



여객선 세월호 전복사고 특별조사 보고서 〈Safety Investigation Report〉

사 고 일 자 : 2014. 4.16.

공 표 일 : 2014.12.29.

해양안전심판원 특별조사부

참 고 사 항

이 보고서는 해양사고의 원인을 밝히기 위한 목적으로 작성되었으며, 민·형사상 책임, 처벌 또는 비난 등을 하기 위한 의도로 작성된 것은 아닙니다. 따라서 본 보고서를 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」 제18조의3제6항에 따라 민·형사상 재판 등의 증거자료로 활용하지 않도록 하여 주시기 바랍니다.

이 보고서에 기술된 관련 법령 및 기관 명칭 등은 사고 당시 시점을 기준으로 작성되었습니다.

목 차

1. 요약	1
2. 사실관계	6
2.1 선박제원	6
2.2 주요 선박개조사항 및 개조 전후 비교	9
2.3 선박구조	11
2.4 선박검사	15
2.5 인천-제주 항로 면허 취득 및 운항	18
2.6 화물 적재·고박 등 관리	19
2.6.1 세월호 화물적재 및 고박 업체	
2.6.2 세월호 차량 및 화물 고박 배치도	
2.7 여객선 안전관리	21
2.7.1 안전관련 법령	
2.7.2 여객선 운항관리제도	
2.7.3 세월호 운항관리규정의 주요 내용	
2.8 세월호의 평상시 화물적재 및 복원성	19
3. 사고 현황	30
3.1 인천항 출항	30

3.1.1 인천항 지연 출항	
3.1.2 승선 인원	
3.1.3 승선 선원	
3.1.4 적재 화물 및 고박상황	
3.1.5 연료유, 평형수, 청수 등 적재현황	
3.2 맹골수도 진입 전 상황	38
3.3 사고 발생 상황	39
3.3.1 맹골수도 통과(변침) 상황	
3.3.2 사고 발생 상황	
3.3.3 선박 항적	
3.4 사고 당시 기상 및 사고 해역 조류	43
3.5 사고 발생 후 상황	46
3.5.1 선원 대응	
3.5.2 선박전복 진행상황	
3.5.3 구조활동 현황	
3.5.4 인명구조 및 피해현황	
3.6 해양오염 피해 발생 및 방제조치	56
4. 사고 분석	58
4.1 사고지점 및 시각	58
4.2 선박 복원성 검토	59

4.2.1 선박 복원성 기준	
4.2.2 인천항 출항시 복원성 검토	
4.2.3 사고 당시 복원성 검토	
4.2.4 시뮬레이션 결과 분석	
4.2.5 소결	
4.3 사고 당시 변침 과정의 적정성	82
4.3.1 당직 항해사의 변침 지시의 적정성	
4.3.2 당직 조타수의 변침조타 이행의 적정성	
4.3.3 소결	
4.4 화물 고박의 적정성	86
4.5 세월호 전복과정 분석	87
4.5.1 선박선회운동에 관한 일반론	
4.5.2 세월호의 변침에 따른 외방경사 발생	
4.5.3 화물이동에 따른 세월호의 복원력 상실	
4.5.4 세월호 선체 침수	
4.5.5 세월호 선체 전복	
4.5.6 세월호 선체 침몰	
4.6 세월호 선원의 비상대응	93
4.6.1 여객 대피	
4.6.2 여객 탈출용 구명설비 배치	
4.6.3 관제실 등 외부기관의 연락체제	
4.6.4 (주)청해진해운의 조치	

4.7 인명구조	98
4.7.1 해양경찰청 등의 구조활동	
4.7.2 VTS간 연락체제	
5. 의문제기 등 기타사항	101
5.1 사고 당시 세월호의 항적 분석	101
5.1.1 AIS 항적 분석	101
5.1.1.1 AIS(Automatic Identification Systems) 설비의 개요	
5.1.1.2 진도 부근의 AIS 기지국 현황	
5.1.1.3 세월호의 최초 공개 항적의 3분 36초간 누락 구간	
5.1.1.4 세월호 항적 복원 후 29초간 자료 누락 구간	
5.1.2 진도 연안VTS 센터의 레이더 항적 분석	
5.1.3 소결	
5.2 암조 등 수중물체와 충돌·좌초설	110
5.3 조타기 고장설	110
5.4 사고 이전 선체이상 등에 의한 항해정지설	112
5.5 마주오는 선박을 피하기 위한 급선회설	113
5.6 맹골수도의 협수로 여부 및 선장의 직접 지휘의무 구간 여부 ..	113
5.7 선장의 퇴선명령 지시 여부	115
6. 사고원인	117

6.1	안전하게 운항할 수 있는 선박복원성 기준 미달	117
6.2	부적절한 조타에 의한 급선회 및 과도한 선체 횡경사 발생 ...	118
6.3	고박불량에 의한 화물의 이동·전도	119
6.4	선체 횡경사 심화에 따른 복원력 부족으로 침수·전복	119
6.5	선원의 승객대피 조치 미이행 등에 따른 대규모 인명피해 발생 ·	120
7.	제도 개선사항	122
7.1	사업자의 안전관리 강화 등 내항여객선 안전관리체계 개선	122
7.2	화물적재 완료시간 준수 및 출항 전 화물고박상태 확인 강화 ..	123
7.3	차량 및 화물고박 장치도에 대한 선원과 하역작업자 교육	124
7.4	카페리선박의 조종특성 및 여객대피에 대한 선원 교육 실시 ·	125
7.5	대형 연안선박 및 여객선의 항해사 등 자격규정 강화	126
7.6	여객선 선박복원성 확보를 위한 관련규정 강화	127
7.7	선박검사 점검항목표 보완 등 선박검사 강화	128
7.8	화물고박장치의 성능기준 강화(조치완료)	128
7.9	구명동의를 퇴선장소(여객집합장소)에 비치(추진 중)	129
7.10	VTSGN 유기적인 연계체제 구축	130

1. 요약

- 1.1 여객선 세월호는 인천항과 제주항을 왕복 운항하는 내항 정기여객선으로서 농무로 인하여 정상적인 운항계획보다 약 2시간 30분 늦은 2014년 4월 15일 21시 05분경 선원 및 승무원 33명, 여객 443명, 화물 2,142.7톤 등을 적재하고 인천항 연안여객부두를 출항하여 제주항으로 항해하였다.
- 1.2 당직 항해사인 3등항해사는 맹골수도를 통과한 후 2014년 4월 16일 08시 46분경 전남 진도군 병풍도 동쪽 해상을 약 18노트로 통과하면서 당직 조타수에게 침로를 135도에서 140도로 1차 변침토록 지시하였다.
- 1.3 1차 변침이 완료된 후 3등항해사는 08시 49분경 침로를 145도로 2차 변침을 지시한 후 당직 조타수의 조타 미숙으로 선수가 정침되지 않고 우현으로 급속히 좌현으로 회두하자 타를 좌현으로 사용할 것을 지시하였다.
- 1.4 그러나, 세월호는 계속 빠르게 우선회하면서 좌현으로 과도한 외방경사가 발생하였고, 이로 인하여 고박상태가 불량한 화물 등이 쏟아지게 되면서 선체는 좌현으로 더 경사되었다.
- 1.5 세월호는 좌현으로 계속 기울어지면서 선체 현측 개구부 틈 등을 통하여 바닷물이 선내로 유입되었고, 결국 2014년 4월 16일 10시 25분경 전복(선체 횡경사 약 108도)된 후 같은 날 10시 31분경 전남 진도군 병풍도 북방 약 3.5마일 해상(북위 34도 12분 33초, 동경 125

도 57분 24초)에서 선수 구상선수(Bulbous Bow)만 남긴 채 선체가 수면 밑으로 가라앉았다.

1.6 선수 선저부만 수면 위로 드러난 채 조류에 따라 표류하던 세월호는 2014년 4월 18일 12시 57분경 전남 진도군 병풍도 북동방 약 3.1마일 해상에서 완전히 침몰하였다.

1.7 이 사고로 여객을 포함한 승선원 476명 중 172명이 구조되었으나, 295명(학생 246명, 교사 9명, 일반인·승무원 40명)이 희생되었고, 2014년 12월 26일 현재 9명이 실종된 상태이다.

1.8 한편, 세월호에 적재되어 있던 화물 중 선수갑판에 적재되었다가 선체경사로 바다로 떨어진 컨테이너 등을 제외한 그 외 화물은 화물창내에 잔존하고 있는 것으로 추정되며, 선내에 적재되어 있던 연료유 등 유류 약 214kl는 일부 유출·수거되거나 선내에 있는 것으로 보인다.

1.9 이 사고의 원인은 도입 후 선박 증축 등 개조에 따라 복원성이 약화된 세월호가 선박검사기관의 복원성 승인 조건 보다 선박평형수를 대폭 적게 실은 대신에 화물을 과다하게 적재하여 복원성 기준을 일부 만족하지 못하고, 적재된 화물을 적절하게 고박하지 않아 대각도 급변침시 복원력이 상실될 수 있는 상태로 출항하여 항해 중, 당직 조타수의 부적절한 조타에 의하여 선체의 급격한 우현 선회와 함께 발생한 과도한 좌현 선체 횡경사로 인하여 화물이 한쪽으로 쏠리면서 복원력을 상실하여 발생한 것으로 판단된다.

- 1.10 과도한 선체 횡경사 이후, 사고 해역 주변에서 조업 중이던 어선, 인근을 항해중인 화물선, 관공선, 경비함정 및 해경헬기 등이 인명구조에 참여하였다.
- 1.11 하지만, 평소 실질적인 비상훈련이 부족하였던 선장 등 선원들은 여객을 퇴선시키거나 객실 밖 집합장소로 대피하도록 안내하는 등적절한 조치를 취하여야 했음에도 불구하고 이러한 조치를 취하지 않고 자신들부터 먼저 퇴선하는 등 선원들의 매우 부적절한 행위로 인하여 대규모 인명피해가 발생하였다.
- 1.12 이 사고와 관련하여 언론 등에서 문제를 제기한 사항 중 세월호 AIS 선박위치자료의 비정상적인 궤적에 대하여 목포항 VTS 센터의 AIS 서버에 저장된 원본 데이터를 수집하여 복원하고, 사고 당시 인근 타 선박의 AIS 자료와 진도 연안VTS에 저장된 레이더 항적을 비교하였다.
- 1.13 그 결과, 일부 시간대에서 국제해사기구(IMO)의 AIS 기술기준 등과 다르게 위치정보가 수신되지 않는 현상이 발생하였고 비슷한 시간대에 같은 해역을 운항하는 다른 선박에서도 유사한 현상이 발생한 것으로 보아, 이러한 현상은 AIS의 기계적인 특성에 의해 발생한 것으로 보여진다.
- 1.14 세월호가 암초 등 수중물체와 충돌하였거나 이로 인하여 좌초하였다는 주장은 선수부나 선저면에 충돌흔적이 없는 것과 선원들의 일관된 진술로 보아 근거없는 것으로 판단된다.

- 1.15 사고발생 이전에 선체이상이 있어 정선하였거나 마주오는 선박을 피하기 위하여 급선회를 하였다는 주장 역시 AIS 항적이나 VDR 자료 등을 확인해 보면 사실이 아님을 알 수 있다.
- 1.16 사고해역이 ‘좁은 수로’(일명 협수로)에 해당되는지에 대하여 다양한 주장이 있을 수 있으나 사고가 발생한 지점은 맹골수로도 부터 약 5마일 떨어져 있는 점 등을 고려할 때, ‘좁은 수로’로 간주하는 것은 타당하지 않는 것으로 보인다. 다만, 3등항해사의 경력 등을 고려할 때, 이 구간에서는 선장이 직접 지휘하거나 3등항해사의 조선을 감독하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 1.17 선장이 퇴선을 명령하였는지에 대하여 세월호 선교에 같이 있던 선원의 진술이 엇갈리고 있지만, 만약 선장이 여객을 퇴선하도록 지시하였다고 하더라도, 여객 탈출을 유도하는 선원들에 대한 비상 배치 명령이 없었고 여객이 대피하고 있는지 확인도 하지 않은 점 등을 감안하면 선장 등 선원들은 여객을 퇴선 시키려는 실질적인 의지가 없었다고 보는 것이 합리적이다.
- 1.18 향후, 이러한 사고의 재발방지를 위하여 사업자의 안전관리 강화 등 내항여객선의 안전관리체계를 개선하고, 카페리선박의 출항 전 화물적재 종료시간을 준수하면서 출항 전에 화물고박상태를 제대로 확인토록 할 필요가 있다.
- 1.19 그리고, 선원, 선사 관계자 및 하역작업자에게 차량 및 화물고박장치도에 대한 교육, 카페리선박의 조종특성에 대한 선원 교육 등을 별도로 실시하고, 대형 연안선박과 여객선에 대한 항해

사 등의 면허등급과 인원 수를 강화할 것을 제안한다.

1.20 또한, 여객선의 선박복원성 확보를 위해서는 복원성 약화를 초래하는 개조시 정부로부터 허가를 받도록 관련 규정을 강화하고, 선박평형수를 적재하여야만 선박복원성기준을 충족하는 선박은 그 선박복원성자료 등에 안전항해를 위해 필요한 최소 선박평형수 적재량 등을 명시하는 방안을 도입할 필요가 있다.

1.21 카페리선박의 화물고박장치 기준 강화, 객실 밖 여객 집합장소에 구명동의 비치 규정 신설 및 VTS간 유기적인 연계체제 구축 등에 대하여도 개선방안을 검토할 것을 제안한다.

2. 사실관계

2.1 선박 주요 제원

선 명	세 월 호
국 적	대한민국
선 적 항	인천광역시
호 출 부 호	100세월
선 박 번 호	ICR-121832
선 박 종 류	로로여객선(Ro-Ro Passenger ship)
선박소유자 / 선박운항자	(주)청해진해운 / (주)청해진해운
최대탑재인원(명)	956(여객 921, 승선원 35)
조 선 자	HAYASHIKANE DOCKYARD CO.,LTD(일본)
용골거치일 / 진수일	1994년 1월 25일 / 1994년 4월 1일
선박검사단체	한국선급
전 장(L.O.A, 미터)	145.61
깊 이(미터)	14.00
폭(미터)	22.00
총 톤 수(톤)	6,825
재화중량톤수(DWT, 톤)	3,794
만 재 흘 수(미터)	6.25
주 기 관	12PC2-6V(AKASHI, JAPAN)
최 대 출 력	6,618Kw x 520RPM x 2기
연료소모량	179.52 gr/kW.hr
추 진 기(inward)	2기
타(Rudder)	1개
최대속력 / 설계속력(노트)	23.55 / 22.00

- 2.1.1 이 선박은 1994년 일본에서 건조되어 운항하던 선박으로써, 상부 3개층에는 여객을 수용하는 객실이 있으며, 중간 2개층에는 차량이나 화물 등을 실을 수 있는 화물창이 있는 구조의 Ro-Ro 여객선(Roll-on Roll-off Passenger Ship)¹⁾이다.
- 2.1.2 화물창(차량구역) 하부에는 기관실, 선박평형수탱크, 연료유 탱크, 청수 탱크, 선체 횡방향 추진기(Bow and Stern Thruster) 등이 위치하고 있다.
- 2.1.3 화물창은 선미측 램프(Ramp)를 통하여 차량 등의 하역작업이 이루어지며, 선수갑판상 화물은 선수 마스트와 연결된 양하기(Derrick)로 하역작업이 이루어진다.
- 2.1.4 이 선박에는 추진용 디젤기관(주기관) 및 추진기는 2대이나, 타(Rudder)는 1개뿐이며, 부두 접안작업에 도움을 주기 위한 횡방향 추진기(Thruster)가 선수와 선미에 각각 1개 설치되어 있다.

1) 차량을 부두에서 선박의 램프(Ramp; 경사로)를 통하여 선박 화물구역으로 직접 주행하여 적재되는 구조의 여객선(여객 13인 이상 승선)을 의미한다.

[그림 1] 세월호 접안(2014.4.15, 인천항) 모습



[그림 2] 사고 당시 세월호 모습



2.2 선박개조 및 개조 전후 비교

2.2.1 1994년 진수된 세월호(당시 선명 나미노우에호)는 일본 해운회사인 마루에이페리에 의해 일본 큐슈와 오키나와 항로 등을 운항하는 여객 및 화물운송 선박으로 사용되었다.

2.2.2 세월호는 (주)청해진해운이 일본으로부터 2012년 10월 8일 도입하였고, 같은 해 10월 22일 인천지방해양항만청에 인천광역시를 선적항으로 신규 등록되었다.

2.2.3 세월호는 일본에서 도입된 이후 2012년 10월 12일부터 2013년 2월 12일까지 전남 영암 소재 (주)C.C조선에서 개조 작업을 하였다.

2.2.4 주요 개조 작업은 여객실 증설 등을 위하여 A 갑판 선미부 구획(천정높이 약 3.5미터)의 천정을 약 1.7미터 높인 후 선교 갑판 선미부는 약 2.6미터, A 갑판 선미부(높이 약 2.6미터)는 약 5.6미터 각각 연장하면서 이 객실을 두 개 층으로 분리하고, 그 상층(선교 갑판)은 전시실로, 아래층(A 갑판)은 여객실(정원 114명)로 개조하였다.

2.2.5 또한, 승용차 적재공간이던 B 갑판 선미부에 운전자용 객실(길이 약 10.5미터, 폭 15.4미터, 정원 56명)을 신설하였다.

2.2.6 한편, 선수부 우현 선측램프(추정중량 약 50톤, 차량출입문)를 철거하고, 철거된 오목한 램프 부분은 외측으로 확장 처리(추정중량 약 25톤 추가)하여 선측 외판을 형성하도록 하였다.

2.2.7 세월호는 상기 2.2.4, 2.2.5 및 2.2.6에 따른 개조 작업으로 총톤수는 239톤, 경하중량²⁾은 187톤 각각 증가되었지만, 만재흘수선이 변동이 없는 상태에서 경하중량이 증가함에 따라 재화중량톤수³⁾는 187톤이 감소되었다.

2.2.8 아울러, A 갑판과 B 갑판 선미부 여객실 증설 등으로 인하여 여객정원은 117명⁴⁾이 증가되었으며, 승무원 정원이 1명 감소하여 최대 승선인원은 116명이 증가되었다.

2.2.9 개조 작업으로 인하여 세월호는 선박자체의 무게중심(KG)이 약 51cm 올라가게 되었고, 개조 후 선박복원성기준을 충족하기 위한 조건을 개략적으로 살펴보면, 화물적재 최대량(여객 중량 제외)은 개조 이전보다 1,450톤 감소한 987톤이고, 선박평형수는 개조 이전보다 1,333톤 증가한 1,703톤을 적재하여야 하는 것으로 승인되었다.

2.2.10 한편, 세월호의 객실 신설 등의 개조 작업은 선박안전법 제15조 제2항에 따른 선박시설의 변경허가 대상⁵⁾에 해당되지 않아 개조 전에 정부로부터 별도의 허가는 받지 않았다.

2) 선미가 잠기는 깊이를 잘못 계산하여 과소 산정된 무게와 한국선급의 검사 완료 이후에 추가된 전시실 장식용 대리석 무게는 반영되지 않는 상태에서 계산한 것임(2.4.8 참조)

3) 만재배수량에서 경하중량을 뺀 수치이며, 화물선의 경우 화물을 얼마나 많이 실을 수 있는지를 나타내는 지표로 이용된다. 여기에는 연료유, 선박평형수, 여객 및 화물 등이 모두 포함된다.

4) 선미부 객실 신설로 인하여 여객정원 170명이 증가(B 갑판 운전자용 객실 56명, A 갑판 여객실 114명)하였으나, 기존 객실에 대한 정원 조정을 통하여 53명(8명 증가, 61명 감소)이 감소하여, 최종 여객정원은 117명이 증가하였다.

5) 선박의 길이·너비·깊이 및 선박의 용도가 변경되는 경우로써 지방해양항만청장의 사전 허가를 받아야 한다.

[표 1] 세월호 개조 전후 비교

구 분	개조 이전	개조 이후	비 고
총톤수(Gross tonnage)	6,586톤	6,825톤	239톤 증가
만재배수량(Displacement)	9,907톤	9,907톤	
경하중량(Lightweight)	5,926톤	6,113톤	187톤 증가
재화중량(Deadweight)	3,981톤	3,794톤	187톤 감소
화물적재 최대량	2,437톤	987톤	1,450톤 감소
선박 평형수 적재량	370톤	1,703톤	1,333톤 증가
최대 승선인원	840명	956명	116명 증가
무게중심	11.27미터	11.78미터	0.51미터 상승

2.3 선박 구조

2.3.1 여객과 화물을 동시에 탑재하는 세월호는 최상층 컴퍼스 갑판(Compass Deck)부터 하방으로 선교갑판(Navigation Bridge Deck), A 갑판, B 갑판, C 갑판, D 갑판, E 갑판 및 선저외판이 차례로 위치하고 있으며, 선미부 C 갑판과 B 갑판 사이에는 승용차 적재공간인 2층 갑판(Tween Deck)이 있다.

2.3.2 선교갑판(천정높이 약 2.5미터)에는 선수로부터 선교(조타실), 선원실, 1등 객실(여객정원 총 11명), 로비 및 전시실 등이 있으며, A 갑판 양 현측 개방갑판과 B 갑판 좌현 개방갑판은 여객집합장으로 지정되어 있고, 구멍뗏목(25인승 4개)과 여객 탈출용 구멍설비인 강하식 탑승장치(Marine Evacuation System, 일명 Chute라 통칭한다, 250인승 4개)가 비치되어 있다.

2.3.3 A 갑판(천정높이 약 2.6미터)에는 선수로부터 2등 객실(80인실, 침대객실),

로비 등이 있으며 총 여객정원은 484명이다.

2.3.4 B 갑판(천정높이 약 2.7미터)에는 선수로부터 3등 객실(270인실, 38인실), 2등 객실, 매점, 노래방, 로비(안내 데스크), 식당, 주방(선원식당), 승무원 침실, 운전자 객실 등이 있으며 B 갑판의 총 여객정원은 426명이다.

2.3.5 C 갑판(천정높이 약 4.2~4.95미터)은 선수재부터 선미까지 전통되어 있으며, 선수로부터 양묘기 등의 계선설비가 있는 선수갑판, 선수 마스트(25톤 용량의 데릭 포함), 개방된 화물적재구역(컨테이너 등 적재), 화물창(차량적재구역) 및 선미갑판이 있다.

2.3.6 C 갑판의 화물창 후부에는 승용차 적재공간인 Tween Deck(길이 약 18.6미터, 천정높이 약 2.2미터)가 있다.

2.3.7 D 갑판(천정높이 약 5.1~6.33미터)은 수밀갑판으로써 용골(Keel, 선저)로부터 높이 약 7.67미터에 위치하고 있으며, 선수로부터 선수창고, 화물창(차량적재구역), 선미창고(페인트 및 CO2 용기 저장)가 있다.

2.3.8 D 갑판 하부 공간(천정높이 약 2.5~9.0미터)에는 선수로부터 선수 평형수 탱크, 1번 평형수 탱크, 선수 횡방향추진기실(Thruster room), 2번 평형수탱크 · 1번 공소(Void space), 2번 공소, 3번 평형수 탱크, Heeling tank, 1번 연료유 탱크, 3번 공소, E 갑판 화물창(프레임 번호(Fr.) 71~136번 길이 약 45.5미터, 너비 약 8.0 ~12.4미터, 높이 약 6.0미터), 기관실, 보조기관실, 축계실 · 2번 청수탱크, 선미 횡방향추진기실, 타기실 등이 위치하고 있다.

- 2.3.9 한편, D 갑판과 선저외판 사이에는 E 갑판이 있으며, E 갑판 하부 (Fr. 36~147번, 천정높이 약 1.5~1.8미터, 길이 약 77미터)에는 4번과 5번 평형수 탱크, 1번 청수탱크·스테빌라이저실(Stabilizer Room), 2번 연료유탱크, 공소 등이 있다.
- 2.3.10 화물창 내 화물적재는 선미에 있는 램프를 통하여 D 갑판으로 진입한 후 화물차 및 일반화물은 주로 D 갑판에, 승용차는 D 갑판과 C 갑판을 연결하는 차량이동용 경사로(Slope Way)를 통하여 C 갑판에, 일부 잡화 등은 D 갑판의 화물 승강기(Lifter)를 통하여 E 갑판에 적재된다.
- 2.3.11 D 갑판 중앙부 양 현측 외판에는 도선사용 출입문(높이 약 1.9미터, 폭 1.0미터)이 있으며, 화물창 내 차량이동용 경사로 중간에 차폐문이 있고, C 갑판 현측 외판 중앙부에는 선저로부터 높이 약 16.6미터 위치에 기관실 환풍용 개구부(폭 약 0.4미터, 높이 약 1.2미터)가 6개소가 존재하고 있다.
- 2.3.12 세월호는 B 갑판상 기계식 통풍구를 기준으로 해수유입각을 60도로 계상하고 선박복원성자료가 승인되었지만, C 갑판상 현측 통풍구(Wall ventilator)와 선수미 갑판상 화물창 통풍구는 평상시 열린 상태로 운항하였기 때문에 선체가 약 50도 이상 횡경사되면 해수가 선내로 유입될 수 있다.
- 2.3.13 기관실, 보조기관실 및 축계실의 각 격벽에 있는 출입문은 수밀문으로 구성되어 있다.

2.3.14 세월호의 선박평형수탱크 및 연료유 탱크 등의 배치 현황은 [표 2] 와 같다.

[표 2] 선박내 저장탱크 등의 배치 현황

구 분	위치(Frame 번호)	용 량(m³)	비 고(용도)
F.P.Tank	179 ~ FE	246.9	선수평형수탱크
No.1 W.B.Tank	174 ~ 179	88.4	선박평형수탱크
No.2 W.B.Tank	147 ~ 161	201.3	"
No.3 W.B.Tank(P)	125 ~ 136	216.9	"
No.3 W.B.Tank(S)	125 ~ 136	216.9	"
No.4 W.B.Tank	111 ~ 125	143.9	"
No.5 W.B.Tank(P)	91 ~ 109	108.2	"
No.5 W.B.Tank(S)	91 ~ 109	109.3	"
No.6 W.B.Tank(P)	11 ~ 24	202.9	"
A.P.Tank	AE ~ 11	460.6	선미평형수탱크
Heeling Tank(P)	111 ~ 125	226.3	선박평형수탱크
Heeling Tank(S)	111 ~ 125	226.3	선박평형수탱크
No.1 F.W.Tank(P)	71 ~ 89	106.0	청수탱크
No.1 F.W.Tank(S)	71 ~ 89	108.5	"
No.2 F.W.Tank	24 ~ 32	153.0	"
No.1 F.O.Tank(P)	97 ~ 111	278.7	연료유 탱크
No.1 F.O.Tank(S)	97 ~ 111	278.7	"
No.2 F.O.Tank(P)	59 ~ 71	55.4	"
No.2 F.O.Tank(S)	59 ~ 71	52.1	"
L.O. Sump Tank(P)	52 ~ 59	20.6	윤활유 저장탱크
L.O. Sump Tank(S)	52 ~ 59	20.6	"
R/G L.O. Sump Tank(P)	52 ~ 55	5.7	감속기어 윤활유 저장탱크
R/G L.O. Sump Tank(S)	52 ~ 55	5.7	
C.W.Tank	49 ~ 51	11.5	냉각수탱크
Bilge Tank(P)	46 ~ 49	15.5	빌지탱크
B.O.Tank	46 ~ 49	13.6	빌지오일탱크
F.O Overflow Tank	36 ~ 39	5.3	연료유 넘침탱크
L.O. Stor. Tank(P)	49 ~ 51	16.7	윤활유 저장탱크
F.O Sett. Tank	33 ~ 36	21.0	연료유 침전탱크
F.O Serv. Tank	33 ~ 36	21.6	연료유 공급탱크
L.O Sett. Tank(C)	33 ~ 36	13.1	윤활유 침전탱크
D.O Sett. Tank	33 ~ 36	7.7	경유 침전탱크
D.O Serv. Tank	33 ~ 36	7.6	경유 공급탱크
G/E L.O Sett. Tank	34 ~ 36	3.6	발전기 윤활유 침전탱크
Boiler F.O Sett. Tank	34 ~ 36	3.6	보일러 연료유 침전탱크
No.1 Void	147 ~ 161	508.7	공소
No.2 Void	136 ~ 147	728.3	"
No.3 Void(P)	86 ~ 97	253.4	"
No.3 Void(S)	86 ~ 97	253.4	"
No.4 Void	36 ~ 46	84.8	"

2.4 선박검사

2.4.1 세월호는 2012년 10월 12일부터 전남 영암군 소재 (주)C.C조선에서 선박 개조 공사 등을 시행하였고, 이후 한국선급으로부터 등록 검사 및 제1회 정기검사를 수검하고 2013년 2월 12일 선박안전법 등에 따라 유효기간이 2018년 2월 11일인 선박검사증서, 해양오염 방지검사증서 등을 발급받았다.

2.4.2 선박검사증서 상 여객정원은 921명이며, 선원은 29명, 임시 승선자 6명 등 최대승선인원은 956명으로써 여객정원 산정내역은 [표 3] 과 같다.

2.4.3 또한, 세월호는 C 갑판 선수에 총 56개의 10피트 컨테이너를 적재 할 수 있고, C 갑판과 D 갑판의 화물창에 승용차, 트럭, 포크레인 및 일반화물 등을 적재할 수 있도록 한국선급으로부터 승인을 받았으며, 선박복원성기준을 만족할 수 있는 최대 적재 화물량은 약 987톤⁶⁾이다.

2.4.4 한편, 2.2.4, 2.2.5 및 2.2.6 등의 개조공사에 따른 선박자체의 복원성을 측정하기 위하여 2013년 1월 24일 한국선급 검사원, 선박설계업체, 선사 관계자 등이 참여한 가운데 목포항에서 경사 시험을 실시하였다.

6) 동 조건은 승용차 89대, 25톤 트럭 8대, 10피트 컨테이너 54개와 일반화물 405톤을 적재하는 것으로 계산되었다.

[표 3] 여객 정원산정 계산 내역

갑 판	객실 구분	계산 내역	정 원
선교갑판	특등실	침대 2 x 객실 1	2명
	1등실(2인실)	침대 2 x 객실 4	8명
	1등실(1인실)	침대 1 x 객실 1	1명
A 갑판	2등실(8인실)	정원 8 x 객실 4	32명
	2등실(8인실)	정원 8 x 객실 2	16명
	2등실(8인실)	침대 8 x 객실 16	128명
	2등실(6인실)	정원 6 x 객실 1	6명
	2등실(6인실)	정원 6 x 객실 1	6명
	2등실(6인실)	정원 6 x 객실 3	18명
	2등실(6인실)	정원 6 x 객실 2	12명
	2등실(8인실)	침대 8 x 객실 9	72명
	2등실(80인실)	정원 80 x 객실 1	80명
	2등실(8인실)	정원 8 x 객실 2	16명
	2등실(28인실)	침대 28 x 객실 2	56명
	2등실(42인실)	침대 42 x 객실 1	42명
B 갑판	2등실(8인실)	침대 8 x 객실 3	24명
	2등실(운전자, 8인실)	침대 8 x 객실 6	48명
	2등실(운전자, 4인실)	침대 4 x 객실 2	8명
	3등실(270인실)	정원 270 x 객실 1	270명
	3등실(38인실)	정원 38 x 객실 1	38명
	3등실(38인실)	정원 38 x 객실 1	38명
총 정원 선교갑판(11명) + A 갑판(484명) + B 갑판(426명) = 921명			

- 2.4.5 경사시험 등에 따라 세월호의 경하중량(Lightweight)은 약 6,113톤으로 측정되었다.(2.2.7 주석 참조)
- 2.4.6 한국선급이 승인한 세월호의 완성복원성계산서에 의하면, 연료유 약 561톤, 청수 약 291톤, 식품 및 기타 물품 등 약 170톤 등과 여객을 모두 싣고(중량 약 83톤) 출항한다는 가정에서, 선박복원성 기준을 만족할 수 있는 조건은 선박평형수 약 1,703톤을 싣으면 화물을 약 987톤까지 싣을 수 있다.
- 2.4.7 이러한 출항 조건에서 세월호의 배수량은 약 9,908톤(흘수 6.26미터), G_0M ⁷⁾은 1.42미터, 재화중량톤수는 약 3,794톤이며, 입항 조건에서는 배수량은 약 9,464톤(흘수 6.06미터), G_0M 은 1.046미터이다.
- 2.4.8 선박검사가 완료된 이후 (주)청해진해운은 2013년 2월 시행한 개조공사로 신설된 선교갑판 선미의 전시실 내부에 인테리어용 대리석 약 37톤을 추가 설치하였다.
- 2.4.9 세월호는 2013년 3월부터 인천-제주 항로를 정기적으로 운항하다가 2014년 2월 19일 선박안전법령 등에 따른 제1종 중간검사를 한국선급 여수광양지부로부터 검사를 받았다.
- 2.4.10 이와 더불어 「해운법 시행규칙」 제5조에 따라 선령이 20년을 초과하는 선박이 운항하기 위해 받아야 하는 선령 연장을 위해 강화검사(정기검사에 준하는 검사)를 함께 받았다.

7) 액체의 이동영향을 고려한 선박의 무게중심부터 횡메타센터(Metacenter)까지의 높이

2.5 인천-제주 항로 면허 취득 및 운항

2.5.1 (주)청해진해운은 1999년 세모해운으로부터 인천-제주 내항여객 면허를 양도받아 운영하였으며, 2011년 7월 25일 운항선박(오하마나호) 1척을 2척으로 증선하기 위하여 내항여객운송사업 변경인가를 인천지방법양항만청에 신청하였다.

2.5.2 (주)청해진해운은 2011년 9월 1일 인천지방법양항만청으로부터 증선 선박 투입 및 계류시설 등을 1년 이내에 확보한다는 조건부 변경인가를 받았다.

2.5.3 (주)청해진해운은 2012년 8월 14일 도입선박 인수 지연을 사유로 조건부인가 기한연장을 신청하였으며, 인천지방법양항만청은 선박 인수 일정서 등을 확인한 후 2013년 8월 31일까지 기한을 연장하였다.

2.5.4 (주)청해진해운은 일본에서 도입한 세월호에 대한 선박검사증서 등을 2013년 2월 12일 한국선급으로부터 발급받은 후 같은 달 19일 인천-제주 항로에 세월호 등 2척이 운항할 수 있는 내항여객운송사업 변경인가(세월호 증선)를 인천지방법양항만청에 신청하였다.

2.5.5 (주)청해진해운은 2013년 2월 25일 인천해양경찰서로부터 여객선 운항관리규정 심사증명서를 발급받았으며, 같은 해 3월 14일 인천지방법양항만청으로부터 내항여객운송사업 변경인가를 받았다.

2.5.6 세월호는 2013년 3월 16일 첫 여객선 운항을 시작하였으며, 매주 화·목요일 저녁 18시 30분에 인천항을 출항하여 그 다음날 09시 10분경 제주항에 도착하고, 수·금요일 저녁 18시 30분경 제주항을 출항하여 그 다음날 아침 09시 10분경 인천항에 입항하는 일정으로 주 2왕복 운항하였다.

2.5.7 일요일 아침에는 오하마나호의 입항 선석을 마련해 주기 위하여 인천항 묘박지로 나가 투묘하고 있다가 월요일 저녁 오하마나호가 출항한 이후 부두에 다시 접안하였다.

2.6 화물 적재·고박 등 관리

2.6.1 세월호 화물적재 및 고박 업체

2.6.1.1 (주)청해진해운은 1998년에 우련통운(주)와 계약을 체결하고, 자사 선박에 적재되는 차량, 컨테이너, 일반화물 등 모든 화물에 대한 하역작업을 우련통운(주)에 위탁하였다.

2.6.1.2 우련통운(주)는 평소 운항 당일 13시경부터 (주)청해진해운으로부터 지시받은 화물목록과 선박내 적재위치 등에 따라 일반잡화와 컨테이너를 먼저 선적하고, 차량은 출항시간 전까지 선적작업을 진행하였다.

2.6.1.3 (주)청해진해운은 연안화물의 특성상 운항 당일, 차량의 경우 출항 시간에 임박하여 화물집화가 되는 관계로 별도의 선적계획서>Loading plan)를 작성하지 않았고, 이를 선박에도 제대로 제공

하지 않은 것으로 나타났다.

2.6.1.4 한편, 우련통운(주)는 화물고박에 대한 사업등록⁸⁾이 되어 있지 않아 2008년부터 원광공사(주)가 화물고박업무를 담당하였다.

2.6.1.5 우련통운(주) 및 원광공사(주)의 하역근로자는 차량 및 화물 고박 배치도에 대한 교육을 제대로 받지 않아 화물적재 및 고박방법에 대한 이해도가 낮았으며, 본선에는 화물고박에 필요한 고박장치가 부족하였던 것으로 파악되었다.

2.6.2 세월호 차량 및 화물 고박 배치도

2.6.2.1 「선박안전법」 제39조에 의하면, 선박소유자는 승인된 화물적재 고박지침서에 따라 차량 등 운반선박(육상교통에 이용되는 차량 등을 적재·운송할 수 있는 갑판이 설치되어 있는 선박을 말한다)에 차량 및 화물 등을 적재하고 필요한 안전조치를 하여야 한다.

2.6.2.2 선박소유자는 「카페리선박의 구조 및 설비 등에 관한 기준」⁹⁾ 제18조에 따라 선박검사기관의 승인을 받은 차량 및 화물 고박 배치도를 해당 선박에 비치하여야 한다.

2.6.2.3 카페리선박에 차량을 적재할 때에는 승인받은 차량적재도에 따라 적재하여야 하고, 차량을 묶어 매는 설비를 갖추어야 한다.

8) 「항만운송사업법」 제2조제2항에 의한 항만운송사업 중 항만하역사업과는 다르게 화물고정은 제2조제4항에 의한 항만운송관련사업 중 항만용역업으로 분류된다.

9) 「선박안전법」 제26조 위임에 따라 갑판에 차량을 적재하여 운송하는 선박의 구조·시설 및 설비 등에 관한 세부사항을 규정한 해양수산부 고시

2.6.2.4 연해구역 이상을 항해하는 선박의 차량 고박장치는 횡요(Rolling) 20도, 종요(Pitching) 5도, 안전율¹⁰⁾ 4이상의 조건을 만족하여야 한다.

2.6.2.5 한국선급으로부터 승인받은 세월호의 차량 및 화물 고박 배치도에 따르면, 세월호에는 승용차용 고박 밴드(사용하중 0.5톤) 564개, 트럭용 고박 밴드(사용하중 2.5톤) 80개, 컨테이너의 수직용 고정장치(Twist lock) 108개 및 수평용 고정장치(Bridge fitting) 38개 등을 배치하게 되어 있다.

2.6.2.6 그리고, 각 승용차에는 고박 밴드를 4개, 25톤 화물차에는 고박 밴드를 10개, 일반화물 단위에는 고박 체인을 8~10개씩 각각 사용하도록 하고 있다.

2.7 여객선 안전관리

2.7.1 여객선 안전관리 관련 법령

2.7.1.1 외항화물선이나 외항 여객선은 「해상에서의 인명안전을 위한 국제협약」(SOLAS 협약)에 의한 국제안전관리규약(ISM Code)을 국내법으로 수용한 「해사안전법」 제46조에 따라 선박안전관리 체제를 갖추고 운항하여야 한다.

2.7.1.2 그러나, 내항여객운송사업에 종사하는 선박은 「해사안전법」

10) 고박장치의 파단하중(Breaking Load)을 안전사용하중(Safety Working Load)으로 나눈 것을 의미한다.

제46조에 따라 선박안전관리체제를 적용받지 않고 「해운법」 제21조 및 제22조에 따른 운항관리규정을 심사받고 운항관리자의 지도·감독을 받도록 되어 있다.

2.7.1.3 한편, 운항관리규정에 포함되어야 하는 내용(「해운법 시행규칙」 제15조의2)은 선박안전관리체제 수립·시행에 관한 내용(「해사안전법 시행규칙」 제33조) 중 선박소유자 및 선장의 책임과 권한에 관한 사항 등 일부를 제외하고는 유사하다고 할 수 있다.

2.7.1.4 그렇지만, 운항관리규정은 선장이 위치보고를 하는 지점과 승선 인원 등 선장이 운항관리실에 보고하는 입출항에 관한 사항 등이 선박안전관리체제 보다 더 구체화되어 있다.

2.7.2 여객선 운항관리제도

2.7.2.1 내항여객운송사업자는 「해운법」 제21조 및 제22조에 따라 해양경찰청으로부터 해당 선박에 대한 운항관리규정을 승인받아야 하며, 한국해운조합이 선임한 운항관리자의 지도·감독을 받아야 한다.

2.7.2.2 해양경찰청은 「해운법」 제22조 및 「해운법 시행규칙」 제15조의9 등에 따라 운항관리자에 대한 지도·감독을 할 수 있다.

2.7.2.3 운항관리자는 「해운법 시행규칙」 제15조의6에 따라 3급항해사, 3급기관사 또는 3급운항사 이상의 자격을 가진 사람으로서 승선경력이 3년 이상인 사람이어야 한다.

2.7.2.4 운항관리자의 직무는 「해운법 시행규칙」 제15조의8 등에 따라 다음과 같으며, 여객선의 출항정지를 해양경찰청에 요청할 수 있다.

1. 내항여객운송사업자·안전관리담당자 및 선원에 대한 안전 관리교육
2. 운항관리규정의 작성에 필요한 자료의 제공과 의견의 제시
3. 선장이 제출한 출항 전 점검보고서의 서면확인
4. 위험물 등을 취급하는 선장의 업무지도
5. 여객선의 입항·출항 보고의 수리
6. 여객선의 승선정원 초과 여부 및 화물의 적재한도 초과 여부의 확인과 그 밖의 운항질서의 유지
7. 출항 전 기상상황을 선장에게 통보하는 것과 현지 기상상황의 확인
8. 승선하여야 할 승무원의 승선 여부 확인
9. 여객의 인적 사항이 적힌 승선권의 보관 장소 확인
10. 선장의 선내 비상훈련 실시 여부 확인
11. 구명기구·소화설비·해도(海圖)와 그 밖의 항해용구 완비 여부 확인
12. 입항·출항 보고를 받지 아니한 경우의 역호출(逆呼出)에 의한 보고사항 확인
13. 여객선 안전운항에 관한 지도(승선지도를 포함한다) 및 내항 여객운송사업자의 운항관리규정 이행 상태의 확인

2.7.2.5 또한, 해운법령에 따른 세부사항을 규정한 해양경찰청의 고시인 「여객선 안전관리지침」 제8조에 따르면, 해양경찰서장은 운항 관리규정 심사를 위하여 해양경찰공무원, 운항관리실장, 정부

대행 선박검사원 등으로 구성된 여객선 운항관리규정 심사위원회를 구성하도록 되어 있다.

2.7.2.6 「여객선 안전관리지침」 제14조에 따라, 여객운송사업자는 여객정원 준수와 화물과적 방지를 위하여 필요한 조치를 마련하여야 하며, 선장은 출항 전에 화물을 지정된 장소에 적재하고, 카페리 선박의 경우 출항 10분 전까지 화물적재와 고박을 완료(선수문 등 폐쇄)하도록 규정하고 있다.

2.7.2.7 한편, 사고 당시 한국해운조합 본부 및 11개 지부 등 26개소에 73명의 운항관리자가 배치되어 있으며, 이 중 안산 대부도, 신안 송공, 울릉도, 해남 땅끝, 부안 격포 등 14곳의 파견지에 16명이 근무하고 있다.

2.7.2.8 내항여객선의 기항지는 중간 기항지를 포함할 경우 340여 개소에 이르며, 기점과 종점은 50여 개소에 이른다.

2.7.2.9 내항여객선의 기점과 종점 중 운항관리자가 상주하는 항·포구는 23개소에 불과하며, 2개소는 매주, 31개소는 매월 간격으로 운항관리자가 현장을 점검하는 형태로 운영되고 있다.

2.7.2.10 운항관리자가 상주하지 않는 기항지에서는 여객선 선장이 무선(SSB 또는 VHF)으로 출항전 점검보고서를 운항관리실에 보고하고 있다.

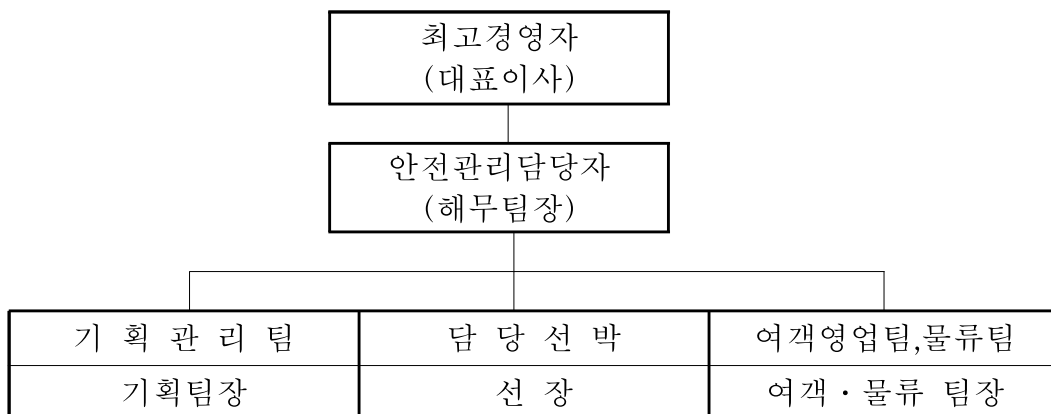
2.7.2.11 한편, 여객선 안전관리지침 제3조에 따라 선장은 여객선 출항전 인명 및 화물의 안전을 위하여 출항전 안전 점검을 실시하고

그 결과를 한국해운조합 운항관리자로부터 서면 확인을 받아야 한다.

2.7.3 세월호 운항관리규정의 주요내용(2013년 2월 25일 승인)

2.7.3.1 (주)청해진해운은 제주에 본사를 두고 인천에 지점을 두며, 충남 태안군 용도를 기준으로 본사와 지점의 관할구역을 나누고 있다.

2.7.3.2 (주)청해진해운의 회사 조직도는 아래와 같으며, 안전관리담당자는 해무팀장으로서 선장의 직무와 권한에 속하는 사항을 제외한 선박의 운항 및 기타 수송의 안전 확보에 대한 업무를 총괄한다.



2.7.3.3 물류팀의 화물하역담당자는 화물의 적재 및 하역에 관한 업무 총괄, 화물(위험물)의 적재에 관한 선장과의 업무협의 및 안전 조치, 육상 작업원에 대한 관리 업무 총괄 등을 담당한다.

2.7.3.4 선장은 선원법상 주어진 직무와 권한을 성실히 수행하여야 하고, 인명, 선박 및 화물의 안전과 해양 환경보호를 위한 대응조치에 대한 최우선적인 결정권과 필요한 경우 회사에 물적·인적

지원을 요청할 수 있는 권한을 갖는다.

2.7.3.5 세월호는 운항항로의 해상 기상이 태풍·해일·풍랑주의보 또는 경보 발효 시에는 운항을 정지하며, 기상특보가 발효되지 않았다 하더라도 최대풍속 초속 21m 이상, 파고 5 m 이상 또는 가시거리가 1 km 이내일 경우에는 운항을 정지하여야 한다.

2.7.3.6 세월호는 인천-제주간 264마일을 속력 21노트로 약 13시간 30분 항해하는 것으로 계획되어 있으며, 입출항시 및 항계 내, 기상악화 시 및 선장이 안전운항에 지장이 있다고 판단되어 질 때에는 선장이 직접 조선히도록 되어 있다.

2.7.3.7 세월호는 인천-제주 항로를 항해하면서 [표 4] 지점을 지나면서 위치 보고를 한국해운조합 운항관리실에 하도록 되어 있다.

2.7.3.8 선장은 화물고박장치도(차량적재도)에 의거 일반(차량)화물의 적재상태를 확인하고 선박의 안전운항 확보를 위한 적절한 조치를 취한 후 출항에 임하여야 한다.

2.7.3.9 선장은 사전에 당직사관과 협의하여 화물적재정량을 초과하지 않도록 조치하고, 화물 적재 후 화물적재량 및 적재방법이 안전운항에 지장이 있다고 판단될 때에는 시정 조치하고 출발하여야 하며, 선장이 지정한 자로 하여금 운항 중 1회 이상 화물적재상태 및 고박상태를 확인하게 하고 이상이 있을 때에는 시정 조치하여야 한다.

[표 4] 세월호의 운항관리실 보고지점

구 분	보고지점	남향(인천 → 제주)		북향(제주 → 인천)		보고처
		거리(마일)	소요시간	거리(마일)	소요시간	
1	인 천	출항즉시	00:05	7.5	00:30	인천 운항관리실(1)
2	팔 미 도	7.5	00:28	-	-	인천 운항관리실(2)
2-1	부 도	-	-	16	00:47	
3	초 치 도	9	00:26	-	-	
3-1	안 도	-	-	14	00:41	
4	울 도	20.5	01:00	21	01:03	
5	옹 도	20.5	01:00	31.5	01:33	제주 운항관리실
6	어 청 도	31	01:30	27.5	01:20	
7	상왕등도	28	01:22	32	01:33	
8	허사도	32	01:35	28	01:22	
9	대흑산도	28.5	01:23	30	01:28	
10	만재도	30	01:28	30	01:28	
11	추자도	30	01:28	12	00:35	
12	화 도	12	00:35	15.5	00:45	
13	제 주	15.5	00:45	출항즉시	00:05	

* 인천에서 제주로 가는 남향 항차에는 팔미도부터 제주 운항관리실이 담당하나, 북향시에는 어청도부터 인천 운항관리실이 담당함

2.7.3.10 재화중량톤수는 3,963톤¹¹⁾이며, 적재기준은 승용차 88대, 화물차(대형트럭) 60대, 컨테이너(10피트) 247개이고, 차량고박 설비는 안전율 4이상으로써 선체 횡경사 20도 및 선체 종경사 5도를 견딜 수 있는 조건에 만족하도록 설치하여야 한다.

2.7.3.11 관계기관으로부터 승인 받은 화물(차량)적재도는 차량갑판상 가장 잘 보이는 장소에 게시하고 복원성자료를 본선에 비치하여야 한다.

2.7.3.12 선장은 화재, 해양오염, 충돌, 좌초, 조타기 고장, 기관고장, 인명관련 비상 사고(퇴선, 익수자 발생 등 인명사고) 등의 비상

11) 세월호 선박복원성 자료의 수치(3,794톤)와 다르게 기술되어 있다.

상황에 대한 선내 비상부서배치표를 작성하여 조타실 등 가장 잘 보이는 곳에 게시하고 반복 훈련으로 승무원에게 주어진 임무를 숙지하도록 한다.

2.7.3.13 선장 및 회사는 본선에 사고가 발생하였을 때에는 인명의 안전 확보를 위한 최우선적인 조치를 취한 후 사고확대 방지 및 여객의 불안을 제거하기 위한 필요한 조치를 강구하고 회사와 운항관리실에 신속히 보고하여야 한다.

2.7.3.14 사고를 접수한 회사는 관할 해양경찰서 및 지방해양항만청에 동 사항을 보고하여 여객의 안전과 선박의 피해방지 및 피해 복구에 최선을 다한다.

2.7.3.15 선원은 비상부서배치표에 의한 임무를 성실히 수행하여야 하며, 승무원은 사고처리에 있어서 인명의 안전 확보를 최우선으로 하고 항상 최악의 사태를 염두에 두고 조치를 강구하는 한편, 선장의 대응조치 및 지시사항에 따라야 한다.

2.7.3.16 선장은 비상시에 조치하여야 할 선원의 임무를 정한 비상부서 배치표를 게시하고 비상시에 대비한 선내비상훈련을 매 10일 마다, 선체손상 대처훈련 및 밀폐공간에서의 인명구조 훈련은 6개월 마다 실시하는 등 훈련을 실시하고 그 내용을 항해 일지에 기록 유지하여야 한다.

2.7.3.17 안전관리담당자는 선박 관련 종사자에 대한 교육계획을 수립 시행하여야 하며, 선장은 선사 안전관리담당자의 교육계획을

토대로 선박직원의 교육계획을 수립·시행하여야 한다.

2.8 평상시 세월호의 화물적재 및 복원성

2.8.1 세월호는 인천-제주 항로에 취항한 이후 만재흘수선을 초과할 정도로 과다한 화물을 적재하고 운항한 사례가 종종 있었다.

2.8.2 선장과 항해사 등은 세월호가 도입 후 선박 증축 등 개조에 따라 복원성이 약화되어 작은 변침에도 과도한 횡경사가 발생한다는 사실을 인지하고 있었다.

2.8.3 전임 선장 신모씨는 위 기술된 문제점 때문에 3등항해사 등 선교 당직자에게 변침을 할 경우, 타각을 5도 이내의 소각도로 나누어서 사용하도록 지시하였다¹²⁾.

12) 일반적인 선박은 급박한 충돌위험 등을 피하기 위하여 타각을 최대 35도까지 사용할 수 있다.

3. 사고 상세

3.1 인천항 출항

3.1.1 인천항 지연 출항

3.1.1.1 2014년 4월 15일 17시경 세월호의 3등항해사는 본인이 작성한 출항전 안전점검보고서를 한국해운조합 인천지부 운항관리실에 방문하여 제출하였으며, 이 당시 보고서에는 승선인원, 화물량 등이 기재되어 있지 않았다.

3.1.1.2 2014년 4월 15일 17시 30분경 인천지방해양항만청 인천항 해상교통관제센터(인천항 VTS)는 안개로 인하여 가시거리가 1km 이내로 관측됨에 따라 시정주의보를 발효¹³⁾하였고, 이에 따라 한국해운조합 인천지부 운항관리자는 「해사안전법」 제38조에 의하여 18시 30분경 출항예정이었던 세월호의 출항을 통제하였다.

3.1.1.3 같은 날 20시 35분경 인천항 VTS는 인천항의 시정이 좋아짐에 따라 시정주의보를 해제하였고, 한국해운조합 인천지부 운항관리자는 덕적도 해양경찰 출장소 및 팔미도 등대원에게 기상상태(시정)를 확인하고 인천해양경찰서 상황실과 협의를 거쳐 20시 50분경 세월호의 출항통제를 해제하였다.

3.1.1.4 세월호의 출항이 임박함을 인지한 운항관리자는 한국해운조합

13) 「인천항·경인 아라뱃길 해상교통관제 운영규정」 제16조에 따라 인천지방해양항만청장이 시정주의보를 발효 및 해제할 수 있다.

인천지부 운항관리실에서 약 100~150미터 가량 떨어져 접안중인 세월호의 중앙부 흘수를 망원경으로 확인하고, 만재흘수선을 초과하지 않은 것으로 판단¹⁴⁾하였다.

3.1.1.5 4월 15일 21시 05분경 세월호는 인천항 연안여객터미널을 이안한 이후 승선 여객 450명, 선원 24명¹⁵⁾, 자동차 150대, 일반화물 657톤 등의 출항전 안전점검 보고서 내용을 무선(VHF)으로 한국해운조합 인천지부 운항관리실에 출항 보고를 하였고, 21시 39분경 인천항 팔미도 통과를 보고하였다.

3.1.2 승선 인원

3.1.2.1 사고 당시 세월호의 총 승선인원은 476명(남자 287명, 여자 189명)이었고, 이 중 여객은 443명, 선원 및 승무원 33명이 승선하였다.

3.1.2.2 여객 443명 중에는 단원고등학교 학생 325명(남자 175명, 여자 150명), 교사 14명(남여 각 7명), 일반승객 104명(남자 78명, 여자 26명)이 있었다.

3.1.2.3 선원 및 승무원 33명 중에는 선장, 기관장 등 선박운항에 직접 참여하는 선원 15명, 조리장 및 사무장 양모씨 등 지원부서 선원¹⁶⁾ 8명(남여 각 4명), 아르바이트 학생, 가수, 불꽃놀이 직원 등 기타

14) 세월호의 만재흘수는 6.26미터이나 세월호 출항 당시 운항관리자는 약 6.20미터로 확인하였다.

15) 3항사가 운항관리실에 보고한 내용으로 선원 15명과 지원부서 선원 8명을 합한 23명과 차이가 있다.(3.1.2.3항 참조)

16) 선원공제에 가입된 사람을 기준으로 분류함(이들 중 2명은 승선공인을 받지 않음)

승무원 10명(남자 8명, 여자 2명)이 승선했다.

3.1.3 승선 선원

3.1.3.1 인천지방해양항만청이 2013년 3월 15일 발급한 세월호의 최소 승무정원증서에 의하면, 세월호를 운항하기 위해 필요한 최소 승무기준은 총 11명으로 [표 5] 와 같다.

[표 5] 세월호의 최소 승무정원 및 실제 승무현황

직 책	면허자격	정원	실제 승선	직 책	면허자격	정원	실제 승선
선 장	2급항해사	1	1	기관장	3급기관사	1	1
1등항해사	3급항해사	1	2	1등기관사	4급기관사	1	1
2등항해사	4급항해사	1	1	2등기관사		—	—
3등항해사		—	1	3등기관사		—	1
갑판부원		3	3	기관부원		3	4

* 갑판부원 중 1명은 4급항해사 면허 소지

3.1.3.2 출항 당시 승선했던 선박운항 선원 중 해기사 면허 등의 소지자는 1급항해사 1명, 2급항해사 1명, 3급항해사 3명, 4급항해사 1명, 1급기관사 2명, 3급기관사 1명 등 총 9명(갑판부원 1명 포함)이며, 당직부원 자격 소지자 6명 등이 있었다.

3.1.3.3 출항 당시 선장은 2013년 세월호를 인수할 때부터 선장이었던 이모씨이었으며, 1986년 3월 3일 2급항해사 면허를 취득하고 같은 항로에 운항 중이던 오하마나호 선장으로 승선하는 등 여객선 승선경력이 약 25년이고 (주)청해진해운에서 약 8년간 근무

해오고 있었다.

3.1.3.4 세월호에 2012년 12월 15일 승선한 1등항해사 강모씨는 1991년 5월 10일 1급항해사 면허를 취득하였으며, 여객선 1등항해사로서 약 3년 정도 승선한 경력이 있다.

3.1.3.5 2012년 11월 1일 3급항해사 면허를 취득한 3등항해사 박모씨는 한국과 중국을 운항하는 국제여객 카페리선에 약 10개월간 항해사로 승선하였고, 세월호에는 2013년 12월 10일 승선하였다.

3.1.3.6 2014년 4월 15일 승선한 견습 1등항해사 신모씨는 2010년 2월 18일 1급항해사 면허를, 2014년 1월 2일 승선한 2등항해사 김모씨는 1990년 3월 6일 3급항해사 면허를 각각 취득하였다.

3.1.3.7 조타수 박모씨는 2011년 9월 16일 4급항해사 면허를 취득하였으며, 조타수 오모씨는 2009년, 당직 조타수 조모씨는 2006년에 각각 항해당직부원 자격을 취득하였다.

3.1.3.8 한편, 당직 조타수 조모씨는 약 25년간 승선하였지만, 원양어선 및 예인선에 갑판장 등으로 승선하였고, 세월호에는 2013년 10월 22일 승선하여 조타수로 근무하였다.

3.1.3.9 세월호 기관장 박모씨는 1급기관사 면허를 2000년 6월 28일 취득하였고, 2003년 2월 14일 오하마나호 기관장으로 첫 승선하여 약 10여 년간 승선하였으며, 세월호에는 2012년 11월 14일 첫 승선한 후 2014년 3월 19일 재승선하였다.

3.1.3.10 1등기관사 손모씨는 2003년 7월 15일 1급기관사 면허를, 3등기관사 이모씨는 2013년 8월 2일 3급기관사 면허를 각각 취득하였다.

3.1.3.11 조기장인 전모씨, 조기수 이모씨, 김모씨 및 박모씨는 기관당직 부원 자격을 2003년, 2001년, 2009년 및 2004년 각각 취득하였다.

3.1.3.12 그리고, 이들 이외에 조리장 최모씨, 조리원 김모씨 및 이모씨, 사무장 양모씨, 승무원 강모씨 등이 승선하고 있었다.

3.1.4 적재 화물 및 고박상황

3.1.4.1 세월호는 선박검사기관으로부터 화물을 최대 약 987톤 적재하고 운항하도록 승인받았으나 검경합동수사본부의 자료 등에 의하면 사고 당시 약 2,142.7톤의 화물을 적재한 것으로 파악되었다.

3.1.4.2 인천항 출항 당시 세월호에는 1톤 트럭 23대, 5톤 트럭 27대, 승용차 84대, 승합차 40대 등 차량 185대를 비롯하여 8피트 컨테이너 60개, 10피트 컨테이너 45개 등을 적재하고 있었으며, 화물별 세부 적재 현황은 [표 6] 과 같다.

[표 6] 사고 당시 화물의 적재 현황

갑 판	화물종류	수 량	갑 판	화물종류	수 량
Tween Deck	경승용차	19	D 갑판	목재	1
	승용차	11		8피트 컨테이너	7
C 갑판	10피트 컨테이너	45		철자재	2
	철자재	1		추레라	3
	1톤 트럭	23		공트레일러	1
	5톤 트럭	12		5톤 트럭	15
	승합차	40		2.5톤 트럭	1
	승용차	24		굴삭기	2
	굴삭기	1		지게차	1
				승용차	30
				18톤 트럭	1
			E 갑판	8피트 컨테이너	53
	렉카	1		톤백	22

3.1.4.3 한편, 적재된 차량의 각 바퀴에는 버팀목을 대었지만, 차량 등에 대한 고박 Band는 2.6.2.5에 의한 기준보다 적게 사용하였다.

3.1.4.4 안개로 출항이 지연된 후 출항이 임박하여 10여대 가량의 임시 번호 승용차를 적재하였고, 이 차에 대하여는 특별한 고박 작업 없이 출항하였다.

3.1.4.5 또한, 선수갑판에 2단으로 적재된 컨테이너의 경우 Twist lock 이나 Bridge fitting을 사용하지 않고 로프로 컨테이너 모서리 구멍을 연결하는 방식으로 고박하였다.

3.1.4.6 세월호는 한국선급으로부터 10피트 규격의 컨테이너를 적재하는 것으로 승인받았으나 그렇지 않은 8피트 규격의 컨테이너를 D

갑판과 E 갑판에 적재함으로써 8피트 컨테이너의 일부 모서리(Corner fitting)가 선체의 컨테이너 고정부(Sliding base, Twist lock)에 제대로 고박되지 않았다.¹⁷⁾

3.1.5 연료유, 선박평형수 및 청수 등 적재현황

3.1.5.1 세월호는 선박검사기관으로부터 화물을 약 987톤 실을 경우 선박평형수는 약 1,703톤 적재하도록 승인받았으나, 검경합동수사본부의 자료 등에 의하면 2014년 4월 15일 인천항 출항 당시 선박평형수를 약 761.2톤¹⁸⁾ 적재한 것으로 나타났다.

3.1.5.2 2번, 4번 및 5번 선박평형수탱크는 만재되었다고 하지만, 2014년 2월 수리조선소에서 나오면서 만재시킨 후로는 인천항 출항 당시까지 한 번도 Overflow¹⁹⁾를 시킨 적이 없었다.

3.1.5.3 그 동안 선박평형수 탱크 배관 밸브의 미세한 틈이나 화물적재 또는 항해중 종경사와 횡경사로 인하여 만재된 선박평형수가 조금씩 탱크 밖으로 흘러나왔을 것이며²⁰⁾, 이렇게 배출된 양은 각 탱크 용량의 최소 3%이상이었을 것으로 추정된다.

17) 10피트 컨테이너의 ISO 규격(길이 × 너비 × 높이)은 10피트 × 8피트 × 8.6피트이나, 세월호에 적재되는 8피트 컨테이너는 7.8피트 × 8피트 × 8.5피트이다.

18) 1번 탱크는 80톤 가량, 2번, 4번 및 5번 탱크는 만재하였으며, 양현 Heeling Tank는 각 50톤씩 적재하였다는 1등항해사의 진술과 일치한다.

19) 탱크 내 빈 공간이 남지 않도록 해수를 탱크 상면에 연결된 공기관(Air pipe)을 통하여 탱크 밖으로 넘치게 채우는 작업을 말한다.

20) 선박 운항실무 상 선박복원성에 민감한 원목운반선은 항해 중 선박평형수탱크의 유동수(free surface water)로 인한 복원성 악화를 방지하기 위하여 만재된 선박평형수 탱크도 수시로 Overflow를 시킨다.

3.1.5.4 3.1.5.3을 반영한 선박평형수 탱크별 적재량은 [표 7] 과 같다.

[표 7] 탱크별 선박평형수 적재량

구 분	탱크용량 (MT)	누수 등 미반영시 적재량(MT)	누수 등 반영시		비 고
			적재량(MT)	적재율(%)	
F.P.Tank	246.178	0	0	0.0	선수탱크
No.1 B.W.Tank(C)	90.639	82.000	82.0	90.5	
No.2 B.W.Tank(C)	206.310	206.310	200.121	97.0	
No.3 B.W.Tank(P&S)	444.473	0	0	0.0	
No.4 B.W.Tank(C)	147.506	147.506	143.081	97.0	
No.5 B.W.Tank(P)	110.864	110.864	107.538	97.0	
No.5 B.W.Tank(S)	111.992	111.992	108.632	97.0	
No.6 B.W.Tank(C)	207.884	0	0	0.0	
A.P.Tank	472.137	0	0	0.0	선미탱크
Heeling Tank(P&S)	463.843	102.600	102.6	22.1	힐링탱크
총 량	2501.826	761.272	743.972	29.7	

3.1.5.5 세월호의 1등항해사 및 선장은 인천항 출항 이후 사고 당시까지 선박평형수를 별도로 조정하지 않고 항해를 계속하였다.

3.1.5.6 아울러, 세월호는 사고 당시 선박연료유를 총 약 128.4톤 적재하였고, 청수는 총 약 192톤을 적재한 것으로 나타났다.

3.1.5.7 그 외 세월호는 음·식료품 약 4톤과 기관실 소형탱크 등에 적재되어 있는 불명중량(Deadweight Constant)이 약 166.2톤 있는 것으로 파악되었다.

3.2 땡골수도 진입 전 상황

3.2.1 세월호는 2014년 4월 15일 21시 05분 인천항을 출항한 이후 평소와 같이 항해사와 조타수 2명이 한 조가 되어 4시간씩 당직체제를 유지하면서 인천항 서수도를 따라 서해로 나온 뒤 예정된 항로를 따라 항해하였다.

3.2.2 이후, 태안군 옹도를 4월 16일 00시 35분경 속력 18노트, 침로 184도, 군산시 어청도를 같은 날 02시 20분경 속력 17노트, 침로 192도, 신안군 대흑산도를 같은 날 07시 00분경 속력 20 노트, 침로 169도, 신안군 매물도를 같은 날 07시 35분경 속력 21노트, 침로 159도로 통과하였다.

3.2.3 1등항해사 강모씨는 시정이 좋으며 해면도 잔잔하고 바람도 없는 등 기상상태가 좋은 상황에서 조타기를 자동조타 상태로 당직 조타수 박모씨와 함께 항해당직을 하였고, 4월 16일 07시 30분경 매물도 북동쪽 약 2마일 부근에서 3등항해사 박모씨와 당직 조타수 조모씨 근무조에게 당직을 인계하였다.

3.2.4 3등항해사가 당직을 인수할 당시 세월호의 침로는 약 165도, 속력은 약 20노트이었으며, 조타실에는 선장이 함께 있었다.

3.2.5 한편, 조타수는 1개월 주기로 근무조를 변경하여 항해사와 근무하였는데, 2014년 4월 1일부터 3등항해사 박모씨와 조타수 조모씨가 같은 조로 근무해오고 있었다.

3.3 사고 발생 상황

3.3.1 맹골수도 통과(변침) 상황

3.3.1.1 2014년 4월 16일 07시 30분경 1등항해사로부터 당직을 인계받은 3등 항해사와 당직 조타수는 레이더 2대를 작동하고 항해 중이었다.

3.3.1.2 맹골수도(진도군 거차도와 맹골도 사이) 진입 약 2-3마일 전(대략 08시 20분경)에 3등항해사는 당직 조타수 조모씨에게 조타 조종시스템 (Auto Pilot)을 자동조타에서 수동조타로 바꾸도록 지시하였다.

3.3.1.3 이후, 3등항해사는 대략 160도 정도이었던 세월호 침로를 서서히 변침하여 맹골수도에 진입(대략 08시 27분경)하면서 침로는 137도 내외로 유지하였다.

3.3.1.4 3등항해사는 속력 변화없이 맹골수도를 통과하면서 수시로 침로를 소각도로 변경 지시하는 등 08시 46분경 침로 약 136도, 속력 약 18노트로 병풍도를 우현 약 0.9마일로 통과하였다.

3.3.1.5 4월 16일 08시 46분경 3등항해사는 침로를 135도에서 140도로 변침 지시하였으며, 이에 당직 조타수 조모씨는 타각을 우현 약 5도 정도로 사용한 후 타를 가운데로 위치(Midships)하는 방식으로 변침을 시도하였다.

3.3.1.6 한편, 선장은 맹골수도 중간부분을 통과(사고발생 약 10여분 전)

할 때 쯤, 3등항해사에게 앞 쪽에 있는 선박의 선미쪽으로 피해가라는 지시를 남긴 채 조타실을 떠났고, 아침 식사 후 8시 30분경 조타실에 올라 온 기관장이 조타실에 남아 있었다.

3.3.1.7 3등항해사는 사고 당시 제주항으로 항해중 맹골수도를 통과하는 것은 처음이나, 인천항으로 항해할 때는 맹골수도를 수차례 통과한 경험이 있었다.

3.3.1.8 그 당시 기관실에는 3등기관사 이모씨와 조기수 이모씨 및 박모씨가 같이 근무하고 있었다.

3.3.2 사고 발생 상황

3.3.2.1 2014년 4월 16일 08시 48분경 세월호 침로가 140도로 정침된 것을 레이더 화면으로 확인한 3등항해사는 당직 조타수에게 세월호 침로를 145도로 추가 변침토록 지시하였다.

3.3.2.2 변침을 지시하고 수 초 후 당직 조타수가 타가 이상하다는 취지의 말을 하였으며, 배가 좌현으로 심하게 기울어지면서 선수가 우측으로 많이 회두하는 것을 인지한 3등항해사는 타를 좌현으로 사용할 것을 지시하였다²¹⁾.

3.3.2.3 그러나, 세월호는 좌현으로 더 경사되었고, 선수는 우회두를 계

21) 당직 조타수는 ('어, 타가') 라고 조타기가 이상하다는 취지의 말을 하였고, 3등항해사는 정확한 타각 지시를 하지 못한 채 "아저씨, 좌현(port)"이라고 지시하였다.(당직 조타수 조모씨와 기관장은 3등항해사가 "아저씨, 반대로"라고 지시하였다고 진술함)

속 하였다.

3.3.2.4 같은 날 08시 50분경 좌현으로 경사가 더 심해지면서 화물창 내의 화물이 쏠리면서 “쿵”하는 소리와 함께 선수갑판의 컨테이너가 바다로 추락하는 현상이 발생하였다.

3.3.2.5 이 당시 조타실에는 3등항해사, 당직 조타수 조모씨 및 기관장이 있었다.

3.3.2.6 한편, 이 사고 발생 때까지 조타기, 주기관, 전원 등에 이상이 있었다는 징후나 증언은 없었다.

3.3.3 선박 항적(5.1.1.3의 그림 8 및 5.1.2의 그림 9 항적도 등 참조)

3.3.3.1 2014년 4월 16일 08시 46분경 세월호는 속력 약 18노트, 침로 약 136도에서 우회두를 시작하였다.

3.3.3.2 같은 날 08시 48분경 세월호는 속력 약 17.5노트, 침로 약 140도에서 우현 타를 사용하였다.

3.3.3.3 같은 날 08시 49분 13초경 침로 약 150도, 속력 약 17노트로, 08시 49분 30초경 침로 약 168도, 속력 약 16.5노트로, 08시 49분 37초경 침로 약 180도, 속력 약 15노트로 우선회하였다.

3.3.3.4 같은 날 08시 49분 56초경 침로 약 229도, 속력 약 10노트로, 08시 50분 37초경 침로 약 240도, 속력 약 8노트로, 08시 51분

37초경 침로 약 260도, 속력 약 6노트로 빠르게 우선회를 계속 하였다.

3.3.3.5 같은 날 08시 52분경 속력 약 5.2노트, 선수방위 245도를 유지한 채 350도 방향으로 움직이고 있었다.

3.3.3.6 같은 날 08시 53분경 속력 약 3.7노트, 선수방위 246도를 유지한 채 000도 방향으로, 08시 54분경 속력 약 2.6노트, 선수방위 247도, 선체이동방향 003도 방향으로, 08시 55분경 속력 약 2.4노트, 선수방위 247도, 선체이동방향 003도 방향으로, 08시 57분경 속력 약 2.1노트, 선수방위 246도, 선체이동방향 003도 방향으로 움직이고 있었다.

3.3.3.7 이후, 세월호는 09시 00분경 속력 약 1.8노트, 선수방위 245도, 선체이동 방향 359도, 09시 10분경 속력 약 1.9노트, 선수방위 204도, 선체이동 방향 356도, 09시 20분경 속력 약 1.8노트, 선수방위 191도, 선체이동 방향 357도, 09시 30분경 속력 약 2.0노트, 선체이동 방향 359도로 표류하고 있었다.

3.3.3.8 세월호는 좌현으로 약 108도 가량 누운 형태로 수면 아래로 가라앉으면서 뒤집힌 채 선수 선저부만 수면 위에 남기고(4월 16일 10시 31분) 표류하다가 2014년 4월 18일 12시 57분경 완전히 침몰 되었다.

3.4 사고 당시 기상 및 조류

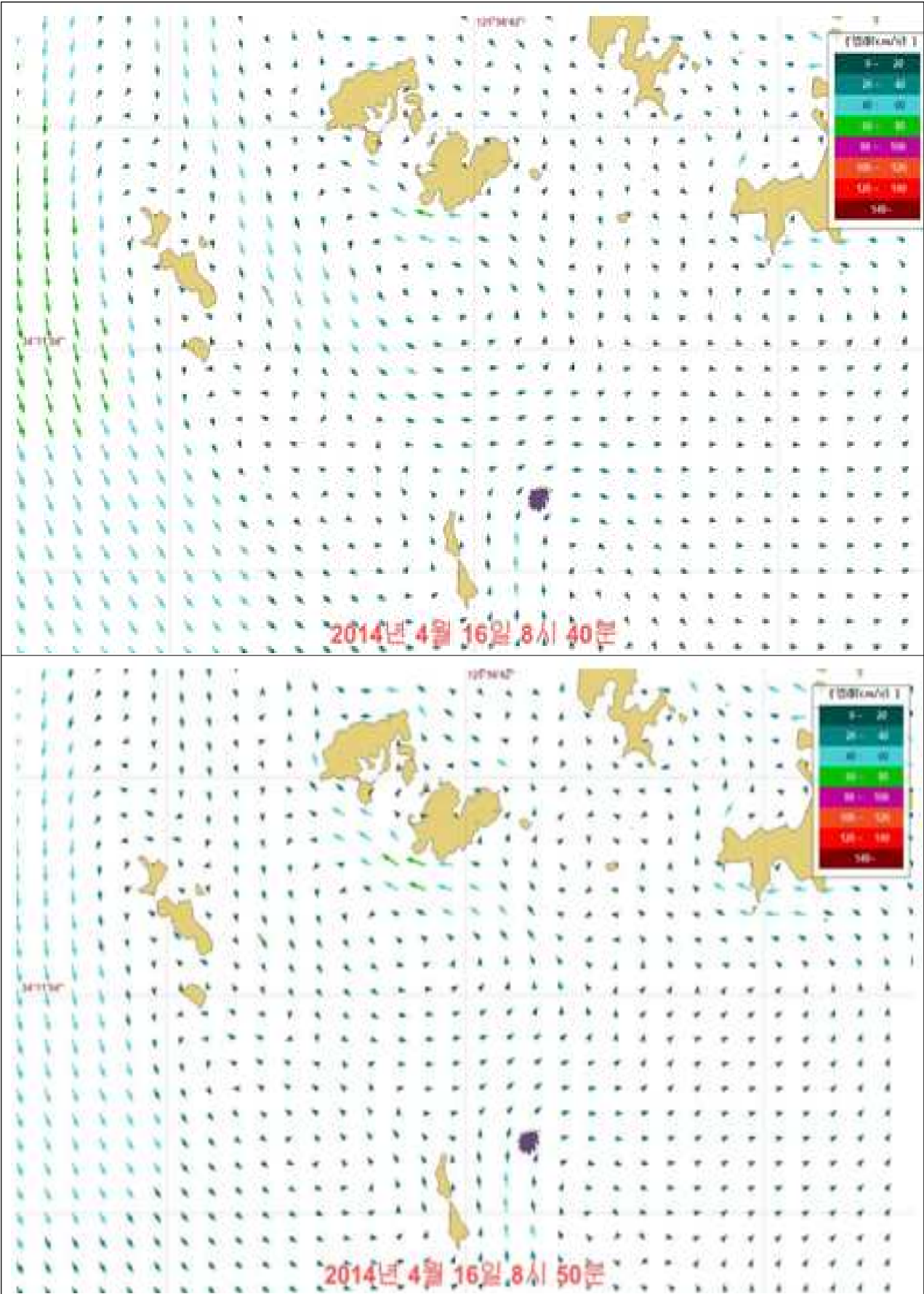
3.4.1 사고 당시 바람은 남서풍이 초속 4~7미터로 불었고, 파고는 0.5미터, 수온은 섭씨 약 12.6도, 시정은 좋았다.

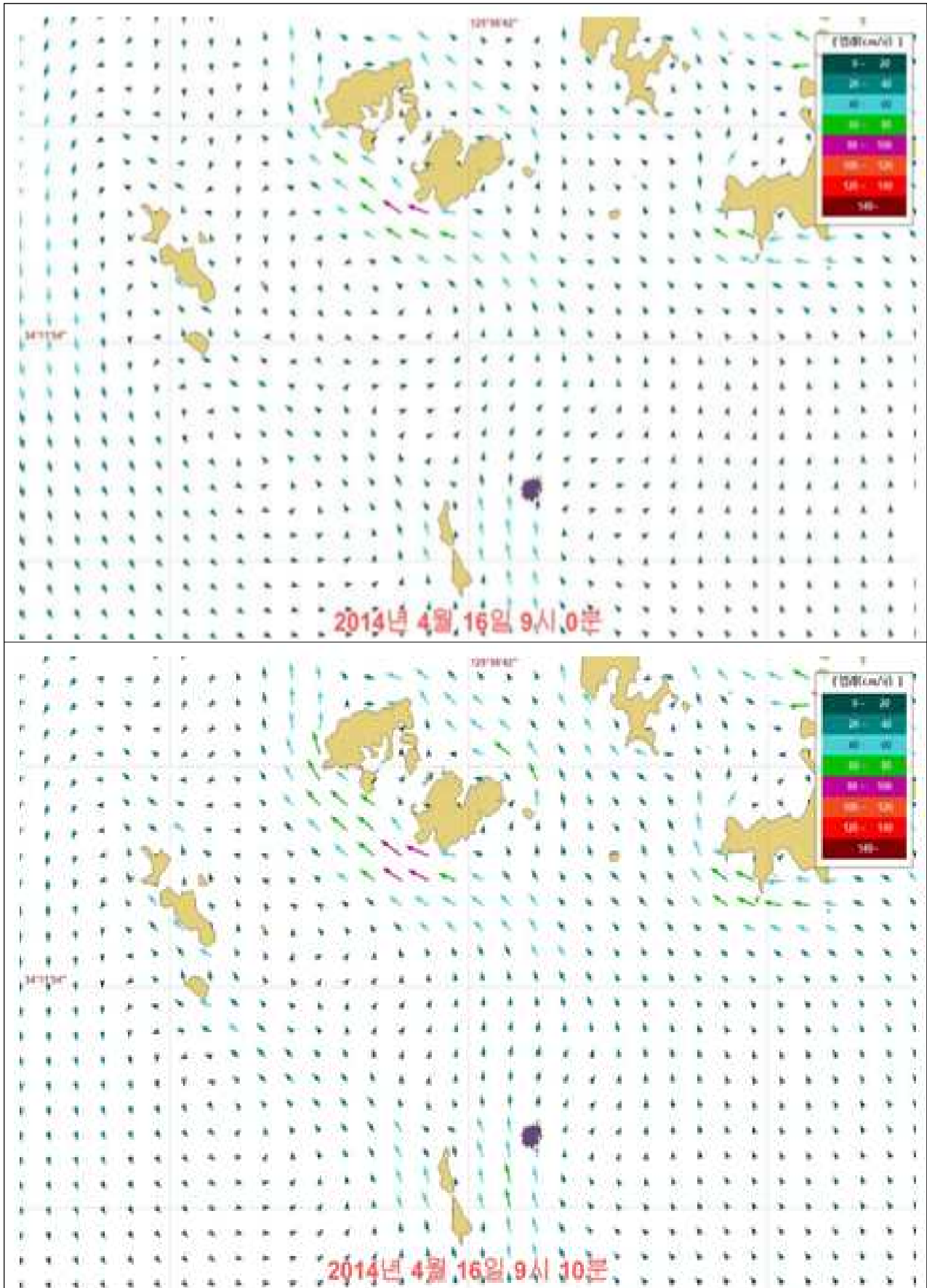
3.4.2 국립해양조사원의 조류 수치 시뮬레이션에 의하면, 사고해역의 조류 속도는 사고 당일 08시 30분부터 10시 00분까지 초속 약 0.2~1.0미터(0.4~1.9노트)인 것으로 나타났다.

3.4.3 사고 당시 맹골수도의 조류의 방향과 속도는 [그림 3] 과 같으며, 사고 해역의 조류 방향은 소용돌이 형태를 보이지만, 세월호가 표류하던 해역에는 그 당시 조류가 북쪽으로 흐르고 있었던 것으로 나타났다.

[그림 3] 조류의 흐름과 속도







* 해양조사원 홈페이지(www.khoa.go.kr)에서 발췌

3.5 사고 발생 후 상황

3.5.1 선원 대응

3.5.1.1 사고가 발생하자 조타실에 있던 기관장 박모씨는 자신의 판단에 따라 기관 텔레그래프(Telegraph)를 사용하여 주기관을 정지하려 하였고, 사고 발생 약 2~3분 후 조타실에 도착한 선장, 1등항해사 등은 힐링탱크를 이용하여 선체 균형을 잡으려고 시도하였으나 효과가 없었으며, 주기관이 극미속 전진(Deadslow ahead)으로 운전하고 있는 것을 인지한 선장은 기관장에게 기관정지를 지시하였다.

3.5.1.2 2014년 4월 16일 08시 55분경 1등항해사 강모씨는 선장의 지시가 없었지만 평소 하던 대로 해양수산부 부산지방해양항만청 제주해양관리단의 제주항 항만관제센터(제주항 VTS)에 VHF를 통하여 사고발생 사실을 신고하고 해양경찰의 구난을 요청하였다.

3.5.1.3 같은 날 08시 55분경 조타실에 있던 기관장 박모씨는 선내전화를 통하여 기관실에 근무 중이던 3등기관사 이모씨 등을 기관실 밖으로 나오도록 연락하였다.

3.5.1.4 같은 날 08시 56분경 사고를 인식한 승무원 강모씨는 여객들을 안심시키기 위하여 자신의 판단으로 '현재 위치에서 대기하라'는 취지의 최초 선내방송을 실시하였다.

- 3.5.1.5 같은 날 09시 00분경 제주항 VTS로부터 ‘인명들 구명조끼 착용하고 퇴선할지도 모르니까 준비해 달라’는 지시를 받았으며, 이를 옆에서 들은 2등항해사 김모씨는 선내 무전기로 사무장 양모씨에게 ‘여객들에게 움직이지 말고 선내에 대기하라’는 취지의 지시를 하였다.
- 3.5.1.6 같은 날 09시 05분경 1등항해사는 제주항 VTS와 추가 교신을 통하여 해양경찰청 구조인력이 언제쯤 도착하는지 문의하였고, 견습 1등항해사 신모씨는 09시 10분경 한국해운조합 제주 운항관리실에 휴대전화로 사고사실을 알렸다.
- 3.5.1.7 같은 날 08시 58분경 승무원 강모씨는 (주)청해진해운 제주사무실과, 1등항해사는 09시 14분경 휴대전화로 (주)청해진해운 사무실 직원(해무팀 홍모 대리)에게 사고발생 사실을 각각 보고하였다.
- 3.5.1.8 같은 날 09시 10분경과 09시 30분경 승무원 강모씨는 사무장 양모씨로부터 무전연락을 받고 ‘여객들이 구명동의를 입고 현재 위치에 대기하라’는 취지의 선내방송을 하였고 그 이후 해경정 등이 구조하러 온다는 선내방송을 몇 차례 정도 더 하였다.
- 3.5.1.9 같은 날 09시 13분경 세월호 사고 해역 인근을 향해 중이던 두라에이스호가 세월호에 접근하면서 해양경찰청 서해지방해양경찰청 진도 연안해상교통관제센터(진도 연안VTS)와 ‘여객들이 탈출하면 구조하겠다’라는 취지의 교신을 한 것을 세월호 선원들도 인지하였으나 세월호 선장 등은 여객 탈출조치를 취하지 않았다.

- 3.5.1.10 같은 날 09시 23분경 2등항해사 김모씨와 당직 조타수 조모씨는 해경 122에 휴대전화로 세월호의 사고상황을 신고하였다.
- 3.5.1.11 같은 날 09시 25분경 선장 등은 진도 연안VTS로부터 ‘선장님이 판단하셔서 여객을 탈출시켜라’라는 취지의 지시를 받고도 사후 조치가 없었다.
- 3.5.1.12 승무원 강모씨 등은 선내 대기 중인 여객 대피에 대한 지침을 선장 등에게 요청하기 위하여 선내 무전기 및 선내전화 통화를 시도하였으나 응답을 받지 못하였다.
- 3.5.1.13 같은 날 09시 00분 ~ 05분경 조타실을 나온 기관장 박모씨는 기관실에서 올라온 3등기관사 이모씨 등 6명과 선내통로를 통하여 B 갑판 선미부 선원객실 통로에서 합류한 뒤 부근에서 잠시 머물다가 09시 39분경 해양경찰청 구조정으로 옮겨 탔다.
- 3.5.1.14 같은 날 09시 48분경 조타실에 머물고 있던 선장 이모씨 등 갑판부 선원 7명은 윈브릿지(Bridge Wing)에 도착한 해양경찰청의 123 경비정을 통하여 퇴선하였다.
- 3.5.1.15 같은 날 09시 50분경 승무원 강모씨는 여객들이 선내에 머물도록 선내방송을 마지막으로 한 뒤 10시 30분경 구조되었다.
- 3.5.1.16 한편, 조타실에 있던 선장 이모씨, 1등항해사 강모씨를 비롯한 갑판부 선원과 선내 통로에서 머물고 있던 기관장 박모씨를 비롯한 기관부 선원은 여객대피방안을 논의하거나 여객에게

대피 지시를 하지 않은 것으로 나타났다²²⁾).

3.5.2 선박전복 진행상황

3.5.2.1 2014년 4월 16일 08시 50분경 세월호의 비정상적인 급변침에 의하여 선체가 좌현으로 15~20도 가량²³⁾ 급작스럽게 기울기 시작하였다.

3.5.2.2 고박이 부실하게 된 컨테이너나 일반 화물이 좌현으로 먼저 쏠리면서 횡경사 계속 되었고, 연이어 횡경사가 고박장치의 허용 한계범위²⁴⁾를 넘어서면서 고박장치가 파손된 화물이 더욱 쏠리거나 넘어지게 되었다.²⁵⁾

3.5.2.3 선체경사가 더 진행되어 수밀갑판인 D 갑판이 해수면 아래로 잠기게 되면서(횡경사각 약 24도) 선체 외판의 개구부 및 선미 램프

22) 09시 32분~36분경 2등항해사 김모씨가 선장의 지시를 받고 사무장 양모씨에게 무전기를 통하여 여객이 퇴선하도록 일방적으로 1회 통보하였다고 주장하나 사무장의 응답이 없었으며 선내방송도 이루어지지 않았다. ‘구명동의를 입고 선내 대기하라’는 지시가 선장의 퇴선준비 명령이었다는 진술도 있으며, ‘이제 탈출해야겠습니다’라는 1등항해사의 말에 선장이 ‘그래 영업부(객실 승무원)에도 연락하고, 선원들도 이제 탈출해라’고 대답하였다는 진술도 있었다(5.7 참조).

23) 08시 50분 33초경에 선체 경사는 약 30도로 추정됨, 선장이 사고 직후 선교에 올라갔을 때 (약 08시 53분경) Heeling Gauge가 좌현 끝까지 쏠려 있었다는 진술에 의하면 약 40도로 추정된다.

24) 2.6.2.4에 의한 기준은 차량고박설비는 횡경사각 20도(연해구역 운항선박)까지 견딜 수 있어야 하며, 세월호의 고박 Band의 파단하중 기준은 승용차용 2톤, 트럭용 10톤 등이다.

25) 국립과학수사연구원 및 자동차안전연구원 등의 실험 및 여객선 화물창 표면상태 등을 고려하면, 고박을 하지 않은 1톤 화물차(포터)는 약 34.6도에서 미끄러지기 시작하며, 컨테이너는 약 11.3~21.8도에서 미끄러지는 것으로 파악되었다.

등의 틈 등을 통하여 바닷물이 화물창 안으로 유입되기 시작하였다.

3.5.2.4 이후, 차량과 화물의 쏠림이나 전도는 선박의 복원력 한계를 초과하는 횡경사력을 발생시켰고, 점점 더 많은 화물이 좌현으로 이동되거나 전도되었다.

3.5.2.5 계속해서 C 갑판의 개구부 틈 등으로도 해수가 유입되었고 이렇게 화물창 안으로 유입된 바닷물은 기관실 출입구 등을 통하여 기관실과 E 갑판 화물창 등으로 흘러 들어갔다.

3.5.2.6 선내로 유입된 해수는 선체를 침하시키는 한편, 좌현쪽으로 쏠린 화물과 함께 선체경사를 가속시켰다.

3.5.2.7 같은 날 09시 34분경 세월호는 B 갑판 좌현이 수면이 닿을 정도(기울기 약 52.2도), 09시 46분경 선교갑판이 수면이 닿을 정도(약 61.2도), 10시 10분경 약 77.9도로 기울어졌다.

3.5.2.8 같은 날 10시 25분경²⁶⁾ 약 108도까지 옆으로 더 기울어진 세월호는 10시 31분경 수면 아래로 가라앉으면서 뒤집힌 채 선수 구상선수(Bulbous Bow)만 수면 위에 남기고 전복되었다.

26) 세월호에 승선한 단원고 학생의 마지막 카카오톡 메시지 발신시간이기도 하다.

3.5.3 구조 활동 현황

3.5.3.1 2014년 4월 16일 08시 55분경 세월호는 VHF 채널 12번을 통하여 제주항 VTS에 ‘해양경찰청에 연락해 달라. 배가 위험하다. 지금 배가 넘어간다’라는 취지로 사고발생 사실을 보고하면서 해경청의 구조를 요청하였다.

3.5.3.2 이에 추가하여 세월호는 ‘배가 많이 넘어갔다. 빨리 구조해 달라’고 제주항 VTS에 재차 요청하였다.

3.5.3.3 같은 날 08시 56분경 제주항 VTS는 122(해양긴급신고)로 사고 상황을 알렸으며, 09시 00분경 제주해양경찰서 상황실로부터 사고사실을 문의 받고 추가 파악된 정보를 전파하였다.

3.5.3.4 같은 날 09시 00분경 세월호는 제주항 VTS에 ‘세월호가 좌현으로 더 기울어졌으며 컨테이너도 넘어갔다. 사람의 이동이 불가능하다. 인명피해여부 확인이 불가능하다’라고 VHF로(채널 21번으로 변경) 보고하였고, 이에 제주항 VTS는 ‘인명들 구명조끼를 착용하고 퇴선할지도 모르니까 준비 좀 해달라’고 응답하였다²⁷⁾.

3.5.3.5 같은 날 09시 03분경 제주항 VTS는 해양수산부 상황실에 사고 사실을 전파하였고, 09시 05분경 제주항 VTS는 세월호로부터 해

27) 제주항 VTS는 5개 VHF 채널(6번, 10번, 12번, 14번 및 16번)을 관리·운영하고 있고 이 중 관제 업무용으로는 채널 12번(156.600 MHz)을 사용하고 있으며, 조난, 안전 및 호출용으로 사용되는 채널 16번(156.800 MHz) 등 5개 채널의 교신내용은 녹음되고 있지만 채널 21번(161.650 MHz)은 녹음되고 있지 않음. 진도 연안VTS는 업무용 채널 67번(156.375 MHz)을 사용하고 있다.

경의 구조가 어떻게 진행되고 있는지 문의를 받고 ‘해경에 통보²⁸⁾하였으며 잠시 대기하라’고 응답하였다.

3.5.3.6 같은 날 09시 06분경 제주항 VTS는 완도항 VTS에 사고사실을 전파하고, 09시 16분경부터 VHF 16번으로 세월호 사고 상황 및 구조지원을 요청하는 항행안전방송을 실시하였다.

3.5.3.7 같은 날 08시 52분경 승객 최모 학생이 휴대전화로 전남소방본부 상황실(전남 119)에 처음으로 사고 사실을 신고하였고, 전남 119는 08시 54분부터 57분까지 목포해양경찰서 상황실 및 신고자와의 3자 통화를 하였다.

3.5.3.8 같은 날 09시 02분경 목포해양경찰서 소속 123함정은 VHF 채널 16으로 세월호를 호출하였으나 세월호와의 교신은 이루어지지 않았다.

3.5.3.9 같은 날 09시 04분경 목포해양경찰서는 세월호 승무원으로부터 전화를 통하여 사고 사실을 접수받았다.

3.5.3.10 같은 날 09시 06분경 진도 연안VTS는 VHF 채널 67번으로 세월호를 호출하여 침몰 중인지 여부를 물었으며, 09시 14분경 여객의 탈출가능 여부를 물었으나 세월호로부터 ‘배가 많이 기울어 탈출이 불가능하다’는 답신을 들었다.

28) 당시 교신한 관제사는 목포해경에서 VHF 채널 16번으로 세월호를 호출하는 것을 청취(09시 02분경)하고 진도 VTS에 세월호 사고상황이 이미 전파된 것으로 이해하고 있었던 것으로 파악된다.

- 3.5.3.11 같은 날 09시 13분경 목포해양경찰서 122구조대가 출동하였다.²⁹⁾
- 3.5.3.12 같은 날 09시 17분경 세월호는 ‘좌현으로 50도 이상 기울어져 사람이 움직일 수 없는 상태’라고 진도 연안VTS에 보고하였다.
- 3.5.3.13 같은 날 09시 24분경 진도 연안VTS는 세월호에 ‘승객들이 구명동의를 착용하도록 방송하라’고 요청하였으나 세월호는 ‘방송이 불가능한 상태’라고 답변³⁰⁾하였다.
- 3.5.3.14 같은 날 09시 25분경 진도 연안VTS는 세월호에게 ‘선장께서 최종판단하여 승객탈출을 시킬지 빨리 결정하라’고 교신하였고, 세월호는 ‘지금 탈출하면 바로 구조할 수 있는지’ 문의하였다.
- 3.5.3.15 같은 날 09시 26분경 진도 연안VTS는 VHF 채널 16번을 통하여 세월호의 사고상황과 인근의 선박(조업 중인 선박 포함)에게 구조작업 지원을 요청하는 방송을 실시하였다.
- 3.5.3.16 같은 날 09시 30분경 해양경찰청 123 합정이 세월호에 도착하여 구조작업을 시작하였다.
- 3.5.3.17 같은 날 09시 33분경 진도 연안VTS는 사고현장 인근에 있던 두라에이스호에게 ‘탑재된 구명벌을 모두 투하시켜 탈출한 승객

29) 목포해경전용부두의 합정 대신 버스로 진도 팽목항으로 이동 후 어선을 이용하여 사고 현장에 12시 19분경 현장에 도착하였다.

30) 이 당시까지 선내 비상전원이 공급되고 있었으므로 선내 방송은 가능하였던 것으로 파악되었다.

이 탈 수 있게 준비하라'고 말하였다.

3.5.3.18 같은 날 09시 35분경 서해지방해양경찰청 특공대가 출동하였다³¹⁾.

3.5.3.19 같은 날 09시 37분경 세월호는 진도 연안VTS와 '침수상태를 확인 불가하고, 배가 좌현으로 약 60도 정도 기울어져 있으며, 주변에 해경정과 상선, 항공기 등이 근접해 있다'라는 마지막 교신을 하였다.

3.5.3.20 같은 날 09시 48분경 선장 등 갑판부 선원 8명 등이 윈브릿지로 해경 함정으로 퇴선하였고, 이들보다 먼저 B 갑판 객실 통로에 모여있던 기관장 등 기관부 선원 7명도 해경 구조정으로 퇴선하였다.

3.5.3.21 한편, 사고 해역 주변에서 항해하거나 조업 중이던 어선 30여 척, 화물선, 관공선, 경비함정 및 해경헬기 등이 인명구조에 적극적으로 참여하였다.

3.5.4 인명 구조 및 피해현황

3.5.4.1 총 승선자 476명 중 172명이 구조되었지만, 2014년 11월 18일 기준 295명이 희생되고 9명이 실종되었으며, 직업별 분류는 아래 [표 8] 과 같다.

31) 출동명령을 받고 목포항으로 이동하였으나 가용선박이 없어 10시 25분경 전남경찰청 헬기로 출발하여 사고현장에 11시 28분경 도착하였다.

[표 8] 세월호 승선자의 직업별 분류 등

(단위 : 명)

구분	합계	학생	교사	일반 승객	선원	기타 승무원
승선자	476	325	14	104	23	10
구 조	172	75	3	71	18	5
희 생	295	246	9	30	5	5
실 종	9	4	2	3	-	-

3.5.4.2 이들 중 학생 및 교사는 안산시 소재 단원고등학교 소속으로 수학여행을 가는 중이었으며, 일반승객 중에는 화물차량의 운전 기사 32명과 그 배우자, 초등학교 동창생 모임 등이 포함되어 있었다.

3.5.4.3 세월호 승선자, 구조자, 희생자 및 실종자별 남녀 인원수는 아래 [표 9] 와 같다.

[표 9] 세월호 승선자의 남녀 인원수

(단위 : 명)

구 분		합계	학생	교사	일반인	선원	기타 승무원
승선자	총 계	476	325	14	104	23	10
	남 자	287	175	7	78	19	8
	여 자	189	150	7	26	4	2
구조자	소 계	172	75	3	71	18	5
	남 자	117	34	1	61	17	4
	여 자	55	41	2	10	1	1
희생자	소 계	295	246	9	30	5	5
	남 자	164	139	4	15	2	4
	여 자	131	107	5	15	3	1
실종자	소 계	9	4	2	3	0	0
	남 자	6	2	2	2	0	0
	여 자	3	2	0	1	0	0

3.5.4.4 세월호에 적재되어 있던 승용·승합차 124대, 화물차 52대 및

특수차 9대와 컨테이너 105개 등 적재화물이 유실되거나 침몰된 선체 안에 잔존하고 있는 것으로 파악되고 있다³²⁾.

3.6 해양오염 피해 발생 및 방제조치

3.6.1 침몰 당시 세월호 내 잔존유 약 214kl(벙커C유 139kl, 경유 39kl, 윤활유 36kl)³³⁾ 중 약 194kl 정도는 선내에 남아있고, 약 20kl가 유출·수거된 것으로 추정되고 있다.

[표 10] 세월호 유류 적재 현황

- 세월호 유류 적재 현황(단위 : kl, 추정)

구 분	출항 전	소모량	침몰시 잔존량
벙커 C유	164	25	139
경유	41	2	39
윤활유	36	0	36
총량	241	27	214

* 8/25까지 회수된 유성혼합물(213.1kl), 고상폐기물(187.6kl) 등을 감안할 때 약 20kl가량의 기름이 유출되어 약 194kl가 남아있을 것으로 추정됨

3.6.2 사고발생 3일차부터 침몰 인근 해역에서 기름띠가 지속적으로 발견되었으나, 2014년 6월 5일 이후에는 유막이 거의 발견되지 않고 있다.

32) 중고차 가격은 2010년 기준으로 보험개발원의 자료를 참고하는 등으로 추산할 경우, 차량가액은 약 62.6억원 추정되며, 화물은 소유자의 면담 등을 기초로 하여 추산할 경우, 약 37.4억원으로 추정된다.

33) 사고 발생 초기 조사된 자료를 근거로 추정한 것으로 선박복원성 계산 자료 상의 유류량(검찰 자료)과 차이가 있다.

3.6.3 방제정 등을 동원하여 해상에 유출된 기름을 회수하거나 기름 부착재를 사용하여 수거하는 등 해상 방제를 시행하였다.

3.6.4 동·서거차도 해안에 부분적으로 부착된 기름에 대하여 방제를 실시하였으며, 유출유 유입이 예상되는 동·서거차도 양식장 주위에 오일펜스를 설치하였다.

3.6.5 2014년 9월 15일 기준 유성혼합물 213.1kl와 고상 폐기물 187.6 kl 등을 회수하였다.

3.6.6 선박 내 잔존유의 유출에 대비하여 지속적인 예찰활동을 진행 중에 있으며, 정확한 피해 해역 및 규모 등에 대하여는 추후 피해조사 용역결과를 참조하여야 한다.

4. 사고 분석

4.1 사고지점 및 시각

4.1.1 이 사고는 해수면 아래 선체외판의 균열이나 파공 등에 따른 부력상실(침몰; Sinking)에 의한 것보다는 선체의 과도한 횡경사(전복; Capsizing)로 인하여 발생하였으므로 전복사고로 분류³⁴⁾하는 것이 전문가들의 일반적인 견해이다.

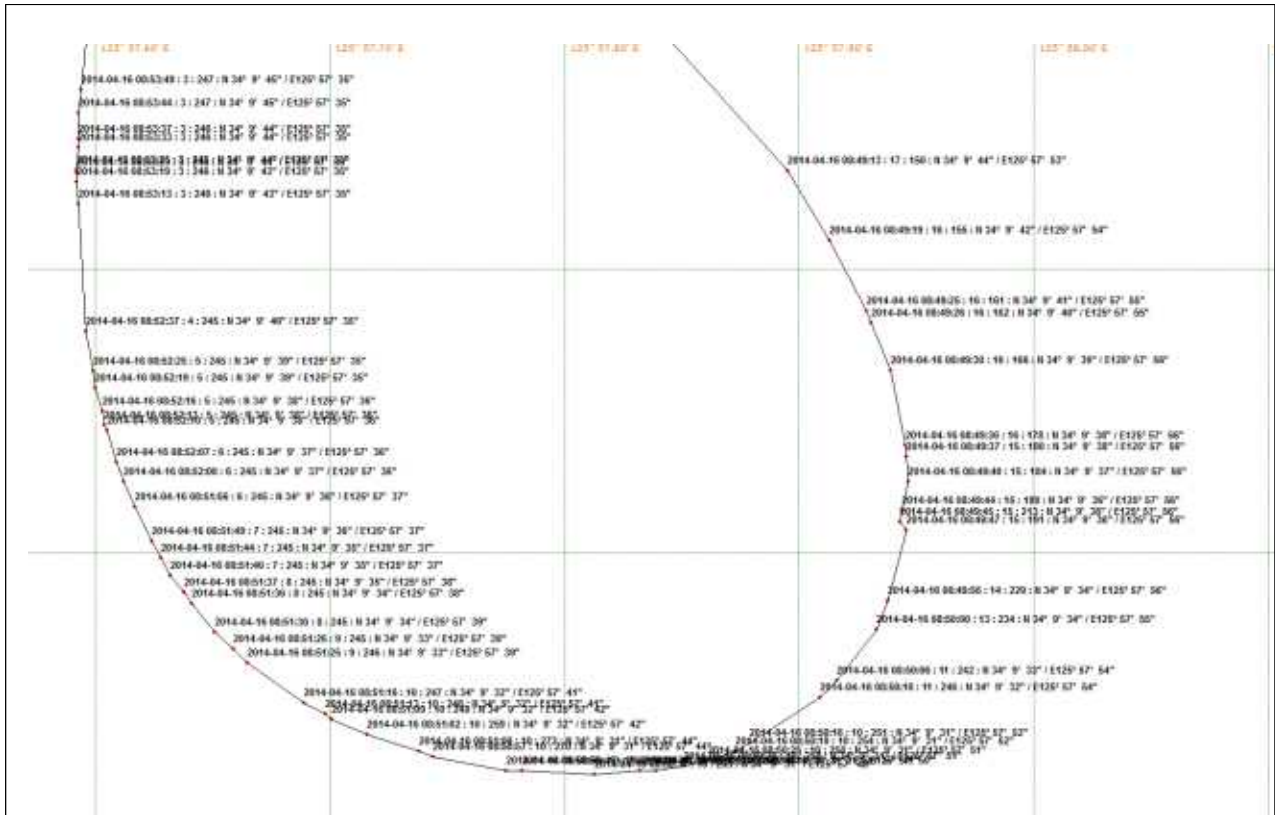
4.1.2 사고시간을 어느 시점으로 할 것인지에 대하여 다양한 의견이 있을 수 있으나, 선박이 전복되도록 과도한 횡경사와 화물 이동을 일으킨 급선회와 외방경사가 있었던 시각을 사고시점으로 보는 것이 합리적이다.

4.1.3 세월호 선박자동식별장치(AIS ; Automatic Identification Systems)의 원문 데이터(Raw data)와 진도 연안VTS센터에 저장된 AIS 자료를 혼합하여 4월 26일 해양수산부에서 최종적으로 발표한 세월호의 항적은 [그림 4] 와 같다.

4.1.4 위 4.1.3의 항적에서 세월호 선수방위의 급변침이 일어나면서 과도한 횡경사로 화물이 이동되는 시점은 2014년 4월 16일 08시 50분경 병풍도 북동쪽 1.3마일(북위 34도 09분 34초, 동경 125도 57분 56초) 지점이다.

34) 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률 사무처리요령」 제13조(사고의 종류) 제1항제1호에 의하면, 전복은 선박이 뒤집혀지는 것(충돌, 좌초, 화재, 폭발 등에 의한 것은 제외)으로, 침몰은 황천조우, 외판 등의 균열이나 파공, 절단 등에 의한 침수의 결과로 가라앉는 것(충돌, 좌초, 전복, 화재 등에 의한 것은 제외)으로 정의하고 있다.

[그림 4] 세월호 항적자료



* 그림은 언론에 공개된 항적자료이나 편집상 다르게 보일 수 있음

4.1.5 세월호가 침몰한 지점은 병풍도 북북동쪽 3.1마일(세월호 선미부 기준 북위 34도 12분 44초, 동경 125도 57분 27초) 지점으로 주변 수심은 약 30미터 이상이다.

4.2 선박 복원성 검토

4.2.1 선박 복원성 기준

4.2.1.1 복원성이라 함은 수면에 평형상태로 떠 있는 선박이 파도·바람 등 외력에 의하여 기울어졌을 때 원래의 평형상태로 되돌아오려는 성질을 말하는 것으로, 평형상태에 있던 선박이 외적요인에 의해

교란되었다가 외적요인이 사라졌을 때 초기 평형상태로 되돌아오는 성질을 의미한다³⁵⁾).

4.2.1.2 이러한 복원성은 같은 외력에서도 선박의 형상, 사람이나 화물, 선박평형수 등을 적재하는 조건에 따라 변화한다.

4.2.1.3 「선박안전법」 제28조에 따라 여객선과 길이 12미터 이상의 선박 소유자는 선박검사기관으로부터 선박 복원성 적합여부에 대한 복원성자료를 승인을 받아야 하고, 그 승인된 복원성 자료를 선장에게 제공하여야 한다.

4.2.1.3 선박복원성 계산 및 승인 등에 대한 세부사항은 「선박안전법」 제28조에 의한 위임에 따라 해양수산부 고시인 「선박복원성기준」에 규정하고 있다.

4.2.1.4 복원성기준은 선종에 따라 여객선, 어선, 그 외 선박별로 다르게 적용하고 있는데, 여객선에 대한 기준이 가장 엄격하다고 할 수 있다.

4.2.1.5 여객선은 다음의 7가지 복원성 요건을 충족하여야 한다³⁶⁾.

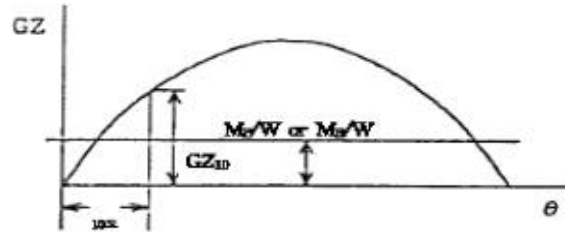
가. G_0M (액체의 이동영향을 고려한 선박의 무게중심부터 횡메타센터(Metacenter)³⁷⁾까지의 높이) 값이 0.15미터 이상일 것

35) 「선박안전법」 제2조제8호, 대한조선학회, 「선박계산」(텍스트북스), 48면 등

36) 가목은 일반적으로 GM 요건, 나와 다목은 횡경사각 10도에서의 복원정 요건, 라와 마목은 동적복원력 요건으로써 예비 복원력이 바람 및 파도에 의한 경사력보다 커야 된다.

37) 선체가 경사하기 전의 부심(수면 아래 선체 체적의 중심, Center of Buoyancy)을 지나는

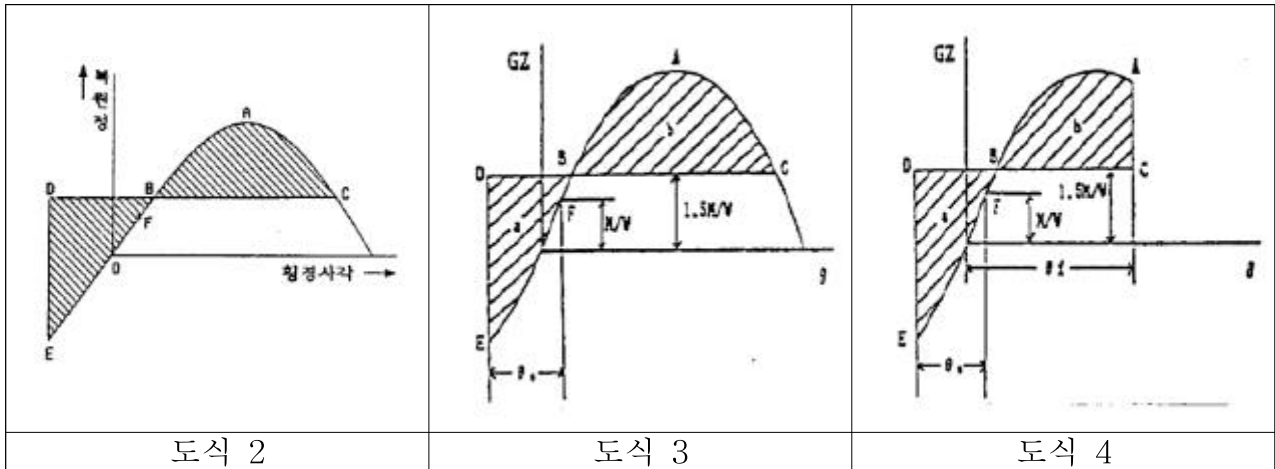
나. 횡경사각 10도에서의 복원정(GZ_{10})이 여객의 횡이동에 따른 경사우력정(M_p/W) 이상일 것



다. 횡경사각 10도에서의 복원정(GZ_{10})이 선회에 의한 경사우력정(M_r/W) 이상일 것

라. 도식 2의 복원정 곡선에서 면적 ABC가 면적 BDE보다 클 것.
이 경우 도식 3과 같이 면적 ABC(b)는 복원정(GZ)이 경사우력정(M/W)의 1.5배와 같은 복원정 곡선상의 점 B 및 C를 통과하는 직선과 복원정 곡선에 포위된 부분의 면적이고, 면적 BDE(a)는 복원정(GZ)이 경사우력정(M/W)과 같은 복원정 곡선상의 점 F에서 왼쪽으로 횡요각(θ_0)과 같은 거리에 있는 종축에 평행한 직선과 점 B와 C를 통과하는 직선 및 복원정 곡선에 포위된 부분의 면적이다. 다만, 점 C의 횡경사각이 50도를 넘는 경우에는 50도까지로 하며, 해수유입각(θ_f)을 초과하는 경우에는 해수유입각까지로 한다.

부력의 작용선(선체 중앙선)과 선체가 횡경사되었을 때의 새로운 기하학적 중심을 지나는 부력 작용선이 만나는 점을 의미한다(대한조선학회, 앞의 책, 78면, 이승건, 「선박의 기초계산 및 복원성」 (GS인터비전), 192면 등)



- 마. 상기 라목에 의한 점 F의 횡경사각(θ)은 한계경사각(α)을 초과하지 않을 것
- 바. 횡축과 복원정(GZ) 곡선에 둘러싸인 부분의 면적이 횡경사각에 따라 아래 표에 의한 값 이상일 것
- 사. 복원정의 최대값(GZ_m)은 25도 이상의 횡경사각에서 발생되고, 30도 이상의 횡경사각에서 복원정은 0.2미터 이상일 것

횡 경 사 각	면적(미터 · 라디안)
0도에서 30도까지	0.055
30도에서 40도 또는 해수유입각(θ_f) 중 작은 각도까지	0.030
0도에서 40도 또는 해수유입각(θ_f) 중 작은 각도까지	0.090

4.2.1.6 일반적으로 화물이나 여객 등이 없는 빈 배 상태에서 선박의 무게중심(G) 위치를 구하기 위한 경사시험을 먼저 실시하고, 이를 바탕으로 여러 가지 화물적재 상황에 따라 출항과 입항 때 선박의 복원성 기준 만족여부를 계산하여 승인하게 된다.

4.2.1.7 즉, 선박복원성자료는 확정적인 선박의 상태가 아니라 표준 재화

상태를 가정하여 작성된 것을 선박검사단체가 승인하는 것으로써, 선장은 각 항차의 적재상태가 복원성자료의 조건과 현저하게 다르거나 복원성기준의 충족여부에 의심이 있을 경우에는 직접 복원성 계산을 하여 확인하는 것이 필요하다.

4.2.2 인천항 출항시 복원성 검토

4.2.2.1 검경합동수사본부에서 수사한 화물적재량과 연료유, 선박평형수 등을 기준으로 인천항 출항 당시 복원성을 계산하면 [표 1] 과 같다.

4.2.2.2 다만, [표 11] 에는 세월호의 경하중량(Lightweight)을 초기 경사 시험 때 계산 오류(63톤 과소 산정)와 제1회 정기검사 완료 후 A 갑판 전시설에 추가된 구조물(37톤, 2.4.8 참조)을 반영³⁸⁾한 약 6,213톤으로 계산하였다.

4.2.2.3 계산³⁹⁾에 의한 인천항 출항 당시 선박 중앙부의 흘수는 6.104미터이며, 화물은 약 2,142.7톤, 여객 및 선원 등 약 42.8톤, 선박 평형수 약 761.2톤, 연료유 약 150.6톤, 청수 약 259.0톤, 식료품 약 0.7톤, 불명중량(Deadweight constant) 약 166.2톤 등 총 배수량(Displacement)은 약 9,736.2톤에 이른다.

38) 감사원 지적사항(‘14.7.8 감사원 발표 별첨자료 3면 참조)이며, 이러한 수치를 반영할 경우 검경합동수사본부 자료와 약 100톤의 차이가 있다.

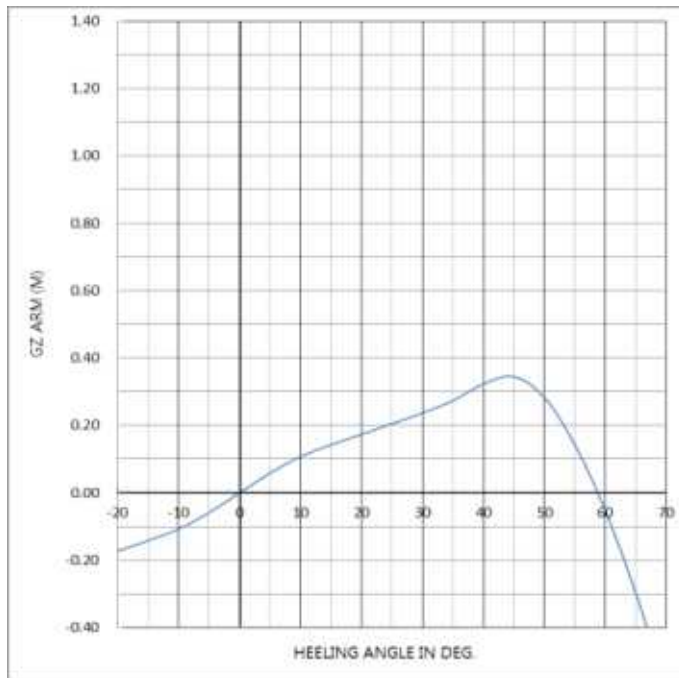
39) 「선박복원성기준」 제8조제4항에 따라 선원(소지품 포함)은 1인당 100kg, 여객(소지품 포함)은 1인당 90kg으로 계상하였고, 선회에 의한 경사우력정 계산을 위한 선박최대 속력은 23.5노트를 반영하였다.

[표 11] 인천항 출항 당시 복원성 계산자료(선박평형수 자연소실분 미반영)

	비중	중량(톤)	LCG	LCG-MT (T-M)	VCG	VCG-MT (T-M)	F.S.M (M-MT)
여객(선교갑판)		3.500	6.860	24.010	25.021	87.573	
여객(A 갑판)		33.700	-3.340	-112.558	22.389	754.509	
여객(B 갑판)		5.600	15.200	85.120	19.723	110.449	
승용차(TWEEN 갑판)		35.500	-48.970	-1738.435	18.449	654.940	
승용차(C 갑판)		911.100	25.400	23141.940	15.991	14569.400	
승용차(D 갑판)		762.000	-4.087	-3114.294	9.065	6907.530	
25톤 트럭(D 갑판)		434.100	4.110	1784.151	3.864	1677.362	
여객 화물 소계		2185.500	9.183	20069.934	11.330	24761.764	0.000
F.P.T.(C)	1.025	0.000	62.707	0.000	7.316	0.000	
NO.1 B.W.T.(C)	1.025	82.000	56.365	4621.930	5.058	414.756	46.315
NO.2 B.W.T.(C)	1.025	206.300	40.337	8321.523	2.429	501.103	0.0
NO.3 B.W.T.(P/S)	1.025	0.000	24.110	0.000	0.060	0.000	
NO.4 B.W.T.(C)	1.025	147.500	15.258	2250.555	0.825	121.688	0.0
NO.5 B.W.T.(P)	1.025	110.900	2.892	320.723	0.802	88.942	0.0
NO.5 B.W.T.(S)	1.025	111.900	2.892	323.615	0.809	90.527	0.0
NO.6 B.W.T.(C)	1.025	0.000	-53.370	0.000	0.070	0.000	
A.P.T.(C)	1.025	0.000	-61.000	0.000	3.890	0.000	
HELL. T.(P/S)	1.025	102.600	15.176	1557.058	2.595	266.247	67.823
선박평형수 소계		761.200	22.853	17395.404	1.949	1483.263	114.138
NO.1 F.O.T.(P) - C OIL	0.950	59.400	5.986	355.568	1.562	92.783	35.372
NO.1 F.O.T.(S) - C OIL	0.950	59.400	5.986	355.568	1.562	92.783	35.372
NO.2 F.O.T.(P) - A OIL	0.870	15.900	-20.715	-329.368	0.497	7.902	74.361
NO.2 F.O.T.(S) - A OIL	0.870	15.900	-20.715	-329.368	0.497	7.902	74.361
연료유 소계		150.600	0.348	52.399	1.337	201.370	219.466
NO.1 F.W.T.(P)	1.000	56.000	-11.117	-622.552	0.469	26.264	282.589
NO.1 F.W.T.(S)	1.000	56.000	-11.117	-622.552	0.469	26.264	282.589
NO.2 F.W.T.(C)	1.000	147.000	-47.492	-6981.324	4.554	669.438	12.597
청수 소계		259.000	-31.762	-8226.428	2.788	721.966	577.775
PROVISION	1.000	0.700	-22.650	-15.855	20.154	14.108	
불명중량	1.000	166.200	-30.490	-5067.438	5.335	886.677	181.000
DEADWEIGHT		3523.200	6.871	24207.907	7.967	28069.334	1092.4
LIGHTWEIGHT		6213.000	-13.359	-82999.467	11.905	73965.765	
DISPLACEMENT		9736.200	-6.038	-58791.560	10.480	102035.099	1092.4
선수흘수	5.603	M	* KMT			11.288	M
중앙흘수	6.104	M	* KG (SOLID)			10.48	M
선미흘수	6.604	M	* GM (SOLID)			0.82	M
트림(- : 선미)	-1.001	M	* FREE SURF. CORR.(GGo)			0.12	M
			* GoM (FLUID)			0.70	M
배수량	9736.200	T	* KGo ACTUAL (FLUID)			10.60	M
DRAUGHT	6.193	M	* TRIM(DIS*A)/(MTC*100)			-1.001	M
LCB	-6.031	M	* FREE SURF. MOM.			1092.4	T-M
LCG	-6.038	M	* MTC			173.9	T-M
TRIM LEVER : A	-0.007	M	* LCF FROM M.S			-11.74	M

HYDROSTATIC PROPERTIES

Draft	Disp.(MT)	LCB	VCB	TPC	LCF	MTC	KMT
6.193	9763.200	-6.031	3.543	23.0	-11.74	173.9	11.288



$$* GZ=KN-KGo \cdot \sin \theta$$

q	KN	KGo $\cdot$ SINq	GZ
0	0.000	0.000	0.000
5	0.982	0.923	0.059
10	1.948	1.841	0.107
15	2.886	2.744	0.142
20	3.797	3.624	0.173
25	4.679	4.474	0.205
30	5.527	5.290	0.237
35	6.337	6.064	0.273
40	7.116	6.793	0.323
45	7.815	7.471	0.344
50	8.375	8.093	0.282
60	9.097	9.151	-0.054
70	9.345	9.932	-0.587
80	9.163	10.410	-1.247

* STABILITY CRITERIA by 여객선 복원성 기준

선박복원성기준		ACTUAL		REQ.		
	한계 경사각 (a)	10.89	DEG.			
9조2항2호	경사우력정(M/W)에서의 횡경사각(θ)	19.74	DEG. <	10.89	DEG.	불합격
	경사우력정(M/W)	0.172	M			
	1.5*경사우력정(M/W)	0.258	M			
	선회 경사우력정(MR/W)	0.156	M			
9조1항1호	여객의횡이동 경사우력정(MP/W)	-	M			
	선회 경사우력정 횡경사각	16.89	DEG. <	10.000	DEG.	불합격
	여객의횡이동 경사우력정 횡경사각	-	DEG. <	10.000	DEG.	합격
	10도에서의복원정(GZ_{10})	0.107	M >	0.156	M	불합격
9조3항2호	MAX. GZ VALUE	0.34	M			
9조1항2호	GoM	0.70	M >	0.150	M	합격
9조3항1호	AREA 0 - 30	0.070	M-RAD.>	0.055	M-RAD.	합격
	AREA 0 - 40(θ_f)	0.119	M-RAD.>	0.090	M-RAD.	합격
	AREA 30 - 40(θ_f)	0.048	M-RAD.>	0.030	M-RAD.	합격
	횡요각(θ_0)	14.85	DEG.			
	해수유입각(θ_f)	-	DEG.			
	θ_c	-	DEG.			
	θ_2	-	DEG.			
9조2항1호	AREA "a"	0.046	M-RAD			
	AREA "b"	0.019	M-RAD			
	AREA RATIO C = b/a	0.413	>	1.000		불합격

4.2.2.4 [표 11] 계산에 의하면, 출항 당시 G_0M 은 0.70미터로써 기준(0.15미터)을 만족하고, 횡경사각 0도와 30도 사이의 복원정 면적과 횡경사각 30도와 40도 사이의 복원정 면적, 횡경사각 40도 미만의 복원정 면적이 각각 0.070미터-라디안과 0.048미터-라디안, 0.119미터-라디안으로써 기준(0.055미터-라디안 및 0.030미터-라디안, 0.090미터-라디안)을 만족하고 있다.

4.2.2.5 반면, 바람(26m/s)에 의한 경사우력정(M/W)에서의 횡경사각이 19.74도로써 한계경사각(10.89도) 보다 크고, 횡경사 10도에서의 복원정(GZ_{10} , 0.107미터)이 선회 경사우력정(0.156미터)보다 적어 기준을 만족하지 못하며, 선회 경사우력정 횡경사각이 16.89도로써 기준(10도)보다 크고, 바람 및 파도에 의한 전복력 대비 복원력의 비가 0.413으로 기준(1.000)을 만족하지 못한다.

4.2.2.6 한편, 3.1.4의 화물적재량과 선박평형수의 자연적·인위적인 소실량(만재된 선박평형수탱크 용적의 3%)을 감안한 3.1.5의 연료유, 선박평형수 등을 기준으로 인천항 출항 당시 복원성을 계산하면 [표 12] 와 같다.

4.2.2.7 [표 12] 계산에 의하면, 출항 당시 G_0M 은 0.46미터로써 기준(0.15미터)을 만족하고, 횡경사각 0도와 30도 사이의 복원정 면적과 횡경사각 30도와 40도 사이의 복원정 면적, 횡경사각 40도 미만의 복원정 면적이 각각 0.066미터-라디안과 0.046미터-라디안, 0.112미터-라디안으로써 기준(0.055미터-라디안 및 0.030미터-라디안, 0.090미터-라디안)을 만족하고 있다.

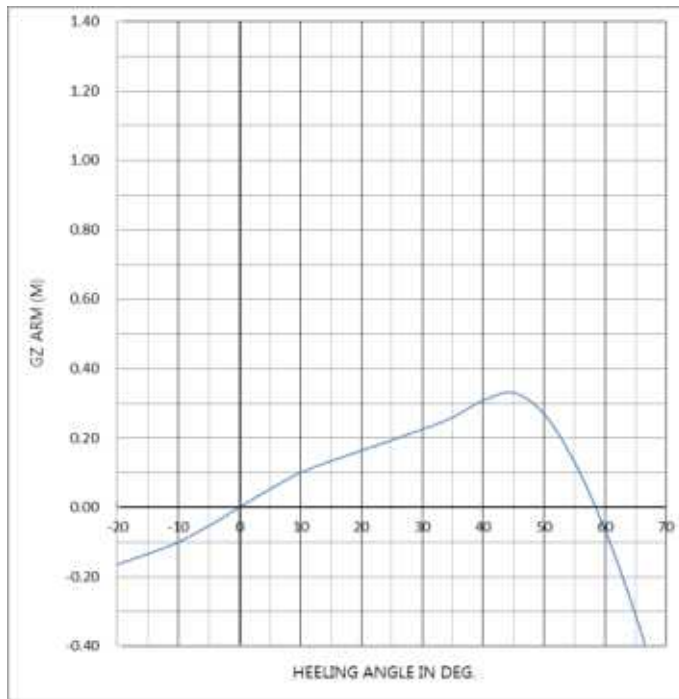
4.2.2.8 반면, [표 12] 계산에 따르면, 바람(26m/s)에 의한 경사우력정(M/W)에서의 횡경사각이 21.75도로써 한계경사각(10.93도)보다 크고, 횡경사 10도에서의 복원정(GZ_{10} , 0.100미터)이 선회 경사우력정(0.156미터)보다 적어 기준을 만족하지 못하며, 선회 경사우력정 횡경사각이 18.63도로써 기준(10도)보다 크고, 바람 및 파도에 의한 전복력 대비 복원력의 비가 0.318로 기준(1.000)을 만족하지 못한다.

[표 12] 인천항 출항 당시 복원성 계산자료(선박평형수 자연소실분 반영)

	비중	중량(톤)	LCG	LCG-MT (T-M)	VCG	VCG-MT (T-M)	F.S.M (M-MT)
여객(선교갑판)		3.500	6.860	24.010	25.021	87.574	
여객(A 갑판)		33.700	-3.340	-112.558	22.389	754.509	
여객(B 갑판)		5.600	15.200	85.120	19.723	110.449	
승용차(TWEEN 갑판)		35.500	-48.970	-1738.435	18.449	654.940	
승용차(C 갑판)		911.100	25.400	23141.940	15.991	14569.400	
승용차(D 갑판)		762.000	-4.087	-3114.294	9.065	6907.530	
25톤 트럭(D 갑판)		434.100	4.110	1784.151	3.864	1677.362	
여객 화물 소계		2185.500	9.183	20069.934	11.330	24761.764	0.000
F.P.T.(C)	1.025	0.000	62.707	0.000	7.316	0.000	
NO.1 B.W.T.(C)	1.025	82.000	56.365	4621.930	5.058	414.756	46.315
NO.2 B.W.T.(C)	1.025	200.121	40.340	8072.881	2.380	476.288	398.921
NO.3 B.W.T.(P/S)	1.025	0.000	24.110	0.000	0.060	0.000	
NO.4 B.W.T.(C)	1.025	143.081	15.256	2182.844	0.805	115.180	1332.497
NO.5 B.W.T.(P)	1.025	107.538	2.892	311.000	0.782	84.095	289.654
NO.5 B.W.T.(S)	1.025	108.632	2.892	314.164	0.789	85.711	289.654
NO.6 B.W.T.(C)	1.025	0.000	-53.370	0.000	0.070	0.000	
A.P.T.(C)	1.025	0.000	-61.000	0.000	3.890	0.000	
HELL. T.(P/S)	1.025	102.600	15.176	1557.058	2.595	266.247	67.823
선박평형수 소계		743.972	22.931	17059.877	1.939	1442.277	2424.864
NO.1 F.O.T.(P) - C OIL	0.950	59.400	5.986	355.568	1.562	92.783	35.372
NO.1 F.O.T.(S) - C OIL	0.950	59.400	5.986	355.568	1.562	92.783	35.372
NO.2 F.O.T.(P) - A OIL	0.870	15.900	-20.715	-329.369	0.497	7.902	74.361
NO.2 F.O.T.(S) - A OIL	0.870	15.900	-20.715	-329.369	0.497	7.902	74.361
연료유 소계		150.600	0.348	52.398	1.337	201.370	219.466
NO.1 F.W.T.(P)	1.000	56.000	-11.117	-622.552	0.469	26.264	282.589
NO.1 F.W.T.(S)	1.000	56.000	-11.117	-622.552	0.469	26.264	282.589
NO.2 F.W.T.(C)	1.000	147.000	-47.492	-6981.324	4.554	669.438	12.597
청수 소계		259.000	-31.762	-8226.428	2.788	721.966	577.775
PROVISION	1.000	0.700	-22.650	-15.855	20.154	14.108	
불명중량	1.000	166.200	-30.490	-5067.438	5.335	886.677	181.000
DEADWEIGHT		3505.971	6.809	23872.157	7.994	28026.732	3403.100
LIGHTWEIGHT		6213.000	-13.359	-82999.467	11.905	73965.765	
DISPLACEMENT		9718.971	-6.084	-59127.310	10.494	101992.497	3403.100
선수흘수	5.577	M	* KMT			11.296	M
중앙흘수	6.094	M	* KG (SOLID)			10.49	M
선미흘수	6.610	M	* GM (SOLID)			0.81	M
트림(- : 선미)	-1.033	M	* FREE SURF. CORR.(GGo)			0.35	M
			* GoM (FLUID)			0.46	M
배수량	9718.971	T	* KGo ACTUAL (FLUID)			10.84	M
DRAUGHT	6.186	M	* TRIM(DIS*A)/(MTC*100)			-1.033	M
LCB	-6.078	M	* FREE SURF. MOM.			3403.1	T-M
LCG	-6.084	M	* MTC			174.1	T-M
TRIM LEVER : A	-0.006	M	* LCF FROM M.S			-11.77	M

HYDROSTATIC PROPERTIES

Draft	Disp.(MT)	LCB	VCB	TPC	LCF	MTC	KMT
6.186	9718.971	-6.078	3.540	23.0	-11.77	174.1	11.296



$$*GZ=KN-KGo*SINq$$

q	KN	KGo*SINq	GZ
0	0.000	0.000	0.000
5	0.983	0.930	0.053
10	1.949	1.849	0.100
15	2.887	2.754	0.134
20	3.799	3.635	0.164
25	4.681	4.487	0.194
30	5.528	5.303	0.225
35	6.338	6.078	0.260
40	7.116	6.808	0.308
45	7.816	7.486	0.330
50	8.377	8.109	0.268
60	9.100	9.167	-0.067
70	9.348	9.949	-0.601
80	9.165	10.426	-1.261

* STABILITY CRITERIA by 여객선 복원성 기준

선박복원성기준		ACTUAL		REQ.		
	한계 경사각 (a)	10.93	DEG.			
9조2항2호	경사우력정(M/W)에서의 횡경사각(θ)	21.75	DEG. <	10.93	DEG.	불합격
	경사우력정(M/W)	0.172	M			
	1.5*경사우력정(M/W)	0.259	M			
	선회 경사우력정(MR/W)	0.156	M			
9조1항1호	여객의횡이동 경사우력정(MP/W)	-	M			
	선회 경사우력정 횡경사각	18.63	DEG. <	10.000	DEG.	불합격
	여객의횡이동 경사우력정 횡경사각	-	DEG. <	10.000	DEG.	합격
	10도에서의복원정(GZ ₁₀)	0.100	M >	0.156	M	불합격
9조3항2호	MAX. GZ VALUE	0.33	M			
9조1항2호	GoM	0.46	M >	0.150	M	합격
9조3항1호	AREA 0 - 30	0.066	M-RAD.>	0.055	M-RAD.	합격
	AREA 0 - 40(θ _f)	0.112	M-RAD.>	0.090	M-RAD.	합격
	AREA 30 - 40(θ _f)	0.046	M-RAD.>	0.030	M-RAD.	합격
	횡요각(θ ₀)	14.87	DEG.			
	해수유입각(θ _f)	-	DEG.			
	θ _c	-	DEG.			
	θ ₂	-	DEG.			
9조2항1호	AREA "a"	0.044	M-RAD			
	AREA "b"	0.014	M-RAD			
	AREA RATIO C = b/a	0.318	>	1.000		불합격

4.2.3 사고 당시 복원성 검토

4.2.3.1 [표 11] 에서 운항에 따라 소모되는 연료유, 청수 등은 차감하고, 화물과 여객, 선박평형수 등은 출항 당시와 변동이 없는 것으로 추정하면, 사고 당시의 세월호 복원성은 [표 13] 과 같다.

[표 13] 사고 당시 복원성 계산자료(선박평형수 자연소실분 미반영)

항해 상태			
Draught at F.P	5.552m	KMT	11.292m
Draught at Midship	6.063m	KG(Solid)	10.57m
Draught at A.P	6.574m	GM(Solid)	0.73m
Trim by stern	-1.022m	Free Surf. corr.	0.11m
		G ₀ M(Fluid)	0.62m
Displacement	9646.980톤	KG ₀ ACTUAL(Fluid)	10.68m
Draught at LCF	6.153m	Trim(Dis*A)/(MTC*100)	-1.022m
LCB from M.S	-6.017m	Free Surf. Moment	1077.2T-M
LCG from M.S	-6.023m	MTC	172.5T-M
Trim Lever(: A)	-0.006m	LCF from M.S	-11.62m

* 조건 : 선박평형수 761.2톤, 연료유 128.38톤, 청수 192톤, 부식 등 0.7톤, 불명중량 166.2톤

4.2.3.2 세월호 주기관의 소모량(시간당 2,376.1 kg⁴⁰)과 운항시간(11시간 45분)을 고려하면 인천항 출항부터 사고 때까지 약 27.9톤의 연료를 소모한 것으로 계상⁴¹할 수 있으나, 검경합동수사본부의 수사 결과에서는 22.2톤이 소모된 것으로 추정된 바 있다.

40) 시간당 출력당 연료소모량(179.52 gr/kW.hr) x 주기관 출력(6,618Kw) x 주기관 수(2)

41) 주기관의 연료소모량은 최대정격출력 상태에서 측정한 자료이나 항해 중인 선박은 통상 최대정격출력의 70~80% 정도로 운항하므로 실제 소모량은 계산보다 적겠지만 이 격차와 세월호 발전기(1,029kW 발전기 3대)에 의한 연료 소모량을 차감하면 실질적인 연료유 소모량 차이는 미미할 것으로 예상된다.

- 4.2.3.3 청수는 인천에서 제주로 향하는 항차에 여객 100명당 약 10톤 가량 소모된다는 경험칙에 의하면, 세월호는 약 47.1톤이 소모된 것으로 추정할 수도 있으나, 실제 수사 결과에서는 67톤 소모된 것으로 나타났다.
- 4.2.3.4 사고 당시를 인천항 출항 당시와 비교하면, 배수량이 89.2톤 감소하여 상당흘수(LCF에서의 흘수)는 6.153미터(0.04미터 감소)이다.
- 4.2.3.5 [표 13] 계산에 의하면, G_0M 은 0.62미터로써 기준(0.15미터)을 만족하고, 횡경사각 0도와 30도 사이의 복원정 면적과 횡경사각 30도와 40도 사이의 복원정 면적, 횡경사각 40도 미만의 복원정 면적이 각각 0.061미터-라디안과 0.040미터-라디안, 0.102미터-라디안으로써 기준(0.055미터-라디안 및 0.030미터-라디안, 0.090미터-라디안)을 만족하고 있다.
- 4.2.3.6 반면, [표 13] 계산에 따르면, 바람(26m/s)에 의한 경사우력정(M/W)에서의 횡경사각이 25.63도로써 한계경사각(11.05도) 보다 크고, 횡경사 10도에서의 복원정(GZ_{10} , 0.095미터)이 선회 경사우력정(0.158미터)보다 적어 기준을 만족하지 못하며, 선회 경사우력정 횡경사각이 21.90도로써 기준(10도)보다 크고, 바람 및 파도에 의한 전복력 대비 복원력의 비가 0.098로 기준(1.000)을 만족하지 못한다.
- 4.2.3.7 [표 13] 에 4.2.2.6의 선박평형수 소실량(각 탱크 용적의 3%)을 감안하여 사고 당시 복원성을 추정하면 [표 14] 와 같다.

[표 14] 사고 당시 복원성 계산자료(선박평형수 자연소실분 반영)

항해 상태			
Draught at F.P	5.526m	KMT	11.301m
Draught at Midship	6.053m	KG(Solid)	10.58m
Draught at A.P	6.580m	GM(Solid)	0.73m
Trim by stern	-1.054m	Free Surf. corr.	0.35m
		G ₀ M(Fluid)	0.38m
Displacement	9629.752톤	KG ₀ ACTUAL(Fluid)	10.93m
Draught at LCF	6.146m	Trim(Dis*A)/(MTC*100)	-1.054m
LCB from M.S	-6.064m	Free Surf. Moment	3387.9T-M
LCG from M.S	-6.069m	MTC	172.7T-M
Trim Lever(: A)	-0.005m	LCF from M.S	-11.66m

* 조건 : 선박평형수 743.971톤, 연료유 128.38톤, 청수 192톤, 부식 등 0.7톤, 불명중량 166.2톤

4.2.3.8 [표 14] 계산에 의하면, G₀M은 0.38미터로써 기준(0.15미터)을 만족하고, 횡경사각 0도와 30도 사이의 복원정 면적과 횡경사각 30도와 40도 사이의 복원정 면적, 횡경사각 40도 미만의 복원정 면적이 각각 0.057미터-라디안과 0.038미터-라디안, 0.095미터-라디안으로써 기준(0.055미터-라디안 및 0.030미터-라디안, 0.090미터-라디안)을 만족하고 있다.

4.2.3.9 반면, [표 14] 계산에 따르면, 바람(26m/s)에 의한 경사우력정(M/W)에서의 횡경사각이 27.80도로써 한계경사각(11.09도) 보다 크고, 횡경사 10도에서의 복원정(GZ₁₀, 0.087미터)이 선회 경사우력정(0.158미터)보다 적어 기준을 만족하지 못하며, 선회 경사우력정 횡경사각이 24.50도로써 기준(10도)보다 크고, 바람 및 파도에 의한 전복력 대비 복원력의 비가 0.050으로 기준(1.000)을 만족하지 못한다.

4.2.3.10 세월호의 인천항 출항 당시와 사고 당시 복원성 기준을 살펴 보면, 총 9가지의 복원성 판정 세부기준 중 합격 5가지, 불합격 4가지인 것으로 나타났으며 그 세부항목은 동일하다.

4.2.4 시뮬레이션 결과 분석

4.2.4.1 검경합동수사본부에서 시행한 시뮬레이션은 입증이 가능한 화물량 등만을 기준으로 사고 당시 선박 중앙부 흘수 약 6.117미터에 대한 선박복원력을 계산하였다.

4.2.4.2 그러나, 출항시 화물이 많이 실렸다는 1등항해사의 진술과 출항시 흘수가 만재흘수선(6.26미터)에 육박하였다는 당직 운항관리자의 진술 등을 종합하면, 세월호는 출항 당시 흘수가 약 6.20미터 이상일 가능성이 있으므로 검경합동수사본부의 시뮬레이션과 다른 복원성 조건에서 타각 변화에 따른 선체 횡경사 변화를 확인할 필요성에 따라 별도의 시뮬레이션을 수행하게 되었다.

4.2.4.3 검경합동수사본부에서 시행한 시뮬레이션에 3가지 적하상태를 추가한 후 각각의 적하상태에 대한 4가지의 타각 시나리오를 적용한 선박조종 시뮬레이션을 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소에 의뢰하여 수행하였다.

4.2.4.4 시뮬레이션에 반영한 적재 조건별 무게중심 및 GM은 [표 15] 와 같다.

[표 15] 사고 당시 적하조건별 무게중심 및 GM

항목	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Displacement(ton)	9,526.4	9,875.4	9,939.8	9,647.0
KG(m)	10.629	10.801	10.750	10.579
GM(m)	0.607	0.394	0.522	0.701
GoM(m)	0.251	0.062	0.193	0.589
Draught at Midship(m)	6.031	6.200	6.200	6.077
Trim(m, - : by stern)	-0.782	-0.591	-0.906	-0.914

4.2.4.5 [표 15]의 CASE 1은 CASE 4의 조건에서 선박평형수가 적재된 탱크의 용량을 97%(약 17톤 자연소실분 등 선박유동수)를 반영하되, 화물량과 연료유 양 등은 같고, 청수량은 최초 검경 합동수사본부의 자료를 토대로 하였다.

4.2.4.6 CASE 2는 당직 운항관리자의 진술에 따라 인천항 출항 당시 흘수를 6.20 미터로 가정하고, 선박평형수는 전임 선장 신모씨의 초기 진술(약 559.4톤)을 바탕으로 하되, 청수는 최초 검경합동수사본부의 자료를 토대로 하였고, CASE 4와 비교해 감소된 선박평형수와 청수 양만큼 화물량을 증가(약 530톤) 시킨 것으로 4개의 경우 중 복원성이 가장 나쁜 조건이다.

4.2.4.7 CASE 3은 당직 운항관리자의 진술에 따라 인천항 출항 당시 흘수를 6.20미터로 가정하고, 선박평형수는 전임 선장 신모씨의 초기 진술을 바탕으로 하되, 청수는 최종 수정된 검경합동수사본부 자료를 근거로 하면서 그 감소분은 화물량에 추가하였다.

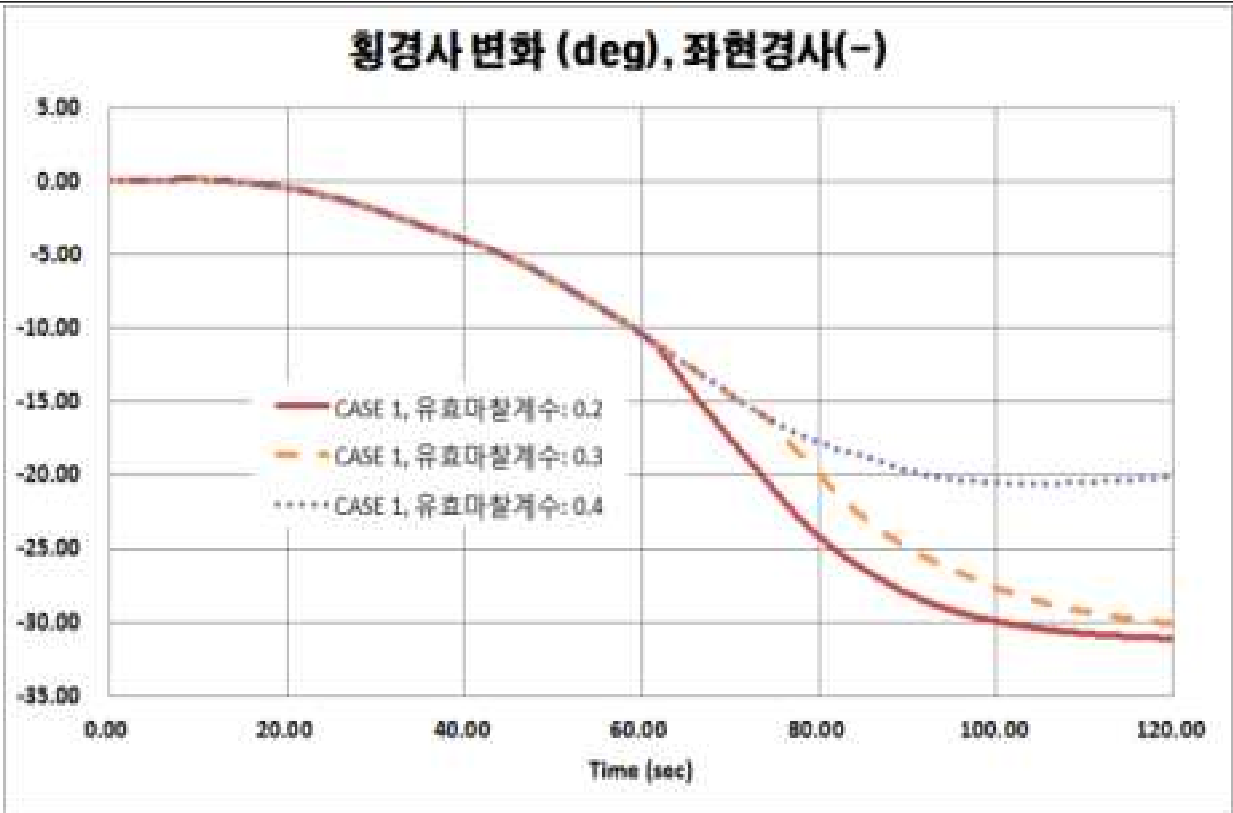
4.2.4.8 CASE 4는 검경합동수사본부의 자료에 세월호의 초기 경사시험 시 계산 오류(63톤 과소 산정)와 제1회 정기검사 완료 후 A 갑판 전시설에 추가된 구조물(37톤)을 반영(4.2.2.2 참조)한 것이다.

4.2.4.9 또한, 선박평형수 등의 자유표면효과를 복원성 계산⁴²⁾에 반영함에 있어, 선박 탱크의 실제 적하량과 횡경사에 따른 탱크의 실제 무게중심을 적용한 REAL 방식을 적용하였다.

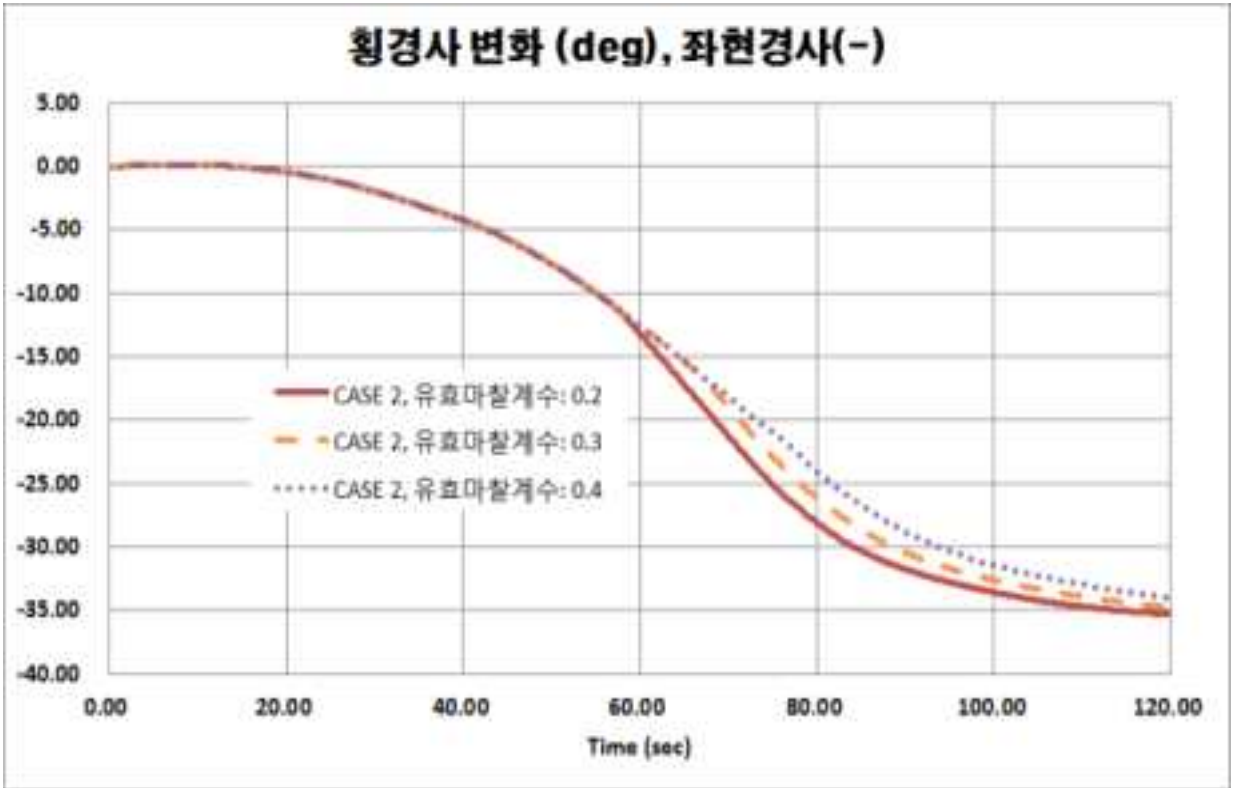
4.2.4.10 시뮬레이션 수행 결과, 동일한 타각 시나리오에서는 무게중심이 상대적으로 높은 경우에 횡경사가 더 빨리 증가하는 것으로 나타났고, 횡경사의 빠른 진행은 화물의 이동 시점을 앞당기게 되어 화물의 이동에 의한 횡경사의 급격한 증가는 세월호 사고와 유사한 상황을 초래하는 것으로 분석되었다.

42) 액체의 자유표면 효과를 계산하는 방법에는 IMO Res.A.749에 의한 방식(선체경사와 탱크내 액체 적하량에 따라 달라지며 일반적으로 30도 횡경사에 50% 적하조건에서 최대값을 가짐), REAL 방식, R50(REAL 방법에서 실제 탱크의 적하량과 관계없이 탱크가 50% 적하되었다고 가정하여 자유표면모멘트를 계산) 및 MAX방식 등이 있는데, 실무에서는 IMO방식을 주로 사용한다. CASE 4를 기준으로 보면, IMO방식이 REAL 방식보다 GM이 약 0.23미터 적게 나타난다.

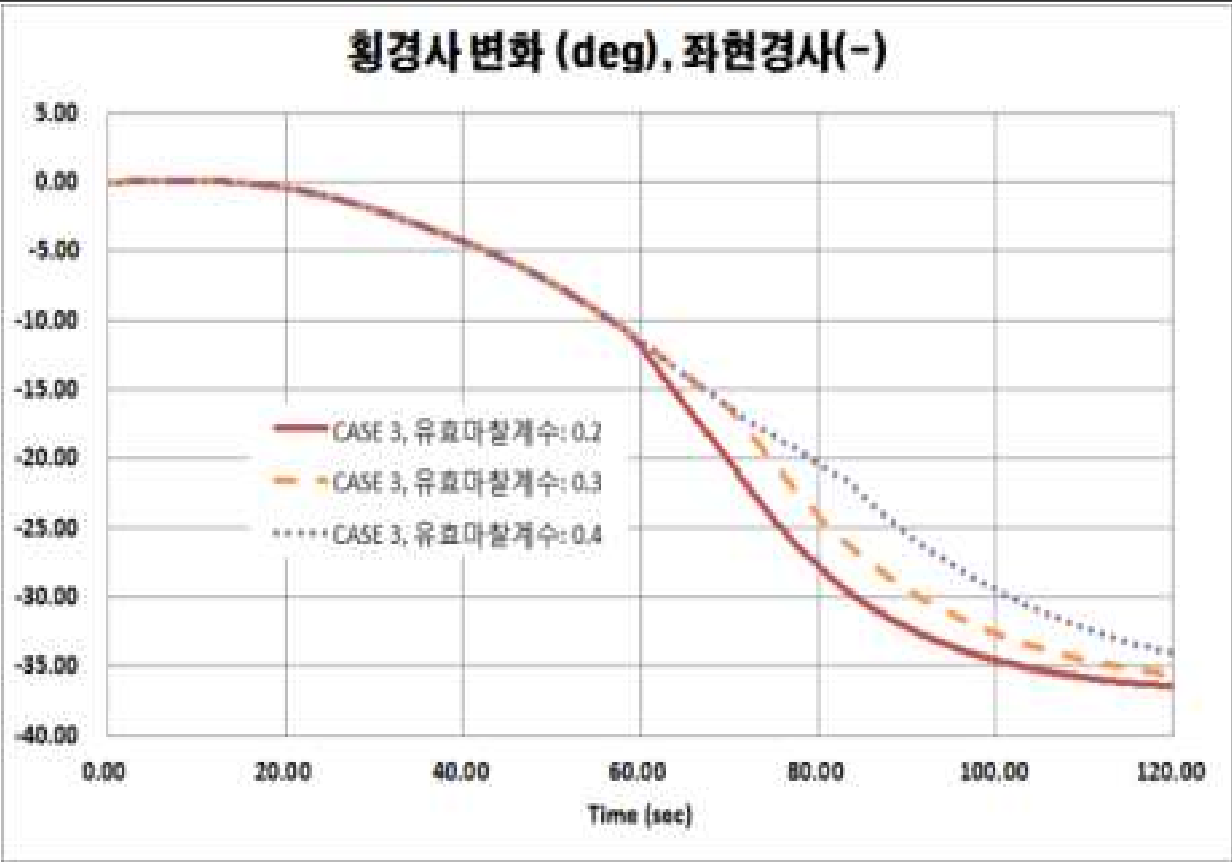
[그림 4] 각 CASE별 타각시나리오(I)에 따른 선체횡경사 비교



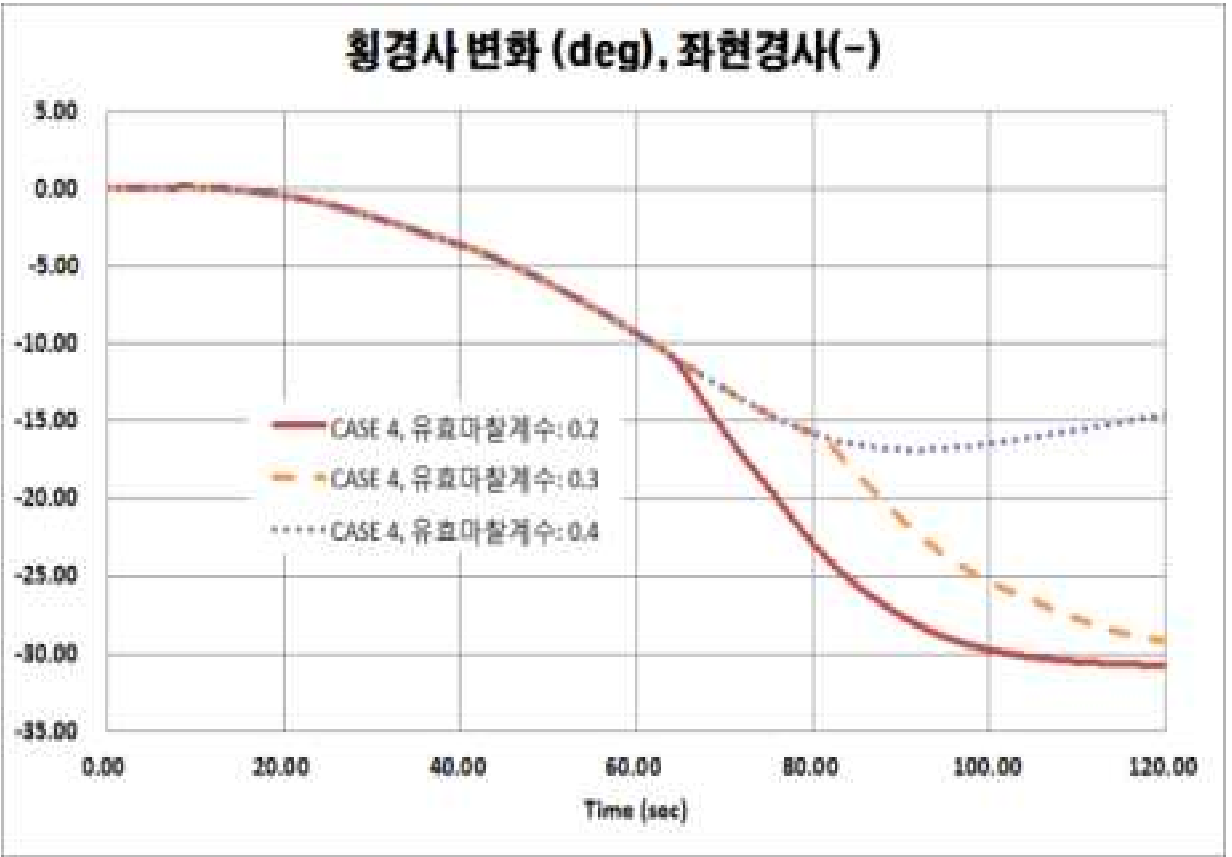
CASE 1에 따른 선체 횡경사



CASE 2에 따른 선체 횡경사

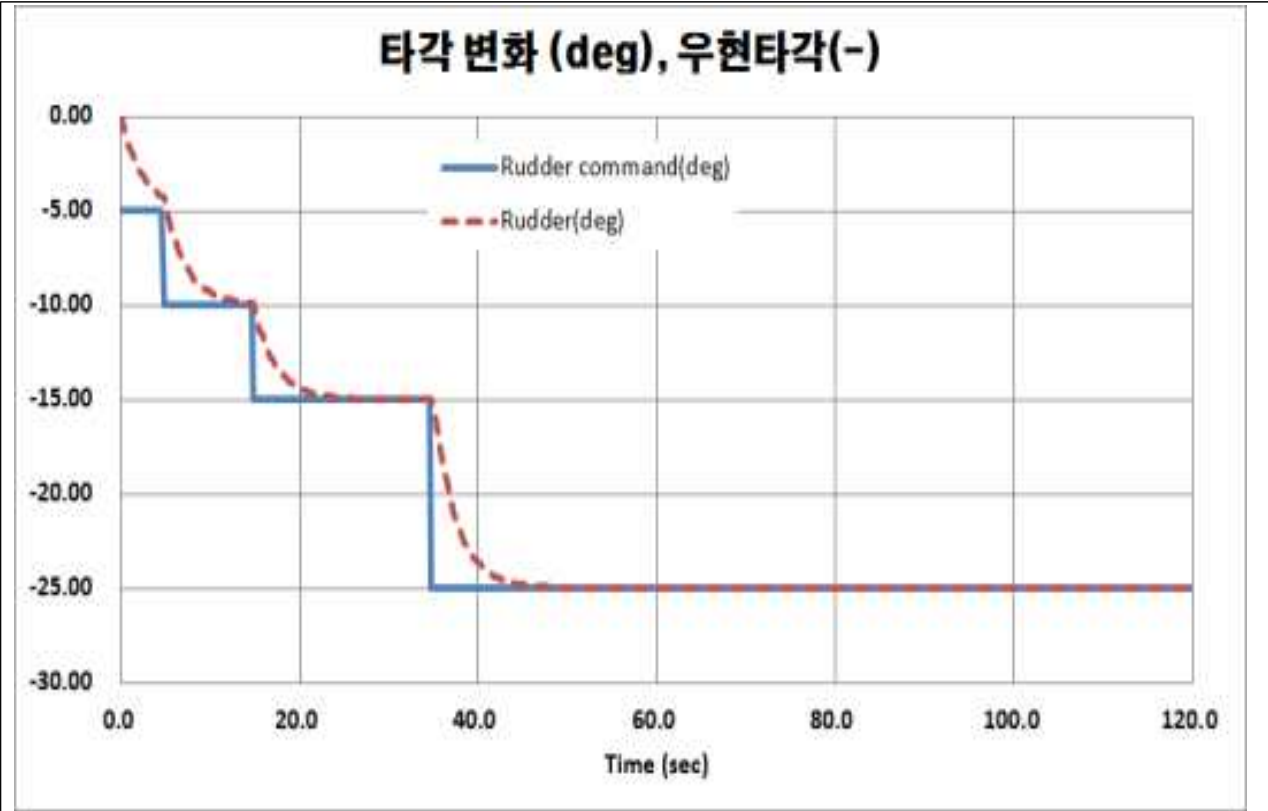


CASE 3에 따른 선체 횡경사

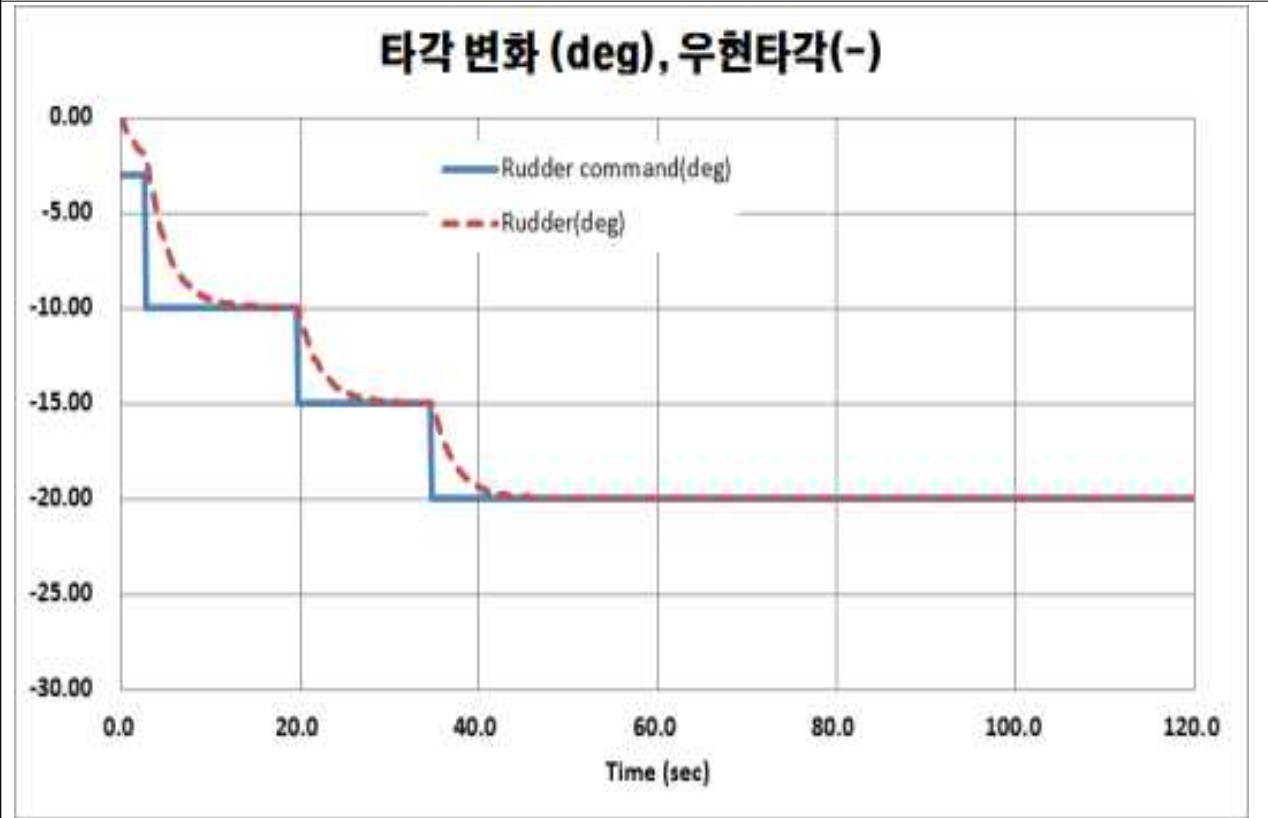


CASE 4에 따른 선체 횡경사

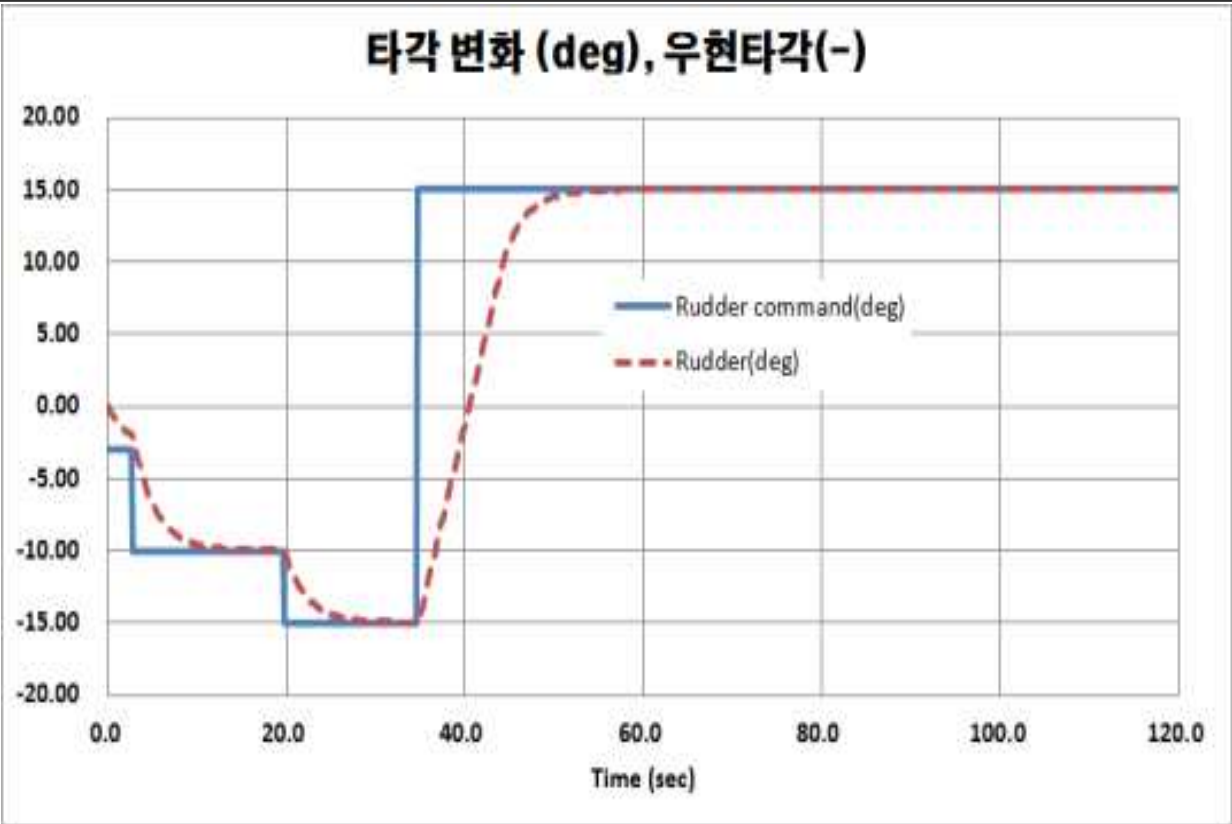
[그림 5] 타각 시나리오



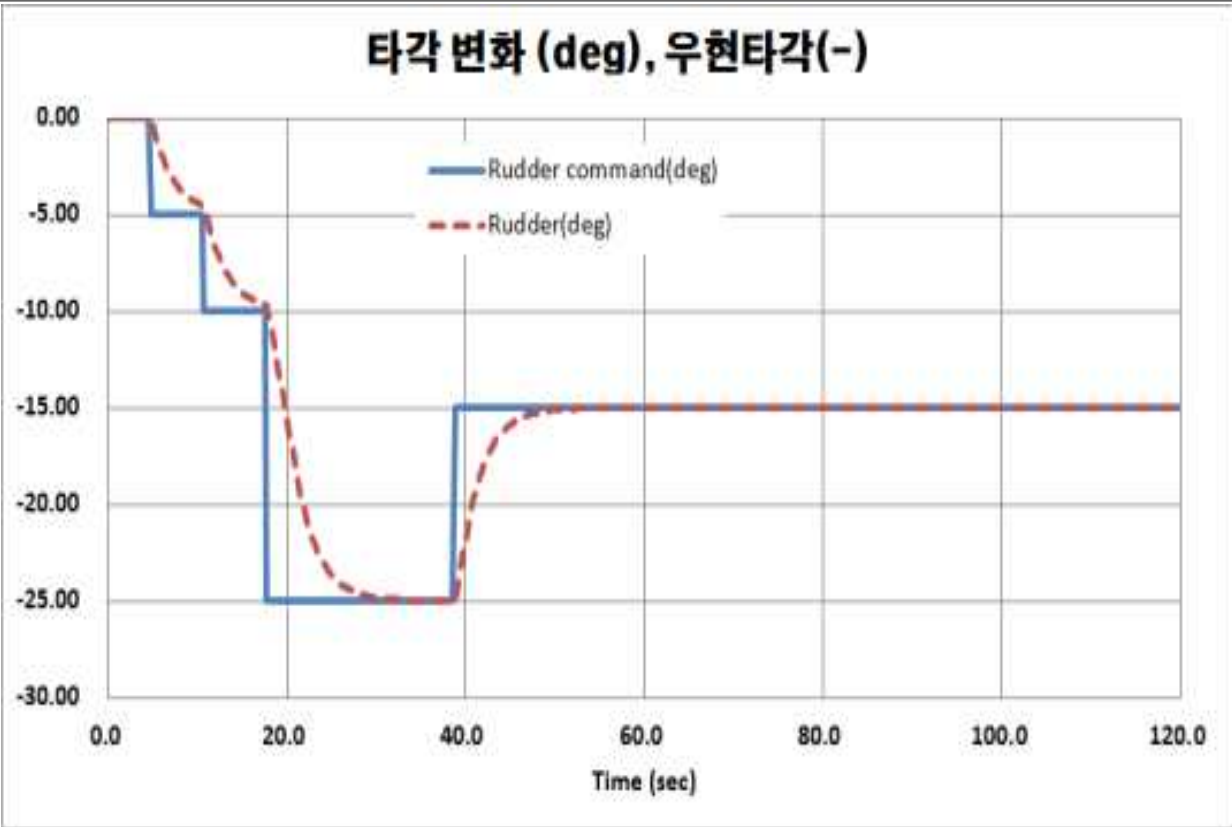
타각시나리오(1)



타각시나리오(2)



타각시나리오(3)



타각시나리오(4)

4.2.4.11 아울러, 타각 시나리오에 따른 선체 횡경사를 살펴보면, 일정 각도와 일정 시간 이상의 우현 타각에 노출된 경우에는 사고 상황과 유사한 횡경사가 발생하지만, 우현 타각에 노출된 시간이 짧고 곧바로 좌현 타각으로 전환된 경우(타각시나리오(3))에는 어떠한 적재 조건에서도 전복이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

4.2.4.12 또한, GM값의 변화에 따라 횡경사는 큰 차이가 발생하지 않았으나, GM이 나뉘수록 횡경사가 초기에 커지고 실제 세월호의 AIS 항적과 가까워지는 것을 미세하게 확인할 수 있었다.

4.2.4.13 한편, 이 시뮬레이션 모델은 선박의 정상적인 선회운동(횡경사 10도 미만)을 가정한 선박 조종운동방정식 수학모델을 적용한 것으로 과도한 횡경사가 발생한 이 사고와는 상황이 다르며, 사고 당시 실제 선박의 횡경사 등에 대한 정확한 정보가 부족하고, 기관정지를 한 시점에 대한 정보가 반영되지 않는 등 실제 상황의 재현에 한계가 있음에 따라 실제 선박 항적과 시뮬레이션 결과상의 항적간에 차이가 발생한 것으로 분석된다.

4.2.4.14 1등항해사 등 선원들의 사고 당시 초기 횡경사에 대한 진술과 시뮬레이션 결과를 비교·분석해보면, 초기 횡경사가 15~20도가량이었을 것으로 추정되므로 세월호는 검경합동수사본부가 조사한 화물량보다 더 많이 적재되어 [표 13] 이나 [표 14] 보다 복원성이 더 나뉘었을 가능성이 있다고 본다.

4.2.5 소결

4.2.5.1 세월호의 인천항 출항(선박평형수 유실이 없는 경우) 당시 및 사고 당시 복원성을 검토·분석한 결과, G_0M 과 횡경사각에 따른 복원정 곡선의 합계면적은 요건을 만족하지만 경사우력정에서의 횡경사각, 선회 경사우력정 횡경사각, 10도에서의 복원정 및 바람 및 파도에 의한 전복력 대비 복원력의 비가 요건을 충족하지 못하는 것으로 나타났다.

4.2.5.2 선회에 의한 경사우력정은 아래 계산식과 같이 속력의 제곱에 비례하기 때문에 속력이 빠른 여객선이나 컨테이너선에서는 이 효과가 크게 나타난다⁴³⁾.

$$MR/W=0.02 \times (V^2/L) \times (KG-d/2)$$

- V : 항해예정시간 산정에 적용하는 최고속력(m/s)
- L : 흘수선의 전장(미터),
- KG : 기선으로부터 측정한 수직방향 중량중심높이(미터)
- d : 기선으로부터 측정한 상당 흘수(미터)

4.2.5.3 돌풍에 대비한 예비 복원력은 초속 약 26미터($504.2N/m^2$)⁴⁴⁾를 기준으로 계산하지만, 사고 당시 바람이 초속 4~7미터 불었던 점을 고려하면 돌풍에 대비한 예비 복원력의 미흡이 이 전복사고에 미치는 영향은 무시하여도 무방할 것으로 판단된다.

43) 자동차가 곡선 차로를 느리게 달리는 것보다 빠른 속력으로 달릴 경우 원심력(반대 쪽으로 몸이 쏠리는)이 크게 작용하는 것과 같은 이치로 이해된다.

44) 풍속과 압력 변환표(Windspeed to Pressure Conversion Chart by GLASSHAPE LTD)에 의한 환산 값이며, 이것은 최대풍속에 의한 태풍강도 분류상 중형급(초속 25~33미터) 태풍에 해당되는 바람 세기이다.

4.2.5.4 경사우력정에서의 횡경사각도 4.2.4.4의 초속 26미터 바람을 기준으로 설정하므로 사고 당시 실제 풍속을 기준으로 계산하면 이 요인 역시 이 사고에 미치는 영향은 미미하였던 것으로 보인다.

4.2.5.5 따라서, 세월호는 인천항 출항 당시에도 선박복원성 일부 기준을 만족하지 못하였고, 이후 연료유, 청수 등의 사용 등으로 인하여 사고 당시에는 인천항 출항 당시보다 선박복원성이 더 악화되었다.

4.2.5.6 또한, 4.2.4.14에서 기술한 바와 같이, 세월호 사고 당시에는 복원성이 더 나뉘었을 가능성이 있다고 본다.

4.3 사고 당시 변침 과정의 적정성

4.3.1 당직 항해사의 변침 지시의 적정성

4.3.1.1 세월호의 종전 항적과 3등항해사의 진술 등을 종합하면, 3등항해사는 병풍도를 통과하면서 변침하여 침로를 약 145도로 정침하고자 하였다⁴⁵⁾.

4.3.1.2 사고 당시 3등항해사도 수동조타 상태에서 맹골수도를 진입하여 항해하면서 수 차례 소각도 변침을 하였으며, 병풍도를 우현에 두고 정황하면서 2014년 4월 16일 08시 46분경 선수방위를 135도에서 140도로 1차 변침 지시하였다.

45) 사고발생 이전 항차인 4월 11일 06시 25분경(1등항해사 근무) 세월호는 병풍도를 통과한 후 약 145도 (144~156도 유지)로 항해하였다.

4.3.1.3 1차 변침이 완료된 것을 확인한 뒤 같은 날 08시 49분경 선수방위를 145도로 2차 변침 하도록 추가 지시하였다.

4.3.1.4 3등항해사가 변침을 2차례에 나누어 변침한 것은 전임 선장 등의 '타각을 5도 미만으로 사용하여 변침하라'는 지시 등에 따른 것이며, 일반 화물선보다 속력이 빠른 여객선의 경우에는 이러한 변침방식이 잘못되었다고 볼 수 없다.

4.3.1.5 3등항해사가 변침을 지시하면서 타각이 아닌 선수방위를 지시한 것 역시 소각도 변침이었던 점을 감안하면 항해사가 통상적으로 지시하는 행태를 벗어난 것이라고 보기는 어렵다.

4.3.1.6 다만, 3등항해사가 변침 지시 이후 선수방위의 변화와 타각을 지속적이고 세밀하게 관찰하여 자신이 의도한 침로를 벗어난 선박회두를 적절하게 대응하지 못한 부분이 있었던 것으로 보인다.

4.3.2 당직 조타수의 변침조타 이행의 적정성

4.3.2.1 당직 조타수 조모씨는 당직 항해사 박모씨의 지시에 따라 2014년 4월 16일 08시 46분경 선수방위를 140도로 1차 변침한 후 같은 날 08시 49분경 당직 항해사의 2차 변침 지시에 따라 선수방위를 145도로 변침을 시도하였다.

4.3.2.2 그러나, 2차 변침 때에는 당직 항해사의 지시를 이행하는 과정에서 침로를 145도로 제대로 정침하지 못하고 급격한 우선회가 발생하였다.

4.3.2.3 변침 당시 조타기에는 이상이 없었던 사실⁴⁶⁾과 위 4.3.1.3 및 4.3.1.4 등을 종합해 보면, 당직 조타수가 그 당시 얼마나 큰 타각을, 얼마나 길게 사용하였는지 확인할 수 있는 자료는 없지만 사고 당시의 선박 항적과 시뮬레이션 자료를 검토한 결과, 필요 이상으로 큰 타각을 길게 사용하였을 것으로 판단된다.

4.3.2.4 또한, 평상시 사고해역의 유속이 빠른 편이지만, 사고 시점은 맹골수도의 조류가 바뀌는 시간으로 유속이 최대 2노트 미만으로써 세월호의 당시 항해속력인 약 17노트를 감안하면, 사고 시점의 조류가 조타 성능에 영향을 미쳤다고 보기 어렵다.

4.3.2.5 이러한 결과는 당직 조타수가 ‘변침과정에서 반대 타를 사용했음에도 정침이 되지 않자 당황한 나머지 타를 잘못 사용했을 수도 있었겠다’라는 취지의 본인 진술 및 선장의 진술⁴⁷⁾과 의미있는 관련이 있다고 판단된다.

4.3.3 소결

4.3.3.1 3등항해사가 새로운 침로의 변화가 약 10도인 변침점에서 큰 타각을 사용하지 말라는 전임 선장의 지침 등에 따라 5도 이내로 두 번에 걸쳐 변침을 지시한 것과 타각에 의한 변침 지시방식(예: 우현 10도)이 아닌 ‘변침 후의 침로’에 의한 변침 지시방식

46) 당직 조타수가 당시 타각지시기는 조타기 작동에 맞춰 제대로 작동되었다는 진술, 3등항해사가 사고가 발생한 이후 조타기 경보장치가 작동하여서 이를 꺾다는 진술과 조타기 및 조타장치 관련업체 관계자의 자문 등을 참조하였다.

47) 사고 발생 후 조타실에 올라온 선장은 타각이 우현 15도를 가르키고 있는 것을 보았다는 진술도 있다.

(예: 침로 140도)이 항해사의 통상적인 업무 방식을 벗어난 것은 아니다.

4.3.3.2 오히려 이 정도의 변침은 수동조타가 아닌 자동조타 방식에서도 얼마든지 수행할 수 있는 항해사의 업무형태로 볼 수 있다.

4.3.3.3 그렇지만, 3등항해사는 그 당시 선박운항의 책임자로서 선박이 계획된 항로를 유지하면서 안전하게 항해하도록 조타 지시를 하는 한편, 당직 조타수가 그 조타지시를 올바르게 이행하고 있는지, 그렇지 않을 경우 곧바로 당직 조타수에게 재지시하는 등의 조치를 취하여야 하는 책무를 제대로 이행하지 못한 부분이 있다고 본다.

4.3.3.4 세월호에는 항해자료기록장치(VDR)가 설치되어 있지 않고 사고 당시 침로기록장치(Course recorder)를 작동하지 않았으므로 사고 당시 당직 조타수가 어떻게 조타를 하였는지는 구체적으로 설명하기는 곤란하다.

4.3.3.5 그러나, 세월호의 사고 당시 항적 변화와 시뮬레이션 자료를 비교·분석한 결과, 당직 조타수가 당직 항해사의 변침지시를 이행하는 과정에서 타각을 필요이상으로 오랫동안 크게 사용하여 과도한 우선회와 좌현경사가 발생하게 되었다는 것에는 의심의 여지가 없어 보인다.

4.4 화물 고박의 적정성

4.4.1 세월호는 인천항 출항 당시 승용차의 경우, 0.5톤용 고박 밴드를 앞·뒤 각 2개씩 사용하도록 되어 있지만 실제로는 앞·뒤 각 1개만 사용하였고, 고박배치도에 명시되지 않은 버팀목을 각 바퀴에 댄으로써 부족한 지지력을 보충한 것으로 보인다.

4.4.2 승인된 화물고박배치도상 25톤 화물차의 경우, 2.5톤용 고박 밴드를 앞, 뒤, 좌, 우 등 10개 사용하도록 되어 있으나, 승용차와 같이 각 바퀴에 버팀목을 대었지만 실질적으로는 약 2.5톤용 체인 4개만 사용하였다.

4.4.3 2단에 적재되는 컨테이너의 경우, Twist lock이나 Bridge fitting을 사용하지 않고 컨테이너 모서리 구멍을 로프로 연결하는 방식으로 고박하였다.

4.4.4 또한, 컨테이너 적재장소로 승인받지 않은 화물창(D 갑판과 E 갑판)에 규격이 다른 컨테이너를 적재함으로써 8피트 컨테이너의 일부 모서리에 컨테이너 고정장치가 제대로 고박되지 않았다(3.1.4.6 참조).

4.4.5 출항이 임박하여 선적된 10여대의 임시번호 승용차에 대하여는 고박 밴드를 설치되지 않았다.

4.4.6 이러한 화물적재는 한국선급으로부터 승인받은 세월호의 “차량 및 화물 고박 배치도”(2.6.2 참조)에 따른 고박방법 및 적재장소 등을 제대로 이행하지 않은 것이다.

4.4.7 한편, 한국선급이 현장 검사원들에게 작성·배포한 중요 검사 항목에 대한 체크리스트에는 화물 고박설비(고정용, 이동용)에 대한 검사 항목이 포함되어 있지 않는 것으로 확인되었다.

4.5 선박 전복과정 분석

4.5.1 선박선회운동에 관한 이론⁴⁸⁾

4.5.1.1 선박이 전진 중에 변침이나 선회를 위하여 선미에 위치한 타를 사용하면, 타판에 생기는 직압력(直壓力)으로 인하여 선회 모멘트가 생기면서 선박의 속력이 감소되고 선체의 횡경사 등이 발생하게 된다.

4.5.1.2 타의 사용에 따라 타판에 생기는 항력(抗力)과 선체주위에 생기는 항력 분력으로 인하여 선박속력이 감소되며, 타각이 크면 클수록, 수면 아래 타판의 면적과 선체의 종방향 단면적이 클수록 감속 정도가 크게 나타난다.

4.5.1.3 또한, 타 사용에 따라 선체가 횡경사하는 현상이 발생하는데 이는 G_0M 값이 큰 선박보다 적은 선박에서 뚜렷하게 일어난다.

4.5.1.4 타각 사용 초기에는 타판에 작용하는 횡압력에 의하여 선체가 변침방향 중심쪽으로 경사(內方傾斜)하게 되나, 선체가 선회를 계속하여 정상적인 원운동을 시작하면, 선체 중심에 작용하는 원심력에 의하여 선체가 회전하는 반대쪽으로 기울게(外方傾斜) 된다.

48) 윤점동, 「선박조종의 이론과 실무」(개정 제14판), 42~49면, 이승건, 「선박운동조종 입문」(GS인터비전), 44면 등

4.5.1.5 일반적으로 타판의 면적과 수면하 선체 종방향 단면적의 비율은 선박마다 다르지만 일반상선의 경우 약 1/60~1/70⁴⁹⁾에 불과하기 때문에 내방경사는 무시할 정도로 적으나 외방경사는 상대적으로 크게 나타난다.

4.5.1.6 특히, 원심력(외방경사)은 속력의 제곱에 비례하여 커지며 G_0M 값이 적을수록(무게중심이 높을수록) 크게 나타나기 때문에 컨테이너선이나 갑판상부에 화물을 적재하는 원목선 등이 전속으로 항해하면서 대각도 타를 사용할 경우에는 외방경사를 유의할 필요가 있다(4.2.4.2참조).

4.5.1.7 한편, 선회를 계속하게 되면 외방경사 모멘트와 선체 횡경사에 의한 반대방향 복원 모멘트 값이 같아지는 횡경사 각도에서 선체는 평행을 유지하게 된다.

4.5.1.8 이 횡경사 각도, 속력과 선회반경을 알면 G_0M 값을 구할 수 있으며, 반대로 그 역산도 가능하지만 이 사고처럼 선체횡경사로 인하여 화물이 많이 이동할 경우에는 실제 계산이 곤란하다.

4.5.2 세월호의 변침에 따른 외방경사 발생

4.5.2.1 2014년 4월 16일 08시 49분경 당직 조타수가 3등항해사의 2차 변침 지시를 받고 우현 타를 사용함에 따라 인지할 수 없을 정도의 내방경사가 있는 후 외방경사가 생기기 시작하였다.

49) 윤점동, 앞의 책, 34면

4.5.2.2 세월호의 복원성을 4.2.3.7의 [표 14] 로 가정하고, 항해속력을 19노트로 하여 시뮬레이션 한 결과, 우현 타를 20도 사용한 경우 60초 후에 약 14.4도의 횡경사가 발생하고 속력은 약 16.3노트로 줄어들었고, 80초 후에는 횡경사가 약 19.8도였으며 속력은 약 13.1노트로 현저히 줄어들었다.

[표 16] 세월호 우현 타각 시뮬레이션

경과 시간 타각	10초 후			20초 후			40초 후			60초 후			80초 후		
	횡경사	속력	각속도	횡경사	속력	각속도	횡경사	속력	각속도	횡경사	속력	각속도	횡경사	속력	각속도
5도	0.0	190	4.6	0.4	190	8.5	1.9	189	16.0	3.6	189	25.6	5.8	187	35.8
10도	0.0	190	9.0	0.8	189	16.9	3.7	188	34.6	7.7	183	63.4	14.0	170	108.6
15도	0.1	190	12.4	1.1	189	24.2	5.3	185	53.3	11.6	174	100.8	19.1	146	115.7
20도	0.2	190	14.6	1.3	188	30.4	6.6	182	69.9	14.4	163	121.6	19.8	131	92.5
25도	0.2	189	15.8	1.3	188	35.1	7.6	179	83.3	16.1	153	125.2	19.1	123	79.1

* 4.2.3.7의 세월호 사고 당시 자유유동수를 반영한 조건(GoM 0.38미터)

4.5.2.3 우현 타를 25도 사용하였을 경우 60초 후에 약 16.1도의 횡경사가 발생하고 속력은 약 15.3노트로 줄어들었고, 80초 후에는 횡경사가 약 19.1도였으며 속력은 약 12.3노트로 현저히 줄어들었다.

4.5.2.4 1등항해사 등의 사고 초기 횡경사에 대한 진술과 이 시뮬레이션에 의한 횡경사각 등을 분석해보면, 선체 횡경사는 15~20도 가량 있었을 것으로 추정된다.

4.5.3 화물이동에 따른 세월호의 복원력 상실

4.5.3.1 세월호가 좌현으로 과도하게 기울게 됨에 따라 허용범위를 초과한 하중으로 고박장치가 파손되었거나 고박이 제대로 되어

있지 않던 차량이나 화물이 좌현으로 쏠리기 시작하였다.

4.5.3.2 세월호와 동형 선박인 아리아케호(총톤수 7,910톤)에서 2009년 11월 13일 발생한 좌초사고에 대한 조사보고서에 의하면, 고박되지 않은 컨테이너는 횡경사각이 25도가 되면 옆으로 미끄러지기 시작하고, 2단에 적재된 선수미 방향의 20피트 컨테이너는 약 29도에서 넘어지기 시작한다.

4.5.3.3 그리고, 고박되지 않은 차량 새시(Chassis, 차대)는 횡경사각 약 22도에서 옆으로 미끄러지기 시작하고, 횡경사각이 약 27도가 되면 고박용 체인이 파열될 가능성이 높아진다.

4.5.3.4 또한, 이 선박에서는 과거에 파도에 의하여 선체가 약 16도 가량 횡요할 때 고박용 체인의 파열은 없었지만 컨테이너가 옆으로 미끄러지고 새시가 움직인 적이 있었다고 보고되었다.

4.5.3.5 한편, 자동차안전연구원의 자동차 미끄럼 경사각 측정실험에 의하면, 1톤 화물차는 30도를 넘으면 옆으로 미끄러지기 시작하는 것으로 나타났다.

4.5.3.6 상기 자료 등을 고려하면, 아리아케호 사고와 세월호 사고는 사고 당시 기상 상태, 화물 고박 상태 및 화물갑판의 마찰면 등이 다르지만, 선수갑판 2단에 적재된 컨테이너는 세월호가 15~20도 가량 횡경사되었을 때 옆으로 미끄러지면서 해상으로 추락되기 시작하는 것으로 추정된다.

4.5.3.7 연이어 고박이 제대로 되지 않았거나 고박장치가 파손된 화물이나 차량이, 화물이 적재되어 상대적으로 무게중심이 높은 트럭 등이 차례로 좌현으로 쏠리거나 넘어지게 되었다.

4.5.3.8 이에 따라, 선박 수직방향의 무게중심은 거의 변화가 없지만, 선체의 선수미 중심선 부근에 있었던 무게중심이 좌현으로 이동하게 됨으로써 선체가 좌현으로 더욱 기울어지게 되었다.

4.5.4 세월호 선체 침수

4.5.4.1 선체 횡경사가 지속되어 횡경사각이 약 15도를 넘으면서 수밀 갑판(D 갑판) 상부에 위치한 풍우밀(Weather-tight) 구조⁵⁰⁾의 문(선원들은 '도선사 출입문'이라고 호칭함, 높이 약 1.9미터, 폭 약 1.0미터, Fr.57~58번) 틈으로, 횡경사각 약 24도를 넘으면서 선미램프 틈을 통하여 조금씩 바닷물이 화물창 내부로 들어오기 시작하였다.

4.5.4.2 이어서 횡경사각이 약 46도에 이르러 C 갑판 현측의 여객 출입문(Fr.56~58번) 및 선수갑판 상 화물창 통풍구 등이 해수면 아래로 내려갔고, 횡경사각 약 55도에서 Tween 갑판 개구부가, 횡경사각 약 57도에서 B 갑판 여객통로 출입문이, 약 64도에서 A 갑판 현단이, 약 66도에서 선교갑판 현단 등이 차례로 해수면 아래로 내려가면서 바닷물이 객실 안까지 유입되었다.

4.5.4.3 한편, C 갑판으로 유입된 해수는 D 갑판과 연결된 차량이동용

50) 한국선급 기준(선급 및 강선규칙 등)에 따르면 풍우밀 구조는 약 1.5미터 거리에서 약 2kg/cm²의 살수시험을 하며, 수밀(Watertight) 구조는 구조물에 따라 다르나 문의 경우 2.4미터의 수두시험을 실시한다.

경사로(Slope way)를 따라 D 갑판으로 흘러간 뒤 그 아래 위치한 E 갑판 화물창과 폐쇄되지 않은 기관실 출입문 등을 통하여 기관실로 순식간에 유입되었다.

4.5.4.4 기관실로 유입된 해수 또한, 열려있던 격벽 출입문을 통하여 보조기관실 및 축계실로 흘러들었다.

4.5.4.5 이러한 경로 등을 통하여 선내로 유입된 바닷물로 인하여 선체의 침하가 빠르게 진행되었고, 선체 경사에 따라 기울어진 곳으로 해수가 모이면서 횡경사를 가속화시켰다.

4.5.4.6 검경합동수사본부가 의뢰한 침수 시뮬레이션 자료에 따르면, 선체 횡경사각이 약 49도 정도까지는 횡경사가 서서히 증가하다가 사고 발생 후 약 2,800초(약 09시 37분)경부터 횡경사각이 약 60도 정도로 많이 증가하였다.

4.5.4.7 횡경사각이 약 60도로 유지하다가 약 3,800초 후(약 09시 53분) 횡경사가 약 65도로 증가하였으며, 그 이후 횡경사 증가 속도는 급속히 커지는 것으로 나타났다.

4.5.5 세월호 선체 전복

4.5.5.1 차량이나 화물을 지탱하는 경사각도를 점점 초과하여 횡경사가 진행됨으로써 더 많은 화물이나 차량이 좌현으로 쏠리게 되었고, 이러한 연속현상이 횡경사를 가속시키게 되었다.

4.5.5.2 횡경사가 약 50도 이상 진행되면서 대부분의 화물과 차량이 전도 되었고, 급기야는 3.5.2.8에서와 같이 10시 31분경 선체 대부분이 수면 아래로 뒤집힌 채 가라앉으면서 선수 구상선수(Bulbous Bow)만 수면 위에 남기고 전복되었다.

4.5.6 세월호 선체 침몰

4.5.6.1 선수 구상선수 부분만 물 위로 남기고 뒤집힌 세월호는 D 갑판 아래의 공소(Void space) 및 비어있던 APT 등의 선박평형수탱크의 잔존 공기 등에 의한 작은 부력에 의지한 채 표류하고 있었다.

4.5.6.2 그러나, 물속에 잠긴 공소의 공기관(Air Pipe) 등을 통하여 바닷물이 점점 유입됨으로써 세월호는 부력을 완전히 상실하고 2014년 4월 18일 12시 57분경 전남 진도군 병풍도 북동방 약 3.1마일 해상에서 완전히 침몰하였다.

4.6 세월호 선원의 비상대응

4.6.1 여객 대피

4.6.1.1 선박은 위험에 처할 경우 외부의 도움을 받기가 쉽지 않기 때문에 독자적인 생존에 필요한 최소한의 구명설비 등을 갖추도록 강제화하고 있다.

4.6.1.2 세월호에는 관련 규정에 따라 모든 승선인원이 이용할 수 있는 구명동의(Life jacket)와 구명뗏목(Life raft)을 갖추고 있으며, 선원

들은 비상시에 대비한 퇴선훈련 등을 정기적으로 실시하여야 한다.

4.6.1.3 그러나, 세월호 선원들은 「선원법 시행규칙」 제7조 및 운항관리 규정 등에서 정한 비상훈련을 여객이 모두 하선한 상태에서 형식적인 훈련을 하는 정도에 그친 것으로 파악되었다.

4.6.1.4 세월호가 변침하는 과정에서 전복되는 사고가 발생하였을 때, 선장은 해양경찰청의 구조가 언제 가능한지만을 염두에 두고 자체적으로 세월호 구명설비 등을 이용하여 여객을 대피시킬 구체적인 계획을 세우지 않았다.

4.6.1.5 한편, 객실 승무원이 여객에게 ‘안전한 선내에서 대기하라’는 취지의 선내방송을 몇 차례 하였고, 많은 학생을 포함한 승객들은 이 방송에 따라 선내에 그대로 머물고 있었다.

4.6.1.6 객실 승무원은 선장 등에게 선내 무전기로 어떻게 행동할 것인지 지침을 내려달라고 요청하였는데도 응답을 받지 못하였으며, 여객들을 선교갑판으로 대피하거나 퇴선하도록 지시를 내리지 않았다.(3.5.1.16 참조)

4.6.1.7 특히, 선박이 복원력을 상실하여 횡경사가 점점 심해져 침몰의 위험이 있다는 인식을 하고 있었으면서도 여객을 여객대피 집합장소인 선교갑판으로 모이도록 지시하지 않았다.

4.6.1.8 더욱이, 사고 발생(08시 50분경)부터 여객 대피에 대하여 1등항 해사나 기관장 등과 전혀 논의하지도 않았으며, 실질적인 대피나

퇴선지시도 없이 선내에 머물고 있는 여객을 내버려 둔 채 선장, 1등항해사, 기관장 등 선원들만 먼저 퇴선하였다.

4.6.1.9 사고 당시 바다가 잔잔하였고 수온이 약 12도로써 생존에 급박한 위험을 초래하지 않았고 주변에 구조 세력이 많이 있었던 점 등을 고려하면, 사고 발생 후 선장 등이 일반적인 선원의 상무에 따라 여객을 적절하게 대피시켰다면 인명 손실은 없었거나 있었더라도 극소수에 그쳤을 것으로 예상할 수 있다.

4.6.1.10 세월호 안전관리규정 제14장제3항에 따르면, 선장 및 회사는 선박에 사고가 발생하였을 때에는 인명의 안전확보를 위한 최우선적인 조치를 취하도록 되어 있음에도 이를 이행하지 않았다.

4.6.1.11 평소 실질적인 비상훈련이 부족하였던 선장 등 선원들이 여객보다 세월호에서 먼저 퇴선함으로써 위험에 처한 여객을 먼저 구조한 이후 가장 늦게 퇴선하여 할 여객선 선원의 기본적인 책무를 저버렸다고 할 수 있다.

4.6.2 여객 탈출용 구명설비 배치의 부적절

4.6.2.1 세월호에는 여객 등이 퇴선할 경우에 대비하여 구명뗏목이 비치되어 있고, 세월호의 선체 높이를 감안하여 강하식 탑승장치⁵¹⁾를 통하여 여객이 탈출하도록 되어 있다.

51) 강하식 탑승장치는 형식에 따라 탑승장치가 설치된 갑판 또는 그 아래쪽 갑판에서도 이용 가능하다.

4.6.2.2 세월호에는 퇴선을 위한 비상소집장소로서 A갑판 양현과 B 갑판의 좌현부에 지정되어 있다.

4.6.2.3 그러나, 여객이 이용할 강하식 탑승장치는 선교갑판에 설치되어 있기 때문에 선교갑판이나 그 바로 아래의 A 갑판에서는 탑승이 가능하나 비상소집장소 중의 하나인 B 갑판에서는 탑승이 곤란한 구조이다.

4.6.2.4 이러한 조건에서 사고 발생 후 여객이 퇴선을 위하여 비상소집장소에 모였다고 할지라도 강하식 탑승장치를 이용하여 많은 여객의 퇴선이 순조롭게 진행되지 않았을 것으로 판단된다.

4.6.3 관제실 등 외부기관과의 연락체제

4.6.3.1 사고 발생 후 선원 중 1등항해사가 가장 먼저 2014년 4월 16일 08시 55분경 제주항 VTS에 사고 사실을 보고하였다.

4.6.3.2 한편, 사고 해역은 해양경찰청 소속 진도 연안VTS의 관제구역이지만 평소 세월호는 진도 연안VTS에 관제보고를 하지 않고 운항하였던 것으로 파악되었다.

4.6.3.3 세월호 운항관리규정에 따르면, 한국해운조합 운항관리실에 주요 지점에 대한 통과보고를 하며 개항 안에서 관제에 따르도록 규정되어 있는 반면, 진도 연안VTS에 대한 관제보고 등에 대한 명시규정은 없다.

4.6.3.4 1등항해사의 3.5.1.2의 보고는 평상시 하던 관행에 따른 것으로 보이나, 사고 발생 장소로부터 먼 곳에 위치한 제주항 VTS 보다는 진도 연안VTS에 바로 보고하였다면, 사고 사실이 진도 연안VTS까지 전달되는데 소요된 시간을 줄이고 좀 더 빠른 조치가 가능하였을 것으로 유추해 볼 수 있다.

4.6.3.5 여객선 사고 발생시 보고체계에 운항 항로 주변의 VTS 센터에 대한 정보를 지속적으로 관리하고 보완하여 운항관리규정에 반영할 할 필요가 있다고 본다.

4.6.4 (주)청해진해운의 조치

4.6.4.1 세월호의 운항관리규정상 안전관리담당자는 해무팀장으로서 (주)청해진해운이 여객선의 안전관리를 위하여 선임한 사람이나, 누가 안전관리담당자인지에 대해 당사자간에 다툼이 있을 정도로 담당자간의 역할과 책임이 명확하지 않았다.

4.6.4.2 승무원 강모씨는 2014년 4월 16일 08시 58분경 청해진해운 제주사무실에 휴대전화로 사고 사실을 보고하였고, 1등항해사는 같은 날 09시 14분경 사고 사실을 안전관리담당자 대신 회사 공무감독에게 휴대전화로 보고하였다.

4.6.4.3 사고 사실을 접수한 공무감독을 통하여 사고 사실이 안전관리담당자, 해무이사, 대표이사 등에게 보고되었지만, 이들은 선장 등에게 여객 대피나 퇴선 등에 대한 구체적인 지시를 하거나 지침을 주지 않은 것으로 나타났다.

4.6.4.4 (주)청해진해운은 선박운항 계획 수립, 화물집화 등의 영업, 선원 고용 및 훈련, 긴급상황 발생시 대처 등에 대한 책임을 지고 사업을 영위하여야 하는 주체이나, 사고발생 사실을 인지하고서도 적절한 대응을 하지 못한 것이다.

4.6.4.5 또한, 사업자는 선원들이 선원법령 등에 따른 비상시 대응훈련을 유효하고 적합하게 이행하고 있는지, 선박안전운항을 저해하는 위험요소를 제거하는 등 안전관리담당자가 그 역할을 수행하도록 책임과 권한을 제대로 부여하지 않은 것으로 보인다.

4.6.4.6 한편, 세월호 선원들은 평상시 세월호에 적재되는 화물량과 고박 문제 등에 대한 문제를 회사측에 여러 차례 제기하였으나, 사업자는 이에 대한 심도있는 검토 등을 통하여 선박의 안전성이 확보될 수 있는 조치를 제대로 취하지 않은 것으로 파악되었다.

4.6.4.7 이러한 사실로 볼 때 (주)청해진해운은 운항관리규정에 따른 안전관리체제가 실질적으로 갖춰지지 않았거나 이행하지 않은 것으로 판단된다.

4.7 인명구조

4.7.1 해양경찰청 등의 구조활동

4.7.1.1 세월호 사고사실을 통보받고 2014년 4월 16일 09시 30분경 사고현장에 먼저 도착한 목포해양경찰서 소속 123함정은 세월호 여객 등 선내 상태, 침몰속도 등에 대한 세부적인 정보가

부족하였던 것으로 보인다.

4.7.1.2 123함정은 사고현장에 도착하기 전에 세월호와 무선교신에 실패하였고, 현장에 도착한 후 세월호 조타실 부근에서 선장 등 선원을 먼저 구조하였지만, 이들이 선원인지를 바로 확인하지 못하였다.

4.7.1.3 123함정의 대원들이 선내에 대기하고 있던 여객을 구조하기 위하여 선내에 적극적으로 진입하지 못하였고, 한 개 객실의 유리창을 깨고 그 객실 안에 있던 여객과 객실 밖으로 나와 있던 여객 등만 구조할 수 있었다.

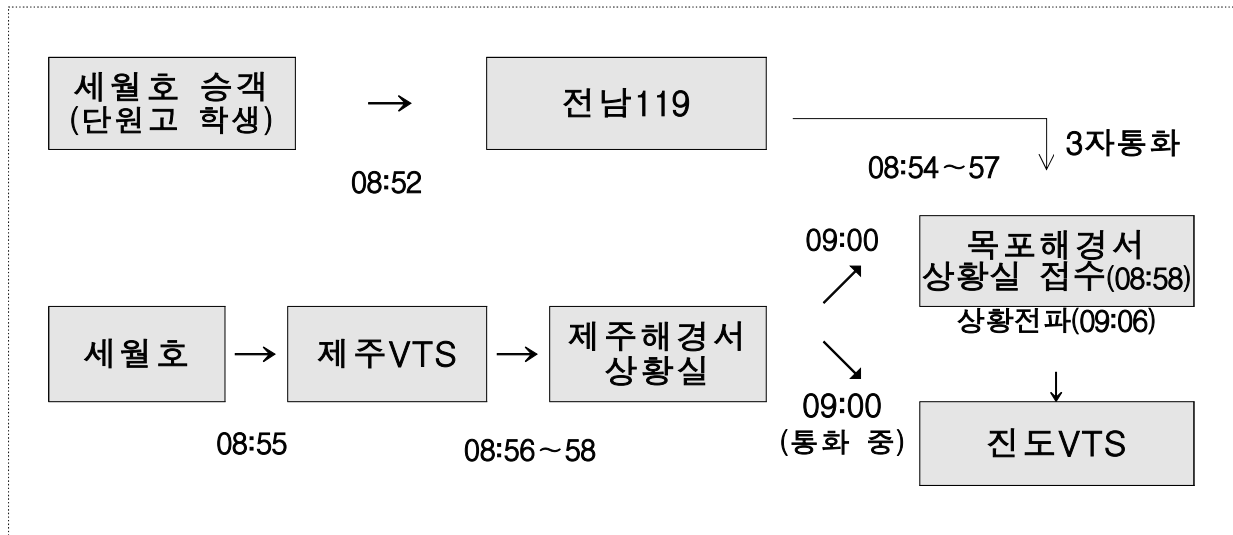
4.7.1.4 한편, 해양경찰청 및 전남 119의 헬기도 123함정과 같이 사고현장에 대한 세부정보가 부족한 상태에서 구조작업을 펼친 것으로 파악되었다.

4.7.1.5 해양경찰청 등의 구조활동이 국민의 기대수준에 미치지 못한 것은 세월호처럼 대형 선박에서 발생할 수 있는 사고에 대한 훈련이나 장비 등이 부족했던 것으로 판단된다.

4.7.2 VTS간 연락체제

4.7.2.1 세월호가 제주항 VTS에 사고사실을 보고함에 따라 사고해역을 관장하는 진도 연안VTS가 이 사실을 인지하는 데까지 약 10분의 시간이 더 걸렸다.

[표 15] 사고사실 보고 체계도



4.7.2.2 세월호가 진도 VTS와 직접 통신을 하였더라면, 육상 VTS와의 통신체제 유지, 현장정보 수집 및 정보 제공, 주변 해역 선박의 임무 부여 등 구조활동 측면에서 제주항 VTS보다 훨씬 더 효율적이었을 것으로 판단된다.

4.7.2.3 다른 측면에서, 제주항 VTS가 전화보다 VHF 16번 등을 이용하여 직접 진도 연안VTS로 사고사실을 통보하였다면 좀 더 효율적으로 사고가 전파되었을 것으로 보인다.

4.7.2.4 향후, 연안 VTS가 추가 설치될 경우에 대비하여 항만 VTS와의 정보전달 등을 위한 연락체계 구축에 대한 고려가 필요할 것으로 보인다.

5. 의문제기 등 기타사항

5.1 사고 당시 세월호의 항적 분석

5.1.1 AIS 항적 분석

5.1.1.1 AIS(Automatic Identification Systems) 설비의 개요⁵²⁾

5.1.1.1.1 AIS는 SOLAS 협약 제5장 제19규칙에 따라 여객선, 국제항해에 종사하는 총톤수 300톤 이상의 모든 선박 및 국내항해에 종사하는 총톤수 500톤 이상의 화물선에 설치하여야 한다.

5.1.1.1.2 AIS는 선명, 침로, 속력 등의 선박 운항정보를 다른 선박과 상호 교환하거나 육상 VTS 센터 등에 제공함으로써 선박항해 안전에 도움을 주기 위한 항해설비의 일종이며, 선박 관제나 조난선박 구조 활동 등에도 활용된다.

5.1.1.1.3 AIS는 2개의 VHF 주파수(161.975MHz 및 162.025MHz)를 이용하여 자료를 전송하는데, 안테나 높이 등에 따라 다르지만 일반적인 사용반경은 20~30해리로 보고 있다.

5.1.1.1.4 AIS 자료는 크게 정적(Static) 자료, 동적(Dynamic)자료와 항해 관련(Voyage-related) 자료로 구성된다.

5.1.1.1.5 정적자료는 선명, 호출부호, IMO 번호, 선박 길이와 너비,

52) 국제해사기구(IMO)의 제22차 총회에서 2001년 11월 29일 채택된 결의서 917호 참조.

선종 및 안테나 위치 등 개별 선박에 대한 고유정보이다.

- 5.1.1.1.6 동적자료는 선박운항에 따라 시시각각으로 변동하는 것으로써 선박위치, 침로(선수방위), 대지침로, 속력 등이 해당된다.
- 5.1.1.1.7 항해관련 자료에는 흘수, 위험물 정보, 목적지와 도착예정시간 등이 포함된다.
- 5.1.1.1.8 AIS는 이러한 자료를 표출을 위하여 선박의 GPS(위성항법장치), 자이로콤팩스 등과 연동시키거나 수동으로 자료를 미리 입력하여야 한다.
- 5.1.1.1.9 선박의 항해속력과 침로 변화에 따라 AIS 동적자료를 전송하는 기준 주기(Class A)⁵³⁾는 아래와 같다.

[표 16] AIS 자료 전송 주기

대지속력	전송 간격	
	정침 선박	변침 중인 선박
투묘 또는 정박 중(3노트 미만)	3분	-
0 ~ 14 노트	10초	3 1/3초
14 ~ 23노트	6초	2초
23노트 초과	2초	2초

53) 「해상업무용 무선설비의 기술기준」(국립전파연구원고시 제2013-14호) 제22조에 의한 전송간격이며, 이는 IMO A. Res. 917(22) 보다 전송주기가 더 짧다. Class A 선박 자동식별장치는 자동시분할다중접속(SOTDMA) 방식을 사용하고 국제해사기구에서 정하는 성능요구사항을 모두 만족하여야 하며, Class B 선박자동식별장치는 자동시분할다중접속 방식 또는 반송파감지시분할다중접속(CSTDMA) 방식을 사용하고 국제해사기구에서 정하는 성능요구사항 중 일부만 만족하면 된다.

5.1.1.1.10 한편, 선박용 AIS(Class A)는 제한된 주파수의 통신활용을 극대화하기 위하여 자기조정 자동시분할 다중접속방식(SO-TDMA ; Self-Organized Time Division Multiple Access)을 이용하여 AIS 자료를 전송하는 방식을 채택하고 있다.

5.1.1.1.11 SO-TDMA 방식의 특성상 선박밀집도가 높은 해역이나 선박·기지국·해당 해역의 통신환경 등에 따라 AIS 항적이 누락될 수도 있는 것으로 파악⁵⁴⁾되고 있다.

5.1.1.2 진도 부근의 AIS 기지국 현황

5.1.1.2.1 우리나라는 국제협약에 따라 2014년 7월 현재 전국 연안에 AIS 기지국 42개소와 14개 운영국(VTS 센터)을 구축하여 운영 중이며, 전국의 AIS 기지국을 통하여 수신된 선박위치자료는 전국 통합망에 연계되며, 해양수산부의 해양안전종합시스템(GICOMS) 등을 통해 일반인에게 제공되고 있다.

5.1.1.2.2 세월호 사고가 발생한 진도해역에는 목포항 VTS가 관할하는 흑산도와 가거도에, 진도 연안VTS가 관할하는 서거차도와 어란진(해남)에 AIS 기지국이 각각 설치되어 있다.

5.1.1.2.3 세월호 사고해역으로부터 서거차도 기지국은 약 10km, 어란진 기지국은 약 53km, 흑산도 기지국은 약 76km, 가거도 기지국은 약 78km 각각 떨어져 있다.

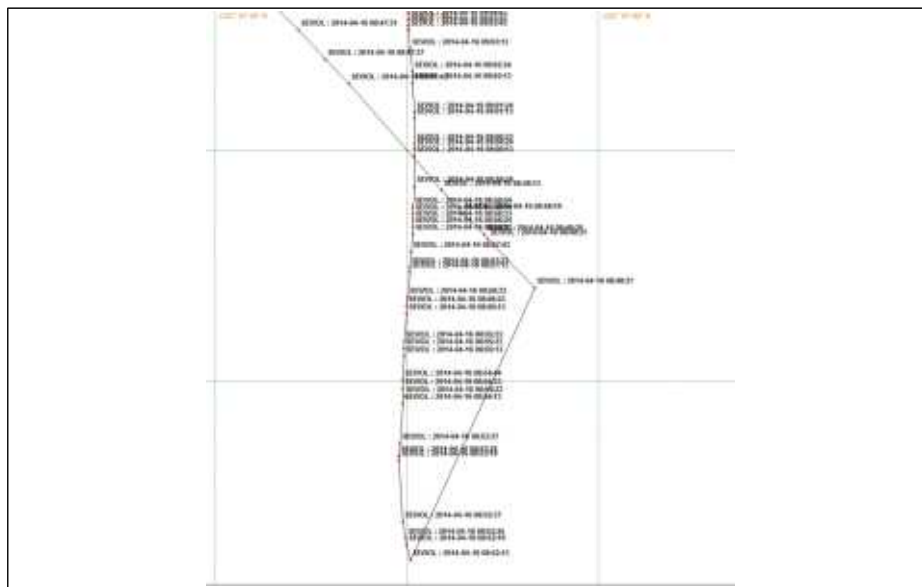
54) 김병옥, 한국항해항만학회 2013년 공동학술대회 논문집, P351~353 참조

5.1.1.2.4 각 기지국은 선박이 송신한 AIS 자료를 수신하여 관할 VTS 센터에 있는 지역 서버로 전송하고, 지역 서버에서 다시 대전 소재 정부통합전산센터에 있는 AIS 중앙서버로 전송하게 된다.

5.1.1.3 세월호의 최초 공개 항적의 3분 36초간 누락 구간

5.1.1.3.1 언론을 통해 처음 공개된 [그림 7]의 세월호 사고 발생 시점의 항적⁵⁵⁾은 5.1.1.2.2의 GICOMS 시스템에서 추출한 것으로써 이 항적을 확인한 결과 4월 16일 08시48분37초부터 08시52분13초까지(3분36초) 세월호의 항적이 누락된 것으로 밝혀졌다.

[그림 7] 최초 공개된 세월호의 항적도



5.1.1.3.2 이에 대한 주요원인은 사고 당일 03시 37분부터 09시 30분까지

55) 물(유체) 위에서 항해하는 일반적인 선박은 수상 제트스키나 육상의 자동차 등과 같이 제자리에서 침로(운동방향)나 속력을 급격하게 바꾸는 것이 현실적으로 불가능하므로 이 항적은 정상적으로 항해한 선박의 항적으로 보기 어렵다.

AIS 중앙서버(대전 정부통합전산센터)에 있는 AIS 데이터베이스에 선박 항적정보를 저장하는 기능이 지연되는 현상이 발생하였던 것으로 파악되었다⁵⁶⁾.

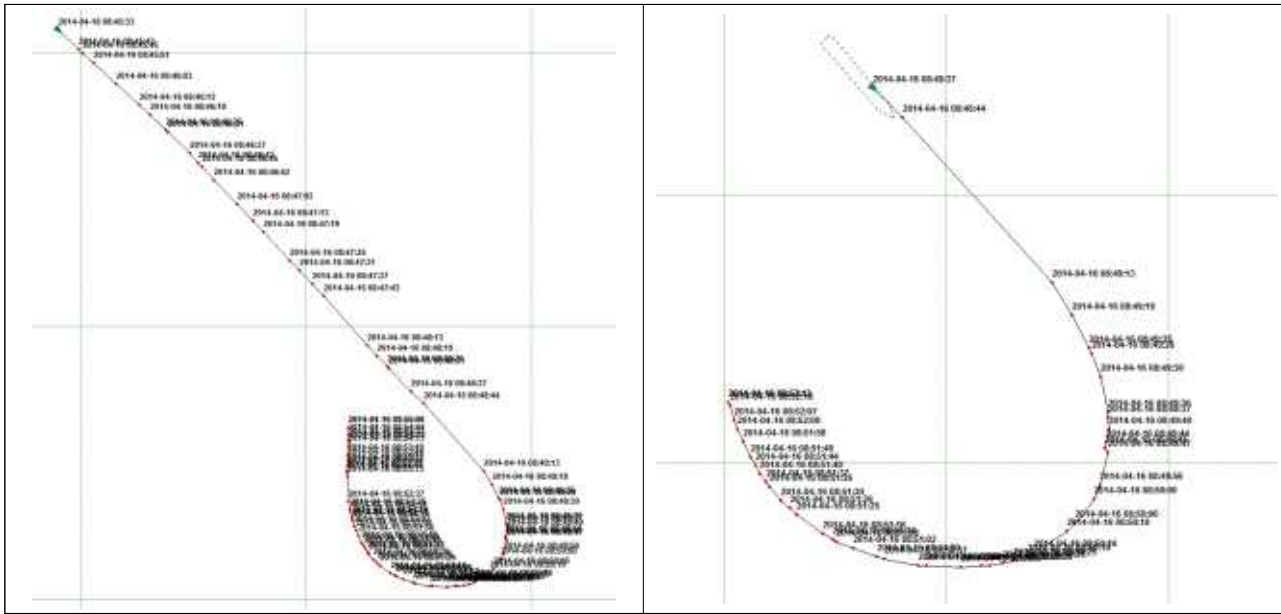
5.1.1.3.3 이에 따라, 사고 해역 인근에 위치한 AIS 수신국 중 하나인 목포항 VTS센터의 AIS 서버에 저장된 원문 데이터를 수집하여 세월호의 항적에 대한 복원을 실시하였다.

5.1.1.3.4 아울러, 목포항 VTS센터의 원문 데이터와 진도 연안VTS센터의 AIS 서버에 저장된 원문 데이터를 수집하여 추가적인 항적을 복원하였다.

5.1.1.3.5 이러한 복원과정을 통하여 최초 항적에서 누락된 3분36초 구간에 [그림 8] 과 같이 총 43개 위치신호가 존재하고 있음을 확인하였다.

56) AIS 시스템의 안정적 운영을 위해 2014년 4월 1일 정부통합전산센터의 서버(AIS DB, 통합게이트웨이 등) 이중화 작업을 실시하였고, 동 이중화 작업으로 신규 통합 게이트웨이의 일부 포트에서 데이터 전송량이 불규칙적으로 증가하여 항적정보 저장이 지연된 것으로 파악됨

[그림 8] 3분 36초 구간을 복원한 세월호의 항적도



5.1.1.4 세월호 항적 복원 후 29초간 자료 누락 구간

5.1.1.4.1 위 5.1.1.3.5에 의해 복원된 [그림 8]의 항적을 보면, 08시 48분 37초부터 49분 13초까지 29초 구간에는 세월호의 AIS 선박위치가 나타나지 않고 있다.

5.1.1.4.2 이 구간은 세월호가 2차 변침을 막 시작하거나 그 직전으로 추정되는 시간대로 볼 수 있다.

5.1.1.4.3 이 시간대에 사고 해역을 운항한 선박 4척의 AIS 항적을 분석한 결과, 1척(두우 패밀리호)은 정상적이었으나 2척(삼영호, 202동경호)에서 30초 이상 AIS 위치자료가 수신되지 않았고, 나머지 1척(두라에이스호)에서도 20초 이상 수신되지 않는 구간이 존재하였다.

5.1.1.4.4 이러한 AIS 선박위치자료의 일시적인 미수신은 IMO 기술기준 등과는 일치하지 않지만, 비슷한 시간대에 같은 해역을 운항하는 다른 선박에서도 유사한 현상이 발생한 것을 보면, VHF 전파방해에 의한 것이나 AIS 기계적인 특성 등에 의해 가끔 발생할 수 있는 현상으로 판단된다.

5.1.2 진도 연안VTS 센터의 레이더 항적 분석

5.1.2.1 VTS 센터의 레이더는 레이더 안테나에서 발사한 전파가 목표물에 반사되어 오는 시간차를 측정하여 목표물과의 거리를 계산하고 안테나의 방향에 의해 목표물의 방위가 결정되는 원리⁵⁷⁾이다.

5.1.2.2 진도 연안VTS 레이더의 안테나는 약 3초에 한 바퀴를 회전하므로 중간에 장애물이 존재하지 않는다면 선박 위치를 AIS 보다 더 짧은 간격으로 얻을 수 있는 이점이 있다.

5.1.2.3 반면, VTS 시스템은 레이더 반사파 영상 면적의 중심을 선박 위치로 인식하기 때문에 레이더 안테나와 선박과의 상대적인 위치 변화, 즉 선박의 위치는 동일하더라도 선박의 선수방위가 바뀌면 레이더의 반사파 강도나 면적도 변화하므로 VTS 시스템이 인식하는 선박의 위치에 약간의 미미한 오차가 불가피하게 발생한다.

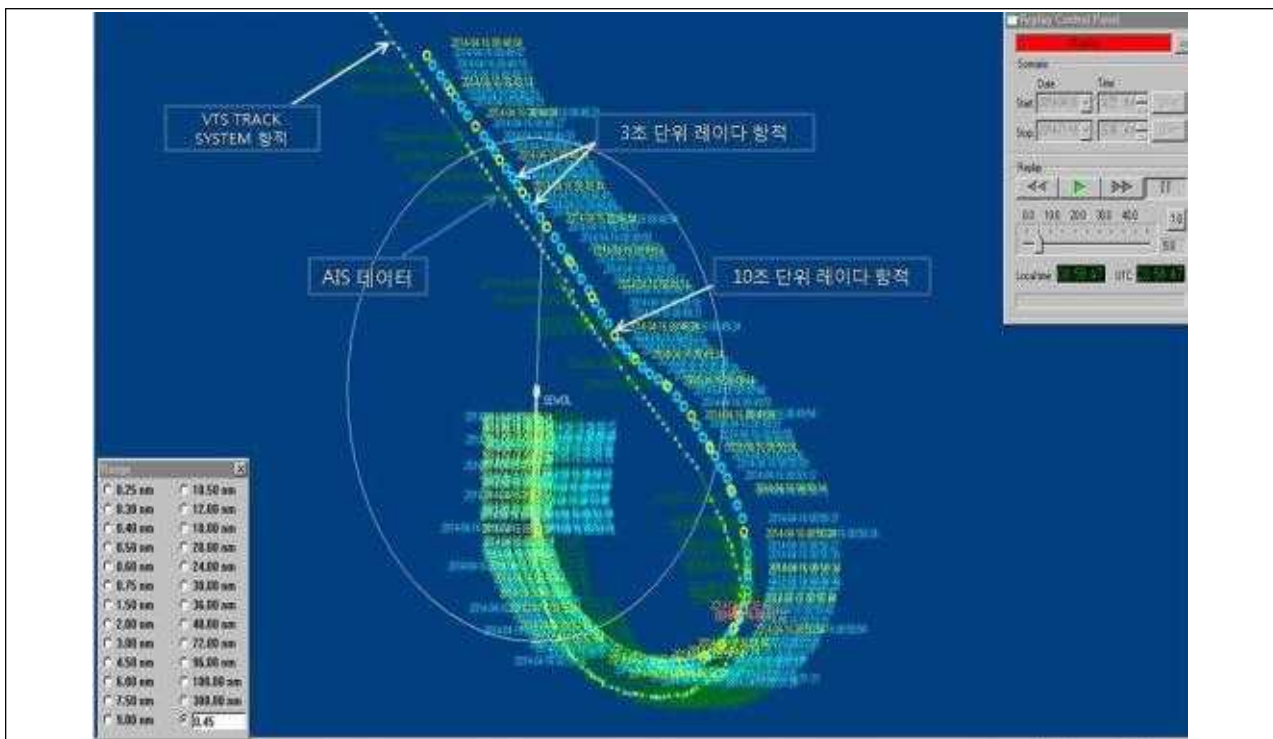
5.1.2.4 그러나, AIS는 선박의 위치를 AIS 안테나 위치로 설정된 값에

57) 레이더 항적은 선박의 실제 움직임을 나타낼 뿐이지 선박의 실시간 선수방위를 표현하지는 못한다.

의해 동일하게 반영되므로 선수방위가 바뀌더라도 선박 위치에는 변화가 없다⁵⁸⁾).

5.1.2.5 VTS 시스템의 레이더에 의한 위치정보가 그 특성상 약간의 오차를 포함하고 있지만 선박 궤적의 전반적인 움직임 추이를 파악하는 데는 큰 영향이 없으므로 5.1.1.4의 AIS 위치정보 누락 구간에 진도 연안VTS의 서거차도 레이더 항적을 한 화면에 같이 나타내면 [그림 9] 와 같다.

[그림 9] AIS 데이터 및 서거차도 레이더 위치기반 항적 중첩 화면



* 10초 단위 레이더 위치자료(노란색)는 VTS 서버에 저장되어 있던 자료이며, 3초 단위 레이더 위치자료(하늘색)는 선박항적재생시스템에 의한 선박위치를 표출한 자료이다.

5.1.2.6 AIS 제조업체 등의 의견⁵⁹⁾ 등을 종합 검토한 결과, 세월호 AIS 항적의

58) 정태권 · 이은방, 「항해기기론」 (세종출판사), 347면 참조

선수방위 이상 급변 구간(08시 49분 44초부터 46초까지, 침로 199도→213도→191도 급변)은 당초 AIS 자료를 송신시간 기준으로 정렬했던 것을 수신시간 기준으로 다시 정렬하여(침로 191도→199도→213도), 레이더 항적에 나타난 위치와 상대적으로 비교해 볼 때 이상항적 구간은 없는 것으로 판단된다.

5.1.3 소결

5.1.3.1 최초에 공개된 세월호의 항적 [그림 7] 은 선박의 운동특성상 비정상적인 항적으로써 사고 현장 인근에 위치한 AIS 기지국의 AIS 서버에 저장된 자료를 복원하면 [그림 8] 과 같이 일반적인 선박의 선회 항적과 유사한 항적을 얻을 수 있었다.

5.1.3.2 그리고, [그림 8] 의 항적이 AIS 위치정보 간격이 비정상적으로 큰 구간과 아주 짧은 시간에 선수방위가 이상 급변하는 구간을 포함하고 있지만 5.1.2.6에서 기술한 바와 같이 진도 연안 VTS의 레이더 항적과 비교해 보면, 두 항적은 유사한 운동성향을 나타내면서 세월호 항적에 특이점이 없다는 것을 알 수 있다.

5.1.3.3 [그림 7] 과 [그림 8] 에서와 같은 오류는 세월호 사고와 관련되어 특이하게 발생한 것이 아니라, 선박측 AIS 송신부, AIS 기지국의 수신부, 기지국과 주 서버간의 네트워크 전송 등에서 일시적으로 발생할 수 있는 AIS의 기계적인 특성 등에 의한 것으로 추정된다.

59) AIS 자료는 기지국이 수신한 순서대로 정렬하는것이 일반원칙이라는 의견 제시

5.2 암초 등 수중물체와 충돌 · 좌초설

5.2.1 세월호가 운항한 항로 주변 사고해역에 대한 해도에서 암초나 수심이 낮은 곳을 찾을 수 없으며, 주변 수심이 약 30미터 이상을 유지하고 있기 때문에 선미 최대 흘수인 약 6.6미터를 고려하면 암초 등과의 선저 접촉 가능성은 없다고 본다.

5.2.2 세월호가 인천항을 출항할 당시 배수톤수는 약 9,718.97톤으로 이 정도 크기의 선박과 수중물체가 부딪친다면 그 수중물체는 심각한 파손을 당했을 것이며, 세월호의 선체에 그 충돌 흔적이 명확히 남아 있어야 한다.

5.2.3 하지만, 전복된 세월호의 언론 촬영화면 등에 따르면 선저면이나 구상선수부 등에서 손상부위가 발견되지 않았기 때문에 사고 발생 초기 등에 세월호가 암초 등 수중물체와 충돌에 의해 사고가 발생하였다는 일부의 의견은 사실이 아닌 것으로 본다.

5.3 조타기 고장설

5.3.1 세월호 사고 발생 초기 조타기 이상으로 타가 제대로 작동되지 않아 선박이 급선회를 하였거나 급선회하는 것을 막지 못하였다는 의견이 있었다.

5.3.2 그리고, 일부 선원들이 과거에 운항할 때 조타 조종시스템(Auto Pilot)의 경보장치에 경보음(Alarm)이 발생한 적이 있었다는 진술도 있었다.

5.3.3 이러한 조타설비의 고장 가능성에 대하여 세월호에 설치된 Auto Pilot와 조타유압장치의 제작사 및 서비스 업체, 세월호 Auto Pilot 전기설비 관련 수리를 시행한 업체 등에 대한 자문을 실시하였다.

5.3.4 자문 결과, 조타유압설비의 솔레노이드 밸브(Solenoid valve)⁶⁰⁾가 열린 상태에서 고착되면 타가 극전타(타각 35도)될 가능성과 Auto Pilot의 전기회로 등에 이상이 발생할 가능성은 존재하지만, 사고 당시 타각지시기(Rudder Angle Indicator)가 정상적으로 작동⁶¹⁾되었다는 당직 조타수의 진술이 있으므로 조타설비는 정상적으로 작동된 것으로 보아야 한다.

5.3.5 사고가 발생한 이후 세월호의 타가 한쪽 방향으로 치우치지 않고 가운데 위치에 놓여 있는 것을 보면, 위 5.3.4의 조타유압설비의 솔레노이드 밸브가 고착되지 않았음을 증명한다.

5.3.6 또한, Auto Pilot에서 발생한 이상신호(No Voltage Alarm⁶²⁾)는 전원이 공급되지 않아 발생한 것이 아니고, 보조 Relay 기기의 접점 불량에 의한 것으로 4월 10일경(사고발생 6일 전) 해당 부품을 교체한 후 정상 작동되었음이 확인되었다.

60) 조타기 사용에 의한 전기적 신호에 따라 타를 작동하기 위한 유압의 흐름을 제어하는 밸브로 이해할 수 있다.

61) 타각지시기는 타축(rudder post)이 실제 움직인 각도를 표시하며, Auto Pilot와는 독립되어 있다.

62) No Voltage Alarm은 Auto Pilot의 여러 가지 경보신호 중 Auto Pilot에 전원이 실제로 공급되지 않는 경우와 전기회로상 접촉 불량으로 인한 경우 등에 발생할 수 있다.

5.3.7 세월호 조타설비의 실물 조사결과 등에 의한 상반된 증거가 제시되지 않는 상황에서, 관련 선원들의 진술이나 설비업체의 자문 등을 종합하면, 사고 발생 당시 세월호의 조타설비에는 문제점이 없었던 것으로 판단된다.

5.4 사고 이전 선체이상 등에 의한 항해정지설

5.4.1 세월호가 맹골수도에 진입하기 전 군산 앞바다 등의 해역에서 정선하는 등 정상적인 운항을 하지 않았다는 의견이 일부 언론 등을 통하여 제기되었다.

5.4.2 세월호의 AIS 항적을 살펴보면, 세월호는 인천항을 출항하여 태안군 옹도를 2014년 4월 16일 00시 35분경 통과한 이후 약 17~21노트 속력을 유지하면서 사고지점까지 정상적으로 항해하였다.(3.2.2 참조)

5.4.3 세월호는 충청남도 태안군 옹도로부터 세월호 사고지점까지 약 156마일 거리를 약 08시 15분(00시 35분부터 08시 50분까지) 동안 약 18.9노트로 항해한 것으로 나타났다.

5.4.4 이러한 항해속력은 기관을 정지하지 않고 정상적인 항해속력으로 운항할 때 얻을 수 있는 결과치라고 할 수 있다.

5.4.5 또한, 선원들도 사고 이전에 선박이 정지한 적이 없다는 것을 인정하고 있다.

5.4.6 따라서, 사고가 발생하기 전에 세월호가 항해를 정지하는 등

문제가 있었다는 의혹은 세월호의 AIS 운항항적 분석 등에 따라 배제하는 것이 바람직하다.

5.5 마주오는 선박 등을 피하기 위한 급선회설

5.5.1 맹골수도를 지나 병풍도를 통과하면서 새로운 침로로 변침하는 과정에서 마주오는 선박이나 교차하는 선박 등과 충돌을 피하기 위하여 급선회를 하는 과정에서 사고가 발생하였다는 의견이 제기되기도 하였다.

5.5.2 동 시간대에 사고해역을 통행한 선박의 AIS 항적이나 인근을 항해한 선박의 레이더 영상 등을 비교해보면, 세월호가 2차 변침을 하는 시점에 가장 가까이 있는 선박(어선 한수호)은 전방 3.55마일에서 북쪽방향으로 항행 중이었으며, 세월호가 변침을 하지 않고 침로와 속력을 그대로 유지할 경우 양 선박간 최근접 거리는 약 0.9마일로 통과하게 되어 있었다.

5.5.3 그리고, 세월호의 서측 방향으로 진행하던 선박이 있었으나 이 선박은 이미 세월호의 진행방향을 08시 45분경 1.5마일 거리로 통과하였으므로 두 선박간의 교차 가능성은 없다고 할 수 있다.

5.5.4 이러한 정황 등을 고려하면, 세월호가 다른 선박 등과의 충돌을 피하기 위하여 급박하게 급선회하여야 할 타당한 근거는 없다고 본다.

5.6 맹골수도의 협수로 여부 및 선장의 직접 지휘의무 구간 여부

- 5.6.1 맹골도와 서거차도 사이 맹골수도는 길이 약 2.6마일, 가항 폭 (몽덕도와 서거차도)이 약 2.2마일 정도 되며, 남해안과 서해안을 연결하는 항로상에 위치하고 있다.
- 5.6.2 협수로에 대한 정의는 국제해상충돌예방규칙이나 우리나라의 해사안전법(제67조에서 ‘좁은 수로’로 규정하고 있다)에 명시되어 있지 않으나, 일반적으로 가항수역이 충분하지 않아 대각도 변침 회두에 의한 피항동작이 곤란하여 양 선박이 자유롭게 통과할 수 없는 항로를 의미⁶³⁾한다고 할 수 있다.
- 5.6.3 협수로(‘좁은 수로’)에 대하여 여러 학설과 판례가 존재하고 있으며, ‘좁은 수로’의 해당여부는 통항선박의 크기 뿐 만 아니라 선박 통항량, 지리적 조건 등을 고려하여 판단하여야 한다.
- 5.6.4 이러한 사정을 반영할 경우, 맹골수도가 ‘좁은 수로’에 해당되는지에 대하여 다양한 주장이 있을 수 있고, 결론을 도출할 실익도 크지 않다고 판단된다.
- 5.6.5 그러나, 세월호 사고가 발생한 지점은 맹골수도로부터 약 5마일 정도 떨어진 곳으로 병풍도 이외에 약 5마일 범위에 암초 등의 자연적인 장애물이 존재하지 않으므로 ‘좁은 수로’로 간주하는 것은 타당하다고 보기 곤란하다.
- 5.6.6 한편, 「선원법」 제9조는 선박이 항구를 출입하거나 좁은 수로를

63) 김인현, 「해상교통법」(삼우사, 2013년), 149면, 윤점동, 「국제해상충돌예방규칙 및 관련된 국내법규 해설」(세종출판사, 2012년), 102면 등 참조

지나갈 때 또는 그 밖에 선박에 위험이 생길 우려가 있을 때에는 선장이 선박의 조종을 직접 지휘하도록 규정하고 있다.

5.6.7 이러한 취지는 세월호의 운항관리규정(제6장 제4항)에도 반영되어 있다.(2.7.3.6 참조)

5.6.8 세월호 사고가 발생한 해역은 선박 교통이 밀집되는 지역으로 사고 당시 당직 항해사인 3등항해사의 경력을 고려하면, 선장이 직접 지휘하거나 3등항해사의 조선을 감독하여야 하는 해역으로 규정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

5.7 선장의 퇴선명령 지시 여부

5.7.1 선장 이모씨가 퇴선명령 취지의 지시를 하였다고 하는 주장 (3.5.1.16 주석 참조)에 대하여 살펴보고자 한다.

5.7.2 진도 연안VTS와의 VHF 통화(09시 26분경)를 통하여 해양경찰 경비정이 10분 이내에 세월호에 도착한다는 사실을 인지하고 있던 1등항해사 강모씨가 약 09시 32분~36분경 선장 이모씨에게 ‘승객들 탈출시킵니까’라고 물어보자 ‘따뜻하게 입고 나가라고 해라’라고 선장이 대답하였다⁶⁴).

5.7.3 선장의 대답을 듣고 있던 2등항해사 김모씨가 무전기로 사무장 양모씨에게 이런 내용을 1회 일방적으로 통보하였다.

64) 1등항해사가 선장에게 ‘이제 퇴선해야 되겠습니다’라고 말하니까, 선장이 ‘그래, 사무부(객실 승무원)에도 연락하고, 선원들도 이제 탈출해라’라고 대답하였다는 진술도 있다. 선장은 ‘구명동의를 입고 선내 대기하라’는 지시가 퇴선준비 명령이었다고 진술하였다.

- 5.7.4 그러나, 2등항해사 김모씨는 사무장 등으로부터 이러한 통보에 대한 응답을 듣지 못하였으며, 실제로 여객들에 대한 선내 방송도 이루어지지 않았다.
- 5.7.5 또한, 만약 선장의 여객퇴선 지시가 있었다면, 선원들은 비상배치표에 따라 여객들을 대피장소로 유도한 후 구명뗏목을 작동시켜 여객들이 탈출할 수 있도록 여객을 도와야 하나, 선원들에 대한 비상배치 지시도 없이 선원들만 퇴선하였다.
- 5.7.6 선장이 퇴선지시를 하였다는 것을 인정한다고 하더라도, 5.7.5의 정황과 선장이 여객부 승무원에게 이러한 지시가 제대로 전달되었는지, 여객이 지시에 따라 대피하고 있는지 확인도 하지 않은 점, 일부 선원의 경우 여객 대피지시가 제대로 전달되지 않았다는 것을 인식하고 있었다는 점 등을 고려하면 선장 등 선원들이 여객을 퇴선 시키려고 하는 의지는 없었다고 보는 것이 합리적이다.

6. 사고원인

6.1 안전하게 운항할 수 있는 선박복원성 기준 미달

6.1.1 세월호는 국내도입 후 객실 증설 등 개조에 따른 복원성 악화(무게중심 51cm 증가)로 화물 적재량은 대폭 감소(최대 2,437톤 → 987톤)하였고 선박평형수 적재량은 대폭 증가(최소 307톤 → 1,703톤)하여, 선박복원성 기준을 충족하기 위해서는 최소 약 1,703톤의 선박평형수와 최대 약 987톤의 화물만을 적재하고 운항하여야 한다.

6.1.2 그러나, 세월호는 2014년 4월 15일 인천항 출항 당시 선박평형수는 약 761톤으로 적게 실은 반면, 화물은 약 2,143톤으로 과다하게 적재하였다.

6.1.3 이러한 화물 및 선박평형수 적재로 인하여 4.2.4.1 및 4.2.4.2와 같이 인천항 출항 당시에는 G_0M 과 횡경사각에 따른 복원정 곡선의 합계면적은 요건을 만족하지만 경사우력정에서의 횡경사각, 선회경사우력정 횡경사각, 10도에서의 복원정 및 바람 및 파도에 의한 전복력 대비 복원력의 비가 요건을 충족하지 못하는 것으로 나타났다.

6.1.4 따라서, 세월호는 인천항 출항 당시 선박복원성 일부 기준을 만족하지 못하였고, 이후 연료유, 청수 등의 사용 등으로 말미암아 사고 당시에는 선박복원성이 더욱 악화된 상태였다.

6.1.5 4.2.4.14에서 기술한 바와 같이 사고 당시 세월호의 복원성이 더

나뻛을 가능성이 있다고 본다.

6.2 부적절한 조타에 의한 급선회 및 과도한 선체 횡경사 발생

6.2.1 선회에 의한 경사우력정(외방경사)은 속력의 제곱에 비례하기 때문에 일반 화물선보다 속력이 대략 1.5배 이상 빠른 세월호는 외방경사 모멘트가 일반 화물선보다 약 2.2배 이상 커지게 된다.

6.2.2 선박이 선회할 때 발생하는 외방경사 모멘트를 줄이기 위해서는 속력을 줄이거나 타를 소각도로 나누어서 여러 차례 사용하여야 한다.

6.2.3 그러나, 세월호 사고 당시 당직 조타수는 타각을 필요 이상의 대각도를 사용하였거나 타각을 장시간 유지함으로써 선회 각속도를 제대로 제어하지 못하고 선체의 급격한 회두를 야기하였다.

6.2.4 선체의 급격한 우회두에 따라 세월호는 15~20도 가량 좌현으로 크게 횡경사하게 되었다.

6.2.5 사고 당시 세월호(속력 19노트)의 추정 G_0M 0.38미터를 기준으로 한 타각 사용에 따른 선체의 횡경사각 모의실험 결과를 보면, 우현 20도 타를 80초 정도 사용하였을때 선체 횡경사는 약 20도에 이르게 되는 것으로 나타났다.

6.3 고박불량에 의한 화물의 이동 · 전도

6.3.1 세월호는 인천항 출항 당시 승용차에는 고박 밴드를 4개, 25톤 화물차에는 고박 밴드를 10개, 컨테이너에는 수직 · 수평용 고정장치(Twist lock 또는 Bridge fitting)를 사용하는 등 차량 및 화물 고박 배치도에 의한 고박기준을 제대로 이행하지 않았다.

6.3.2 사고 당시 세월호가 초기 횡경사되었을 때 마찰정지력이 적은 화물이나 차량들, 또는 고박장치가 불량한 화물들이 옆으로 밀리거나 전도되기 시작하게 되었다.

6.3.3 세월호가 더 기울어지면서 화물고박장치가 파손된 대부분의 차량이나 화물이 좌현으로 쏠리거나 전도되었다.

6.4 선체 횡경사 심화에 따른 복원력 부족으로 침수 · 전복

6.4.1 선회에 의한 횡경사와 화물의 이동에 의한 무게중심의 횡방향 이동이 연이어 일어나면서 세월호는 복원력을 상실하게 되었다.

6.4.2 시간이 지남에 따라 선체는 더 기울어지고 세월호 현측의 개구부 틈 등을 통하여 바닷물이 화물창, 기관실 및 객실 등 선내로 유입되었다.

6.4.3 이로 인해 선체는 더 침하되면서 계속 기울어져 좌현으로 전복되었으며, 그 후 부력을 완전히 상실하고 침몰하였다.

6.5 선원의 승객대피 조치 미이행 등에 따른 대규모 인명피해 발생

6.5.1 사고가 발생한 이후 선장 등 선원은 사고발생 사실을 제주항 VTS 등에 보고하였으나, 정작 여객을 대피장소로 유도하거나 퇴선 조치를 취하지 않았다.

6.5.2 비상상황에 대비하여 세월호에 비치된 구명동의와 구명뗏목을 활용하여 퇴선도 가능한 상황이었으며, 이것이 불가피하였다면 최소한 여객을 대피장소로 유도하는 조치는 취했어야 했다.

6.5.3 사고 당시 기상여건이나 전복까지 걸린 시간 등을 감안할 경우, 선장 등 선원이 사고가 발생한 이후에 적절한 조치를 취하였다면 인명피해는 극소수에 그쳤을 것으로 짐작할 수 있다.

6.5.4 더구나 가장 늦게 퇴선하여야 할 선장 등 선원들은 여객에 대하여 어떠한 조치를 취하지 않은 채 가장 먼저 세월호를 퇴선한 것으로 드러났다.

6.5.6 이러한 선원의 부적절한 행위는 평소 비상시에 대한 대처 교육이나 훈련의 부족 및 직업 소명의식의 결여 등에 따른 것으로 판단된다.

6.5.7 한편, 사고현장에 도착한 해경함정 등은 세월호 밖으로 나온 여객은 구조하였지만, 선내에 머물고 있던 많은 여객을 구조하는 데 뚜렷한 성과를 내지 못했다.

6.5.8 여객 구조활동의 국민 기대에 부합되지 않은 결과 역시 대형 해상

사고에 대비한 실질적인 훈련이나 대응체계가 부족하였던 것에
기인한 것으로 보인다.

7. 제도 개선사항

7.1 사업자의 안전관리 강화 등 내항여객선 안전관리체계 개선

7.1.1 선박운항에 대한 책임은 기본적으로 사업자가 부담하는 것이 원칙이므로 선원관리 및 감독, 선사의 안전관리담당자 임명과 권한부여 등이 관련 규정에 적합하게 이루어져야 한다.

7.1.2 그러나, (주)청해진해운은 선원들이 주기적인 비상훈련을 실질적으로 실시하도록 관리하지 못하였고, 선사의 안전관리담당자가 누구인지에 대하여 관련 직원 간에 다툼이 있을 정도로 그 역할을 제대로 수행하지 못하였다.

7.1.3 또한, (주)청해진해운 물류팀에서는 본선 선장의 건의에도 불구하고 선박의 안전보다도 운항이익을 우선시하여 과도한 화물을 적재하였었다.

7.1.4 이러한 회사의 그릇된 행태를 방지할 수 있도록 내항여객선에도 선박안전관리체제 도입을 검토하는 등 사업자의 안전관리에 대한 관심과 투자를 유도하도록 할 필요가 있다.

7.1.5 한편, 운항관리자는 「해운법 시행규칙」 제15조의8 등에 따라 선장이 제출한 ‘출항 전 점검보고서’를 서면 확인하고, 여객선의 승선정원 초과 여부 및 화물의 적재한도 초과 여부를 확인하는 등 연안여객선의 안전관리업무를 담당하고 있다.

7.1.6 운항관리자의 업무 중 ‘출항 전 점검보고서의 서면 확인’이란 무엇을 의미하고, 운항관리자는 무엇을 해야 하는지에 대하여 다양한 의견이 표출될 수 있다.

7.1.7 중소형 여객선의 경우에는 화물의 적재상태 등을 점검하는 것이 용이하지만, 카페리선박을 점검하는 데에는 상당한 시간이 소요된다.

7.1.8 또한, 도서지역의 연륙교와 연도교 등의 건설에 따라 차도선형 여객선의 기점과 종점이 기존 도심의 여객선터미널에서 외곽지역으로 옮겨가면서 운항관리자의 현장점검 빈도가 줄어들 수밖에 없는 현실이다.

7.1.9 따라서, 이러한 문제점을 해소하기 위하여 운항관리자의 업무와 역할을 보다 더 명확히 규정하는 한편, 운항관리자의 배치 등 연안여객선의 전반적인 안전관리체계에 대한 개선이 필요하다고 판단된다.

7.2 화물적재 완료시간 준수 및 출항 전 화물고박상태 확인 강화

7.2.1 카페리선박의 경우 출항 10분 전까지 화물적재와 고박을 완료(선수문 등 폐쇄)하도록 「여객선 안전관리지침」 제14조에 규정하고 있다.(2.8.2.6 참조)

7.2.2 세월호의 경우, 인천항 출항 직전까지 차량을 적재하였고 출항 시간에 쫓겨서 제대로 고박을 하지 못한 것으로 파악되었다.

7.2.3 화물적재 완료 후 고박상태를 확인하고 미비점을 보완할 수 있는 충분한 시간이 있어야 하나, 카페리선박은 출항시간이 정해져 있으므로 출항작업이 우선시되고 화물고박에 대한 확인 작업은 뒷전으로 밀릴 수밖에 없는 상황이다.

7.2.4 이러한 사례를 방지하기 위하여 「여객선 안전관리지침」의 출항 전 화물적재 종료시간을 더 앞당기거나 개별 선박의 운항관리규정에 이를 합리적으로 반영할 필요가 있다.

7.2.5 이러한 조치를 통해서 하역작업이 끝나기 전에 선장이 운항관리자에게 ‘출항 전 점검보고서’를 미리 제출하고 출항 후에 화물적재량 등을 통보하였던 문제점도 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

7.3 차량 및 화물고박 장치도에 대한 선원과 하역작업자 교육

7.3.1 개별 선박마다 차량 및 화물고박장치도는 화물을 적재할 수 있는 공간, 화물종류 및 최대적재량 등이 다르게 승인되어 있다.

7.3.2 세월호의 선원들은 차량 및 화물고박 장치도에 따른 화물창 위치별 적재 가능 화물, 고박방법 등에 대한 이해가 거의 없는 상태이었다.

7.3.3 세월호의 하역작업을 담당하는 하역업체 근로자들도 역시 화물고박 장치도에 대하여 숙지하지 못하고 있었다.

7.3.4 비록, 화물고박장치도가 세월호의 화물창에 비치되어 있었지만, 선원이나 하역근로자는 이를 세밀하게 살펴보지 않았기 때문에

고박장치도에 따라 고박을 제대로 이행할 수가 없었다.

7.3.5 최소한 카페리선의 화물담당 선원과 하역근로자에 대해서는 차량 및 화물고박장치도에 대한 교육을 실시함으로써 이러한 문제점을 해소할 필요가 있다고 본다.

7.3.6 또한, 선박에 적재되는 차량이나 화물의 무게를 확인할 수 있는 계근대를 부두에 설치하는 등의 방법으로 적재가 허용되는 중량인지, 고박장치를 몇 개 설치하여야 하는지, 선박에 적재된 화물의 총 중량이 얼마인지 등을 확인할 수 있는 방안을 검토할 필요가 있다고 판단된다.

7.4 카페리선박의 조종특성 및 여객대피에 대한 선원 교육 실시

7.4.1 유조선이나 가스운반선 등에 승선하고자 하는 선원은 이들 선박 운항에 필요한 특별교육을 받아야 한다.

7.4.2 이러한 측면에서 카페리 선박은 일반적인 화물선과는 운항형태나 복원성 등이 다르므로 항해사 등에 대한 별도의 교육을 실시할 필요가 있다고 판단된다.

7.4.3 외항 여객선의 경우에는 비상시 많은 여객이 안전하게 탈출하는데 필요한 전문적인 교육을 받도록 요구하고 있다.(STCW협약)

7.4.4 일정 규모 이상의 여객이 승선하는 연안 카페리선박의 선원들은 여객이 탈출통로를 따라 질서정연하게 이동하도록 여객을 유도

하고 통제할 수 있는 전문적인 교육을 받을 필요가 있으며, 이러한 교육중에는 비상상황에서 선교(기관실) 근무팀의 지식, 경험 및 이용 가능한 자원 모두를 활용하고 조정하는 능력을 배양하는 내용이 포함될 필요가 있다.⁶⁵⁾

7.5 대형 연안선박 및 여객선의 항해사 등 자격규정 강화

7.5.1 「선박직원법 시행령」 제22조제1항 및 「선원업무 처리지침」(해양수산부 훈령) 제18조에 따른 국내 여객선에 승선하는 선박직원에 대한 최저승무기준을 살펴보면, 대형선박에 대한 세분화가 되어 있지 않다.

7.5.2 즉, 아무리 큰 연안선박이라도 총톤수 3천톤 이상이거나 주기관 추진력이 3천킬로와트 이상이면 여객선의 선장은 2급항해사, 기관장⁶⁶⁾은 3급기관사 면허만 갖추면 법적기준을 충족한다.

7.5.3 이에 반해, 원양구역을 운항하는 선박은 총톤수 1천600톤이상이거나 주기관 추진력이 6천킬로와트 이상이면 여객선의 선장은 1급항해사, 기관장은 1급기관사 면허를 갖도록 요구하고 있다.

7.5.4 한편, 총톤수 3천톤 이상의 연안선박은 그 크기에 관계없이 선장을 포함한 3명의 항해사만 승선하면 되지만, 원양수역을 운항하는 총톤수 1천600톤이상의 선박은 그 크기에 따라 면허 등급

65) STCW 2010 마닐라 개정협약에서 모든 항해사와 기관사는 2016년 말까지 Leadership and Teamwork 교육을 이수하도록 요구하고 있다.

66) 기관사의 면허등급은 여객선이나 일반선박이나 그 기준이 같다.

이 높은 4명의 항해사가 승선하여야 한다.

7.5.5 세월호와 같이 연안항로에도 대형선박이 많이 운항을 하고 있는 현실과 많은 여객이 승선하는 여객선에 대하여는 선박직원의 자격 기준을 강화할 필요가 있다고 판단된다.

7.6 여객선 선박복원성 확보를 위한 관련규정 강화

7.6.1 현행 선박안전법령에서는 선박의 주요치수(장, 폭, 심) 변경시에만 정부로부터 허가를 받도록 되어 있어 세월호 증축 등 개조시 정부로부터 허가를 받지 않은 것으로 나타났다.

7.6.2 따라서, 여객선 선박복원성 확보를 위해서는 복원성 약화를 초래하는 개조시 정부로부터 허가를 받도록 관련 규정을 강화할 필요가 있다고 판단된다.

7.6.3 선박검사기관이 승인하는 선박복원성자료는 해당 선박이 운항할 수 있는 개연성이 있는 화물 등의 적재조건이 선박복원성기준에 적합한지 여부를 확인해주는 과정으로 선박복원성자료에서 검토된 화물적재 조건과 다를 경우에는 선장이나 항해사가 복원성기준에 맞는지 직접 계산하여 확인하여야 한다.

7.6.4 외항 화물선의 경우 화물을 적재할 항구에 입항하기 전에 미리 적재할 화물의 명세를 받아서 화물적재계획(Stowage plan)을 수립하고 복원성기준에 적합한지 여부를 확인하고 있다.

7.6.5 그러나, 내항선박의 경우, 특히 세월호와 같은 카페리선박의 경우에는 출항 직전까지 적재할 차량이 확정되지 않으며, 확정된다고 하더라도 내항 선원의 여건상 직접 복원성을 계산하여 그 적합 여부를 판단하는 것이 현실적으로 곤란하다.

7.6.6 이러한 현실을 고려하여, 일반적인 선박과 다르게 화물을 적재 하더라도 선박평형수를 적재하여야만 선박복원성기준을 충족하는 선박은 그 선박복원성자료 등에 안전항해를 위해 필요한 최소 선박 평형수 적재량 등을 명시하여 선원, 선사 관계자, 운항관리자 및 관계기관 등이 쉽게 인지할 수 있는 방안을 검토할 필요가 있다고 판단된다.

7.7 선박검사 점검항목표 보완 등 선박검사 강화

7.7.1 선박안전법령에 의하여 카페리선이나 화물선 등에는 승인된 수량의 화물고박장치를 선박에 비치하고 고박방법도 준수하여야 한다.

7.7.2 그러나, 한국선급의 선박검사 점검항목표에는 화물 고박장치가 포함되어 있지 않아 현장 검사원이 이를 제대로 점검하였는지 확인하기 곤란하다.

7.7.3 세월호에는 강하식 탑승장치가 선교갑판에 비치되어 있으나, 여객 비상소집장소는 A 갑판과 B 갑판으로 지정되어 있어 B 갑판에 모인 여객은 강하식 탑승장치를 이용하는데 지장을 초래하게 되어 있다.

7.7.4 한국선급은 여객 비상소집장소를 지정할 때 여객이 강하식 탑승

장치에 쉽게 접근할 수 있도록 하여 비상시 이용하는데 불편함이 없도록 좀 더 세밀히 검토할 필요가 있다고 판단된다.

7.8 화물고박장치의 성능기준 강화(조치완료)

7.8.1 2014년 9월 11일 개정 이전 「카페리선박의 구조 및 설비 등에 관한 기준」에 의하면, 연해주역 항해선박의 고박장치는 횡경사 20도(일본은 25도)까지 견딜 수 있으나 기상이 나쁠 경우에는 30도 이상 경사하는 경우도 있으므로 승인기준을 강화⁶⁷⁾할 필요가 있다.(2.6.2.4 및 6.2.6참조)

7.8.2 한편, 카페리선박 이외의 일반 선박의 화물적재 고박 등에 적용되는 「화물적재고박 등에 관한 기준」은 외항 화물선에는 적용되지만, 내항화물선에는 적용되지 않고 있으며 구체적인 고박기준 등이 없는 상황이다.

7.8.3 이 사고와 직접적인 관련은 없지만, 향후 사고를 예방하기 위하여 내항화물선의 산적화물 등에 대한 고박기준 등을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

7.9 구명동의를 퇴선장소(여객집합장소)에 비치(조치완료)

7.9.1 국제해사기구(ICS)는 카페리선박에서 비상상황이 발생하였을 경우 객실 밖에 머물러고 있던 여객이 구명동의를 착용하기 위하여 객실로

67) 연해주역 이상을 항해하는 선박의 차량고박장치의 횡경사 안전기준을 25도로 강화하도록 관련 규정을 2014년 9월 11일 개정하였다.

되돌아갈 필요가 없도록 충분한 수의 구명동의를 여객집합장소에 비치하도록 별도의 규정을 두고 있다.(SOLAS협약 제3장 제26.5.1규칙)

7.9.2 세월호의 경우에도 여분의 구명동의를 여객 집합장소 부근에 비치되어 있었다면 구명동의를 없는 사람을 위해서 본인이 착용한 구명동의를 주고 객실로 다시 돌아가는 일은 없었을 것이다.

7.9.3 세월호와 같이 많이 인원이 승선하는 여객선은, 내항 여객선 일지라도 국제협약의 취지에 따라 객실 밖 비상소집장소에 일정 수량의 구명동의를 비치할 필요⁶⁸⁾가 있다고 판단된다.

7.10 VTS간 유기적인 연계체제 구축(추진 중)

7.10.1 인천, 평택 및 대산 등 출입항로를 같이 사용하는 인접 항만의 VTS간에는 연계체제가 구축되어 있다.

7.10.2 최근에 구축되기 시작한 연안 VTS는 지리적 여건상 항만 VTS와는 연계체제가 부족한 현실이다.

7.10.3 세월호는 진도 연안VTS 관제구역을 통항하였지만, 진도 연안VTS에 통과보고를 제대로 하지 않았었고 사고 당시에 사고장소에서 먼 곳인 제주항 VTS에 사고사실을 먼저 보고하였다.

7.10.4 향후, 세월호 사고와 유사한 사고의 예방을 위하여 연안 VTS의

68) 카페리여객선에는 최대승선인원의 5퍼센트에 해당하는 구명조끼를 소집장소 부근(여객실 외부)에 추가로 분산 비치하도록 관련 규정을 2014년 12월 24일 개정하였다.

관제구역을 운항하는 여객선에 대하여는 집중된 관제가 필요하며, 인근 연안 VTS와 항만 VTS간에 연락체계 등을 정립할 필요가 있다고 판단된다.

7.10.5 또한, 연안 VTS 관할구역을 통과하는 여객선은 연안 VTS에 통과 보고 등을 하도록 운항관리규정에 반영할 할 필요가 있다고 본다.