



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.

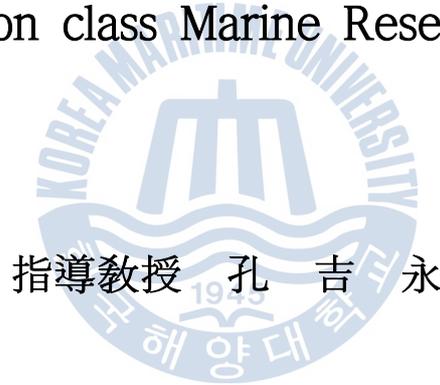
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

1900톤級 海洋調査船의 操縱性能 評價에  
관한 研究

A Study on the Maneuverability Evaluation of  
the 1900 ton class Marine Research Vessel



指導教授 孔 吉 永

2013年 2月

韓國海洋大學校 大學院

航 海 學 科

金 久 從

本 論 文 을 金 久 從 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 金 世 源 (인)

委 員 工 學 博 士 李 允 石 (인)

委 員 工 學 博 士 孔 吉 永 (인)



2013年 2月

韓國海洋大學校 大學院

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	v
Abstract .....	vi
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구 내용 및 범위 .....	2
1.3 연구의 구성 .....	3
<b>제 2 장 대상 선박의 제원 및 특성 .....</b>	<b>4</b>
2.1 대상 선박의 제원 .....	4
2.1.1 시뮬레이션 선박의 제원 .....	4
2.1.2 시운전 Test시 선박의 제원 .....	5
2.1.3 추진 계통의 제원 .....	5
2.2 대상 선박의 특성 .....	6
2.2.1 대상 선박의 주요 특성 .....	6
2.2.2 대상 선박의 주요 특성 분석 .....	8
<b>제 3 장 조종성능 평가 .....</b>	<b>9</b>
3.1 선박 조종성능에 대한 이론적 고찰 .....	9
3.1.1 조종운동방정식 .....	9
3.1.2 해양조사선의 유체력 미계수의 변화 .....	13
3.1.3 Stability Criterion .....	15
3.1.4 IMO의 선박 조종성능 기준 .....	17
3.2 조종성능 계측 시스템 .....	19
3.3 조종성능에 관한 시뮬레이션과 시운전 비교 .....	22

3.3.1 대상 선박의 초기 선회성능 .....	22
3.3.2 대상 선박의 선회성능 .....	27
3.3.3 대상 선박의 변침성능 .....	33
3.3.4 대상 선박의 정지성능 .....	40
3.3.5 대상 선박의 침로안정성능 .....	44
3.4 Twin screw 선박의 회두작용과 조종성능 .....	52
3.4.1 대상 선박의 프로펠러 작동에 의한 회두작용 .....	52
3.4.2 대상 선박의 조종성 지수 .....	54
3.4.3 대상 선박의 신침로 거리 .....	60
3.5 대상 선박의 조종성능에 대한 종합 평가 .....	64
제 4 장 결 론 .....	67
參 考 文 獻 .....	70



## List of Tables

Table 2.1 General Particulars(Simulation) .....	4
Table 2.2 General Particulars of Research Vessel .....	5
Table 2.3 Propulsion system(Generator & Motor) .....	6
Table 2.4 Propulsion system(Propeller & Shaft) .....	6
Table 2.5 Comparison of Turning direction .....	7
Table 3.1 IMO Maneuverability Criteria .....	18
Table 3.2 Ship's Conditions on Turning Test .....	21
Table 3.3 Sea trial Test results (PORT 10°) .....	23
Table 3.4 Sea trial Test results (STBD 10°) .....	24
Table 3.5 Sea trial Test results .....	25
Table 3.6 Initial Turning Time of Marine Research Vessel .....	26
Table 3.7 Turning Time of Marine Research Vessel (PORT 35°) .....	29
Table 3.8 Turning Time of Marine Research Vessel (STBD 35°) .....	30
Table 3.9 Sea trial Test results .....	31
Table 3.10 Turning Ability of Marine Research Vessel .....	32
Table 3.11 Ship's Conditions on Zig-zag Test .....	37
Table 3.12 10°/10° Zig-zag Test of Marine Research Vessel .....	37
Table 3.13 20°/20° Zig-zag Test of Marine Research Vessel .....	38
Table 3.14 Ship's Conditions on Crash stop Test .....	42
Table 3.15 Crash Astern Test Results of Marine Research Vessel .....	42
Table 3.16 Ship's Conditions on Spiral Test .....	46
Table 3.17 Spiral Test of Sea trial 1 .....	47
Table 3.18 Spiral Test of Sea trial 2 .....	48
Table 3.19 Spiral Test of Sea trial 3 .....	49
Table 3.20 Spiral Test of Sea trial 4 .....	50
Table 3.21 Twin screw 선박의 장단점 .....	52
Table 3.22 Test for Maneuvering Performance Index 1 .....	53

Table 3.23	Test for Maneuvering Performance Index 2 .....	53
Table 3.24	Test for Maneuvering Performance Index 3 .....	53
Table 3.25	Test for Maneuvering Performance Index 4 .....	54
Table 3.26	Test for Maneuvering Performance Index (STBD 35°) .....	56
Table 3.27	Maneuvering Performance Index of Marine Research Vessel .....	58
Table 3.28	Comparison of Maneuvering Performance Index .....	59
Table 3.29	Distance of New Course(STBD) .....	62
Table 3.30	Comparison between Turning Abilities .....	66



## List of Figures

Figure 3.1 상세설계 선박의 Sheer plan, Half-breadth plan .....	13
Figure 3.2 Data of Ship' s Particulars & Condition .....	19
Figure 3.3 Main Screen of Ship' s Maneuverability Measuring System .....	20
Figure 3.4 Turning test of Ship' s Maneuverability Measuring System .....	20
Figure 3.5 상세설계 선박의 Initial Turning Test 시뮬레이션 결과 .....	22
Figure 3.6 시운전 선박의 초기 선회성능 Test 결과 .....	25
Figure 3.7 상세설계 선박의 35° Turning Test 시뮬레이션 결과 .....	28
Figure 3.8 시운전 선박의 선회성능 Test 결과 .....	32
Figure 3.9 상세설계 선박의 10°/10° Zig-zag Test 시뮬레이션 결과 .....	34
Figure 3.10 상세설계 선박의 20°/20° Zig-zag Test 시뮬레이션 결과 .....	35
Figure 3.11 시운전 선박의 10°/10° Zig-zag Test 결과 .....	39
Figure 3.12 시운전 선박의 20°/20° Zig-zag Test 결과 .....	39
Figure 3.13 상세설계 선박의 Crash astern Test 시뮬레이션 결과 .....	41
Figure 3.14 시운전 선박의 정지성능 Test 결과 .....	43
Figure 3.15 시운전 선박의 Astern to Ahead성능 Test 결과 .....	43
Figure 3.16 상세설계 선박의 Spiral Test 시뮬레이션 결과 .....	45
Figure 3.17 Spiral Test of Marine Research Vessel .....	51
Figure 3.18 Maneuvering Performance Index(STBD 10°) .....	57
Figure 3.19 Maneuvering Performance Index(STBD 20°) .....	57
Figure 3.20 Maneuvering Performance Index(STBD 35°) .....	58
Figure 3.21 Distance of New Course(35°) .....	61
Figure 3.22 Distance of New Course(20°) .....	61
Figure 3.23 Distance of New Course(10°) .....	62
Figure 3.24 Distance of New Course(10°~35°) .....	63

# A Study on the Maneuverability Evaluation of the 1900 ton class Marine Research Vessel

Kim, Gu-Jong

Department of Navigation Science,  
Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract

The Marine Research Vessel performing the role of mothership such as marine environment protection, sea trials control, transporting equipment and personnel, maritime joint test etc. needs excellent maneuverability and propulsion performance to fulfill the given mission regardless of the rough sea state. Thus, the Marine Research Vessel is required simulation analysis to estimate the maneuverability from the very start of the ship design and after the design it needs to be tested whether it meets the IMO maneuverability criteria and comparison analysis on estimated maneuverability and propulsion performance. This ship's maneuverability is estimated by using MMG equations of motion considering the effect of the mutual interference on the unique characteristics of the hull, rudder, propeller acting on the hull and accredited simulation program was used to analyze the forces and moments. In Sea trial phase after the construction Initial turning test, Turning circle test, Zig-zag test, Crash astern test and Spiral test is conducted and comparative analysis to the simulation result is conducted to whether it satisfies the IMO maneuvering criteria.

Maneuverability that is needed for collision avoidance and altering course for

maneuvering is checked by analysing on new course distance, turning performance & maneuvering indices  $K'$  and  $T'$  .

And analysing characteristics of Inward rotation screw which is equipped in the Marine Research Vessel, suggested the chance to facilitating hull posture and state of activation which is required for unique mission or special operations.

These results will predict the possibility and the risk of working at various sea states, contribute to efficient vessels for safe navigation, also it can be utilized in ship design which is similar the Marine Research Vessel and estimation & evaluation for maneuverability.

KEY WORDS : IMO maneuvering criteria IMO 조종성능 기준; Maneuverability 조종성; maneuvering indices  $K'$  and  $T'$  조종성 지수  $K'$  와  $T'$ ; Distance of New Course 신침로 거리



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

### 1.1.1 연구 배경

해양환경조사, 해상시험 및 통제, 장비 및 인원수송, 해상합동시험 수행의 모션 기능 등의 역할을 하는 해양조사선은 정부 출연 연구소들을 중심으로 10여 척이 운항중이다.

해양조사선은 해상상태가 좋지 못한 경우에도 작업을 수행하여야만 할 부득이한 상황이 자주 발생하고, 탑승한 연구원의 원활한 임무수행 및 해상시험 대상물의 안전한 투하 및 회수를 위해서 조종성능이 매우 중요하다. 또한, 선박의 안전한 항행이외에도 해상실험 대상물의 추적과 회수를 위한 접근을 위해서 조종성능이 중요한 성능으로 사료된다.

해양조사선과 같은 특수목적 선박의 경우, 동일 유사선형인 자매선 형태의 일반선박과 달리 그 목적에 따라 독자적인 유일한 형태로 설계된다.

따라서 이 연구에서는 선박의 건조 전 설계단계에서 선박의 안전과 원활한 해상시험을 위하여 선박 조종성능을 추정하고자 조종성능에 대한 시뮬레이션 해석을 수행하여 인수 단계의 시운전 Test와 함께 어떤 차이점이 있는지 비교하여 그 원인을 분석하였으며, IMO(International Maritime Organization)에서 제시하고 있는 기준에 부합되는지 검증하였다. 또한 Inward rotation 방식의 회두 작용과 조종성 지수를 산출하여 선박의 조선(Maneuvering)에 도움이 되도록 하였다.

### 1.1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 해양조사선의 조종성능을 추정한 시뮬레이션 결과와 시운전

Test 결과를 바탕으로 어떤 차이점이 있는지 비교하여 그 원인을 분석하였으며, IMO 조종성 기준에 부합되는지 여부를 판단하고 비교한다. 또한 Inward rotation 방식의 Twin screw propeller 특성에 따른 회두 작용의 결과를 분석하였으며, 조종성 지수 및 신침로 거리를 산출하여 충돌회피조선 또는 변침동작을 위한 조타명령을 어느 시점에 적절히 내려야 하는지를 산출해본다.

## 1.2 연구 내용 및 범위

본 연구의 대상 선박의 조종성능은 일본의 MMG(Maneuvering Modeling Group)에서 제안한 운동방정식을 사용하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 추정하였다. MMG의 운동방정식은 선체, 타, 프로펠러 각각의 단독특성에 상호 간섭효과를 첨가하여 선박에 유기되는 힘과 모멘트를 모형화한 것으로, 각각의 성분에 대하여 선박의 제원을 변수로 하는 경험식이 주어져 있으며, 선박의 설계시 초기성능예측에 비교적 좋은 결과를 주고 있다.

본 연구의 대상 선박은 Skeg가 있는 선형이므로, 기존의 운동방정식에서 Skeg의 영향을 고려하여 조종성능을 예측하였다.

조종성능은 상세설계 선형 조건에 대한 시뮬레이션을 수행하여 예측하였고, 시뮬레이션은 Initial Turning Test, Turning Circle Test, 10°/10° Zig-zag Test, 20°/20° Zig-zag Test, Crash astern Test, Spiral Test 등에 대하여 수행한 후, 예측된 결과를 시운전 Test 항목 중 동일항목 값과 함께 IMO 선박조종기준에서 비교하였다.

이러한 비교·평가 결과는 앞으로 경험할 수 있는 다양한 해상상태에서의 작업 가능성 및 위험성 정도의 예측을 가능하게 함으로써 선박의 안전운항에 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 해상에서 운항중인 타 선박에서도 이와 같은 조종성능을 평가함으로써 항해 안전성을 향상시키고, 설계 과정에서부터 불필요한 부분을 제거함으로써 보다 우수한 성능의 선박 건조가 가능할 것으로 판단된다.

### 1.3 연구의 구성

본 연구는 대상 선박인 1900톤급 해양조사선의 상세설계 시뮬레이션 및 시운전 Test의 자료를 바탕으로 선박의 조종성능을 분석·평가하였다. IMO 또는 ITTC(International Towing Tank Conference) 등에서 정하고 있는 선박 조종성능 기준과 다양한 실선시험을 통하여 얻은 자료를 분석·평가함으로써 대상 선박과 유사한 선박의 조종을 위한 가이드라인을 제시하였다. 그 결과, 앞으로 경험할 수 있는 다양한 해상상태에서의 운항·조종성능에 대한 예측이 가능하게 되었고, 이를 이용함으로써 선박의 안전운항에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

제 1장은 서론으로, 연구 배경과 목적을 소개하였으며, 대상 선박의 조종성능에 대한 내용과 그 범위를 기술하였다.

제 2장에서는 대상 선박의 제원 및 특성을 기술하였다.

제 3장에서는 선박 조종성능에 대한 이론적 고찰, 조종성능 계측 시스템과 다양하게 실시한 대상 선박의 시뮬레이션 시험과 시운전 시험 결과를 타각, 선회방향, 속력 등 여러 기준으로 비교·분석하고, 그 결과가 IMO에서 규정하고 있는 조종성 기준(IMO Maneuvering Standards)을 만족하고 있는지 검토하였다. 그리고 Twin screw 선박의 회두 작용과 조종성 지수 및 신침로 거리를 산출하여 대상 선박의 조종성능에 대한 종합 평가를 기술하였다.

제 4장은 결론으로 연구 내용을 요약하고, 추후 연구 과제를 기술하였다.

## 제 2 장 대상 선박의 제원 및 특성

### 2.1 대상 선박의 제원

본 연구에서는 설계단계 선형 선박과 시운전 Test 선박의 제원을 기초로 하였으며, 상세설계 선형 선박과 시운전 Test 선박의 제원 중 가장 큰 차이점은 Displacement이다. 181 ton의 차이가 있으며, 이는 실선 총톤수의 약 10%에 상당하는 중량이다.

#### 2.1.1 시뮬레이션 선박의 제원

시뮬레이션에서는 상세설계 선형 선박의 Full Loaded Condition의 흘수에 대하여 검토하며, 선박과 흘수에 대한 선박의 제원은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 General Particulars(Simulation)

ITEMS	DIMENSIONS
Condition	Full Loaded
Displacement (ton)	1749.0
Length O. A (m)	66.4
Length B. P (m)	58.6
Breadth (m)	12.5
Depth (m)	7.1
Draft (m)	4.3
Speed (kt)	16.0
No. of Blade	5
Propeller Diameter (m)	2.7
Block coefficient	0.5599
Water Plane Area (m <sup>2</sup> )	606.2
L.C.G from A.P (m)	29.3
V.C.G (m)	4.7
GM (m)	1.01 / 1.322(자유표면 효과를 고려하지 않을 시)

## 2.1.2 시운전 Test시 선박의 제원

본 연구의 대상 선박은 정부출연 연구기관의 해양조사선이다. Table 2.2는 일반 제원을 나타내고 있다.

**Table 2.2** General Particulars of Marine Research Vessel

ITEMS	DIMENSIONS
Displacement (Full Loaded Condition)	1930 ton
Gross Tonnage	1899 ton
Length Overall (LOA) (m)	67.5
Length Between Perpendiculars (LBP) (m)	59.6
Breadth (m)	13.4
Mean Draft (Full Loaded Condition) (m)	4.5
Maximum Speed (kt)	17.0
Service Speed (kt)	14.0
Propulsion Motor	4000 kW X 233 RPM
No. of Blade	5
Screw turning direction	Inward
Block Coefficient (Cb)	0.5719 at 4.5 m
L.C.G (Full Loaded Condition) (m)	28.35
V.C.G (Full Loaded Condition) (m)	5.374
GoM (Full Loaded Condition)(m)	0.912

## 2.1.3 추진계통의 제원

본선의 추진방식은 전기추진시스템이며, 총 4대의 디젤발전기가 선내 모든 전력을 공급한다. 추진력은 2대의 교류 추진전동기에 직접 연결된 축계와 추진기에 의해 전달된다.

**Table 2.3** Propulsion system(Generator & Motor)

구 분	Main Diesel Generator	Propulsion Motor
형 식	4행정, 과급기 부착, 역전식(시계방향 회전식) 고속 디젤기관	1기 1축식, 동심원식 헬리컬기어, HORIZONTAL OFFSET
용 량	1,320kW x 900 RPM	2000kW x 233 RPM
수 량	4	2

**Table 2.4** Propulsion system(Propeller & Shaft)

구 분	Propeller	Shaft
형 식	Fixed Pitch Bolted	중공축 및 COUPLING RD 214 GA EN-C45(재질)
방 향	Inward direction	
수 량	5 (Blade, 2700mm)	2 (Twin screw Propeller)

## 2.2 대상 선박의 특성

### 2.2.1 대상 선박의 주요 특성 분석

대상 선박의 Twin screw propeller의 회전방향이 Inward rotation인 이유는 프로펠러 소음해석 결과 Outward rotation보다 Inward rotation의 소음이 적기 때문이다. 최고 소음에서 1.6 dB 차이가 나며, 최고 소음의 진동수 이하에서는 3 dB 차이가 난다. 반면 최고 소음의 진동수 이상에서는 근소한 차이가 난다.

본 해양조사선의 여러 가지 시험목적 중 한가지인 URN(Underwater Radiated Noise, 수중방사소음측정)을 수행하기 위해서는 소음성능이 고려되어 Inward rotation이 채택되었다.

수중방사소음이란 기진력(물체에 기계적 진동을 일으키게 하는 근원이 되는 교번적인 힘)에 의한 선체표면의 진동, 추진 장치에서 발생하는 캐비테이션(Cavitation)현상 등의 원인으로 선체에서 발생하여 수중으로 퍼져나가는 소음을 뜻한다. 선박, 군함 및 함정의 생존성과 밀접한 연관을 가지며, 수중방사소음의 주요 소음원은 추진기의 CIS(Cavitation Inception Speed, 캐비테이션 초기발생속도)를 기준으로 구분한다.

대상 선박의 캐비테이션 발생 전 추진속도(통상 15노트 이하)에서 저감방안 연구에 따르면, 캐비테이션 초기발생속도 이전에는 주추진기나 보조기기, 배관계 소음이 가장 큰 소음발생원이며, 선박 속도가 높아져도 수중방사소음은 비슷한 수준을 유지한다. 캐비테이션 초기발생속도 이후에는 수중방사소음은 큰 폭으로 증가하며, 캐비테이션이 지배적(Dominant)인 주소음원이다.

Table 2.5 Comparison of Turning direction

구분		Inward	Outward
회전방향		<ul style="list-style-type: none"> <li>STBD : counterclockwise</li> <li>PORT : clockwise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>STBD : clockwise</li> <li>PORT : counterclockwise</li> </ul>
주요 특성	실적선 경향	<ul style="list-style-type: none"> <li>주로 CPP 운용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조종성 확보를 위해 주로 FPP 운용</li> </ul>
	추진효율	<ul style="list-style-type: none"> <li>추진기 전단의 반류분포에 의해 결정됨</li> <li>회전방향에 따른 우열이 거의 없는 것으로 판단</li> </ul>	
	조종성	<ul style="list-style-type: none"> <li>상대적으로 미흡</li> <li>CPP에서 주로 적용</li> <li>Bow/Stern Thruster 운용으로 보완</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>횡방향 조종성 우수, 부두 접이안시 유리</li> <li>FPP에서 주로 적용</li> </ul>
	방사소음	<ul style="list-style-type: none"> <li>소음 측면에서 우수함, 제작사/용역사 추천</li> <li>피크치 1.6dB 감소, 피크 이하 대역 약 3.0dB 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상대적으로 미흡</li> </ul>
	운용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>저속 운용시 선체부유물 유입을 우려하는 경향이 있으나, 확실한 근거 확인 불가</li> <li>추진기에 유입되는 유체의 입사특성은 선체형상에 따른 유선(반류)에 의해 결정됨. 추진기 후류는 회전방향의 영향을 미소하게(아주 작게) 받을 수 있으나, 추진기 전단에서의 영향은 거의 없을 것으로 판단함.</li> </ul>	

## 2.2.2 대상 선박의 주요 특성 분석 결과

2개의 추진축을 가진 대부분의 실적선에서 FPP는 Outward, CPP는 Inward가 적용되어 있는데, 이는 부두 접이안시 횡방향 조종성을 위한 것으로 판단된다.

방사소음 측면에서 Inward 추진기가 유리하나, 추진 효율 측면에서 회전방향에 따른 특성차이가 거의 미소할 것으로 판단되며, 운용성 면에서는 우열 근거가 불명확하며 차이가 크지 않을 것으로 판단된다. 추진기 방향은 Rolls Royce(제조사), DNV(추진계통연동 용역회사) 등에서 추천하는 Inward 방향으로 선택하는 것이 합리적인 것으로 판단되며, 부두 접이안시 조종성 문제는 본선의 Bow/Stern Thruster 운용으로 보완하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.



## 제 3 장 조종성능 평가

### 3.1 선박 조종성능에 대한 이론적 고찰

선박의 조종성능을 추정하는 방법은 수조에서 모형시험을 수행하는 방법과 선박의 주요 제원 및 프로펠러의 성능곡선을 이용하여 선박의 조종운동에 관계되는 유체력 미계수를 경험식으로부터 도출하고 시뮬레이션을 수행하는 방법이 있다.

본 연구에서는 일본의 MMG(Maneuvering Modeling Group)에서 제안한 Modular type의 조종운동방정식을 이용하여 본 해양조사선의 조종성능을 추정하기로 한다. 여기서는 선체, 프로펠러, 타 각각의 단독적 특성에 상호 간섭효과를 반영하여 선박에 작용하는 힘을 추정하였다.

#### 3.1.1 조종운동방정식

본 연구에서는 모형시험이 수행되지 않고 다만 상세설계 된 해양조사선의 조종성능을 추정하기 위하여 수행되었다. 따라서 상세설계 단계에서 제공된 선체 형상이나 주요 제원, Rudder, Propeller의 정보를 이용하여 선박에 작용하는 유체력을 추정할 수 있는 방법이 필요하였다. 큐슈대학교 Kijima 교수는 선박에 작용하는 유체력을 추정할 수 있도록 경험식에 대한 연구를 진행해 왔으며, 그 연구결과를 바탕으로 본 연구에서 필요한 유체력을 구하였다.

선박의 무게중심을 원점으로 했을 때, Surge, Sway, Yaw와 같은 수평운동만을 고려한 조종운동방정식은 다음의 식 (3.1)과 같다.

$$\begin{aligned}
(m' + m_x') \left( \frac{L}{U} \right) \left( \frac{\dot{U}}{U} \cos \beta - \dot{\beta} \sin \beta \right) + (m' + m_y') r' \sin \beta &= X_H' + X_P' + X_R' \\
-(m' + m_y') \left( \frac{L}{U} \right) \left( \frac{\dot{U}}{U} \sin \beta - \dot{\beta} \cos \beta \right) + (m' + m_x') r' \cos \beta &= Y_H' + Y_R' \\
(I_{zz}' + i_{zz}') \left( \frac{L}{U} \right)^2 \left( \frac{\dot{U}}{L} r' + \frac{U}{L} \dot{r}' \right) &= N_H + N_R
\end{aligned} \tag{3.1}$$

여기에서 뿔첨자(')는 무차원화 되었음을 의미하며, 선박의 주요제원 및 운항속도를 이용하여 다음의 식 (3.2)와 같이 무차원화 하였다.

$$\begin{aligned}
m', m_x', m_y' &= m, m_x, m_y / \left( \frac{1}{2} \rho L^2 d \right) \\
I_{zz}', i_{zz}' &= I_{zz}, i_{zz} / \left( \frac{1}{2} \rho L^4 d \right) \\
X', Y' &= X, Y / \left( \frac{1}{2} \rho L d U^2 \right) \\
N' &= N / \left( \frac{1}{2} \rho L^2 d U^2 \right) \\
r' &= r L / U
\end{aligned} \tag{3.2}$$

위의 식 (3.1)과 (3.2)에서 이용된 변수들의 의미는 다음과 같다.

- $m, m_x, m_y$  : mass, added mass of x axis and y axis
- $L$  : ship's length
- $\beta$  : drift angle
- $d$  : draft
- $U$  : Ship speed
- $r$  : angular velocity
- $X, Y, N$  : external force of x, y axis and yaw moment

식 (3.1)의 조종운동방정식에서 우변의 항은 외력항을 의미하는데 바람과 조류가 없는 경우에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} X' &= X'_H + X'_P + X'_R \\ Y' &= Y'_H + Y'_R \\ N' &= N'_H + N'_R \end{aligned} \quad (3.3)$$

식 (3.3)에서 하첨자  $H$ 는 Hull에 작용하는 힘,  $P$ 는 Propeller에 작용하는 힘,  $R$ 은 Rudder에 작용하는 힘을 의미한다.

Hull에 작용하는 힘  $H$ 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

식 (3.4)의 우변에 있는 유체력 미계수 중에서 저항관련 계수를 제외한 나머지 유체력 미계수들은 경험식을 이용하여 추정하였다.

$$\begin{aligned} X'_H &= X'_{\beta r} \sin \beta + X'_{uu} \cos^2 \beta \\ Y'_H &= Y'_\beta \beta + Y'_r r' + Y'_{\beta\beta} \beta |\beta| + Y'_{rr} r' |r'| + Y'_{\beta\beta r} \beta |\beta| r' + Y'_{\beta rr} \beta r' |r'| \\ N'_H &= N'_\beta \beta + N'_r r' + N'_{\beta\beta} \beta |\beta| + N'_{rr} r' |r'| + N'_{\beta\beta r} \beta |\beta| r' + N'_{\beta rr} \beta r' |r'| \end{aligned} \quad (3.4)$$

Y방향 유체력 미계수를 추정하는 경험식은 식 (3.5)와 같다.

$$\begin{aligned} Y'_\beta &= \frac{1}{2} \pi k + 1.4 C_B B / L \\ Y'_r - (m' + m'_x) &= -1.5 C_B B / L \\ Y'_{\beta\beta} &= 2.5 d (1 - C_B) / B + 0.5 \\ Y'_{rr} &= 0.343 d C_B / B - 0.07 \\ Y'_{\beta rr} &= 5.95 d (1 - C_B) / B \\ Y'_{\beta rr} &= 1.5 d C_B / B - 0.65 \end{aligned} \quad (3.5)$$

N방향 유체력 미계수를 추정하는 경험식은 식 (3.6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 N_{\beta}' &= k \\
 N_r' &= -0.54k + k^2 \\
 N_{\beta\beta}' &= -0.96d(1 - C_B) / B + 0.066 \\
 N_{rr}' &= -0.5C_B / B - 0.09 \\
 N_{\beta rr}' &= -(0.5dC_B / B - 0.05) \\
 N_{\beta rr}' &= -\{57.5(C_B B / L)^2 - 19.4C_B B / L + 1.6\}
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

where,  $k = 2d / L$

식 (3.7)은 Propeller에 의한 외력항을 표현한 식이다.

제공된 Propeller의 Open water Test 결과를 이용하여 추력을 계산하고, 상호 간섭계수들은 경험식을 이용하여 계산되었다.

$$X_P' = \frac{(1 - t_{P0})n^2 D_P^4 K_T (J_P)}{0.5 \times L T U^2}
 \tag{3.7}$$

식 (3.8)은 Rudder에 의한 외력항을 표현한 식이다.

제공된 Rudder의 Aspect ratio 등의 자료를 바탕으로 Rudder에 의한 힘과 모멘트를 구했다.

$$\begin{aligned}
 X_R' &= -(1 - t_R)F_N' \sin \delta \\
 Y_R' &= -(1 - a_H)F_N' \cos \delta \\
 N_R' &= -(x_R' + a_H x_H')F_N' \cos \delta \\
 \text{where, } F_N' &= (A_R / L T)U_R^2 \frac{6.13\Lambda}{\Lambda + 2.25} \sin \alpha_R
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

### 3.1.2 해양조사선의 유체력 미계수의 변화

해양조사선은 아래 그림에서 볼 수 있듯이 선체 뒷부분에 Skeg가 있는데, 이 Skeg가 선박의 조종성능에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 영향을 고려하여, 해양조사선의 조종성능을 추정하였다.

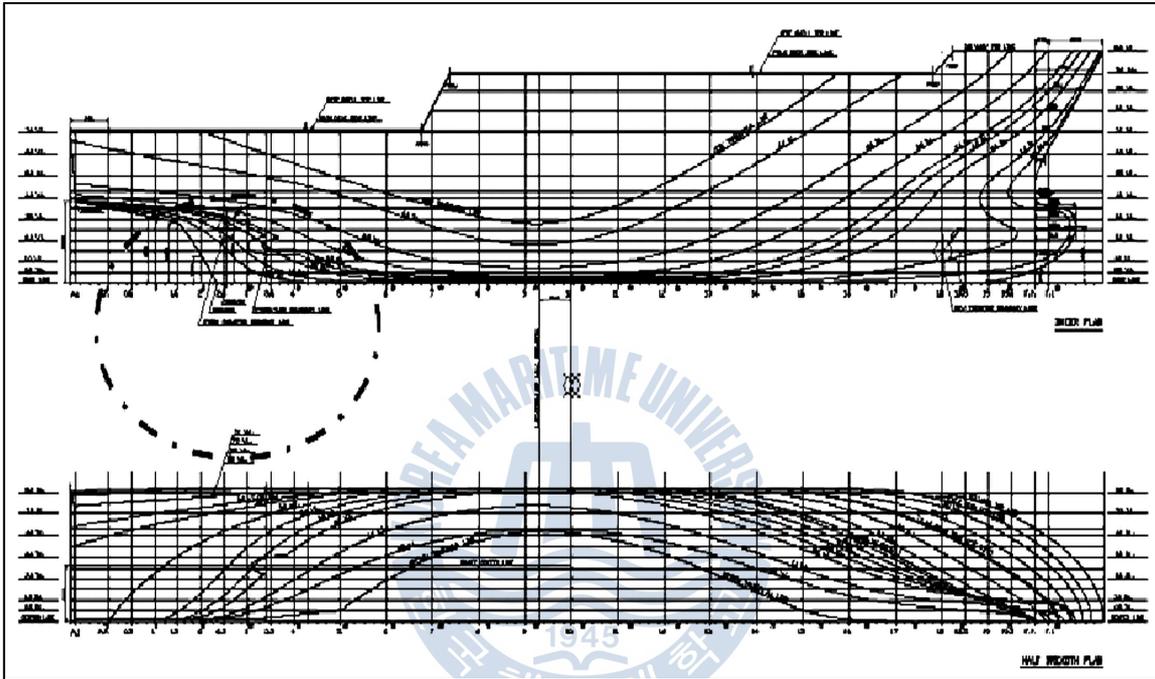


Figure 3.1 상세설계 선박의 Sheer plan, Half-breadth plan

다음의 식 (3.9)는 Skeg의 위치에서 Flow가 들어오는 입사각을 의미한다. 이 입사각의 정의에 따라서 Skeg에 작용하는 유체력을 계산할 수 있다.

$$\beta_F = \frac{v_f}{u_f} \quad (3.9)$$

식 (3.9)의 정의를 따를 때, Y방향 힘과 N방향 모멘트에 작용하는 유체력은 다음의 식 (3.10)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
Y_f &= (L_f \cos \beta_f + D_f \sin \beta_f) \\
N_f &= Y_f x_f
\end{aligned}
\tag{3.10}$$

Y방향 유체력을 구하는 과정을 정리하면 다음과 같다.

입사각에 따른 Y방향 유체력의 변화를 구하기 위하여 미분을 취하면 식 (3.11)과 같이 표현될 수 있다.

$$(Y_\beta)_f = L_f \sin \beta_f - \left(\frac{\partial L}{\partial \beta}\right)_f \cos \beta_f - D_f \cos \beta_f - \left(\frac{\partial D}{\partial \beta}\right)_f \sin \beta_f
\tag{3.11}$$

식 (3.11)에서 입사각이 0인 경우를 생각하면, 식 (3.11)은 식 (3.12)와 같이 정리될 수 있다.

$$(Y_\beta)_f = -\left[\left(\frac{\partial L}{\partial \beta}\right)_f + D_f\right]
\tag{3.12}$$



식 (3.13)에서 Skeg에 작용하는 Lift와 Drag가 표현되었다. Lift coefficient와 물의 밀도, Skeg의 면적, 선박의 진행 속도에 따라 정리하면 식 (3.13)과 같다.

$$\begin{aligned}
L_f &= (C_L) \frac{\rho}{2} A_f V^2 \\
D_f &= (C_D) \frac{\rho}{2} A_f V^2
\end{aligned}
\tag{3.13}$$

식 (3.13)의 Lift를 입사각에 대하여 미분을 취하여 표현한 결과는 식 (3.14)와 같다.

$$\left(\frac{\partial L}{\partial \beta}\right)_f = \frac{\rho}{2} A_f V^2 \left(\frac{\partial C_L}{\partial \beta}\right)_f \quad (3.14)$$

본 연구에서 이용된 Skeg를 평판이라고 할 때, 입사각에 따른 Lift coefficient를 식 (3.15)와 같이 가정할 수 있다.

$$\left(\frac{\partial C_L}{\partial \beta}\right)_f = \left(\frac{\pi}{2}\right)\Lambda \quad (3.15)$$

입사각이 Zero인 경우, Drag coefficient는 거의 Zero라고 할 수 있으므로, 식 (3.16)과 같이 정리할 수 있다.

$$(Y_\beta)_f' = \frac{\frac{\rho}{2} h_f \left(\frac{l_f}{2}\right) V^2 \left[\frac{\pi}{2}\Lambda\right]}{\frac{\rho}{2} LTV^2} = \frac{h_f \left(\frac{l_f}{2}\right) \left[\frac{\pi}{2}\Lambda\right]}{LT} \quad (3.16)$$

이와 같은 방법으로 입사각에 따른 Skeg의 효과를 선체에 작용하는 유체력에 포함시킴으로써, 해양조사선의 조종성능을 추정하였다.

### 3.1.3 Stability Criterion

Stability Criterion은 선박의 안정성을 평가하는 중요한 인자로서, 조종운동방정식의 형태에 따라서 달라진다. 선박의 횡방향 속도에 따라서 유체력 미계수를 표현하는 모델에서는 식 (3.17)의 과정을 따라서 Stability Criterion을 구할 수 있다. 이 모델에서 구해진 Stability Criterion( $I_c$ )은 식 (3.17)과 같다.

$$C = Y'_v N'_r - N'_v (Y'_r - m') > 0$$

$$Y'_v N'_r - N'_v (Y'_r - m') > 0$$

$$Y'_v N'_r > N'_v (Y'_r - m')$$

$$\frac{Y'_v N'_r}{Y'_r - m'} < N'_v \quad (\because (Y'_r - m') < 0)$$

$$\frac{Y'_v N'_r}{Y'_r - m'} > \frac{N'_v}{Y'_v} \quad (\because Y'_v < 0)$$

$$I_c = \frac{N'_r}{Y'_r - m'} - \frac{N'_v}{Y'_v} > 0 \tag{3.17}$$

선박의 Drift angle에 따라 유체력 미계수를 표현하는 모델에서는 식 (3.18)의 과정을 따라서 Stability Criterion을 구할 수 있다. 이 모델에서 구해진 Stability Criterion( $I_c$ )은 식 (3.18)과 같다.

$$C = Y'_\beta N'_r - N'_\beta (Y'_r - m') > 0$$

$$Y'_\beta N'_r - N'_\beta (Y'_r - m') > 0$$

$$Y'_\beta N'_r > N'_\beta (Y'_r - m')$$

$$\frac{N'_r Y'_\beta}{Y'_r - m'} < N'_\beta \quad (\because (Y'_r - m') < 0)$$

$$\frac{N'_r}{Y'_r - m'} < \frac{N'_\beta}{Y'_\beta} \quad (\because Y'_\beta > 0)$$

$$I_c = \frac{N'_r}{Y'_r - m'} - \frac{N'_\beta}{Y'_\beta} < 0 \tag{3.18}$$

본 연구에서는 식 (3.18)의 Stability Criterion을 이용하여 해양조사선의 조종안정성을 판별하였다. 또한 기본설계 단계에서의 안정성과 상세설계 단계에서의 안정성을 비교함으로써, 설계 단계에 따라 조종성능이 어떻게 변화하였는지 확인할 수 있었다.

### 3.1.4 IMO의 선박 조종성능 기준

조종성능을 평가하는 시험의 종류는 상당히 많으며, 이는 세계 각국이 각기 독자적으로 조종성능을 평가하는 시험방법을 고안했기 때문이다. 그러나 조종시험을 수행하는 경비 문제와 서로 통일된 기준을 확보할 필요가 있어 현재는 선회시험(Turning Test), 지그재그시험(Zig-zag Test), 나선시험(Spiral Test), 정지시험(Crash astern Test) 등 4가지 조종시험이 표준 조종시험으로 정착되었다.

일부 선박의 경우, 조종성능으로 인한 문제 때문에 해양 사고 및 오염을 발생시키는 상황을 개선하고자 IMO는 선박의 조종성능에 대하여 IMO Resolution A. 751(18)을 초안으로 채택했고, Resolution MSC. 137(76)으로 확정하였다. 이러한 표준 채택의 의미는 선박의 조종성능이 열악한 경우, 운항자가 운항 기술로 만회해 나가는 상황에서 선박의 설계단계부터 표준으로 정한 조종성능을 만족시키는 상황으로의 전환에 있다. 이를 통해 운항자의 부담을 줄여 사고 발생의 위험을 낮추자는 것이다. 현재 IMO 기준은 깊은 수심에서 선박의 운항속도(Service speed)상태에서의 규정이다.

IMO에서 안전을 위하여 요구하고 있는 조종성 기준은 Table 3.1과 같고, 이들 각 시험의 시험방법, 평가항목, 조종성능과의 관계에 대하여 살펴보았다.

본 연구에서는 IMO Maneuverability Criteria를 기준으로 해양조사선의 조종성능을 평가하였다.

Table 3.1 IMO Maneuverability Criteria

Ability	Test Item		IMO Standards
Turning ability	Max.(+35°) Rudder Angle	Advance	4.5L
		Tactical Diameter	5.0L
	Max.(-35°) Rudder Angle	Advance	4.5L
		Tactical Diameter	5.0L
Yaw checking & Course keeping ability	10°/10° Zig-zag maneuvering	First overshoot angle	10.0°
		Second overshoot angle	25.0°
	20°/20° Zig-zag	First overshoot angle	25.0°
Initial Turning ability	+10° rudder angle	Path Length	2.5L
	-10° rudder angle	Path Length	2.5L
Stopping ability	Crash astern	Track reach	15.0L

### 3.2 조종성능 계측 시스템

시운전 평가시에는 신조선에 탑재된 DGPS 수신기를 이용하여 신조선의 속도, 운항궤적, 조종능력 등에 대한 성능 평가를 실시하게 된다. 이러한 성능 평가를 위해서는 DGPS와 연동된 선박 조종성능 계측 시스템을 이용해야 실시간 장비 성능 및 정밀도 측정으로 경제적이고 효율적인 시운전이 가능하게 된다.

본 해양조사선의 조종성능 시험에는 ASTEP-1LT(Akasaka Tec Inc.)라는 DGPS 선박 조종성능 계측 시스템이 사용되었다.

본 장비는 비콘 일체형의 고정밀 12 Ch의 DP용 DGPS 안테나를 사용시 측위 정도가 1 ~ 2 m 이내로 향상되며, 측위 갱신 간격 0.2 ~ 1 초(1 ~ 5 Hz)이므로 고속선에도 대응 가능하며 GYRO COMPASS, RUDDER ANGLE INDICATOR, 풍향 풍속계, DOPPLER LOG, ENG. RPM 등의 SERIAL 신호를 받아 신호변환장치를 통해 분석하는 시스템이다. 본선의 시운전 자료(Results of Sea trial)도 이를 이용하여 작성되었고, 그 내용으로는 선회시험(Turning Test), 지그재그시험(Zig-zag Test), 나선시험(Spiral Test), 정지시험(Crash astern Test) 등이 있다. Figure 3.2 ~ 3.4는 선박 조종성능 계측 시스템을 나타내고 있다.

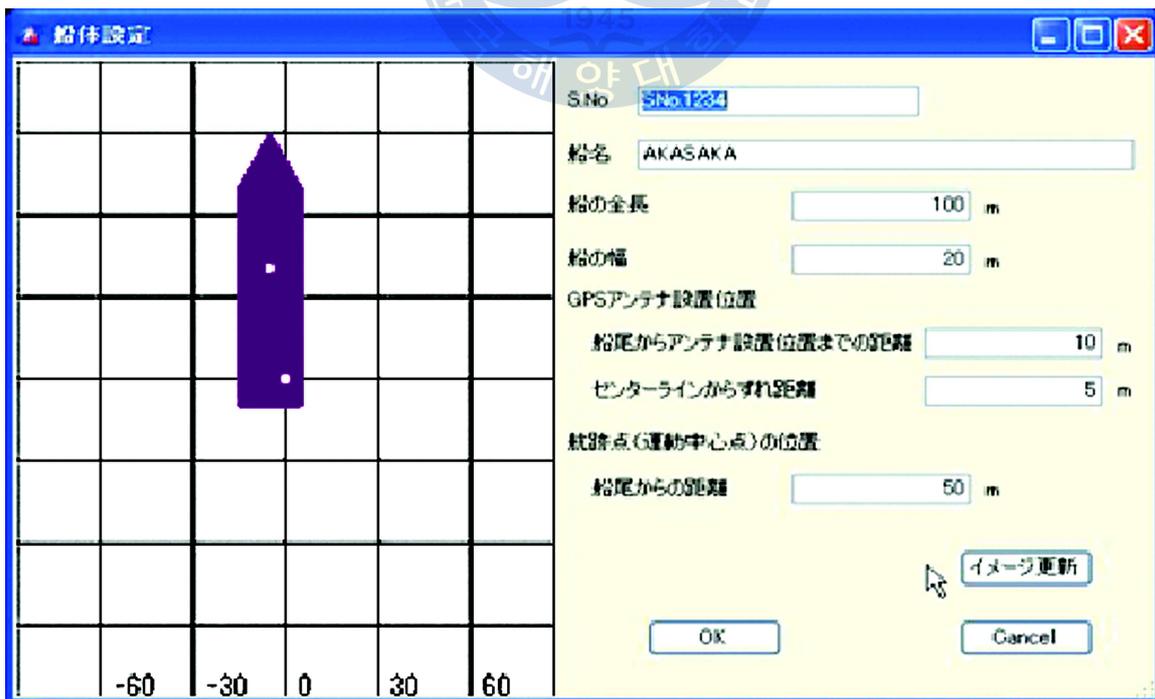


Figure 3.2 Data of Ship's Particulars & Condition

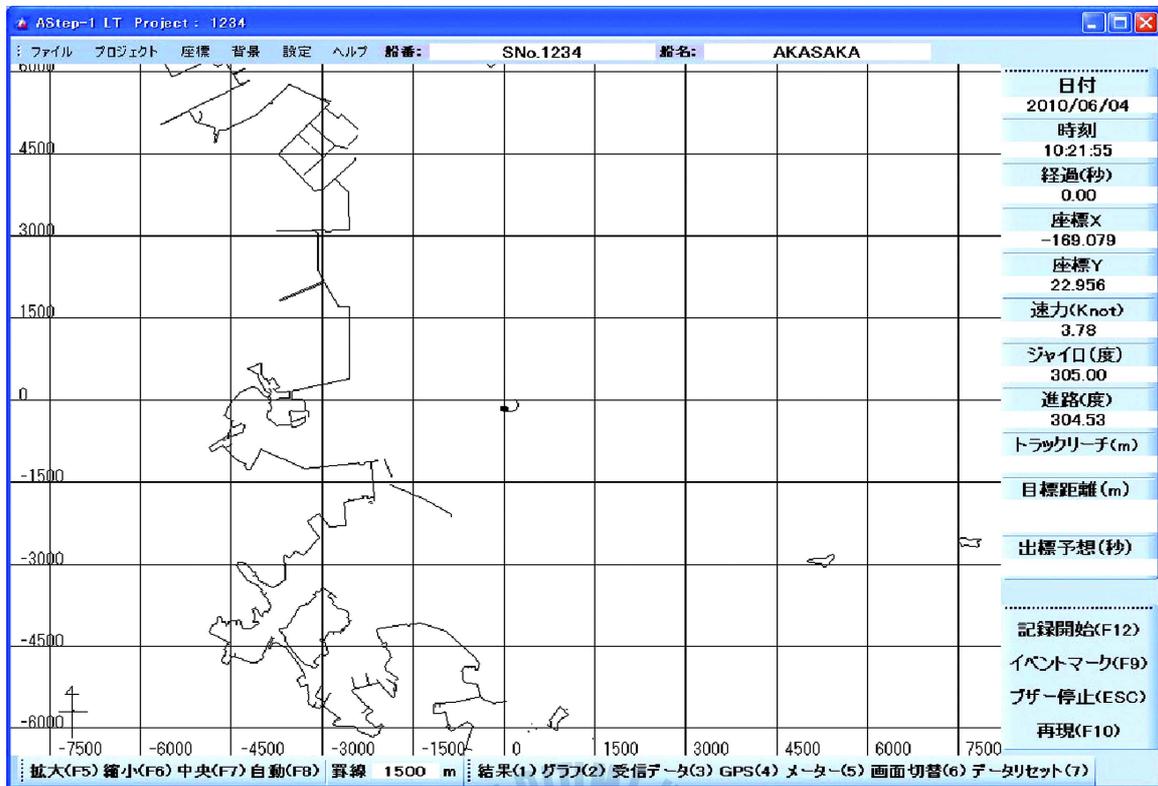


Figure 3.3 Main Screen of Ship's Maneuverability Measuring System

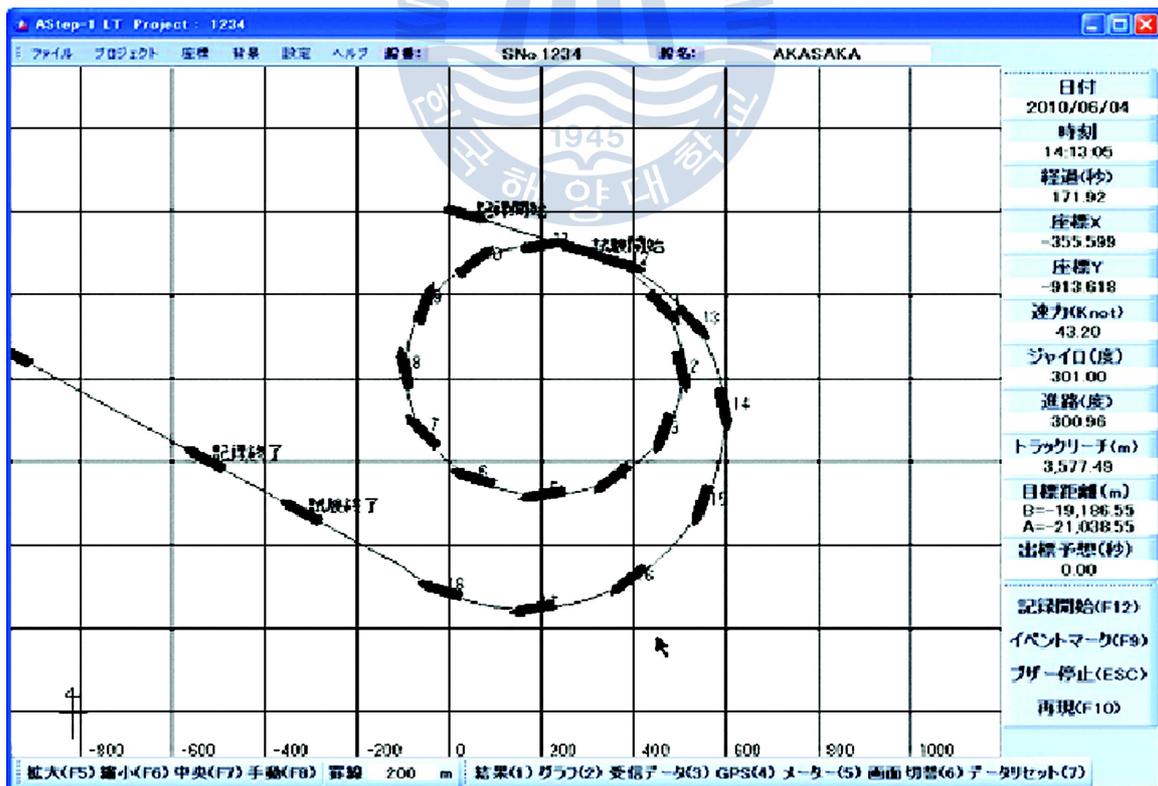


Figure 3.4 Turning Test of Ship's Maneuverability Measuring System

### 3.3 조종성능에 관한 시뮬레이션과 시운전 비교

해양조사선의 시운전 중 실시한 선회시험은 2012년 5월 3일에 실시하였으며, 양현 타각 35°, 10°의 선회시험을 실시하였다. 시뮬레이션 결과 자료와 함께 이러한 인수 전 실시한 시운전 선회시험 자료를 취합하여 몇 가지 비교분석을 실시하였다. 선회시험을 실시하면서 타를 돌리는 시점부터 선수각이 해당 타각에 도달할 때까지의 시간을 측정하는데 이를 초기 선회시간(Initial Turning Time)이라고 하고, 초기 선회능력을 나타내는 척도로 사용된다. 즉, 이 값으로부터 타를 돌린 후 얼마나 빨리 원하는 선수각을 얻을 수 있는지를 알 수 있다. 선회시험을 실시했던 당시의 선박 및 해상조건은 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Ship's Conditions on Turning Test

Item \ Date	2010. 12. 01 Simulation	2012. 5. 03 Sea trial
Displacement (ton)	1,749.0	1,915.3
Draft(F/M/A) (m)	4.3 / 4.3 / 4.3	4.45 / 4.51 / 4.56
Trim (m)	0	0.11
C <sub>b</sub>	0.5599	0.5237
Beaufort Scale	0	SE / 3
Depth (m)	20	21 ~ 56

### 3.3.1 대상선박의 초기 선회성능

#### 3.3.1.1 시뮬레이션의 초기 선회성능

다음의 그림은 상세설계 해양조사선의 Initial Turning Test를 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 나타난 것과 마찬가지로 Initial track reach는 1.76 L로 IMO maneuverability criteria인 2.5 L보다는 작게 나타났음을 확인할 수 있다. 선박의 운항속도는 16 knots로 시뮬레이션 되었다.

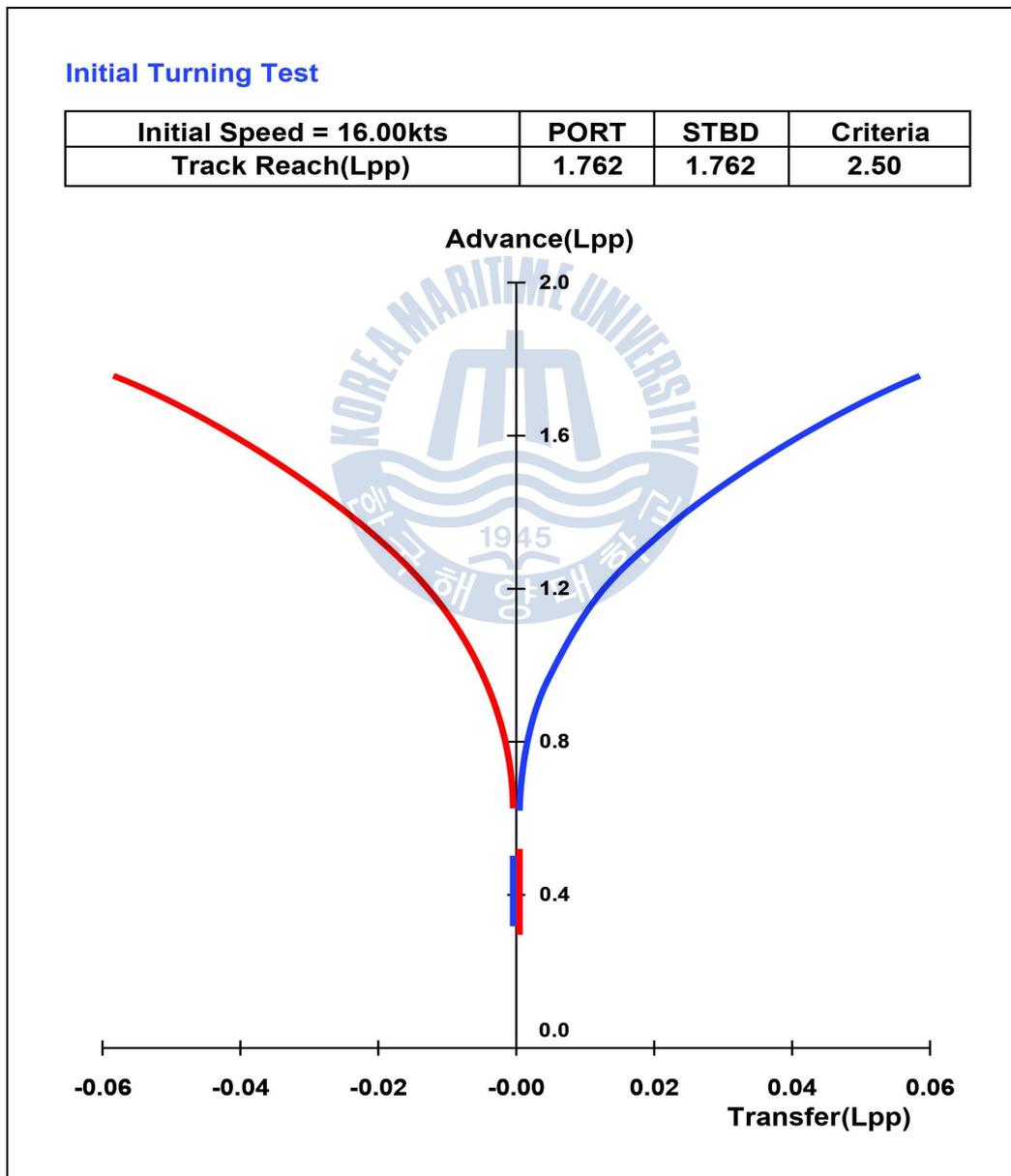


Figure 3.5 상세설계 선박의 Initial Turning Test 시뮬레이션 결과

### 3.3.1.2 시운전 시의 초기 선회성능

Table 3.3 ~ 3.5는 해양조사선의 Initial Turning Test를 시운전 한 결과를 보여주고 있다. Figure 3.6에서 나타난 것과 마찬가지로 Initial track reach는 2.5 L로 IMO Maneuverability Criteria를 만족함을 확인할 수 있다.

**Table 3.3** Sea trial Test results (PORT 10°)

INITIAL TURNING TRIAL (PORT 10°)					
Speed		16.00 kts	Rudder Angle	PORT 10°	
Results	Advance	319 m	Tactical Diameter	355 m	
	Transfer	154 m	Final Diameter	340 m	
Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)
0	50.7	16.00	140	116.2	14.10
10	49.6	16.00	150	94.5	13.98
20	36.8	15.98	160	71.1	14.12
30	16.2	15.98	170	48.9	14.22
40	354.5	14.98	180	26.5	14.11
50	330.3	14.34	190	4.1	13.99
60	306.0	13.88	200	342.0	13.66
70	279.7	13.61	210	317.7	13.55
80	255.3	13.53	220	294.0	13.37
90	232.1	13.52	230	270.1	13.28
100	209.1	13.53	240	245.8	13.27
110	185.1	13.63	247	228.7	13.39
120	162.1	13.86			
130	140.4	14.00			

**Table 3.4** Sea trial Test results (STBD 10°)

INITIAL TURNING TRIAL (STBD 10°)					
Speed		16.00 kts	Rudder Angle	STBD 10°	
Results	Advance	312 m	Tactical Diameter	341 m	
	Transfer	150 m	Final Diameter	330 m	
Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)
0	30.2	16.00	140	340.0	13.10
10	31.0	15.90	150	5.0	13.31
20	44.5	15.80	160	27.7	13.53
30	65.5	14.84	170	51.2	13.58
40	90.9	14.29	180	73.8	13.64
50	115.9	13.87	190	96.6	13.62
60	143.3	13.58	200	120.0	13.35
70	167.2	13.22	210	143.7	13.26
80	192.0	13.21	220	167.1	12.98
90	216.7	12.78	230	192.2	12.84
100	242.4	12.69	238	211.1	12.76
110	267.6	12.65			
120	292.7	12.66			
130	316.9	13.04			

Table 3.5 Sea trial Test results

INITIAL TURNING TRIAL (선회 시험 판정 기준 및 결과)				
항 목		판 정 기 준		
Path Length (10° 변화)		선속 16kts 이상, 타각10° (선수 선회각 10° 변화시) : 2.5L 이하		
Speed	Rudder Angle	Path Length		결 과
		계측	평균	
16.0 kts	Port 10°	146 m	145 m (2.5L)	만 족
16.0 kts	Starboard 10°	143 m		만 족

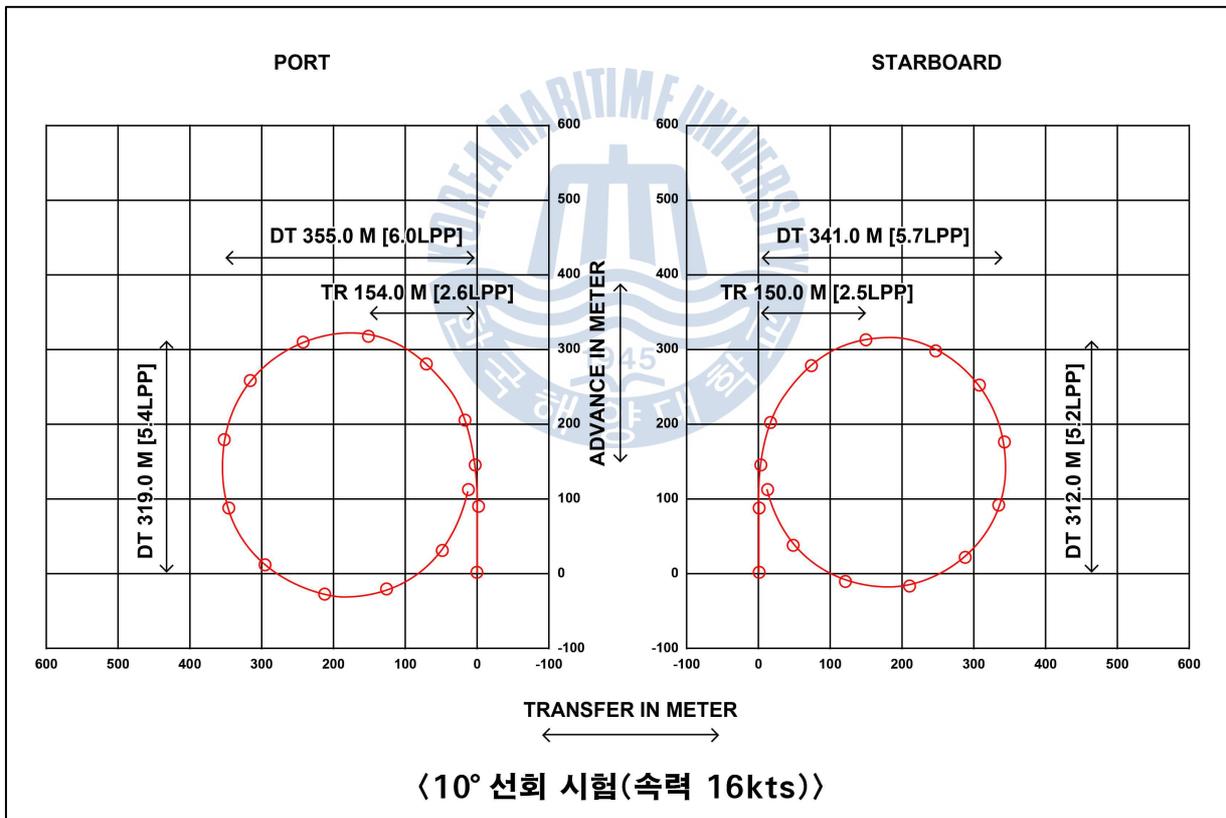


Figure 3.6 시운전 선박의 초기 선회성능 Test 결과

Table 3.6은 초기 선회시간을 다양한 선회시험을 통하여 확인한 결과이다. Table 3.1에서 알 수 있듯이 IMO 조종성 기준에서는 그 기준이 항적(Path

length)으로 표시되어 있고, 그 값은 10° 타각을 주었을 경우, 선박이 실제로 항주한 거리는 선박길이의 2.5배 이내이어야 한다. 본 해양조사선은 10° 타각에서 2.5L을 넘지 않아 IMO 기준을 잘 만족하고 있음을 알 수 있었다.

**Table 3.6** Initial Turning Time of Marine Research Vessel

Item		Rudder Angle(°)	
		10°	
Time to arrive Rudder Angle (sec)		PORT	STBD
		3	
Initial Turning Time (sec)	16.0 kts	14.3	14.0
Path Length (m)	16.0 kts	146	143
	Average	145 (2.43L)	

### 3.3.1.3 초기 선회성능에 대한 시뮬레이션 및 시운전 결과의 비교 평가

상세설계 해양조사선의 Initial Turning Test를 시뮬레이션 한 결과 Initial track reach는 1.76 L(103.2 m)로 IMO Maneuverability Criteria인 2.5 L보다는 작게 나타났음을 확인할 수 있었다. 시운전 한 결과 Path length는 2.43 L(145 m)로 IMO Maneuverability Criteria인 2.5 L을 넘지 않아 IMO 기준을 잘 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

대상선박의 초기 선회성능에 있어서는, 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 시운전시의 실제 자연환경에 의한 외력이 시뮬레이션시보다 크게 작용하였기 때문으로 판단된다.

### 3.3.2 대상 선박의 선회성능

선회시험(Turning Test)은 일정 속도(보통 설계속도)로 직진하다가 최대 타각(35°)으로 돌리고 엔진은 제어하지 않고 일정하게 유지한 상태에서 선박이 360° 회전할 때까지 수행한다. 시험이 시작되면 시간에 따라 변하는 선속, 선수각, 선박의 궤적을 기록한다. 여기서 선회종거(Advance)와 선회횡거(Transfer)는 타를 작동한 후 선박이 90° 회전할 때까지 이동한 전진방향과 횡방향의 이동거리를 나타내며, Tactical diameter는 선박이 180° 회전했을 때까지 이동한 횡방향 거리이다. 전진거리는 전방에 나타난 장애물을 선회하여 회피할 때 필요한 최소거리라는 점에서 선회능력을 판단하는 중요한 값이다.

IMO 조종성 기준을 만족하려면 Table 3.1에서 보듯이 35° 타각 혹은 최대 타각에서 수행한 선회시험 결과에서의 Advance가 선박 길이의 4.5배 이하, Tactical Diameter가 선박 길이의 5배 이하가 되어야 한다.



### 3.3.2.1 시뮬레이션의 선회성능

다음의 그림에서는 35° Turning Test를 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다. 선박의 운항속도는 16.0 knots로 시뮬레이션 되었다. Advance는 3.6L이고, Transfer는 1.75L, Tactical diameter는 3.85L로 각각 IMO Maneuverability Criteria보다는 작게 나타났음을 확인할 수 있다.

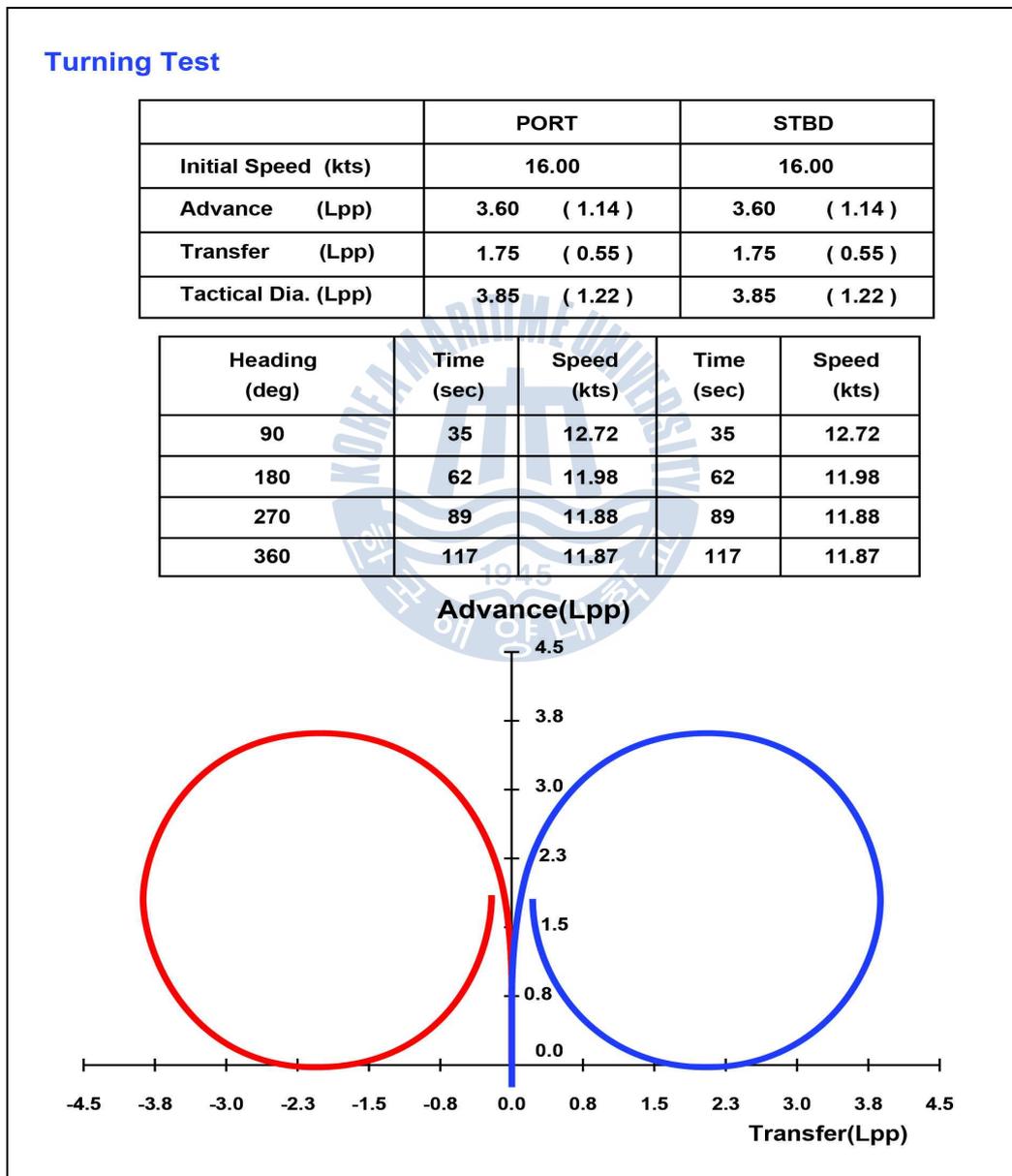


Figure 3.7 상세설계 선박의 35° Turning Test 시뮬레이션 결과

### 3.3.2.2 시운전 시의 선회성능

Table 3.7 ~ 3.9는 해양조사선의 Turning Test를 시운전한 결과를 보여주고 있다. Figure 3.8에서 나타난 것과 마찬가지로 Tactical diameter는 2.6 L, Advance는 3.2 L로 IMO Maneuverability Criteria인 5.0 L, 4.5 L을 만족함을 확인할 수 있다.

**Table 3.7** Turning Time of Marine Research Vessel (PORT 35°)

TURNING TRIAL (PORT 35°)					
Speed		16.0 kts	Rudder Angle	PORT 35°	
Results	Advance	191 m	Tactical Diameter	153 m	
	Transfer	60 m	Final Diameter	141 m	
Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)
0	59.2	16.00	140	331.0	8.48
10	58.1	15.00	150	297.8	8.29
20	26.9	14.28	160	263.7	8.06
30	345.1	10.89	167	238.2	8.18
40	309.0	8.90			
50	272.4	8.37			
60	232.1	8.13			
70	197.4	8.13			
80	165.5	8.57			
90	133.9	8.88			
100	99.5	9.18			
110	68.2	9.19			
120	37.2	9.17			
130	4.0	8.79			

**Table 3.8** Turning Time of Marine Research Vessel (STBD 35°)

TURNING TRIAL (STBD 35°)					
Speed		16.0 kts	Rudder Angle	STBD 35°	
Results	Advance	190 m	Tactical Diameter	155m	
	Transfer	60 m	Final Diameter	140m	
Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)
0	199.0	16.00	140	302.8	7.49
10	201.7	15.34	150	336.3	7.83
20	238.4	12.45	160	9.0	8.15
30	283.3	9.15	167	19.0	8.11
40	320.2	8.05			
50	357.5	8.00			
60	31.7	8.08			
70	63.7	8.41			
80	97.0	8.28			
90	128.0	8.08			
100	160.2	7.95			
110	194.0	7.64			
120	230.4	7.31			
130	267.8	7.27			

Table 3.9 Sea trial Test results

TURNING TRIAL (선회 시험 판정 기준 및 결과)						
항 목	판 정 기 준					
Tactical Diameter	Speed 16.0 kts 이상, 타각 35도 : 5.0L 이하					
Advance	Speed 16.0 kts 이상, 타각 35도 : 4.5L 이하					
Speed	R/A (타각)	Tactical Diameter		Advance		결 과
		계측	평균	계측	평균	
16.0 kts	PORT 35°	153 m	154 m (2.6L)	191 m	191 m (3.2L)	만 족
16.0 kts	STBD 35°	155 m		190 m		만 족
Speed (kt)	Rudder Angle	Advance	Transfer	Tactical Diameter	Final Diameter	Max. Heeling
16.0 kts	PORT 10°	319 m	154 m	355 m	340 m	11.0°
16.0 kts	STBD 10°	312 m	150 m	341 m	330 m	11.0°
16.0 kts	PORT 35°	191 m	60 m	153 m	141 m	17.0°
16.0 kts	STBD 35°	190 m	60 m	155 m	140 m	16.5°

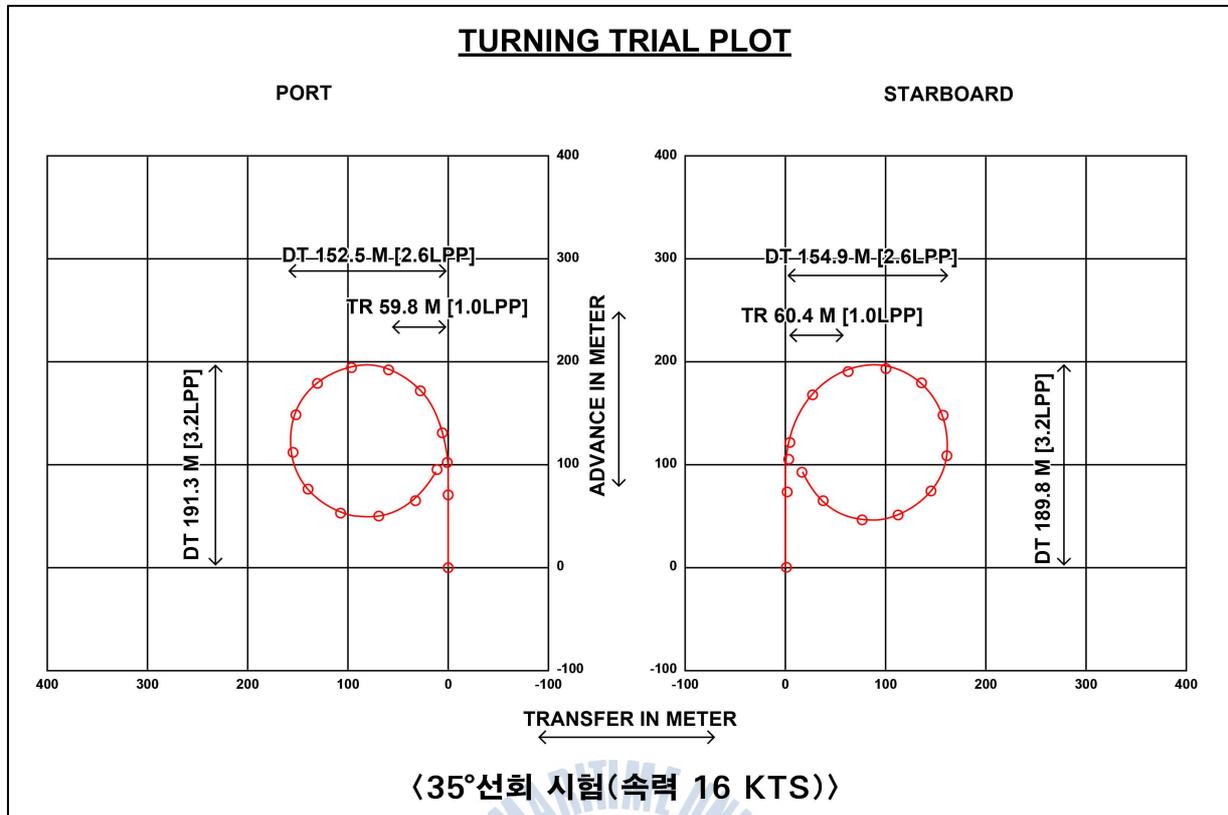


Figure 3.8 시운전 선박의 선회성능 Test 결과

Table 3.10은 2012년 5월 3일 실시한 선회권 시험 결과로서 타각 35° 로 선회하였을 경우, Advance가 2.9L이고, Tactical Diameter가 3.5L로 측정 되었다. 이는 IMO에서 요구하는 조종성 기준의 Advance(4.5L) 및 Tactical Diameter(5.0L)의 범위를 잘 만족하고 있다.

Table 3.10 Turning Ability of Marine Research Vessel

Rudder Angle(°)	10°		35°	
	PORT	STBD	PORT	STBD
Speed(Initial/End) (kts)	16.0/14.21	16.0/13.54	16.0/9.18	16.0/7.61
Time of Turning (sec)	169	161	113	111
Advance (m)	319 (5.4L)	312 (5.3L)	191 (3.2L)	190 (3.2L)
Transfer (m)	154 (2.6L)	150 (2.5L)	60 (1.0L)	60 (1.0L)
Tactical Diameter (m)	355 (6.0L)	341 (5.7L)	153 (2.6L)	155 (2.6L)

### 3.3.2.3 선회성능에 대한 시뮬레이션 및 시운전 결과의 비교 평가

선박의 운항속도 16knots로 시뮬레이션 한 결과는 Advance 3.6L, Transfer 1.75L, Tactical diameter는 3.85L로 각각 IMO Maneuverability Criteria보다는 작게 나타났음을 확인할 수 있다. 시운전 Test한 결과로는 Advance는 3.3 L, Tactical diameter는 2.6 L로 IMO Maneuverability Criteria인 4.5 L, 5.0 L을 만족함을 확인할 수 있다.

대상선박의 선회성능에 있어서는, 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 작은 것을 알 수 있었다.

### 3.3.3 대상 선박의 변침성능

변침성능을 검증하기 위한 시험으로 Zig-zag Test가 있다. Zig-zag Test는 전진 중 선박의 조종특성 즉, 오버슈트 선회각(Overshoot yaw Angle) 및 오버슈트 폭(Overshoot width of path)을 알기 위해 실시한다. 일정 속도(보통 설계속도)로 직진하다가 타각을  $10^\circ$  돌리고 선회하는 선박의 선수각이  $10^\circ$ 에 도달하면 타를 반대 방향으로  $10^\circ$  돌린다. 원침로 반대편으로 선수각이  $10^\circ$ 가 되면 다시 반대 방향으로 타를 돌리게 되는데, 이 때 선박은 Zig-zag 운동을 하게 되므로, 이를 Zig-zag Test라고 한다. 통상 수행되는 시험은  $10^\circ/10^\circ$  및  $20^\circ/20^\circ$  Zig-zag Test이다.

#### 3.3.3.1 시뮬레이션의 변침성능

다음의 그림에서는  $10^\circ/10^\circ$  Zig-zag Test를 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다. 선박의 운항속도는 16 knots로 시뮬레이션 되었다.  $10^\circ/10^\circ$  Zig-zag Test의 시뮬레이션 결과 1st Overshoot angle은  $8.98^\circ$ , 2nd Overshoot angle은  $10.74^\circ$ 로 계

산되었다. 이는 IMO Maneuverability Criteria보다 작음을 알 수 있다. 10°/10° Zig-zag Test의 1st Overshoot angle의 Criteria를 검은색 실선으로 표시하고 있다. 단, 2nd Overshoot angle의 criteria는 25°로 시뮬레이션 결과와 비교할 때, 그 차이가 크기 때문에 표시하지 않았다.

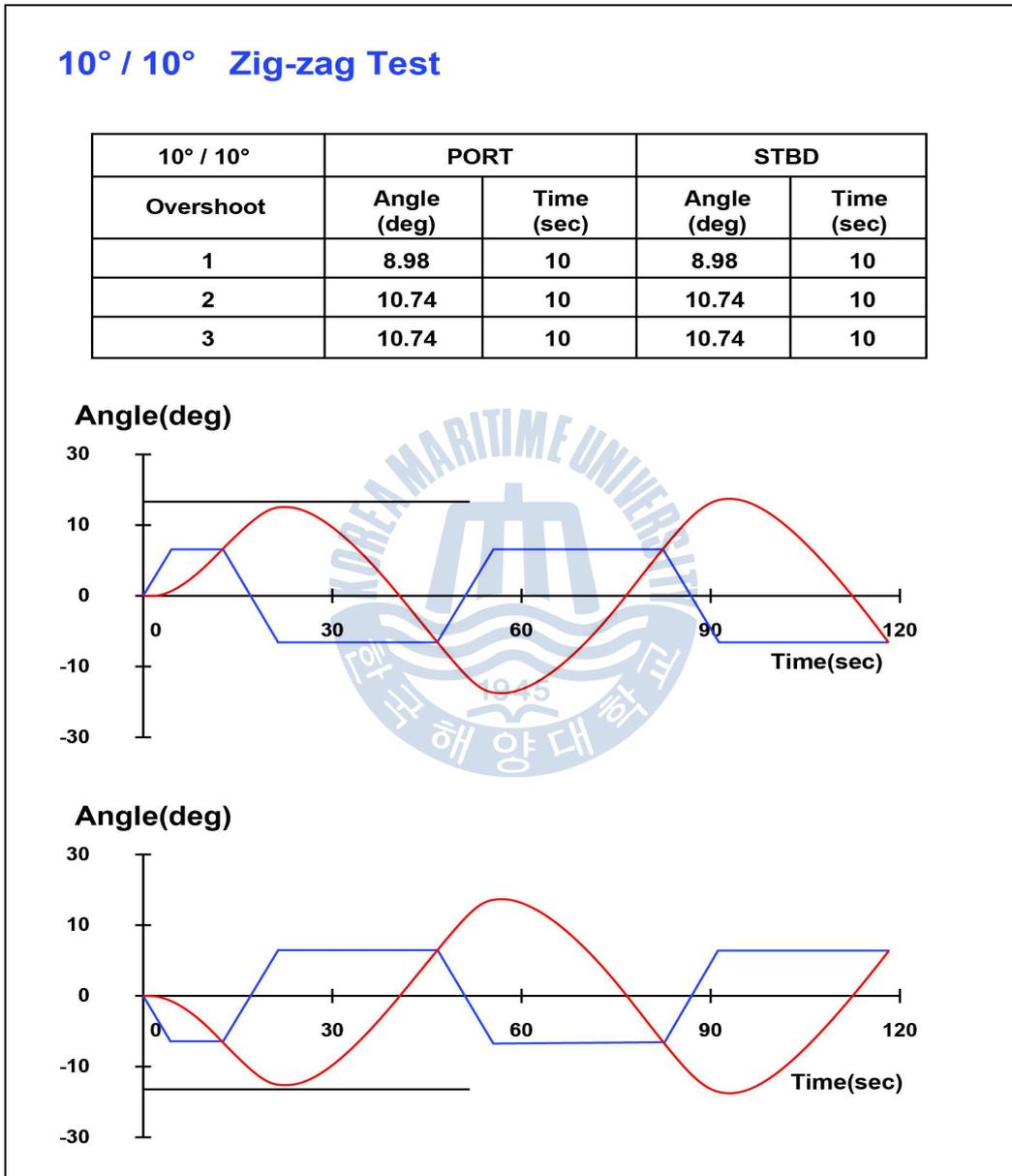


Figure 3.9 상세설계 선박의 10° / 10° Zig-zag Test 시뮬레이션 결과

다음의 그림에서는 20°/20° Zig-zag Test를 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다. 선박의 운항속도는 16knots로 시뮬레이션 되었다. 20°/20° Zig-zag Test의 시뮬레이션 결과 1st Overshoot angle은 23.31°로 계산되었다. 이는 IMO Maneuverability Criteria보다 작음을 알 수 있다. 20°/20° Zig-zag Test의 1st Overshoot angle의 Criteria를 검은색 실선으로 표시하고 있다.

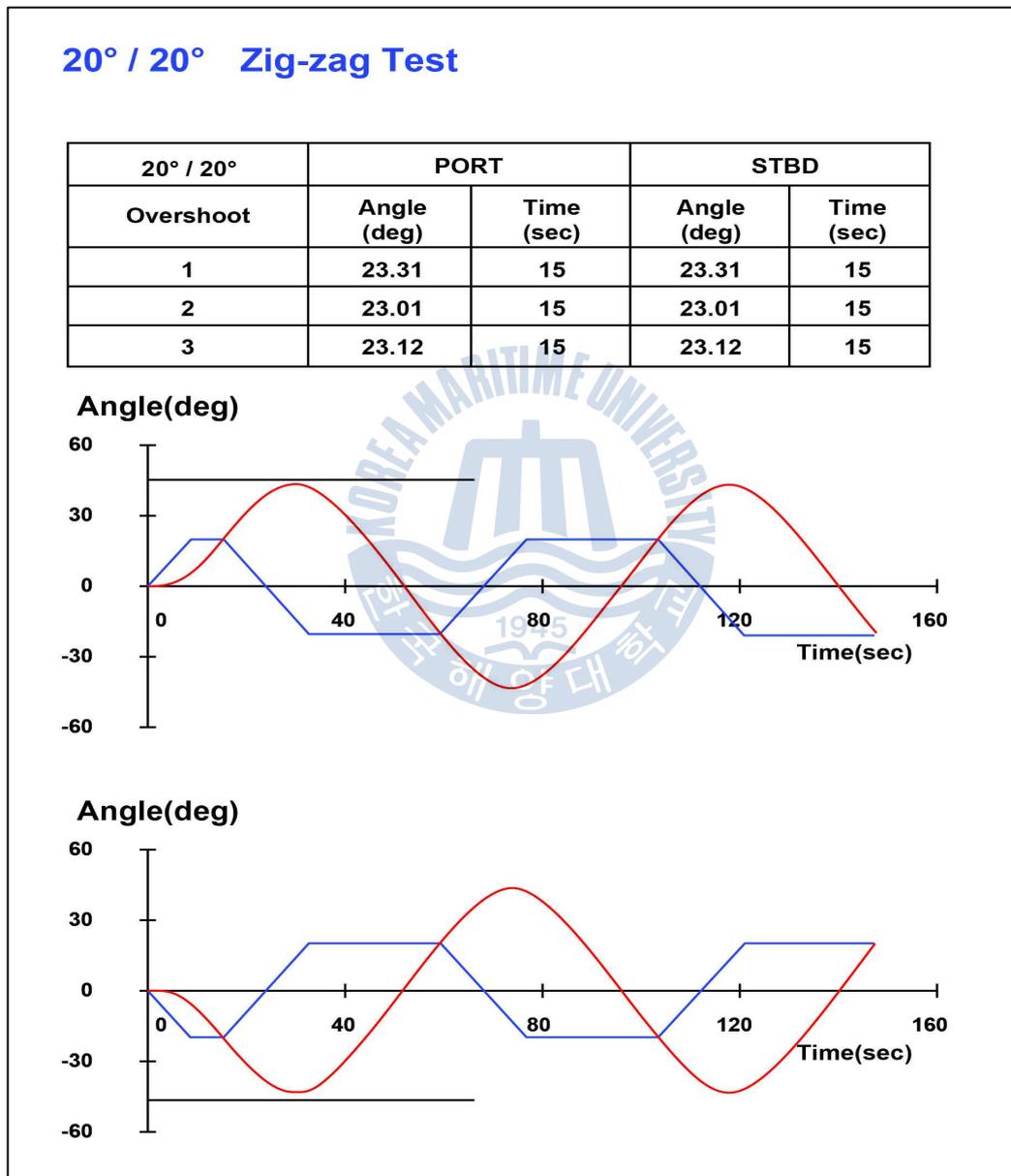


Figure 3.10 상세설계 선박의 20° / 20° Zig-zag Test 시뮬레이션 결과

### 3.3.3.2 시운전 시의 변침성능

다음의 Figure 3.11과 3.12에서 Zig-zag Test를 할 때 측정된 타각과 선수각을 살펴보면, 선회하고 있는 선박에 반대 방향의 타각을 가하여도 선박은 곧바로 반대 방향으로 움직이지 않고 얼마간 더 선회하게 된다. 타를 반대방향으로 작동한 후에도 더 돌아가는 각도를 Overshoot angle이라고 하며, 첫 번째 및 두 번째 Overshoot angle을 변침성능을 판단하는 자료로 사용한다. 즉, Overshoot angle이 크면 클수록 변침성능이 나쁜 선박이 된다.

또한, 10°/10° Zig-zag test에서 처음에 타를 돌리고 선수각이 10°에 도달한 시간을 초기 선회시간(Initial turning time)이라고 하는데 초기 선회능력을 나타내는 척도로 사용한다. 즉, 이 값으로부터 타를 돌린 후 얼마나 빨리 원하는 선수각을 얻을 수 있는지를 알 수 있다. IMO 조종성 기준을 만족하려면 10°/10° Zig-zag test에서는 첫 번째 Overshoot angle이 10° 이내, 두 번째 Overshoot angle이 25° 이내, 그리고 20°/20° Zig-zag test에서는 첫 번째 Overshoot angle이 25°이내 이어야 한다.

시험 방법으로는 직선 침로를 유지하며 항진하다가 시험시작 신호와 함께 타를 우현 10°/20° 돌리고 선수각이 초기 침로로부터 우현으로 10°/20° 바뀔 때까지 그 상태를 유지한다. 선수각이 초기 침로로부터 우현으로 10°/20° 바뀌는 순간 타를 좌현으로 10°/20° 돌리고 선수각이 초기 침로로부터 좌현으로 10°/20° 바뀔 때까지 그 상태를 유지한다. 선수각이 초기 침로로부터 좌현으로 10°/20° 바뀌는 순간 타를 우현으로 10°/20° 돌리고, 선수각이 초기 침로로부터 우현으로 10°/20° 바뀔 때까지 그 상태를 유지한다. 선수각이 초기 침로로부터 우현으로 10°/20° 바뀌는 순간 타를 좌현으로 10°/20° 돌리고 선수각이 초기 침로로 될 때까지 유지한다.

**Table 3.11** Ship's Conditions on Zig-zag Test

Date	2012. 5. 03 Sea trial
Item	
Displacement (ton)	1915.3
Draft(F/M/A) (m)	4.45 / 4.51 / 4.56
Wind dir / speed	SE 4~5 m/s
Wave height (m)	0.7
Depth (m)	21
RPM (No.1/2)	225 / 225
Generator(No.1/2/3/4)kW	984 / 983 / 984 / 981

**Table 3.12** 10° / 10° Zig-zag Test of Marine Research Vessel

Sea trial of Zig-zag Test					
(1) 10° / 10° Zig-zag Test					
Order	Item	Elapsed Time (sec)	Order	Item	Elapsed Time (sec)
(1) STBD 10°	R/A(타각)	2	(3) STBD 10°	R/A	4
	Heading	12		Heading	38
(2) PORT 10°	R/A	4	(4) PORT 10°	R/A	4
	Heading	38		Heading	41
Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)
0	230.3	16.5	70	207.1	15.3
10	237.7	16.3	80	222.3	15.3
20	247.6	16.4	90	244.7	15.1
30	248.5	16.2	100	262.7	14.9
40	237.7	16.0	110	257.8	14.9
50	220.3	15.8	120	246.3	14.9
60	203.4	15.6			

Table 3.13 20° / 20° Zig-zag test of Marine Research Vessel

Sea trial of Zig-zag Test					
(2) 20° / 20° Zig-zag Test					
Order	Item	Elapsed Time (sec)	Order	Item	Elapsed Time (sec)
(1) STBD 20°	R/A(타각)	4	(3) STBD 20°	R/A	8
	Heading	16		Heading	38
(2) PORT 20°	R/A	9	(4) PORT 20°	R/A	8
	Heading	47		Heading	41
Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)
0	239.9	16.3	80	205.6	13.0
10	247.7	15.9	90	228.6	13.1
20	274.8	14.4	100	261.4	12.3
30	284.0	13.6	110	291.8	11.7
40	274.6	14.4	120	293.2	12.7
50	253.6	14.0	130	273.4	13.6
60	226.5	12.8	140	244.2	13.4
70	202.5	12.9			
(3) Zig-zag Test 판정 기준 및 결과					
항목	판정기준			측정값	결과
10°/10°	16kts 이상 : 10 이하(1st Overshoot)			9.0	만족
	16kts 이상 : 25 이하(2nd Overshoot)			17.7	만족
20°/20°	16kts 이상 : 25 이하(1st Overshoot)			24.0	만족

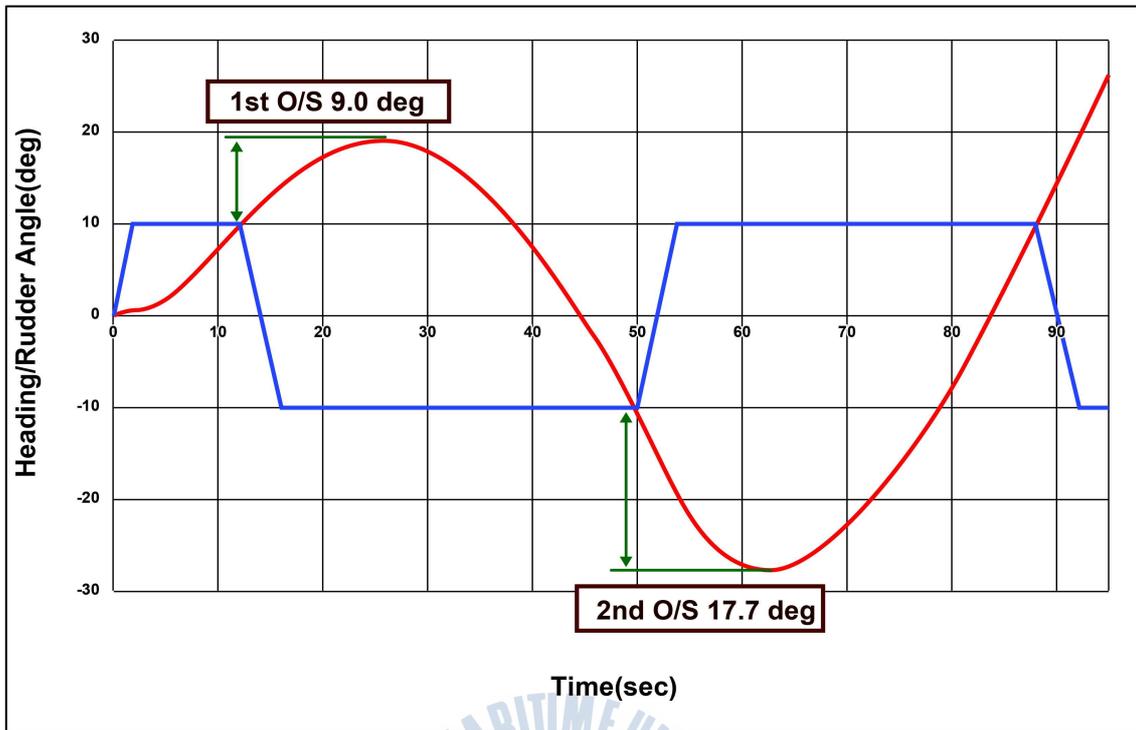


Figure 3.11 시운전 선박의 10° / 10° Zig-zag Test 결과

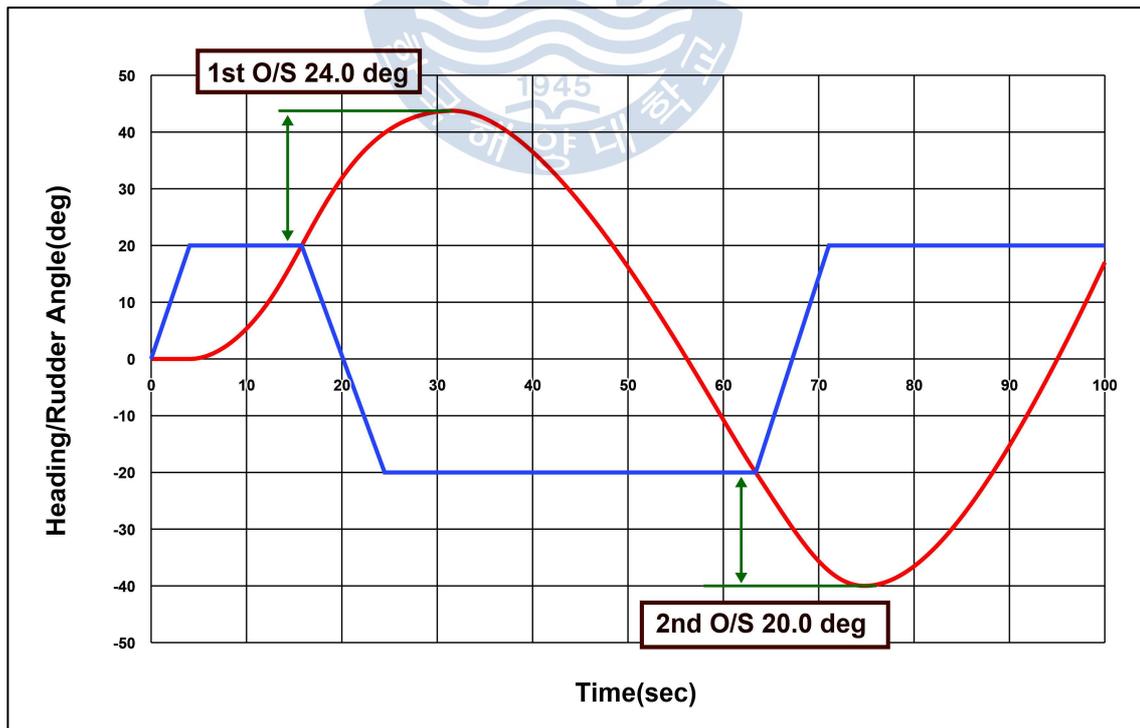


Figure 3.12 시운전 선박의 20° / 20° Zig-zag Test 결과

### 3.3.3.2 변침성능에 대한 시뮬레이션 및 시운전 결과의 비교 평가

10°/10° Zig-zag Test의 시뮬레이션 결과 1st Overshoot angle은 8.98°, 2nd Overshoot angle은 10.74°로 나타났다. 20°/20° Zig-zag Test의 시뮬레이션 결과 1st Overshoot angle은 23.31°로 이는 IMO Maneuverability Criteria를 만족한다.

10°/10° Zig-zag Test의 시운전한 결과 1st Overshoot angle은 9.0°, 2nd Overshoot angle은 17.7°로 나타났다. 20°/20° Zig-zag Test의 시뮬레이션 결과 1st Overshoot angle은 24.0°로 이는 IMO Maneuverability Criteria를 만족한다.

대상 선박의 변침성능에 있어서는, 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 시운전시의 실제의 외력조건이 시뮬레이션시보다 크게 작용하였기 때문으로 판단된다.

### 3.3.4 대상 선박의 정지성능

정지시험(Crash astern Test)은 정상 항해 중에 긴급 상황이 발생하여 프로펠러의 후진력에 의하여 선박을 정지시킬 수 있는 능력을 평가하기 위한 시험이다. 정지시험은 최대속도로 전진(Full ahead)하다가 프로펠러를 가능한 최대 회전수로 역전(Full astern)시킨 후 선박이 완전히 정지할 때까지의 거리(최단정지거리)를 측정하는 시험이다. IMO 조종성 기준은 정지거리가 배 길이의 15 L 이내이다.

#### 3.3.4.1 시뮬레이션의 정지성능

다음 그림에서는 Crash astern Test를 시뮬레이션 한 결과를 보여주고 있다. 선박의 운항속도는 16.9 knots로 시뮬레이션 되었다. 시뮬레이션 시 이동거리가 430m(7.3L)로 계산되었다. 이는 IMO Maneuverability Criteria보다 작음을 알 수 있다.

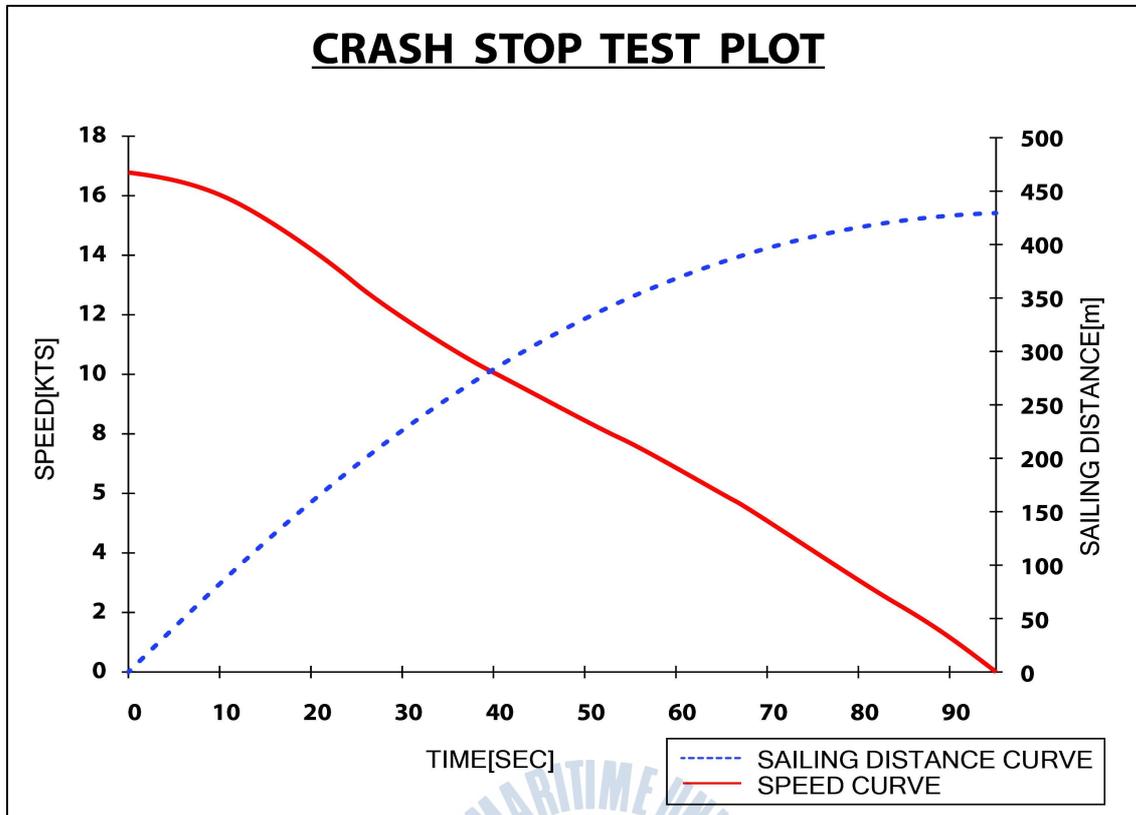


Figure 3.13 상세설계 선박의 Crash astern Test 시뮬레이션 결과

### 3.3.4.2 시운전시 정지성능

Full Speed Mode의 최대 전진 및 후진 속력에서 각각 실시된다. 시험 방법으로는 최대 속력으로 전진하다가 발령 형태(전속전진 → 전속후진, 전속후진 → 전속전진)에 따라 Telegraph를 신속하게 해당 위치로 이동시킨다. 본 시험이 실시되는 동안 타의 위치는 중립(0도)을 유지한다. Doppler Speed Log의 속력이 '0'이 되면 선박이 정지 및 Test가 완료된 것으로 간주한다. Table 3.14는 정지성능 Test 시의 선박 상태를 나타낸다.

**Table 3.14** Ship's Conditions on Crash stop Test

Date	2012. 5. 03 Sea trial
Item	
Displacement (ton)	1916.1
Draft(F/M/A) (m)	4.50 / 4.51 / 4.50
Wind dir / speed	SE 4~6 m/s
Wave height (m)	1.5
Depth (m)	65
RPM (No.1/2)	233 / 233
Generator(No.1/2/3/4)kW	1100 / 1103 / 1104 / 1101

**Table 3.15** Crash Astern Test Results of Marine Research Vessel

CRASH ASTERN TEST					
(1) 후진타력, 전진타력 시험 결과					
<u>후진타력</u>			<u>전진타력</u>		
이동거리 :	381	미터	이동거리 :	134	미터
Time (sec)	Heading (°)	Speed (knots)	Time (sec)	Heading (°)	Speed (knots)
0	58.8	17.2	0	310.1	7.6
10	58.5	16.2	10	300.5	7.2
20	57.7	13.9	20	290.6	6.2
30	56.0	10.7	30	283.4	4.3
40	52.4	9.3	40	277.4	2.9
50	48.3	7.1	50	273.5	1.7
60	42.4	5.0	55	271.5	0.0
70	37.0	2.4			
80	30.6	0.7			
84	28.0	0.0			
(2) 후진타력 시험 판정 기준 및 결과					
판정기준		이동거리		결과	
15 L 이하		381m (6.5L)		만족	

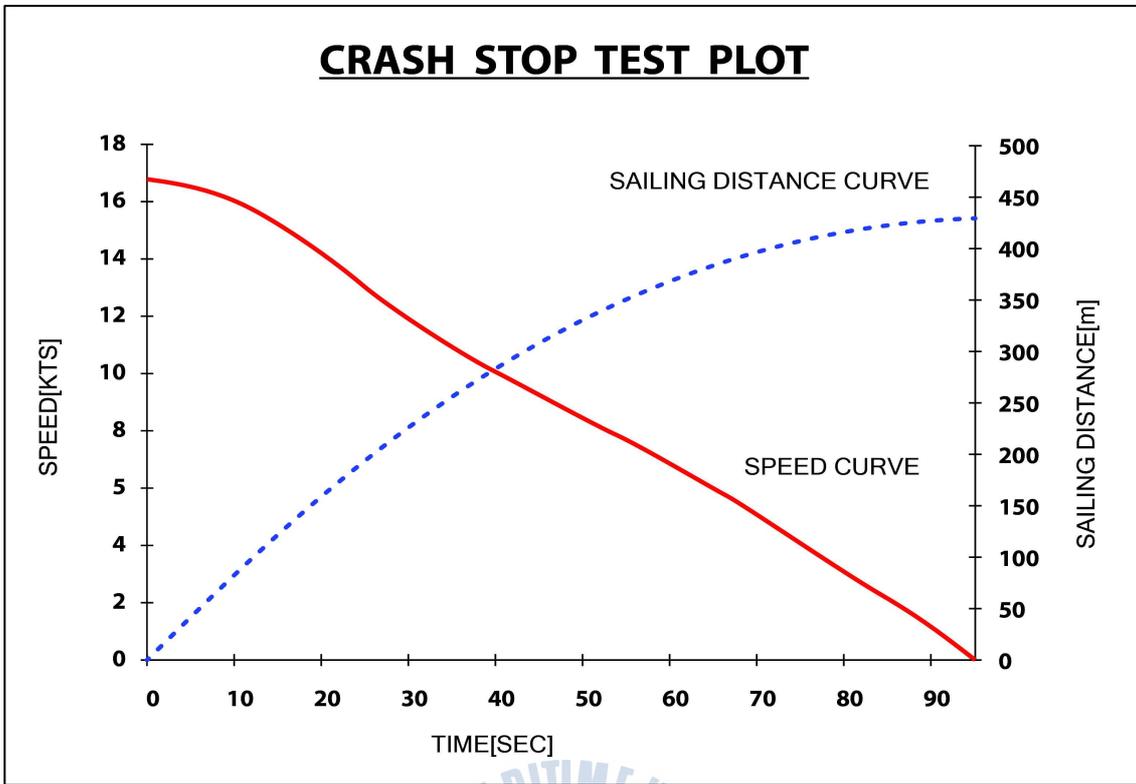


Figure 3.14 시운전 선박의 정지성능 Test 결과

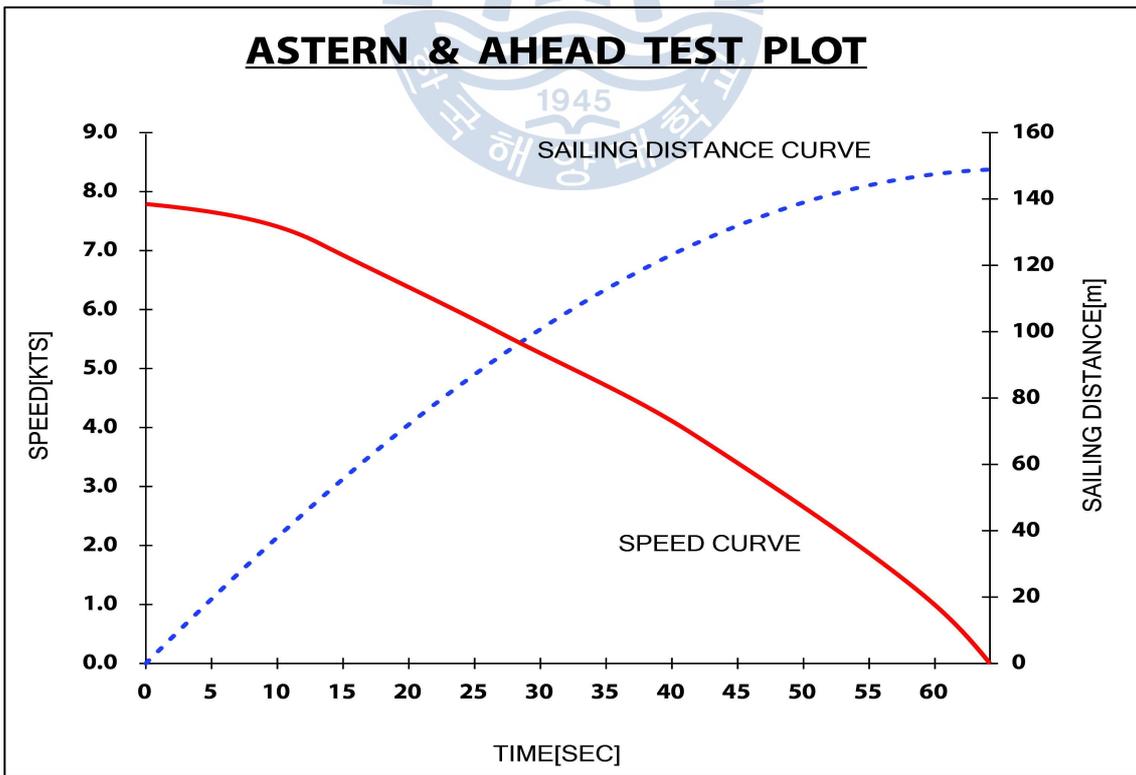


Figure 3.15 시운전 선박의 Astern to Ahead성능 Test 결과

### 3.3.4.3 정지성능에 대한 시뮬레이션 및 시운전 결과의 비교 평가

선박의 운항속도 16.9 knots에서 Crash astern Test를 시뮬레이션 한 결과 이동 거리가 430m(7.3L)로 나타났으며 이는 IMO Maneuverability Criteria(15L)보다 작음을 알 수 있다. 선박의 운항속도 17.2 knots에서 Crash astern Test를 시운전 결과는 381m(6.5L)로 IMO Maneuverability Criteria(15L)보다 작음을 알 수 있다.

대상 선박의 정지성능에 있어서는, 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 작게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 시운전시의 실제 자연환경에 의한 외력이 시뮬레이션시보다 크게 작용하였기 때문으로 판단된다.



### 3.3.5 대상 선박의 침로안정성능

나선시험(Spiral test)은 선박의 침로안정성을 정량적으로 측정하기 위한 시험이다. 시험은 처음에 타각을 우현 20°(STBD 20°)로 시작하여 15°, 10° 등으로 타각을 줄였다가, 반대편 타각 좌현 20°까지 수행한다. 다음에는 반대로 타각을 좌현 20°(PORT 20°)에서 시작하여 15°, 10° 등으로 타각을 줄였다가, 우현 20°까지 선회시험을 수행한다. 각 선회시험에서 측정된 선박의 선회각속도를 타각에 대하여 그린 곡선은 보통 나선(Spiral)이 되는데, 이 곡선으로부터 선박의 침로안정성 여부를 판단할 수 있다. 침로안정성이 좋은 선박은 단일 곡선으로 나타나지만, 침로가 불안정한 선박은 이중 곡선 형태를 보이며, 곡선의 폭이 20°이상이면 조종이 불가능하게 된다.

### 3.3.5.1 시뮬레이션의 침로안정성능

다음의 그림은 상세설계 선박의 Spiral Test 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 선박의 운항속도 16 knots에서 타각을 우현 15°(STBD 15°)로 시작하여 10°, 5°등으로 타각을 줄였다가, 반대편 타각 좌현 15°까지 수행하고, 다음에는 반대로 타각을 좌현 15°(PORT 20°)에서 시작하여 10°, 5° 등으로 타각을 줄였다가, 우현 15°까지 시뮬레이션 되었다.

그림에서 나타난 것과 마찬가지로 선수각 평균변화율(deg/sec)이 3.0을 넘지 않으며, 나선곡선이 단일곡선에 가까운 형태로 나타나므로 침로 및 방향 안정성이 좋은 것으로 판단된다.

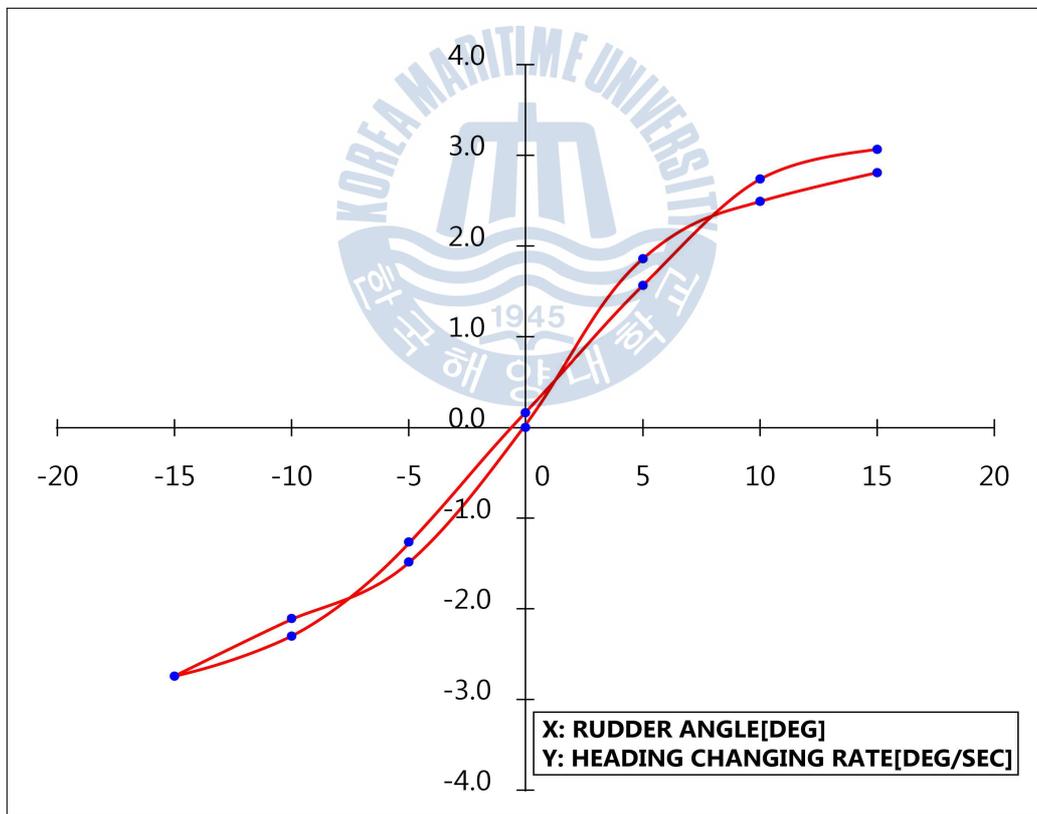


Figure 3.16 상세설계 선박의 Spiral Test 시뮬레이션 결과

### 3.3.5.2 시운전시 침로안정성능

본 시험은 선박의 방향 안정성(Directional Stability)을 알기 위하여 실시한다. 시험 방법으로는 직선 침로를 유지하다가 시험시작과 함께 타를 우현으로 15도 돌리고 선수각의 변화가 일정하게 되면 계측한다. 계측이 완료되면 타를 우현 15도에서 우현 10도로 돌리고 선수각의 변화가 일정하게 되면 계측한다. 상기와 같은 방법으로 우현 5도, 0도 좌현 5도, 10도, 15도 그리고 10도, 5도, 0도, 우현 5도, 10도, 15도까지 연속으로 실시한다. Table 3.16은 침로 안정성능 시험시 선박상태를 나타낸다.

**Table 3.16** Ship's Conditions on Spiral Test

Item	Date
	2012. 5. 03 Sea trial
Displacement (ton)	1915.3
Draft(F/M/A) (m)	4.45 / 4.51 / 4.56
Wind dir / speed	SE 2~4 m/s
Wave height (m)	0.5
Depth (m)	19
RPM (No.1/2)	225 / 225
Generator (No.1/2/3/4) kW	943 / 943 / 939 / 946

Table 3.17 Spiral Test of Sea trial 1

SPIRAL TEST (나선 조종 시험)					
(1) 나선 조종 시험 결과					
No. 1		Rudder Angle : STBD 15°	No. 2		Rudder Angle : STBD 10°
TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )	TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )
0	286.2	-	0	163.0	-
10	319.6	33.4	10	189.5	26.5
20	351.9	32.3	20	216.7	27.2
30	25.4	33.5	30	244.2	27.5
40	52.9	27.5	40	271.7	27.5
50	81.3	28.4	50	299.3	27.6
60	107.8	26.6	60	326.2	26.9
Heading Changing Rate(° /sec)		3.0	Heading Changing Rate(° /sec)		2.7
No. 3		Rudder Angle : STBD 5°	No. 4		Rudder Angle : 0°
TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )	TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )
0	16.4	-	0	134.1	-
10	30.1	13.7	10	137.0	2.8
20	45.9	15.8	20	138.7	1.7
30	61.2	15.3	30	140.1	1.4
40	78.5	17.4	40	141.4	1.3
50	95.1	16.6	50	142.9	1.6
60	108.8	13.7	60	144.0	1.0
Heading Changing Rate(° /sec)		1.5	Heading Changing Rate(° /sec)		0.2

Table 3.18 Spiral Test of Sea trial 2

SPIRAL TEST (나선 조종 시험)					
No. 5		Rudder Angle : PORT 5°	No. 6		Rudder Angle : PORT 10°
TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )	TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )
0	138.7	-9.7	0	11.5	-
10	128.9	-11.9	10	346.9	-24.7
20	117.1	-13.7	20	322.6	-24.3
30	103.3	-16.0	30	299.7	-22.8
40	87.4	-16.5	40	277.8	-21.9
50	70.9	-16.4	50	254.9	-22.9
60	54.6	-16.4	60	232.8	-22.1
Heading Changing Rate(° /sec)		-1.4	Heading Changing Rate(° /sec)		-2.3
No. 7		Rudder Angle : PORT 15°	No. 8		Rudder Angle : PORT 10°
TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )	TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )
0	175.8	-	0	328.7	-
10	147.1	-28.7	10	307.8	-20.9
20	118.3	-28.8	20	286.9	-20.9
30	91.1	-27.2	30	265.3	-21.7
40	63.9	-27.2	40	243.1	-22.2
50	37.9	-26.0	50	219.6	-23.5
60	11.6	-26.2	60	197.3	-22.2
Heading Changing Rate(° /sec)		-2.7	Heading Changing Rate(° /sec)		-2.2

Table 3.19 Spiral Test of Sea trial 3

SPIRAL TEST (나선 조종 시험)					
No. 9		Rudder Angle : PORT 5°	No. 10		Rudder Angle : 0°
TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )	TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )
0	156.3	-	0	47.3	-
10	140.7	-15.6	10	46.1	-1.2
20	124.8	-15.9	20	46.3	0.2
30	109.5	-15.3	30	46.9	0.6
40	94.5	-15.0	40	48.1	1.2
50	79.7	-14.8	50	49.6	1.5
60	66.1	-13.6	60	51.6	1.9
Heading Changing Rate(° /sec)		-1.5	Heading Changing Rate(° /sec)		0.1
No. 11		Rudder Angle : STBD 5°	No. 12		Rudder Angle : STBD 10°
TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )	TIME (sec)	HEADING ( ° )	Heading Changing Degree( ° )
0	74.5	-	0	248.1	-
10	90.6	16.2	10	274.7	26.7
20	109.6	19.0	20	299.0	24.3
30	128.8	19.2	30	323.3	24.3
40	147.5	18.8	40	350.6	27.3
50	166.8	19.3	50	11.8	21.2
60	184.9	18.1	60	36.3	24.5
Heading Changing Rate(° /sec)		1.8	Heading Changing Rate(° /sec)		2.5

Table 3.20 Spiral Test of Sea trial 4

SPIRAL TEST (나선 조종 시험)					
No. 13			Rudder Angle : STBD 15°		
TIME(sec)	HEADING( ° )		Heading Changing Degree( ° )		
0	112.9		-		
10	144.1		31.3		
20	172.2		28.0		
30	200.3		28.2		
40	227.6		27.2		
50	253.9		26.4		
60	278.6		24.7		
Heading Changing Rate(° /sec)			2.8		

No.	Rudder Angle (deg)	Heading Changing Rate (deg/sec)	No.	Rudder Angle (deg)	Heading Changing Rate (deg/sec)
1	STBD 15°	3.0	8	PORT 10°	-2.2
2	STBD 10°	2.7	9	PORT 5°	-1.5
3	STBD 5°	1.5	10	0°	0.1
4	0°	0.2	11	STBD 5°	1.8
5	PORT 5°	-1.4	12	STBD 10°	2.5
6	PORT 10°	-2.3	13	STBD 15°	2.8
7	PORT 15°	-2.7			

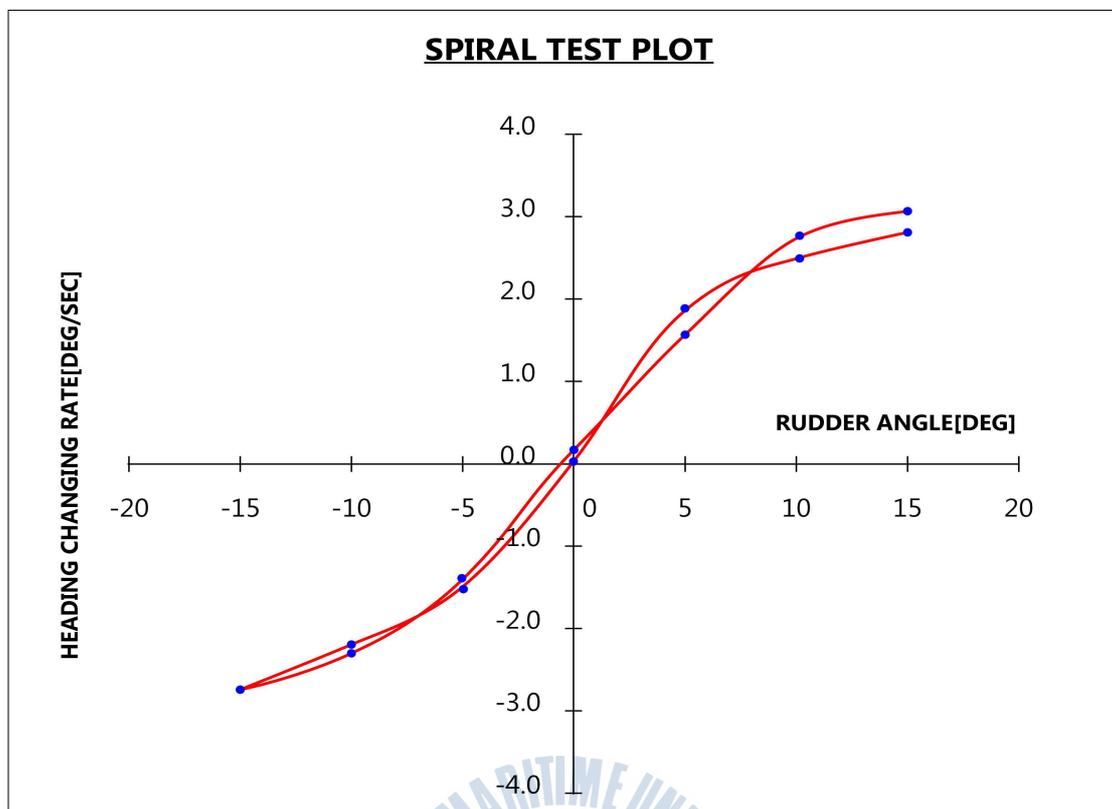


Figure 3.17 Spiral Test of Marine Research Vessel

선수각 평균변화율(deg/sec)이 -2.7 ~ 3.0을 넘지 않으며, 나선곡선이 단일곡선에 가까운 형태로 나타나므로 침로 및 방향 안정성이 좋은 것으로 판단된다.

### 3.3.5.3 침로안정성능에 대한 시뮬레이션 및 시운전 결과의 비교 평가

선박의 운항속도 16.0 knots에서 Spiral test를 시뮬레이션 및 시운전한 결과 선수각 평균변화율(deg/sec)이 3.0을 넘지 않으며, 나선곡선이 단일곡선에 가까운 형태로 나타나므로 침로 및 방향 안정성이 좋은 것으로 판단된다.

대상선박의 침로안정성능에 있어서는, 실선의 시운전 결과의 나선곡선이 시뮬레이션의 나선곡선보다 단일곡선에 더 가깝게 나타남으로써 침로안정성이 더 좋은 것을 알 수 있다. 이것은 시운전에서 대상선박의 Skeg의 영향이 침로안정성에 크게 기여한 것으로 판단된다.

### 3.4 Twin screw 선의 특성과 조종성 지수 및 침침로 거리

Twin screw type은 선박 조선적(操船的)인 견지에서 보면 Single screw에 비하여 Table 3.21과 같이 기동성을 요하거나 연안항해 및 협수로 등에서 침로안정성을 유지하면서 항해하여야 하는 선박에 매우 유리하므로 해양조사선이나 여객선, 군함 등에 탑재된다.

Table 3.21 Twin screw 선박의 장단점

장 점	단 점
Rudder에 고장이 나더라도 Twin screw로 직진 또는 회두가 가능하고 한쪽 기관이 고장이 나더라도 Rudder를 사용하여 직진이 가능하므로 항해가 가능함	Screw가 양현에 돌출하여 있기 때문에 안벽, 표류물 등에 접촉하여 파손당하기 쉬우며, 특히 안벽에 계류 또는 이안할 때에는 계류색이 Screw에 감기기 쉬움
조선이 비교적 용이	Shaft tunnel을 두 개로 하여야 하기 때문에 선창 용적이 협소
최단정지거리가 짧아짐	같은 추력을 내기 위하여 기관 용적을 크게 하여야 하고 연료소비가 많음

#### 3.4.1 대상 선박의 프로펠러 작동에 의한 회두작용

본 대상 선박은 전진 추력을 낼 때 우현 추진기는 좌현쪽으로 돌고, 좌현 추진기는 우현쪽으로 돌아가는 Inward rotation 방식(내선식)을 채용했다.

쌍추진기 선에서는 Twin screw가 각기 반대방향으로 돌면서 추력을 발생하고 있기 때문에 Twin screw에 같은 RPM으로 전진 또는 후진을 걸 때는 비대칭적인 횡방향 힘은 서로 상쇄되고, Rudder가 Midship이면 똑바로 전진 또는 후진하여 Single screw에서 생기는 회두작용은 없다. 그러나 각각의 Screw를 추진력이 반대로 나오도록 운전할 때는 큰 회두우력이 생겨서 선박은 제자리에서 곧바로 대각도 선회를 할 수 있다.

본선 Screw propeller를 한쪽만 사용할 때 전진 RPM 50일 경우 약 3.70 knots, 후진 RPM 50 일 경우 -1.52 knots, 후진 RPM 100일 경우 -3.83 knots를 낼 수 있다. 아래의 Table 3.22 ~ 3.25는 타를 사용하지 않고 양현의 추진기를 반대로 추력을 발생시켜 제자리에서 180도 선회한 결과를 나타낸다.

**Table 3.22** Test for Maneuvering Performance Index 1

Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	R.O.T	RPM (PORT)	RPM (STBD)
0	040.3	0	+8°	+50	-100
4' -27 "	130.7	-1.3	+16°	+49	-102
2' -10 "	220.6	-1.7	+20°	+52	-103

**Table 3.23** Test for Maneuvering Performance Index 2

Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	R.O.T	RPM (PORT)	RPM (STBD)
0	237.3	0	+12°	+50	-50
6' -15 "	327.4	+2.2	+16°	+52	-48
3' -51 "	056.9	+2.6	+23°	+52	-51

**Table 3.24** Test for Maneuvering Performance Index 3

Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	R.O.T	RPM (PORT)	RPM (STBD)
0	150.7	0	+8°	-100	+52
4' -41 "	060.1	-1.3	+16°	-102	+54
2' -23 "	331.6	-1.7	+20°	-103	+53

Table 3.25 Test for Maneuvering Performance Index 4

Time (sec)	Heading (deg)	Speed (knots)	R.O.T	RPM (PORT)	RPM (STBD)
0	300.4	0	-11°	-50	+50
6' -03 "	210.7	+2.1	-17°	-51	+49
3' -51 "	120.9	+2.4	-21°	-52	+50

Inward방식이 Outward 방식보다 추진 및 타효 면에서는 약간 유리하지만 Outward방식은 회두성능이 좋다. Inward방식은 전진중에 타효에 있어서 조금 유리하지만 한쪽 전진, 다른 쪽 후진의 기관을 사용하여 회두할 때 다음의 불리한 점이 있다.

Inward방식은 횡압력의 작용이 우로 작용하고 또 좌현 암차의 배수류가 선미단을 우방으로 미는 측압작용을 하기 때문에 Twin screw에 의한 회두작용을 억제한다.

Outward 방식은 횡압력의 작용, 좌현암차의 흡수류에 의한 감압작용, 우현암차의 배수류에 의한 측압작용 모두 Twin screw에 의한 회두작용을 돕기 때문에 조선상 유리하다.

### 3.4.2 대상 선박의 조종성 지수

조종성 지수를 산출하기 위한 실험은 2012년 5월 29일 선회시험과 동시에 실시하였다. 실험방법은 일정침로를 유지하다가 해당 타각( $\delta$ )을 명령하고, 한 사람은 시작과 동시에 초시계를 가지고 1분까지는 2초 간격, 그 이후로는 5초 간격으로 알리고, 다른 사람은 그 때의 선수각(Heading)을 기록하였다. 또 다른 사람은 조타 구령 후 몇 초만에 해당 타각에 도달하는지 확인하였으며, 기타 자료도 참고하기 위해 속력(Speed), 타각(Rudder angle), 선회각속도(Rate of turn), 경사각(Heeling), RPM 등도 기록하였다.

Table 3.26는 우현(STBD)으로 타각 35°로 선회하였을 때 기록한 자료 중 일부를 나타내고 있다. 각 시각별 선수각으로부터 초당 선수각 변화에 해당되는 각속도를 구하여 그래프를 그리면 Figure 3.18~3.20과 같고, 그래프에서 각속도가 일정해지는 시점인 일정각속도( $\phi$ )는 부여한 타각의 K배이므로( $\phi = K\delta$ ), 여기서 선회성 지수(K)를 구할 수 있다. 또한  $K\delta$ 의 0.63배인 지점( $0.63 \times K\delta$ )의 시간축과 조타각 완성시간의 1/2인 시간의 차에 해당되는 시간이 추종성 지수(T)에 해당된다.

하지만, 선회시험 결과에서도 알 수 있듯이 선속에 따라 선회성능이 다르므로 선박의 길이(L)와 선속(u)으로 무차원하여 표시할 수 있다. 타 선박과 비교하여 K'가 크면 각속도가 커지므로 선회가 빠르고, T'가 작으면 선체는 조타에 빨리 대응하게 되어 선회성이 우수함을 의미한다. 이번 실험은 우현으로 10°, 20° 및 35°에 대하여 실시하였다.



Table 3.26 Test for Maneuvering Performance Index (STBD 35°)

Time (sec)	Heading ( ° )	Speed (knots)	Rudder Angle( ° )	R.O.T	Heeling	RPM
0	031.4	16.0	0	0	0	119
2	032.2	16.0	8	-5	0	119
4	033.6	15.82	18	-17	3.5°	119
6	035.0	15.40	30	-28	5.5°	119
8	038.1	15.18	35	-30(limit)	5.5°	119
10	044.6	14.99	35	-30(limit)	5.5°	119
12	052.8	14.27	35	-30(limit)	7.0°	119
14	061.0	13.50	35	-30(limit)	7.0°	120
16	069.1	12.80	35	-30(limit)	7.0°	121
18	077.9	12.35	35	-30(limit)	7.0°	121
20	086.1	11.91	35	-30(limit)	7.4°	120
22	094.8	11.30	35	-30(limit)	8.7°	119
24	103.5	10.75	35	-30(limit)	8.7°	119
26	112.2	10.00	35	-30(limit)	8.7°	119
28	120.9	9.40	35	-30(limit)	9.5°	117
30	129.5	8.84	35	-30(limit)	10.7°	117
32	137.0	8.65	35	-30(limit)	10.7°	117
34	144.6	8.36	35	-30(limit)	11.5°	117
36	152.1	8.10	35	-30(limit)	11.5°	117
38	159.6	7.93	35	-30(limit)	11.5°	117
40	167	7.79	35	-30(limit)	11.5°	117
42	173.8	7.60	35	-30(limit)	11.5°	116
44	180.6	7.43	35	-30(limit)	11.5°	117
46	187.5	7.25	35	-30(limit)	11.5°	116
48	194.3	7.1	35	-30(limit)	11.5°	116
50	200.7	7.0	35	-30(limit)	11.5°	118
52	206.8	7.0	35	-30(limit)	11.5°	116
54	213.0	7.0	35	-30(limit)	11.5°	116
56	219.2	7.0	35	-30(limit)	11.5°	116
58	225.4	7.0	35	-30(limit)	11.5°	116
60	231.4	7.0	35	-30(limit)	11.5°	115

Figure 3.18 및 3.19는 타각 10° 및 20°일 때의 조종성 지수를 나타낸 것이다. 선 회성 지수(K)는 0.26/sec 및 0.16/sec이고, 추종성 지수(T)는 20초 및 17초이다.

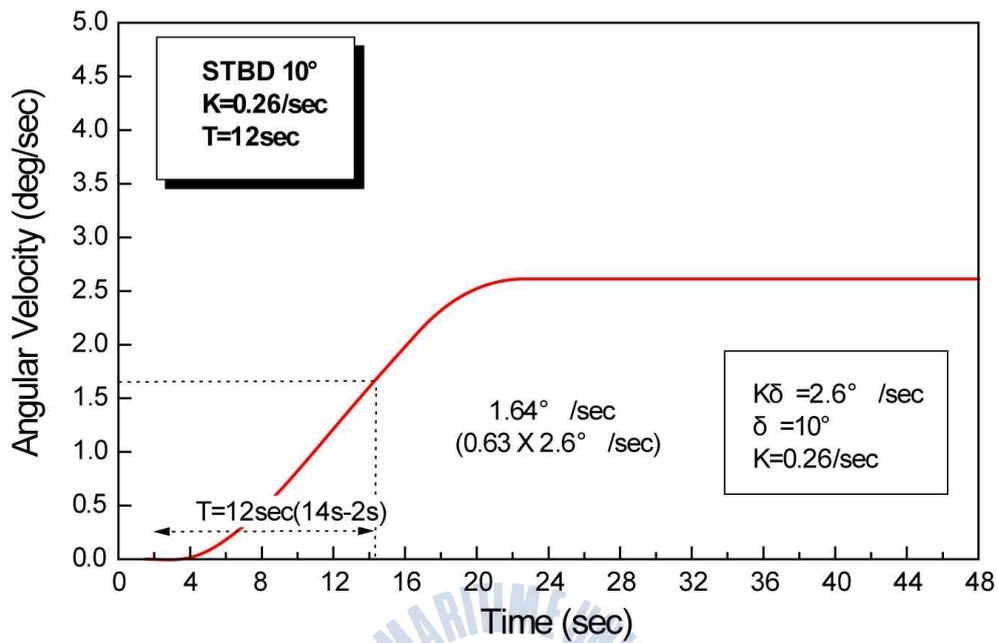


Figure 3.18 Maneuvering Performance Index (STBD 10°)

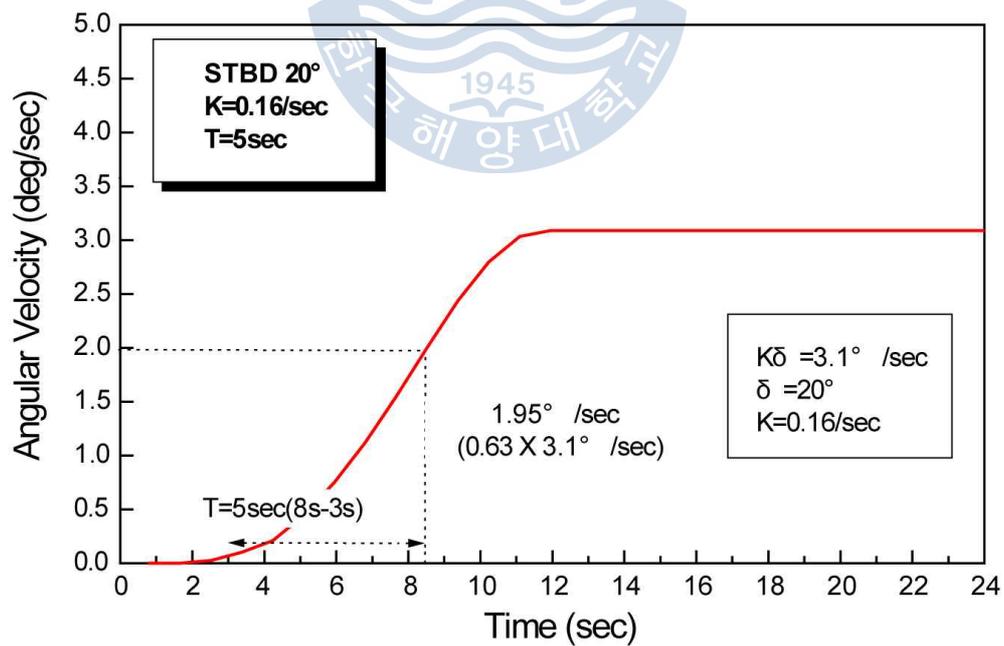


Figure 3.19 Maneuvering Performance Index (STBD 20°)

Figure 3.20은 타각 35° 일 때의 조종성 지수를 나타낸 것이다. 선회성 지수(K)는 0.11/sec이고, 추종성 지수(T)는 13초이다.

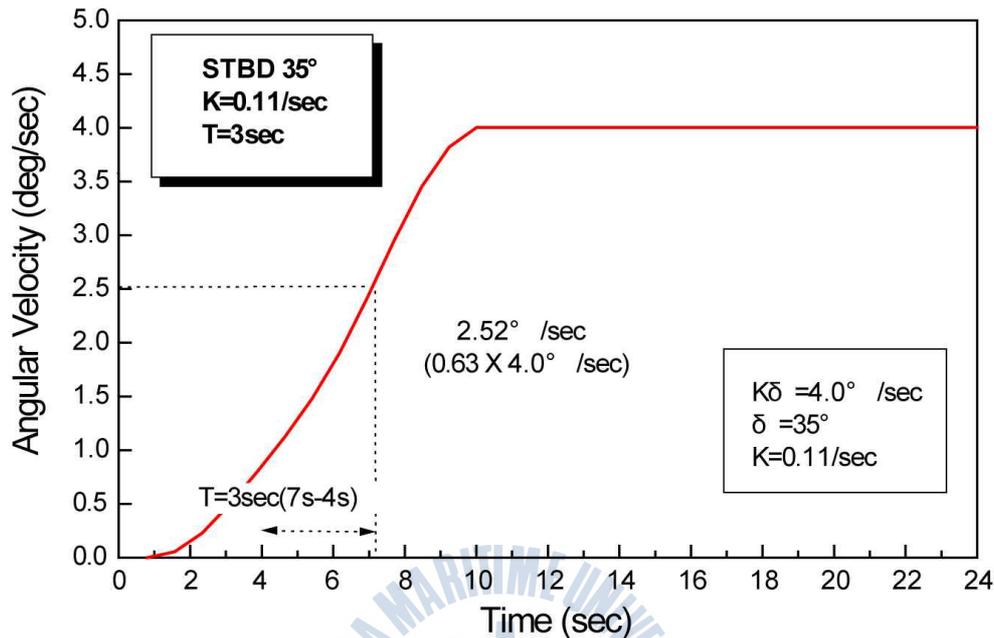


Figure 3.20 Maneuvering Performance Index (STBD 35°)

Figure 3.18~3.20을 정리하면 Table 3.27과 같다. 선회성능은 선속 및 선박의 길이에 따라 달라질 수 있으므로, 선박의 길이(L)와 선속(u)으로 무차원하여 표시할 수 있다.

Table 3.27 Maneuvering Performance Index of Marine Research Vessel

타 각( $\delta$ )	K (선회성 지수)	T (추종성 지수)	K' (K · L/u)	T' (T · u/L)	최초 속력(Knot)
STBD 10°	0.26	12	0.97	3.22	16.0
STBD 20°	0.16	5	0.60	1.34	16.0
STBD 35°	0.11	3	0.41	0.81	16.0

Table 3.28은 대상선박과 다른 선박의 조종성 지수를 비교한 것이다. 해양조사선은 다른 선박과 비교하여 조타에 빨리 대응하는 능력이 다소 떨어지나(T'가 상대적으로 큼), 일단 선회가 시작되면 빠른 각속도로 선회하는 능력이 비교적 우수한 것으로 조사되었다(K'가 상대적으로 큼). 따라서, 해양조사선의 경우 선회과정에서 선회경은 다소 작아질 수 있으나, 전진거리(Advance)가 길어질 수 있으므로 전방의 위험물 회피에 주의가 요구된다.

Table 3.28 Comparison of Maneuvering Performance Index

선종	속력 (knot)	K	T	K'	T'	타각( $\delta$ )
화물선 밸러스트	17.2	0.04	11.0	0.69	0.64	15°
화물선 밸러스트	15.7	0.05	6.9	0.71	0.49	15°
철도연락선 반재	15.0	0.03	7.0	0.44	0.48	15°
철도연락선 반재	14.5	0.1	22.5	1.49	1.51	15°
실습선	10.0	0.05	13.6	0.89	0.76	20°
실습선	10.0	0.04	12.0	0.72	0.67	30°
한바다호	13.0	0.10	20.0	1.56	1.28	10°
한바다호	13.0	0.06	17.0	0.93	1.09	20°
한바다호	13.0	0.05	13.0	0.78	0.83	35°
해양조사선	16.0	0.26	12	0.97	3.22	10°
해양조사선	16.0	0.16	5	0.60	1.34	20°
해양조사선	16.0	0.11	3	0.41	0.81	35°

\* SOURCE : 선박조종의 이론과 실무

### 3.4.3 대상 선박의 신침로 거리

선박 상호간 충돌이 임박한 상황, 방파제 통과 등 장애물과의 충돌 위험성이 있을 경우, 또는 항내조선 및 협수도 항해 시 선박 운항자(항해사, 선장, 도선사)는 선박을 안전하게 조선하기 위해서 신침로 거리를 미리 파악하고 있어야 한다.

신침로 거리란, Figure 3.21에서와 같이 선박이 어떤 침로로 항주 중 신침로로 변침할 때 전타(Hard over)하여 신침로에 정침하기까지의 전진거리로, 원침로의 전타위치에서 신·구침로의 교차점까지의 거리를 의미한다.

따라서, 본 논문에서는 선박이 피항동작 또는 변침동작을 취할 때 어느 정도의 신침로 거리만큼 여유를 두고 조타 명령을 내려야 할 지 정량적으로 제시하여 선박을 보다 안전하게 조선하는데 활용하고자 한다. 또한, 연안항해 중 변침점에서의 변침 시 전타하지 않고 일반적으로  $10^{\circ}$ ~ $20^{\circ}$  정도의 타각을 사용하여 변침하므로 전타( $35^{\circ}$ )뿐만 아니라 타각  $10^{\circ}$  및  $20^{\circ}$ 를 함께 제시하였다.

신침로 거리의 계산은 '3.1.1 해양조사선의 선회성능'에서와 같이 2012년 5월 3일과 9일 실시되었던 선회시험 자료를 바탕으로 산출하였다.

Figure 3.21에서는 좌현과 우현으로 각각 전타( $35^{\circ}$ )하였을 경우의 항적을 나타내고 있으며, 양현의 항적이 유사하여 우현으로 선회한 경우만 신침로 거리를 제시하였다. 그림에 나타난 항적은 GPS 신호를 받아 항적을 자동으로 표시해 주는 선박 조종성능 계측 시스템을 이용하여 산출된 항적이다. 원침로로부터 신침로가 각각  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  및  $90^{\circ}$ 인 경우를 예로 들었으며, 우현으로 전타( $35^{\circ}$ )하여 변침하였을 때 신침로 거리는 각각 92m, 131m 그리고 178m로 확인되었다.



Figure 3.23에서는 우현으로 타각 10°를 사용하여 변침한 경우로, 원침로로부터 신침로가 각각 30°, 60° 및 90°일 때 신침로 거리는 각각 122m, 178m 그리고 279m로 확인되었다.

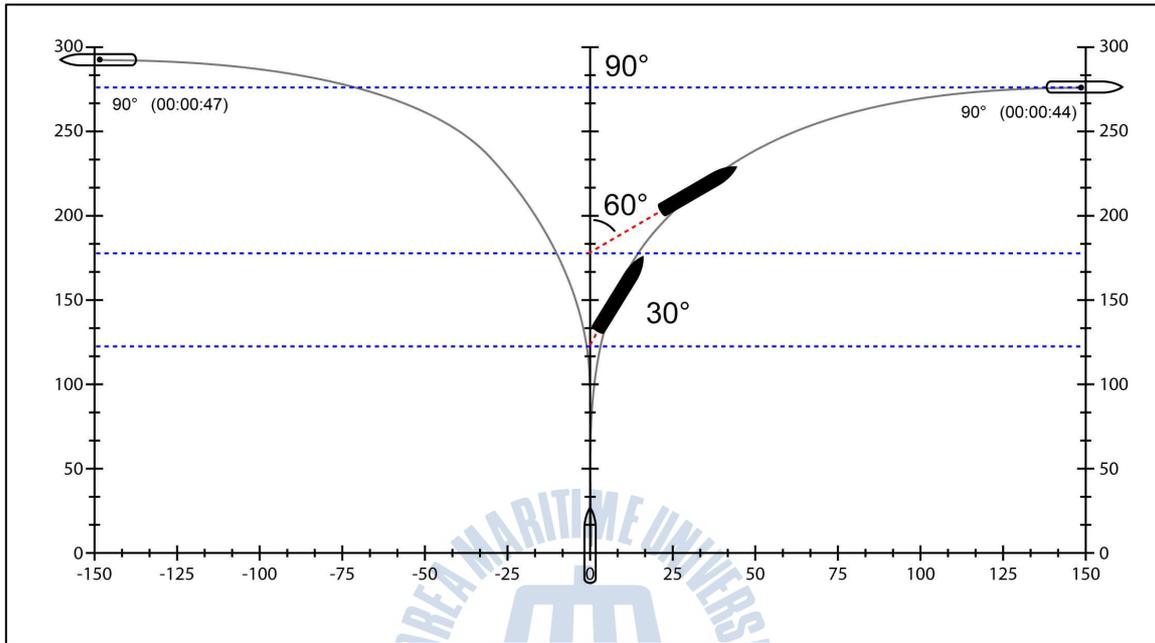


Figure 3.23 Distance of New Course (10°)

이상의 내용을 정리하면 Table 3.29 및 Figure 3.24와 같다. 동일한 타각을 사용하였을 경우 양현의 신침로 거리가 거의 유사하게 측정되었으며, 타각을 크게 하여 전타할 경우 신침로 거리가 크게는 100m정도 짧게 산출되었음을 알 수 있다.

Table 3.29 Distance of New Course (STBD)

Rudder Angle	New Course			Remark
	30°	60°	90°	
10°	122	178	279	Unit : m (Speed : 16Kts)
20°	106	143	205	
35°	92	131	178	

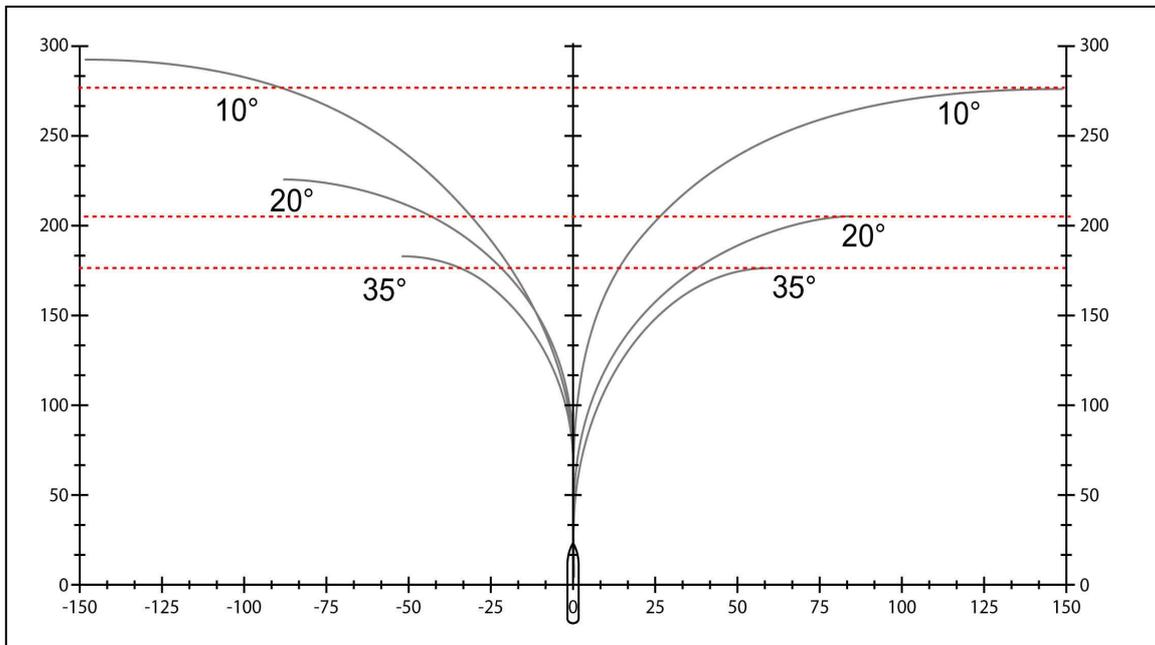


Figure 3.24 Distance of New Course ( $10^{\circ} \sim 35^{\circ}$ )

이와 같은 신침로 거리는 충돌회피조선 또는 일반적인 피항동작에 유용하게 이용될 수 있으며, 연안항해 시에는 변침점을 결정하고 변침동작을 취할 때 어느 정도의 신침로 거리만큼 여유를 두고 조타 명령을 내려야 할 지 결정하는데 많은 도움이 될 것이다.

### 3.5 대상 선박의 조종성능에 대한 종합 평가

2010년 12월 1일 실시한 해양조사선의 시뮬레이션 결과와 2012년 5월 3일 시운전 TEST 향해 중 실시한 다양한 시험을 타각, 선회방향, 속력 등 여러 기준으로 비교 검토해 보고, 그 결과가 IMO에서 규정하고 있는 조종성 기준을 얼마나 만족하고 있는지 살펴보았다.

다음의 표는 다양한 조종성능 시험 결과를 종합하여 나타낸 것으로, 1900톤급 해양조사선의 조종성능은 IMO에서 제시하고 있는 조종성 기준과 비교해 볼 때 잘 만족하고 있음을 알 수 있다.

그리고 대상 선박의 시뮬레이션과 해상 시운전의 결과값을 비교 평가하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

초기 선회성능(Initial turning Test)의 경우는 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 시운전시의 실제 자연환경에 의한 외력이 시뮬레이션시보다 크게 작용하였기 때문으로 판단된다.

선회성능에 있어서는 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 작은 것을 알 수 있었다.

변침성능에 있어서는 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 크게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 시운전시의 실제의 외력조건이 시뮬레이션시보다 크게 작용하였기 때문으로 판단된다.

정지성능에 있어서는 시뮬레이션 및 시운전의 결과 값이 IMO의 조종성능 값을 만족하고 있었으며, 특히 실선의 시운전 결과의 값이 시뮬레이션 결과의 값보다 작게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 시운전시의 실제 자연환경에 의한 외력이 시뮬레이션시보다 크게 작용하였기 때문으로 판단된다.

침로안정성능에 있어서는 실선의 시운전 결과의 나선곡선이 시뮬레이션의 나선곡선보다 단일곡선에 더 가깝게 나타남으로써 침로안정성이 더 좋은 것을 알 수 있다. 이것은 시운전에서 대상선박의 Skeg의 영향이 침로안정성에 크게 기여한 것으로 판단된다.

해양조사선은 다른 선박과 비교하여 조타에 빨리 대응하는 능력이 다소 떨어지나, 일단 선회가 시작되면 빠른 각속도로 선회하는 능력이 비교적 우수한 것으로 조사되었다. 따라서 해양조사선의 경우 선회과정에서 선회경은 다소 작아질 수 있으나, 전진거리(Advance)가 길어질 수 있으므로 전방의 위험물 회피에 주의가 요구된다.

신침로 거리는 우현으로 전타( $35^\circ$ )하여 변침하였을 때, 원침로로부터 신침로가  $30^\circ$ 인 경우 92m,  $60^\circ$ 인 경우 131m,  $90^\circ$ 인 경우 178m로 확인되었다. 타각을  $20^\circ$ 로 사용하면 원침로로부터 신침로 거리는 각각 106m, 143m, 205m 그리고, 타각  $10^\circ$ 를 사용하여 변침한 경우는 원침로로부터 신침로 거리가 각각 122m, 178m 그리고 279m로 확인되었다. 또한 동일한 타각을 사용하였을 경우 양현의 신침로 거리가 거의 유사하게 측정되었으며, 타각을 크게 하여 전타할 경우 신침로 거리가 크게는 100m정도 짧게 산출되었음을 알 수 있다.

이와 같은 신침로 거리는 충돌회피조선 또는 일반적인 피항동작에 유용하게 이용될 수 있으며, 연안항해 시에는 변침점을 결정하고 변침동작을 취할 때 어느 정도의 신침로 거리만큼 여유를 두고 조타 명령을 내려야 할 지 결정하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

Table 3.30 Comparison of Maneuvering Abilities

Ability	Test		IMO Criteria	Ability of R/V	
				Simulation	Sea trial
Turning ability	-35° rudder angle	Advance	4.5L	3.60L	3.20L
		Tactical Diameter	5.0L	3.85L	2.57L
	+35° rudder angle	Advance	4.5L	3.60L	3.19L
		Tactical Diameter	5.0L	3.85L	2.60L
Yaw checking & Course keeping ability	10°/10° Zig-Zag	First Overshoot angle	10.0°	8.98°	9.0°
		Second Overshoot angle	25.0°	10.74°	17.7°
	20°/20° Zig-Zag	First Overshoot angle	25.0°	23.31°	24.0°
Initial Turning ability	-10° rudder angle	Path Length	2.5L	1.76L	2.44L
	+10° rudder angle			1.76L	2.40L
Stopping ability	Crash astern	Track reach	15.0L	7.21L	6.39L

## 제 4 장 결 론

본 연구에서는 Skeg의 영향과 Twin Screw Propeller 선박의 Wake 및 상호 간섭계수를 고려하여 1900톤급 해양조사선의 조종성능을 비교 평가하였다. 먼저 상세설계 단계에서 수행한 시뮬레이션 결과를 통해 해양조사선의 조종성능을 추정하였고, 그리고 해상 시운전을 통하여 실제로 측정한 각종 조종성능의 값을 IMO의 기준과 시뮬레이션의 값과 비교 해석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 대상 선박은 설계단계와 시운전시의 배수량이 181 ton의 차이가 있으며, 실선 총톤수의 약 10%에 상당하는 중량 차이로 인해 각각의 조종성능 결과의 값이 차이를 나타냈음을 알 수 있었다.

2) 시운전 Test 결과, 대상선박이 상세설계 선박에 비해 Track reach, Advance, Tactical diameter의 값이 모두 작게 나타났다. 이러한 차이는 선박에 부착된 Skeg의 영향이 크게 작용한 것으로 판단되지만, 해양조사선은 Advance와 Tactical diameter에 대한 IMO의 조종성능기준(Maneuverability Criteria)을 만족하는 것으로 확인되었다.

3) Full loaded draft상태에서 상세설계 선박의 Transfer가 시운전 Test 선박의 Transfer보다 크게 나타났음을 알 수 있었으며, 이러한 차이는 시운전시에 있어서 실제의 해상 환경조건에 따른 외력의 영향으로 판단된다.

4) Initial turning 및 Zig-zag Test를 제외한 나머지 항목은 시운전이 시뮬레이션보다 작게 측정되었고, IMO 조종성능기준은 충족하나 Initial turning 및 Zig-zag Test의 1<sup>st</sup> Overshoot angle 값이 Criteria에 근사한 값을 나타냈다.

5) 상세설계 선박이 시운전 Test 선박에 비해  $10^{\circ}/10^{\circ}$  Zig-zag 1st , 2nd Overshoot angle은 크게 추정되었고,  $20^{\circ}/20^{\circ}$  Zig-zag 1st Overshoot angle은 작게 추정되었다. 이러한 점을 고려할 때 상세설계 선박은  $10^{\circ}/10^{\circ}$  Zig-zag Test의 1st Overshoot angle과 2nd Overshoot angle,  $20^{\circ}/20^{\circ}$  Zig-zag Test의 1st Overshoot angle에 대한 IMO Maneuverability Criteria를 만족함을 알 수 있다.

6) 시뮬레이션 선박과 시운전 Test 선박은 Twin Screw Propeller type으로, 선회하는 경우 양현 모두 유사한 선회값을 보이며, 정지성능 Test의 경우 RPM조정이 빨라 Crash astern은 1~2분 내외임을 알 수 있었다.

7) 침로안정성능에 있어서는 실선의 시운전 결과의 침로안정성이 더 좋은 것을 알 수 있었으며, 이것은 시운전에서 대상선박의 Skeg의 영향이 침로안정성에 크게 기여한 것으로 판단된다.

8) 설계단계 시뮬레이션은 외력값이 고정되어 있었으며, 시운전시는 DGPS 및 항해기기 연동되어 실시간의 외력값이 반영됨으로써 각종 조종성능 측정결과에 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

9) 해양조사선은 다른 선박과 비교하여 조타에 빨리 대응하는 능력이 다소 떨어지나, 일단 선회가 시작되면 빠른 각속도로 선회하는 능력이 비교적 우수한 것으로 조사되었다. 따라서 선회과정에서 선회경은 다소 작아질 수 있으나, 전진거리(Advance)가 길어질 수 있으므로 전방의 위험물 회피에 주의가 요구된다.

10) 신침로 거리는 우현으로 전타( $35^{\circ}$ )하여 변침하였을 때, 원침로로부터 신침로가  $30^{\circ}$ 인 경우 92m,  $60^{\circ}$ 인 경우 131m,  $90^{\circ}$ 인 경우 178m로 확인되었다. 그리고 동일한 타각을 사용하였을 경우 양현의 신침로 거리가 거의 유사하게 측정되었으며, 타각을 크게 하여 전타할 경우 신침로 거리가 크게는 100m정도 짧게 산출되

있음을 알 수 있다. 이와 같은 신침로 거리는 충돌회피조선 또는 일반적인 피항 동작에 유용하게 이용될 수 있으므로, 연안항해 시에는 변침점을 결정하고 변침 동작을 취할 때 어느 정도의 신침로 거리만큼 여유를 두고 조타 명령을 내려야 할 지 결정하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

IMO의 선박 조종성을 기준으로 하여 조종성능의 정량적 평가를 실시하였으며, 시뮬레이션과 시운전시의 차이점을 줄이기 위한 추후 연구과제는 다음과 같다.

1) 풍압력 및 조류에 의한 유압력, 유체력(Drifting force)의 영향이 고려되어야 한다.

2) 시운전시 모든 시험 항목들이 동일한 수심의 해역에서 진행되어야 한다.

3) 설계단계의 시뮬레이션시 Superstructure를 고려하지 않은 Hull 부분만으로 Test하였으므로, 수면상부 구조물이 선수 방향으로 집중되어 있어 풍압을 주로 받는 부분과 추진 및 전타부의 관련 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4) 시운전 Test Data의 실시간 외력값을 역으로 시뮬레이션 시험에 입력하여 시뮬레이션 Test의 검증을 시도할 필요가 있다고 본다.

이 연구를 통하여 도출한 설계단계의 시뮬레이션 결과와 실선운항 시험 결과의 비교 평가 자료를 차기 해양조사선 건조에 적용할 경우, 보다 조종성능이 향상된 선박을 건조할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 우병구, “선박조종과 도선”, 해인출판사, 2002
- [2] 김창제, “선박조종시뮬레이터 구성과 운용”, 다솜출판사, 2004
- [3] 윤점동, “선박조종의 이론과 실무”, 세종출판사, 2002
- [4] 이승건·김수정, “초기설계시 선박의 조종성능 추정에 관한 연구”, 대한조선학회논문집, 제32권 제4호, 1995
- [5] 이호영·신상성·염덕준, “초기 설계단계에서 선박조종성능 추정에 대한 정도향상 연구”, 대한조선학회 논문집 27, 1998.2
- [6] 강창구, “IMO 조종성 기준 제정 및 대책”, 대한조선학회지, 제29권 제2호, 1992
- [7] Nam-kyun Im·Song-Hee Han·Thanh Nhat Lai Nguyen, “A Study on Ship’s Maneuverability Evaluation by Real Ship Test”, 해양환경안전학회지 17(4), 2011.12
- [8] 정창현, “선박의 운항성능 평가에 관한 연구”, 박사학위 논문. 한국해양대학교
- [9] 우병구, “IMO 선박조종성 시험 기준 및 조선법에 관한 고찰”, 導船. 통권 제43호 (2007년 여름), 한국도선사협회, 2007.07.26
- [10] 윤점동, “IMO 조종성 표준 해설”, 導船. 22('97.3) 한국도선사협회
- [11] 윤점동, “船速이 旋回圈에 미치는 影響 및 이의 실선조종 適用에 關한 研究”, 論文集. 韓國海洋大學, 1978.03.31
- [12] 이춘기·윤점동, “IMO 선박 조종성 기준의 계산 및 타당성에 관한 연구 = A Study on the Evaluation and Validity of IMO Manoeuvrability Standards of Vessels”, 한국항해항만학회 학술발표, 2005
- [13] 강창구, “선박조종성 시운전 해석법”, 대한조선학회지 제31권 제4호, 1994.12
- [14] IMO Res. A.751(18), “Interim Standards for Ship Maneuverability”, 1994

- [15] Ichiro AOKI·Katsuro KIJIMA·Yoshitaka FURUKAWA·Yasuaki NAKIRI, “On the Prediction Method for Maneuverability of a Full Scale Ship” , Journal of Marine Science and Technology, vol.3, 2006
- [16] K. KIJIMA·Y. NAKIRI, “On the Practical Method for Prediction of Ship Maneuvering Characteristics” , Proc. of the Fource Conference for New Ship and Marine Technology, 2004

