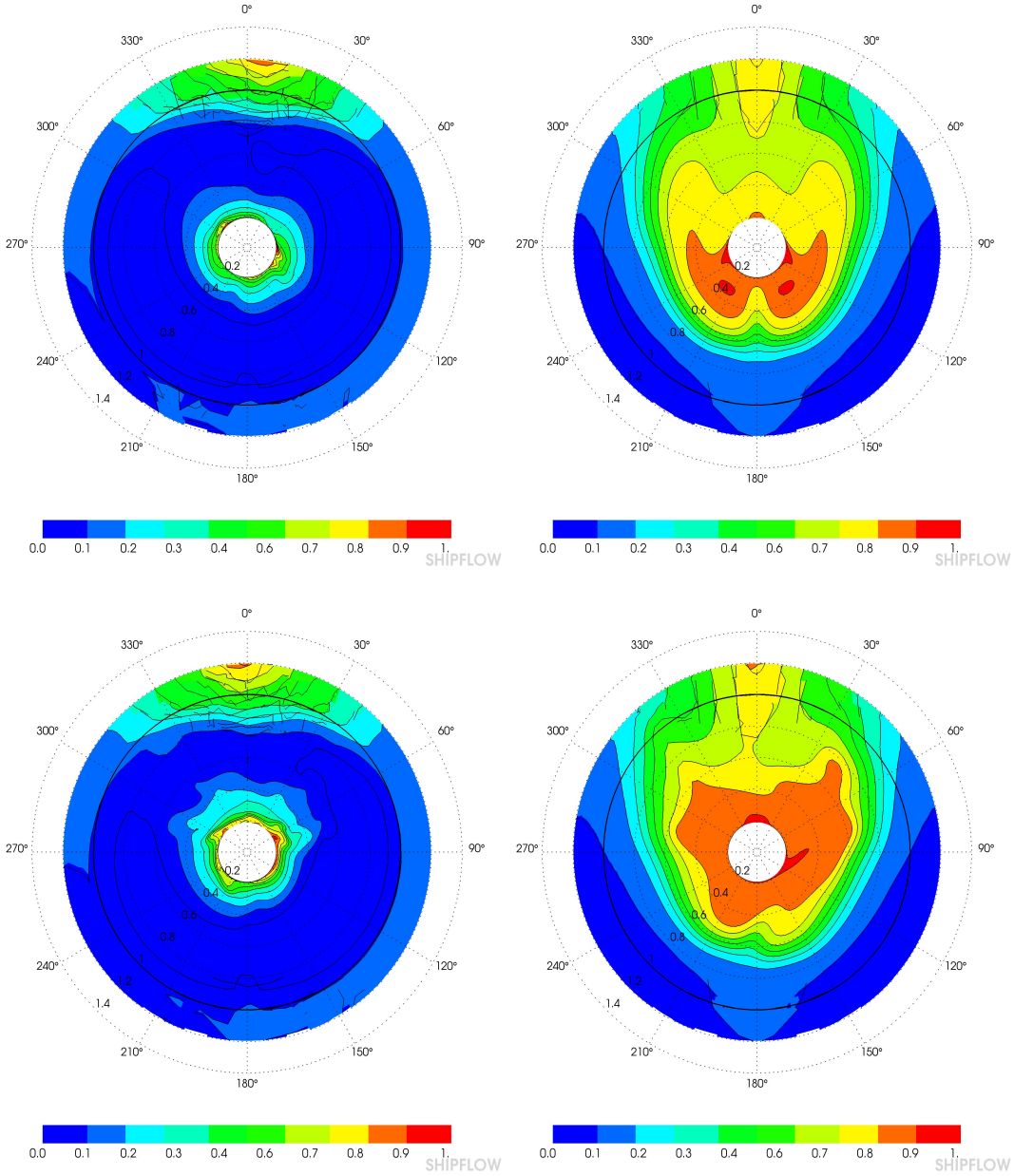


Fig. 2-27 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 Wake 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

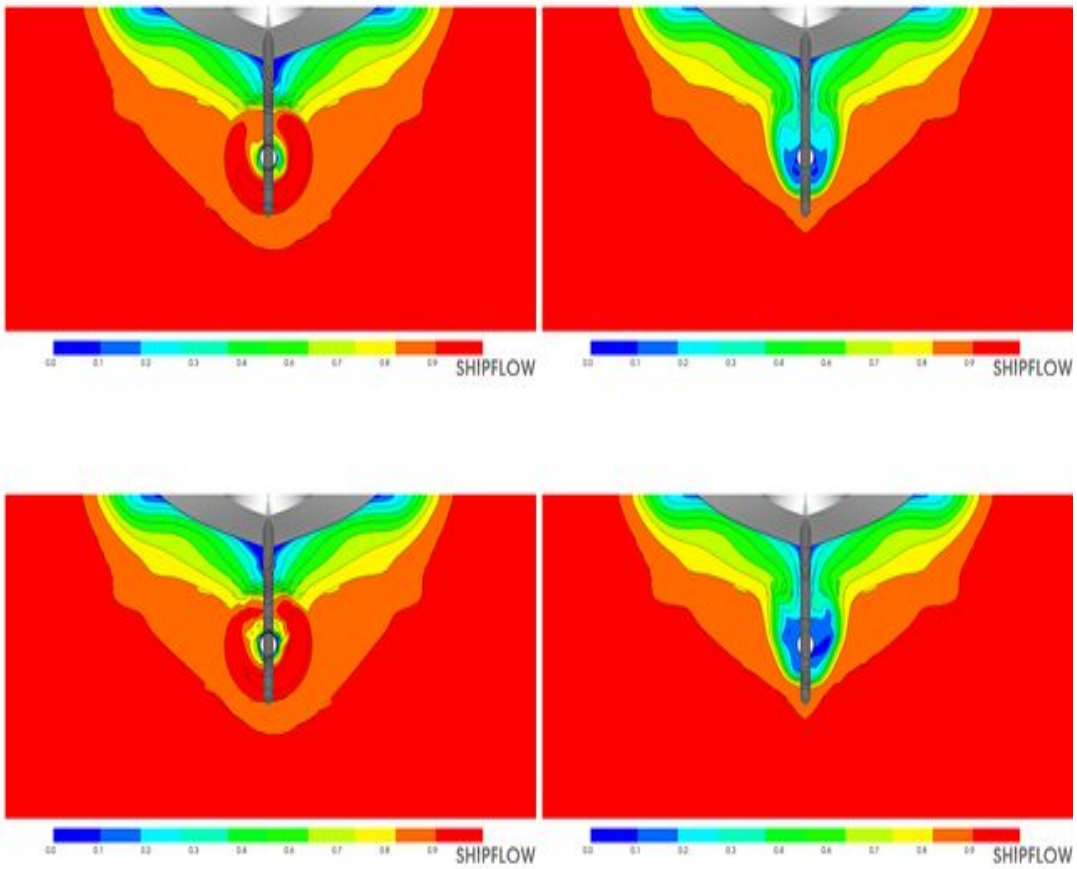


Fig. 2-28 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 $U_{x=4}$에서 Wake 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

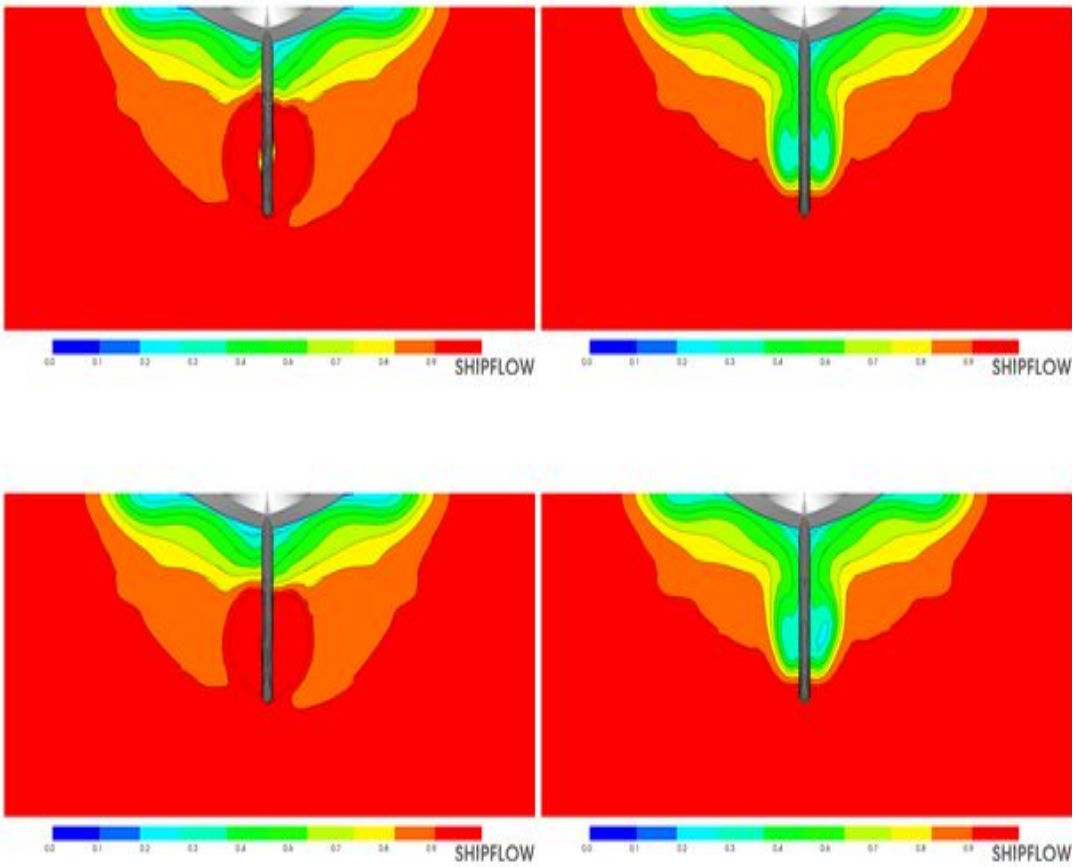


Fig. 2-29 Bare Hull(상)과 with Crown Duct(하)의 $U_{x=5}$에서 Wake 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1 CFD를 계산 분석 결과

1) CFD 계산결과의 정량적 비교를 위해, 나선상태와 부가물 부착상태의 저항계산을 동일 CFD Code를 사용하여, 결과적으로 설계속도 15Knot에서 부가물 부착상태의 전달마력이 나선상태보다 2.23% 감소함을 알 수 있었다.

2) Fig. 2-29와 Fig. 2-30에서 볼 수 있듯이, 나선상태에 비해 부가물 부착상태에서의 유속과 반류가 고르게 분포되어 선체효율의 증가를 확인 할 수 있다.

제 3 장 모 형 시 험

1. 예인수조

모형시험은 스웨덴 SSPA의 예인수조에서 수행하였으며 수조의 제원은 Table 3-1과 같으며 수조사진은 Fig 3-1과 같다.

Table. 3-1 Main particulars of Towing Tank in SSPA

TECHNICAL DATA		
Basin	L X B X D	260 X 10 X 5m
Carriage	Speed	0-11m/s
	Speed accuracy	0.001m/s
Waves	Wave length	0.4<lambda<inf.m
	Wave height	0<H<0.3m
	Frequencies	0<f<2Hz

Fig. 3-1 Towing Tanker in SSPA

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 모형선

모형선 foam plastic material을 사용하여 축척비 1:25.417 제작하였다. 모형선의 주요 제원은 Table 3-2 에 수록하였다.

Table. 3-2 Main dimension of ship and model

Characteristic	Ship(m)	Model(m)
LBP (Length between perpendiculars)	174.0	6.85
B(Beam)	32.2	1.27
T(Draft)	11.0	0.43

3. 프로펠러 모형

본 모형시험에서 사용된 Stock Propeller P1107을 사용하였다. 제원은 Table 3-3에 수록하였다. Crown Duct에 의한 속도개선으로 동일속도에서 나선 상태보다 RPM감소한 것을 감안하여 Stock Propeller를 선정하였으므로 실제 설계 상태와 근접한 상태에서 실험을 한 것이다.

Table. 3-3 Main particulars for model propeller

Characteristic	Value
Diameter model scale	0.24 m
Diameter full scale	6.1 m
Pitch ratio P/D at r/R = 0.75	0.715
Blade area ratio AD/AO	0.53

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 모형시험결과 해석

ITTC78과 수정된 ITTC78 해석법 을 사용적용 하였다.

1999년 ITTC회의에서 채택된 부가물 부착선박의 반류추정식은 다음과 같다.

$$W_{Tsw} = (t_{wo} + 0.04) + (W_{Tmwo} - (t_{wo} + 0.04))$$
$$*[(1+k)C_{Fs} + \triangle C_{Fs}/(1+k)C_{Fm}] + [W_{Tmw} - W_{Tmwo}]$$

where,

"W" stands for "with complex appendage"

"wo" stands for "without complex appendage"

"m" stands for "model"

"s" stands for "ship scale"

"T" stands for "thrust identity"

The form factor is based on the case without complex appendage.

5. Crown Duct의 모형시험 결과

Crown Duct를 모형 제작하여 모형선에 부착한 상태와 Bare Hull 상태에서 모형시험을 수행 하였다. 만재상태에서의 결과를 Table 3-4, Ballast상태에서의 결과를 Table 3-5에 요약 비교하였으며, Fig. 3-2에는 Crown Duct의 모형 사진을, 그리고 Fig. 3-3, Fig. 3-4는 모형시험 사진을 수록하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

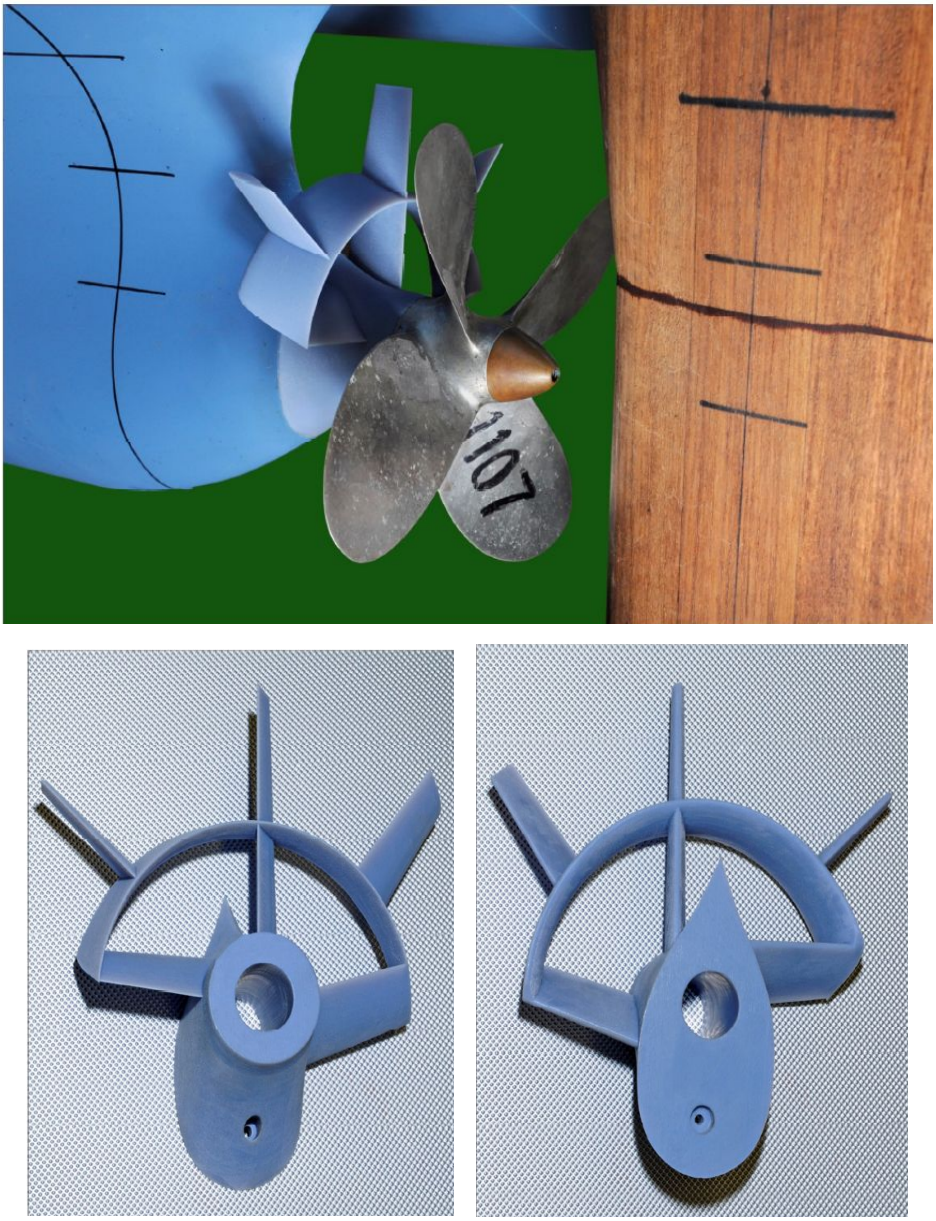


Fig. 3-2 Crown Duct의 모형 사진

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

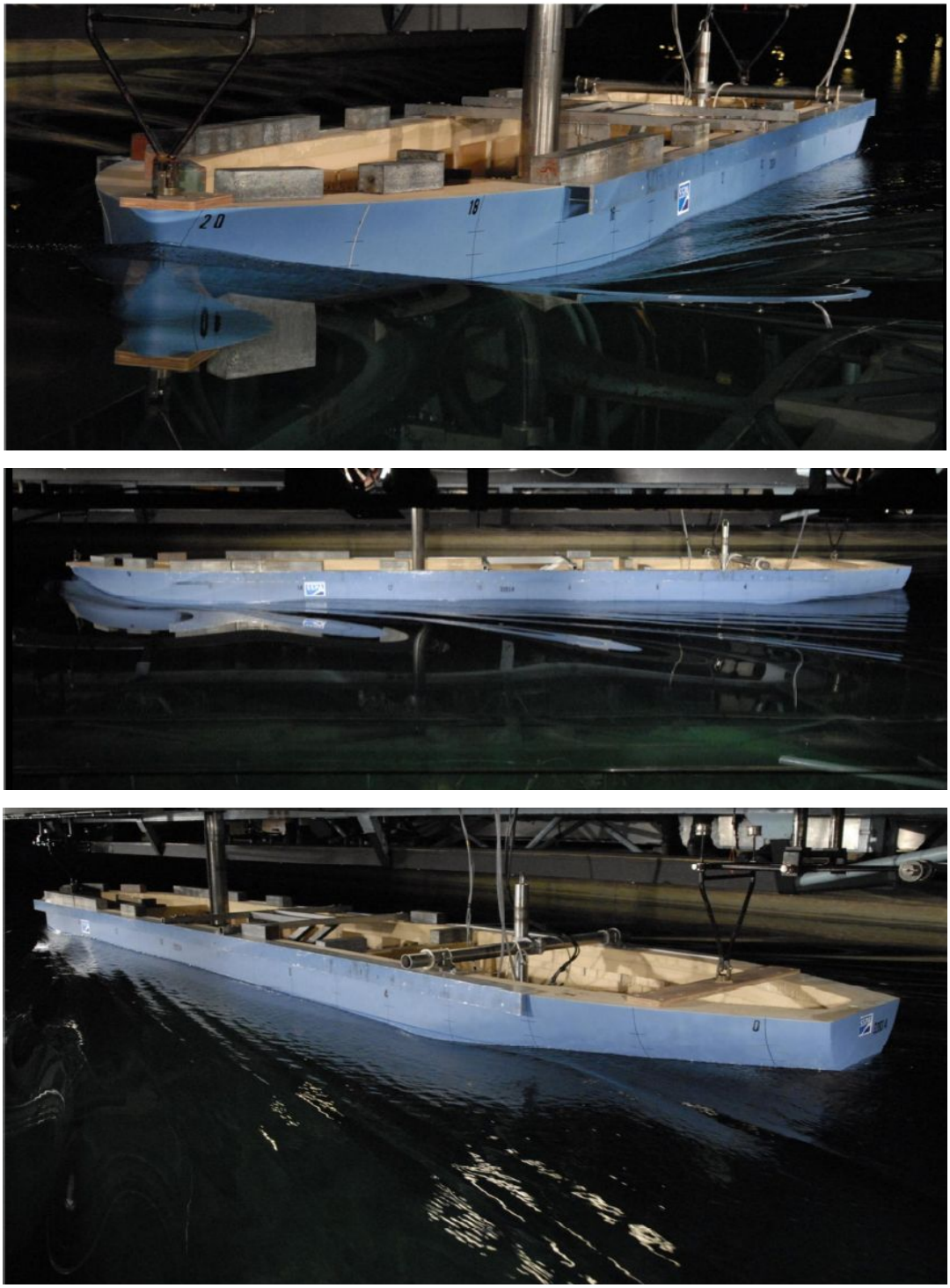


Fig. 3-3 Crown Duct 부착 시 만재상태의 V=15kn에서의 모형시험 사진

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 3-4 Crown Duct 부착 시 Ballast 상태에서 V=15kn에서의 모형시험 사진

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Crown Duct는 유입 각도에 초점을 맞추어, 고정자의 범위는 최소화하고, 피치 각은 응력을 최소화하기 위해 설계하고, Duct의 확산 각도는 추력을 향상시키기 위해 설계되었다.

모형 시험 결과에서 보인바와 같이 Crown Duct 부착 시 Bare hull상태보다 만재상태에서 P_D는 4.4% 감소하였고, Ballast 상태에서는 6.87% 감소하였다. 또한 추력감소계수가 증가한 것으로 보아 Crown Duct가 추력과 전달마력에 영향을 주어 추진효율 향상에 도움이 되는 걸 확인 할 수 있다.

Table. 3-4 Crown Duct의 만재상태에서 모형시험 결과

계수	$P_E(kW)$	w	t	η_R	η_O	η_D	$P_D(kW)$
나선상태	4783	0.358	0.220	1.018	0.543	0.672	6740
2차 Crown Duct	4792	0.453	0.247	1.031	0.494	0.701	6444
차이	+0.188%	+0.095	+0.027	+0.013	-0.049	+0.029	-4.392%

Table. 3-5 Crown Duct의 Ballast 상태에서 모형시험 결과

계수	$P_E(kW)$	w	t	η_R	η_O	η_D	$P_D(kW)$
with Bare Hull Ballast	4256	0.399	0.215	1.014	0.541	0.717	5724
with Crown Duct	4243	0.490	0.233	1.030	0.493	0.764	5331
차이	-0.305%	+0.091	+0.018	+0.016	-0.048	+0.028	-6.87%

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 결 론

본 연구에서는 프로펠러 전방의 회전방향 운동에너지를 추진효율향상을 위한 에너지로 활용할 수 있는 추진효율 향상 부가물(Crown duct)에 대한 연구 내용을 정리하였다.

대상선(50K Tanker)의 적합한 부가물을 개발하기 위해 Stator 설계, Crown duct 설계, 구조계산, 이론계산, 모형시험을 통하여 성능추정 과정을 정리하였으며, 설계 및 모형시험 과정별 주요 결과는 다음과 같다.

1) 본 연구에서는 향후 50k Tanker 이외의 선박에 Crown Duct 부착 시 시행오차 최소화하고 우수한 성능의 부가물을 개발하기 위하여 CFD code를 이용하여 부가물 부착 시 성능계산을 수행하였고, 이론계산 방법을 정립하였다.

2) 구조계산을 통해 부가물의 대한 구조적 안정성을 확인하고, Supporter를 설계하였다.

3) CFD code(Ship flow)를 이용하여 이론계산을 수행한 후 스웨덴의 SSPA 예인수조에서 Bare hull상태와 부가물 부착 상태에서 모형시험을 수행한 결과, 계획속도 15knot 만재상태에서 DHP가 4.4% 감소하였고 Ballast 상태에서 6.87% 감소하였다.

4) 선미형상으로 인해 프로펠러 면으로 선저를 따라 올라오는 흐름이 발생하여 우현의 경우는 프로펠러 회전에 의한 회전류를 상쇄시키고 좌현은 반대로 증가시키는 현상이 있기 때문에 본 연구에서 제안하는 새로운 추진향상 부가물을(Crown Duct) 유입각에 맞추어 Stator의 부착각도와 위치를 결정하는 방법을 제안 및 그 효과를 입증하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

[1]김우호 외 2(2012), “IMO 온실가스 시장기반조치(MBM) 대응방안 연구”.

[2]Lee, J.T., Kim, M.C., Suh, J.C., Kim, S.H. and Choi, J.K. (1992).
"Development of a Preswirl Stator-Propeller System for Improvement of Propulsion Efficiency : a Symmetric Stator Propulsion System", Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 29, No 4, pp 132-145.

[3]Asaumi. T, Ikeda. T, Tamashima. M and Shinohara. H (2006).
”Effectiveness of an Energy Saving Device ‘Friend Fin’, Conference Proceedings “, The Japan Society of Naval Architecture and Ocean Engineering, Nov. Vol.2

[4]Byoung-Nam Kim at al. (2009).
"Flow Analysis around a High-speed Planig Hull Model", The Korea Society of Ocean Engineers, Vol.9

[5]Hoshino T. at al. (2004).
“Development of High-Performance Stator Fin by Using Advanced Panel Method", Mitsubishi Juko Giho Vol41 No.6

[6]Kyoung-Hwa Kim at al. (2003).
"Correlative Experimental Study Between The Results of Circulating Water Channel and Towing Tank Tests", The Korea Society of Ocean Engineers, Vol.6

[7]Yong-Deok Kang at al. (2003).
"A Study on the Design of a Biassed Asymmetric Pres-wirl Stator Propulsion System", The Korea Society of Ocean Engineers, Vol.

[8]Kwi-Joo Lee at al. (2012).
"A study on the Development of Energy-Saving Device "Crown Duct", The Korea Society of Ocean Engineers, Vol.

[9] 조은비. (2013).
“ ‘Crown Duct’의 성능검증을 위한 이론계산 및 모형시험의 결과비교 연구 “.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

부 록 . Crown Duct의 관한 구조계산

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

부 록 목 차

List of Figures ····· ii

A.1 Crown Duct의 offset Data 입력 ····· 1
A.2 압력에 대한 구조 강도 ····· 3
A.3 진동에 대한 구조강도 ····· 12

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig. A-1 summary of Crown Duct ····· 1
Fig. A-2 Calculation of Sectional property of Crown Duct ····· 2
Fig. A-3 Structural calculation for the case of symmetric load based on Casliglians theorem. ····· 3
Fig. A-4 Strength Calculation sheet for symmetrical load ····· 4
Fig. A-5 Crown Duct pressure on 9 o' clock blade ····· 6
Fig. A-6 Strength Calculation sheet for Unsymmetrical load ····· 7
Fig. A-7 Slamming model 9 o' clock of Crown Duct ····· 9
Fig. A-8 Strength of 3 and 9 o' clock blade against Impact Pressure ····· 10
Fig. A-9 Structural model for fluttering vibration ····· 12
Fig. A-10 Fluttering Vibration ····· 14
Fig. A-11 Rotational vibration and symbols ····· 15
Fig. A-12 Rolling Vibration ····· 16
Fig. A-13 Vibration of 1.5 and 10.5 o' clock blades harmonized with the circumferential blade vibration ····· 17
Fig. A-14 Vibration of 1.5 and 10.5 o' clock blade ····· 18

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

A.1 Crown Duct의 offset Data 입력

Crown Duct의 구조적 강도 및 진동 평가를 위해 Fig A-1과 같이 날개 치수, 관성모멘트, 각 구역별 기준 치수, 하중 분포상태에 관해 입력을 해준다. Fig A-2과 같이 Crown Duct의 관해, 각 위치의 핀의 위쪽 아래쪽 두께와 길이, 날개 깊이를 입력한다.

Principal Dimensions of Crown Duct

1. Summary

Input Data
Automatic Calculation
Calculation by Macro

1.1 Dimensions of Blade

	span, radius			blade lenth			depth of blade	
$R=$	1800	[mm]	$b_R=$	973	[mm]	$h_R=$	162	[mm]
$\ell_0=$	1270	[mm]	$b_0=$	973	[mm]	$h_0=$	162	[mm]
$\ell_1=$	1255	[mm]	$b_1=$	973	[mm]	$h_1=$	158	[mm]
$\ell_C=$	2637	[mm]	$b_C=$	973	[mm]	$h_C=$	183	[mm]

1.2 Moment of Inertia

				average thickness of blade	
$I_0=$	6.918E+07	[mm^4]	$t_0=$	10	[mm]
$I_C=$	8.863E+07	[mm^4]	$t_C=$	10	[mm]
$I_R=$	6.918E+07	[mm^4]	$t_R=$	10	[mm]
$I_1=$	6.918E+07	[mm^4]	$t_1=$	10	[mm]

1.3 Section Modulus

				sectional area of plate	
$Z_0=$	8.541E+05	[mm^3]	$A_0=$	1.982E+04	[mm^2]
$Z_C=$	9.686E+05	[mm^3]	$A_C=$	1.992E+04	[mm^2]
$Z_R=$	8.541E+05	[mm^3]	$A_R=$	1.982E+04	[mm^2]
$Z_1=$	8.541E+05	[mm^3]	$A_1=$	1.982E+04	[mm^2]

1.4 Distribution of Load

$P_0=$ 6.00E+03 [kgf/m^2] = 0.0588 [N/mm^2]

$W_0=P_0\times b_0=$ 5.725E+01 [N/mm]

$W_1=P_0\times b_1=$ 5.725E+01 [N/mm]

$\eta=$ 0.5

$W_R=\eta P_0\times b_1=$ 2.863E+01 [N/mm]

Fig A-1 summary of Crown Duct

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. Calculation of Sectional Property

2.1 Crown Duct

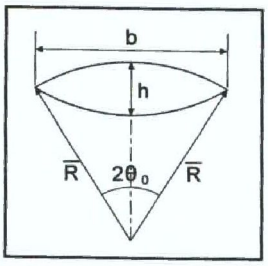


plate thickness of blade upper	t_t=	10	[mm]
plate thickness of blade lower	t_b=	10	[mm]
average thickness	$t=(t_t+t_b)/2$=	10	[mm]
chord length of blade	b=	973	[mm]
blade depth	h=	162	[mm]

$\bar{R} = (b^2+h^2)/(4h)$ = 1501.5 [mm]

$\theta_0 = \sin^{-1}(b/2\ \bar{R})$ = 0.3300 [rad] = 18.91 [deg]

moment of inertia

I= 6.92E+07 [mm^4] = 6.92E+03 [cm^4]

sectional modulus

Z=2I/h= 8.54E+05 [mm^3] = 8.54E+02 [cm^3]

plate area of blade

$A=4t\ \bar{R}\theta_0$= 1.98E+04 [mm^2] = 1.98E+02 [cm^2]

2.2 12 o'clock blade

plate thickness of blade upper	t_t=	10	[mm]
plate thickness of blade lower	t_b=	10	[mm]
average thickness	$t=(t_t+t_b)/2$=	10	[mm]
chord length of blade	b=	973	[mm]
blade depth	h=	183	[mm]

$\bar{R} = (b^2+h^2)/(4h)$ = 1339.1 [mm]

$\theta_0 = \sin^{-1}(b/2\ \bar{R})$ = 0.3718 [rad] = 21.30 [deg]

moment of inertia

I= 8.86E+07 [mm^4] = 8.86E+03 [cm^4]

sectional modulus

Z=2I/h= 9.69E+05 [mm^3] = 9.69E+02 [cm^3]

plate area of blade

$A=4t\ \bar{R}\theta_0$= 1.99E+04 [mm^2] = 1.99E+02 [cm^2]

Fig A-2 Calculation of Sectional property of Crown Duct

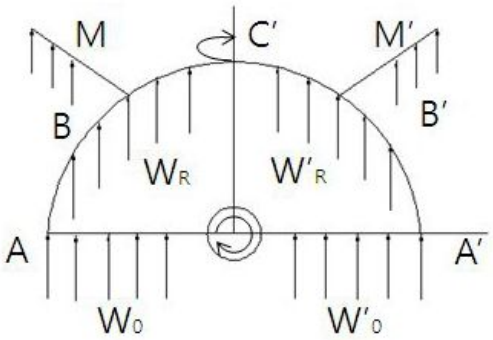
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

A.2 압력에 대한 구조 강도

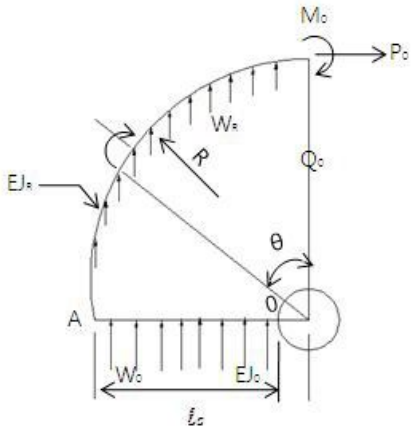
구조 강도를 결정하는데 필요한 요소를 확인하고, 다음과 같은 것들을 이론적으로 계산했다.

1) (S - 1) Strength of subjected to symmetrical pressure

ptiching과 heaving이 Crown Duct에 서로 상반되는 압력을 준다. 이 조건에서, Casigliano이론을 기초로 압력 계산을 하였다. 계략적인 압력의 분포는 Fig. A-3에 보여진다. 3가지 경계값을 이용하여, 각각의 blades에 어떻게 경계선상의 압력과 모멘트는 얻어지는지 분석을 통해 수행하고, 계산시트를 사용하였다. 계산시트는 Fig A-4과 같다.



(a)Symmetrical districution of load on Crown Duct



(b)Structural analysis model for the case of symmetric load

Fig A-3 Structural calculation for the case of symmetric load based on Casliglians theorem.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(S-1) Strength Calculation Sheet for Symmetrical Load

1. Principal Dimensions

$R=$	1800 [mm]	$b_R=$	973 [mm]	$h_R=$	162 [mm]
$\ell=\ell_0=$	1270 [mm]	$b_0=$	973 [mm]	$h_0=$	162 [mm]
$\ell_1=$	1255 [mm]	$b_1=$	973 [mm]	$h_1=$	158 [mm]

$t_R=$ 10 [mm]
$t_1=$ 10 [mm]
$t_0=$ 10 [mm]
} net thickness without corrosion margin to be applied

	moment of inertia		palte area		sectional modulus
$I_R=$	6.918E+07 [mm^4]	$A_R=$	1.982E+04 [mm^2]	$Z_R=$	8.541E+05 [mm^3]
$I_0=$	6.918E+07 [mm^4]	$A_0=$	1.982E+04 [mm^2]	$Z_0=$	8.541E+05 [mm^3]
$I_1=$	6.918E+07 [mm^4]	$A_1=$	1.982E+04 [mm^2]	$Z_1=$	8.541E+05 [mm^3]

2. Distributed Load

$P_0=$ 6.00E+03 [kgf/m^2]

$W_0=P_0 \times b_0=$ 5.838E+00 [kgf/mm]

$W_1=\sqrt{(2)}/2\ P_0 \times b_1=$ 4.128E+00 [kgf/mm]

$\eta=$ 0.5

$W_R=\eta\ P_0 \times b_1=$ 2.919E+00 [kgf/mm]

3. Calculation of Blade Strength Against Symmetric Load

3.1 Calculation of Φ

$\alpha=$ 0.70556 (non-dimensional)

$\Phi_{11}=$ 1.27635

$\Phi_{12}=$ 1.06175

$\Phi_{13}=$ 0.95665

$\Phi_{21}=$ 1.45665

$\Phi_{22}=$ 0.95665

$\Phi_{23}=$ 1.11022

$\Phi_{31}=$ 2.27635

$\Phi_{32}=$ 1.27635

$\Phi_{33}=$ 1.45665

Fig A-4 Strength Calculation sheet for symmetrical load

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 Calculation of Ψ

μ_1= 0.34525

μ_R= 1.00440

Ψ_1= −0.25473

Ψ_2= −0.08030

Ψ_3= −0.13359

3.3 Calculation of Xi

$$\begin{vmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{vmatrix}$$

1.27635	1.06175	0.95665	X_1	=	−0.25473
1.45665	0.95665	1.11022	X_2		−0.08030
2.27635	1.27635	1.45665	X_3		−0.13359

3.4 Calculation of Mo,Po,Qo

$w_0 \ell^2$= 9.4161E+06 [kgf−mm]

X_1= −0.0321

X_2= −0.7786

X_3= 0.6407

$M_0 = X_1 w_0 \ell^2$ = −3.026E+05 [kgf−mm] = −0.3 [t−m]

$P_0 = X_2 w_0 \ell^2 / R$ = −4.073E+03 [kgf] = −4.1 [t]

$Q_0 = X_3 w_0 \ell^2 / R$ = 3.352E+03 [kgf] = 3.4 [t]

4. Moment Acting on Blade

4.1 Bending Moment M_1 of 1.5 and 10.5 o'clock Blade

W_1 = 5.056E+00 [kgf/mm]

M_1 = 3.982E+06 [kgf−mm]

4.2 Bending Moment M_0 of 3 and 9 o'clock Blade

ξ	$M_0(\xi)$
0.0	−2.348E+06
0.2	−1.676E+06
0.4	−6.283E+05
0.6	7.966E+05
0.8	2.598E+06
1.0	4.776E+06

4.3 Bending Moment M_R of R Wing

θ	$u(\theta-\pi/4)$	$M_R(\theta)$
0	0	−3.026E+05
15	0	6.924E+05
30	0	5.496E+05
45	0	−5.481E+05
60	1	1.692E+06
75	1	−3.393E+05
90	1	−2.348E+06

5. Calculation of Stress

5.1 Stress Induced in 1.5 and 10.5 o'clock Blade

$\sigma_1 = M_1/Z_1$ = 3.982E+06 / 8.541E+05 = 4.662E+00 [kgf/mm^2]

5.2 Stress Induced in 3 and 9 o'clock Blade

ξ	$\sigma_0(\xi)$
0.0	−2.749E+00
0.2	−1.963E+00
0.4	−7.356E−01
0.6	9.326E−01
0.8	3.042E+00
1.0	5.592E+00

5.3 Stress Induced in R Wing

ξ	$\sigma_0(\theta)$
0	−3.542E−01
15	8.106E−01
30	6.435E−01
45	−6.418E−01
60	1.981E+00
75	−3.972E−01
90	−2.749E+00

Fig A-4 Strength Calculation sheet for symmetrical load(continue)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) (S - 2) Strength of structure in asymmetric pressure

배의 rolling 때문에, 비대칭 압력이 3시, 9시 방향의 blade에 가해진다. 비대칭적인 압력 분포가 9시 방향으로 심하게 가해진 상황을 Fig A-5가 나타내었다. 비대칭 적인 구조는 Fig A-5에서 보여준것 처럼 Duct의 상단부에 스프링 상수 K를 고려해야한다. Stress(응력)의 값은 12[kgf/mm^2]이하 여야 하는데 계산 결과는 28.79[N/mm^2]이 나왔다. 계산 결과값의 단위를 맞춰주면 2.94 [kgf/mm^2]가 나오므로 정상값이 나온다.

계산시트는 Fig A-6와 같다

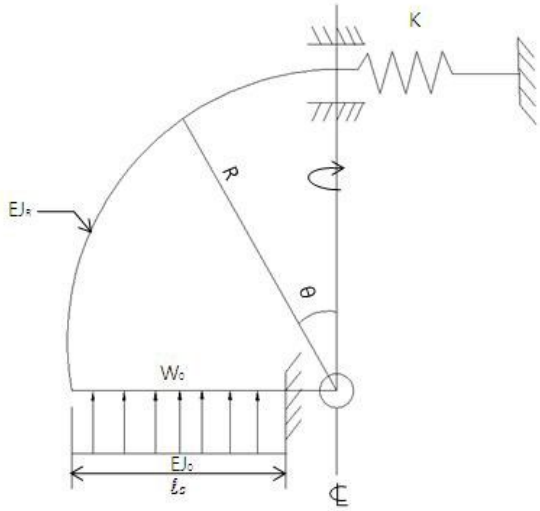


Fig A-5 Crown Duct pressure on 9 o' clock blade

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(S-2) Strength Calculation Sheet for Unsymmetrical Load

Load on 9 o'clock blade

$R=$	1800	[mm]
$\ell=\ell_0=$	1270	[mm]
$I_R=$	6.918E+07	[mm^4]
$I_0=$	6.918E+07	[mm^4]
$W_0=$	5.725E+01	[N/mm]

1. Calculation of Φ

Equivalent Spring on Point C

$K=$	2.52E+04	[N/mm]
$E=$	2.06E+05	[N/mm^2]

$\Phi'_{12}=\Phi_{12}+(E\ I_R)/(KR^3)=$ 1.06175 + 0.09697 = 1.15872

$\Phi_{11}=$	1.27635
$\Phi'_{12}=$	1.15872
$\Phi_{13}=$	0.95665
$\Phi_{21}=$	1.45665
$\Phi_{22}=$	0.95665
$\Phi_{23}=$	1.11022
$\Phi_{31}=$	2.27635
$\Phi_{32}=$	1.27635
$\Phi_{33}=$	1.45665

2. Calculation of Ψ

$\alpha=$	0.70556
$\Psi_1=$	-0.11759
$\Psi_2=$	-0.05537
$\Psi_3=$	-0.11759

Fig. A-6 Strength Calculation sheet for Unsymmetrical load

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. Calculation of Xi

$$\begin{vmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1.27635 & 1.15872 & 0.95665 \\ 1.45665 & 0.95665 & 1.11022 \\ 2.27635 & 1.27635 & 1.45665 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.11759 \\ -0.05537 \\ -0.11759 \end{vmatrix}$$

4. Calculation of Mo,Po,Qo

$w_0\,\ell^2 =$ 9.2340E+07 [N-mm]

$X_1 =$ -0.1114

$X_2 =$ -0.2019

$X_3 =$ 0.2703

$M_0 = X_1\, w_0\, \ell^2 =$ -1.028E+07 [N-mm] = -1.0 [t-m]

$P_0\, R = X_2\, w_0\, \ell^2 =$ -1.865E+07 [N-mm] = -18.6 [t]

$Q_0\, R = X_3\, w_0\, \ell^2 =$ 2.496E+07 [N-mm] = 25.0 [t]

5. Calculation of $M_R(\theta)$

θ [deg]	$M_R(\theta)$
0	-1.028E+07
15	-4.461E+06
30	-3.047E+05
45	1.901E+06
60	2.005E+06
75	5.088E+02
90	-3.975E+06

max. moment M_R max = 1.028E+07 [N-mm]

section modulus Z_R = 8.541E+05 [mm^3]

max. stress σ_R max = 12.04 [N/mm^2]

6. Calculation of $M_I(\xi)$

ξ	$M_I(\xi)$
0.0	-3.975E+06
0.2	-5.650E+06
0.4	-3.631E+06
0.6	2.082E+06
0.8	1.149E+07
1.0	2.459E+07

max. moment M_I max = 2.459E+07 [N-mm]

section modulus Z_I = 8.541E+05 [mm^3]

max. stress σ_I max = 28.79 [N/mm^2]

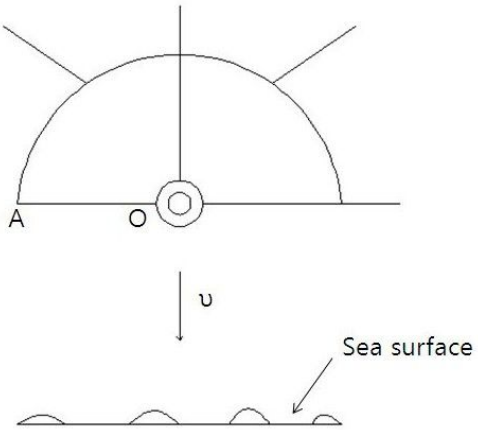
Fig. A-6 Strength Calculation sheet for Unsymmetrical load(continue)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

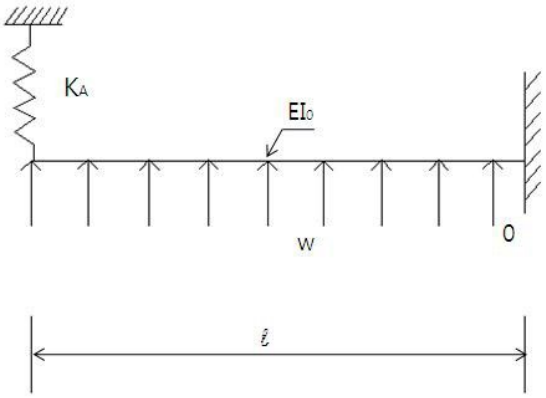
3) (S - 3) Impulse structural reponse due to collision of blades to sea surface

선미 slamming의 일부의 압력은 3시와 9시 방향의 blade에 가해진다. slamming에 관해 구조 계산을 하기 위해서는 slamming에 반작용 하는 구조 계산을 반드시 해야한다. σ값이 12이상이 나와야하는데 계산 결과 값인 σ =2.559E+01[kgf/mm^2]가 나와 정상치수로 나오지 않았다. 그 이유는 Impact Pressure은 현실상 거의 일어나지 않는 현상이므로 무시한다.

계산시트는 Fig A-8과 같다.



(a) collision of duct to sea surface



(b) structural model

Fig A-7 Slamming model 9 o' clock of Crown Duct

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(S-3) Strength of 3 and 9 o'clock Blade Against Impact Pressure

1. Principal Dimensions

ℓ_0=	1270	[mm]
b_0=	973	[mm]
h_0=	162	[mm]
t_0=	10	[mm]
I_0=	6.918E+07	[mm^4]
A_0=	1.982E+04	[mm^2]
Z_0=	8.541E+05	[mm^3]
K_A =	1.068E+04	[kgf/mm]

2. Physical Properties

E =	2.100E+04	[kgf/mm^2]	Young's modulus
ρ_w =	1.025E-06	[kgf/mm^3]	density of sea water
ρ_s =	7.850E-06	[kgf/mm^3]	density of steel
ζ =	1.600E-03		non-dimensional damping coefficient

3. Weight

weight of horizontal fin
$w_0 = \rho_s A_0$ = 1.556E+02 [kgf/m]

added mass
$w_w = \rho_w (\pi/8) b_o^2$ = 3.811E+02 [kgf/m]

coefficient of added mass
$\varepsilon_0 = w_w / w_0$ = 2.450

total weight
$w = w_0 + w_w$ = 5.366E+02

4. Non-Dimensional Coefficient $\eta, \alpha, \beta, \gamma$

(1) η
$\eta = (K_A \ell^3) / (3 E I_0)$ = 5.020

(2) α
α = 7.908

(3) β
β = 1.511

(4) γ
γ = 0.525

Fig A-8 Strength of 3 and 9 o' clock blade against Impact Pressure

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5. Impact Pressure

5.1 Ship Data

distance from ship bottom to shaft center

h_0 = 3.700 [m]

ship length between perpendiculars

L_{pp} = 215.000 [m]

equivalent sea wave length

L_w = 430.000 [m]

ship speed

V_s = 14.100 [knots]

velocity of wave

v_w = 25.900 [m/sec]

ship speed

v_s = 7.254 [m/sec]

encounter period of wave bottom

T_e = 12.970 [sec]

velocity of wave in vertical direction

v = 2.282 [m/sec]

5.2 Impulse I_{mp} and dulation time Δ

$I_{mp} = (\rho_w/8)\pi b_0^2 \ell \gamma v$ = 5.804E+02 [kg-m/sec]

6. Calculation of Structural Response Against Impulse

(1) W

W = 2.644E+02 [kg]

(2) non-dimensional damping coefficient ζ

δ = 1.000E-02

ζ = 1.592E-03

(3) K

K = 1.795E+07 [kgf/m]

(4) $\omega \fallingdotseq \omega_0$

ω_0 = 8.160E+02 [s^{-1}]

(5) y_0

y_0 = 2.691 [mm]

7. Stress Calculation

Bending Moment ξ=1

M (1) = 2.186E+07 [kg-mm]

σ=M(1)/Z_0= 2.559E+01 [kg/mm^2]

Fig A-8 Strength of 3 and 9 o' clock blade against Impact Pressure(continue)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

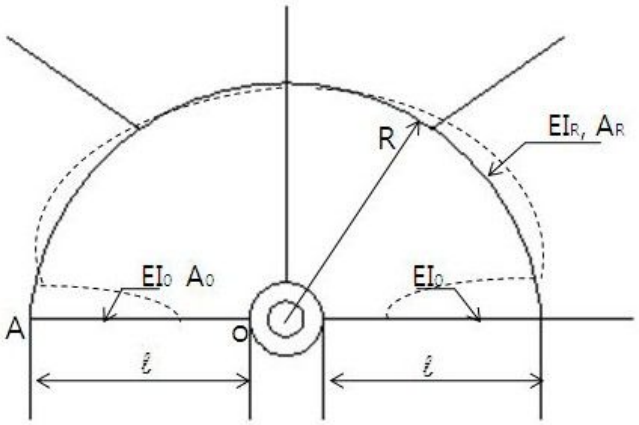
A.3 진동에 대한 구조강도

propeller의 진동으로부터 자유로운 Crown Duct를 설계하기 위해 다음과 같이 진동에 관한 구조 계산을 하였다.

1) (V - 1) Fluttering vibration

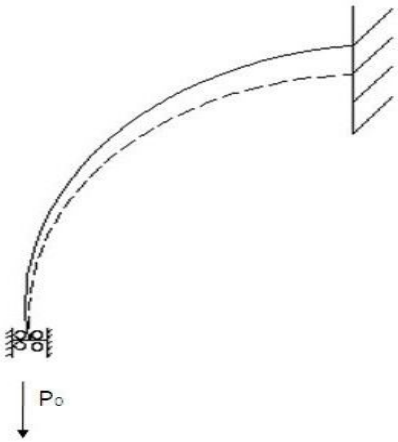
진동계산은 진동하고 있는 상태에 대해 수행되어진다. 진동하고 있는 상태를 Fig A-9(a)에 나타내고, 진동하고 있는 상태에서 진동의 추측을 Fig A-9(b)나타내었다. Fig A-9(c)에는 진동의 추정을 위한 구조 모델을 스프링 간략화하여 나타내었다. f(고유진동수)의 값은 1000[cpm]이상이어야 하는데 계산 결과 3202.925[cpm]으로 정상값이 나왔다.

계산 시트는 Fig A-10 다음과 같다.

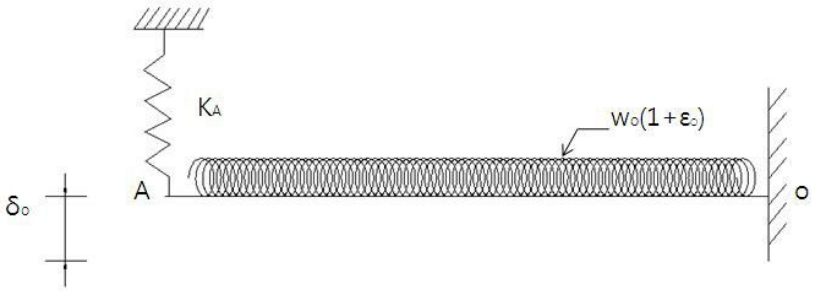


(a) Fluttering mode of vibration

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) Model for estimation of vibration



(c) Structural model for estimation of vibration

Fig A-9 Structural model for fluttering vibration

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(V-1) Fluttering Vibration

1. Principal Dimensions

$R=$	1800	[mm]	$\ell_0=$	1270	[mm]
$b_R=$	973	[mm]	$b_0=$	973	[mm]
$I_R=$	6.918E+07	[mm^4]	$I_0=$	6.918E+07	[mm^4]
$A_R=$	1.982E+04	[mm^2]	$A_0=$	1.982E+04	[mm^2]

2. Physical Properties

$E=$	2.100E+04	[kgf/mm^2]	Young's modulus
$\rho_w=$	1.025E-06	[kgf/mm^3]	density of sea water
$\rho_s=$	7.850E-06	[kgf/mm^3]	density of steel

3. Calculation of Weight

$w_0=$	0.15556	[kgf/mm]
$w_R=$	0.15556	[kgf/mm]
$W_A=$	4.398E+02	[kgf]

4. Added Mass Coefficient

$\varepsilon_0=$ 4.899

5. Equivalent Spring Constant K_A

$\Phi_{11}=$	0.57080
$\Phi_{12}=$	0.35619
$\Phi_{13}=$	0.50000
$\Phi_{21}=$	1.00000
$\Phi_{22}=$	0.50000
$\Phi_{23}=$	0.78540
$\Phi_{31}=$	1.57080
$\Phi_{32}=$	0.57080
$\Phi_{33}=$	1.00000

u_0=1mm, v_0=0, θ_0=0 (calculation of spring constant)

$\Psi_1=$	4.484E+05
$\Psi_2=$	0.00000
$\Psi_3=$	0.00000

5.1 Matrix Calculation

$$\begin{vmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 0.57080 & 0.35619 & 0.50000 \\ 1.00000 & 0.50000 & 0.78540 \\ 1.57080 & 0.57080 & 1.00000 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 4.4838E+05 \\ 0.00000 \\ 0.00000 \end{vmatrix}$$

X_1	4.253E+06
X_2	1.922E+07
X_3	-1.765E+07

5.2 Calculation of K_A and η

$X_2 = P_0R =$ 1.922E+07 [kgf-mm]

$P_0 =$ 1.068E+04 [kgf]

Since it is the reaction force corresponding to u_0=1mm,

$P_0 = K_A\ \delta_0 = K_A =$ 1.068E+04 [kgf/mm]

ratio of rigidity η

$\eta = \ell^3 / (3\ E\ I_0)\ K_A =$ 5.0197

6. Natural Frequency in Water

$\alpha =$	3.2023
$\beta =$	2.1174
f (cpm) =	3202.925 [cpm]

Fig A-10 Fluttering Vibration

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2) (V - 2) Rolling vibration

supporter 가 없다면, Fig A-11에 나타나는 C에 rolling 진동이 구조적으로 유도 될 수 있다. rolling 진동의 고유 주파수를 측정할수 있다. 만약 supporter가 E에 설치가 된다면 rolling 진동은 fluttering진동과 상쇄되어 질것이다. f의 값이 646.305[cpm]으로 1000[cpm] 이하의 값이 계산되었다. 이는 suppoter를 달아서 rolling 진동 문제를 해결 할 수 있을 것으로 생각된다. 단, suppoter 부착시 crack을 방지해 부착해야 한다.

계산 시트는 Fig A-12 다음과 같다.

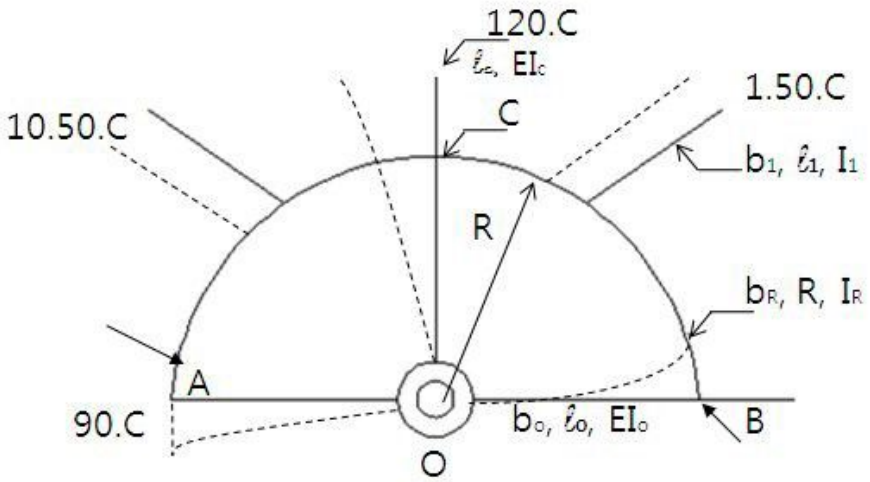


Fig A-11 Rotational vibration and symbols

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(V-2) Rolling Vibration

1. Dimensions of Blade

	chord length of blade		blade depth		blade thickness	
b_0=	973	[mm]	h_0= 162	[mm]	t_0= 10	[mm]
b_C=	973	[mm]	h_C= 183	[mm]	t_C= 10	[mm]
b_R=	973	[mm]	h_R= 162	[mm]	t_R= 10	[mm]
b_1=	973	[mm]	h_1= 158	[mm]	t_1= 10	[mm]

	blade length			metal sectional area			moment of inertia	
ℓ_0=	1270	[mm]	A_0=	1.982E+04	[mm^2]	I_0=	6.918E+07	[mm^4]
ℓ_C=	2637	[mm]	A_C=	1.992E+04	[mm^2]	I_C=	8.863E+07	[mm^4]
R=	1800	[mm]	A_R=	1.982E+04	[mm^2]	I_R=	6.918E+07	[mm^4]
ℓ_1=	1255	[mm]	A_1=	1.982E+04	[mm^2]	I_1=	6.918E+07	[mm^4]

2. Physical Properties

E =	2.100E+04	[kgf/mm^2]	Young's modulus
ρ_w	1.025E-06	[kgf/mm^3]	density of sea water
ρ_s	7.850E-06	[kgf/mm^3]	density of steel

3. Coefficient of Added Mass

			weight of structure per length		
ε_0=	4.899		w_0=	0.156	[kg/mm]
ε_c=	4.875		w_c=	0.156	[kg/mm]
ε_R=	4.899		w_R=	0.156	[kg/mm]
ε_1=	4.899		w_1=	0.156	[kg/mm]

4. Value of ξc (non-dimensional)

ξ_c= 0.465

5. Value of α and β

α= 1.457

β= 23.465

1	2	3
7.640	7.155	8.670

6. Natural Frequency in Water

f = 646.305 [cpm]

Fig A-12 Rolling Vibration

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3) (V - 3) Local vibration of 1.5 and 10.5 o'clock blade

1.5시, 10.5시 blade의 진동이 Duct의 변형을 유도 할 것이다. Fig A-13 에서 보여진 것처럼 진동 상태에서 고유 주파수가 추측할 수 있다. Duct를 중심으로 나왔다 들어갔다하는 진동시 계산되는 진동값을 1740.456[cpm]으로 정상값이 나왔다.

계산 시트는 Fig A-14 다음과 같다.

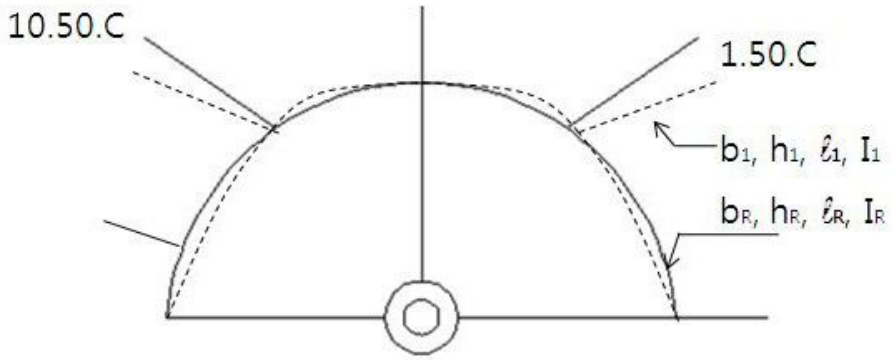


Fig A-13 Vibration of 1.5 and 10.5 o’ clock blades harmonized with the circumferential blade vibration

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(V-3) Vibration of 1.5 and 10.5 o'clock Blade

1. Principal Dimensions

	length		chord length		depth of blade
ℓ_1=	1255 [mm]	b_1=	973 [mm]	h_1=	158 [mm]
$l_R = \pi/4\ R$=	1414 [mm]	b_R=	973 [mm]	h_R=	162 [mm]
	plate thickness		metal sectional area		moment of inertia
t_1=	10 [mm]	A_1=	1.982E+04 [mm^2]	I_1=	6.918E+07 [mm^4]
t_R=	10 [mm]	A_R=	1.982E+04 [mm^2]	I_R=	6.918E+07 [mm^4]

Physical Properties

E =	2.100E+04 [kgf/mm^2]	Young's modulus
ρ_w	1.025E-06 [kgf/mm^3]	density of sea water
ρ_s	7.850E-06 [kgf/mm^3]	density of steel

2. Numerical Calculation

2.1 Distributed Steel Weight

w_1= 1.556E-01 [kg/mm]

w_R= 1.556E-01 [kg/mm]

2.2 Added Mass

w_{1a}= 7.621E-01 [kg/mm]

w_{Ra}= 7.621E-01 [kg/mm]

2.3 Ratio of Added Mass

ε_1= 4.899

ε_R= 4.899

2.4 Value of α (non-dimensional)

α= 0.751

2.5 Value of Γ (non-dimensional)

Γ_u = 1.939

Γ_T = 4.553

2.6 Natural Frequency in Water

f = 1740.456 [cpm]

Fig A-14 Vibration of 1.5 and 10.5 o' clock blade