

비대칭성이 고려된 나선형 시험 모델을 통한 손상 수상함의 직진 안정성 추정

하정수, 정연환*
해군사관학교 조선공학과

Estimation of Straight Line Stability of a Damaged Surface Combatant through Spiral Maneuver Test Model Considering Asymmetry

Jeong Soo Ha, Yeon Hwan Jeong*

Department of Naval Architecture, Republic of Korea Naval Academy

Abstract : In this paper, we estimated the straight line stability by performing a 3 degree of freedom spiral test simulation of a intact/damaged surface combatant using the hydrodynamic coefficient obtained through the PMM(Planar motion mechanism) test based on system engineering process. A model ship was ONR Tumblehome and damaged compartment was set on the starboard bow. As a result of conducting a spiral test simulation based on the experimental results of J.Ha (2018), the asymmetric straight line stability due to the damaged compartment was confirmed. In the case of a ship in which the starboard bow was damaged, it was confirmed that it had the characteristic to deflect to the left when going straight. Also, when estimating the straight line stability of a both port and starboard asymmetric surface combatant, a separated equation of motion model that sees the port and starboard as different ships seems suitable.

Key Words : Damaged Surface Combatant, Straight Line Stability, Captive Model Test, Spiral Maneuver Test, Maneuvering Simulation, Systems Engineering Process, Validation and Verification

Received: October 15, 2020 / **Revised:** November 30, 2020 / **Accepted:** December 18, 2020

* 교신저자 : Yeon Hwan Jeong, pobrain@naver.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited the original work is properly cited

1. 서 론

시스템엔지니어링은 「개발하고자 하는 시스템을 성공적으로 구현하기 위한 통섭(統攝, consilience) 적 접근과 수단」으로 정의되며,[1] 이것은 학제 간 또는 융합 연구를 통해 시스템 개발뿐만 아니라 공학적 문제를 해결하기 위한 방법론이 된다. 본 연구에서는 이러한 방법론을 함정 생존성 관점에서 공학적 문제인 조종성능 문제를 해결하기 위하여 적용하였다.

오늘날 함정은 복잡한 해상 전투환경에서 계속해서 생존성을 위협받고 있다. 그러나 전장에서 테러, 비정규전과 같은 비대칭적 공격이 확대됨에도 불구하고 함정의 피해는 손상통제를 통해 복구가 가능한 정도의 일시적 피해에 그치고 있다. 그 예로, 1988년 USS Samuel B. Roberts 함은 기뢰에 의한 손상에도 불구하고 손상통제 후 5노트의 속도로 구역을 빠져나온 바 있다. 이는 함정이 일정 수준의 피해에 대해 자력 귀환이 가능한 수준의 조종성능을 확보할 필요가 있음을 보여주는 사례 중 하나이다.

이러한 관점에서, 조종성능과 관련된 다양한 연구가 현재까지 진행되어 왔다. 2009년 해상 인명 안전 조약(International Convention for the Safety Of Life At Sea, SOLAS)이 손상 선박의 항구로의 무사귀환(Safe Return to Port, SRTP)을 논의한 이래로[2] 운동(motion)과 관련된 많은 연구들이 수행되었다. 서정화 등(2016)은 파랑 중 손상 여객선에 대한 6자유도 연구를 통해 침수 유동이 초기 횡동요 주기에 영향을 미치는 것을 확인하였다.[3] 박일룡 등(2019)은 불규칙한 해상조건에서 우현 추진만으로 기동하는 선박의 운동을 전산 유체역학으로 분석하였고 MARIN(Maritime Research Institute Netherlands)의 모형시험 결과와 좋은 일치성을 보였다.[4]

좌우 비대칭 자세를 고려한 조종 성능 연구 사례로 Yasukawa et al.(2013)은 초기 횡경사각을 변경하며 사향시험, 선회시험(Circular Motion Test, CMT)을 수행하였고 초기 횡경사가 커지면 선회 성능이 향상되는 경향을 확인하였다.[5] Hashimoto

(2009)는 ONR Tumblehome 선형에 대한 선미파 조건의 횡경사 각도의 변화를 계측하고 경험식과 비교하였다.[6] Yuura et al.(2020)은 비대칭 함정에 대한 파 조건의 자유항주시험을 수행하였고 손상 상태에서 침로 유지성능이 악화되는 것을 확인하였다.[7]

손상 상태는 침수 유동으로 인해 초기 경사를 갖는 비대칭 자세이기 때문에 비손상 대비 불안정한 유체역학적 특징은 조종성능에 큰 영향을 미친다. 그 중 직진 안정성은 조종성능을 평가하는 척도로 교란이 사라진 후 일정한 직진성을 가져야 한다. 하정수(2018)는 3자유도 구속모형시험을 통해 손상 함정의 직진 안정성을 시뮬레이션이 아닌 단순 l_v (yaw moment arm in sway motion)과 l_r (sway arm in yaw moment motion)의 크기로 평가한 바 있고[8] Sano et al.(2014)은 구속모형시험을 통해 협수로 조건에서 방향 안정성은 수심과 속도에 영향을 받는 것을 확인한 바 있다.[9]

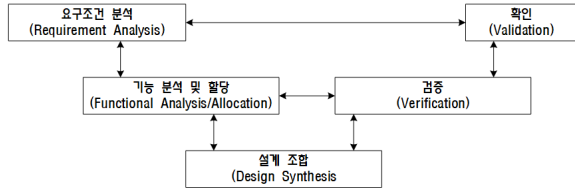
많은 선행 연구에도 불구하고 직진 안정성 연구는 비손상 함정에 관해 주로 이루어졌으며 현대의 다양한 공격무기에 항시 노출되는 함정의 경우 선박에 비해 손상의 가능성이 농후하고 함정 및 승조원의 생존성을 보장하기 위해서는 USS Samuel B. Roberts 함의 경우와 같이 최소한의 조종성을 추정할 수 있는 기법이 필요하다.

본 논문에서는 구속모형시험을 통해 획득한 조종 미계수를 기반으로 비대칭성이 고려된 나선형 시험 모델을 통해 손상 수상함의 직진 안정성을 추정하였다. 비대칭성이 고려된 3자유도 운동 방정식을 적용하여 비손상 대비 손상 상태의 직진 안정성을 비교·분석하였으며, 전체적인 연구 수행 구조는 문제 해결 방법론으로써 시스템엔지니어링 기본 절차를 따랐다.

2. 시스템엔지니어링 절차

본 연구에서는 공학적 문제해결을 위한 기본적

절차로서, 요구조건 분석, 기능분석 및 할당, 설계조합, 검증 및 확인의 시스템엔지니어링 절차를 통해 진행하였으며 아래 그림과 같다.[1]



[Figure 1] System Engineering Process

[Figure 1]에서 제시된 바와 같이, 요구조건에 대한 만족 여부를 판단하는 것이 확인(Validation)이며, 이는 실제 환경 또는 문제 해결의 최종 실험적 환경이 된다. 아울러, 요구조건 만족 여부를 확인하기 전 과정에서, 통제된 환경에서의 제반 조건에 부합여부를 판단하는 것이 검증(Verification) 과정이 된다.[1]

본 연구와 관련된 최종 목표인 기본 요구조건은 손상된 함정의 직진 안정성 추정에 있어서 비대칭성이 고려된 운동 모델들을 비교 분석하는 것이다. 많은 연구 사례에도 불구하고 좌우 비대칭성을 갖는 함정의 직진 안정성 추정을 위한 평가 모델 사례가 전무하여 국부적으로 손상된 함정의 실질적인 SRTP에 대한 심도 깊은 논의는 이루어지지 않았다.

본 논문에서는 시뮬레이션 연구를 통해 최종결과를 확인(Validation)하는 과정을 주로 다루었으며, 선행 연구를 기반으로 한 모형선 실험 조건을 설정하고, 좌우비대칭 함정의 적합한 운동 모델을 실험 시스템으로 구축하여 실험을 진행한 결과를 중점적으로 기술하였다. 확인(Validation) 이전 단계인 이론적인 해석 과정에 해당하는 검증(Verification)과정은 전체 시스템엔지니어링 과정 중 기능 분석 및 할당에 대한 것으로, 이전 연구 논문에서 주로 시뮬레이션을 중심으로 자세하게 다룬 바 있다[8].

따라서, 본 논문에서는 시스템엔지니어링 절차의 최종 과정에 확인(Validation) 과정의 실험 설계 및 결과와 관련하여 상세하게 기술하였다.

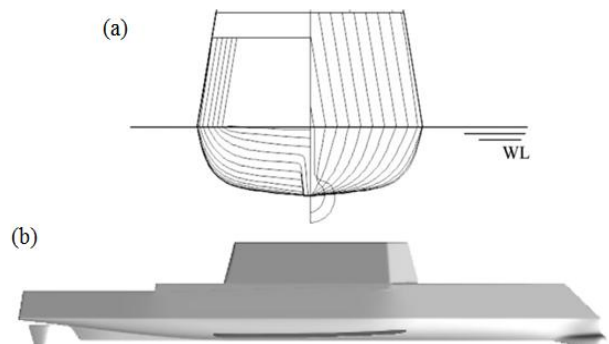
3. 실험 설계

3.1 실험 시설 및 장비

모형시험은 서울대학교 예인수조에서(110m×8m×3.5m) 수행되었으며, 구속모형시험 장비(Planar Motion Mechanism, PMM)는 예인 전차에 설치되어 모형선을 장착하고 예인하는 방식으로 좌우중요 및 선수동요 움직임 구현이 가능하다. 힘과 모멘트는 6분력계를 사용하여 계측하였으며, 최대 계측범위는 힘 500N, x·y축에 대한 모멘트는 50N·m, z축에 대한 모멘트는 200N·m이다. 힘, 모멘트 성분 간의 간섭에 의한 오차를 제거하기 위해 반복적인 교정시험을 수행하여 상호 간의 커플링 효과를 고려한 영향계수를 최종적으로 선정하였다.[10]

3.2 대상함

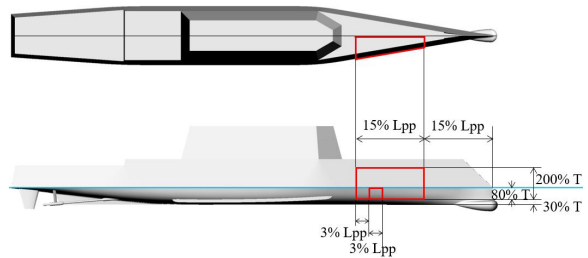
대상함으로 선정된 ONR Tumblehome 선형은 미 해군 연구소(Office of Naval Research, ONR)에서 제공한 공개 선형으로 미 해군 Zumwalt급 구축함의 모선이다. 그림 2와 같이 파랑 관통형 선수부와 흘수선 위로 갈수록 폭이 좁아지는 텀블홈 선형을 가지며 2축 2타이다. 실선과 축척 비는 1/48.94이며 주요제원은 표 1과 같다.



[Figure 2] (a) ONR Tumblehome Body Plan
(b) ONR Tumblehome Figure [8]

<Table 1> Principal Particulars of ONR Tumblehome

Main particulars		Model scale (scale : 1/48.94)	Full scale
Length of waterline	L_{WL} (m)	3.147	154.0
Maximum beam of waterline	B_{WL} (m)	0.384	18.78
Depth	D (m)	0.266	14.5
Draft	T (m)	0.112	5.494
Displacement	Δ	72.6 kg	8,507 ton
Wetted surface area (fully appended)	S (m^2)	1.5	NA
Block coefficient	C_B	0.535	
Metacentric height	GM (m)	0.0422	NA
Propeller diameter	D_P (m)	0.1066	NA
Propeller rotation direction	-	Inward	
Maximum rudder rate	-	35.0 deg/s	-



[Figure 3] Damaged Compartment in ONR Tumblehome



[Figure 4] intact Condition(Left), Damaged Condition(Right)

3.3 손상 구획

손상 구획은 해군 함정 설계 기준인 '복원 성능 적용 기준'의 최대 복원 범위를 고려하여 그림 3의 적색 상자와 같이 종방향은 LWL 15%, 횡방향은 중심선에서 공격벽까지 설정하였다. 손상 구획의 개구부는 SOLAS에서 권장하는 기준을 참고하여 0.03Lpp 크기로 제작하였으며, [2] 비손상 상태 고속모형시험 시엔 폐쇄하였고 손상 상태에서는 개방하여 내·외부 유동이 자유롭게 드나들 수 있게 하였다. 전산 유체역학 결과와 비교를 위해 구획 천장은 폐쇄하지 않고 개방하였으며, 정속 시 구획 내 유동의 변화를 확인한 결과 천장을 통한 유동의 유출은 없었다. 손상 시 초기 평형상태는 그림 4와 같이 종방향 0.429°, 횡방향 2.925°로 좌현 선미가 약하게 들렸다.

3.4 실험 조건

구속모형시험 조건은 표 2와 같다. 속도조건은 프루드 수(Froude number, Fn) 0.1, 0.2로 PMM 장비를 이용하여 정적시험과 동적 시험을 수행하였다. 손상 상태 시 횡경사, 종경사는 자세 고정대를 이용하여 구속한 상태에서 실험을 수행하였다.

<Table 2> Test Condition

Test		Condition
Static test	Oblique test	$\beta = -15^\circ \sim +15^\circ$
	Rudder test	$\delta = -35^\circ \sim +35^\circ$
	Oblique & rudder test	$\beta = -15^\circ \sim +15^\circ$ $\delta = -30^\circ \sim +30^\circ$
Dynamic test	Pure sway test	$v/U = 0.05 \sim 0.26$
	Pure yaw test	$r/(U/L) = 0.02 \sim 0.48$
	Yaw & oblique test	$r/(U/L) = 0.08, 0.17, 0.31$ $\beta = -8^\circ, -4^\circ, +4^\circ, +8^\circ$

3.5 모터 제어 시스템 및 데이터 계측 시스템

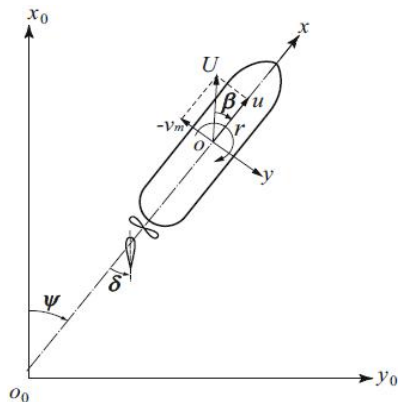
안정적인 회전수 제어를 위해 모터 제어 시스템이 구성되었다. 모터 제어 장비가 회전수에 대한 제어 신호를 모형선 내부에 장착된 모터 드라이버에 송신하여 최종적으로 회전수를 제어한다.

데이터 계측 시스템으로 MGC Plus(HBM, Darmstadt, Germany) 장비를 이용하여 힘과 모멘트 신호를 계측하였고 노트북을 통해 실시간으로 확인할 수 있었다.

4. 조종 운동 방정식

4.1 좌표계

그림 5와 같이 지구고정 좌표계 $o_0 - x_0y_0z_0$ 와 선체고정 좌표계 $o - xyz$ 로 구성되는 좌표계를 사용하였다. 선체고정 좌표계는 선체 무게중심을 원점으로 설정하였고 정수면과 평행인 상태를 평형 상태로 설정하였다. 즉, 손상 시 기울어진 선체를 별개의 비대칭 선형으로 간주하여 수면에 평행한 좌표계를 적용하고 분력계를 무게중심 위치에 설치하여 힘과 모멘트 신호를 계측하였다.



[Figure 5] Coordinate System [11]

4.2 조종 운동 방정식

비손상 상태에서는 식 (1)과 같이 선박의 좌우대칭을 고려, 방정식 내 불필요한 항들은 무시한 Abkowitz(1964)의 3자유도 운동 방정식을 선정하

였다.[12]

손상 상태에서는 손상 구획 내 침수 유동으로 인해 좌·우 비대칭 상태이기 때문에 식 (1)에서 생략되는 항이 보존되었다. 식 (2)는 좌·우의 조종 특성을 각기 다른 함정으로 보고 모델링하였고(이하 분리형 모델(seperated model)) 식(3)은 비대칭 조종 특성을 갖는 하나의 함정이라 보고 모델링하였다(이하 통합형 모델(integrated model)).[8]

[식 (1)]

$$\begin{aligned} X_H &= X_0 + X_u \dot{u} + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 \\ Y_H &= Y_0 + Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r \\ &\quad + Y_{vvv} v^3 + Y_{rrr} r^3 + Y_{vvr} v^2 r + Y_{vrr} v r^2 \\ N_H &= N_0 + N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r \\ &\quad + N_{vvv} v^3 + N_{rrr} r^3 + N_{vvr} v^2 r + N_{vrr} v r^2 \\ X_R &= X_{\delta\delta} \delta^2 \\ Y_R &= Y_{\delta\delta} \delta + Y_{\delta\delta\delta} \delta^3 \\ N_R &= N_{\delta\delta} \delta + N_{\delta\delta\delta} \delta^3 \end{aligned}$$

[식 (2)]

$$\begin{aligned} X_H &= X_0 + X_u \dot{u} + (X_{vv} \pm X_{|v||v|}) v^2 \\ &\quad + (X_{rr} \pm X_{|r||r|}) r^2 \\ Y_H &= Y_0 + Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + (Y_v \pm Y_{|v|}) v + (Y_r \pm Y_{|r|}) r \\ &\quad + (Y_{vvv} \pm Y_{|v||v||v|}) v^3 + (Y_{rrr} \pm Y_{|r||r||r|}) r^3 \\ &\quad + (Y_{vvr} \pm Y_{|v||v||r|}) v^2 r + (Y_{vrr} \pm Y_{|v||r||r|}) v r^2 \\ N_H &= N_0 + N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + (N_v \pm N_{|v|}) v + (N_r \pm N_{|r|}) r \\ &\quad + (N_{vvv} \pm N_{|v||v||v|}) v^3 + (N_{rrr} \pm N_{|r||r||r|}) r^3 \\ &\quad + (N_{vvr} \pm N_{|v||v||r|}) v^2 r + (N_{vrr} \pm N_{|v||r||r|}) v r^2 \\ X_R &= (X_{\delta\delta} \pm X_{|\delta||\delta|}) \delta^2 \\ Y_R &= (Y_{\delta} \pm Y_{|\delta|}) \delta + (Y_{\delta\delta\delta} \pm Y_{|\delta||\delta||\delta|}) \delta^3 \\ N_R &= (N_{\delta} \pm N_{|\delta|}) \delta + (N_{\delta\delta\delta} \pm N_{|\delta||\delta||\delta|}) \delta^3 \end{aligned}$$

[식 (3)]

$$\begin{aligned} X_H &= X_0 + X_u \dot{u} + X_{vv} v^2 + X_{rr} r^2 + X_v v + X_r r \\ &\quad + X_{vvv} v^3 + X_{rrr} r^3 \\ Y_H &= Y_0 + Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_v v + Y_r r + Y_{vvv} v^3 \\ &\quad + Y_{rrr} r^3 + Y_{vvr} v^2 r + Y_{vrr} v r^2 + Y_{vv} v^2 + Y_{rr} r^2 \\ N_H &= N_0 + N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_v v + N_r r + N_{vvv} v^3 \\ &\quad + N_{rrr} r^3 + N_{vvr} v^2 r + N_{vrr} v r^2 + N_{vv} v^2 + N_{rr} r^2 \\ X_R &= X_{\delta} \delta + X_{\delta\delta} \delta^2 + X_{\delta\delta\delta} \delta^3 \\ Y_R &= Y_{\delta} \delta + Y_{\delta\delta} \delta^2 + Y_{\delta\delta\delta} \delta^3 \\ N_R &= N_{\delta} \delta + N_{\delta\delta} \delta^2 + N_{\delta\delta\delta} \delta^3 \end{aligned}$$

X, Y 그리고 N 은 X, Y 방향으로의 힘과 Z 축에 대한 모멘트를 의미하고 u, v, r, δ 은 X, Y 방향으로의 속도, 선수동요 각속도, 타각을 의미한다. 위 첨자는 \cdot 은 시간에 대한 미분을, 아래 첨자 H, P, R 은 각각 선체, 프로펠러, 타에 의한 유체력을 나타낸다. 속도와 각속도, 힘(F)과 모멘트(M)에 대한 무차원은 아래와 같이 수행되었다.

$$\begin{aligned} u', v' &= u, v/U \\ r' &= r/(U/L) \\ F &= \frac{1}{2}\rho L T U^2 \\ M &= \frac{1}{2}\rho L^2 T U^2 \end{aligned}$$

식 (1), (2), (3)에서 조종성 미계수는 아래와 같은 첨자로 표기하였다.

$$\frac{\partial N}{\partial r} = N_r, \quad \frac{\partial N}{\partial v \partial r^2} = N_{vrr}$$

5. 나선형 시험을 통한 직진 안정성 평가

일반적으로 선박의 직진 안정성 추정을 위해 나선형 시험이 수행되며 본 연구에서는 Dieudonne (1953)의 나선형 시험을 기반으로 4절에서 언급된 운동 모델에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.[13]

자항점은 추후 자유항주시험과 비교를 위해 모형선 자항점에서 수행하였다. 하정수(2018)는 선회 성능 추정을 위해 3자유도 구속모형시험을 수행한 바 있고[8] 본 연구에서 사용된 조종 미계수 값은 그 결과를 인용하였다. 표 3에 따르면 우현 선수 손상에 따른 경사에도 불구하고 타각시험(rudder test)에서 유체력의 차이는 미비하였으며, 가속도 항 또한 차이는 없었으나 다른 계수에 대해서는 손상에 의한 좌우 비대칭 영향은 유의미하였다.

시뮬레이션 진행 순서는 아래와 같다.

- 1) 타각 15도에서 -15도까지 5도씩 감소

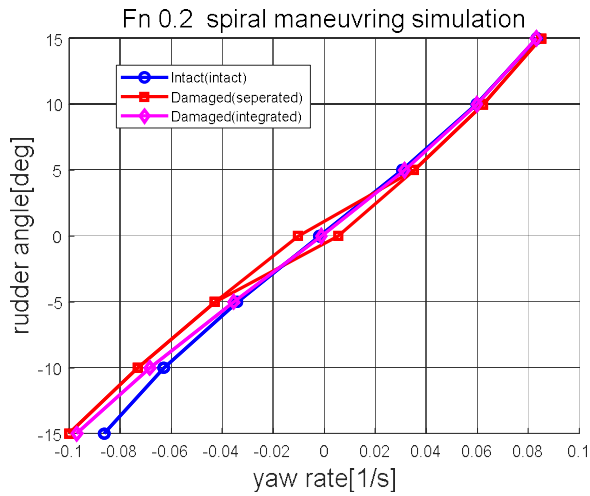
- 2) 타각 -15도에서 15도까지 5도씩 증가

<Table 3> Hydrodynamic Coefficients [8]

	Intact Model	Seperated Model		Integrated Model
	-	$+\beta, -v$	$-\beta, +v$	-
Y_v	-0.3995	-0.3973	-0.4415	-0.3988
Y_{vv}	-0.9359	-1.2493	-0.8985	-1.2906
N_v	-0.0306	-0.0456	-0.0554	-0.0673
N_{vv}	-0.4013	-0.4133	-0.6364	-0.3475
$X_{\delta\delta}$	-0.0958	-0.0851	-0.0993	-0.0929
Y_δ	-0.1475	-0.1408	-0.1428	-0.1298
$Y_{\delta\delta\delta}$	0.0941	0.0937	0.0900	0.0682
N_δ	0.0666	0.0640	0.0675	0.0637
$N_{\delta\delta\delta}$	-0.0439	-0.0358	-0.0449	-0.0366
$Y_v - m$	-0.2750	-0.3082	-0.3082	-0.3082
N_v	0.0110	0.0091	0.0091	0.0091
Y_r	-0.0287	-0.0374	-0.0374	-0.0374
$N_r - I_{zz}$	-0.0080	-0.0091	-0.0091	-0.0091
$Y_r - m$	-0.0410	-0.0463	-0.0741	-0.0602
N_r	-0.0746	-0.0839	-0.0867	-0.0853

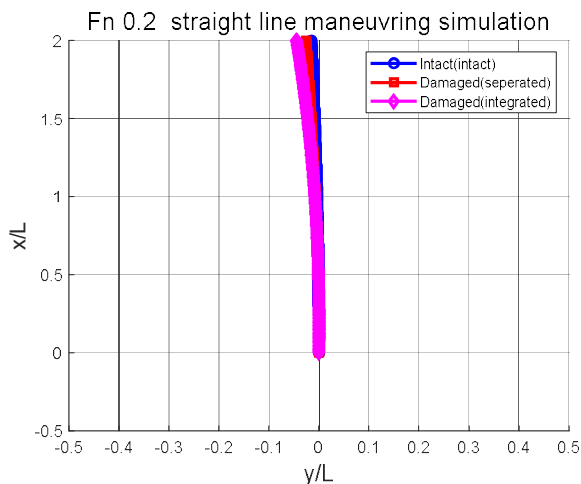
나선형 시험 시뮬레이션 시 계측시간에 의한 영향을 고려하여[14] 타각 조작 후 충분한 시간(2분 이상)을 거쳐 정상선회 상태를 갖게 하였다. 그림 6은 Fn 0.2에서 비손상/손상 상태 시 시뮬레이션 결과이다. 비손상 상태에서는 그래프의 원점을 교차하며 $r-\delta$ 곡선이 단일 선으로 나타난 것으로 보아 안정된 직진 안정성을 확인할 수 있다. 손상 시 분리형 모델에서는 좌·우를 각각 다른 함정으로 간주하고 모델링했기 때문에 hysteresis 곡선 특성을 띠며 직진 불안정성을 나타낸다. 손상 시 통합형 모델에서는 단일 선으로 안정성을 갖는 것처럼 보이지만 우현에 대한 직진 안정성은 비손상과 차이가 없으나 좌현의 침로 안정성은 비손상 상태와 다소 차이를 갖는다. 통합형 모델로 보아 모형선은 선수동요각 $r < 0$ 에서 꾸준히 좌 편향하려는 성질이 있어 좌에서 우로 회두할 때가 반대 경우보다 타각을 더 사용할 필요가 있어 보인다. 결론적으로, 그림 6을 통해 직진 안정성에 미치는 손상 구획의 영향을 확인할 수 있었으며, 직진 시 좌현으로 치우치지 않게 일정

한 우현 타각이 필요할 것으로 보인다.



[Figure 6] Spiral Maneuver Simulation Test in Intact/Damaged Condition (Fn=0.2)

선박의 좌편향 조종성을 확인하기 위해 그림 7과 같이 직진 시뮬레이션을 수행하였다. 이는 선박이 타를 중립위치에(midship) 두고 직진하였을 때를 의미한다. 손상 상태에서는 비손상 대비 좌편향 하려는 특성을 갖는데 이는 우현 경사를 갖는 선박은 직진 시 좌회두 하는 특성을 갖는다는 Yasukawa et al.(2013)의 결과와 동일한 특성을 갖는다.[5]



[Figure 7] Straight Line Simulation Test in Intact/Damaged Condition (Fn=0.2)

하정수(2018)는 손상 상태에서 단순히 타를 중

립위치에 두고 단순 계수 비교를 통해 직진 안정성 확인을 하였기 때문에 좌우 비대칭 함정을 하나의 배로 보는 통합형 모델을 선호하였다.[8] 본 연구에서 좌, 우 회두 중 타각의 조작에 의한 선수각 변화를 확인하는 나선형 시뮬레이션을 통해 직진 안정성을 분석하였는데, 통합형 모델은 $r-\delta$ 곡선이 단일 선으로 나오나 실제로는 한쪽으로 편향된 조종성을 확인하였다. 본 연구에 사용된 모형선의 경우 한쪽으로만 편향되어 있으므로 통합형 모델로도 안정성 확인이 충분하였으나, 초기 상태에 따라 편향이 다른 심각한 손상 함정의 경우 hysteresis 곡선이 나타난 분리형 모델이 직진 안정성 평가에 적합할 것으로 보인다.

6. 결론

본 연구에서는 시스템엔지니어링 방법론과 절차를 이용하여, 비대칭성이 고려된 나선형 시험 모델을 통해 손상 함정의 직진 안정성을 추정하였다.

해군 복원성능 규정을 토대로 손상 구획을 설정하였고 그 결과 중방향 0.429°, 중방향 2.925°로 좌현 선미가 약하게 들린 평형상태를 설정하였다. 모터 제어 시스템을 구성하여 모형선 자항점을 일정하게 유지하였으며, 데이터 계측 시스템을 통해 계측값을 실시간으로 확인할 수 있었다.

분리형 모델에서는 hysteresis 곡선을 보이며 안정성이 양호하지 않았다. 통합형 모델에서는 단일 선으로 안정성을 갖는 것처럼 보이지만 좌현에 대한 안정성은 비손상 상태와 다소 큰 차이를 갖는다. 또한, 손상 함정의 직진성을 확인한 결과 좌편향 하려는 특성을 가지며 이는 기존 연구자들의 결과와 마찬가지로 우현 손상 구획으로 인한 것으로 보인다. 편향 정도가 일정한 국부 손상 함정의 경우 통합형 모델로도 직진 안정성 평가가 가능하나 심각한 손상으로 초기 상태에 따라 편향이 다른 경우에는 분리형 모델이 직진 안정성 분석에 적합한 것으로 보인다.

본 연구의 결과는 공학적 문제 해결을 위한 시스템엔지니어링 방법론 및 절차에 대한 기본 구조를 제시하였으며, 향후 비대칭 함정의 직진 안정성 평가를 위한 기초 자료로 활용 가능하다. 추후 손상 구획의 크기 및 위치를 변화시키면서 손상 정도에 따른 직진 안정성을 확인하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2020년 해군사관학교 해양연구소의 지원으로 작성되었습니다.

References

1. 정연환, QFD를 활용한 함정 요구조건 관리 방안 연구, 한국시스템엔지니어링학회, Vol. 15, No. 2, pp 57-65, 2019.
2. SOLAS Consolidated Edition, International Maritime Organization, 2009.
3. Seo, J, Espinoza Haro, M. P, Santiago Bravo, C, Choi, H. K, Rhee, K. P, Rhee, S. H, Course-keeping Tests for Safe-Return-to-Port of a Damaged Passenger Ship, 31st Symposium on Naval Hydrodynamics, 2016.
4. 박일룡, 김제인, 서성부, 김진, 김광수, 김유철, 불규칙 파랑중 카페리선의 SRtP 소요마력 수치 추정 연구, 한국해양공학회지, Vol. 33, No. 1, pp 1-9, 2019.
5. Yasukawa, H, Hirata, N, Maneuverability and Hydrodynamic Derivatives of Ship Traveling in Heeled Condition, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 17, pp 19-29, 2013.
6. Hashimoto. H, Pure loss of stability of a tumblehome hull in following seas, The 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, 2009.
7. Yuura, T, Hashimoto, H, Matsuda, A, Manoeuvrability of a Large Cruise Ship after Damage for Safe Return to Port, Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 8, No. 5, 2020.
8. 하정수, 손상 수상함의 조종 성능 추정을 위한 비대칭성이 고려된 3 자유도 운동모델 개발, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 2018.
9. Sano, M, Yasukawa, H, Hata, H, Directional stability of a ship in close proximity to channel wall, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 19, No. 4, pp 376-393, 2014.
10. 김효철, 김재성, 송무석, 유성선, 6분력계의 설계와 제작에 관한 연구, 대한조선학회논문집, 제 34권, 제 2호, pp 20-26, 1997.
11. Araki, M, Sadat-Hosseini, H, Sanada, Y, Tanimoto, K, Umeda, N, Stern, F, Estimating Maneuvering Coefficients Using System Identification Methods with Experimental, System-Based, and CFD Free-Running Trial Data, Ocean Engineering, Vol. 51, pp 63-84, 2012.
12. Abkowitz, M. A, Lecture on Ship Hydrodynamics-Steering and Maneuverability, Hydro and Aerodynamic Laboratory, Report No. Hy-5, 1964.
13. Dieudonne, J, Collected French Papers on Stability of Route of Ships at Sea, 1949-1950, DTRC Translation 246, 1953.
14. Stron-Tejsen, J, A Model Testing Technique and Method of Analysis for the Prediction of Steering and Maneuvering Qualities of Surface Ships, Hydro-Og Aerodynamicsk Laboratorium Report No. HyA 7, Lyngby, Denmark, June, 1964.