

소형 어선 및 화물선의 복원성기준 연구

Study on the Stability Criteria for Small Fishing Vessels and Cargo Ships

권수연^{*†}, 이희준^{*}

Soo-Yeon Kwon^{*†} and Hee-Joon Lee^{*}

ABSTRACT

According to amendments of ship safety act which comes into force from 4 Nov. 2007, the amended stability criteria should be applied to the small vessels of 12m or more in length. In this paper, the dimensions of domestic small vessels and the casualty reports of capsizing accidents are analyzed. And 58 ships are sampled, modeled for the investigation of the stability performance. Based on the regression analysis of the model ship's allowable metacentric-heights under several stability requirements, stability criteria for small fishing vessels and cargo ships are proposed.

※ **Keywords** : Stability(복원성), Stability Criteria(복원성기준), Transverse Metacentric-height(횡메타센타높이), Small Vessel(소형선박), capsizing accidents(전복사고), regression analysis(회귀분석)

1. 서 론

선박의 항해 안전성 확보를 위하여 일본, 미국, 유럽 등 각국에서는 배의 길이 24미터이상 선박

은 물론 24미터미만의 선박에 대하여도 자국의 실정에 따라 일정규모 이상의 선박에 대하여 복원 성능 기준을 설정하고 이 기준에 만족하도록 규정하고 있다. 또한 국제해사기구(IMO)에서는 2004

* 선박검사기술협회 기술연구팀

† 논문 주저자

년 12월 해사안전위원회(MSC) 79차 회의에서 배의 길이 12미터이상 24미터미만 어선에 대하여 적용되는 어선안전 코우드 및 소형어선에 관한 잠정지침을 승인한 바 있으며, 12미터미만 어선에 대하여도 국제적인 안전기준 개발을 추진하기로 결정하였다. 그러나 우리나라의 경우 24미터미만 선박에 대하여는 여객선, 카훼리화물선과 최대탑재인원이 13인이상인 낚시어선을 제외하고는 복원성기준이 설정되어 있지 않은 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 국내 소형 어선 및 화물선의 운영실태를 조사하고 전복사고 사례를 중심으로 전복사고 원인을 분석하는 동시에, 모델선형을 선정하고 현재 24미터이상 선박에 적용되는 복원성기준과 일본 및 IMO의 기상기준 등 유사기준을 적용하여 분석함으로써 우리나라 실정에 적합한 소형선박 복원성기준 설정 방향을 제시하고자 한다. 다만, 이 연구에서는 선박안전법의 개정 동향에 따라 배의길이 12미터이상 선박에 대하여 복원성기준을 적용하는 것으로 고려하였다.

2. 소형선박의 현황

2.1 선박 등록현황

해양수산통계연보에 의하면 선박의 용도 및 규모에 따른 2005년도 국내 선박의 등록현황은 Table 1과 같다. Table 1에서 보는 바와 같이 전체 선박 중 총톤수 50톤이상의 선박은 6.2%를 점하고 있을 뿐이며 총톤수 50톤미만 선박이 93.8%로 대부분을 차지하고 있다. 또한 총톤수 50톤미만의 선박 중에서 배의길이 12미터미만이 될 것으로 예상되는 총톤수 5톤미만의 선박을 제외하는

경우에도 13.5%로 점유하고 있어 총톤수 50톤이상의 선박에 비하여 2배 이상의 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

Table 1 용도별 규모별 선박 등록현황(2005년)

톤급 용도	5톤 미만	5톤 이상 20톤 미만	20톤 이상 30톤 미만	30톤 이상 50톤 미만	50톤 이상 100톤 미만	100톤 이상	합 계
여객선	0	1	1	9	50	144	205
화물선	5	34	61	44	65	588	797
유조선	3	77	59	56	100	383	678
예 선	2	112	205	259	254	382	1,214
부 선	0	0	36	45	122	1,714	1,917
기 타	353	973	421	184	181	186	2,308
어 선	78,215	9,146	941	520	1,024	889	90,735
합 계	78,578	10,343	1,724	1,117	1,796	4,286	97,854
점유율	80.3%	10.6%	1.8%	1.1%	1.8%	4.4%	100%

2.2 주요제원 분석

본 연구에서 설정하고자 하는 복원성능 판정기준과 선박의 주요제원 특성의 비교분석을 위하여 우리나라 선박의 총톤수와 배의길이와의 상관관계, 배의길이와 너비 또는 깊이 등 주요제원간의 상관관계를 분석하였다. 주요제원 분석 대상선박은 선박검사기술협회의 검사대상 선박 중 등록장이 12미터이상인 선박으로 하였으며, 어선은 8,090척, 여객선 및 어선을 제외한 선박(이하 화물선이라 함)은 2,640척을 분석 대상으로 하였다.

주요제원의 분석내용은 어선 및 화물선 등 선박의 용도에 따라 분석하였으며 이중 화물선과 어선의 길이와 총톤수 관계를 나타내면 Fig. 1, 2와 같다.

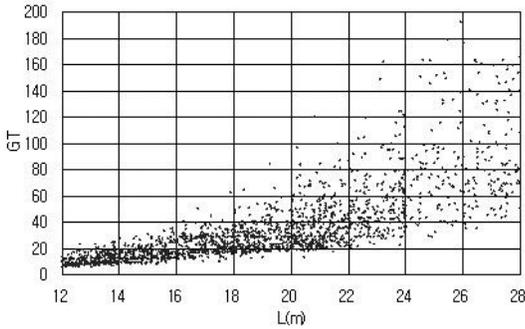


Fig. 1 화물선의 길이와 총톤수의 관계

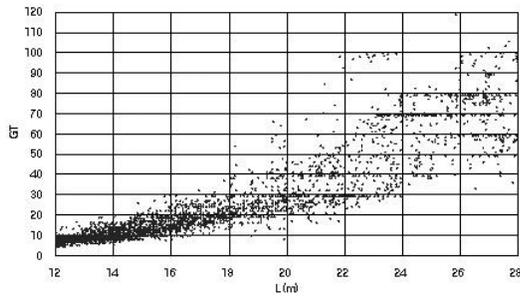


Fig. 2 어선의 길이와 총톤수의 관계

분석결과에 의하면 화물선의 경우 동일한 배의 길이에서 총톤수는 대략 3~4배 정도 차이가 나고 있는 것으로 나타났으며, 길이 12미터인 경우 총톤수는 약 5~15톤, 24미터인 경우 약 30~120톤 정도 인 것으로 파악되었다. 반면 어선의 경우 동일한 배의 길이에서 총톤수는 대략 2~2.5배 정도 차이가 나는 것으로 나타났고, 길이 12미터에서 총톤수는 약 4~10톤, 24미터에서 약 30~80톤 정도인 것으로 나타났다.

또한 화물선은 어선에 비하여 동일한 배의 길이에서 총톤수가 더 큰 경우가 많은 것으로 나타났으며, L/B 분포가 어선과 유사하나 분포범위가 더 넓어 어선의 어업허가와 같이 총톤수에 대한 제한이 없어 사용목적에 따라 주요요목의 적절한 선택이 가능한 것을 반영하고 있는 것으로 파악되었

다. 주요제원 비를 분석한 결과에 의하면, 어선과 화물선 모두 배의 길이가 짧을수록 L/B 값이 작아지고 B/D값은 커지는 경향으로 선박의 규모가 작을수록 주요제원 결정에 있어 초기 복원성능 확보가 중요한 요소임을 나타내고 있다.

2.3 전복사고 발생건수 및 원인

해양안전심판원의 자료에 따라 1990년 이후 해양사고 발생현황을 분석해 보면 전체 해양사고 중 총톤수 50톤미만 소형선박의 해양사고는 평균 48.0%이며, 어선에 있어서는 평균 67.0%를 차지하고 있다. 또한 1980년 이후 2005년까지 26년간의 해양사고를 사고종류별로 분석해 보면 전체 해양사고 중 전복사고 건수는 평균 2.3%를 차지하지만 이에 따른 인명피해는 14.7%를 차지하여 전복사고에 의한 인명피해 발생률이 건당 2.35명으로 가장 높은 것으로 나타났다.

선박이 용도 및 톤급에 따라 전복사고 건수를 해양안전심판원의 재결서에 의하여 분석해 보려는 Table 2와 같다.

Table 2 용도별 톤급별 전복사고 발생건수(1966년~2004년)
단위 : 건

톤급 \ 용도	5톤 미만	5톤 이상 20톤 미만	20톤 이상 50톤 미만	50톤 이상 100톤 미만	100톤 이상	미상	합계
여객선	0	1	1	3	1	0	6
화물선	0	4	4	9	19	0	36
유조선	0	1	0	1	1	0	3
예인선	0	1	16	3	1	0	21
부선	0	0	1	0	32	0	33
기타선	6	1	1	1	5	2	16
어선	87	62	25	58	47	0	279
계	93	70	48	75	106	2	394

Table 2에서 보는 바와 같이 총톤수 50톤미만 소형선박의 전복사고는 다른 선박에 비해 어선에서 많이 발생하고 있으며, 화물선중에서는 예인선과 일반화물선의 전복사고가 많은 것으로 조사되었다. 또한 이들 전복사고의 원인을 재결서에 따라 분석한 결과 선박의 용도별로 전복사고의 주요 발생원인은 Table 3과 같이 조사되었다.

Table 3 용도별 선박 전복사고 발생원인

사고원인 용도	과적, 적재불량, 어구/화물 이동	갑판 유입수	조선/조타 불량	항천향해, 복원력 부족	선체내 해수유입	외력 영향 (양망, 크레인 예인 작업)	기타 (선체 파공, 해저 어구 걸림)	계
여객선	5	0	0	1	0	0	1	7
화물선	25	1	3	4	4	1	4	42
탱커	2	0	0	0	0	1	1	4
예인선	1	0	10	0	1	11	3	26
부선	13	1	0	9	15	1	7	46
기타선	5	0	4	2	1	0	4	16
어선	80	52	41	92	34	31	50	380
계	131	54	58	108	55	45	70	521

선박의 전복사고는 대부분 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 발생된다. 그러나 Table 3에서 보는 바와 같이 화물선(대부분 카훼리화물선 및 일반화물선임)의 경우 과적이나 적재불량이 주요원인이 되고 있으며, 예인선의 경우 예인작에 의한 외력과 선회의 영향이, 부선의 경우 선체내 해수유입과 과적 및 적재불량이 주요원인으로 분석되었다. 어선에 있어서는 항천시의 항해에 따른 복원력 부족과 과적 및 적재불량 외에도 갑판유입수 등 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하고 있는 것으로 분석되

었으며, 업종에 따른 전복사고를 분석한 결과 총톤수 50톤미만 소형어선의 경우 전복사고가 많은 업종은 유자망어선(48건), 통발어선(42건), 연승어선(22건), 연안복합어선(11건) 순으로 나타났다.

3. 소형선박의 복원성능 분석

국내 소형선박에 적절한 복원성능 판정기준 설정을 위하여 선박의 용도별로 주요제원 분포를 고려하여 복원성능 평가를 위한 모델선형을 선정하였으며, 복원성능을 평가 분석하기 위한 방안으로 국내외 소형선박의 복원성기준이나 국제적으로 논의되고 있는 복원성기준을 조사하여 국내의 24미터이상 선박에 적용되고 있는 기존의 복원성기준과 비교하여 수용하기에 적합한 기준들을 화물선과 어선으로 나누어 선정하였다.

선정된 복원성능 평가기준들을 적용하여 각 모델선형에 있어서 흘수의 변화에 따라 기준에 만족하기 위한 최소횡메타센타 높이를 계산하였으며, 계산결과를 분석하여 국내 소형선박의 복원성기준(안)을 제시하고 선정된 평가기준과 연구결과 제시한 복원성기준(안)을 서로 비교해 보았다.

3.1 모델선형 선정

복원성능 분석을 위한 모델선형으로, 연안어선은 낚시어선으로 사용되고 있는 연안복합어선 4척을 기본선형으로 하고, 근해어선은 권현망어선, 안강망어선, 저인망어선, 연승어선, 채낚기어선 각각 한 척씩과 통발어선 3척으로 총 8척의 선형

을 기본선형으로 선정하였다. 또한 화물선의 경우 기타선 2척, 예인선 3척, 유조선 3척으로 총 8척의 기본선형을 선정하고 경하상태 자료가 없는 선박에 대하여는 경사시험을 수행하였다. 또한 각 선형에 있어서 국내어선 주요제원 분포를 고려하여 B/D가 변화된 모델선형을 2~3종을 추가로 고려하여 어선의 경우 총 33척, 화물선의 경우 총 25척의 모델선형을 선정하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 어선 모델선형의 주요제원 분포를, Fig. 5와 Fig. 6은 화물선 모델선형의 주요제원 분포를 국내어선과 화물선의 주요제원 분포도에 나타내어 모델선형의 주요제원이 국내어선과 화물선의 주요제원 범위를 벗어나지 않고 있음을 보여주고 있다.

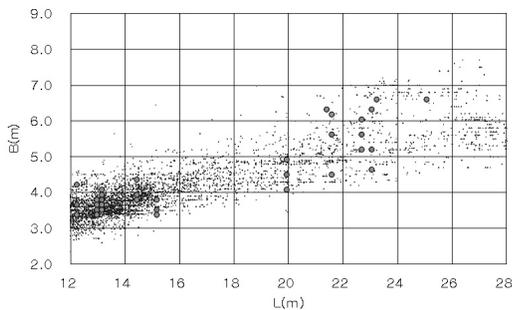


Fig. 3 어선 모델선형의 길이, 폭의 분포

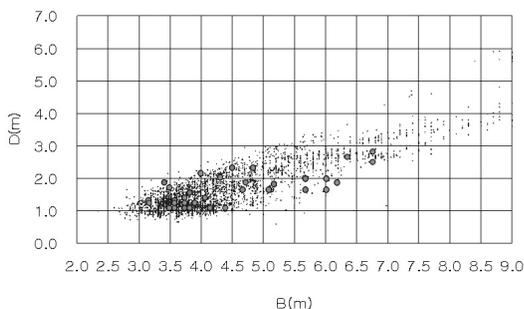


Fig. 4 어선 모델선형의 폭, 깊이 분포

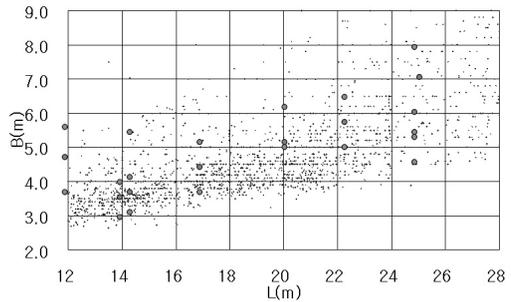


Fig. 5 화물선 모델선형의 길이, 폭 분포

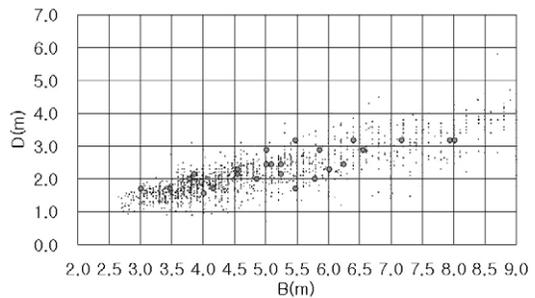


Fig. 6 화물선 모델선형의 폭, 깊이 분포

3.2 복원성능 평가기준 선정

소형 어선의 복원성능 평가기준으로는 국내 24미터이상 40미터미만의 어선에 적용되고 있는 복원성기준을 선정함과 동시에, 일본에서 어선복원성기준 개발 시 적용하였던 바람 및 파도와 횡요에 의한 복원성능 판정기준(이하 일본 기상기준이라 함), IMO Res. A168의 기준과 동일하고 12미터미만의 국제 소형어선 안전기준으로도 채택되어 있는 기준인 IMO Res. A749 일반기준과 IMO Res. A749의 어선 기상기준을 선정하여 모델선형의 복원성능 분석에 적용하였다.

또한 소형 화물선의 복원성능 평가기준으로는 현재 국내에서 24미터이상 화물선에 적용하는 기

준을 소형 화물선에 확대 적용할 수 있는지 평가하기 위하여 국내 연해구역을 향해하는 복원성 기준을 선정하였으며, IMO Res. A167의 기준과 동일하고 일본, 미국, 영국 및 호주 등 각국이 화물선기준으로 기본적으로 수용하고 있는 기준인 IMO Res. A749의 화물선 일반기준, 국내 기준 중 국제 연해구역을 향해하는 화물선에 적용되는 기상기준과 IMO Res. A749의 화물선 기상기준을 선정하였다.

3.3 모델선형의 복원성능 평가

모델선형의 경사시험 결과를 바탕으로 하여 표준재화상태에 대한 중량중심트림 계산을 수행하였으며 계산은 CASHIP 프로그램을 사용하였다. 또한, 앞에서 선정된 복원성능 평가기준에 따라 복원성능 판정계산 및 각 흘수에 있어서 기준에 따른 최소 횡메타센타높이 계산을 수행하였으며, 계산에는 선박검사기술협회에서 개발한 복원성능 판정계산 프로그램을 이용하였다. Fig. 7은 어선에 대한 평가기준을, Fig. 8은 화물선에 대한 평가기준에 의하여 모델선형의 복원성능을 평가한 결과를 Allowable GoM과 Actual GoM의 관계로 나타낸 예이다. 그림을 살펴보면 기울기가 클수록 평가기준별 합격률이 높으며, 기울기가 작을수록 요구되는 Allowable GoM이 크기 때문에 기준이 엄격하다고 판단할 수 있다.

어선에 대하여 각 기준의 적용결과를 살펴보면, 국내24미터이상 40미터미만 어선기준의 요구되는 Allowable GoM이 가장 작은 값을 갖고 있으므로, 평가기준별 합격률이 93%로 가장 높았다. 세 가지 기준 중에서는 IMO Res. A.749어선 일

반기준이 합격률 66%로 조금 완화된 기준으로 나타났다으며, 일본어선 기상기준은 53%, IMO Res. A.749 어선 기상기준은 48%의 합격률을 갖는 것으로 나타나, IMO Res. A.749 어선 기상기준이 가장 엄격한 기준으로 판단되었다.

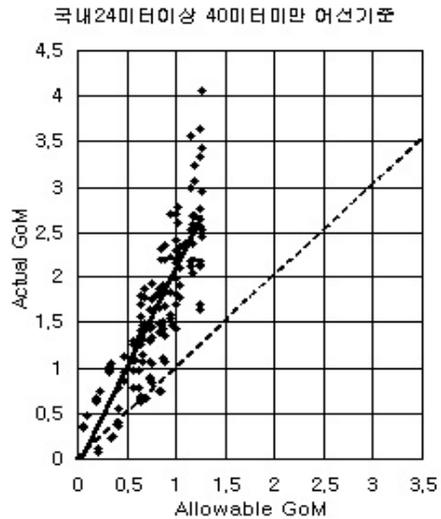


Fig. 7 Act. GoM과 Allow, GoM의 관계(어선1)

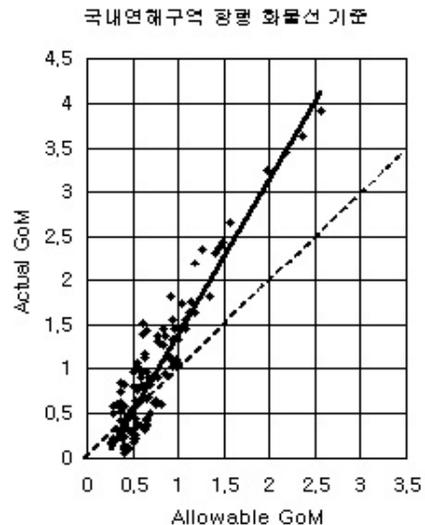


Fig. 8 Act. GoM과 Allow, GoM의 관계(화물선1)

화물선에 대하여 각 기준별 합격률을 살펴보면, 국제연해구역 항행 화물선 기상기준의 합격률이 74%, 국내연해구역 항행 화물선 기준 합격률이 65%, IMO Res. A.749화물선 기상기준과 IMO Res. A.749화물선 일반기준의 합격률이 56%로 동일하였다. 국제연해구역 항행 화물선 기상기준과 국내 연해구역 항행 화물선 기준과의 합격률 차이를 분석해본 결과, 유조선의 경우 흘수가 높아 풍압면적이 작은 상태일 때 국제연해구역 항행 화물선 기상기준을 만족하고 있는 반면, 국내 연해구역 항행 화물선 기준은 만족하고 있지 않았다. 기상기준의 경우 경사우력정에 의하여 복원정곡선 면적 합격이 좌우되므로 국제연해구역 항행 화물선 기상기준의 경우 풍속 19m/s를 적용하여 복원정곡선 면적에 포함되는 값이 크기 때문으로 생각되며, IMO Res. A.749 기상기준은 풍속 26m/s를 반영하고 있기 때문에 복원정곡선 면적이 작아 만족하기 힘들고, IMO Res. A.749화물선 일반기준의 경우 도선선과 예인선 기본선형의 폭을 줄인 선형에서 모든 적하상태가 만족하지 않았으며, 유조선의 경우 기본선형이 만족하지 않으면 폭을 늘린 것과 줄인 것 모두 흘수가 높은 상태에서 만족하지 않았다.

3.4 주요제원 변화에 따른 복원성능 변화

본 연구의 목적이 소형 어선과 화물선의 복원성 기준을 설정하는 것으로서 세부적인 선형 특성의 차이에 따른 영향을 분석하기 보다는 일반적으로 전체 선형에 적용할 수 있는 복원성기준을 설정하는 데 있음을 고려하고 복원성기준 설정시 B 및 B/D나 흘수의 영향을 분석하여 반영하게 되므로,

여기서는 배의 너비의 변화에 따른 횡메타센타높이와 각 복원성기준에 따른 최소 횡메타센타높이 값의 변화 특성만을 분석해 보았다. Fig. 9와 Fig. 10에는 어선과 화물선에서 폭의 변화에 가장 차이가 큰 기준을 나타내었다.

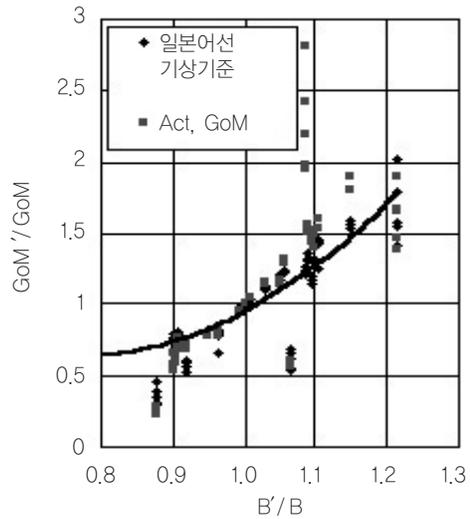


Fig. 9 폭과 GoM과의 관계(어선2)

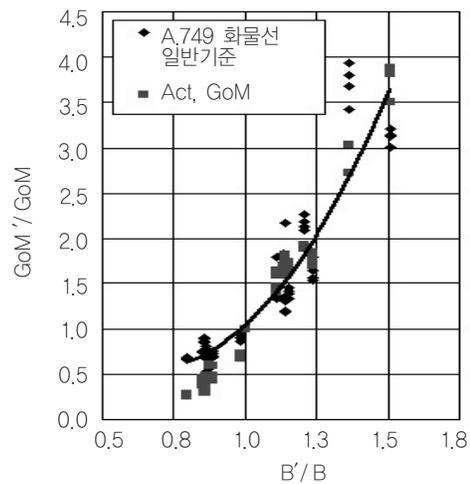


Fig. 10 폭과 GoM과의 관계(화물선2)

3.5 평가기준의 비교 분석

가. 어선

어선의 평가기준을 상호 비교한 결과, 배의길이 24미터이상 40미터미만 어선에 대한 국내기준은 동 기준이 일본에서 설정될 당시 적용되었던 기준 즉, 일본어선 기상기준에 비하여 평균 53.9%의 횡메타센타높이를 요구하는 것으로 나타났으며, 이것은 선박형상의 변화에 따라 현행 배의길이 24미터이상 40미터미만 어선에 대한 국내기준이 복원성능 평가기준으로 미흡한 것으로 말해주고 있다. 배의길이 24미터이상 40미터미만 어선에 대한 국내기준은 IMO Res. A.749의 일반기준에 비하여 평균 58.2%의 횡메타센타높이를, 배의길이 24미터이상 40미터미만 어선에 대한 국내기준은 IMO Res. A.749의 기상기준에 비하여 평균 52.4%의 횡메타센타높이를 요구하는 것으로 나타났다. Fig. 11은 어선의 기준을 서로 비교한 한 예로, 일본어선 기상기준은 IMO Res. A.749의 기상기준에 비하여 평균 97.0%의 횡메타센타높이를 요구하는 것으로 나타나, 대체적으로 IMO Res. A.749 기상기준과 대등한 수준인 것으로 나타났다으며, 이는 기준 적용 풍속이 일본어선 기상

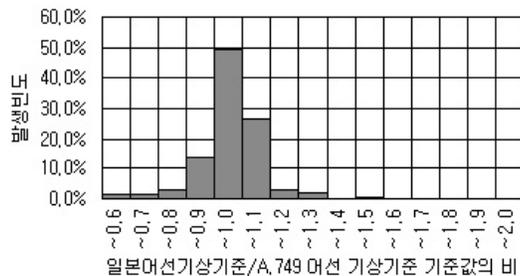


Fig. 11 일반어선 기상기준 및 A.749 어선기상기준 비교

기준의 경우 19m/s이고 IMO Res. A.749의 기상 기준이 25m/s이나 횡요각 계산에서 계산식에 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다.

나. 화물선

국내 연해구역을 항행하는 화물선 복원성기준은 IMO Res. A.749의 일반기준에 대한 기준 값에 비하여 평균적으로 89.9%의 수준을 요구하고 있다. 이러한 경향은 IMO Res. A.749 일반기준 중 최대복원정 값이 횡경사각 25도 이상에서 발생되어야 한다는 기준과 횡경사각 30도에서의 복원정이 0.2m 이상이 되어야 한다는 기준이 면제되었기 때문이다. 국내 연해구역을 항행하는 화물선 복원성기준은 IMO Res. A.749의 기상기준에 대한 기준 값에 비하여 평균적으로 99.2%의 수준을 요구하고 있어 대체적으로 IMO Res. A.749의 기상기준이 좀더 강화되어 있는 것으로 생각되나 기준값 비가 1이상도 약 25.0%나 되고 있다. 약 35.4%를 차지하고 있는 모델선형은 화물선중 B/D값이 가장 큰 3척과 유조선 2척이었으며, 5척 모두 적하상태의 흘수가 높아 풍압면적이 작아진 경우였다. 즉, 적하상태의 흘수가 높은 경우 국내 연해구역을 항행하는 화물선 복원성기준이, 흘수가 낮고 풍압측면적이 큰 선형인 경우 IMO Res. A.749의 기상기준이 더 엄격한 기준으로 적용되고 있는 것으로 확인되었다. Fig. 12에는 국내의 기준 중 국제 연해구역을 항행하는 화물선에 대하여 적용되는 기상기준과 IMO Res. A.749 기상기준을 비교해보았다. 평균 0.694로 IMO Res. A.749 기상기준이 강화된 기준임을 확실히 보여 주고 있으며, 국내의 기준이 풍속 19m/s를, IMO Res. A.749 기상기준이 풍속 26m/s를 반영하고

있기 때문에 두 기준값의 비의 차이는 각 모델선형의 풍압측면적에 기인한다. 또한 국내 연해구역을 항해하는 화물선 복원성기준과 국제 연해구역을 항해하는 화물선에 대하여 적용되는 기상기준을 비교해 보았을 때 기준값 비의 분포가 분산되어 있으며, 적하상태의 흘수가 높은 경우 국내 연해구역을 항해하는 화물선 복원성기준이, 흘수가 낮고 풍압측면적이 큰 선형인 경우 국제 연해구역을 항해하는 화물선에 대하여 적용되는 기상기준이 더 엄격한 기준으로 적용되고 있는 것으로 확인되었다.

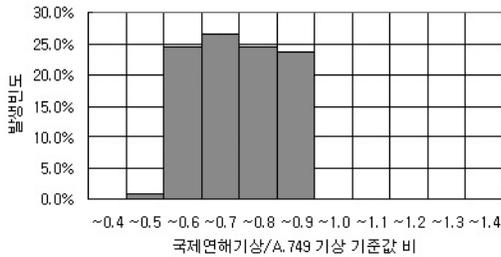


Fig. 12 국제연해 기상기준 및 A.749 기상기준 비교

3.6 복원성 기준 설정 방향

가. 어선

국내외의 소형어선에 대한 복원성기준이나 국제적으로 논의되고 있는 복원성기준을 고려할 때 배의길이 24미터미만 어선에 대한 복원성기준은 IMO Res. A749 또는 A168의 기준을 수용하거나 GoM 값에 의한 적절한 간이 복원성기준을 설정하는 방안으로 요약할 수 있다.

그러나 IMO Res. A749 및 A168기준은 국내 어선의 선형과는 상이한 유럽어선을 중심으로 개발되었기 때문에 국내에 있어서는 24미터이상 어선에 그대로 수용하지 못하고 40미터이상 어선에

한하여 적용되고 있는 실정이다.

따라서 소형 어선에 대한 복원성능 판정기준은 국내의 배의길이 24미터이상 40미터미만의 어선에서 적용되는 것과 같이 GoM 값에 의한 적절한 간이 복원성기준으로 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단되며, 어업허가구분을 고려하여 근해어선과 연안어선으로 구분하여 근해어선은 기존의 복원성기준과 같이 풍속을 19%로 적용하고 연안어선은 근거리 조업을 감안하여 풍속을 15%로 적용하는 것으로 고려하였다.

나. 화물선

현재 배의길이 24미터이상으로 국내 연해구역을 항해하는 화물선에 적용되는 복원성기준은 IMO Res. A167 기준을 완화하여 적용하고 있는 기준이다. 각국의 복원성기준을 검토해 보면 알 수 있는 바와 같이 항해구역이 같은 경우 선박에 작용하는 해상상태가 동일한 조건임을 나타내는 것으로서 복원성기준도 당연히 같은 기준이 적용되고 있다.

따라서 국내에 있어서 소형 화물선의 경우에도 연해구역을 항해하는 경우에는 배의길이에 관계없이 동일한 기준을 적용하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

소형 화물선이 평수구역을 항해하는 경우에는 여객선의 평수구역 복원성기준과 같이 적용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

이에 따라, 선정된 모델선형에 여객선 평수구역 기준과 같이 풍속은 15m/s를 적용하여 한계경사각에서의 복원정과 경사우력정을 비교하고 한계경사각 기준을 만족하는 최소 횡메타센타높이를 계산하여 분석하였으며, 평수구역 카훼리화물선 기준과 형평성을 고려하였다.

3.7 복원성 기준(안)의 설정

가. 어선

소형어선의 복원성능 판정기준(안)은 일본의 기상기준과 IMO Res. A.749의 기상기준에 따라 각 모델선형에 풍속을 19%와 15%로 적용하여 각 기준에 만족하는 최소횡메타센타높이(All. GM)를 계산하고, 계산결과를 주요제원 및 흘수에 따라 분석하여 국내 소형어선에 적합한 것으로 판단되는 기준(안)을 제시하였다.

분석결과 국내 24미터 어선의 복원성기준 도입 배경이 되고 있는 일본의 기상기준보다 IMO Res. A.749의 기상기준에 의한 분석결과가 국내 수용하기에 더 적합한 것으로 판단되었으며, 현재 배의길이 24미터이상 40미터미만의 근해어선에 적용되고 있는 복원성기준을 선체 재질에 관계없이 적용할 수 있는 보완된 기준을 제시하였다.

근해어선에 대하여 IMO Res. A.749 기상기준을 적용하여 분석한 결과는 Fig.13 및 14와 같으며, 분석결과에 따라 복원성 판정기준으로 식 (1)이 적합한 것으로 분석되었다.

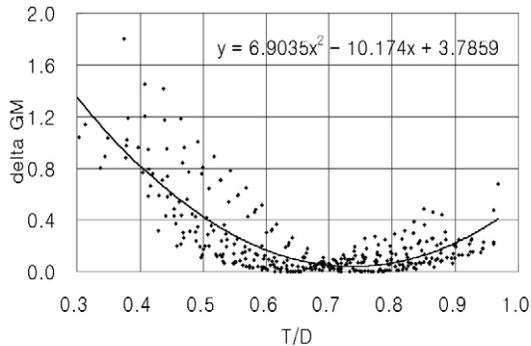


Fig. 13 All. GM의 T/D 영향

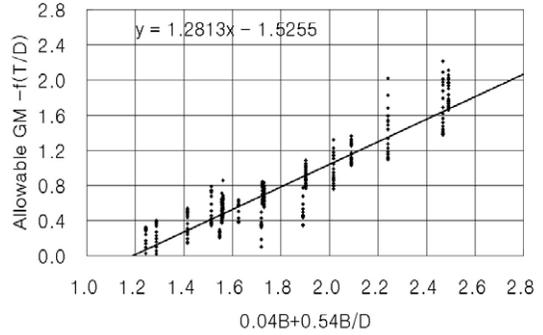


Fig. 14 All. GM의 B, D 영향

$$\begin{aligned} \text{GoM} \geq & 0.051B + 0.692 \frac{B}{D} + 6.904 \left(\frac{T}{D}\right)^2 \\ & - 10.174 \frac{T}{D} + 2.260 \end{aligned} \quad (1)$$

한편 연안어선으로 황천시 피항 소요시간이 3시간이상인 해역에서 조업하는 경우 풍속 15%하에서 IMO의 기상기준을 적용하여 식 (2)와 같은 복원성 판정기준을, 피항 소요시간이 3시간이내인 연안에서 조업하는 경우 풍속 15% 및 0.0375B²의 부가 횡경사모멘트 작용시 한계경사각기준을 적용하여 분석한 결과에 따라 식 (3)의 복원성 판정기준이 적합한 것으로 제시되었다.

$$\begin{aligned} \text{GoM} \geq & 0.117B \left(\frac{B}{D} - 2.20\right) + [1.773 \left(\frac{T}{D}\right)^2 \\ & - 12.646 \frac{T}{D} + 1.016]B \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{GoM} \geq & 0.059B \left(\frac{B}{D} - 2.20\right) + [2.085 \left(\frac{T}{D}\right)^2 \\ & - 2.857 \frac{T}{D} + 0.990]B \end{aligned} \quad (3)$$

다만, 식 (1), (2), (3)에서, 근해어선으로 B/D가 2이하인 경우 2로, 연안어선으로 B/D가 2.2이하

인 경우 2.2로 적용하며, T/D가 0.5이하인 경우 0.5로 하되 GoM의 최소값은 0.35이상이 되도록 하였다.

나. 화물선

현재 24미터이상 국내연해구역을 항해하는 화물선에는 IMO Res. A167 기준을 완화하여 적용하고 있으므로 연해구역을 항해하는 경우 동일한 기준을 적용하는 것이 바람직하며, 평수구역을 항해하는 경우에는 여객선의 평수구역기준과 같이 한계경사각기준을 적용하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 이에 따라 선정된 모델선형에 여객선 평수구역 기준과 같이 한계경사각에서의 복원정과 경사우력정을 비교, 한계경사각 기준을 만족하는 최소 횡메타센타높이를 계산하여 분석결과에 따라 식 (4)와 같은 평수구역 화물선 복원성기준이 제시되었다.

$$GoM \geq 0.047B \left(\frac{B}{D} - 2.2 \right) + \left[0.456 \left(\frac{T}{D} \right)^2 - 0.6106 \frac{T}{D} + 0.237 \right] B \quad (4)$$

3.8 복원성 기준(안)의 평가

가. 어선

소형 어선의 복원성능 평가기준으로 선정된 기준들과 연구결과 제시된 복원성 기준(안)을 모델선형에 대하여 적용하여 계산한 결과를 현재 24미터이상 40미터미만에 적용되고 있는 기준을 중심으로 비교하면 Fig.15와 같으며, 모델선형의 적하상태에 대하여 제안된 복원성기준(안)에 따라 복원성능을 평가하면 Fig.16과 같다.

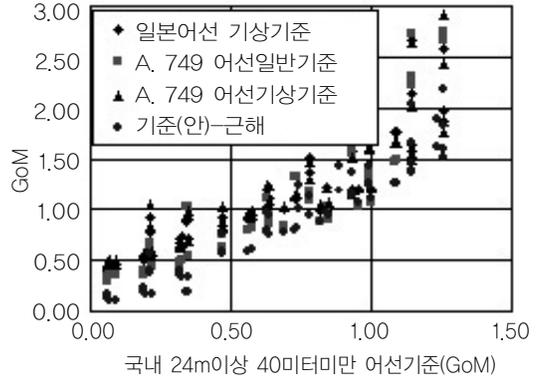


Fig. 15 어선복원성기준 적용결과 비교

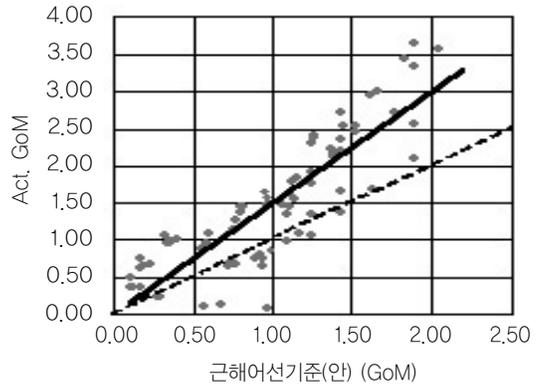


Fig. 16 제안된 기준(안) 적용결과

Fig.15에서 보는 바와 같이 연구결과 근해어선에 대하여 제시한 기준(안)은 기존의 국내 24미터이상 40미터미만 어선에 적용되는 기준에 비하여 약간 강화된 기준이나, 다른 평가기준과 비교할 때 엄격한 기준은 아님을 알 수 있다.

Fig. 16에서 보는 바와 같이 연구결과 제시한 근해어선에 대한 복원성기준(안)을 모델선형에 적용한 결과, 요구되는 횡메타센타값에 비해 Actual GoM값이 커서 만족하는 경우가 대부분이었으나 점선아래에 위치하여 만족하지 않고 있는 경우는 전복된 11톤급 연승어선 기본선형, 46

톤급 저인망어선과 동선의 폭을 줄였을 경우, 9.77톤 낚시어선 한척 중 풍압면적이 작은 Full Load Dep. 및 Full Load Arri.상태의 경우 만족하지 않고 있었다.

이러한 결과를 종합적으로 고려할 때 배의길이 40미터미만 근해어선에 대한 복원성기준은 A.749의 일반기준이나 A.168 등의 기준과 같이 GoM 값의 최소값을 0.35m로 하는 것을 조건으로 (1)식의 A.749의 기상기준을 분석한 결과를 수용하고 어선의 운항상태에 따른 흘수범위를 고려하여 T/D의 적용범위를 기존의 0.68이상에서 약 0.5~0.6 이상으로 확대하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 또한 기존의 배의길이 24미터이상 40미터미만의 어선 복원성기준에서 고려하였던 것과 같이 B/D가 2이하인 경우 2로 고려하여야 할 것으로 판단된다.

배의길이 12미터이상의 연안어선에 대한 복원성기준(안)으로 제안된 (2)식과 현재 배의길이 24미터이상 40미터미만에 적용되고 있는 어선 복원성기준을 중심으로 비교하면 Fig. 17과 같으며 Fig. 18에는 연안어선에 대한 복원성기준(안)으로 제안된 (2)식 기준(안)에 따라 복원성능 평가를 수행한 결과를 나타내어 보았다.

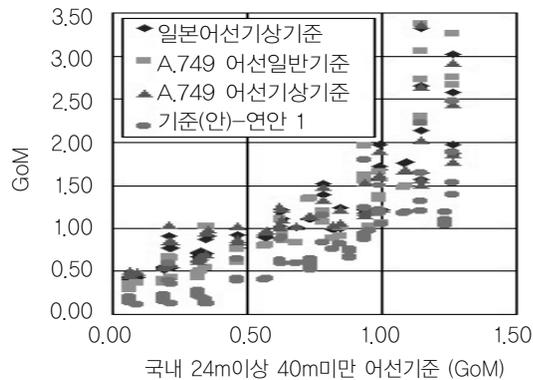


Fig. 17 어선복원성기준 적용결과 비교

Fig.17과 Fig. 15를 비교하여 봤을때 다른 평가기준은 물론, 제안된 근해어선 기준(안)보다 연안어선 기준(안)이 더 완화되어 있음을 볼 수 있다.

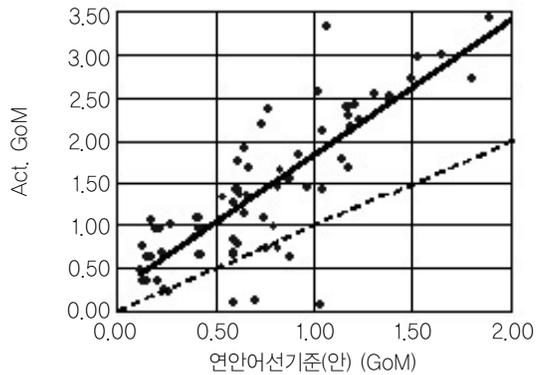


Fig. 18 제안된 기준(안) 적용결과

Fig. 18에서 점선 아래에 위치한 경우는 연안어선에 대한 기준(안)을 만족하지 않는 경우를 나타내며, 7가지 상태가 만족하지 않고 있음을 볼 수 있다. Fig. 18에서 보는 바와 같이 연구결과 피항소요시간이 3시간이상인 해역에서 조업하는 연안어선에 대한 복원성 기준(안)을 모델선형에 적용한 결과, 요구되는 횡메타센타값에 비해 Actual GoM값이 커서 만족하는 경우가 대부분 이었으며, 만족하지 않는 경우는 저인망어선 기본선형과 동선의 폭을 줄였을 경우로 나타났다.

풍속 15m/s의 해상상태에서 연안어선에 대하여 기상기준을 적용하여 복원성능 기준을 분석한 결과 어선의 투영측면적의 크기 등 선형에 따라 T/D가 낮은 범위에서 최소 횡메타센타높이 계산값의 차이가 T/D가 높은 범위에서 보다 많이 있

는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 최근의 어선이 낚시어업에 사용할 목적 등으로 갑판실이 커진 것에 주로 기인하고 흘수가 낮은 경우 풍압면적에 따라 복원성능에 미치는 영향이 더 크게 되기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 근해어선에서 설정한 바와 같이 연안어선에서도 기준의 최소 GoM값을 0.35m로 하고 T/D의 적용범위를 약 0.5~0.6 이상에 한하여 적용하도록 하는 것이 타당한 것으로 판단되며, 기존의 배의길이 24미터이상 40미터미만의 어선 복원성기준에서 고려하였던 것과 같은 형식으로 B/D가 일정 값 이하인 경우 기준에 의한 횡메타센타높이 기준값을 일정수준을 유지할 수 있도록 (2)식 및 (3)식의 B/D-2.2 항이 음의 값이 되지 않도록 B/D가 2.2이하인 경우 2.2로 고려하여야 할 것으로 판단된다.

나. 화물선

소형 화물선의 복원성기준(안)에 있어서 연해구역을 항해하는 화물선의 경우 기준의 배의길이 24미터이상으로 연해구역을 항해하는 화물선의 기준과 동일하게 수용하는 것으로 검토되었으며, 기존의 연해구역 화물선 복원성기준은 화물선의 복원성능 평가 비교분석에서 모델선형의 복원성능 판정기준 평가시에 비교 평가 되었으므로 추가적인 비교평가는 불필요한 것으로 판단된다.

평수구역을 항해하는 소형 화물선에 대한 복원성기준(안)의 평가를 위하여 국내연해구역기준을 중심으로 하여 각 평가기준과 화물선 기준(안)과 서로 비교하여 Fig. 19 ~ Fig. 22에 나타내었다.

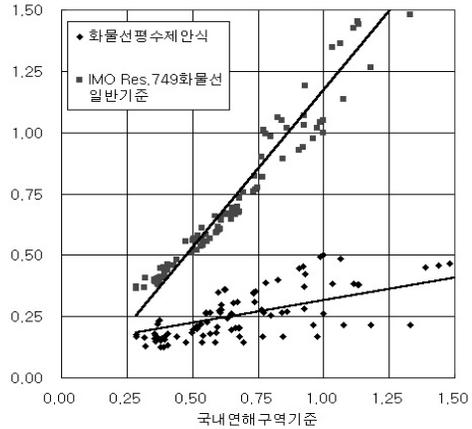


Fig. 19 복원성기준 적용결과 비교

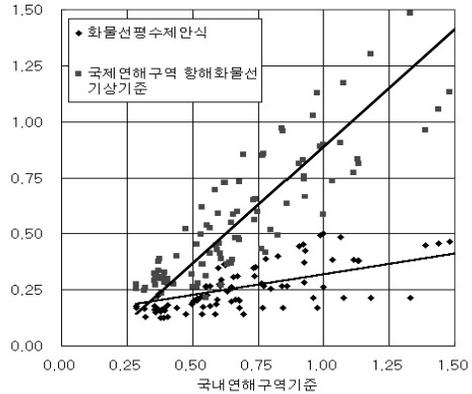


Fig. 20 복원성기준 적용결과 비교

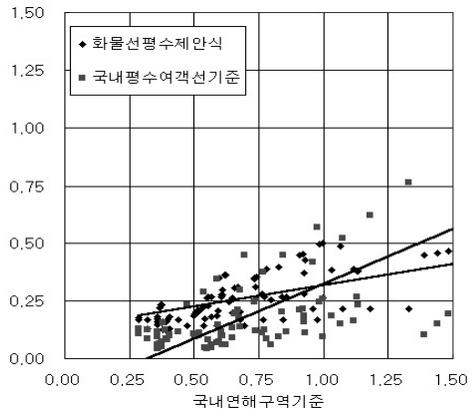


Fig. 21 복원성기준 적용결과 비교

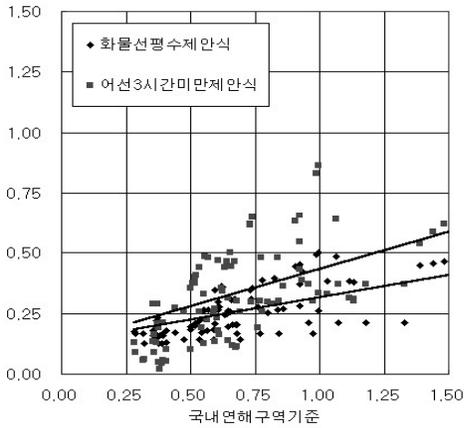


Fig. 22 복원성기준 적용결과 비교

이러한 비교결과를 토대로 제안된 복원성기준(안)을 평가하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

평수구역 화물선에 대하여 제안된 복원성기준(안)은 국내 연해구역을 항행하는 화물선 복원성기준에 비하여 약 25%~50% 정도의 GoM 값을 요구하는 기준으로 상당히 완화된 기준이다.

IMO Res. A.749의 화물선 일반기준이나 국제 연해구역을 항행하는 화물선에 대한 국내 기상기준은 제안된 평수구역 화물선 복원성기준(안)에 비해 매우 엄격한 기준이며, 국내 평수구역 여객선 복원성기준과 비교해 봤을 때에는 제안된 평수구역 화물선 복원성기준(안)이 다소 강화된 복원성기준으로 나타났다.

Fig. 22에서 보는 바와 같이 평수구역 화물선 복원성기준(안)은 피항 소요시간 3시간이내인 연안에서 조업하는 연안어선에 대한 복원성기준(안)과 비교하였을 때 다소 완화된 기준으로 평가된다. 이러한 원인은 연안어선의 경우 어로작업 및 항해 중 선원의 이동에 따른 부가 횡경사모멘트를 고려하였으나 화물선의 경우 고려되지 않았고 선

정된 모델선형의 풍압측면적이 어선에 비하여 작기 때문에 분석된다. 이러한 분석결과를 고려할 때 평수구역 화물선에 있어서 선형에 따른 풍압측면적의 변화를 감안하고 복원성 판정기준의 여유값을 고려하여 평수구역 화물선 복원성기준(안) 대신에 피항 소요시간 3시간 이내의 해역에서 조업하는 연안어선에 대하여 제안된 복원성기준(안)으로 단일화하여 수용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 소형 선박일수록 선원의 이동이나 외력에 의한 횡경사모멘트의 영향이 크므로 안정성 확보를 위하여 소형어선에서 설정한 바와 같이 소형 화물선에서도 기준의 최소 GoM값을 0.35m로 하고 T/D의 적용범위를 약 0.5~0.6 이상에 한하여 적용하며 B/D-2.2 항이 음의 값이 되지 않도록 B/D가 2.2이하인 경우 2.2로 고려하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

연구결과에 따라 근해어선 및 연안어선과 평수구역 화물선에 적용할 복원성능 판정기준(안)을 제시하였으나, 제안된 기준을 모든 선박에 대하여 항상 강제적으로 적용하는 것은 모델선형으로 선정된 선박의 선형과 달리 풍압면적이 상당히 큰 어선 등 상이한 선형 특성을 가지는 선박에 있어서 불합리 점이 발생할 수 있다. 따라서 제안된 기준(안)과 함께 기상기준 및 한계경사각 기준 등 연구에서 제안된 기준의 개발에 적용한 방법과 동일한 방법에 의한 복원성능 판정기준도 적용할 수 있도록 규정되어야 할 것으로 판단된다.

또한 현행 복원성기준에서 항행구역 및 선박의 용도에 따라 복원성기준 적용여부를 규정하고 있

는 것과 같은 방식으로, 연해구역을 항행하는 선박과 근해어선의 경우 복원성기준을 적용대상으로 하되 여객선이나 카훼리선박 이외의 선박으로 평수구역을 항행하는 화물선이나 최대탑재인원 13인 이상의 낚시어선 이외의 연안어선의 경우 복원성기준 적용을 면제하는 방안도 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 해양수산부의 2006년도 선박안전기술개발사업으로 추진하고 있는 “소형 어선 및 화물선 복원성 기준 연구”의 일부로 수행된 것임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 이희준, 2002, “낚시어선의 건조실적 및 복원 성능 고찰” 선박안전지
- 이희준외, 2004, “계통발어선의 어구적재량이 복원성능에 미치는 영향 연구” 선박검사기술 협회
- MSC 79/23/Add.3(2005.) ANNEX 38 Code of Safety for Fisherman and Fishing Vessels, 2005
- MSC79/23/Add.2(2004.) ANNEX 39 Voluntary Guidelines for the Design, Construction and Equipment of Small Fishing Vessels, 2005
- SLF 49/6/1(2006.) ANNEX Proposed Standard of Safety for Small Fishing Vessels
- Aranha, J.A.P., 1994, “A formula for wave rift damping in the drift of a floating body,” J. of Fluid Mechanics, Vol. 272, pp. 110-123.
- 이희준, 2002, “낚시어선의 건조실적 및 복원

이 논문은 해양수산부의 해양수산개발사업 연구비 지원으로 이루어진 것임을 밝힙니다.