

행정간행물 등록번호

11-1530000-000084-10

연구보고서 2007 제2권

Research Report Volume 2



해양경찰연구개발센터
KCG R&D CENTER

목 차

장비개발분야

- 3 함포 사격 훈련용 시뮬레이터 개발에 관한 연구
Research on the simulator development of KCGVS(Korea Coast Guard Vulcan System)

과학수사연구분야

- 51 선박화재 특성과 원인분석에 관한 사례 연구
The case study regarding a vessel fire feature and cause analysis
- 65 선박충돌흔의 법과학적 분석
Forensic scientific investigation for the evidence of ship collision
- 83 레이더관측 정보를 이용한 선박 충돌사고 분석
The vessel collision accident analysis with radar observation information

유출유분석분야

- 101 수치해석에 의한 유지문 감식기법 적용사례 연구
A Case Study in Numerical Analysis for Forensic Identification of Oil Spill Accidents
- 113 기름유출 오염사고에 대한 감식·분석 시스템
Identification & Analysis System for Oil Spill Accidents
- 129 방오페인트에 함유된 유기주석물질 분석방법 연구
Study of an analytical method for determining organotin compounds in anti-fouling paints

해양배출물연구분야

- 151 해양배출폐기물의 분석방법에 따른 오염 저감효과 예측
Prediction on the Reduction Effect of Pollution according to Analytical Methods for Ocean Dumping Wastes
- 165 생물을 이용한 해양폐기물 독성평가 기술
Technique on the Toxity Test using Creature for Ocean Dumping Wastes
- 181 해양환경보호에 대한 우리나라와 국제해사기구협약 비교 연구
A Comparative Study on the Marine Environment Protection Convention between IMO and Our country
- 199 폐기물 배출해역의 영양염 분포특성
Characteristics of Nutrients Distribution in Ocean Dumping Area

장비개발연구분야

- 함포 사격 훈련용 시뮬레이터 개발에 관한 연구
Research on the simulator development of KCGVS (Korea Coast Guard Vulcan System)

합포 사격 훈련용 시뮬레이터 개발에 관한 연구

이상은, 김시억, 박기수, 성철, 최태성

Research on the simulator development of KCGVS (Korea Coast Guard Vulcan System)

S.E.Lee, S.O.kim, G.S.Park, C.Sung, T.S.Choi

Abstract

KCGVS(Korea Coast Guard Vulcan System) is a simulator on the ship that carries 20mm vulcan anti-air weapon system that was developed to train vulcan crew effectively to fire and target tracing exercise. We need some high technologies to represent reality and immersion effect such as the visual, audio, and force feedback. Therefore, for visual reality realization we applied real time 3D rendering technology and displayed the motion of flying bullet on the screen. To increase audio reality, we applied 3D audio technology that revolving sound of Vulcan and noises from target (ship target or airplane target) could be increased or decreased according to its approach or retreat. To realize the force feedback we applied control technique of the 6 degree of freedom motion base because the Vulcan should move up and down and rolling, pitching as the movement of the ship and wind direction. We are looking forward that coast guard will improve the Vulcan firing and operating capability with effective way of training and cost saving with this KCGVS project.

Keywords : Vulcan, Simulator

1. 서 론

합포 사격 훈련용 시뮬레이터 체계 구축은 합상용 20mm 발칸포 시뮬레이터를 개발하여 사수가 실제 장비를 사용하여 사격훈련을 하기 전에 지상에 위치한 가상현실 공간에서 표적 추적훈련 및 사격훈련을 하게함으로써 적기나 적함을 포착하여 격추할 수 있는 능력을 배양하여 훈련의 효율성을 높이고 실제 포탄을 사격함이 없이 훈련의 효과를 달성하게 한다.

2. 기술개발의 개요

현재 시뮬레이터는 실제 장비를 대신하는 가상현실 기법이 부족하였기 때문에 이를 극복하기 위해서는 해결해야 할 과제가 몇 가지가 있다. 즉, 시각, 청각, 역감에 있어서 현실감과 임장감을 부여하는 기법이 필요하다. 시각적 가상현실을 부여하는 방법은 3D 영상을 실시간으로 Rendering 하는 기술과 발칸포가 비파하는 모습이 스크린 상에서 실제 탄환이 날아가는 모습을 재생할 수 있어야 한다.

청각적 현실감을 높이기 위해서는 입체 음향 생성기술이 요구되며, 발칸포가 회전할 때 만드는 소음, 발칸포가 발사되면서 만드는 소음이 처음에는 강했다가 포수의 위치에서 점차 거리가 멀어지면서 작아지는 효과를 연출해야 한다. 그리고 표적에서 발생하는 소음도 거리가 가까워지면서 점차 커졌다가 거리가 멀어지면서 점차 줄어들어야 한다. 역감을 느끼게 하는 데는 함정의 흔들림에 따라서 발칸포 자체가 움직이는 것이 현실감을 주어야 하며, 이를 위해서는 발판 유동장치를 적절히 제어하는 기술이 필요하다. 또한 발칸포에서 사격을 하게 되면 작동 손잡이를 통해서 느껴지는 반동이나 진동감이 실제와 유사하도록 움직여야 한다. 이러한 가상현실감을 높이기 위해서 3D 실시간 Rendering 기술, 입체음향 제어 기술, Motion Base 제어기술, 역감 제어 기술, 임장감 부여 기술, 탄두 비행 시뮬레이션 기술 등이 하드웨어와 소프트웨어에서 통합 되어야 한다.

3. 개발 범위 및 내용

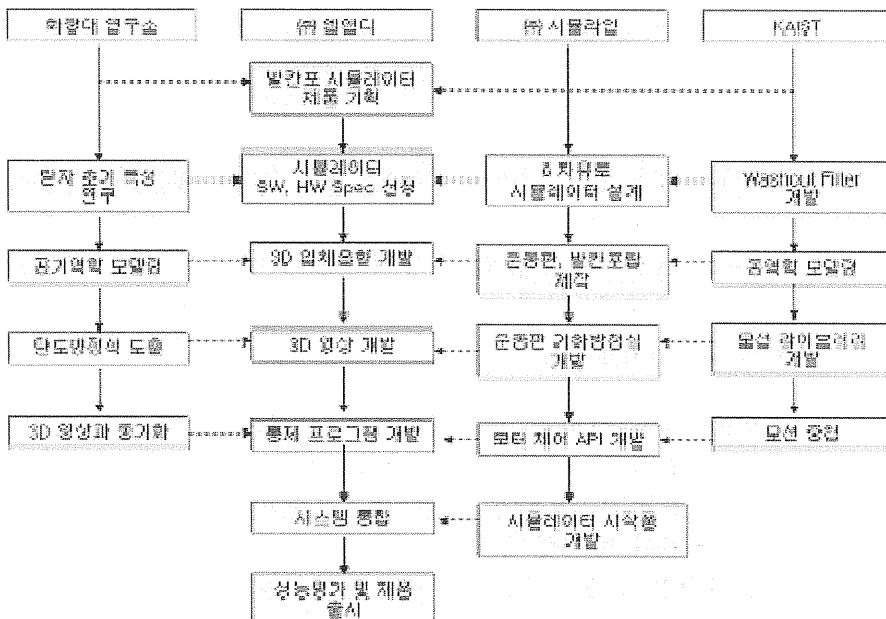
구분	함포 사격훈련 시뮬레이터
규격	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중량: 1000 Kg 이내 ▪ 길이: 472 Cm ▪ 폭: 250 Cm ▪ 높이: 206 Cm ▪ 무안경 Interface
성능 / 기능	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 사격 능력 <ul style="list-style-type: none"> - 고사격률: 3,000발/분 - 포탑 방위각 한계: 360도 - 저사격률: 1,000발/분 - 포신 고각한계: -5도~80도사격률 - 고사격률: 10, 30, 60, 100발중 선택 - 저사격률: 사수 임의 조정 유효 사거리 - 대공: 1,800 m - 대함: 2,000 m - 최대 사거리: 4,500 m ▪ 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 표적 3D 비행 simulation - 발칸포 탄도 비행 및 표적 동특성 모델링 - 발판 유동장치 구동 제어 및 센서 입출력 처리 - 훈련모의기의 구동 제어 및 입출력 처리 - 각 사수별 인증 및 평가점수 DB화 - Virtual Display Size: 54인치, 해상도:1280×1024
용도	<p>대공사격 및 대함사격을 위한 기본절차 및 숙달훈련이 가능한 장비를 개발하여 사수가 사격훈련을 통해 최소의 반응시간으로 적기나 적함을 포착, 격추할 수 있는 능력을 배양하고 적 공중 공격이나 함대함 공격전술에 대응할 수 있는 사격능력 배양하여 실제 장비를 가지고 사격훈련을 하는 것과 같은 효과 발휘</p>
요구 분석	<p>장비를 처음 접하는 교육생에게는 실 장비를 다루어 본 것과 유사한 효과를 달성하도록 하여 실장비로 훈련시 발생하는 훈련용 표적기, 훈련용 실탄 등, 훈련비 절감 및 장비 보호 효과, 훈련시 발생할 수 있는 안전사고 위험과 사격시 발생하는 민원사항을 근본적으로 줄일 수 있는 효과가 있도록 개발</p>

4. 추진 방법

4.1 추진조직 및 역할

합포사격훈련 시뮬레이터의 개발은 국내 개발을 원칙으로 하였다. 요구되는 모든 소프트웨어는 자체 개발하였으며, 위탁개발기관이나 참여기관의 지원하에 제작되었다. 또한 제작 및 개발에 사용된 SW 및 HW는 호환성, 확장성을 고려하여 개발하였으며, 제작이 요구될 경우는 자체수용과 외주를 병행하였다.

시뮬레이터 연구는 관·산 공동 추진(신제품 개발사업)으로 발칸목업 제작, 3D 지형 영상 및 표적영상, 3D 입체음향 개발 등 시뮬레이터의 기능에 필요한 모든 소프트웨어들의 개발과 시스템 통합은 엠앤디정보기술(주)이 담당하였다. 또한 합정의 실시간 운동감 생성 및 현실감 있는 모션을 묘사하기 위하여 6자 유도를 이용한 발판유동장치 개발에 대한 부분은 한국과학기술원(KAIST), 발칸 탄두비행 모의는 육군사관학교 화랑대 연구소에서 연구한 알고리즘을 기반으로 모델에 적용하여 시뮬레이터의 충실도를 향상시켰다.



<추진 조직 및 역할>

4.2 연구개발의 범위

가. 해양경찰 연구개발센터 장비개발연구팀

- 1) 시뮬레이터 운영환경 및 분석
- 2) 실제 함포와 시뮬레이터 목업 제작의 기준 설정
- 3) 사용자 환경 및 운영방법의 해석
- 4) 시뮬레이터 교육환경 및 운영기반 조성
- 5) 시스템 통합 운영과 활용방안 강구

나. 엠앤디정보기술(주)

- 1) 시뮬레이터의 H/W 및 S/W 사양 결정
- 2) 발칸포의 발사음, 장비의 회전음에 대한 3D 입체 음향을 개발
- 3) 기후조건에 따른 가시도, 풍향, 풍속을 고려한 3D 함대공 및 함대함 표적에 관한 영상 데이터 구축 및 통합프로그램 개발

다. 시뮬라인(주)

- 1) 전기식 6자유도 운동판 및 발칸포 포탑 개발
- 2) 모터 제어 API 개발(운동판의 각 actuator의 모터를 통제 프로그램, 또는 운영 프로그램이 제어할 수 있도록 API를 개발)
- 3) 운동판의 기하학적 방정식 개발(운동판 위치 및 자세 명령을 각 actuator의 길이 명령으로 환산하는 기하학적 방정식을 개발)

라. 화랑대 연구소

- 1) 발칸포 탄자의 발사후 초기 특성 연구 및 공기역학적 관계 모델링
- 2) 탄도방정식을 이용 바람에 의한 영향과 가시도에 의한 영향을 검토 하여 발칸포 탄두의 방정식 보정과 탄도 움직임의 3D 영상 동기화

마. KAIST

- 1) Washout Filter 개발(Classical Washout Filter를 분석 및 구현)
- 2) 동역학 모델링(역학적 특성에 기반을 둔 함정의 운동감 생성)
- 3) 모션 라이브러리 개발(함포의 사격에 따른 모션 라이브러리 구축)
- 4) 모션 중첩 및 Main Control System 과의 연동

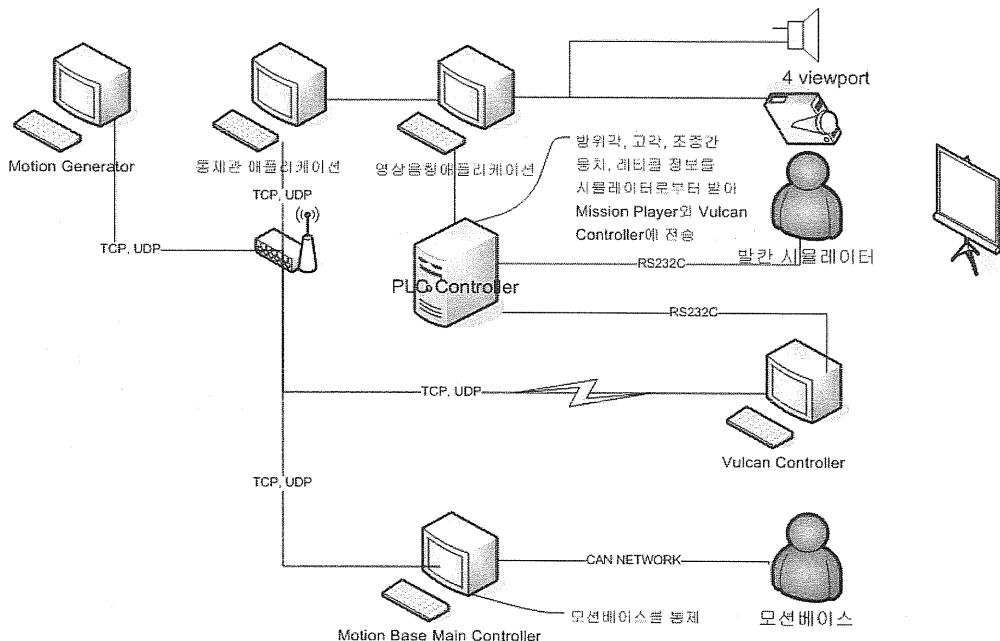
5. 시뮬레이터 구성 체계

5.1 H/W 구성도

함포 사격훈련 시뮬레이터 체계를 구성하고 있는 하드웨어(이하 H/W)는 크게 모션베이스와 관련된 모션컨트롤러, 모션 제너레이터 PC와 발칸 시뮬레이터와 관련된 발칸 시뮬레이터 통제 PC(시뮬레이터 안에 내장)와 PLC 컨트롤러, 영상/음향장비 그리고 통제관 및 영상/음향 소프트웨어가 설치된 컴퓨터 시스템으로 구성된다.

각각의 하부시스템은 연관된 소프트웨어와 관련되어 있고, 시스템간의 통신에 의하여 서로 연결되어 정보를 주고받는다.

다음은 시스템을 구성하고 있는 H/W의 구성도를 나타내고 있다.



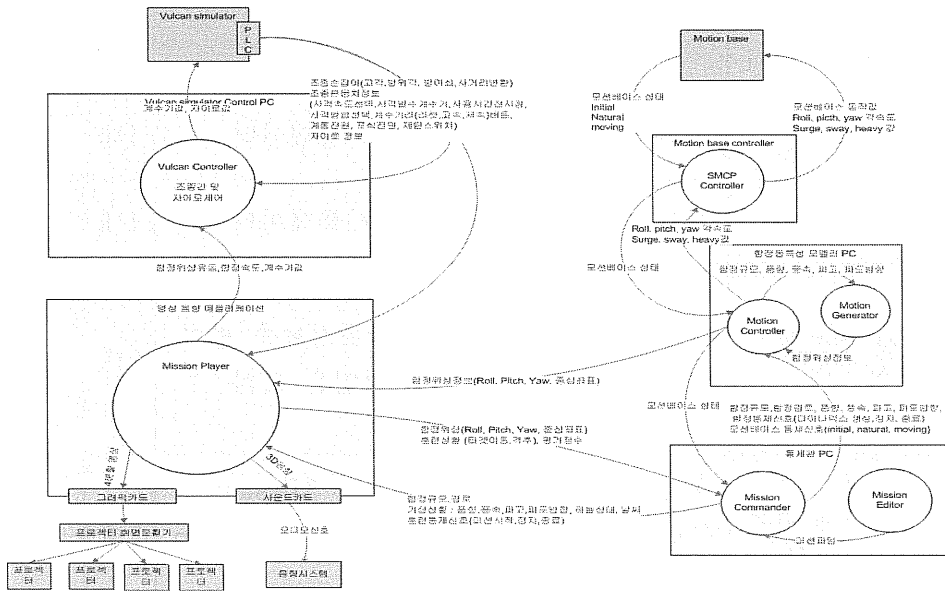
<하드웨어 구성도>

5.2 하드웨어 장비별 용도

품 명		용 도	수 량	비 고
Vulcan Simulator		발칸의 작동을 모의하는 시뮬레이터	1대	
Motion Base		함정의 작동을 모의하는 시뮬레이터	1대	
모션 컨트롤 시스템		모션베이스를 기동하고, motion generator 에서 생성한 함정정보를 받아 모션베이스가 함정의 움직임을 모의하도록 제어하는 콘솔	1대	
PC	통제관 PC	통제관이 훈련자를 통제하는 Mission Commander와 미션을 생성하는 Mission Editor가 설치된 컴퓨터	1대	
	영상 PC	훈련자를 위한 영상과 음향을 생성하고, 훈련자가 조정한 발칸의 시야를 표현하는 컴퓨터	1대	
	Motion Generator PC	Mission Commander에서 전송한 함정과 날씨정보를 기초로 함정의 유동값을 실시간으로 생성하는 컴퓨터	1대	모니터 (X)
영상장비	빔프로젝트	채널 영상을 투사하는 장비		스크린
음향장비		4채널 사운드를 출력하는 음향시스템	1대	스피커 4대
PLC 컨트롤 시스템		발칸의 조종간뭉치 정보를 받아 mission player와 vulcan controller에 RS232c 통신으로 전송함	1대	

<하드웨어 장비별 용도>

5.3 S/W 구성도



<소프트웨어 구성도>

5.4 S/W 별 주요기능

프로그램명	기능
Mission Editor	훈련 지형을 선택한 뒤 시나리오를 생성 및 수정
Mission Commander	훈련생의 정보를 관리(입력, 수정, 삭제) 훈련 시나리오를 실행, 통제, 평가자료 저장 2D 훈련 상황도를 관리
Mission Player	3차원 영상과 음향으로 훈련 상황을 4채널 프로젝터와 스피커로 출력
Motion Controller	Mission Commander에서 전송된 함정, 기상정보를 Motion Generator로 전달 및 Motion Base를 통제
Motion Generator	함정 유동값을 실시간 생성
Vulcan Controller	선도조준기의 영상을 생성한다.
SMCP	Motion Generator를 통해 전달받은 함정 유동값 으로 모션베이스를 실제 작동킴

<S/W별 주요 기능>

6. 함상형 발칸 시뮬레이터

6.1 H/W 개발내용 및 범위

구 분		내 용
H/W	모의 20MM 함상형 발칸포	사격 발사 장치와 격발신호 인식장치, 조종판 조종 인식장치를 포함하여 개발
	Main Control System	Main Program을 구동시키고 각 주변 장치와 연동 하는 System 개발
	Application System	주변기기의 각종 신호를 집약하여 Micom으로 전달 해주는 장치 개발
	영상 장비	훈련 과정에 따라 Main System에서 구동되어 실물과 유사하게 화면에 비추어 주는 장비
	음향 장비	실제 훈련 음향과 유사한 효과음을 발생하는 장비
	발판 유동 장치	기후 조건, 함정의 규모 등에 따라 사수가 실제 함정에 탑승하여 사격하는 느낌을 주기 위해 전체 장비를 유동시키는 장치 개발

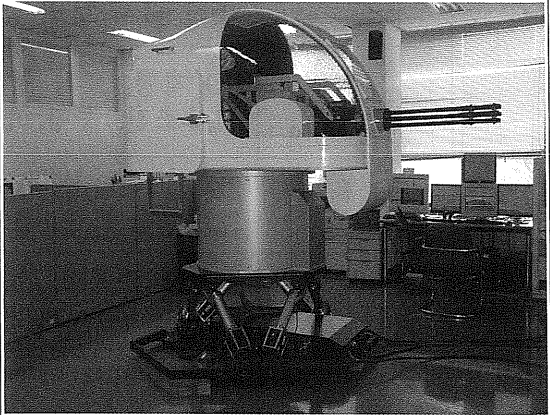
6.2 S/W 개발내용 및 범위

구 분		내 용
S/W	Main Program	훈련영상에 사격이 가능한 Program 개발 표적 비행/항해/발칸 탄두비행 시뮬레이션
	Visual Graphic 훈련 영상	3D 지형, 표적 영상 제작 및 전시 기상조건, 풍향, 풍속에 따른 3D 화면에 모의
	3D 음향 효과모의	3D 발칸 음향: 발칸음(발사음) 및 폭발음 모의 3D 표적 음향: 표적 기종별 비행음 및 함정음 모의
	Interface Program	영상장비, 격발신호 및 조종판 스위치 조작 인식 등을 Main system에서 처리가 가능한 Program 개발
	Application Program	주변 장치의 각종 아날로그 신호를 디지털 신호로 변경하여 Main PC에서 인식하고, Main PC에서 송출하는 디지털 신호를 아날로그 신호로 변경하여 주변 장치가 구동하게 만들어 주는 Program 개발
	Database	조건별, 상황별 사격 결과를 사수별로 디지털 데이터로 저장하여 관리 및 교정이 가능하도록 하는 Program 개발

6.3 20mm 함상형 발칸 시뮬레이터 목업 제작

함상형 발칸 시뮬레이터는 실제 도면을 기준으로 외형 및 구성품을 제작하였으나, 시뮬레이터의 목적에 부합되도록 단순하면서도 전체적으로 실물보다 작게 제작되었다. 그러나 훈련의 목적을 달성하기 위하여 일부 품목에 대해서는 실물과 동일 크기로 설계 제작하여 부착하였다.

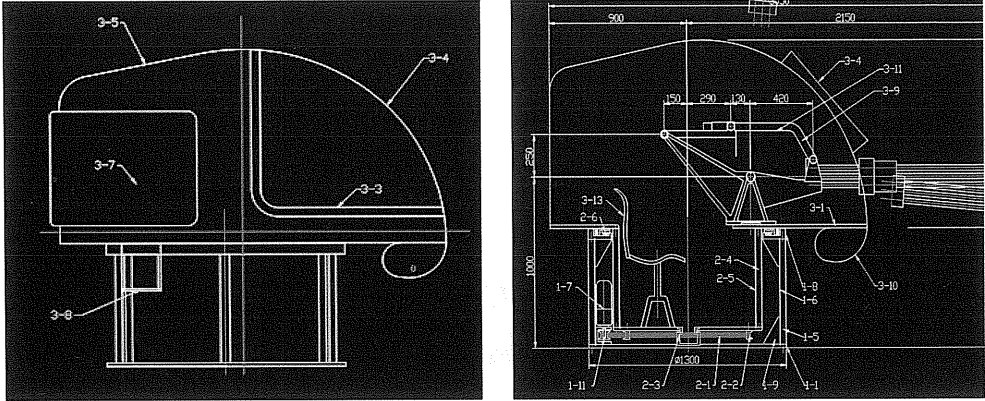
발칸 시뮬레이터는 크게 상부 프레임과 하부 프레임으로 구분하여 제작되었으며, 상부프레임은 선도조준기, 조종판 뭉치와 포신, 포트뭉치, 평형기 및 기타 구성 품목(사격차단기, 방향지시기, 탄통)이 설치되어져 있고, 하부 프레임에는 고각구동과 방위각 구동을 위한 전기모터와, 훈련 사수의 의자가 설치되어 있다. 또한 상부프레임과의 방위각 구동이 원활이 이루어질 수 있도록 하부프레임과의 사이에 베어링을 특수 제작하여 연결하였으며, 방위각 구동 또는 분해시, 배선이나 구조물의 손상 없이 쉽게 분해되도록 설계 제작하였다. 시뮬레이터의 외피는 FRP를 사용하여 제작하였다.

구분	내 용	
규격	<ul style="list-style-type: none"> - 중량 : 450kg이내 - 길이 : 210cm(포신미포함) - 폭 : 116cm - 높이 : 1m 78m 	
성능	<ul style="list-style-type: none"> - 방위각 범위 : 좌/우 60도 - 포신 고각 : -5도 ~ 85도 	

<발칸 목업 성능 및 20mm 발칸 포탑 설치 >

6.4 발칸 포탑 설계

발칸 포탑은 실제 함포의 외형을 실측하여 도면 제작



<발칸 측면/내부/후면 및 방위각 포탑 베이스>

6.5 발칸시뮬레이터 구성 요소

가. 주요 구성 품목

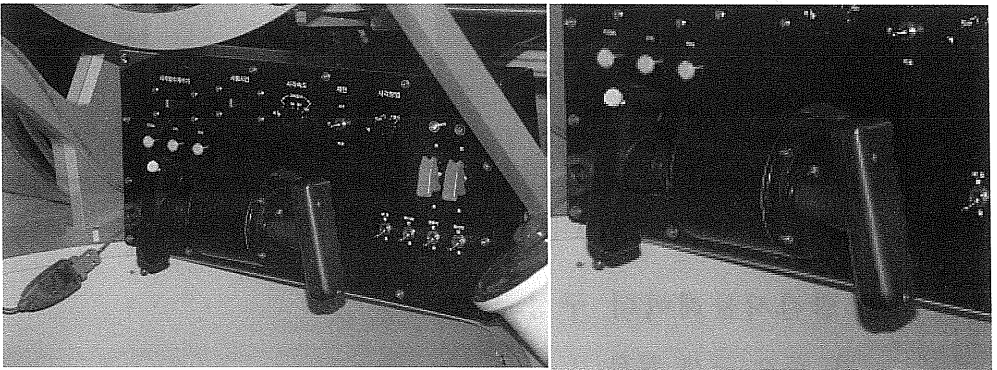
명 칭		재 질	비 고
외부	전면 투명창	FRP	
	외피		
상부	조종판 뭉치		
	조종손잡이		
	선도조준기		
	평형기		
	포신		전시효과
	포트뭉치		전시효과
	탄통		전시효과
	사격차단기		전시효과
	방향지시기		전시효과
하부	사수 의자		
	방위각구동 모터		
	고각구동 모터	AC 서브 모터	

<발칸 시뮬레이터 구성 품목>

6.6 구성품별 제작

가. 조종판 뭉치 및 조종 손잡이

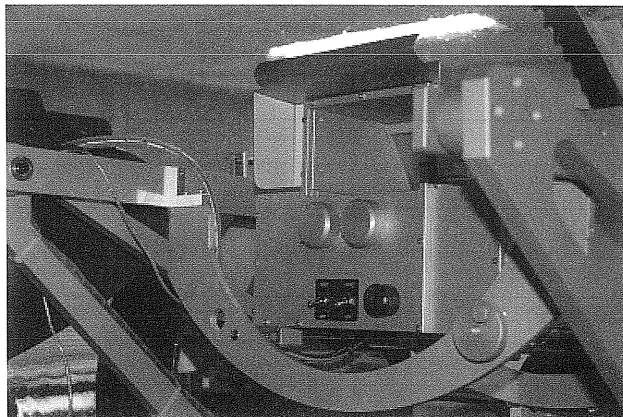
조종판 뭉치는 함상형 발칸 시뮬레이터의 훈련 목적상 사격발수 계수기, 사용시간, 사격방법, 전원장치에 대해서만 기능이 구현되었으며, 그외 항목은 절차훈련을 위하여 구성품으로만 제작하였으며, 조종손잡이는 실제와 유사한 느낌이 들도록 특수 제작하였다



<조종판 뭉치>

나. 선도 조준기

선도조준기는 7인치 LCD 모니터를 이용하여 구현하였다.

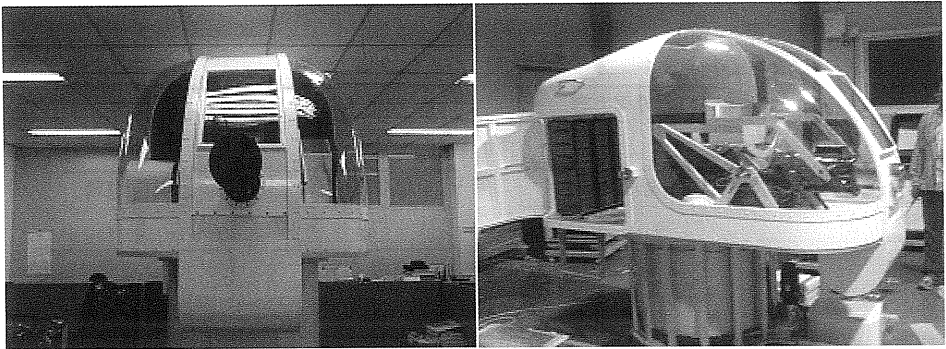


<선도조준기>

다. 평형기 및 방위 구동 모터

포신과 포탑사이에 장치되어 있으며, 포신이 고각 구동시 포신의 균형을 유지시켜 주도록 제작하였다.

방위각 구동은 훈련시에는 사용하지 않고, 조종 손잡이에 의해 영상을 이동하는 방법으로 구현하였으며, 교육목적을 위해 평시에 구동할 수 있도록 방위각 모터를 별도의 전원스위치를 부착하여 기능을 구현하였으나, 실제 속도와는 차이가 발생한다.

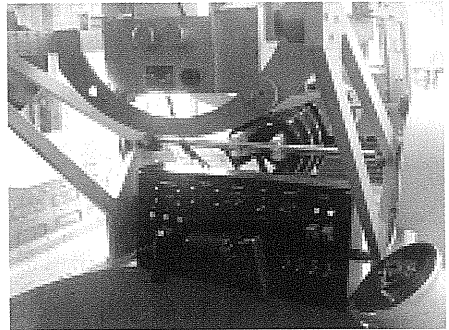
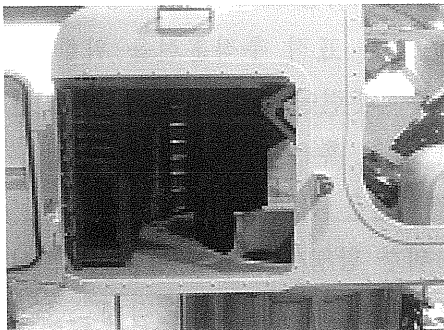


라. 고각구동 모터

포신의 고각구동은 -5도에서부터 85도까지 제한시켰으며, 고각 구동모터를 사용

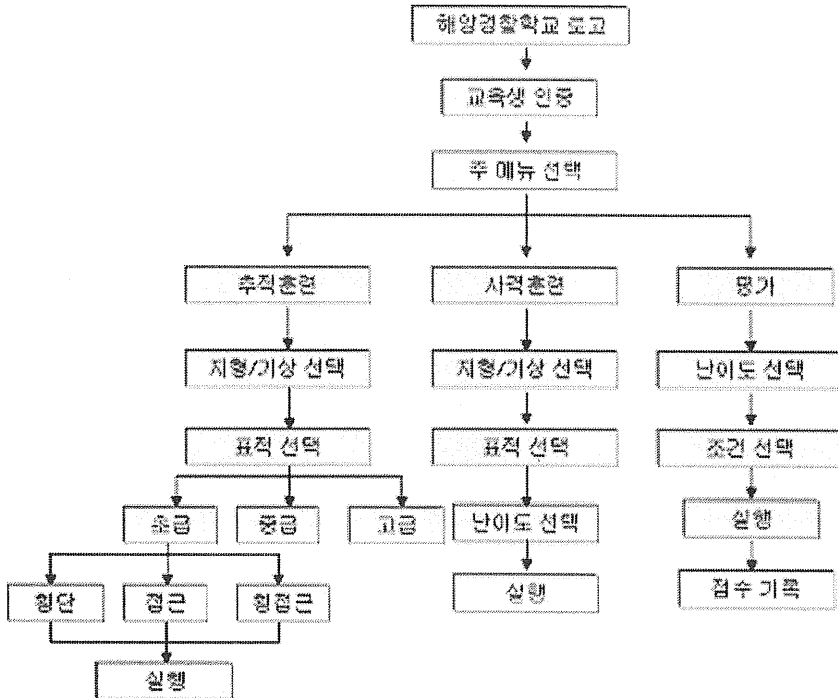
마. 기타

포신, 포트뭉치, 탄통, 사격차단기 및 방향지시기등은 목업의 현실성을 높여주기 위해 제작되었으며, 실제 기능은 구현하지 않음.



7. Main Program 구조 및 특성

7.1 Main Program 메뉴 구조



<훈련 실행 단계>

7.2 Main Program 메뉴 내용

가. 교육생 인증 : 시뮬레이터 구동 훈련을 위한 교육생 사전 등록 및 인증

나. 추적훈련 : 함정/항공기 이동에 따른 표적 추적훈련을 위한 메뉴

- 지형/기상 선택 : 함정/항공기 추적훈련을 위한 지형과 기상 설정
- 표적 선택 : 추적 훈련을 위한 함정 혹은 항공기 표적 설정
- 초/중/고급 : 함정/항공기 추적훈련을 위한 난이도 선택
- 횡단/접근/횡접근 : 추적훈련을 위한 함정/항공기의 이동 방법 선택
- 실행 : 함정/항공기 추적훈련을 위한 3D 영상화면 실행

다. 사격훈련

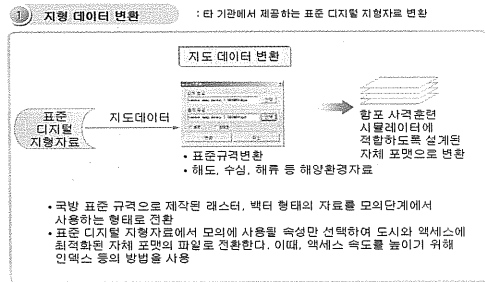
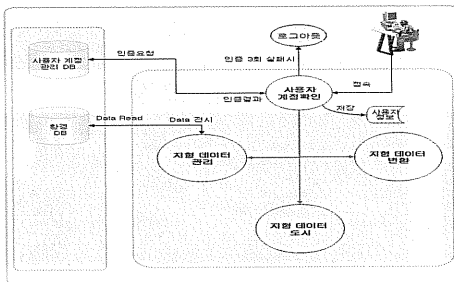
- 지형/기상 선택 : 함정/항공기 사격훈련을 위한 지형과 기상 설정
- 표적 선택 : 사격 훈련을 위한 함정 혹은 항공기 표적 선택
- 난이도 선택 : 함정/항공기 사격훈련을 위한 난이도 선택
- 실행 : 함정/항공기 사격훈련을 위한 3D 영상화면 실행

라. 평가

- 추적훈련, 사격훈련, 함정/항공기 표적에 대한 사격 결과 저장
- 각 기록된 훈련결과 값을 종합 점수 기록 및 순위 기록

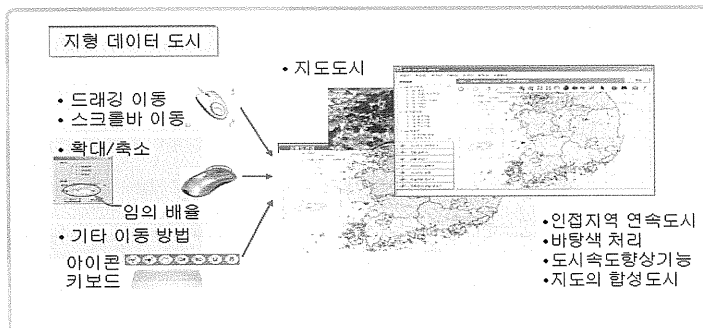
7.3 Visual Graphic 영상(3D 지형 영상 제작 및 전시)

함포사격훈련 시뮬레이터에 적용된 지형은 크게 다도해, 연안부근, 망망대해 3가지 형태의 지형이 적용되어져 있으며, 타 기관에서 제공하는 표준 디지털 지형자료를 3D 솔루션 틀인 “리얼랜즈”를 이용하여 시스템에 적합하도록 변환하여 적용하였다.



<3D 지형 영상 흐름도 및 지형 데이터 변환>

② 지형 데이터 도시 : 변환된 지형 데이터를 아래와 같은 다양한 방법으로 도시



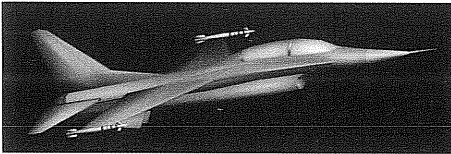
<지형데이터 도시>

7.4 3D 표적 영상 제작

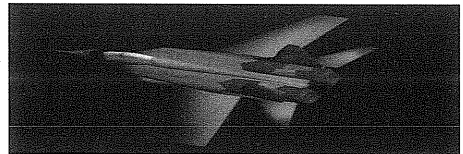
3D 표적 영상은 크게 대함 표적과 대공 표적으로 구분하여 제작하였으며, 각각 다음과 같은 내용이 포함되어져 있다.

구 분		아군	적군
항공기 (42개)	고정익	F-16기의 21개 종류	MIG-29기의 17종
	회전익	OH-58외 1종	MI-2외 3종
함정 (13개)	5000톤급	총 6 개 (톤급별 각 1종)	총 6 개 (톤급별 각 1종)
	3000톤급 ~1000톤급		
	300~250톤급		
	어선	공통 1종	

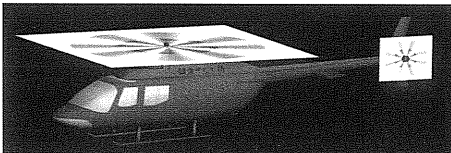
<3D 표적 종류>



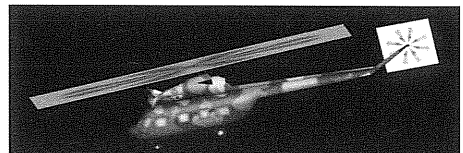
아군 고정익



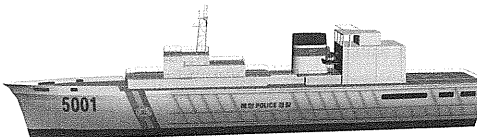
적군 고정익



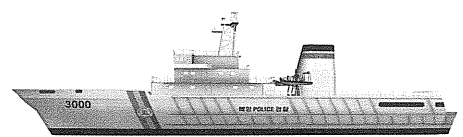
아군 회전익



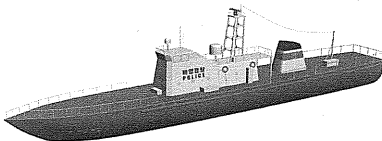
적군 회전익



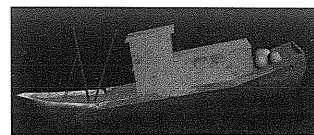
5000톤급



3000톤급



250톤급



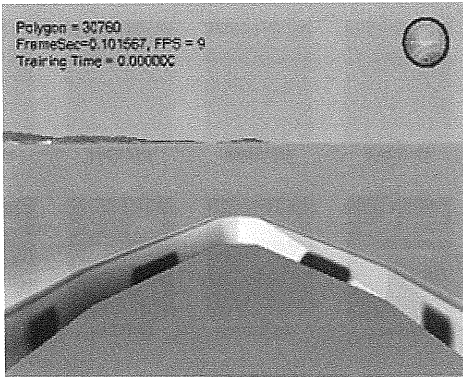
어선

<대공/대함 3D 표적 종류>

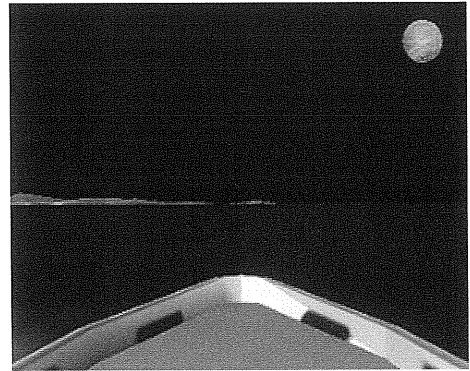
7.5 기타 영상

시각화 영상은 3D 개체, 목표기상 조건 및 효과와 결합 지형 데이터베이스로부터 표현되며, 리얼랜즈를 통해 다음과 같은 3D 영상등을 지원한다.

- 1) 시간 : 일과 시간에 따른 명암을 조절하여 시간의 변화를 표현한다.



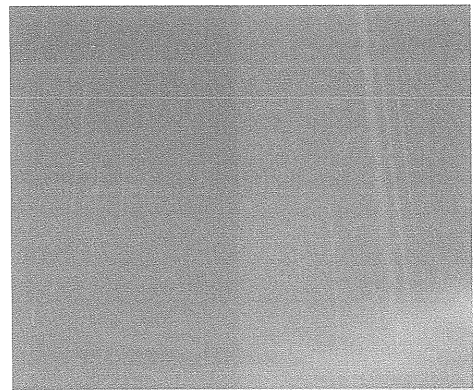
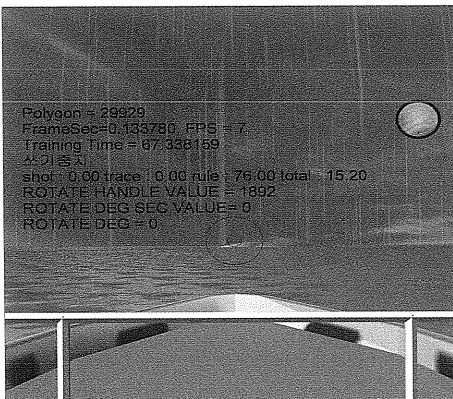
오후 4시



새벽 2시

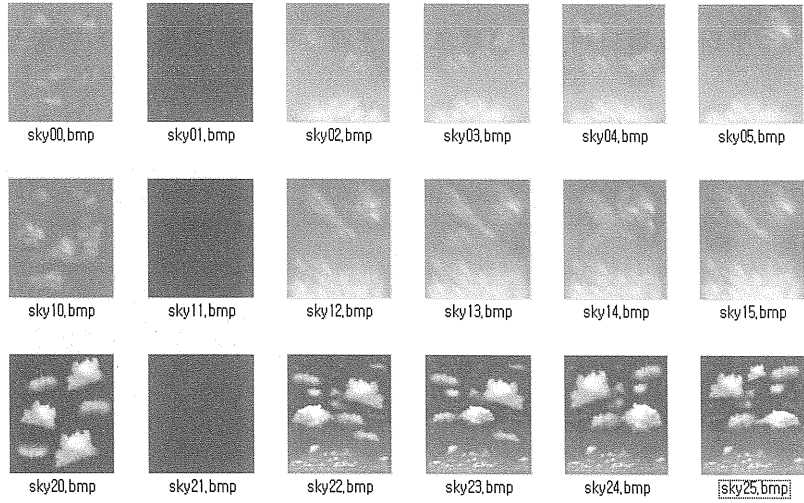
<시간에 따른 영상 전시 화면>

- 2) 기상 조건(눈, 비) : OPEN GL에 기반을 둔 파티클 엔진으로 눈, 비입자 텍스처를 랜덤하게 발생시켜 효과를 낸다.

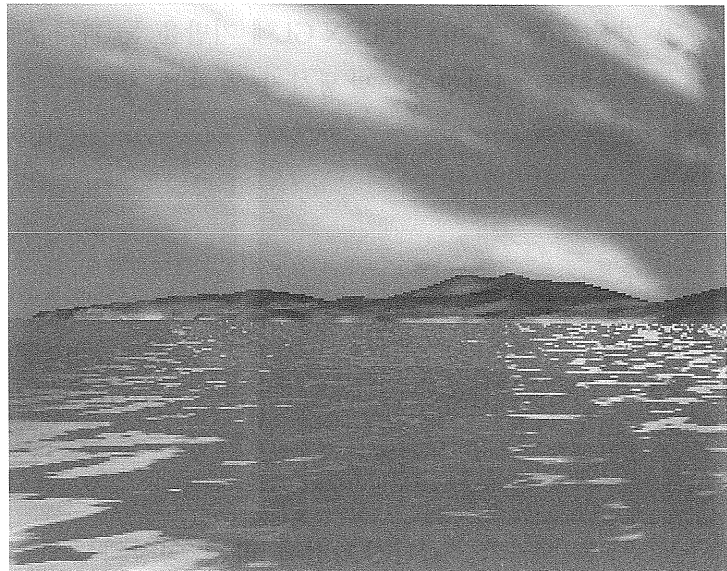


<기상조건에 따른 영상화면>

- 3) 구름 : 구름이 하늘을 구성하는 육면체의 텍스처를 달리 입힘으로써 구름의 많고 적음으로 분리하여 표현한다.

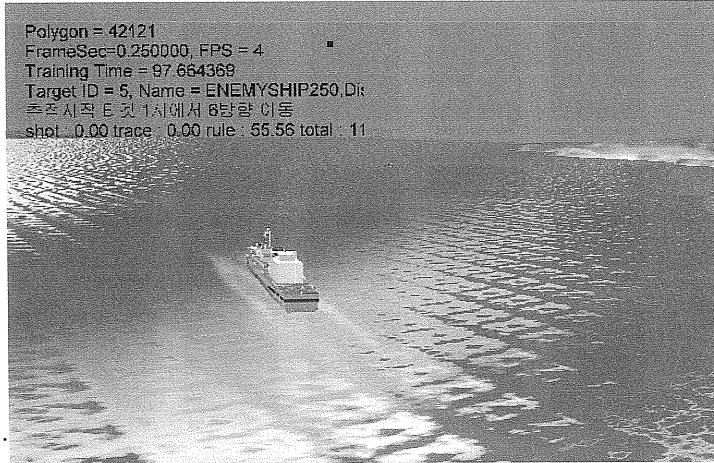


<구름양별 배경 텍스처>



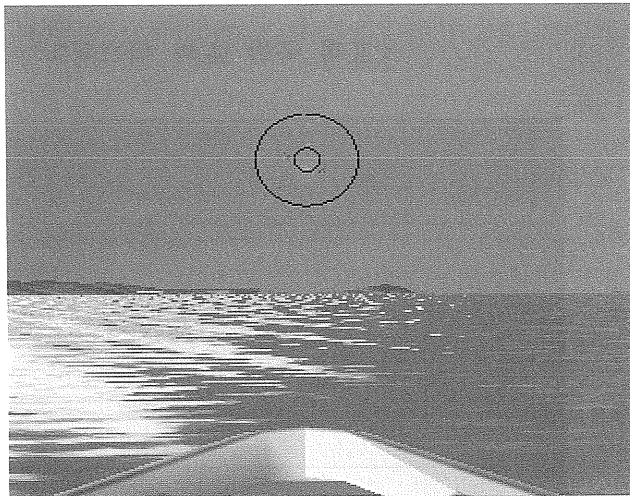
<구름있는 하늘>

- 4) 시계(視界) - 안개 : 사실감 있는 시각화를 위한 각종 효과를 지원
함정의 궤적- 함정이 이동할 때 파도를 가르면서 궤적이 나타난다



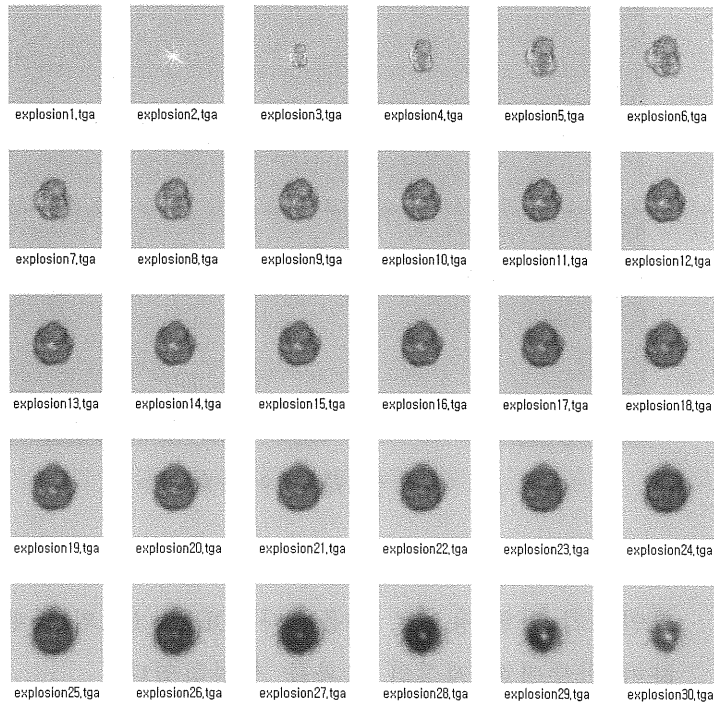
<함정 궤적 이동화면>

- 5) 예광탄 효과 : 예광탄 전시는 대개 몇 발마다 한발씩 장착되어 궤적을 확인하기 위한 용도로 사용된다. OPEN GL의 블렌딩 효과를 이용하여 반투명한 궤적의 효과를 생성하였다.

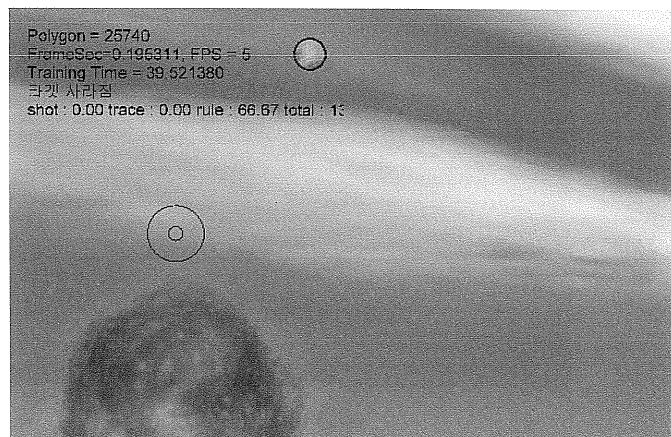


<예광탄 궤적 화면>

- 6) 목표물 격추효과 (연기와 화염) : 연쇄적인 폭발을 표현한 텍스처를 빌보딩 기법으로 연달아 출력하여 최종적인 타겟 폭발 효과를 모의한다.



<표적 폭발 효과 텍스처>



<표적 폭발 화면>

7.6 3D 음향 효과

가. 3D 음향파일 종류 : 함포 사격 훈련 시뮬레이터에서의 음향은 3D 사운드를 지원하고 다음과 같은 음원을 포함하고 있다

- 항공기(고정익, 회전익) - 음향 소형 무기 발사 음향
- 함정, 어선음향 - 포 발사, 폭발 음향
- 탄약 비행 음향 - 환경(천둥소리) 음향

음향 표적 분류		아군	적군
항공기	고정익	Airplane.wav	동일
	회전익	Hel01-Loop.wav	동일
함정	1000톤급 이상	CoastGuard01.wav	Warship01.wav
	경비정		
	어 선	FishShip01.wav	동일
발칸 발사음		fire.wav, fireecho.wav	동일
폭발음		explosion.wav	동일
천둥소리		thunder.wav	동일

<음원종류 및 파일>

각 음원은 wav 파일로 구성되어 있어 파일 교체로 간단히 음원을 변경할 수 있다.

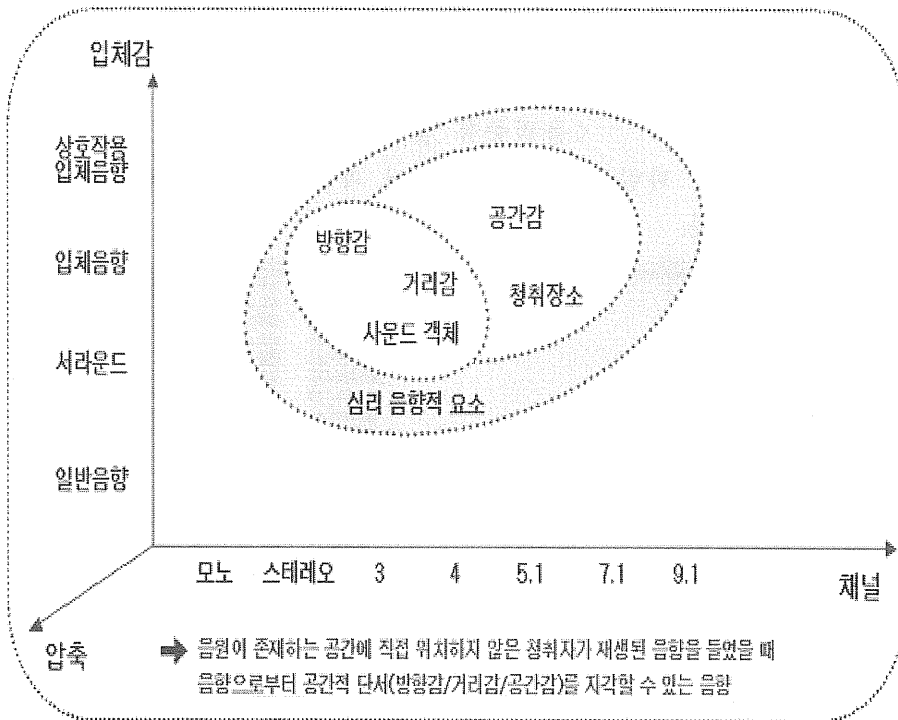
이름	크기	종류
Airplane.wav	283KB	공중디오 파일(.wav)
Beam.wav	17KB	공중디오 파일(.wav)
Bird01.wav	2,521KB	공중디오 파일(.wav)
Bob1.wav	1,109KB	공중디오 파일(.wav)
Bob2.wav	757KB	공중디오 파일(.wav)
Bob3.wav	1,852KB	공중디오 파일(.wav)
Bob4.wav	948KB	공중디오 파일(.wav)
Bob5.wav	938KB	공중디오 파일(.wav)
Bob6.wav	6,099KB	공중디오 파일(.wav)
CoastGuard01.wav	2,794KB	공중디오 파일(.wav)
CoastGuard02.wav	3,194KB	공중디오 파일(.wav)
CoastGuard03.wav	2,378KB	공중디오 파일(.wav)
CoastGuard04.wav	3,310KB	공중디오 파일(.wav)
CoastGuardStarHorn.wav	1,259KB	공중디오 파일(.wav)
explosion.wav	87KB	공중디오 파일(.wav)
fire.wav	173KB	공중디오 파일(.wav)
fireEcho.wav	49KB	공중디오 파일(.wav)
FishShip01.wav	3,601KB	공중디오 파일(.wav)
FishShip02.wav	1,041KB	공중디오 파일(.wav)
FishShip03.wav	1,137KB	공중디오 파일(.wav)
H1.wav	3,699KB	공중디오 파일(.wav)
H2.wav	3,274KB	공중디오 파일(.wav)
Hel01-Loop.wav	499KB	공중디오 파일(.wav)
Hel02-Loop.wav	119KB	공중디오 파일(.wav)

<음원 파일 목록>

나. 3D 음향 효과 모의

소프트웨어 구성도에서 3D 음향 처리 모듈이 담당하는 기능으로 다음과 같은 특성을 포함하여 개발하였다. 시뮬레이터에서 청각은 시각 다음으로 중요한 요소이다. 소리를 만들고 제공하는 가장 보편적인 방법은 미디(MIDI: Musical Instrument Digital Interface)를 이용하는 것이다. 미디에서는 아날로그 음향신호를 샘플링하여 디지털 신호로 변환한 다음 Sequencer를 이용하여 재생한다. 외부 미디 시퀀서를 이용할 경우에는 모의실험에 필요한 모든 소리는 미리 저장되어야 한다. 소리의 생성에는 미디 이외에도 일반 사운드 카드를 이용할 수 있다.

■ 입체음향: 방향감, 거리감, 공간감 등 입체적인 인상과 임장감이 있는 음향

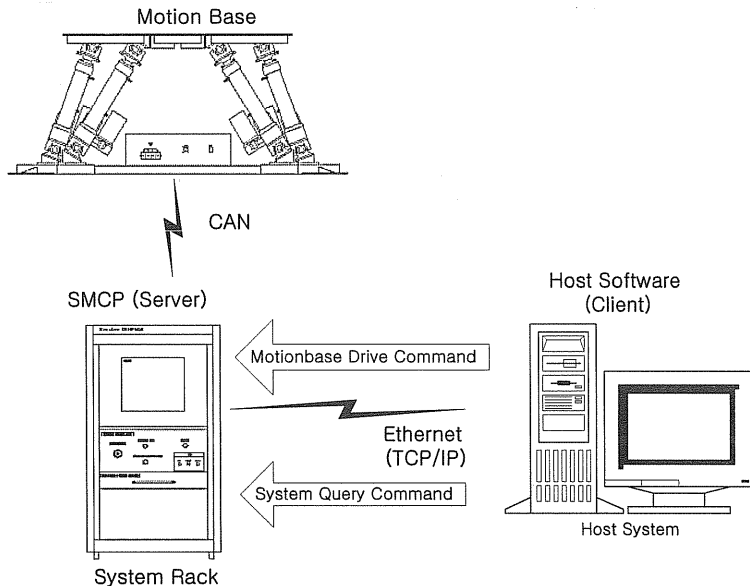


8. 6자 유도 장치(모션베이스)

8.1 개요

SMCP는 Motion Base 운용 및 Simulator통합에 필요한 각종 명령들을 외부 Host System으로부터 Ethernet을 통해 수신하여 그에 따라 Motion Base를 구동시키거나 Motion Base의 상태정보를 제공하여주는 운용 Software이다. SMCP Ver 1.53에서는 TCP/IP Protocol을 통한 Network 통신만을 지원한다.

Host System으로부터 전송받는 명령은 Motion Base 구동과 관련된 명령과 Motion Base의 상태정보를 얻기 위한 명령등으로 구성되어진다. SMCP는 TCP/IP 통신의 Server역할을 하는 Software이며 따라서 Host System으로부터 먼저 접속하여 연결을 한 후, 필요한 명령을 규격화된 구조체 Packet에 담아 명령을 전송함으로써 Motion Base를 동작시킬 수가 있다. 아래에서 이를 잘 보여주고 있다.



<Motion Base와 Host System , Ethernet을 통한 명령 전송>

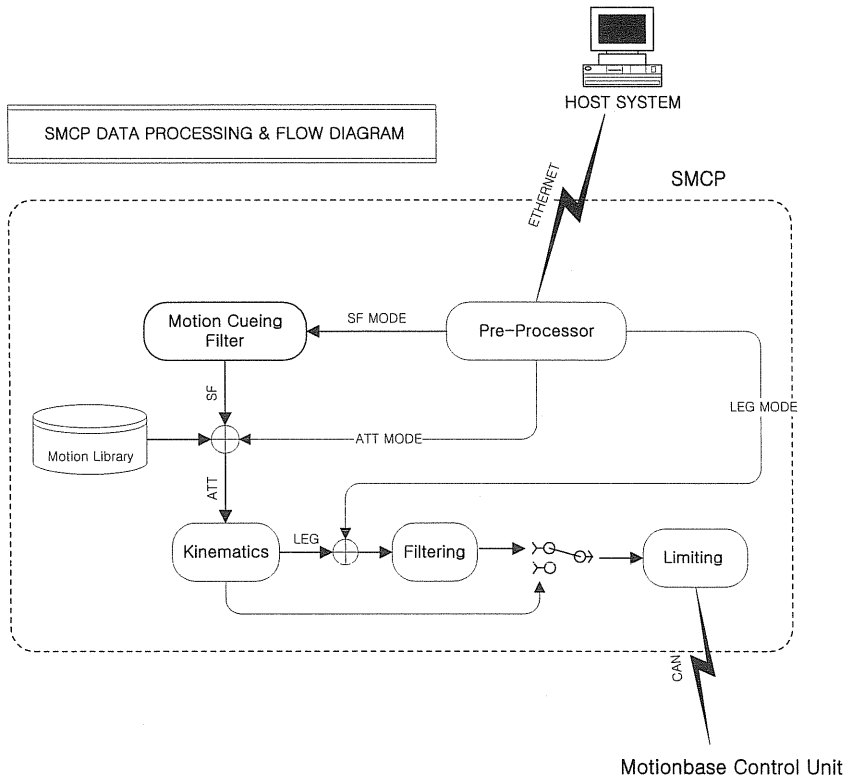
8.2 Real-Time Data Processing & Flow in SMCP

SMCP는 다양한 Interactive환경에서의 구동명령을 지원한다.

SMCP가 지원하는 구동명령의 종류는 다음과 같다.

- Specific Force / Rotational Velocity 명령
- Motion Base의 자세명령
- Motion Base의 각Actuator 스트로크 명령

위의 3가지 Mode에 의한 구동중 중첩가능한 Library 명령은 그림 2.에서는 Host System으로부터 전송되는 구동명령이 SMCP내에서 처리되어지는 과정을 보여준다.



<Real-Time Data Processing in SMCP>

8.3 Pre-Processor 부

일반적으로 구동명령을 전송하는 Host System은 Simulator가 표현하는 Vehicle의 동역학 정보 및 Graphics System의 Camera정보 등을 생성시키는 Software이거나 혹은 그와 연관된 System으로서 Real-Time OS System으로 구성되는 경우도 있지만 그렇지 않은 경우도 매우 많다.

즉, Host System이 Hard Real-Time을 지원하지 않는 경우에, 계산된 구동 명령을 일정 샘플링 주기마다 전송하지 못하고 Processor의 순간부하량에 따라 명령 전송주기가 불규칙적으로 되는 현상을 피할 수가 없으며 전송 가능한 최대 주파수 또한 Host System의 사양에 따라 각기 다르다.

그러나 SMCP와 Motion Control Unit간의 Control System은 Hard Real-Time System이기 때문에 불규칙적으로 전송되어지는 Data를 Real-Time System과 동기될 수 있는 Data로 처리하는 과정이 필요한데 이를 Pre-Processor에서 처리한다. Pre-Processor부는 Data동기화 처리뿐 아니라 이 과정에서 필요한 Filtering, Conditioning 과정등을 포함한다.

8.4 Output Filtering 부

Kinematics 부를 거쳐서 계산되어진 최종 Actuator 길이를 Smoothing하기 위한 1차 Low Pass Filter이다. Output Filter의 사용여부는 선택적이며, 지나치게 거칠고 격한 움직임을 완화시키는 용도로 사용되거나 설정되어지는 time-constant값이 크면 Delay를 일으키는 원인이 된다.

8.5 Limiting부

Kinematics부 혹은 Output Filtering부를 거쳐서 계산되어진 Actuator 길이를, MCU로 지령을 내리기 전에, 속도 및 가속도가 지정된 범위를 초과하지 않도록, 계산된Actuator Stroke값을 변형시킴으로서, Motion Base가 성능을 초과하는 무리한 움직임이나 Motion Base에 탑승한 교육생들에게 불편함을 주는 무리한 동작을 제한하는 기능이다.

8.6 주요 기능 및 특징

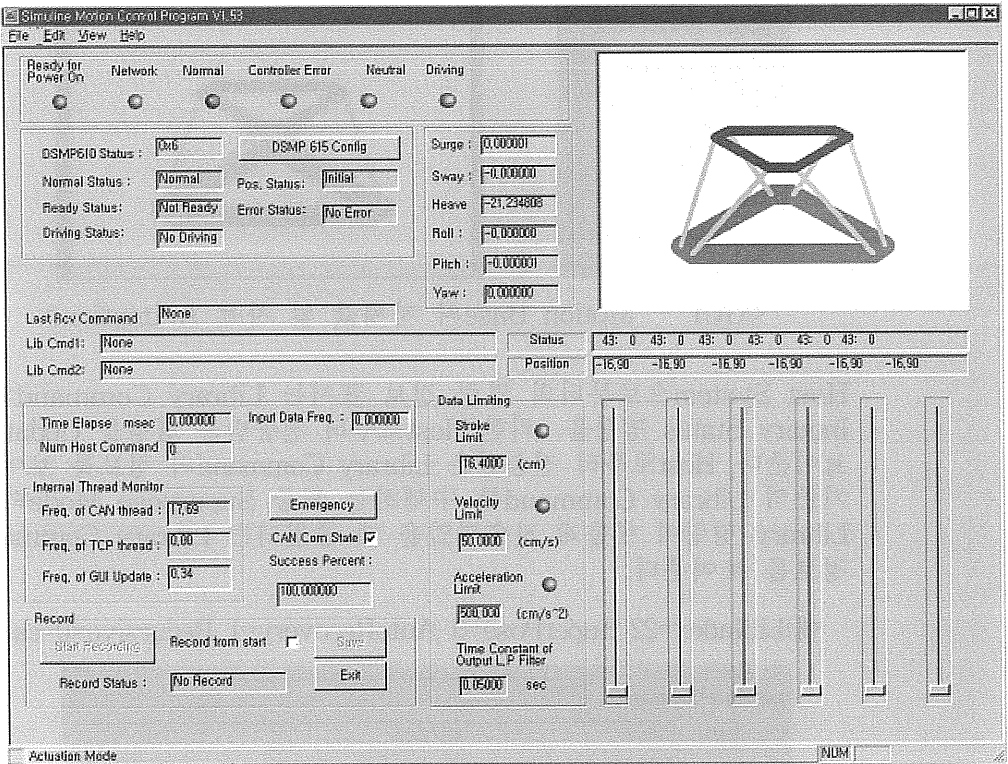
Interactive Type의 Simulator 통합에 필요한 다양한 구동명령을 지원. SMCP는 4가지 종류의 구동명령을 지원한다. 즉 Actuator 길이 명령, Motion Base 자세명령, 그리고 Specific Force&각속도 명령, 그리고 Library 명령등이 그것이다.

Washout Filter는 Specific Force&각속도 명령으로 구동하는 경우에는 SMCP내에 내장된 Classical Washout Filter의 기능을 이용할 수가 있으며 초기설정 화일 (Wash6xx.ini) 에서 Parameter를 조정을 할 수 있다.

미리 저장된 Motion Base의 동작패턴을 Data File로 저장해 놓고 Motion Base의 움직임을 재현하거나 기존의 Interactive type의 구동명령에 이를 중첩시켜 재현하는 기능을 제공한다. 동시에 2개의 Library가 동시에 기존의 구동중에 중첩(Superposition) 가능하다. 이는 충돌, 진동등 통상적인 동역학 계산에 의한 Motion Base 재현이 어려운 경우에 미리 정해진 Motion의 Pattern을 Library화하여 재현시키고자 할 때 유용한 기능이다.

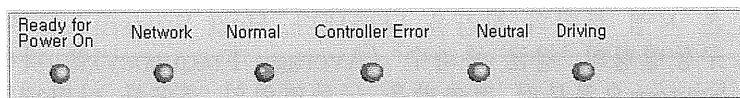
SMCP는 Motion Base Emulation기능과 Data Recording기능이 내장되어 있다. 즉, 오로지 SMCP Software만으로도 Host 장치과 연동되어 Host측에서 전송한 각종 명령에 따른 Motion 베이스의 반응을 똑같이 Emulation을 해 주기때문에 Host System의 개발 및 시험단계에서 Motion Base를 직접 구동하지 않고도 Motion Base의 상태, 움직임, 내부처리데이터 등을 Simulation Mode에서 모두 확인 할 수가 있는 유용한 기능을 제공한다.

8.7 화면 구성



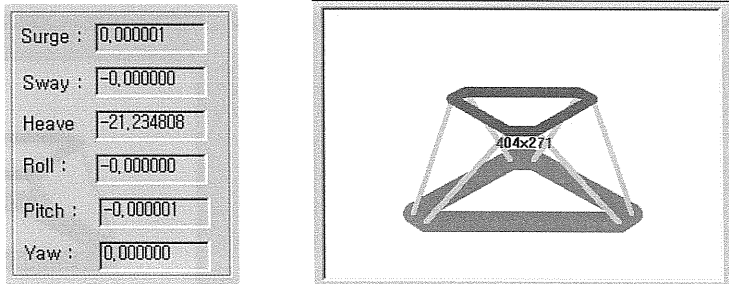
<GUI of SMCP>

상태 표시 LED Ready for Power ON : Status Code의 Power Ready Bit가 1일 때 초록색 불이 들어온다. Network : Host System으로부터 접속이 되었을 때 초록색 불이 들어오고 접속이 끊어지면 불이 꺼진다. Controller Error : MCU에서 Error가 발생했을 때 빨간 불이 들어온다. Neutral : Motion Base가 중립위치에 있을 때 초록색 불이 들어온다. Driving : Status Code의 Driving Bit가 1일 때 초록색 불이 들어온다.



<GUI-상태표시 LED>

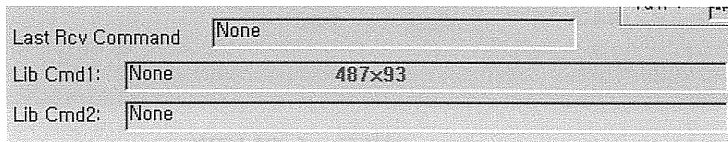
Motion Base의 현재 자세값 및 Animation



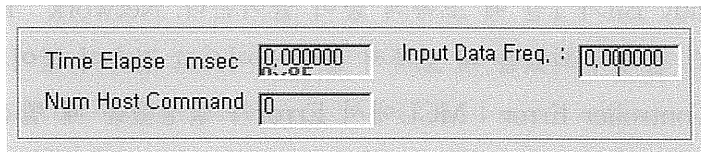
<GUI - Motion Base의 자세값 및 자세 Animation>

Host System으로부터의 명령 정보 표시는 Library Command와 Inquiry Status 명령을 위한 Host로부터 전송받은 명령을 Update하여 보여준다. Host로부터 전송받은 Library Command의 정보를 보여준다. 기존의 Library Command를 수행하는 도중 Superpose Mode의 Library 명령이 새롭게 전송되었을 때 중첩되는 Library Command의 정보를 보여준다.

예) LibIndex=22 SuperPose=0 AutoRecovery=1 Recursive=0 cale=0.8



<GUI - Host System으로부터의 Library 명령수신정보>



<GUI - Host System으로부터의 구동명령수신정보>

Time Elapse : Host System으로부터 'Start Driving'명령을 전송받은 시점 부터의 시간을 나타낸다. Host System으로부터 전송받은 구동명령의 '평균 주파수' (Average Frequency)를 나타낸다. Host System으로부터 전송받은 구동명령의 갯수를 나타낸다.

9. 발판 유동장치 개발

9.1 개발내용 및 범위

발판 유동장치는 기후조건이나 함정의 규모에 따라 사수가 실제 함정에 탑승하여 사격하는 느낌을 주어야한다. 또한 발판의 유동은 함정의 물리적 움직임을 모사하여 실제 함상에서 탑승하여 느낄 수 있는 운동감을 재현해 주는 것과 동시에, 함포 사격에 의한 운동감도 표현해 주어야 하므로, 이러한 운동감 및 느낌을 제시하는 기능은 실시간 운동감 생성 기술과 모션 라이브러리 구축 기술 및 운동 시스템 제어 기술을 필요로 한다.

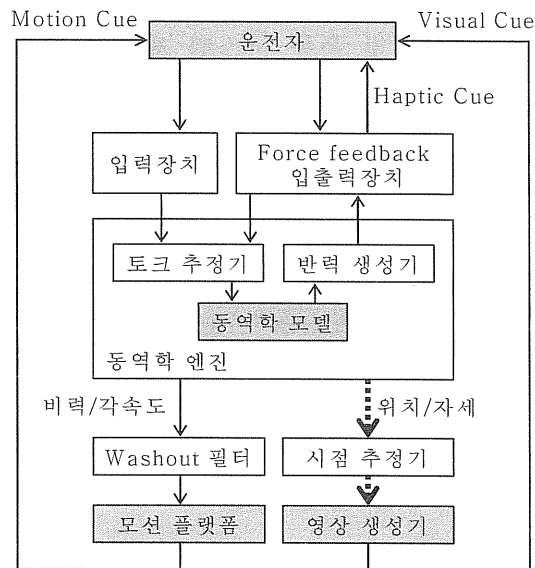
따라서 본 개발의 목표는 함포 사격훈련을 위한 운동 제어 시스템을 개발하고 Main Control System과의 연동을 통하여 함포 사격 훈련의 현실감을 높이는 데 있다.

구 분	함포 사격훈련을 위한 발판 유동 장치 개발
성능, 기능	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 실시간 운동감 생성 <ul style="list-style-type: none"> - 역학적 특성에 기반을 둔 함정의 운동감 생성 - 실시간 운동감 생성 기능 ▪ 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 기후 및 함정의 규모에 따른 운동감 제시 - Main Control System과의 연동을 통한 다감각적 현실감 증강
용도	대공사격 및 대함사격을 위한 기본절차 및 숙달훈련이 가능한 함포 사격 훈련 시뮬레이터의 운동감 제시를 위한 발판 유동 장치의 제어 시스템을 개발하여, 실제 장비를 가지고 사격훈련을 하는 것과 같은 운동감을 제시

<함포 사격훈련을 위한 발판 유동 장치 개발>

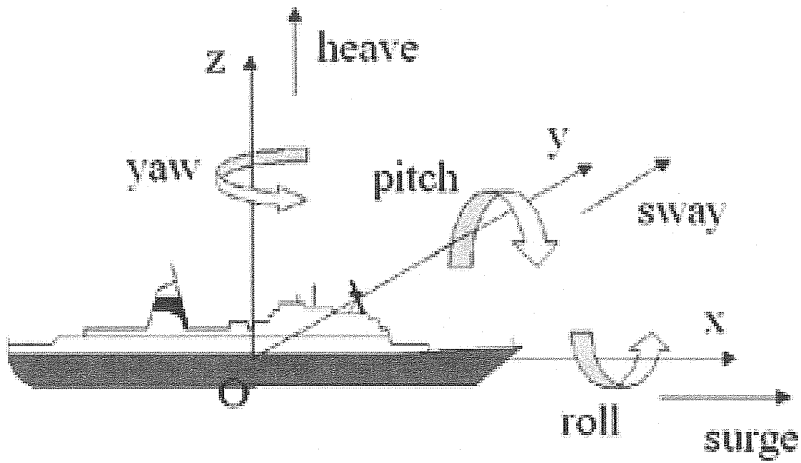
9.2 실시간 운동감 생성 기술

함정의 운동감을 생성하기 위해서는 시뮬레이션의 대상이 되는 객체, 즉 함정의 움직임에 대해서 알아야 하고 이를 모션 플랫폼으로 표현하여야 한다. 운동감 생성에는 일반적으로 수송수단의 동역학 모델을 포함한 운동 방정식을 유도하고, 모델에 가해지는 각종 힘을 모형화 하여 계산함으로써 수송수단의 움직임과 자세에 대한 미지수를 계산하는 방법이 사용된다. 다음은 일반적인 운동감 시뮬레이션의 흐름이다. 동역학 엔진으로부터 모션 플랫폼의 제어를 통하여 훈련자에게 운동감이 전달된다.



<일반적인 운동감 시뮬레이션의 흐름도>

시뮬레이터의 특성상 3차원 공간을 자유롭게 운동하는 가상객체(일반적으로 자동차, 선박, 비행기 등의 수송수단)의 운동을 운동판의 제한된 선형운동과 회전운동으로 재현하기 위해서는, 가상공간에서의 객체의 운동을 운동판 위의 운동으로 적절히 변형해주는 여과장치가 필요하다. 이를 washout 필터라 한다. Washout 필터는 classical, optimal, coordinated adaptive의 3 종류가 주로 사용된다. 본 과제에서는 함정의 운동을 고려하여 적용할 필터의 적합성을 판단하고 발판 유동장치의 구현에 사용하도록 한다.



<선박 6자유도 운동의 정의>

운전자가 느끼는 운동감은 주로 귀 속의 평형사(otolith)를 통해 느껴지는 비력(specific force)과 반고리관(semicircular canal)을 통해 느껴지는 회전 속도에 기인한다. 비력과 각속도를 모두 표현하기 위해서는 6자유도의 모션 플랫폼을 사용해야 하지만, 저렴한 시스템 가격 및 유지보수 비용을 고려하면서 가상현실 효과를 높이기 위하여 3자유도 모션 플랫폼을 사용하는 것도 가능하다. Washout filter를 거친 운동감 효과의 경우, 회전속도에 기인한 운동감 효과는 3자유도의 모션 플랫폼에서는 비력에 의한 운동감 효과에 의해서 소실되거나 상쇄되어 현실감을 저해하는 요인이 되기도 한다. 따라서 3자유도 모션 플랫폼에서는 비력만을 사용하고 6자유도 모션 플랫폼에서는 비력과 각속도를 모두 사용한다. 본 과제에서는 함정의 운동감을 제시하기 위하여 플랫폼의 자세 표현에 필요한 요소(<그림 5-2> : Sway, Surge, Heave, Roll, Pitch, Yaw)를 계산하고 이를 이용하여 탑승자가 실제 함정의 유동을 느낄 수 있는 모션 플랫폼을 구성한다. 3자유도 플랫폼으로 충분히 6자유도 플랫폼에 가까운 함정의 탑승감을 줄 수 있다면 저가형으로 시스템을 구성함으로써 제작비용을 절감할 수 있다.

- 1차 가공 데이터 : Specific Force : 비력
- 2차 가공 데이터 : Attitude : 운동판 자세
- 3차 가공 데이터 : Leg : 운동판 액추에이터의 스트로크 길이

9.3 실시간 함정 운동 계산 모듈의 개발

실시간으로 운동감을 생성하기 위해서는 함정의 유동에 영향을 주는 파라미터들을 분석하여 이에 따른 함정의 운동을 동역학과 해양 데이터를 이용해 계산한 후 실시간으로 이를 모션 플랫폼에 보내줘야 한다.

바다의 표면에는 파도가 존재하므로, 수면을 향해하는 함정은 항상 파도의 영향을 받게 된다. 또한 파도는 바람과 수면의 마찰에 의해 생기므로 바람의 영향도 항상 받게 된다. 이러한 파도와 바람은 함정에 운동 에너지를 제공하여 운동을 유발하는데, 그 운동은 편의상 전후동요(Surge), 좌우동요(Sway), 상하동요(Heave)의 병진운동과 횡동요(Roll), 종동요(Pitch), 선수동요(Yaw)의 회전운동으로 구분할 수 있다. 이러한 병진운동과 회전운동은 함정의 규모와 상태에 따라 다르게 나타난다. 따라서 함정 운동을 계산하기 위해서는 파도의 세기(파고), 파도의 방향(파향), 바람의 세기(풍속), 바람의 방향(풍향), 함정의 규모, 함정의 속력, 함정의 방향과 같은 입력 데이터가 필요하다.

본 연구에서는 연구 기간 단축과 보다 정확한 운동 계산을 위하여 한국해양연구원(MOERI)에서 개발한 Motion Solver를 이용하였다. 이 프로그램은 함정타입, 풍속, 풍향, 파고, 파향, 타각, 엔진과 같은 입력 데이터를 받아서 실시간으로 함정 운동을 계산한 후 네트워크를 통해서 보내주는 기능을 가지고 있다.

입력			MOERI 구현	출력	
* 입력 생성 프로그램이 Lan을 통해 MOERI Application의 IP:Port로 전송			Motion Solver 좌측에 기재된 입력을 받아 함정의 운동을 계산한 후 우측과 같은 출력을 생성	* MOERI Application이 Lan을 통해 대상 프로그램의 IP:Port로 전송 * 5Hz로 제 공	
함정 타입	숫자	1~5		Position X	m
풍속	knots	0~50		Position Y	m
풍향	deg	0~360		Position Z	m
파고	m	0~5		Roll	deg
파향	deg	0~360		Pitch	deg
타각	deg	0~45		Yaw	deg
엔진	숫자	+1.0~-1.0, Δ=0.1		Surge (Speed)	m/s
* 풍향, 파향의 경우, 바람이나 파랑이 진행하는 방향.(Clockwise, 0~360도) 예 : 90도 = 동쪽으로 부는 바람 혹은 동쪽으로 진행되는 파랑.				Sway (Speed)	m/s
				Heave (Speed)	m/s
				Roll (Speed)	deg/s
				Pitch (Speed)	deg/s
				Yaw (Speed)	deg/s

<Motion Solver의 입력 및 출력>

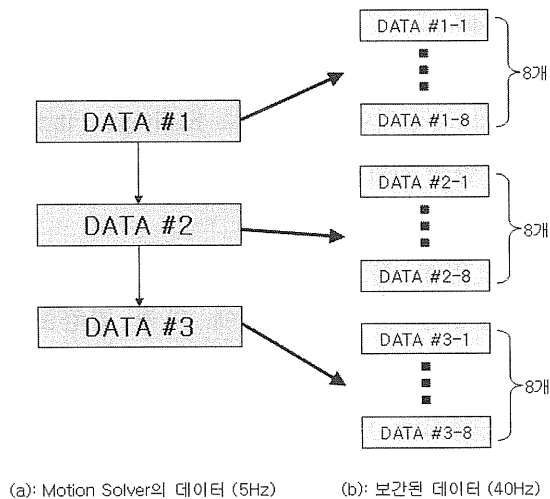
함정의 속력과 방향은 타각과 엔진에 의해 계산이 되며, 출력 데이터는 함정의 중심, 즉, 선수와 선미의 중간점, 선평의 중간점, 그리고 정수면을 기준으로 한 값이다. 그리고 회전 정보는 Yaw, Pitch, Roll 순서대로 구해진다.

9.4 실시간 함정 운동 데이터의 가공

가. 데이터의 보간

한국해양연구원(MOERI)의 Motion Solver는 1초에 5개의 출력 데이터를 계산해내므로 운동감을 실시간으로 자연스럽게 표현해내기 위해서는 이를 보간하는 작업이 필요하다.

함정의 유동은 차량이나 항공기와 달리 짧은 시간 동안 급격히 변하는 경우가 없기 때문에 본 연구에서는 선형적으로 보간하는 방식을 택하였다. 두 데이터 사이를 선형적으로 8개로 분할하여 5Hz의 8배인 40Hz의 속도로 데이터를 보내게 하였다.



<함정 유동 모델 데이터의 보간>

데이터를 분할하기 위해서는 현 시점의 데이터(DATA #1)와 그 다음의 데이터(DATA #2) 값을 알아야 하기 때문에, 실제로 데이터가 적용되는 시간은 데이터 하나를 받는 데 걸리는 시간만큼 지연이 생기게 된다. 하지만 이는 20ms의 아주 짧은 시간이기 때문에 무시하여도 무방하다.

나. 데이터의 좌표계 변환

발칸포는 대부분 함정의 선수에 위치하므로 사수가 느끼는 운동감은 선수에서의 함정유동모델이 적용이 되어야 한다. 하지만 한국해양연구원(MOERI)의 Motion Solver로부터 나오는 출력 데이터는 함정의 중심에 대한 데이터이기 때문에 이를 사수가 위치하고 있는 곳의 로컬 좌표계로 변환을 하여야 한다.

함정 중심을 기준으로 한 로컬 좌표계에서의 발칸포의 위치를 (X, Y, Z)라고 했을 때 발칸포 위치를 기준으로 한 로컬 좌표계로의 변환은 다음과 같이 유도된다.

$$\{x \ y \ z\} = [T]\{X \ Y \ Z\} \quad [T] = [T_\phi][T_\theta][T_\psi]$$

$$[T_\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad [T_\theta] = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad [T_\psi] = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

발칸포는 함정 선체에 고정되어 있으므로 Roll(ϕ), Pitch(θ)의 값은 변함이 없고, Yaw(ψ)의 값은 항상 0이 된다.

다. 발칸포 회전에 따른 좌표계 변환

발판 유동 장치에 탑승한 사수의 조종에 의해 발칸포가 회전하게 되면 화면에 나타나는 영상도 이에 따라 회전한 모습을 보여준다. 하지만 발판 유동 장치는 발칸포의 회전을 따라서 회전하지 않으므로 회전하였을 때의 움직임으로 변환하여 보여줘야 한다. 발칸포가 중심(정면을 바라보고 있을 때)으로부터 로컬 좌표계의 Z축을 기준으로 회전한 각을 ψ 라고 하면 좌표계 변환은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\{x' \ y'\} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \{x \ y\} \quad \{\phi' \ \theta'\} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \{\phi \ \theta\}$$

9.5 운동판의 제어

가. 운동판의 제어방법

발판 유동 장치를 이용해 운동감을 생성할 때 이를 제어하는 방법으로는 세 가지가 있다. 첫 번째는 발판 유동 장치의 각 다리의 길이를 직접 제어하는 방법(LEG)이고, 두 번째는 발판 유동 장치의 자세를 제어하는 방법(ATT)이며, 세 번째는 가속도와 각속도를 이용해 제어하는 방법(SF)이다. 일반적으로 운동판의 제한된 선형운동과 회전운동으로 3차원 공간을 자유롭게 운동하는 가상객체의 운동을 재현하기 위해 washout 필터와 함께 가속도 및 각속도를 이용하는 방법을 많이 사용한다. 하지만 이 방법은 washout 필터를 통과하면서 운동감에 왜곡이 생길 수가 있으므로, 선박과 같이 병진운동과 회전운동의 변화가 격하지 않은 경우에는 자세 제어 방법을 이용하는 것이 더 정확한 운동감을 재현해낼 수가 있다.

250톤 이상의 함정에서는 차량이나 항공기만큼의 아주 격한 운동은 발생하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 자세 제어 방법(ATT)을 사용하였다.

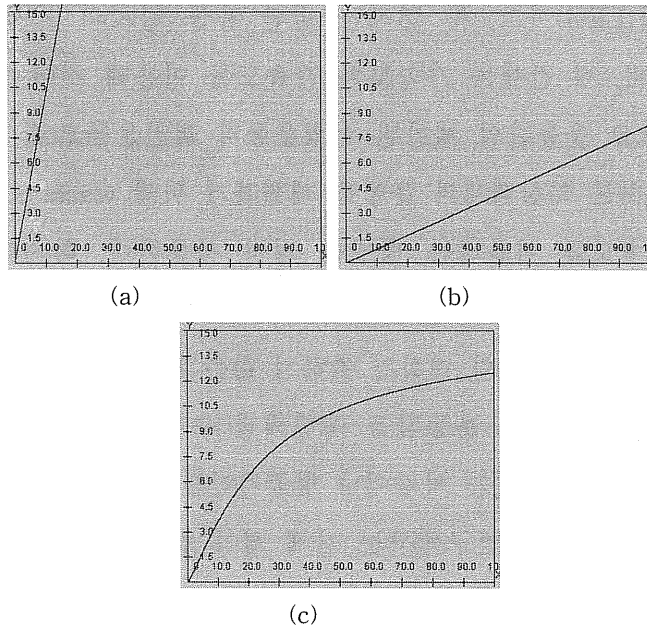
나. Non-Linear Scaling

자세 제어 방법을 사용하기 위해서는 실제 함정의 운동 변화 범위를 운동판이 표현할 수 있는 범위로 축소시켜야 한다. 함정과 운동판의 최대 운동 변화 폭을 비교하면 다음과 같다.

	Surge(cm)	Sway(cm)	Heave(cm)	Roll(deg)	Pitch(deg)	Yaw(deg)
함정	±85	±127	±181	±7.3	±6.9	0
운동판	±13	±13	±13	±30	±30	±15

<함정유동모델과 운동판의 운동 범위>

따라서 함정의 운동을 운동판이 모두 재현할 수 있게 하기 위해서는 약 0.7의 비율로 함정 운동을 축소시키면 된다. 하지만 운동 변화 폭이 크지 않는 범위 내에서는 사람이 느끼기에는 부족한 운동감이 생성되게 되어 현실감이 떨어지게 된다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 non-linear scaling 방법을 사용하였다.



<data scaling [(a) non-scaling, (b) linear scaling, (c) non-linear scaling]>

(a)는 scaling을 하지 않았을 때의 함정 운동에 대한 운동판 운동 그래프

(b)는 linear scaling을 이용하였을 때의 그래프

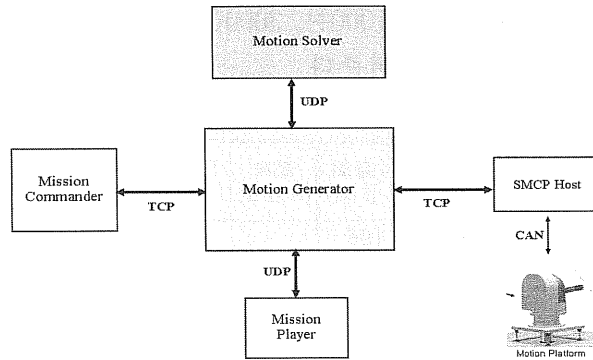
(c)는 non-linear scaling을 사용하였을 때의 그래프

(b)의 초기 구간은 (a)에 비해 아주 약한 운동감을 생성하지만 (c)의 초기 구간에서는 a와 흡사한 운동감을 만들어 내는 것을 확인할 수 있다. 또한 (c)에서는 입력값이 아무리 커져도 출력값은 일정 값 이상 나오지 않으므로 limiting 기능도 가지게 된다. (c)에서 사용된 non-linear scaling 수식은 다음과 같다.

$$M = \frac{M}{0.02x^{1.2} + 1}, \quad M: \text{발판유동장치의 최대운동범위}$$

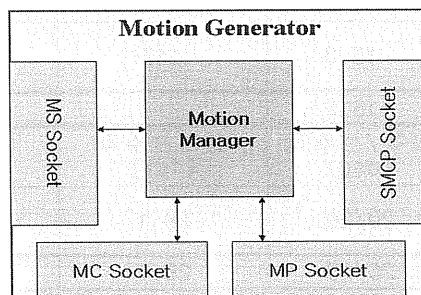
9.6 시스템 구조

본 연구에서 개발한 시스템의 전체 구성도는 다음과 같다.



<시스템 구성도>

함정유동모델을 이용해 함정 유동 데이터를 생성해내는 Motion Solver, 그리고 이로부터 나오는 데이터를 받아서 Mission Commander로부터 오는 명령에 따라 Mission Player와 운동판에 적절한 데이터를 보내주는 Motion Generator로 이루어져 있다. Motion Solver는 한국해양연구원(MOERI)에서 개발한 소프트웨어이다. Motion Generator는 Motion Solver로부터 UDP를 통해 데이터를 수신하고 송신하는 모듈인 MSSocket과 운동판을 제어하는 서버인 SMCP와 TCP를 이용해 데이터를 주고받는 모듈인 SMCP Socket, 그리고 Mission Commander로부터 명령을 받는 모듈인 MCSocket과 Mission Player로 UDP를 통해 데이터를 보내주는 모듈인 MPSocket, 또 각각의 모듈로부터 오는 데이터를 가공해 필요한 데이터를 생성시켜주고, 각 모듈을 관리하는 부분인 Motion Manager로 이루어져 있다.



<Motion Generator 구성도>

9.7 연구 결과

함정유동모델은 한국해양연구원(MOERI)에서 개발한 프트웨어(Motion Solver)를 사용하였으며 250톤, 1000톤, 3000톤급 함정에 대해서 이 모델과 실제 함정을 비교한 결과를 보여준다.

조종 특성											
선 회 성능	함 속 (Knots)	타 각 (deg)	종 거 (m)	횡 거 (m)	전술회 전경(m)	함속 (Knots)	타 각 (deg)	종 거 (m)	횡 거 (m)	전술회 전경(m)	비고
	18.5	35P	140	92	196						시물레이션
	18.5	35S	140	92	196						
	28.6	35P	198	135	274						
	28.6	35S	198	135	274						
	38.5	35P	258	181	361						
	38.5	35S	258	181	361						
	26	35P			325						시운전
	26	35S			275						
	39	35P			365						
39	35S			340							
후진 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		정지거리 (m)		정지시간 (sec)		비고		
디젤			38.5		284		43		시물레이션		
디젤			38.3		332		35		시운전		
정지 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		정지거리 (m)		정지시간 (sec)		비고		
디젤			38.5		446		137		시물레이션		
디젤			39.1		449		104		시운전		
발동 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		전진거리 (m)		소요시간 (sec)		비고		
디젤			0→38.4		811		56		시물레이션		
디젤			5.4→38.5		703		61		시운전		
역전 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		이동거리 (m)		소요시간 (sec)		비고		
디젤			-15.3		147		38		시물레이션		
디젤			-15.2				13.5		시운전		
지그 재그 성능	함속 (Knots)		타 각/선수각 (deg)		최대선수각 (1st)		최대선수각 (2nd)		비고		
15.1			20/20		28.1		28.1		시물레이션		
15.2			20/20		28.1		25.3		시운전		

<250톤 함정의 시물레이션 결과>

조종 특성											
선 회 성 능	함속 (Knots)	타각 (deg)	종 거 (m)	횡 거 (m)	전술 회 전 경 (m)	함속 (Knots)	타각 (deg)	종 거 (m)	횡 거 (m)	전술 회 전 경(m)	비 고
	14.7	35P	209	144	301						시물레이션
	14.7	35S	209	144	301						
	19.4	35P	241	166	340						
	19.4	35S	241	166	340						
	24.9	35P	285	196	397						
	24.9	35S	285	196	397						
	32.1	35P	345	236	476						
	32.1	35S	345	236	476						
	15	35P	228		319						시운전
	15	35S									
	20	35P	196		333						
	20	35S									
	25	35P	293		416						
	25	35S	270		459						
	32	35P	344		470						
	32	35S	270		458						
후 진 타 력 성 능	엔진 모드		함속 (Knots)		정지거리 (m)		정지시간 (sec)		비고		
	디젤		19.4		227		55		시물레이션		
	가스터빈		32.1		330		58				
	디젤		20.7		296		45		시운전		
	가스터빈		33.2		433		48				
정 지 타 력 성 능	엔진 모드		함속 (Knots)		정지거리 (m)		정지시간 (sec)		비고		
	디젤		19.4		494		128		시물레이션		
	가스터빈		32.1		603		131				
	디젤		20.7		520		121				
	가스터빈		33.0		623		127		시운전		
발 동 타 력 성 능	엔진 모드		함속 (Knots)		전진거리 (m)		소요시간 (sec)		비고		
	디젤		0→19.3		582		88		시물레이션		
	가스터빈		0→32.0		1232		100				
	디젤								시운전		
	가스터빈										
역 전 타 력 성 능	엔진 모드		함속 (Knots)		이동거리 (m)		소요 시간 (sec)		비고		
	디젤		-7.6		73		25		시물레이션		
	가스터빈		-9.4		87		22				
	디젤										
	가스터빈								시운전		
지 그 재 그 성 능	함속 (Knots)		타 각 / 선 수 각 (deg)		최 대 선 수 각 (1st)		최 대 선 수 각 (2nd)		비고		
	14.7		20/20		28.2		28.1		시물레이션		
	15		20/20		30.0		27.0		시운전		

<1000톤 함정의 시물레이션 결과>

조종 특성											
선회 성능	함속 (Knots)	타각 (deg)	종거 (m)	횡거 (m)	전술회 전경 (m)	함속 (Knots)	타각 (deg)	종거 (m)	횡거 (m)	전술회전경 (m)	비고
	4.7	35P	195	108	275						시물레이션
	4.7	35S	195	108	275						
	14.6	35P	268	135	310						
	14.6	35S	268	135	310						
	22.6	35P	331	169	384						
	22.6	35S	331	169	384						
	5	35P	279		344						시운전
	5	35S	293		345						
	15	35P	327		357						
	15	35S	325		351						
	22	35P	357		345						
	22	35S	367		388						
후진 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		정지거리 (m)		정지시간 (sec)		비고		
	디젤		22.6		493		91		시물레이션		
	디젤		23.0		517		76		시운전		
정지 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		정지거리 (m)		정지시간 (sec)		비고		
	디젤		22.6		793		173		시물레이션		
	디젤		23.5		764		160		시운전		
발동 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		전진거리 (m)		소요시간 (sec)		비고		
	디젤		0→22.4		689		93		시물레이션		
	디젤		1.2→22.4		616		103		시운전		
역전 타력 성능	엔진 모드		함속 (Knots)		이동거리 (m)		소요시간 (sec)		비고		
	디젤		-10.6		102		27		시물레이션		
	디젤		-9.7		154		42		시운전		
지그 재그 성능	함속 (Knots)		타각/선수각 (deg)		최대선수각 (1st)		최대선수각 (2nd)		비고		
	14.6		20/20		32.0		31.5		시물레이션		
	15		20/20		33		32		시운전		

<3000톤 함정의 시물레이션 결과>

발판유동장치는 함정유동모델의 데이터를 그대로 표현해주기 때문에 함정유동모델의 시물레이션 결과와 동일하다고 볼 수 있다. 하지만 발판유동장치는 움직일 수 있는 제한폭이 있어서 함정유동모델의 데이터를 축소시키는 과정을 거치게 된다. 이 과정에서 현실감이 감소하는 결과를 가져올 수 있으나, 실험을 통해서 최대한 함정 탑승 시와 유사한 운동감을 줄 수 있도록 튜닝을 하였다.

10. 발칸포 탄두 비행 모의

10.1 개요

전투함 또는 경비함에 탑재되는 발칸포를 묘사하는 시뮬레이터를 개발하는데 있어, 20mm 함상형 발칸포와 동일한 기능을 발휘하기 위한 필수 조건 중의 하나는 실제 탄도와 동일한 탄도의 묘사가 필요하다. 본 연구에서는 실제 탄도를 묘사하기 위한 탄도 방정식의 제시와 제시된 탄도방정식을 이용한 발칸탄의 사표 제작 등을 포함한다.

10.2 탄도 방정식의 해석

탄도의 해석 방법에는 복잡하고 정확하지만 해석에 대용량 전산기를 필요로 하는 강체 해석법과, 탄자를 단순화한 질점(Point Mass)으로 가정하여 해석하는 질점 해석법, 강체 해석법과 질점 해석법의 장점을 혼합하여 해석하는 수정질점 해석법이 존재한다.

가. 강체 운동 방정식

Newton의 제 2 법칙으로부터 다음과 같은 강체 운동 방정식이 유도된다.

$$\vec{F} = \Sigma \left(m \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} \right) \quad (1)$$

$$\vec{H} = I_x \omega_1 \vec{i} + I_y \omega_2 \vec{j} + I_z \omega_3 \vec{k} \quad (2)$$

강체 운동 방정식의 해를 구하기 위한 수치 해석 방법은 4차 Runge-Kutta Method가 가장 일반적이다. 강체 탄도 방정식을 풀기 위해서는 탄에 대한 많은 자료와 실험 자료를 필요로 함은 물론, 계산 시간도 과다하게 요구됨으로 대륙간 탄도탄과 같은 장거리 탄의 설계 및 탄도 해석에 사용 하므로 시뮬레이터의 탄도 계산에는 적합하지 않다. 따라서 포병 포탄과 같이 사거리가 수십 킬로미터 이내인 탄의 탄도 해석에 사용하는 수정질점 해석법이 적당하다.

나. 수정 질점 해석법

수정질점 해석법은 탄도를 묘사함에 있어 기후조건, 풍향, 풍속에 따라 탄도를 실전적으로 모의할 수 있으며, 탄도 계산 시간이 신속한 장점을 가지고 있다. 제한점은 사거리가 100km 이상을 초과할 경우 코리올리 효과나, 유도탄도의 고려 등에 제한점을 가지지만 발칸탄도처럼 수 km의 사거리를 갖는 경우에는 아무런 제한점을 가지지 않는다. 수정질점 해석법을 사용하는 상용 프로그램인 PRODAS(PROjectile Design and Analysis System)에 사용되는 탄도 방정식을 사용하였으며, 계산 결과도 PRODAS로 검증하여 사표를 작성하였다. 수정질점해석법을 요약하면 다음과 같다.

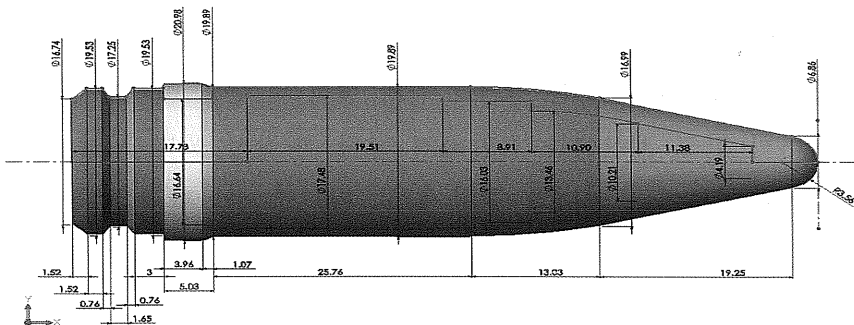
- 4 자유도 (DOF : Degree of Freedom) 탄도 계산 방법을 사용하여 발칸탄의 사표 계산
- 다양한 기상 조건에 대한 사표 계산 (바람, 온도, 총구속도 등)
- 계산된 값은 표준형태의 표나 선도의 형태로 출력

다. 입력 자료 산출

발칸탄을 실측하여 결정한 탄의 형상과 탄도 계산을 위한 입력 자료는 다음과 같다.

항목	입력 값	항목	계산값
총구속도	1030.0 m/sec	압력 중심	3.22 cm
공기 밀도	1.22500 kg/m^3	질량 중심	5.04 cm
총구 회전 속도	2035 CPS	탄도 계수	0.496
온도	15.0 C	초기 항력 계수	0.380

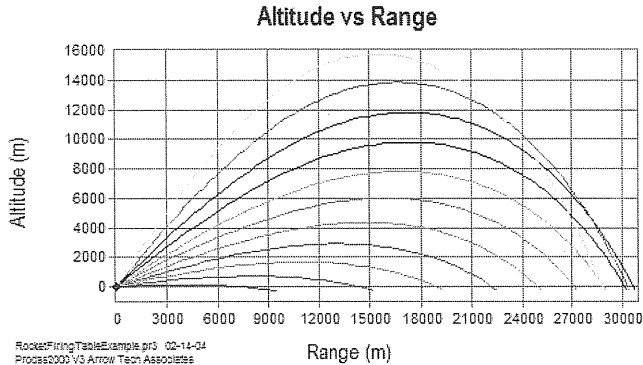
<입력 탄도 자료>



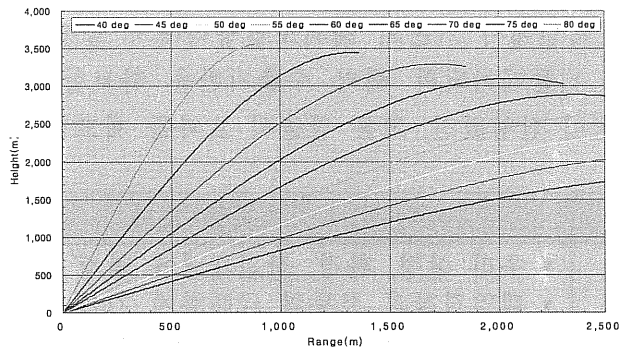
〈발칸탄의 실측 자료 및 형상〉

10.3 탄도 계산 결과

PRODAS를 이용한 탄도 계산 결과는 다음 그림과 같다. 탄도 계산 결과는 그래프 형태로 나타냈지만, 엑셀 파일로도 출력이 가능하므로 사표로 사용할 수 있다. 첫 번째 그림은 탄의 발사각도에 따른 탄의 운동 궤적을 나타내고 있다.



<발칸탄의 발사각도에 따른 고도 및 사거리 >



<높은 발사각도에 따른 고도 및 사거리 (40-80 도)>

본 연구에서는 발칸탄도를 탄자를 실측하여 이를 입력하여 탄자의 항력계수, 질량 중심, 압력 중심의 위치를 계산하고, 필요한 계수들을 계산하여, 4자유도를 이용한 수정질점 해석법을 사용하여 발칸탄의 탄도를 계산하였다. 시뮬레이터에 활용하기 위한 방법은 실시간으로 탄도를 계산할 수도 있지만, 데이터베이스 형태의 사표를 작성하여 실시간으로 정확한 탄자의 위치를 결정함으로써 탄도를 결정할 수도 있다.

11. 결 론

기술개발 결과 예상되는 기대효과를 해양경찰 전투력 측면, 기술적 측면, 산업적 측면으로 분류해보면, 첫째 해양경찰 전투력 측면에서는 기존의 해외 의존적인 시뮬레이터 장비의 국내 개발을 통해 우리 해양경찰의 실정, 즉 지형과 작전개념, 전술환경에 맞게 개발 공급됨으로써 해양경찰의 전투력 극대화에 기여할 것이며, 국내개발을 통해 원활한 ILS를 제공함으로써 최소의 비용으로 최고의 장비 가동율을 제공하며, 향후 성능 개량시 원활한 운용능력 제고 및 훈련 성과 제고에 용이하다.

둘째, 기술적 측면에서 볼 때 함포훈련 시뮬레이터 개발을 통해 확보한 함상형 발칸포 시뮬레이터에 대한 독자개발 능력은 향후 해양경찰이 필요로 하는 모든 종류의 시뮬레이터 독자개발에 연계될 것이다. 그리고 시뮬레이션 분야의 특화된 전문기술 보유로 해외 시뮬레이션 업체와의 경쟁력 제고가 가능하고, 시뮬레이터 개발기술은 컴퓨터 제어, 소프트웨어 공학, 시스템 통합, 3D영상 및 음향 등 첨단기술이 집약된 선진 기술로써 독자개발 기술 확보를 통해 다양한 분야에서의 기술 선진화를 가져올 수 있다.

셋째, 산업적 측면에서 기존의 해외도입방식에서 발생하는 외화 유출을 방지하고, 향후 시뮬레이터의 해외 수출기반을 확보함으로써 외화 획득 및 이로 인한 국내 산업발전, 고용 창출의 효과를 제고할 수 있다.

분야	파급 효과
전투력 측면	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우리 실정, 환경, 작전개념에 맞게 개발 가능 ▪ 해양경찰의 전투력 극대화에 기여 ▪ 원활한 ILS를 최소의 비용으로 제공 ▪ 성능개량 및 운용능력 제고에 용이
기술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 독자개발능력 확보로 여타 모델 개발 가능 ▪ 특화된 전문기술 보유로 해외 경쟁력 제고 ▪ 집약된 선진기술 확보 ▪ 다양한 분야의 기술 선진화 유도
산업적 측면	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 외화 유출 방지 ▪ 시뮬레이터 해외 수출 기반 확보 ▪ 외화 획득, 국내 고용창출 효과 제고

참고문헌

- [1] 시물라인(2001), 모션컨트롤프로그램(SMCP)
- [2] 시물라인(2001), RIDER 오퍼레이션 프로그램(모션베이스)
- [3] 김용성(2004), VISUAL C++,
- [4] 엠앤디정보기술, REAL LAND 솔루션
- [5] 엠앤디정보기술, REAL MAP TOOL 솔루션
- [6] 엠앤디정보기술, Open GL for 3D Engine
- [7] 해군본부, "20mm 발칸 정비기술교범"
- [8] 육군본부, "20mm 대공포 운영교범"
- [9] 차무현, 한순홍(2007) "모션 텍스처를 이용한 차량 시뮬레이터의 통합"
- [10] 윤현규, 이경중, 황태현(2006.12) "질량 이동형 감요장치에 대한 예측 제어기 설계"
- [11] 유병현, 한순홍(2005) "다감각의 운동감을 갖는 가상현실 효과 시스템의 설계 및 통합"
- [12] L.Nehaoua, A. Amouri and H.Arioui(2005) "Classic and Adaptive Washout Comparison for a Low Cost driving Simulator"
- [13] 곽문규, 서상현(1999) "선박 자동 운항 제어기의 설계"
- [14] 임용곤, 서상현, 박상래(1996) "선박용 자동항법시스템의 설계 및 시뮬레이션"

과학수사연구분야

- 선박화재 특성과 원인분석에 관한 사례 연구
The case study regarding a vessel fire feature and cause analysis
- 선박충돌흔의 법과학적 분석
Forensic scientific investigation for the evidence of ship collision
- 레이더 관측 정보를 이용한 선박 충돌사고 분석
The vessel collision accident analysis with radar observation information

선박화재 특성과 원인분석에 관한 사례 연구

김영남, 구성완, 최강호, 박일남, 이상은

해양경찰연구개발센터 과학수사연구팀

요 약

화재는 물리, 화학, 전기, 기계, 건축 등의 전문적인 지식과 현장조사 경험을 통하여 수행할 수 있는 종합적이고 전문적인 수사 분야이다. 특히 선박화재는 화재 전문지식뿐만 아니라 선박에 대한 기본적인 기계, 전기의 작동원리 및 선박구조를 이해하여야 신속하고 정확한 수사를 할 수가 있다. 선박화재는 운항, 계류 중에 발생하는 특성 때문에 막대한 재산 및 인명피해를 일으키므로 철저한 화재원인 규명을 통하여 유사사건의 재발을 방지하여야 한다.

지난 2년간의 선박화재 분석한 결과 선박화재원인은 낙후된 선박 내 시설물들에 의한 화재 및 승선원의 부주의에 의한 화재가 주를 이루었다. 화재 발생원 분석에 따르면 전선피복 손상, 부적절한 전선연장 등 노후한 기관실의 전기 화재가 60%이상을 차지하며 유류, 용접, 폭발 등의 순이었다. 본 연구에서는 2007년 발생한 선박화재 2건의 현장감식 결과를 공유하고, 향후 선박화재감식분야의 활성화를 위한 방안을 마련하는 기초 자료로 활용하고자 하였다.

1. 서 론

선박화재는 외부로부터 고립된 해상에서 육상으로부터 쉽게 지원받을 수 없는 특성 때문에 선박과 적재된 화물 및 승객과 선원들의 생명과 재

산손실을 초래할 수 있다. 선박구조는 전도가 빠른 강재로 되어 있어 화염으로 전도된 벽과 바닥은 화재진압이 매우 어렵고 위험한 작업이 된다. 특히 부두에 계류 중인 선박화재는 다른 선박으로 확산되어 육상 건물화재와 같이 대형화재로 전개될 수도 있다.

화재의 발생원인을 살펴보면 화물의 특성상 발생하는 자연발화와 부주의로 인하여 발생하는 인위적인 경우가 대부분이다. 또한 선박화재의 절반정도가 기관실에서 발생한 것으로 보고되고 있으며 화물구역과 거주구역에서도 상대적으로 빈번한 화재 발생 건수를 보이고 있다.

화재원인을 과학적으로 조사한다는 것은 각각의 현상에 대하여 과학적으로 해석하고 체계화하여 전체적인 타당성을 제시한다는 것이다. 따라서 화재의 정확한 조사를 위하여 물리, 화학, 전기, 건축, 기계 등의 이공학적인 기초과학 지식과 새로운 과학기술정보의 수집뿐만 아니라 여러 가지 화재의 현상을 관찰하고 확인하는 현장조사 경험을 쌓는 것이 중요하다. 우리나라에서 발생한 화재 원인조사 대부분은 소방관서에서 초기조사, 경찰관서에서 수사가 진행되고 있으며, 난해하거나 이해관계가 복잡한 경우 일부만을 경찰이 조사하고 경찰조사 시 감정이 필요한 경우 국립과학수사연구소, 가스안전공사, 전기안전공사 등에 감정의뢰 하여 조사하고 있으며 그 건수가 나날이 늘어나고 있다. 그리하여 경찰청은 자체 전문가로 구성된 화재조사반을 운영하여 현장감식 및 기초감정까지 수행할 수 있는 전문 인력을 양성하고 있으며 해양경찰청에서도 선박화재의 과학적 입증과 전문적인 현장감식의 필요성을 인식하고 현장감식반의 신설을 검토 중에 있다. 따라서 본 연구에서는 화재원인 조사 기초와 조사장비 소개, 선박화재 특성 및 원인을 정리하고, 2007년 발생한 선박화재의 감식사례 분석을 통하여 현장감식반의 필요성 및 운영방안을 논의하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 화재 조사

화재조사는 크게 화재원인조사와 피해규모조사로 구분되며, 화재원인조사란 단순히 발화원을 밝혀내는 것이 아니라 화재를 발생시킨 원인에서

시작하여 화재진압에 이르는 일련의 과정으로 출화원인, 연소확대요인, 사상자 발생의 원인을 규명하는 것이다. 첫째 출화원인조사란 출화부위를 판정하며 출화부위에 존재하였던 발화원을 규명하고 어떤 경로를 거쳐 착화하였는가 하는 화재발생의 과정을 과학적으로 입증하는 것이며, 둘째 연소확대원인이란, 출화부터 시작하여 성장 과정 즉 수평, 수직방향으로서의 연소 확대를 가능케 한 방화문, 지리적 요인 등 인적, 물적 자연조건을 밝혀내는 것이며, 셋째 사상자 발생원인이란 사상자의 발생이 출화원의 연소확대원인과 관련하여 건축재료, 피난방법 등 물적, 인적 환경과의 관계를 고찰하는 것이다. 화재원인 조사는 수사기관, 소방기관 및 보험회사 관계자 등이 수행하며, 일차적인 화재의 원인규명은 화재에 대한 피해를 알리고 유사화재의 재발방지와 피해를 경감시키고자 하는데 목적이 있다. 수사기관의 화재현장 감식은 최초 연소부위로부터 증거자료를 수집, 이것을 조사 분석하여 화재의 최초연소 부분과 불씨가 무엇인가를 분석하는 것이다. 통상 화재현장 감식은 진화 후부터 시작되지만, 본래 화재발생시의 목격상황이 중요하기 때문에 화재가 인지된 시점에서부터 행해지는 것으로 보면 된다. 현장감식은 연소된 전체공간에서 최초 연소부위를 밝혀내고 입증자료를 수집하며, 발화부위에서 발화부분을 확인하고 증거자료를 확보하며 발화부분에서 불씨를 제공한 발화원을 밝혀내고 입증자료를 수집하는 것이 목적이다. 따라서 사건의 진실규명에는 다른 범죄사건의 경우와 마찬가지로 화재현장에 입각한 물적 자료의 관찰이 기본이 되기 때문에 현장보존이 중요하며 원형 보존상태로 조사를 하는 것이 원칙이다. 화재현장 감식에 임하기 전 해당 화재와 관련된 모든 정보(최초 목격자 진술을 직접 청취하며 구체적으로 질문하여 얻을 수 있는 정보의 종류 및 그 화재 건물에 해당하는 사업상태, 보험관계, 주변 사람과의 관계, 최종 퇴실시간 및 최종 퇴실시의 평상시 습관 및 화재 당일의 행동 등)를 파악하여야 한다. 화재현장에 도착하면 가급적 조감할 수 있는 넓고 높은 곳에서 화재현장 전체를 관찰한 뒤 화재건물의 외주로부터 중심부로 향하여 전체적인 소훼상황을 관찰, 소훼정도를 상하좌우 등 복수의 소재로 비교하여 화염의 유동상황 즉 연소 확대의 경로를 판단해야 한다. 현장조사를 통하여 발화부를 규명하는 것이 화재원인조사에서는 가장 중요한 일종의 하나이다. 발화부란 처음 발생하기 시작한 장소의 입체적 부위를 의

미한다. 발화부는 화재가 처음 시작해서 진화될 때까지 가장 오래 타는 경우가 많아서 연소과정에서 인화성이나 가연물질이 다량 적치되었던 곳 등의 특수한 경우를 제외하고는 일반적으로 소훼의 정도가 심하게 나타날 때가 많다. 발화부의 판정에 있어서는 사소한 것이라도 간과되는 일이 없도록 면밀한 관찰과 연소 확대시의 현상에 대한 조사를 기초로 관계자의 진술을 검토해 보면서 객관적인 판단을 하지 않으면 안 된다. 첫째 전체적 소훼현상으로 보아 당연한 결과로서 발화부로 판단할 수 있는 위치인가, 둘째 주변으로서 연소 등 소훼현상이 초기연소현상(상승연소, V자 연소특성)과 부합되는가, 셋째 시간적 경과나 구조재의 연소특성으로 볼 때 연소경로의 판정은 타당한지 유념해야 한다.

화재원인의 과학적인 조사를 수행하기 위해 필요한 장비에는 현장조사에 필요한 발굴용구, 조사의 진행상황을 기록하는 기록용 기기, 감식용 기구, 식별을 용이하게 하는 조명용 기기 등이 있다. 이들 기자재는 화재현장에 적절히 필요한 것을 휴대해야 하고 감식용 기기에 있어서는 현장에 충분히 사용할 수 있도록 사용취급요령을 숙달시켜야 할 필요가 있다. 다음은 주로 사용되는 현장조사 장비 및 증거물 감정을 위한 분석 장비와 용도를 정리한 표이다.

분 석 장 비	용 도	분 석 장 비	용 도
현장용 발굴장비	밧데리, 수중펌프, 무비카메라, 절단기 등	X-ray 투시기	증거물 내부구조 확인
정전압 측정기	정전기 화재용	가스크로마토그래프	화학 화재분석
절연저항계	정전기 화재 조사	실체현미경	소손물 건 관찰
누설전류계	누전화재용 분석	금속현미경	금속조직의 세부관찰
자동온도측정기	실험용 온도 측정	전기로	유리소성, 금속 열처리등
가스측정기	방화 등 현장 분석	항온항습기	자연발화 등 분위기 실험
수소이온농도 측정기	자연발화 등 조건측정	수소이온농도 측정기	자연발화 등 조건 측정

3. 선박화재

선박이란 물에 떠서 물건 또는 사람을 싣고 목적하는 장소로 이동하는 구조물로, 선박의 특수한 여건상 화재 발생시 탈출에 있어서 매우 제한적이므로 막대한 재산, 인명손실을 발생시킬 수 있다. 따라서 선박화재의 철저한 원인규명을 통하여 유사화재 예방과 피해감소를 위해 노력해야 할 것이다. 선박화재는 발화원인이 주로 기관실 노후 배전반 설비, 유류, 용접, 폭발 등에 의하여 발생되고 있으며 소화시 다량의 해수를 살포하여 현장수사로 그 원인을 찾기 힘들 뿐만 아니라 선체가 침몰 할 때에는 승선원의 진술에 의존하는 방법으로 수사가 진행되기 때문에 그 진상에 대한 규명도가 아주 낮다. 따라서 선박화재사건을 수사하기 전에 화재전문 지식뿐만 아니라 선박에 대한 기본적인 기계, 전기의 작동원리 및 선박구조를 이해하고 철저한 사전계획을 세워 현장에 임장하여야 신속하고 정확한 수사를 수행할 수가 있을 것이다.

먼저 예비조사로 발화현장에 적용된 조사계획에 의거 발화선박의 체적, 선체내외의 환경, 화재 발견상황, 기상(기온, 습도, 풍속 등) 등을 청취하고 이러한 조사 자료를 참고로 원인규명을 합리적으로 실시한다. 발화된 선박의 구조, 규모, 내장재료 등의 조사는 착화성이나 연소 확대성, 발연성 등 화재의 성상을 알아내는데 중요하다. 그러므로 거주자 등을 통해 이러한 사항에 대하여 조사하며, 선박도면이나 설계도서 등을 참고자료로 입수한다. 또한 전기, 가스 등의 설비는 직접적으로 발화원인과 관계되는 것이기 때문에 선체내의 전기배선이나 가스배관 및 이와 관련된 설비, 기구류 등의 설치상황, 고장수리 유무를 선박 소유자, 선장 등을 상대로 조사해야 한다. 현장조사는 예비조사 자료를 바탕으로 선체구조, 현장의 각 격실, 각종 기계설비의 설치상황 및 사용여부를 확인하고, 기둥이나 벽체의 붕괴, 탄화심도, 탄화형태, 불연물의 변색, 박리, 전선의 전기적 용융흔 등을 확인하고 전기적인 원인, 기계적인 원인, 연소기구류, 화학물질, 미소화원 화원류, 발화원과 가연물과의 관련성, 기타 발화원의 부정으로 발화원을 판정해야한다.

지난 2년간의 선박화재 원인 분석에 의하면 발화 장소로 기관실이 전체의 76%, 55%를 차지하였으며, 선원거주구역, 갑판, 조타실 순이었다. 선

박화재 원인으로는 전기계통에 의한 화재가 전체의 65%, 69%로 가장 많고, 연료 등 유류 누설, 용접작업 등에 의한 작업 중 선원의 부주의에 의한 사고가 대부분이었다. 선박화재의 주요원인을 세분화하면 1)노후된 전선 및 선내 설치류에 의한 전선피복 손상 등에 의한 전선단락(합선)에 의한 화재, 2)선내가스 취사·난방기구에서 누설된 가스에 의한 사고, 3)선체진동 및 외력에 의한 노후화된 유류(윤활유, 연료유)계통 배관 손상으로 누출 유류와 과급기 및 폐기관 등 고열장비와 접촉에 의한 사고, 4)선내 화기 작업시 안전관리 소홀 및 개인난방기구 취급 부주의 등으로 인한 사고가 주를 이루고 있었다. 다음은 200여건의 선박화재 원인 중 절반이상을 차지하는 전기적 발화원 감정에 관하여 간략히 정리하고, 2007년 인천과 동해에서 발생한 선박화재 현장감식 참관에서 얻은 결과를 소개하고자 한다.

3.1 합선 및 누전에 의한 발화

합선이나 누전이란 절연피복이 손상되어 일어나는 현상이며 이 과정에서 절연체가 열변형 되거나 마찰 등에 의한 손상이 일어나고 전열 성능이 서서히 저하되어 도전로가 형성되고 단락이 발생하여, 단락부분에서 발열로 착화되어 연소가 시작되게 되는데 이는 서서히 진행되게 되며, 착화된 후 연소로 전선이 직접 접촉되어 합선이 일어나게 되면 순간 과전류가 흐르게 되어 차단기가 작동하게 된다. 단락부분은 외관상 검게 변색되고 단락흔 형태도 일부분이 함몰된 형태 즉 용융방울형태가 아닌 패어나간 형태를 나타낸다. 단락 발생원으로는 화재로 인한 열기 및 화염으로 인한 절연피복의 소손, 설치류 등의 생물에 의한 것, 반복적인 진동, 금속관 등과의 마찰, 열의 축적, 금속에 의한 손상 등이 있다.

3.2 불완전접촉에 의한 발화

불완전접촉은 전로의 접속불량 등에 의하여 국부적으로 저항이 증가하는 현상을 말하며, 국부적인 저항 증가로 인한 전기적인 발열로 주위의 가연물이 착화되어 화재가 발생할 수 있다. 불완전 접촉에 의한 발화는 일반적으로 전기적인 발열흔과 전기적인 용융흔을 수반한다. 불완전접촉이 발화원으로 판별되기 위해서는 접속부 등에서 불완전 접촉에 의한 전

기적인 발열혼이나 전기적인 용융혼이 식별되어야만 하며 동부분에서의 구체적인 발화형태가 판별되어야 하고 불완전접촉의 구체적인 원인이 판별되어야 한다. 불완전접촉의 발생원인으로는 전선간 연결부 접속불량, 충전부 연결 볼트, 너트, 와셔, 슬리브, 압착단자의 이완, 접속기구의 미사용, 부적절한 시공, 납땜부분 등이 가능하다. 불완전 접촉에 의한 전기적인 발열혼은 아산화동의 증식현상으로 식별되는 경우가 있으며, 접속부에서 불완전접촉의 형태와 전기적인 발열혼이 식별되고, 불완전접촉의 원인이 판별되는 경우 발화원인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 감정할 수 있다.

3.3 과부하에 의한 발화

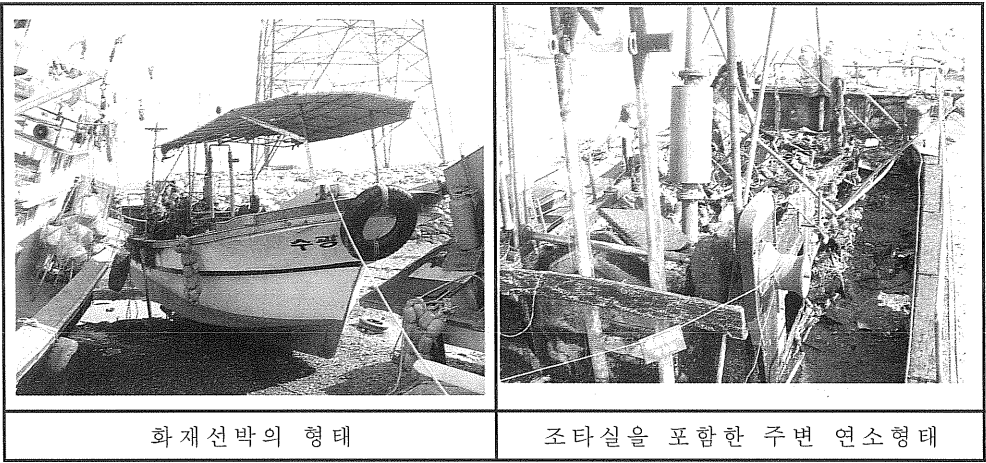
과부하는 전로에 정격이상의 전류가 흐르는 현상이며, 전로의 전류증가에 의하여 발생한 발열량과 방열량의 평형이 깨어지면 절연체의 피복이 탄화되어 누전 또는 선간 단락으로 발화의 원인이 될 수 있다. 과부하에 의한 발화는 전선에서 전기적인 발열혼, 모터의 권선과 안정기의 권선 등에서 충전 단락혼을 수반한다. 과부하 원인으로는 모터의 고장, 구속운전, 등기구부품의 고장, 점등 이상, 부하의 정격이상 사용 등이 가능하다. 전기기기와 전로에는 일반적으로 과전류 차단을 위한 배선용 차단기, 누전 차단기, 과열 방지장치로 바이메탈, 온도퓨즈, 서모스탯 등의 안전장치가 설치되며, 이들은 과부하에 의한 발화를 방지하는 기능이 있으므로 이들의 설치유무 및 기능이상 여부 등을 판별하여야 한다.

3.4 트래킹에 의한 발화

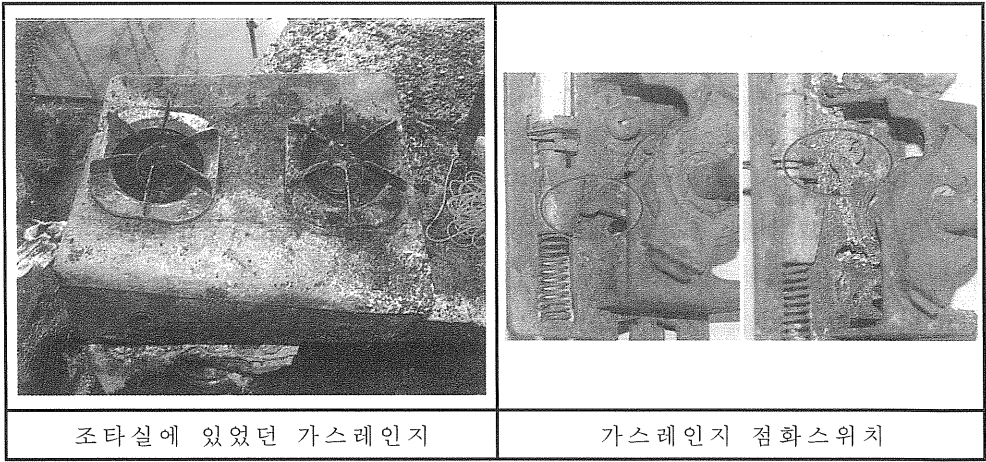
트래킹은 충전부 사이의 유기 고체절연물에 탄화도전로가 형성되는 현상을 말하며, 트래킹 발생으로 인한 전기적인 발열 및 용융으로 주위의 가연물이 착화되어 화재가 발생할 수 있다. 트래킹에 의한 발화는 전기적인 발열혼, 전기적인 용융혼, 고체절연물의 도전화 등을 수반한다. 트래킹의 원인으로는 절연재료 표면에 수분, 먼지, 금소분 등의 축적, 스위치 기구 등의 접점의 반복 동작 등이 가능하다.

[사례 1] 인천 수광호 화재/변사사건

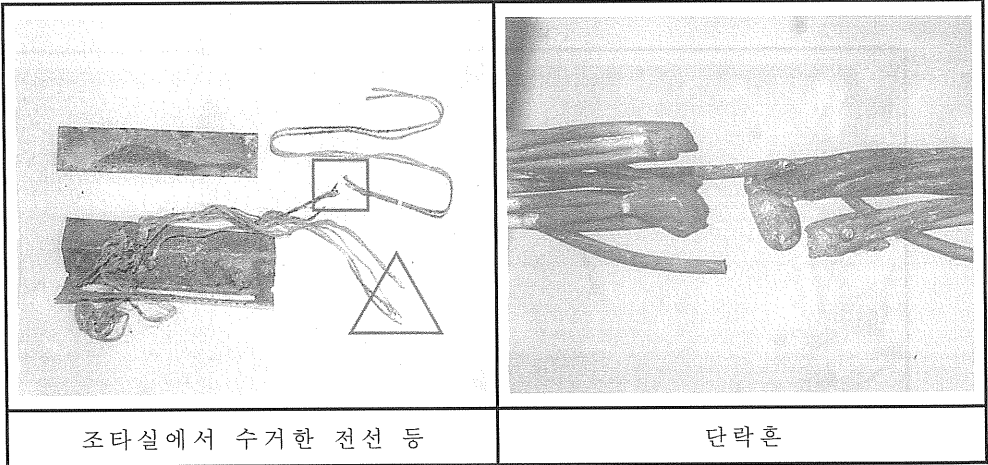
- 발생일시 : 2007. 1. 8 22:15경
- 사건개요 : 인천시 옹진군 영흥면 소재 진두선착장에 계류중인 수광호에서 발생한 화재로 변사 발생
- 현장조사
 - 선박의 뒷부분(조타실을 포함한 주변)이 심하게 연소된 상태이며 앞부분은 연소되지 않은 상태임



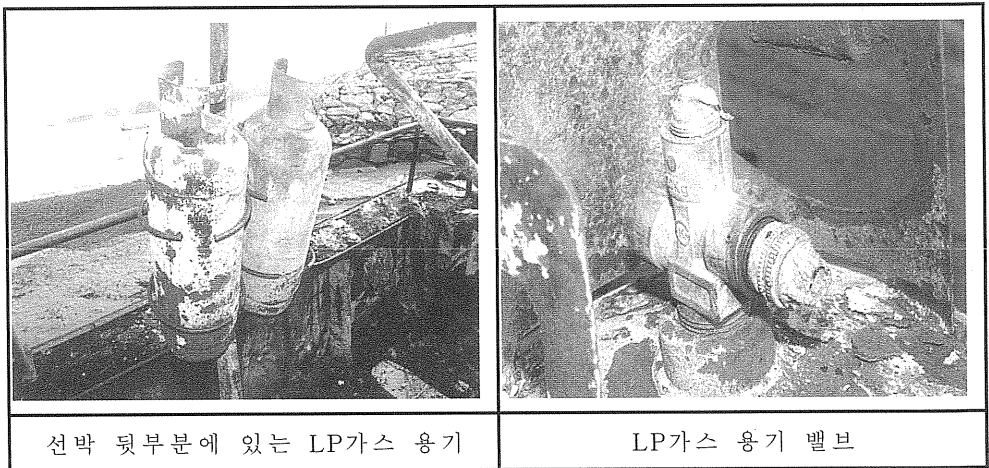
- 조타실에 있던 2구 버너 가스레인지의 좌측 점화스위치가 켜진 상태임



- 조타실 좌측 바닥(가스레인지 설치부)으로 배선된 전선의 한곳에서 단락흔 식별

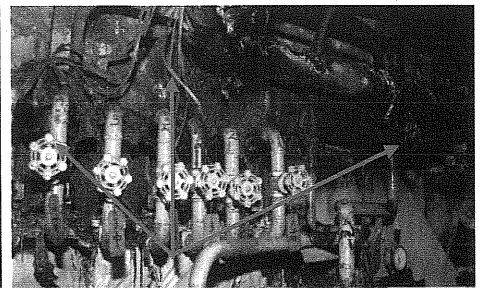
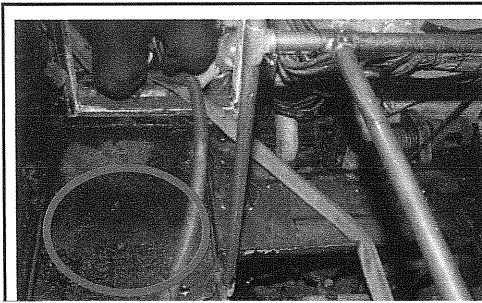


- 선박 뒷부분 LP가스용기 2점 중 한 용기의 밸브가 열려져 있는 상태임



- 엔진룸은 일부 그을린 상태이며, 과열과 관련된 특이 흔적이 식별되지 않음





○ 결과

- 기관실 부근의 전선 노후에 의한 절연파괴로 인한 발화로 추정

4. 결 론

대부분의 화재사건에서 특정한 원인이 밝혀지지 않을 경우 전기화재로 의심을 하고 뚜렷한 반론이 없는 한 전기를 원인으로 추정하는 경우가 대다수였다. 그것이 수사상 또는 이해 당사자간의 큰 다툼이 없는 경우 이를 용인하는 사회적 관념 또는 수사상 맥락을 유지하기 위한 수단으로 사용되었다. 그러나 전기 설비나 전기 에너지와 관련되어 일어나는 화재를 증명하기 위해서는 여러 가지 증거와 합리적 해석이 동반되어야 한다.

화재조사는 경찰수사와 국립과학수사연구소 등의 전문 감정기관과의 공조에 의하여 과학적 합리적 해석을 통하여 이루어져야 하나, 우리청의 현실은 안타깝게도 화재수사에 대한 전문가가 전무한 실정으로 타기관의 감정에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 그러나 경찰청은 초동수사과정에서의 과학적인 화재감식의 중요성을 인식하고 과감한 투자를 통하여 전문가를 양성하고 있다. 개정된 형사소송법이 2008년 1월 1일로 시행됨에 따라 해양경찰청도 독자적인 화재감식 등의 전문가를 양성하고 현장경험을 축적하여 새로운 수사 환경에서 적극적으로 대응해 나가야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 박종택, 2006, “발화원인감정”, 화재수사 전문교육과정 자료집
- [2] 김윤희, 2006, “전기과 화재”, 화재수사 전문교육과정 자료집
- [3] 이재상, 2005, 형법, 서울박영사
- [4] 이재상, 2005, 형사소송법, 서울박영사
- [5] 국립과학수사연구소, 2005, “과학수사실무”, 화재수사 전문교육과정 자료집
- [6] 문용수, 2005, “화재현장조사”, 화재수사 전문교육과정 자료집
- [7] 원준희, 1996, “화재조사업무의 문제점과 개선대책”, 화재수사 전문교육과정 자료집
- [8] 해양안전심판원, 2003, “선박화재 사고분석 현황”, 해양안전심판원 인터넷 홈페이지 자료실
- [9] 백남훈, 2005, “선박화재 진압전술”, 서울특별시 소방학교 교육자료집
- [10] 김용운, 2006, 한국화재조사학회지 제9권 1호, pp29~41

선박충돌흔의 법과학적 분석

김영남, 구성완, 최강호, 박일남, 이상은

해양경찰연구개발센터 과학수사연구팀

요 약

해양사고에 대한 원인규명 및 과학적인 조사를 지원하고자 사고조사방법과 이화학적 분석방법을 제시하고 이를 토대로 두 가지 사례에 적용, 분석 하였다. 첫 번째 사례는 선박의 충돌흔을 분석하여 두 물질 사이의 유사성을 검토하였으며 두 번째 사례는 폐기물 내부에 페인트 성분의 함유여부를 분석하였다. 정밀분석을 위하여 현미경, 적외선분광계 및 열분해가스크로마토그래프를 사용하였으며 그 결과 각 사례별로 사고경위를 파악하는데 도움이 되는 객관적 분석결과를 얻었다. 이러한 과학적 증거 분석은 증거재판주의로 변화하는 형사소송법에 입각해 적절한 사고규명방법으로 판단되며 나아가 해상사고를 예방하는 방안을 마련하는데 유용할 것으로 기대된다.

1. 서 론

산업사회 이후로 인류는 비약적인 경제발전을 이룩해왔고, 글로벌화 추세에 따라 세계는 끊임없이 성장하고 있다. 이러한 추세에 발맞추어 세계 각국의 교류도 활발히 진행되고 있으며 이에 따라 상호간 인적, 물적 자원의 교류를 위해 해상물동량 및 교통량도 점점 증가해가고 있는 실정이다. 또한 과학기술의 비약적 발전은 해상운송수단의 고속화, 대형화, 다양화를 가져왔고 해상운송수단은 주요 물류 교류를 위한 중요한 수단으로 자리잡

게 되었다. 그러나 늘어난 해상교통량으로 인하여 항만과 주변해역의 교통 질서가 혼잡해졌고 해양사고도 점점 증가하게 되었다. 국내 해양사고에 관한 통계자료를 살펴보면 최근 10년간 평균 650여건의 해양사고가 발생하였고, 그중 단순사고가 전체사고의 42%, 충돌사고가 22%, 침수가 12% 등의 순으로 집계되었다.(Fig. 1) 이 중에서 단순사고를 제외하고는 인적 사상, 물적 손실 및 해양환경오염 등을 발생시키는 대형사고는 충돌사고가 대부분이었다.

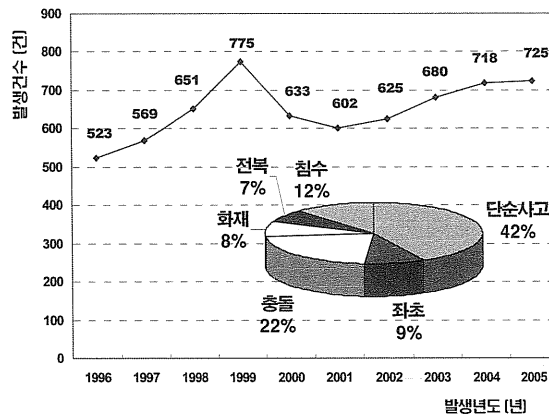


Fig. 1. 해양사고 발생건수 및 발생유형별 분류

선박 충돌사고는 관할해경서의 초동조사 및 수사 과정 중 목격자 진술, 제보 및 현장조사 등을 통하여 대부분 선박상호간의 과실유무가 판단된다. 그러나 해상교통사고는 육상교통사고와는 달리 해상이라는 특성상 증거물의 수집이 어려우며 대형사고로 이어질 가능성이 크다. 특히 충돌후 가해선박이 현장을 도주 및 이탈하거나 대형선박이 소형어선을 충돌한 경우 미처 충돌을 인식하지 못하고 지나치는 경우도 발생하여 이에 대한 상호과실 처분문제가 대두되고 있다. 그러므로 복잡하고 난해한 사건의 과실유무를 판단해야 하는 경우 전문가 자문 및 타기관 분석의뢰를 통하여 종합적으로 판단해야 하지만 전문분석기관이 부족하여 신속한 지원이 어려운 실정이다. 결국 해상사고에 대한 신속한 수사정보 지원을 위해선 해상사고를 전문으로 분석하는 객관적 감식기술의 확보가 필요하다.

본 연구에서는 해상 선박충돌사고 발생시 현장 유류물에 대한 신속정확

한 객관적 감식능력 확보를 통해 사고발생경위에 대한 과학적 분석자료 지원을 목적으로 사고유류물 중 선박충돌흔 분석법에 대해 연구하고 그 사례를 통하여 확인해보고자 한다.

2. 이 론

2.1 선박용 도료

액상 도료가 건조되고 남은 고체 피막층을 통상적으로 도막이라 부르며, 선박 대 선박, 선박 대 해양구조물 등의 상호 충격부위에 전이되는 도막시편을 충돌흔이라 한다. 일반적으로 철이나 목재 등으로 만들어진 선체의 대부분은 바닷물 속에 잠겨 있으며 물 위에 보이는 부분도 끊임없이 해수의 포말이 튀어 이를 보호하기 위하여 방청도료가 필수적이며 바닷속에 잠기는 선저부는 생물 부착에 의한 오염을 방지하는 방오도료가 추가로 사용된다. 실제 선체 도막을 채취하여 단면을 현미경으로 확대해보면 다양한 목적에 따라 여러 층으로 구성되어 있으며(Fig. 2) 선박의 부위별로 사용되는 페인트의 종류와 역할은 Table 1과 같다.



부성호 (벌크선, 30톤급)	
의 현	선 저
	

Table 1. 선박의 부위별 도료의 종류

부 위	특 성	종 류
선 저	▫ 항상 해수에 잠기는 부위로 염해수에 의한 방식성저하 ▫ 해중생물의 부착 및 침투	▫ 방식(방청)성 ▫ 방오성
수 선	▫ 선저와 외현사이로 침수와 대기노출의 반복에 의해 가혹한 환경조건에 놓임	▫ 내수성 ▫ 내후성 ▫ 내충격성
외 현	▫ 표면에 노출되어있어 강렬한 자외선과 물보라에 대한 보호 성능 및 미관유지 ▫ 보행 및 하역에 의한 내마모성 필요	▫ 방수성 ▫ 방청성 ▫ 내마모성
기 타	▫ 선창, 탱크 등 각각에 따라 적절한 도료의 특성 요구됨	▫ 내부식성 ▫ 내용제성