



2009年 2月

碩士學位論文

# 단일 킬 및 이중 킬 요트의 저항특성에 관한 연구

A Study on the Resistance Characteristics of a Yacht with Single and Double keels

> 朝鮮大學校 大學院 船舶海洋工學科

> > 李 維 新

# 단일 킬 및 이중 킬 요트의 저항특성에 관한 연구

A Study on the Resistance Characteristics of a Yacht with Single and Double Keels

2009年 2月 25日

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

李 維 新

# 단일 킬 및 이중 킬 요트의 저항특성에 관한 연구

## 指導教授 朴 濟 雄

이 論文을 工學碩士學位申請 論文으로 提出함

2008年 10月

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

李 維 新

## 李 維 新의 碩士學位論文을 認准함

委員	長	教授	權	寧	燮	印
委	員	教授	_ 朴	濟		印
委	員	教授	金	道	正	印

## 2008年 11月

## 朝鮮大學校 大學院

## 목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Nomenclatures	v
Abstract	vi

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 내용과 목적	6

제 2	장 모형시험		7
2.1	회류수조		7
2.2	인대상 선형		9
2.3	5 저항시험		13
2.4	유동관찰 시	험	21
2	2.4.1 파형관	찰시험	21
2	.4.2 유선관	찰시험	32

제 3 장 전산유체역학 ······	35
3.1 좌표계 및 지배방정식	35
3.2 난류모형 및 이산화	35
3.3 수치격자 및 경계조건	37
3.4 CFD 결과 ·····	••• 41
3.5 결과 비교 및 분석	••• 44

제 4	-	장	결	론		4	5
-----	---	---	---	---	--	---	---

## List of Tables

Table 2.1 Principal Dimensions of ITCWC	7
Table 2.1 Principal Dimensions of Dinghy Yacht	10
Table 2.2 Velocities of Model Test	14
Table 2.3 Results of Resistance Test at $\phi = 0^{\circ}$ (g)	15
Table 2.4 Results of Resistance Test at $\phi = 5^{\circ}$ (g)	18

## List of Figures

Fig. 1.1 관광인구 변동 추이	1
Fig. 1.2 해양레저 유형별 참여인구 현황	2
Fig. 1.3 View of seaside, Southampton, UK	4
Fig. 1.4 Yacht hull form, Southampton, UK	5
Fig. 2.1 Schematic View of the ITCWC	8
Fig. 2.2 Overview of ITCWC	8
Fig. 2.3 Lines ·····	9
Fig. 2.4 Tested Models	11
Fig. 2.5 Single & Double Keels	12
Fig. 2.6 Definition of Velocity Angle( $\varphi$ )	13
Fig. 2.7 Results of Resistance Test at $\phi = 0^{\circ}$	16
Fig. 2.8 Results of Resistance Test at $\phi = 5^{\circ}$	19
Fig. 2.9 Wave Patterns at 2knots, $\phi = 0^{\circ}$	22
Fig. 2.10 Wave Patterns at 2.5knots, $\phi = 0^{\circ}$	23
Fig. 2.11 Wave Patterns at 3knots, $\phi = 0^{\circ}$	24
Fig. 2.12 Wave Patterns at 3.5knots, $\phi = 0^{\circ}$	25
Fig. 2.13 Wave Patterns at 4knots, $\phi = 0^{\circ}$	26
Fig. 2.14 Wave Patterns at 2knots, $\phi = 5^{\circ}$	27
Fig. 2.15 Wave Patterns at 2.5knots, $\phi = 5^{\circ}$	28
Fig. 2.16 Wave Patterns at 3knots, $\phi = 5^{\circ}$	29
Fig. 2.17 Wave Patterns at 3.5knots, $\phi = 5^{\circ}$	30
Fig. 2.18 Wave Patterns at 4knots, $\phi = 5^{\circ}$	31
Fig. 2.19 Stream Line at 3.5knots, $\phi = 0^{\circ}$	33
Fig. 2.20 Stream Line at 3.5knots, $\phi = 5^{\circ}$	34
Fig. 3.1 Computational Domain	38
Fig. 3.2 Surface Grid with Single Keel	39
Fig. 3.3 Boundary Condition of Calculation	39
Fig. 3.4 Stream Line of Single Keel at $\phi = 0^{\circ}$	42

Fig.	3.5	Stream Line of Suction Side(or Pressure side)	
		near Single Keel at $\phi = 0^{\circ}$	42
Fig.	3.6	Stream Line of Suction Side near Single Keel at $\phi = 5^{\circ}$	
			43
Fig.	3.7	Vortex Flow near Single Keel at $\phi = 5^{\circ}$	43

## Nomenclatures

Lbp, Lpp	Length Between Perpendiculars (m)
L <sub>WL</sub>	Length of Designed Load Waterline (m)
В	Breadth Moulded (m)
D	Depth Moulded (m)
d	Draught Moulded (m)
C <sub>B</sub>	Block Coefficient $\cdots C_B = \bigtriangledown/(Lbp \cdot B \cdot d)$
CP	Prismatic Coefficient $\cdots \sim C_{P}$ = $C_{B}/C_{M}$
C <sub>M</sub>	Midship Section Coefficient $C_M = A_M/(B \cdot d)$
C <sub>w</sub>	Waterplane Coefficient $C_W = A_W/(Lbp \cdot B)$
$\bigtriangledown$	Displacement Volume (m <sup>3</sup> )
riangle, W	Displacement Weight (ton)
V	Speed of Ship (m/s)
Vs	Speed of Ship (knot)
Rt	Total Resistance (g)
g	Acceleration due to Gravity (m/sec <sup>2</sup> )
Fn	Froude Number Fn = $V / \sqrt{Lwl \bullet g}$
Rn	Reynolds Number

## ABSTRACT

## A Study on the Resistance Characteristics of a Yacht with Single and Double Keels

Lee, You-shin Advisor : Prof. Park, je-woong Ph. D. Department of Naval Architecture & Ocean Engineering Graduate School of Chosun University

Because of five-days workweek system applied to almost industries, an increase of national income and globalization of living environment, a leisure environment has been changed to a sea from a land, and the leisure has extended to the nature-friendly and experiential ocean leisure.

Korea's marine tourists increase by 1.8% each year. It is expected that the total marine tourists will become about 40% of the population of tourism in 2010. By considering that the rate of marine tourism population among the world population of tourism, is about 70% of the total, the population of marine leisure is expected to largely increase in the future. However, Korea's marine leisure still has the underdeveloped country's leisure activity. IN foreign countries, the marine sports such as yacht are very activated, and the marine sports occupy the high portion of total marine leisure.

This study was intended to develop the sailing yacht for the leisure activity in the west coat which has the low depth of water and extended tideland like Gyeonggi/Incheon area.

Unlike the existing studies, the keel shape was not changed in this study. In order to develop the yacht which can minimize an obstacle by keel in the low coast by arranging the projected keel on both sides of the bottom of the ship, the resistance characteristics by change of keel position were analyzed through the model test and CFD (Computational fluid dynamics) in the circulating water channel, by attaching the single keel and double keel of the same shape and wetted surface to 15 feet dinghy yacht.

Chapter 2 of this paper mentioned the resistance test result and flow pattern analysis result conducted in the circulating water channel. Chapter 3 explained a comparison of the simulation using the commercial CFD Code 'FLUENT' with the model test result. In Chapter 4, the synthetic conclusions of the study were mentioned.

## 제 1 장 서론

#### 1.1 연구 배경

최근 거의 모든 산업분야에서 적용되고 있는 주5일 근무제(주 40시간 근무제)와 국민소득 증대 그리고 생활환경의 글로벌화로 인한 여가 환경의 변화는 육지에서 바다 로 그 공간을 넓히면서 자연 친화적이고 체험적인 해양여가의 확산을 가져오고 있다. 특히 삼면이 바다로 싸여있고 세계 제1의 조선 산업국인 우리나라는 해양레저가 활성 화되기 위한 기본적인 여건은 이미 확보되어 있다고 할 수 있다. 그러나 일부 해양레 저에 대한 국민적 인식은 '사치스러운 여가활동' 내지는 '위험한 여가활동'이라는 다소 부정적인 측면이 강한 관계로 아직 활성화 되지 못하고 있는 실정이다[1].

Fig. 1.1은 우리나라 관광인구 변화 추이를 보이고 있다. 우리나라의 해양관광객 은 매년 약 1.8% 정도의 신장세를 보이고 있으며 2010년경에는 해양관광객 수가 전체관광인구의 약 40% 정도가 될 것으로 예상 하고 있다. 전 세계 관광인구 중 해양관광인구가 차지하는 비율이 전체의 약 70% 정도인 것을 감안하면 국내 해양 레저 인구 역시 향후 크게 증가할 것으로 예상된다[2].



백만명

Fig.1.1 관광인구 변동 추이[2]

그러나 이와 같은 해양관광객의 꾸준한 증가가 예상되는 가운데 우리나라의 해 양레저는 아직까지 Fig. 1.2에서 보는 바와 같이 해수욕 등과 같은 후진국형 레저 활동이 주를 이루고 있는 실정이다[2]. 외국의 경우 요트 등의 해양스포츠가 매우 활성화 되어 있으며 해양스포츠가 전체 해양레저에서 차지하는 비중이 높은 것과 는 대조적이라 할 수 있다.



Fig.1.2 해양레저 유형별 참여인구 현황[2]

최근 정부와 각 지방자치단체는 해양레저 활성화를 통한 지역경제 발전을 위하여 각종 정책과 지원을 확대하고 있다. 2007년부터 시작된 경남 마산·창원의 '대한민국 국제요트대전' 그리고 금년 6월 경기도 화성시 전곡항에서 개최되었던 '2008 경기국 제보트쇼 및 코리아매치컵 세계요트대회' 등은 해양레저에 대한 국민적 관심을 크게 증가시키는 기폭제 역할을 하고 있으며, 이러한 국민적 관심과 정부 및 지방자치단체 들의 지원은 2010년 인천아시아경기대회와 2012년 여수엑스포를 기점으로 더욱 증가할 것으로 기대된다. 한편 국내에서도 2000년대에 들어서면서 해양레저 활성화를 위한 정책 및 장비개 발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 해양수산부(현 국토해양부)에서 발표한 해양 개발기본계획(Ocean Korea 21)[3]을 필두로 박명국[4], 박명국과 김성국[5], 반석호와 김상현[6], 박성현[7], 옥성삼[8] 등은 우리나라 해양레저 현황과 활성화 방안에 대하 여 연구를 수행하였으며, 그 후 반석호와 김상현[9], 정우철 등[10][11]과 박충환 등 [12]은 고속 레저보트에 관한 연구를, 유재훈 등[13][14], 심상목[15], 지혜련 등[16] 은 세일링요트의 선형설계에 관한 연구를 수행해 왔다. 박종헌 등[17]과 박근옹 등 [18]은 한국의 전통 어선을 세일링요트에 접목하고자 하는 연구를 수행하였고, 최근에 는 남종호 등[19], 김태윤과 현범수[20], 신성철과 김훤모[21] 등에 의하여 수퍼요트 에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

이상에서 언급한 활발한 연구에도 불구하고 우리나라의 해양레저, 특히 요트, 보트 와 같은 스포츠형 해양레저가 활성화 되지 못하고 있는 이유는 앞에서 언급한 바와 같 이 이러한 분야에 대한 국민의 부정적인 인식뿐 아니라 마리나와 같은 기반시설과 전 문 생산업체가 부족하기 때문이다.

현재 우리나라에서 레저보트를 생산하고 있는 업체는 과거 FRP 어선을 제작하던 소 형 조선소들이 어선 제작 경험을 바탕으로 레저보트를 생산하고 있으며, 따라서 그 기 술수준은 선진국에 비하여 크게 낙후되어 있는 실정이다. 최근 들어 푸른중공업, AMTEC 등 일부 레저보트 생산 전문 회사들이 비교적 활발히 기술투자를 하고 있으나, 선진국에 비하면 미미한 실정이다.

경기/인천 등 수도권에서 제일 가까운 서부 해안지역은 큰 조수 간만의 차와 넓은 개펄, 그리고 남해안에 비하여 다소 오염되어 있는 해안으로 인하여 해양레저가 활성 화되기에는 많은 문제점을 안고 있다. 그러나 타 지역보다 태풍의 영향을 받지 않는다 는 지리적인 이점도 가지고 있다. 국민 의식수준이 향상되면서 연안오염에 대한 문제 가 점차 개선되고 있으므로 큰 조수 간만의 차와 넓은 개펄에 대한 문제만 극복되면 이 지역에서의 해양레저가 크게 활성화 될 것으로 기대된다.

Fig. 1.3은 우리나라 서해안과 유사한 연안특성을 가지고 있는 영국 Southampton 지 역의 풍경이다. 사진에서 보는 바와 같이 간조 시에 넓은 개펄이 나타나고 있지만 특 별한 잔교시설 없이 요트가 정박해 있음을 알 수 있다.

Fig. 1.4는 이 지역에서 널리 사용되고 있는 요트의 하부 형상을 보인다. 일반적으 로 요트 중앙에 길게 돌출된 킬이 얕은 수심과 개펄이 드러나는 지역에서는 운항과 보 관에 방해를 주는 관계로 이러한 킬 대신 짧은 킬이 양현에 나뉘어져 있는 요트를 이 용하고 있다. 즉, 해양레저 선진국에서는 자연환경에 적합한 선형을 개발하여 해양레 저 활동을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 사례를 바탕으로 우리나라 서해안의 완만 하고 낮은 수심과 부족한 기반 시설을 극복할 수 있는 레저용 요트의 개발 필요성을 인식하였다. 특히 향후 해양레저인구의 증가와 소득수준의 향상은 외국의 해양레저형 태와 같이 요트의 활성화가 이루어지라 판단되며, 우리나라에서도 이와 비슷한 선형의 개발 및 연구가 필요하다고 생각되어 본 연구를 수행하였다.



Fig. 1.3 View of seaside, Southampton, UK



(a) Double keel yacht

(b) Triple keel yacht

Fig. 1.4 Yacht hull form, Southampton, UK

#### 1.2 연구 내용과 목적

본 연구에서는 앞 절에 소개된 영국의 사례를 참고하여 경기/인천지역과 같이 수심이 낮고, 개펄이 넓은 서해안 지역에서도 레저활동이 가능한 세일링 요트를 개발하고자 하였다. 우리나라에서도 요트 및 킬에 대하여 많은 연구가 수행되었으 나 더블킬 요트의 개발 등에 대한 시도는 아직 없으므로 이에 대한 연구를 수행하 였다.

세일링 요트는 세일(Sail)에 작용하는 바람의 힘을 주동력으로 사용하는 관계로 여기에 작용하는 횡방향의 힘에 의한 횡류를 방지하기 위하여 주로 선저 중앙에 길게 돌출되는 킬(Keel)을 부착한다. 이러한 킬은 횡류 방지뿐만 아니라 킬 자체 가 밸러스트(Ballast)가 되어 무게중심을 낮추어 안정성을 향상시키는 중요한 역 할을 하는 반면, 수심이 낮은 해역에서는 운항을 어렵게 만들기도 한다.

요트의 킬과 선체와의 상호작용에 관한 연구는 Greeley and Cross-Whiter[22], Flay and McMillan[23], 최기철과 현범수[24] 등에 의하여 수행되어 왔다. 이들은 주로 킬의 형상을 변화시키면서 연구를 수행하였고, 선체와 킬 간의 상호 작용은 그리 크지 않다고 설명하였다.

본 연구에서는 기존의 연구와는 달리 킬의 형상은 변화시키지 않고 선저 중앙에 길게 돌출된 킬(Single keel)을 선저 양측에 나누어 배치(Double keel)하여 낮은 수심의 연안에서 킬에 의한 방해를 최소화 할 수 있는 요트를 개발하고자 15피트 급 딩기요트(Dinghy yacht)에 동일한 형상과 침수표면적을 갖는 싱글 킬과 더블 킬을 각각 부착하여 킬 위치변화에 따른 저항특성을 회류수조에서의 모형시험과 전산유체역학(CFD)을 통하여 분석하였다.

본 논문의 제 2 장에서는 회류수조에서 수행된 저항시험결과와 유동분석 결과를 정리하였고, 제 3 장에서는 상용 CFD Code인 FLUENT를 사용하여 수행된 Simulation 결과를 모형시험결과와 비교하여 설명하였으며 결론은 제 4 장에서 제시하였 다.

## 제 2 장 모형시험

#### 2.1 회류수조

회류수조는 모형선이 부착된 전차가 움직이는 통상의 예인수조와 달리 모형선을 고정시키고 물을 강제로 순환시키는 Steel제 관 구조물로서 수조 상부의 측면과 바닥이 특수 유리로 이루어진 관측부가 있으며 이 관측부 중앙에 모형선을 고정시 키고 시험을 수행하면서 모형선 주위의 유동관찰 및 모형선의 저항을 계측할 수 있는 실험장비를 말한다.

예인수조에 비하여 시험설비의 면적이나 설치비용, 실험비용 면에서 저렴한 잇 점이 있다. 또한 모형선의 제작과정이나 제작 소요 시간이 적으며, 실험의 신속 성, 간편성 등이 예인수조에 비해 장점이지만 예인수조보다 모형선의 크기가 작게 되므로 모형선 크기에 의한 영향이 크고 제한된 수조의 크기로 인한 측벽효과, 수 조 내 물의 회전력으로 인한 경사 현상 그리고 미세하지만 자유표면의 거칠기 등 많은 요소를 고려해야 한다. 여러 가지 장단점을 가지고 있지만 유선을 직접 육안 으로 장시간 관찰할 수 있는 것이 커다란 장점이다[25].

본 연구는 인하공업전문대학 선박해양시스템과의 회류수조(ITCWC)에서 수행되었으며, 주요제원과 전체적인 형상은 각각 Table 2.1, Fig. 2.1, Fig. 2.2와 같다.

	Dimensions		
Test range	Test range m/s		
Capacity	Capacity ton		25
	Length	(m)	11.0
Whole body	Beam	(m)	1.5
	Height	(m)	4.0
Observation	Length	(m)	3.5
UDServation	Beam	(m)	1.2
WINDOW	Depth	(m)	0.7

Table 2.1 Principal Dimensions of ITCWC



Fig. 2.1 Schematic View of the ITCWC



Fig. 2.2 Overview of ITCWC

#### 2.2 대상 선형

앞서 언급한 배경을 바탕으로 실험에 사용된 요트는 실제로 많이 사용되는 4.5m 급의 Dinghy Yacht를 모델로 결정하였다.

모형선은 서일본 유체기연(FEL)에서 제작하였으며 재질은 우레탄보드에 하드코 팅을 하였고 선체 하부에 3개의 홈을 선체 길이방향으로 파서 킬의 탈부착이 가능 하도록 하였다.

킬이 부착되는 곳의 위치는 싱글 킬의 경우 선체중심선을 따라 No.5 ~ No.6 STATION 으로 선정하였고, 더블 킬의 경우는 싱글 킬의 위치와 동일하되 선체중심 선에서 선측으로 각각 0.14m 떨어진 지점으로 하였다.

Fig. 2.3은 본 대상선박의 LINES 이다



Fig. 2.3 Lines

PRINCIPAL DIMENSIONS OF DINGHY YACHT							
ltems		Model Ship	Actual Ship				
Length Between Perpendiculars	Lpp (m)	1.0000	4.550				
Length At Design Load Water Line	e LWL (m)	1.0000	4.550				
BREADTH	B (m)	0.3560	1.620				
DEPTH	D (m)	0.1099	0.500				
DRAFT(DESIGN)	d (m)	0.0352	0.160				
DRAFT(AFT)	da (m)	0.0352	0.160				
DRAFT(FORE)	df (m)	0.0352	0.160				
Trim	t (m)	0.0000	0.000				
DISPLACEMENT	$\bigtriangledown$ (m <sup>3</sup> )	0.003125	0.294				
DISPLACEMENT	(ton)	0.00321	0.302				
WETTED SURFACE AREA	(m <sup>2</sup> )	0.19544	4.046				
BLOCK COEFFICIENT	Cb	0.	2496				
PRISMATIC COEFFICIENT	Ср	0.	5530				
MIDSHIP SECTION COEFFICIENT	Cm	0.	4514				
WATER PLANE SPEED COEFFICIENT	Cw	0.	5241				

## Table 2.1 Principal Dimensions of Dinghy Yacht

Fig. 2.4는 본 연구에 사용된 선체모형사진이다



Bare Hull



Single Keel(LEE-001)



Double Keel(LEE-002)

Fig.2.4 Tested Models

킬의 재질은 일반 아크릴 계열의 판으로서 단면의 변화가 없는 평평한 모양으로 하였으며 킬의 위치변화에 따른 저항성능을 분석하기 위하여 두 모형에 부착된 각 각의 킬은 단면적이 동일하도록 제작하였다. Fig. 2.5 는 본 실험에 사용된 킬의 형상이다.



Fig. 2.5 Single & Double Keels

## 2.3 저항시험

저항시험은 앞서 언급한 Fig. 2.4의 LEE-001과 LEE-002 두 가지 선형에 대하여 실시하였으며 전 저항값 계측을 통하여 저항성능을 비교하였다.

모형시험은 3.5 노트를 설계속도로 가정하여 2 ~ 4 노트 범위에서 0.5 노트단위 로 수행하였다. Dinghy는 Sail에 작용하는 바람에 따라 선체가 직진상태뿐만 아니 라 사항상태에서도 운항하게 된다. 또한 옆으로 기울어진 상태와 이러한 경우가 조합된 다양한 경우에서 운항하게 되는데 본 연구에서는 Fig.2.6과 같이 받음각 (φ)=0도인 직진상태와 5도인 사항상태, 두 경우 대하여 각각 수행하였다.



Fig. 2.6 Definition of Velocity Angle( $\phi$ )

각 속도별로 자유수면의 파형을 관찰하며 저항을 계측하였다. 저항계측 결과는 저항동력계의 계측 값을 단순히 비교하였다. LEE-001과 LEE-002의 침수표면적이 동일하므로 별도의 해석 없이 전 저항 계측값을 직접 비교하였다. 저항시험은 Froude의 비교법칙을 적용하여 모형선의 시험속도를 결정하는데 Froude수라 불리는 무차원 계수가 모형선과 실선이 동일해 지도록 모형선의 속도 를 결정하며 그 식은 아래와 같다[25].

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{Lwl \bullet g}}$$

V : 선속(m/s) LwI : 수선면 길이 g : 중력가속도(m/s<sup>2</sup>)

Table 2.2 Velocities of Model Test

Vs(knots)	2	2.5	3	3.5	4
Fn	0.154	0.192	0.231	0.27	0.308
Vm(m/s)	0.482	0.603	0.723	0.845	0.964

Table 2.2와 같이 실험을 실시하였으며, 1회의 실험 당 저항동력계에 감지되는 전 저항 값을 10초 간격으로 5회씩 계측한 값의 평균을 1회의 실험값으로 취하였 으며 그 결과는 Table 2.3에 나타내었다.

Table 2.3은 실험대상선에 대한 전 저항 값을 비교한 것으로 직진상태에서의 저 항 값은 LEE-001과 LEE-002에서 큰 차이가 없음을 확인하였다.

Comparison Table φ=0°						
Date	2008.08.11					
Vs (knots)	LEE-001	LEE-002				
2	19.9	19				
2.5	31.5	29.7				
3	45.7	42.8				
3.5	64.6	61.6				
4	78.6	74.8				

## Table 2.3 Results of Resistance Test at $\phi = 0^{\circ}$ (g)



Fig. 2.7 Results of Resistance Test at  $\phi = 0^{\circ}$ 

Table 2.3과 Fig.2.7의 결과 전 저항 값을 비교하면 LEE-001과 LEE-002는 미세한 차이는 있지만 그 경향이 거의 비슷하며 시험 오차 등을 감안할 때 시험결과에 큰 의미는 없다. 즉 직진상태의 전 저항 값은 LEE-001과 LEE-002가 거의 같다고 볼 수 있으며 이는 침수표면적이 동일할 경우 킬의 위치변화가 직진상태에서는 저항 성능에 큰 영향을 주지는 않는다는 것을 알 수 있다.

Comparison Table φ= 5°						
Date	2008.08.11					
Vs (knots)	LEE-001	LEE-002				
2	25.2	22.1				
2.5	39.4	34.5				
3	60.5	52.1				
3.5	81.7	72.8				
4	104.7	93.1				

## Table 2.4 Results of Resistance Test at $\phi = 5^{\circ}$ (g)



Fig. 2.8 Results of Resistance Test at  $\phi = 5^{\circ}$ 

Table 2.4와 Fig. 2.8은 5도 사항상태에서의 저항계측 결과로서 사항상태에서 LEE-001이 LEE-002보다 저항이 증가하며 그 차이는 속도가 높아질수록 커지는 것 을 알 수 있다. 이는 사항상태에서 킬의 변화가 저항성능에 영향을 주고 있으며 LEE-002의 저항성능이 더 우수하다는 것을 확인하였다. 그 자세한 이유는 2.4절의 유동가시화 시험 결과를 통하여 설명한다.

## 2.4 유동관찰시험

#### 2.4.1 파형관찰시험

두 선형 간 저항값의 차이에 기인하는 요소를 찾고자 자유수면의 유동을 관찰하 였고 자유수면의 유동과 킬의 상관관계를 사진을 통하여 분석하고자 하였다. Fig. 2.9 ~ Fig. 2.13는 직진상태에서의 각 속도별 사진을 보여주고 있으며 Fig.2.14 ~ Fig.2.18은 5도 사항상태에서의 자유수면의 유동사진이다.

킬의 변화가 조파저항에 영향을 끼친다면 사진상으로 자유수면의 변화가 있어야 하지만 사진에 보이는 바와 같이 자유수면의 유동의 변화는 거의 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 즉 킬의 위치변화는 자유수면에 끼치는 영향은 크지 않다는 것 을 확인하였다.



Fig. 2.9 Wave Patterns at 2knots,  $\phi = 0^{\circ}$ 



Fig. 2.10 Wave Patterns at 2.5knots,  $\phi = 0^{\circ}$ 



Fig. 2.11 Wave Patterns at 3knots,  $\phi = 0^{\circ}$ 



LEE-002

## Fig. 2.12 Wave Patterns at 3.5knots, $\phi = 0^{\circ}$



LEE-001

## Fig. 2.13 Wave Patterns at 4knots, $\phi = 0^{\circ}$



LEE-002

## Fig. 2.14 Wave Patterns at 2knots, $\phi = 5^{\circ}$



LEE-002

## Fig. 2.15 Wave Patterns at 2.5knots, $\phi = 5^{\circ}$



LEE-001

## Fig. 2.16 Wave Patterns at 3knots, $\phi = 5^{\circ}$



LEE-002

## Fig. 2.17 Wave Patterns at 3.5knots, $\phi = 5^{\circ}$



LEE-002

## Fig. 2.18 Wave Patterns at 4knots, $\phi = 5^{\circ}$

#### 2.4.2 유선관찰시험

앞의 사항상태 실험결과를 바탕으로 킬이 저항 성능에 영향을 끼치는 요소를 찾고자 킬 주위의 유동을 관찰하기 위해 털실(Tuft)실험을 수행하였다. 실험에 사 용된 Tuft의 재질을 목면실, 털실, 나일론실 등을 사용하였으나 유속이 높아질수 록 꼬임이 심하여 제대로 유동관측이 어려워 일본 sunline 사의 선상낚시용 합사 줄을 선정하여 실험을 수행하였다.

Tuft 실험은 3.5노트의 설계속도에서 실시하였고 LEE-001과 LEE-002모형을 0도 직진상태와 5도 사항상태로 연구를 수행하였으며 킬 주위의 유동을 집중적으로 관 찰하였다.

Fig. 2-19는 0도 직진상태의 킬의 모양으로 LEE-001과 LEE-002에서 별 다른 차 이점을 발견하지 못하였지만 5도 사항상태인 Fig. 2-20에서 보면 두 선형의 Keel 주위의 유동은 뚜렷한 차이를 보여준다. LEE-001의 킬 주변에서 비교적 큰 와 유 동이 형성되며 상단에 부착된 Tuft가 꼬이는 현상과 아래쪽의 Tuft들이 위쪽으로 향하는 것을 확인하였다. 반면 LEE-002의 경우 킬의 양현에서 특별한 와 유동의 발생을 확인할 수 없었다. 다만 좌현에 부착된 킬의 제일 아래에 위치한 Tuft의 경우 LEE-001과 비슷한 Tip vortex가 발생하지만 그 경향이 LEE-001보다 심하지 않음을 확인하였다

이러한 와 유동의 발생은 킬의 앞날(Leading edge)에서 발생한 유동과 킬의 하 단에서 발생한 Tip vortex에 기인한 것으로 보여지며 이는 사항상태에서는 킬의 위치변화와 길이가 선박의 저항성능에 영향을 주고 있다는 사실을 보여준다. LEE-001의 킬 주위에서 발생한 와 유동은 이러한 유동이 발견되지 않는 LEE-002보 다 저항성능이 나쁘다는 것을 보인다.



LEE-001





Fig. 2.20 Stream Line at 3.5knots,  $\phi = 5^{\circ}$ 

## 제 3 장 전산유체역학

#### 3.1 좌표계 및 지배방정식

수치 계산을 위한 기본 좌표계는 선박을 기준으로 하는 좌표계로서 선체길이 방향을 X, 연직 상방향을 Z, 그리고 우현 방향을 Y로 하여 3차원 비 압축성 난류 유동의 지배 방정식인 연속 방정식과 RANS 방정식은 직교 좌표축  $x_i = (x,y,z)$ , 각 축방향의 평균 속도성분을  $u_i = (u,v,w)$ 라고 하면 (3-1),(3-2)와 같다.

 $\diamond$  Continuity equation :

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{3-1}$$

 $\diamond$  x<sub>i</sub> Momentum equation:

$$-\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u_i u_j)$$

$$= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( -\rho \overline{u'_i u'_j} \right)$$

$$(3-2)$$

여기서  $\mu$ 는 동점성 계수, p는 정압,  $-\rho \overline{u'_{i}u'_{j}}$ 는 Reynolds stress이다.

계산 영역은 선수로 부터 1.5L(x 방향), 폭 방향(y 방향)으로 2.0L, 깊이 방향 (z 방향)으로 2.0L 떨어진 곳을 유입영역으로 하였고 선미로부터 2.5L(x 방향), 폭 방향(y 방향)으로 2.5L, 깊이방향(z 방향)으로 2.5L떨어진 곳을 유출영역으로 하였으며, 유출영역은 유입영역보다 다소 크게 하였다. 좌표 값은 수선장 길이 L 로 무차원 하였다. Fig. 3.1은 좌표계 및 계산 영역을 도시하였다.

## 3.2 난류모형 및 이산화

일반적인 Two-equation turbulence closure의 하나인 Realizable  $k-\varepsilon$ 모형을 사용하였다. 통상 공학 계산에서는  $k-\varepsilon$ 모형 중에서 Standard  $k-\varepsilon$ 모형이 가장 널리

사용되어 왔으나, 선체 주위의 유동계산에서 저항성능 추정 및 프로펠러 면에서의 반류 분포 추정에 좋은 결과를 주고 있는 Realizable  $k-\varepsilon$ 모형을 사용하였다. Realizable  $k-\varepsilon$ 모형에서는 Turbulence eddy viscosity가

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3-3}$$

으로 표현되고, 여기에서 Turbulence kinetic energy k는 난류의 운동에너지 k의 이동방정식

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial (u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G - \varepsilon$$
(3-4)

과 같은 Transport equation을 풀어서 구한다. 그리고 Turbulent kinetic energy 의 생성을 나타내는 generation항인 G는 다음과 같이 주어진다.

$$G = v_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$
(3-5)

한편, Turbulent kinetic energy의 Dissipation을 나타내는  $\varepsilon$ 은 다음의 미분 방 정식의 해로서 구해진다.

난류의 운동에너지 소산(
$$\varepsilon$$
)의 이동 방정식  
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + 1 \frac{\partial (u_j \varepsilon)}{\partial x_j} = 1 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( (v + \frac{v_t}{\sigma_{\varepsilon}}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} S \varepsilon - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v\varepsilon}}$$
(3-6)

여기서 S는

$$S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}, \qquad S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial u_j} + \frac{\partial u_j}{\partial u_i} \right)$$
(3-6)  
로 주어진다.

#### 3.3 수치 격자 및 경계 조건

본 연구의 대상선박인 Dinghy yacht의 경우 선저 중앙 부분의 Keel로 인해 격자 가 복잡한 특징을 가지고 있다. 또한 공간 격자계의 생성에서도 단일 블록의 격자 계로는 전체 계산 영역에 대해 원하는 격자의 질과 조밀도를 충족시키기 어렵기 때문에 다중블록 격자계를 사용하였다.

본 논문에서는 대상 선박에 대한 표면 및 공간 격자계를 생성하기 위해 범용 코 드인 Gridgen ver. 15.08을 사용하였다. Fig. 3.1은 자유수면을 포함한 LEE 001의 격자 모습이다.

선수 선미의 도메인 형상은 C-H topology 경계면을 갖도록 구성하여 유입구 및 유출구면의 계산의 정확성을 기했다. 계산영역의 크기는 배 길이(L<sub>PP</sub>)를 기준으로 유입면 방향으로 2배, 유출면 방향으로 2.5배, 선측방향으로 2.5배 정도 크게 잡 아 주었다.



Fig. 3.1 Computational Domain

또한 선형의 정확한 표현과 격자질의 향상을 위해 다중블록으로 구성하여 Keel 근처, 트랜섬 선미, 자유수면 근처의 격자 질을 높였다. 총 격자수는 약 70만개이 다. Standard wall function의 사용으로 표면에서 첫 노드까지의 거리인 y+를 70 이하로 하였다.

Fig. 3.2는 LEE-001의 Grid 형상을 나타낸다. 수치계산을 위해 생성된 격자계에 해당되는 물리적인 경계조건을 지정하였다. 자유수면은 VOF(Volume of Fluid)방법 을 사용하여 처리하였고, FLUENT ver 6.2의 Open channel 경계조건은 Fig. 3.3과 같이 처리하였다



Fig. 3.2 Surface Grid with Single Keel(LEE-001)



Fig. 3.3 Boundary Condition of Calculation

입구면 : Open channel 각각의 경계조건은 다음과 같다. 옵션을 사용하여 pressure inlet조건을 사용하였다. 흘수면의 Z좌표가 O이므로 Free surface level(m)은 Om, Bottom level은 도메인의 Z좌표의 바닥인 -2.5m를 주었다. 한편 FLUENT에서 Pressure inlet을 사용할 경우에는 균일류 난류특성을 입력해야 한다. 이러한 난류특성은 수렴성 및 유체력에 영향력을 미치는 것으로 알려져 있으며, 반복 계산을 통해 적당한 값을 찾아내야 한다. 여기서는 Turbulence specification method는 Intensity and viscosity Ratio를 사용하였으며, Turbulence intensity[%]와 Turbulence viscosity Ratio는 1로 주었다.

출구면 : Open channel옵션을 사용하여 Pressure outlet을 사용하였다. Free surface level과 Bottom level은 입구면에서와 동일하게 주었다.

바깥쪽 면 : 입구면과 동일한 조건을 선택하였다.

Keel 면 : 선박의 절반만 계산하므로 대칭조건(symmetry)조건을 사용하였다.

선체표면 : 선체 표면에서는 경계면의 속도가 0이므로 그 경계면을 통한 대류항 의 기여는 없고, 벽면 마찰 응력(Wall shear stress)으로 인한 접선 방향의 점성 플럭스만을 고려하여 경계조건을 부여하였다. 이때 마찰응력의 크기는 Standard wall function을 사용하여 구하였고, 마찰응력의 방향은 벽으로 부터 첫 번째 떨 어진 점에서의 속도의 방향과 같다고 가정하였다. 압력에 대해서는 Neumann 경계 조건을 적용하였다.

#### 3.4 CFD 결과

본 수치계산의 목적은 상용 Code인 FLUENT가 요트와 같은 레저보트 주위의 유동 해석에 활용 가능한지 확인하는 것으로 모형시험에서 와 유동이 관찰되었던 LEE-001에 대해서만 수치해석을 실시하였다.

Fig. 3.4는 사항각 0도에서 싱글 킬의 유선(Stream line)의 변화를 보기 위한 것으로 무한 원방에서 유입된 흐름이 선체를 따라 흐르면서 킬을 지나 유선이 어 떻게 변하는지를 볼 수 있는데, 킬을 지난 유체의 흐름이 직선으로 흘러 나가지 않고 아주 미세한 곡선의 형태로 빠져 나가는 것을 알 수 있으며 유체가 직선으로 유입된다고 가정하면 싱글 킬은 사항각 0도에서는 압력면(Pressure side)과 흡입 면(Suction side)의 구분이 없이 양쪽의 흐름은 같다. Fig. 3.5는 사항각이 0도에 서 압력면에서 싱글 킬의 유선의 형태를 나타낸다. 즉, 킬 주위에서 깊이 방향으 로 내려가면서 유선의 형태가 어떻게 변하는지를 볼 수 있는데 킬의 상하 방향(z 방향)에서 모두 직선의 형태를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 사항각이 없는 직진 상태에서는 킬에 의한 유동의 변화가 없음을 보여 주는 것으로 제 2 장 에서 설명한 실험의 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.6은 사항각 5도 상태에서 흡입면의 유동을 보여주고 있다. 유선은 사항 각 5도의 상태에서 킬의 흡입면의 선체와 킬이 만나는 부분에서 강한 와(Vortex) 유동이 나타나고 있다. 이는 모형시험 결과(Fig. 2.20)와 일치하는 경향으로, 앞 에서 언급한 바와 같이 이러한 와 유동은 사항상태에서의 저항증가의 주 원인이라 고 판단된다.

Fig.3.7은 사항각 5도에서 선미 후방의 유동현상을 보인다. 강한 와 유동이 나타나는 것을 알 수 있다.



Fig. 3.4 Stream Line of Single Keel at  $\phi = 0^{\circ}$ 



Fig. 3.5 Stream line of suction side(or pressure side) near single keel at  $\phi = 0^{\circ}$ 



Fig. 3.6 Stream Line of Suction Side near Single Keel at  $\phi = 5^{\circ}$ 



Fig. 3.7 Vortex Flow near Single Keel at  $\phi = 5^{\circ}$ 

#### 3.5 결과 비교 및 분석

모형시험에 의하면 사항각 5도에서의 전 저항이 사항각 0도에서의 전 저항 보다 큰 결과를 주었는데, 그 원인으로 실(tuft)을 이용한 가시화 시험에서도 나타난 것과 같이 킬의 흡입면 주위에 발생하는 와 유동에 기인한 것으로 판단된 바 있었 다. FLUENT를 사용한 CFD 유동 계산에서도 이러한 결과를 뒷받침 해주는 유동 해 석 결과를 얻을 수 있었는데, 사항각 0도에서 발생하지 않았던 킬 주위의 와 유동 이 사항각 5도에서는 뚜렷하게 발생하는 것을 보여주는 것을 Fig. 3.6 과 Fig. 3.7에서 확인 할 수 있었다.

모형시험과 CFD를 이용한 유동 해석의 결과를 종합해 보면 싱글킬에서 사항각 0도와 사항각 5도에서 발견된 유선의 차이는 와 유동의 존재로 확인되었고, 이러 한 와 유동은 전 저항의 차이를 유발한 원인인 것으로 확인되었다.

## 제 4 장 결 론

킬의 위치변화가 저항성능에 미치는 영향을 알아보고자 모형시험과 CFD분석을 실시하였으며 그 결론은 아래와 같다.

1. 싱글 킬을 부착한 경우와 더블 킬을 부착한 경우 자유수면 근처의 파는 큰 변화가 없다. 2장의 모형시험 결과에 의하면 킬의 위치나 사항각의 변화는 자유수 면 유동에는 영향이 없음을 알 수 있다.

2. 직진상태에서는 킬의 위치변화가 저항성능에 미치는 영향은 없다. 저항시험 결과를 보면 싱글 킬과 더블 킬의 전 저항에는 큰 변화가 없는 것을 알 수 있었 다. 이러한 모형시험 결과는 싱글 킬과 더블 킬의 침수 표면적이 같고 이는 마찰 저항이 동일하기 때문인 것으로 알 수 있다.

3. 사항상태에서는 더블 킬의 저항성능이 더 우수하다. 사항각 5도인 모형시험 결과에서 보듯 싱글 킬의 저항값은 속도가 증가할 수 록 더 커짐을 알 수 있는데 이러한 원인은 싱글 킬 주위에서 발생한 와 유동에 기인한 것이다.

4. CFD 결과를 보면 싱글킬 주변의 와 유동을 보여주고 있는데, 이는 모형시험 결과와 일치하는 것이다. 킬 주위의 유동 변화와 와 유동의 발생은 가시화 시험과 FLUENT 계산 결과를 통해 발견할 수 있었다. 즉 사항상태에서 킬 주위에 와유동이 발생하지 않는 더블 킬 선형의 저항성능이 더 우수함을 발견하였고 이를 토대로 수심이 낮은 지역에서 운항이 가능한 요트의 개발 가능성을 확인하였다.

5. FLUENT 계산을 통해 소형요트에 대한 유동해석 가능성을 확인하였으며 향후 요트와 같은 소형선의 유동해석에도 적용할 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] 정우철, "한국의 레저선박 현황 및 향후 과제", 선박안전 한일 심포지움, pp 21-34, 2005.
- [2] 해양수산부, "해양관광진흥 기본계획", 2004.
- [3] 해양수산부, "해양개발 기본계획(Ocean Korea 21)", 2004.
- [4] 박명국, "레저 스포츠 소비자 행동분석을 통한 마케팅 전략 : 해양레저 스포
   츠를 중심으로", 고려대학교 대학원 체육학과 박사학위 논문, 2001.
- [5] 박명국, 김성규, "해양레저 스포츠 활성화 방안", 한국 스포츠산업 경영학 회지, 제7권 제1호, pp 207-225, 2002.
- [6] 반석호, 김상현, "국내 해양레저와 레저선박 산업의 현황 및 전망", 대한조 선학회지, 제30권 제1호, pp 38-44. 2002.
- [7] 박성현, "국내 요트산업의 현황과 문제점", 해양환경안전학회지, 제11권 제 1호, pp 47-52, 2005.
- [8] 옥성삼, "환경분석을 통한 레저보트의 발전방향에 관한 연구", 명지대학교 사회교육대학원 여가경영학과 석사학위논문, 2006.
- [9] 반석호, 김상현, "보급형 모터보트의 개념설계에 관한 연구", 선박해양기 술, 제35호, pp 139-145. 2003.
- [10] 정우철, 박제웅, 정석호, "연안용 소형 고속 레저선 선형개발", 한국해양 공학회지, 제22권 제4호, pp 80-84. 2004.
- [11] 정우철, 박제웅, 김규선, "실적선 통계분석을 이용한 32피트급 레저보트 선 형개발", 한국해양공학회지, 제22권 제3호, pp 58-63. 2008.
- [12] 박충환, 심상목, 진송환, "활주형선의 Spray Strip 부착에 따른 저항 특성
   연구", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp 71-76, 2004.
- [13] 유재훈, 반석호, 안해성, 김진, 김상현, "30피트급 요트의 선형개발 및 성
   능추정", 대한조선학회논문집, 제42권 제1호, pp 34-42, 2005.
- [14] 유재훈, 안해성, "30피트급 요트의 유체력에 대한 실험적 연구", 대한조선 학회논문집, 제42권 제3호, pp 233-240, 2005.
- [15] 심상목, "항주자세를 고려한 세일링 요트의 선형시험 기법 연구", 부경대

학교 공학박사학위논문, 2005.

- [16] 지혜련, 김우전, 박종환, "30ft급 요트 주위의 점성유동 해석", 대한조선 학회논문집, 제44권 제3호, pp 248-257, 2007.
- [17] 박종헌, 박근옹, 김동준, "세일링요트 개발을 위한 20세기 초 전통 어선의 선형연구", 한국해양공학회지, 제18권 제4호, pp 71-76. 2004.
- [18] 박근옹, 김동준, 박종헌, 최병문, "현대 세일링 보트의 설계관점에서 본 전 통어선의 성능고찰", 대한조선학회논문집, 제42권 제1호, pp 50-56, 2005.
- [19] 남종호, 현범수, 김태윤, 김대현, "수퍼요트의 초기선형 선정을 위한 유체 성능해석 및 모델링 기법", 대한조선학회논문집, 제44권 제4호, pp 451-458, 2007.
- [20] 김태윤, 현범수, "자유수면을 포함한 수퍼요트 주위의 점성유동 해석", 대 한조선학회논문집, 제45권 제3호, pp 337-342, 2008.
- [21] 신성철, 김훤모, "46피트급 모터요트의 선형설계", 대한조선학회논문집, 제45권 제4호, pp 455-461, 2008.
- [22] D.S. Greeley and J.H. Cross-Whiter, "Design and Hydrodynamic Performance of Sailboat Keels", Marine Technology, Vol. 26, No. 4, pp 260-281, 1989.
- [23] R.G.J. Flay and D.C. McMillan, "A Wind Tunnel Investigation of Yacht Hydrodynamic Side Force and Drag", Journal of Ship Research, Vol. 37, No. 4, pp 331-341, 1993.
- [24] 최기철, 현범수, "요트 킬의 형상에 따른 유체력 및 유동특성 연구", 대한 조선학회논문집, 제43권 제4호, pp 414-421, 2006.
- [25] 정우철 "선박유체역학실험", 인하공전 출판부, 2007
- [26] FLUENT 6.1 user's guide volume2 (2000)

저작물 이용 허락서						
학 과	선박해양공학과	학 번	20077480	과 정	석사	
성명	한글: 이 유	신 한문	: 이 유 신 영문	: LEE,	YOU SHIN	
주 소	인천 부평구	그 갈산동	179-1 한국아파	트 106동	2001호	
연락처	E-MAIL : aj	otofp@na	ver.com			
	한글 : 단일	킬 및 이중	중 킬 요트의 저항	특성에 관	반한 연구	
논문제목	영어 : A Stu	dy on the	e Resistance Char	acterist	ics of a	
	Yacht with Single and Double Keels					
본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.						
<ul> <li>- 다 음 -</li> <li>1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함</li> <li>2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집 · 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.</li> <li>3. 배포 · 전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.</li> <li>4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.</li> <li>5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.</li> <li>6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음</li> <li>7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송 · 출력을 허락함.</li> </ul>						
동의여부 : 동의( 0 ) 반대( )						
2009년 2월						
저작자 : 이 유 신 (서명 또는 인)						
조선대학교 총장 귀하						