

선박 TRIM변화에 따른 조종성능의 분석

박병수* · 강동훈† · 강일권** · 김현무*
(*경상대학교 해양산업연구소 · **부경대학교)

The Analysis of the Ship's Maneuverability According to the Ship's Trim and Draft

Byung-Soo PARK* · Donghoon KANG† · Il-Kwon KANG** · Hyun-Mu KIM*
(*Gyeongsang National University Institute of Marine Industry · **Pukyong National University)

Abstract

Ship's trim is the one of the most important factor for safety at the sea. Turning circle test and Z-test were carried out to find the effect of ship's trim and draft changes. The results are as follows.

1. If the ship's draft and trim became large, turning circle would be wide.
2. If the ship's draft and trim became large, ship's drift angle would be small. Small drift angle made wide turning circle.
3. Trim by the head made slow ship's final speed when turning circle test.
4. By Z-test, the deeper draft and trim by the stern made small OSA. Small OSA means strong ship's stability.
5. Totally 2nd OSA is smaller than 1st OSA on Z-test.
6. There were small differences of 2nd OSA in trim by the stern, but there were large OSA in trim by the head.
7. The larger trim by the stern, the smaller OSW. The small OSW means better ship's stability and maneuverability.

key words : Ship's maneuverability, Trim, Draft, Turning circle, IMO, Overshoot angle

I. 서론

대형 해양사고가 빈발하여 선박의 안전운항에 대한 요구가 어느 때보다 고조되고 있다. 안전운항에 관계되는 선박의 조건이 많지만, 선박trim은 선박조종과 안전에 영향을 미치는 기본 요소 중의 하나이다. 대부분의 선박은 even keel(trim = 0)이 아닌 선미trim(trim by the stern : B/S)의 상태로 항행한다. 선미trim이 항해하는 선박에게 적당한 자세로 알려져 있지만 적절하고 구체적인

선박trim자세에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 관련 연구로는 선박trim변화가 선체 구조응답에 미치는 영향(Kwon, 1992)이 있고, 저항추진성능에 미치는 자세변화의 영향과 속도성능을 수치해석과 모형시험으로 분석한 연구(Yang & Kim, 2005)가 있다. 횡경사와 trim이 발생한 상태에서 운항 성능 향상을 위한 연구(Yang et al., 2006)가 있으며, 선박trim에 의한 선박의 조파저항 최소화에 관한 연구(Choi et al., 2003)가 있다. 저항성능에 관한 연구(Park et al., 2013)와 선박trim변화에 따

† Corresponding author : 055-772-9192, kangdonghoon@gsnu.ac.kr

른 선체운동 응답특성에 대한 연구(Han et al., 2011)가 있다. 이들의 연구는 선박trim변화에 따른 선체의 응답특성에 초점이 맞추어 있으며 실제적 선박운항에 따른 조종성능에 관한 연구는 드물다. 본 연구에서는 선박의 흘수와 선박trim변화에 따른 조종성능을 분석하여 선박의 안전운항에 기여하는데 목적이 있다.

II. 연구 수행 방법

1. 국제해사기구(International Maritime Organization : IMO) 선박 조종성 기준

선박 건조가 완료되면 해상시운전을 실시하여, 선박의 운동성능을 시험한다. 이 중에서 선박의 조종성능을 결정하는 여러 항목을 시험하고 점검한다. 국제해사기구(IMO, 2002)는 조종성능기준을 제정하여 모든 신조선박에 구비해야 할 최소한의

조종성능을 규정하고 이를 충족하도록 법제화하였다. <Table 1>은 IMO 조종성 기준이다.

<Table 1>과 같이 선회성, 침로유지능력, 최단정지능력을 시험하기위해 선회권, Z-test, 긴급정지시험을 만재배수상태에서 실시하고 기준의 충족을 의무화하고 있어 건조선박은 시운전단계에서 이 표준을 충족하여야 한다. 그러나 실제 선박운항 중에는 배수량과 선박trim의 변화 등으로 인하여 조종성능이 변하기 때문에, 항해자 입장에서는 선박상태의 변화에 따른 선박의 운동특성을 이해하여 안전운항에 참고해야 할 필요성이 대두된다. 선박의 흘수와 trim의 변화에 따른 조종성능의 변화를 측정하기 위하여 선회권, Z-test, 최단정지시험을 행하였다. 실선 시운전 실험은 1,000톤급 실습선을 대상으로 하였고, 동일한 선박을 조종성 시뮬레이션을 통하여 조종성능의 변화를 측정하였다.

<Table 1> Maneuverability standards in IMO

Item		IMO Standards
Condition		Deep Water, Full load Test Speed, Calm Environment
Turning Ability		Ad < 4.5L TD < 5L $\delta = 10^\circ \psi = 10^\circ$
Initial Turning Ability		Track Reach < 2.5 L
1st overshoot angle		2nd overshoot angle
Yaw checking & Course	$\psi_1 < 10^\circ (L/U \leq 10\text{sec})$	$\psi_1 < 10^\circ (L/U \leq 25\text{sec})$
$10^\circ / 10^\circ$ Z-Test	$\psi_1 < 17.5 + \frac{3}{4}(L/U)$ ($10 \leq L/U < 30$)	$\psi_1 < 5 + \frac{1}{2}(L/U)$ ($10 \leq L/U < 30$)
keeping Ability	$\psi_1 < 20^\circ (L/U \geq 30)$	$\psi_1 < 40^\circ (L/U \geq 30)$
$20^\circ / 20^\circ$ Z-Test	$\psi_1 \leq 25^\circ$	
Stopping Ability		Track Reach < 15L

* δ : rudder angle, ψ : heading, L : Lpp, U : test speed

Source: standard of maneuverability, 1994 International Maritime Organization.

2. 대상 선박의 개요

본 연구에서는 수선간장(Lpp, Length Between Perpendiculars) 60.6m의 실습선이 사용되었다. 실선시운전 및 조종성 시뮬레이션에 사용된 선박의 기본제원을 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 2> Specification on target ship

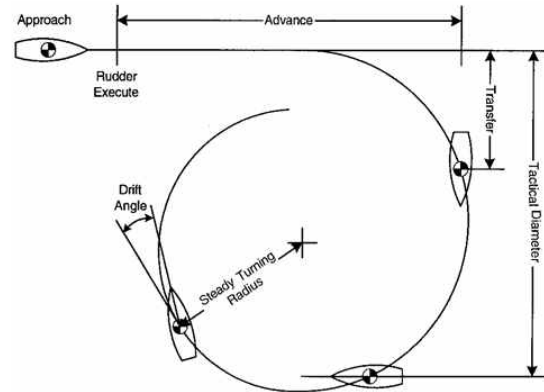
item	specification
IGT	999 ton
LOA	70.570 m
Lpp	60.600 m
Breadth(MLD)	12.300 m
Depth	7.40 m
Draft	full 4.60 m Ballast 3.20 m
MCR	3,300 BHP × 600 RPM
Cruising speed	14.11 knots

3. 시뮬레이션의 검증 및 구성

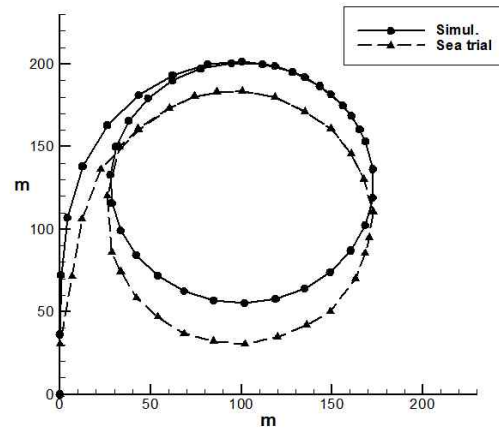
대상선박의 조종시뮬레이션을 위하여 선박해양플랜트연구소에서 개발된 조종성 시뮬레이션 소프트웨어(Mansim4)를 사용하였다. Mansim4에 사용되는 운동방정식은 Kim 등(2007, 2011)이 제안한 4자유도 조종운동방정식과 선체의 유체력미계수로 구성되어 있다. Mansim4는 구축모형시험 등을 통해 구축된 데이터베이스로부터 구하여진 회귀식의 입력값으로 선박의 주요목을 받아 선체의 유체력미계수를 계산하고 선박의 조종운동을 연성된 4자유도 운동방정식을 풀어 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션의 검증을 위하여 선회운동성능을 대상선박의 실선 시운전 결과와 비교하였다. [Fig. 1]은 선회권시험 결과의 개요이며, [Fig. 2]와 <Table 3>에 선회권 시험 결과를 나타내었다.

<Table 3>에 실선 시운전과 시뮬레이션의 선회권 시험 결과를 나타내었다. 초기 선회성능을 제외하고 일치하는 결과를 보이고 있다. 실선 시운전시 선박은 파도와 바람의 영향을 받게 되고 선회권 시험 시작시 선회 가속도를 완전히 0으로 유지하는 것은 어렵다. 이에 따라 선박의 초기 선회용

답 속도의 차이가 발생하여 실선 시운전과 시뮬레이션사이의 초기 선회성능의 차이가 발생한 것으로 판단된다. 하지만 <Table 3>에서 선회권 시험의 결과인 Advance, transfer, TD가 4% 이내로 일치하는 것을 볼 수 있다.



[Fig. 1] Schematic diagram of Turning circle Test



[Fig. 2] Turning circle of Sea trial and Simulation

<Table 3> Results of Sea trials and Simulation

Item	Sea trials	Simulation	Discrepancy
Advance(m)	183	190	3.8%
Transfer(m)	78	80	2.6%
Tactical Diameter(m)	170	173	1.7%

본 결과를 바탕으로 시뮬레이션은 실선의 선회 성능을 제대로 구현하는 것으로 판단하고 추가적인 시뮬레이션을 수행하였다.

선박의 trim 변화에 따른 조종성능을 확인하기 위해 흘수와 trim에 변화를 주어 시뮬레이션을 구성하였다. 선박 흘수는 Ballast조건과 Full load 조건을 고려하여 3.2m부터 4.6m까지 0.7m의 등간격으로 3가지의 흘수를 선택하였고 trim은 -2.0m부터 2.5m까지 0.5m의 등간격으로 10가지 경우의 trim을 고려하였다. 시뮬레이션의 타입과 조건을 <Table 4>에 나타내었다. 여기서, trim = 선미흘수(da) - 선수흘수(df)이며 -(minus) trim은 선수trim을 나타낸다.

<Table 4> Type and condition of Simulation

Type	Draft(m)	Trim(m)
Turning Test	3.2D,	-2.0, -1.5, -1.0,
Zig-zag Test	3.9D, 4.6D	-0.5, 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5

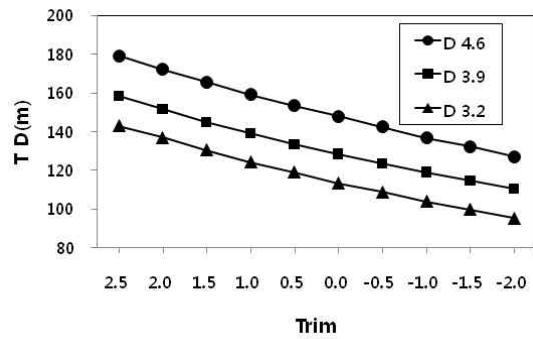
* -(minus) trim means trim by the head(B/H)

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 선회권 시험 결과

1) TD의 변화

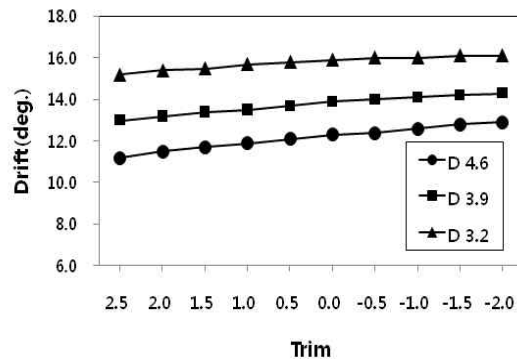
흘수별 선박trim 변화에 따른 TD의 변화를 [Fig. 3]에 나타내었다. 흘수가 커짐에 따라 TD가 증가하고, 선수trim(trim by the head : B/H)이 커질수록 TD는 감소하는 경향이 나타났다. 이는 선수trim이 커짐에 따라 부심의 위치가 선수쪽으로 이동하게 되고 선박의 중심이 선회모멘트를 발생시키는 선박의 타와 멀어져서 선회성능을 향상시키는 것으로 고려할 수 있다. trim에 따른 TD의 변화량도 직선모양(선형)에 가깝게 변화하는 것으로 확인되었다.



[Fig. 3] Turning circle according to trim

2) 편각(Drift)의 변화

흘수별 선박trim 변화에 따른 편각의 변화를 [Fig. 4]에 나타내었다. 편각이 커지면 선회권은 작아지는데 이러한 경향이 뚜렷하게 나타났다. 흘수가 커짐에 따라 편각은 작았고, 선미trim(trim by the stern : B/S)이 커질수록 편각이 작아짐이 확인되었다.

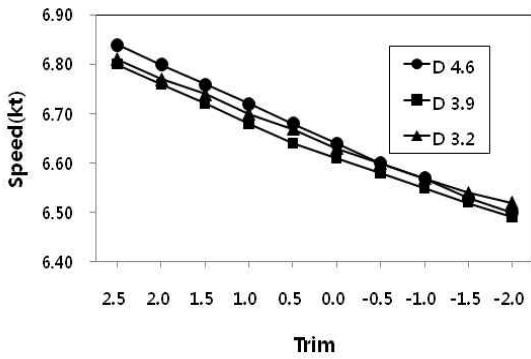


[Fig. 4] Drift according to trim

3) 최종속도의 변화

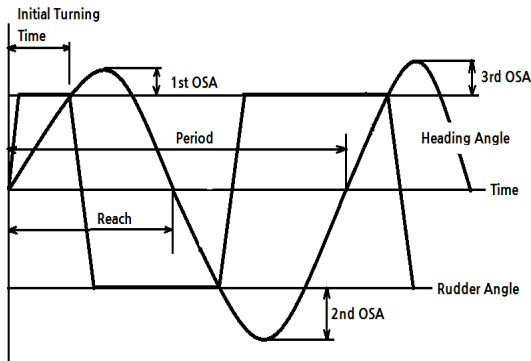
흘수별 선박trim 변화에 따른 최종속도의 변화는 [Fig. 5]와 같았다. 선박선회 시 선속은 감소하고 선속감소량이 많은 것은 추진력이 선박을 전진시키는 것 이외에 회전이나 편각의 발생 등에 소모하는 것을 의미한다. 그리고 편각의 증가는 Sway속도를 의미하고 일정한 회전반경을 유지하기 위해 필요한 양력과 항력에 추진력이 전환되

어 사용되었음을 알 수 있다. 흘수차이에 따른 최종속도의 차이는 크지 않았고, 선수trim(B/H)이 될수록 최종속도는 작아졌다. 여기서 미소한 차이이지만 중간흘수인 D3.9가 D3.2보다 최종속도가 낮아 다소 다른 경향을 보였다.



[Fig. 5] Final speed according to trim

2. Z-test 결과



[Fig. 6] Schematic diagram of Z-test

Z-test의 구성도는 [Fig.6]과 같다. Z-test에서는 overshoot angle(OSA)과 overshoot width of path(OSW) 그리고 Period를 측정하였다. OSA는 작을수록 선박의 안정성이 양호함을 나타내고, OSA가 클수록 타효는 커진다. OSW는 선박의 안정성과 타효가 클수록 작아진다. 대상선박의 시뮬레이션의 결과로 <Table 5>에 20-20 Z-test 때의 1st OSA와 2nd OSA를 나타내었다. 전반적으로 선수 trim이 커질수록 OSA가 커지는 경향이 나

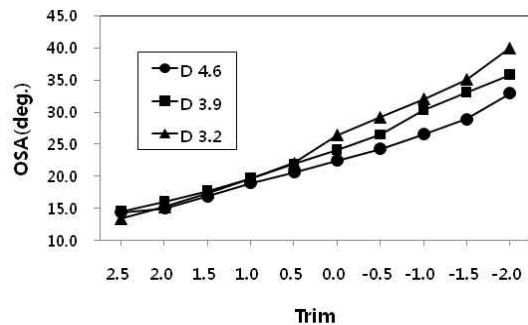
타났다. 이는 선회권시험에서도 확인할 수 있듯이 선수 trim에서 선박의 안정성은 작아지고 타효가 선미 trim보다 크게 작용함을 나타낸다.

<Table 5> 1st and 2nd OSAs at 20-20 Z-test

draft \ trim	4.6		3.9		3.2	
	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
2.5	14.45	12.76	14.62	13.26	13.43	12.35
2.0	15.08	13.87	16.14	13.84	15.3	13.65
1.5	16.93	15.46	17.81	16.09	17.45	14.81
1.0	18.99	16.63	19.74	17.05	19.64	16.85
0.5	20.67	17.43	21.92	18.66	22.14	18.46
0.0	22.48	19.04	24.13	20.06	26.42	20.76
-0.5	24.34	20.64	26.51	21.19	29.25	21.69
-1.0	26.62	21.39	30.36	22.77	32.08	23.88
-1.5	28.96	23.06	33.11	24.19	35.06	25.75
-2.0	32.99	23.97	35.83	26.76	40.04	27.79

1) 1st overshoot 결과

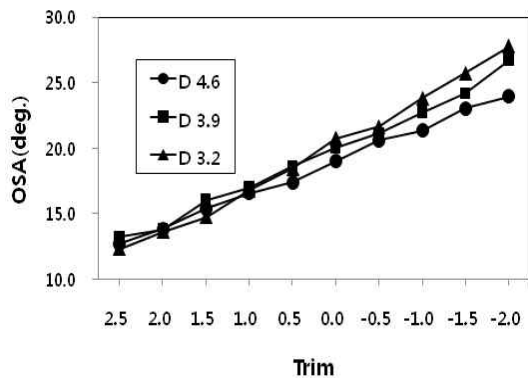
1st OSA를 [Fig. 7]에서 다시 정리하였다. 흘수가 클수록 OSA는 작았으며 선미trim이 될수록 OSA가 작아졌다. 흘수에 따른 OSA의 변화는 선수trim에서 컸고, 선미trim에서는 차이가 거의 없었다. 흘수의 변화는 선박의 배수량의 변화를 의미하고 흘수가 증가된다면 원래 운동을 유지하려는 관성력이 증가함을 의미한다. 선미 trim에서 흘수 증가로 인한 관성력의 증가는 선박의 안정성을 크게 하고 타효는 작아지는 결과를 보이고 있다. 하지만 타효가 큰 선수트림에서는 흘수변화에 따라 OSA의 변화가 크게 나타났다.



[Fig. 7] 1st OSA according to trim

2) 2nd overshoot 결과

2nd OSA는 [Fig. 8]과 같았다. 2nd OSA의 결과에는 타력, 관성력 및 1st OSA의 영향이 종합적으로 미치므로 정확히 원인을 분석할 수는 없으나 전체적으로 2nd OSA는 1st OSA에 비해 작았으며 1st의 결과와 마찬가지로 선미trim이 될수록 OSA가 작아졌고, 흘수에 따른 OSA의 변화는 선수trim에서 컸고, 선미trim에서는 차이가 없었다.



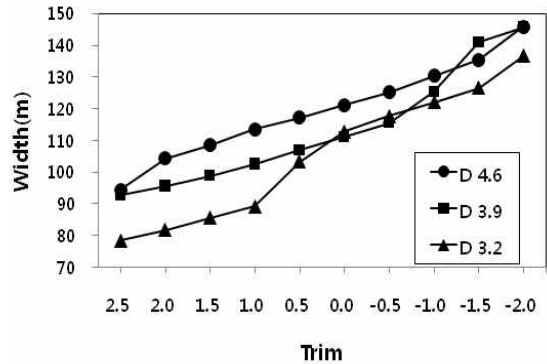
[Fig. 8] 2nd OSA according to trim

3) overshoot width of path(OSW)의 결과

OSW는 변침시 항적이 원침로에서 벗어나는 폭을 나타내며, 이 수치가 작을수록 선박의 안정성과 타효가 양호한 것을 나타낸다. 선미trim이 될수록 OSW가 작아져 선박의 안정성과 타효가 좋은 것으로 나타났다. 흘수의 차이에서는 선미trim에서는 흘수가 클수록 OSW는 커졌지만, 선수trim의 경우에는 중간흘수인 D3.9가 OSW가 커져 다른 양상을 나타내었다. 선미trim에서 OSW가 작아 배의 안정성과 타효가 커지는 것으로 나타났다[Fig. 9].

IV. 결론

1. 선회권(TD)은 흘수가 깊어질수록, 선미trim이 커질수록 넓어졌다. 흘수와 선박trim에 따른 선회권의 변화는 선형에 가깝게 변화하였다.



OSW: departed width from original course
[Fig. 9] OSW according to trim

2. 편각이 커지면 선회권은 작아지는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 흘수가 깊어지고 선미trim이 커질수록 편각은 작아졌다.

3. 흘수차이에 따른 최종속도의 차이는 크지 않았고, 선수trim이 될수록 최종속도는 작아졌다.

4. Z-test결과 흘수가 클수록 OSA는 작았으며 선미trim이 될수록 OSA가 작아져 선박의 안정성이 높아졌다. 흘수에 따른 OSA의 변화는 선수trim에서 컸고, 선미trim에서는 차이가 거의 없어져 선미trim이 흘수에 관계없이 선박안정성에 유리한 것으로 나타났다.

5. 2nd OSA는 전체적으로 1st OSA에 비해 작았으며 1st OSA의 결과와 같이 선미trim이 될수록 OSA가 작아졌고, 흘수에 따른 OSA의 변화는 선수trim에서 컸고, 선미trim에서는 차이가 없었다.

6. 2nd OSA에서도 선미trim에서 흘수변화에 따른 차이는 거의 없었으며 선수 trim에서는 흘수변화에 따른 OSA가 크게 나타났고, 흘수가 큰 경우에 OSA는 작게 나타났다.

7. 선미trim이 될수록 OSW가 작아져 안정성과 타효가 좋은 것으로 나타났다. 흘수의 차이에서는 선미trim에서는 흘수가 클수록 OSW는 작아졌지만, B/H의 경우에는 중간흘수인 D3.9가 OSW가 커져 다른 양상을 나타내었다.

References

- Dong Woo Park etc(2013). Effect of Trim on Resistance Performance of a Ship, J. of the Society of Naval Architects of Korea, 50(2), 88~94.
- IMO(2002). Resolution MSC. 137 (76), Standards for Ship Maneuverability. Report of the Maritime Safety Committee on its Seventy- Sixth Session, Annex 6.
- Lee, Sung Gun (2013). Introduction to ship motion and Maneuverability.
- Nam-kyun Im(2011). A Study on Ship's Maneuverability Evaluation by Real Ship Test, J. of the Korean society of Marine Environment & Safety, 17(4) 383~389.
- Society of Naval Architects and Marine Engineers (2003). Principles of Naval Architecture, 755~756.
- Yeon-Gyu Kim etc(2007). 4-DOF Captive Model Test Using CPMC. Proceedings of the Annual Spring Meeting of the Society of Naval Architects of Korea, 924~930
- Yeon-Gyu Kim etc(2011). Prediction of Maneuverability of KCS with 4 Degrees of Freedom. J. of the Society of Naval Architects of Korea, 48(3), 267~274.
- Young-Sub Kwon(1992). Effect of Trim Variation on the Ship Structural Responses. J. of Ocean Engineering and Technology, 6(2) 215~230.
-
- Received : 08 November, 2015
 - Revised : 03 December, 2015
 - Accepted : 15 December, 2015