

자유항주 모형실험에 의한 선박의 복원성능과 조종성능 관계 연구

최보라* · † 임남균

* 큐슈대학교 대학원, † 목포해양대학교

A Study on the Relationship between Ship Stability and Maneuverability Using Free Running Model Experiments

Bo-Ra Choe* · † Nam-Kyun IM

* Graduate School of Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

† Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : IMO는 선박의 조종성능과 복원성능에 관한 국제적 기준 마련에 노력해 왔다. 이러한 움직임은 해상에서의 선박 안전 향상에 기여하였으며, 선박 연구자가 수행하는 학술적 연구의 방향에도 영향을 미쳤다. 기존의 수행된 선박 조종성능과 조종성능 연구는 각각 그 분야에서 독립적으로 수행되어 왔다. 두 분야의 상호 관계에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 논문에서는 선박의 조종성능과 복원성능의 상호 관계를 정량적으로 규명하고자 기초적인 실험 연구를 수행하였다. 각 두 항목을 나타내는 지표로 복원성능은 GM 변화를 사용 하였고, 선박의 조종성능은 선회성능을 선택하여 이 두 지표의 상호관계에 관해 정량적인 분석을 시도하였다. 이를 위하여 자유 항주 모형선을 이용한 선회 실험을 실시하고, GM변화에 따른 선회 반경 및 선회 중 발생하는 최대 횡경사 각도의 변화를 분석 하였다. 실험 결과 GM에 따른 선회 반경 감소 및 초기 횡경사 증가의 경향이 서로 다르게 나타났다. 이를 이용하여, GM 감소에 따른 선회반경 및 초기 횡경사 변화 예측을 위한 개략적인 경향 추정식을 제안 하였다. 선박은 운항 중 예상하지 못한 원인으로 갑작스럽게 GM이 감소 할 수 있다. 본 논문에서 얻은 실험 결과는 GM감소량에 따른 선박의 선회반경 및 조타에 의한 횡경사 각도 변화 크기를 개략적으로 추정하기 위한 기초 자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 조종성능, 복원성능, 자유항주 모형선, GM, 선회성능

Abstract : The International Maritime Organization (IMO) has issued international standards for ship maneuverability and stability. These have been established to improve marine safety and influence the direction of research. The previous literature has been researched, but there are few studies on the relationship between ship maneuverability and stability. This study carried out a fundamental experiment to quantitatively evaluate that relationship. Radius of turn and maximum heel angle depending on changing were analyzed through a turning test using a free running model ship. The test results show the change tendency of decreasing turn radius and increasing maximum heel angle according to a GM decrease. A rough estimate equation is proposed to predict the change tendency on radius of turn and angle of maximum heel as GM decreases. Many ships can suddenly experience reduced GM due to unexpected reasons during sailing. The results in this study can be used as fundamental data to estimate a ship's tactical turn diameter and variable heel angle for steering as GM decreases.

Key words : Manoeuvrability, Stability, Free Running Model Ship, GM, Turning Ability

1. 서 론

IMO(International Maritime Organization)는 운항의 안전성 확보를 위하여 선박의 조종성능에 관한 기준과 복원성능에 관한 기준을 제정하였다. 먼저, 조종성능의 경우 IMO는 1993년 선박의 조종성능에 관한 잠정적인 기준을 채택하여, 1994년 7월 이후 건조되는 선박에 적용할 것을 결의하였다

Resolution.751(18)(1993). 이후 2002년 최종적으로 선박 조종성능 기준인 Resolution MSC.137(76)(2002)을 확정하였다. 복원성능의 경우 IMO는 1985년 Resolution A.562협약(1985)을 시작으로 1993년 비손상시복원성에 관한 Resolution A.749(18)(1993)을 확정하였다. 이러한 기준은 선박의 설계부터 선박 운항, 해양사고 원인 분석 등 다양하게 적용되고 있으며 이에 따른 연구도 지속적으로 수행되고 있다. 지금까지의

† Corresponding author : 종신회원, namkyun.im@mmu.ac.kr 061)240-7177

* 학생회원, choi4919@mmu.ac.kr

(주) 이 논문은 “자유항주 모형선을 이용한 선박의 복원성능과 조종성능 관계 연구”란 제목으로 “2016년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집(BEXCO, 2016.5.19-20, pp.75-77)”에 발표되었음.

선박의 조종성능과 복원성능의 연구를 살펴보면 다음과 같다. 선박의 조종성능 연구는 IMO가 제시한 기준에 따라 시험을 통해 조종성능을 분석 및 평가하였다. 하지만 시험 시행 조건이 제한되어 있기 때문에, 이를 보완하기 위해 외란에 의한 조종성능 및 다양한 적화 상태에서의 조종성능 변화에 대한 연구가 수행되었다(Kijima, 1987; Im et al. 2005). 또한, 선박의 운동을 예측하기 위해 조종 운동방정식을 이용하여 수치적 시뮬레이션(Kose et al. 1989; Kijima and Nakiri. 2003)을 수행하였다.

선박의 복원성능은 파랑과 바람 등 외란의 영향을 크게 받는다. 따라서 외란에 따른 복원성능에 관한 연구가 수행되고 있다(Son and Yun, 1989; Bulian, 2010). 이와 함께 복원성능과 선박 전복에 관련된 연구가 수행되었는데, 복원성능이 좋지 않으면 과도한 횡동요에 의해 선박의 전복이 발생하게 되는 메커니즘이 밝혀졌다. 이후 이러한 선박의 전복을 예방하기 위하여 선박의 전복 발생 확률을 예측 및 계산하는 연구가 진행되었다(Long et al. 2013).

기존 연구를 살펴보면 선박의 조종성능과 복원성능에 관한 각각의 연구는 많이 수행되어 왔으나, 두 요소의 관계에 대한 연구는 아직 미흡한 실정임을 알 수 있다. 또한 복원성능과 선박 조종성능의 관계 즉 GM 값이 감소하면 조종성능이 악화된다는 일반적인 연구 사항은 알려져 있다(Fukui et al, 2015). 하지만 GM 감소에 따른 조종성능 추정을 위한 추정식 제안과 같은 정량적 분석연구는 찾아보기 힘들다. 이는 기존의 모든 IMO의 평가 기준(Resolution MSC. 137(76)(2002))은 정상적인 선박복원성 상태를 고려하고 있어, 기존의 연구는 특별히 악화된 복원성능을 그 연구 대상으로 삼지 않았던 것이 가장 큰 이유라고 할 수 있다.

세월호 사고 이후 선박 복원성 악화가 선박 조종성능에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구(Choi et al. (2015))가 관심을 끌기 시작하였다. 이에 본 연구에서는 복원성능 요소 중 GM 감소에 따른 선박조종성능의 변화 경향 및 관계를 모형선 실험을 통해 정량적 분석을 수행하고자 한다. 더 나아가 GM 감소에 따른 조종성능 추정을 위한 수치적인 추정식 제안을 위한 기초자료를 마련하고자 한다.

2. 실험장비

선박의 GM 변화 따른 선회 성능의 변화를 파악하기 위해 선회실험이 수행되었다. 이를 위해 모형선 및 자유 항주 시스템을 구성하는 DGPS, IMU(Inertial measurement unit) 등 여러 장비가 사용되었다.

2.1 모형선 제원

실험에 사용된 모형선은 KVLCC1 선형으로 300K 원유 운반선이다. 모형선은 KVLCC1을 1/100의 축적비로 축소하여 제작 하였고, 모형선의 제원은 Table 1과 같다. 이는 실선기준

선박의 길이 320m, 선속 15.5kts (7.9737m/s), 흘수 20.8m 및 배수량 약 31만 톤급 원유 운반선의 모형선이다. 통상 유조선은 복원성이 다른 선박에 우수한 것으로 알려져 있다. 이번 연구에서는 여객선 등 선폭이 작은 선박을 모형선으로 선정하지 않고 초기 연구 단계로서 유조선형을 모델로 선택하였다. 모형선의 실제 모습은 Fig.1과 같다.

Table 1 Particular of model ship

Designation	Real Ship	Model Ship
Scale ratio	1	1/100
Type	Tanker	Tanker
Froude number	0.142	0.142
Design speed(m/s)	7.9739	0.79739
Lpp(m)	320	3.2
B(m)	58	0.58
Depth(m)	30	0.3
Draft(m)	20.8	0.2
Displacement(m ³)	312737.5	0.3127



Fig. 1 The overview of model ship

2.2 러더 및 프로펠러

모형선은 1타 1축의 선박으로 1개의 러더와 1개의 프로펠러로 구성되어 있다. 각각의 상세 제원은 Table 2와 같다.

Table 2 Particular of rudder and propeller

Rudder		Propeller	
Type	Horn	Type	FPP
S of Area(m ²)	0.0273	No. of Blades	4
Lat. Area(m ²)	0.0136	D(m)	0.099
Turn Rate(deg/s)	23.4	P/D(0.7R)	0.721
		Ae/Ao	0.431
		Rotation	Right Hand
		Hub Ration	0.155

2.3 자유 항주 모형선 구성

자유 항주 모형선은 육상에서 조종할 수 있으며, 미리 설정한 조종 알고리즘 프로그램에 의해 자동 항해가 가능하도록 설계되어 있다. 따라서 Fig. 2와 같이 선박 내부에 각종 센서 및 계측장비가 탑재 되어, 모형선을 운용 및 제어한다(Im and Seo(2010)).

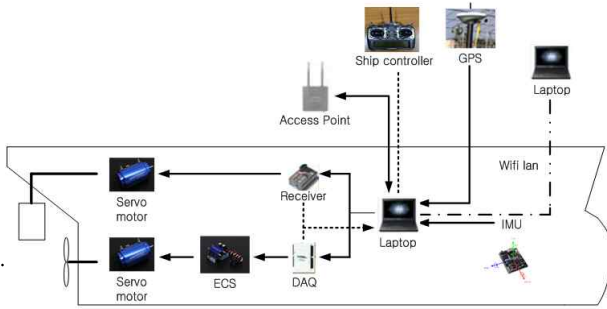


Fig. 2 Block diagram of model ship and control system

2.4 GPS

모형선 실험 시 선박 궤적의 기록을 위하여 계측 정도 1cm 수준의 RTK-DGPS 시스템이 탑재 되었다. 실험 시 사용된 시스템은 육상의 기준국 및 모형선에 탑재된 이동국으로 구성 된다. 본 실험은 연속 Topo 방식으로 10Hz의 데이터를 저장 하였다. Fig. 3은 실험에 사용된 RTK-DGPS의 모습이다.



Fig. 3 GPS receiver of shore base and mobile station

3. 모형실험

본 연구는 GM 감소에 따른 선박의 조종성능 변화 경향을 파악하고, 정량적 분석을 통해 GM 감소에 따른 조종성능 추정식 제안의 기초자료를 제안하고자 수행되었다 실험 수행은 IMO의 조종성능 기준을 토대로 실시되었으며, 실험은 목포해양대학교의 수영장(50m×20m×0.8m)에서 수행되었다.

3.1 실험조건 및 방법

실험 시나리오는 GM 변화를 가변 조건으로 설정하고 흘수, 선속, 트림 등의 조건은 동일한 상태에서 GM 값을 4가지 경우로 설정하였다. 복원성이 악화되면, 선회 중 많은 횡경사 발생이 우려되어, 실험조건은 표준적인 만재흘수가 아닌 흘수가 다소 낮은 발라스트 흘수에서 실시하였다. 실험 속도는 횡경사 경향을 명확히 파악하기 위해 디자인 속도보다 다소 높은 속도에서 실험이 실시되었다. 흘수는 0.135m, 선속은 Froude No. 0.164, 배수량은 186.17m³를 기준으로 수행되었다. 실험 변화 요인인 GM 값은 실선기준 4.0m, 1.5m, 0.9m 그리고 0.3m 총 4가지로 구분하여 산정하였다. 그 요약은 Table 3과 같다. 이때 GM 조종을 위하여, 선박 상부에 10~20kg 무게 추의 높이를 조절할 수 있는 장치를 설치하였다. 이 무게의 중심을 변화시키며, GM 값을 변경시켰다. 횡동요에 영향을 미치는 I_{xx} 경우는 4가지 실험에서 동일하게 화물을 배치하여, 동일한 값으로 설정하였다. 다만, GM 변경을 위해 갑판 위에 추의 위치를 조절할 수 있게 설정하였기에 그 추 무게만큼의 질량 분포의 차이가 발생하나, 전체 배수량 대비 추 무게는 크지 않으므로, 그 영향은 미비할 것으로 판단된다.

선박조종성능 평가실험 중 전타 35도를 사용한 좌현 선회실험을 수행하였다. 이때 실험 속도는 1.8kts로 적용하였으며, 좌현으로 타각 35°를 사용하여 모형선이 360° 선회할 때까지 실험을 수행하였다.

Table 3 Test conditions of free running model ship

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
GM(cm)	4.0	1.5	0.9	0.3
K _{zz}	L/4	L/4	L/4	L/4
Draft(m)	0.135	0.135	0.135	0.135
Froude No.	0.164	0.164	0.164	0.164
Displacement (m ³)	186.17	186.17	186.17	186.17

3.2 실험결과

실험 수행 후 Table 3에서 설명한 바와 같이 4가지 실험 시나리오별 실험 결과를 분석하였다. 선박의 궤적 데이터는 RTK-DGPS로부터 획득하였고, IMU 장비는 횡경사 각도를 실시간으로 입력받으며, 모형선에 탑재된 데이터 획득(DAQ) 장치가 러더 입력 값 및 프로펠러 회전수를 제공하였다. 이를 분석하여 4가지 다른 GM에 따른 선박의 선회반경 변화와 선회 시 발생하는 최대 횡경사 각도의 변화를 분석하였다.

3.2.1 선회 반경 분석

선박의 선회반경은 선회중거(Advance)와 전술반경(Tactical diameter) 두 가지 요소로 분석하였다. Table 4는 4가지 실험

시나리오에 따른 선박의 선회종거, 전술반경의 변화를 요약한 것이다. Table 4에서 나타내는 바와 같이, GM이 가장 우수한 시나리오(GM=4m)에서는 선회종거, 전술반경이 각각 3.43L, 2.78L로 나타나고 있으며, 4가지 시나리오 중 선회반경이 가장 크게 분석되었다. 반면 GM이 가장 열악한 상태(GM=0.3)의 시나리오에서는 선박의 선회종거, 전술반경이 각각 2.90L, 2.12L로 나타나고 있으며, 선회반경이 가장 작게 분석되었다.

Table 4 Advance and tactical diameter by turning test

No. Test	GM[m]		Advance [m]	Tactical diameter [m]
	Model ship	Real ship		
Test 1	0.040	4.0	3.43L	2.78L
Test 2	0.015	1.5	3.28L	2.50L
Test 3	0.009	0.9	3.03L	2.25L
Test 4	0.003	0.3	2.90L	2.12L

각각의 실험 시나리오에서 획득한 선박의 궤적은 Fig. 4에서 각각 나타나고 있다. 각각의 경우에서 보는 바와 같이 전술반경의 크기가 GM 변화에 따라 점진적으로 변화하는 것을 알 수 있다

GM이 작아질수록 선회종거, 전술반경의 거리는 감소되었다. 이를 통해 GM에 따라 선박 궤적의 크기 차이를 파악할 수 있다. 기존 연구에서도 일반적으로 GM이 감소하면 선회반경이 작아지는 것은 대체적으로 알려져 있다. 하지만 GM 감소에 따라 선회반경의 감소 추이가 어떠한 정량적 경향으로 변화하는지에는 대한 연구는 많이 수행되지 않았다. 이에 GM과 선회반경이 정량적으로 어떠한 관계가 있는지 분석을 시도하였다.

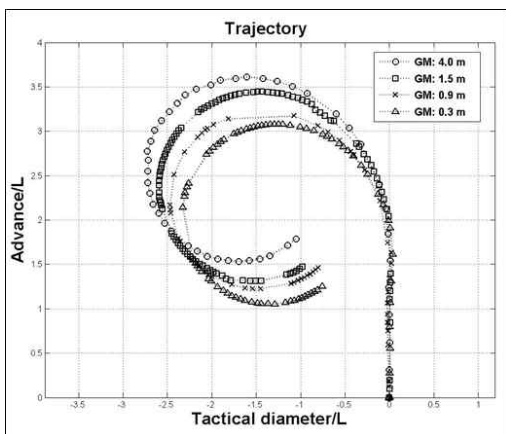


Fig. 4 Trajectory by turning test

Fig. 5, Fig. 6에는 GM 감소에 따른 선회종거, 전술반경 각각의 변화 추이를 나타내고 있다. 실험 시나리오 중 GM 값이 4.0m 일 때가 모형선이 평상시 항해하는 상태의 안정된 상황

이므로 이를 기준으로, 그때 획득된 선회종거, 전술반경 값인 3.43L, 2.78L을 선회반경 변화 추이 파악을 위한 기준 값으로 정하고, GM 감소에 따른 변화율을 분석하였다.

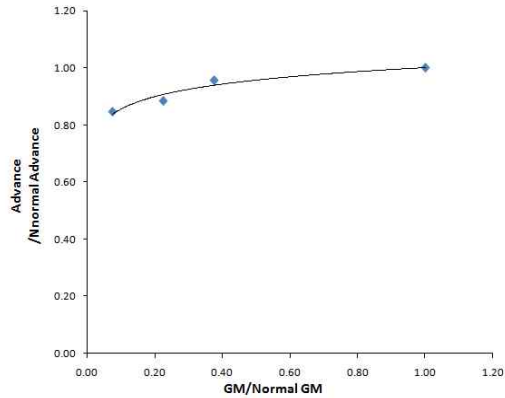


Fig. 5 Tendency of advance according to GM

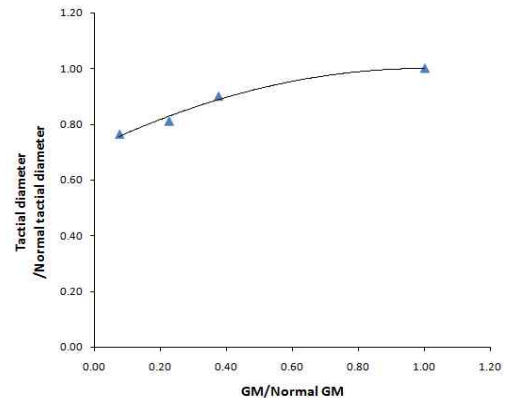


Fig. 6 Tendency of tactical diameter according to GM

즉, 평상시 항해하는 상태를 기준으로 GM 감소율 대비 선회반경 감소율을 확인하였다. 안정된 GM 값에서 GM 값이 감소함에 따라 선회종거, 전술반경은 GM 감소에 비례하여 대체로 점진적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5와 Table 6은 각각의 변화에 따른 추세 식을 나타내며, 각각의 결정 계수(R^2)를 요약한 것이다. 선회종거, 전술반경의 감소 추세는 다소의 차이는 있으나, 선회종거가 전술반경에 비하여 감소 추세가 선형 함수보다는 2차 다항식에 더 근접하는 것으로 나타났다. 이는 선박이 안정된 상태의 GM에서 GM이 점점 감소하는 상황이 발생하면, 조종성능 중 선회반경은 GM이 감소함에 따라 선회종거 및 전술반경은 각각 선형적 감소보다는 2차 다항식에 근접하여 감소하는 것을 의미한다. 운항 중 발생하는 GM 변화는 선박 선회 반경에 점진적으로 영향을 주며, 선회 반경의 감소는 점진적으로 변화한다고 말할 수 있다.

Table 5 Tendency of advance according to GM

Type of trend	R ²	Numerical expression
Linear	0.83	$\frac{D_A}{D_{A,N}} = 0.16 \frac{GM}{GM_N} + 0.85$
Log	0.94	$\frac{D_A}{D_{A,N}} = 0.06 \ln\left(\frac{GM}{GM_N}\right) + 1.0$
Polynomial	0.97	$\frac{D_A}{D_{A,N}} = -0.29 \left(\frac{GM}{GM_N}\right)^2 + 0.49 \frac{GM}{GM_N} + 0.80$

Table 6 Tendency of tactical diameter according to GM

Type of trend	R ²	Numerical expression
Linear	0.93	$\frac{D_T}{D_{T,N}} = 0.25 \frac{GM}{GM_N} + 0.76$
Log	0.94	$\frac{D_T}{D_{T,N}} = 0.09 \ln\left(\frac{GM}{GM_N}\right) + 0.99$
Polynomial	0.98	$\frac{D_T}{D_{T,N}} = -0.28 \left(\frac{GM}{GM_N}\right)^2 + 0.57 \frac{GM}{GM_N} + 0.71$

이를 이용하여 GM값 변화에 따른 선회반경 변화 추이를 다음 식 (1)-(2)식으로 나타내었다.

$$\frac{D_A}{D_{A,N}} = -0.29 \left(\frac{GM}{GM_N}\right)^2 + 0.49 \frac{GM}{GM_N} + 0.80 \quad (1)$$

$$\frac{D_T}{D_{T,N}} = -0.28 \left(\frac{GM}{GM_N}\right)^2 + 0.57 \frac{GM}{GM_N} + 0.71 \quad (2)$$

여기서, D_A : 감소된 GM값에서의 Advance, $D_{A,N}$: 정상상태(GM=4.0m)의 Advance, D_T : 감소된 GM값에서의 Tactical Diameter, $D_{T,N}$: 정상상태(GM=4.0m)의 Tactical Diameter, GM_N : 정상상태(GM=4.0m)에서의 GM, GM : 감소된 GM 값을 각각 의미한다.

3.2.2 선회 시 최대 횡경사 분석

GM 변화에 따른 선회 시 초기 횡경사 추이를 분석하기 위하여, 선회 시 전 구간에 대한 선박 횡동요 데이터를 분석하였다. 특히 초기 선회 시 조타에 의해 발생하는 최대 횡경사 각도를 중점으로 분석하여, GM 값의 변화에 따른 선박 회두 시 일으키는 선박 횡동요 증대에 대한 변화 추이를 살펴보았다.

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10은 GM이 각각 4.0m, 1.5m, 0.9m 및 0.3m인 4가지 경우의 타각 35도 작동 후 시간 경과에 따른 선박 횡동요 변화를 보여주고 있다. Fig. 7은 GM이 가장 안정된 상태인 4.0m인 경우로 2.8도의 외방 경사가 발생하였다. 그 후 15-16초간 자연적인 횡동요 감소가 이루어지면서 서서히 횡동요가 안정되는 것을 알 수 있다. 다만 20초 부근에서 다시 횡동요가 일시적으로 증가되는 현상을 나타내는데 실

험 수행 중 바람과 같은 외란의 영향으로 일시적으로 발생한 현상으로 추정된다. GM이 다소 감소한 Fig. 8의 경우, 타를 작동한 직후 외방 경사가 6.2도까지 발생하고 있다. GM 값이 0.3m로 가장 작은 Fig. 10의 경우 14.5도 가장 큰 외방 경사가 발생하였다.

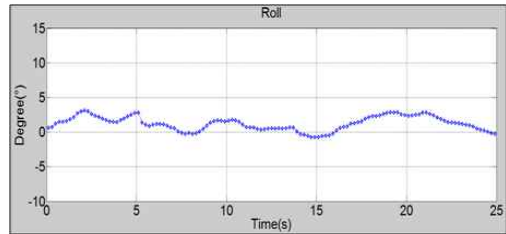


Fig. 7 Roll angle at GM 4.0m

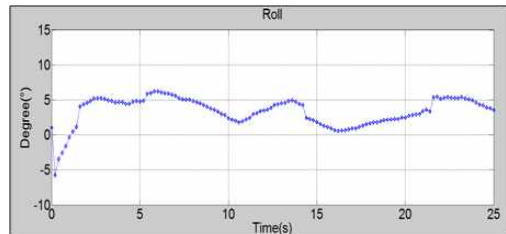


Fig. 8 Roll angle at GM 1.5m

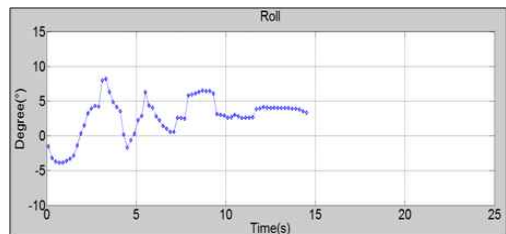


Fig. 9 Roll angle at GM 0.9m

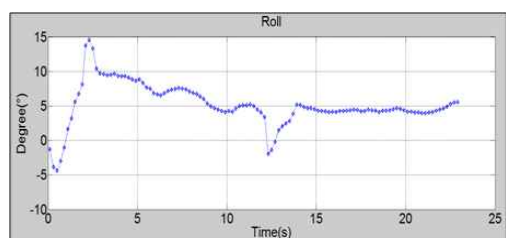


Fig. 10 Roll angle at GM 0.3m

Fig. 10의 경우를 살펴보면, 내방 경사 후 급격한 외방 경사가 발생하며 선회하는 상황을 나타내고 있다. 그 후 외방 경사는 서서히 감소하여 5도 전후의 외방경사를 유지하며, 안정화되어 선회하고 있는 것을 나타내고 있다.

GM 값의 감소에 따라 확인한 외방 경사 증가가 나타나고 있다. 외방 경사 후 서서히 그 각도가 감소하여 안정화되어 선회하는 과정을 잘 보여준다. 위의 4가지 실험 데이터를 요약하여 Table 7에 나타내었다.

Table 7 Maximum heel angle by turning test

No. Test	GM[m]		Degree[°]
	Model ship	Real ship	
Test 1	0.040	4.0	2.8
Test 2	0.015	1.5	6.2
Test 3	0.009	0.9	8.2
Test 4	0.003	0.3	14.5

GM 값 변화에 따른 조타 시 최대 횡경사 변화를 더욱 쉽게 파악하기 위하여, 위의 4가지 경우의 데이터를 종합하여 Fig. 11에 나타내었다. 최대 횡경사는 GM 값 변화에 따라 최소 2.8도에서 최대 14.5도까지 포함을 알 수 있다.

또한, GM 값 감소에 따라 조타에 의한 최대 횡경사 각도 증대 추이를 살펴보기 위하여 횡경사 변화 추이를 선회반경의 변화 추이와 동일한 방법으로 정량적 분석을 시도하였다.

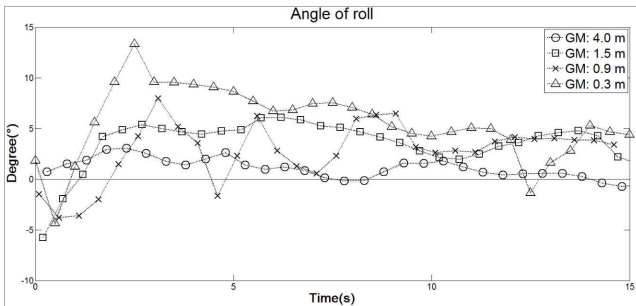


Fig. 11 Angle of roll by turning

GM 값이 4.0m인 가장 안정된 상태를 기준으로 GM 감소 비율에 따른 최대 횡경사 각도의 증가 비율을 파악하였다. 증대되는 추세를 더욱 명확히 살펴보기 위해, 변화 추이를 유형별 추세 형태로 나타내 보았다.

Fig. 12에서 알 수 있듯이 GM 값이 감소함에 따라 조타 시 최대 횡경사 각도는 급격히 증대함을 보여주고 있다. 또한 각각의 결정 계수(R²)를 요약하여 Table 8에 나타내었다. 이를 통해 횡경사 각도 증대 추세를 선형적 증대보다 2차 다항식의 증대 추세식에 확연히 접근해 있는 것을 알 수 있다.

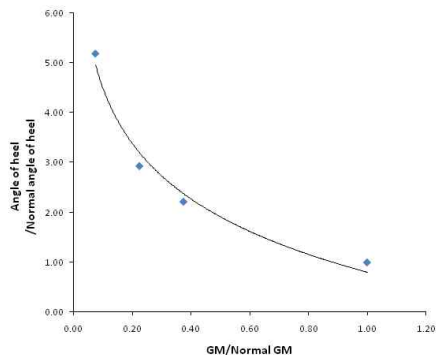


Fig. 12 Tendency of angle of heel according to GM

Table 8 Tendency of angle of heel according to GM

Type of trend	R ²	Numerical expression
Linear	0.76	$\frac{\phi}{\phi_N} = -3.76 \frac{GM}{GM_N} + 4.40$
Log	0.98	$\frac{\phi}{\phi_N} = -1.61 \ln\left(\frac{GM}{GM_N}\right) + 0.79$
Polynomial	0.98	$\frac{\phi}{\phi_N} = 9.27\left(\frac{GM}{GM_N}\right)^2 - 14.29 \frac{GM}{GM_N} + 6.04$

이 결과를 이용하여 GM값의 감소에 따른 조타 시 최대 횡경사 발생 경향을 다음 식 (3)으로 나타내었다.

$$\frac{\phi}{\phi_N} = 9.27\left(\frac{GM}{GM_N}\right)^2 - 14.29 \frac{GM}{GM_N} + 6.04 \quad (3)$$

여기서, ϕ_N : 정상 복원력(GM=4.0m)의 조타 시 최대 횡경사 각도, ϕ : 변화된 GM 상태에서 조타 시 최대 횡경사각도를 의미한다.

이는 선박이 안정된 GM 상태에서 GM이 점점 감소하는 상황이 발생할 경우, 선박 선회 시 발생하는 외방 경사는 GM 감소와 비례적으로 증대되지 않고, 2차적 함수 혹은 로그적 함수로 급격히 증대하는 것을 의미한다. 운항 중 GM 값이 일정 범위를 초월하여 감소하게 되면, 매우 급격한 외방 경사가 발생할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 운항 중 발생할 수 있는 GM 변화에 따라 선박의 조종성능 중 선회성능과 선회 시 조타에 의한 최대 횡경사 각도의 관계를 정량적으로 추정하기 위해 수행되었다. 이를 위하여 총 4가지의 실험조건으로 자유항주 모형실험을 실시하여, 그 결과를 가장 안정된 상태(GM=4.0m)를 기준으로 GM 감소율에 따라 선회반경과 최대 횡경사 각도의 변화 경향을 수치적으로 파악하였다.

본 논문의 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. GM 감소에 따른 선회반경의 변화를 분석하였다.
 - ① GM 감소 따라 선회반경의 선회중거 및 전술반경도 감소하였다.
 - ② GM의 감소율 대비 선회중거 및 전술반경의 감소율 추세를 선형, 로그 및 2차 다항식의 형태로 분석한 결과 두 가지 모두 2차 다항식에 가까운 결과를 나타내었다.

③ 이를 통하여 선박의 GM 감소율에 따른 선회 반경감소의 개략적인 추정 식을 2차 다항식의 함수로 제시하였다.

2. GM 감소에 따른 조타에 의한 최대 횡경사각도 변화를 분석하였다.

① GM이 감소하면, 횡경사 각도 증대 추이는 선형적 증대가 아닌 2차 다항식 및 로그 형태로 크게 증대하고 있는 것을 확인하였다.

② 이를 통하여 각 선박의 GM 감소율에 따른 조타에 의한 최대 횡경사를 추정하는 개략적인 추정 식을 2차 다항식의 함수로 제시하였다.

3. GM이 감소하면 선회 시 선회반경이 감소하고, 조타에 의한 최대 횡경사각도가 증대한다. 그 둘의 감소 및 증대 추이를 비교한 결과, GM 감소 비율 대비 횡경사 각도 증가가 월등히 크며, 선회반경 감소 추이는 그에 비하여 점진적으로 감소되는 것을 확인하였다.

본 연구의 결과는 GM의 크기와 조종성능의 관계를 정량적으로 분석하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 보인다. 본 연구에서는 기초적 연구로 수행되어 유조선 한 선형에 대한 실험이 수행되었다. 향후 보다 다양한 선종에 따른 실험 데이터 확보가 이루어진다면, 보다 발전된 연구가 이루어 질 것으로 판단된다. 이는 선박 운항 시 GM에 따른 조종 성능 예측에 대단히 귀중한 자료로 활용될 수 있기 때문이다.

후 기

This research was a part of the project titled "Development of Ship-handling and Passenger Evacuation Support System" funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (MOF).

References

- [1] Bulian, G(2010), "Checking vulnerability to pure loss of stability in long crested following waves", Ocean Engineer, Vol. 37, pp. 1007-1026.
- [2] Choi, B. R, Hwang S. J and Im, N. K(2015), "A Study on Sinking of SEWOL passenger ship using Free Running Model Ship", Korean Institute of Navigation and Port Research, pp. 72-73.
- [3] Fukui, Y, Yoshimura, Y, Yano, H and Kondo, M(2015), "Investigation of Effect of Roll Motion on Manoeuvrability Using 4DOF Mathematical Model", MARSIM 2015.
- [4] Im, N. K, Kweon, S. K and Kim, S. E(2005), "The Study on the Effect of Loading Condition on Ship Manoeuvrability", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 2, pp. 105-112.
- [5] Im, N. K and Seo, J. H(2010), "Ship Manoeuvring Performance Experiments Using a Free Running Model ship", International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 4, No. 1, pp. 29-33.
- [6] Kijima, K(1987), "Ship Maneuvering Motion in the Proximity of Bank", The 10th West-Japan Society of Naval Architects Meeting, p. 5.
- [7] Kijima, K, and Nakiri, Y(2003), "On the Practical Prediction Method for Ship Manoeuvrability in Restricted Water", The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, pp. 37-52.
- [8] Kose. K, Sakamoto, M, Kobatake, Y. Hirao .S and Wada. S(1989), "Study on Effects of Stern Forms on Manoeuvrability", Journal of the Society of Naval architects, No. 78, pp. 129-136.
- [9] Long, Z. J, Jeong, J. H and Moon B. Y(2013), "Probability Prediction of Stability of Ship by Risk Based Approach", Korean Society for Fluid Machinery, Vol. 16, No. 2, pp. 42-47.
- [10] Resolution A.562(14)(1985), "Recommendation On a Severe Wind and Rolling Criterion(Weather Criterion) For the Intact Stability of Passenger and Cargo Ship of 24 metres in Length and over", 20 November 1985.
- [11] Resolution A.749(18), "Code On Intact Satability For All Types of Ships covered by IMO Instruments", 4 November 1993.
- [12] Resolution A.751(18)(1993), "Interim Standards For Ship Manoeuverability", 4 November, 1993.
- [13] Resolution MSC.137(76)(2002), "Standards For Ship Manoeuverability, 7 December, 2002.
- [14] Son, K. H and Yun, S. D(1989), "A Study on Transverse Stability of Ships in Following Seas", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 26, No. 1, pp. 1-10.

Received 4 November 2016

Revised 8 December 2016

Accepted 9 December 2016

