

[특별조사 2021-005]



해양사고 특별조사보고서

- 자동차운반선 골든레이호 전도사고 -

사고일자 : 2019.09.08.

공표일자 : 2021.11.29.

중앙해양안전심판원 특별조사부

참고사항

우리나라(선원국), 미국(연안국) 및 마셜제도공화국(기국)은 상호 합의하에 이 전도사고에 대해 공동조사를 수행하였고, 이 조사 결과를 토대로 미국 교통안전위원회(NTSB)가 “자동차 운반선 골든레이호 전도사고” 사고조사보고서를 공표하였습니다.

중앙해양안전심판원은 이 전도사고의 발생 원인과 교훈 등을 국내 자동차 운항선사 및 선박종사자 등과 공유하기 위하여 미국의 조사보고서를 한글로 번역하여 발간하였습니다. 아울러, 자동차운반선의 안전운항을 위해 개선이 필요하다고 판단되는 사항에 대해서는 국내 자동차 운항선사 등이 쉽게 인식하고, 개선할 수 있도록 권고사항으로 식별하여 보고서 서두에 첨부하였습니다.

이 보고서는 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」 제18조의3에 따라 해양사고의 원인을 규명하고 사고 교훈을 공유함으로써 향후 유사한 해양사고 발생을 방지하기 위하여 작성되었으므로, 해양사고에 대한 책임을 묻거나 비난하기 위한 근거로 활용될 수 없습니다.

자동차운반선 안전운행을 위한 권고

권고 사항

우리나라의 다른 자동차운반선에서도 골든레이호 전도사고 조사결과 식별된 위험요인을 개선할 수 있도록 다음과 같이 권고한다.

- ① 복원성 계산과정에서 발생할 수 있는 오류를 바로 잡을 수 있도록 선장과 회사 담당자가 담당사관의 복원성 계산결과를 검증하는 절차를 마련할 필요가 있다.
- ② 복원성 계산 담당사관이 복원성 계산능력을 충분히 갖출 수 있도록 복원성에 대한 교육 및 훈련을 강화할 필요가 있다.
- ③ 선원이 다른 선박에 승선하더라도 복원성 계산 컴퓨터를 쉽게 사용할 수 있도록 선대 전체에 유사한 형식의 복원성 계산 컴퓨터를 사용하는 것이 바람직하다.
- ④ 출항 전 수밀문 폐쇄여부 확인 절차(체크리스트)가 제대로 이행되도록 하여야 한다.

NTSB/MAR-21/03

PB2021-100930

67379호

2021년 8월 26일 채택

해양사고보고서

- 자동차운반선 골든레이호 전도사고 -

[조지아주 브런즈윅 인근 브런즈강
세인트 시몬스 해협, 2019년 8월]



미연방교통안전위원회

490 L'Enfant Plaza SW Washington, DC 20594

2021년 미연방교통안전위원회. 자동차운반선 골든레이호 전도사고 (조지아주 브런즈윅 인근 브런즈윅강 세인트 시몬스 해협, 2019년 8월) 해양사고보고서 NTSB/MAR-21/03. 워싱턴 DC: NTSB

초록: 본 보고서는 2019년 9월 조지아주 브런즈윅 인근 세인트 시몬스 해협을 통해 출항하다 전도된 자동차운반선(로로선) 골든레이호 전도사고에 대한 조사 보고서다. 사고 당시 선박에는 승무원 23명과 도선사 1명이 승선 중이었으며 승무원 2명은 중상을 입었고 기관부원 4명은 기관실과 기관제어실에서 약 40시간 동안 고립되었다가 구조되었다. 이 선박은 전손(全損)처리되었다. 총 선박손실금과 화물손실금은 각각 6,250만 달러와 1억 4,200만 달러로 추산된다. 본 보고서에서는 부적절한 선박 복원성 계산과 해당 업무에 대한 선박관리회사의 감독 부족을 안전 문제로 확인하였다. NTSB는 본 사고 조사의 일환으로 선박관리회사인 지마린 서비스에 두 가지 권고사항을 제시하였다.

미연방교통안전위원회(National Transportation Safety Board, NTSB)는 항공과 철도, 고속도로, 해상 및 파이프라인 분야의 안전성 향상을 위한 독립 연방기관이다. 1967년 설립된 NTSB는 1974년 미국 연방의회로부터 독립안전위원회법(Independent Safety Board Act)에 준거하여 교통사고 조사, 사고의 원인 규명, 안전권고 사항 발표, 교통안전 문제 조사, 교통 분야 관련 정부기구의 안전 효율성 평가 등의 권한을 부여받았다. NTSB는 사고조사와 안전성 연구, 특별조사보고서 작성 및 안전권고 사항 제안, 통계적 검토 등을 통해 조치를 이행하고 결정을 내리고 이를 공개한다.

NTSB 규정에 명시된 바와 같이 NTSB의 “(준)사고 조사는 형식상 문제와 반대 당사자 없이 진상을 규명하는 법적 절차이며 ... 누구의 권한이나 책임을 결정하려는 목적으로 수행되지 않으며” 사고나 준사고에 대한 책임을 묻거나 비난하기 위함이 아니다(CFR 제49편 831.4절). 잘못이나 법적 책임을 묻는 것은 사고와 준사고를 조사하고 안전권고 사항을 제안하여 교통 안전성을 높인다는 NTSB의 법적 임무와 관련이 없다. 또한, 본 보고서에서 언급된 사고로 유발된 손해배상 민사소송에서 사고와 관련된 NTSB 보고서의 일부를 활용하거나 증거로 채택하는 행위는 법적으로 금지된다(USC 제49편 1154(b)절).

본 조사에 대한 추가적인 배경정보는 NTSB 사례분석 및 보고(Case Analysis and Reporting Online, CAROL) 홈페이지에서 NTSB 사고 ID DCA19FM048을 검색하여 얻을 수 있다. 그

외 기타 발행물에 대한 정보도 해당 홈페이지를 방문하거나 아래 주소로 연락하여 받을 수 있다.

[주소]

미연방교통안전위원회 기록물관리부서(NTSB Records Management Division)
CIO-40 490 L'Enfant Plaza, SW Washington, DC 20594
(800) 877-6799 or (202) 314-6551

NTSB의 모든 발행물의 사본은 미국 국립기술보고서도서관(National Technical Reports Library, NTRL) 검색창에서 제품번호 PB2021-100930을 사용하여 국가기술정보서비스(National Technical Information Service, NTIS)로 무료로 다운로드 받을 수 있다.

[주소]

국가기술정보서비스(NTIS) 5301 Shawnee Rd.
Alexandria, VA 22312
(800) 553-6847 or (703) 605-6000
NTIS 홈페이지

목차

| | |
|---------------------------------|-----|
| 목차 | iii |
| 그림·표 목차 | vi |
| 용어 및 약어 | vii |
| 개요 | 2 |
| 사고 개요 | 2 |
| 추정 원인 | 2 |
| 안전 문제 | 3 |
| 조사 결과 | 3 |
| 권고 사항 | 4 |
| 1. 사실 정보 | 6 |
| 1.1 사고 경위 | 6 |
| 1.2 비상 대응 | 12 |
| 1.2.1 고립 선원 구조 | 14 |
| 1.2.2 인명 피해 | 16 |
| 1.3 피해 사항 | 17 |
| 1.4 전자 데이터 검토 | 17 |
| 1.4.1 복원성 계산 컴퓨터 | 17 |
| 1.4.2 항해자료기록장치(VDR) | 17 |
| 1.4.3 통합모니터링경보제어체제(IMACS) | 18 |
| 1.5 선박 제원 | 18 |
| 1.5.1 선박 건조 및 배치 | 18 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 1.5.2 선급 및 검사 | 22 |
| 1.6 인적 정보 | 23 |
| 1.6.1 선장 | 23 |
| 1.6.2 일등항해사 | 23 |
| 1.6.3 도선사 | 23 |
| 1.7 운항 | 24 |
| 1.7.1 선박의 안전관리체제(SMS) | 24 |
| 1.7.2 선상 훈련 | 25 |
| 1.7.3 화물 작업 | 25 |
| 1.8 복원성 | 30 |
| 1.8.1 국제비손상복원성기준(2008 IS Code) | 30 |
| 1.8.2 NTSB의 성능 연구 | 30 |
| 1.8.3 해양안전센터(MSC) 분석 | 31 |
| 1.8.4 사고 후 추가 분석 | 36 |
| 1.8.5 교통연구위원회(TRB) | 37 |
| 1.8.6 SOLAS 개정 | 37 |
| 1.9 수로 정보 | 37 |
| 1.9.1 일반 사항 | 37 |
| 1.9.2 항행수로 조사 | 38 |
| 1.10 기상 정보 | 38 |
| 1.11 사고 후 조치 | 39 |
| 1.11.1 미국 해안경비대(USCG) | 39 |
| 1.11.2 마셜제도공화국(RMI) | 39 |
| 1.11.3 지마린 서비스 | 39 |
| 2. 사고 분석 | 42 |
| 2.1 서론 | 42 |
| 2.2 선박 복원성 | 44 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 2.2.1 선박 횡경사 | 44 |
| 2.2.2 선박 복원성과 선적 상태 | 46 |
| 2.2.3 선박 복원성 계산 | 46 |
| 2.3 선사의 관리 감독 | 48 |
| 2.3.1 훈련 | 48 |
| 2.3.2 심사 절차 | 49 |
| 2.4 침수 | 51 |
| 3. 결론 | 54 |
| 3.1 조사 결과 | 54 |
| 3.2 추정 원인 | 55 |
| 4. 권고 사항 | 57 |
| 4.1 신규 권고 사항 | 57 |
| 5. 부록 | 59 |
| 부록 A: 조사 | 59 |
| 부록 B: 강화된 권고 사항 | 59 |
| 부록 C: 복원성 원칙 | 60 |
| 부록 D: 골든레이호 선박 평형수탱크 | 63 |
| 참고문헌 | 65 |

그림·표 목차

| | |
|---|--------|
| [그림 1] 자동차운반선 골든레이호 모습 | 6 |
| [그림 2] 골든레이호 항적 | 9 |
| [그림 3] 9월 7일 플로리다주 잭슨빌을 출항하는 골든레이호 | 10 |
| [그림 4] 선미에서 바라본 골든레이호 선교 | 12 |
| [그림 5] 기울어진 후 좌초된 골든레이호 선미 | 13 |
| [그림 6] 기관실과 기관제어실 출구 간략도 | 14 |
| [그림 7] 고립된 기관부원 구조작업 | 16 |
| [그림 8] 골든레이호 측면도 | 19 |
| [그림 9] 골든레이 평형수탱크 간략도 | 19 |
| [그림 10] 수밀문 개폐 표시반 | 20 |
| [그림 11] 5번 갑판 선미 부분 상부 간략도 | 21 |
| [그림 12] 탈출 통로와 좌현 중앙부 계단통로 간략도 | 22 |
| [그림 13] 사전적부계획 | 27 |
| [그림 14] NTSB가 실시한 골든레이호의 성능 연구 그래프 | 31 |
| [그림 15] 선적 상태 비교 | 32 |
| [그림 16] MSC가 도출한 복원정곡선 | 33 |
| [그림 17] MSC가 도출한 이론상 복원정곡선 | 35 |
| [그림 18] 실버레이호 복원성 계산 컴퓨터로 계산한 복원정곡선 | 36 |
| [그림 C-1] 선박을 안정적으로 만들거나 전도시킬 수 있는 힘 | 62 |
| [그림 D-1] IMACS의 평형수시스템 데이터 | 63 |
| [표 1] 골든레이호 사고 인명 피해 | 16 |

용어 및 약어

| | |
|--------------|--|
| 2008 IS Code | 국제비손상복원성기준(International Code on Intact Stability, 2008) |
| GM | 메타센터 높이 |
| IMACS | 통합모니터링경보제어체제 (Integrated Monitoring, Alarm, and Control System) |
| IMO | 국제해사기구(International Maritime Organization) |
| KG | 수직무게중심 |
| KMST | 중앙해양안전심판원(Korea Maritime Safety Tribunal) |
| MSC | 미국 해안경비대 해양안전센터(US Coast Guard Marine Safety Center) |
| NOAA | 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration) |
| RMI | 마셜제도공화국(Republic of the Marshall Islands) |
| Ro/Ro | 로로선 |
| SMS | 선박의 안전관리체제 |
| SOLAS | 국제해상인명안전협약 (International Convention for the Safety of Life at Sea) |
| T&S | 트림 및 복원성 |
| TRB | 교통연구위원회(Transportation Research Board) |
| VDR | 항해자료기록장치 |

section



개요

개요

사고 개요

마셜제도공화국(RMI) 국적의 길이 656피트(200미터)의 자동차운반선(로로선) 골든레이호(Golden Ray)는 차량 적·양하 작업을 마친 다음 날인 2019년 9월 8일 약 01시 00분경(미국 동부 하절기 시간이며, 이하 같다.) 미국 메릴랜드주 볼티모어(Baltimore)로 향하기 위해 조지아주 브런즈윅항(Brunswick) 콜로넬스 아일랜드 터미널(Colonel's Island Terminal)을 출항하였다. 선박이 브런즈윅항을 통해 세인트 시몬스 해협(St. Simons Sound)으로 빠져 나가는 동안 브런즈윅항 소속 도선사가 선박을 도선하였다. 도선사는 선박을 두 차례 좌선회하였고, 오른쪽으로 선회하여 대서양으로 이어지는 플랜테이션 크릭 구간(Plantation Creek Range)으로 선박이 진입하자 도선사는 조타수에게 우현으로 조타 할 것을 명령하였다. 그러자 선박은 우선회하면서 좌현으로 급격하게 기울기 시작했다.

도선사와 선장은 배가 기울어지지 않도록 신속하게 조타명령을 내리기 시작했다. 그러나 경사는 계속 되었으며 선회각속도(rate of turn, ROT)는 우현으로 증가하였고, 결국 선박은 1분도 채 되지 않아 좌현으로 약 60도 기울었다. 당시 열려 있던 좌현측 도선사 출입문을 통해 5번 갑판으로 해수가 유입되었고 열려 있던 수밀문을 통해 기관실과 조타기실이 침수되었다. 선박은 결국 좌현 횡경사각 90도로 전도되었다.

미국 해안경비대(US Coast Guard, USCG)는 브런즈윅항의 예인선과 도선선, 조지아주 천연자원부(Georgia Department of Natural Resources)와 글린 카운티(Glynn County)의 구조대원, 씨 토크(Sea Tow) 선박과 함께 사고에 대응하였다. 도선사와 23명의 선원 중 19명이 먼저 대원들에 의해 구조되었다. 나머지 기관부 승조원 4명은 구조대원들이 선체를 절단한 9월 9일 저녁까지 기관실에 고립되었다. 선원 2명이 중상을 입었으며 전체 선박손실액과 화물손실액은 각각 약 6,250만 달러와 1억 4,200만 달러로 추산되었다.

추정 원인

미연방교통안전위원회(National Transportation Safety Board, NTSB)는 골든레이호의 일등항

해사(일항사)가 선박 복원성 계산 컴퓨터에 평형수 양을 잘못 입력한 것을 전도사고의 추정 원인으로 판단하였다. 일항사는 위 과실로 인해 결국 선박 복원성을 잘못 계산하였고 골든레이호는 세인트 시몬스 해협을 통해 브런즈윅항을 빠져 나가면서 선회 중에 발생한 경사에 대한 충분한 복원정(righting arm) 값을 가질 수 없었다. 또한, 선박관리회사인 지마린 서비스(G-Marine Service Co. Ltd.)사의 안전관리체계(safety management system, SMS)에 복원성 계산을 검증하는 유효한 절차가 부족했던 것도 이번 사고 발생에 기여하였다.

안전 문제

본 사고에서 확인된 안전 문제는 다음과 같다.

- **선박복원성 계산 오류.** 선박관리회사인 지마린 서비스는 골든레이호의 복원성 계산 컴퓨터(LOADCOM) 담당 항해사에게 복원성 계산 컴퓨터 사용교육을 시행하지 않았다. 이 회사의 SMS에는 복원성 계산을 포함한 일항사의 직무는 기술되어 있었으나 복원성 계산 컴퓨터 사용 지침은 없었으며 프로그램 사용에 필요한 역량을 요구하지 않았다. 이 회사가 컴퓨터 사용교육을 시행하지 않았기에 일항사가 선박의 복원성을 정확하게 판단하는 직무를 수행할 수 있는지 확인할 수 없었다. 사고 후 지마린 서비스는 일항사를 대상으로 선박 복원성 계산교육을 의무화하는 등 안전성을 개선하고 유사 사고의 발생 가능성을 줄이기 위한 일련의 정책을 이행하였다.
- **선박 복원성 계산에 대한 선박관리회사의 감독 부족.** 일항사는 복원성 계산을 담당한 유일한 선원이었다. 그는 선박 복원성을 계산한 후 선장과 회사에 출항 보고서를 통해 최종 메타센터 높이(metacentric height)를 보고하였으나 선장과 회사, 어느 누구도 그의 계산값이 복원성 요건을 충족하는지 검증하지 않았다. 회사에는 복원성 계산값을 검증하는 절차가 없었고 결국 선장과 회사 모두 골든레이호가 사고항차와 이전의 두 항차 동안 복원성 요건을 충족하지 않은 채 항해했던 사실을 알지 못했으며, 선원이나 회사가 문제를 확인하고 시정할 수 있는 수단도 없었다.

조사 결과

- 다음 사항은 이 사고발생에 대한 안전 문제로 식별되지 않았다.
 - (1) 기상
 - (2) 선박평형수 또는 연료 이송

(3) 추진 및 조타장치

(4) 선내 화물 이동

(5) 선박을 좌초시킬 수 있는 수로 내 항행장애물

(6) 화물창 화재

- 골든레이호는 11번 여유수역(widener)에서 68도 우선회를 시도하는 동안 좌현에서 발생한 경사모멘트(heeling moment)에 상응하는 충분한 복원력을 확보하지 못하여 전도되었다.
- 선박은 콜로넬스 아일랜드 터미널에서 출항할 당시 국제복원성기준을 충족하지 못했으며 실제 복원력은 일항사의 계산값보다 더 낮았다.
- 일항사는 복원성 계산 컴퓨터(LOADCOM)에 평형수 양을 잘못 입력하였고 그로 인해 복원성이 잘못 산출되었다.
- 회사에서는 일항사가 능숙하게 선박의 복원성 계산 컴퓨터(LOADCOM)를 사용하고, 복원성 계산 직무를 잘 수행하도록 보장하는 조치가 없었다.
- 출항 전 항해사가 계산한 복원성 값의 정확성에 대한 회사의 관리 감독과 그 값을 심사하고 검증하는 절차의 부족으로 골든레이호는 국제복원성기준을 충족하지 못했다.
- 골든레이호가 기울어지자 5번 갑판의 열려 있던 수밀문을 통해 해수가 유입되었고 기관실의 주요 출구가 차단되었다.

권고 사항

신규 권고 사항

이 사고 조사 결과 NTSB는 다음의 두 가지 권고 사항을 새롭게 제안한다.

지마린 서비스:

회사의 안전관리체제(SMS)를 개정하여 복원성 계산을 검증하는 절차를 확립하고 선박이 출항 전 복원성 요건을 충족할 수 있도록 심사 절차를 이행하라. (M-21-012)

안전관리체제(SMS) 심사 절차를 개정하여 수밀문 폐쇄와 관련한 선원의 입출항 체크리스트(Arrival/Departure Checklist) 준수 여부를 확인하라. (M-21-013)

section

1

사실 정보

1. 사실 정보

1.1 사고 경위

자동차운반선(로로선) 골든레이호는 2019년 9월 8일 약 01시 37분경 브런즈윅항에서 우선회를 시도하다 전도¹⁾되었다. 선원 23명과 도선사 1명 중 2명이 중상을 입었으며 나머지 22명의 상태는 양호하였다. 선박과 화물은 화재와 침수, 해수로 인한 부식으로 상당한 손상을 입었다.

2019년 8월 27일 마셜제도(RMI) 국적의 길이 656피트(200미터)인 로로선 골든레이호는 화물(차량) 중 일부를 양하하고 새로운 화물을 선적하기 위해 텍사스주 프리포트(Freeport)에 입항하였다. 골든레이호는 총톤수 71,178톤(국제총톤수²⁾ 기준), 전폭 116피트(35.4미터)로 7,742대 차량을 선적할 수 있다(그림 1 참고). 당시 선박에는 선장과 일등항해사를 포함하여 선원 23명이 승선하였다.



출처: USCG

[그림 1] 사고 발생 전 자동차운반선 골든레이호 모습

1) 더 자세한 정보는 본 보고서의 “사실 정보 및 분석”을 참고하라. 또한, 사고기록물(Accident Dockets) 링크(<https://www.nts.gov/Pages/default.aspx>)에 접속하여 NTSB 사고조사(사건번호 DCA19FM048) 관련 공개된 기록물에서 추가 정보를 확인할 수 있다. 안전권고 사항에 대한 정보는 같은 홈페이지 내 안전권고 데이터베이스(Safety Recommendation Database)를 참고하라.

2) 국제총톤수(ITC)는 선박톤수측정에 관한 통일된 국제기준을 설정하기 위해 체결된 1969년 국제선박톤수측정협약(International Convention on Tonnage Measurement of Ships, ITC)에서 정의한 국제측정협약에 따라 측정된 선박의 총톤수를 의미한다.

8월 28일 새로운 선장이 골든레이호에 승선하여 이전 선장과 교대하였다. 교대과정에서 선장 2명은 선박 일정과 선내 식량, 선박과 화물상태, 그리고 기타 인적 사항을 중점적으로 살펴보았다. 새로운 선장은 이전 선장으로부터 인계받는 동안 선박이나 선원 관련 어떤 문제도 보고된 바 없었다고 진술하였다.

8월 30일 골든레이호는 텍사스주 프리포트를 출발하여 조지아주 브런즈윅으로 향하였고, 이후 플로리다주 잭슨빌(Jacksonville)과 메릴랜드주 볼티모어에 기항하기로 되어 있었다. 그러나 프리포트 출항 직후 선박의 용선자인 현대글로벌비스사(Hyundai Glovis Co. Ltd.)는 선장에게 허리케인 도리안(Dorian)이 플로리다 동부 해안으로 북상하고 있음을 알렸다. 선장은 허리케인을 직면할 것으로 예상하고 선박 복원성을 높이기 위해 일항사에게 평형수를 추가로 주입하도록 지시하였다(정확히 얼마나 더 주입할지 명시하지 않음). 일항사는 이중저 평형수탱크 3개(5번 좌현, 중앙 및 우현)와 6번 중앙 평형수탱크에 해수 약 1,500톤을 주입하는 것을 감독하였다(선박 평형수탱크 배치 관련 제1.5.1장 선박 건조 및 배치 참고). 이후 골든레이호는 9월 1일부터 3일까지 플로리다주 키 웨스트(Key West) 해안에서 허리케인이 지나가기를 기다렸다.

9월 3일 용선자는 선장에게 브런즈윅 대신 잭슨빌로 항해할 것으로 지시하였다. 잭슨빌 입항 전 해당 항만의 선박대리점은 해당 항만에 홀수제한이 있다고 알렸다. 일항사는 항만 요건에 따라 골든레이호 홀수를 9.4미터(약 31피트) 미만으로 줄이기 위해 8월 30일 허리케인 때문에 평형수를 주입했던 탱크에서 해수 약 1,500톤을 다시 배출하였다.

며칠 후 선박은 잭슨빌항에서 화물 일부를 적·양하하였다. 그리고 2019년 9월 7일 5시 10분경 선박은 잭슨빌을 출항하여 브런즈윅으로 향했다. 선박에 적재된 총 화물무게는 8,407.2톤으로, 차량 4,067대가 선적되어 있었으며 배수량은 35,044톤, 중앙 홀수는 30.9피트(9.4미터)가 되었다.

같은 날 오후 골든레이호는 브런즈윅 외항에 도착하였으며 14시 53분경 입항을 위해 브런즈윅 도선사협회(Brunswick Bar Pilots Association) 소속 도선사 1명이 승선하였다. 도선사와 선장은 통항을 논의하기 위해 선장/도선사 간 정보를 교환(master/pilot exchange)하였다. 정보교환 후 도선사는 선박을 조선하여 17시 36분 브런즈윅항의 콜로넬스 아일랜드 터미널 제1선석에 선박을 접안시켰다. 선박이 내항으로 진입하는 동안 도선사나 선원이 어떠한 문제점도 식별하지 못했다.

접안 후 육상인력과 선원들은 선미램프를 통해 화물 작업을 시작하였다. 일항사는 모든 차량이 제대로 적재 및 고박되었는지 확인하는 업무를 담당하였다. 이때 화물 작업과 관련하여 육상인력이나 선원에 의해 식별된 문제는 없었다.

화물 작업은 23시 30분에 완료되었고 일항사는 출항준비를 감독하였다. 일항사의 진술에 따르면 그는 5번 좌현 이중저 평형수탱크에서 5번 우현 이중저 평형수탱크로 평형수 8톤을 옮겼고, 그 결과 부두에서 선박의 경사는 좌현 0.42도에서 우현 0.03도로 변경되었다.

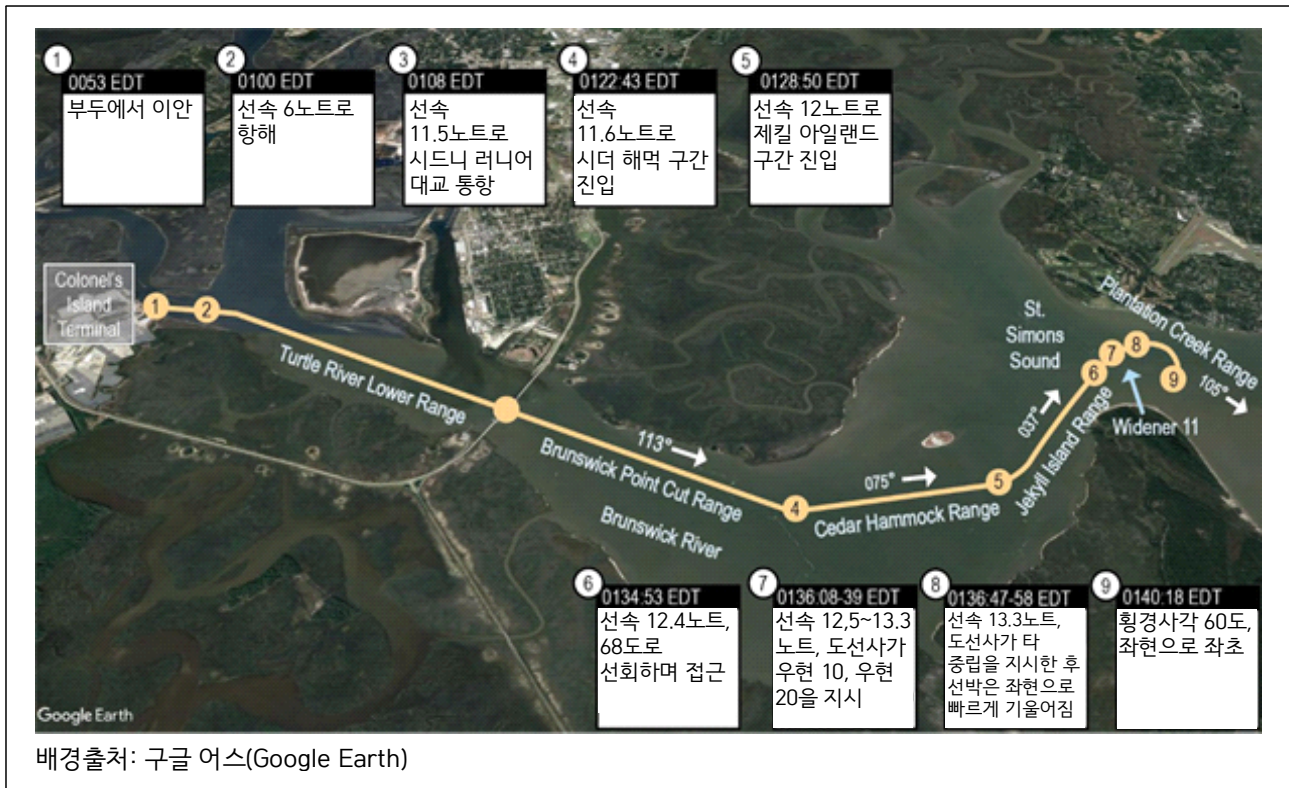
9월 8일 약 00시 30분경, 골든레이호가 브런즈윅항에 입항할 때 승선하였던 도선사가 출항을 위해 다시 승선하였다. 선장/도선사 간 정보교환을 하는 동안 도선사는 골든레이호의 흘수를 하루 전 입항 당시와 동일한 것으로 언급하였다(도선사 카드에 따르면 선수흘수는 30.8피트(9.4미터), 선미흘수는 31.2피트(9.5미터)로 이는 수심 36피트인 수로에서의 선저여유수심(underkeel clearance, UKC) 최소값 기준인 3피트를 충족시킴). 선박의 배수량은 34,609톤, 중앙부 흘수는 30.8피트(9.4미터)였다.

약 00시 53분경 도선사는 계선줄을 풀고 예인선 도로시 모란호(Dorothy Moran)의 도움을 받아 골든레이호 이안 작업을 시작했다. 브런즈윅항의 여타 도선사들처럼 이 도선사 역시 휴대용 도선장비(Portable Pilot Unit, PPU)를 사용하였다. 이 장비는 조류와 수심 정보뿐 아니라 골든레이호의 선수방위와 속도, 기타 인접 선박의 선회각속도를 보여주는 선박자동식별장치(AIS) 인터페이스와 해도정보를 제공한다. 모든 계류삭을 풀고 난 후 도선사는 항로초인부이(Sea buoy) 바깥쪽과 수로를 통해 통항하기 위해 조타명령과 엔진명령을 내렸고 골든레이호는 우현 선미에서 예인하는 도로시 모란호와 함께 조금씩 항만에서 벗어나기 시작하였다.

00시 55분경 도선사는 미속전진을 지시하였다. 약 2분 경과 후 00시 57분 11초경 도선사는 반속전진을 지시하였고 01시 00분이 되자 골든레이호는 선속 6노트 침로 113도로 터틀강 하류 구간(Turtle River Lower Range)으로 진입하고 있었다(그림 2는 선박이 브런즈윅항의 출항 당시 항적을 보여준다). 01시 02분 43초경 도선사는 전속전진을 지시하였다. 도로시 모란호는 예인줄을 풀었지만, 필요시 골든레이호를 지원하기 위해 남아 있었다. 이후 선박이 수로를 통항하는 몇 분 동안 도선사, 골든레이호 선원, 도로시 모란호 선장, 그 누구도 문제를 발견하지 못했다.

골든레이호가 출항하는 동안 또 다른 자동차운반선인 에메랄드 에이스호(Emerald Ace)가 브런즈윅항의 다른 도선사와 함께 항내로 진입하고 있었다. 두 선박에 승선한 도선사들은 무선장비로 서로 의사소통하였고 세인트 사운드 해협의 플랜테이션 크릭 구간에서 교행하기로 하였다. 이 구간은 선박이 교행 할 수 있는 가장 넓은 수역³⁾이었기에 이러한 결정은 도선사들의 통상적인 관행이었다.

3) 세인트 시몬스 해협은 콜로넬스 아일랜드 터미널의 상선용 부두와 항계 중간에 위치하며 수심은 규정수심보다 깊고 너비는 1,000피트이다. 입항하는 선박과 출항하는 선박이 있는 경우 이들이 교행하도록 세인트 시몬스 해협의 이 지점에서 선회하는 것이 현지 도선사들의 관행이다. 이 지점은 도선사들이 선박을 안전하게 교행시킬 수 있도록 여유수역을 제공하였으며 추진력 문제와 같이 안전한 통항이 어려운 경우 선박을 정박시킬 수 있는 공간이 있었다.



[그림 2] 골든레이호의 콜로넬스 아일랜드 터미널 출항 후 항적

약 01시 08분경 골든레이호가 시드니 러니어 대교(Sydney Lanier Bridge) 아래를 지날 때 도로 시 모란호는 골든레이호의 출항지원을 멈추고 입항하던 에메랄드 에이스호의 접안을 지원하기 위해 대기하였다. 골든레이호는 도선사의 명령을 따라 침로 113도로 브런즈윅 포인트 컷 구간(Brunswick Point Cut Range)을 항과하였다.

같은 시각 무렵 선장은 예정대로 항로초인부위(Sea buoy)가 위치한 외항에서 도선사가 바로 하선하도록 준비하고자 선원들에게 5번 갑판 좌현측 도선사 승하선 출입문을 개방할 것을 명령하였다(그림 3 참고). 도선사 출입문은 선측 외판에 있는 수밀형 해치로 현장의 전자/유압식 장치의 제어로 개폐된다. 해당 문은 가로 7피트(2.1미터) 세로 7피트(2.1미터)이다. 일항사는 좌현측 도선사 출입문이 열리는 것을 감독한 후 자신의 선실로 돌아갔다. 선원들은 다른 직무를 수행하기 위해 떠났고 선박이 항외로 진출할 때 개방된 도선사 출입문 주변에는 아무도 남아있지 않았다.



출처: USCG

**[그림 3] 9월 7일 약 01시 30분경 플로리다주 잭슨빌을 출항하는 골든레이호.
선체 중앙부 불빛은 열려 있던 좌현측 도선사 출입문이다.
(파란 선체의 선수와 선미에 보이는 불빛은 계류설비 위치)**

선박은 01시 22분 43초에 선속 11.6노트로 시더 해먹 구간(Cedar Hammock Range)에 도달하였다. 도선사는 침로 113도에서 075도로 좌선회(38도 변침)하여 해당 구간으로 진입하도록 좌현 20도로 조타명령을 내렸다.

좌현 변침 후 선박은 한 번 더 좌현으로 변침하여 제킬 아일랜드 구간(Jekyll Island Range)으로 진입하기까지 거리는 1.3해리(1.15 법정 마일⁴⁾)였다. 01시 28분 50초경 선속 12.1노트로 도선사는 침로 075도에서 037도로 좌선회(38도 변침)하여 해당 구간으로 진입하기 위해 다시 한 번 좌현 20도 조타명령을 내렸다. 선박은 사고 없이 좌현으로 두 차례 선회하였다.

01시 34분 53초 선속 12.4노트, 선수방위 039도인 골든레이호는 우현으로 68도 선회하여 11번 여유수역⁵⁾에 접근하였다. 도선사는 선수방위 044도를 지시하였다. 약 1분 경과 후 01시 36분 15초경 조타수는 선속 12.9노트에서 도선사에게 타각이 우현 10도임을 알렸다. 그 직후 01시 36분 39초경 도선사는 대서양으로 이어지는 침로 105도에 위치한 플랜테이션 크릭 구간으로 진입하기 위해 “우현 20도”를 명령하였다. 이에 따라 조타수는 도선사 명령에 따르기 위해 변침하였으며 당시 선속은 13.3노트였다.

4) 본 보고서에서 표기된 모든 마일은 별도의 언급이 없는 한 법정 마일을 의미한다.

5) 미육군 공병단(US Army Corps of Engineers, USACE)에 따르면 여유수역은 선박이 선회 시 더 수월하게 항해하도록 여유수역을 제공하기 위해 수로의 선회부(turn) 또는 만곡부(bend)에 위치한다.

수 초 경과 후 01시 36분 47초에 도선사는 타를 중립(타각 0도)으로 돌릴 것을 지시하였다. 조타수는 도선사 명령에 응하였고 도선사의 표현을 빌리자면 “선박이 빠르게 요동쳤다.” 01시 36분 58초 선박은 좌현으로 기울기 시작했다. 도선사의 진술을 인용하면 선박이 회두하기 시작하자 “방향이 불안정하다고 느꼈는데, 즉 내가 선회를 시작하자마자 선박은 계속해서 선회하려고 하였다.” 항해자료기록장치(voyage data recorder, VDR)에는 당시 선교에 있던 선원들이 놀라는 소리가 녹음되었고 도선사는 “지금 GM값[메타센터 높이⁶⁾]은 얼마입니까?”라고 물었다.

도선사는 횡경사 및 우현으로 급선회하는 것을 막기 위해 “좌현 10도”를 명령하였다. 도선사와 선장은 횡경사에 대응하고자 조타수에게 빠르게 추가 조타지시를 내리기 시작했다. 그러나 선박은 계속해서 빠르게 좌현으로 기울어졌으며 우현으로의 선회각속도도 증가되었다. 또한, 각종 장비들이 선교에서 움직이고 수많은 정보장치가 울리기 시작했다.

도선사는 01시 38분과 01시 39분 사이 선박이 기울지 않도록 선수 횡추진기를 켜고 엔진 역전을 명령하였다. 당시 선수방위는 135도였으며 선속은 5.3노트였다.

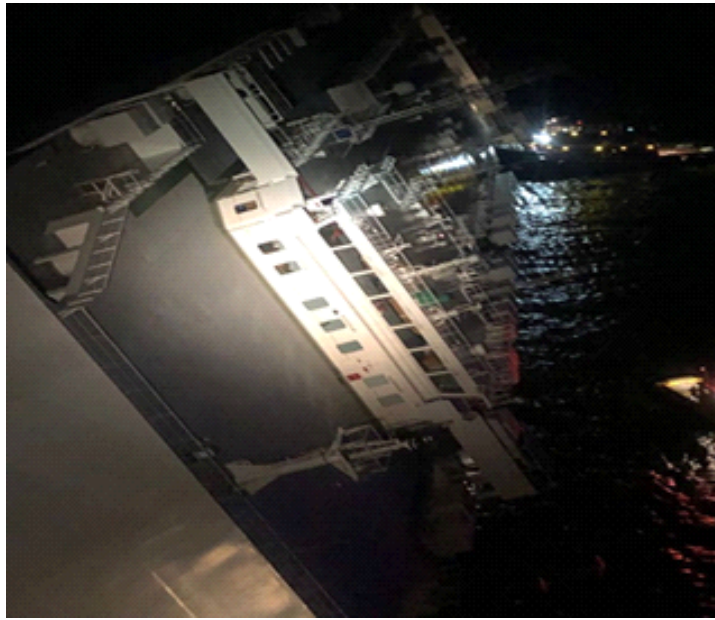
01시 40분 18초 골든레이호는 좌현으로 60도 기울어진 채 19번 부표 남동쪽에 위치한 수로 밖에서 좌초되며 멈추었다(그림 4 참고). 주추진장치와 발전기는 선박이 좌초되기 직전에 차단되었다. 전력을 상실한 후 비상용 디젤발전기가 먼저 작동되기 시작했으나 몇 분 안에 멈추었으며, 도선사와 선원이 사태를 파악하고 대응하기 시작했을 때 선박에는 전기나 조명이 들어오지 않았다. 당시 좌현측 도선사 출입문은 열려 있었고 그 문을 통해 해수가 5번 갑판으로 유입되기 시작했다.

도선사는 골든레이호가 기울어졌으며 선원들을 대피시켜야 한다는 사실을 알리기 위해 에메랄드 에이스호 도선사에게 연락하였다. 또한, 그는 선박이 “깊은 수로에서 침몰”될 수 있다는 두려움에 초단파(very high frequency, VHF) 무선장비로 도로시 모란호에 연락하여 항만에 있는 모란 토우잉사(Moran Towing, 도로시 모란호와 브런즈윅항에 있는 다른 예인선의 선주회사)에 다른 예인선을 보내달라고 요청하였다. 이후 도선사는 휴대용 무전기로 USCG 찰스턴지부(Charleston)에 연락하여 사고를 보고하고 지원을 요청하였다. 에메랄드 에이스호 도선사는 911에 연락하여 사고를 신고하였다.

6) 메타센터 높이(metacentric height, GM)는 선박의 무게중심(center of gravity, G)부터 경심(metacenter, M)까지 거리를 의미하며 선박에 전도모멘트(overturning moment)가 작용될 때 선박 스스로 원래 위치로 돌아올 수 있는 능력을 측정한다.

1.2 비상 대응

도선사가 사고를 보고하자 브런즈윅항의 도선선과 모란 토우잉사의 예인선 두 척(도로시 모란호, 안 모란호)이 현장 파견되어 지원하기 시작했다. 도선선이 상황을 파악하고 골든레이호 도선사에게 다시 보고하는 동안 예인선 두 척은 골든레이호가 미끄러져 더 깊은 곳으로 가라앉는 것을 막기 위해 선박을 강기슭 쪽으로 밀어 안착시켰다.



출처: USCG

[그림 4] 사고 발생 후 2019년 9월 8일 선수에서 선미방향으로 바라본 60도 횡경사 상태의 골든레이호의 선교

브런즈윅의 USCG(Coast Guard Boat Station Brunswick)는 911로 부터 골든레이호의 조난상황을 보고받고 약 10분이 경과한 약 01시 54분경에 45피트 구조정(CG 45741)을 파견하였다. USCG 구조정과 함께 USCG 헬리콥터(MH-65 Dolphin)도 출동하였으며, 조지아주 천연자원부와 글린 카운티의 구조대원과 씨 토우의 선박도 지원을 위해 파견되었다.

구조대원들은 약 02시 05분경 현장에 도착하기 시작했다. 구조정 CG 45741호 대원들은 골든레이호에 승선한 도선사와 무전기로 통신하던 도선선을 통해 해당 도선사와 통신 할 수 있었고 도선사는 골든레이호에 24명이 승선해 있음을 알렸다. 이후 1시간 동안 선원 11명이 소방호스를 통해 골든레이호 선교에서 CG 45741호로 내려왔다. 여기에는 도선사와 선장이 포함되어 있었으며 이들은 기관부원 4명이 아직 기관실에는 남아 있음을 구조대원에게 알렸다.

USCG 헬리콥터가 선박 우현측에서 선원 2명을 구조하는 동안 다른 구조대원들은 선원 5명을 추가로 구조하였다. 03시 00분경 브런즈윅의 USCG 지부에서 출동한 또 다른 구조정(CG 29139)이 골든레이호 선원에 대한 수색 및 구조를 돕기 위해 현장에 도착하였다. 03시 44분경 CG 45741호는 구조한 선원들을 기지로 다시 이송하기 위해 CG 29139호로 이동시켰으며 CG 45741호는 남아 있는 선원들을 계속 수색하였다.

약 04시 30분경 구조대원들은 골든레이호 우현측 차량갑판에서 연기와 불꽃을 발견하였다(그림 5 참고). 해당 화물창에는 타이어와 플라스틱 차량부품을 포함한 가연성 물질이 있었다. 구조대원들은 짙고 검은 연기와 열로 인하여 실종된 기관사들을 수색하기 위한 선내 진입이 불가능했다. 화재는 약 24시간 동안 지속되다가 자연 진화되었다.



출처: USCG

**[그림 5] 기울어진 후 좌초된 골든레이호 선미.
우현측 차량갑판에서 불꽃과 연기가 나오고 있다. 선박이 기울고 6시간 경과 후 촬영된 사진.**

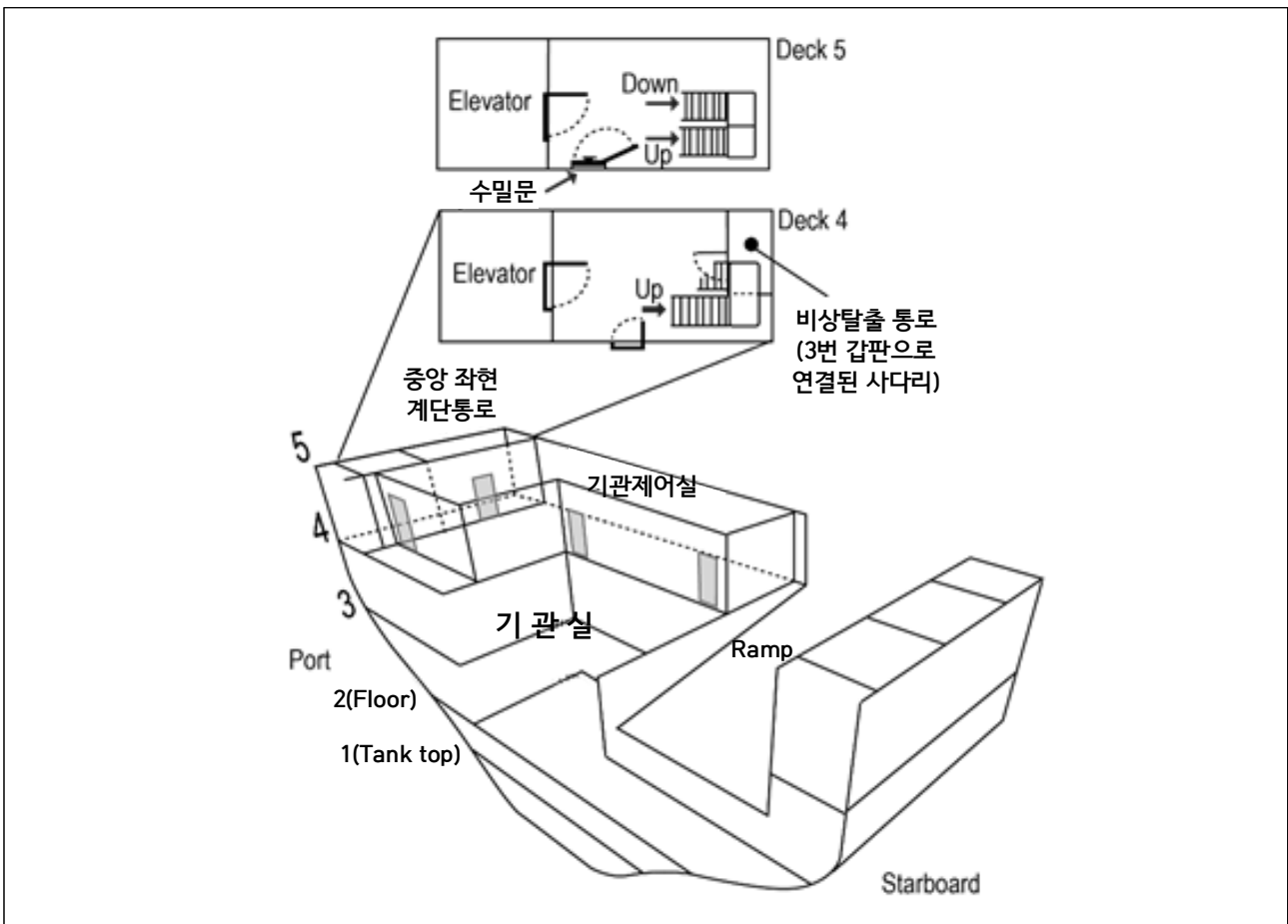
CG 45741호 구조대원들은 06시 45분 선실(좌현 윈브릿지 아래 위치)에 고립되어 있던 기관장을 포함한 선원 2명을 추가로 구조하였다. 이 과정에서 대원들은 기관장을 구조하기 위해 선실 창문을 깨고 기관장을 끌어올렸다.

부드러운 수로 바닥과 열려 있던 좌현측 도선사 출입문으로 유입되는 해수로 인해 선체는 계속해서 움직였다. 약 09시 30분경 움직이던 선박이 계속해서 좌현측으로 천천히 굴러 수로 밖에서 90도가 되자 구조대원들은 선내에서 크게 부딪히는 소리를 들었다.

구조된 선원 19명과 도선사는 CG 29139호에 승선하여 브런즈윅 USCG 기지로 이동하여 응급 처치를 받고 현지 병원으로 이송되었다. 하지만 아직 선원 4명(기관사 3명과 실습 기관사 1명)이 구조되지 않았기에 구조대원들은 남아 있는 선원들의 생사를 알 수 있는 신호를 계속 관찰하였다.

1.2.1 고립 선원 구조

선박이 기울던 당시 기관사 1명과 실습 기관사 1명은 기관실 내부를 순찰하고 있었고 다른 두 명의 기관사는 4번 갑판에 있는 기관제어실에 있었다. 선박이 전도된 후 기관제어실에 있던 기관사 2명은 기관제어실과 기관실의 주계단통로인 중앙 좌현 계단통로를 통해 빠져 나가려고 시도하였으나 5번 갑판의 개방된 수밀문을 통해 해수가 계단통로로 유입되어 탈출이 불가능하였다. 기관제어실에는 기관실로 바로 진입할 수 있는 선미 방향의 문이 3개 더 있었다(그림 6 참고).



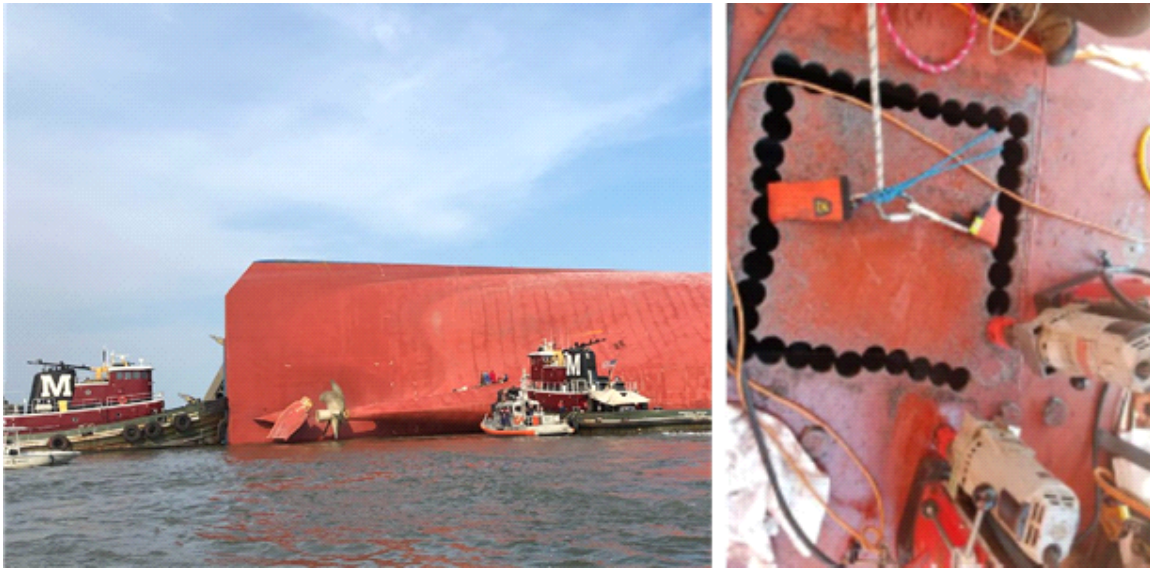
[그림 6] 기관실과 기관제어실 출구를 보여주는 간략도.
회색부분은 문을 가리킨다.

이후 2~3시간 동안 계단통로가 침수되었고, 해수는 기관제어실로도 유입되기 시작했다. 기관사 중 한 명은 유입되는 해수에 선미방향 문이 완전히 잠기기 전에 선박 중심선에서 좌현으로 약 12 피트(3.7미터) 떨어져 있는 선미방향 문(가운데 위치한 문)을 통해 기관제어실을 빠져나가 기관실에 있는 다른 기관사와 실습 기관사를 만났다. 나머지 기관사 1명은 기관제어실에 고립되었다. 실습 기관사에게 손전등이 있었지만 기관실에는 주요 또는 비상조명장치가 꺼져 있어 완전히 어두웠다. 사고 후 진술에서 기관사는 유입되는 해수로 인해 대피경로가 차단되었고, 선박이 전도되고 좌현 경사각이 점차 증가함에 따라 기관실 수위도 상승하였다고 밝혔다. 좌현측 수위가 상승하고 기름으로 오염되자 기관사들은 더 높은 곳(선박 우현측)으로 올라갔다. 시간이 흐르자 기관실 내부 기온이 상승하였다. 기관사들에 따르면 그들은 기관실 내부 온도가 높아짐에 따라 호흡하는 것이 매우 불편하고 힘들었으며 결국 체온을 낮추기 위해 유입된 해수 속으로 들어갔다.

사고가 발생한지 약 16시간이 경과한 9월 8일 18시 12분경 구조대원들은 선내에서 두드리는 소리를 들었다고 보고하였다. 다음날 USCG는 돈존-SMIT와 디파이안트 마린(Donjon-SMIT, Defiant Marine, 모두 인양 및 구조선사), 엘리베이티드 세이프티(Elevated Safety, 밀폐공간 구조전문), 구난업체 뿐만 아니라 글린 카운티의 긴급구조 8팀(Heavy Rescue-8)과 조지아주 천연자원부와 긴밀하게 협업하여 기관사들을 가장 안전하게 구조할 계획을 수립하였다. 여기에는 냉각절단장비를 조달하여 선체에 탈출구를 만드는 것이 포함되었다. 이 장비를 현장에 수배하는 데는 약 14시간이 걸릴 것으로 예상되었다. 구조대원들은 약 13시 00분경 선체에 2.5인치 크기의 구멍을 뚫고 고립된 기관사들에게 접촉을 시도하였다(그림 7 참고). 기관실 내부 온도는 화씨 155도만큼 높았다. 내부 온도가 기관사들에게 극도로 위험하다는 것을 깨달은 구조대원들은 요청한 냉각절단장비가 도착하기를 기다리지 않고 선체에 사각형 모양의 출입구를 만들기 위해 파공작업을 계속하였다.

15시 00분 기관실 공간에 고립되어 있던 기관사 2명과 실습 기관사 1명이 구조되었다. 구조대원들은 4번째 기관사에게 접근하기 위해 기관제어실 방폭 유리를 깨뜨려야 했고 17시 51분경 마지막 기관사도 선박을 나올 수 있었다. 기관부 선원 전원은 양호한 상태였다.

18시 00분 차량갑판에서 두 번째 화재가 보고되었다. 화재는 당일 밤 자연 진화되었다.



출처: USCG

[그림 7] 고립된 기관사 및 실습 기관사 구조를 위한 구조대원들의 시도(왼쪽).
기관사들에게 접근하기 위한 파공작업(오른쪽).

1.2.2 인명 피해

본 사고의 결과로 선원 2명은 중상을 입었다. 3등항해사는 오른손에 열상을 입었고 오른쪽 중지손가락 관절이 골절되었으며 갑판장은 왼발이 골절되었다. 두 선원 모두 브런즈윅 USCG 기지에서 의료진단을 받았고 현지 병원으로 이송되어 치료를 받았다.

[표 1] 골든레이호 사고 인명 피해⁷⁾

| 부상유형 | 승무원 (선원 23명, 도선사 1명) |
|------|----------------------|
| 사망 | 0 |
| 중상 | 2 |
| 경상 | 0 |
| 없음 | 22 |

7) NTSB는 운송수단에 관계없이 NTSB가 작성한 모든 사고조사보고서에 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)의 부상기준을 적용한다. 중상은 부상을 당한 일로부터 7일 이내부터 시작하여 48시간을 초과하여 입원을 해야 하거나 골절상, 심한 출혈, 신경, 근육, 또는 힘줄 손상이 발생된 경우, 내장기관이나 2도/3도 화상, 또는 체표면적의 5% 이상에 입은 화상이 관련된 경우와 같은 비치명적 부상을 의미한다.

1.3 피해 사항

골든레이호는 화재와 침수, 해수로 인한 부식으로 상당한 손상을 입었다. 선박은 약 6,250만 달러로 가치로 추산되었고 전손 처리되었다. 차량화물 손실액은 약 1억 4,200만 달러로 추산되었다.

골든레이호의 선체 인양 작업은 2020년 11월 9일 시작되었다. 본 보고서의 공표일자 기준 선체의 인양 및 제거작업은 완료되지 않았으나 가장 최근 추산된 인양비용은 2억 5,000만 달러를 초과하였다.

1.4 전자 데이터 검토

1.4.1 복원성 계산 컴퓨터

사고 후 골든레이호의 복원성 계산 컴퓨터(LOADCOM, 토템 플러스사(Totem Plus) 제조)를 선체에서 분리하였다. 그러나 해당 컴퓨터 본체가 해수로 심각한 손상을 입어 조사관들은 일항사가 입력한 선박의 선적 상태(loading condition) 데이터를 확보할 수 없었다(복원성 계산 컴퓨터에 대한 세부내용은 제1.7.3장 “화물 작업”을 참고).

1.4.2 항해자료기록장치(VDR)

골든레이호에는 토템 플러스사가 제조한 VDR이 장착되어 있었으며 해당 VDR은 사고 이후 복구되었다. NTSB는 9월 8일 사고항차와 9월 7일 조지아주 브런즈윅으로의 입항항차의 각종 계기 기록(parametric data)을 포함한 VDR 데이터를 검토하였다. 다만 그 중 이전 항차의 일부 데이터에는 기록상 공백이 있었다.

사고항차 당시 VDR에 기록된 각종 계기 기록과 음성 데이터에는 골든레이호가 통항하는 동안의 선수방위와 선속, 도선사가 선교에 있는 선원에게 내린 지시를 포함하여 골든레이호가 11번 여유수역에서 오른쪽 선회구역에 접근할 때 발생한 일련의 사건이 순서대로 포함되어 있었다. 선교에서 기록된 음성 데이터를 검토한 결과, 선박이 기울기 전 선교에 있던 도선사와 선원들 간 선박에 문제가 있음을 알리는 내용은 없었다. 게다가 약 01시 37분경 선박이 좌현으로 기울어지기 시작할 때까지 어떤 경보음도 선교에서 들리지 않았다.

1.4.3 통합모니터링경보제어체제(IMACS)

토템 플러스사가 제조한 또 다른 시스템인 선박의 통합모니터링경보제어체제(Integrated Monitoring, Alarm, and Control System, IMACS)의 데이터도 복구되었다. IMACS에는 선박의 동력관리시스템(power management system, PMS)과 탱크 레벨 수위, 환경사 저감 및 선적 프로그램, 엔진 모니터링 및 자동화 기능을 보여주고 선원이 지난 운항정보를 검토할 수 있도록 이와 관련된 수치 정보 중 상당수가 기록된다. 해당 장치의 제조사가 데이터를 추출하였으며 NTSB는 이 데이터를 조사하였으며 특히 이 시스템의 경사계에 기록된 선박의 기울기를 검토하였다. IMACS 데이터에 따르면 선박이 콜로넬스 아일랜드 터미널 선석에서 이안한 후부터 기울어지기 전까지 시스템상의 변화는 없었다.

또한, IMACS 데이터에 따르면 골든레이호가 브런즈윅항에서 계류 중 출항 준비를 하고 있던 9월 8일 당시 선박에는 평형수 2,981.45톤을 포함하여 총 4,600톤의 액체가 적재되어 있었다. 또한, 선박에는 중질유 891.38톤, 경유 321.91톤, 기타 액체 46.29톤과 IMACS에 기록되지 않은 액체 360톤이 적재되어 있었다(부록 D 참고).

1.5 선박 제원

골든레이호는 대한민국 울산에 있는 현대미포조선(Hyundai MIPO Dockyard)에서 2017년 건조된 선박이다. 선박은 GL NV24 쉬핑(GL NV24 Shipping Inc.)이 소유하였으며, 2006년 설립된 대한민국 선박관리회사인 지마린 서비스가 이 선박을 관리하였다. 지마린 서비스의 선대는 동급 선박인 실버레이호(Silver Ray)를 포함하여 51척의 선박으로 구성되어 있으며, 골든레이호와 실버레이호 모두 지마린 서비스가 선원 및 선박관리를 담당하였다.

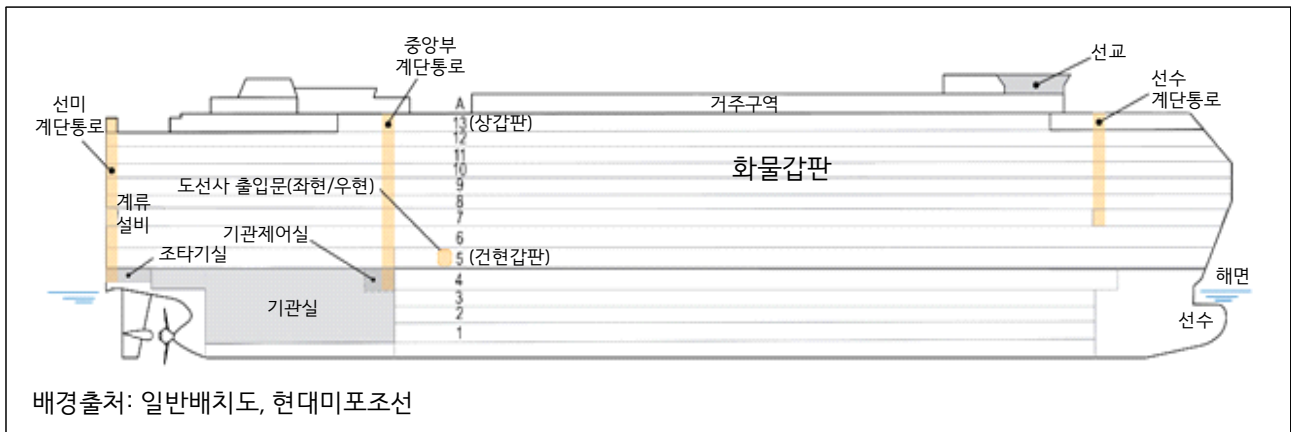
골든레이호와 실버레이호는 2017년 건조된 후, 대한민국에 본사를 둔 물류회사인 현대글로벌비스에 용선되었다. 두 선박 모두 현대글로벌비스(용선자)가 화물 작업 계획을 담당하고 있었다.

1.5.1 선박 건조 및 배치

골든레이호는 강선으로 화물갑판, 선교, 거주구역을 포함하여 15개 갑판이 있다(그림 8 참고). 폐위차량갑판 12개 중 8개는 고정되어 있고 4개는 다양한 크기의 화물을 수용할 수 있도록 높이조정이 가능하였다. 5번 갑판은 선박의 수밀식 건현(또는 격벽) 갑판⁸⁾이다. 5번 갑판에는 2개의

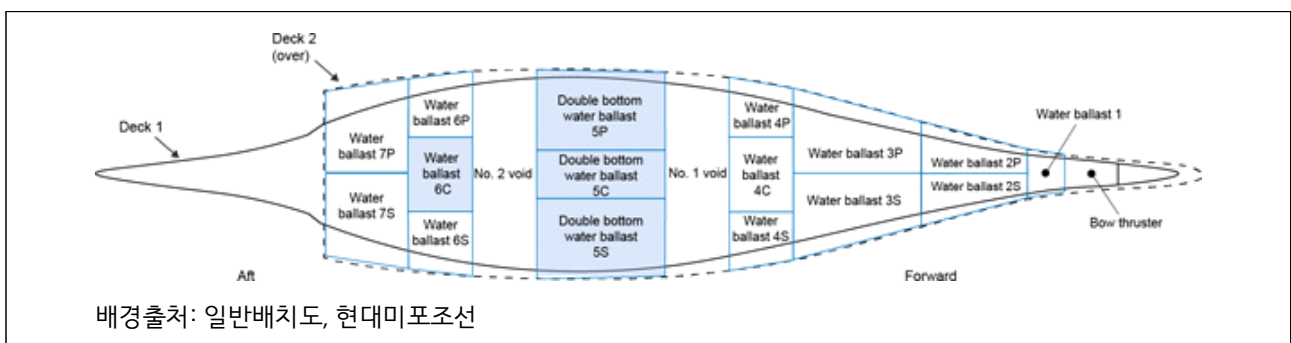
8) 건현갑판(freeboard deck)과 격벽갑판(bulkhead deck) 용어는 모두 상호교차되어 사용된다. 격벽갑판은 횡수밀격벽과 외판이 있는 최상층갑판이다. 건현갑판은 일반적으로 기상조건과 해상에 노출된 최상전통갑판이다. 여기에는 모든 개구

적재램프(loading ramp)가 있다. 하나는 우현선미에 위치하고 다른 하나는 우현 중앙 측에 위치한다. 선수미 계류장비(mooring station)는 7번 갑판에 있고 이는 수밀갑판이다. 13번 갑판은 상갑판 또는 노출갑판(weather deck)이라 불렸다. 4번부터 13번 갑판까지 선미 계단통로가 1개, 중앙부 계단통로가 2개(좌현과 우현)가 있으며, 7번부터 13번 갑판까지 선수 계단통로가 1개가 있다.



[그림 8] 골든레이호 측면도

골든레이호에는 평형수탱크 18개와 선수 평형수탱크 1개, 선미 평형수탱크 3개로 총 22개의 평형수탱크가 있다(그림 9 참고). 탱크의 총 용량은 9,842m³이며 모든 탱크에 해수가 가득 찼을 때 총 중량은 10,088톤이 된다. 평형수탱크 3개는 최하층 화물갑판(1번 갑판) 상부까지 이어지지 않아 이중저탱크로 지정되었다(5번 우현, 중앙부, 좌현 평형수탱크)(사고 당시 평형수탱크 수치는 부록 D를 참고).

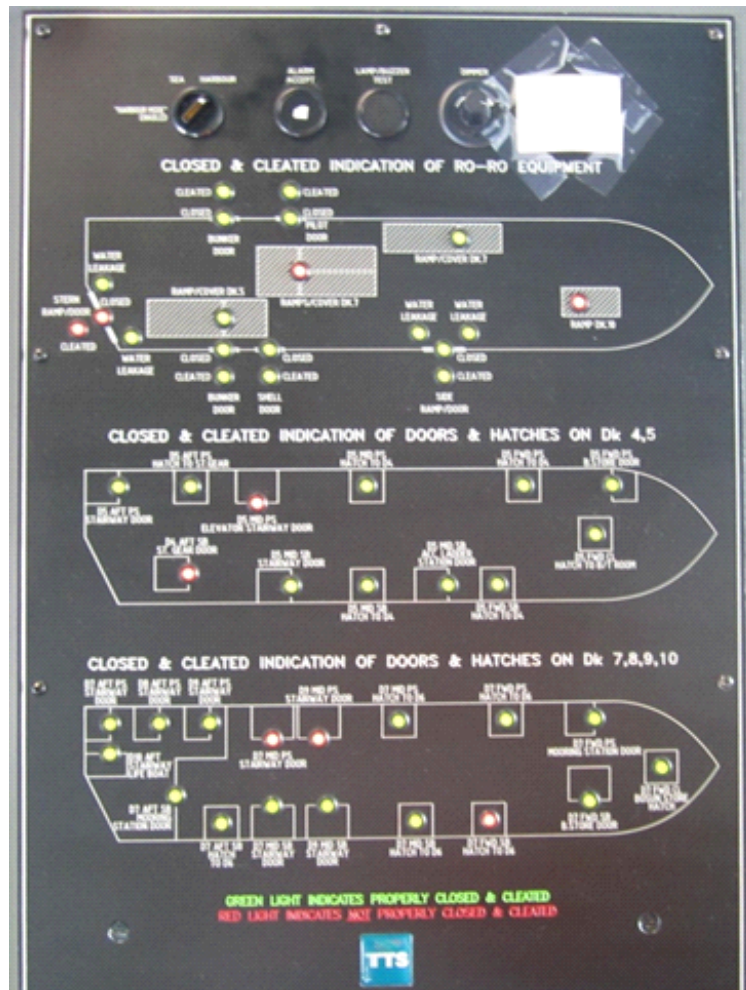


[그림 9] 골든레이호의 평형수탱크 간략도.

파란색 선은 평형수탱크를 나타내며 파란색으로 칠한 부분은 사고항차 이전 평형수를 옮기는데 사용된 평형수탱크를 가리킨다(참고: 실선은 1번 갑판이며 점선은 그 위에 있는 2번 갑판을 가리킨다. 선수미 평형수탱크는 명시하지 않았다).

부를 풍우밀형식으로 폐쇄할 수 있는 상설설비가 있다(즉, 모든 해상조건에서 해수가 침입되지 않음). 견현갑판 하부 선박 측면의 모든 개구부는 상설수밀폐쇄장치가 장착되어 있다.

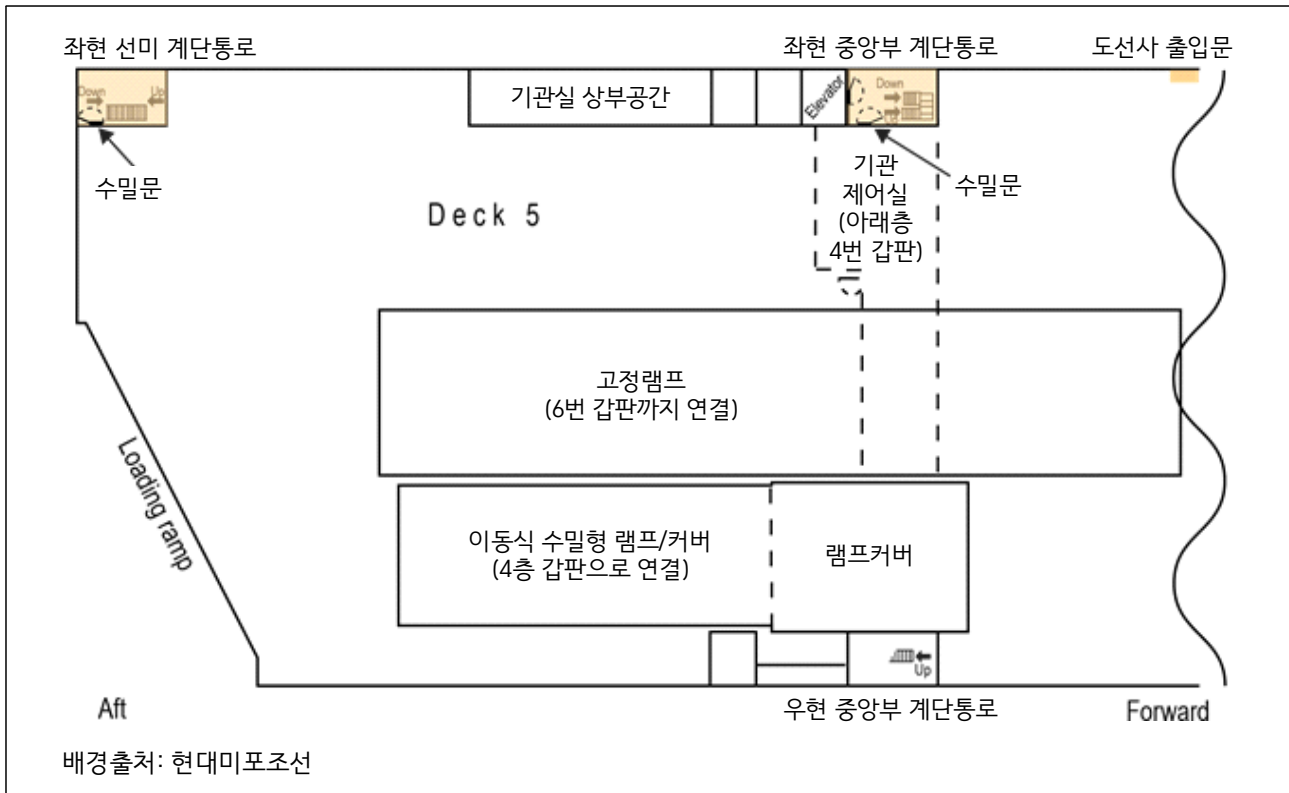
수밀문. 골든레이호에는 도선사 출입문과 선미램프, 현측램프, 그리고 램프커버 4개에 더하여 폐쇄 시 선박의 수밀성을 유지시키는 수밀문 17개와 수밀해치13개가 있다. 선교에는 수밀문과 해치가 열렸는지(빨간불), 닫혔는지(녹색불) 알려주는 수밀문 개폐 표시반이 있다(그림 10 참조).



출처: USCG

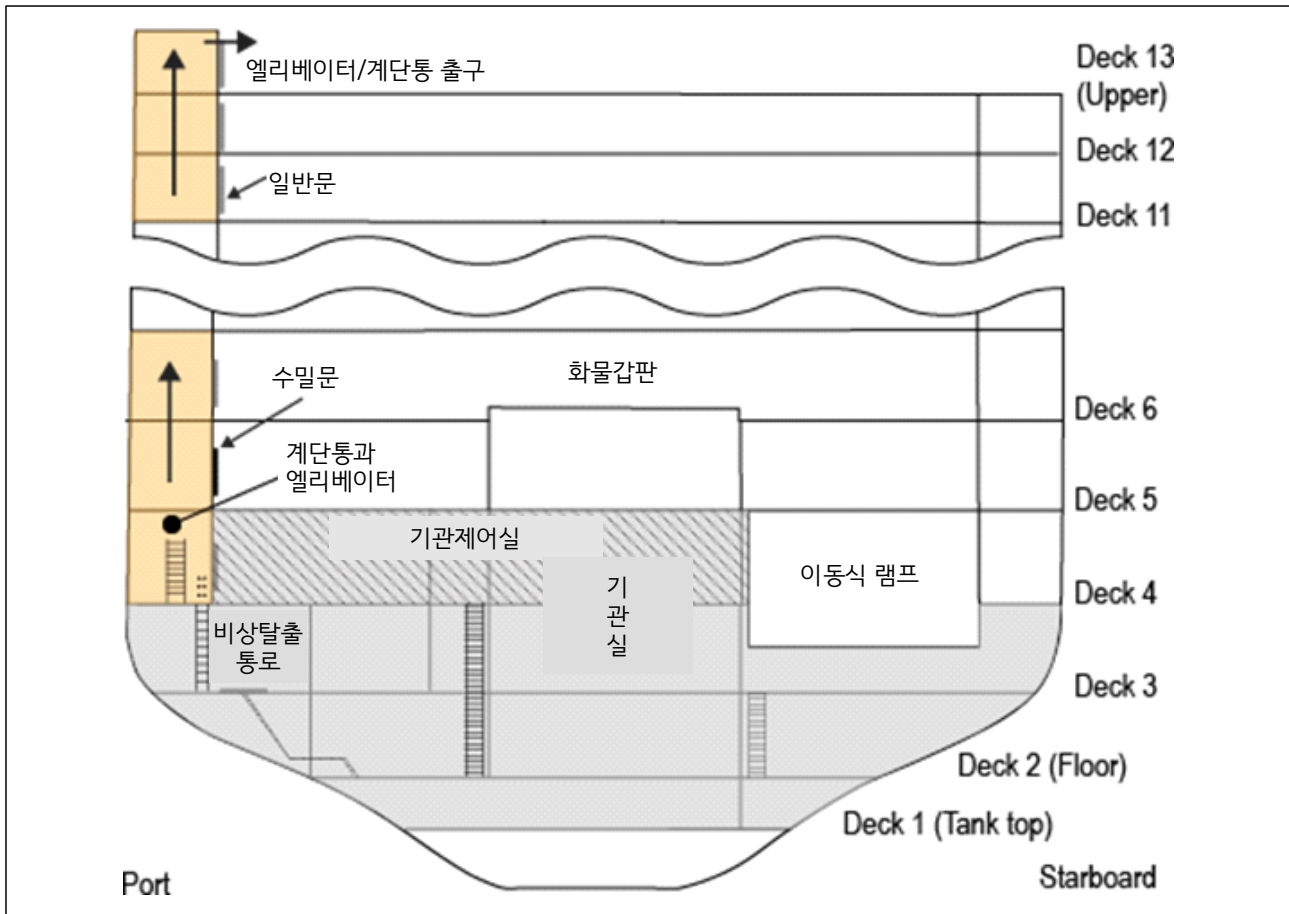
[그림 10] 골든레이호의 동형선, 실버레이호 선교에 위치한 수밀문 개폐 표시반

IMACS 데이터에 따르면 사고 당시 좌현측 도선사 출입문 뿐만 아니라 5번 갑판 선미 계단통로와 좌현 중앙부 계단통로로 연결되는 수밀문은 모두 개방되어 있었고, 선박이 콜로넬스 아일랜드 터미널을 출발하기 전인 9월 7일 23시 41분부터 계속 열려 있었다. 도선사 출입문에서 선미 방향으로 약 75피트(22.9미터) 떨어진 좌현 중앙부 계단통로는 4번 갑판의 기관실과 기관제어실로 접근할 수 있는 주요 출입구였다. 더 아래층 기관실로 연결되는 탈출 통로 계단으로 이동하면 4번 갑판에 있는 이 계단통로로 나가게 된다(그림 11 참고).



[그림 11] 5번 갑판 선미 부분 평면도
 색칠된 부분은 열려 있던 수밀문과 도선사 출입문이 있는 계단통로다.
 점선은 아래 4번 차량갑판의 공간을 가리킨다.

선미 좌현 계단통로를 통해 4번 갑판에 있는 조타기실(기관실과 조타기실은 수밀식 횡격벽으로 분리되어 있으며 4번 갑판에서 수밀문으로 서로 연결되어 있음)로 진입할 수 있다. 선미와 중앙부 계단통로는 일종의 수직 관통 통로(tower)로써 모두 방화격벽으로 격리된 공간이며 중간에 차량갑판으로 진입할 수 있는 문이 있다(그림 12 참고). 상갑판인 13번 갑판에는 노출갑판(외부)으로 나갈 수 있는 문이 있다. 또한, 4번 갑판 좌현측에 있는 기관실에서 기관실 상부공간을 통해 상갑판으로 이어지는 몇 개의 수직 사다리를 이용해 밖으로 나갈 수 있다.



[그림 12] 기관실 및 기관제어실에서 밖으로 나가는 탈출 통로와 좌현 중앙부 계단통로의 간략도

1.5.2 선급 및 검사

골든레이호는 2017년 12월 한국선급(Korean Register of Shipping, KR)으로부터 선급증서를 발급 받았다. 또한, 한국선급으로부터 안전성, 통신, 기계 및 기타 장비에 대해 발급 받은 유효한 국제해상인명안전협약(SOLAS) 증서를 보유하고 있었다. 사고 전 골든레이호에 부여된 선급의 지적사항(Condition of Class, 시정이 필요한 선박의 구조나 유지보수의 결함)도 없었다.

사고 당시 골든레이호는 2018년 11월 마셜제도(RMI) 정부가 발급한 유효한 등록증서(Certificate of Registry)를 보유하고 있었다. 또한, 마셜 정부의 승인 하에 한국선급이 발급한 유효한 선박안전관리증서(Safety Management Certificate, SMC)도 보유하고 있었다. 이는 골든레이호가 선박의 안전운항을 위한 국제안전관리규약(International Safety Management Code, ISM Code)의 요건을 준수하였음을 증명한다. 본 증서는 2018년 5월 4일 실시된 심사에 기초하여 2018년 7월 23일 발급되었으며 2023년 5월 23일까지 유효하다.

골든레이호는 2017년부터 2019년까지 항만국통제(Port State Control, PSC) 수검을 10회 받았으며, 이 중 2회는 선박이 미국 항만에 머무는 동안 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO) 요건을 준수하도록 USCG가 실시하였다. 또한, USCG는 적용가능한 미국 규정을 준수하도록 하였다. 항만국통제 중 기록된 중대한 결함사항은 없었다.

1.6 인적 정보

골든레이호에는 선원 총 23명이 승선하였으며 이들은 모두 적절한 자격증을 보유하고 기국에서 각자 직책에 맞게 발급받은 자격증을 선내에 소지하고 있었다. 선박은 마셜제도가 발급한 최소승무원증서(Minimum Safe Manning Certificate, MSMC)에 따라 선원을 승선시켰다.

1.6.1 선장

골든레이호의 최고 지휘권자인 선장은 사고가 발생하기 11일 전인 2019년 8월 28일 선박이 텍사스주 프리포트항에 있는 동안 골든레이호 선원들과 합류하였다. 그는 1980년부터 항해사로 승선하기 시작 1995년 선장이 되었다. 2016년부터 자동차운반선에 승선하였고 2017년부터 지금의 회사인 지마린 서비스에서 일하기 시작했다. 선장은 골든레이호나 실버레이호에 승선한 경력은 없었다.

1.6.2 일등항해사

이 선박의 일항사는 항해사 면허를 보유하고 2019년 3월 5일(사고 발생 약 6개월 전) 대한민국 광양항에서 골든레이호에 승선하였다. 그의 항해경력은 약 13년이며 10년간의 일항사 경력 중 6년 동안 자동차운반선에 승선하였다.

1.6.3 도선사

사고 당시 골든레이호에 탑승했던 도선사는 브런즈윅항 도선사 6명 중 한 명으로 브런즈윅 항내를 통항할 때 골든레이호를 도선하였다. 그는 1997년부터 해운업에 종사해왔다. 그는 USCG에서 발급한 브런즈윅항 1급 도선사 면허를 보유하고 있으며 2000년 주정부 면허(state license)를 발급받았다. 또한, 그는 2014년 1월부터 조지아주에서 무제한 도선사 면허를 발급받아 보유하고

있었다. 그는 “아마도 이 곳에 기항하는 화물, 아니 선박 중 95% 또는 그 이상은 로로선일 것”이라 진술하였다.

브린즈워항 도선사 교대주기는 24시간이며 입항하는 선박을 도선한 도선사가 해당 선박을 화물 작업 완료 후 출항 시에도 도선할 수 있도록 배치된다. 사고선박의 도선사는 이러한 절차 덕분에 선원과 도선사 간 친밀도가 향상되며 도선사가 도선을 마치고 복귀할 때 이용하는 교통수단에 대한 물류적 부담도 줄었다고 진술하였다.

브린즈워항의 모든 도선사는 개인사업자(self-employed)이며 항만 내 상선통항을 위한 도선업무를 공동 관리하기 위해 협회에 가입되어 있다. 도선사 각각은 USCG의 1급 도선사 면허증과 조지아주 도선사 면허증을 보유해야 하며 선임 도선사의 감독 하에 3년 간 수습을 성공적으로 마쳐야 한다. 도선사가 수습을 성공적으로 완수하면 조지아주 도선협회장은 해당 도선사에게 전장 525피트[160미터] 이하, 흘수 25피트[7.6미터] 이하의 소형선박에 대한 도선 면허증을 발급한다. 주정부에서 발급하는 무제한 도선사 면허를 취득할 때까지 도선사는 훈련을 계속하고 점차 더 큰 선박에 대한 면허를 얻게 된다.

1.7 운항

1.7.1 선박의 안전관리체제(SMS)

안전관리체제(SMS)는 회사가 ISM 코드⁹⁾뿐 아니라 회사의 안전성과 환경보호 정책을 효과적으로 이행할 수 있도록 만든 구조화된 문서체계이다. SMS는 회사 규모와 관계없이 각 선원을 위해 통상적인 운항상황과 비상 운항상황 모두에 대한 표준화된 절차를 제공한다. 이 표준화된 절차는 절차를 수행하는 사람과 절차 준수를 관리 감독하는 사람이 결정과 조치를 내리는 데 있어 운항 안전에 관한 의무규칙과 규정을 준수하도록 하는 것이 목적이다.

골든레이호에는 선원들이 활용하도록 회사의 SMS가 확립되어 있었다. SMS에는 화물 작업 시 선원의 직무, 화물적재에 필요한 공간의 크기, 적·양하하는 동안 화물손상을 피하는 방법, 그리고 화물을 고정하는 방법을 포함한 화물 작업 절차가 포함되어 있었다.

9) 국제안전관리규약(International Safety Management Code, ISM Code)은 1980년대 IMO가 “선박의 안전한 운항과 관리 및 해양오염 방지를 위한 국제 표준을 제공하고자” 제정하였다(IMO의 “ISM 코드와 그 이행을 위한 가이드라인(ISM Code and Guideline of Implementation of the ISM Code),” 2021년 6월 30일 참고(<https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/ISMCode.aspx>).

SMS에서는 선장과 일항사, 기타 사관들의 임무가 구체적으로 명시되어 있었다. SMS에 따르면 선장은 선내 교육 및 훈련을 담당하였다. 화물 작업에 있어 선장은 일항사의 화물적부계획(cargo loading plan)을 확인하고 모니터링하는 업무를 담당하였고 일항사는 적·양하화물 관리, 선박 복원성 확인을 포함한 화물관련 업무를 담당하였다. 또한, 일항사는 선박의 평형수, 빌지, 청수 관리, 갑판부의 SMS 관리문서, 도면, 매뉴얼 관리 및 선박 기록의 유지를 담당하였다.

또한, SMS에는 선박의 입출항 전에 완료되어야 하는 업무인 입출항 체크리스트가 포함되어 있었다. 본 체크리스트에 따르면 입출항 준비 시 선박의 모든 수밀문은 폐쇄되어 있어야 하고 선체의 모든 개구부는 고정 및 수밀상태이어야 한다.

해당 SMS는 한국선급에 의해 승인되었으며 선박은 정기적으로 SMS 인증심사를 받았다. 회사의 선대관리팀에서는 내부 심사를 실시하였고, 한국선급은 기국(RMI)의 입회 하에 외부 심사를 실시하였다. 가장 최근에 실시된 심사는 사고 발생 1개월 전인 2019년 8월 27일 텍사스주 프리포트항에서 회사가 실시한 내부 심사로, 선박이나 SMS 절차에 대한 선원들의 지식과 관련해 부적합한 사항은 식별되지 않았다.

1.7.2 선상 훈련

회사는 직원 고용 시 이들의 과거 경력을 바탕으로 “각각의 사관들은 자신의 직책에 대한 경력을 가지고 있었으며 선임사관 중 누구도 해당 직책을 처음 수행하는 사람은 없었다”라고 사고 후 진술에서 밝혔다.

회사는 선원의 직책과 임무에 대해 신입 선원들에게 공식적인 훈련을 제공하지는 않았지만, 대신 실무교육(on-the-job training, OJT)과 더불어 신입 선원들이 보유한 경력과 지식에 의존하였다. 일항사는 그가 이전 일항사와 교대할 당시 선박의 복원성 계산 컴퓨터 사용법을 포함하여 3~4시간에 걸친 실무교육을 받았다고 진술하였다. 또한, 복원성을 계산하는 것은 일항사의 임무였기 때문에 일항사를 제외하고 선내 어느 누구도 복원성 계산 컴퓨터 사용법을 알지 못했다고 진술하였다.

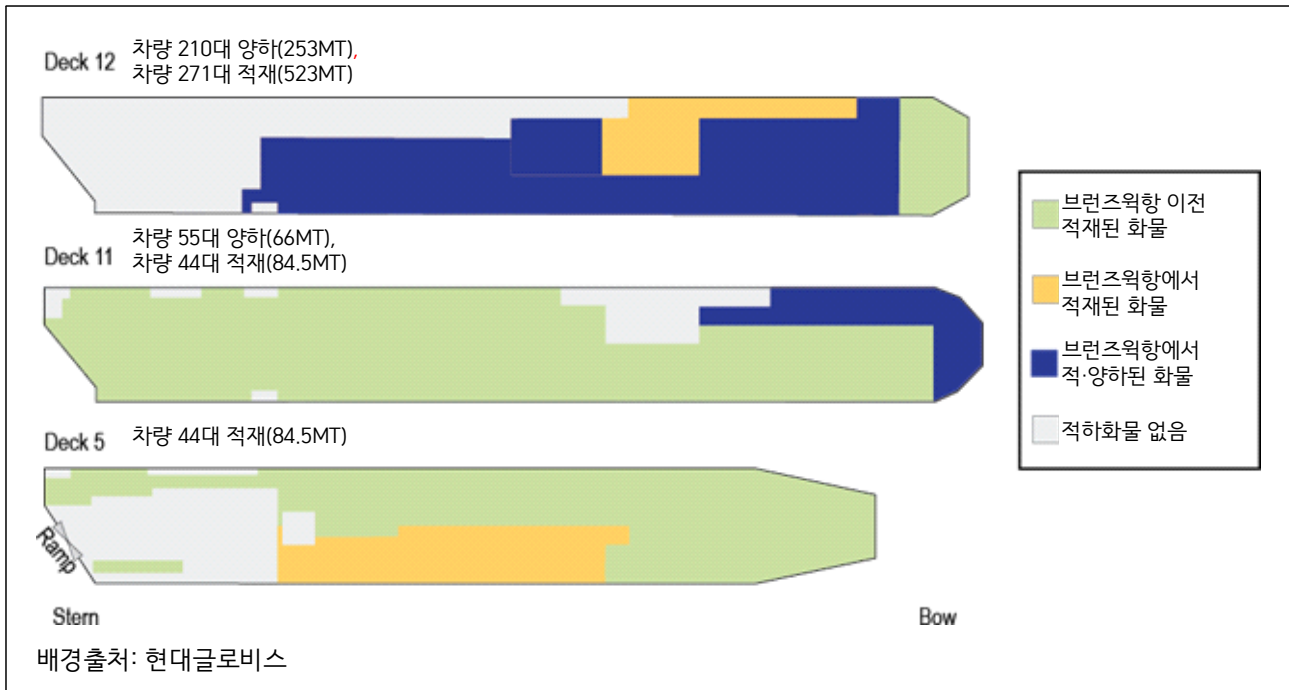
1.7.3 화물 작업

사전적부계획(Preliminary Load Plan, Pre-load Plan). 용선자는 골든레이호가 미국에서 기항하기로 예정된 항만의 자동차 터미널 각각에 대해 계약된 선박대리점인 노턴 릴리(Norton Lilly)

를 통해 사전적부계획을 세웠고 여기에는 선적 및 하역 예정인 화물목록, 각 기항지 별 충분한 화물 적재 공간 확보여부에 대한 판단이 포함되었다. 사전적부계획에는 화물이 적재될 구체적인 위치(갑판과 공간)는 나와 있지만 선적될 차량의 무게 정보는 없었다. 용선자는 사전적부계획을 선박대리점으로 송부하였고, 일항사가 선박 복원성 요건 충족 여부와 출항 시 화물무게를 수용할 수 있는지를 검토하고 판단할 수 있도록 선박에도 송부하였다. 사전적부계획을 세우고 검토한 노턴 릴리의 담당자는 선적화물의 무게와 배치가 선박 복원성에 미치는 영향에 대한 계산은 담당하지 않았다.

골든레이호는 브런즈윅항에 도착하기 전 몇 주간 멕시코 베라크루즈(Veracruz, 8/19~22), 멕시코 알타미라(Altamira, 8/24~25), 텍사스주 프리포트(Freeport, 8/27~30), 그리고 플로리다주 잭슨빌(Jacksonville, 9/6~7)까지 4개 항만을 기항하였다. 골든레이호가 각 항만에 도착하기 며칠 전 용선자는 일항사에게 다음 기항지에서의 사전적부계획을 송부하였다. 일항사는 사전적부계획을 받아 검토하고, 적하될 화물의 예상 무게와 위치를 사용하여 화물 위치와 무게가 바뀌어도 선박이 복원성 요건을 충족할지를 판단하였다. 회사 절차에 따르면, 만일 일항사가 선박이 안전하게 화물을 수용하지 못하고 복원성 요건을 충족할 수 없을 것이라 생각하는 경우 그는 복원성 요건을 충족하기 위해 사전적부계획을 어떻게 조정해야 할지를 용선자와 함께 논의해야 한다. 일항사는 브런즈윅항과 이전 4개 항만의 사전적부계획에 대해 어떤 이의도 제기하지 않았다. 노턴 릴리는 선박이 각 항만에서 선적작업을 완료한 후에 용선자에게 최종 적부계획을 이메일로 전송하였고, 용선자는 이 최종적부계획서를 선박 출항 후 통상 12시간 내에 갑판구획 별 실제 차량 선적정보, 차종과 함께 선박에 메일로 전송하였다.

브런즈윅까지 항해하는 동안 용선자는 선장과 일항사가 선박이 브런즈윅에서 적재될 화물을 수용할 수 있는지 검토하고 판단할 수 있도록 사전적부계획을 골든레이호의 항만 입항 예정시간 약 30시간 전에 메일로 송부하였다(그림 13 참고). 사전적부계획에 따르면 11번과 12번 갑판에서 기아 포르테(KIA Forté)와 현대 엑센트(Hyundai Accent) 차량 265대가 양하될 예정이었으며 기아 텔루라이드(KIA Telluride) SUV 차량 362대가 5번, 11번, 12번 갑판에 적재될 예정이었다.



[그림 13] 골든레이호의 콜로넬스 아일랜드 터미널 사전적부계획(5번, 12번, 13번 갑판의 평면도)

일항사는 자신이 받은 사전적부계획서에는 차량 대수와 차종만 포함되어 있었으며 차종별 무게는 없었다고 진술하였다(사후 본 계획서를 검토한 결과 계획서에는 차량 대수와 각 선적지 별 적재될 차량의 총 무게만 포함되어 있음). 그는 과거 경험으로 미루어 양하할 각 소형차의 무게를 1.3톤, 적재할 각 중형차의 무게를 2톤으로 추산하였으며 “주어진 차량 대수의 평균 무게에 기초”하여 차량 전체의 무게를 판단하였다. 일항사는 변경된 화물이 선박 복원성에 미칠 영향을 판단하기 위해 사전적부계획서에 기재된 화물의 적재위치와 그가 계산한 예상 무게를 바탕으로 복원성 계산 컴퓨터를 사용하여 복원성을 계산하였다. 그는 골든레이호가 차량을 수용할 수 있고 복원성 요건을 충족시킬 수 있을 것으로 판단하였다. 그는 선박이 브룬즈윅항에 도착하기 전 사전적부계획을 승인하기 위해 선박대리점에 메일을 보냈다.

화물적양하작업. 일항사는 사고 후 실시된 조사에서 9월 7일 브룬즈윅항에 입항하기 전, 회사의 SMS를 준수하여 “... 선적, 양하, 무게와 고박상태, 그리고 ... 적부계획서 점검”을 포함하여 계획된 화물 작업에 대하여 모든 사관과 갑판부원에게 설명하였다. 또한, 그는 입항 후 콜로넬스 아일랜드 터미널의 하역인력과 용선자와 계약된 검수자(plan clerk)를 만나 당일 작업에 대해 논의하였다. 화물 작업을 시작하기 전, 하역인부들은 모든 차량에 대해 열린 문이나 창문, 누유, 핸드 브레이크 풀림 등을 포함하여 결함사항을 점검하였고 각 차량의 연료탱크 속 연료가 25% 이내인지를 확인하였다.

선적작업이 시작되자 일항사는 검수자 및 하역 감독과 함께 선적작업을 관리 감독하였다. 검수자는 화물 작업 동안 얼마나 많은 차량이 적재되었는지 확인하고 일항사는 모든 차량이 사전적부계획에 따라 제대로 적재되었고 선박의 화물고박매뉴얼에 따라 고박되었는지 확인하는 일을 담당하였다. 사전적부계획서에는 포함되어 있었으나 하역인부가 화물을 검사하는 동안 결함을 발견하여 차량 3대를 적재하지 않은 것을 제외하고 적·양하 작업은 사전적부계획서에 따라 수행되었다. 따라서 기아 텔루라이드 SUV차량 총 359대가 이 선박에 선적되었다.

하역인부가 화물 적·양하 작업을 완료한 후 일항사는 검수자와 하역 감독과 함께 실제 선적된 차량을 최종점검 하였다. 일항사는 노턴 릴리에 직접 해당 정보를 송부하였고, 노턴 릴리에서는 갑판 별 차량 대수와 예상무게, 그리고 적재장소가 포함된 실제 선적현황과 함께 최종적부계획서를 작성하기 시작하였다. 육상인력은 선박의 화물 고박하는 작업에서 손상이 없었다고 보고하였고 선원들도 화물배치에 문제가 없었다고 보고하였다.

노턴 릴리는 보통 최종적부계획서 작성을 마치고 선박이 출항한 후에 이를 선박에 송부한다. 골든레이호의 브런즈윅항 화물 작업에 대한 최종적부계획서는 사고 당일 02시 59분에 메일로 전송되었다. 이는 브런즈윅에서 출항하던 선박이 전도된 후 거의 2시간이 경과된 시점이었다. 조사관들이 사고 후 최종적부계획서를 검토한 바에 따르면 양하된 차량의 총 무게는 319톤(각 1.2톤)이었으며 선적된 차량의 총 무게는 692톤(각 1.92톤)이었다. 화물 작업이 완료될 때까지 선내에는 차량 4,161대가 있었고 전체 화물 무게는 8,780.2톤으로, 선박이 브런즈윅에 입항할 때 보다 차량은 94대 증가하였고 화물 무게는 약 373톤이 증가하였다.

선박 복원성 계산. 화물 작업을 마치고 선박이 출항하기 전, 일항사는 선박의 복원성을 계산하는 업무를 수행하였다. 골든레이호에는 트림 및 복원성 책자(Trim & Stability Booklet, T&S Booklet)가 선내에 비치되어 있었다. 이 책자에는 선박이 출항하기 전과 항해하는 동안 적절한 복원성을 갖도록 34가지 선적 상태에 대한 유체정역학 표(hydrostatic table), 복원성과 트림의 특징이 담겨 있었다. 일항사가 계산한 GM값이 이 책자의 복원성 기준치와 일치했다면 선박은 책자와 2008년 국제비손상복원성기준(International Code on Intact Stability, 2008, 2008 IS Code)의 요건을 준수한 것으로 볼 수 있다. 회사의 SMS에서는 선원들이 복원성에 대한 가이드라인으로 이 책자를 참고하도록 하였다.

일항사는 사고 후 실시된 인터뷰에서 자신이 복원성 계산 컴퓨터를 사용하여 “복원성을 계산하였고 그 값을 출력하였다”고 진술하였다(복원성 계산 컴퓨터는 T&S 책자에 따라 복원성을 계산하기 위해 설계된 프로그램이다). 일항사는 선적 작업 이후 선박의 복원성 계산을 하기 전 IMACS를 찾아보았고 IMACS의 탱크 수치가 제대로 측정되고 있는지 확인하기 위해 갑판수에

계 탱크(평형수, 연료 및 청수)를 측정하도록 지시하였다. 그는 사고 후 인터뷰에서 측정값이 IMACS가 제시한 탱크 수치와 가까웠다고 진술하였다. 일항사는 홀수를 복원성 계산 컴퓨터에 입력하기 위해 탱크의 측심을 감독하였고 직접 홀수를 관찰하고 기록하였다고 진술하였다(이러한 탱크의 측심 절차는 매일 실시되었음). 앞서 진술하였듯 일항사는 선박에 선적될 화물의 무게를 예측하기 위해 사전적부계획서도 검토하였다. 그리고 나서 그는 복원성 계산 컴퓨터에 그 수치를 입력하였다.

일항사는 선박의 무게중심(G)을 계산하기 위해 IMACS의 평형수, 연료 및 청수 양과 함께 화물 무게를 복원성 계산 컴퓨터에 입력하였다. 물론 IMACS 데이터(평형수탱크 수치 등)는 복원성 계산 컴퓨터에 자동으로 전송될 수 있었지만 일항사는 그가 IMACS에서 필요한 데이터를 복원성 계산 컴퓨터에 수기로 직접 입력하였다고 밝혔다. 또한, IMACS에는 선박을 어느 한 쪽으로 1도까지 기울이기 위해 자동으로 평형수를 이동시키고, 이동된 평형수의 양을 측정하여 선박의 GM값을 계산하는 기능이 있었다. 사고 후 IMACS의 데이터를 검토한 결과, GM 계산 기능은 사고항차 당시 선박이 브런즈윅을 출항하기 전에는 사용되지 않은 것으로 밝혀졌다. 복원성 계산 컴퓨터는 선저에서부터 선박의 무게중심까지의 거리를 의미하는 수직무게중심(KG)은 계산하지 않았다.

회사의 SMS에서는 다음과 같이 복원성 계산 컴퓨터 사용 가이드라인을 제시하고 있다. “[복원성 계산 컴퓨터(로드컴)]를 사용하여 계산된 복원성은 반드시 “양호(OK)” 상태여야 하며, 해당 상태에 대해 IMO에서 요구하는 최소 GM값보다 높아야 한다.” 일항사는 복원성 계산 컴퓨터를 사용하여 복원성을 계산한 후 GM값 2.45미터(8.3피트, 일항사는 이 값이 복원성 계산 컴퓨터에서 “양호(OK)”로 나왔다고 보고함), 선수 홀수 30.8피트(9.4미터), 중앙부 홀수 30.9피트(9.3미터), 선미 홀수 31.2피트(9.5미터)라고 선장에게 보고하였다(도선사가 선장/도선사 간 정보 교환 시 동일한 선수미홀수를 보고함). 회사의 SMS에 따르면 “선박이 항상 충분한 복원성을 갖도록” 해야 하는 선장은 일항사의 계산값을 검토하지 않았고 이에 대한 어떤 문제도 회사에 보고하지 않았다.

선장은 통상적으로 복원성을 확인한 후 출항 보고서를 작성한다. 출항 보고서에는 선박의 계산된 GM값과 홀수가 포함된다. 그리고 기록을 위해 회사의 선대관리팀에 해당 정보를 전송한다. 그러나 선장은 당시 골든레이호는 “출항 중인 상황”이었고 아직 도선사가 하선하지 않은 상태였기 때문에 사고 발생 당시까지 브런즈윅 출항 보고서를 송부하지 않았다고 밝혔다.

1.8 복원성

정수 중 바로 떠 있는 선박에 경사우력이 작용하게 되면 선박은 기울게(list, heel) 된다. 이 때 선박에 작용하는 힘을 제거하여 선박이 원래의 균형 상태로 되돌아가려는 경향이 바로 복원성이다. 더 자세한 내용은 부록 C “복원성 원칙”을 참고하라.

1.8.1 국제비손상복원성기준(2008 IS Code)

2008년 IS 코드에서는 강제 요건과 권고 요건, 두 부분에 대한 비손상복원성 기준을 제시하고 있다. 골든레이호를 포함하여 전장이 최소 24미터(79피트) 이상인 화물 및 여객선의 경우 IS 코드에서는 다음 두 가지 유형의 비손상복원성 기준을 준수하도록 하였다.

- (1) 선박의 복원정곡선
- (2) 극한 상태의 바람과 횡요

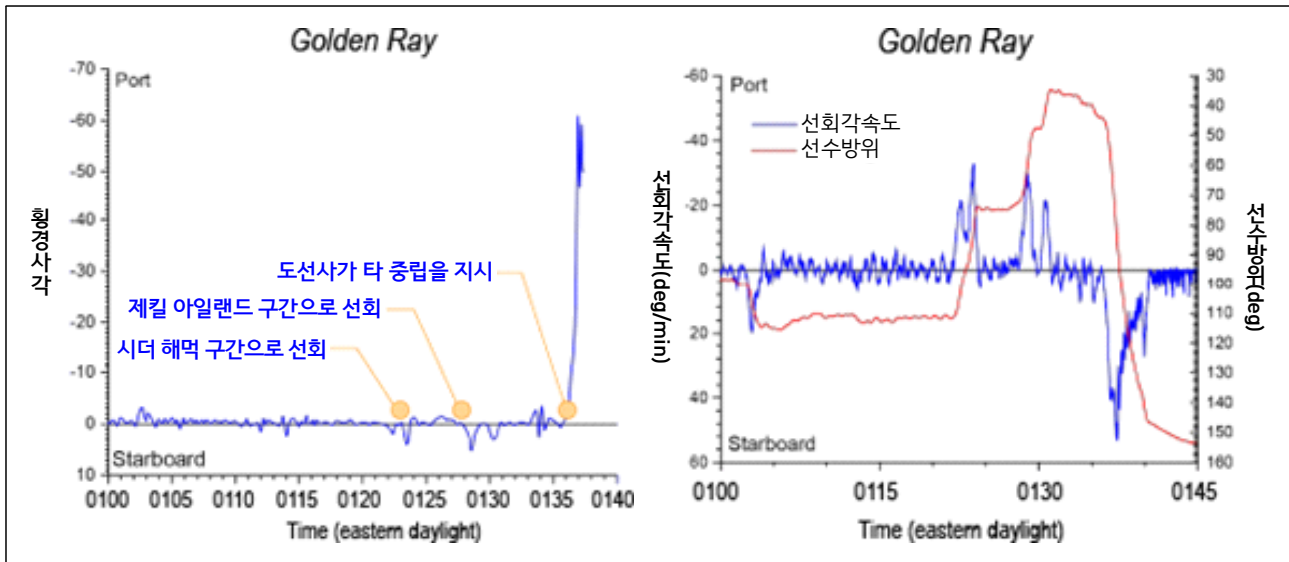
해당 기준에 따르면 복원정곡선 아래의 합산면적은 횡경사각이 30도 이하인 경우 $0.055\text{m-radian}^{10)}$ 이상이거나, 횡경사각이 40도 이하인 경우 0.09m-radian 이상이어야 한다. 또한, 복원정은 횡경사각이 30도 이상인 경우 최소 0.2미터(0.7피트)이며 횡경사각이 25도 미만인 경우 복원정 최대값은 존재하지 않는다. 게다가 선박의 초기 GM값은 0.15미터(0.5피트) 이상이어야 한다.

IS 코드 내에 포함된 극한 상태의 바람과 횡요 기준에 따르면 정상풍 영향에 의한 선박의 횡경사각은 16도나 갑판 끝단 침수각(angle of deck edge immersion)의 80% 중 더 작은 값보다 작아야 한다. 게다가 선박이 풍하측으로 전도되지 않도록 저항하는데 이용가능하거나 잠재된 에너지는 풍상측 횡요각으로 인해 저장된 에너지와 동일하거나 그보다 더 커야 한다.

1.8.2 NTSB의 성능 연구

사고 후 NTSB는 사고선박의 VDR과 IMACS에서 추출한 데이터를 사용하여 사고 당시 골든레이호에 작용된 외력과 그 영향을 판단하였다. 본 연구에서는 선박이 01시 36분 00초 초기 횡경사각 약 8도에서 약 50초 동안(01시 36분 50초) 같은 방향의 50도로 경사되었고 1분도 채 되지 않아 60도까지 더 기울었으며, 우현 선회각속도는 분당 약 2도에서 분당 40도 이상으로 증가한 것으로 나타났다(그림 14번 참고).

10) m-라디안 또는 미터-라디안은 선박 복원정곡선 아래 합산면적의 측정단위이다.



[그림 14] NTSB가 실시한 골든레이호의 성능 연구 그래프.
 좌측: 이전 두 차례 좌선회를 포함하여 통항하는 동안의 횡경사각.
 우측: 통항하는 동안 선수방위와 선회각속도.

본 연구에 따르면 선속 12~13노트에서 선박이 우선회하는 동안 무게중심 아래 거리에서 선체에 작용하는 유체동역학적 횡력으로 생성된 우력에 의해 선박의 횡경사각이 바뀌었다. 횡경사에 저항하는 유체정역학적 복원성(부력)은 일항사가 보고한 GM값인 2.45미터(8피트) 보다 훨씬 낮았으며, 오히려 GM값이 약 0.45미터(1.5피트)에 대한 복원성과 일치하였다. 또한, 연구에서 바람의 영향을 정확하게 계산할 수는 없었지만 경사모멘트가 일어난 다른 원인에 비해 바람으로 발생된 경사모멘트는 강도가 낮아 유의미하지 않았다. 연구 결과 선박의 실제 무게중심은 보고된 것보다 상당히 더 높아 횡요에 충분히 저항할 수 없었던 것으로 밝혀졌다.

1.8.3 해양안전센터(MSC) 분석

사고 분석. 본 사고 조사의 일환으로 USCG의 해양안전센터(Marine Safety Center, MSC)에서는 9월 8일 골든레이호가 브런즈윅항을 출항할 당시 최종적부계획서에 포함된 화물무게와 IMACS 컴퓨터에서 복구한 액체류 적재량(연료유, 윤활유, 청수, 평형수, 폐수)을 바탕으로 컴퓨터 모델링하여 골든레이호 복원성에 대한 포렌식 분석을 완료하였다(USCG 2020).

MSC는 최종적부계획서, IMACS 데이터 및 T&S 책자를 참고하여 사고항차 당시 홀수와 트림에서 요구되는 GM 최소값과 KG 최대값을 계산하였다(부록 C: 복원성 원칙 참고). 그 결과 MSC는 T&S 책자에 따른 선박의 GM값은 최소 2.54미터(8.3피트)를 확보했어야 함을 확인하였다. MSC의 분석 결과, 사고항차 당시의 골든레이호 GM값은 T&S 책자에서 요구하는 최소 2.54미

터(8.3피트)와 일항사가 보고한 2.45미터(8피트)보다 낮은 약 1.76미터(5.8피트)로 확인되었다. 또한, 사고항차 당시 KG값은 T&S 책자에서 요구하는 KG 최대값인 17.5미터(57.4피트)보다 약 3.8% 더 높은 18.2미터(58피트)로 확인되었다.

추가적으로, MSC는 사고항차를 시뮬레이션하기 위해 사고 당시 골든레이호에 적재된 화물과 액체를 T&S 책자 속 유사한 선적 상태와 비교하였다. T&S책자에는 “정상적인 평형수 상태에서 의 입항(Normal Ballast Condition Arrival)” 및 “접안(Docking)”과 같이 항해하는 동안 일반적으로 발생하는 화물, 연료와 평형수 등 적재상황을 가정한 34가지 선적 상태가 제시되어 있다. 이 34가지 선적 상태는 적절한 선박 복원성을 가진 선적 상태이다. MSC는 이 34가지 상태 중 6가지 상태가 사고항차 당시 선박의 선적 상태와 유사한 것(그림 15 참고)으로 확인되었으며, 이 6가지 상태를 “기준”으로 삼아 사고항차와 비교하였다. 책자에는 골든레이호와 유사한 화물 수직무게중심을 가진 두 가지 선적 상태(17번과 18번)가 제시되어 있다. 그러나 사고항차 당시 골든레이호의 평형수, 연료와 청수(액체 적재량)는 기준상태보다 40% 적었고 화물무게는 12%가 더 많았다. 다른 두 가지 선적 상태(13번과 14번)에서는 액체의 총 적재량은 유사하였지만 사고항차 당시에는 기준상태보다 화물의 수직무게중심이 20% 더 높았으며 화물 무게도 약 1,500톤(약 17%) 더 많았다. 마지막으로, MSC는 두 가지 선적 상태(19번과 20번)를 추가로 살펴보았다. 해당 상태에서는 사고항차 당시보다 화물이 900톤 정도 더 적재된 상태로 화물무게(사고항차 8,780.2톤)가 상호 유사하여 비교가 가능하였다. 다만, 사고항차 당시 골든레이호의 액체 적재량은 위 기준상태보다 2,900톤이 더 적은 상태였다.

| | 평형수(MT) | 연료(MT) | 총 액체(MT) | 화물무게(MT) | 화물 VCG(m) | 선박 VCG(m) | 총 배수량(MT) |
|------------|---------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| MSC 사고항차 | 2981 | 1619 | 4601 | 8780 | 24.3 | 18.2 | 35044 |
| T&S 17번 상태 | 2766 | 4233 | 7000 | 7742 | 24.2 | 17.1 | 36175 |
| T&S 18번 상태 | 5463 | 1066 | 6529 | 7742 | 24.2 | 17.0 | 35704 |

| | 평형수(MT) | 연료(MT) | 총 액체(MT) | 화물무게(MT) | 화물 VCG(m) | 선박 VCG(m) | 총 배수량(MT) |
|------------|---------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| MSC 사고항차 | 2981.45 | 1619.2 | 4601 | 8780 | 24.3 | 18.2 | 35044 |
| T&S 13번 상태 | 320 | 4233 | 4553 | 7267 | 19.4 | 17.0 | 33253 |
| T&S 14번 상태 | 3117 | 1066.2 | 4183.2 | 7267 | 19.4 | 16.8 | 32884 |

| | 평형수(MT) | 연료(MT) | 총 액체(MT) | 화물무게(MT) | 화물 VCG(m) | 선박 VCG(m) | 총 배수량(MT) |
|------------|---------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| MSC 사고항차 | 2981 | 1619 | 4601 | 8780 | 24.3 | 18.2 | 35044 |
| T&S 19번 상태 | 3282 | 4233 | 7515 | 9670 | 24.2 | 17.2 | 38619 |
| T&S 20번 상태 | 6601 | 1066 | 7667 | 9670 | 24.2 | 16.9 | 38771 |

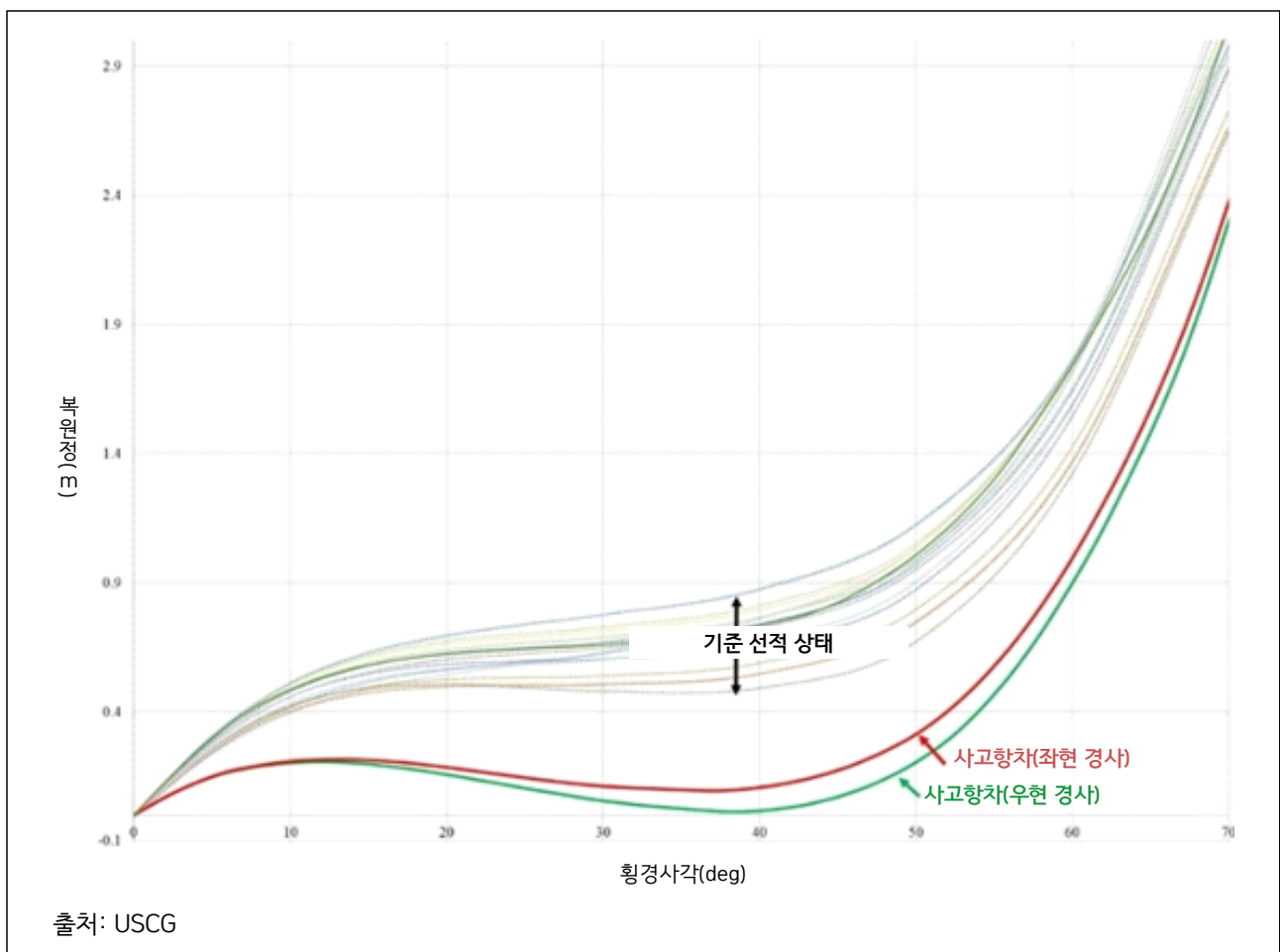
* VCG: 수직무게중심

출처: USCG

[그림 15] MSC가 사고 후 분석한 골든레이호의 사고항차(전도) 당시 선적 상태와 T&S 책자의 선적 상태 17번과 18번, 13번과 14번, 19번과 20번 비교.

총 액체 적재량은 평형수와 연료유(연료)의 합이다. 녹색으로 색칠된 부분은 각 선적 상태에 대해 골든레이호가 요건을 충족한 값이며 빨간색으로 색칠된 부분은 요건을 충족하지 못한 값이다.

MSC는 비손상 복원성을 판단하기 위하여 골든레이호의 복원정곡선을 도출하여 그 결과를 IS 코드의 복원성 기준과 비교하였다. MSC가 도출한 복원정곡선은 “복원정 길이와 복원정곡선 아래 합산면적 모두 T&S 책자에서 기준으로 삼은 상황에서의 값보다 상당히 더 낮았다.” MSC는 IS 코드 기준을 이 복원정곡선에 적용하였을 때 골든레이호 선적 상태에서 횡경사각 30도와 40도 사이에서 복원정곡선의 아래 합산면적은 특히 좁았고, 따라서 골든레이호는 2008 IS 코드를 충족시키지 못했다고 분석했다(그림 16 참고). MSC는 복원정곡선 아래 합산면적이 좁았기 때문에 선박이 IS 코드의 극한 상태의 바람과 횡요 기준에서의 합산면적 비율 기준도 충족하지 못했다고 판단하였다. 그 결과, MSC는 골든레이호는 화물이 적재된 상태에서 극도로 낮은 복원력을 가지고 있었으며 그로 인해 음(-)의 정적(adverse static) 또는 동적 경사효과를 더 견디지 못하였고 우선회하는 동안 선박에 작용된 원심력으로 인해 전도되었을 것이라는 결론을 내렸다.



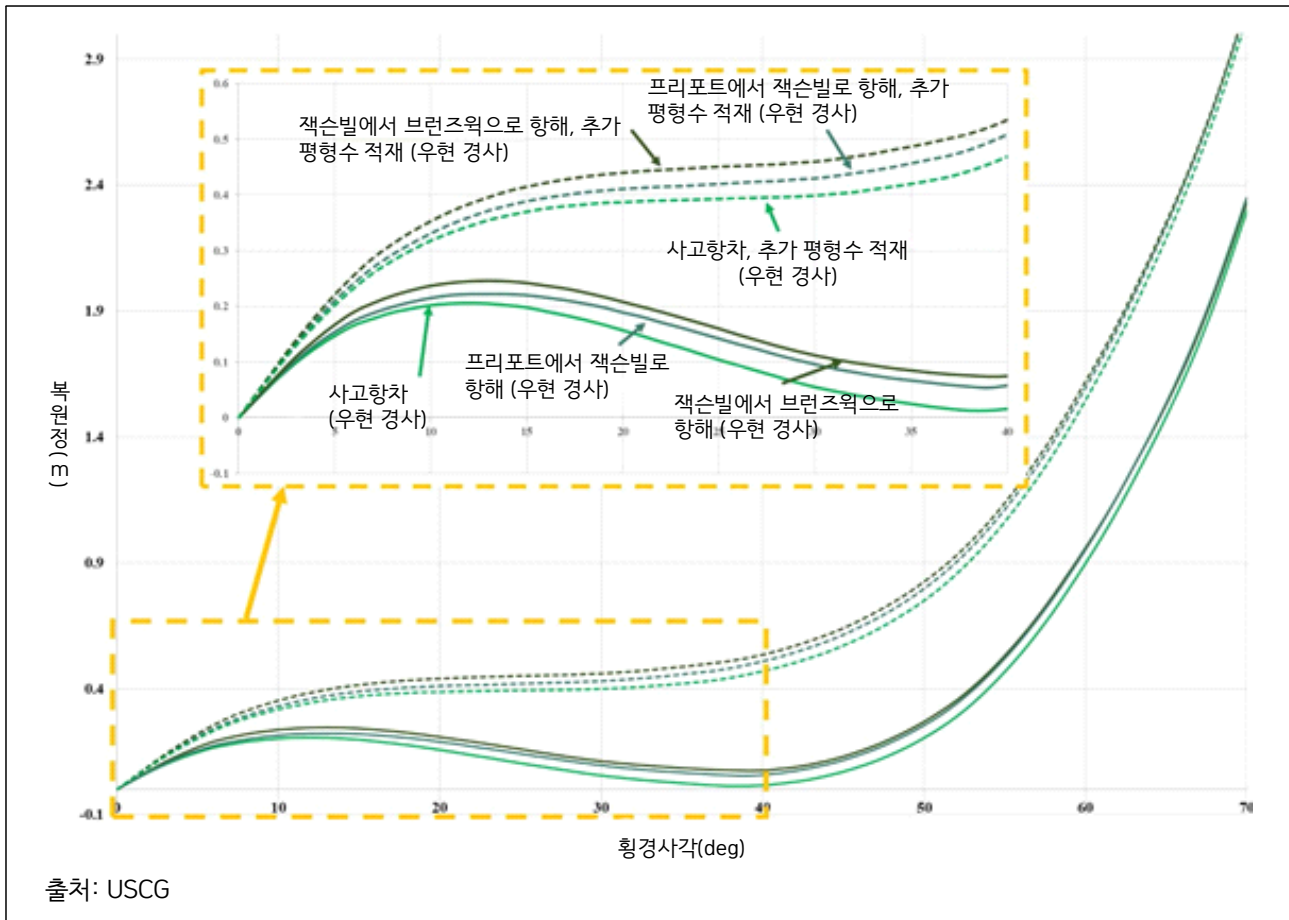
[그림 16] 골든레이호의 T&S 책자 속 유사한 선적 상태에 대한 기준 복원정곡선과 MSC가 골든레이호 분석으로 도출한 사고항차 당시 복원정곡선의 비교

이전 항차의 복원성 분석. MSC는 사고항차 전 2항차(텍사스주 프리포트 - 플로리다주 잭슨빌, 플로리다주 잭슨빌 - 조지아주 브런즈윅) 동안의 비손상복원성을 평가하고자 추가 분석을 실시하였다. 선장은 골든레이호가 텍사스주 프리포트와 플로리다주 잭슨빌을 출항했을 때 일항사가 작성한 복원성 결과가 포함된 출항보고서를 회사에 전송하였다. 회사의 육상직원은 해당 출항보고서에 포함된 정보는 검토하였으나 정보의 정확도와 T&S 책자 상 기준 준수 여부를 확인하기 위해 데이터를 평가하거나 검증하지는 않았다.

해당 출항보고서에 따르면 골든레이호 선박이 두 항만을 출항했을 당시 일항사가 계산한 GM 값은 1.96미터(6.4피트)였다. 그러나 MSC는 각 항차의 최종적부계획서와 IMACS의 액체 적재량 데이터에 기초하여 선박이 프리포트 출항시 GM값은 1.84미터(6피트), 잭슨빌 출항 시는 1.91미터(6.3피트)였을 것으로 추정하였다.

또한, MSC는 분석을 통해 골든레이호가 계획된 사고항차에 비해 이전 두 항차 동안 복원력이 더 높았더라도 횡경사각 30도와 40도 사이에서 복원정곡선 아래 합산면적이 충분히 넓지 않았기 때문에 IS 코드의 최소 복원정 요건 전부를 준수하지 않았다는 점을 확인하였다. MSC 보고서에서는 “IS 코드 기준을 준수하지 못한 점...은 골든레이호가 극한 상태의 바람과 파도, 더 높은 속도/더 좁은 반경의 선회와 같은 특정 동적 환경에 노출된 경우 전도될 위험성이 더 높다는 것을 의미”하며 골든레이호가 “더욱 심한 부정적 상황에 노출되었다면 선박은 이전 항차에서도 전도했을 수 있다”고 설명하였다.

또한, MSC 보고서에서는 만일 골든레이호가 1,492톤의 평형수(프리포트에서 출항 후 1,500톤의 평형수를 주입하였고 잭슨빌에 입항하기 전 항만의 흡수요건을 충족하기 위해 배출하였다)를 추가로 적재했다면 선박은 이전 두 항차와 사고항차 모두에서 IS 코드를 준수했을 것이라고 설명하였다(그림 17 참고). 또한, MSC는 추가 평형수를 적재하였을 때를 가정하여 계산한 골든레이호의 이론상 초기 GM값은 사고항차의 경우 2.25미터(7.4피트), 프리포트 출항 항차에는 2.4미터(7.9피트), 그리고 잭슨빌 출항 항차에는 2.47미터(8.1피트)였을 것으로 기술하였다(비교를 위해 MSC는 당시 선적 상태에 대한 초기 GM값은 사고항차의 경우 1.76미터(5.8피트), 프리포트 출항 항차는 1.84미터(6피트), 그리고 잭슨빌 출항 항차는 1.91미터(6.3피트)로 산출하였음).



[그림 17] 1,492MT의 추가 평형수가 적재된 경우 MSC의 골든레이호 분석에서 산출된 사고항차와 이전 2항차의 이론상 복원정곡선(녹색 점선).

MSC의 분석에서 산출된 각 항차별 실제 선적 상태에 대한 복원정곡선(녹색 실선)과 비교하였다.

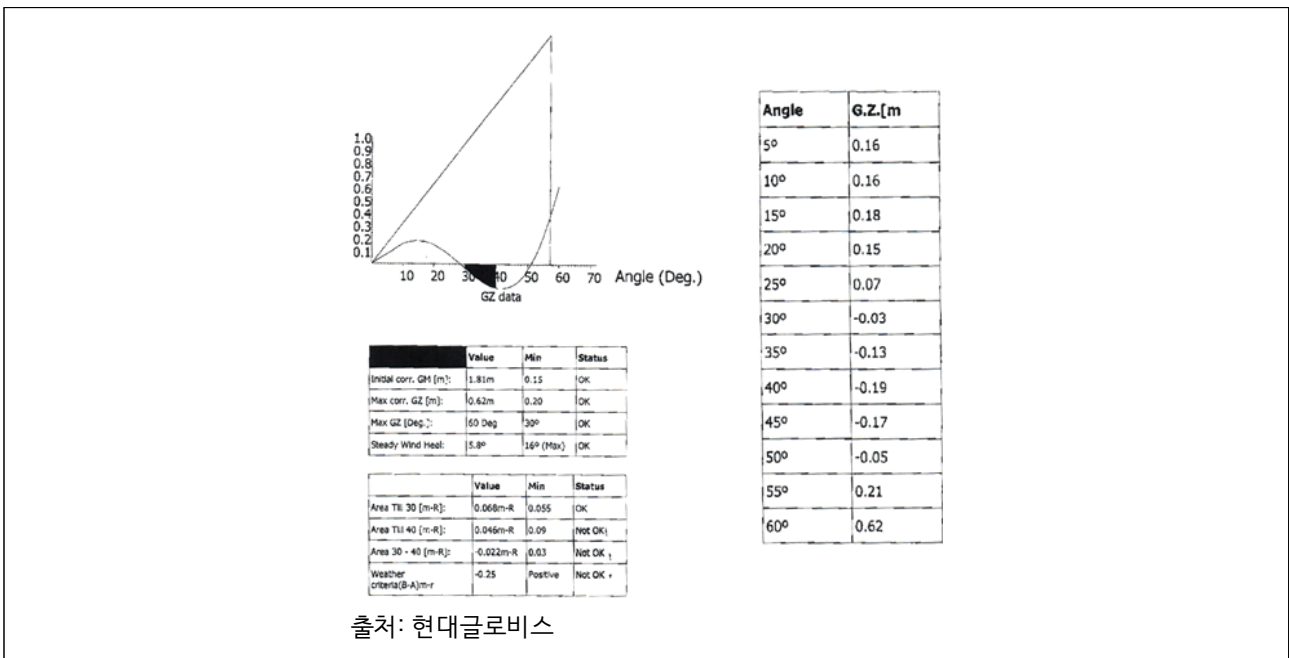
해수유입. MSC는 분석의 일환으로 5번 갑판에 열려 있던 좌현측 도선사 출입문을 통한 선박 내 해수유입을 조사하였다. 해수유입은 선박의 선체 또는 상부구조물에 있는 통풍구나 해치, 혹은 침수지점(downflooding point)과 같은 개구부가 침수될 경우 일어나게 된다. 선박이 경사로 인 해 침수점(본 사고의 경우 열려 있던 좌현측 도선사 출입문)이 잠기는 최저각을 해수유입각(downflooding angle)이라 한다.

분석 결과, 적재상태인 선박의 해수유입각은 선박이 좌현으로 기울었을 때 약 17도로 줄어들 었다(도선사 출입문과 다른 기타 풍우밀문과 선체수밀문이 모두 닫힌 경우 해수유입각 83도와 비교). 그 결과, 골든레이호가 17도로 기울어졌을 때 열려 있던 도선사 출입문 구역으로 해수가 유입되었고 5번 갑판이 침수되었다. MSC에 따르면 골든레이호가 계속 기울자 해수는 열려 있던 해치와 비수밀문, 그리고 통풍구 등을 통해 선박 내부로 지속적으로 유입되었을 것이다.

1.8.4 사고 후 추가 분석

중앙해양안전심판원(Korea Maritime Safety Tribunal, KMST). IMO 해양사고조사코드(IMO Casualty Investigation Code)¹¹⁾에 따라 USCG 요청으로 중앙해양안전심판원(KMST)은 대한민국 정부를 대표하여 본 사고조사의 당사국으로 참여하였다. KMST는 골든레이호의 예비복원성분석을 실시하였으며 USCG와 유사한 결론이 도출되었다. KMST는 골든레이호의 브런즈워 출항 당시 GM값은 약 1.8미터(5.9피트)였고, 선박이 좌현으로 기울어지는 것을 막기에는 지극히 낮은 복원력이었다고 판단하였다.

현대글로벌비스(Hyundai Glovis). 이 용선자는 골든레이호와 동급 선박인 실버레이호에 설치된 복원성 계산 컴퓨터를 사용하여 골든레이호의 복원성을 분석하였다(현대글로벌비스, 2020년). 용선자는 본 시뮬레이션에서 자체 수집한 선박 데이터와 상태자료를 활용하였으며 USCG나 NTSB는 참관하지 않았다. 해당 시뮬레이션에서 골든레이호의 GM값은 1.8미터(5.9피트)로 계산되었으며 사고 당시 골든레이호의 복원정곡선은 극도로 낮았고 3건의 복원성 요건에 대해 복원성 계산 컴퓨터에서는 “불량(Not OK)”으로 나타났다(그림 18 참고). 또한, 횡경사각이 약 25도가 되자 복원정곡선은 음(-)의 복원성을 보였다.



[그림 18] 사고 당시 골든레이호 선박 데이터에 기초하여 실버레이호의 복원성 계산 컴퓨터로 계산한 복원정곡선. 3개의 복원성 요건 모두 “불량(Not OK)” 상태를 보였으며 복원정(GZ)은 횡경사각이 25도를 넘어서자 음(-)의 값을 가졌다.

11) 1997년 IMO가 수립한 해양사고 또는 준해양사고의 안전사고 조사를 위한 국제표준 및 권고된 관행에 대한 협약(해양사고조사코드)은 객관적인 해양사고조사를 위한 기준과 모범관행을 제공한다.

1.8.5 교통연구위원회(TRB)

교통연구위원회(Transportation Research Board, TRB)의 해사위원회(Marine Board)(전미과학공학의학한림원(US National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM) 산하 부서)에서는 사고 발생 전인 2018년 “USCG 선박 복원성 규정 검토(Review of U.S. Coast Guard Vessel Stability Regulations)”라는 보고서를 발간하였다. 본 보고서에서 해사위원회는 미국국적선의 복원성 요건을 확립하는 USCG의 규정과 정책을 검토하고 해당 요건이 국제표준에 더욱 부합하고 더 나은 일관성과 명확성을 가질 수 있는 방안을 제안하였다(NASEM, 2018년). 본 보고서에서 TRB는 자동차운반선(로로선)과 관련된 많은 해양사고를 검토하였는데 이들 사고를 통해 “규정을 만들 때 인적과실에 대한 고려의 중요성을 알게 되었다”라고 설명하였다.

먼저 자동차운반선처럼 복원성 손실에 더 취약한 선형(높은 건현[sail area]과 높은 갑판에 선적된 화물 등의 특징 때문)의 경우 규정 준수 시 인적과실로 야기되는 잠재적 위험성을 간과할 수 없으며 이는 규정의 내용과 설계, 효과성 평가에 반영되어야 한다.

1.8.6 SOLAS 개정

2020년 1월 1일 SOLAS 제II-1장 제20규칙의 개정안이 발효되었다. 본 개정안의 내용은 다음과 같다.

선박이 화물 작업을 완료하고 출항하기 전, 선장은 선박의 트림과 복원성을 판단하고 또한 선박이 균형 상태이며 관련 규정의 복원성 기준을 준수하는지 확인하고 기록해야 한다. 선박 복원성은 항상 계산으로 산출하거나 해당 선박에 사전에 승인받은 복원성 정보를 바탕으로 계산된 선적 상태 중 하나에 따라 적재되도록 함으로써 판단한다. 행정당국은 이를 위해 전자적 선적 및 복원성 컴퓨터 또는 그와 동일한 수단을 사용하도록 승인할 수 있다.

이러한 요건은 과거 여객선에만 적용 가능하였으나 화물선이 포함되도록 개정되었다.

1.9 수로 정보

1.9.1 일반 사항

미육군 공병단(US Army Corps of Engineers, USACE)이 관리하는 브런즈윅항의 항행수로

(navigation channel)는 길이 16마일이며 간조 시 항외 규정수심은 38피트(11.6미터), 항내는 36피트(11미터)이다. 수로의 너비는 400~500피트(122~152.4미터)이며 선박이 양방향으로 통항할 수 있다. 항만의 평균 조차는 약 7피트(2.1미터)이다. 브런즈윅항의 수로 바닥은 대부분 석회질을 띠는 모래와 진흙으로 구성되어 있다. 또한, 수로는 선박이 수로를 따라 이동하는 경우 교행하는 선박들이 더 넓은 곳에서 선회할 수 있도록 지정된 6개의 여유수역으로 구성된다.

세인트 시몬스 해협은 남쪽에 있는 제킬 아일랜드(Jekyll Island)와 북쪽에 있는 세인트 시몬스 아일랜드(St. Simons Island) 사이에 위치한다. 이는 브런즈윅강의 일부이며 여기에서 브런즈윅강은 대서양으로 흘러 들어간다.

1.9.2 항행수로 조사

USACE는 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)과 협력하여 수중조사와 함께 항행수로 수심을 매월 모니터링하였고 수로가 규정수심을 유지하도록 준설작업을 계획하였다. 상태를 기록하기 위해 수로에서 선박이 정해진 패턴으로 단일빔, 다중빔, 또는 측면주사음탐기(side scan sonar, SSS)를 예인하도록 하여 수중조사를 실시하였다. 여유수역은 USACE에서 관리하도록 정해진 수로에 속하지 않아 여유수역으로 확인된 해도 상의 영역은 본 수중조사에 포함되지 않았다. 해당 조사 결과는 USCG와 브런즈윅 도선사협회, 그리고 항만당국과 공유되었다.

2019년 9월 4일(사고 발생 4일 전) 허리케인 도리안(Dorian)이 브런즈윅항을 강타하였다. USACE는 항내 통항 안전을 위하여 9월 5일부터 6일까지 NOAA와 함께 수로측량을 실시하였다. 조사 결과 안전 문제는 발견되지 않았다.

골든레이호 전도사고 이후 USACE와 NOAA는 20번 부표와 11번 여유수역, 그리고 19번 부표에 대한 광범위한 수로측량을 9월 9일과 11일 두 차례 실시하였다. USACE에 따르면 두 차례의 측량조사 중 선박이 수로나 여유수역에서 해협 바닥과 접촉했음을 알리는 이상 징후나 지표를 찾을 수 없었다. 또한, USACE는 수로의 수심이 규정수심과 같거나 그보다 더 깊었으며, 골든레이호가 수로 바깥에서 좌현으로 기울기를 시작하기 전 지나간 11번 여유수역의 깊이도 50피트(15.2미터)였음을 보고하였다.

1.10 기상정보

본 사고는 야간에 발생하였으며 사고 당시 하늘은 부분적으로 흐렸으며 가시거리는 10마일 이내였다. 기온은 섭씨 23.9도(화씨 75도)로 기록되었으며 수온은 섭씨 28.1도(화씨 82.5도)였다.

바람은 약 4노트로 남서풍이 불었다.

1.11 사고 후 조치

1.11.1 미국 해안경비대(USCG)

2020년 9월 9일, USCG는 골든레이호 전도사고에 대한 해사조사위원회(Marine Board of Investigation) 소집을 발표하였다. 해사조사위원회에는 USCG, NTSB, RMI, KMST, 그리고 용선자와 선박관리회사 대표, 브런즈윅 도선사협회가 포함되었다. 공청회(formal hearing)는 2020년 9월 14일부터 18일, 2020년 9월 21일과 22일 개최되었다. 골든레이호 일항사는 청문회 인터뷰 요청을 거절하였다.

공청회 동안 브런즈윅항의 환경 및 선적절차, 선박관리회사의 조직구조, 관리 감독 및 문화, 그리고 선박의 규제준수 기록 등을 검토하였다.

1.11.2 마셜제도공화국(RMI)

2020년 10월, 마셜제도는 등록 선박을 대상으로 비손상 복원성 유지를 위한 요건과 권고 사항을 상세하게 담은 “비손상 복원성 유지 - 주의(Maintaining Intact Stability - Reminder)”라는 제목의 해사안전권고문 29-20(Marine Safety Advisory 29-20)을 발표하였다. 본 권고문에는 정확한 선박 복원성 계산과 관련된 복원성 책자 적용에 대한 정보, 선박이 복원성 요건을 준수하는지 검증해야 하는 선장과 선주의 역할, 선박이 복원성 요건을 준수하는지 검증하는 수단으로서 회사 관리 감독의 중요성이 포함되어 있다.

2021년 1월, 마셜제도는 등록 선주, 선박관리회사, 상선 선장과 항해사, 그리고 공인기관을 대상으로 “비손상복원성 및 손상복원성, 선박 강도(Intact Stability, Damage Stability, and Strength of Vessels)”라는 제목의 해사지침 2-015-1(Marine Notice 2-015-1)을 발표하였다. 해당 지침에는 SOLAS 제II-1장 제20규칙에 따른 새로운 요건이 기재되어 있었으며 비손상복원성과 손상복원성, 종강도, 손상된 구조강도에 대한 요건이 명시되어 있다.

1.11.3 지마린 서비스

본 사고 이후, 선박관리회사는 안전성을 개선하고 향후 유사한 사고의 발생가능성을 줄이기 위해 몇 가지 정책을 이행하였다. 회사는 복원성, 홀수 계산, 화물관리, 복원성 계산 컴퓨터의 올바

른 사용을 포함한 주제에 관하여 일항사를 대상으로 더 많은 필수교육을 시행하였다. 이와 더불어, 회사는 일항사가 복원성 계산 컴퓨터에서 계산한 GM값과 T&S 책자의 유사한 선적 상태에 요구된 GM 최소값을 반드시 비교하도록 선대 전체에 대하여 절차를 개정하였다. 선박의 출항 보고서에 이 두 값 모두를 포함하도록 하였다. T&S 책자의 선박별 GM 최소값 표도 각 선박의 화물 사무실(cargo office)과 선교에 게시되었다.

회사에서는 사내 모든 선임사관과 함께 골든레이호 사고에 대한 사례검토를 마쳤으며 모든 선장과 사관은 승선 전 복원성 계산 컴퓨터에 대해 재교육을 받도록 절차를 강화하였다. 또한, 회사는 선박이 최종적부계획서를 받고 해당 계획서에 기초하여 선박의 복원성을 검토한 후에 출항할 수 있도록 관리 절차를 개정하였다. 그리고 회사는 선박 감독이 승선 점검 중 복원성 계산 컴퓨터 데이터 및 출력된 기록물 사용을 포함한 복원성에 관하여 “특별 점검” 하도록 하였다.

마지막으로 회사는 선대 전체가 “더욱 사용자 친화적인 복원성 계산 컴퓨터”를 사용할 수 있도록 하기 위하여 해당 복원성 계산 컴퓨터의 유형 개발과 표준화에 착수하였다.

section

2

사고 분석

2. 사고 분석

2.1 서론

마셜제도(RMI) 국적의 길이 656피트(200미터) 자동차운반선(로로선) 골든레이호는 차량 하역 및 선적 작업을 마친 다음 날인 2019년 9월 8일 약 01시 00분경 미국 메릴랜드주 볼티모어로 향하기 위해 조지아주 브런즈윅항 콜로넬스 아일랜드 터미널을 출항하였다. 선박이 브런즈윅항을 통해 세인트 시몬스 해협으로 항행하는 동안 브런즈윅항 소속 도선사가 선박을 도선하였다. 도선사는 선박을 두 차례 좌현으로 선회시켰고, 선박이 오른쪽 선회구간을 통해 대서양으로 이어지는 플랜테이션 크릭 구간으로 진입하자 도선사는 조타수에게 우현으로 조타 할 것을 명령하였다. 그러자 선박은 우선회하면서 좌현으로 급격하게 기울기 시작했다.

도선사와 선장은 배가 기울는 것을 막기 위해 신속하게 조타명령을 내리기 시작했다. 그러나 경사는 계속 되었으며 선회각속도는 우현으로 증가하였고, 결국 선박은 1분도 채 되지 않아 좌현으로 약 60도까지 기울어졌다. 당시 열려 있던 좌현측 도선사 출입문을 통해 5번 갑판으로 해수가 유입되었고 열려 있던 수밀문을 통해 기관실과 조타기실이 침수되었다. 선박은 결국 좌현으로 90도 전도되었다.

USCG는 브런즈윅항의 예인선과 도선선, 조지아주 천연자원부와 글린 카운티 소속 구조대원, 씨토우 선박과 함께 구조작업에 참여하였다. 도선사와 23명의 선원 중 19명이 먼저 대원들에 의해 구조되었다. 나머지 기관부원 4명은 구조대원들이 선체를 절단한 9월 9일 저녁까지 기관실에 고립되어 있었다. 선원 2명이 중상을 입었으며 전체 선박손실액과 화물손실액은 각각 약 6,250만 달러와 1억 4,200만 달러로 추산되었다.

본 사고 분석에서 확인된 안전 문제는 다음과 같다.

- 선박 복원성 계산 오류 (제2.2.3장)
- 선박 복원성 계산에 대한 선박관리회사의 감독 부족 (제2.3장)

본 조사에서는 사고 환경에 대해 포괄적으로 검토한 결과, 다음을 원인요소에서 배제하였다.

- **날씨:** 사고가 발생한 시각, 하늘은 부분적으로 흐렸으며 가시거리는 10마일 이내였고 풍속 4노트의 미풍이 불었다. 또한, NTSB는 골든레이호의 사고 후 성능 연구 결과, 사고가 발생한 시각에 바람의 영향은 유의미하지 않았던 것으로 판단하였다.
- **선박평형수 또는 연료 이송:** 골든레이호의 IMACS 데이터를 검토한 결과 브런즈윅항 콜로넬스 아일랜드 터미널에서 선내 연료의 양은 미미한 정도로 변경되었으며 항만에 머무르는 동안 선내 평형수의 양에는 변화가 없었다. 일항사는 화물 작업(차량 적·양하)을 마친 후 선박 기울기를 줄이기 위해 힐링탱크(heeling tank) 간 평형수를 옮겼고, 기울기는 좌현 0.42도에서 우현 0.03도로 바뀌었다. 복원된 IMACS 데이터에 따르면 선박이 터미널을 출항한 후 사고가 발생되기 전 평형수나 연료의 추가 이송은 없었다.
- **추진 및 조타장치:** 선장은 과거 두 항차(프리포트-잭슨빌, 잭슨빌-브런즈윅) 동안 골든레이호를 문제없이 조종하였으며 선박이 브런즈윅항에 도착하자 도선사는 선박을 사고없이 성공적으로 입항시켰다. 사고 당시 출항하는 동안 선박은 엔진명령과 조타명령에 제대로 응답하였고 도선사나 선원 모두 선박의 추진장치나 조타장치에 대해 문제가 있다고 보고하지 않았다. 또한, 도선사가 에메랄드호 도선사와 USCG에게 사고를 신고할 때 기계문제나 관련 우려사항에 대한 언급은 없었다.
- **선내 화물 이동:** 화물 작업을 마친 후 선박은 사전적부계획에 따라 배치된 차량 4,161대를 운송하고 있었다. 육상인력은 선박의 화물고박에 대해 어떤 문제나 손상도 보고한 바 없었으며 화물배치에 문제가 있다고 보고한 선원도 없었다. 선박이 기울기 전 선내에서 화물의 이동을 알리는 선원의 언급이나 VDR 기록은 찾을 수 없었다.
- **조초:** 선박의 콜로넬스 아일랜드 터미널 입항과 브런즈윅항 출항 과정에서 도선사가 선박이나 수로에 대해 보고한 문제는 없었다. USACE와 NOAA는 사고 발생 4일 전인 2019년 9월 4일 세인트 사운드 해협에서 수로조사를 실시하였으나(허리케인 도리안 때문) 발견된 외부물체는 없었다. 또한, 수심은 간조 시 규정수심인 38피트(11.6미터)였다. 골든레이호 전도 및 침몰 사고 이후 바로 며칠 뒤 실시된 두 차례의 유사한 수로측량조사에서 수로의 수심은 규정수심과 같거나 그보다 더 깊었으며 11번 여유수역은 자연적으로 형성된 수심인 50피트(15.2미터)로 확인되었다. 출항 전 선박의 흘수는 선수 30.8피트(9.4미터), 선미 31.2피트(9.5미터)였으며 이는 수심 38피트(11.6미터) 수로에 대해 규정된 선저여유수심(UKC)인 최소 3피트(0.9미터) 기준을 충족하였다. 또한, 해당 조사에서는 선박이 수로에서 충돌할 수 있는 장애물이 발견되지 않았으며 선박이 수로 바닥에 충돌했다는 흔적을 찾을 수 없었다.

- **화물창 화재:** 골든레이호가 전도되고 구조작업이 진행되는 동안 선원과 구조대원들은 선박 내부에서 화물이 부딪히는 소리를 들었다. 이후, 구조작업을 하는 동안 차량갑판 부분에서 화재 발생 사실이 보고되었다. 01시 38분 이전, 선원이 보고하였거나 VDR로 기록된 화재경보는 없었으며, 따라서 화재가 선박이 기울기 전 시작된 것은 아니다. 조사관들은 화재가 발생된 정확한 시각이나 정확한 발화지점을 판단할 수는 없었다. 그러나 선박이 기울어진 동적 환경, 연료탱크 내 25% 이하로 휘발유가 채워진 차량의 이동과 상호 충돌, 그리고 선박의 화물창 속 구조로 인해 차량에서 일부 누유가 발생되었을 것이고 이는 화재가 발생할 수 있는 초기 발화원이 되었을 것이다. 선박이 기울어짐에 따라 차량은 서로 부딪혔을 것이며 불꽃이 일어나 누출된 연료를 연소시켰을 수 있다. 화물창에도 타이어와 플라스틱 차량 부품을 포함한 가연성 물질 또한 화재의 연료원이 되었을 것이다. 따라서 화재는 선박이 전도된 후 발생되었을 가능성이 있다.

따라서, NTSB는 다음 사항은 이번 사고의 요인으로 작용하지 않았다는 결론을 내렸다.

- (1) 기상
- (2) 선박평형수 또는 연료 이송
- (3) 추진 및 조타장치
- (4) 선내 화물 이동
- (5) 선박을 좌초시킬 수 있는 수로 내 항행장애물
- (6) 화물창 화재

2.2 선박 복원성

2.2.1 선박 횡경사

01시 22분경 골든레이호는 출항한 후 선속 11.6노트에서 38도 좌선회(도선사는 타각을 20도까지 사용)를 하였고, 그 결과 선박의 횡경사각은 우현 4도가 되었다. 01시 28분경 선박은 조금 더 빠른 선속으로 다시 한 번 38도 만큼 좌선회(도선사는 타각 20도까지 사용)하였고 횡경사각은 우현 6도에 달하였다. 선박은 각각의 선회 후 정상적인 직립상태(횡경사각 0도)로 돌아왔으며 선원들의 보고나 NTSB 성능 연구에서 그래프로 나타난 IMACS의 횡경사각 데이터 상에도 선박이 위와 같이 두 번을 선회하는 동안 과도하게 기울어졌음을 알리는 지표는 없었다.

01시 36분 08초경 골든레이호는 수로의 11번 여유수역에서 우현 방향으로 68도를 선회하여 플랜테이션 크릭 구간으로 진입하였고 도선사는 우현 10도를 지시하였다. 해당 지점에서 선박에

문제가 있다고 보고한 도선사나 선교 위 선원은 없었으며 선교에서 경보도 울리지 않았다. 그 직후 01시 36분 39초에 도선사는 우현 20도를 명령하였다. 몇 초 경과한 01시 36분 47초에 도선사는 타를 중립으로 되돌리도록 지시하였고 11초 후 선박은 좌현으로 크게 기울기 시작하였다. VDR에 기록된 당시 상황을 보면, 선교에 있던 선원들이 선박의 기울기에 놀라는 소리를 들을 수 있다. 도선사는 점점 커져가는 기울기를 막기 위해 조타수에게 타를 좌현으로 움직일 것을 명령하였지만 선박은 계속 기울어 결국 좌현으로 60도까지 기울었다. 그리고 나서 1분도 채 되지 않아 선박은 수로와 여유수역을 벗어나 수심이 얕은 지점에서 좌초되었다.

선박은 천천히 선회하며 움직일 때 선박의 무게중심에서 원심력을 포함하여 선박의 추진 방향에 작용하는 횡력(lateral forces)을 받게 된다. 선회하는 동안 수압은 동일한 크기의 반대의 힘을 만들어내고, 따라서 선박은 선회방향과 반대방향으로 기울어진다. 만일 선박에 충분한 복원력이 있다면 선박은 정상적인 균형 상태로 되돌아올 것이다.

USCG MSC에서 실시한 사고 후 복원성 분석에서 사고 당시 골든레이호는 T&S 책자 상 가장 유사한 선적 상태(기준)에 비해 복원력이 상당히 낮았다. 이 분석에서는 골든레이호는 극도로 낮은 복원력을 가졌으며 그로 인해 음(-)의 정적(adverse static) 또는 동적 경사효과를 더 견뎌내지 못하였고 우선회하는 동안 선박에 작용된 원심력으로 결국 전도되었을 것이라는 결론을 내렸다. 또한, 사고 후 두 건의 추가적인 분석이 있었다. 하나는 KMST가 실시하였고 다른 하나는 용선자(현대글로비스)가 골든레이호에 설치된 것과 동일한 복원성 계산 컴퓨터(골든레이호와 동급 선박인 실버레이호에 설치)를 사용하여 실시하였다. 위 두 건의 분석에서도 골든레이호는 횡경사력을 막기에는 극도로 낮은 복원력을 가진 것으로 나타났다.

골든레이호는 전도사고로 이어진 우선회 14분과 8분 전, 두 차례 38도 좌변침을 하였고, 이때 타각을 20도까지 사용하였다. 출항 후 골든레이호에서 평형수가 변경된 기록은 없었으며 풍속 4노트가 미친 영향도 미미한 수준이었고 화물 이동도 없었다. 선박은 이전 두 차례 좌선회 시 사고 당시 속력보다 조금 더 낮은 선속(11.6~12노트)에서 선회하였는데, 이 때는 선박이 기울어질 정도의 힘이 발생되지는 않았다. 골든레이호는 도선사가 플랜테이션 크릭 구간으로 진입하기 위해 선회를 준비할 때 선속을 수로에서 정상적인 통항속도 수준인 13.3노트로 조금 높였다. 골든레이호가 타각을 20도 이내로 사용하여 우선회하려 하자 선박은 빠르게 기울어지기 시작했고, 결국 선박은 복원력 한계를 넘어서 직립상태로 복원되지 못하고 결국 전도되었다. NTSB는 골든레이호에는 11번 여유수역에서 68도 우선회를 시도하는 동안 작용된 좌현 경사모멘트를 막기 충분한 복원력이 없어 전도된 것으로 결론을 내렸다.

2.2.2 선박 복원성과 선적 상태

사고 후 MSC는 선박의 비손상복원성을 판단하기 위해 IMACS 데이터에 기록된 선적 상태에 따라 골든레이호의 복원정곡선을 만들었고 그 결과를 IS 코드의 복원성 기준과 비교하였다. 일반적으로 복원성 기준은, 선박이 과적하지 않고 심한 폭풍우와 같이 위험한 상황 속에서 운항하지 않는 상태(prudently operated)에서의 안전 기준을 제시하는 것으로 알려져 있다. 복원성 기준에는 파도의 횡요, 바람으로 인한 횡경사, 또는 사람이나 화물이 한 쪽에서 다른 한 쪽으로 이동하면서 발생하는 경사와 같이 선박이 직면할 수 있는 상황을 수용하기 위해 안전여유(margin of safety)가 반영되어 있다. 이처럼 복원성 기준의 안전여유로 인해 선박이 기준을 충족하지 않는 경우에도 기능적으로는 안정적일 수 있다. 선박이 복원성 기준을 충족하는지 판단할 수 있는 유일한 방법은 계산을 하는 것이다. MSC가 사고 후 실시한 계산과 분석에 따르면 골든레이호는 횡경사각 30도와 40도 사이에서 복원정곡선 아래 합산면적이 충분하지 않아 IS 코드의 복원성 기준을 준수하지 않았으며, 극한 상태의 바람과 횡요 기준에도 부합하지 않았다.

NTSB와 MSC, 그리고 KMST가 실시한 사고 후 분석에서는 골든레이호가 기울어지던 당시 선박의 GM값은 0.8~1.8미터(2.6~5.9피트)로, 일항사가 계산하여 선장과 용선자에게 보고한 GM값 2.45미터(8피트)보다 현저히 낮은 것으로 판단되었다. MSC의 분석에 따르면 사고가 발생한 시각 선박의 GM값은 최소 2.54 미터(8.3피트)가 되어야 했다. 이는 MSC가 골든레이호의 T&S 책자에 따라 판단한 GM값(1.76미터 또는 5.8피트)보다 약 30% 더 높은 수준이다. 또한, MSC는 골든레이호의 KG값이 T&S 책자에서 허용한 KG 최대값보다 약 4% 높았던 것으로 확인하였다. 마지막으로, MSC는 T&S 책자에서 골든레이호와 가장 유사한 선적 상태 6가지와 사고항차 동안 골든레이호의 선적 상태를 비교하였다. 그 결과, 유사한 화물량 대비 평형수 적재량이 현저히 적었으며 유사한 평형수 용량 기준으로는 화물량이 과도하게 많았다.

MSC는 분석 결과, 사고항차와 이전 2항차 동안 골든레이호가 평형수 1,492톤을 추가했더라면 현재 국제복원성기준(2008 IS 코드)을 만족했을 것으로 확인하였다. 비교된 6가지 선적 상태의 무게중심과 화물무게가 사고 당시 선적상태와 정확히 일치될 수는 없겠지만 종합해보면 골든레이호가 출항 당시 T&S 책자와 IS 코드 상 요건을 준수하려면 골든레이호에는 평형수가 추가로 필요했을 것이라는 사실을 알 수 있다. 따라서 NTSB는 골든레이호가 콜로넬스 아일랜드 터미널에서 출항하던 당시 국제복원성기준을 준수하지 않았으며 실제 복원성은 일항사가 계산한 값보다 작았다는 결론을 내렸다.

2.2.3 선박 복원성 계산

사고 후 골든레이호 복원성 계산 컴퓨터는 일항사가 입력한 데이터값을 검토하기 위해 선박에서 회수되었다. 그러나 해당 장치는 해수로 방대한 손상을 입어 테스트를 할 수 없었다. 따라서 일항사가 출항 당시 선박의 GM값을 판단하기 위해 복원성 계산 컴퓨터에 입력했던 선박의 선적 상태(정확한 탱크 수치, 화물무게와 위치, 홀수)와 선박이 복원성 요건을 충족했는지 여부는 알 수 없다. (MSC와 그 외 실시된 분석에서 탱크 수치는 IMACS 데이터에서 추출되었으며 화물무게와 데이터는 최종적부계획서에서 추출하였다.)

용선자는 일항사가 사용했던 컴퓨터와 유사한 복원성 계산 컴퓨터로 골든레이호 출항 당시 선박의 복원성 상태를 재현하기 위해 골든레이호와 동급 선박인 실버레이호의 복원성 계산 컴퓨터로 선박의 선적 상태를 시뮬레이션하였다. 해당 시뮬레이션 결과, 골든레이호의 GM값은 1.8미터(5.9피트)로 NTSB와 MSC, KMST가 실시한 사고 후 복원성 조사 결과와 거의 일치하였다. 해당 조사에서 GM값은 일항사가 보고한 2.45미터(8피트)보다 상당히 낮았다. 또한, 이 시뮬레이션에서 복원성 계산 컴퓨터는 화면 상에 “불량(Not OK)” 결과를 나타내어 선박이 복원성 기준을 충족하지 않았음을 가리켰다. 일항사가 복원성 계산 컴퓨터를 제대로 사용하였고 데이터를 정확하게 입력했다면 컴퓨터는 선박이 복원성과 횡경사각 요건을 충족하지 않았음을 나타냈을 것이고, 요건을 충족하기 위하여 평형수를 추가로 적재하도록 요구했을 것이다.

이에 더하여, 골든레이호에는 다양한 선적 상태에서 IS 코드 복원성 요건을 충족시킬 수 있는 최소 GM값을 나열한 T&S 책자가 있었다. 그러나 일항사가 선박 복원성을 계산했을 때 해당 책자를 참고했다는 사실을 보여주는 증거는 없었다. MSC의 사고 후 분석에 따르면 T&S 책자 속 복원성 정보는 복원성 계산 컴퓨터가 계산하는 값과 비슷했다.

MSC는 과거 골든레이호가 텍사스주 프리포트에서 플로리다주 잭슨빌까지, 플로리다주 잭슨빌에서 조지아주 브런즈윅까지 2차례 항해하던 당시의 복원정곡선을 만들어 분석하였고, 골든레이호가 사고항차보다 이전 2항차 동안 조금 더 높은 복원정과 복원력을 가졌지만 여전히 IS 코드의 복원성 기준을 충족하지 않아 복원성 여유가 줄었음을 확인하였다. 선박이 복원성 기준을 충족하지 않았기 때문에 이전 2번의 항차 동안 일항사의 복원성 계산 컴퓨터 사용에 있어 오류가 있었을 가능성이 있다. MSC는 선박이 사고항차와 이전 2번의 동안 적절한 양의 평형수를 보유하지 않았고 그로 인해 복원성이 감소되었을 것이라 판단하였다.

일항사는 자신이 (화물)작업과 탱크 측심을 감독하였고 홀수값을 직접 관찰하고 기록하였으며 그 값을 복원성 계산 컴퓨터에 입력했다고 NTSB에 밝혔다. 또한, 그는 IMACS에서 데이터를 복원성 계산 컴퓨터로 자동 전송시키지 않고 필요한 IMACS 데이터값을 수기로 입력하였다. 조사관들은 일항사를 다시 인터뷰할 수 없었기에 그가 왜 수기 입력을 선택했는지 알 수 없었다. 복원

성 계산 컴퓨터는 선박의 탱크수치와 홀수 데이터를 IMACS에서 자동으로 조회할 수 있었고, 선박의 GM과 전체 복원성을 판단하기 위해 일항사가 입력한 화물 데이터와 함께 해당 데이터를 사용할 수 있었다. 이러한 기능은 사고 후 시뮬레이션을 통해 동급 선박에서 제대로 작동한다는 것을 알 수 있었고, 사고 후 골든레이호 IMACS 데이터를 검토한 결과 IMACS는 제대로 작동하고 있었으며, 선박이 전도되기 전 시스템 상 바뀐 부분은 없었던 것으로 나타났다.

사고항차 당시 일항사가 보고한 GM값이 산출되려면 시스템에 데이터를 입력했을 때 오류가 있었을 것이다. 골든레이호가 브런즈윅항에서 출항하기 전 일항사는 연료, 윤활유, 청수, 그리고 다른 탱크에 대한 입력값을 조금이라도 수정했을 것이다. 일항사는 화물 작업을 완료한 직후이므로 화물무게와 위치에 주의를 기울였을 것이다. 따라서 그가 입력한 화물 데이터는 정확했을 것이고 또 다른 중요한 데이터는 오직 평형수 양 뿐이다.

일항사는 선박이 플로리다주 잭슨빌에 입항하기 전 배출한 평형수 1,492톤을 정확하게 처리하지 않았을 가능성이 있다. 게다가, MSC는 이전 2항차 동안 선박이 적절한 양의 평형수를 적재하지 않았다는 사실을 확인하였다. 따라서 NTSB는 일항사가 평형수탱크 수치를 선내 복원성 계산 컴퓨터에 잘못 입력하여 복원성을 잘못 판단하게 된 것으로 결론을 내렸다. 다음 장에서는 어떤 이유에서 한 가지 오류나 실수가 사고로 이어지게 만드는 단일 장애점(a single-point failure)이 이번 사고에서 발생할 수 있었는지, 회사가 복원성 계산 컴퓨터 사용 능력을 향상시키기 위해 무엇을 하고 있는지, 그리고 선박이 복원성이 부족한 상태에서 출항하는 것을 막기 위해 무엇을 더 할 수 있는지에 대해 검토한다.

2.3 선사의 관리 감독

2.3.1 훈련

일항사의 전체 항해사 근무경력은 13년이며 이 중 10년을 일항사로 승선하였다. 일항사는 선박의 복원성을 판단하기 위해 복원성 계산 컴퓨터 및/또는 T&S 책자를 활용할 수 있었다. 일항사가 처음 골든레이호에 승선한 것은 사고가 발생하기 약 6개월 전이었으며, 당시 그는 이전 일항사로부터 복원성 계산 컴퓨터 사용법을 포함한 실무교육(OJT)을 몇 시간 동안 받았다. 그는 과거 복원성 계산 컴퓨터를 사용한 적이 없었으나 회사인 지마린 서비스에는 복원성 계산 컴퓨터 사용을 위한 교육 프로그램이 없었다. 회사의 SMS에는 일항사의 직무가 기술되어 있는데 여기에는 선박 복원성 계산도 포함되어 있었다. 그럼에도 불구하고 SMS에는 복원성 계산 컴퓨터 사용법에 대한 지침은 없었으며 복원성 계산 컴퓨터를 사용할 수 있는 능력에 대한 입증을 요구하

지도 않았다. 일항사는 IMACS 데이터를 복원성 계산 컴퓨터로 자동 전송하는 기능을 사용하지 않았고 T&S 책자를 참고하지도 않았다. 회사는 일항사가 복원성 계산 컴퓨터에 대해 얼마나 지식을 갖고 있는지 확인하지 않았고 컴퓨터 사용법에 대한 교육도 제공하지 않았기에, 일항사가 선박 복원성을 정확하게 판단해야 하는 직무를 수행할 능력이 되는지 검증할 수 있는 방법이 없었다. NTSB는 일항사가 복원성을 계산하기 위하여 선내 복원성 계산 컴퓨터를 적절히 활용하도록 회사가 보장할 수 있는 방법은 없었다고 판단하였다.

사고 후 회사는 복원성 계산 컴퓨터 사용능력이 골든레이호 전도에 미친 영향을 고려하여 채용된 일항사들을 대상으로 복원성, 홀수 계산, 그리고 복원성 계산 컴퓨터 사용 등에 대한 교육량을 늘렸다. 또한, 회사는 복원성 계산 컴퓨터를 통해 계산한 GM값을 반드시 T&S 책자에 제시된 유사한 선적 상태에서 요구되는 GM 최소값과 비교하도록 절차를 개정하였다. 모든 선장과 사관이 다른 선박에 승선하기 전 복원성 계산 컴퓨터 사용 교육을 다시 받도록 의무화하였다. 마지막으로, 회사는 선대의 각 선박이 유사한 복원성 계산 컴퓨터를 사용하여 통일을 이루도록 하고 있다. 이러한 정책과 절차가 적절히 이행된다면 사관들은 선내 복원성 계산 컴퓨터에 대해 더 높은 역량을 갖출 수 있을 것이다.

2.3.2 심사 절차

일항사는 선박에 승선한 선원들 중 복원성 계산을 담당하고 복원성 계산 컴퓨터를 사용한 유일한 선원이었다. 의무사항은 아니었지만 그는 복원성 계산 컴퓨터로 계산한 GM값을 T&S 책자에 제시된 유사한 선적 상태 요건과 비교하기 위해 해당 책자를 참고했을 수 있다. 만일 그렇게 했더라면 그는 선박에 승선된 화물의 양에 비해 평형수 양이 너무 적었다는 것을 인식했을 것이다. 회사의 SMS에서는 T&S 책자를 언급하였지만 책자 사용법을 구체적으로 안내하거나 일항사가 복원성 계산 컴퓨터로 계산한 GM값을 책자의 유사한 경우와 비교하도록 규정하지 않았다.

일항사는 복원성을 계산한 후 최종 GM값을 선장에게 보고하였다. 회사의 SMS에서는 선박에 대한 최종 책임은 선장에게 있는 것으로 기재되어 있지만, 선장은 사고항차 또는 이전 2항차 당시 일항사의 계산값을 확인하지 않았으며 T&S 책자의 유사한 선적 상태와 일항사가 계산한 GM값을 비교하지도 않았다. SMS에서는 선장과 다른 선원 또는 회사의 다른 직원이 일항사가 계산한 GM값을 검증하도록 의무화하지 않았다. 대신 SMS는 복원성 계산 컴퓨터로 계산된 복원성은 “양호(OK) 상태”여야 하며 “해당 상태는 IMO가 요구하는 GM 최소값보다 높아야 한다”고 규정했을 뿐이다.

선장은 출항 후 회사에 정기적으로 출항 보고서(일항사가 작성한 복원성 부분과 함께)를 보냈

으며 여기에는 선박의 GM값과 복원성 데이터가 포함되어 있었다. 이전 2곳 항만에 대한 출항 보고서에 따르면 GM값은 사고 후 계산된 값과 달랐다. 또한, 이 2항차 동안 선박은 IS 코드를 준수하기에는 낮은 수준의 복원력을 가진 것으로 확인되었다. 그러나, 선장과 회사, 어느 누구도 일항사가 계산한 GM값에 대한 문제를 제기하지 않았다. 결국 이는 이들이 선박이 전도되기 전 최소 몇 주간 일항사의 계산값을 검증하지 않았고, 이 선박이 복원성 요건을 충족하지 않은 채 항해하고 있다는 사실을 인지하지 못했다는 것을 의미한다.

TRB는 2018년 미국 복원성규정 검토 자료에서 자동차운반선(로로선)의 복원성을 판단할 때 인적오류의 위험성을 강조하였다. 자동차운반선과 같은 대형 외항선의 선장 직무에는 통상적으로 선박의 탱크 내 적재량과 화물에 대해 일항사와 정기적으로 협의하는 것, 전반적인 복원성 검증에서 적극적인 역할을 수행하는 것이 포함된다. 2020년 1월 SOLAS 개정안(사고가 발생한 시각에는 발효되지 않았다)에서는 이러한 부분을 강조하며 화물선 선장이 “선박의 트림과 복원성을 판단”할 것을 의무화했다. 그러나 선장은 선박 입출항에 대해 많은 책임을 맡고 있으며 브런즈윅에서 계류하는 5시간 동안(turnaround time, TAT) 이러한 직무를 잘 분배하고 집중하여 수행해야 했다. 이 경우 골든레이호 선장은 선박에 승선한지 겨우 10일째였고 이 전에는 골든레이호나 동급 선박에 승선한 적이 없었다. 게다가 선적된 전체 화물에 비해 변경된 화물무게는 적었기에(화물무게 4% 증가, 선내 차량 대수 2% 증가) 항해 시 복원성이 문제가 될 것이라는 예상은 하지 못했을 것이다. 이에 더하여 회사의 SMS에 따르면 선장이 일항사가 계산한 GM값을 검증하는 것은 의무사항이 아니었고 선박 복원성에 대한 책임은 일항사에게 있었다. 따라서 선장이 매 항차마다 선내 평형수 위치나 양의 변화를 몰랐다면 그는 복원성 계산에서 일항사의 오류를 발견할 수 없었을 것이다. 만일 선장이 보다 적극적으로 선박 복원성 측면을 검토(화물 적재, 평형수, 연료, 기타 탱크 설비)했다면 그는 오류를 확인할 수 있었을 것이다. 빈번히 발생하는 오류를 확인·검토하는 지원 인력 없이 일항사 혼자서 안전에 중대한 영향을 미치는 업무를 담당하는 이러한 관행은 단일 장애점을 발생시켰다.

또한, 회사에는 일항사가 복원성 계산값을 제출하였을 때 이를 검증하는 절차가 없었고 선박이 항해를 시작한 이후에도 계산값을 회사에 제출하지 않는 경우가 종종 있었다. 이러한 절차 없이 선박이 최소 3개 항만(텍사스주 프리포트, 플로리다주 잭슨빌, 조지아주 브런즈윅)에서 복원성 요건을 충족하지 않은 채 출항한 사실을 회사에서 확인(하고 정정하려는 시도를) 할 수 있는 수단이 없었으며, 결국 일항사의 계산 오류는 발견되지 못했다. NTSB는 회사의 관리 감독 부족과 출항 전 항해사가 계산한 선박 복원성의 정확도를 심사하고 확인하는 절차의 부재는 골든레이호가 국제복원성기준을 지키지 못한 점에 기여했다는 결론을 내렸다.

SMS는 제대로 이행되는 경우 회사와 선박 모두의 안전성을 높일 수 있는 효과적인 수단이 된다.

SMS는 일상적인 운항상황과 비상 운항상황 모두에 대해 선원 각자의 표준화되고 명확한 절차를 제시한다. 여기에는 직무와 책임이 명시되어 있으며 상/하위 명령체계가 기술되어 있다. 또한, SMS는 부적합한 사항을 확인하고 시정하는 절차를 세울 것을 요구하며 정책과 절차의 이행을 관리하는 업무에 대한 심사 절차가 포함된다. 해당 절차는 일항사의 복원성 계산 오류로 인해 골든레이호가 복원성 기준을 충족하지 않고 화물과 평형수를 적재하고 항해하는지 회사가 판단할 수 있도록 했을 것이다. 이러한 오류를 알았다면 회사는 선박이 T&S 책자를 준수하고 그에 따른 적절한 복원성 기준을 지키고 일항사는 복원성 계산 컴퓨터를 능숙하게 사용하도록 조치를 취할 수 있었을 것이다. 따라서 NTSB는 지마린 서비스가 복원성 계산을 검증하는 절차를 확립하기 위해 SMS를 개정하고 선박이 출항 전 복원성 요건을 충족하도록 확인하는 심사 절차를 이행할 것을 권고한다.

2.4 침수

안전한 항해를 위해 회사의 입출항 체크리스트에서는 모든 수밀문을 폐쇄하고 모든 선체 개구부를 고정하며 수밀시킬 것을 규정하였다. 골든레이호의 좌현측 도선사 출입문은 사고항차 당시 도선사가 외항에서 하선할 수 있도록 준비하기 위해 열려 있는 상태였고 이는 일반적인 절차였다. 게다가, IMACS 데이터에 따르면 5번 갑판에서 좌현측 계단통로로 이어지는 2개의 수밀문은 선박이 기울어질 당시 열려 있었다. 하나는 열려 있던 도선사 출입문 뒤쪽으로 약 75피트(22.9미터) 떨어진 곳에 위치하고, 기관실 앞쪽으로 내려갈 수 있으며 주기판제어실 및 기관실로 접근할 수 있는 출입문이다. 다른 하나는 선미에 위치하며 조타기실로 연결된다. 선박이 좌현으로 17도까지 기울어지자 열려 있던 5번 갑판의 좌현측 도선사 출입문은 침수되었고 선박이 빠르게 60도까지 기울자 해수가 5번 갑판으로 유입되어 선박의 좌현을 따라(아래로) 흘렀다. 그 결과 해수는 열려 있던 수밀문을 통해 기관부 선원들이 기관실과 기관제어실에서 탈출하려 했던 계단통로 두 곳으로 유입되었다. NTSB는 골든레이호가 기울어진 후 5번 갑판에서 열려 있던 수밀문을 통해 해수가 유입되었고 기관실의 주요 출구를 차단하였다고 결론을 내렸다. 또한, 계단통의 침수로 기관실과 조타기실로 물이 유입되었으며 배가 가라앉으면서 공간 내부의 수위가 선박의 흡수선에 닿을 때까지 침수는 계속 되었다.

사고항차 당시 계단통로로 이어지는 두 개의 수밀문을 열어둔 것은 회사의 SMS 지침에 나와 있는 입출항 체크리스트를 따르지 않은 것이다. 선교에 있는 수밀문 개폐 표시반에 빨간불이 켜지면서 문이 열려 있음을 알렸을 것이고 선교에 있던 선원들은 바로 수밀문의 상태를 확인할 수 있었을 것이다. IMACS 데이터에 따르면 2개 수밀문이 사고 발생 전 거의 2시간 동안 열려 있었다. 그러나 선교 위 어느 누구도 출항 전 이를 확인하지 않았다. 본 사고를 통해 수밀성은 항내를 통항

할 때에도 선박과 선원 안전에 중요하며 회사는 모든 수밀문의 개폐 여부를 확인해야 하는 SMS 절차를 선원이 반드시 준수하도록 보장해야 한다는 것을 알 수 있다. 따라서 NTSB는 지마린 서비스에 선원들이 수밀문 개폐와 관련하여 입출항 체크리스트를 준수하는지 검증하도록 SMS 심사 절차를 개정할 것을 권고한다.

section

3

결론

3. 결론

3.1 조사 결과

1. 다음 사항은 이번 사고의 요인으로 작용하지 않았다.
 - (1) 기상
 - (2) 선박평형수 또는 연료 이송
 - (3) 추진 및 조타장치
 - (4) 선내 화물 이동
 - (5) 선박을 좌초시킬 수 있는 수로 내 항행장애물
 - (6) 화물창 화재
2. 골든레이호는 11번 여유수역에서 68도 우선회를 시도하는 동안 좌현에서 발생한 경사모멘트 (heeling moment)에 대응할 수 있는 복원력이 부족해 전도되었다.
3. 선박은 콜로넬스 아일랜드 터미널에서 출항 당시 국제복원성기준을 충족하지 못했으며 실제 복원성은 일항사의 계산값보다 더 낮았다.
4. 일항사는 선내 복원성 계산 컴퓨터에 평형수 양을 잘못 입력하였고 그로 인해 복원성이 잘못 산출되었다.
5. 회사에는 일항사가 선박의 복원성 계산 컴퓨터를 능숙하게 사용하고 복원성을 계산하는 직무를 잘 수행할 수 있도록 보장하는 조치가 없었다.
6. 출항 전 항해사가 계산한 복원성 값을 심사하고 검증하도록 하는 회사의 절차 부재는 골든레이호가 국제복원성기준을 충족하지 못하는데 기여하였다.
7. 골든레이호가 기울어지자 5번 갑판의 열려 있던 수밀문을 통해 해수가 유입되었고 기관실 주요 출구가 차단되었다.

3.2 추정 원인

NTSB는 골든레이호의 일항사가 선박 복원성 계산 컴퓨터에 평형수 양을 잘못 입력하여 선박이 전도된 것으로 판단하였다. 일항사의 과실로 선박 복원성이 잘못 산출되었으며 골든레이호는 세인트 시몬스 해협을 통해 브런즈윅항을 빠져 나가는 동안 선회 과정에서 발생한 힘에 대응할 수 있는 충분한 복원성 값을 가질 수 없었다. 또한, 지마린 서비스의 SMS에 복원성 계산을 검증하는 효율적인 절차가 부족했던 것도 이번 사고 발생에 기여하였다.

section

4

권고 사항

4. 권고 사항

4.1 신규 권고 사항

조사 결과 NTSB는 다음과 같이 두 가지 권고 사항을 새롭게 제안한다.

지마린 서비스:

회사의 SMS를 개정하여 복원성 계산을 검증하는 절차를 확립하고 선박이 출항 전 복원성 요건을 충족하도록 심사 절차를 이행하라. (M-21-012)

SMS의 심사 절차를 개정하여 승무원이 수밀문 폐쇄와 관련하여 입출항 체크리스트를 준수하였는지 확인하라. (M-21-013)

미 연방교통안전위원회(NTSB)

제니퍼 호멘디(JENNIFER HOMENDY) 위원장

마이클 그래햄(MICHAEL GRAHAM) 위원

브루스 랜스버그(BRUCE LANDSBERG) 부위원장

토마스 챔프맨(THOMAS CHAPMAN) 위원

2021년 8월 26일 채택

section

5

부록

5. 부록

부록 A: 조사

NTSB는 2019년 9월 8일 본 사고를 통보받았고 다음 날 조사팀원들이 현장에 도착하였다. 운항과 인적 오류, 선박의 감항성, 그리고 선박 장치를 평가하기 위해 조사그룹을 구성하였다.

IMO 해양사고조사코드에 따라 RMI(기국), NTSB, KMST와 USCG는 공동의 노력으로 본 조사를 수행할 것에 상호 합의하였다. USCG 조사에 대한 이해당사자(Parties of Interest)로는 브런즈윅 도선사협회(Brunswick Bar Pilots Association), 현대글로벌비스, 지마린 서비스가 포함된다. RMI와 브런즈윅 도선사협회, 그리고 KMST는 NTSB 조사의 당사자(Party)로 지명되었으나 현대글로벌비스와 지마린 서비스는 당사자 지명을 거절하였다.

NTSB는 골든레이호 인양 작업에 참여하지 않았다. 본 보고서의 공표 당시 인양 작업은 진행 중이었다. 따라서 본 보고서에는 인양 작업 동안 발견되었거나 이후에 발견될 수 있는 세부내용이나 정보가 포함되지 않았다.

부록 B: 강화된 권고 사항

미국법전(USC) 제49편 교통법 1117(b)에서는 본 보고서의 권고 사항에 대해 다음의 정보를 요구한다.

각 권고 사항은 다음과 같다.

- (1) NTSB가 특정 사고 조사에서 해당 권고 사항과 가장 관련이 높은 정보에 대해 수집하고 분석한 내용의 간략한 요약
- (2) 특정 사고 조사의 결과 외에 NTSB가 외부정보(연구, 보고서, 전문가)를 각 연구, 보고서 또는 전문가가 확인한 안전성에 미치는 구체적인 이점과 기타 효과를 포함한 권고 사항을 알리거나 지지하는데 사용한 경우 그에 대한 설명

(3) NTSB가 안전성 권고 사항을 발표하기 전, 규제기관이 해당 권고 사항과 일치하는 조치를 취한 것으로 알려진 사례에 대한 간략한 요약

지마린 서비스:

M-20-012

회사의 SMS를 개정하여 복원성 계산을 검증하는 절차를 확립하고 출항 전 선박이 복원성 기준을 충족하도록 심사 절차를 이행하라.

M-20-013

SMS 심사 절차를 개정하여 승조원이 수밀문 폐쇄에 대한 입출항 체크리스트를 준수했는지 검증하라.

부록 C: 복원성 원칙

선박 복원성은 부력(선박이 뜰 수 있도록 밀어 올리는 힘)과 중력(선박을 수면 아래로 끌어 당기는 힘)의 관계를 반영한다. 중력은 선박의 구조, 장비, 화물, 선원 등 모든 부분에 작용한다. 부력은 선박의 부력중심(center of buoyancy, B)을 통해 위로 작용하는 반면, 중력은 선박의 무게중심(center of gravity, G)을 통해 아래로 작용한다. 선박이 등흘수(even keel) 또는 직립상태로 떠 있는 경우 중력과 부력은 같은 수직선 상에 위치한다. 복원성의 특성은 주로 선박을 특정 횡경사각만큼 기울이는데 필요한 경사모멘트(heeling moment)의 강도와 선박이 전도되기 전 기울어질 수 있는 각도, 그리고 산출될 수 있는 기타 변수로 나타난다.

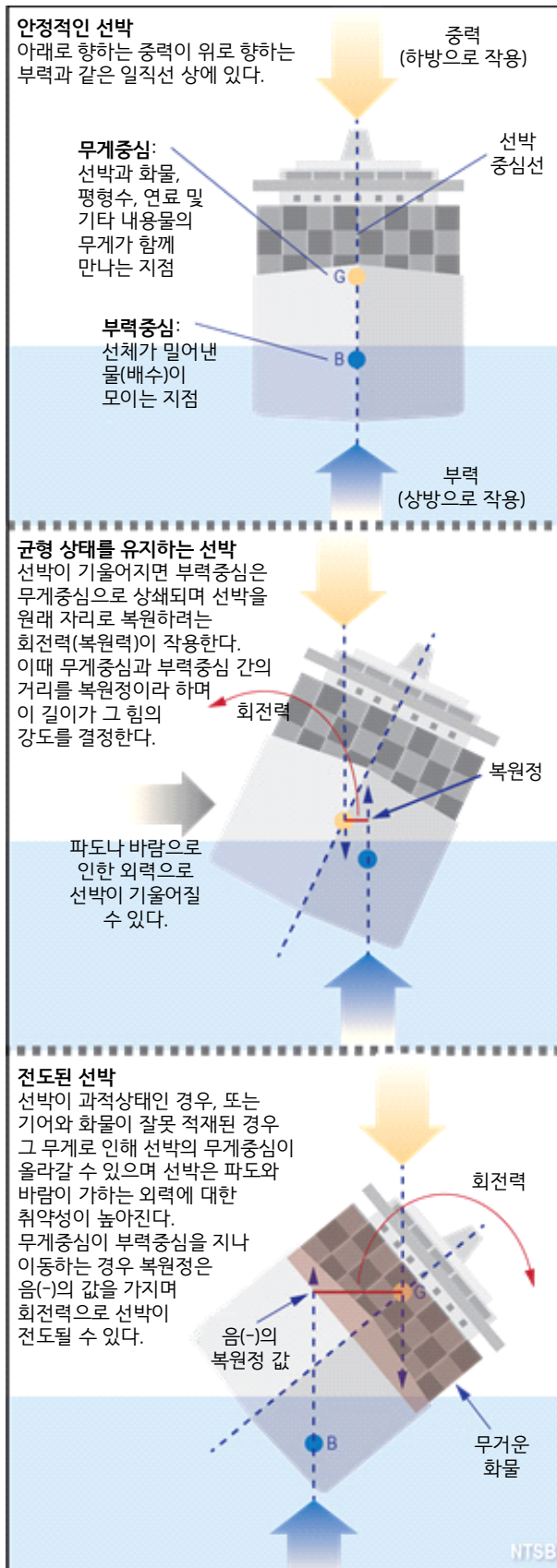
파도의 작용과 풍압 등 항해를 방해하는 외력이 선박에 경사모멘트를 가하는 경우 수면하 체적은 경사 방향으로 이동하며 같은 방향으로 부력중심도 이동하게 된다. 복원성은 외력(예: 바람이나 파도)이 제거되었을 때 선박이 원래의 직립상태로 되돌아오려는 성질을 의미한다(그림 C-1 참고). 선내 화물이나 장비, 물(무게)이 자유롭게 이동할 수 없다면 그 이동은 선박의 무게중심 위치에 영향을 미치지 않는다. 그 결과, 부력과 중력의 작용선이 분리되며 선박을 원래의 균형 상태로 되돌리기 위한 모멘트가 발생하게 된다. 이를 복원력(righting moment)이라 한다.

복원력은 부력에 부력과 중력이 분리된 직선 간 거리를 곱하여 계산된다. 이 거리를 선박의 복원정(righting arm)이라 한다. 연속된 횡경사각에 대한 복원정을 점으로 이어 곡선 그래프로 표현될 수 있다. 일반적으로 복원정의 길이는 횡경사각과 함께 증가하여 최대값에 도달한 후 감소하며 최대 횡경사각에서 그 값은 0에 도달하게 된다. 이와 같은 복원정 길이의 감소는 복원성

의 감소를 의미한다. 복원성곡선 아래 합산면적은 선박이 스스로 되돌아올 수 있는 힘을 의미하며 보통 곡선 아래 합산면적이 클수록 선박은 더 큰 전도모멘트에도 저항할 수 있다. 복원정이 0 점을 지나는 지점의 횡경사각은 선박 복원성이 양(+)의 복원력에서 음(-)의 전도모멘트로 바뀌는 지점을 의미한다. 선박이 적재상태에서 직면할 수 있는 여러 상태에서도 직립위치로 되돌아올 수 있는 충분한 복원성을 지녔을 때 해당 선박을 보통 “안정(stable)”적이라 표현하고 그렇지 않은 경우를 “불안정(unstable)”하다고 표현하며 불안정한 선박은 전도된다.

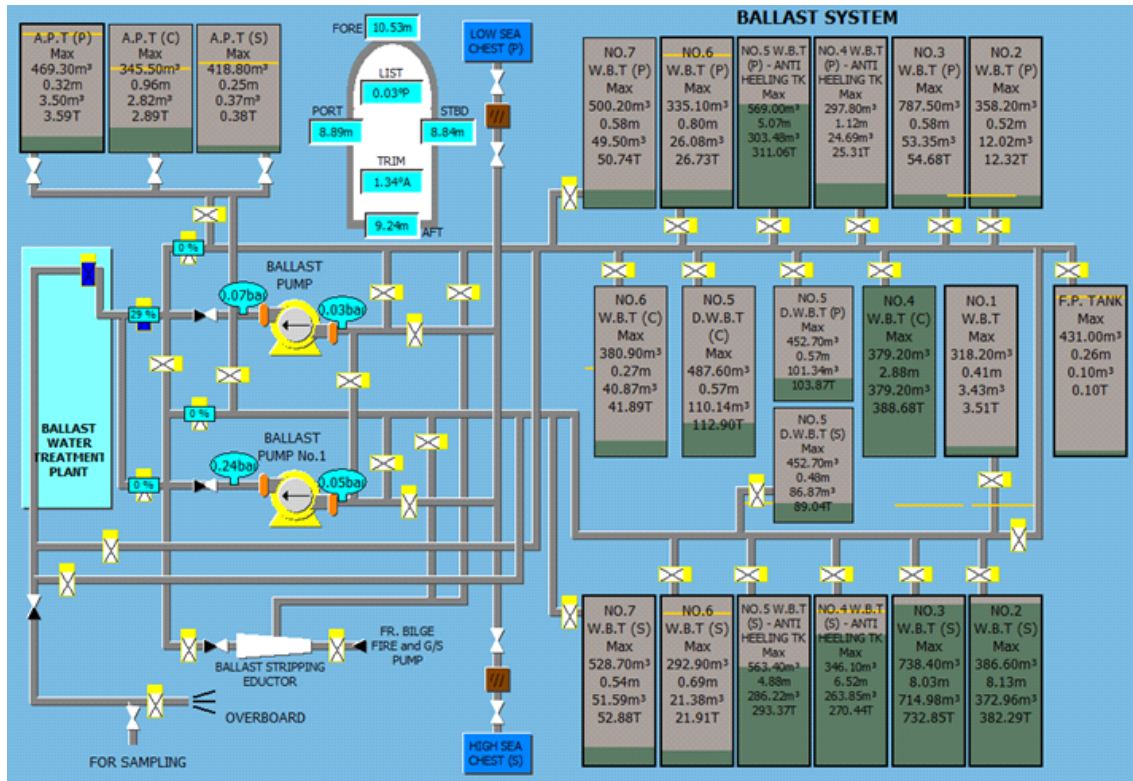
선박의 경심(metacenter, M)은 선박이 소각도로 경사할 때 두 개의 연속하는 부력 작용선이 만나는 점을 의미한다. 경심의 초기 위치는 복원성 계산에서 참고로 사용된다. 선박의 무게중심(G)부터 경심까지의 거리를 GM이라 하며, 이를 통해 선박이 전도모멘트(overturning moment)를 겪을 때 스스로 되돌아올 수 있는 능력을 측정한다. GM은 복원정과 메타센터 높이 간 수학적 관계식을 통해 복원성곡선의 초기 기울기의 지표가 되고 선박이 소각도로 경사할 때 안정한지 불안정한지 알려주는 지표가 된다.

비손상복원성은 온전하거나 손상되지 않은 선박이 정수상태에서 기울어졌을 때 어떻게 반응하는지를 의미한다. 선박의 정확한 복원성 특징은 설계도면과 경하상태 복원성(이는 배수량과 무게중심을 판단하기 위해 선상에서 정밀측정을 실시하는 경사실험을 통해 결정)에서 고안된 선형모델(유체정역학)에 기초하여 계산된다. 일반적으로 복원성 분석을 위해서는 조선공학기술이 필요하다.



[그림 C-1] 선박을 안정적으로 만들거나 전도시킬 수 있는 힘

부록 D: 골든레이호 평형수탱크



[그림 D-1] 골든레이호가 콜로넬스 아일랜드 터미널을 출항하기 전 IMACS의 평형수시스템 데이터

section



참고문헌

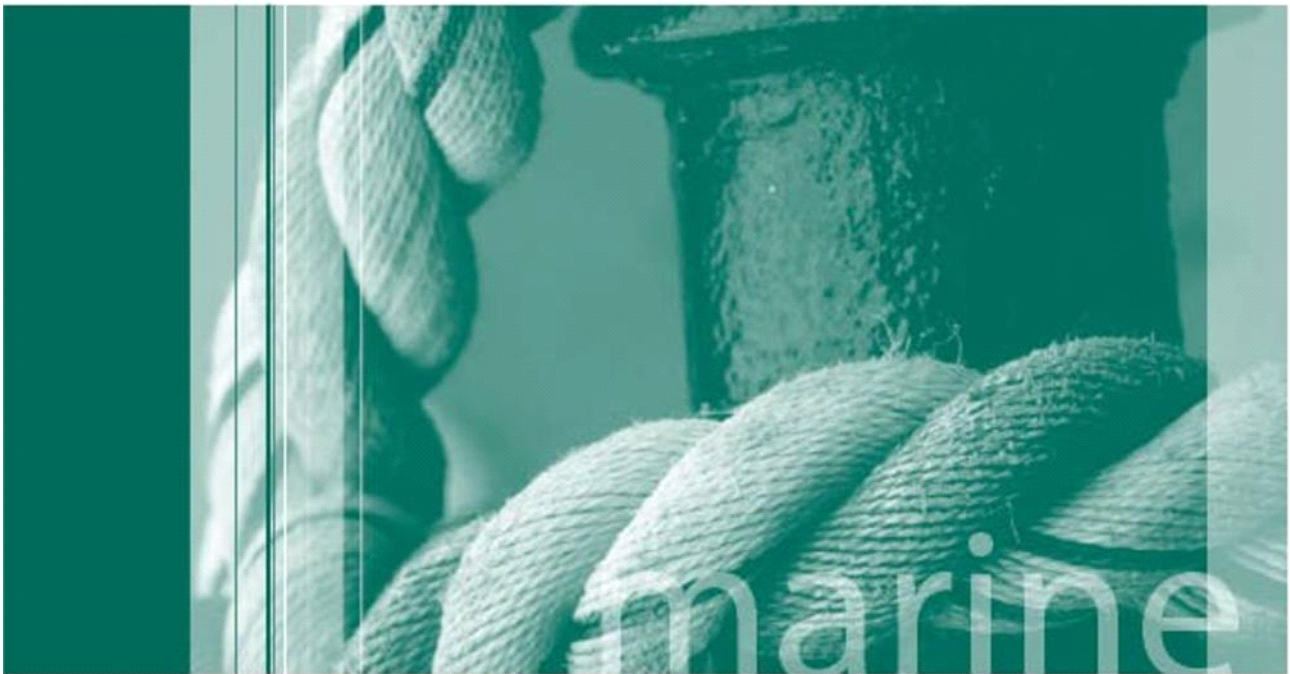
참고문헌

현대글로벌비스. “실버레이호 - 응력과 복원성 보고서(SILVER RAY - Full stress and stability report).” 2020년 5월 12일

전미과학공학의학한림원(NASEM). “USCG 선박 복원성 규정 검토(Review of U.S. Coast Guard Vessel Stability Regulations).” 워싱턴 DC: 미국한림원출판부(National Academies Press, NAP), 2018년 (<https://doi.org/10.17226/25258>)

USCG MSC. “기술보고서: 2020년 8월 26일 골든레이호 비손상복원성(Technical Report: Golden Ray Intact Stability)”

Capsizing of Roll-on/Roll-off
Vehicle Carrier *Golden Ray*
St. Simons Sound, Brunswick River,
near Brunswick, Georgia
September 8, 2019



Marine Accident Report

NTSB/MAR-21/03
PB2021-100930



**National
Transportation
Safety Board**

NTSB/MAR-21/03
PB2021-100930
Notation 67379
Adopted August 26, 2021

Marine Accident Report

Capsizing of Roll-on/Roll-off Vehicle Carrier *Golden Ray*
St. Simons Sound, Brunswick River,
near Brunswick, Georgia
September 8, 2019



**National
Transportation
Safety Board**

490 L'Enfant Plaza SW
Washington, DC 20594

National Transportation Safety Board. 2021. *Capsizing of Roll-on/Roll-off Vehicle Carrier Golden Ray, St. Simons Sound, Brunswick River, near Brunswick, Georgia, September 8, 2019. Marine Accident Report NTSB/MAR-21/03. Washington, DC: NTSB.*

Abstract: This report discusses the September 8, 2019, accident involving the roll-on/roll-off vehicle carrier *Golden Ray*, which capsized while transiting outbound through St. Simons Sound near Brunswick, Georgia. At the time of the accident, the vessel had 23 crew and 1 pilot on board; 2 crewmembers sustained serious injuries, and 4 engineering crew remained trapped in the engine room and engine control room for nearly 40 hours before being rescued. The vessel was declared a total loss. Total costs for the loss of the vessel were estimated at \$62.5 million, and total costs for the loss of the cargo were estimated at \$142 million. Safety issues identified in this report include improperly calculating vessel stability and lack of company oversight for calculating vessel stability. As part of its accident investigation, the National Transportation Safety Board makes two recommendations to G-Marine Service Co. Ltd.

The National Transportation Safety Board (NTSB) is an independent federal agency dedicated to promoting aviation, railroad, highway, marine, and pipeline safety. Established in 1967, the agency is mandated by Congress through the Independent Safety Board Act of 1974, to investigate transportation accidents, determine the probable causes of the accidents, issue safety recommendations, study transportation safety issues, and evaluate the safety effectiveness of government agencies involved in transportation. The NTSB makes public its actions and decisions through accident reports, safety studies, special investigation reports, safety recommendations, and statistical reviews.

The NTSB does not assign fault or blame for an accident or incident; rather, as specified by NTSB regulation, “accident/incident investigations are fact-finding proceedings with no formal issues and no adverse parties ... and are not conducted for the purpose of determining the rights or liabilities of any person” (Title 49 *Code of Federal Regulations* section 831.4). Assignment of fault or legal liability is not relevant to the NTSB’s statutory mission to improve transportation safety by investigating accidents and incidents and issuing safety recommendations. In addition, statutory language prohibits the admission into evidence or use of any part of an NTSB report related to an accident in a civil action for damages resulting from a matter mentioned in the report (Title 49 *United States Code* section 1154(b)).

For more detailed background information on this report, visit the [NTSB Case Analysis and Reporting Online \(CAROL\) website](#) and search for NTSB accident ID DCA19FM048. Recent publications are available in their entirety on the [NTSB website](#). Other information about available publications also may be obtained from the website or by contacting—

**National Transportation Safety Board
Records Management Division, CIO-40
490 L’Enfant Plaza, SW
Washington, DC 20594
(800) 877-6799 or (202) 314-6551**

Copies of NTSB publications may be downloaded at no cost from the National Technical Information Service, at the [National Technical Reports Library search page](#), using product number PB2021-100930. For additional assistance, contact—

**National Technical Information Service
5301 Shawnee Rd.
Alexandria, VA 22312
(800) 553-6847 or (703) 605-6000
[NTIS website](#)**

Contents

| | |
|--|--------------|
| Contents | i |
| Figures and Tables..... | iii |
| Acronyms and Abbreviations | iv |
| Executive Summary | v |
| Accident | v |
| Probable Cause..... | v |
| Safety Issues..... | v |
| Findings..... | vi |
| Recommendations..... | vii |
| 1. Factual Information..... | 1 |
| 1.1 Accident Narrative | 1 |
| 1.2 Emergency Response | 6 |
| 1.2.1 Rescue of Trapped Crew..... | 8 |
| 1.2.2 Injuries | 9 |
| 1.3 Damage | 10 |
| 1.4 Electronic Data Review | 10 |
| 1.4.1 Stability Computer..... | 10 |
| 1.4.2 Voyage Data Recorder..... | 10 |
| 1.4.3 Integrated Monitoring, Alarm, and Control System | 11 |
| 1.5 Vessel Information..... | 11 |
| 1.5.1 Construction and Arrangement..... | 11 |
| 1.5.2 Classification and Inspection | 15 |
| 1.6 Personnel Information..... | 16 |
| 1.6.1 Master | 16 |
| 1.6.2 Chief Officer | 16 |
| 1.6.3 Pilot..... | 16 |
| 1.7 Operations..... | 17 |
| 1.7.1 Safety Management System..... | 17 |
| 1.7.2 Shipboard Training | 18 |
| 1.7.3 Cargo Operations | 18 |
| 1.8 Stability..... | 21 |
| 1.8.1 International Code on Intact Stability, 2008 Requirements..... | 21 |
| 1.8.2 NTSB Performance Study..... | 22 |
| 1.8.3 Marine Safety Center Analysis | 22 |
| 1.8.4 Additional Postaccident Analyses..... | 26 |
| 1.8.5 Transportation Research Board..... | 27 |
| 1.8.6 SOLAS Amendment | 28 |
| 1.9 Waterway Information..... | 28 |
| 1.9.1 General Information..... | 28 |
| 1.9.2 Navigation Channel Surveys..... | 28 |
| 1.10 Meteorological Information..... | 29 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1.11 | Postaccident Actions | 29 |
| 1.11.1 | Coast Guard | 29 |
| 1.11.2 | Republic of the Marshall Islands | 29 |
| 1.11.3 | G-Marine Service Co. Ltd..... | 30 |
| 2. | Analysis | 31 |
| 2.1 | Introduction..... | 31 |
| 2.2 | Stability | 33 |
| 2.2.1 | Heeling Event..... | 33 |
| 2.2.2 | Vessel Stability and Loading Condition | 34 |
| 2.2.3 | Calculating Vessel Stability | 34 |
| 2.3 | Operator Oversight..... | 36 |
| 2.3.1 | Training..... | 36 |
| 2.3.2 | Audit Procedures..... | 36 |
| 2.4 | Flooding | 38 |
| 3. | Conclusions | 40 |
| 3.1 | Findings..... | 40 |
| 3.2 | Probable Cause..... | 40 |
| 4. | Recommendations | 41 |
| 4.1 | New Recommendations | 41 |
| 5. | Appendixes..... | 42 |
| | Appendix A: Investigation | 42 |
| | Appendix B: Consolidated Recommendation Information..... | 43 |
| | Appendix C: Principles of Stability | 44 |
| | Appendix D: Golden Ray Water Ballast Tanks | 46 |
| | References | 47 |

Figures and Tables

| | |
|---|--------|
| Figure 1. Roll-on/roll-off vehicle carrier <i>Golden Ray</i> | 1 |
| Figure 2. Trackline of the <i>Golden Ray</i> 's transit..... | 3 |
| Figure 3. The <i>Golden Ray</i> departing Jacksonville, Florida, on September 7 | 4 |
| Figure 4. Aft-facing view of the bridge of the <i>Golden Ray</i> | 6 |
| Figure 5. Stern view of the grounded <i>Golden Ray</i> after the heeling event | 7 |
| Figure 6. Simplified diagram showing the engine room and engine control room exits..... | 8 |
| Figure 7. Rescue of trapped engineering personnel..... | 9 |
| Figure 8. Simplified profile of the <i>Golden Ray</i> | 12 |
| Figure 9. Simplified plan of water ballast tanks on <i>Golden Ray</i> | 12 |
| Figure 10. Watertight door indicator panel..... | 13 |
| Figure 11. Simplified overhead plan of the aft portion of deck 5 | 14 |
| Figure 12. Simplified section view of the escape trunk and mid portside stairwell exit | 15 |
| Figure 13. Preload plan | 19 |
| Figure 14. Graphs from the <i>Golden Ray</i> performance study by the NTSB..... | 22 |
| Figure 15. Comparison of loading conditions..... | 23 |
| Figure 16. Righting arm curves generated by the MSC..... | 24 |
| Figure 17. Theoretical righting arm curves generated by the MSC..... | 25 |
| Figure 18. Righting arm curve calculated on the <i>Silver Ray</i> 's LOADCOM | 27 |
| Figure C-1. Forces that make a vessel stable or likely to capsize. | 44 |
| Figure D-1. IMACS water ballast system data | 46 |
| Table 1. Injuries sustained in the <i>Golden Ray</i> accident | 10 |

Acronyms and Abbreviations

| | |
|--------------|---|
| 2008 IS Code | International Code on Intact Stability, 2008 |
| GM | metacentric height |
| IMACS | Integrated Monitoring, Alarm, and Control System |
| IMO | International Maritime Organization |
| KG | vertical center of gravity |
| KMST | Korea Maritime Safety Tribunal |
| MSC | US Coast Guard Marine Safety Center |
| MT | metric tons |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| RMI | Republic of the Marshall Islands |
| Ro/Ro | roll-on/roll-off |
| SMS | safety management system |
| <i>SOLAS</i> | <i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i> |
| T&S | Trim and Stability |
| TRB | Transportation Research Board |
| VDR | voyage data recorder |

NTSB

Marine Accident Report

Executive Summary

Accident

About 0100 eastern daylight time on September 8, 2019, after unloading and loading vehicle cargo during the previous day, the 656-foot-long, Republic of the Marshall Islands-flagged roll-on/roll-off vehicle carrier *Golden Ray* departed the Colonel's Island Terminal in the Port of Brunswick, Georgia, en route to Baltimore, Maryland. A state pilot from the Port of Brunswick navigated the vessel as it proceeded outbound through the Brunswick River and into St. Simons Sound. The pilot navigated the vessel through two left turns, and, as the vessel approached the right turn into Plantation Creek Range, which led to the Atlantic Ocean, the pilot gave rudder orders to the helmsman to turn the vessel to starboard. As the vessel turned to starboard, it began to heel quickly to port.

The pilot and the vessel's master began rapidly issuing rudder commands in an attempt to counter the heeling. However, the *Golden Ray* continued to heel over, the rate of turn to starboard increased, and the vessel heeled to port to about 60° in less than a minute. Water entered deck 5 through the vessel's open portside pilot door and flooded through open watertight doors to the engine and steering gear rooms. The vessel eventually settled on its port side at an angle of 90°.

The US Coast Guard responded to the accident, along with tugboats and pilot boats from the Port of Brunswick, first responders from the Georgia Department of Natural Resources and Glynn County, and vessels from Sea Tow. Responders were initially able to rescue the pilot and 19 of the 23 crewmembers on board. Four engineering crewmembers remained trapped in the engine room until the following evening, September 9, when responders cut into the vessel's hull to rescue them. Two crewmembers suffered serious injuries. Total costs for the loss of the vessel were estimated at \$62.5 million, and total costs for the loss of the cargo were estimated at \$142 million.

Probable Cause

The National Transportation Safety Board determines that the probable cause of the capsizing of the *Golden Ray* was the chief officer's error entering ballast quantities into the stability calculation program, which led to his incorrect determination of the vessel's stability and resulted in the *Golden Ray* having an insufficient righting arm to counteract the forces developed during a turn while transiting outbound from the Port of Brunswick through St. Simons Sound. Contributing to the accident was G-Marine Service Co. Ltd.'s lack of effective procedures in their safety management system for verifying stability calculations.

Safety Issues

The safety issues identified in this accident include the following:

- **Improperly calculating vessel stability.** The operating company, G-Marine Service Co. Ltd., did not have stability software training for its officers who were responsible for using the *Golden Ray*'s LOADCOM stability calculation program. The company's safety management system outlined the chief officer's duties, including vessel stability

NTSB

Marine Accident Report

calculations, but did not provide any instructions on how to use or require competency for using the LOADCOM computer. Since the company did not provide training on how to use the computer, they had no means to ensure that the chief officer was capable of performing his duty to accurately determine the ship's stability. After the accident, G-Marine Service Co. Ltd. implemented several policies to improve safety and reduce the likelihood of another similar accident, including requiring stability calculation training for chief officers.

- **Lack of company oversight for calculating vessel stability.** The chief officer was the only crewmember responsible for calculating the stability of the vessel. Once the chief officer had calculated the vessel's stability, he reported the vessel's final metacentric height to the master and the company (via the departure report), but neither the master nor the company verified that the chief officer's calculations met stability requirements. The company had no procedures to verify stability calculations, so the master and company were unaware that the vessel had been sailing without meeting stability requirements during the accident voyage and two previous voyages, and there was no established means for the crew or the company to identify and attempt to correct the problem.

Findings

- None of the following safety issues were identified for the accident transit: (1) weather; (2) a transfer of ballast or fuel; (3) the propulsion and steering systems; (4) the shifting of cargo within the vessel; (5) obstructions in the channel that could have caused the vessel to ground; or (6) the cargo hold fire.
- The *Golden Ray* capsized because it did not possess enough righting energy to counter the port heeling moment created during the attempted execution of the 68° starboard turn at widener 11.
- At departure from the Colonel's Island Terminal, the *Golden Ray* did not meet international stability standards and possessed less stability than the chief officer calculated.
- The chief officer made errors with the ballast tank level data entry into the shipboard stability calculation computer (LOADCOM), which led to his incorrect determination of the vessel's stability.
- The operator did not have a method in place to ensure that the chief officer was proficient in using the shipboard stability calculation computer (LOADCOM) to perform his duty of calculating the ship's stability.
- The operator's lack of oversight and procedures for auditing and verifying the accuracy of their officers' vessel stability calculations before departure contributed to the *Golden Ray* not meeting international stability standards.
- After the *Golden Ray* heeled, open watertight doors on deck 5 allowed flooding into the vessel and blocked the primary egress from the engine room.

NTSB

Marine Accident Report

Recommendations

New Recommendations

As a result of its investigation of this accident, the National Transportation Safety Board makes the following two new safety recommendations:

To G-Marine Service Co. Ltd.:

Revise your safety management system to establish procedures for verifying stability calculations and implement audit procedures to ensure your vessels meet stability requirements before leaving port. (M-21-012)

Revise your safety management system audit process to verify crew adherence to the Arrival/Departure Checklist regarding the closure of watertight doors. (M-21-013)

NTSB

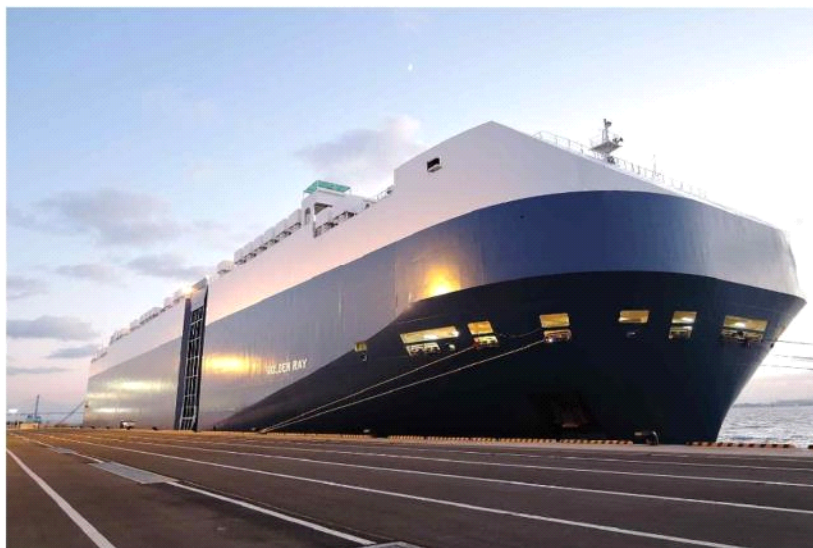
Marine Accident Report

1. Factual Information

1.1 Accident Narrative

On September 8, about 0137 eastern daylight time, the roll-on/roll-off (Ro/Ro) vehicle carrier *Golden Ray* capsized during a starboard turn while navigating the Port of Brunswick.¹ Of the 23 crew and 1 pilot on board, 2 sustained serious injuries; the remaining 22 were not injured. The *Golden Ray* and its cargo sustained significant damage due to fire, flooding, and saltwater corrosion.

On August 27, 2019, the Republic of the Marshall Islands (RMI)-flagged, 656-foot-long (200-meter-long) Ro/Ro *Golden Ray*, arrived in Freeport, Texas, to offload a portion of its cargo (vehicles) and load new cargo. The *Golden Ray* had a gross tonnage of 71,178 GT ITC, had a beam of 116 feet (35.4 meters), and could carry up to 7,742 vehicles (see figure 1).² The vessel had 23 crewmembers, including a master and a chief officer.



Source: US Coast Guard

Figure 1. Roll-on/roll-off vehicle carrier *Golden Ray* before the accident.

On August 28, a new master boarded the vessel and joined the crew, relieving the previous master. During the relief process, the two masters focused on the vessel's schedule, provisions on board, the condition of the vessel and cargo, and miscellaneous personnel issues. The new master

¹ For more information, see the factual information and analysis sections of this report. Additional information can be found in the public docket for this National Transportation Safety Board (NTSB) accident investigation (case number DCA19FM048) by accessing the [Accident Dockets link](https://www.nts.gov/Pages/default.aspx) at <https://www.nts.gov/Pages/default.aspx>. For information about our safety recommendations, see the [Safety Recommendation Database](#) at the same website.

² *GT ITC* refers to the gross tonnage measurement of the vessel under the Convention Measurement System as defined in the 1969 International Convention on Tonnage Measurements of Ships, which sought to unify the method by which ships were measured.

NTSB

Marine Accident Report

stated that the departing master did not report any issues with the vessel or crew during the relief process.

On August 30, the *Golden Ray* departed Freeport, Texas, en route to Brunswick, Georgia, after which the vessel was scheduled to proceed to Jacksonville, Florida, before heading to Baltimore, Maryland. However, shortly after departing Freeport, the vessel's charterer (Hyundai Glovis Co. Ltd.) notified the master that Hurricane Dorian was proceeding up the east coast of Florida. To enhance the stability of the vessel in anticipation of encountering the storm, the master had the chief officer load additional ballast (he did not specify how much additional ballast to load). The chief officer oversaw the loading of about 1,500 metric tons (MT) of sea water ballast into the vessel's three double bottom water ballast tanks (nos. 5 port, centerline, and starboard) and the no. 6 centerline water ballast tank (see [section 1.5.1, "Construction and Arrangement"](#) for a layout of the vessel's ballast tanks). The *Golden Ray* then waited off the coast of Key West, Florida, from September 1–3 to allow the hurricane to pass.

On September 3, the charterer directed the master to proceed to Jacksonville instead of Brunswick. Before entering the Port of Jacksonville, the ship's agent informed the chief officer that the port had draft restrictions. To reduce the *Golden Ray*'s draft to less than 9.4 meters (about 31 feet) as required by the port, the chief officer discharged about 1,500 MT of sea water ballast from the same tanks that were loaded on August 30 due to the hurricane.

Over the next few days, cargo was offloaded from and loaded onto the vessel at the Port of Jacksonville. On September 7, 2019, at 0510, the vessel departed the port, en route to Brunswick. The vessel was carrying 4,067 vehicles with a total cargo weight of 8,407.2 MT and was displacing 35,044 MT with a midship draft of 30.9 feet (9.4 meters).

The *Golden Ray* arrived outside the Port of Brunswick that afternoon, and, at 1453, a state pilot from the Brunswick Bar Pilots Association boarded the vessel to navigate the vessel into the port. The pilot and master conducted a master/pilot exchange to discuss the transit. After the exchange was completed, the pilot navigated the vessel to the Colonel's Island Terminal in Brunswick, docking at berth 1 at 1736. During the transit into the port, nothing unusual was noted by the pilot or crew.

After docking, shoreside personnel and the vessel's crew began cargo operations, offloading and loading vehicles through the stern ramp. The chief officer was responsible for ensuring that all vehicles were properly stowed and secured. There were no issues reported by shoreside personnel or the vessel's crewmembers with cargo unloading or loading.

Cargo operations were completed by 2330, and the chief officer supervised preparations for the vessel's departure. He stated that he transferred 8 MT of water from the no. 5 port double bottom water ballast tank to the no. 5 starboard double bottom water ballast tank, resulting in the vessel's list changing from 0.42° to port to 0.03° to starboard while at the dock.

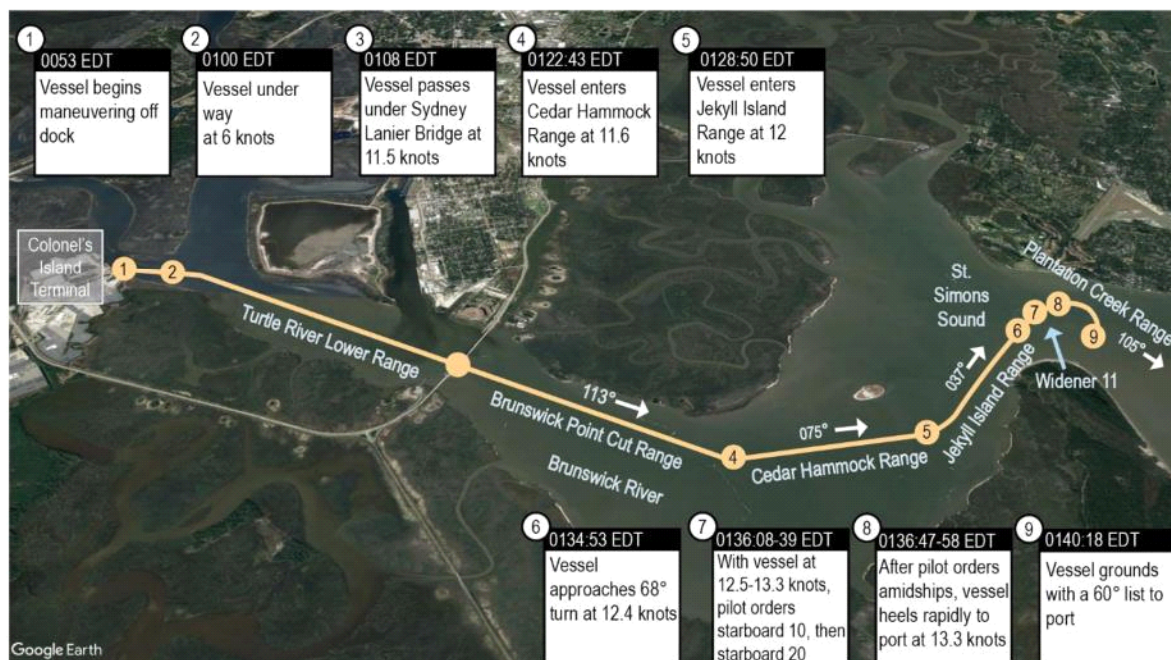
About 0030 on September 8, the same pilot who navigated the *Golden Ray* into the Port of Brunswick boarded to pilot the vessel outbound from the port. During the master/pilot exchange, the pilot remarked that the draft of the vessel was the same as when the vessel entered the previous day (according to the pilot card, the draft was 30.8 feet [9.4 meters] forward and 31.2 feet aft [9.5 meters], which met the required minimum underkeel clearance of 3 feet in the 36-foot-deep channel). The vessel was displacing 34,609 MT, with a midship draft of 30.8 feet (9.4 meters).

NTSB

Marine Accident Report

About 0053, the pilot began issuing orders to take in the vessel's lines and maneuver the *Golden Ray* off the pier with undocking assistance from the tugboat *Dorothy Moran*. The pilot, as was typical for Port of Brunswick pilots, used a Portable Pilot Unit, which provided him with a navigation chart and an Automatic Identification System interface that displayed the headings, speeds, and rates of turn of the *Golden Ray* and other nearby vessels, as well as tidal and water depth information. After all lines were let go, the *Golden Ray* eased into the harbor with the *Dorothy Moran* pulling off the starboard quarter as the pilot issued rudder and engine commands to begin the transit through the channel and out to the sea buoy.

At 0055, the pilot ordered slow ahead. About two minutes later, at 0057:11, the pilot ordered half ahead, and by 0100, the *Golden Ray* was proceeding outbound in the Turtle River Lower Range at 6 knots on a course of 113°. (Figure 2 shows the vessel's transit as it exited the Port of Brunswick.) At 0102:43, the pilot ordered full ahead. The *Dorothy Moran* cast off its line but remained with the *Golden Ray* to provide support as needed. As the vessel transited the channel over the next few minutes, nothing unusual was noted by the pilot or crew of the *Golden Ray* or by the master of the *Dorothy Moran*.



Background source: Google Earth

Figure 2. Trackline of the *Golden Ray*'s transit after it departed the Colonel's Island Terminal.

While the *Golden Ray* was proceeding outbound, the vehicle carrier *Emerald Ace* was proceeding inbound with another Port of Brunswick pilot conning the vessel. The two pilots on board these ships were in communication with each other via radio and had arranged for the vessels

NTSB

Marine Accident Report

to meet in the Plantation Creek Range of St. Simons Sound, which was common practice for the pilots, since it was the widest area of the waterway for vessels to pass each other.³

About 0108, the vessel passed under the Sydney Lanier Bridge, where the *Dorothy Moran* stopped its transit with the *Golden Ray* and awaited the inbound *Emerald Ace* to escort it and assist it with docking. The *Golden Ray* proceeded outbound in the Brunswick Point Cut Range on a course of 113°, following pilot orders.

About the same time, the master ordered the crew to open the portside pilot door (side port), located on deck 5, in preparation for the pilot's planned departure just outside of the Port of Brunswick at the sea buoy (see figure 3). The pilot door was a watertight hatch in the side shell that opened and closed locally by an electronic/hydraulic system; the door was 7 feet (2.1 meters) high and 7 feet (2.1 meters) wide. After supervising the opening of the portside pilot door, the chief officer went to his stateroom. The crewmembers left to conduct other duties, and no one remained at the open door as the vessel proceeded outbound.



Source: Coast Guard

Figure 3. The *Golden Ray* departing Jacksonville, Florida, about 0130 on September 7. The light amidship is the open portside pilot door. (The lights on the blue hull at the bow and stern are mooring line stations.)

At 0122:43, the vessel approached the Cedar Hammock Range at a speed of 11.6 knots. The pilot ordered 20° port rudder to turn left into the Cedar Hammock Range at a course of 075° (a change in course of 38°).

From this turn, it was 1.3 nautical miles (1.15 statute miles) to the next left turn into the Jekyll Island Range.⁴ At 0128:50, at a speed of 12.1 knots, the pilot again ordered 20° port rudder

³ St. Simons Sound was located halfway between the commercial vessel docks at the Colonel's Island Terminal and the limits of the port and provided a 1,000-foot-wide area with a water depth greater than regulated depth. It was general practice for local pilots to use this area of St. Simons Sound for passing when there was an outbound vessel departing and an inbound vessel entering the port. This part of the waterway provided pilots with more area for the vessels to safely meet, and, if something went wrong to prevent a safe passage, such as a propulsion failure, there was space to anchor a vessel.

⁴ Unless otherwise noted, all miles in this report are statute miles.

NTSB

Marine Accident Report

to enter the range at a course of 037° (a change in course of 38°). The vessel made both left turns without incident.

At 0134:53, at a speed of 12.4 knots and a heading of 039°, the *Golden Ray* approached the 68° right turn at widener 11.⁵ The pilot ordered a heading of 044°. About one minute later, at 0136:08, the pilot ordered “starboard 10” to initiate the turn. At 0136:15, with the vessel’s speed at 12.9 knots, the helmsman informed the pilot that the rudder was at starboard 10. Shortly after, at 0136:39, the pilot ordered “starboard 20” to enter the Plantation Creek Range, which had a course of 105° and led to the Atlantic Ocean. The helmsman moved the rudder to comply with the pilot’s command; the vessel’s speed at the time was 13.3 knots.

Seconds later, at 0136:47, the pilot ordered the rudder returned to midships (zero rudder angle). The helmsman complied with the pilot’s order, and, according to the pilot, the “ship just took off.” At 0136:58, the vessel started to heel to port. The pilot stated that as the vessel began to turn, it “felt directionally unstable...meaning when I started the turn, she wanted to keep turning.” Crewmembers on the bridge could be heard on the voyage data recorder (VDR) expressing surprise, and the pilot asked, “what’s the GM [metacentric height] on this thing?”⁶

The pilot issued a “port 10” order to counter the heel and the increasingly sharp turn to starboard. The pilot and master began swiftly issuing additional rudder commands to the helmsman to attempt to counter the heeling. However, the *Golden Ray* continued to rapidly heel to port, and its rate of turn to starboard increased. Additionally, equipment began shifting on the bridge, and numerous alarms began to sound.

Between 0138 and 0139, the pilot issued orders to turn on the vessel’s bow thruster and put the engine in reverse in an attempt to stop the vessel from heeling over. The vessel’s heading at the time was 135°, and its speed was 5.3 knots.

At 0140:18, the *Golden Ray* stopped and grounded outside of the channel, southeast of buoy 19, with a 60° list to port (see figure 4). The main propulsion system and electrical generating systems shut down just prior to the vessel grounding. The emergency diesel generator initially started following the loss of power, but shut down within a few minutes, leaving the vessel with no electrical power or lighting as the pilot and crew evaluated the situation and began to respond. The portside pilot door remained open, and flooding began through the door into deck 5.

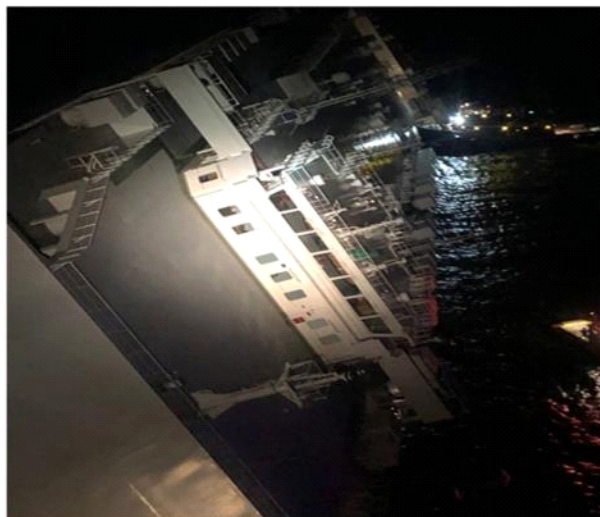
⁵ According to the US Army Corps of Engineers, a *widener* is located on a turn or bend of a channel to provide a vessel with additional width to allow for easier navigation as the vessel turns.

⁶ *Metacentric height* (GM) refers to the distance from the ship’s center of gravity to its metacenter and measures the vessel’s ability to right itself when experiencing an overturning moment. (See [Appendix C](#) for principles of stability.)

NTSB

Marine Accident Report

The pilot contacted the pilot on board the *Emerald Ace* to inform him that the *Golden Ray* had heeled over and the crew needed to be evacuated from the vessel. Fearing that the vessel would “sink in the deep channel,” he also called the *Dorothy Moran* over very high frequency radio to request additional tugs from Moran Towing (owner of the *Dorothy Moran* and other tugboats in the Port of Brunswick) be sent from the port. The pilot next hailed US Coast Guard Sector Charleston on his handheld radio to report the incident and request assistance. The *Emerald Ace* pilot called 911 emergency services to report the incident.



Source: Coast Guard

1.2 Emergency Response

Shortly after the pilot reported the accident, pilot boats from the port and two tugs (the *Dorothy Moran* and the *Ann Moran*) from Moran Towing began responding to the scene. The tugs were used to stabilize the *Golden Ray* by pushing it into the bank to prevent it from sliding and sinking into the deeper water while the pilot boats assessed the situation and reported back to the *Golden Ray*'s pilot.

About 0154, about 10 minutes after being informed of the *Golden Ray*'s distress by 911 dispatch, Coast Guard Boat Station Brunswick launched its 45-foot response boat (CG 45741). Along with the Coast Guard response boat, a Coast Guard helicopter (an MH-65 Dolphin) was launched, and first responders from the Georgia Department of Natural Resources and Glynn County and vessels from Sea Tow were dispatched to assist.

First responders began arriving on scene about 0205. The crew of the CG 45741 were able to communicate with the pilot on board the *Golden Ray* via a pilot boat that was in radio contact with him, and the pilot confirmed that there were 24 persons on board the vessel. Over the next hour, 11 crewmembers were lowered down to the CG 45741 from the bridge of the *Golden Ray* via a fire hose, including the pilot and the master, who informed responders that 4 engineering personnel were still in the engine room.

Five other crewmembers were rescued by other responders while the Coast Guard helicopter hoisted two crewmembers from the starboard side of the vessel. At 0300, another response boat (CG 29139) from Coast Guard Station Brunswick arrived on scene to assist with the search and rescue of the *Golden Ray*'s crew. At 0344, the CG 45741 transferred the personnel they had rescued to the CG 29139 for transport back to the station, and the CG 45741 continued to search for the remaining crew.

About 0430, first responders noticed smoke and flames on the starboard side of the *Golden Ray* in the area of the vehicle decks (see figure 5). The cargo hold contained combustible materials, including tires and plastic components in the vehicles. Because of the reported thick, black smoke

NTSB

Marine Accident Report

and heat, responders could not enter the vessel to search for the missing engineers. The fire lasted about 24 hours before burning itself out.



Source: Coast Guard

Figure 5. Stern view of the grounded *Golden Ray* after the heeling event. Flame and smoke emanate from the starboard side in the area of the cargo decks. Photo taken 6 hours after the heeling event.

At 0645, the crew of the *CG 45741* rescued two more crewmembers, including the chief engineer, who was trapped in his cabin (located below the port bridge wing), by breaking the cabin's window so that he could be pulled out.

With the channel's soft bottom and water flooding through the open portside pilot door, the hull continued to shift. About 0930, as the vessel slowly rolled farther onto its port side to a 90° angle just outside the channel, first responders heard loud crashing sounds from inside the *Golden Ray*.

The pilot and 19 rescued crewmembers were brought on board the *CG 29139* and transported to Coast Guard Station Brunswick, where they were treated by emergency medical services before being transferred to a local hospital. Since there were still four crewmembers (three engineers and a cadet) who had yet to be rescued, first responders continued to monitor the vessel for signs that the remaining crewmembers were alive.

NTSB

Marine Accident Report

1.2.1 Rescue of Trapped Crew

At the time of the heeling, one engineer and an engineering cadet had been conducting a round of the engine room, while two other engineers were in the engine control room on deck 4. After the vessel capsized, the two engineers in the engine control room attempted to leave through

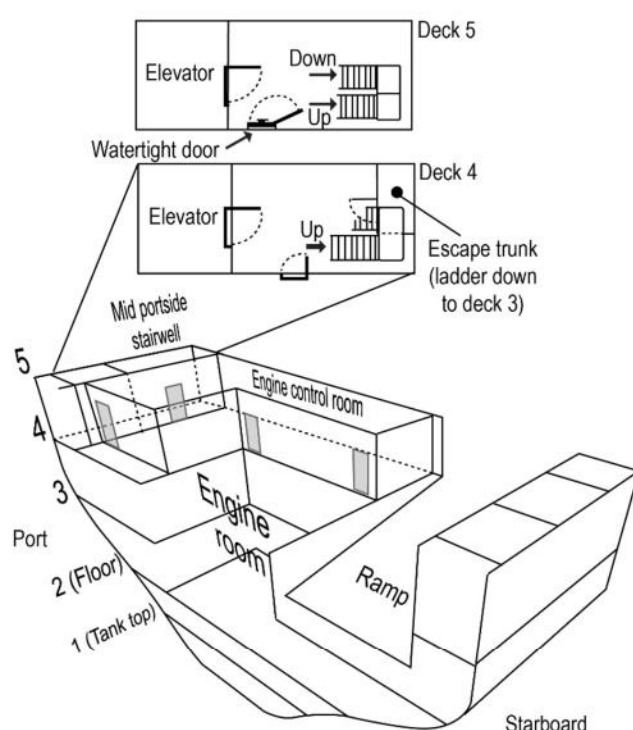


Figure 6. Simplified diagram showing a portion of the engine room and engine control room exits. Doors shaded gray.

the mid-portside stairwell—the primary stairwell serving the engine control room and engine room—but were blocked by incoming water, which was entering the stairwell from an open watertight door on deck 5. The engine control room also had three other doors facing aft that accessed the engine room directly (see figure 6).

Over the next 2–3 hours, water flooded the stairwell and began to enter the engine control room. One of the engineers was able to exit the engine control room through an aft-facing door about 12 feet (3.7 meters) to the port side of the vessel's centerline (middle aft-facing door) and joined the other engineer and engineering cadet in the engine room before the incoming flood water completely covered the aft-facing door; the fourth engineer remained in the engine control room. No main or emergency lighting illuminated the engine room, leaving it completely dark, though the engineering cadet did have a flashlight. The engineers later stated that their means of escape were blocked by the flood water, and as the vessel had settled and its port list slowly increased, the water level

within the engine room had risen. The rising water, accumulating on the port side and contaminated with oil, led the engineers to move up higher (toward the ship's starboard side). As time went by, the air temperature within the engine room rose. According to the engineers, the excessive heat made it very uncomfortable and hard for them to breathe, and they eventually entered the flood water to stay cool.

Just over 16 hours after the accident, at 1812 on September 8, first responders reported hearing tapping noises from within the vessel. The following day, the Coast Guard, working closely with Donjon-SMIT and Defiant Marine (both salvage and first responder companies), and Elevated Safety (who were experts in confined-space rescues), as well as Glynn County Heavy Rescue-8 and the Georgia Department of Natural Resources, developed what they determined to be the safest plan to rescue the engineers, which included procuring cold cutting equipment to safely create an escape access into the hull. It was expected to take about 14 hours to get the equipment on site. About 1300, responders drilled a 2.5-inch hole through the hull and made

NTSB

Marine Accident Report

contact with the engineers (see figure 7). An atmosphere reading of the engine room showed its temperature was as high as 155°F. Realizing that the internal atmosphere was extremely hazardous to the engineers, the rescuers continued drilling holes to create a square access opening into the hull rather than wait for the requested cold cutting equipment to arrive.



Source: Coast Guard

Figure 7. Emergency responders attempt to rescue the trapped engineers and cadet (left). Responders drilled holes into the hull to access the engineers (right).

The two engineers and cadet who were trapped in the main engine room space were rescued at 1500. Rescuers had to breach the explosion-proof glass of the engine control room to reach the fourth engineer, and, at 1751, he exited the vessel. All of the engineering crew were in good condition.

At 1800, a second fire was reported within the vehicle decks. This fire burned itself out the same night.

1.2.2 Injuries

As a result of the accident, two crewmembers suffered serious injuries. The third mate had a laceration on her right hand and a joint fracture of her right middle finger, and the bosun's left foot was fractured. Both crewmembers were medically evaluated at Coast Guard Station Brunswick and transported to a local hospital, where they were treated for their injuries.

NTSB

Marine Accident Report

Table 1. Injuries sustained in the *Golden Ray* accident.⁷

| Type of Injury | Crew (23 crew, 1 pilot) |
|----------------|-------------------------|
| <i>Fatal</i> | 0 |
| <i>Serious</i> | 2 |
| <i>Minor</i> | 0 |
| <i>None</i> | 22 |

1.3 Damage

The *Golden Ray* sustained significant damage due to fire damage, flooding, and saltwater corrosion. The vessel was declared a total loss estimated at \$62.5 million. The vehicle cargo loss was estimated at \$142 million.

Efforts to salvage the wreck of the *Golden Ray* began on November 9, 2020. As of the publication of this report, salvage and removal of the wreck has not been completed, but salvage costs were last estimated to be in excess of \$250 million.

1.4 Electronic Data Review

1.4.1 Stability Computer

After the accident, the *Golden Ray*'s stability calculation computer, LOADCOM (manufactured by Totem Plus, Ltd.), was removed. However, the unit sustained extensive saltwater damage, and investigators therefore could not retrieve the vessel loading condition data entered by the chief officer. (More details about the LOADCOM computer can be found in [section 1.7.3, "Cargo Operations."](#))

1.4.2 Voyage Data Recorder

The *Golden Ray* was equipped with a VDR manufactured by Totem Plus, Ltd. The VDR was recovered after the accident, and its data, including parametric data from the accident voyage on September 8 and the previous voyage into Brunswick, Georgia, on September 7, were sent to the National Transportation Safety Board (NTSB) for review. There were, however, several recording gaps in the data from the previous voyage.

The parametric and audio data on the VDR for the accident voyage contained the sequence of events as the *Golden Ray* approached the right turn at widener 11, including the vessel's heading and speed throughout the transit, as well as the pilot's orders to the bridge crew. A review of the recorded bridge audio showed that before the heeling event, there was no indication from the pilot

⁷ The NTSB uses the International Civil Aviation Organization injury criteria in all of its accident reports, regardless of transportation mode. A serious injury is a non-fatal injury that requires hospitalization for more than 48 hours, commencing within 7 days from the date the injury was received; results in a fracture of any bone; causes severe hemorrhages, nerve, muscle, or tendon damage; involves any internal organ; or involves second- or third-degree burns, or any burn affecting more than 5 percent of the body surface.

NTSB

Marine Accident Report

and crewmembers on the bridge that there were any concerns with the vessel. In addition, there were no alarms heard sounding on the bridge until after the vessel began to heel to port at approximately 0137.

1.4.3 Integrated Monitoring, Alarm, and Control System

Data was recovered from the vessel's Integrated Monitoring, Alarm, and Control System (IMACS), a system also manufactured by Totem Plus, Ltd. that provided the ability to visualize the vessel's power management system, tank-level indications, anti-heeling and loading programs, and the engine monitoring and automation features, and recorded many of these associated parameters so that the crew could review past operations. The system's data were extracted by the manufacturer, and the NTSB reviewed the data, particularly the vessel's list as recorded by the system's inclinometer. The IMACS data showed that, after the vessel departed its berth at the Colonel's Island Terminal, there were no changes to the vessel's monitored systems before the vessel heeled.

The IMACS data also showed that on September 8, when the *Golden Ray* was docked and preparing to begin its outbound transit from the Port of Brunswick, the vessel contained a total of 4,600 MT of liquids on board, including 2,981.45 MT of ballast. The vessel also contained 891.38 MT of heavy fuel, 321.91 MT of diesel fuel, and 46.29 MT of miscellaneous liquids, as well as 360 MT of liquid loads not recorded by IMACS ([see Appendix D](#)).

1.5 Vessel Information

The *Golden Ray* was built in 2017 at the Hyundai MIPO Dockyard in Ulsan, South Korea. The vessel was owned by GL NV24 Shipping Inc. and operated by G-Marine Service Co. Ltd., a South Korean shipping management company established in 2006. The company's fleet was comprised of 51 vessels, including a vessel of the same class, the *Silver Ray*. On both the *Golden Ray* and the *Silver Ray*, G-Marine Service Co. Ltd. (the operator) was responsible for crewing and managing the vessels.

After the *Golden Ray* and *Silver Ray* were completed in 2017, both vessels were chartered by Hyundai Glovis Co. Ltd., a logistics company founded in 2001 and headquartered in South Korea. On both the *Golden Ray* and the *Silver Ray*, Hyundai Glovis Co. Ltd. (the charterer) was responsible for organizing cargo operations.

1.5.1 Construction and Arrangement

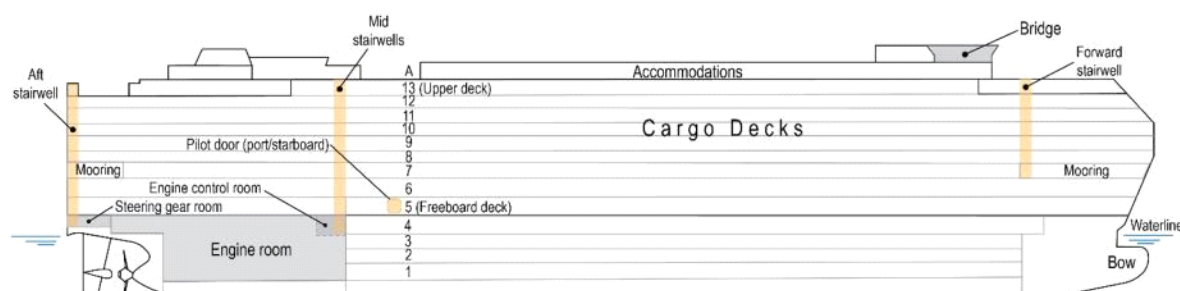
The *Golden Ray* was constructed of steel and had 15 decks, including the cargo decks, bridge, and accommodations (see figure 8). Of the 12 enclosed decks that housed vehicle cargo, 8 were fixed, and 4 were adjustable and could be raised or lowered to accommodate cargo of various sizes. Deck 5 was the vessel's watertight freeboard (or bulkhead) deck.⁸ The ship had two loading

⁸ The terms *freeboard* and *bulkhead deck* are used interchangeably. The bulkhead deck is the highest deck to which the transverse watertight bulkheads and shell are carried. The freeboard deck is normally the uppermost continuous deck exposed to the weather and the sea. It has permanent means of closing all openings weathertight (meaning that in any sea conditions, water will not penetrate). Below the freeboard deck, all openings in the sides of the ship are fitted with permanent watertight closings.

NTSB

Marine Accident Report

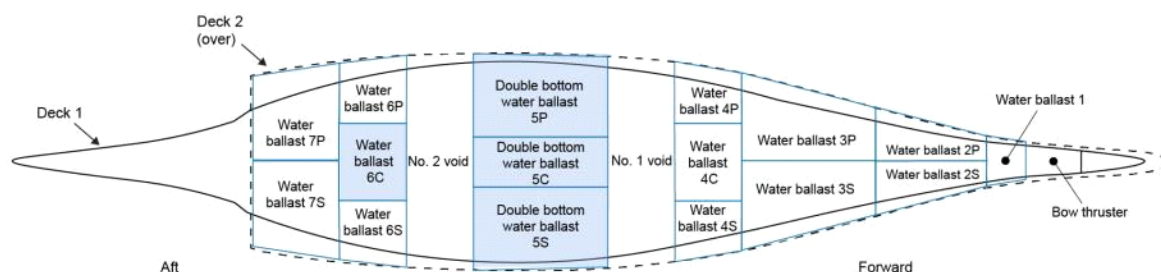
ramps on deck 5: one aft on its starboard stern quarter and another on the starboard side. Fore and aft mooring stations were on deck 7, which was a watertight deck. Deck 13 was also called the upper deck, or weather deck. The vessel had one aft stairwell from deck 4 to deck 13; two mid stairwells (port and starboard) from deck 4 to deck 13; and one forward stairwell from deck 7 to deck 13.



Background source: General arrangement drawing, Hyundai MIPO Dockyard

Figure 8. Simplified profile of the *Golden Ray*.

The vessel had 22 ballast tanks, comprised of 18 water ballast tanks, a fore peak tank, and 3 aft peak tanks (see figure 9). The total volume of the tanks was 9,842 cubic meters, and, when the tanks were completely full of salt water, the total capacity was 10,088 MT. Three water ballast tanks did not extend above the lowest cargo deck (deck 1) and were designated double bottom tanks (no. 5 starboard, centerline, and port water ballast tanks). (See [Appendix D](#) for water ballast tank levels at the time of the accident.)



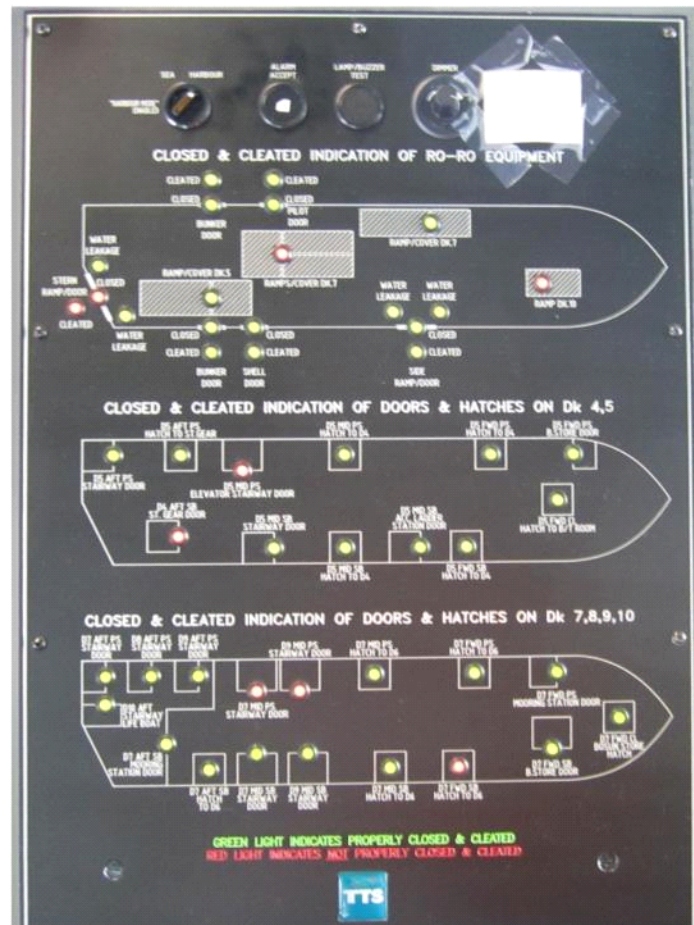
Background source: General arrangement drawing, Hyundai MIPO Dockyard

Figure 9. Simplified plan of water ballast tanks on *Golden Ray*. Blue lines show water ballast tanks, and blue highlights show water ballast tanks used to transfer ballast prior to the accident voyage. Note: the solid line is deck 1, and the dashed line shows deck 2 above. Fore and aft peak tanks are not indicated for clarity.

Watertight Doors. In addition to the pilot door, stern ramp, side ramp, and four ramp covers, the *Golden Ray* had 17 watertight doors and 13 watertight hatches that, when shut, maintained the vessel's watertight integrity. On the vessel's bridge, there was a watertight door indicator panel that showed whether the watertight doors and hatches were open (red light) or closed (green light) (see figure 10).

NTSB

Marine Accident Report



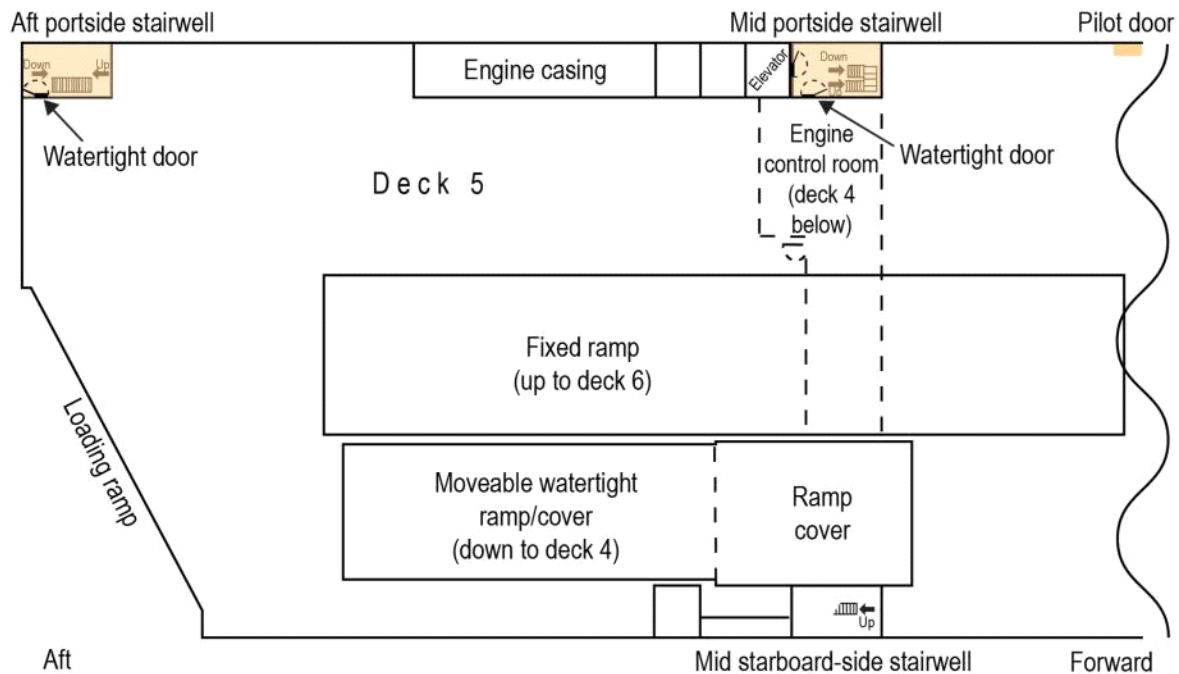
Source: Coast Guard

Figure 10. Watertight door indicator panel located on the bridge of the *Silver Ray*, a vessel of the same class as the *Golden Ray*.

The IMACS data showed that in addition to the portside pilot door, the watertight doors to both the aft and mid portside deck 5 stairwells were open at the time of the accident and had been open since 2341 on September 7 before the vessel departed the Colonel's Island Terminal. The mid portside stairwell, about 75 feet (22.9 feet) aft of the pilot door, served as the primary access to the engine room and the engine control room on deck 4; the escape trunk stairwell serving the lower engine room exited to this stairwell at deck 4 (see figure 11).

NTSB

Marine Accident Report



Background source: Hyundai MIPO Dockyard

Figure 11. Simplified overhead plan of the aft portion of deck 5. The stairwells with open watertight doors and the pilot door are highlighted. Dashed lines indicate spaces on deck 4 below.

The aft portside stairwell at the stern served as access to the steering gear room on deck 4 (the engine room and steering gear room were separated by a watertight transverse bulkhead and connected to each other on deck 4 by a watertight door). Both the aft and mid stairwells were “towers”—isolated spaces with fire-protected bulkheads that ran vertically up to deck 13, with doors serving car decks in between (see figure 12). On deck 13, the upper deck, the doors allowed exit to the weather deck (outside). There was also an exit from the engine room on the port side from deck 4 by a series of vertical ladders that led up through the engine casing to the upper deck.

NTSB

Marine Accident Report

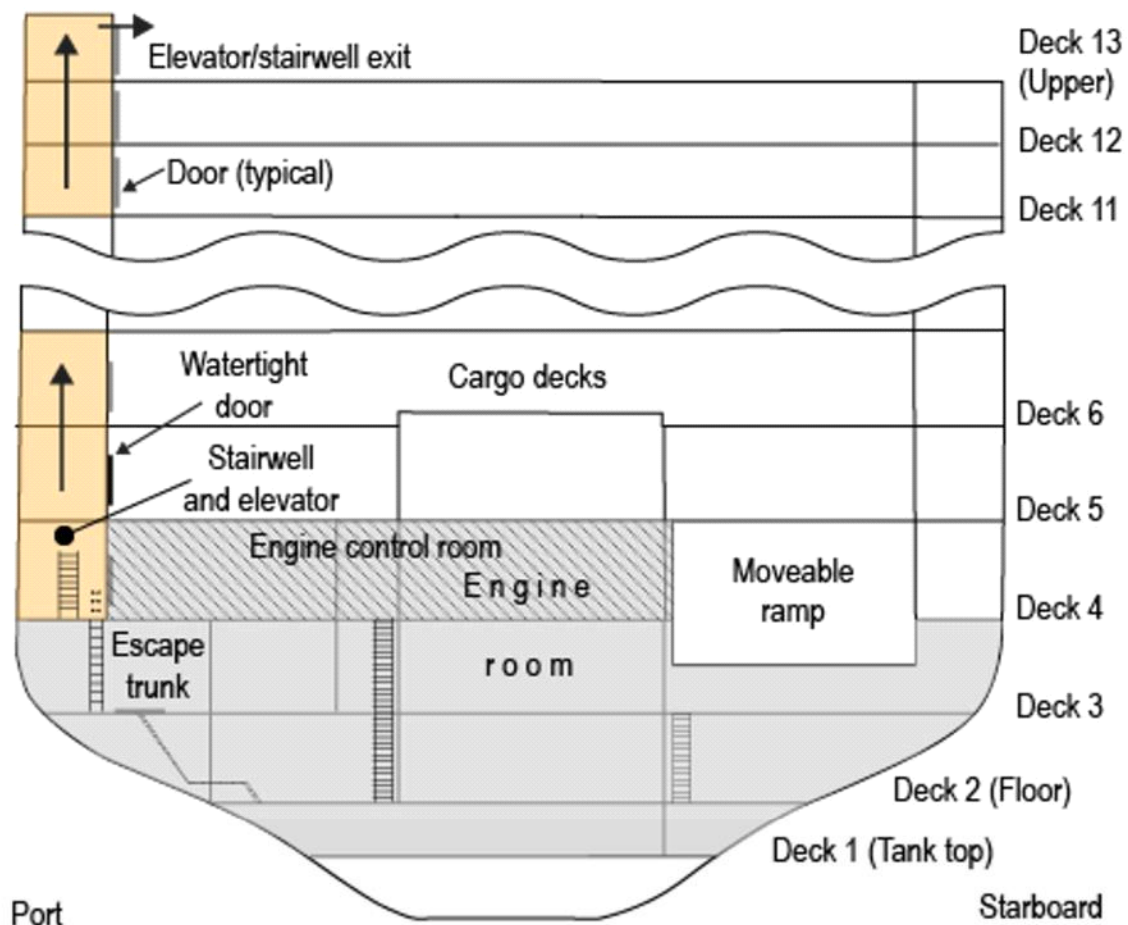


Figure 12. Simplified section view of the escape trunk and mid portside stairwell exit from the engine room and engine control room.

1.5.2 Classification and Inspection

The *Golden Ray* was classed by the Korean Register of Shipping and had received its certificate of classification in December 2017. The vessel also held valid *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)* certificates for safety, communications, machinery, and other equipment issued by the Korean Register of Shipping. There were no conditions of class (deficiencies with the structure or maintenance of the vessel that required correction) issued against the vessel before the accident.

At the time of the accident, the vessel's Certificate of Registry, which had been issued by the RMI in November 2018, was valid. Additionally, the *Golden Ray* had a valid Safety Management Certificate issued under the authority of the Government of the RMI by the Korean Register of Shipping, certifying that the vessel complied with the requirement of the International Management Code for the Safe Operations of Ships. The certificate was issued on July 23, 2018, based on an audit completed on May 4, 2018, and would have remained valid until May 23, 2023.

NTSB

Marine Accident Report

The *Golden Ray* underwent ten Port State Control Examinations from 2017 to 2019, including two by the Coast Guard when the vessel was in US ports, to ensure the vessel complied with International Maritime Organization (IMO) requirements. The Coast Guard also ensured compliance with applicable US regulations. No significant deficiencies were documented during the Port State Control Examinations.

1.6 Personnel Information

The *Golden Ray* had a crew of 23, all of whom were properly credentialed and possessed the appropriate flag-state endorsements for their positions on board the vessel. The vessel was crewed in compliance with the Minimum Safe Manning Certificate issued by the RMI.

1.6.1 Master

The master, who held overall command of the vessel, joined the crew of the *Golden Ray* on August 28, 2019, 11 days before the accident, while the vessel was docked in Freeport, Texas. He had been sailing since 1980, and he became a captain in 1995. He had been working on vehicle carrier vessels since 2016 and had begun working for the operator in 2017. The master had not sailed on the *Golden Ray* or the *Silver Ray* before.

1.6.2 Chief Officer

The chief officer, who was second in command of the vessel, was a credentialed deck officer who had joined the crew of the *Golden Ray* in Gwangyang, Republic of Korea, on March 5, 2019 (about 6 months before the accident). He had been sailing for about 13 years and had been a chief officer for 10 years, 6 of which were on a vehicle carrier.

1.6.3 Pilot

The pilot on board the *Golden Ray* during the accident was one of six Port of Brunswick Bar Pilots who navigated vessels as they transited within the port. The pilot had been working in the maritime industry since 1997. He held a Coast Guard first class pilot endorsement for the Port of Brunswick and had held a state license since 2000. Additionally, he had held an unlimited restriction pilot's credential from the state of Georgia since January 2014. He stated that "probably 95 percent or more of our cargo—our ships calling here are roll-on/roll-off ships."

The Port of Brunswick pilot rotation was 24 hours long and was arranged so that the same pilot who guided a vessel into the port would guide it out of the port after cargo operations were completed. The accident pilot stated that this procedure enhanced crew-pilot familiarization and reduced the logistical demand for the pilots to arrange multiple means of transportation when a pilot was finished.

All the pilots in Brunswick were self-employed and were associated together to collectively manage the pilot operation for the port's commercial vessel traffic. Each pilot was required to hold a Coast Guard first class pilot endorsement and a Georgia State Pilot credential and to successfully complete a three-year apprenticeship under the supervision of senior pilots. Once the apprenticeship was successfully completed, the Georgia commissioner of pilotage issued the pilot a credential for smaller vessels (no longer than 525 feet [160 meters] and no more than 25 feet

NTSB

Marine Accident Report

[7.6 meters] of draft). The training continued as a pilot qualified for credentials for progressively larger vessels until they obtained an unlimited restriction state pilot's credential.

1.7 Operations

1.7.1 Safety Management System

A safety management system (SMS) is a structured and documented system designed to enable company personnel to effectively implement the company's safety and environmental protection policy, as well as the *International Safety Management Code*.⁹ Regardless of the size of the company, an SMS ensures standardized procedures for each crewmember during both routine and emergency operations. Safety of operations and compliance with mandatory rules and regulations related to the safe operations is the objective behind every action and decision by both those who oversee procedures and those who carry them out.

The operator had an SMS on the *Golden Ray* for use by its crew. The SMS included procedures for cargo operations, including crewmembers' duties during cargo operations, the amount of space required for stowing cargo, how to avoid damages while loading or offloading cargo, and how to secure cargo.

The SMS specified the duties of the master, chief officer, and other officers. According to the SMS, the master was responsible for shipboard education and training. During cargo operations, the chief officer was charged with managing loading/offloading and cargo-related work, including confirming the vessel's stability, while the master was responsible for confirming and monitoring the chief officer's cargo loading plan. The chief officer was also responsible for managing the vessel's ballast water, bilges, and fresh water; managing the SMS's control documents, drawings, and manuals of the deck department; and maintaining vessel records.

The SMS also had an Arrival/Departure Checklist that was required to be completed before the vessel's arrival at or departure from a port. The checklist required all the vessel's watertight doors to be closed and all hull openings to be secure and watertight upon departure from or when preparing for arrival at a port.

The SMS had been approved by the Korean Register of Shipping, and the vessel underwent regular SMS auditing. The operator's fleet management team conducted internal audits, and the Korean Register conducted external audits with the participation of the vessel's flag state (RMI). The operator conducted the vessel's most recent audit about a month before the accident on August 27, 2019, in Freeport, Texas, and no nonconformities were identified regarding the vessel or the crew's knowledge of SMS procedures.

⁹ The *International Safety Management Code* was developed by the IMO in the 1980s "to provide an international standard for the safe management and operation of ships and for pollution prevention." IMO, "ISM Code and Guideline of Implementation of the ISM Code," <https://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/ISMCode.aspx>, accessed June 30, 2021.

NTSB

Marine Accident Report

1.7.2 Shipboard Training

In a postaccident statement, the operator reported that they hired employees based on their previous experience, and “each of the vessel’s officers were experienced at their position, and none of the senior officers were serving in a position for the first time.”

The operator did not provide official training on crew positions and responsibilities to new crewmembers but instead relied on a combination of newly hired crewmembers’ experience and knowledge as well as on-the-job training. The chief officer stated that when he relieved the previous chief officer, he received 3–4 hours of on-the-job training, including how to use the vessel’s LOADCOM computer. He also stated that no one else on the ship knew how to use the LOADCOM computer, since calculating stability was the responsibility of the chief officer.

1.7.3 Cargo Operations

Preliminary Load Plan. For each port vehicle terminal that the *Golden Ray* was scheduled to visit in the United States, the charterer used a contractor (Norton Lilly) to develop a preliminary load plan (preload plan), which included compiling the proposed cargo to be loaded and offloaded and determining whether there was enough room on board the vessel for the proposed cargo at each port with the projected available space. The preload plan provided the specific location (deck and space) but not the weight of the vehicles to be loaded. The charterer sent the preload plan to the ship’s agent and to the vessel for the chief officer to review and determine whether the vessel could accommodate the weight of the cargo departing port while still meeting vessel stability requirements. The Norton Lilly personnel who prepared and reviewed the preload plan were not responsible for calculating the effect that the weight and placement of the cargo load would have on the stability of the vessel.

In the weeks leading up to the *Golden Ray*’s stop in Brunswick, the vessel visited four ports: Veracruz, Mexico (August 19-22); Altamira, Mexico (August 24-25); Freeport, Texas (August 27-30); and Jacksonville, Florida (September 6-7). In the days before the *Golden Ray* arrived at each port, the charterer sent the chief officer a preload plan specific to the upcoming port. Once the chief officer received a preload plan, he reviewed it and used the estimated weight and locations of the cargo being loaded and offloaded to determine whether the vessel would meet stability requirements with the changes in position and weight of the cargo. According to company procedures, if the chief officer did not believe that the vessel could safely accommodate the cargo and meet required vessel stability, he would coordinate with the charterer to determine how to adjust the preload plan to meet the stability requirements. The chief officer did not object to any of the preload plans for the Port of Brunswick or the four ports before. After loading operations were completed in each port, Norton Lilly emailed a final load plan to the charterer, who in turn emailed it to the vessel, typically within 12 hours after the vessel departed the port, with the vessel’s actual vehicle loading by deck area and vehicle type.

During the voyage to Brunswick, the charterer emailed the preload plan to the *Golden Ray*’s master and chief officer about 30 hours before the vessel was scheduled to arrive at the port, to review and determine if the vessel could accommodate the cargo to be loaded in Brunswick (see figure 13). The preload plan specified that a combination of 265 KIA Forté and Hyundai Accent vehicles from decks 11 and 12 were to be offloaded, and 362 KIA Telluride sport utility vehicles were to be loaded to decks 5, 11, and 12.

NTSB

Marine Accident Report

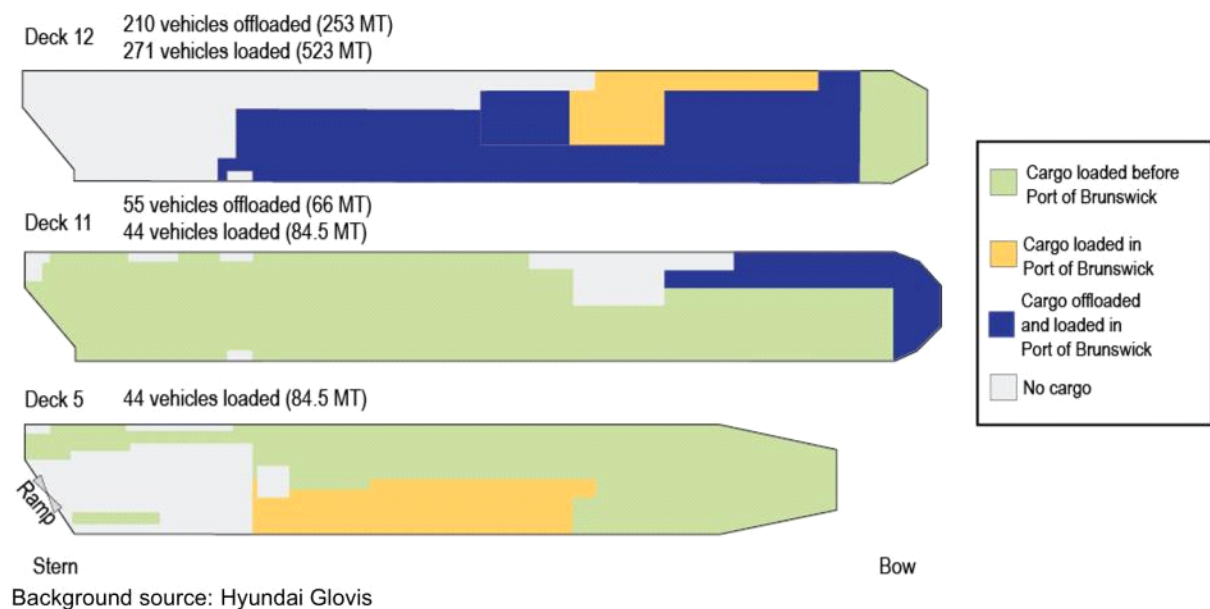


Figure 13. Preload plan (top view of decks 5, 12, and 13) for the *Golden Ray* at the Colonel's Island Terminal.

The chief officer stated that the preload plan that he received only contained the number and type of vehicles but did not contain the weight of each type of vehicle. (A postaccident review of the plan confirmed that the plan contained the number of vehicles and the total weight to be loaded in each loading location). Based on his experience, he estimated that each small vehicle being offloaded weighed 1.3 MT and each mid-sized vehicle being loaded weighed 2 MT, and he determined the total weight of the vehicles “based on the average weight of the given number of cars.” Using the stowage locations of the cargo provided in the preload plan and the estimated weight based on his calculations, the chief officer used the LOADCOM stability calculation program to determine the effect the cargo change would have on the vessel’s stability. He concluded that the vessel would be able to accommodate the vehicles and meet stability requirements. He emailed the ship’s agent to accept the preload plan before the vessel’s arrival at the Port of Brunswick.

Loading and Offloading. According to his postaccident interview, before arriving in the Port of Brunswick on September 7, the chief officer briefed all officers and deck crew about the planned cargo operations, including “...loading, discharging, how many weights, and the lashing condition, and...checking the storage plan” in accordance with the company’s SMS. Additionally, once in port, he met with stevedoring personnel from the Colonel’s Island Terminal and the charterer’s contracted plan clerk to discuss the day’s operations. Before beginning loading operations, all vehicles were examined by stevedores for faults, including open doors or windows, leaking fluids, and disengaged hand brakes, and to ensure each vehicle’s fuel tank was no more than 25% full.

Once loading operations began, the chief officer worked with the plan clerk and the superintendent of stevedoring to supervise loading operations. The chief officer was responsible for ensuring that all vehicles were properly stowed according to the preload plan and were secured in accordance with the vessel’s cargo securing manual, while the plan clerk would confirm how

NTSB

Marine Accident Report

many vehicles were loaded during cargo operations. Unloading and loading were performed according to the preplan, with the exception of three vehicles originally included on the preload plan that were not loaded because of faults discovered during the stevedores' examination of the cargo; thus, a total of 359 KIA Telluride sport utility vehicles were loaded onto the vessel.

After the stevedores completed offloading and loading cargo, the chief officer worked with the plan clerk and stevedoring superintendent to confirm what was physically loaded. The chief officer sent this information directly to Norton Lilly, who began developing a final load plan with the actual load conditions, including the number, the estimated weight, and the stowage location of vehicles on each deck. Shoreside personnel reported no issues with or damage to the vessel's cargo securing lashings, and the crew reported no issues with the placement of the cargo.

Once Norton Lilly completed the final load plan, they would send the plan to the vessel, typically after the vessel had departed the port. The final load plan for the *Golden Ray*'s cargo operations at Brunswick was emailed at 0259 on the day of the accident, which was almost 2 hours after the vessel capsized. Investigators' postaccident review of the final load plan showed that the total weight of the offloaded vehicles was 319 MT (1.2 MT each), and the total weight of the loaded vehicles was 692 MT (1.92 MT each). By the time cargo operations were completed, there were 4,161 vehicles on board, and the total cargo weight was 8,780.2 MT, an increase of 94 vehicles and an increase in cargo weight of about 373 MT from when the vessel arrived in Brunswick.

Calculating Vessel Stability. Following cargo operations and before the vessel's departure from a port, the chief officer was responsible for calculating the vessel's stability. The *Golden Ray* had on board a Trim and Stability (T&S) Booklet, which provided hydrostatic tables and stability and trim characteristics for 34 loading conditions to ensure the vessel had adequate stability before departure and during a voyage. If the GM calculated by the chief officer met the required threshold in the T&S Booklet, then the vessel was considered to be in compliance with the stability requirements of the booklet and of the International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS Code). The operator's SMS referred crewmembers to the T&S Booklet for stability guidelines.

The chief officer stated during a postaccident interview that he "calculated the stability and printed it out" using the LOADCOM computer. (The LOADCOM stability computer was designed to calculate stability in accordance with the T&S Booklet.) Before calculating the vessel's stability after loading operations were completed, the chief officer consulted the vessel's IMACS and had the quartermaster sound the tanks (ballast, fuels, and fresh water) to confirm that the IMACS tank level indicators were measuring correctly; he stated during the postaccident interview that the soundings were close to what the tank level indicator provided for the IMACS. The chief officer stated that he oversaw tank level soundings and personally observed and recorded the draft markings in order to enter them into the LOADCOM computer (this tank-sounding procedure was conducted daily). As stated earlier, the chief officer also consulted the preload plan to estimate the weight of the cargo loaded onto the vessel; he then entered it into the LOADCOM computer.

The chief officer entered the IMACS data for the ballast, fuels, and fresh water as well as the cargo weight into the LOADCOM computer to calculate the vessel's center of gravity. Although the LOADCOM computer was capable of automatically receiving IMACS data (such as ballast tank levels), according to the chief officer, he manually entered the necessary data from the IMACS into the LOADCOM computer. The IMACS also had a GM measurement feature that, if

NTSB

Marine Accident Report

used, automatically transferred ballast to heel the vessel up to 1° to either side and measured the quantity of ballast transferred to calculate the ship's GM. The postaccident review of the IMACS data revealed that the GM measurement program was not used before the vessel departed on the accident voyage from Brunswick. The LOADCOM computer did not calculate the vessel's vertical center of gravity (KG)—that is, the distance from the bottom of the hull (or keel) to the center of gravity.

The operator's SMS provided the following guidelines for using the LOADCOM computer: "the stability as calculated by using [LOADCOM] must be OK condition and above the IMO required Min. GM for that condition." Once the chief officer finalized the stability calculations using the LOADCOM computer, he reported to the master the vessel's GM, which he calculated to be 2.45 meters (8.3 feet) (and which he reported the LOADCOM said "was ok"), and draft, which he determined to be 30.8 feet (9.4 meters) forward, 30.9 feet (9.3 meters) midships, and 31.2 feet (9.5 meters) aft (the same fore and aft drafts reported by the pilot in the master/pilot exchange). The master, who was required by the operator's SMS "to be satisfied that the ship has sufficient stability at all times," did not review the chief officer's calculations or report any issues with the chief officer's calculations to the company.

Typically, the master would then generate a departure report, which included the vessel's calculated GM and draft, and send it to the operator's fleet management team for their records. However, according to the master, the Brunswick departure report for the vessel was not sent before the accident because they were in a "standby situation," and they had not yet dropped the pilot off outside the channel.

1.8 Stability

A vessel that is floating upright in still water will list, or heel over to an angle, when an off-center force is applied. Stability is the vessel's tendency to return to its original upright position when the force is removed. See [Appendix C, "Principles of Stability,"](#) for more information.

1.8.1 International Code on Intact Stability, 2008 Requirements

The 2008 IS Code provides intact stability standards in two parts—mandatory criteria and recommended criteria. For cargo and passenger vessels at least 24 meters (79 feet) long, including the *Golden Ray*, the 2008 IS Code required two types of intact stability criteria: (1) the vessel's righting arm curve and (2) severe wind and rolling.

According to the criteria, the area under the righting arm curve was required to be no less than 0.055 m-radians up to an angle of heel of 30°, or no less than 0.09 m-radians up to an angle of 40°. ¹⁰ Additionally, the righting arm was required to be at least 0.2 meters (0.7 feet) at an angle of heel equal to or greater than 30°, and the maximum righting arm could not occur at an angle less than 25°. Further, the vessel's initial GM was required to be no less than 0.15 meters (0.5 feet).

The severe wind and rolling criteria contained within the 2008 IS Code required that the vessel's angle of heel under action of a steady wind not exceed the lesser of 16° or 80% of the angle of deck edge immersion. Additionally, the vessel's available or potential energy to resist

¹⁰ An *m-radian*, or meter-radian, is a measure of area under a ship stability righting arm curve.

NTSB

Marine Accident Report

capsizing to leeward was required to be equal to or greater than the stored energy due to the roll angle to windward.

1.8.2 NTSB Performance Study

After the accident, the NTSB used data from the *Golden Ray*'s VDR and IMACS to determine the forces acting on and their effect on the vessel at the time of the accident. The study showed that from an initial heel of about 8° at 0136:00, the vessel heeled past 50° in about 50 seconds (by 0136:50) and reached over 60° in less than a minute, while its starboard rate of turn increased from about 2° per minute to over 40° per minute (see figure 14).

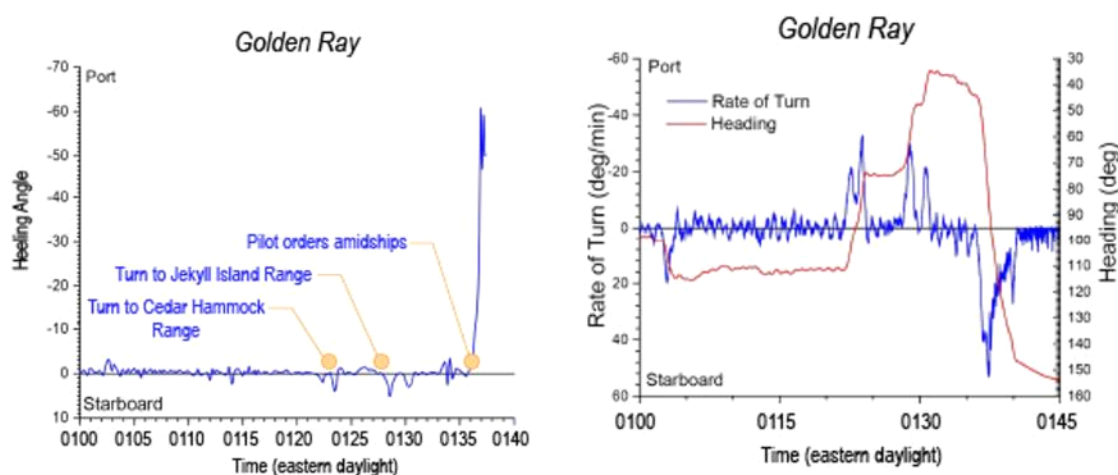


Figure 14. Graphs from the *Golden Ray* performance study by the NTSB. Left: heeling angle through the transit, including previous two left turns. Right: heading and rate of turn through the transit.

According to the study, the heeling of the vessel was driven by a moment created by hydrodynamic side force on the hull at a distance below the center of gravity during a starboard turn at 12–13 knots. The hydrostatic stability (buoyancy) resisting the heel was much less than would be expected for the reported GM of 2.45 meters (8 feet) and instead was consistent with a GM of approximately 0.45 meters (1.5 feet). The study also found that although the effect of wind could not be calculated precisely, the low magnitude of the heeling moment from wind relative to other sources of heeling moment was not significant. The study found that the vessel's center of gravity was significantly higher than reported, leading to the lack of roll resistance.

1.8.3 Marine Safety Center Analysis

Accident Analysis. As part of its investigation of the accident, the Coast Guard's Marine Safety Center (MSC) completed a forensic stability analysis of the *Golden Ray* using a computer model of the cargo weights contained on the final load plan and the liquid load quantities (fuel oil, lube oil, fresh water, ballast, wastewater) retrieved from the IMACS computer as the ship departed the Port of Brunswick on September 8 (Coast Guard 2020).

Considering the final load plan and IMACS data, the MSC used the *Golden Ray*'s T&S Booklet to find the vessel's required minimum GM and maximum KG for the corresponding drafts and trim on the accident voyage (see [Appendix C](#) for principles of stability). The MSC found that

NTSB

Marine Accident Report

the vessel's minimum GM, according to the T&S Booklet, should have been 2.54 meters (8.3 feet). The MSC analysis determined that on the accident voyage, the *Golden Ray* had a GM of approximately 1.76 meters (5.8 feet), below both the minimum 2.54 meters (8.3 feet) required by the T&S Booklet and the 2.45 meters (8 feet) reported by the chief officer. The MSC also determined that the vessel's KG on the accident voyage was 18.2 meters (58 feet), approximately 3.8% higher than the T&S Booklet's required maximum KG of 17.5 meters (57.4 feet).

Additionally, to simulate the accident voyage, the MSC compared the cargo and liquid loads on board the *Golden Ray* at the time of the accident to similar loading conditions found in the T&S Booklet. The T&S Booklet had 34 loading conditions for various cargo, fuels, and ballast scenarios that might typically be encountered during a voyage, such as "Normal Ballast Condition Arrival" and "Docking." These 34 conditions had been demonstrated to result in adequate vessel stability. Of those 34 conditions, the MSC found 6 that were similar to the vessel's loading condition on the accident voyage (see figure 15) and used these as "benchmark" conditions for comparison. The booklet had two loading conditions (conditions 17 and 18) that had similar cargo vertical centers of gravity, but on the accident voyage, the vessel had over 40% less ballast, fuels, and fresh water (liquid loads) in its tanks, as well as 12% more cargo weight, than these benchmark conditions. Two other loading conditions (conditions 13 and 14) had similar total liquid loads as the *Golden Ray*, but on the accident voyage, the vessel had a cargo vertical center of gravity 20% higher than these conditions, as well as about 1,500 MT (about 17%) more cargo weight. Lastly, the MSC chose two other conditions (conditions 19 and 20) for comparison due to the similar cargo weight carried (8,780.2 MT on the accident voyage), as they only had about 900 MT more cargo weight than the accident voyage. However, on the accident voyage, the vessel had 2,900 MT less liquid load than these conditions.

| | Ballast (MT) | Bunkers (MT) | Total Liquid (MT) | Cargo Weight (MT) | Cargo VCG (m) | Vessel VCG (m) | Total Disp. (MT) |
|--------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------|----------------|------------------|
| MSC Capsize Voyage | 2981 | 1619 | 4601 | 8780 | 24.3 | 18.2 | 35044 |
| T&S Condition 17 | 2766 | 4233 | 7000 | 7742 | 24.2 | 17.1 | 36175 |
| T&S Condition 18 | 5463 | 1066 | 6529 | 7742 | 24.2 | 17.0 | 35704 |

| | Ballast (MT) | Bunkers (MT) | Total Liquid (MT) | Cargo Weight (MT) | Cargo VCG (m) | Vessel VCG (m) | Total Disp. (MT) |
|--------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------|----------------|------------------|
| MSC Capsize Voyage | 2981.45 | 1619.2 | 4601 | 8780 | 24.3 | 18.2 | 35044 |
| T&S Condition 13 | 320 | 4233 | 4553 | 7267 | 19.4 | 17.0 | 33253 |
| T&S Condition 14 | 3117 | 1066.2 | 4183.2 | 7267 | 19.4 | 16.8 | 32884 |

| | Ballast (MT) | Bunkers (MT) | Total Liquid (MT) | Cargo Weight (MT) | Cargo VCG (m) | Total VCG (m) | Total Disp. (MT) |
|--------------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|------------------|
| MSC Capsize Voyage | 2981 | 1619 | 4601 | 8780 | 24.3 | 18.2 | 35044 |
| T&S Condition 19 | 3282 | 4233 | 7515 | 9670 | 24.2 | 17.2 | 38619 |
| T&S Condition 20 | 6601 | 1066 | 7667 | 9670 | 24.2 | 16.9 | 38771 |

Source: Coast Guard

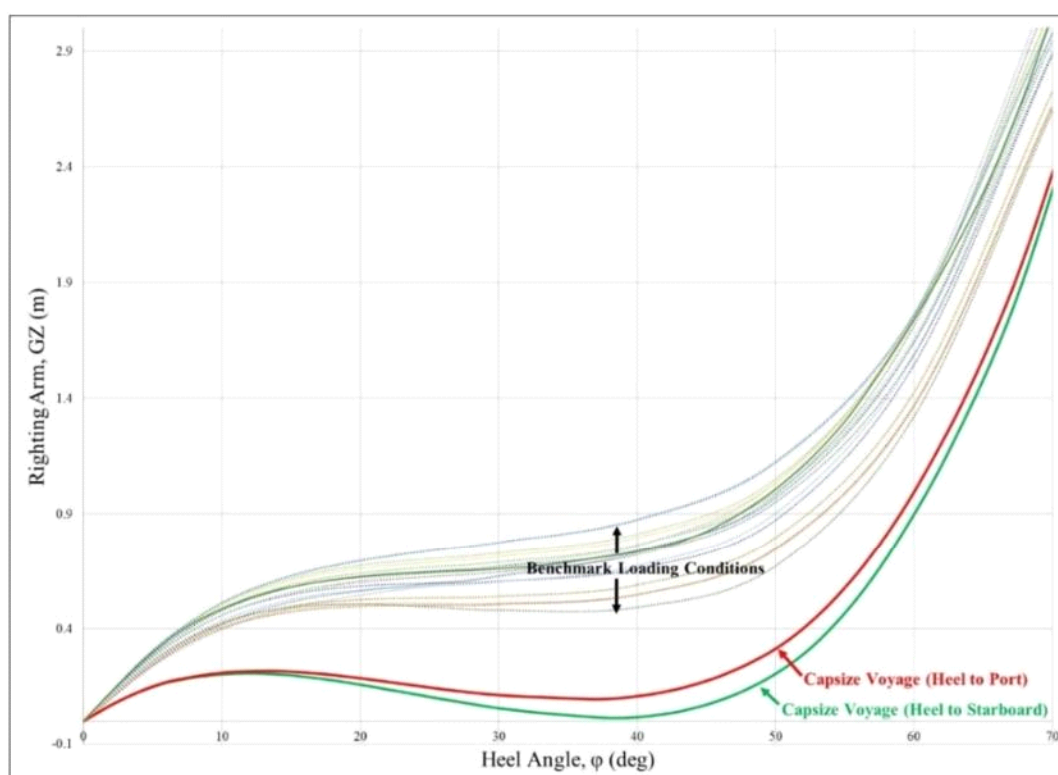
Figure 15. Comparison of loading conditions determined by MSC postaccident analysis on the *Golden Ray*'s accident (capsize) voyage to conditions 17 and 18, 13 and 14, and 19 and 20 in the T&S Booklet. Total liquids loads are a sum of ballast and bunkers (fuels). Green highlights the requirements of each loading condition that the *Golden Ray* met, while red highlights requirements that the vessel failed.

In order to determine the vessel's intact stability, the MSC generated righting arm curves for the *Golden Ray*, and the results were compared with the 2008 IS Code standards for stability. Both righting arm curves generated by the MSC had "significantly lower righting arms and area under the righting arm curve than all benchmark conditions from the T&S Booklet." When 2008

NTSB

Marine Accident Report

IS Code criteria were applied to these righting arm curves, the MSC found that with the vessel's loading condition, the area under the vessel's righting arm curve between 30° and 40° was particularly limited, and it failed to meet the 2008 IS Code (see figure 16). Because there was limited area under the righting arm curve, the MSC determined that the vessel did not meet the area ratio criteria of the 2008 IS Code's severe wind and rolling criteria. The MSC concluded that the vessel, as loaded, had an extremely low righting energy, which prevented it from withstanding further adverse static or dynamic heeling effects and enabled the vessel to capsize due to the centrifugal force experienced by the vessel throughout the starboard turn.



Source: Coast Guard

Figure 16. Righting arm curves generated from the MSC analysis of the *Golden Ray* during the accident voyage compared with benchmark righting arm curves chosen from the vessel's T&S Booklet loading conditions.

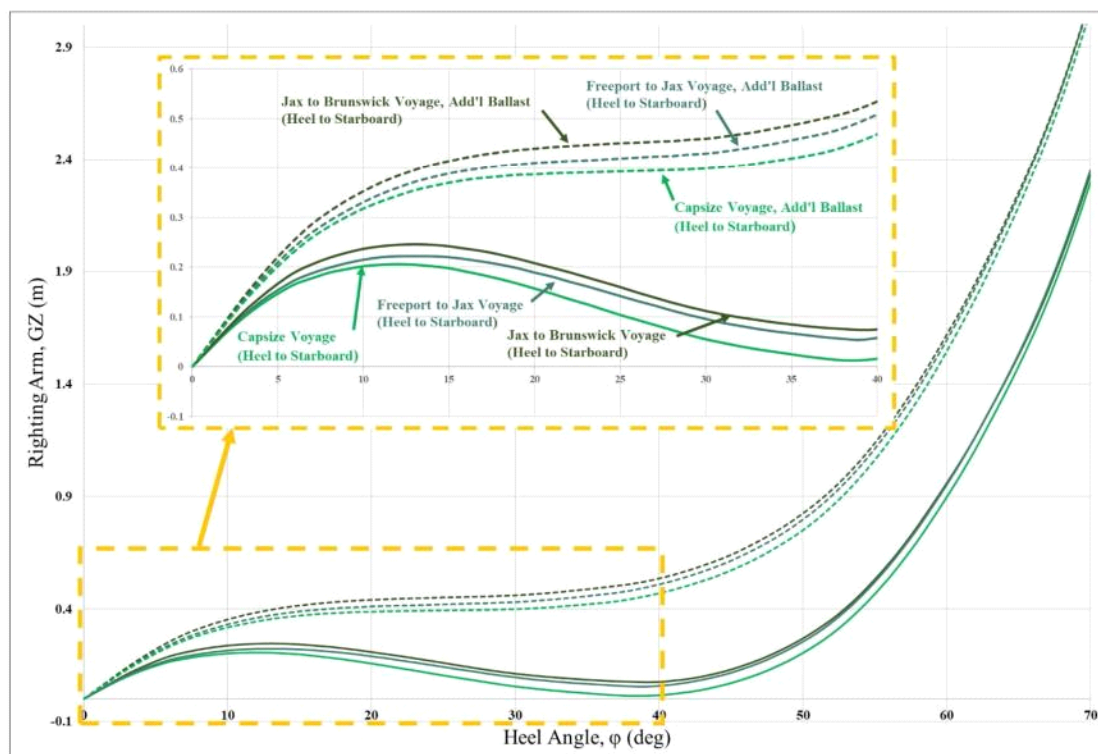
Previous Voyage Stability Analysis. The MSC conducted additional analyses to assess the vessel's intact stability during the two voyages before the accident voyage: Freeport, Texas, to Jacksonville, Florida, and Jacksonville, Florida, to Brunswick, Georgia. The master provided to the operator departure reports, each with a stability section prepared by the *Golden Ray*'s chief officer, when the vessel departed the ports of Freeport, Texas, and Jacksonville, Florida. Shoreside personnel from the operator reviewed the information contained within the departure reports but were not responsible for evaluating or checking the data to ensure it was accurate and complied with the vessel's T&S Booklet. The reports showed that the chief officer's calculated GM for the vessel was 1.96 meters (6.4 feet) when it departed both ports. However, based on the respective cargo final load plans and IMACS liquid loading data, the MSC determined that the vessel likely had a GM of 1.84 meters (6 feet) when it departed Freeport and 1.91 meters (6.3 feet) when it departed Jacksonville.

NTSB

Marine Accident Report

The MSC analysis also found that, although the vessel had more righting energy for the two preceding voyages than during the planned accident voyage, it was not in compliance with all of the minimum righting arm requirements of the 2008 IS Code during either because the area under the vessel's righting arm curve between 30° and 40° was insufficient. The MSC report stated that "failure of the IS Code criteria...is an indicator that the vessel poses a higher risk of capsize given exposure to certain dynamic conditions such as severe wind, waves and faster speed/tighter radius turns," and it was possible that the *Golden Ray* "could have capsized on a previous voyage if it had been exposed to more severe adverse conditions."

The MSC report also stated that if the *Golden Ray* had maintained an additional 1,492 MT of ballast (1,500 MT was loaded after departure from Freeport and then discharged before the vessel arrived in Jacksonville in order to meet the port's draft requirements), the vessel would have been in compliance with the 2008 IS Code during both previous voyages and the accident voyage (see figure 17). The MSC also noted that, with the additional ballast, the vessel's theoretical initial GM for those voyages would have been 2.25 meters (7.4 feet) for the accident voyage, 2.4 meters (7.9 feet) for the voyage from Freeport, and 2.47 meters (8.1 feet) for the voyage from Jacksonville. (For comparison, the MSC calculated the initial GM for the representative loading condition to be 1.76 meters (5.8 feet) for the accident voyage, 1.84 meters (6 feet) for the voyage from Freeport, and 1.91 meters (6.3 feet) for the voyage from Jacksonville.)



Source: Coast Guard

Figure 17. Theoretical righting arm curves (dashed green lines) generated from the MSC analysis of the *Golden Ray* during the accident voyage and previous two voyages with an additional 1,492 MT of ballast. The righting arm curves (solid green lines) generated from the MSC analysis for the vessel in the representative loading condition for each voyage are shown for comparison.

Downflooding. As part of its analysis, the MSC assessed the downflooding to the ship from the open portside pilot door on deck 5. Downflooding occurs when an opening, such as a vent or hatch—or downflooding point—in a vessel’s hull or superstructure becomes immersed and allows water to flood into the vessel. The lowest angle that a vessel’s heel would immerse a downflooding point (in this case, the open portside pilot door) is referred to as the downflooding angle.

The analysis determined that with the vessel in its loaded condition, the downflooding angle was reduced to approximately 17° when the vessel heeled to port (as compared to a downflooding angle of 83° with the pilot door and all other weathertight and watertight hull doors closed). As a result, the water entered the area of the open pilot door as the vessel heeled past 17°, causing flooding onto deck 5. According to the MSC, as the vessel continued to heel over, the progression of water into the interior of the vessel most likely continued through open hatches and non-watertight doors as well as ventilation ducts.

1.8.4 Additional Postaccident Analyses

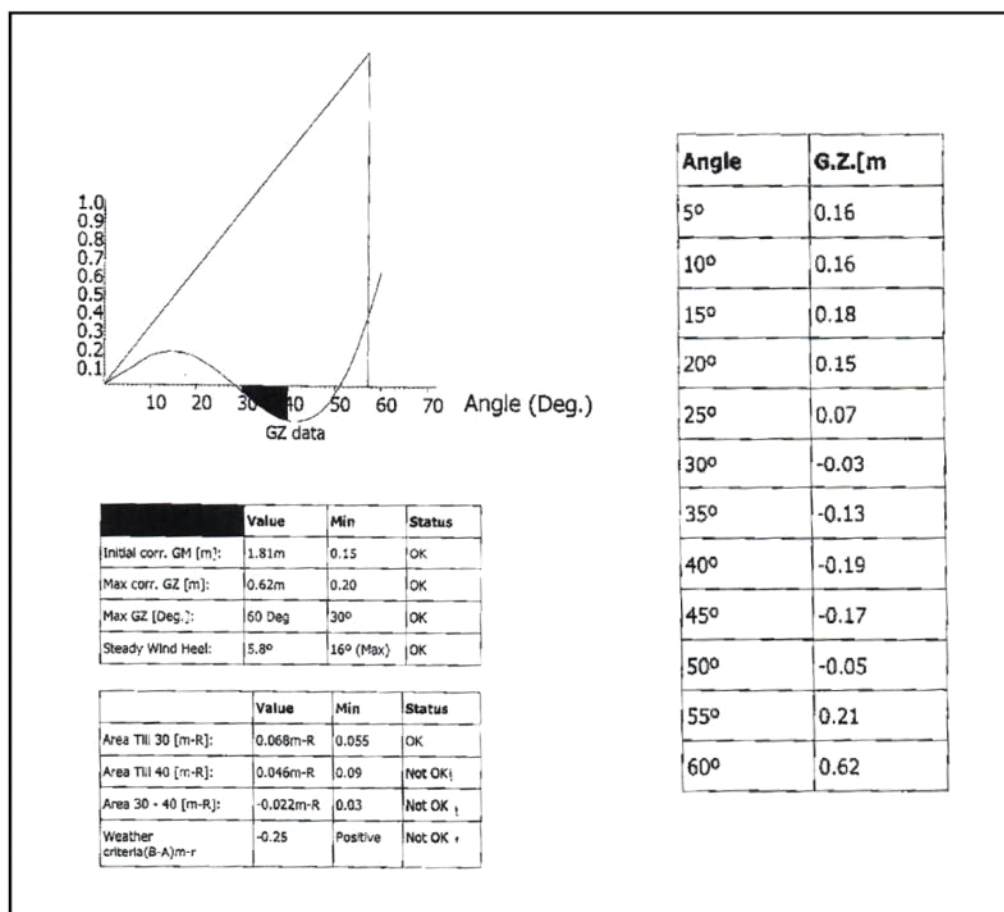
Korea Maritime Safety Tribunal. The Korea Maritime Safety Tribunal (KMST), an agency that investigates maritime accidents on behalf of the South Korean Government, was invited by the Coast Guard to be a party to the investigation in accordance with the IMO Casualty Investigation Code.¹¹ The KMST also conducted a preliminary stability analysis of the *Golden Ray* and came to a similar conclusion to the Coast Guard’s determinations. The KMST determined that the vessel’s departure GM from Brunswick was approximately 1.8 meters (5.9 feet) and the vessel had an extremely low righting energy to counter the heeling of the vessel to port.

Hyundai Glovis. The charterer conducted a simulated stability analysis of the *Golden Ray* using the LOADCOM computer on board the *Silver Ray*, a vessel of the same class as the *Golden Ray* (Hyundai Glovis Co. Ltd. 2020). This simulation used vessel data and conditions collected by the charterer and was not observed by the Coast Guard or the NTSB. The simulation calculated that the GM of the *Golden Ray* was 1.8 meters (5.9 feet), indicated that the righting arm curve for the *Golden Ray* at the time of the accident was extremely low, and showed a LOADCOM status of “Not OK” for three stability requirements (see figure 18). Additionally, the righting arm curve showed negative stability after a heel of about 25°.

¹¹ Established by the IMO in 1997, the Code of the International Standards and Recommended Practices for a Safety Investigation into a Marine Casualty or Marine Incident (Casualty Investigation Code) provides standards and best practices for an objective marine accident investigation.

NTSB

Marine Accident Report



Source: Hyundai Glovis Co. Ltd.

Figure 18. Righting arm curve calculated on the *Silver Ray*'s LOADCOM stability computer based on the *Golden Ray*'s vessel data from the accident. Note that three of the stability requirements have a status of "Not OK" and the righting arm (GZ) is negative beyond 25°.

1.8.5 Transportation Research Board

Before the accident, in 2018, the Transportation Research Board (TRB) Marine Board (a division of the US National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) published *Review of U.S. Coast Guard Vessel Stability Regulations* in which they reviewed Coast Guard regulations and policies establishing stability requirements for US-flagged vessels and suggested ways in which the requirements could be better aligned with international standards and improved for consistency and clarity (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2018). As part of the study, the TRB reviewed a number of marine accidents involving Ro/Ro vehicle carriers. The TRB also noted that many of these accidents "illustrate[d] the importance of considering human error when developing regulations." The TRB further stated,

In vessel types, such as car carriers that have a higher susceptibility to stability losses to begin with (because of features such as high freeboard [sail area] and cargo located at high deck levels), the potential for risk arising from human error in regulatory compliance cannot be neglected and should factor into assessments of regulatory content, design, and effectiveness.

NTSB

Marine Accident Report

1.8.6 SOLAS Amendment

On January 1, 2020, an amendment to *SOLAS* II-1/20 came into effect. The new amendment required that

on completion of loading of the ship and prior to its departure, the master shall determine the ship's trim and stability and also ascertain and record that the ship is upright and in compliance with stability criteria in relevant regulations. The determination of the ship's stability shall always be made by calculation or by ensuring that the ship is loaded according to one of the precalculated loading conditions within the approved stability information. The Administration may accept the use of an electronic loading and stability computer or equivalent means for this purpose.

These requirements were previously only applicable to passenger ships but were amended to include cargo ships.

1.9 Waterway Information

1.9.1 General Information

Maintained by the US Army Corps of Engineers, Savannah District, the navigation channel for the Port of Brunswick was 16 miles long and had a regulated depth of 38 feet (11.6 meters) at low tide outside the port and 36 feet (11 meters) at low tide within the port. The channel was between 400 and 500 feet (122 and 152.4 meters) wide and allowed for two-way vessel traffic. The average tidal range in the port was approximately 7 feet (2.1 meters). The channel bottom consisted of mostly sand and silt with some limestone in the Brunswick Harbor. The waterway also consisted of six wideners, designated areas that allowed transiting vessels a larger area to turn when moving from one portion of the waterway to another.

St. Simons Sound was located between Jekyll Island to the south and St. Simons Island to the north. It was part of the Brunswick River where the river entered the Atlantic Ocean.

1.9.2 Navigation Channel Surveys

The Corps of Engineers, Savannah District, working with the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), monitored the depth of the navigation channel monthly with underwater surveys and scheduled dredging to maintain the channel's regulated depth. Underwater surveys were conducted by having a vessel tow either a single-beam, multi-beam, or side scan sonar in a set pattern over the channel to record the condition. These underwater surveys did not include the areas of the chart identified as wideners since they are not part of the regulated channel maintained by the Corps of Engineers. The results of these surveys were shared with the Coast Guard, Brunswick Bar Pilots Association, and the Port Authority.

On September 4, 2019 (4 days before the accident), Hurricane Dorian impacted the Port of Brunswick. The Corps of Engineers, working with NOAA, conducted a hydrographic survey of the channel from September 5 to 6 to ensure it was safe for navigation. There were no safety concerns noted in the survey.

NTSB

Marine Accident Report

Following the capsizing of the *Golden Ray*, the Corps of Engineers and NOAA conducted two extensive hydrographic surveys of the channel by buoy 20, widener 11, and buoy 19 on September 9 and 11. According to the Corps of Engineers, neither of the surveys found any anomalies or any indications that the vessel struck the bottom of the sound in the channel or the widener. In addition, the Corps of Engineers reported that channels were at or greater than regulated depth and that widener 11, which the *Golden Ray* passed over before coming to rest on its port side outside of the channel, had a depth of 50 feet (15.2 meters).

1.10 Meteorological Information

The accident occurred during nighttime hours. At the time of the accident, skies were partly cloudy, with visibility up to 10 miles. The recorded air temperature was 75°F, and the water temperature was 82.5°F. Winds were southwest about 4 knots.

1.11 Postaccident Actions

1.11.1 Coast Guard

On September 9, 2020, the Coast Guard announced the convening of a Marine Board of Investigation into the capsizing of the *Golden Ray*. The Marine Board of Investigation membership included the Coast Guard, the NTSB, the RMI, the KMST, representatives for the charterer and the operator, and the Brunswick Bar Pilots Association. The formal hearing was held on September 14–18, 2020, and September 21–22, 2020. The chief officer of the *Golden Ray* declined the invitation to be interviewed at the hearing.

Among the issues reviewed during the hearing were conditions at the Port of Brunswick; the loading process at the port; the vessel operator's organizational structure, oversight, and culture; and the regulatory compliance record of the vessel.

1.11.2 Republic of the Marshall Islands

In October 2020, the RMI issued Marine Safety Advisory 29-20, "Maintaining Intact Stability – Reminder" to all RMI-flagged ships, detailing the requirements and recommendations for maintaining intact stability. The advisory included information on properly completing vessel stability calculations and ensuring compliance with the relevant stability booklet; the responsibility of masters and owners to ensure that their vessels comply with applicable stability requirements; and the importance of company oversight as a means to verify a vessel's compliance with stability requirements.

In January 2021, the RMI issued Marine Notice 2-015-1, "Intact Stability, Damage Stability, and Strength of Vessels" to all RMI shipowners, operators, masters and officers of merchant ships, and recognized organizations. The notice incorporated the new requirements under SOLAS II-1/20 and clarified the requirements for intact stability, damage stability, longitudinal strength, and damaged structural strength.

NTSB

Marine Accident Report

1.11.3 G-Marine Service Co. Ltd.

As a result of the accident, the vessel's operator implemented several policies to improve safety and reduce the likelihood of another similar accident. The company increased the training required for chief officers on topics including stability, calculation of draft, cargo management, and proper use of the LOADCOM computer. Additionally, the company revised its procedures throughout the fleet so that chief officers would be required to compare the calculated GM from the LOADCOM computer with the minimum required GM for a similar loading condition in the T&S Booklet, with both numbers required on the vessel's departure report. A table of vessel-specific minimum GMs from the T&S Booklet was also posted in each vessel's cargo office and bridge.

The company completed a case review of the *Golden Ray* accident with all the company's senior officers and enhanced its procedures for all masters and officers to receive refresher training for the LOADCOM computer prior to boarding. The company further revised its load plan procedures so that vessels would only be able to depart a port after receiving a final load plan and verifying the stability of the vessel based upon the final load plan. The operator also required "enhanced focus" on stability by vessel superintendents during onboard audits, including the use of hard copy records and LOADCOM computer data.

Finally, the company began an initiative to standardize the make and type of stability computer used throughout its fleet, replacing the LOADCOM computer with a "more user-friendly stability computer system."

2. Analysis

2.1 Introduction

About 0100 on September 8, 2019, after unloading and loading vehicle cargo during the previous day, the 656-foot-long, RMI-flagged Ro/Ro vehicle carrier *Golden Ray* departed the Colonel's Island Terminal in the Port of Brunswick, Georgia, en route to Baltimore, Maryland. A state pilot from the Port of Brunswick navigated the vessel as it proceeded outbound through the Brunswick River and into St. Simons Sound. The pilot navigated the vessel through two left turns, and, as the vessel approached the right turn into Plantation Creek Range, which led to the Atlantic Ocean, the pilot gave rudder orders to the helmsman to turn the vessel to starboard. As the vessel turned to starboard, it began to heel quickly to port.

The pilot and the vessel's master began rapidly issuing rudder commands in an attempt to counter the heeling. However, the *Golden Ray* continued to heel over, the rate of turn to starboard increased, and the vessel heeled to port to about 60° in less than a minute. Water entered deck 5 through the vessel's open portside pilot door and flooded through open watertight doors to the engine and steering gear rooms. The vessel eventually settled on its port side at an angle of 90°.

The Coast Guard responded to the accident, along with tugboats and pilot boats from the port, first responders from the Georgia Department of Natural Resources and Glynn County, and vessels from Sea Tow. Responders were initially able to rescue the pilot and 19 of the 23 crewmembers on board. Four engineering crewmembers remained trapped in the engine room until the following day, September 9, when responders cut into the vessel's hull to rescue them. Two crewmembers suffered serious injuries. Total costs for the loss of the vessel were estimated at \$62.5 million, and total costs for the loss of the cargo were estimated at \$142 million.

This analysis evaluates the following safety issues:

- Improperly calculating vessel stability (section 2.2.3) and
- Lack of company oversight for calculating vessel stability (section 2.3).

Having completed a comprehensive review of the circumstances that led to the accident, the investigation excluded the following as causal factors:

- *Weather.* At the time of the accident, skies were partly cloudy with visibility up to 10 miles, and winds were light at 4 knots. Additionally, the NTSB's postaccident performance study of the *Golden Ray* determined that the effect of the wind at the time of the accident was not significant.
- *Transfer of ballast or fuel.* A review of the *Golden Ray*'s IMACS data showed that at the Colonel's Island Terminal in the Port of Brunswick, there were only marginal changes to the amount of fuel on board, and there were no changes to the amount of ballast the vessel carried while it was in port. After completing cargo operations (offloading and onloading of vehicles) the chief officer transferred ballast water between heeling tanks to reduce the vessel's list from 0.42° to port to 0.03° to starboard—nearly even keel. The recovered IMACS data showed that after the vessel departed the terminal, there was no further transfer of ballast or fuel prior to the accident.

NTSB

Marine Accident Report

- *Propulsion and steering systems.* The master had navigated the *Golden Ray* during two previous voyages (from Freeport to Jacksonville and from Jacksonville to Brunswick) without issue, and, once the vessel arrived at the Port of Brunswick, the state pilot successfully navigated the vessel into the port without incident. During the accident transit, the vessel responded to engine and steering orders; neither the pilot nor the crew reported any issues with the vessel's propulsion or steering systems. In addition, the pilot did not mention any mechanical issues or concerns when he reported the accident to the *Emerald Ace* pilot and the Coast Guard.
- *Cargo shift.* After cargo operations were completed, the vessel was carrying 4,161 vehicles, each placed in accordance with the preload plan. Shoreside personnel reported no issues with or damage to the vessel's cargo lashings, and the crew reported no issues with the placement of the cargo. Prior to the heeling event, there was no indication from the vessel's crew or VDR that cargo shifted.
- *Grounding.* In both the inbound transit into the Colonel's Island Terminal and the vessel's initial voyage out of the Port of Brunswick, the pilot reported no issues with either the vessel or the channel. The Corps of Engineers and NOAA had conducted a survey in St. Simons Sound on September 4, 2019, four days before the accident (due to Hurricane Dorian) and found no foreign objects in the channel; additionally, the channel bottom was at the regulated depth of 38 feet (11.6 meters) at low tide. Two similar hydrographic surveys conducted in the days immediately following the *Golden Ray*'s capsizing and sinking confirmed that the channel depth met or was greater than the regulated depth, and widener 11 had a natural depth of 50 feet (15.2 meters). Before departure, the vessel's draft readings were 30.8 feet (9.4 meters) forward and 31.2 feet (9.5 meters) aft, which met the required underkeel clearance of a minimum 3 feet (0.9 meters) in the 38-foot-deep (11.6-meter-deep) channel. The surveys also found no obstructions in the channel that the vessel could have struck, nor any indication that the vessel struck the bottom of the channel.
- *Cargo hold fire.* After the *Golden Ray* capsized and rescue operations were ongoing, the crew and first responders heard the sound of loads crashing within the vessel. Later, during rescue operations, a fire was reported in the area of the vehicle decks. Before 0138, there were no fire alarms reported by the crew or recorded by the VDR, which would have indicated if the fire began before the heeling event. Investigators were not able to determine the exact time that the fire started or the exact ignition source. However, the dynamic environment of the vessel heeling and the vehicles, which contained partially (up to 25%) full gasoline fuel tanks, shifting and striking each other and the vessel's structure in the cargo hold likely caused some fuel to leak from the vehicles and provided an initial fuel source for a fire. As the vessel heeled, the vehicles would have crashed into each other, likely creating sparks that could have ignited the leaking fuel. The cargo hold also contained combustible materials, including tires and plastic components in the vehicles, which would have provided fuel for the fire. Thus, it is likely the fire occurred after the vessel capsized.

Thus, the NTSB concludes that none of the following safety issues were identified for the accident transit: (1) weather; (2) a transfer of ballast or fuel; (3) the propulsion and steering systems; (4) the shifting of cargo within the vessel; (5) obstructions in the channel that could have caused the vessel to ground; or (6) the cargo hold fire.

NTSB

Marine Accident Report

2.2 Stability

2.2.1 Heeling Event

After departure, at 0122, the vessel made a 38° port turn (the pilot used up to 20° rudder) at 11.6 knots, resulting in a 4° heel to starboard. At 0128, the vessel made another 38° port turn (again, the pilot used up to 20° rudder) at a slightly faster speed, and the heel to starboard reached 6°. The vessel returned to its normal upright position (0° heel) after each turn was completed, and there were no indications from the crew or the IMACS heel angle data graphed in the NTSB's performance study that the vessel had an excessive heel during those turns.

At 0136:08, the *Golden Ray* approached the 68° starboard turn at widener 11 in the channel into the Plantation Creek Range, and the pilot ordered 10° starboard rudder. At this point, there was no indication from the pilot or crewmembers on the bridge that there were any concerns with the vessel, and there were no alarms sounding on the bridge. Shortly after, the pilot ordered 20° starboard rudder at 0136:39. Seconds later, at 0136:47, the pilot ordered the rudder returned to midships, and, 11 seconds later, the vessel started to heel significantly to port. At this time in the VDR playback, the bridge crew could be heard expressing surprise at the heel. While the pilot ordered the helmsman to move the rudder to port to counter the increasing heel, the rudder input did not arrest the heel, and the vessel reached a heel of 60° to port in less than a minute before it grounded on the shallow area outside of the channel and the widener.

As a vessel moves through a steady turn, it is subjected to lateral forces, including centrifugal force that acts normal to the direction of the vessel's forward velocity at its center of gravity. During a turn, water pressure creates an equal and opposite force, thereby causing the vessel to heel in the opposite direction of the turn. If a vessel has enough righting energy, it will return to a normal, upright position.

A postaccident stability analysis by the Coast Guard MSC found that the *Golden Ray* possessed significantly less righting energy than the nearest similar loading (benchmark) conditions found in the vessel's T&S Booklet. The analysis concluded that there was an extremely low righting energy present to prevent the vessel from withstanding further adverse static or dynamic heeling effects, which enabled the vessel to capsize due to the centrifugal force experienced by the vessel throughout the starboard turn leading up to the capsizing. Further, two other postaccident analyses—one conducted by the KMST and a second by the charterer (Hyundai Glovis) using the same LOADCOM stability computer found on the *Golden Ray* (installed on the *Silver Ray*, a vessel of the same class)—found that the vessel had extremely low righting energy to counter heeling forces.

The *Golden Ray* used up to 20° of rudder to execute two turns to port as the vessel made two 38° course changes just 14 and 8 minutes before the starboard turn that resulted in the capsizing. There was no recorded ballast transfer after the vessel's departure, effects of the 4-knot winds were found to be negligible, and there was no known cargo shift. The vessel completed the previous two turns to port at a slightly slower speed (11.6–12 knots) that likely did not generate the forces required to initiate a heeling event. The *Golden Ray*'s speed increased slightly to 13.3 knots, a normal transit speed for the vessel in the channel, as the pilot prepared to turn into the Plantation Creek Range. As the *Golden Ray* attempted to move through this starboard turn—again, using no more than 20° rudder—the vessel began a rapid and sustained heel that capsized the vessel by overcoming the vessel's righting energy and resulting in its inability to return to an

NTSB

Marine Accident Report

upright position. The NTSB concludes that the *Golden Ray* capsized because it did not possess enough righting energy to counter the port heeling moment created during the attempted execution of the 68° starboard turn at widener 11.

2.2.2 Vessel Stability and Loading Condition

After the accident, to determine the vessel's intact stability, the MSC generated righting arm curves for the *Golden Ray* in accordance with the loading conditions recorded in the IMACS data and compared the results with the 2008 IS Code standards for stability. Stability criteria are generally recognized as providing an adequate level of safety for vessels that are operated prudently, which means not overloaded and not operating in dangerous conditions such as violent storms. A margin of safety is built into the stability criteria that is intended to accommodate events that can happen to a vessel, such as rolling in waves, heeling due to wind, or listing as people or cargo move from side to side. Because of the margin of safety in regulatory stability criteria, a vessel may be functionally stable even if it does not meet the criteria. The only way to tell if a vessel meets stability criteria is through calculations. Based on the MSC's postaccident calculations and analysis, the *Golden Ray* was not in compliance with 2008 IS Code standards for stability, since the area under the righting arm curve between 30° and 40° was insufficient, and the vessel did not meet severe wind and rolling criteria.

Postaccident analyses conducted by the NTSB, MSC, and KMST determined that the *Golden Ray*'s GM at the time of the heeling was between 0.8 and 1.8 meters (2.6 and 5.9 feet), well below the GM of 2.45 meters (8 feet) reportedly calculated in the LOADCOM computer by the chief officer and provided to the master and the charterer. According to the MSC's analysis, at the time of the accident, the vessel's GM should have been a minimum of 2.54 meters (8.3 feet)—approximately 30% higher than the MSC's determination of the vessel's GM (1.76 meters, or 5.8 feet)—to be in accordance with the *Golden Ray*'s T&S Booklet. Additionally, the MSC found that the vessel's KG was approximately 4% above the maximum KG permitted by the T&S Booklet. Lastly, the MSC compared the six most similar loading conditions from the T&S Booklet to the vessel's loading condition during the accident voyage. They found that the actual ballast amount was too small for a similar cargo weight, the actual cargo weight was too large for a similar ballasting, and the actual liquid load was too small for a similar cargo weight.

The MSC's analysis found that with 1,492 MT additional ballast, the vessel would have been in compliance with the current international stability standards (as expressed in the 2008 IS Code) during the accident voyage and the previous two voyages. Although the weights and centers of gravity of the six compared loading conditions were not exact representations of the accident loading, taken together, they showed that the vessel required additional ballast as it was loaded at departure to meet the requirements found in the T&S Booklet and the 2008 IS Code. Therefore, the NTSB concludes that at departure from the Colonel's Island Terminal, the *Golden Ray* did not meet international stability standards and possessed less stability than the chief officer calculated.

2.2.3 Calculating Vessel Stability

The *Golden Ray*'s LOADCOM computer was removed from the vessel following the accident to review the chief officer's data input into the LOADCOM computer. However, the unit sustained extensive saltwater damage and could not be tested. Therefore, the vessel's loading condition (specific tank levels, cargo weights and locations, and draft) used by the chief officer in his LOADCOM computer stability calculations to determine the vessel's GM at departure and

NTSB

Marine Accident Report

whether the vessel met stability requirements are unknown. (For the MSC and other analyses, tank levels came from IMACS data and cargo weight and data from the final load plan.)

To recreate the *Golden Ray*'s stability condition at departure with a LOADCOM computer similar to the one the chief officer used, the charterer simulated the vessel's conditions on the LOADCOM computer of the *Silver Ray*, a vessel of the same class as the *Golden Ray*. The simulation showed that the GM of the *Golden Ray* was 1.8 meters (5.9 feet), which closely matched the postaccident stability studies completed by the NTSB, MSC, and KMST that showed the GM was significantly less than the 2.45 meters (8 feet) the chief officer reported. The simulation also showed that the LOADCOM computer indicated that the vessel did not meet stability standards by giving a status of "Not OK" on screen. If the chief officer had used the LOADCOM computer correctly and ensured all data entered were correct, it would have indicated that the vessel did not meet stability and heeling angle requirements and likely required additional ballast to do so.

Additionally, the vessel had a T&S Booklet that listed the minimum GM required to meet 2008 IS Code stability requirements for various examples of typical loading conditions; however, the chief officer gave no indication that he referenced the booklet when he calculated the vessel's stability. Postaccident analysis by the MSC showed that the stability information in the T&S Booklet was comparable to that which would be calculated by the LOADCOM computer.

The MSC generated and analyzed righting arm curves for the vessel's two previous voyages from Freeport, Texas, to Jacksonville, Florida, and from Jacksonville, Florida, to Brunswick, Georgia, and found that while the vessel had a slightly higher righting arm and righting energy during those voyages than during the accident voyage, the *Golden Ray* still did not meet the standards in the 2008 IS Code, thereby reducing its margin of stability. Because the vessel did not meet stability standards, it is likely that the chief officer also made errors in using the LOADCOM computer during the two previous voyages. The MSC determined that the vessel was not adequately ballasted during the accident voyage and the previous voyages, which is likely what led to the reduction in stability.

The chief officer told the NTSB that he oversaw operations and tank level soundings and personally observed and recorded the draft markings and entered them into the LOADCOM computer. Additionally, he chose to manually input the required data from the IMACS into the LOADCOM computer, rather than having the LOADCOM computer pull data from the IMACS. Because investigators were unable to interview the chief officer a second time, it is unknown why he chose to manually enter the data. The LOADCOM computer had the capability of automatically retrieving the vessel tank level and draft data from the IMACS and use that data, along with the cargo data entered by the chief officer, to determine the GM and overall stability of the vessel. The postaccident simulation showed that this functionality worked on the vessel of the same class, and a postaccident review of the *Golden Ray* IMACS data showed that the IMACS was functioning and there were no changes to the vessel's monitored systems before its capsizing.

In order to produce the GM reported by the chief officer for the accident voyage, an error would have had to have been made when inputting data into the system. There would have been minimal changes required for the inputs for the fuel, lube oil, fresh water, and other tanks before the *Golden Ray* departed Brunswick. Because the chief officer had just completed cargo operations, he was likely focused on cargo weights and locations, so the data he entered for cargo was likely accurate. The only other significant data he would have entered was ballast tank levels.

NTSB

Marine Accident Report

It is possible that the chief officer did not correctly account for the 1,492 MT of ballast that were removed before the vessel entered the previous port of Jacksonville, Florida. Further, the MSC found that during the previous two voyages, the vessel was not adequately ballasted. Therefore, the NTSB concludes that the chief officer made errors with the ballast tank level data entry into the shipboard stability calculation computer (LOADCOM), which led to his incorrect determination of the vessel's stability. The section below will discuss how this single-point failure could occur, what the operator is doing to ensure proficiency in the use of the LOADCOM computer, and what more can be done to prevent vessels from departing in an unstable condition.

2.3 Operator Oversight

2.3.1 Training

The chief officer had 13 years of experience at sea, 10 of which were working as a chief officer. To determine the vessel's stability, the chief officer could use the LOADCOM computer and/or the T&S Booklet. When the chief officer initially joined the crew of the *Golden Ray* about 6 months before the accident, he was given a few hours of on-the-job training by the former chief officer, including how to use the vessel's LOADCOM computer to calculate vessel stability. He had not previously used the LOADCOM computer, and G-Marine Service Co. Ltd., the operator, did not have a training program for using the LOADCOM computer. The operator's SMS outlined the chief officer's duties, which included calculating the vessel's stability; however, the SMS did not provide any instructions on how to use nor require demonstrated competency in the use of the LOADCOM computer. The chief officer did not use the LOADCOM computer's feature that automatically transferred IMACS data to the system, nor did he reference the vessel's T&S Booklet. Since the operator did not check the chief officer's knowledge of the stability calculation computer, nor did they provide training on how to use the computer, they had no means to verify that he was capable of performing his duty to accurately determine the ship's stability. The NTSB concludes that the operator did not have a method in place to ensure that the chief officer was proficient in using the shipboard stability calculation computer (LOADCOM) to perform his duty of calculating the ship's stability.

Given the impact that proficiency in using the vessel's stability computer had in the capsizing of the *Golden Ray*, after the accident, the operator increased the amount of training—including stability, calculation of draft, and use of the LOADCOM stability calculation computer—provided to chief officers hired by the company. In addition, the operator revised its procedures so that the GM provided by the LOADCOM computer must be compared with the minimum required GM in the T&S Booklet for a similar loading condition. The operator also required all masters and officers to receive refresher training for using the LOADCOM computer before boarding another vessel. Lastly, the operator is harmonizing its fleet to have similar stability computer systems on each vessel. These policies and procedures, if implemented appropriately, should result in officers having greater proficiency with onboard stability computing systems.

2.3.2 Audit Procedures

The chief officer was the crewmember on board the vessel in charge of calculating the vessel's stability, and he only used the LOADCOM computer to do so. While not required, he could have referenced the vessel's T&S Booklet to compare his LOADCOM-calculated GM with the booklet's requirements for a similar loading condition. Had he done so, he likely would have

NTSB

Marine Accident Report

noted that the vessel had too little ballast for the amount of cargo on board. The operator's SMS referenced the T&S Booklet but did not give specific guidance regarding how to use the booklet or instruct chief officers to compare the LOADCOM-calculated GM to similar conditions in the booklet.

After the chief officer had calculated the vessel's stability, he reported the final GM to the master. While the company SMS indicated that the master held final responsibility for the vessel, he did not verify the chief officer's calculations on the accident voyage or the previous two voyages, nor did he compare the chief officer's calculated GM to similar loading conditions in the T&S Booklet. The SMS did not require the master, another crewmember, or any other company personnel to verify the GM as calculated by the chief officer. Instead, the SMS only required the stability to be "OK condition" as calculated by the LOADCOM computer and "above the IMO required Min. GM for that condition."

The master regularly sent departure reports to the operator (with a stability section drafted by the chief officer), which included the vessel's GM and stability data, after the vessel departed a port. The departure reports for the vessel's previous two ports showed GMs different from what was calculated postaccident. Additionally, the vessel was found to lack the righting energy required to comply with the 2008 IS Code during both transits. However, neither the master nor the operator reported any issues with the chief officer's calculated GM, indicating that they likely were not verifying the chief officer's calculations for at least the previous few weeks before the capsizing and were unaware that the vessel had been sailing without meeting stability requirements.

In its 2018 review of US stability regulations, the TRB highlighted the risk of human error in determining vessel stability aboard Ro/Ro vehicle carriers. On large ocean-going vessels, such as Ro/Ro vehicle carriers, a master's duties traditionally include regular discussions with a vessel's chief officer regarding the vessel's tank levels, cargo, and taking an active role in verifying overall stability. The January 2020 amendment to *SOLAS* (which was not in effect at the time of the accident) enforces this idea and requires that the master of a cargo vessel should "determine the ship's trim and stability." However, the master had many responsibilities to get the vessel in and out of port, and the 5-hour turnaround time at Brunswick demanded focus and distribution of duties. In this case, the accident master had been on the vessel only 10 days and had not sailed on the *Golden Ray* or a vessel of the same class before. Further, with the small change in additional weight relative to total cargo loaded (a 4% increase in cargo weight and 2% increase in the number of vehicles on board), there may have been a lessened concern that stability would be an issue at sailing. Additionally, the operator's SMS did not require the master to verify the GM as calculated by the chief officer, and, as prescribed in the SMS, responsibility regarding the vessel's stability was assigned to the chief officer. Unless the master was aware of the location of or changes to the amount of ballast on board the vessel on each voyage, he would not have been able to detect the chief officer's error in stability calculations. If the master had taken a more active role in reviewing aspects of the vessel's stability (cargo loading, ballasting, fuels, and other tankage) and verifying the minimum stability requirements and the chief officer's stability calculations, he may have been able to identify the error. This practice—when only the chief officer was responsible for a safety-critical task without a backup to help identify possible errors—allowed a single point of failure to occur.

Further, the operator had no procedures to verify the chief officer's stability calculations once they were submitted, and they often were not submitted to the operator until after the vessel

NTSB

Marine Accident Report

was under way. Without any such procedures, there was no established means for the company to identify (and attempt to correct) the vessel sailing without meeting stability requirements from at least three ports (Freeport, Texas; Jacksonville, Florida; and Brunswick, Georgia), and the chief officer's errors went undetected. The NTSB concludes that the operator's lack of oversight and procedures for auditing and verifying the accuracy of their officers' vessel stability calculations before departure contributed to the *Golden Ray* not meeting international stability standards.

When properly implemented, an SMS is an effective tool to enhance safety for a company and its vessels. An SMS ensures standardized and unambiguous procedures for each crewmember during both routine and emergency operations. Duties and responsibilities are specified, and supervisory and subordinate chains of command are delineated. An SMS also requires procedures for the identification and correction of non-conformities and includes an audit process for management to ensure policies and procedures are being followed. Such procedures and processes would have assisted the operator in determining that the *Golden Ray* was sailing while not loaded and ballasted in a manner to meet stability standards due to the chief officer not correctly calculating the vessel's stability. With that knowledge, the operator could have then taken steps to ensure that the ship complied with the vessel's T&S Booklet—and therefore applicable stability standards—and that the chief officer was proficient with the LOADCOM computer. Therefore, the NTSB recommends that G-Marine Service Co. Ltd. revise its safety management system to establish procedures for verifying stability calculations and implement audit procedures to ensure their vessels meet stability requirements before leaving port.

2.4 Flooding

To secure the vessel for a voyage, the company's Arrival/Departure Checklist required all watertight doors to be closed and all hull openings to be secure and watertight. The *Golden Ray*'s portside pilot door (side port) had been opened during the accident voyage in preparation for the pilot's departure outside of the port, which was normal procedure. In addition, according to the IMACS data, two watertight doors to portside stairwells on deck 5 were open at the time of the heeling: one located about 75 feet (22.9 meters) aft of the open pilot door that went down to the forward part of the engine room and served as the primary engine control room and engine room access, and one at the stern that served the steering gear room. As the vessel heeled to port past 17°, the open portside pilot door on deck 5 was immersed and allowed water to enter deck 5 and flow freely along the port side (low side) of the vessel as it quickly heeled to a 60° angle. Water then entered the open watertight doors to both stairwells, where engineering crewmembers were attempting to exit the engine room and engine control room. The NTSB concludes that after the *Golden Ray* heeled, open watertight doors on deck 5 allowed flooding into the vessel and blocked the primary egress from the engine room. The flooding in the stairwells also entered the engine room and the steering gear room, flooding both until the level inside the spaces reached the vessel's waterline as it settled.

Leaving the two watertight doors to the stairwells open on the accident transit contradicted the operator's Arrival/Departure Checklist in the SMS guidance. The watertight door indicator panel on the bridge would have indicated with red lights that the doors were open, and any crewmembers on the bridge would have been able to readily check the status of the doors. According to the IMACS data, the two watertight doors had been left open for almost 2 hours before the accident. However, no one on the bridge ensured that the doors were closed before departure from the port. The circumstances of this accident show that even when transiting in

NTSB

Marine Accident Report

protected waters, watertight integrity is critical to the safety of the vessel and its crew, and it is essential that the operator ensure that crews verify that all watertight doors are closed in accordance with SMS procedures. Therefore, the NTSB recommends that G-Marine Service Co. Ltd. revise its safety management system audit process to verify crew adherence to the Arrival/Departure Checklist regarding the closure of watertight doors.

NTSB

Marine Accident Report

3. Conclusions

3.1 Findings

1. None of the following safety issues were identified for the accident transit: (1) weather; (2) a transfer of ballast or fuel; (3) the propulsion and steering systems; (4) the shifting of cargo within the vessel; (5) obstructions in the channel that could have caused the vessel to ground; or (6) the cargo hold fire.
2. The *Golden Ray* capsized because it did not possess enough righting energy to counter the port heeling moment created during the attempted execution of the 68° starboard turn at widener 11.
3. At departure from the Colonel's Island Terminal, the *Golden Ray* did not meet international stability standards and possessed less stability than the chief officer calculated.
4. The chief officer made errors with the ballast tank level data entry into the shipboard stability calculation computer (LOADCOM), which led to his incorrect determination of the vessel's stability.
5. The operator did not have a method in place to ensure that the chief officer was proficient in using the shipboard stability calculation computer (LOADCOM) to perform his duty of calculating the ship's stability.
6. The operator's lack of oversight and procedures for auditing and verifying the accuracy of their officers' vessel stability calculations before departure contributed to the *Golden Ray* not meeting international stability standards.
7. After the *Golden Ray* heeled, open watertight doors on deck 5 allowed flooding into the vessel and blocked the primary egress from the engine room.

3.2 Probable Cause

The National Transportation Safety Board determines that the probable cause of the capsizing of the *Golden Ray* was the chief officer's error entering ballast quantities into the stability calculation program, which led to his incorrect determination of the vessel's stability and resulted in the *Golden Ray* having an insufficient righting arm to counteract the forces developed during a turn while transiting outbound from the Port of Brunswick through St. Simons Sound. Contributing to the accident was G-Marine Service Co. Ltd.'s lack of effective procedures in their safety management system for verifying stability calculations.

NTSB

Marine Accident Report

4. Recommendations

4.1 New Recommendations

As a result of its investigation of this accident, the National Transportation Safety Board makes the following two new safety recommendations:

To G-Marine Service Co. Ltd.:

Revise your safety management system to establish procedures for verifying stability calculations and implement audit procedures to ensure your vessels meet stability requirements before leaving port. (M-21-012)

Revise your safety management system audit process to verify crew adherence to the Arrival/Departure Checklist regarding the closure of watertight doors. (M-21-013)

BY THE NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD

JENNIFER HOMENDY
Chair

MICHAEL GRAHAM
Member

BRUCE LANDSBERG
Vice Chairman

THOMAS CHAPMAN
Member

Adopted: August 26, 2021

NTSB

Marine Accident Report

5. Appendixes

Appendix A: Investigation

The National Transportation Safety Board (NTSB) was notified of this accident on September 8, 2019, and members of the investigative team arrived on scene the following day. Investigative groups were formed to evaluate operations, human performance, vessel seaworthiness, and vessel systems.

In accordance with the International Maritime Organization Casualty Investigation Code, this investigation was mutually agreed upon to be a coordinated effort between the Republic of the Marshall Islands (the *Golden Ray*'s flag state), the NTSB, the Korea Maritime Safety Tribunal, and the US Coast Guard. Parties of interest to the Coast Guard investigation included the Brunswick Bar Pilots Association, Hyundai Glovis Co. Ltd., and G-Marine Service Co. Ltd. The Republic of the Marshall Islands, Brunswick Bar Pilots Association, and Korea Maritime Safety Tribunal were named parties to the NTSB investigation. Hyundai Glovis Co. Ltd. and G-Marine Service Co. Ltd. declined to be parties to the NTSB investigation.

The NTSB did not participate in the salvage of the *Golden Ray*. As of the publication of this report, salvage efforts are still under way. Therefore, this report does not incorporate any details or information that may have been or could be found during salvage.

NTSB

Marine Accident Report

Appendix B: Consolidated Recommendation Information

Title 49 *United States Code (USC)* 1117(b) requires the following information on the recommendations in this report.

For each recommendation—

- (1) a brief summary of the Board's collection and analysis of the specific accident investigation information most relevant to the recommendation;
- (2) a description of the Board's use of external information, including studies, reports, and experts, other than the findings of a specific accident investigation, if any were used to inform or support the recommendation, including a brief summary of the specific safety benefits and other effects identified by each study, report, or expert; and
- (3) a brief summary of any examples of actions taken by regulated entities before the publication of the safety recommendation, to the extent such actions are known to the Board, that were consistent with the recommendation.

To G-Marine Service Co. Ltd.

M-20-012

Revise your safety management system to establish procedures for verifying stability calculations and implement audit procedures to ensure their vessels meet stability requirements before leaving the port.

Information that addresses the requirements of 49 *USC* 1117(b), as applicable, can be found in section [2.3 Operator Oversight](#). Information supporting (b)(1) can be found on pages 36–38; (b)(2) is not applicable; information supporting (b)(3) can be found on pages 29–30.

M-20-013

Revise your safety management system audit process to verify crew adherence to the Arrival/Departure Checklist regarding the closure of watertight doors.

Information that addresses the requirements of 49 *USC* 1117(b), as applicable, can be found in section [2.4 Flooding](#). Information supporting (b)(1) can be found on pages 38–39; (b)(2) and (b)(3) are not applicable.

NTSB

Marine Accident Report

Appendix C: Principles of Stability

Ship stability reflects the relationship between buoyancy (the force pushing on a ship allowing it to float) and gravity (the force pushing the ship into the water). Gravity acts on all parts of the ship's structure, equipment, cargo, and personnel. The force of gravity acts downward through the ship's center of gravity (G), while the buoyant force acts upward through the ship's center of buoyancy (B). When a vessel is floating at an even keel or upright, the force of gravity and buoyancy are vertically aligned. The properties of stability are usually expressed as the magnitude of a heeling moment necessary to incline the vessel to a certain angle, the angle a vessel may heel to before capsizing, and other parameters that can be calculated.

When a disturbing force such as wave action or wind pressure exerts an inclining moment on a ship, the ship's underwater volume shifts in the direction of the heel, which causes the center of buoyancy to shift in the same direction. Stability is the tendency of a vessel to return to its original upright position when the force (e.g., wind or wave) is removed (see figure C-1). The shift does not affect the position of the ship's center of gravity, unless cargo, equipment, or water (weights) are free to move. As a result, the lines of action of the forces of buoyancy and gravity separate and exert a moment on the ship that tends to restore the ship to an even keel. That is known as a righting moment.

The righting moment is the product of the force of buoyancy times the distance that separates the forces of buoyancy and gravity. That distance is known as the ship's righting arm. The righting arm can be expressed as a curve plotted at successive angles of heel. The length of the righting arm generally increases with the angle of heel to a maximum point, after which it decreases, reaching zero at a very large angle of heel. A reduction in the size of the righting arm usually means a decrease in stability. The area under the righting arm curve represents the energy available to the ship to right itself, and in general, the more

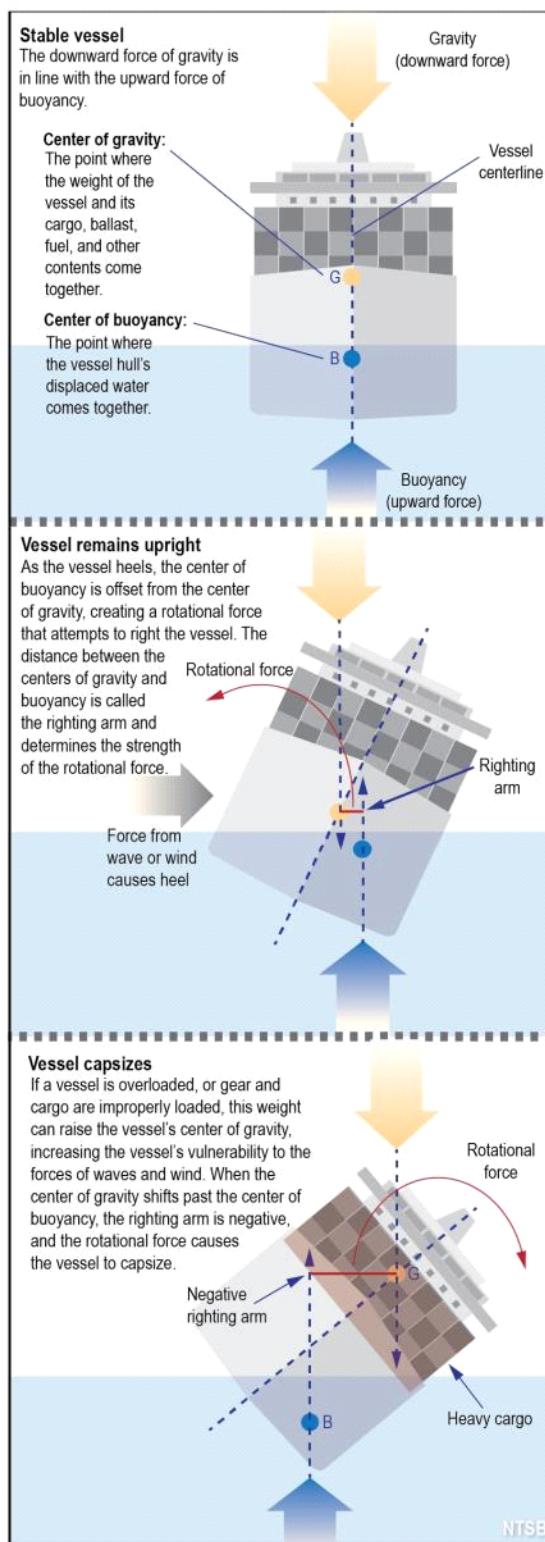


Figure C-1. Forces that make a vessel stable or likely to capsize.

NTSB

Marine Accident Report

area under the curve, the larger the capsizing moments the vessel can resist. The angle where the righting arm crosses zero denotes where a vessel's stability changes from positive righting moments to negative capsizing moments. Vessels are often termed "stable" when they have enough positive stability to return to an upright position in the conditions encountered as loaded, and "unstable" when they do not, and capsize.

A ship's metacenter (M) is the virtual intersection of two successive lines of action of the force of buoyancy when the ship heels through a very small angle. The initial position of the metacenter is used as a reference in stability calculations. The distance from a ship's center of gravity (G) to its metacenter is known as the GM, which measures the vessel's ability to right itself when experiencing an overturning moment. The mathematical relationship between the righting arm and the metacentric height makes GM a measure of the initial slope of the righting arm curve and an indication of whether the ship is stable or unstable at small angles of heel.

Intact stability refers to how an intact, or undamaged, vessel will respond when heeled over in calm conditions. The specific stability characteristics of a vessel are calculated based on the model of its hull form (hydrostatics), developed from plans and lightship characteristics stability (which are determined through an inclining experiment in which precise measurements are taken on board the vessel to determine its displacement and center of gravity). Stability analysis generally requires the services of a naval architect.

Appendix D: Golden Ray Water Ballast Tanks

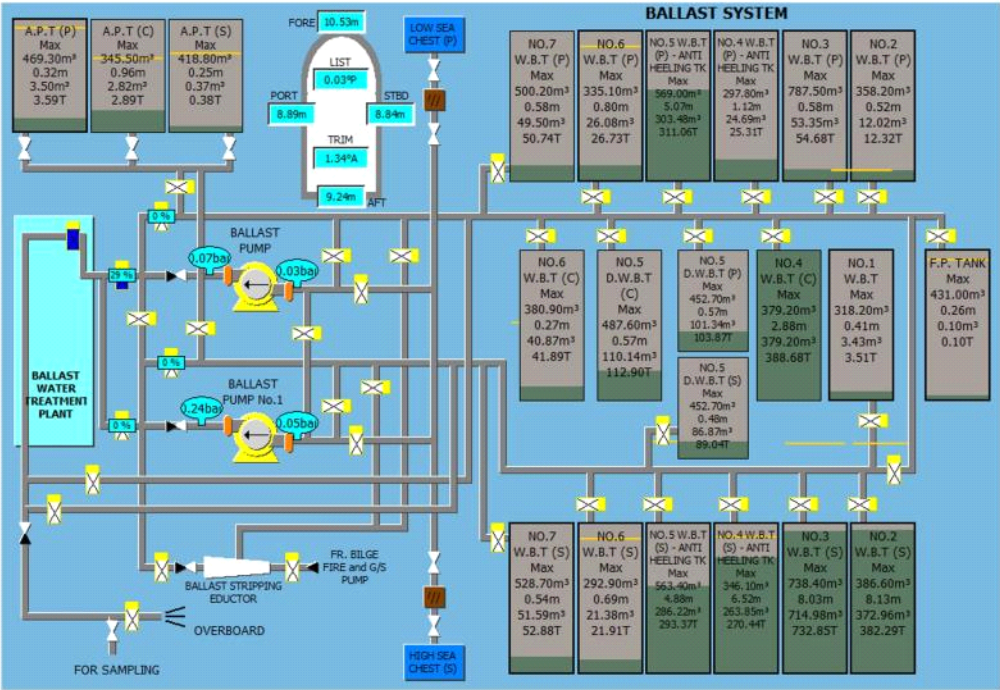


Figure D-1. IMACS water ballast system data before the *Golden Ray*'s departure from the Colonel's Island Terminal.

NTSB

Marine Accident Report

References

Hyundai Glovis Co. Ltd. "SILVER RAY – Full stress and stability report." May 12, 2020.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Review of U.S. Coast Guard Vessel Stability Regulations*. Washington, DC: National Academies Press, 2018.
<https://doi.org/10.17226/25258>.

US Coast Guard Marine Safety Center. "Technical Report: *Golden Ray* Intact Stability, August 26, 2020."