

여객선의 복원성 평가항목의 지수화 연구

최 훈* · † 임남균

*목포해양대학교 대학원, † 목포해양대학교 항해학부 교수

요 약 : 여객선은 다른 선종에 비해 많은 사람들이 이용하기 때문에 선박의 안전에 더욱 주의를 기울여야 한다. 복원성은 선박의 안전을 판단하는 대표적인 특성으로 IMO에서는 관련 규정을 만들어 준수하도록 하고 있다. 하지만 IMO 복원성 규정은 각 항목에 대한 기준만을 제시하고 있을 뿐 복원성을 종합적으로 확인할 수 있는 방법은 부재한 상황이다. 이를 위해 본 연구에서는 복원성을 하나의 값으로 표현하는 지수를 개발하였다. IMO에서 규정한 선박의 10가지 복원성능 평가항목을 검토하였으며, 대상선박의 적재상황에 따른 복원성을 계산하여 평가항목 간 관계를 분석하였다. 이를 토대로 지수산정식을 개발하였으며, 대상선박에 지수산정식을 적용하여 복원성능 평가지수(Stability Index)가 IMO 복원성 규정을 적절하게 설명함을 확인하였다.

핵심용어 : 여객선, 복원성능, 평가지수, IMO 복원성 규정

1 ••

Contents

01. 서론
02. IMO 복원성 규정
03. 평가항목 간 관계분석
04. 지수산정식 개발 및 적용
05. 요약 및 결론

1. 서론

연구 배경 및 필요성

문제점

- 선박의 복원성능을 종합적이며, 간편하게 제공할 수 있는 방법 부재
- IMO 복원성 규정을 얼마나 만족하고 불만족하는지 판단하기 어려움
- 여객선을 이용하는 승객에게 선박의 안전에 대한 정보제공 방법 부재

복원성능 평가지수(Stability Assessment Index, SI) 개발

- 하나의 수치로 선박의 복원성능을 평가
- 구간에 따라 IMO 복원성 규정의 만족여부 판단 가능
- 승객 및 선원도 선박의 복원성능을 쉽게 확인 가능

2 ••

2. IMO 복원성 규정

- 2008 IS CODE는 선박의 안전운항과 위험을 최소화하기 위한 IMO 복원성 규정
- 본 연구에서 검토한 10가지 평가항목은 다음 표와 같음

Num	Criteria	Minimum Requirement
1	Area (0 to 30) < Area under GZ curve between 0° and 30° >	0.055 m-rad
2	Area (0 to 40) < Area under GZ curve between 0° and 40° (or ϕ_f) >	0.090 m-rad
3	Area (30 to 40) < Area under GZ curve between 30° and 40° (or ϕ_f) >	0.030 m-rad
4	GZ at 30 deg < GZ at a heeling angle of 30° or more >	0.200 m
5	Angle of MAX GZ < heel angle corresponding to maximum GZ >	25 deg
6	GoM < Initial metacentric height >	0.150 m
7	ϕ_s < Angle of heel under action of steady wind >	16° or 80% of the angle of deck edge immersion
8	Area Ratio < B/A >	1.0
9	Angle of MP/W < The angle of heel on account of crowding of passengers to one side >	10 deg
10	Angle of MR/W < The angle of heel on account of turning >	10 deg

3 ••

3. 평가항목 간 관계분석

1) 대상 선박 선정

대상선박은 15,000 ton 급의 카페리 여객선

Num	Item	Values
1	Length (L_{out})	189 m
2	Length (L_{pp})	171 m
3	Breadth (B)	27 m
4	Draft (d)	6.650 m
5	Full Displacement	16044.740 ton

<표> 대상선박의 주요 제원

2) 복원성 상황 구현

화물적재상태를 고려하여 총 20 Case의 복원성 상황을 구현

- Case 1 ~ 8은 만재배수량 + 화물적재
- Case 9 ~ 20은 완성복원성계산서의 Data
- 배수량의 범위는 11,995 ~ 16,044 (ton), 흘수의 범위는 5.361 ~ 6.650 (m)

Case	GoM (m)	KGs (m)	Disp. (ton)	Draft (m)
1	0.100	13.259	16,044.740	6.650
2	0.200	13.159	16,044.740	6.650
3	0.400	12.959	16,044.740	6.650
4	0.600	12.759	16,044.740	6.650
5	0.781	12.597	16,044.740	6.650
6	0.800	12.559	16,044.740	6.650
7	1.000	12.359	16,044.740	6.650
8	1.200	12.159	16,044.740	6.650
9	1.381	12.036	15,098.160	6.362
10	1.418	12.000	15,098.160	6.362
11	1.884	11.475	16,044.740	6.650
12	1.905	11.677	13,860.215	5.973
13	1.919	11.441	16,044.740	6.650
14	2.362	11.092	14,806.796	6.270
15	2.408	11.306	13,171.339	5.749
16	2.519	11.233	12,984.919	5.688
17	2.829	10.717	14,117.920	6.054
18	2.931	10.642	13,931.500	5.995
19	3.565	10.422	11,994.539	5.361
20	3.918	9.844	12,941.120	5.674

<표> Case별 GoM 및 배수량 정보

4 ••

† 교신저자 : namkyun.im@mmu.ac.kr

3. 평가항목 간 관계분석

3) 복원성능 계산결과

- IMO 복원성 규정을 만족하지 못한 평가항목은 GoM, ϕ_0 , Angle of MR/W 등 3가지
- 복원성은 평가결과, 각 항목이 규정을 최초로 만족하는 Case가 다르게 나타남
- 일부 항목이 규정을 만족하더라도 다른 항목은 규정을 불만족하는 상황이 발생

Case	GoM	Area (0-30)	Area (0-40)	Area (30-40)	GZ at 30deg	Angle of Max GZ	ϕ_0	Area Ratio (B/A)	Angle of MP/W	Angle of MR/W
1	0.110	0.099	0.181	0.072	0.441	36.50	14.95	2.17	5.82	12.22
2	0.200	0.112	0.204	0.092	0.491	37.00	14.80	2.80	4.66	10.00
3	0.400	0.139	0.251	0.112	0.591	38.00	11.45	3.89	3.23	12.22
4	0.600	0.166	0.298	0.132	0.691	38.50	9.58	4.74	2.45	11.67
5	0.781	0.190	0.340	0.150	0.782	39.00	8.23	5.33	2.00	10.00
6	0.800	0.193	0.344	0.152	0.791	39.00	8.10	5.38	1.96	9.84
7	1.000	0.219	0.391	0.172	0.891	40.00	6.95	5.89	1.64	9.38
8	1.200	0.246	0.438	0.192	0.990	40.50	6.51	6.30	1.40	7.21
9	1.381	0.263	0.469	0.206	1.054	42.00	6.40	6.71	1.50	7.10
10	1.418	0.268	0.478	0.210	1.073	42.20	6.20	6.79	1.50	6.90
11	1.884	0.372	0.650	0.262	1.332	42.50	4.50	8.01	1.10	5.00
12	1.905	0.317	0.557	0.240	1.240	45.70	5.40	6.93	1.20	5.40
13	1.919	0.342	0.608	0.268	1.350	42.50	4.50	8.07	1.00	4.90
14	2.362	0.392	0.692	0.300	1.528	45.60	4.00	8.29	0.90	4.00
15	2.408	0.372	0.650	0.278	1.435	47.70	4.60	7.08	1.00	4.20
16	2.519	0.384	0.668	0.284	1.472	48.30	4.50	6.59	1.00	4.00
17	2.829	0.444	0.781	0.337	1.722	47.90	3.60	8.30	0.80	3.30
18	2.931	0.455	0.799	0.344	1.757	48.30	3.50	8.14	0.80	3.10
19	3.565	0.503	0.869	0.366	1.889	50.60	3.50	8.01	0.16	2.60
20	3.918	0.570	0.994	0.424	2.167	50.90	2.90	7.30	0.15	2.10

<표> Case별 GoM 및 배수량 정보

4. 지수산정식 개발 및 적용

1) 지수산정식 개발

- 2개의 기준값을 설정

Safety Limit (SI = 1.0)

10가지 항목이 규정을 모두 충족하는 최초의 상태

Normal (SI = 2.0)

표준적하상태의 Full Loading Condition (만재배수량에서의 평상시 항해상태)

- 기준값을 토대로 구간을 3개로 설정

$0.0 \leq SI_{total} < 1.0$

일부 평가항목이 IMO 복원성 규정을 불만족하며, 다소 위험한 상황

$1.0 \leq SI_{total} < 2.0$

모든 평가항목이 IMO 복원성 규정을 만족하나, 통상적 항해상황에는 못 미침

$SI_{total} \geq 2.0$

모든 평가항목이 IMO 복원성 규정을 만족하며, 복원성능이 우수함

Section	범위	IMO 규정만족	복원성능판별
1	$0.0 \leq SI_{total} < 1.0$	일부 규정 불만족	다소 위험한 상황
2	$1.0 \leq SI_{total} < 2.0$	규정 만족	통상적인 항해상황보다는 부족
3	$SI_{total} \geq 2.0$	중복히 만족	우수한 복원성능

<표> 복원성능 평가지수의 구간별 의미

4. 지수산정식 개발 및 적용

1) 지수산정식 개발

- 모든 평가항목을 종합한 복원성은 지수산정식

$$SI_{total} = \sum \frac{SI_i}{n} \quad (SI_{total}: \text{종합복원성지수}, n: \text{복원성 평가항목 개수 (107)})$$

- 개별 평가항목의 복원성은 지수산정식

구분	범위	지수산정식	
		① GoM, ② GZ at 30deg, ③ Angle of Max GZ, ④ Area (0-30), ⑤ Area (0-40), ⑥ Area (30-40) (7개 평가항목)	⑦ ϕ_0 , ⑧ Angle of MP/W, ⑨ Angle of MR/W (3개 평가항목)
구간 1	0 - Margin (IMO Criteria) <SI: 0.0 ~ 0.5>	$SI_{i1} = 0.5 \times \frac{\alpha_i}{\alpha_{i,margin}}$	$SI_{i2} = 0.5 \times \frac{MAX - \alpha_i}{MAX - \alpha_{i,margin}}$
구간 2	Margin (IMO Criteria) - Safety Limit <SI: 0.5 ~ 1.0>	$SI_{i1} = 0.5 + 0.5 \times \frac{ \alpha_i - \alpha_{i,margin} }{ \alpha_{i,normal} - \alpha_{i,margin} }$	$SI_{i2} = 1 + \frac{ \alpha_i - \alpha_{i,normal} }{ \alpha_{i,normal} - \alpha_{i,margin} }$
구간 3	Safety Limit - Normal <SI: 1.0 ~ 2.0>	$SI_{i1} = 1 + \frac{ \alpha_i - \alpha_{i,normal} }{ \alpha_{i,normal} - \alpha_{i,margin} }$	$SI_{i2} = 2 + \frac{ \alpha_i - \alpha_{i,normal} }{ \alpha_{i,normal} - \alpha_{i,margin} }$

※ SI_{i1} : i 번째 평가 항목 복원성
 α_i : i 번째 평가 항목 복원성능 계산 값
 $\alpha_{i,margin}$: i 번째 평가 항목 IMO Criteria
 $\alpha_{i,SL}$: 전 평가항목이 IMO criteria를 만족하는 시점에서의 i 번째 평가 항목 값
 $\alpha_{i,Normal}$: 표준적하상태의 Full loading condition of the 조건에서 i 번째 평가 항목 값
 Max: GoM이 가장 낮은 Case에서의 ϕ_0 , Angle of MP/W, Angle of MR/W 값

4. 지수산정식 개발 및 적용

2) 지수산정식 적용

- 2개의 기준값을 설정

Safety Limit GoM = 0.781 Normal GoM = 1.919

- 적용 결과

GoM : 0.00m ~ 0.60m

일부 평가항목이 IMO 복원성 규정을 불만족. SI는 1.0 미만으로 나타남

GoM : 0.781 m ~ 1.905m

모든 평가항목이 IMO 복원성 규정을 만족하나 평상시 항해상황에는 못 미침. SI는 1.0 이상 2.0 미만으로 나타남

GoM : 0.781 m ~ 1.905m

모든 평가항목이 IMO 복원성 규정을 만족하며 우수한 복원성능을 갖추고 있음. SI는 2.0 이상으로 나타남

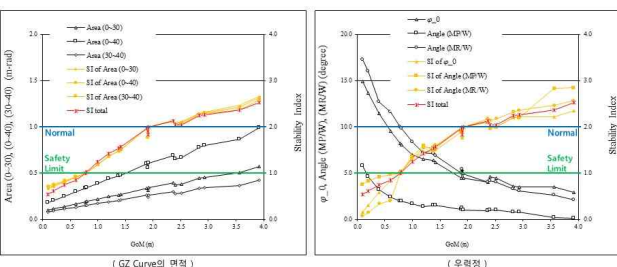
GoM	Satisfaction with regulation				SI
	GoM	ϕ_0	Angle of MR/W	Area (0-30) 등 7가지 평가항목	
0.100	X	X	X	O	0.5418
0.200	O	X	X	O	0.6096
0.400	O	O	X	O	0.7408
0.600	O	O	X	O	0.8520
0.781	O	O	O	O	1.0000
0.880	O	O	O	O	1.0211
1.000	O	O	O	O	1.2471
1.200	O	O	O	O	1.4222
1.381	O	O	O	O	1.5372
1.418	O	O	O	O	1.5720
1.884	O	O	O	O	1.9708
1.905	O	O	O	O	1.8337
1.919	O	O	O	O	2.0000
2.362	O	O	O	O	2.1271
2.408	O	O	O	O	2.0398
2.519	O	O	O	O	2.0474
2.829	O	O	O	O	2.2482
2.931	O	O	O	O	2.2702
3.565	O	O	O	O	2.3711
3.918	O	O	O	O	2.5238

<표> 대상선박의 종합복원성지수

4. 지수산정식 개발 및 적용

2) 지수산정식 적용

- 실제값: 각 평가항목별로 기준이 달라 IMO 복원성 규정의 만족여부를 파악하기 어려움
- 복원성능지수: 기준값 (Safety Limit, Normal) 을 통해 IMO 복원성 규정의 만족여부를 쉽게 파악



<그림> 평가항목의 실제값과 복원성능지수 비교

5. 요약 및 결론

- IMO 복원성 규정 검토**
 - 여객선의 복원성능을 평가하는 10가지 평가항목을 검토 (복원성 곡선, 우력정 등)
- 평가항목 간 관계분석**
 - 만족복원성계산서와 화물적재상태를 고려하여 총 20 Case의 복원성 상황을 구현
 - 분석결과, 각 항목이 규정을 최초로 만족하는 Case가 다른 것으로 확인
 - 일부 항목이 규정을 만족하더라도 다른 항목은 규정을 불만족하는 상황이 발생
- 지수산정식의 개발**
 - SI를 통해 표현하고자 하는 구간과 2개의 기준값(Safety Limit, Normal)을 설정
 - 각 항목별 복원성능 지수산정식을 개발하였으며, 모든 항목을 종합한 SI는 평균값을 구하여 도출
- 지수산정식의 개발**
 - SI 가 모든 Case에서 IMO 복원성 규정의 만족여부를 적절하게 설명함을 확인
 - 규정을 얼마나 만족하고 불만족하는지 확인

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).