

해양경비안전연구센터

해양특화 선박충돌재연 시스템 개발(3차)

2017. 2

● 주관연구기관 ●
선박해양플랜트연구소



<보고서 초록>

과제관리 번 호		해당단계 연구기간	2016.6.8. ~ 2017.2.3	단계구분	3차년 / 4차년		
연구사업명	해양특화 선박충돌 재현시스템 개발 연구용역(3차)						
연구과제명	해양특화 선박충돌 재현시스템 개발 연구용역(3차)						
연구책임자	손남선	해당단계 참여 연구원 수	총 : 9명 내부 : 7명 외부 : 2명	해당단계 연구비	정부: 220,000천원 기업: 천원 계: 천원		
연구기관명 및 소속부서명	선박해양플랜트연구소 해양안전연구부		참여기업명				
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :						
위탁연구	연구기관명 : 연구책임자 :						
핵심단어 : 선박충돌, 사고 재현, AIS, VTS, V-PASS, 데이터 동기화			보고 서 면 수	108			
연구목적							
<ul style="list-style-type: none"> ○ 선박충돌 등 해양사고에 대한 객관적·과학적 분석으로 공정한 법집행 <ul style="list-style-type: none"> - 해양 선박 사고에 대한 체계적인 조사 및 분석시스템 개발 - 선진화된 해양특화 과학수사 감정으로 해양종사자 만족도 향상 							
연구내용							
<ul style="list-style-type: none"> ○ 선박충돌 재현 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 선박충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 기술 개발 ○ 선박충돌 재현 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 선박충돌 위험도 평가 시스템 개발 							
기대효과 및 활용방안							
<ul style="list-style-type: none"> ○ AIS, VTS, V-PASS 등 다양한 포맷의 충돌사고 데이터의 동기화된 재생을 통하여 과학수사의 효율성 제고 							

요약문

I. 연구제목

해양특화 선박충돌 재현시스템 개발 연구용역(3차)

II. 연구목적

1. 선박충돌 등 해양사고에 대한 객관적·과학적 분석으로 공정한 법집행
2. 해양 선박 사고에 대한 체계적인 조사 및 분석시스템 개발
3. 선진화된 해양특화 과학수사 감정으로 해양종사자 만족도 향상

III. 연구내용

1. 선박충돌 재현 기술 개발
 - 가. 선박충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 기술 개발
2. 선박충돌 재현 시스템 개발
 - 가. 선박충돌 위험도 평가 시스템 개발

IV. 주요 연구성과

1. 선박 충돌위험도 기반 선박 충돌 재현 프로그램 구현
2. 선박충돌재현시스템 이동형 단말기 구축

SUMMARY

I. Title

Development of replay system of ships' collision accident

II. Objectives

1. Law enforcement of justice through objective and scientific analysis on maritime accidents of ships' collision
2. Development of Systematic survey and analysis system on maritime ships' accidents
3. Improvement of maritime people's satisfaction through advanced scientific investigation

III. Contents

1. Development of the technology of replay of ships' collision accident
 - 1) Development of the simulation technology of collided ships by using ship collision risk
2. Development of replay system of ships' collision accident
 - 1) Development of simulation system of collided ships based ship collision risk estimation

IV. Conclusions

1. Improvement of software of two dimensional display system of ships' collision by using ship maneuvering model
2. Implementation of portable analysis system of ships' collision
3. Improvement of software of three dimensional display system of ships' collision by using dynamic database loading

차 례

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 필요성	1
1.2 연구의 목적	3
1.2.1 연구의 기본 목표	3
1.2.2 연구의 세부 목표	3
1.3 연구의 범위	4
1.3.1 당해년도 연구 범위 (3차년도)	4
 제 2 장 선박 충돌 재현 기술 개발	6
2.1 선박 충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 기술 개발	6
2.1.1 과학수사 지원을 위한 선박 충돌 위험도 평가 알고리즘 개발	6
2.1.2 재생 시뮬레이션 기반 선박 충돌 회피 가능성 평가 기술 개발 ..	12
 제 3 장 선박 충돌 재현 시스템 개발	16
3.1 선박충돌 위험도 평가 시스템 개발	16
3.1.1 선박 충돌 위험도 평가 프로그램 구현	16
3.2 선박충돌사고 재생 시뮬레이션 및 회피 가능성 평가	19
3.2.1 선박충돌 사고 재현 데이터베이스 구축	19
3.2.2 선박충돌 재현용 이동형 단말기 시험품의 구축	55
3.2.3 선박충돌사고 재생 시뮬레이션 및 회피가능성 평가 결과 ..	58
 제 4 장 결 론	105
 참고문헌	107
 그림차례	ii
표 차 례	vi

그 림 차 례

그림 2.1 선박 충돌위험도 개념	7
그림 2.2 퍼지 기반 충돌위험도(CR) 추정 프로세스	7
그림 2.3 자선기준 방향별 위험도 및 자선기준 타선별 위험도 추정예시	8
그림 2.4 선박충돌사고 재현시 자선기준 충돌 위험도 추정 구현(입항선 기준)	9
그림 2.5 선박충돌사고 재현시 자선기준 충돌 위험도 추정 구현(출항선 기준)	9
그림 2.6 관제기준 다중선박 충돌 위험도 추정예시	10
그림 2.7 선박충돌사고 재현시 다중선박 충돌 위험도 추정 구현(관제 기준)	11
그림 2.8 선박충돌사고 재현시 다중선박 충돌 위험도 추정 구현(관제 기준)	11
그림 2.9 선박충돌사고 재현시 자선 기준 충돌 위험평가(입항선 기준)	12
그림 2.10 선박충돌사고 재현시 자선 기준 충돌 위험평가(출항선 기준: 충돌5분전) ..	13
그림 2.11 선박충돌사고 재현시 자선 기준 충돌 위험평가(출항선 기준: 충돌4분전) ..	13
그림 2.12 선박충돌사고 재현시 피항가능성 평가(출항선 기준: 충돌10분전부터~) ..	14
그림 2.13 선박충돌사고 재현시 피항가능성 평가(입항선 기준: 충돌10분전부터~) ..	15
그림 3.1 전자해도 기반 선박 충돌 위험도 표시 프로그램 GUI	16
그림 3.2 전자해도 기반 선박 충돌 위험도 표시 프로그램 GUI	18
그림 3.3 위험도 목록상 고위험도순 정렬 및 컬러 표시 기능 구현	18
그림 3.4 선박충돌사고사례-I (운반선 H선과 PC선 N선의 충돌사건)	20
그림 3.5 선박충돌사고사례-II (유조선 F선과 운반선 H선의 충돌사건)	21
그림 3.6 선박충돌사고사례-III (PC선 V선과 급수선 A선의 충돌사건)	22
그림 3.7 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn	24
그림 3.8 Time history of roll angle for 35° STBD Turn	25
그림 3.9 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag	25
그림 3.10 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag	25
그림 3.11 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn	26
그림 3.12 Time history of roll angle for 35° STBD Turn	27
그림 3.13 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag	27
그림 3.14 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag	27
그림 3.15 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn	28
그림 3.16 Time history of roll angle for 35° STBD Turn	29
그림 3.17 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag	29
그림 3.18 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag	29
그림 3.19 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn	30
그림 3.20 Time history of roll angle for 35° STBD Turn	31
그림 3.21 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag	31

그림 3.22 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag	31
그림 3.23 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn	32
그림 3.24 Time history of roll angle for 35° STBD Turn	33
그림 3.25 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag	33
그림 3.26 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag	33
그림 3.27 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn	34
그림 3.28 Time history of roll angle for 35° STBD Turn	35
그림 3.29 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag	35
그림 3.30 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag	35
그림 3.31 선박충돌사례1의 충돌선박 3차원모델링 : 아스팔트운반선 H	36
그림 3.32 선박충돌사례1의 충돌선박 3차원모델링 : PC N	37
그림 3.33 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 : LNG GDF SUEZ NEPTUNE	38
그림 3.34 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Container HANJIN VERACRUZ ·	38
그림 3.35 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Cargo Carrier BAO YUN DA	39
그림 3.36 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Cargo Carrier JANGHOSOON	39
그림 3.37 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Cargo Carrier ASIA STAR	40
그림 3.38 선박충돌사례1의 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근	41
그림 3.39 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근 전경뷰	41
그림 3.40 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근 전경뷰(일몰)	41
그림 3.41 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근 전경뷰(주간)	41
그림 3.42 선박충돌사례1의 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근	42
그림 3.43 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근 전경뷰	42
그림 3.44 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근 전경뷰(일몰)	42
그림 3.45 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근 전경뷰(주간)	42
그림 3.46 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 유조선 F	43
그림 3.47 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 냉동운반선 H	43
그림 3.48 선박충돌사례2의 타선박 3차원모델링 :Tanker 105 HYODONG CHEMI ·	45
그림 3.49 선박충돌사례2의 타선박 3차원모델링 : Tug 201SAMYANG	45
그림 3.50 선박충돌사례2의 타선박 3차원모델링 : Cargo Ship OCEAN RICH 1	46
그림 3.51 선박충돌사례2의 타선박 3차원모델링 : Tanker OCEAN STAR	46
그림 3.52 선박충돌사례2의 해역 모델링 : 매물도 부근	47
그림 3.53 선박충돌사례2의 3차원 해역 모델링 : 매물도 부근(일출)	47
그림 3.54 선박충돌사례2의 3차원 해역 모델링 : 매물도 부근(주간)	47
그림 3.55 선박충돌사례2의 3차원 해역 모델링 : 매물도 부근(일몰)	47
그림 3.56 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 제품운반선 V	48
그림 3.57 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 급수선 A	48
그림 3.58 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 :95 KYUNG JIN	50
그림 3.59 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 :BO WANG HO	50
그림 3.60 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 :Tanker GRACE SAMBU	51

그림 3.61	선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 : Tanker SAM WON SHIN	51
그림 3.62	선박충돌사례3의 해역 모델링 : 울산신항 부근	52
그림 3.63	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(주간)	52
그림 3.64	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(일출)	52
그림 3.65	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(야간)	52
그림 3.66	선박충돌사례3의 해역 모델링 : 울산신항 부근	53
그림 3.67	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물)	53
그림 3.68	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물 야간)	53
그림 3.69	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물 주간)	53
그림 3.70	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물 일몰)	53
그림 3.71	선박충돌사례3의 해역 모델링 : 울산신항 부근	54
그림 3.72	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(주간전경)	54
그림 3.73	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(일몰 전경)	54
그림 3.74	선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(야간 전경)	54
그림. 3.75	선박충돌사고 재현을 위한 2차원-3차원 동시 전시용 이동형 단말기	55
그림. 3.76	2차원-3차원 동시 전시용 이동형 단말기 주요사양	56
그림. 3.77	선박충돌사고 재현을 위한 2차원-3차원 프로그램이 작동중인 이동형단말기	57
그림 3.78	2차원-3차원 연동 및 조종모델 기반 선박충돌 사고상황 재현시 회피 시뮬레이션 장면	59
그림 3.79	선박충돌사고 재현(사고사례 I HN100: H선 시점)	61
그림 3.80	선박충돌사고 재현(사고사례 I HN100: H선 시점)	62
그림 3.81	선박충돌사고 재현(사고사례 I HN101: H선 기준 위험도)	63
그림 3.82	선박충돌사고 재현(사고사례 I HN101: H선 기준 위험도)	64
그림 3.83	선박충돌사고 재현(사고사례 I HN200: N선 기준 위험도)	65
그림 3.84	선박충돌사고 재현(사고사례 I HN200: N선 기준 위험도)	66
그림 3.85	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN110: H선 회피)	67
그림 3.86	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN110: H선 회피)	68
그림 3.87	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN130: H선 회피)	69
그림 3.88	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN130: H선 회피)	70
그림 3.89	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN220: N선 회피)	71
그림 3.90	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN220: N선 회피)	72
그림 3.91	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN220: N선 회피)	73
그림 3.92	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN220: N선 회피)	74
그림 3.93	선박충돌사고 재현(사고사례 II FH200: F선 시점)	76
그림 3.94	선박충돌사고 재현(사고사례 II FH200: F선 시점)	77
그림 3.95	선박충돌사고 재현(사고사례 II FH201: F선 기준 위험도)	78
그림 3.96	선박충돌사고 재현(사고사례 II FH201: F선 기준 위험도)	79
그림 3.97	선박충돌사고 재현(사고사례 II FH202: H선 기준 위험도)	80
그림 3.98	선박충돌사고 재현(사고사례 II FH202: H선 기준 위험도)	81
그림 3.99	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH220: F선 회피)	82

그림 3.100	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH220: F선 회피)	83
그림 3.101	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH230: F선 회피)	84
그림 3.102	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH230: F선 회피)	85
그림 3.103	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH240: H선 회피)	86
그림 3.104	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH240: H선 회피)	87
그림 3.105	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH250: H선 회피)	88
그림 3.106	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH250: H선 회피)	89
그림 3.107	선박충돌사고 재현(사고사례 III VA300: V선 시점)	91
그림 3.108	선박충돌사고 재현(사고사례 III VA300: V선 시점)	92
그림 3.109	선박충돌사고 재현(사고사례 III VA301: V선 기준 위험도)	93
그림 3.110	선박충돌사고 재현(사고사례 III VA301: V선 기준 위험도)	94
그림 3.111	선박충돌사고 재현(사고사례 III VA302: A선 기준 위험도)	95
그림 3.112	선박충돌사고 재현(사고사례 III VA301: A선 기준 위험도)	96
그림 3.113	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA320: V선 회피)	97
그림 3.114	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA320: V선 회피)	98
그림 3.115	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA330: V선 회피)	99
그림 3.116	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA330: V선 회피)	100
그림 3.117	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA342: A선 회피)	101
그림 3.118	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA342: A선 회피)	102
그림 3.119	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA350: A선 회피)	103
그림 3.120	선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA350: A선 회피)	104

표 차 례

표 3.1 선박 충돌위험도 표시 프로그램 주요 구현 기능	17
표 3.2 데이터가 확보된 선박 충돌사고사례 목록	19
표 3.3 충돌사고 선박의 주요 제원	23
표 3.4 충돌사고 선박의 조종성능	23
표 3.5 선회 시험 추정 결과	24
표 3.6 Zig-Zag 시험 추정 결과	24
표 3.7 선회 시험 추정 결과	26
표 3.8 Zig-Zag 시험 추정 결과	26
표 3.9 선회 시험 추정 결과	28
표 3.10 Zig-Zag 시험 추정 결과	28
표 3.11 선회 시험 추정 결과	30
표 3.12 Zig-Zag 시험 추정 결과	30
표 3.13 선회 시험 추정 결과	32
표 3.14 Zig-Zag 시험 추정 결과	32
표 3.15 선회 시험 추정 결과	34
표 3.16 Zig-Zag 시험 추정 결과	34
표 3.17 선박충돌사례1의 충돌선박 주변 운항 타선박 리스트	37
표 3.18 선박충돌사례2의 충돌선박 주변 운항 타선박 리스트	44
표 3.19 선박충돌사례3의 충돌선박 주변 운항 타선박 리스트	49
표 3.20 선박충돌사고사례-I 의 시뮬레이션 시나리오	60
표 3.21 선박충돌사고사례-II 의 시뮬레이션 시나리오	75
표 3.22 선박충돌사고사례-III 의 시뮬레이션 시나리오	90

제 1 장 서 론

1.1 연구의 필요성

- 매년 해양에서 수백건의 선박 충돌 사고가 발생하고 있으나 과학적 원인 규명이 미흡하여 사회적 문제로 대두되고 있음
 - 최근 3개년 평균 180건의 선박 충돌사고가 발생하고 있으나 당사자간의 증언에 의존하고 있어 법정에서 이해다툼이 장기적이고 매우 심함(‘09년 160건, ‘10년 174건, ‘11년 208건)
- 대형 해양오염, 기름유출 사고 발생시 디지털 증거에 의한 원인규명이 필요 함
 - 대형 오염사고에 대한 신속한 사고 정보 수집과 정확한 원인규명을 위해 항해장비에서 디지털 증거수집/분석 필요
 - 08년 허베이시피리트호 사고 당시 항해자료기록장치(VDR)에서 디지털 증거를 신속히 수집하지 못하여 원인규명에 어려움이 발생된 사례가 있음.
- 우리 해역내 불법조업 외국어선에 대한 단속시 증거능력 강화
 - 중국어선은 성어기인 4-5월과 10-12월, 접경 해역 주변에서 1일 약 2,000-3,000여척이 불법조업을 자행 중
 - 우리해역에서 조업후 경비정 출현시 EEZ 밖으로 도주, 선박항해용 정보통신 장비 내 기록을 삭제하고 있어 현장에서 신속한 복구 및 수집 필요
- 타국적 선박과 국내 선박간의 사고발생 즉시 항행정보 수집
 - 사고조사 결과 및 증거자료에 대한 국가간 이견 등 분쟁을 사전 예방하기 위해 객관적으로 인증된 방법/절차에 의한 디지털 항행정보 수집 및 분석 필요
 - ☞ 불법조업 중국어선 단속과 해양사고 수사시 무결성이 확보된 객관적 증거자료의 신속한 수집과 정확한 분석기법 연구필요 (선박항해용 정보통신 장비 : GPS 플로터, VDR(항해기록장치), AIS(선박자동식별장치), VTS(선박관제소))

- 국내외 해양사고의 절반 이상을 차지하고 가장 심각한 인명과 재산상의 손실 이외에도 해양오염의 재앙을 초래하고 있는 충돌사고의 분석을 위한 공학 및 기술적인 접근 필요함.
- 해양사고의 특성 상 사고의 정확한 원인분석이 어려우며, 이에 따른 수사결과의 불복 시비가 빈번함. 이를 해결하기 위한 수단으로 해경의 해양사고 수사과정에서 활용할 수 있는 과학적 분석시스템이 필요함.

1.2 연구의 목적

1.2.1 연구의 기본 목표

선박충돌 등 해양사고에 대한 객관적·과학적 분석으로 공정한 법집행

- 해양 선박 사고에 대한 체계적인 조사 및 분석시스템 개발
- 선진화된 해양특화 과학수사 감정으로 해양종사자 만족도 향상

1.2.2 연구의 세부 목표

○ 선박충돌 재현 기술 개발

- 충돌선박 운항데이터 동기화 기술개발
 - 선박 충돌 재현 요구사항 분석
 - 선박 충돌 재현 동기화 알고리즘 개발
- 충돌선박 조종성능 기반 운항데이터 보정기술 개발
 - 조종성능 모델링 기반 충돌선박 실시간 운항데이터 보정 알고리즘
 - 운항데이터 보정 기반 선박충돌 재현 표시 프로그램 구현
- 선박충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 기술 개발
 - 과학수사지원을 위한 선박충돌위험도 평가 알고리즘 개발
 - 재생 시뮬레이션 기반 선박 충돌 회피 가능성 평가기술 개발

○ 선박충돌 재현 시스템 개발

- 충돌선박 운항 데이터 입력 및 전처리 모듈 개발
 - 운항데이터 종류별 입력 데이터 분석 및 전처리 알고리즘 개발
 - 운항데이터 전처리 프로그램 모듈 구현
- 선박충돌 데이터 재현을 위한 동기화 생성모듈 개발
 - 운항데이터 종류별 데이터 저장주기 분석 및 동기화 알고리즘 개발
 - 조종모델 기반 데이터 저장주기간 보정데이터 동기화 모듈 구현
- 충돌 사고현장 분석 지원을 위한 이동형 단말장치 개발
 - 운항데이터 선박 충돌 재현 전처리 장치 구현
 - 이동형 선박충돌 재현 단말기 제작 및 성능검증

1.3 연구의 범위

1.3.1 당해년도 연구 범위 [3차년도]

가. 선박충돌 재현 기술 개발

1) 연구의 목적

선박충돌시 충돌선박들의 운항 데이터 및 해양기상 데이터간의 동기화 기술을 확보하고, 선박충돌 재현시 선박 충돌위험도 분석을 통한 회피가능성을 검토하여 정확하고 과학적인 충돌원인 분석을 지원함

2) 연구의 필요성

- 선박의 운항데이터는 선박자동식별장치(AIS), 선박관제시스템(VTS), 선박입출항보고시스템(V-PASS) 등 다양한 포맷으로 되어 있고 저장주기가 일치하지 않아, 충돌재현시 상호 데이터 동기화가 필요함
 - ☞ 특히, 선박의 조종성능을 기반으로 운항데이터를 재생성하는 등의 보정기술이 필요함
- 선박충돌사고 데이터를 재현과정에서, 선박충돌위험도 분석을 함께 수행하여, 충돌한 선박간의 회피 가능성을 평가하여 과학적으로 충돌원인을 분석함으로써, 과학수사의 정확성을 제고

3) 연구 내용(3차년도)

- 선박충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 기술 개발
 - 과학수사지원을 위한 선박충돌위험도 평가 알고리즘 개발
 - 재생 시뮬레이션 기반 선박 충돌 회피 가능성 평가기술 개발

나. 선박충돌 재현 시스템 개발

1) 연구의 목적

선박충돌시 현장에 출동하여 충돌선박들의 운항 데이터를 수집과 동시에 재현을 통하여 신속하게 충돌원인을 분석할 수 있는 시스템 확보

2) 연구의 필요성

- 선박충돌사고 현장 혹은 불법선박 단속 현장은 실해역으로서 파도와 바람 등으로 인하여, 일반장비를 운용하여 선박운항 데이터를 분석하기 어려우므로, 악천후에서도 운용가능한 이동형 단말 시스템이 필요함
- 충돌사고의 70% 이상이 발생하는 연근해 및 항만근처에는 수십척에서 100척 이상의 선박이 운항중이며, 방대하게 저장된 운항데이터를 현장에서 실시간으로 재현하는 시스템 필요함
 - ☞ VTS, AIS, GPS, V-PASS 등에 저장된 데이터를 입수하여 현장에서 전처리를 수행하는 장치가 필요함

3) 연구 내용(3차년도)

- 선박충돌 위험도 평가 시스템 개발
 - 선박충돌위험도 평가 프로그램 구현
 - 선박충돌사고 재생 시뮬레이션 및 회피가능성 평가

제 2 장 선박 충돌 재현 기술 개발

2.1 선박 충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 기술 개발

2.1.1 과학수사 지원을 위한 선박 충돌 위험도 평가 알고리즘 개발

- 1차년도에는 선박 충돌사고 데이터를 원본 그대로 재현하는 동기화 기술을 개발하였고, 2차년도에는 선박 충돌상황에서 선박이 실제 사고상황과는 다른 조타 조작 및 엔진 조작을 했을 경우 회피가 가능한지 시뮬레이션을 통하여 확인하는 기술을 개발하였음. 3차년도에는 선박충돌사고를 재현함에 있어, 충돌위험도를 평가함으로써, 사고상황에서 운항자의 과실이 있었는지 확인하고, 해당 충돌상황에서 회피시뮬레이션을 통하여 회피가능성을 평가하는 기술을 개발하고자 함.

가. 선박 충돌위험도 (Ship Collision risk) 지수의 정의 및 추정법

선박 충돌위험도란, 해상에서 조우하는 두 선박간의 충돌여유시간 및 충돌여유거리, 선박의 주요제원을 바탕으로 선박간의 충돌의 위험성을 지수화한 것으로서, 본 연구에서는 0(안전)~1.0(충돌) 사이의 정량적 지수를 적용함.

☞ 0~0.4 (safe), 0.4~0.6 (negligible risk), 0.6~0.8 (caution), 0.8~1.0 (critical risky)

- 선박의 충돌위험도 추정방법

- 본 연구에서는 퍼지 알고리즘 기반의 충돌위험도 추정법을 사용함.

☞ 선박의 주요제원 입력 : 선박의 운항정보 (위치(위경도), 속도 (SOG, Speed of Ground), 방위(Course of Ground))

☞ 선박간 충돌여유시간 및 여유거리 산출 : Time to Closest Point Approach (TCPA), Distance to Closest Point Approach(DCPA)

☞ 퍼지기반 충돌위험도의 산출 프로세스

- ① 해상교통정보(AIS) 정보의 입력
- ② 충돌여유시간(TCPA) 및 거리(DCPA) 산출
- ③ 퍼지기반 선박별 충돌위험도 산출

: 충돌대상선박인 자선기준 위험도와 관제소기준 개별 선박별 위험도가 추정됨

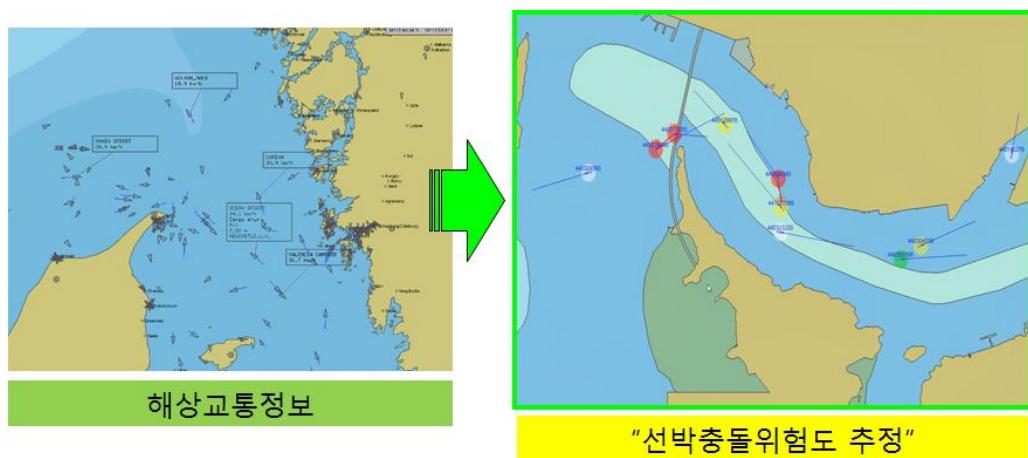


그림 2.1 선박 충돌위험도 개념

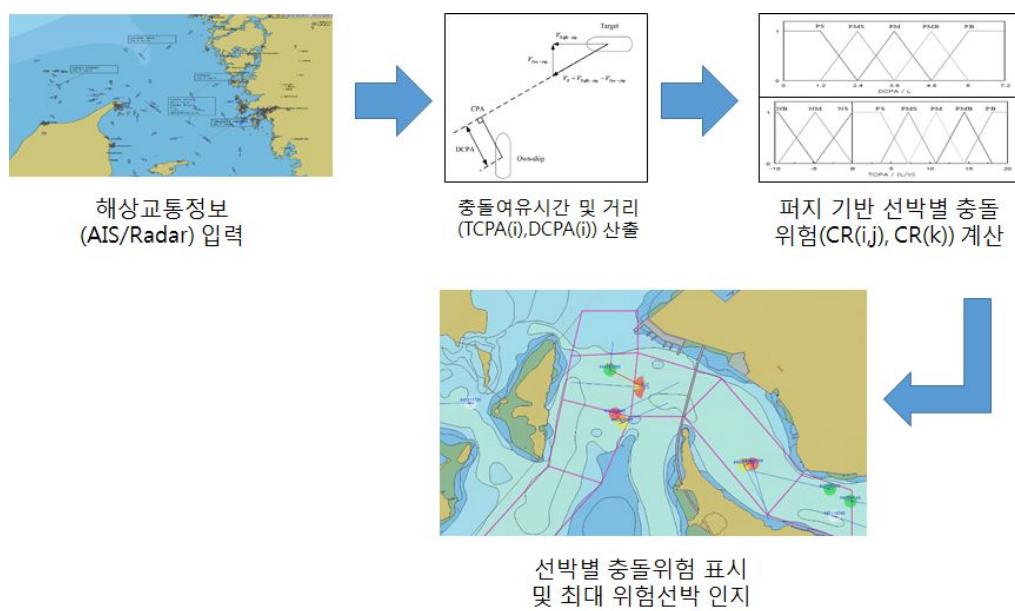


그림 2.2 퍼지 기반 충돌위험도(CR) 추정 프로세스

나. 자선 기준 선박 충돌위험도 [Ship Collision risk] 추정

선박 충돌위험도는 선박에 탑승한 선장/항해사의 관점에서 타선별 위험도를 추정하는 자선기준 선박 충돌위험도와, 육상의 관제소 관점에서 개별 선박별 위험도를 추정하는 다중선박 기준 선박 충돌위험도로 나뉨.

○ 자선 기준 선박 충돌 위험도 개념 및 추정 방법

- 자선의 방향별 충돌위험도 추정

- ☞ 자선의 -90도(좌현)~90도(우현) 사이의 선수방향별 위험도를 추정
- ☞ 방향별 위험도 추정방법

- ① 자선의 방향별 이동을 가정함
- ② 각 방향별 타선과의 TCPA, DCPA 산출함
- ③ 폐지기반 방향별 충돌위험도를 산출함($CR(\theta)$, $\theta = -90^\circ \sim +90^\circ$)

- 자선 기준 타선별 충돌위험도 추정

- ☞ 자선이 운항시 N척 각각의 타선과 충돌할 위험도 산출
- N개의 충돌위험도 ($CR(i)$, $i=1,2,\dots,N$) 산출

- ☞ 타선별 충돌위험도 추정 방법

- ① 자선의 현재 방향의 이동 가정
- ② 각 타선과의 TCPA, DCPA 산출
- ③ 폐지 기반 타선별 충돌위험도 산출 ($CR(i)$, $i=1,2,\dots,N$)



그림 2.3 자선기준 방향별 위험도 및 자선기준 타선별 위험도 추정예시

○ 선박충돌사고 재생 기반 자선기준 선박 충돌위험도 구현 결과

- 부산항 컨테이너선간 충돌사고에 자선기준 방향별 위험도 및 타선별 충돌 위험도 알고리즘을 적용하였고, 자선기준 충돌위험도가 정상적으로 추정 및 구현됨을 확인함



그림 2.4 선박충돌사고 재현시 자선기준 충돌 위험도 추정 구현(입항선 기준)



그림 2.5 선박충돌사고 재현시 자선기준 충돌 위험도 추정 구현(출항선 기준)

다. 관제 기준 선박 충돌위험도 (Ship Collision risk) 추정

육상의 관제소 관점에서 개별 선박별 위험도를 추정하는 다중선박 기준 선박 충돌위험도로 나뉨. 특히, 관제 기준 선박 충돌위험도 추정시, 수십척의 선박들간의 충돌위험도를 자동으로 산출, 위험도 순위별 정렬하여 제공함으로써, 충돌위험도가 가장 높은 선박군(그룹)을 자동으로 평가하는 기술을 개발함

○ 다중선박 충돌 위험도 개념 및 추정 방법

- 해상의 N척의 선박들 중 각 선박들의 2척의 조합간의 충돌위험도 산출
 - nC2 조합의 충돌위험도 ($CR(i,j)$, $i,j=1,2,\dots,N$, $i \neq j$) 산출
(i 선박과 j선박과의 충돌위험도)
 - 다중선박 충돌위험도 추정 방법
 - ① i 선박의 이동 가정
 - ② i선박과 j 선박과의 TCPA, DCPA 산출
 - ③ 폐지 기반 다중선박 충돌위험도 산출 ($CR(i,j)$, $i,j=1,2,\dots,N$, $i \neq j$)
 - ④ nC2 조합이 모두 계산될 때까지 ①번-③번의 과정 반복함
 - 최대 충돌 위험 선박 그룹(p선-q선) 식별 : $\text{Max}(CR(p,q)) = \max(CR(i,j))$



그림 2.6 관제기준 다중선박 충돌 위험도 추정예시

○ 선박충돌사고 재생 기반 관제기준 다중 선박 충돌위험도 구현 결과

- 부산항 컨테이너선간 충돌사고에 관제기준 다중선박 충돌위험도 알고리즘을 적용하였고, 정상적으로 추정 및 구현됨을 확인함

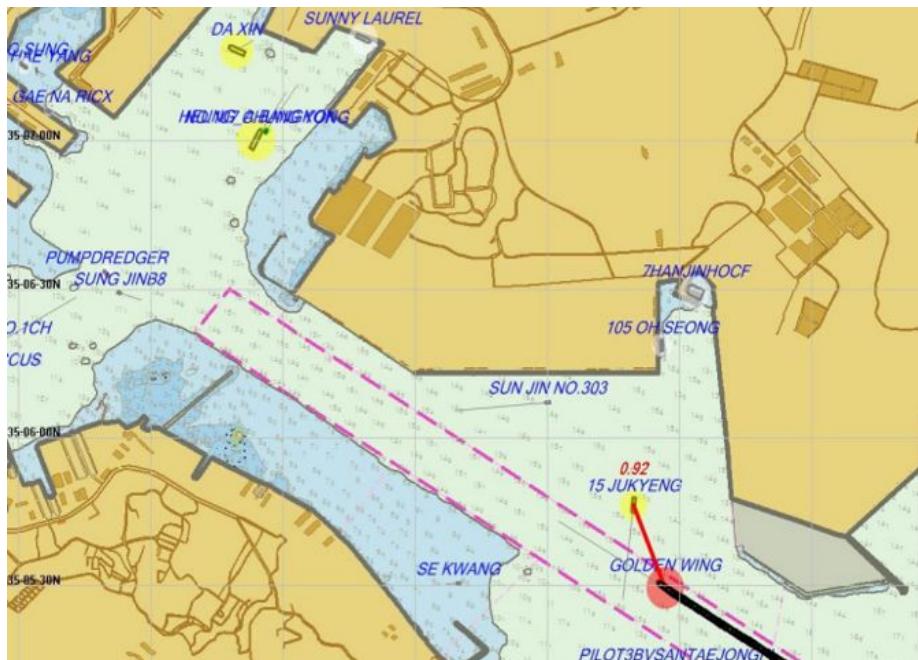


그림 2.7 선박충돌사고 재현시 다중선박 충돌 위험도 추정 구현(관제 기준)



그림 2.8 선박충돌사고 재현시 다중선박 충돌 위험도 추정 구현(관제 기준)

2.1.2 재생 시뮬레이션 기반 선박 충돌 회피 가능성 평가 기술 개발

가. 재현 시뮬레이션시 충돌 위험 평가 기술 개발

○ 재현 시뮬레이션을 통한 충돌위험 추정

선박 충돌사고를 물리적으로 재현함에 있어, 충돌사고 대상선박 기준 방향별 및 타선별 충돌위험도를 추정해 봄으로써, 사고시 충돌위험도가 나타남에도 불구하고 운항자가 과실에 의하여 적절한 피항동작을 하지 않았음을 확인하는 등 충돌사고의 원인을 과학적으로 분석하고자 함

- ▣ 사고상황 각 시점별 추정된 충돌위험도와 실제상황과 비교분석함
- ▣ 사고시 선박 상호간 위험식별 여부를 과학적으로 분석함

○ 선박충돌사고 재현 기반 충돌위험 평가 및 충돌사고 원인 분석

- 부산항 컨테이너선 사고 재현(입항선) 충돌위험평가

- ▣ 아래 그림과 같이, 사고 5분전 항로상 입항하는 선박(G선) 기준 위험도가 정상적으로 표시되고 있음을 확인할 수 있음.
 - 전방 및 좌측의 접근타선에 따른 위험도가 주의(Yellow)를 요하도록 표시되고 있고, 상대적으로 우측은 안전(Green)으로 표시되고 있음.
 - 상호거리가 1km에 불과함에도 입항선은 항로상 과속(약10노트)하며 감속 등 피항동작을 취하지 않는 과실을 확인할 수 있음.



- 부산항 컨테이너선 사고 재현(출항선) 충돌위험평가

▣ 아래 그림과 같이, 사고 5분전부터 부산 북항에서 출항하는 선박(D선) 기준 위험도가 정상적으로 표시되고 있음을 확인할 수 있음.

→ 전방에서 접근하는 타선에 따른 위험도가 충돌임박(Red)를 알리며

표시되고 있고, 상대적으로 우측은 주의(Yellow)으로 표시되고 있음.

→ 상호거리가 1km상에서 충돌임박에도 불구하고 우현회피 등 피행동 작을 취하지 않는 과실을 확인할 수 있음.

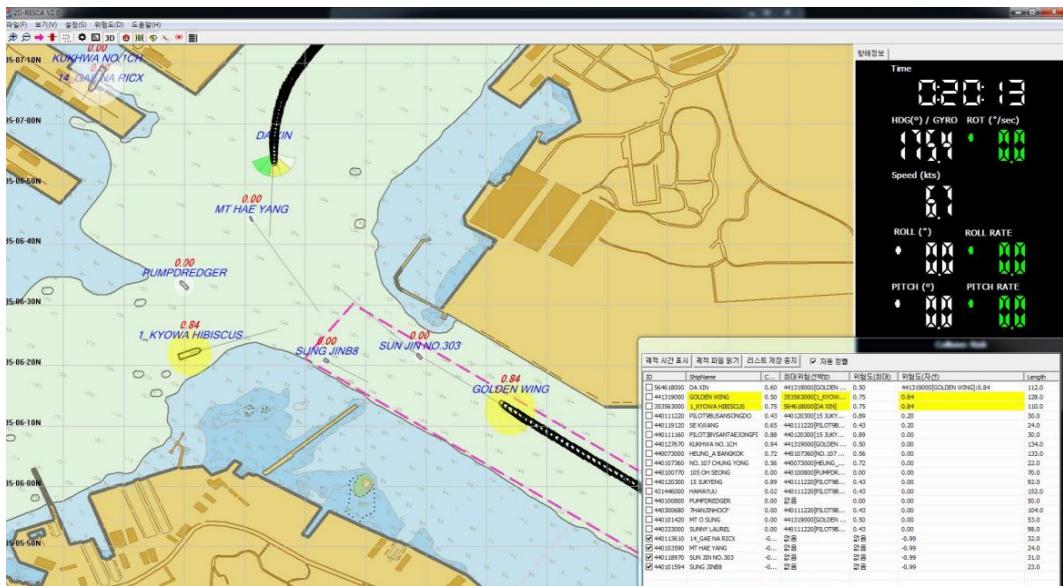


그림 2.10 선박충돌사고 재현시 자선 기준 충돌 위험평가(출항선 기준: 충돌5분전)



그림 2.11 선박충돌사고 재현시 자선 기준 충돌 위험평가(출항선 기준: 충돌4분전)

나. 회피 시뮬레이션시 회피 가능성 평가 기술 개발

○ 회피 시뮬레이션을 통한 회피 가능성 평가

선박 충돌사고상황 재현중, 일정 시점에서 피항동작이 가능하도록 부여하는 회피시뮬레이션 기능을 구현하였는데, 조타 및 엔진조작을 통하여, 실제 사고상황과는 달리 적절한 피항동작을 통하여, 당시 충돌상황에서 회피가 가능한지를 확인하는 등 피항가능성을 과학적으로 분석하고자 함

- 사고 시점에서 일정시간 이전부터 회피시뮬레이션

- ☞ 15분전, 10분전, 5분전 등 회피기동 시작시각 변경이 가능함
- ☞ 회피시점에 따른 충돌위험도 변화에 대한 비교 평가가 가능함

- 타각/속도 변화에 따른 회피 가능성 평가

- ☞ 타각변화 only, 속도변화 only, 타각속도 동시 변화 수행시 회피 가능여부 평가가 가능함
- ☞ 회피방법에 따른 충돌위험도 변화 차이 비교 평가가 가능함

○ 선박충돌사고 재현 기반 회피 가능성 평가

- 부산항 컨테이너선 사고 재현(출항선) 회피 가능성 평가

☞ 사고 10분전부터 출항하는 선박(G선)의 회피 시뮬레이션(황색) 결과, 사고궤적(흑색)과 달리 회피가 가능함을 확인함
 → 사고의 주원인이 출항선이 준설구역을 의식해 입항로에 치우쳐 충돌하였으나, 준설구역쪽으로 붙어 정상적 출항항로로 이동해 피항함



그림 2.12 선박충돌사고 재현시 피항가능성 평가(출항선 기준:
충돌10분전부터~)

- 부산항 컨테이너선 사고 재현(입항선) 회피 가능성 평가

- ☞ 상기와 같이, 출항선의 운항과실이 충돌의 주원인이었고, 출항선이 정상적으로 출항시, 충돌사고를 막을 수 있는 것으로 확인됨.
- ☞ 다만, 출항선이 운항과실이 있다 하더라도, 입항선이 적극적으로 피항동작을 했을 경우에 회피가 가능했는지 확인이 필요함.
- ☞ 아래 그림과 같이, 사고 10분전부터 입항하는 선박(G선)의 회피 시뮬레이션(황색) 결과, 사고궤적(흑색)과 달리 회피가 가능함을 확인함
 - 출항선이 준설구역을 의식하여 입항항로로 치워쳐 운항했으나,
 - 입항선이 우현회피 및 감속을 통하여 피항동작을 취하였고, 회피에 성공함



그림 2.13 선박충돌사고 재현시 피항가능성 평가(입항선 기준: 충돌10분전부터~)

제 3 장 선박 충돌 재현 시스템 개발

3.1 선박충돌 위험도 평가 시스템 개발

3.1.1 선박 충돌 위험도 평가 프로그램 구현

가. 전자해도 기반 선박 충돌위험도 표시 프로그램 구현

- 1차년도에 2차원 선박충돌재현 표시용 소프트웨어를 전자해도 기반으로 S-57 표준을 준수하여 구성하였으며, 2차년도에는 조종모델 기반 시뮬레이션 기능을 구현하였음. 3차년도에는 선박충돌위험 평가 및 피항가능성 평가를 위하여 충돌위험도를 추정 및 표시하는 기능을 중심으로 프로그램을 구현하였음

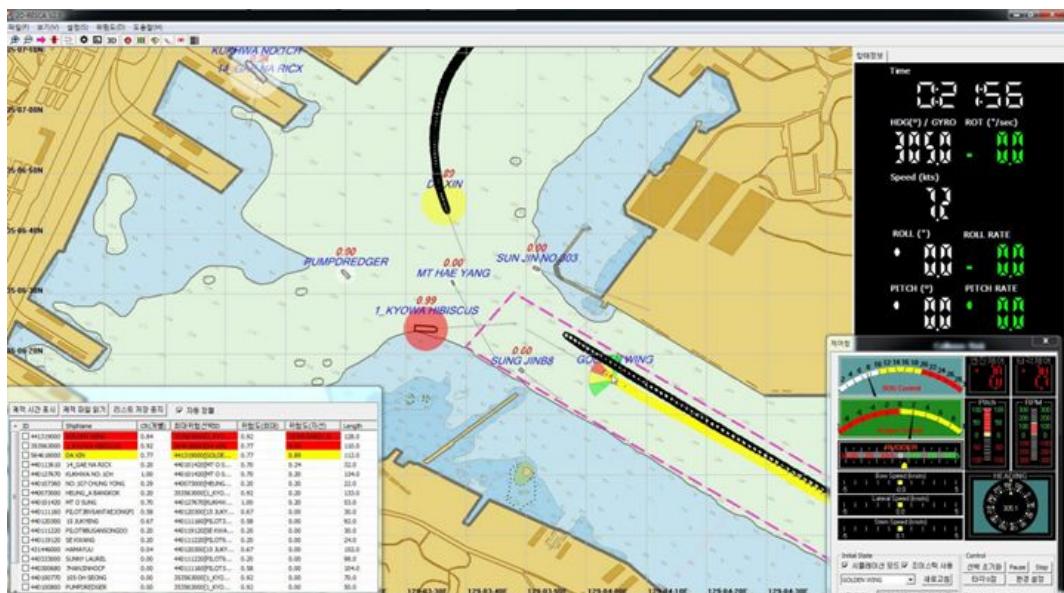


그림 3.1 전자해도 기반 선박 충돌 위험도 표시 프로그램 GUI

- 사용자 화면의 구성은 1차년도와 2차년도에 구성한 중복내용은 신지 않고, 3차년도에 추가로 구성한 내용만 서술함.

- 선박 충돌위험도 추정 및 표시를 위하여 구현한 주요기능은 아래표와 같음.

표 3.1 선박 충돌위험도 표시 프로그램 주요 구현 기능

순번	주요 기능	구현 내용	비고
1	방향별 충돌위험도	<ul style="list-style-type: none"> - 임의 선박 기준 좌현(90도)-우현(90도) 사이 방향별 충돌 위험도($CR(\theta)$) 추정/표시 	부채꼴형 <ul style="list-style-type: none"> - 안전(White) ($CR<0.4$) - 보통(Green) ($0.4 \leq CR < 0.6$) - 주의(Yellow) ($0.6 \leq CR < 0.8$) - 위험(Red) ($CR \geq 0.8$)
2	타선별 충돌위험도	<ul style="list-style-type: none"> - 자선(설정) 기준 각 타선별 충돌위험도 ($CR(i)$) 추정/표시 	타선별 원호에 반투명 색으로 표시
3	다중선박 충돌위험도	<ul style="list-style-type: none"> - 모든 선박들(N척) 중 2척의 선박그룹(i,j) 별 충돌위험도($CR(i,j)$) 추정/표시 	타선별 원호에 반투명 색으로 표시
4	최대 위험선박 표시	<ul style="list-style-type: none"> - 자선기준 최대위험선박 $Max(CR(K))=max(CR(i))$ - 다중선박 기준 최대위험선박 그룹 $Max(CR(p,q))=max(CR(i,j))$ 	위험선박 그룹2척을 적색선으로 연결표시
5	위험도 목록의 위험도별 정렬 및 우선순위 표시	<ul style="list-style-type: none"> - 자선기준 위험도 목록 정렬 표시 - 다중선박 기준 위험도 목록 정렬 표시 	목록 및 전자해도상 위험도 컬러 동시 표시

☞ 특히, 위험도 목록을 추가로 구현하여 표시하였으며, 위험도가 높은 순 서로 선박을 정렬하여 표시하였고, 신속한 충돌상황 인지를 위해 전자해도 및 목록에 표시되는 선박의 위험도를 컬러를 입혀 표시하였음



그림 3.2 전자해도 기반 선박 충돌 위험도 표시 프로그램 GUI

계적 시간 표시		계적 파일 읽기		리스트 저장 풍지		<input checked="" type="checkbox"/> 자동 정렬
ID	ShipName	CR(자선)	최대 위험선박ID	위험도(최대)	위험도(자선)	Length
441319000	GOLDEN WING	0.84	353563000[1_KY...	0.92	153563000[1_K...	128.0
353563000	1_KYOWA HIBISCUS	0.92	353563000[DA XIN]	0.77	0.99	110.0
564618000	DA XIN	0.77	441319000[GOLDE...	0.77	0.89	112.0
440113610	14_GAE NA RICK	0.20	440101420[MT O S...	0.70	0.24	32.0
440127670	KUKHWA NO. 5CH	1.00	440101420[MT O S...	0.70	0.20	134.0
440107360	NO.107 CHUNG YONG	0.29	440073000[HEUNG...	0.20	0.20	22.0
440073000	HEUNG_A BANGKOK	0.20	353563000[1_KY...	0.92	0.20	133.0
440101420	MT O SLING	0.70	440127670[KUKHW...	1.00	0.20	53.0
440111160	PILOT38VSANTAEJONGPI	0.58	440120300[15 JUKY...	0.67	0.00	30.0
440120300	15 JUKYENG	0.67	440111160[PILOT3...	0.58	0.00	92.0
440111220	PILOT98USANSONGDO	0.20	440119120[SE KWA...	0.20	0.00	30.0
440119120	SE KWANG	0.20	440111220[PILOT9...	0.20	0.00	24.0
431446000	HAMAYUU	0.04	440120300[15 JUKY...	0.67	0.00	152.0
440333000	SUNNY LAUREL	0.00	440111220[PILOT9...	0.20	0.00	98.0
44030680	7HANJINHOCF	0.00	440111160[PILOT3...	0.58	0.00	104.0
440100770	105 OH SEONG	0.00	353563000[1_KY...	0.92	0.00	70.0
440100800	PUMPDREDGER	0.00	353563000[1_KY...	0.92	0.00	50.0

그림 3.3 위험도 목록상 고위험도순 정렬 및 컬러 표시 기능 구현

3.2 선박충돌사고 재생 시뮬레이션 및 회피 가능성 평가

3.2.1 선박충돌 사고 재현 데이터베이스 구축

가. 선박 충돌사고 사례 데이터

- 선박 충돌 재현 시스템 내, 선박충돌위험도 평가 및 회피 가능성 평가 기능 구현하였고, 이에 대한 성능 검증을 위하여, 실제 선박충돌사고에 적용하기 위하여, 기존 선박 충돌사고 사례에 대하여 조사를 수행하였음.
- 최근, 5년 이내에 발생한 국내 충돌사고를 조사하기 위하여, 해양경비안전연구센터의 협조를 받아, VTS 데이터가 저장된 해양안전종합정보 시스템 (GICOMS)에 총 6건의 선박충돌사고사례를 요청하였음.
 - 해당 시스템 관리규정상, 2년이내 (2015년 1월 이후) 자료만 보관하게 되어 있어, 최근 2년 이내 2건의 사고 데이터만 확보되어, 부득이 추가 1건은 2009년 자료로, 총 3건의 선박충돌사고 데이터를 확보하였음.

표 3.2 데이터가 확보된 선박 충돌사고사례 목록

순 번	사건명	사고해 역	사고시각	사고선 A			사고선 B		
				선박명	선박 유형	톤수	선박명	선박 유형	톤수
1	아스팔트 운반선 H 석유제품 운반선 N 충돌사건	통영시 흥도 흥대 40도 15.5마일	2009년 8월 25일 21시 12분경	H	아스팔트 운반선	770톤	N	PC선	1,982톤
2	원유운반선 F 냉동운반선 H 충돌사건	거제시 북여도 동남방 3.3마일 해상	2015. 2. 17. 02:08경	F	원유운반선	149.3 83톤	H	냉동운반선	2,707톤
3	석유제품 운반선 V 들플수선 A 충돌사건	울산 신항 북방파 제남단 등대 근처	2015년 9월 8일 02시 40분경	V	석유제품 운반선	1,807 톤	A	급수선	57톤

1) 선박 충돌사고 사례 I : 아스팔트운반선 H선- 석유제품운반선 N선 충돌사건

○ 사고 개요 (사고시각 : 2009년 8월 25일 21시 12분경)

이 충돌사건은 횡단(Crossing) 하는 상태에서 침로유지선인 N선이 좌현으로 변침한 것과 피항선인 H선이 조기에 적절한 피항동작을 취하지 아니한 것이 원인임.

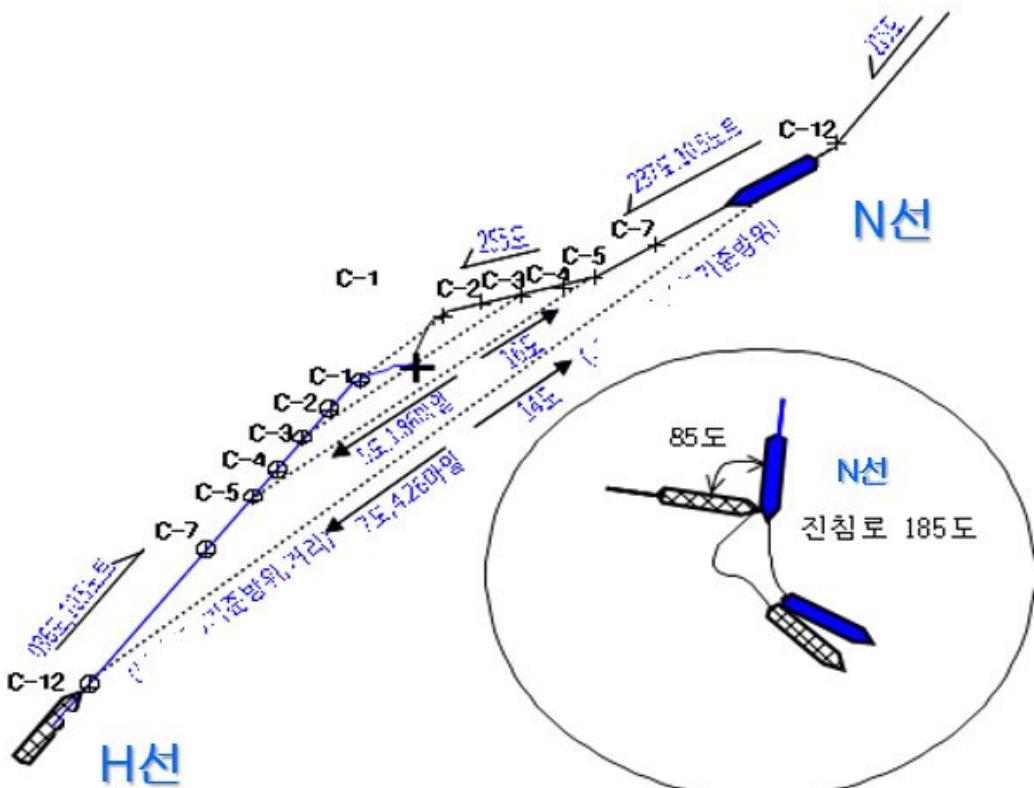


그림 3.4 선박충돌사고사례-I (운반선 H선과 PC선 N선의 충돌사건)

2) 선박 충돌사고 사례 II : 원유운반선 F선 - 냉동운반선 H선 충돌사건

- 사고 개요 (사고시각 : 2015. 2. 17. 02:08경)

이 충돌사건은 시정이 양호한 상태에서 횡단(Crossing)하는 상태로 접근 하던 H선이, 피항선으로서 피항동작을 충분히 취하지 아니한 채 F선에 계속 접근하다가 발생한 것이나, 침로유지선인 F선이 충돌 약 5분전 좌현 쪽으로 침로를 소각도 변경한 것도 원인임.

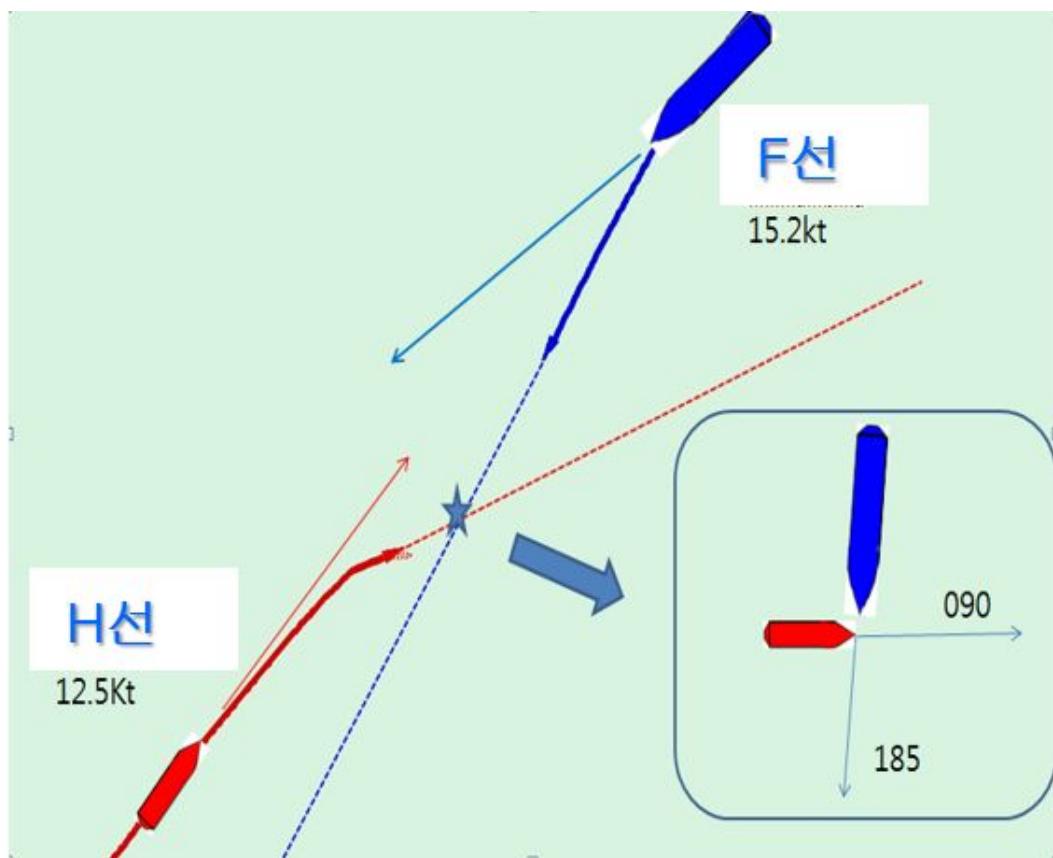


그림 3.5 선박충돌사고사례-II (유조선 F선과 운반선 H선의 충돌사건)

3) 선박 충돌사고 사례 III : 석유제품운반선 V선- 급수선 A선 충돌사건

- 사고 개요 (사고시각 : 2015년 9월 8일 02시 40분경)

이 충돌사건은 울산신항 북방파제 부근에서 우선피항선인 A선이 제3항로를 횡단상태(Crossing)로 들어가던 중 경계소홀로 제3항로를 따라 입항 중이던 V선의 진로를 피하지 못하여 발생한 것이나, V선이 울산신항 북방파제에 접근하면서 경고신호를 울리지 아니한 것도 원인임.

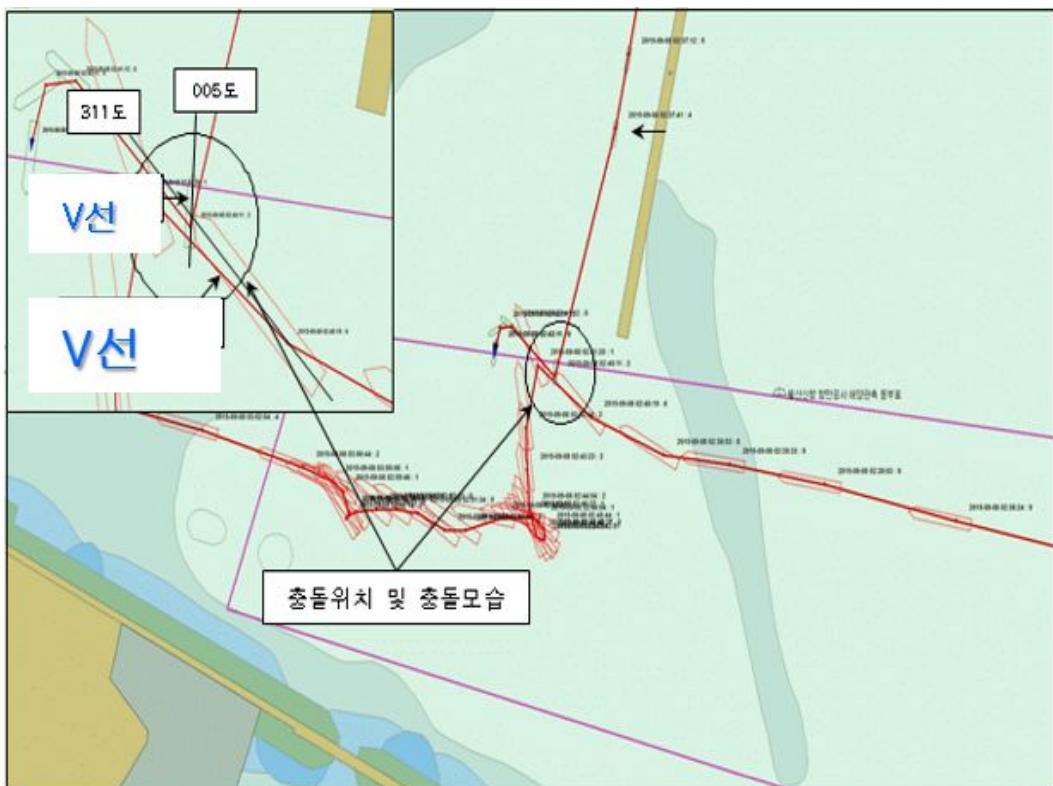


그림 3.6 선박충돌사고사례-III (PC선 V선과 급수선 A선의 충돌사건)

나. 사고별 선박 조종운동 데이터베이스 구축

- 선박충돌사고사례 3건에 포함된 충돌선박의 조종성능 모델링을 다음과 같이 수행하였다.

- 주요제원

표 3.3 충돌사고 선박의 주요 제원

사고사례	선명	길이(m)	폭(m)	출 수(m)	속도
선박충돌 사고사례 I	① 아스팔트운반선 H	70.2	10.4	2.10(선수) 3.70(선미)	10.0 knots
	② 석유제품운반선 N	78.6	14.0	2.35(선수) 4.15(선미)	10.5 knots
선박충돌 사고사례 II	③ 원유운반선 F	330.0	60.0	9.88(선수) 17.40(선미)	16.0 knots
	④ 냉동운반선 H	94.0	14.6	6.09(선수) 6.09(선미)	13.0 knots
선박충돌 사고사례 III	⑤ 석유제품운반선 V	79.5	14.2	5.00(선수) 5.00(선미)	9.0 knots
	⑥ 급수선 A	23.4	6.2	1.00(선수) 1.00(선미)	6.0 knots

- 조종성능

표 3.4 충돌사고 선박의 조종성능

사고사례	선명	10/10 ZZ 1 st Overshoot Angle (deg)	10/10 ZZ 2 nd Overshoot Angle (deg)	20/20 ZZ 1 st Overshoot Angle (deg)	20/20 ZZ 2 nd Overshoot Angle (deg)
선박충돌 사고사례 I	① 아스팔트운반선 H	4.62	4.78	8.96	8.44
	② 석유제품운반선 N	4.39	4.38	8.85	8.44
선박충돌 사고사례 II	③ 원유운반선 F	2.29	2.38	4.39	4.02
	④ 냉동운반선 H	5.91	7.90	12.00	11.90
선박충돌 사고사례 III	⑤ 석유제품운반선 V	4.79	5.30	9.73	8.53
	⑥ 급수선 A	3.09	3.15	5.00	4.89

- 각 선박별 세부 조종성능 모델링 결과

① 아스팔트운반선 H

표 3.5 선회 시험 추정 결과

Rudder Angle (°)	Advance (90°) (L_{PP})	Transfer (90°) (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (°)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	4.21	1.69	4.24	19.8	4.7	
-35.0	4.21	1.69	4.24	19.8	4.7	진입 10.0knots

표 3.6 Zig-Zag 시험 추정 결과

	1st Overshoot Angle (°)	2nd Overshoot Angle (°)	3rd Overshoot Angle (°)	비고
10°/10°	4.62	4.78	4.75	
20°/20°	8.96	8.44	8.13	진입 10.0knots

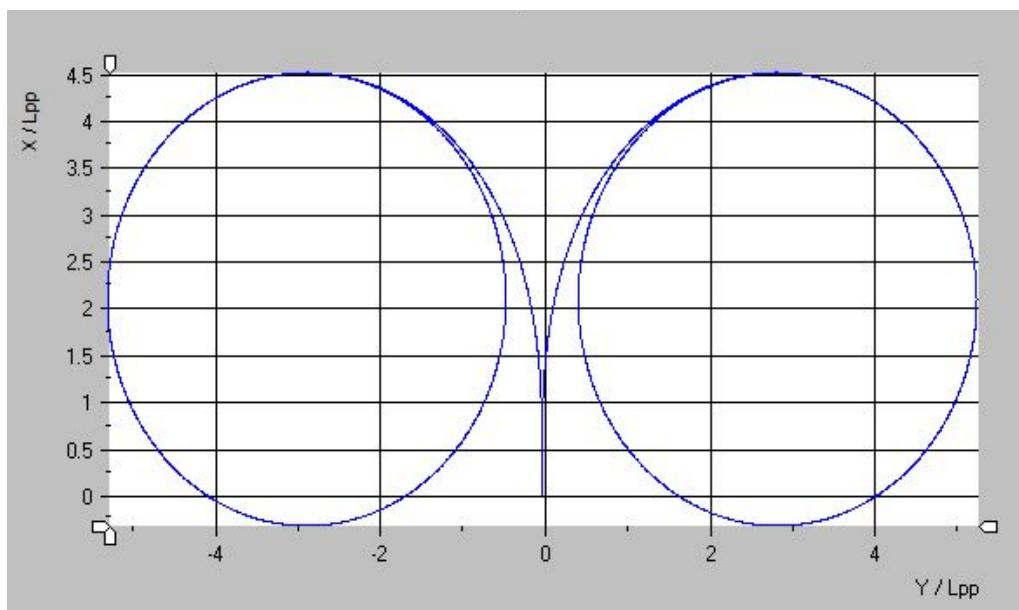


그림 3.7 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn

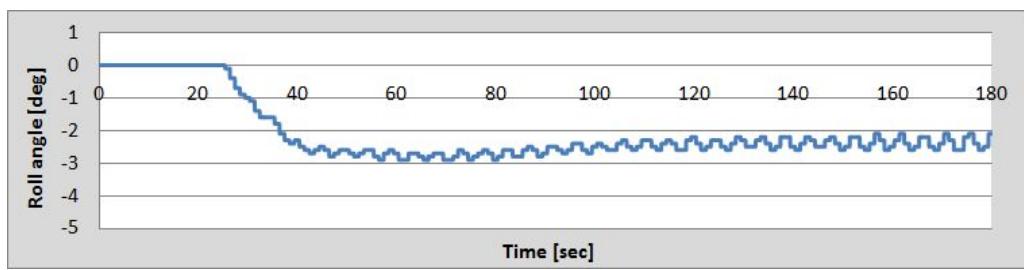


그림 3.8 Time history of roll angle for 35° STBD Turn

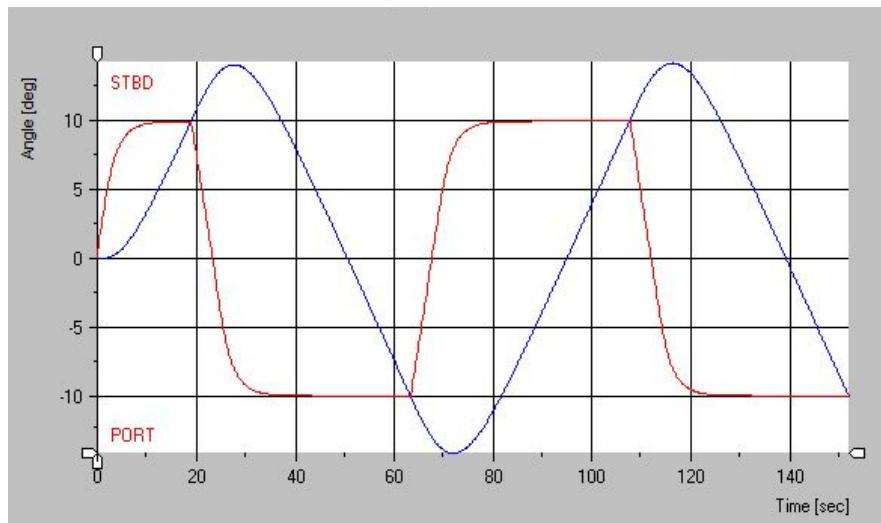


그림 3.9 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag

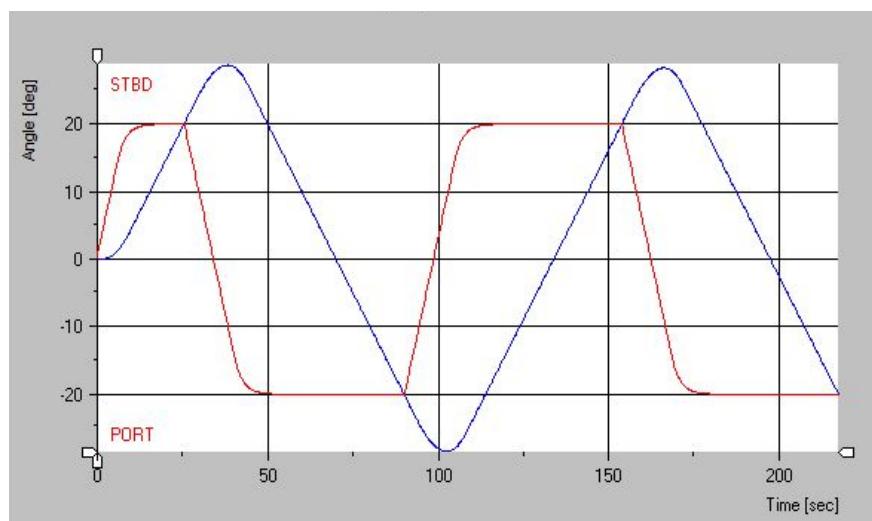


그림 3.10 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag

② 석유제품운반선 N

표 3.7 선회 시험 추정 결과

Rudder Angle (°)	Advance (90°) (L_{PP})	Transfer (90°) (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (°)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	4.06	1.76	4.09	17.3	4.9	진입 10.5knots
-35.0	4.06	1.76	4.09	17.3	4.9	

표 3.8 Zig-Zag 시험 추정 결과

	1st Overshoot Angle (°)	2nd Overshoot Angle (°)	3rd Overshoot Angle (°)	비고
10°/10°	4.39	4.38	4.41	진입 10.5knots
20°/20°	8.85	8.44	8.17	

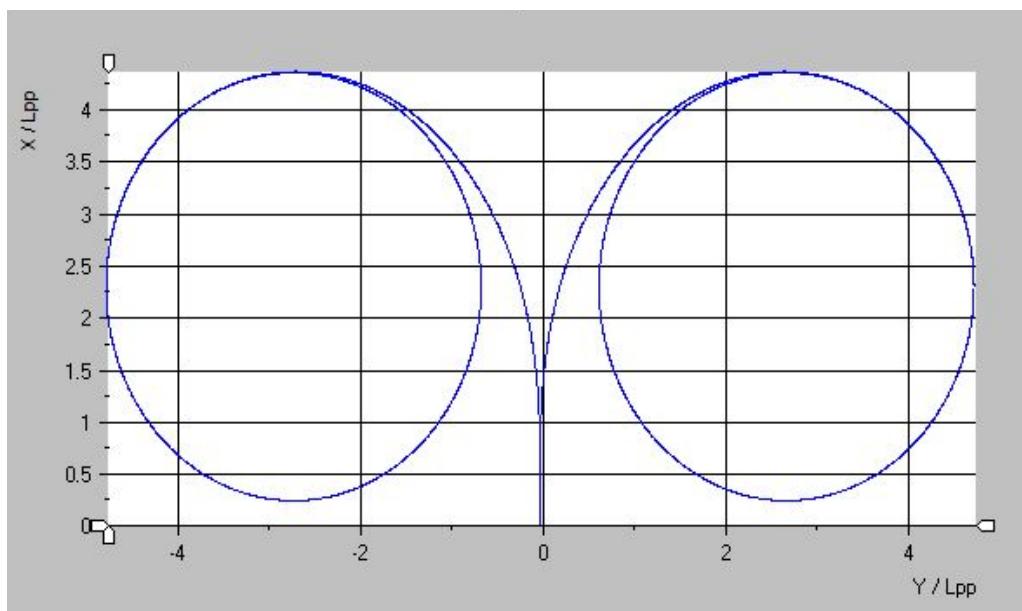


그림 3.11 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn

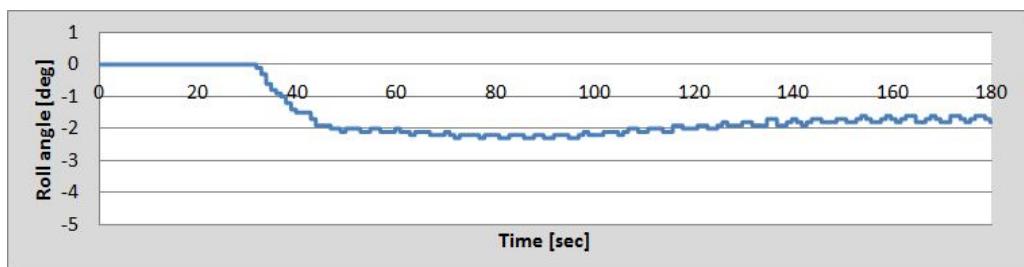


그림 3.12 Time history of roll angle for 35° STBD Turn

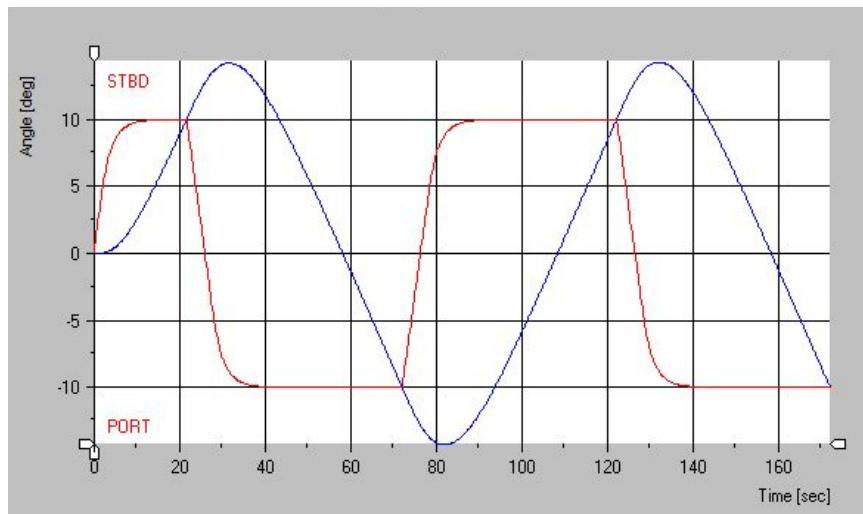


그림 3.13 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag

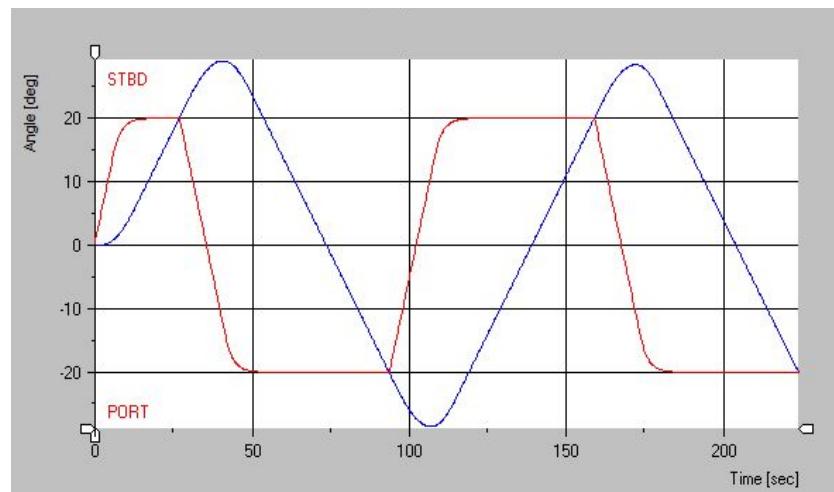


그림 3.14 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag

③ 원유운반선 F

표 3.9 선회 시험 추정 결과

Rudder Angle (°)	Advance (90°) (L_{PP})	Transfer (90°) (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (°)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	3.29	1.78	4.07	11.5	4.6	진입 16.0knots
-35.0	3.29	1.78	4.07	11.5	4.6	

표 3.10 Zig-Zag 시험 추정 결과

	1st Overshoot Angle (°)	2nd Overshoot Angle (°)	3rd Overshoot Angle (°)	비고
10°/10°	2.29	2.38	2.38	진입 16.0knots
20°/20°	4.39	4.02	3.46	

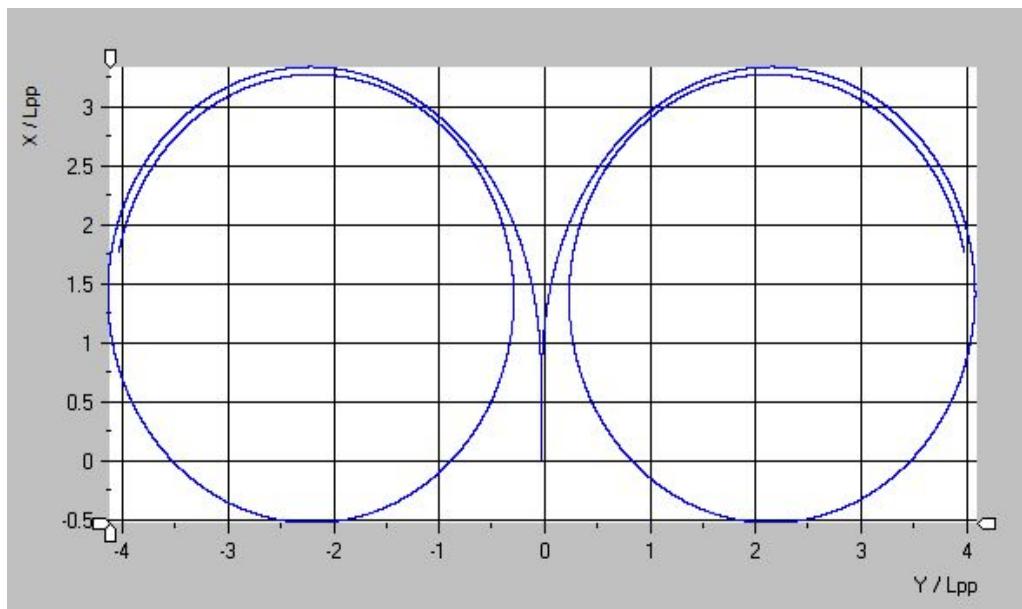


그림 3.15 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn

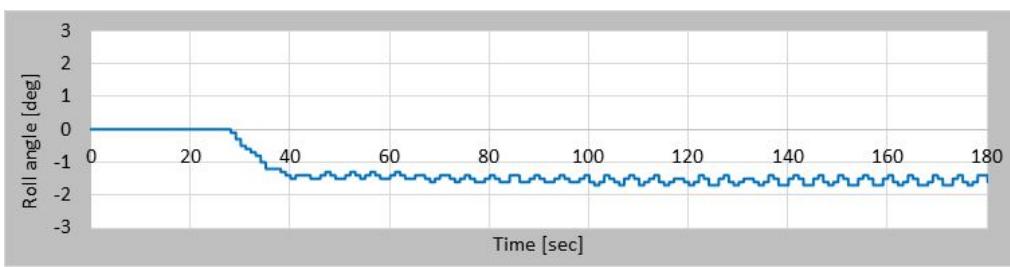


그림 3.16 Time history of roll angle for 35° STBD Turn

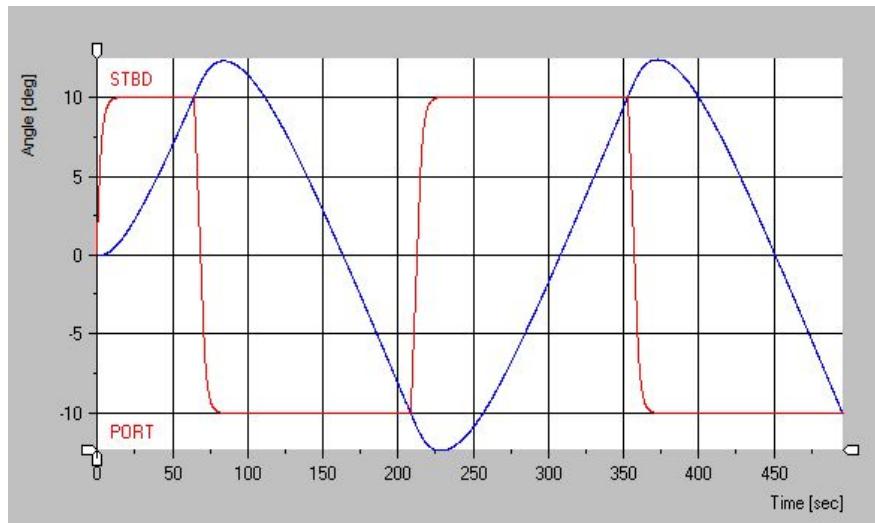


그림 3.17 Time history of heading and rudder Angle for
10/10 Zig-Zag

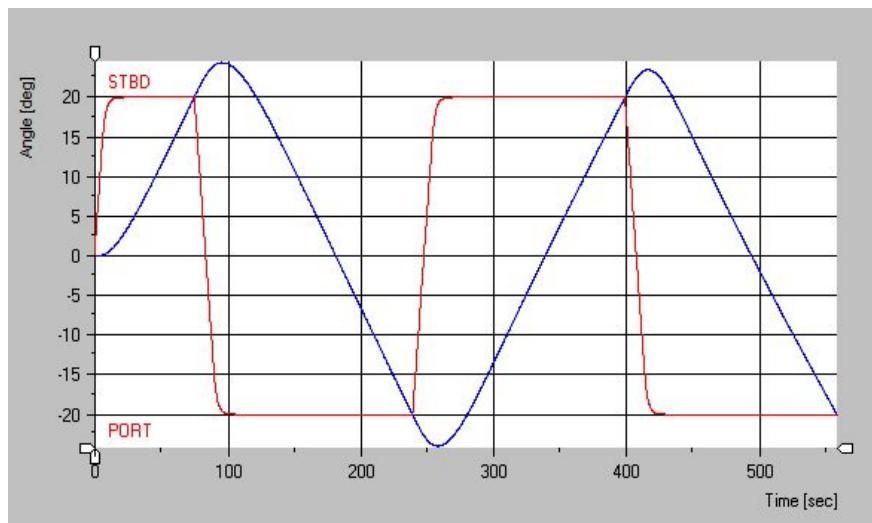


그림 3.18 Time history of heading and rudder Angle for
20/20 Zig-Zag

④ 냉동운반선 H

표 3.11 선회 시험 추정 결과

Rudder Angle (°)	Advance (90°) (L_{PP})	Transfer (90°) (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (°)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	4.84	2.48	5.01	18.9	5.1	진입 13.0knots
-35.0	4.84	2.48	5.01	18.9	5.1	

표 3.12 Zig-Zag 시험 추정 결과

	1st Overshoot Angle (°)	2nd Overshoot Angle (°)	3rd Overshoot Angle (°)	비고
10°/10°	5.91	7.90	7.92	진입 13.0knots
20°/20°	12.00	11.90	11.60	

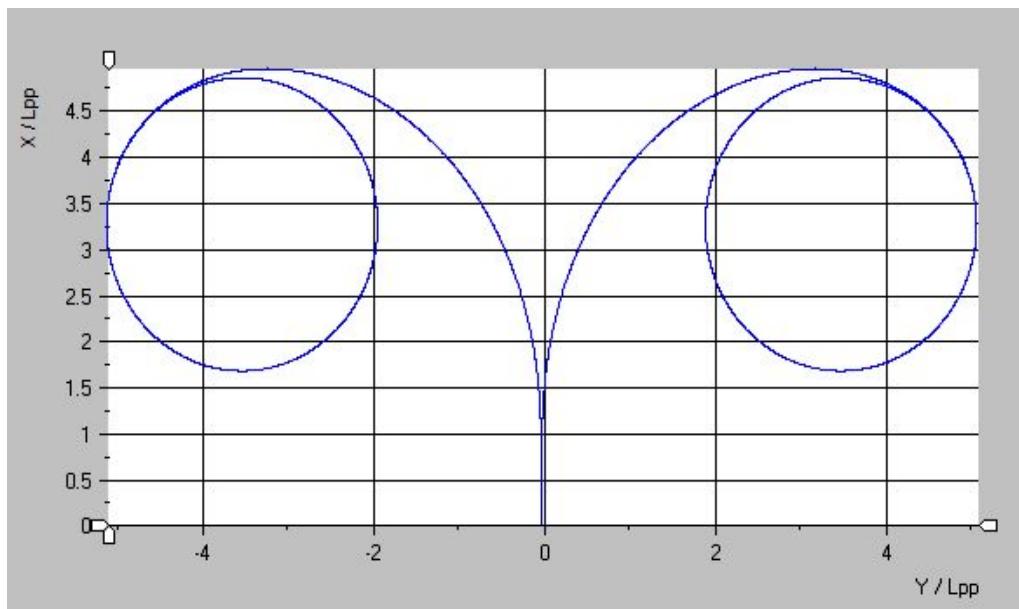


그림 3.19 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn

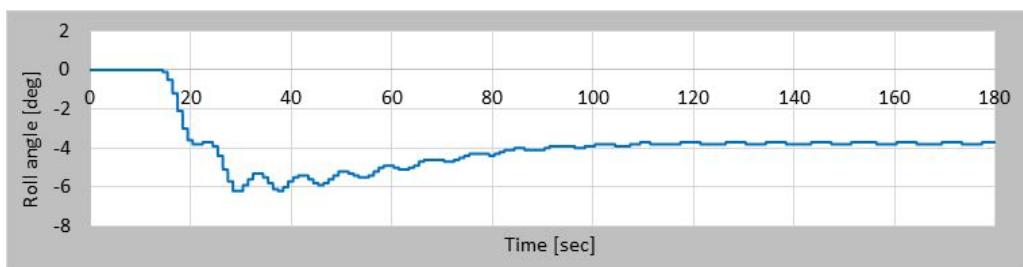


그림 3.20 Time history of roll angle for 35° STBD Turn

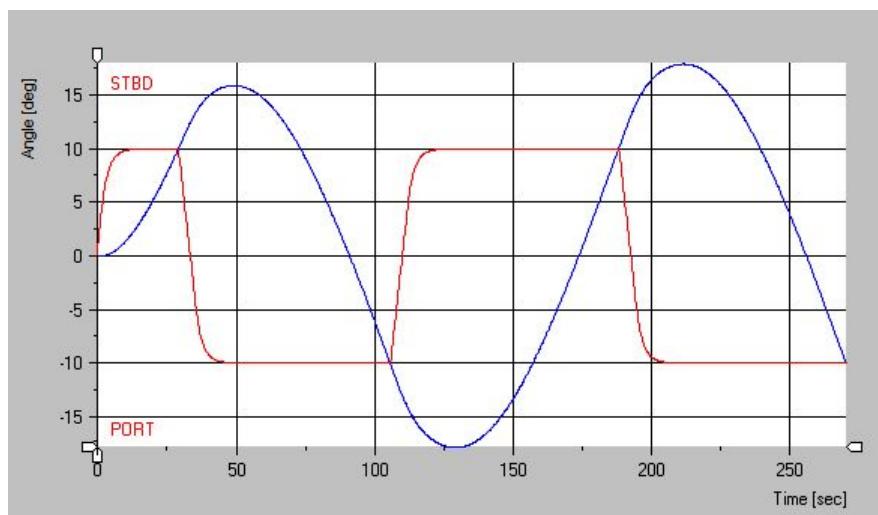


그림 3.21 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag

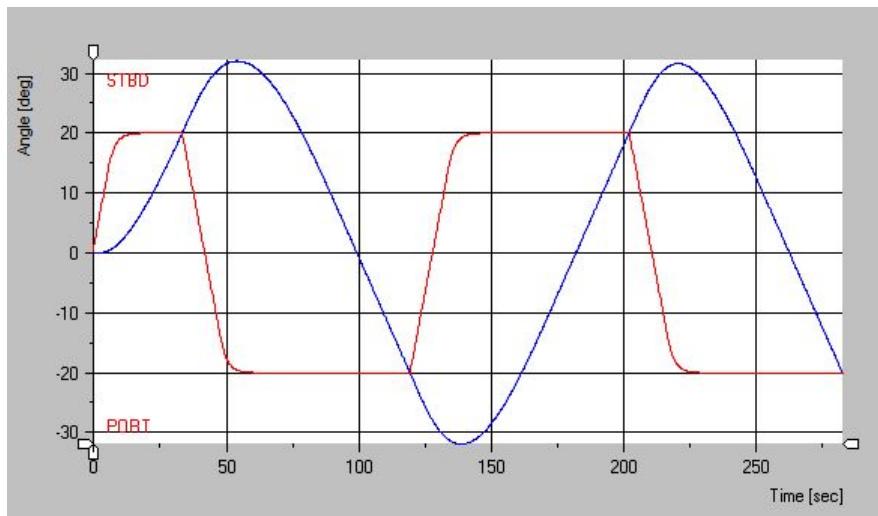


그림 3.22 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag

⑤ 석유제품운반선 V

표 3.13 선회 시험 추정 결과

Rudder Angle (°)	Advance (L_{PP})	Transfer (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (°)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	3.78	1.73	3.92	14.8	4.5	진입 9.0knots
-35.0	3.78	1.73	3.92	14.8	4.5	

표 3.14 Zig-Zag 시험 추정 결과

	1st Overshoot Angle (°)	2nd Overshoot Angle (°)	3rd Overshoot Angle (°)	비고
10°/10°	4.79	5.30	5.07	진입 9.0knots
20°/20°	9.73	8.53	7.85	

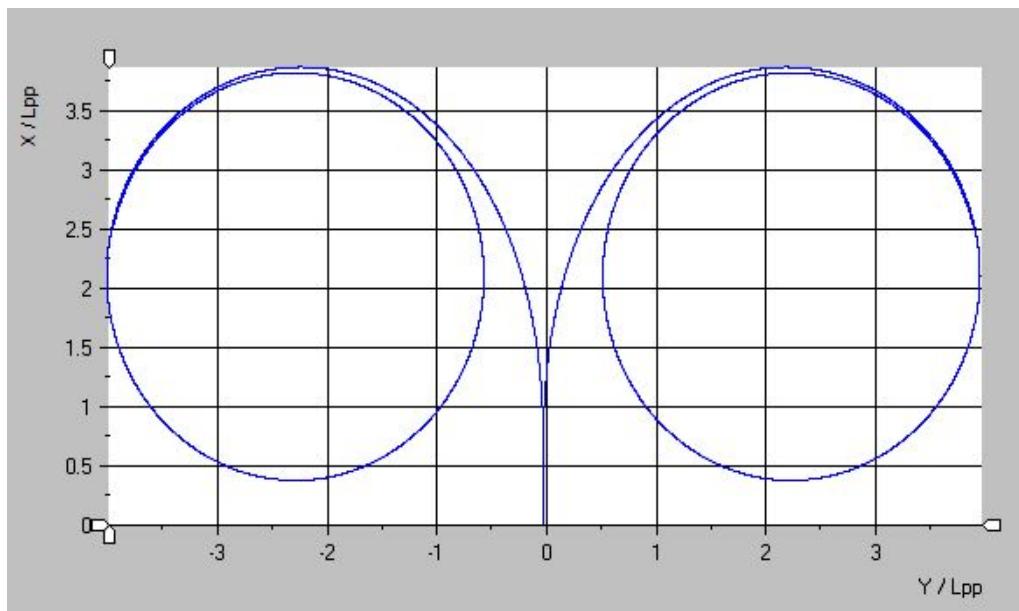


그림 3.23 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn

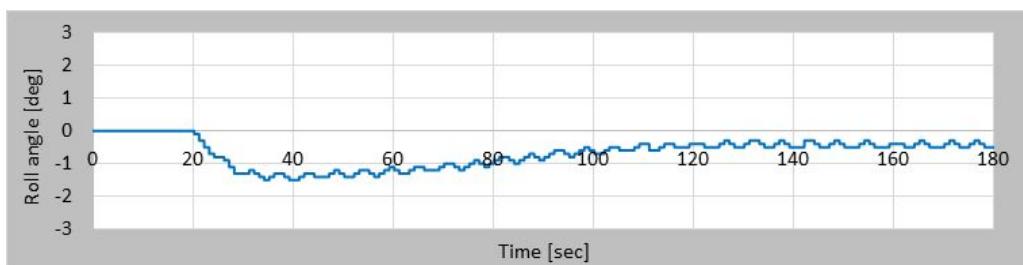


그림 3.24 Time history of roll angle for 35° STBD Turn

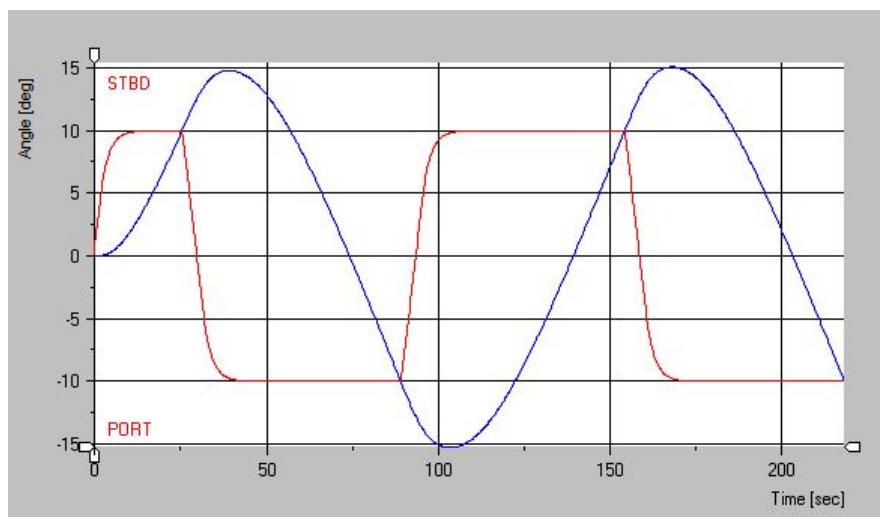


그림 3.25 Time history of heading and rudder Angle for 10/10 Zig-Zag

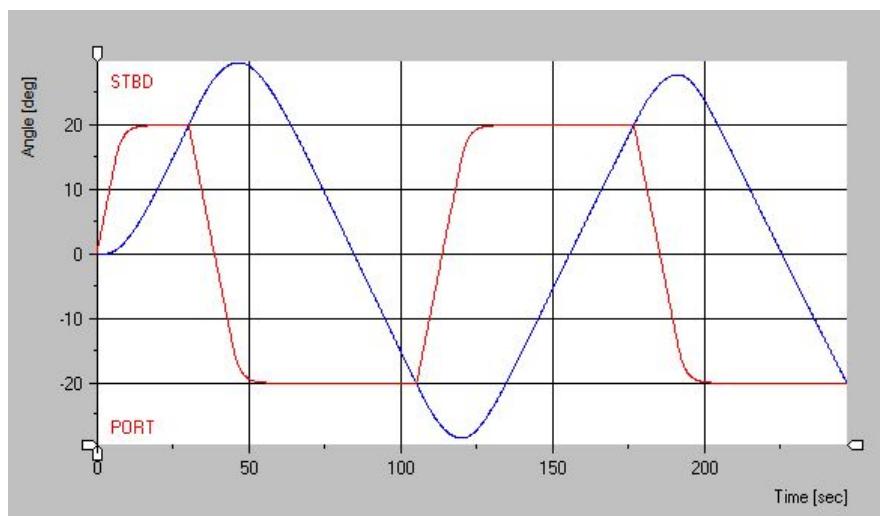


그림 3.26 Time history of heading and rudder Angle for 20/20 Zig-Zag

⑥ 급수선 A

표 3.15 선회 시험 추정 결과

Rudder Angle (°)	Advance (L_{PP})	Transfer (L_{PP})	Tact. Diam. (L_{PP})	Steady Drift Angle (°)	Final Speed (Knots)	비고
35.0	5.13	2.51	5.96	16.3	2.2	
-35.0	5.13	2.51	5.96	16.3	2.2	진입 6.0knots

표 3.16 Zig-Zag 시험 추정 결과

	1st Overshoot Angle (°)	2nd Overshoot Angle (°)	3rd Overshoot Angle (°)	비고
10°/10°	3.09	3.15	3.11	
20°/20°	5.00	4.89	5.02	진입 6.0knots

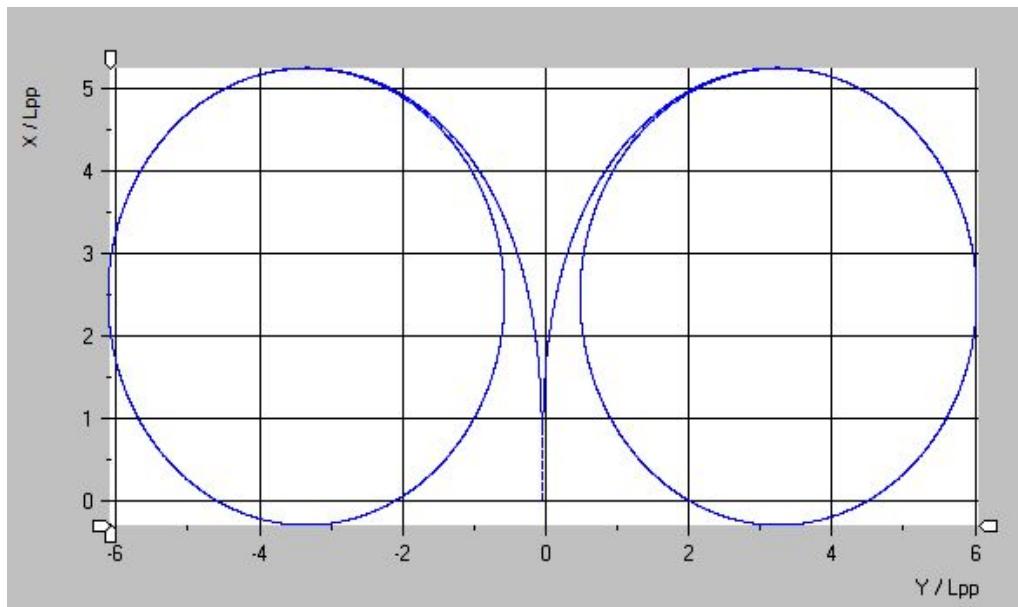


그림 3.27 Turning Trajectory for 35° PORT/STBD Turn

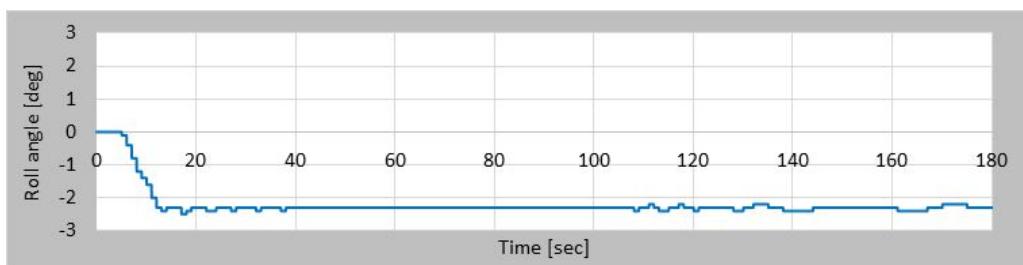


그림 3.28 Time history of roll angle for 35° STBD Turn

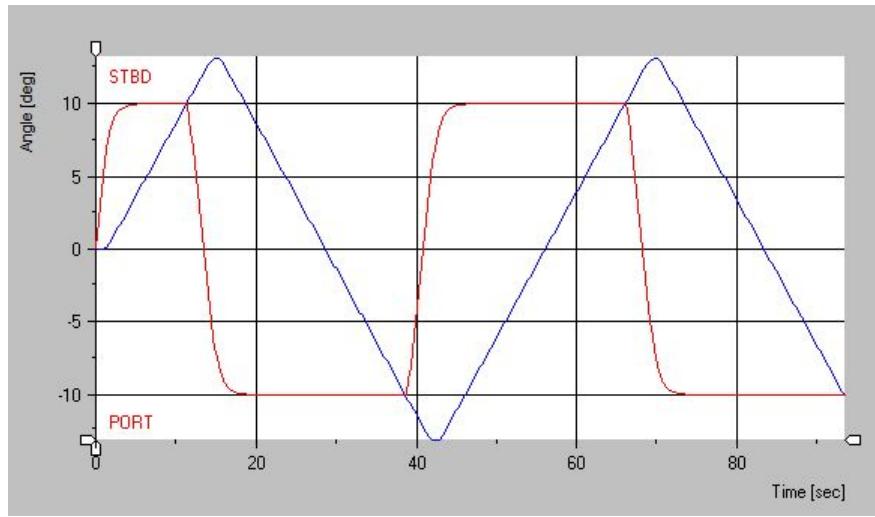


그림 3.29 Time history of heading and rudder Angle for
10/10 Zig-Zag

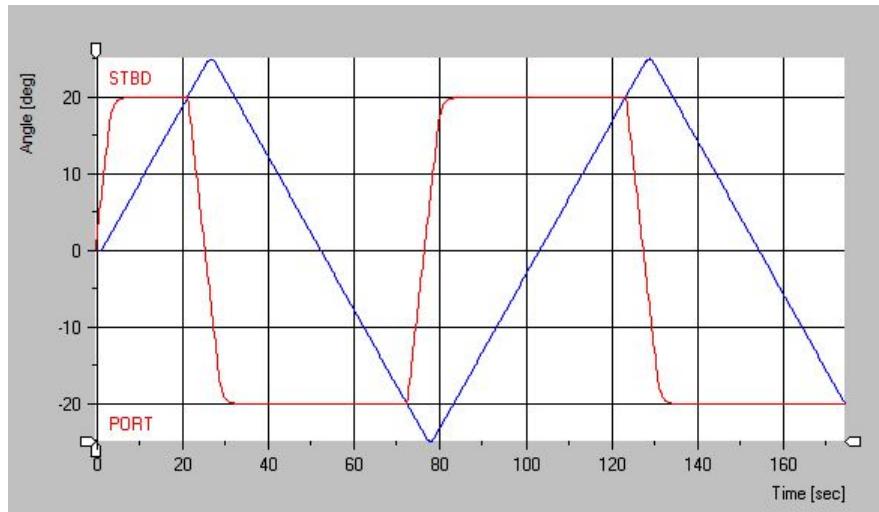


그림 3.30 Time history of heading and rudder Angle for
20/20 Zig-Zag

다. 3차원 데이터 베이스 구축

3건의 선박충돌사고 사례의 3차원 시뮬레이션을 위하여, 해역은 부산항과 인천항에 대한 3차원 DB를 사용하였고, 선박은 각 사고별로 충돌대상선박 2척씩 총 6척의 자선과 근처 항행선박 약 40여척을 3차원 DB로 구축하였다.

1) 1번 사고사례 3차원 모델링

(1) 선박 3차원 모델링 : 제품운반선 2척 외

- “선박충돌사고 사례 1” 의 충돌대상선박인 아스팔트운반선 H선과 제품운반선 N선을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였다

- 아스팔트 운반선 H



그림 3.31 선박충돌사례1의 충돌선박 3차원모델링 : 아스팔트운반선 H

- 제품 운반선 N



그림 3.32 선박충돌사례1의 충돌선박 3차원모델링 : PC N

○ 1번 사고사례 타선박 3차원 모델링: 통영 충돌해역 주변 운항 타선

- 통영 제품운반선 2척의 충돌상황에서 주변에서 운항하고 있던 타선박들의 주요제원은 다음과 같음

표 3.17 선박충돌사례1의 충돌선박 주변 운항 타선박 리스트

번호	선박명	길이	폭	톤수	종류	MMSI	3D DB Name
1	GDF SUEZ NEPTUNE	272	43.4	12.4	LNG	257356000	gdfsuez
2	HANJIN VERACRUZ	161	27.6	14	Container	353290000	hanjin_vera
3	BAO YUN DA	90	16.8	7.3	Cargo Carrier	413371320	baoyunda
4	HAEKUP PACIFIC	70	10.4	4.1	Product Carrier	441184000	haekup_pacific
5	NINGHUA416	86	13.5	5	Product Carrier	477200700	ninghua
6	JANGHOSON	80	14	6.8	Cargo Carrier	515495000	janghosoon
7	ASIA STAR	90	15.8	6.5	Cargo Carrier	529109000	asia_star

- “선박충돌사고 사례 1” 의 충돌상황에서 주변에서 운항하고 있던 주요 타선박들을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음

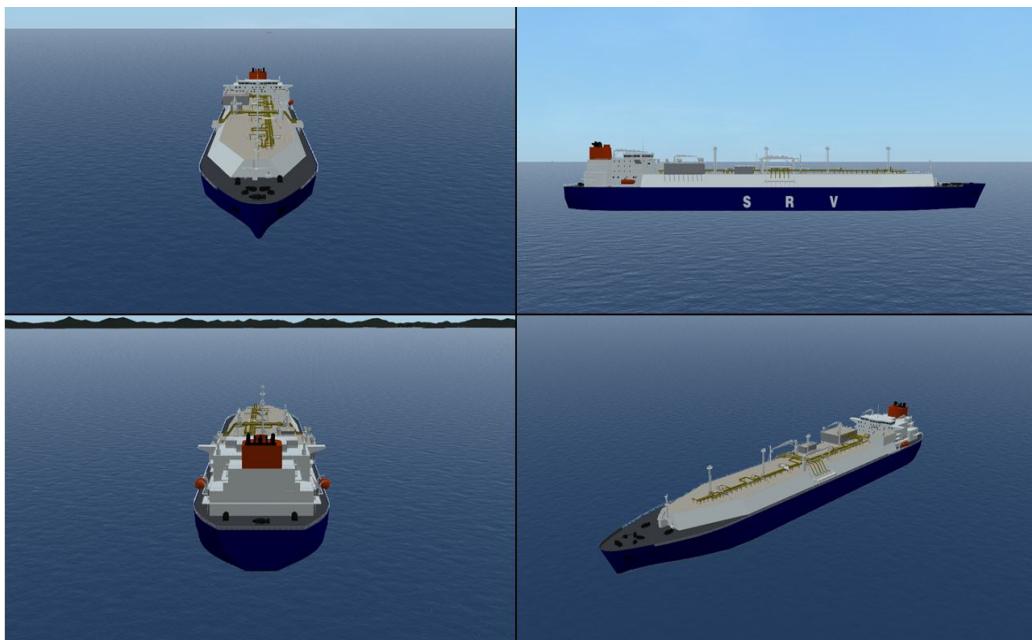


그림 3.33 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 : LNG GDF SUEZ NEPTUNE

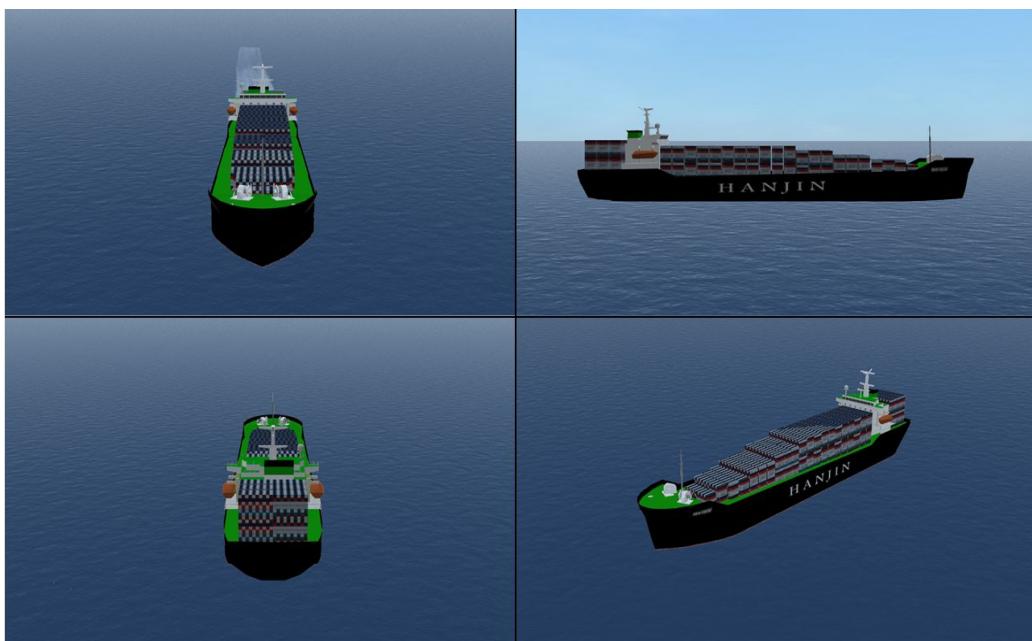


그림 3.34 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Container HANJIN
VERACRUZ

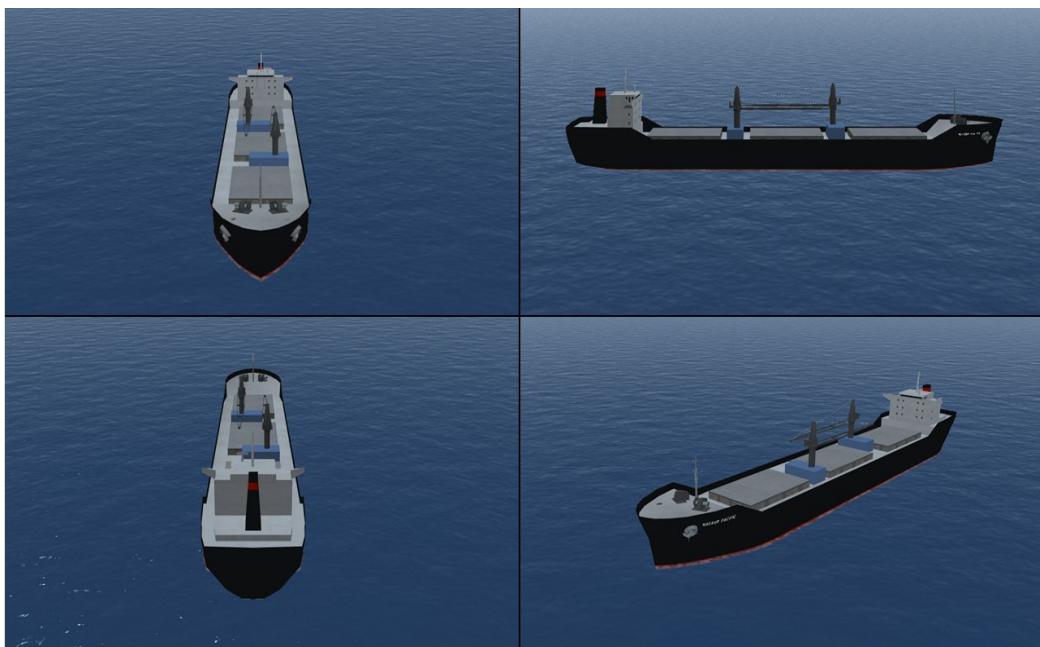


그림 3.35 선박총돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Cargo Carrier BAO YUN DA



그림 3.36 선박총돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Cargo Carrier JANGHOSOON

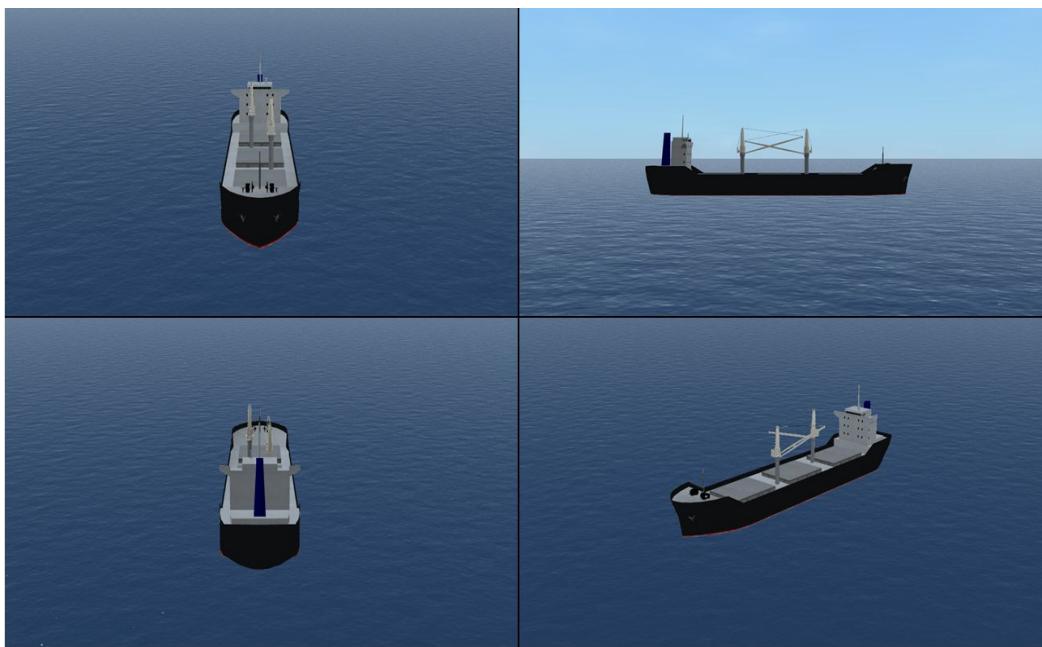


그림 3.37 선박충돌사례1의 타선박 3차원모델링 :Cargo Carrier ASIA STAR

(2) 해역 3차원 모델링 : 통영 해역 및 해상환경 3차원 모델링

- “선박충돌사고 사례 1” 의 충돌대상 해역인 통영 해역 및 해상환경을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음

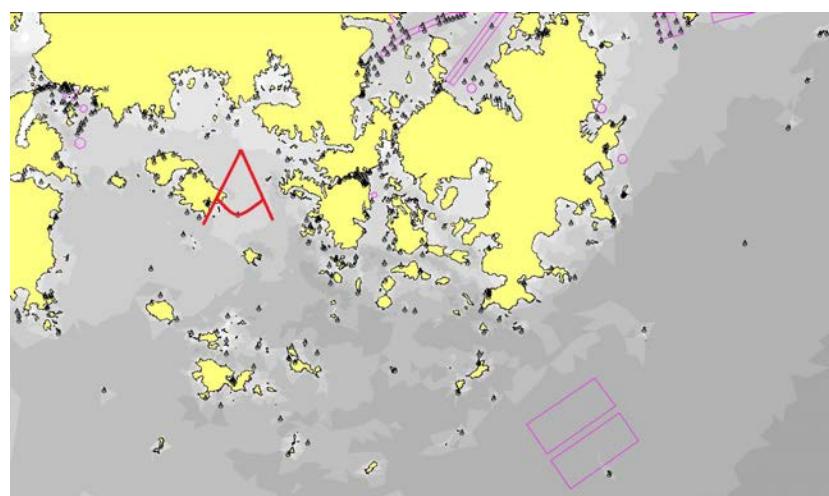


그림 3.38 선박충돌사례1의 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근



그림 3.39 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근 전경뷰



그림 3.40 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근 전경뷰(일몰)



그림 3.41 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 하도 부근 전경뷰(주간)

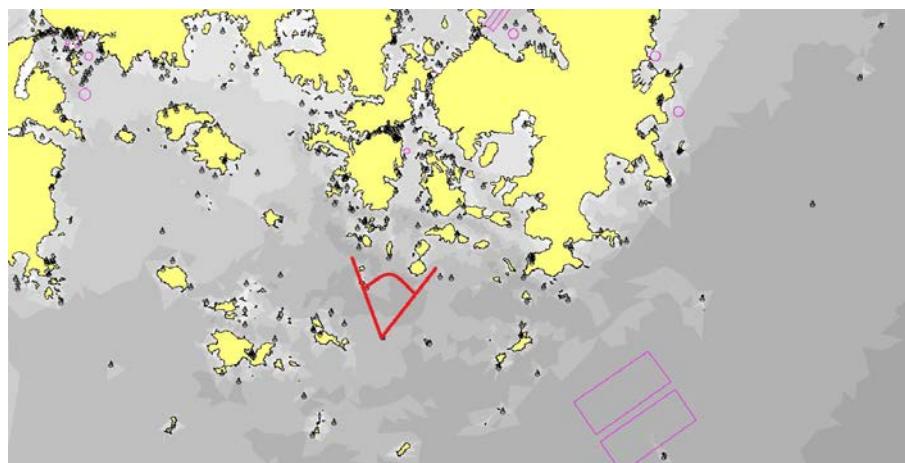


그림 3.42 선박충돌사례1의 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근



그림 3.43 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근
전경뷰



그림 3.44 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근
전경뷰(일몰)



그림 3.45 선박충돌사례1의 3차원 해역 모델링 : 통영 해역 연화도 부근
전경뷰(주간)

2) 2번 사고사례 3차원 모델링

(1) 선박 3차원 모델링 : 원유운반선과 냉동운반선 외

- “선박충돌사고 사례 2” 의 충돌대상선박인 원유운반선 F선과 냉동운반선 H선을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음
 - 원유운반선 F

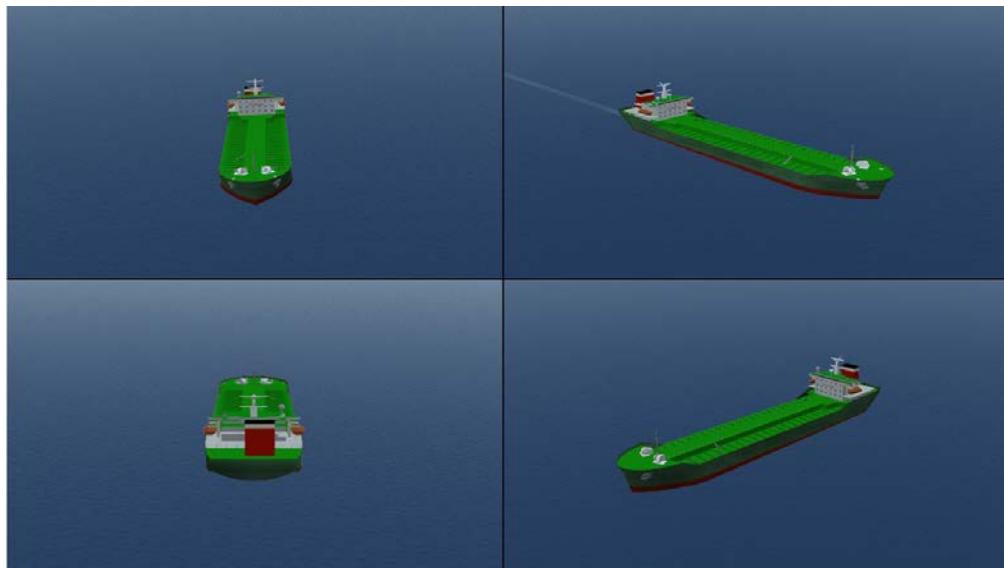


그림 3.46 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 유조선 F

- 냉동 운반선 H

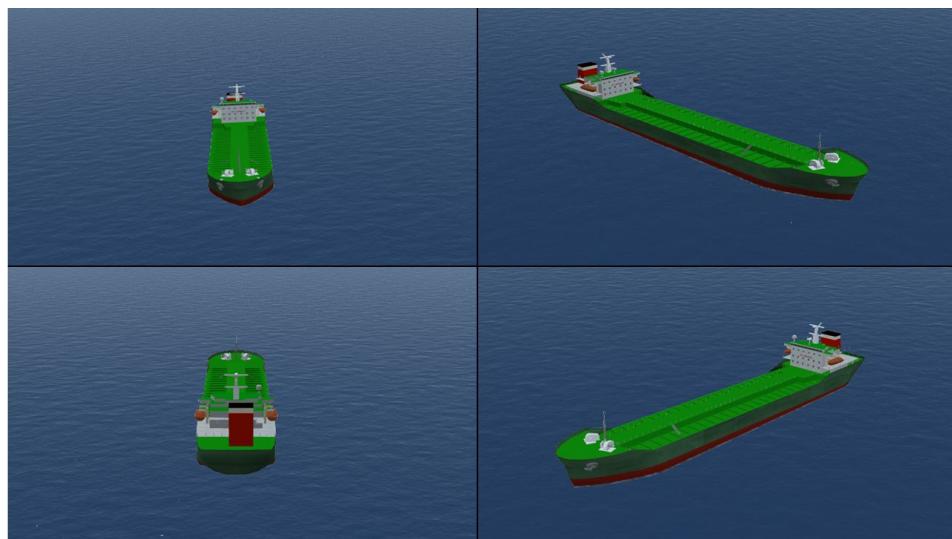


그림 3.47 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 냉동운반선 H

○ 2번 사고사례 타선박 3차원 모델링: 거제 충돌해역 주변 운항 타선

- 거제 원유운반선 및 냉동운반선의 충돌상황에서 주변에서 운항하고 있던 타선박들의 주요제원은 다음과 같음

표 3.18 선박충돌사례2의 충돌선박 주변 운항 타선박 리스트

번호	선박명	길이	폭	噸수	종류	MMSI	3D DB Name
1	105 HYODONG CHEMI	87	14	6.6	Tanker	440033000	jukyeng
2	201SAMYANG	11	32	4	Tug	440127820	Tug
3	AMP DIAMOND	112	19	7.6	Cargo Ship	477746700	chem_5k_b
4	EXPRESS SPAIN	223	32	32	Cargo Ship	248846000	chem_5k_b
5	GAS FORTUNE	95	17	5.5	Tanker	273356760	chem_5k_b
6	HATSUKARI	95	15	6.5	Cargo Ship	273356760	chem_5k_b
7	HEUNG_A VENUS	162	27	9	Cargo Ship	355951000	chem_5k_b
8	HYUN JIN	122	19	7.9	Cargo Ship	441199000	chem_5k_b
9	M T FELICITY	319	60	21.6	Tanker	457020000	chem_5k_b
10	NEW GLOBAL	128	18	9.7	Cargo Ship	529597000	chem_5k_b
11	OCEAN RICH 1	97	16	4.2	Cargo Ship	370989000	chem_5k_b
12	OCEAN STAR	62	13	6.5	Tanker	440150040	osung
13	PATMOS WARRIOR	239	42	14.8	Tanker	241331000	chem_5k_b

- “선박충돌사고 사례 2” 의 충돌상황에서 주변에서 운항하고 있던 주요 타선박들을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음



그림 3.48 선박충돌사례2의 타선박 3차원모델링 :Tanker 105 HYODONG CHEMI



그림 3.49 선박충돌사례2의 타선박 3차원모델링 : Tug 201SAMYANG

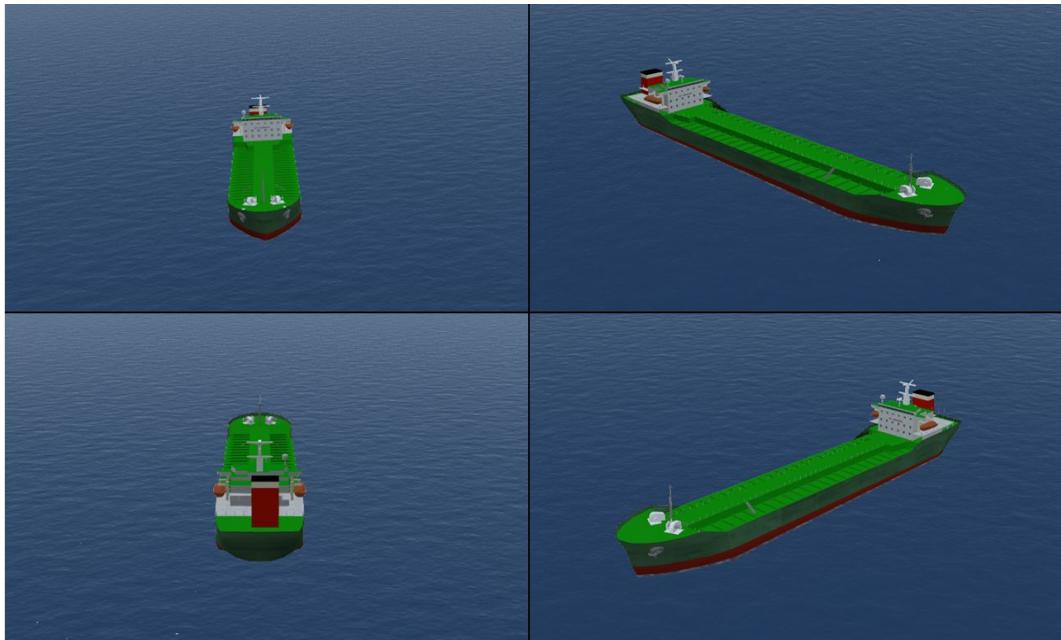


그림 3.50 선박총돌사례2의 타선박 3차원모델링 : Cargo Ship OCEAN RICH 1



그림 3.51 선박총돌사례2의 타선박 3차원모델링 : Tanker OCEAN STAR

2) 해역 3차원 모델링 : 거제 해역 및 해상환경 3차원 모델링

- “선박충돌사고 사례2” 의 충돌대상 해역인 울산신항 해역 및 해상환경을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음

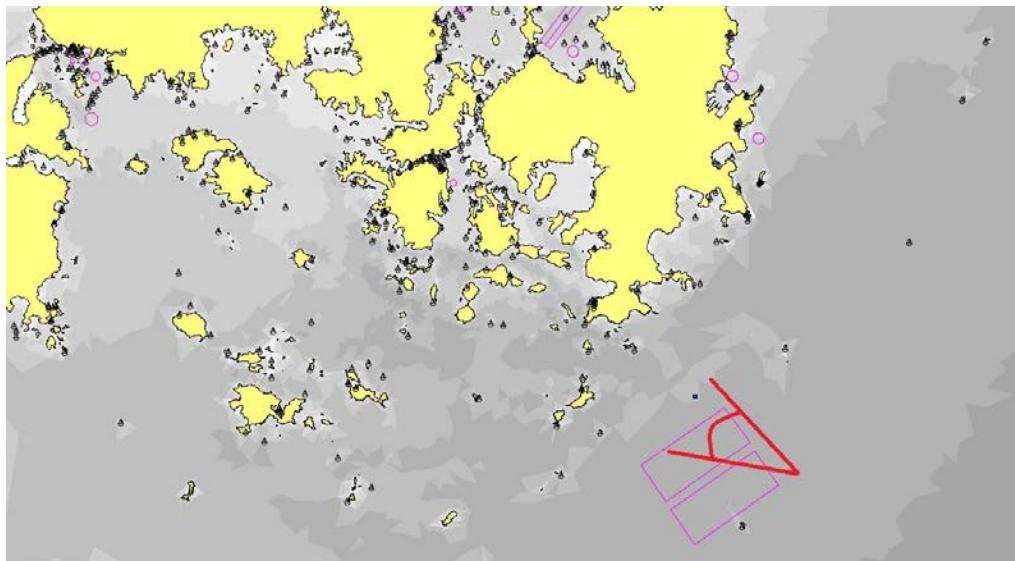


그림 3.52 선박충돌사례2의 해역 모델링 : 매물도 부근



그림 3.53 선박충돌사례2의 3차원 해역 모델링 : 매물도 부근(일출)



그림 3.54 선박충돌사례2의 3차원 해역 모델링 : 매물도 부근(주간)



그림 3.55 선박충돌사례2의 3차원 해역 모델링 : 매물도 부근(일몰)

3) 3번 사고사례 3차원 모델링

(1) 선박 3차원 모델링 : 제품운반선과 급수선 외

- “선박충돌사고 사례 3” 의 충돌대상선박인 제품운반선 V선과 급수선 A선을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음
 - 제품운반선 V



그림 3.56 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 제품운반선 V

- 급수선 A

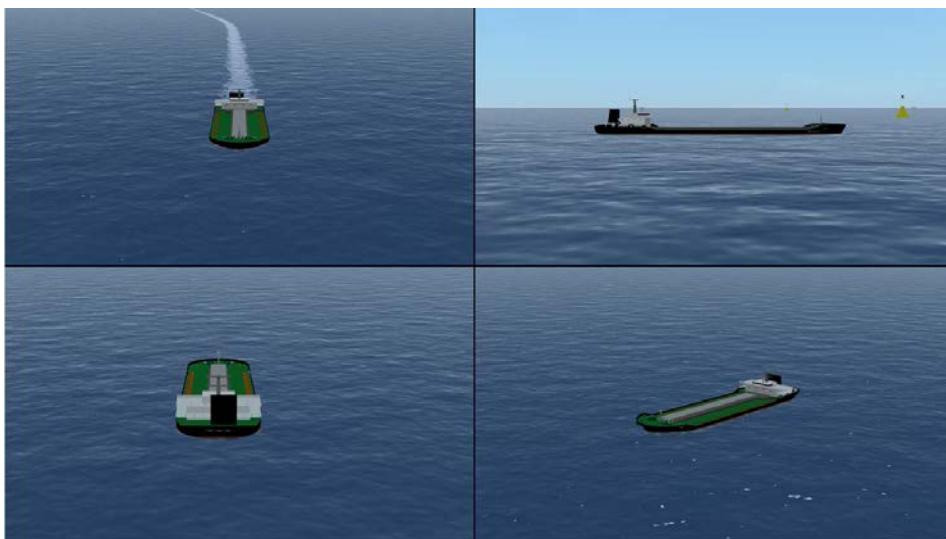


그림 3.57 선박충돌사례2의 충돌선박 3차원모델링 : 급수선 A

○ 3번 사고사례 타선박 3차원 모델링: 울산 충돌해역 주변 운항 타선

- 울산 제품운반선과 급수선의 충돌상황에서 주변에서 운항하고 있던 타선 박들의 주요제원은 다음과 같음

표 3.19 선박충돌사례3의 충돌선박 주변 운항 타선박 리스트

번호	선박명	길이	폭	噸수	종류	MMSI	3D DB Name
1	95 KYUNG JIN	22	4	3.1	기타	440142830	Tug
2	ASEAJE7H0	23	6.2	4	기타	440133030	haeyang
3	ASIA3H0	22	4	2	기타	440102510	Tug
4	BO KWANG HO	20	8	3	기타	440101350	107chungyong
5	CHEMBULK NEW ORLEANS	174	28	8	Tanker	563952000	chem_5k_b
6	CHO KWANG NO.9	23	8	2	Tugs	441117260	Tug
7	CRIMSON GAS1	98	16	7	Tanker	566534000	chem_5k_b
8	EUNSUNGHO	34	9.8	2	기타	440143400	Tug
9	FC VICTORY	88	14	5	Tanker	440144200	Jukyeng
10	GRACE SAMBU	87	14	7	Tanker	440845000	Jukyeng
11	HAE KANG NO.9	26	10	3.1	Tugs	440118290	Tug
12	HAKUSEI MARU NO.37	72	12	4.5	Tanker	432255000	oseung
13	JUPITER	29	9	4	기타	440142600	Tug
14	NO.2 YEOSU PIONEER	69	11	4	Tanker	441852000	oseung
15	NORDIC RIVER	180	29	18.2	Tanker	372721000	chem_5k_b
16	SAM WON SHIN	47	6	3.9	Tanker	440103690	osung
17	SAMWON	74	21	2.8	Tanker	440106310	oseung
18	SUN JIN 101H0	35	9	3.8	Tugs	440145800	Tug
19	SUNJIN NO.1	28	9	3.8	Tugs	440127990	Tug
20	ULSANPILOT3	14	5	2	기타	-	3bvsantaejongfi

- “선박충돌사고 사례 2” 의 충돌상황에서 주변에서 운항하고 있던 주요 타선박들을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음

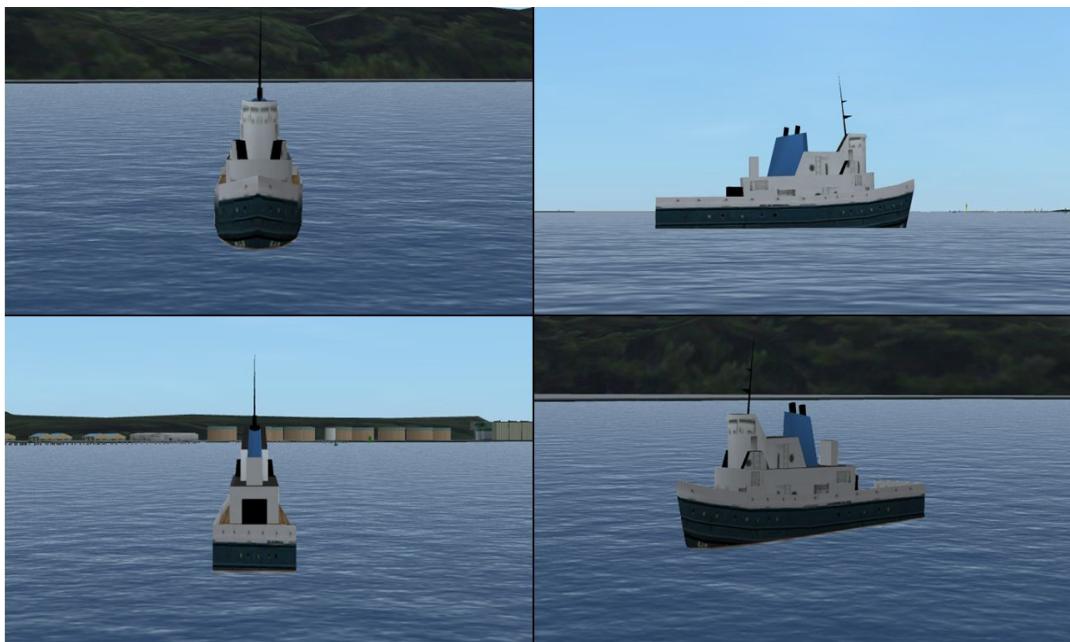


그림 3.58 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 :95 KYUNG JIN



그림 3.59 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 :BO WANG HO



그림 3.60 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 :Tanker GRACE SAMBU

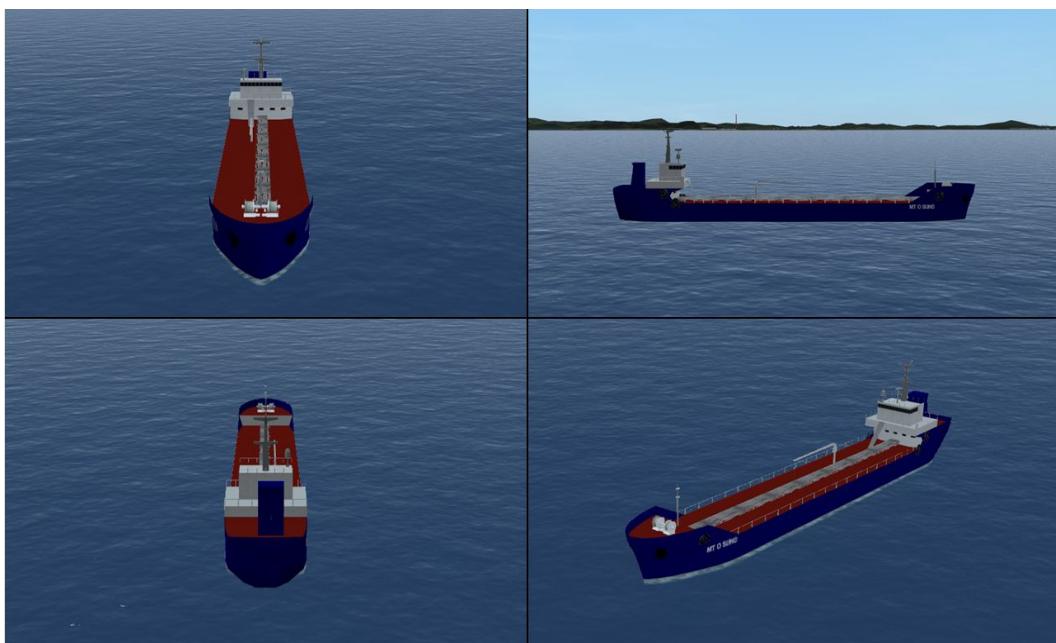


그림 3.61 선박충돌사례3의 타선박 3차원모델링 : Tanker SAM WON SHIN

(2) 해역 3차원 모델링 : 울산신항 해역 및 해상환경 3차원 모델링

- “선박충돌사고 사례3”의 충돌대상 해역인 울산신항 해역 및 해상환경을 다음과 같이 3차원 모델링하여 데이터베이스로 구축하였음

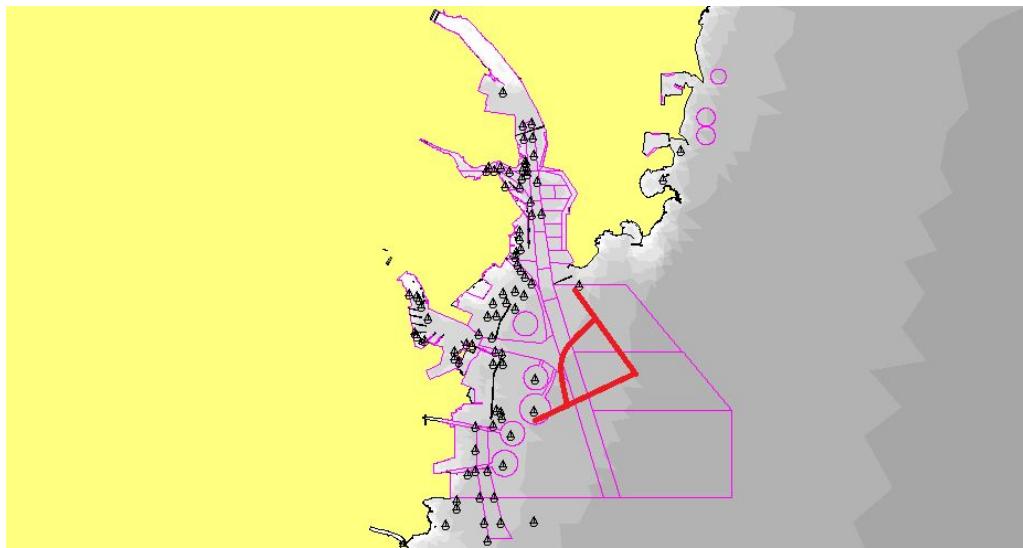


그림 3.62 선박충돌사례3의 해역 모델링 : 울산신항 부근



그림 3.63 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(주간)



그림 3.64 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(일출)



그림 3.65 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(야간)

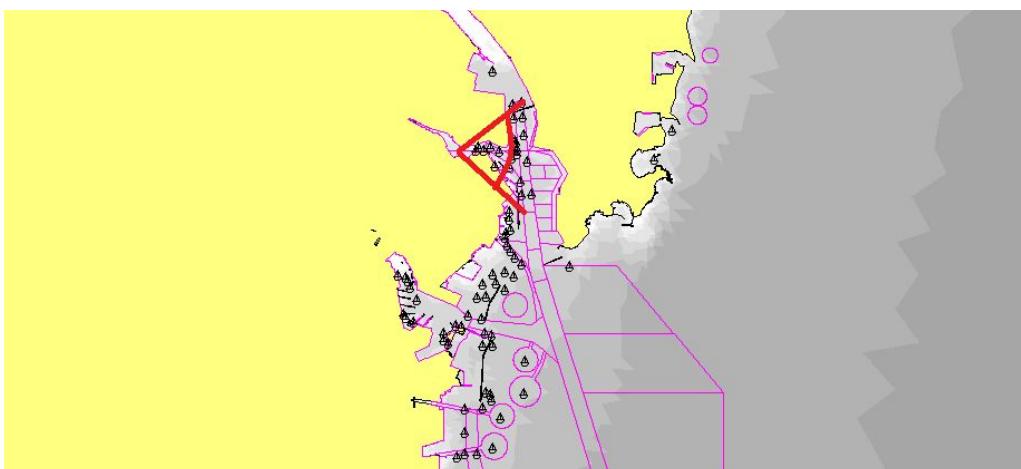


그림 3.66 선박충돌사례3의 해역 모델링 : 울산신항 부근



그림 3.67 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물)



그림 3.68 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물 야간)



그림 3.69 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물 주간)



그림 3.70 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(건물 일몰)

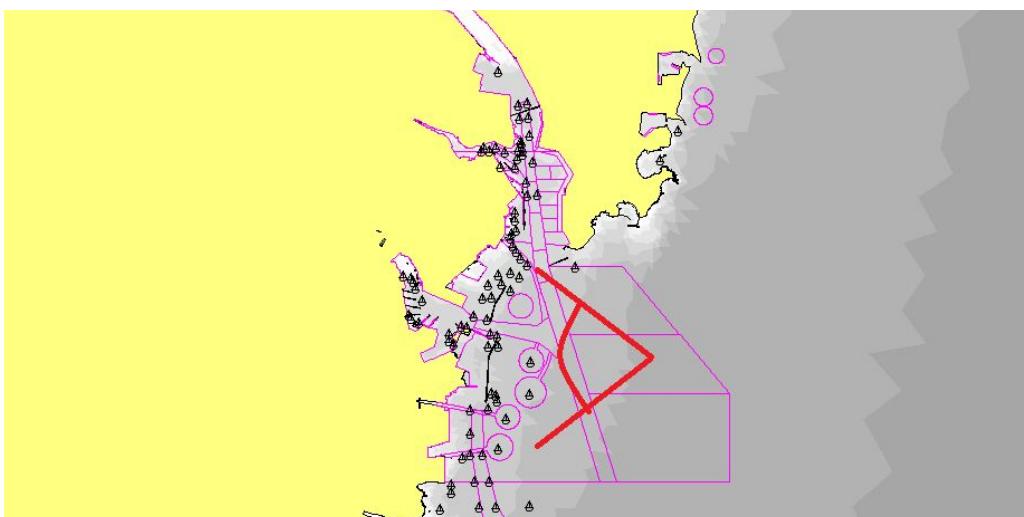


그림 3.71 선박충돌사례3의 해역 모델링 : 울산신항 부근



그림 3.72 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(주간전경)



그림 3.73 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(일몰 전경)



그림 3.74 선박충돌사례3의 3차원 해역 모델링 : 울산신항 부근(야간 전경)

3.2.2 선박충돌 재현용 이동형 단말기 시험품의 구축

- 2년도에 구축한 듀얼모니터 형태의 이동형 단말기를 3차년도에도 동일하게 구성하여 사용하였고, 다음과 같은 주요 기능을 포함함.



그림. 3.75 선박충돌사고 재현을 위한 2차원–3차원 동시 전시용 이동형 단말기

- 2차원 및 3차원 가시화 프로그램을 동시에 작동하여야 하므로, Dual Intel Xeon 이상의 프로세서가 포함되어야 함
- 2차원 및 3차원 가시화 프로그램을 원활하게 운용하기 위해, 20인치 이상의 듀얼모니터가 장착되어 있어야 하며, 휴대를 위해 접이식이어야 함

- 선박충돌재현용 2차원 및 3차원 동시 전시용 이동형 단말기로 MegaPAC L2 고성능 단말기를 선정하였고, 주요사양은 다음과 같음

Models	MegaPAC X500L2 (Xeon Server)	MegaPAC S500L2 (Core i7)
Dimensions/ Weight	15.12" x 23.11" x 9.02" (H x W x D) / 75 Lbs	
Display	2x 23", 16:9 Display	
CPU	Dual Intel® Xeon® E5-2697 v2 Ivy Bridge-EP 2.7GHz 12-Core Server Processor	Intel® Core™ i7-4960X Ivy Bridge-E 3.6GHz (Turbo 4GHz) Six-Core Desktop Processor
Memory	1TB DDR3 ECC LRDIMM 512GB DDR3 ECC RDIMM	64GB 2800MHz DDR3 Non-ECC Unbuffered
VGA	Option 1: GeForce GTX 780 Graphics Option 2: Up to Nvidia Quadro K6000	
Slots	Up to 7 PCI-e Slots	
Brightness/ Contrast	300 cd/m2 brightness / 1000:1 contrast	
SATA	2x SATA 6.0Gb/s 6x SATA 3.0Gb/s	6x SATA 6.0Gb/s 4x SATA 3.0Gb/s
USB	4x USB 3.0 (2 Rear + 2 Header) 7x USB 2.0 (4 Rear + 2 header + 1 Type A)	6x USB 3.0 4x USB 2.0 (4 Rear)
LAN	2x Gigabit Ethernet LAN port	1x Gigabit Ethernet LAN port
Power	1250W, 115~230VAC, 47/63 Hz	
O/S	Windows 7 Pro 64-bit	

그림. 3.76 2차원–3차원 동시 전시용 이동형 단말기 주요사양

<이동형 단말기 시험품을 이용한 2차원-3차원 전시기 구성>

- 듀얼모니터 형태의 이동형 단말기에 선박충돌위험도 및 회피가능성평가가 가능한 선박충돌재현 프로그램 및 3차원 가시화 프로그램을 동시에 설치하여 구성하였음. 조이스틱을 신형으로 교체하였고, 다음과 같이 구축하여, 정상 작동함을 확인하였음.



그림. 3.77 선박충돌사고 재현을 위한 2차원-3차원
프로그램이 작동중인 이동형단말기

3.2.3 선박충돌사고 재생 시뮬레이션 및 회피가능성 평가 결과

- 선박 충돌 사고 재현을 통하여 회피가능성 평가를 위하여, 전자해도 기반 2 차원 선박충돌재현 SW 및 3차원 가시화 SW를 이동형 단말기 시험품에 구현 하였고, 선박충돌 재현 시뮬레이션 및 회피 시뮬레이션을 수행하고자 함.
- 2차원-3차원 연동을 통한 선박충돌 재현 시뮬레이션을 수행함
 - 선박충돌사고 사례에 포함된 3차원 해역 DB 및 선박 DB를 구축함.

① 사고사례 I : 통영 아스팔트운반선 H선과 제품운반선 N선간 충돌사고
 → 2차원-3차원 연동 기반 사고 재현 시뮬레이션
 → 2차원-3차원 연동 및 조종모델 기반 회피 시뮬레이션 수행

② 사고사례 II : 거제 유조선 F선과 냉동운반선 H선간 충돌사고
 → 2차원-3차원 연동 기반 사고 재현 시뮬레이션
 → 2차원-3차원 연동 및 조종모델 기반 회피 시뮬레이션 수행

③ 사고사례 III : 울산신항 제품운반선 V선과 급수선 A선간 충돌사고
 → 2차원-3차원 연동 기반 사고 재현 시뮬레이션
 → 2차원-3차원 연동 및 조종모델 기반 회피 시뮬레이션 수행
- 2차원 선박충돌재현 프로그램 및 3차원 가시화 프로그램이 함께 구현된 이동 형 단말기에 엔진/조타 조작을 위한 신형 조타휠 조이스틱을 연결하여, 다음과 같이 조종모델 기반 시뮬레이션을 수행하였음.
 - 선박 충돌사고 재현시에는 엔진/조타 조작을 하지 않고, 사고상황 그대로 재생하였음.
 - 선박 충돌사고 재현시 회피 시뮬레이션에서는 항해 경력(2급, 2년 이상)이 있는 항 해사가 엔진/조타 조작을 수행하였고, 실시간 조종운동 계산모듈과 연동하여 시뮬 레이션을 수행함.



그림 3.78 2차원-3차원 연동 및 조종모델 기반 선박충돌 사고상황
재현시 회피 시뮬레이션 장면

1) 선박 충돌사고 사례 I : 통영 아스팔트운반선 H선과 제품운반선 N선 간 충돌사고

○ 시뮬레이션 시나리오

- 2차원 및 3차원 선박 충돌 재현 프로그램이 설치된 이동형 단말기를 사용하여, 재현 시뮬레이션 및 회피 시뮬레이션을 수행함.
- 본 충돌사고데이터를 그대로 재현하는 재생 시뮬레이션에서는 충돌 위험도 평가를 함께 진행하였는데, 자선기준 충돌위험도와 관제 기준 충돌위험도를 살펴보았음. 2척의 충돌선박 중 1척을 자선으로 설정한 회피 시뮬레이션은 회피기동시점을 달리한 2조건을 포함 총 4개의 시뮬레이션을 수행함.

표 3.20 선박충돌사고사례-I 의 시뮬레이션 시나리오

No	내용	시나리오		비고
		아스팔트 운반선 H선	제품운반선 N선	
HN100	선박충돌사고 재현 (위험도 평가)	사고상황 재현 (개별위험도 : VTS관점)		사고 데이터 그대로 재현
HN101		H자선기준 위험도	-	
HN200		-	N자선기준 위 험도	
HN110	피항선(H선) 회피	회피기동 (10분전~)	사고상황 데이터	피항선 기준 회피 가능
HN130		회피기동 (2분전~)		
HN220	유지선(N선) 회피	사고상황 데이터	회피기동 (5분전~)	유지선 기준 회피 가능
HN230			회피기동 (2분전~)	

1-1) 선박 충돌사고 사례 I (HN100 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

☞ H선과 N선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생시뮬레이션 결과임

☞ VTS 관제소 기준 개별 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (21:11:10)

- 아스팔트운반선 H선 : 피항선이나, 피항동작이 늦음.

- 제품운반선 N선 : 침로유지선이나, 좌현회피를 시도함.

☞ 근처에 10여척의 선박이 있으나, 두척의 개별위험도가 표시되고 있음. 좌현회피를 시도중인 N선이 상대적으로 충돌주의가 요구되는 선박으로 표시됨.

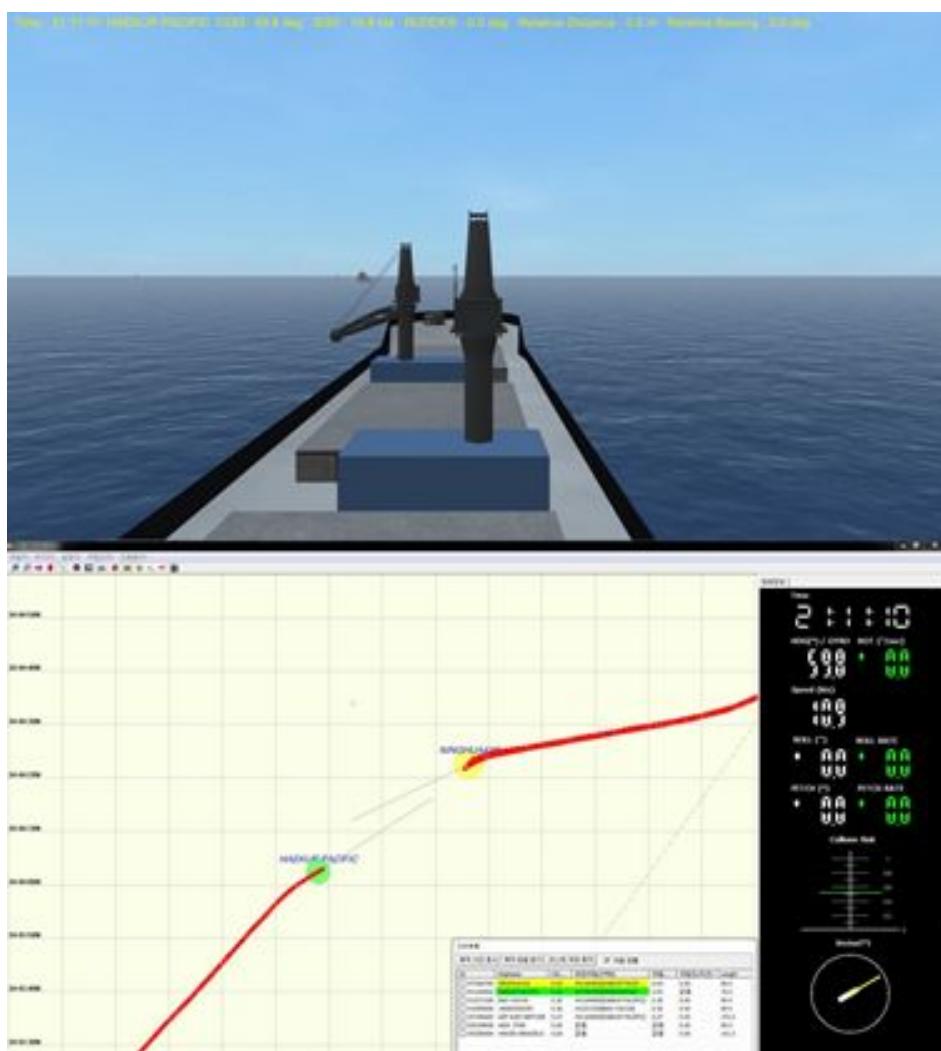


그림 3.79 선박충돌사고 재현(사고사례 I HN100: H선 시점)

: 사고 2분 전(21:11:10)

☞ 원래 야간이나, 충돌선간 위치 파악이 용이하도록 주간으로 캡쳐함 (이하 생략함)

② 사고 직전 (21:12:50)

- 아스팔트운반선 H선 : 피항선으로 우현회피를 지속함.
- 제품운반선 N선 : 침로유지선이나, 좌현회피를 지속함.
 - ☞ 근처에 10여척의 선박이 있으나, 두척의 개별위험도가 충돌 임박(적색)으로 표시됨.

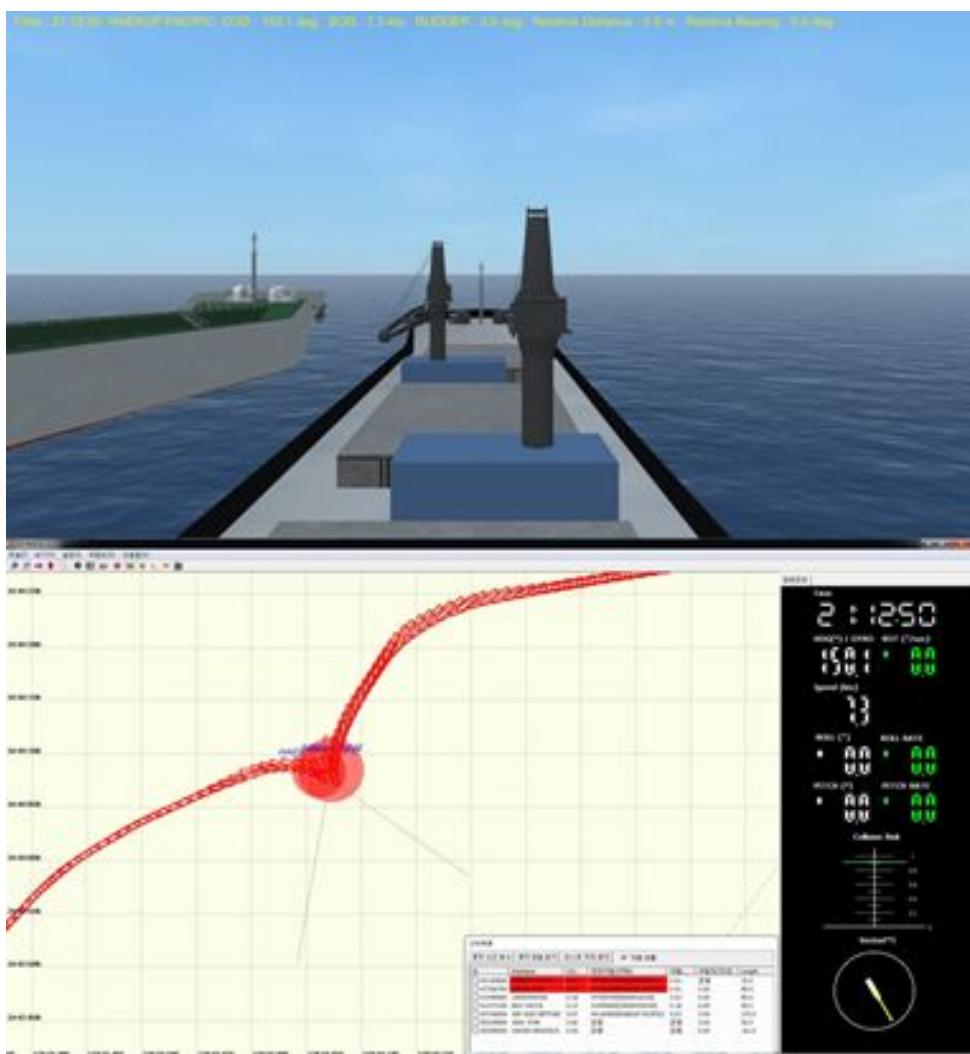


그림 3.80 선박충돌사고 재현(사고사례 I HN100: H선 시점)

: 사고 직전(21:12:50)

1-2) 선박 충돌사고 사례 I (HN101 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

- ☞ H선과 N선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생시뮬레이션 결과임.
- ☞ 피항선(H선) 자선기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (21:11:31)

- 아스팔트운반선 H선 : 피항선이나, 피항동작이 늦었음.
 - ☞ 우현이 안전하다고 표시됨.
- 제품운반선 N선 : 침로유지선이나, 좌현회피를 시도함
 - ☞ 침로유지선으로 충돌주의(황색)가 표시됨.

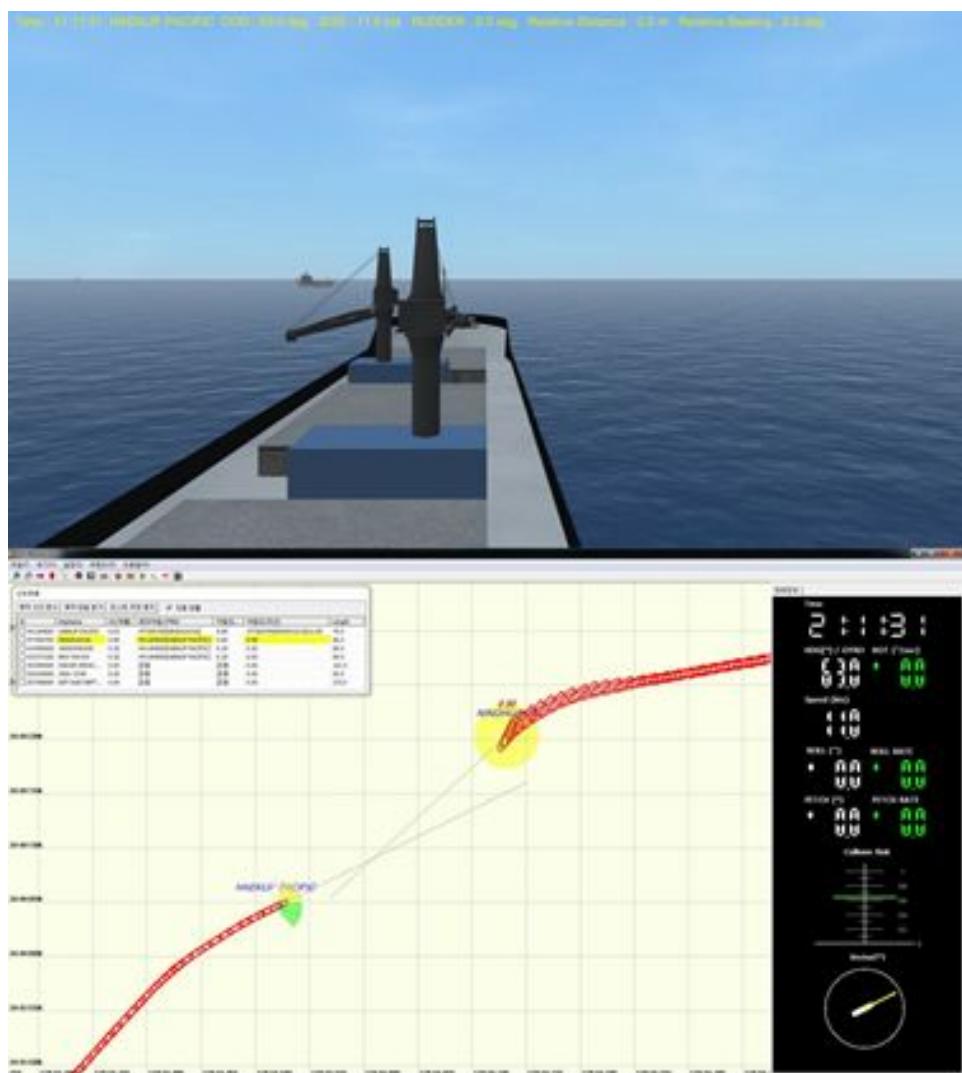


그림 3.81 선박충돌사고 재현(사고사례 I HN101: H선 기준 위험도)
: 사고 2분 전(21:11:31)

② 사고 직전 (21:12:27)

- 아스팔트운반선 H선 : 피항선으로 우현회피를 지속함.
 - ☞ 적색으로 충돌 임박하였음이 표시됨.
- 제품운반선 N선 : 침로유지선이나, 좌현회피를 지속함.
 - ☞ 적색으로 충돌 임박하였음이 표시됨.

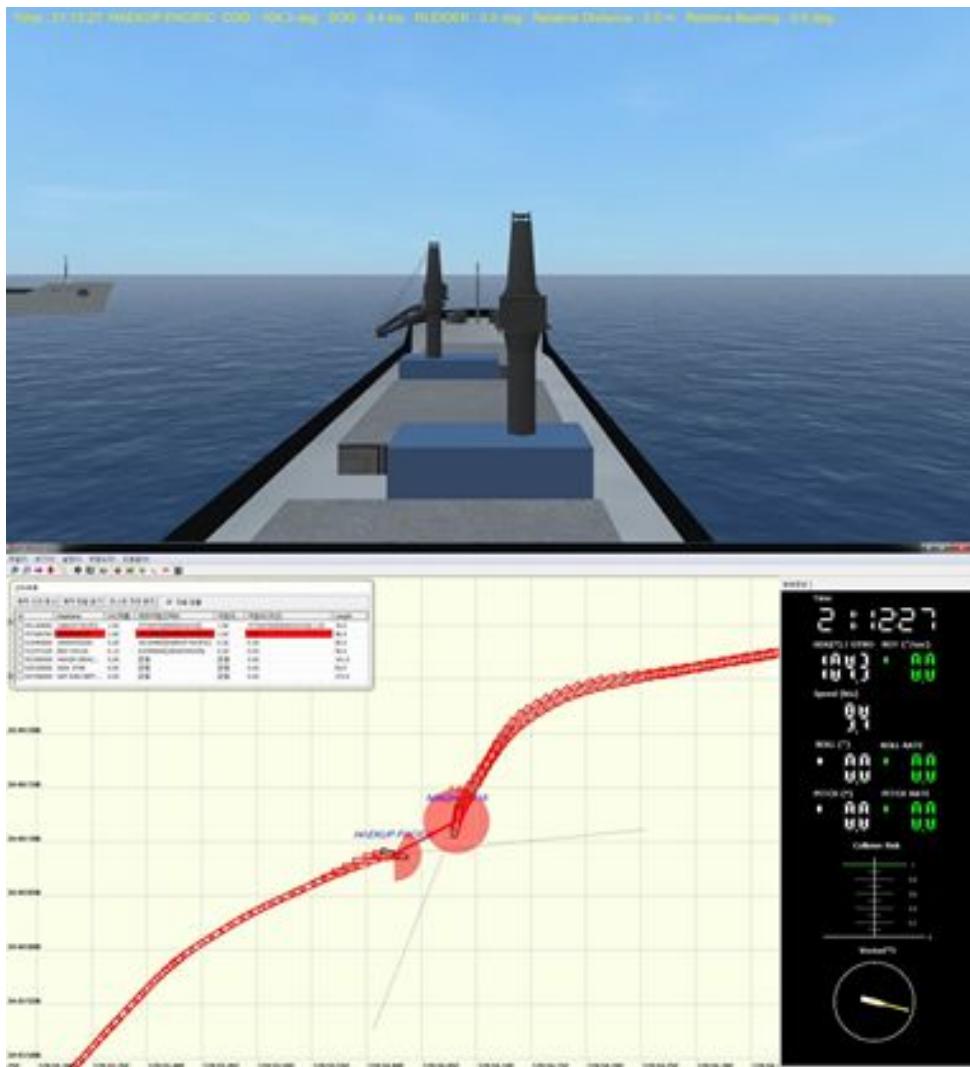


그림 3.82 선박충돌사고 재현(사고사례 | HN101: H선 기준 위험도)
: 사고 직전(21:12:27)

1-3) 선박 충돌사고 사례 I (HN200 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

- ☞ H선과 N선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생시뮬레이션 결과임.
- ☞ 침로유지선(N선) 자선기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 3분 전 (21:10:29)

- 아스팔트운반선 H선 : 피항선(H)에 N선 기준 위험도가 충돌주의(황색)로 표시됨에도 불구하고, 실제사고상황에서 H선은 침로를 유지함.
- 제품운반선 N선 : 침로유지선으로 N선의 방향별 위험도에서 전방 충돌주의(황색)로 표시됨.

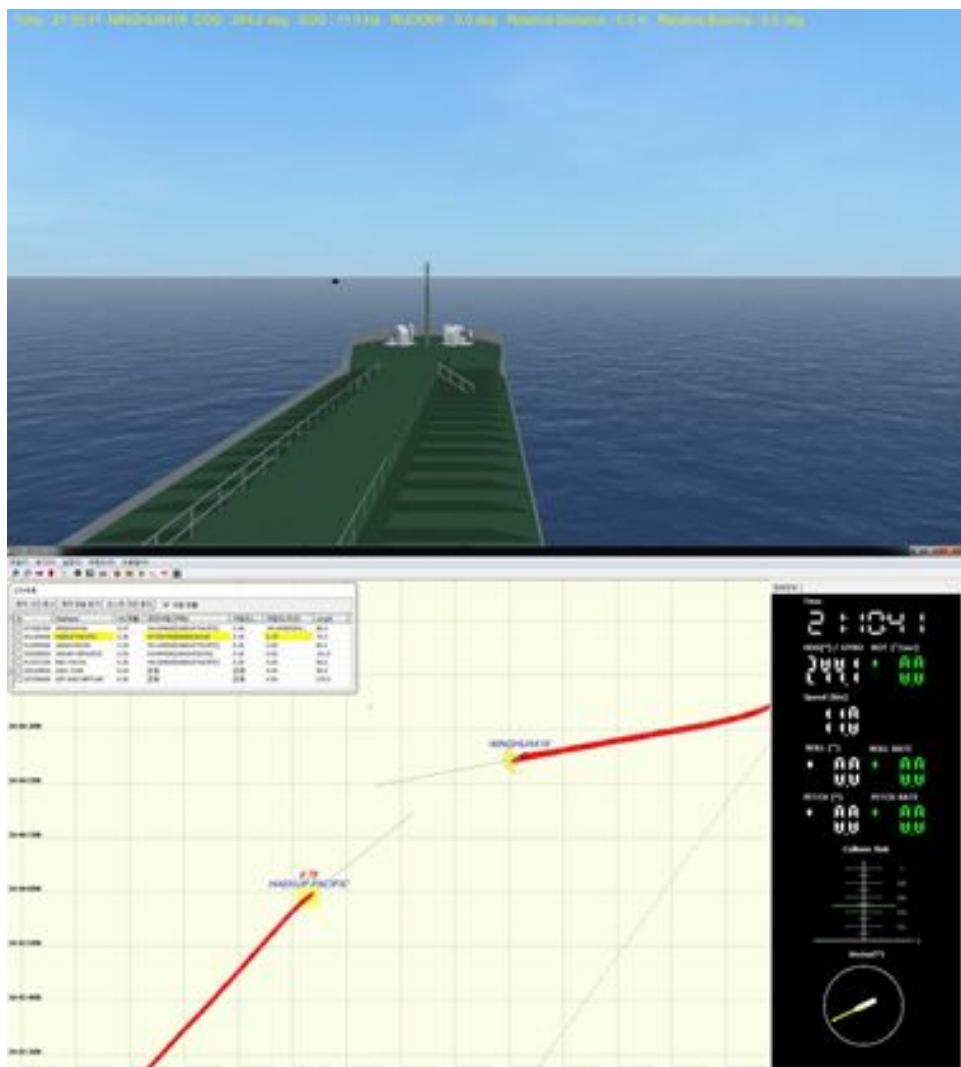


그림 3.83 선박충돌사고 재현(사고사례 I HN200: N선 기준 위험도)
: 사고 2분 전(21:11:10)

② 사고 직전 (21:12:50)

- 아스팔트운반선 H선 : 피항선으로 우현회피를 기동함.
 - ☞ N선 기준 위험도가 충돌임박(적색)으로 표시됨
- 제품운반선 N선 : 침로유지선이나, 좌현회피를 지속함.
 - ☞ 좌현회피를 하고 있으나, N선의 방향별 위험도는 우현이 안전하다고 표시됨.

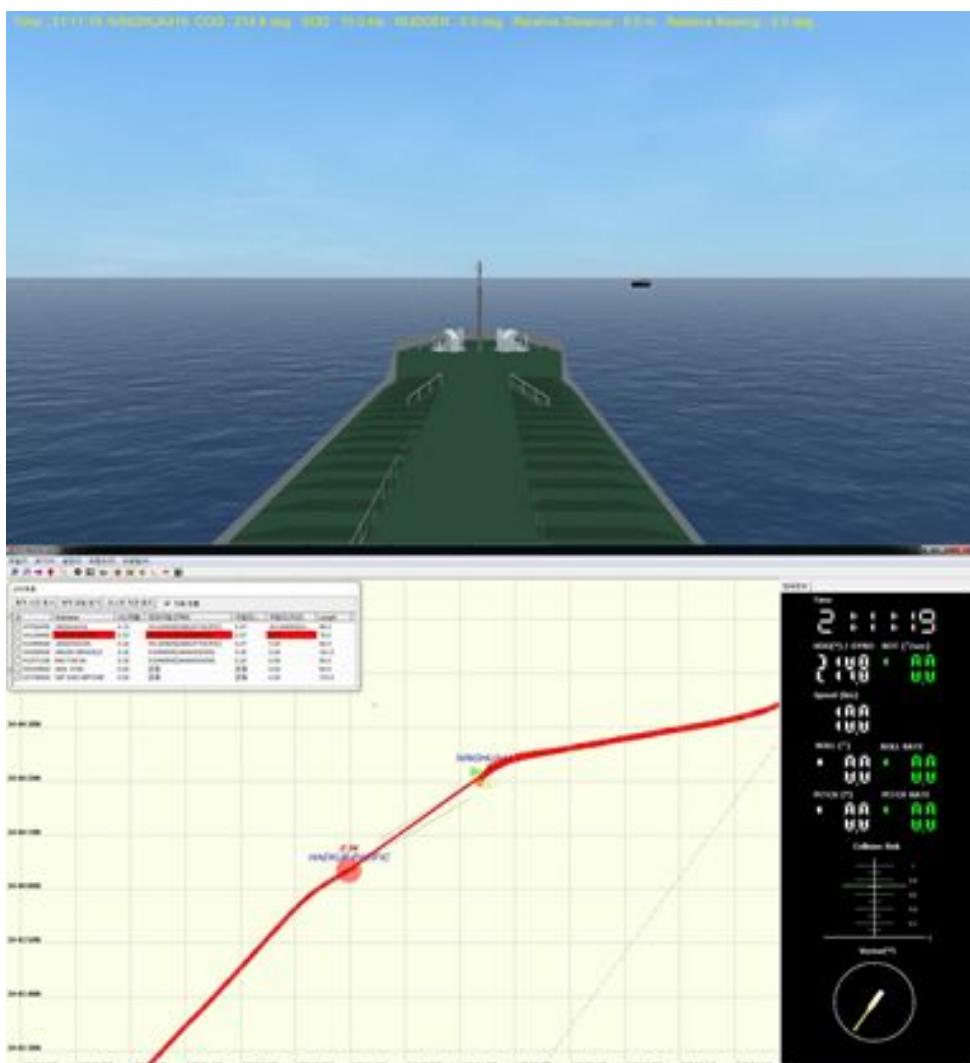


그림 3.84 선박충돌사고 재현(사고사례 | HN200: N선 기준 위험도)
: 사고 직전(21:12:50)

1-4) 선박 충돌사고 사례 I (HN110 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ H선과 N선의 재생중 H선에 의한 회피 시뮬레이션(10분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 맑음(시정4마일), 북서풍(8노트), 파랑(1미터) 적용
- ▣ 회피기동한 선박(H선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 4분 전 (21:09:10)

- 아스팔트운반선 H선 (회피시뮬레이션)
 - ▣ 피항선(H)이 우현회피를 일찍 개시하여, H선 방향별 충돌위험이 나타나지 않음.
- 제품운반선 N선 (사고궤적 재생) : H선 기준 충돌위험이 나타나지 않음

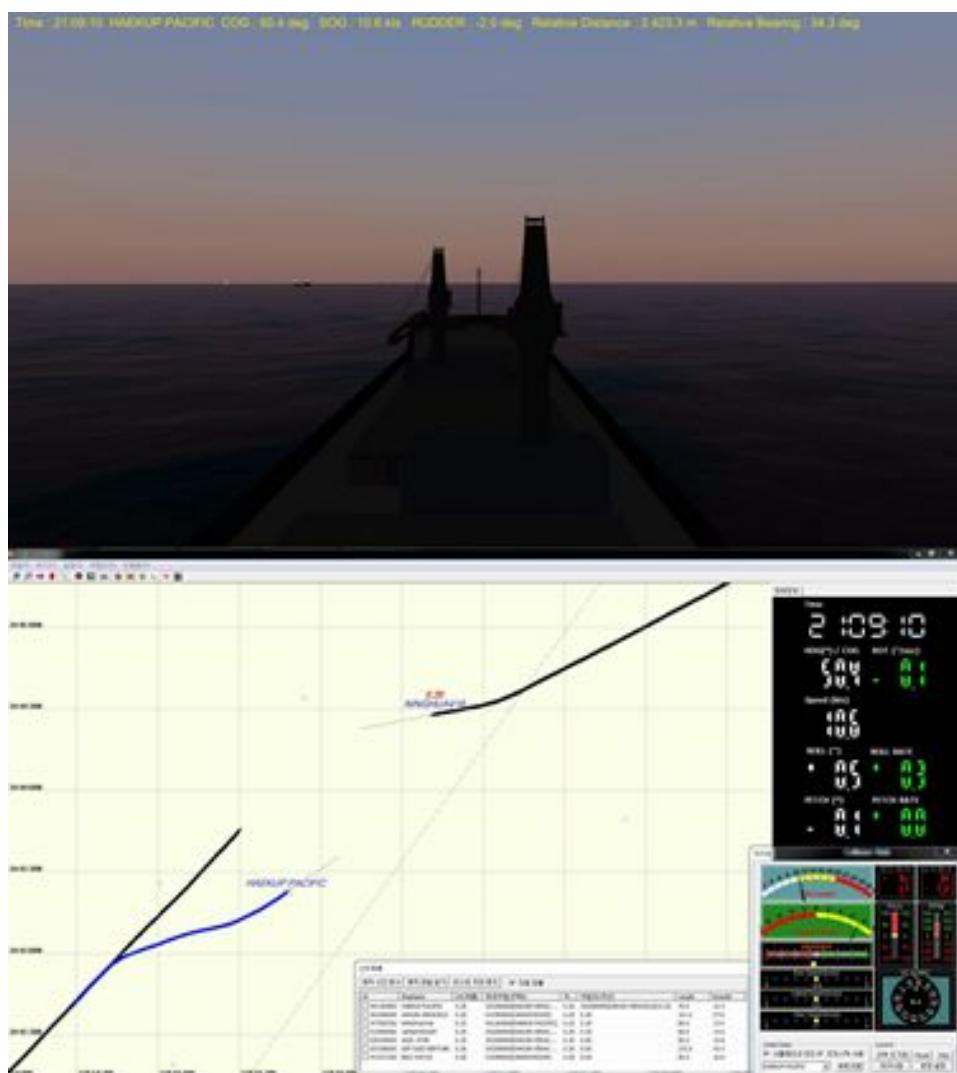


그림 3.85 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN110: H선 회피)
: 사고 4분 전(21:09:10)

② 사고 직전 (21:12:44)

- 아스팔트운반선 H선 (회피시뮬레이션)
 - ☞ 피항선으로 여유있게 회피함.
 - ☞ H선 기준 상대선(N) 방향으로 위험가 표시되나, H선의 진행 방향 및 우측은 안전하다고 녹색으로 표시됨.
- 제품운반선 N선 (사고궤적 재생)
 - ☞ H선 기준 위험도가 충돌주의(황색)로 표시됨.

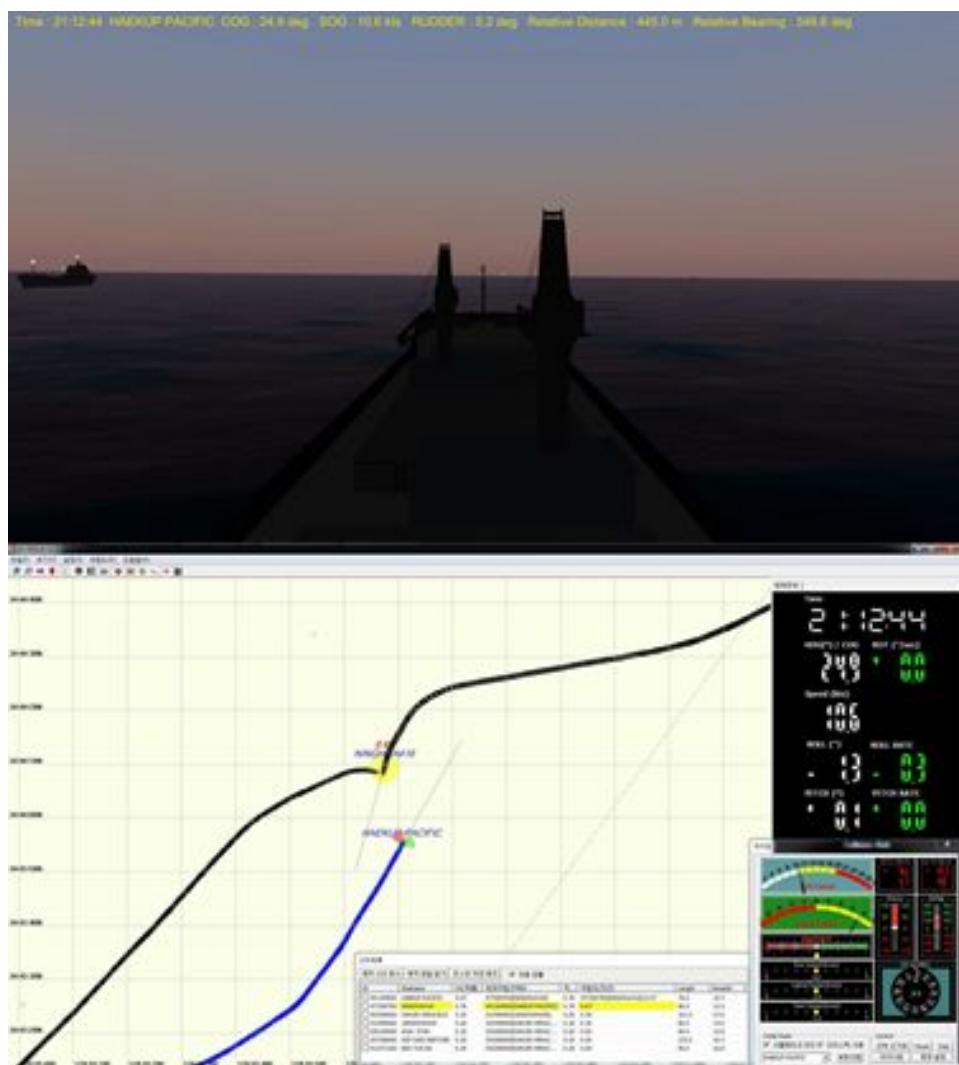


그림 3.86 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 | HN110: H선 회피)
: 사고 직전(21:12:44)

1-5) 선박 충돌사고 사례 I (HN130 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ H선과 N선의 재생중 H선에 의한 회피 시뮬레이션(2분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 맑음(시정4마일), 북서풍(8노트), 파랑(1미터) 적용
- ▣ 회피기동한 선박(H선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (21:10:48)

- 아스팔트운반선 H선 (회피시뮬레이션)

- ▣ 사고상황과 유사하게 우현회피를 늦게 개시하였고, H선 기준 방향별 위험도가 상대선 방향으로 충돌주의가 표시됨
- 제품운반선 N선 (사고궤적 재생) : H선 기준 N선 위험도가 충돌주의로 표시됨.

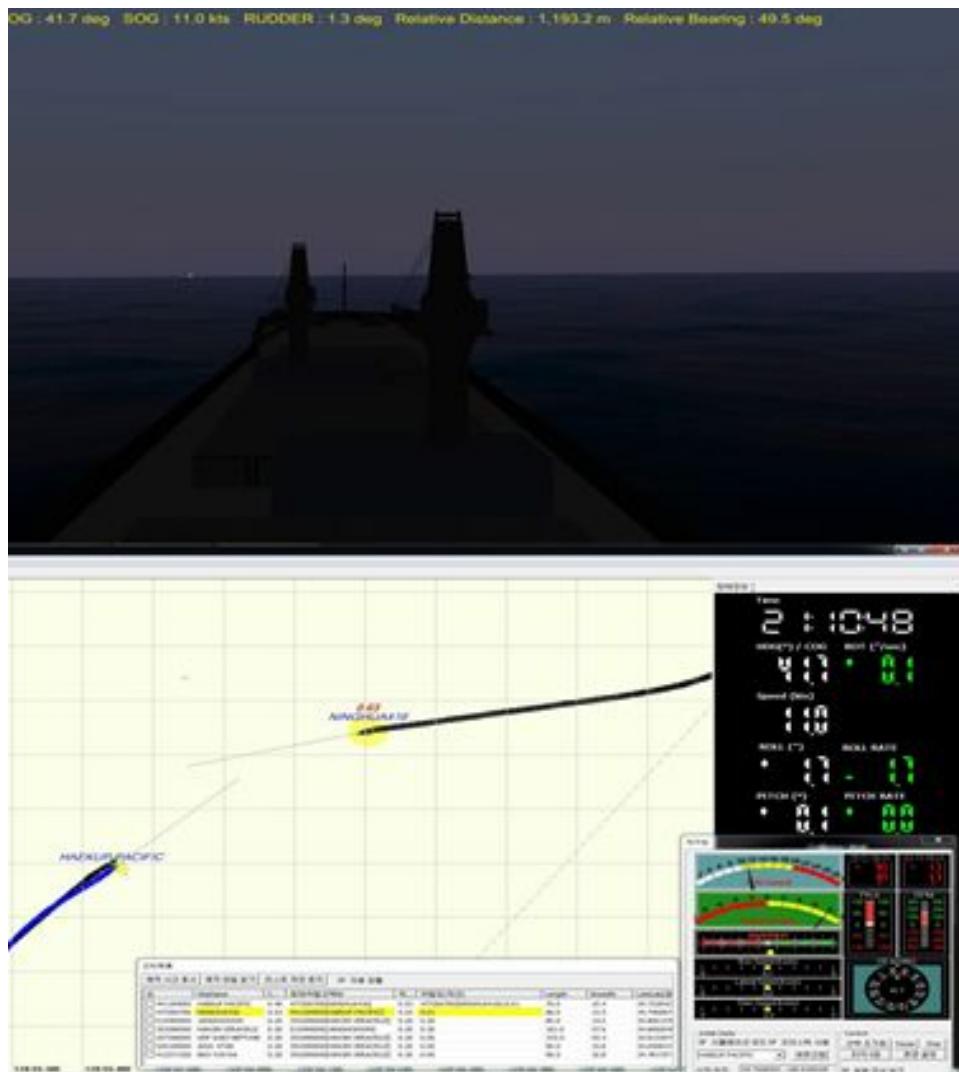


그림 3.87 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN130: H선 회피)
: 사고 2분 전(21:10:48)

② 사고 직전 (21:12:44)

- 아스팔트운반선 H선 (회피시뮬레이션)
 - ☞ 우현전타를 유지하면서 대각도 선회하여 회피에 성공함.
 - ☞ 회피후 충돌위험상황을 벗어나 H선 방향별 충돌위험이 나타나지 않음.
- 제품운반선 N선 (사고궤적 재생) : 회피후 H선 기준 N선의 위험도가 나타나지 않음

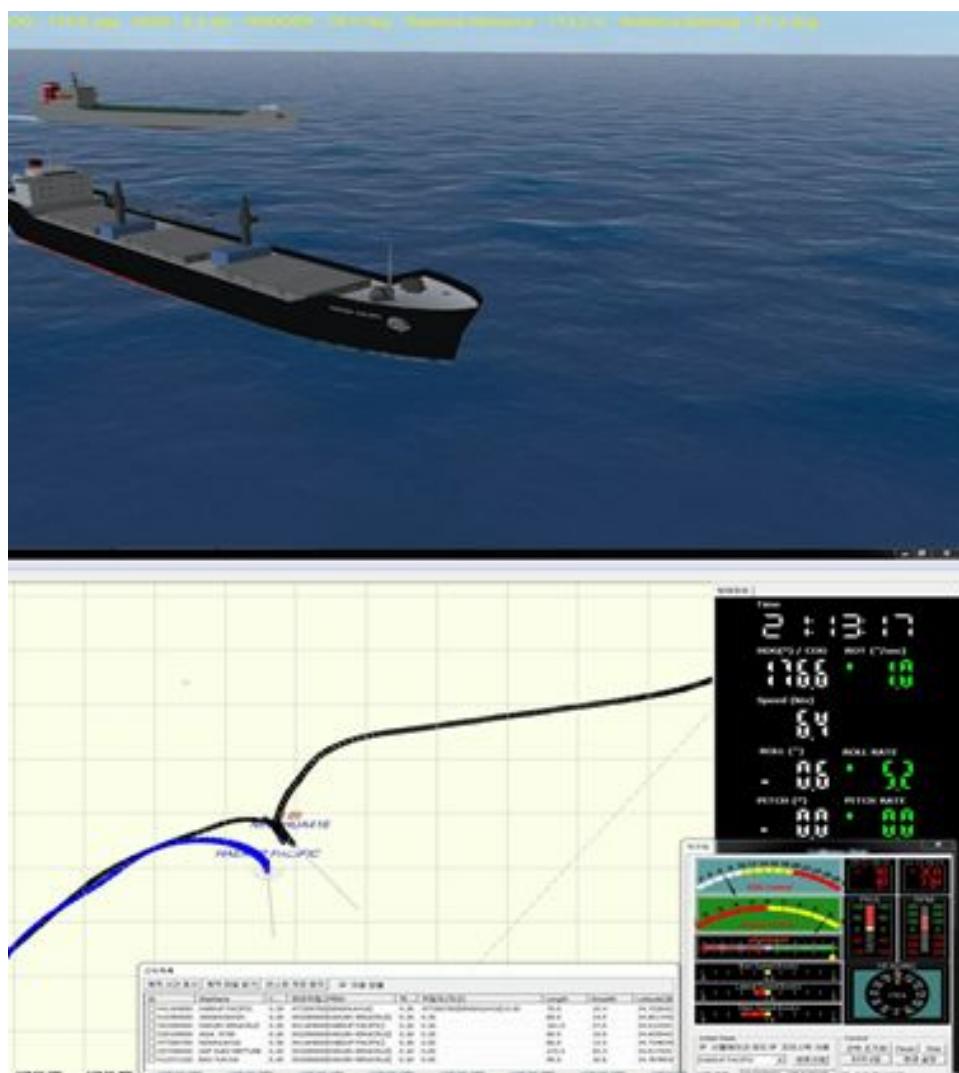


그림 3.88 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 | HN130: H선 회피)
: 사고 직전(21:12:44)

1-6) 선박 충돌사고 사례 I (HN220 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ☞ H선과 N선의 재생중 N선에 의한 회피 시뮬레이션(5분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 맑음(시정4마일), 북서풍(8노트), 파랑(1미터) 적용
- ☞ 회피기동한 선박(N선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 1분 전 (21:11:25)

- 아스팔트운반선 H선 (사고궤적 재생) : N선 침로유지시 H선은 안전하다고 표시됨 (녹색).
- 제품운반선 N선 (회피시뮬레이션)
 - ☞ 사고상황시 좌현타를 기동하는 시점에 침로를 유지함.
 - ☞ N선 방향별 위험도로 전방은 안전하다고 녹색으로 표시되고, 좌현은 위험도가 충돌주의 이상으로 표시됨. (황색/적색)

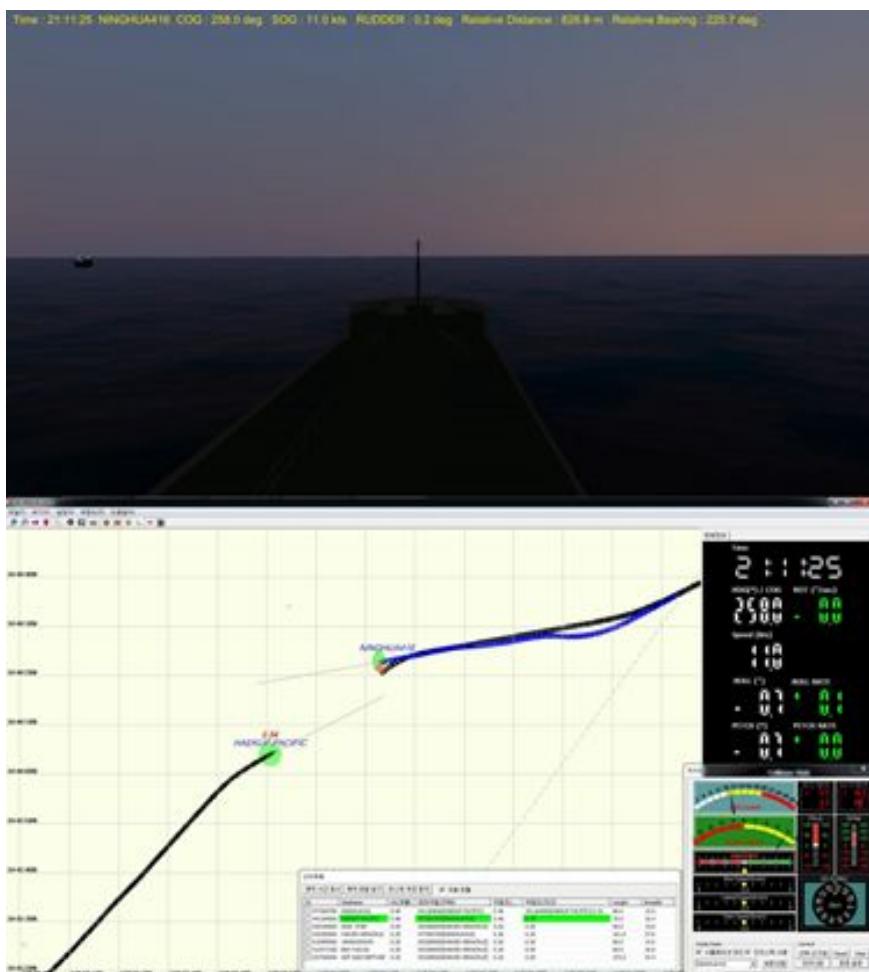


그림 3.89 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN220: N선 회피)
: 사고 1분 전(21:11:25)

② 사고 직전 (21:12:47)

- 아스팔트운반선 H선 (사고궤적 재생)
- 제품운반선 N선 (회피시뮬레이션)
 - ☞ 침로유지선으로서, 침로를 유지하여, 회피에 성공함.
 - ☞ 회피후 충돌위험상황을 벗어나 충돌위험이 나타나지 않음.

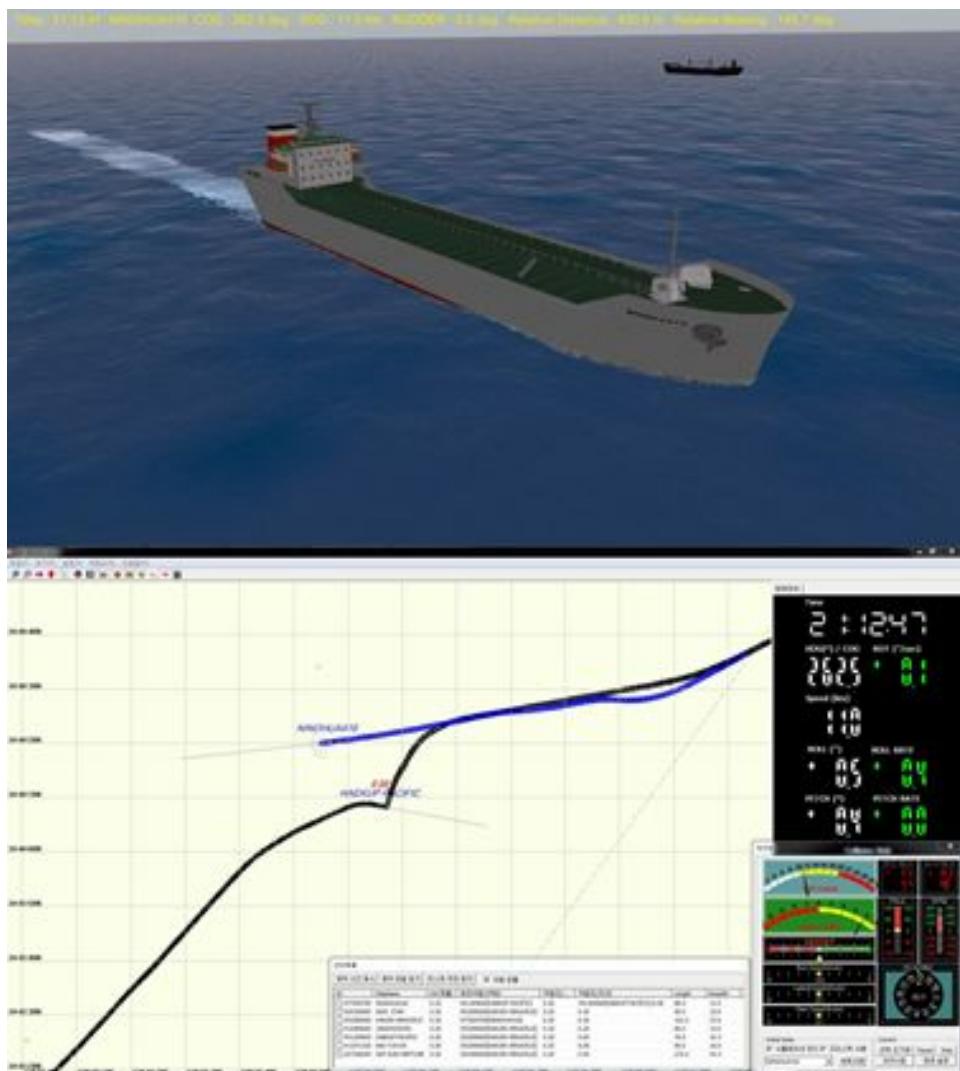


그림 3.90 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 | HN220: N선 회피)
: 사고 직전(21:12:47)

1-7) 선박 충돌사고 사례 I (HN230 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ H선과 N선의 재생중 N선에 의한 회피 시뮬레이션(2분전 회피기동) 결과임.
 - 환경조건 : 맑음(시정4마일), 북서풍(8노트), 파랑(1미터) 적용
- ▣ 회피기동한 선박(N선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄
 - ① 사고 약 1분 전 (21:11:25)
 - 아스팔트운반선 H선 (사고궤적 재생) : N선 침로유지시 H선은 안전하다고 표시됨 (녹색).
 - 제품운반선 N선 (회피시뮬레이션)
 - ▣ 사고상황시 좌현타 기동하는 시점에 우현타 기동후 침로복귀하는 방법으로 회피기동을 수행함.
 - ▣ N선 방향별 위험도로 전방은 안전하다고 녹색으로 표시되고, 좌현은 위험도가 충돌주의 이상으로 표시됨. (황색/적색)

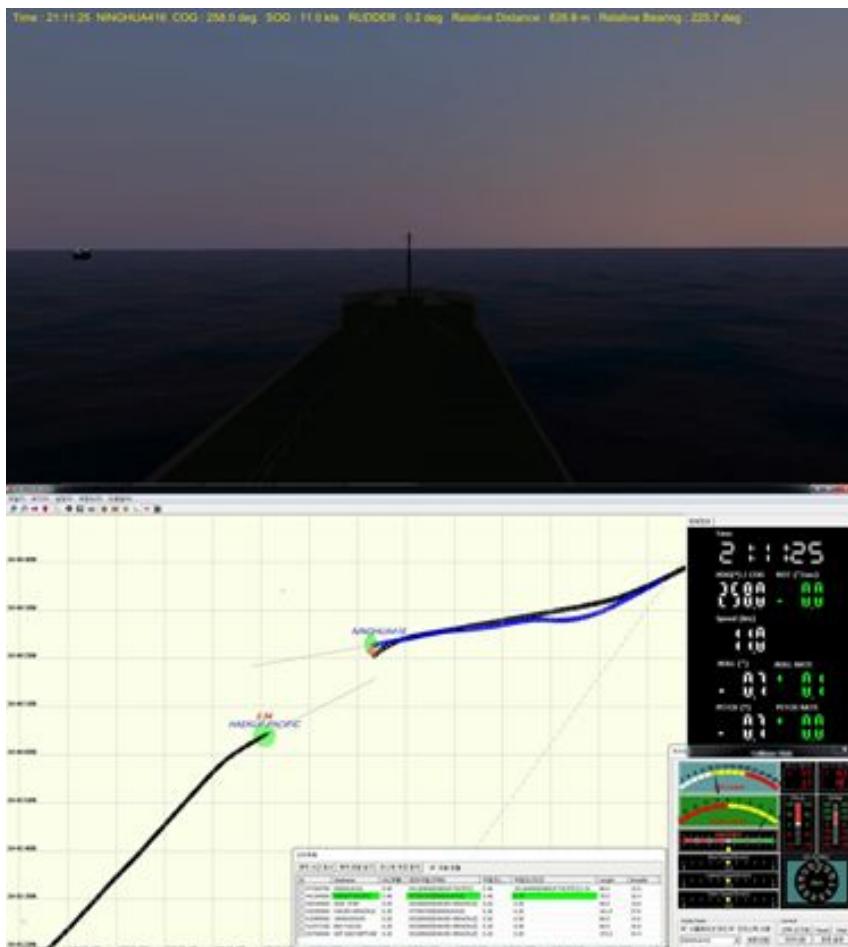


그림 3.91 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 I HN220: N선 회피)
: 사고 1분 전(21:11:25)

② 사고 직전 (21:12:47)

- 아스팔트운반선 H선 (사고궤적 재생)
- 제품운반선 N선 (회피시뮬레이션)
 - ☞ 침로유지선으로서, 침로를 유지하여, 회피에 성공함.
 - ☞ 회피후 충돌위험상황을 벗어나 충돌위험이 나타나지 않음.

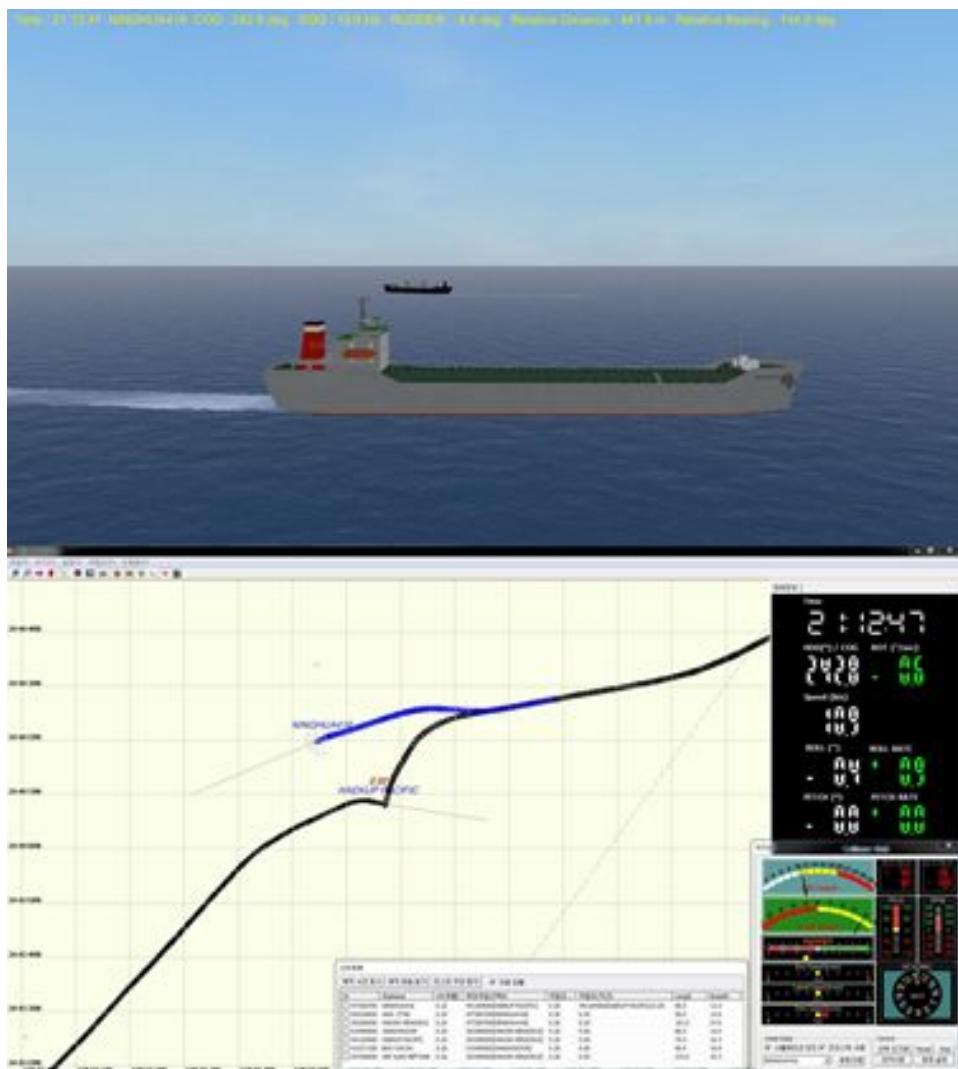


그림 3.92 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 | HN220: N선 회피)
: 사고 직전(21:12:47)

2) 선박 충돌사고 사례 II : 거제 유조선 F선과 냉동운반선 H선간 충돌 사고

○ 시뮬레이션 시나리오

- 2차원 및 3차원 선박 충돌 재현 프로그램이 설치된 이동형 단말기를 사용하여, 재현 시뮬레이션 및 회피 시뮬레이션을 수행함.
- 본 충돌사고데이터를 그대로 재현하는 재생 시뮬레이션에서는 충돌 위험도 평가를 함께 진행하였는데, 자선기준 충돌위험도와 관제 기준 충돌위험도를 살펴보았음. 2척의 충돌선박 중 1척을 자선으로 설정한 회피 시뮬레이션은 회피기동시점을 달리한 2조건을 포함 총 4개의 시뮬레이션을 수행함.

표 3.21 선박충돌사고사례-II 의 시뮬레이션 시나리오

No	내용	시나리오		비고
		유조선 F선	냉동운반선 H선	
FH200	선박충돌사고 재현 (위험도 평가)	사고상황 재현 (개별위험도 : VTS관점)		사고 데이터 그대로 재현
FH201		F자선기준 위험도	-	
FH202		-	H자선기준 위험도	
FH220	유지선(F선) 회피	회피기동 (5분전~)	사고상황 데이터	회피가능
FH230		회피기동 (2분전~)		
FH240	피항선(H선) 회피	사고상황 데이터	회피기동 (5분전~)	회피가능
FH250			회피기동 (2분전~)	

2-1) 선박 충돌사고 사례 II (FH200 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

- ☞ F선과 H선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생 시뮬레이션 결과임.
- ☞ VTS 관제소 기준 개별 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 3분 전 (02:06:41)

- 원유운반선 F선 : 침로유지선이나, 좌현회피를 시도함.
- 냉동운반선 H선 : 피항선이나, 회피동작을 하지 않음.
- ☞ 근처에 10여척 이상의 선박이 있으나, 두척의 개별위험도가 표시되고 있음. 좌현회피를 시도중인 F선이 상대적으로 충돌위험이 가장높은 선박으로 표시됨.

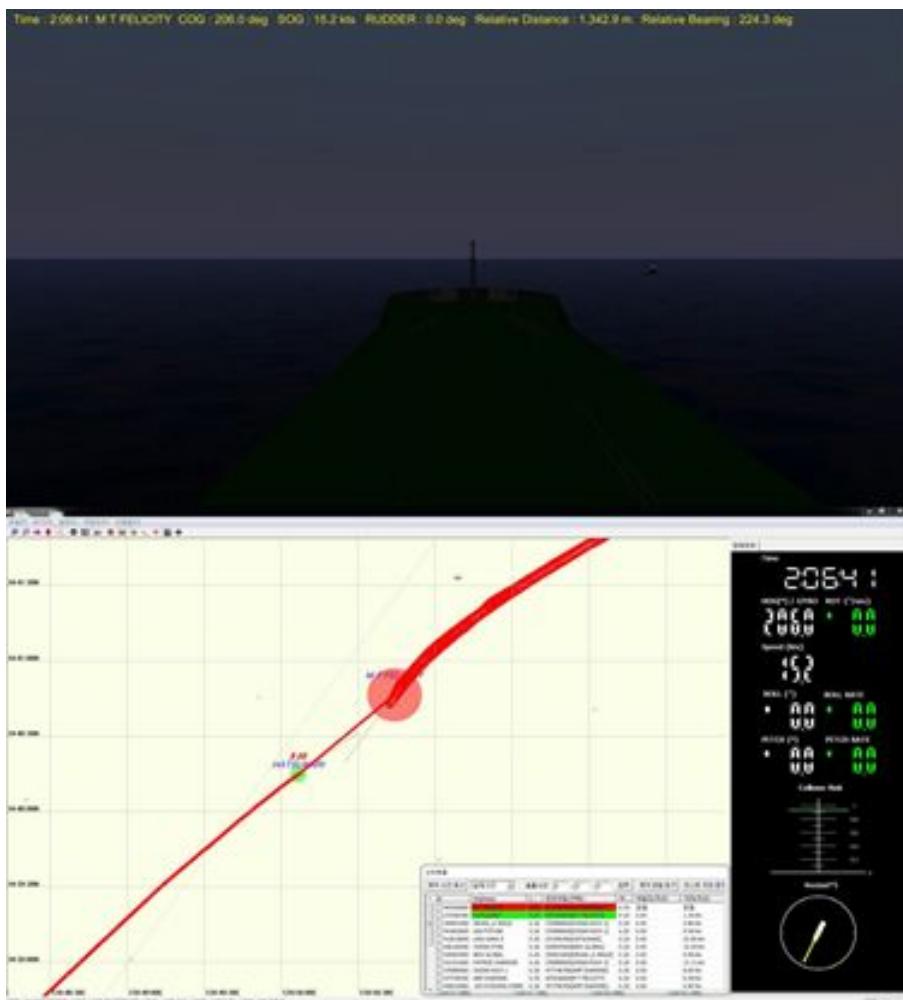


그림 3.93 선박충돌사고 재현(사고사례 II FH200: F선 시점)

: 사고 3분 전(02:06:41)

② 사고 직전 (02:07:40)

- 원유운반선 F선 : 침로유지선이나, 좌현회피후 침로유지함.
 - 냉동운반선 H선 : 피항선이나, 뒤늦게 우현회피 기동함.
- ☞ 두척의 개별위험도가 충돌임박(적색)으로 표시됨.

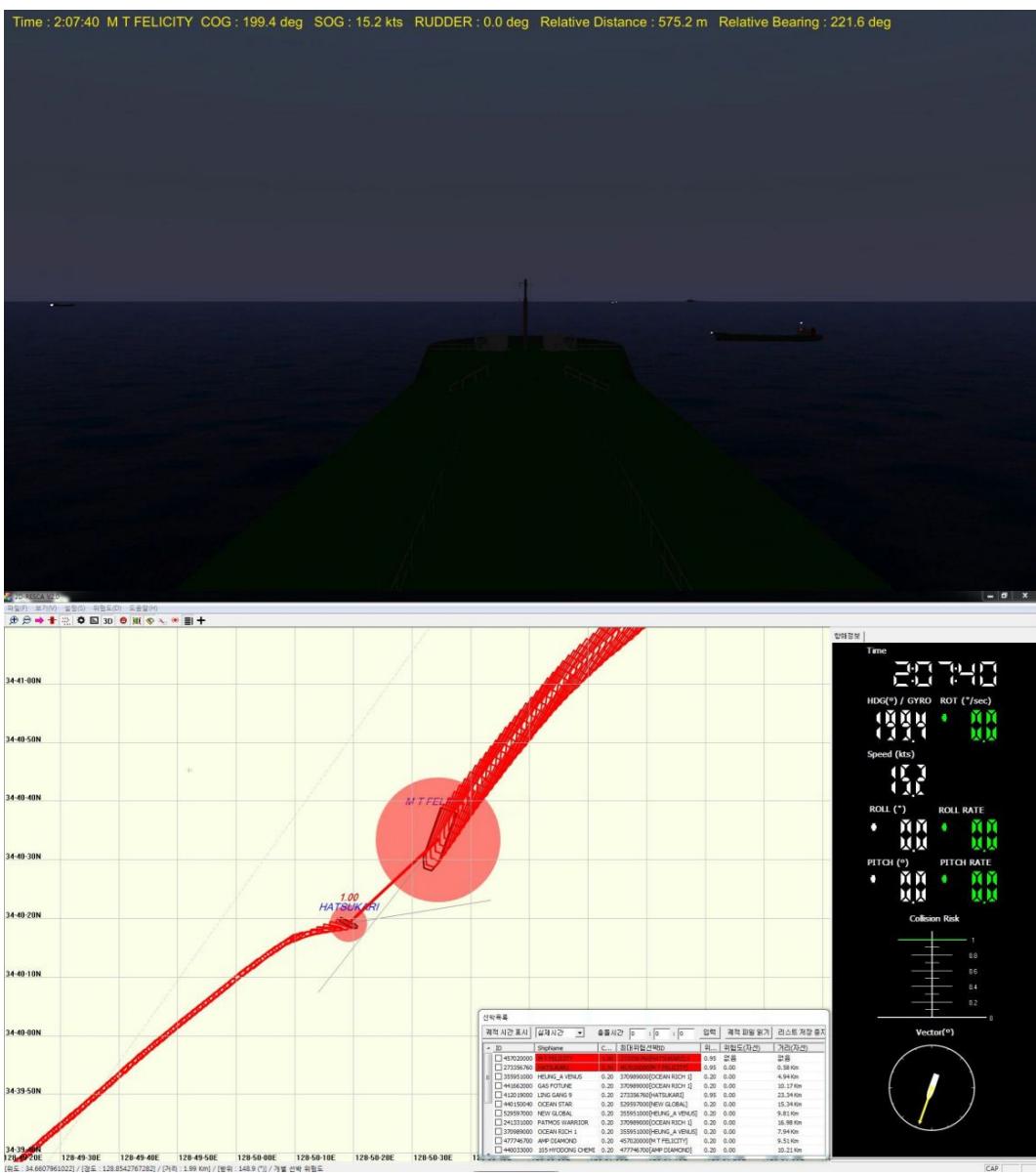


그림 3.94 선박충돌사고 재현(사고사례 II FH200: F선 시점)
: 사고 직전(02:07:40)

2-2) 선박 충돌사고 사례 II (FH201 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

- ☞ F선과 H선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생 시뮬레이션 결과임.
- ☞ 침로유지선(F선) 자선 기준 개별 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 4분 전 (02:04:04)

- 원유운반선 F선: 침로유지선이나, 전방 주의(황색) 표시됨.
- 냉동운반선 H선 : 피항선이나, 회피동작 없고 충돌주의(황색) 표시됨.
- ☞ 근처에 10여척 이상의 선박이 있으나, 침로유지선(F) 기준으로 피항선(H)이 유일하게 충돌주의 선박으로 표시됨.

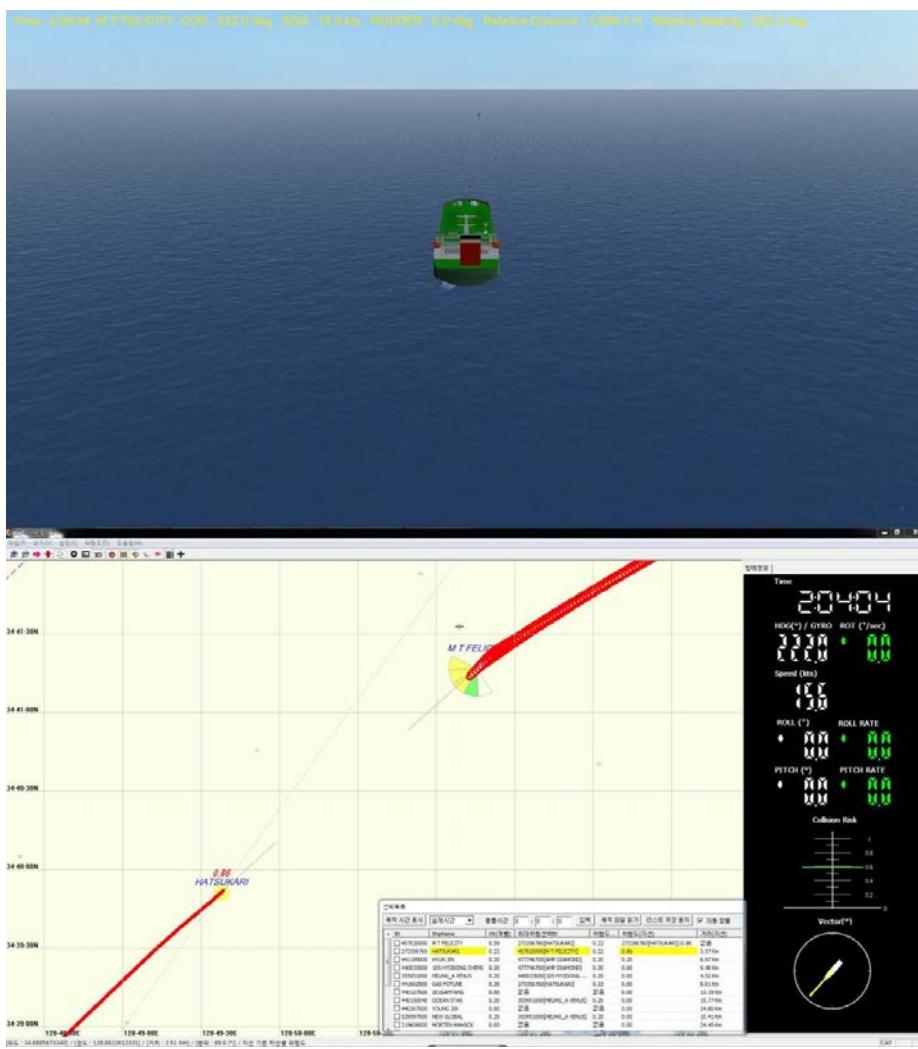


그림 3.95 선박충돌사고 재현(사고사례 II FH201: F선 기준 위험도)
: 사고 4분 전(02:04:04)

- ☞ 원래 야간이나, 충돌선간 위치 파악이 용이하도록 주간으로 캡쳐함 (이하 생략함)

② 사고 직전 (02:07:40)

- 원유운반선 F선 : 침로유지선이나, 좌현회피후 침로유지함.

- 냉동운반선 H선 : 피항선이나, 뒤늦게 우현회피 기동함.

☞ 유지선 F선의 방향별 위험도 및 상대선인 H선의 위험도가 충돌임박(적색)으로 표시됨.

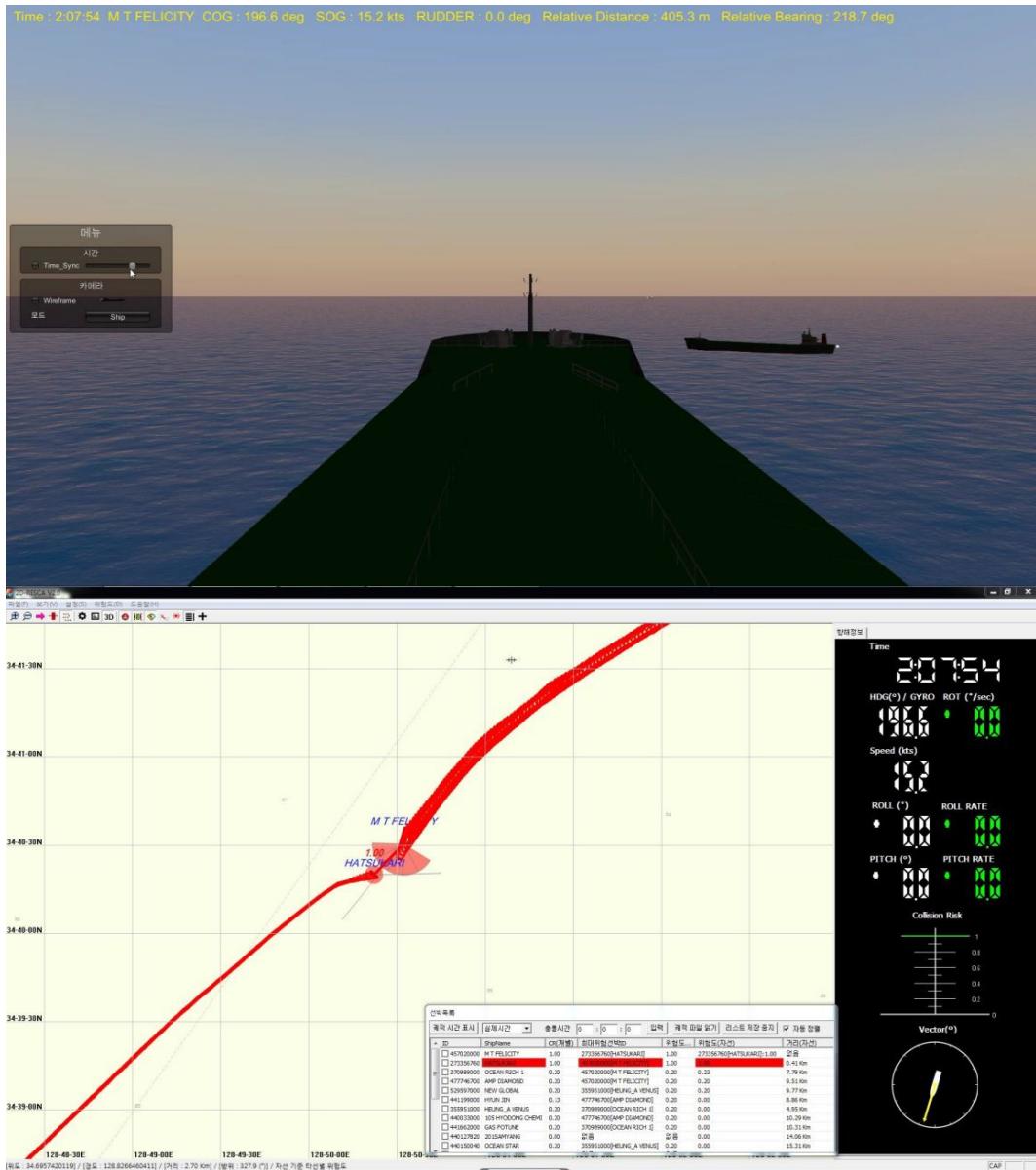


그림 3.96 선박충돌사고 재현(사고사례 II FH201: F선 기준 위험도)
: 사고 직전(02:07:54)

2-3) 선박 충돌사고 사례 II (FH202 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

☞ F선과 H선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생 시뮬레이션 결과임.

☞ 피항선(H선) 자선 기준 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (02:06:15)

- 원유운반선 F선: 침로유지선이나, 좌현 회피기동후 충돌주의(황색) 표시됨.

- 냉동운반선 H선 : 피항선으로, 좌현회피한 상대선박으로 인하여 우현에 충돌 주의(황색) 표시됨.

☞ 근처에 10여척 이상의 선박이 있으나, 피항선(H) 기준으로 상대선(F)이 유일하게 충돌주의 선박으로 표시됨.

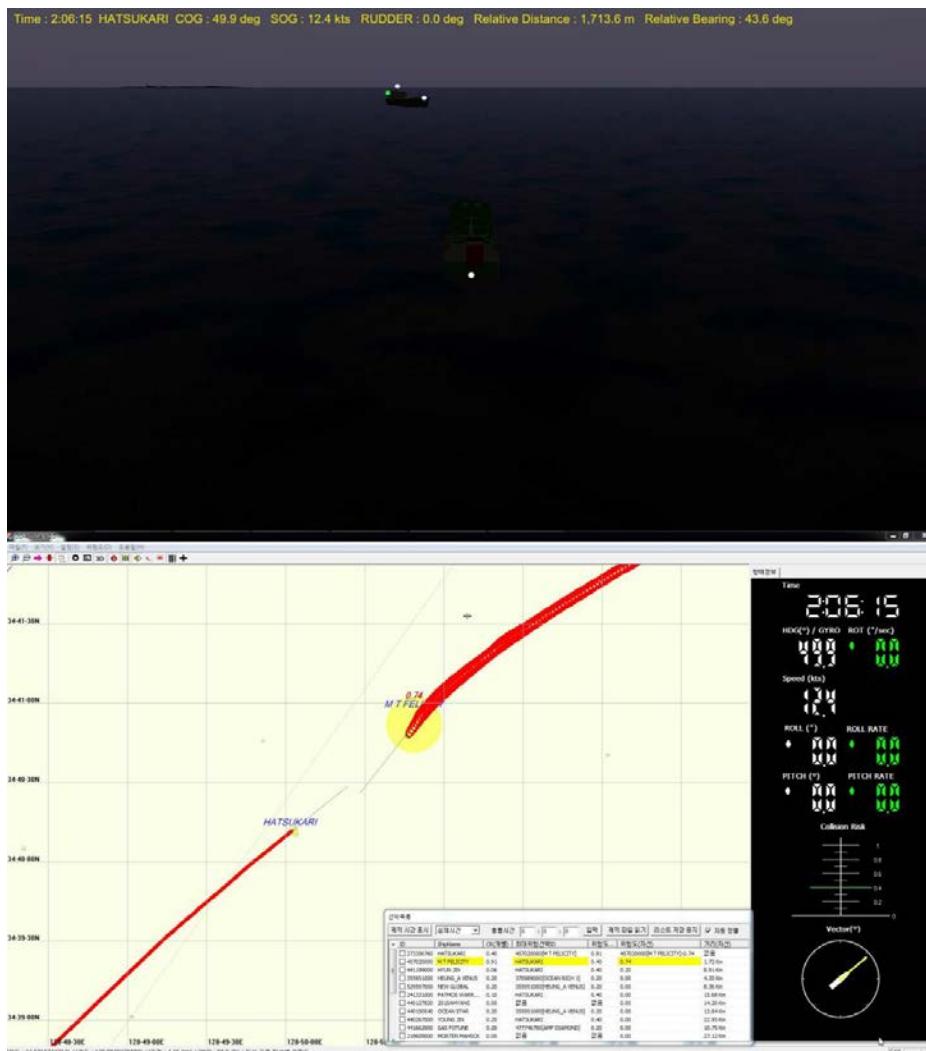


그림 3.97 선박충돌사고 재현(사고사례 II FH202: H선 기준 위험도)

: 사고 4분 전(02:04:04)

② 사고 직전 (02:08:11)

- 원유운반선 F선 : 침로유지선이나, 좌현회피후 침로유지함.
 - 냉동운반선 H선 : 피항선이나, 뒤늦게 우현회피 기동함.
- ☞ 피항선 H선의 방향별 위험도 및 상대선인 F선의 위험도가 충돌임박(적색)으로 표시됨.

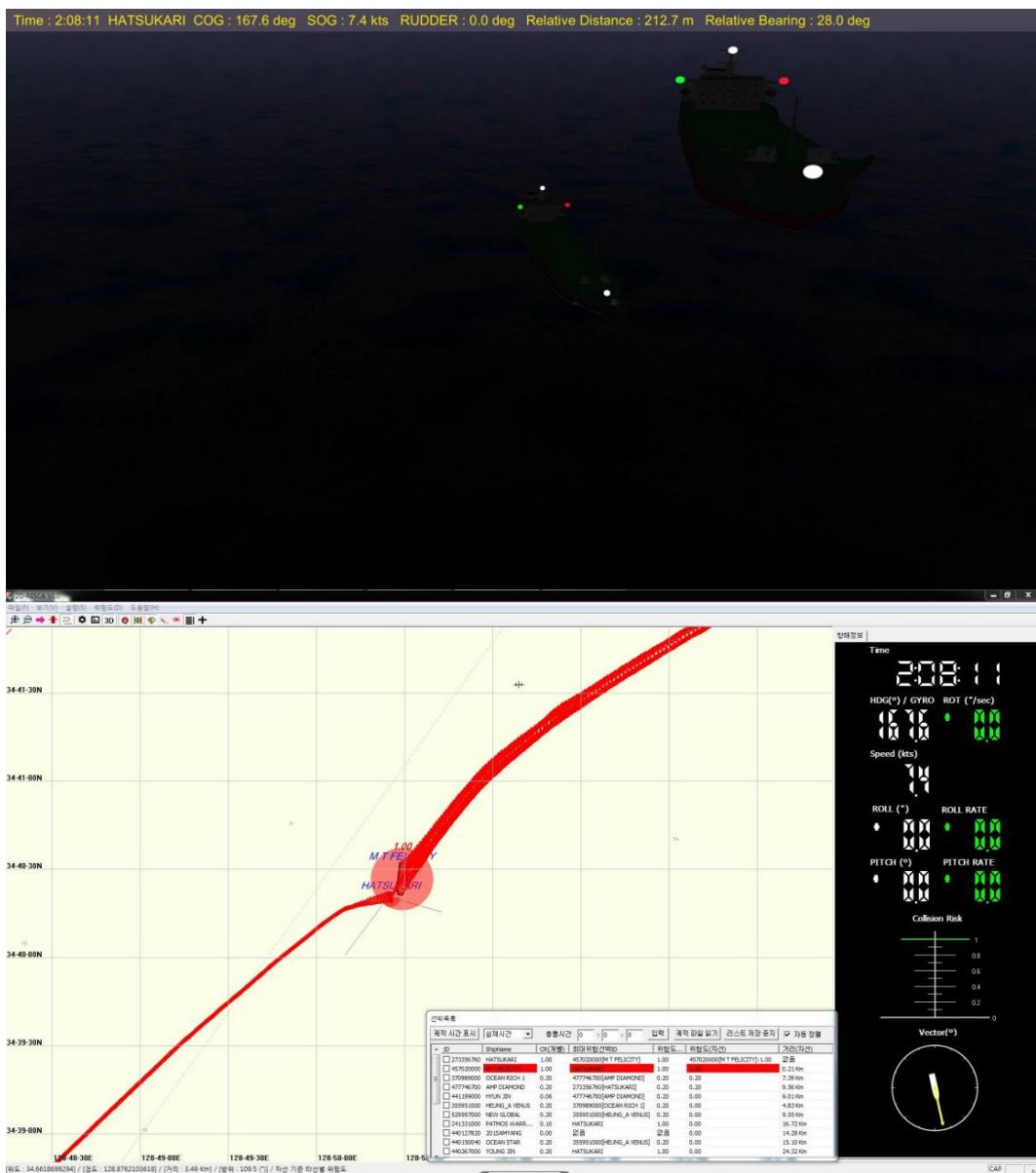


그림 3.98 선박충돌사고 재현(사고사례 II FH202: H선 기준 위험도)
: 사고 직전(02:08:11)

2-4) 선박 충돌사고 사례 II (FH220 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ F선과 H선의 충돌사고 재생중 F선 회피 시뮬레이션(5분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 흐림(시정7마일), 북동풍(16노트), 파랑(1.75미터) 적용
 - ▣ **회피기동한 선박(F선)** 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 3분 전 (02:04:48)

- 원유운반선 F선(회피시뮬레이션)

- ☞ 침로유지선이나, 상대편 선박의 회피기동이 없어 우회회피 기동함:

- ☞ 피항선은 회피기동이 없어 해당 방향으로 충돌위험이 가장 높게 표시되고 있으며, 회피한 방향으로 충돌주의가 표시됨.

- 냉동운반선 H선(사고궤적 재생)



그림 3.99 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH220: F선 회피)
: 사고 4분 전(02:04:48)

② 사고 직전 (02:07:16)

- 원유운반선 F선(회피시뮬레이션)

- ☞ 침로유지선이나, 상대선의 회피기동이 없어 우현회피후 침로유지해 회피함.
- ☞ 과항선은 회피기동이 없어 해당 방향으로 충돌위험이 가장 높게 표시되고 있으며, 회피한 방향으로 충돌주의가 표시됨.

- 냉동운반선 H선(사고궤적 재생)

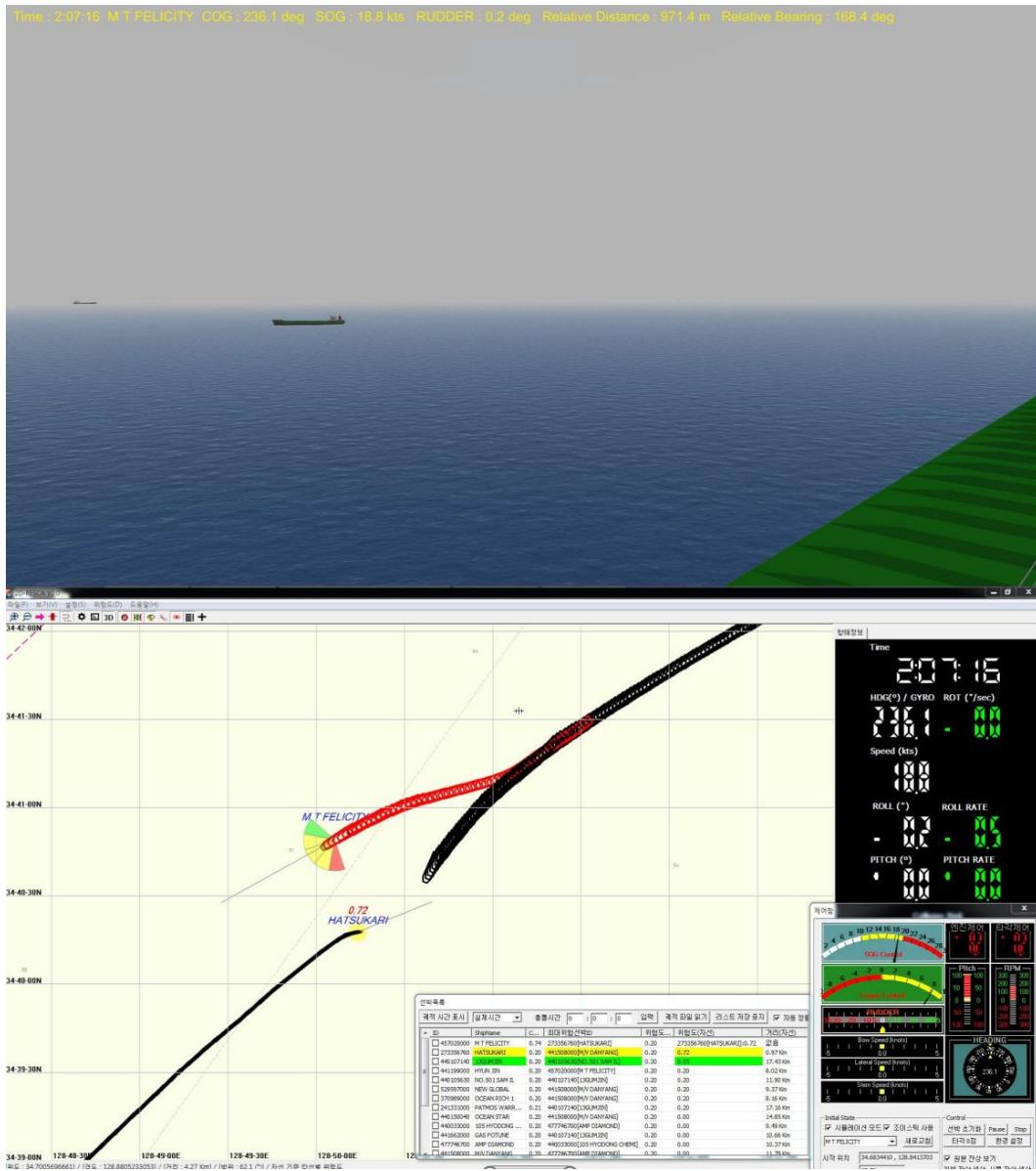


그림 3.100 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH220: F선 회피)
: 사고 직전(02:07:16)

2-5) 선박 충돌사고 사례 II (FH230 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ F선과 H선의 충돌사고 재생중 F선 회피 시뮬레이션(2분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 흐림(시정7마일), 북동풍(16노트), 파랑(1.75미터) 적용
- ▣ 회피기동한 선박(F선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (02:05:47)

- 원유운반선 F선(회피시뮬레이션)

- ▣ 침로유지선이나, 상대편 선박의 회피기동이 없어 우현회피 기동함.
- ▣ 피항선은 회피기동이 없어 해당 방향으로 충돌위험이 가장 높게 표시되고 있으며, 회피한 방향으로 충돌주의가 표시됨.

- 냉동운반선 H선(사고궤적 재생)

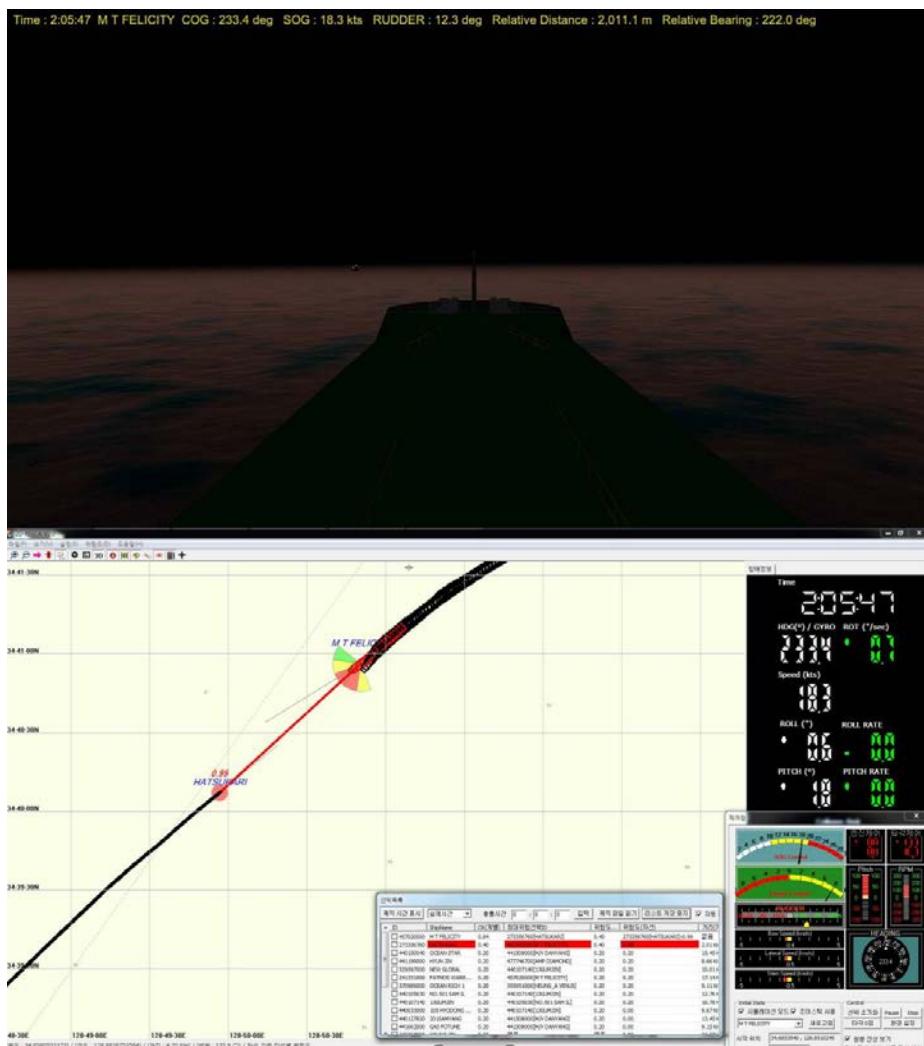


그림 3.101 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH230: F선 회피)
: 사고 2분 전(02:05:47)

② 사고 직전 (02:08:06)

- 원유운반선 F선(회피시뮬레이션)

☞ 침로유지선이나, 상대선의 회피기동이 없어 우현회피후 침로유지해 회피함.

☞ 회피후 위협이 모두 해제되어 위험도가 0으로 표시됨.

- 냉동운반선 H선(사고궤적 재생)

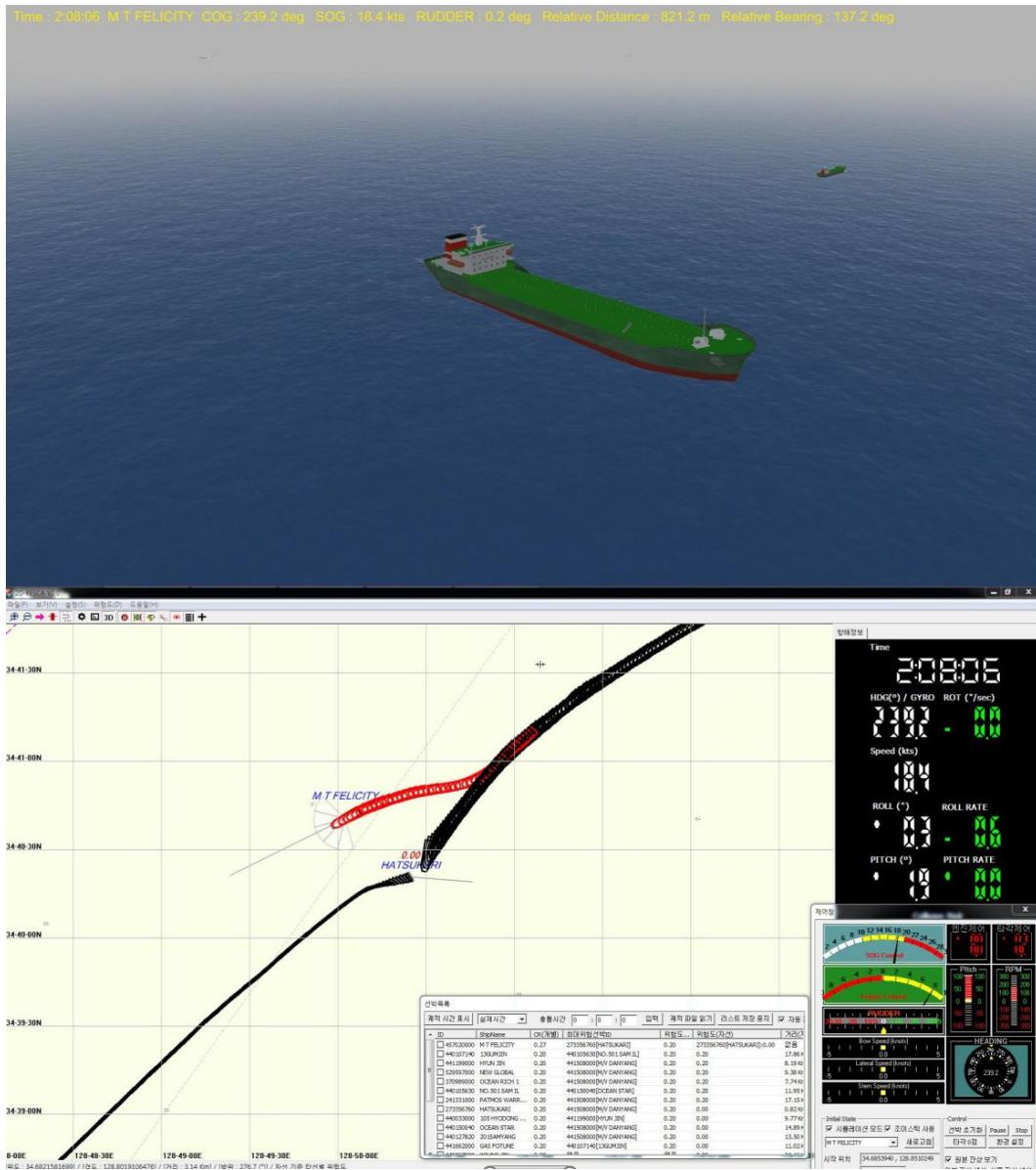


그림 3.102 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH230: F선 회피)
: 사고 시각(02:08:06)

2-6) 선박 충돌사고 사례 II (FH240 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ F선과 H선의 충돌사고 재생중 H선 회피 시뮬레이션(5분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 흐림(시정7마일), 북동풍(16노트), 파랑(1.75미터) 적용
- ▣ 회피기동한 선박(H선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (02:05:47)

- 원유운반선 F선(사고궤적 재생) : 침로유지선
- 냉동운반선 H선(회피시뮬레이션) : 피항선

▣ 상대선 및 해당 방향으로 충돌주의가 표시되고 있음.

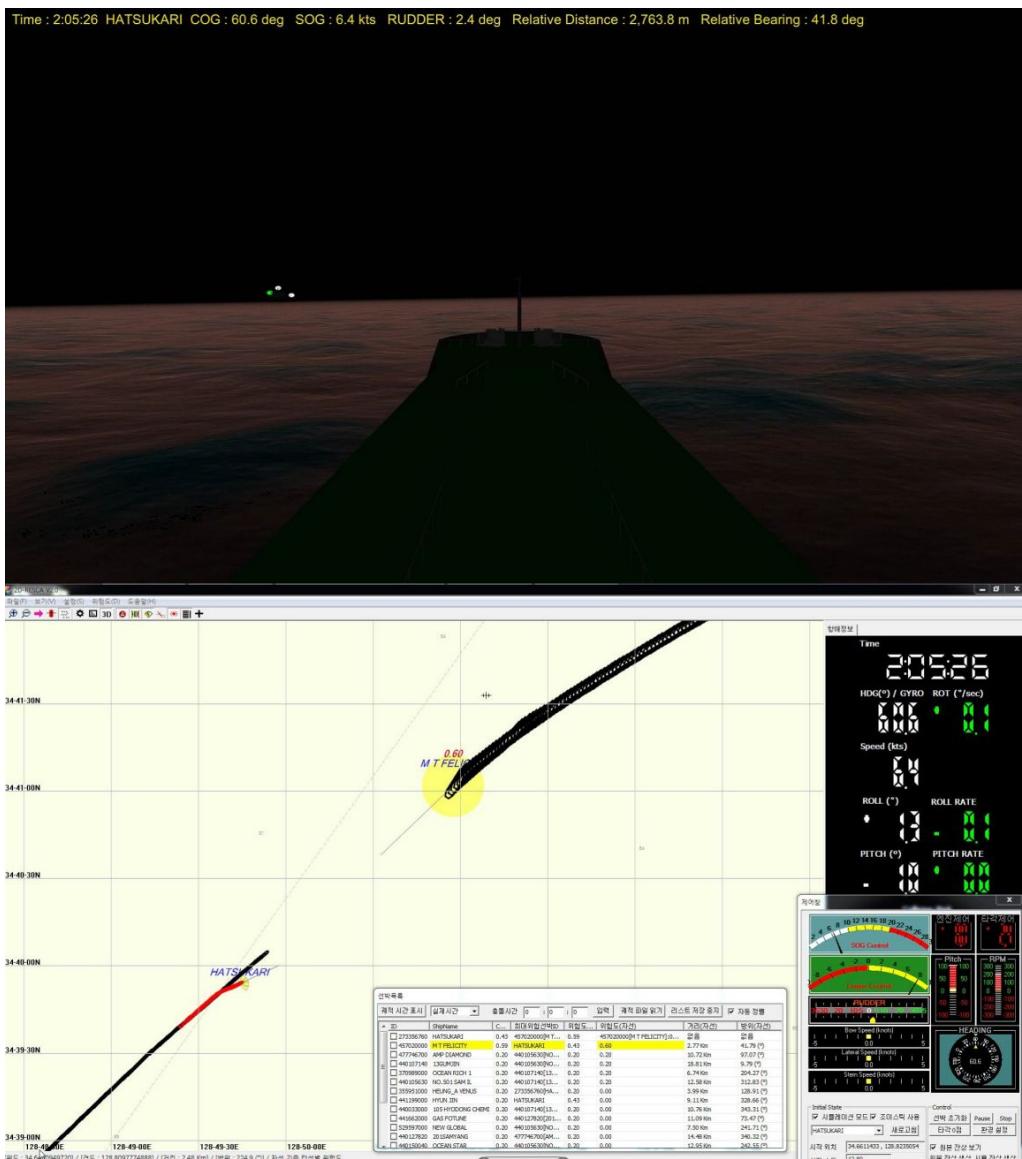


그림 3.103 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH240: H선 회피)

: 사고 2분 전(02:05:26)

② 사고 시각 (02:08:58)

- 원유운반선 F선(사고궤적 재생) : 침로유지선 (좌현회피)

- 냉동운반선 H선(회피시뮬레이션) : 피항선

☞ 피항선으로 우회하여 충돌회피 성공함.

▣ 그러나, 회피후 침로복귀중에 상대선의 좌현회피기동으로 위협이 상존하고 있음. (사고 원인중의 하나로 확인됨)

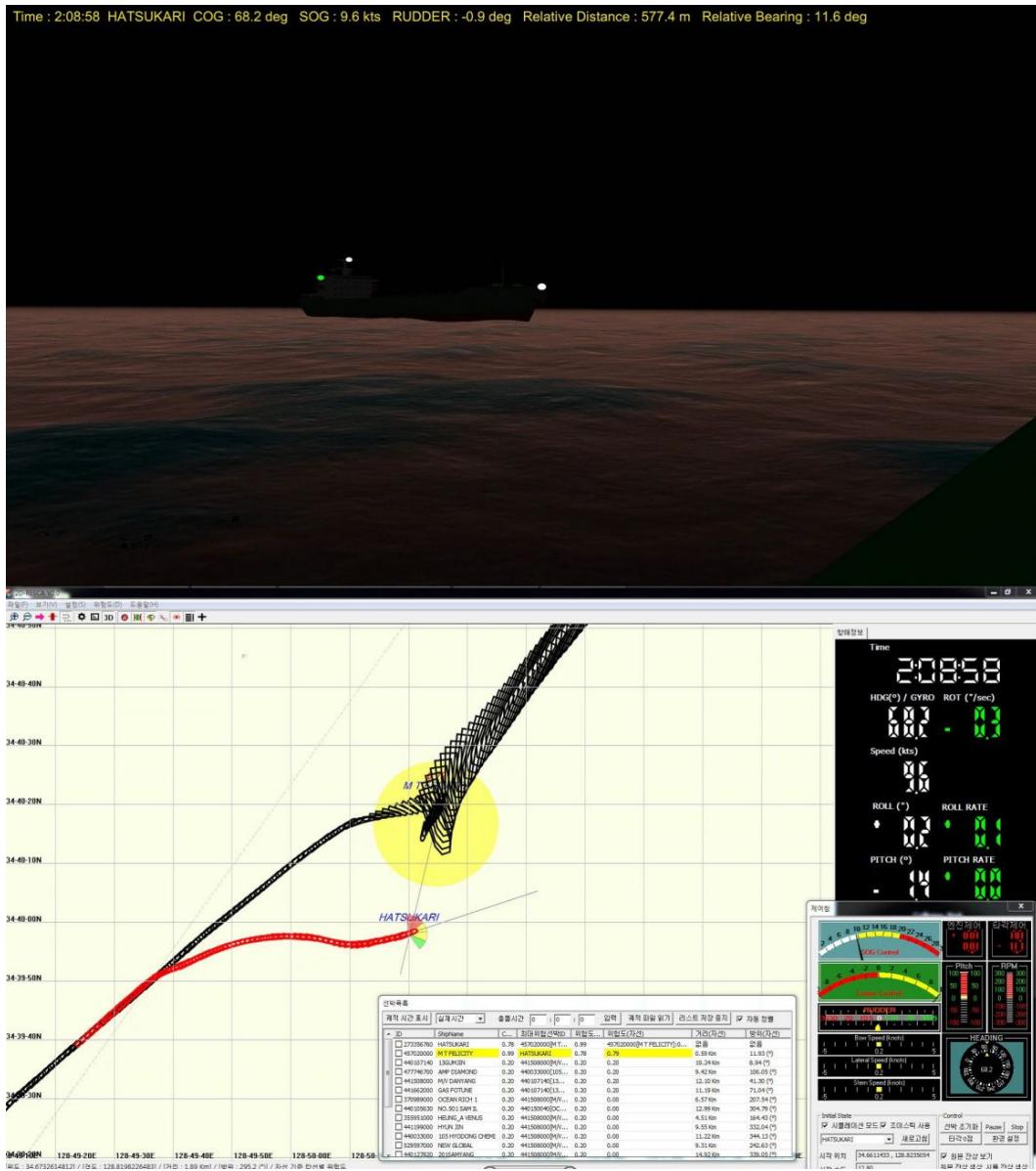


그림 3.104 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH240: H선 회피)
: 사고 시각(02:08:58)

2-7) 선박 충돌사고 사례 II (FH250 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ▣ F선과 H선의 충돌사고 재생중 H선 회피 시뮬레이션(2분전 회피기동) 결과임.
→ 환경조건 : 흐림(시정7마일), 북동풍(16노트), 파랑(1.75미터) 적용
- ▣ 회피기동한 선박(H선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (02:06:21)

- 원유운반선 F선(사고궤적 재생) : 침로유지선

- 냉동운반선 H선(회피시뮬레이션) : 피항선

▣ 상대선 및 해당 방향으로 충돌주의가 표시되고 있음.

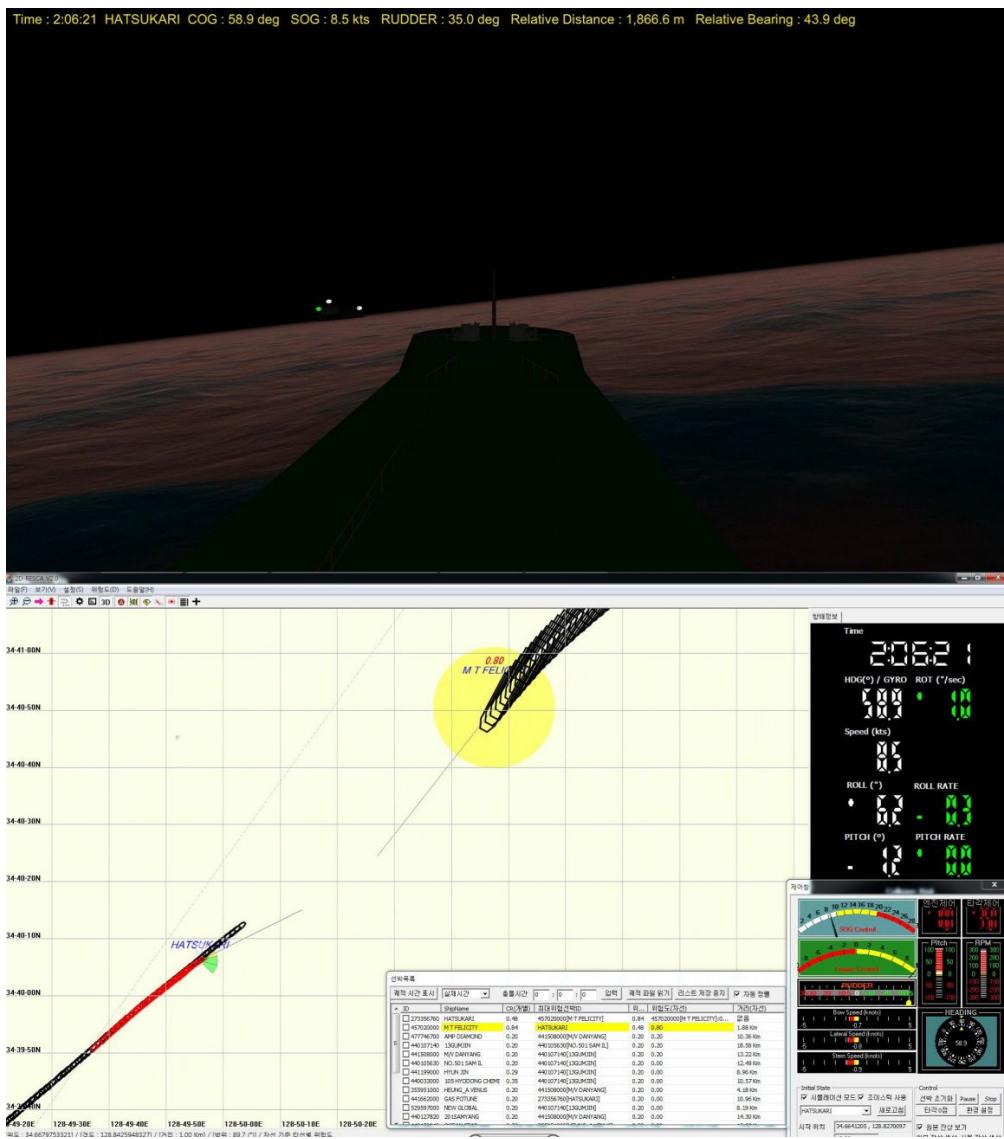


그림 3.105 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH250: H선 회피)
: 사고 2분 전(02:06:21)

② 사고 시작 (02:09:19)

- 원유운반선 F선(사고궤적 재생) : 침로유지선 (좌현회피)

- 냉동운반선 H선(회피시뮬레이션) : 피항선

☞ 2분전임에도 피항선으로 우현회피하여 충돌회피 성공함.

▣ 그러나, 회피후 침로복귀중에 상대선의 좌현회피기동으로 위협이 상존하고 있음. (사고 원인중의 하나로 확인됨)

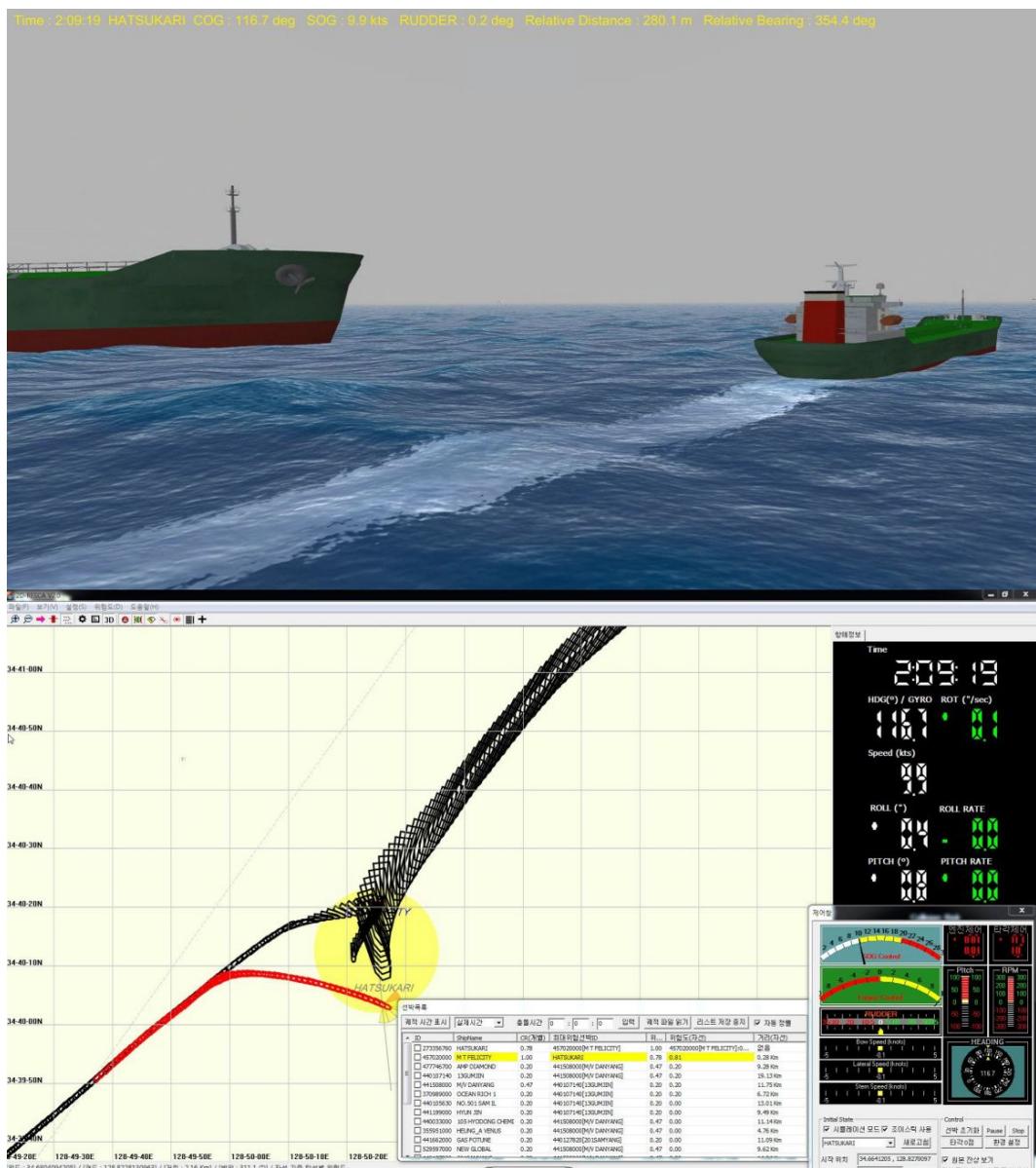


그림 3.106 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 II FH250: H선 회피)
: 사고 시각(02:09:19)

3) 선박 충돌사고 사례 III : 울산신항 제품운반선 V선과 급수선 A선간 충돌사고

○ 시뮬레이션 시나리오

- 2차원 및 3차원 선박 충돌 재현 프로그램이 설치된 이동형 단말기를 사용하여, 재현 시뮬레이션 및 회피 시뮬레이션을 수행함.
- 본 충돌사고데이터를 그대로 재현하는 재생 시뮬레이션에서는 충돌 위험도 평가를 함께 진행하였는데, 자선기준 충돌위험도와 관제 기준 충돌위험도를 살펴보았음. 2척의 충돌선박 중 1척을 자선으로 설정한 회피 시뮬레이션은 회피기동시점을 달리한 2조건을 포함 총 4개의 시뮬레이션을 수행함.

표 3.22 선박충돌사고사례-III 의 시뮬레이션 시나리오

No	내용	시나리오		비고
		제품운반선 V선	급수선 A선	
VA300	선박충돌사고 재현 (위험도 평가)	사고상황 재현 (개별위험도 : VTS관점)		사고 데이터 그대로 재현
VA301		V자선기준 위험도	-	
VA302		-	A자선기준 위험도	
VA320	유지선(V선) 회피	회피기동 (5분전~)	사고상황 데이터	유지선 회피가능
VA330		회피기동 (2분전~)		
VA341	피항선(A선) 회피	사고상황 데이터	회피기동 (5분전~)	피항선 회피가능
VA350			회피기동 (2분전~)	

3-1) 선박 충돌사고 사례 III (VA300 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

☞ V선과 A선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생 시뮬레이션 결과임.

☞ VTS 관제소 기준 개별 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 2분 전 (02:37:59)

- 제품운반선 V선 : 입항선으로 침로유지선임.

- 급수선 A선 : 피항선으로 방파제를 따라 주항로에 접근중임.

☞ 사고시각 2분전에 대형선 2척이 입항과 출항중이었고, 소형선 2척이 방파제를 따라 주항로 입항항로에 접근중임.

☞ 출항선과 A선이 충돌위험이 높게 표시되고 있으며, 나머지 2척은 충돌주의가 표시되고 있음.

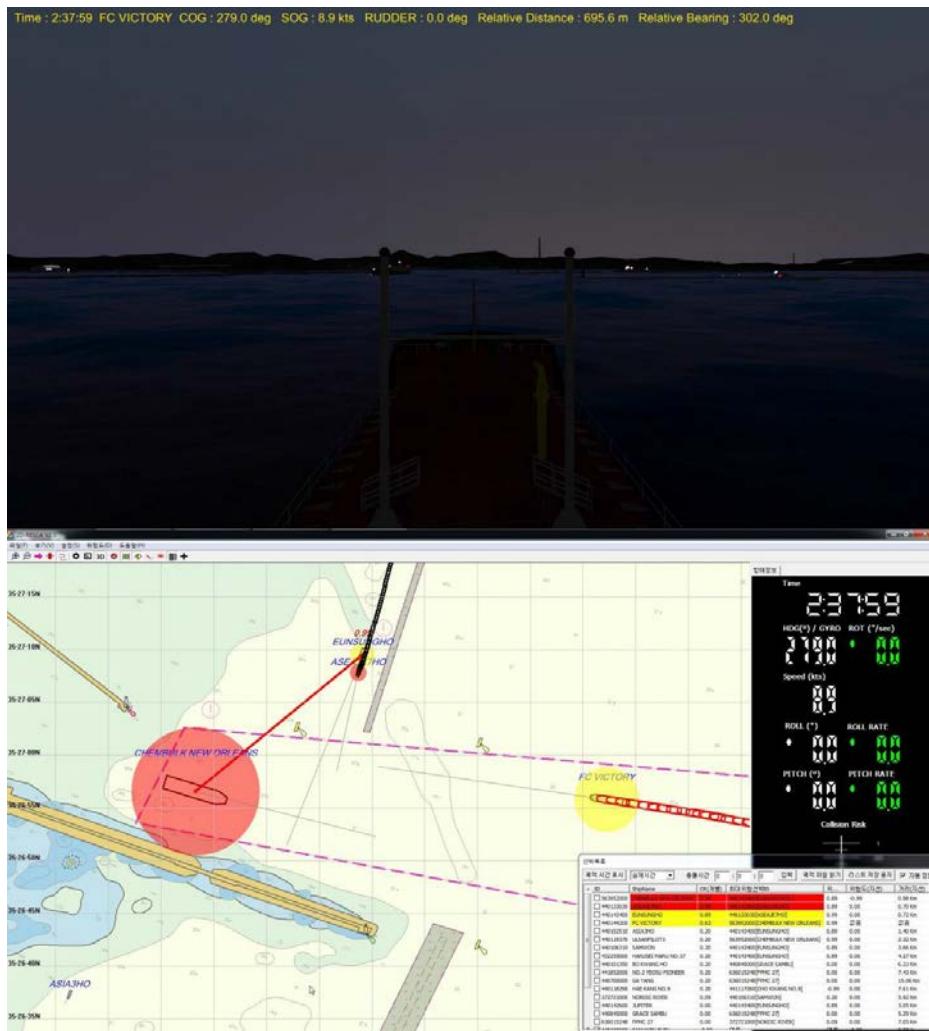


그림 3.107 선박충돌사고 재현(사고사례 III VA300: V선 시점)

: 사고 2분 전(02:37:59)

② 사고 직전 (02:40:09)

- 제품운반선 V선 : 입항선으로 갑자기 항로진입한 소형선을 확인후 우현변침 시도하였으나, 시점이 늦어 충돌이 임박함.
- 급수선 A선 : 피항선으로 방파제 통과후 무리하게 주항로에 진입 후 입항선을 발견하고 회피하려 하였으나, 시점이 늦어 충돌이 임박함.
- ☞ 두선박의 충돌위험이 충돌임박으로 높게 표시되고 있음.



그림 3.108 선박충돌사고 재현(사고사례 III VA300: V선 사점)

: 사고 직전(02:40:09)

3-2) 선박 충돌사고 사례 III (VA301 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

☞ V선과 A선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생 시뮬레이션 결과임.

☞ 침로유지선(V선) 자선 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 3분 전 (02:37:24)

- 제품운반선 V선 : 입항선으로 침로유지선임.

☞ 입항선 전방과 우측으로 충돌주의가 표시되고 있음.

- 급수선 A선 : 피항선으로 방파제를 따라 주항로에 접근중임.

☞ V선 기준으로 전방 및 우측 방향별 위험도가 충돌주의로 표시되고, 출항선과 A선에 충돌주의가 표시되고 있음.

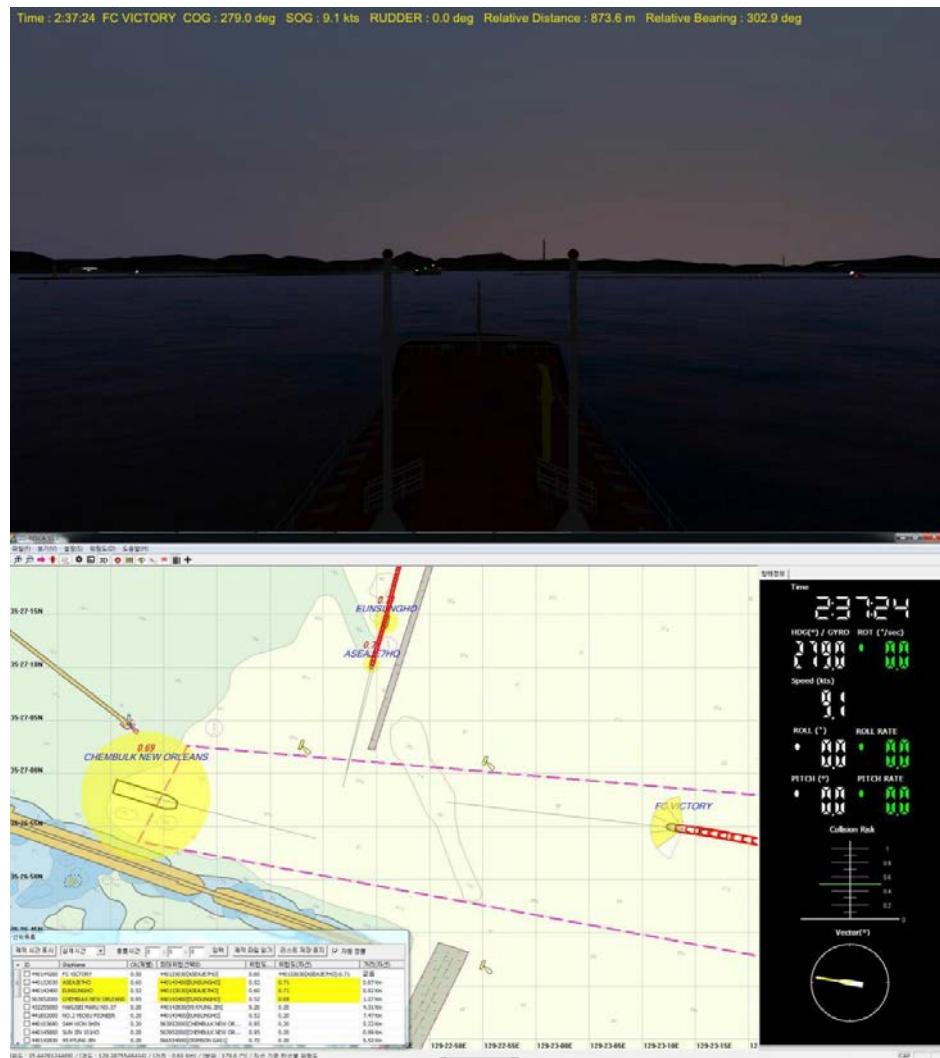


그림 3.109 선박충돌사고 재현(사고사례 III VA301: V선 기준 위험도)

: 사고 3분 전(02:37:24)

② 사고 직전 (02:40:20)

- 제품운반선 V선 : 입항선으로 갑자기 항로진입한 소형선을 확인후 우현변침 시도하였으나, 시점이 늦어 충돌이 임박함. (적색표시)
- 급수선 A선 : 피항선으로 방파제 통과후 무리하게 주항로에 진입 후 입항선을 발견하고 벗어나려 하였으나, 시점이 늦어 충돌임박(적색)
- ☞ V선 기준 방향별 위험도와 상대선인 A선의 충돌위험이 충돌임박으로 높게 표시되고 있음.

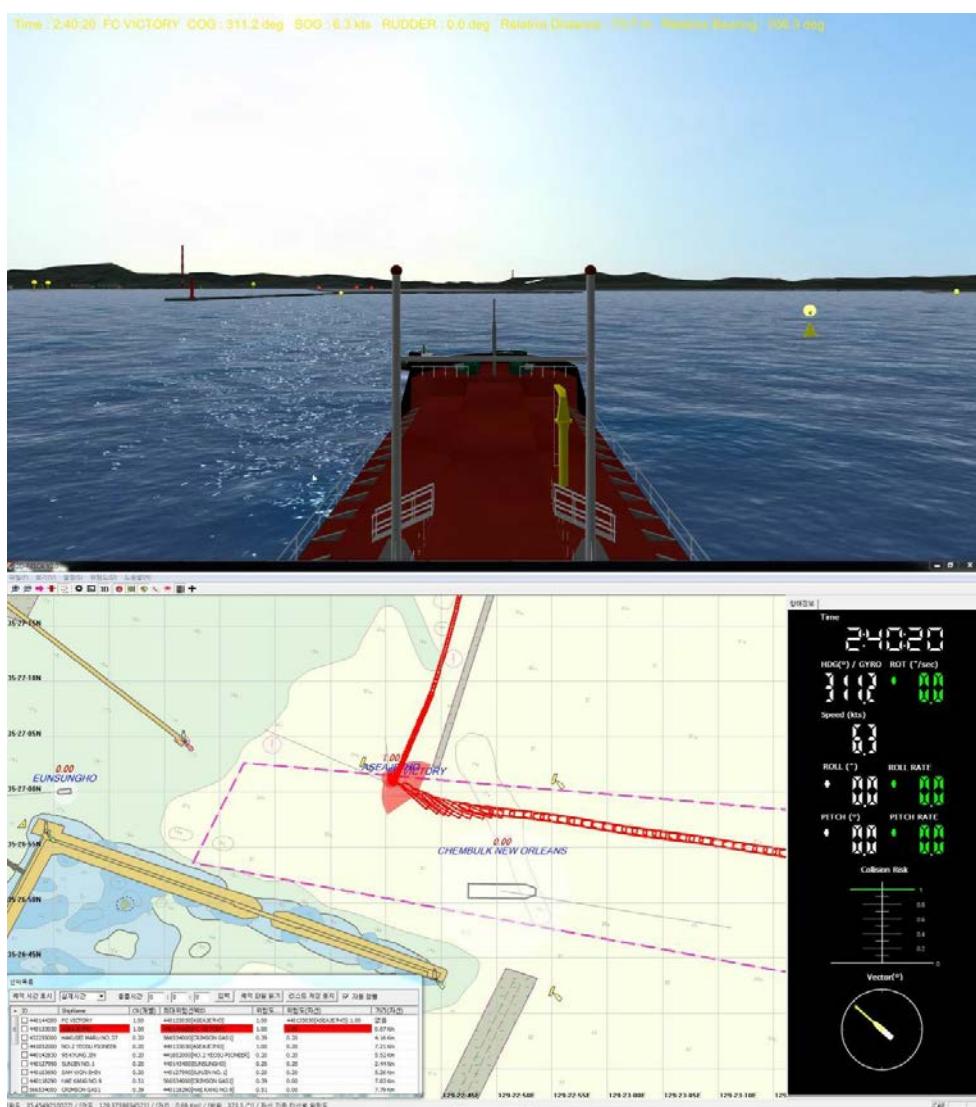


그림 3.110 선박충돌사고 재현(사고사례 III VA301: V선 기준 위험도)

: 사고 직전(02:40:20)

☞ 원래 야간이나, 충돌선간 위치 파악이 용이하도록 주간으로 캡쳐함 (이하 생략함)

3-3) 선박 충돌사고 사례 III (VA302 : 선박충돌재현 재생 시뮬레이션)

☞ V선과 A선의 충돌사고데이터를 그대로 재현한 재생 시뮬레이션 결과임.

☞ 피항선(A선) 자선 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 1분 전 (02:39:10)

- 제품운반선 V선 : 입항선으로 침로유지선임.

☞ 충돌주의가 표시되고 있음.

- 급수선 A선 : 피항선으로 방파제를 따라 주항로에 접근중임.

☞ A선 기준 전방과 좌측 방향별 위험도가 충돌주의가 표시되고, 상대선인 V선의 위험도도 충돌주의로 표시되고 있음.



② 사고 직전 (02:40:23)

- 제품운반선 V선 : 입항선으로 갑자기 항로진입한 소형선을 확인후 우현변침 시도하였으나, 시점이 늦어 충돌이 임박함. (적색표시)
 - 급수선 A선 : 피항선으로 방파제 통과후 무리하게 주항로에 진입후 입항선을 발견하고 벗어나려 하였으나, 시점이 늦어 충돌임박(적색)
 - ☞ A선의 방향별 위험도와, A선 기준 V선의 충돌위험이 충돌 임박으로 높게 표시되고 있음.



그림 3.112 선박충돌사고 재현(사고사례 III VA301: A선 기준 위험도)
: 사고 직전(02:40:23)

3-4) 선박 충돌사고 사례 III (VA320 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

- ☞ V선과 A선의 충돌사고 재생중 V선 회피 시뮬레이션(5분전 회피기동) 결과임.
 - 환경조건 : 맑음, 바람(18노트), 파랑(1.75미터) 적용
 - ☞ 회피기동한 선박(V선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.
- ① 사고 약 2분 전 (02:38:32)
- 제품운반선 V선(회피시뮬레이션) : 입항선으로 침로유지선임.
 - ☞ V선 전방 방향별 위험도가 충돌임박으로, 좌우현 방향별 위험도가 충돌주의가 표시되고 있음.
 - 급수선 A선(사고궤적 재생) : 과항선으로 주항로에 접근중
 - ☞ V선 기준 A선의 위험도가 충돌임박으로 표시됨.



그림 3.113 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA320: V선 회피)
: 사고 2분 전(02:38:32)

② 사고 시작 (02:41:18)

- 제품운반선 V선 (회피시뮬레이션)

☞ 입항선이 침로유지선이나 좌현회피 기동후 침로유지하여 충돌을 회피함.

- 급수선 A선 (사고궤적 재생) : 충돌위치

☞ 회피후 V선 방향별 위험도 및 V선기준 A선의 위험이 해제됨.



그림 3.114 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA320: V선 회피)
: 사고 시작(02:41:18)

3-5) 선박 충돌사고 사례 III (VA330 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

☞ V선과 A선의 충돌사고 재생중 V선 회피 시뮬레이션(2분전 회피기동) 결과임.

→ 환경조건 : 맑음, 바람(18노트), 파랑(1.75미터) 적용

☞ 회피기동한 선박(V선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 1분 전 (02:39:46)

- 제품운반선 V선(회피시뮬레이션) : 입항선으로 침로유지선임.

☞ V선 전방 및 좌우측 방향별 위험도가 충돌임박으로 표시되고, 좌측에는 대형선이 출항하고 우측에는 소형선(급수선)이 항로에 진입하고 있어 좌우현 회피가 모두 어려운 상황임.
대형선이 지나가자마자 곧바로 좌현회피 기동함.

- 급수선 A선(사고궤적 재생) : 피항선으로 주항로에 접근중

☞ V선 기준 A선 위험도가 충돌임박으로 표시됨.



그림 3.115 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA330: V선 회피)

: 사고 1분 전(02:39:46)

② 사고 시작 (02:41:07)

- 제품운반선 V선 (회피시뮬레이션)

☞ 입항선이 침로유지선이나 좌현회피 기동후 침로유지하여 충돌을 회피함.

- 급수선 A선 (사고궤적 재생) : 충돌위치

☞ 회피후 V선 방향별 위험도 및 V선 기준 A선 위험이 해제됨.

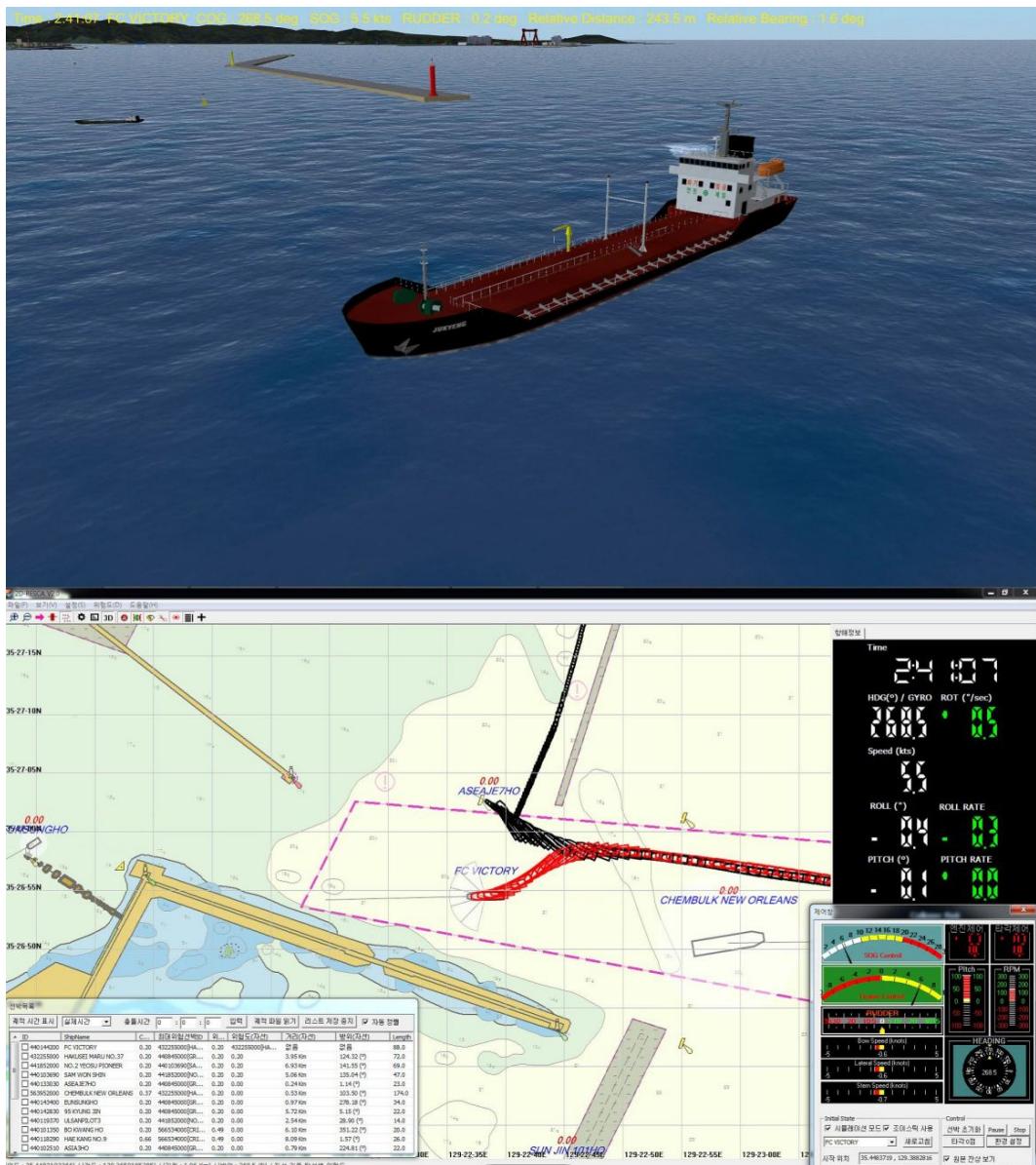


그림 3.116 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA330: V선 회피)
: 사고 시작(02:41:07)

3-6) 선박 충돌사고 사례 III (VA342 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

☞ V선과 A선의 충돌사고 재생중 A선 회피 시뮬레이션(5분전 회피기동) 결과임.

→ 환경조건 : 맑음, 바람(18노트), 파랑(1.75미터) 적용

☞ 회피기동한 선박(A선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 1분 전 (02:38:53)

- 제품운반선 V선(사고궤적 재생) : 입항선으로 침로유지선임.

- 급수선 A선(회피시뮬레이션) : 피항선으로 주항로에 접근중

☞ 우현에는 다른 소형선이 항로 횡단중이며, 전방에는 대형선이 출항중이고, 좌측에는 대형선이 입항하고 있어 어느방향 이든 회피가 모두 어려운 상황임. 대형선이 지나가자마자 V선 접근전에 미리 항로를 횡단하는 방법으로 회피기동함.



그림 3.117 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA342: A선 회피)

: 사고 1분 전(02:38:53)

② 사고 시작 (02:41:12)

- 제품운반선 V선(사고궤적 재생) : 충돌사고 위치
- 급수선 A선(회피시뮬레이션)
 - ☞ 피항선이 항로를 미리 횡단하여, 충돌을 회피함.
 - ☞ V선이 접근하기 전에 미리 항로를 횡단함으로써 A선의 방향별 위험도 및 A선 기준 V선의 위험이 나타나지 않음.

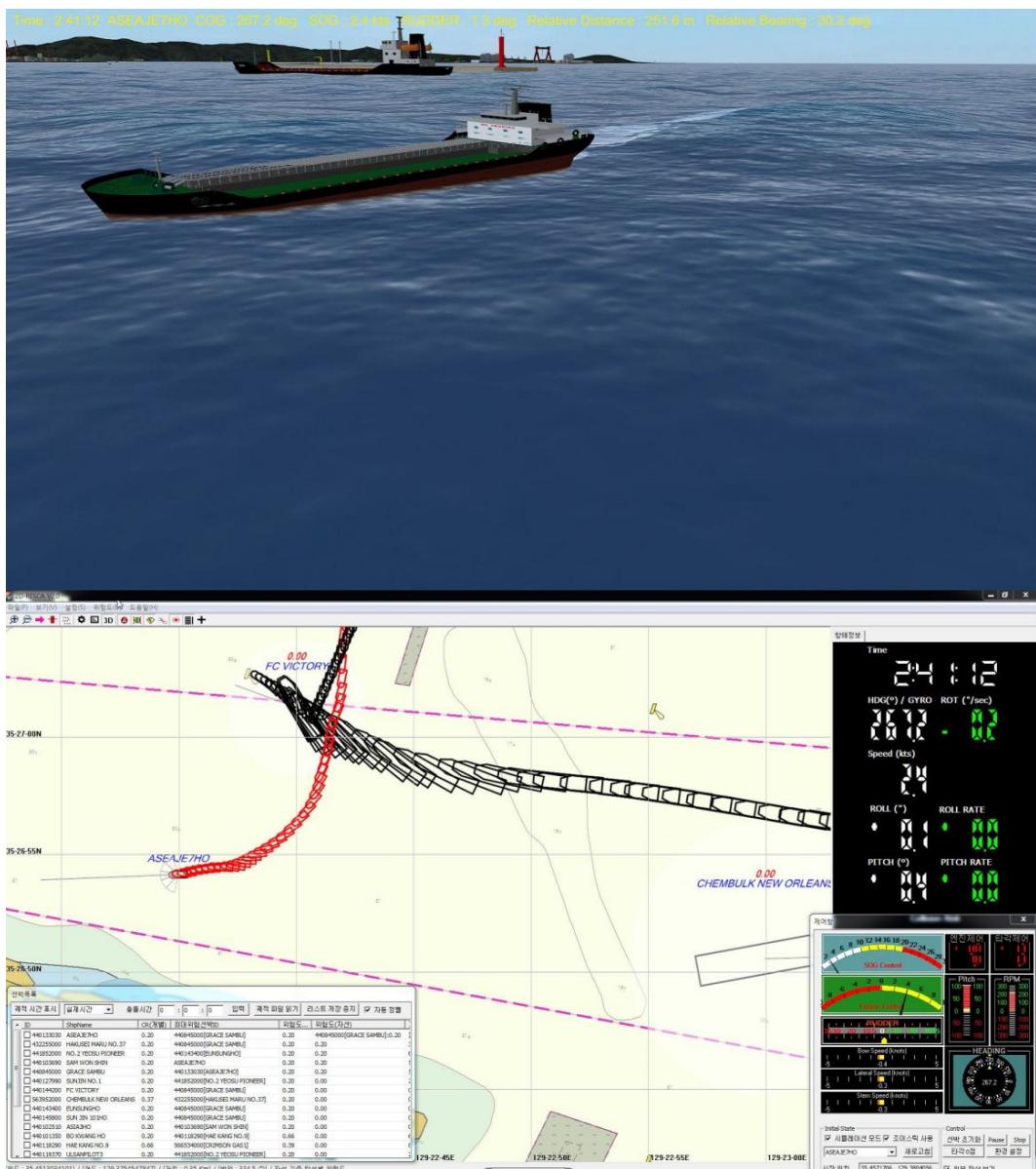


그림 3.118 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA342: A선 회피)
: 사고 시작(02:41:07)

3-7) 선박 충돌사고 사례 III (VA350 : 선박충돌재현 회피 시뮬레이션)

☞ V선과 A선의 충돌사고 재생중 A선 회피 시뮬레이션(2분전 회피기동) 결과임.

→ 환경조건 : 맑음, 바람(18노트), 파랑(1.75미터) 적용

☞ 회피기동한 선박(A선) 기준 충돌 위험도를 함께 평가하여 살펴봄.

① 사고 약 1분 전 (02:39:43)

- 제품운반선 V선(사고궤적 재생) : 입항선으로 침로유지선임.

- 급수선 A선(회피시뮬레이션) : 피항선으로 주항로에 접근중

☞ 우현에는 다른 소형선이 항로 횡단중이며, 전방에는 대형선이 출항중이고, 좌측에는 대형선이 입항하고 있어 어느방향 이든 회피가 모두 어려운 상황임. 대형선이 지나가자마자 V선이 접근하기 전 미리 항로를 횡단하는 방법으로 회피함. 충돌 2분전까지 접근하여 A선 기준 V선의 위험도가 충돌주의로 표시되고, 이로 인하여 A선의 좌측 충돌주의 및 A선 우측에 충돌위험이 높게로 표시됨.



그림 3.119 선박충돌회피 시뮬레이션

(사고사례 III VA350: A선 회피)

: 사고 1분 전(02:39:43)

② 사고 직전 (02:40:08)

- 제품운반선 V선(사고궤적 재생) : 충돌사고 위치
 - 급수선 A선(회피시뮬레이션)
 - ☞ 피항선이 항로를 미리 횡단하여, 충돌을 회피함.
 - ☞ V선이 접근하기 전에 미리 항로를 횡단함으로써 A선의 방향별 위험도 및 A선 기준 V선의 위험도가 해제됨.



그림 3.120 선박충돌회피 시뮬레이션(사고사례 III VA350: A선 회피)
: 사고 시각(02:40:08)

제 4 장 결 론

○ 선박 충돌 등의 해양사고에 대한 객관적이고 과학적인 분석을 통하여 공정한 법집행을 위한 선박충돌재현 시스템을 개발하였음

- 3차년도에 선박충돌재현 시스템 개발함에 있어, 크게 두가지 핵심 분야에 대한 연구를 수행하였음
 - 선박 충돌 재현 기술로서, 선박충돌 위험도 평가 기술과 충돌회피 가능성 평가 기술을 개발하였음
 - ☞ 선박 충돌사고를 재현함에 있어, 사고의 원인분석시 운항과실 확인을 지원하기 위하여 충돌대상선박의 충돌위험도 평가 알고리즘을 개발하였음
 - ☞ 선박 충돌사고를 방지할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여, 충돌사고 재현중 회피시뮬레이션을 통한 조타 및 엔진 조작시 회피기동에 따른 선박 충돌회피 가능성 평가 기술을 개발하였음.
 - 선박 충돌 재현 시스템으로서, 선박 충돌위험도 평가 및 회피가능성 평가 시스템을 개발하였음
 - ☞ 선박 충돌사고를 재현함에 있어, 사고원인분석 지원을 위한 선박충돌위험도 평가 프로그램을 구현하였음. 특히, 충돌선박 기준의 선박충돌위험도 평가와 함께 육상관제 기준의 다중선박 충돌위험도 평가 기능을 함께 구현하였음.
 - ☞ 선박 충돌사고를 재현 중 엔진/조타가 포함된 회피 시뮬레이션을 통하여, 회피가능성 평가가 가능한 선박충돌회피가능성 평가 시스템을 구현하였음.
 - 선박충돌위험도 평가 및 회피가능성 평가 기능을 전자해도 기반의 2차원 선박충돌재현 프로그램에 구현하였고, 이동형 단말기에 이를 설치하여 선박충돌재현 시험품을 개선하였음.
 - 개발된 선박 충돌 위험도 평가 및 회피가능성 평가 시스템을 검증하기

위해서, 실제 선박충돌사례 3건의 데이터를 확보하여, 선박충돌사고 재현 및 회피 시뮬레이션을 통하여, 선박충돌위험도 및 회피가능성 평가를 수행하였음.

- 본 연구를 통해 개발된 선박 충돌재현 기술과 선박 충돌재현 시스템의 주요 성과물은 아래와 같음.
 - 선박충돌위험도 평가 기반 선박 충돌 재현 프로그램
 - 선박충돌재현 시스템 이동형 단말기

참 고 문 헌

- 해양수산부 해양안전심판원(2016), 해양사고통계자료, www.kmst.go.kr
- 손남선, “선박충돌위험도를 이용한 안전운항지원 시스템 검증 연구”, 한국 항해항만학회 추계학술대회, 2014
- The NMEA 0183 Protocol, www.nmea.org
- AIVDM/AIVDO protocol decoding, <http://catb.org/gpsd/AIVDM.html>
- SOLAS Chapter V SAFETY OF NAVIGATION, www.imo.org
- USCG (2008), Marine Safety Manual (Volume V: Investigations and Enforcement)
- Son, N.S. and Kim, S.Y. (2010): Validation on the Algorithm of Estimation of Collision Risk among Ships based on AIS Data of Actual Ships Collision Accident, Journal of Navigation and Port Research, Vol.34, No.10, 727-733
- Son, N.S., Kim, S.Y. and Lee,C.S. (2012): On The Monitoring System of Collision Risks among Multiple Ships, European Navigation Conference 2012.
- 해양경찰청고시 제 2013-04호 선박패스(V-Pass) 장치의 설치기준 및 운영등에 관한 고시
- 해양경비안전망을 위한 무선 데이터 통신 프로토콜, Wireless Data Communication Protocol for Korea Coast Guard Maritime Network, 한국 정보통신기술협회, 2012년6월
- 인천지방해양안전심판원 재결서, 인천해심 2014-029호, 2014년 7월 8일
- 중앙해양안전심판원 재결서, 중해심 제 2009-31호, 2009년 12월 30일
- 부산지방해양안전심판원 재결서, 부해심 제 2010-2호, 2010년 1월 26일
- 해양안전종합정보시스템, www.gicoms.go.kr
- 부산지방해양안전심판원 재결서, 부해심 제2009-69호, 2009년 11월 26일
- 부산지방해양안전심판원 재결서, 부산해심 제2016-020호, 2016년 4월 7일

중앙해양안전심판원 재결서, 중앙해심 제2016-008호, 2016년 5월 13일

손남선,신재길,박세준, VTS 데이터를 이용한 선박충돌사고 재현에 관한 연구,
해양환경안전학회 추계학술발표회 (2016)

Son, N.S. (2016): On the Replay Simulation of Ships Collision Accident
by using VTS Data, Asian Navigation Conference 2016.

가 .

