

工學碩士 學位論文

VDR 성능 향상을 위한 항해위험도 평가  
기술의 적용에 관한 연구

On the Application of Navigation Dangerousness  
Evaluation Technology for Improvement of VDR  
Performance

指導教授 孔 吉 永

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院  
運航시스템工學科 金 泳 杜

本 論文을 金泳杜의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委 員 長 金 世 源 (印)

委 員 宋 在 旭 (印)

委 員 孔 吉 永 (印)

2005年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

運 航 시 스템 工 學 科 金 泳 杜

# 목 차

Abstract

Nomenclature

<b>제 1 장 서론</b> .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 .....	3
1.3 주요 내용 .....	4
<b>제 2 장 사고원인 분석시스템의 기술 분석</b> .....	5
2.1 항공기 사고원인 분석시스템 .....	5
2.1.1 개요 .....	5
2.1.2 분석시스템의 구성과 기능 .....	10
2.2 차량 사고원인 분석시스템 .....	13
2.2.1 개요 .....	13
2.2.2 분석시스템의 구성과 기능 .....	13
2.3 선박 사고원인 분석시스템 .....	17
2.3.1 개요 .....	17
2.3.2 VDR의 구성과 기능 .....	21
2.3.3 VDR 분석시스템의 구성과 기능 .....	37
<b>제 3 장 선박의 내항성능 평가 이론</b> .....	42
3.1 내항성능 평가요소 및 위험도 .....	42

3.1.1	내항성능 평가요소	42
3.1.2	내항성능 평가치와 위험도	42
3.2	내항성능 평가지표	47
3.2.1	개요	47
3.2.2	내항성능 평가요소의 변환 평가치	47
3.2.3	내항성능지표의 정의	49
3.2.4	임의 한 개 요소에 의한 항해위험도 평가	51
3.3	선체운동 가속도 계측·해석 시스템	53
3.3.1	개요	53
3.4	상하가속도를 계측한 내항성능 평가지표	60
<b>제 4 장</b>	<b>항해위험도 평가 기술을 이용한 해양사고 분석</b>	<b>62</b>
4.1	상하가속도 데이터를 이용한 항해위험도 평가	62
4.2	항해위험도 평가에 의한 해양사고 분석	69
4.3	VDR 성능 향상을 위한 항해위험도 평가 기술의 적용 방안	75
4.3.1	해양사고 유형별 분석시스템을 통한 원인 규명	75
4.3.2	항해위험도 평가 기술을 이용한 VDR	75
<b>제 5 장</b>	<b>결론</b>	<b>79</b>
<b>참고 문헌</b>		<b>81</b>
<b>표 목차</b>		<b>82</b>
<b>그림 목차</b>		<b>83</b>

# On the Application of Navigation Dangerousness Evaluation Technology for Improvement of VDR Performance

Young-Du Kim

Department of Ship Operation System Engineering,  
Graduate School of Korea Maritime University

## Abstract

For the purpose of technological analysis in the marine accidents and their prevention, IMO have made it obligatory to load VDR which is similar to the Black Box of aircraft.

However, there were difficulties for judging because of amendment of each record after accidents and changed to statement. In case of stranding and sinking accidents, which are 20% of marine accidents, it is difficult to get the necessary records for marine accidents judgement, what is more, almost impossible to get when they happened on the ocean.

In order to analyse the cause of stranding and sinking accidents, it is necessary to use the seakeeping performance

evaluation technology which is used in naval architecture.

Therefore, we are going to evaluate the marine accidents based on VDR recording data using the application of navigation dangerousness evaluation technology for improvement of VDR performance.

We have carried out the analysis of the cause of ship stranding and sinking accident using vertical acceleration data. Besides existing IMO recommended record data, we suggest the vertical acceleration as additional records of VDR.

## Nomenclature

$\widetilde{E}_i$	:	내항성능 평가요소의 변환 평가치
$\widetilde{E}_T$	:	선박 시스템의 내항성능 변환 평가치
$E_{Tc}$	:	선박 시스템의 내항성능 한계 평가치
$E_{Xi}$	:	내항성능 평가요소의 평가치
$E_{Xic}$	:	내항성능 평가요소의 한계 평가치
Fn	:	Froude number ( $= \frac{V}{\sqrt{gL}}$ )
g	:	중력가속도
$H_{1/3}$	:	해양파의 1/3 유의 파고
$Q_{Xic}$	:	내항성능 평가요소의 한계발생확률
$Q(X_i)$	:	내항성능 평가요소의 발생확률
$\widetilde{P}_i$	:	내항성능 평가요소의 신뢰도 함수
S	:	해상상태
$T_0$	:	평균파 주기
$X_i$	:	내항성능 평가요소
$X_i(d)$	:	내항성능 평가요소의 확률과정
$X_{ic}$	:	내항성능 평가요소의 한계치
$\sigma_{X_i}$	:	내항성능 평가요소의 표준편차
$\sigma^2_{X_i}$	:	내항성능 평가요소의 분산치

- $\widetilde{\mu}_T$  : 내항성능지표  
 $\mu_m$  : 내항성능 평가요소의 최대 위험도  
 $\mu_{X_i}$  : 내항성능 평가요소의 위험도  
 $\omega$  : 해양파의 원주파수  
 $\omega_e$  : 해양파와 선체의 만남 주파수  
 $\chi$  : 선박과 해양파와의 만남각

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

최근에 급속히 발달한 전자·통신 기술은 선박의 안전 향해에 큰 공헌을 하고 있다. 21세기에 들어서 바다를 항해하는 선박의 자동화 시스템 개발에 관한 연구는 기업체 또는 국가간 공동체 전략으로 생산성 향상과 국제 경쟁력 강화를 위해 노력하고 있다. 항해하는 선박의 안전을 증진시키기 위한 VHF(Very High Frequency), 음향수신장치 (Sound Reception System) 등과 같은 통신 항해장비 뿐만 아니라 ECDIS(Electronic Chart Display and Information System), AIS(Automatic Identification System) 같은 첨단 장비가 선박이나 육상에 설치되어 있다. 또한 항만과 출입항로를 항해하거나 이동하는 선박의 움직임을 관찰하여 선박 통항의 안전과 효율성을 증진시키고 환경을 보호하기 위하여 VTS(Vessel Traffic management System, 선박 통항관리시스템)도 있다. 인간공학적인 측면을 고려한 선교 설계, 항해장비의 설계 및 배치를 통해서 human error를 최소화하고 모든 장비를 유효적절하게 사용하여 항해안전을 극대화할 수 있도록 하고 있다.

또한 선박 운항의 안전성·경제성을 향상시키기 위하여 선박의 실시간 해상상태, 기상상태 등을 기록하여 사고 발생시 원인분석을 통해 향후 유사한 사고 방지의 목적으로 선박용 VDR(Voyage Data Recorder, 항해자료 기록장치)의 탑재가 법제화되었다.

그렇지만, 이런 노력과 기술적인 발달에도 불구하고 중앙해양안전심판원의 최근 5년(1998~2002년)간 한국 연안에서 일어난 해양사고 발생 현황을 보면 총 3,400여건이 발생하였다.

지금까지의 대부분의 해양사고 심판과정을 보면 항해·기관일지, 벨북, Course Recorder 기록, Engine Telegraph logger, GPS 항적도 및 위치기록, 항만관

제실 관제 레이더 상의 선박 항적 기록 및 VHF 녹취록, 사용해도 및 관련자의 진술 등을 토대로 여러 방법을 통해 사실을 재구성하여 최종적으로 항법과 규정 등을 적용하여 원인을 규명하고 있다.

그러나 사고 후 각종 기록일지의 수정, 진술의 번복으로 인하여 심판에 어려움이 있으며, 한국 연안에서 최근 5년간 발생한 해양사고의 20%정도를 차지하는 침몰·좌초 사고의 경우에는 해양사고 심판에 필요한 기록을 얻기도 힘들며, 특히 대양에서 사고가 발생하였을 때는 해양사고 원인 규명이 현실적으로 거의 불가능하다.

이런 어려움과 해양사고의 과학적 분석 및 유사한 종류의 사고 방지를 목적으로 IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구)에서는 비행기의 Black box에 해당하는 것으로 선박의 운항 중 각종 데이터의 실시간 기록의 유지 및 관리를 하는 장치인 VDR 탑재를 의무화하였다.

VDR의 선박 탑재 과정을 보면, 1980년대 말 발생한 Bulk Carrier 침몰사고가 논의의 시발이 되어 1989년 1월 5일 MSC(Maritime Safety Committee, 해사안전위원회)에 독일이 VDR 조사 보고 후 각국의 의견을 제출하는 것을 제안하였으며, 1994년 9월 발틱해에서 900여명의 인명을 앗아간 RO-RO 여객선 Estonia 호의 전복 사고를 계기로 모든 RO-RO 여객선에 강제 탑재할 것을 1995년 SOLAS(International Convention for the Safety of Life at Sea, 해상인명안전협약) 회의에서 권고하여 협약 5장이 개정되었다. 이후, 1997년 11월 27일 IMO 제20차 총회에서 VDR의 성능기준에 관한 권고(Recommendations on Performance Standards for Shipborne Voyage Data Recorder)를 결의 A.861(20)로 채택하였다. 1999년 8월에 IEC(International Electrotechnical Commission, 국제전기표준회의)는 VDR의 성능요건, 시험방법 및 결과를 마련하여 2000년 11월 제73차 MSC에서 VDR의 탑재 대상선박 및 시기를 확정, 개정 SOLAS V/20은 2002년 7월 1일부터 시행하도록 하였으

며, 그 시행 시기는 선박의 종류에 따라 다소 차이가 있다.

하지만, IMO의 A.861(20) VDR의 성능기준에 맞는 기록 데이터(날짜 및 시간, 선위, 선속, 침로, VHF 통화기록, Main alarm, Radar data, Engine order and response, 풍향 및 풍속 등) 만으로는 해양사고의 20% 정도에 해당하는 좌초·침몰 사고에 대한 직접적인 원인 분석에는 미흡한 점이 있다.

## 1.2 연구 목적

본 연구에서는 해양사고 중 좌초·침몰 사고에 대한 원인 분석이 미흡한 점을 개선하기 위해 내항성능 평가요소를 계측하여 해양사고 분석시스템에 활용하고자 한다. 여기서는 내항성능 평가요소 중 상하가속도 데이터를 이용하여 항해위험도 기술을 적용하여 사고원인을 분석하고자 한다.

내항성능에 대한 연구는 첫째, 내항성능 평가요소 각각에 대한 한계치, 한계발생확률 및 위험도를 이용한 평가 연구, 둘째, 내항성능 평가요소의 특성을 종합할 수 있고 계측이 편리한 선체의 가장 기본적인 운동인 중동요와 횡동요를 내항성능 평가요소로 하여 선박의 운항상태를 평가하는 연구, 셋째, 내항성능지표를 이용하여 각 선박의 침로별, 적하상태별 안전 범위와 위험범위를 화면으로 표시할 수 있는 평가도상에 해상상태별로 나타내어 선박의 항해위험도를 평가하는 연구, 마지막으로 기존 내항성능 평가요소 중 계측성이 편리하고, 화물의 안전과 승무원의 작업성 등에 직접적인 영향을 주는 상하가속도 한 개의 요소만을 계측하여 선박 전체의 항해안전성을 평가하는 연구 등이 행해지고 있다[1-4].

따라서 기존의 VDR에 기록되어야 하는 IMO 권고 기록 데이터 외에 내항성능 평가에 필요한 상하가속도 데이터를 추가 기록 데이터로 채택하여 선박의 항해위험도를 평가하고, 좌초·침몰된 선박의 사고 원인에 대한 정량적인 원인 분석을 하고자 한다.

항해하고 있는 선박의 선체 상하가속도 신호를 실시간으로 획득하고 이를 이용하여 해상 상태별, 침로별 내항성능지표를 계산하여 항해위험도를 분석한다. 항해위험도 분석은 계산된 내항성능지표를 이용해 Deckwetness, Propeller Racing, Slamming, Rolling 등의 발생 확률을 계산하고, 계산된 확률을 이용하여 각 내항성능 평가요소의 위험도를 역산하여 사고 당시 선박에 가해진 위험 현상을 분석하여 사고 원인을 규명하여 유사한 사고의 재발 방지와 성능이 향상된 VDR 개발에 필요한 기초 자료를 제공한다.

### 1.3 주요 내용

논문은 전체 5장으로 구성되어 있으며, 제1장은 서론이고, 제2장은 항공기, 차량 및 선박 등의 사고원인 분석시스템에 대한 구성과 기능에 대해 기술한다. 제3장은 VDR의 추가 기록데이터를 분석하기 위해서 내항성능 평가요소의 위험도, 평가지표 및 선체운동 가속도를 계측한 내항성능 평가지표를 이용한 내항성능 평가이론에 대해서 기술한다. 제4장에서는 대상선박이 해상을 항해할 때 계측한 상하가속도 데이터를 이용하여 선체와 해양파와의 만남각에 대해 항해위험도를 분석하고, 계측되지 않은 해상상태에 대한 항해위험도 분석은 수치해석 시뮬레이션을 이용한다. 또한 VDR 성능 개선을 위한 항해위험도 평가 기술의 적용에 대해 기술한다. 제5장에서는 이상의 연구로 얻어진 결과와 추후 연구 방향을 제안한다.

## 제 2 장 사고원인 분석시스템의 기술 분석

### 2.1 항공기 사고원인 분석시스템

#### 2.1.1 개요

항공사고의 대부분이 공중에서 일어나고 있어 육상 또는 해상사고에 비해 원인규명이 어려운 특징을 지니고 있으며, 사고발생 원인이 추락과 동시에 거의 소멸되는 경우가 많아 사고원인 조사를 어렵게 만드는데, 이런 상황에서 결정적 단서를 제공하여 원인규명에 크게 기여하는 것이 블랙박스이다.

일반적으로 블랙박스라 하면 FDR(Flight Data Recorder, 비행자료기록장치)과 CVR(Cockpit Voice Recorder, 조종실음성녹음장치) 2개로 구성되어 있으며, 시간이 경과하는 기준에 따라 기본적인면서도 중요한 비행자료를 기록하는 장치이다. 그래서 블랙박스는 커다란 충격이나 화재 속에서도 손상되지 않고 사고 직전의 비행 상황을 기록하기 위해 추락시 가장 충격을 적게 받는 비행기 꼬리 밑 부분에 대부분 설치하여져 있다[5].

만일 비행기가 바다나 호수 속에 빠진 경우에는 주파수 탐지기를 이용하는데 이는 블랙박스 손잡이 옆에 주파수 발신 장치가 설치되어 있고, 이 장치가 물에 접촉되면 내부에서 화학반응이 일어나 고유의 비상용 주파수(37.5khz)가 30일간 발신하기 때문이다.

블랙박스의 기록매체 보호캡슐(CSMU; Crash Survival Memory Unit)의 역할은 데이터 보존이므로 추락할 때의 충격이나 화재로 인해 내부 손상을 방지하기 위해 외형은 땅에 떨어지는 순간 자기 무게의 3천 4백배(3,400G.중력)의 충격과 1100℃에서 30분간 견딜 수 있는 구조로 되어 있으며, 항공기가 바다에 추락했을 경우를 대비해 수심 2만 피트에서 30일간 방치되어 있더라도 훼손되지 않도록 되어 있다.

가. 조종실 음성기록장치

CVR의 핵심 기능은 조종실에서 발생하는 모든 소리를 저장하는 것으로, 민간항공기의 조종실 음성기록장치는 1996년부터 장착이 의무화되었다. 기장, 부기장, 항법사(기관사) 그리고 조종실 내의 음성이 4개의 채널을 통해 아래와 같은 것이 기록된다.

- ؛ 항공기에서 무선을 이용한 송수신 음성통화
- ؛ 조종실내 비행승무원들의 음성통화
- ؛ 항공기 내부통화장치를 이용한 조종실내 비행승무원의 음성통화
- ؛ 헤드셋 및 스피커를 통한 항법이나 접근보조장비 식별 음성 또는 청각신호
- ؛ 승객용 확성장치가 있고 네 번째 녹음 채널이 사용되지 않을 때는 승객용 확성장치를 사용하는 비행승무원의 음성통화

조종실내 비행승무원들의 음성을 효과적으로 녹음하기 위하여 조종실 설치구역 마이크는 기장 및 부기장 위치에서 발생하는 음성통화는 물론 그 위치를 향하고 말하는 조종실내 다른 승무원의 음성통화를 잘 녹음할 수 있는 위치에 장착되어 있다. 마이크의 위치를 정하고 프리-앰플리파이어와 녹음기의 여과기를 조절하여 높은 명료도로 녹음이 되도록 많은 주의가 요구된다.

조종실 음성기록장치는 위에서 언급한 각 정보출처가 독립된 채널에 기록되도록 장착되어야 하며 다음과 같다.

- ؛ 첫째 채널, 기장 위치에서 사용된 각 통화기, 헤드셋 및 스피커로부터
- ؛ 둘째 채널, 부기장 위치에서 사용된 각 통화기, 헤드셋 및 스피커로부터
- ؛ 셋째 채널, 조종실내 부착된 구역 마이크로부터

i. 넷째 채널

- 셋째나 넷째 조종사 자리에서 사용된 각 통화기, 헤드셋, 혹은 스피커
- 또는 이런 목적으로 사용되고 있지 않은 때에는 항공기의 확성기 장치와 관련된 마이크로부터

각 채널을 구분하는 이유는 사고 당시 누구의 음성이 녹음된 것인지 금방 알기 위해서이며, 조종사들 간의 대화나 혼잣말 및 관제탑과의 교신 내용이 저장된다. 또한 엔진 소음이나 기타 기계 소리도 저장되기 때문에 전문가들은 이 소리를 듣고 사고가 일어날 당시의 상황을 판단할 수 있다.

CVR은 크게 마이크로폰 모니터와 기록장치로 구성된다. 마이크로폰 모니터는 조종실의 소리가 입력되는 장치로서 대부분 기장과 부기장 사이 위쪽의 손닿는 위치에 설치된다.

조종사는 탑승했을 때 시험 스위치를 눌러 바늘이 움직이거나 등불이 켜지면 정상적으로 모니터가 작동되고 있는 것이다. 만일 녹음된 내용을 지우려면 지움 스위치를 약 10초간 누르면 되지만, 비행 중에는 인위적으로 지울 수 없도록 설계되어 있다.

마이크로폰 모니터에 입력된 소리는 기체 뒷부분의 기록장치에서 저장되고, 기록장치를 작동시키는 스위치는 별도로 없고 비행기에 전원이 들어오면 자동으로 작동된다.

테이프는 삭제, 녹음, 모니터로 구성된 3개의 헤드를 가지고 있고, 녹음 시간은 30분으로, 30분이 지나면 삭제헤드가 테이프의 앞부분을 자동적으로 지운다. 녹음헤드에는 각 채널로부터 입력된 신호가 기록되고 이 신호는 약 1초 후 모니터헤드에서 증폭된다. 초기의 기록장치는 음파의 변화를 자기장의 연속적인 변화로 표현한 아날로그형태로 중간에 잡음이 끼어드는 경우가 많아 깨끗한 데이터를 얻기 어려웠다.

최근에는 일정한 시간마다 아날로그 신호 값을 모으고 이를 2진법 형태(0과 1)로 변환시킨 디지털형으로 모든 물리량을 2진수로 정확하게 저장하기 때문에 기록을 복원할 때 깨끗한 결과물을 얻을 수 있다.

#### 나. 비행자료 기록장치

1930년대 미국의 임페리얼 항공사에서 엔진의 회전수를 기록하는 장비를 장착한 것이 시초가 되어, 초기에는 몇 가지의 주요 기본사항(비행기의 고도, 속도, 기수방향, 수직가속도 등)만이 기록됐지만, 비행기가 대형화되고 내부 장치가 복잡해지면서 현재는 3백개 이상의 데이터를 기록하도록 발전되었다.

FDR은 비행기 내의 모든 데이터가 수록되는 항공통합 데이터시스템인 에이즈(AIDS, Aircraft Integrated Data System)의 일부다. 에이즈는 크게 FDEP(Flight Data Entry Panel, 비행데이터등록계기판), 3축가속도계(Three axis accelerometer), FDAU(Flight Data Acquisition Unit, 비행데이터습득장치) 그리고 FDR로 구성된다. 정상적인 비행을 마쳤을 때 항공사는 에이즈에 저장된 모든 데이터를 일상적으로 점검한다.

FDEP는 조종실 내에 장치되어 있어 비행을 시작하기 전 승무원이 비행날짜, 항공회사 식별기호, 비행편명, 이륙할 때 비행기에 가해지는 무게 등을 기록한다.

3축가속도계는 기체 중심부에 부착되어 있어 상하방향의 수직축, 전후방향의 세로축, 그리고 좌우방향의 가로축을 따라 비행기가 어떤 가속도로 움직이는지를 기록한다. FDAU는 FDEP와 3축가속도계에 기록된 데이터 뿐만 아니라 비행기 곳곳에 설치된 대부분의 기계 장치들과 센서에 연결돼 있어 실질적으로 비행기의 상황을 종합적으로 기록하는 역할을 맡는다.

블랙박스 FDR은 FDAU로부터 일부 중요한 데이터를 전달받으며, 엔진이

언제부터 어느 정도로 과열됐는지, 조종사가 랜딩기어를 어느 지점에서 내렸는지, 뒷날개 꼬리 각도는 얼마였는지, 조종사가 자동 장치로 운행했는지와 같이 사고 원인을 알려주는데 결정적인 단서를 제공하는 데이터를 기록한다.

흔히 사용되는 기록장치는 디지털 형태로 저장되는 테이프 형으로 수십분의 1초 수준에서 각종 데이터를 기록하며, 25시간이 지나면 앞의 내용을 자동으로 지우고 새로운 내용을 다시 저장한다. 초기에는 노란색이었으나 현재는 밝은 오렌지색을 띤 가로 60cm, 세로 15cm, 높이 20cm, 무게 13kg 으로 된 직육면체이며 다음의 일반 요건을 충족해야 한다.

- ; 식별이 용이하도록 반사물질을 가져야 한다.
- ; 수중에서 위치 식별을 자동으로 알려주는 장치가 부착되어야 한다.
- ; 내장된 기록매체를 열과 충격 등으로부터 보호할 수 있어야 한다.
- ; 어떠한 상황에서도 최후까지 작동되어야 한다.

다. 시뮬레이션을 이용한 해독

블랙박스를 해독하는 일은 미국의 NTSB(The National Transportation Safety Board, 연방교통안전위원회)가 맡아서 회수한 CVR과 FDR로부터 테이프를 꺼내고 이들에 저장된 기초 데이터를 뽑아낸다.

FDR의 경우 디지털 신호로 저장된 데이터를 변환기를 통해 아날로그 형태로 바꾸면 그래프로 나타나 각 시간별로 비행기의 고도와 기수방향 등이 어떻게 변해갔는지 한눈에 알 수 있다. CVR에 저장된 녹음내용은 이보다 쉽게 재현시킬 수 있다.

다음 단계는 컴퓨터 시뮬레이션으로 블랙박스에서 얻은 기초 데이터를 컴퓨터에 입력한 후 비행기가 날아가는 모습과 사고 순간을 3차원 애니메이션 영상으로 재현시키는 작업이다. 블랙박스 회수에서 이 단계까지 소요 시간은

길어야 몇 주일 정도이다.

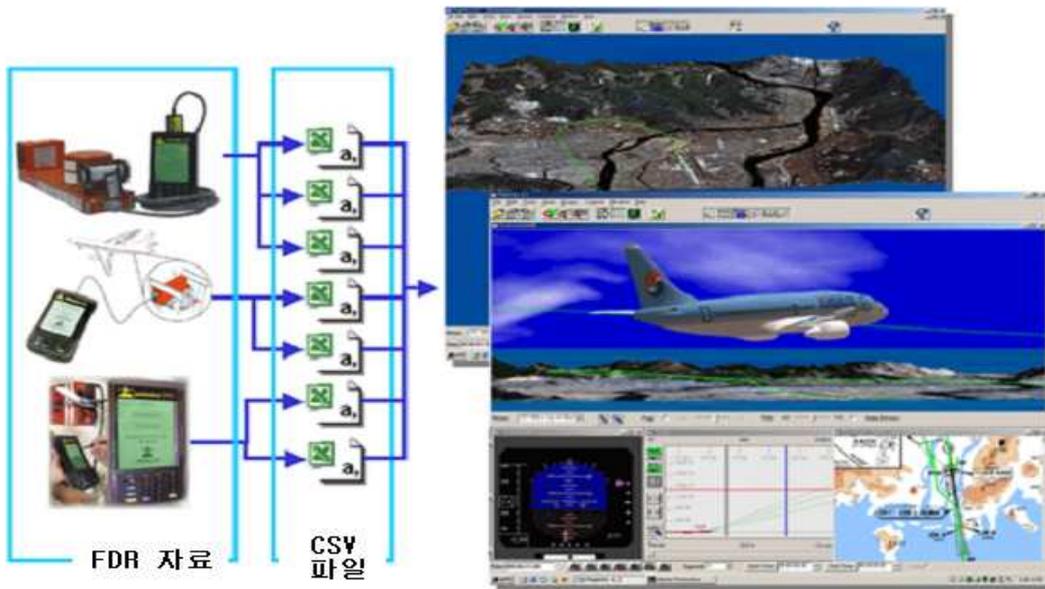
그렇지만 비행기가 사고 직전에 어떤 상황이었는지 정확히 알 수 있어도 그 직접적인 원인을 단정짓기는 매우 어렵다. 결론이 어떻게 나느냐에 따라 관련자들이 책임을 지는 정도가 크게 달라지기 때문이다.

만일 어느 한쪽에서 결과에 승복하지 못하고 검사과정에 이의를 제기하면 조사는 다시 시작될 수밖에 없다. 많은 전문가들이 지적하듯 블랙박스 ‘그럴듯한 원인(probable cause)’을 제공할 뿐이지 만능의 해결사가 아니기 때문이다.

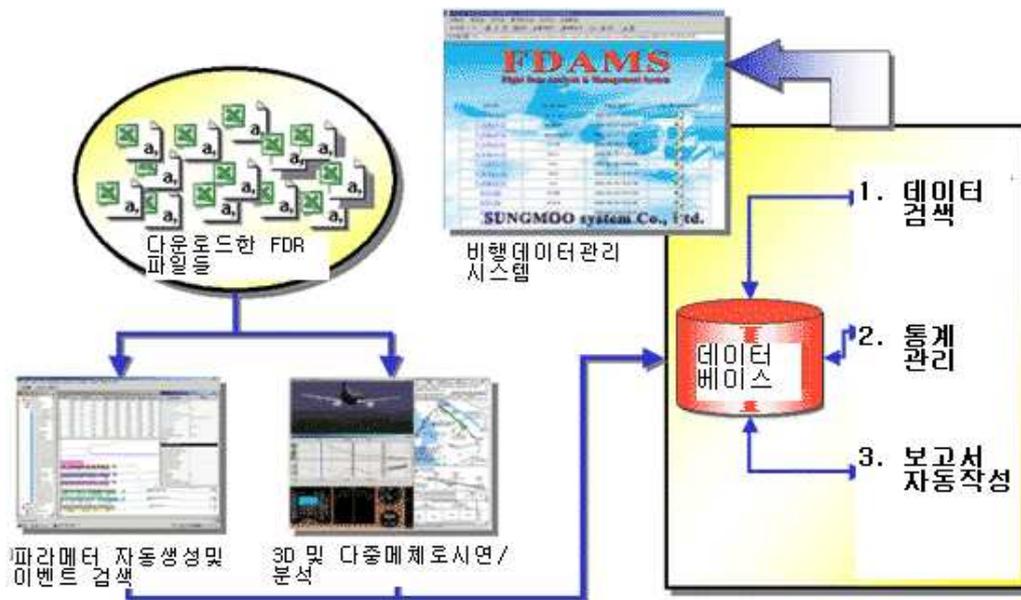
## 2.1.2 분석시스템의 구성과 기능

### 가. 운용 개요

2000년 1월부터 구축된 항공기의 블랙박스 분석시스템은 김포공항 사고조사분석실에 설치되어 건설교통부 항공국사고조사과에서 운영하고 있다. 이는 현재 국내 양 항공사인 대한항공과 아시아나항공에서 운용중인 항공기의 블랙박스를 통한 항공기 안전운항에 필요한 모든 자료를 분석하여 비정상운항 또는 항공기 사고조사에 활용하고 있으며, 그림 2-1, 2-2에 FDR 자료의 시물레이션 화면과 항공기 분석시스템의 구성도를 예로서 나타내었다.



< 그림 2-1 > FDR 자료의 시뮬레이션 화면(예)



< 그림 2-2 > 항공기 분석시스템의 구성도

나. 운용 장비

항공기 블랙박스 분석시스템의 운용 장비는 다음과 같다.

- (1) 휴대용 장비(RSU) : 국내 항공사에서 운용중인 FDR의 자료를 현장에서 실시간으로 내려 받을 수 있는 장비이다.
- (2) Grap for Windows : 국내에서 운용중인 모든 기종의 FDR의 자료를 관독하여 자료의 이상 유무를 검증하고, FDR의 성능 및 고장여부를 확인하는 장비이다.
- (3) PC-Grap 및 Grap for Windows : Download하는 FDR의 Raw Data를 항공기의 종류에 따라 비행파라미터를 추출하고 이를 도표화하여 볼 수 있는 장비이다.
- (4) Local CVR Read-Out System : 항공기 CVR의 내용을 채널별로 녹취하는 장비이다.
- (5) 정밀음향분석장치 : CVR의 4채널의 소리를 분석하여 조종사간, 관제탑, 항공기 요원들 사이의 대화내용을 번역 기록하고, 모호한 음성이나, 대화내용, 신호음 등을 분석한다.
- (6) 3D-Master : 항공기 시뮬레이션 장비로서 개념과 방법은 RAPS와 유사하다.
- (7) Grap for Vision : Grap for Window나 기타 장비로서 해독된 비행파라미터를 기초로 항공기 사고 재구성을 할 수 있는 기능이 있다.

## 2.2. 차량 사고원인 분석시스템

### 2.2.1 개요

차량용 블랙박스는 차량에 사고가 발생한 경우 감지기를 이용하여 사고를 감지하고, 사고 전후 일정 시간동안 차량의 거동과 운전자의 각종 조작 상태를 저장할 수 있는 장치로, 이 장치의 데이터를 이용하여 사고재현 프로그램 상에서 사고 상황을 재현할 수 있는 장치이다. 최근 차량용 블랙박스는 일정 기간의 차량운행기록, 사고 전후 일정시간의 영상, 음성 데이터와 속도, GPS 및 자이로 센서를 이용한 궤도 데이터, 조향각도뿐만 아니라 브레이크, 가속 페달, 엔진 RPM, 전조등 작동여부 등의 자동차 운행기록 등을 저장하는 것으로 발전해 가고 있다. 또한 사고 발생시 무선 네트워크를 통하여 응급신호를 송출하는 기능을 가지고 있는 제품들도 있어 이를 사용하면 사고 발생시 이벤트가 자동 통보되고 운영센터에서 효율적인 조치를 하게 된다.

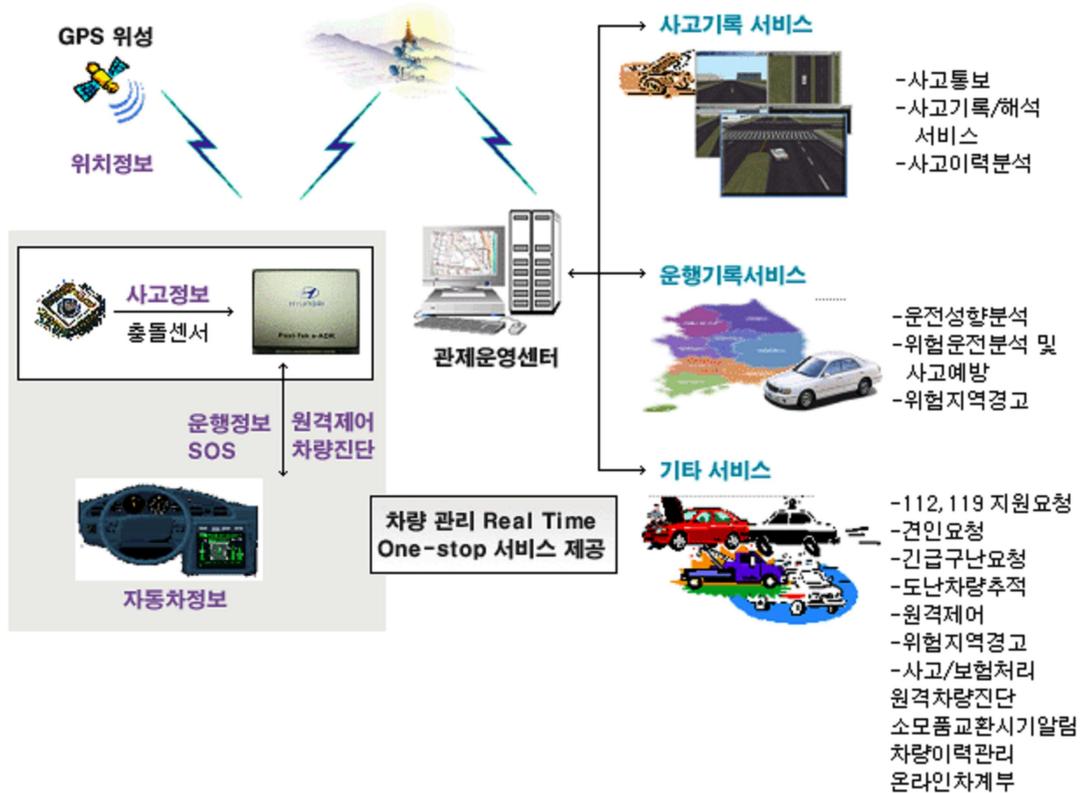
### 2.2.2 분석시스템의 구성과 기능

#### 가. 구성 및 기능

차량용 블랙박스의 구성 및 시스템 구성도를 보면 그림 2-3과 같다. 그림에서와 같이 차량용 블랙박스는 GPS 등을 이용한 위치정보, 사고감지를 통한 충돌정보, 각종 운전자 조작정보를 입력받아 저장하며, 사고 발생 후 분석을 통한 사고 해석 및 사고 원인 분석, 통신망을 통한 사고 자동통보 기능을 수행할 수 있다. 사고 발생시 무선 네트워크를 통하여 응급신호를 송출하는 기능이 가능하도록 하는 제품들도 있어 이를 사용하면 사고 발생시 이벤트 정보가 운영센터로 자동 통보되고, 119 및 구난차와 연결되어 인명사고가 생겼을 때 조속한 효율적 조치를 할 수 있다. 이런 차량용 블랙박스의 기능

을 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 사고(충돌)인식 및 충돌정보 수집
- 자동차 주행 및 거동 정보 수집
- 운전자 조작 정보 수집
- 사고해석 및 사고상황 재구성
- 차량 궤적 및 속도, 충격량, 충돌각도 등을 해석하여 사고의 원인분석 및 증거자료 제공
- 사고 발생까지의 전, 후 상황을 각종 그래프 및 동영상으로 재현



< 그림 2-3 > 차량용 블랙박스의 구성 및 시스템 구성도

(출처 : <http://www.e-carr.co.kr>)

#### 나. 블랙박스의 효과

차량용 블랙박스의 효과를 보면 다음과 같다.

- (1) 사고 발생시 명확한 증거를 제시할 수 있어, 특히 목격자 부재시 등의 상황에서 흔히 일어나는 사고 분쟁을 해결할 수 있어 안전 준법 운전자를 보호하고, 사고의 목격자가 없어도 상황을 정확히 재구성 하는데 도움이 된다.
- (2) 부품의 불량원인을 규명하고 자동차의 안전성 향상을 위한 기반 데이터를 제공할 수 있다. 차량용 블랙박스는 각종 운행 및 운전자의 차량 조작 데이터를 저장할 수 있어 중대한 차량의 결함을 발견할 수 있으며, 사고를 막을 수 있도록 하는 개선사항을 제공할 수 있다.
- (3) 사고 분석후 잘못된 교통시스템 및 도로 환경개선을 위한 기반 데이터 제공할 수 있다.
- (4) 사고 전후의 각종 데이터 뿐만 아니라 평상시의 급가속 여부, 급제동 여부 등의 운행 데이터를 저장하여 운전습관을 분석하는데 활용될 수도 있어 잘못된 운전습관을 개선하고 사고를 미연에 방지할 수 있다.

#### 다. 블랙박스 구현을 위한 핵심기술

차량용 블랙박스의 구현을 위한 핵심적인 기술은 다음과 같다.

##### (1) 사고 감지기술

사고를 감지할 수 있는 방법은 다양하지만 통상적으로 운전석 또는 조수석 에어백을 위한 충돌센서 등을 이용한 사고를 감지하며, 이에 더해 전방 및 측방 가속도 센서를 이용한 충격량 계산방법을 사용한다. 또한 아주 경미한 사고의 경우는 운전자의 스위치 조작으로 사고

감지 기능을 대신하여 추후 상황의 데이터를 저장할 수 있도록 하는 기능을 가져야 한다.

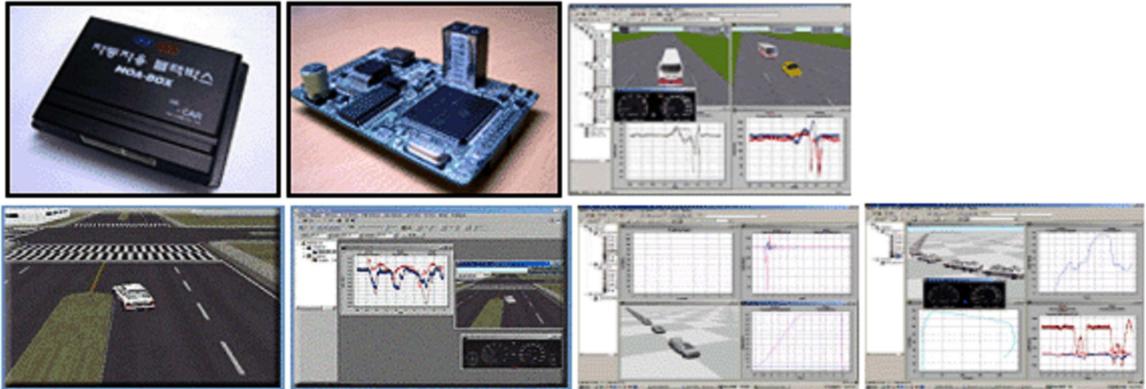
## (2) 데이터 저장 기술

차량용 블랙박스는 사고 전후의 다양한 데이터를 저장하고 이를 추후 분석하여야 한다. 따라서 사고 발생 후 데이터의 분석을 위하여 저장한 데이터를 백업할 수 있어야 한다.

사고 후에도 차량의 전원이 계속 공급되는 상황이면 상관없지만 사고 발생시 전원의 지속적인 공급을 보장할 수 없으므로 별도의 배터리를 장착해서 차량전원이 차단되었을 때 전원공급을 계속할 수 있게 하기도 하며, 지속적인 전원이 공급되지 않아도 데이터를 보존할 수 있도록 플래쉬 메모리를 많이 사용하기도 한다. 또한 데이터 크기를 줄이고자 영상데이터를 압축해서 저장하는 방법을 사용하기도 한다.

## (3) 데이터 분석 기술

차량용 블랙박스에 저장된 각종 운행 데이터를 사용하여 사고 후 사고상황 재현, 분석 및 운행 형태의 분석을 수행하기 위하여 PC 등을 기반으로 하는 데이터 분석 시스템이 요구된다. 이를 위하여 별도의 다운로드 툴을 제공하는 것이 일반적이며 분석 소프트웨어도 제공되어야 한다. 물론 데이터의 다운로드 및 분석은 개인이 수행하기보다는 공신력 있는 기관에서 객관적인 수행을 하는 것이 신뢰성을 제공할 수 있을 것이다. 데이터의 분석 및 복원을 위해서는 저장된 영상의 재생, 애니메이션화를 통하여 확인하도록 할 수 있어야 하며, 그 예를 그림 2-4에 나타내었다.



< 그림 2-4 > 차량용 사고 재현 프로그램 (출처 : <http://www.e-carr.co.kr>)

## 2.3 선박 사고원인 분석시스템

### 2.3.1 개요

1989년 독일에 의해 처음으로 IMO의 MSC에 제출한 VDR의 선박 탑재에 관한 제안은 그 후 각국에서 많은 의견이 제출되어 검토되었다. 1994년 9월 발틱해에서 수많은 인명을 앗아간 RO-RO 여객선 Estonia호의 전복사고 후 IMO에서 구성된 전문가 그룹은 모든 RO-RO 여객선에 VDR를 강제 탑재할 것을 SOLAS협약 당사국 회의에 권고하였다. 탑재요건 및 성능기준에 대해서는 SOLAS 협약 제5장의 개정작업을 진행중인 NAV(Sub-Committee on Safety of Navigation, 항해안전소위원회)와 DE(Design and Equipment, 선박설계의장소위원회)가 서로 협력하여 검토하였다.

1997년 11월 27일 IMO 제20차 총회에서 VDR의 성능기준에 관한 권고(Recommendations on Performance Standards for Shipborne Voyage Data Recorder)를 결의 A.861(20)로 채택하였다.

1999년 8월에 IEC (International Electro-technical Commission, 국제전기표준회의)는 VDR의 성능 요건, 시험방법 및 시험결과(IEC 61996 Shipborne Voyage Data Recorder, Performance Requirements, Methods of Test and Required Test Results)를 마련하였다.

2000년 11월에 개최된 제73차 MSC에서는 VDR 탑재 대상선박 및 시기를 표 2-1에 나타낸 바와 같이 확정하였으며, 개정 SOLAS V/20은 2002년 7월 1일부터 시행하도록 하였다.

또한 미국, 영국, 호주 등 서방 선진 국가들이 현존 화물선에도 탑재하여야 한다는 주장들을 하였으나, 일본을 비롯한 많은 국가들이 반대하여 관철되지는 못하였다. 그 결과 MSC Resolution 109(73)를 추가로 채택하여 현존 화물선의 탑재시기에 대해서는 그 타당성을 연구 검토 중에 있다[6].

< 표 2-1 VDR 탑재 대상선박 및 시기 >

Carriage Requirement IMO

Carriage requirement according to Amendment SOLAS Chapter V For ships on international voyages			
	Type of ship		Implementation Date ***
New ships constructed on or after 01.07.2002	Passenger ships		1st of July 2002
	Other ships** of 3.000 gross tonnage upwards		1st of July 2002
Old ships constructed before 01.07.2002	RoRo-Passenger ships (not later than the first survey after 1st July 2002)		1st of July 2002
	Passenger ships other than RoRo-Passenger ships		1st of January 2004
Exemption	Ships other than RoRo-Passenger ships, constructed before 1st July 2002, where it can be demonstrated that interfacing a VDR is unreasonable and impracticable.		The exemption will be given by the national authorities.

\* 'constructed' means : a) The keel is laid, b) construction identifiable with a specific begins, c) assembly of that ship has commenced comprising at least 50 tons or 1% of the estimated mass of all structural material whichever is less

\*\* ship other than passenger ships

\*\*\* all dates based on Amendment SOLAS Chapter V December 2000

## Carriage Requirement EU

Carriage requirement according to EU directive 2002/59/EC For ships on international and domestic voyages to or from a port of the European Community		
	Type of ship	Implementation Date *
New ships constructed on or after 01.07.2002	Passenger ships	 1st July 2002
	Other Ships than Passenger Ships of 3.000 gross tonnage upwards	 1st July 2002
Old ships constructed before 01.07.2002	RoRo-Passenger ships	 1st July 2002 not later than 5th August 2002
	Passenger Ships	 1st January 2004
	Cargo Ships of 20.000 gross tonnage and upwards	 1st January 2007
	Cargo Ships of 3.000 gross tonnage and upwards but less than 20.000 gross tonnage	 1st January 2008
Exemption	Member states of the European Community may exempt passenger ships engaged only in domestic voyages in sea areas other than those covered by Class A.	

\* all dates based on EU directive 2002/59/EU

### 2.3.2 VDR의 구성과 기능

선박용 VDR의 구성은 그림 2-5와 같이 데이터 수집의 주 연산장치와 최종기억매체를 포함하는 캡슐이 기본 구성 요소로 되어 있다.

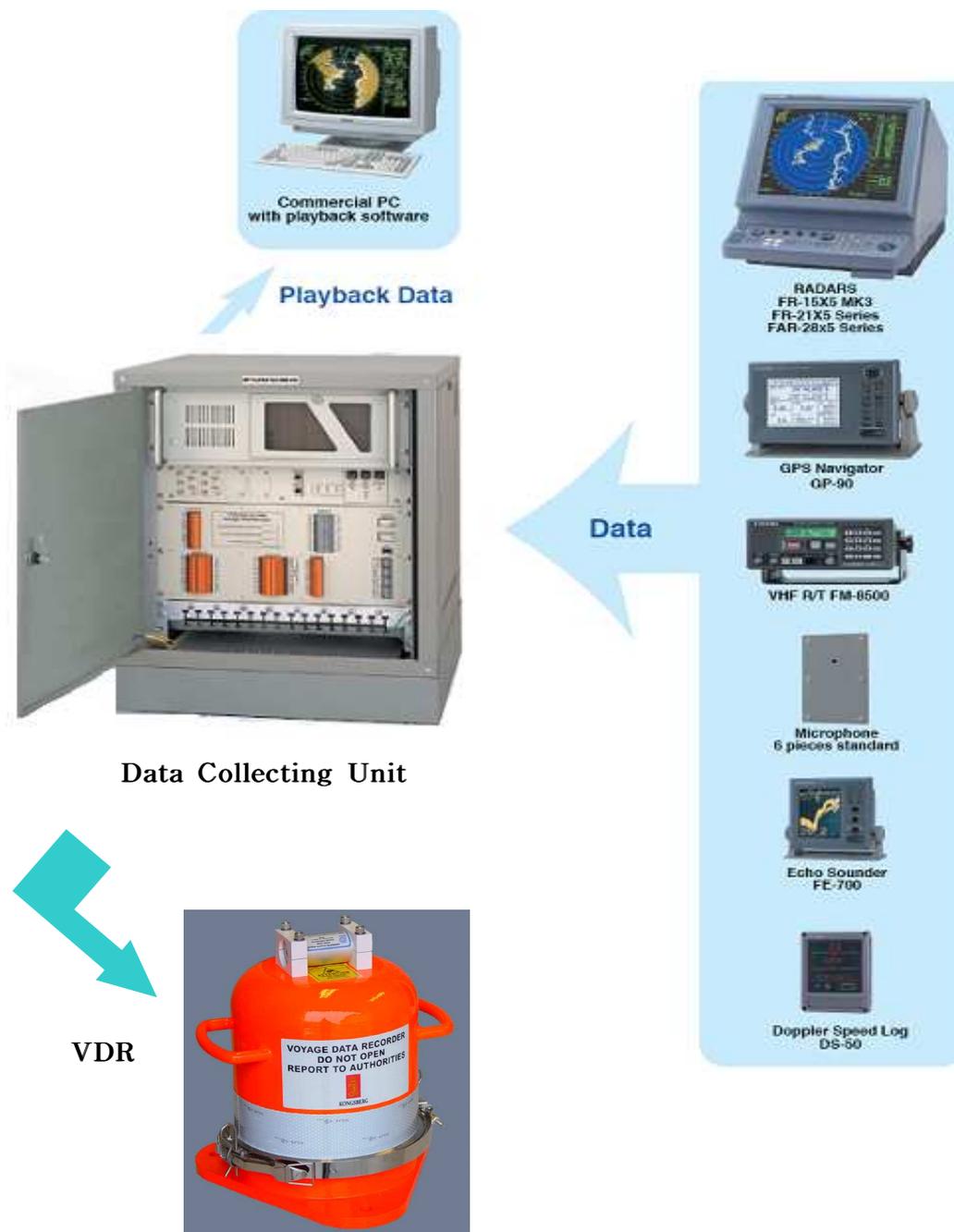
주 연산장치는 많은 센서정보를 받아들이기 위한 단자반 인터페이스, 신호 변환기 등을 포함하는 선내상설의 장치이다. 최종기억매체를 포함하는 캡슐은 부양형과 선체 고정형 중 어느것도 기준에 부합되면 좋다고 되어 있다. 또한 VDR로서 형식승인검사의 검사대상에는 없지만, 데이터 재생장치가 요구된다[7].

#### 가. 인터페이스의 요건

주 연산장치로부터 최종기억매체에 전송하는 신호는 인터페이스를 통하여 전달된다. 각종 센서에 대응하는 인터페이스는 관련 국제규격 IEC 61162(디지털 인터페이스) 시리즈 규정에 따르도록 되어 있고, 규정에 없는 선교내 음성, 통신음성 및 레이더 인터페이스는 IEC 61996(VDR)의 기술기준에 정의된 것을 따른다. IEC 61162에 없는 신호의 변환이 요구되는 인터페이스는 IEC 60945(일반환경조건)의 요구를 만족하도록 되어 있다.

만약 선내의 기계 접속에 이상이 발생할 경우에도, VDR을 작동하는 데는 영향을 미치지 않도록 되어 있어야 한다. VDR에 기록되는 데이터 센서의 인터페이스에 적용되는 국제규격 IEC 61162 시리즈는 아래의 4종류로 분류된다.

- (1) IEC 61162-1 : “Single Talker and Multiple Listeners” 기본형  
NMEA 0183에 따라서 규격화한 것. 전송속도는 4800bps.
- (2) IEC 61162-2 : “Single Talker and Multiple Listener-High Speed Transmission” 상기 기본형의 고속도판. 전송속도는 38400bps.



< 그림 2-5 > 선박용 VDR의 구성

(3) IEC 61162-3 : “Multiple Talker and Multiple Listener-Serial Data Instrument Network” 소규모의 LAN(Local Area Network).

ISO 11898 (CAN)을 기본으로 NMEA2000을 모델로 국제표준으로 한 것. 약 200m의 거리를 약 250 kbps로 전송하는 것으로 규격화함.

(4) IEC 61162-4 : “Multiple Talker and Multiple Listener-Ship Systems Interconnection. 10Mbps 규모의 선내 LAN.

상기 (1)과 (2)는 신호의 포맷을 규정하고, 다른 점은 전송속도이지만, (3)과 (4)는 LAN의 규정으로서 소규모와 대규모의 차이이다.

#### 나. 기억매체의 요건과 데이터의 보전

(1) 최종기억매체는 보호캡슐 내에 내장되어야 한다. 기억매체가 사고 후 즉시 그리고 확실하게 검사되지 못할 경우는 사고 조사관이 재현을 시도하기 전에 기억매체가 온도 레벨을 넘은 것인가 또는 의심해야 할 데이터가 어디에 잔존하고 있는가 하는 결정 가능한 수단을 가져야 한다. 더욱이, 운용 데이터에 추가하여 VDR이 정의하는 구성에 의한 데이터 블록과 접속된 센서는 VDR이 가동 중에 최종기억매체에 기억되는 것으로 되어 있다. 이 구성에 의한 데이터는 최종기억매체에 영구히 유지되어, 정당하게 인정된 사람 이외의 자에 의하여 변경되어서는 안된다. 따라서 이 데이터 블록의 구성에 대한 변경이 의무적인 항목의 기록에 영향을 주지 않아야 하고, 시스템 구성의 정보와 데이터 소스의 식별은 이 데이터 블록에 포함되어 있어야 한다.

(2) 데이터의 처리는 VDR 수신호 처리장치에서 규정된 정도의 신호 변환처리를 해야 하며, 기록된 데이터가 불법으로 변경되는 일이 가능하지 않도록 설계를 해야 한다. 또한 변경되는 일이 있다면 이에 대한 모든 것은 기록되어야만 한다.

(3) 기록방법은 각각의 기록된 데이터와 수신된 데이터가 전적으로 같은지를 점검해야 하며, 만약 수정 불가능한 오차가 검출되었다면 경보를 발하고 아래의 사항을 연속적으로 감시해야 한다.

- ; 공급전력
- ; 기록기능
- ; bit 오차율
- ; 마이크روف폰의 기능성

상기에 관한 이상은 IMO A. 830(경보와 지시)의 해당하는 요구에 따라서 선박이 통상의 항해를 하는 위치에 있어서 경보를 발하며 경보음은 정지가 가능하여야 한다. 그러나 가시 표시는 장치가 운용 가능한 상태가 될 때까지 유지되고 외부에 표시되어야 한다.

#### 다. 작동 조건

작동에 관하여서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

(1) 유닛트는 통상의 운용에서 완전하게 자동이어야 한다.

(2) 사고 후에 적절한 방법으로 기록 프로세스에 최소의 중단으로 보호된 캡슐의 개방을 필요로 하지 않고 기록된 데이터가 공급될 것을 확실시 하는 수단이 있어야 한다.

- (3) 기억과정에서 사용하는 제어는 간단하게 사용되어야 한다.
- (4) 최종기억매체에의 기록 프로세스는 기록 중에 10분 이상 중단되지 않아야 하며 기록된 데이터는 지워져서는 안된다.
- (5) 기록된 데이터는 최종기록매체에 기록된 데이터와 일치하는 것을 자동적으로 체크하여 보증하여야 하며, 어떠한 불량도 지시되어야 한다.
- (6) 기억의 과정이 완료된 때에는 사고에 동반하는 데이터 또는 이의 복사가 가능한 수단이 있어야 한다.

#### 라. 공급 전원

사고시 VDR의 기록은 선박의 비상전원으로 작동되는 것이 가능해야 하며, 비상전원이 상실된 경우에는 내부전용전원(보조전원)으로 선교음성이 2시간 동안 계속 기록되어야 하며, 이 2시간을 경과한 후 모든 기록은 자동적으로 끝나야 한다.

#### 마. 기록간격과 연속시간

기록은 규정에 의한 단시간의 중단 또는 규정에 의한 종료이외는 계속되어야 하며, 모든 기억 데이터 항목은 적어도 12시간 유지되어야 한다. 기록된 데이터중 오래된 데이터 항목은 새로운 데이터로 교체되어, 오래된 것부터 순차적으로 지워지도록 되어야 한다. 하지만, 다음의 경우에 한하여 기록의 종료가 가능하다.

- (1) 선박이 항에 있고, 중요한 보수의 목적
- (2) 선박이 개선중

바. VDR에 기록되는 데이터 항목

IMO에서 규정한 VDR에 기록되어야 할 데이터 항목은 표 2-2와 같으며, 그 상세는 아래와 같다.

(1) 날짜와 시간

날짜와 시간은 국제표준시(UTC)를 기준으로 해서 가능한 선외(예를 들면, 측위장치 또는 무선시각신호)로부터 얻거나 매시 1회 선내시각으로부터 시각신호를 얻어야 하며 어느 시각신호를 사용했는지 기록되어야 한다. 기록방법은 모든 다른 기록 데이터 항목의 시간을 충분히 재생할 수 있을 정도로 1초 이내의 분해능을 가진 채 재생될 수 있도록 한다.

(2) 선위

경·위도 및 사용된 측지계는 지정된 전자측위장치 또는 INS (Integrated Navigation System)로부터 얻어야 하며 신호는 신호원의 상태와 재현된 것이 항상 동일하다는 것을 보증해야 한다. 선위는 선상에서 가능한 0.0001분까지의 정밀도로서 기록되어야 한다.

(3) 선속

대수·대지속력(선상에서 가능하다면 전후방향과 동일하게 횡측방향) 또는 지정된 선속측정기로부터 얻어야 하며, 가능한 0.1노트까지의 정밀도로 기록되어야 한다.

< 표 2-2 VDR 기록 데이터 항목 >

번호	데이터 항목
1	날짜와 시간
2	선박 위치
3	속력
4	선수 방위
5	음성, 채널 1
6	음성, 채널 2
7	레이더 데이터, 과거 지시기 선택
8	음향 측심기
9	선교의 주 경보, 상태
10	조타기 명령타각 및 응답
11	엔진 명령 및 응답
12	선체 개구부 상태*
13	수밀문 및 방화문 상태
14	선체 응력**
15	풍향 및 풍속

\* : RO-RO 여객선에 적용

\*\* : 응력 감시장치를 갖추고 있는 경우 적용

(4) 선수방위

선박의 지정된 컴퍼스(예를 들면 자이로컴퍼스)에 의해 지시되는 진방위로서 가능한 0.1도까지의 정밀도로 기록되어야 한다.

(5) 선교음성(음성, 채널 1)

이는 조종장소, 레이더 지시기, 해도대 등에서나 그 가까이에서 대화

가 기록될 수 있도록 선교에 위치한 한개 이상의 마이크 출력을 혼합한 것으로 되어 있다. 가능한 마이크의 위치는 갑판 인터콤, 방송 시스템, 선교 설치장비 등의 음향경보의 입출력을 커버할 수 있는 곳이어야 하며, 음성 채널 2가 고정용 VHF 무선장치의 입출력을 특별히 커버하지 않을 경우에는 이를 역시 포함해야 한다.

(6) 통신음성(음성, 채널 2)

이 채널은 선박의 고정용 VHF 무선장치에 연결되어 있어야 하며, 선박운항에 관련한 VHF통신은 선교음성과는 별도로 기록되어야 한다. 기록은 송·수신 양방을 포함한 것으로서 정비시에는 지정된 고정 VHF에 직접 연결해 연속된 기록을 해야 한다.

(7) 레이더 데이터, 과거 지시기 선택

이는 선박의 한 레이더 장비에서 오는 정보를 포함한 것으로 기록되는 시각에 그 레이더의 주 지시기상에 실제 나타나는 모든 정보의 기록이다. 이는 모든 거리 조정환, 방위 조정환, 전자 플로팅 심블, 레이더 지도, 기타 전자해도나 지도의 모든 것, 항로 계획, 항행 데이터, 항행 경보, 지시기상에 보이는 레이더의 상황 데이터이다. 재생시 VDR의 운용에 필수적인 밴드폭 압축기술의 한계에도 불구하고 기록하는 시간에 보이는 완전한 데이터 영상을 복제할 수 있도록 기록되어야 하며, 데이터의 수집은 15초에 매 1회 행한다.

(8) 음향 측심기

킬 하부 수심, 현 지시되는 수심 스케일 및 기타 상황정보를 포함한다.

(9) 선교의 모든 주경보의 상태

IMO에서 의무화한 아래의 모든 경보상태 및 GMDSS 경보상태는 선교음성 및 현실적으로 가능한 모든 요소로서 기록되어야 한다.

- ; 주 및 보조 조타기의 파워 유닛 이상
- ; 주 및 보조 조타제어장치 이상
- ; 타기유압(유량) 저하
- ; 추진기 시동공기압 저하
- ; 추진기 자동중단
- ; 당직항해자 요구불능
- ; 경보장치의 통상전원 차단
- ; 수밀문 유압(유량)저하
- ; 높은 빌지 수위 경보
- ; 침수
- ; 할론 가스 유출
- ; 화재 및 스프링쿨러의 작동

(10) 조타기 명령타각 및 응답

이는 자동 조타기가 설치되어 있다면 그 상태와 설정을 포함하며, 1도 정도의 정밀도로 기록되어야 한다. 방위제어 및 항로유지 제어 장치가 부착되어 있는 경우는 방위 및 항로의 설정과 상태를 기록하여야 한다.

(11) 엔진 명령 및 응답

이는 기관 텔레그래프의 위치, 기관·프로펠러 조정기와 피드백 지시기의 지시 상태, 전·후진 상태를 포함하며, 선수 추력기가 있으

면 그 상태도 역시 포함한다. 회전은 1rpm, 프로펠러 피치는 1도 정도의 정밀도로 기록되어야 한다.

(12) 선체 개구부 상태

IMO에서 요구된 사항을 포함하며 선교에 표시될 수 있어야 하며, RO-RO 여객선에만 적용된다.

(13) 수밀문 및 방화문의 상태 : IMO에서 요구된 사항을 포함한다.

(14) 선체 응력

선체에 응력 감시장비가 설치되어 있을 경우 적용되며, 그 장비 내에 미리 선택된 모든 데이터 항목이 기록되어야 한다.

(15) 풍속 및 풍향

이는 상대 풍속 및 풍향이 기록되면 좋지만, 그렇지 않을 경우에는 이것이 어떤 풍향, 풍속인지 기록되어야 한다.

사. 캡슐의 요건

(1) 캡슐의 요건

캡슐에 의해 보호되는 최종기억매체는 아래의 요구조건에 적합해야 한다.

- ; 최종기억매체를 용기에 수납할 것
- ; 사고의 후에 조작될 것
- ; 고쳐지는 것에 대해 안전을 확보할 것
- ; 최종기억매체는 통상 선박의 운항에서 표준적 작업운용의 과정으로 조작되지 않을 것

- ; 보호된 캡슐의 개방하지 않고 외부의 장치에 의해 축적된 정보를 회수하는 수단을 가질 것
- ; 캡슐은 일체의 사고 후 최종적으로 기억된 데이터의 회복 및 잔존 가능성을 최대한으로 유지할 것
- ; 최종기억매체를 수납하고 있는 캡슐은 선박의 노출감관에 장치되거나, 침몰될 경우에 자동적으로 부양되도록 설계되어도 좋다.
- ; 캡슐은 아래의 항목에 대해서 기억된 데이터가 보호되도록 설계되어야 한다.
  - 사고에 의해 제거될 수는 있지만 수정되지는 않을 것
  - 화재
  - 심해에서 해수 압력
  - 충격
  - 침투력

(2) 개관 및 마크

캡슐은 제일 외측에 잘 보이고 형광을 발하는 오렌지색으로서, IMO A.658의 요구에 대해 다음과 같이 쓰여 있어야 한다. "VOYAGE DATA RECORDER - DO NOT OPEN-REPORT TO AUTHORITIES "

(3) 보호 캡슐의 설계 요건

캡슐의 설계요건에 대해서 다음과 같은 사항이 정해져 있어야 한다.

- ; 캡슐은 위치를 표시한 적절한 장치를 부착할 것
- ; 고정식 및 부양식 모두 수중 비이콘을 포함하여 설계될 것
- ; 부양식에서 작동하는 목적으로 설계된 보호 캡슐은 편의상 적절

한 전파의 발신과 광원을 가질 것

- ; 부양형 이탈기구가 사용된 경우는 IMO 결의 A.662(비상시 무선기구의 이탈 장치의 성능기준)의 적절한 필요조건에 준수할 것
- ; 부양형, 고정형 모두 수중에서 다이버 혹은 수중 로봇에 의해 회수를 용이하게 하는 이탈기구를 가질 것
- ; 캡슐이 이탈된 후 안전하게 되찾는 것을 확실히 하기 위해 적당한 크기의 아이볼트 또는 핸들을 부착해서 둘 것

(4) 보호 캡슐의 탐색 대책

적어도 30일간의 전지수명으로서 주파수폭 25khz부터 50khz에서 작동하는 수중음향 비이콘을 갖추어야 하며, 부양형 캡슐의 경우는 편의상 측위목적을 위해 송신에 적합한 무선송신기를 가져야 한다. IMO A.689(구명설비의 시험)의 절적인 필요요건을 만족하는 발광을 가지고 무선기와 발광기능 모두를 위해 전지는 적어도 7일간의 수명을 가져야 한다.

(5) 기록된 데이터의 잔존

최종기억매체는 제조자에 의해서 지정된 사용 및 축적 상태에 따라서 기록이 종료한 후 적어도 2년의 기간 동안 기록된 데이터를 유지해야 한다. 캡슐은 아래의 상태에 있어도 최종기억매체내의 데이터가 소실되지 않고 재현되지 않으면 안 될 보증이 되도록 설계되어야 한다.

- ; 충격 : 11m/s의 지속시간으로 50g의 반정현파 펄스
- ; 관통 : 250kg중량에서 직경 100mm의 핀을 3m의 높이에서 낙하
- ; 화염 : 260℃에서 10시간의 저화열, 1100℃에서 1시간의 고화열

; 심해 압력과 침입 : 60MPa(6,000m의 심도와 동일)의 압력이 걸리는 수중에서 침입 또는 무선기의 내화온도가 캡슐의 요건보다 낮은 것은 자동 이탈 기구로는 인정받지 못한다.

#### 아. 재생장치의 요건

재생장치는 선박의 통상 장비가 아니기 때문에 VDR형식검정의 대상이 아니지만 아래의 조건을 만족하게 되어 있다.

- (1) 축적된 데이터를 외부의 기구를 사용해서 캡슐을 개방하지 않고도 재생 가능한 수단을 가질 것
- (2) 데이터를 재생하기 위해 기록 중에 사용된 기억매체와 형식은 동등의 장치일 것
- (3) 이 장치는 표시 또는 정보제공이 가능한 하드웨어와 소프트웨어를 포함할 것

#### 자. VDR의 탑재요건 및 설치

- (1) SOLAS 협약에 의한 탑재 선박의 요건

SOLAS 협약에서 VDR의 탑재 대상선박 및 시행시기에 대해서는 표 2-1에 나타내었다.

- (2) 캡슐의 설치

보호된 캡슐은 사고 후의 잔존과 회수의 가능성을 최대로 하기 위해 선교 근처의 노출갑판 부근에 설치하고 아래의 조건을 만족해야 한다. 캡슐은 색구나 기타 장애가 되는 가능성이 있는 것으로부터 떨어져서 가능한 선박의 중심선 부근에 설치하며, 장소 선정시 고려해야

할 사항은 아래와 같다.

- ; 연료 또는 화재원의 가능성이 있는 것과 분리
- ; 기계에 손상을 줄 수 있는 것과 분리
- ; 지속적인 업무가 가능하기 위한 조작상의 환경
- ; 기록상 데이터의 복사 또는 일상의 보수가 용이할 것
- ; 수중에서 다이버 및 ROV(Remote Operated Vehicle, 수중 로봇)으로서 회수가 용이할 것
- ; ROV 또는 다이버 작업이 가능하기 위해서 캡슐의 근처에는 장애물이 없는 공간일 것
- ; 부양형의 경우는 이탈 후 장애의 위험을 최소화할 것

차. 제조자에 대한 요구

(1) 제조자의 문서에는 다음의 정보가 포함되어야 한다.

- ; 형식승인당국의 증명서
- ; IMO 선박식별번호
- ; 사용되는 소프트웨어의 버전 번호
- ; 마이크론 위치와 기록 포트의 분배
- ; VHF 통신 - 어느 VHF를 기록에 사용하는가?
- ; 일시 및 시각 - 어느 신호원으로부터 얻는가?
- ; 선위 - 어느 선위 장치로부터 신호를 얻는가?
- ; 이외의 데이터 입력 - 어느 기기로부터 기록 데이터가 제공되는지 여부
- ; 모든 경보와 문 개폐의 입력의 식별과 인식의 결정 방법
- ; 최신의 시간과 일시의 입력 방법

(2) 조작 및 보수 매뉴얼

매뉴얼은 아래의 설명이 포함되어야 한다.

- ; VDR의 통상 조작지시
- ; 장치로부터 어떻게 데이터를 복사하는가에 대한 설명
- ; 모든 VDR 경보 작동시 취해야 할 행동의 표시
- ; 최종기억매체 데이터의 증명과 다운로드의 설명 : 적어도 매년 기기의 설치자에 의해 모든 센서 또는 VDR 자체의 유지관리가 실시되어야 한다.
- ; 보수의 방법 : 보수업무는 VDR의 작동을 보증하기 위해 되어야 한다.

(3) 조사당국에 의해 사용되기 위한 정보

아래의 사항은 가능하게 해야 한다.

- ; 조사당국이 기록기로부터 기록된 데이터를 회수하기 위해 전체 특수공구 또는 인터페이스 장치를 제조업자에게 요구하기 위한 정보
- ; 손상되어 있지 않는 캡슐로부터 데이터를 회수하기 위해 필요한 조작의 상세
- ; 사고에서 손상된 캡슐로부터 데이터를 회수하기 위해 필요한 조작의 상세
- ; 기록된 데이터의 재생을 가능하기 위해서 요구되어지는 소프트웨어의 상세

(4) 제조자는 아래의 추천정보를 제공하여야 한다.

- ; 캡슐의 설치 장소
- ; 마이크로폰의 설치 위치
- ; 전체 VDR 구성의 콤퍼넌트 위치
- ; 기록 전체 데이터의 정적인 상태에서의 입력과 갱신
- ; 각 캡슐에 적합하기 위해서 인터페이스의 단위의 요구

타. 문제점

VDR을 도입할 때는 해양사고 방지의 견지로부터 조기에 의무화해야 한다는 의견이었으나, 비용대 효과의 입장에서 가치판단이 달라 실용성과 운용면에 대해 많은 논쟁이 있었다. 몇 가지 문제점으로 생각되어지는 것은 다음과 같다[8-9].

(1) 인터페이스에 관한 조정, 비용 부담, 책임 소재 등

VDR에 기록해야 할 데이터에는 앞에서 기술한 것처럼 국제 규격 IEC(IEC 61162)의 디지털 인터페이스 기준을 적용하게 되어 있어, 규격의 데이터 포맷과 문장 또한 규정되고 있지만 모든 기기 혹은 센서가 이 기준에 적합하고 있다고는 할 수 없다. 양자에서 신호 형태가 합치하는 경우는 좋지만, 무엇인가의 차이가 생겼을 경우에는 변경의 실시와 책임의 소재나 비용의 부담도 명확하게 해 둘 필요가 있다.

(2) 형식검정 및 상호승인 등

VDR는 IMO의 성능요건을 만족한 검정 합격품이 아니면 안 된다. 상호 인증이 되면 반드시 각 시험장소에 같은 설비를 가지지 않고 검사를 할 수 있지만, 상호인증 제도가 없는 곳에서는 독자적으로 모든 설비를 갖추고 실시하지 않으면 안 된다.

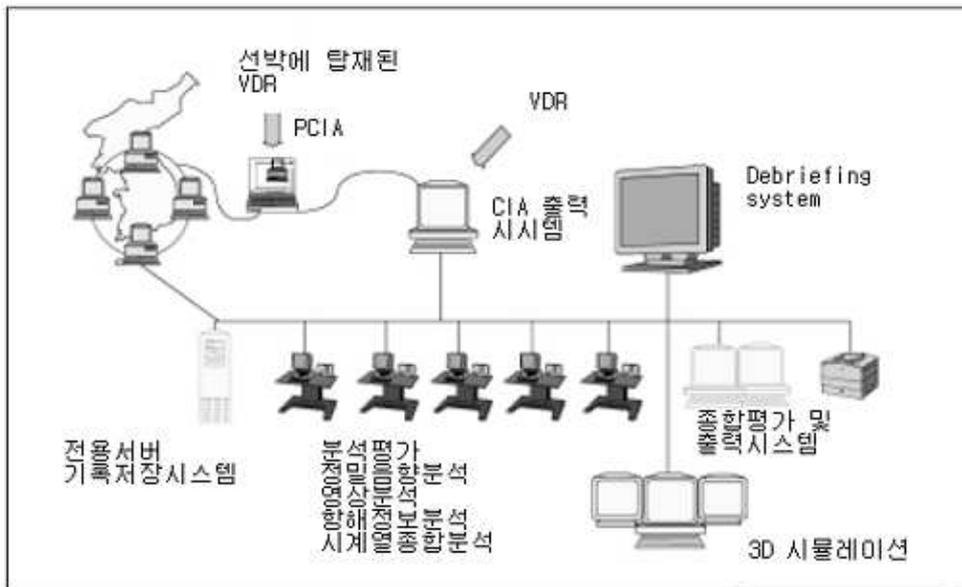
(3) 회수책임과 소재 등

VDR은 사고가 일어난 후 반드시 캡슐을 회수해서 데이터를 재생하지 않으면 별 의미가 없다. 하지만 사고 당사자의 과실로 사고가 발생하였다면 VDR을 수거하여 원인을 분석하지 않을 것이다. 따라서, 회수의 책임과 비용의 부담 문제가 명확하게 지정되어 사고 원인 분석을 명확히 해야 할 것이다.

2.3.3 VDR 분석시스템의 구성과 기능

가. 구성

VDR 분석시스템은 앞에서 언급한 것처럼 발생한 사고를 정확히 분석하기 위한 하나의 시스템으로서 가능한 당시의 상황과 가장 근접하게 재현할 수 있어야 하며, 그 구성을 보면 그림 2-6과 같다.



< 그림 2-6 > VDR 분석시스템의 구성

(1) CIA(Common Interface Apparatus)

회수된 VDR에서 저장된 데이터를 판독하기 위한 장치

(2) PCIA(Portable Common Interface Apparatus)

선박에 장착된 VDR의 데이터를 현장에서 출력할 수 있는 휴대용 CIA

(3) 저장부(Data Storage System)

각종 장치로부터의 데이터 저장할 수 있는 전용 서버

(4) 분석평가시스템

전용 서버에서 저장된 데이터를 각각의 필요한 자료로 생성하여 재현하는 시스템으로서, 이 시스템은 정밀음향분석, 영상분석, 항해정보분석을 위한 전용분석모듈을 가지며, 이를 바탕으로 한 시계열 종합분석 등이 이루어져야 한다. 특히 이 시계열 종합분석을 위하여 현재 보편화되어가고 있는 ECDIS 기술을 도입하여 항해관련 정보를 전자해도와 함께 재현함으로써 실제 선박운항 상황과 유사한 상황을 제공할 수 있어야 한다. 또한 각 분석관이 필요한 시간과 장소를 선택적으로 분석할 수 있게 구성되어 있어야 하며, 필요한 부분을 정지할 수 있는 기능을 가져야 한다.

(5) 종합평가시스템

각 분석시스템에서 분석한 자료를 한 곳으로 종합하는 장치로서 해양안전심판원의 전 분석관이 해양사고를 분석할 수 있어야 하며, 필요시 해양사고 관련자도 동시에 당시의 상황을 시계열 또는 상황별로 관찰할 수 있도록 Debriefing system이 복합적으로 구성되어야 한다. 또한 두 척 이상의 선박들이 관련된 사고에 대하여 ECDIS 상에 관련 선박들의 항로를 동시에 표현하는 등 종합·분석할 수 있는

기능도 갖추어야 한다.

(6) 3-D 시뮬레이터

구성된 프로그램을 이용하여 VDR의 자료를 3차원으로 재현할 수 있어야 하며, 이는 해양사고 방지를 위한 각종 교육이나 장치로 활용할 수 있도록 구성하여야 한다.

(7) 출력시스템

해양사고의 심판에 있어서 각종 증거는 영상이 아닌 자료를 통하여 첨부되어야 함으로 재현된 상황이 출력 가능하도록 구성되어야 한다.

(8) National Wide Network

각 지방해양안전심판원과 중앙해양안전심판원 간에 Network를 통하여 VDR에서 추출한 자료를 분석실로 전송할 수 있도록 하여야 하며, 분석실에서 분석하고 있는 상황을 실시간 또는 일정한 간격을 두고 각 지방에서 재현할 수 있는 Network 시스템이 구성되어야 한다.

나. 분석시스템의 기능

VDR 분석시스템의 기능은 다음과 같다.

(1) VDR 데이터 판독 기능

CIA 또는 PCIA(Portable CIA)로 회수된 VDR 또는 선박에 장착된 VDR로부터 저장된 데이터를 판독하는 기능을 보유하여야 한다.

(2) 분석·평가기능(정밀음향분석, 영상분석, 항해정보분석, 시계열종합분석)

분석평가시스템과 종합평가시스템을 이용하여 전용 서버에서 저장된 데

이터를 각각의 필요한 자료로 생성하여 재현함으로써 정밀음향분석, 영상 분석, 항해정보분석, 시계열종합분석을 할 수 있고, 각 분석관이 필요한 시간과 장소의 선택적 분석 및 필요 부분을 정지할 수 있는 기능을 가져야 한다. 또한 각 분석시스템에서 분석한 자료를 한 곳으로 종합하여 해양안전심판원의 전 분석관이 해양사고를 분석하여, 필요시 해양사고 관련 자도 동시에 당시의 상황을 시계열 또는 상황별로 관찰할 수 있는 기능을 보유하여야 한다.

(3) 재현기능

전용 서버에 저장된 데이터를 각각의 필요한 자료로 생성하여 정밀음향, 영상, 항해정보를 재현하는 기능을 보유하여야 한다. 또한 시계열 또는 상황별로 재현할 수 있어야 하고, 필요한 시간과 장소의 선택적 재현 및 필요 부분만을 재현할 수 있는 기능을 가져야 한다.

(4) 시뮬레이션기능

해양사고 방지 또는 체험 장치로서 역할을 할 수 있도록 VDR자료를 3차원으로 시각화하여 재현할 수 있는 기능을 보유하여야 한다.

(5) 출력·보존기능

해양사고의 심판에 있어서 각종 증거는 영상이 아닌 자료를 통하여 첨부되어야 함으로 각각의 상황은 재현된 상황을 출력할 수 있는 기능을 보유하여야 한다. 이는 심판의 자료로도 활용할 수 있는 형태로 출력할 수 있어야 하며, 분석평가시스템이나 종합평가시스템에서 출력할 수 있는 기능을 보유하여야 한다.

(6) 저장기능

CIA, PCIA로 판독한 VDR의 자료, 분석평가시스템과 종합평가시스템

에서 분석·평가한 자료 및 3-D 시뮬레이터의 시뮬레이션 결과를 저장할 수 있는 기능을 보유해야 한다.

(7) Network기능

각 지방해양안전심판원에서 PCIA 등으로 VDR자료를 관독하여 중앙해양안전심판원의 분석실로 송부할 수 있고 분석실에서 이 자료를 분석하여 중앙해양안전심판원과 지방해양안전심판원에서 동시에 전시될 수 있도록 Network 기능을 보유하여야 한다.

## 제 3 장 선박의 내항성능 평가 이론

### 3.1 내항성능 평가요소 및 위험도

#### 3.1.1 내항성능 평가요소

파랑중 선박의 내항성능에 관한 현재까지의 연구에 의하면, 불규칙한 해상을 항행하는 선박의 인명, 선체 및 화물의 안전을 고려하여 파랑 등의 외력에 대한 선박의 내항성능을 평가하기 위해, 선체의 운동으로부터 발생하는 선수 갑판 침수, 프로펠러 레이싱, 슬래밍, 횡동요, F.P.의 상하가속도, S.S. 8½ 좌우가속도를 평가요소로 한다. 파랑중을 항해하는 선박에서 각 내항성능 평가요소는 주어진 한계치를 초과할 때에 그 현상이 발생하고, 그 시스템적 결합은 그림 3-1에 나타낸 바와 같이 직렬 결합(serial combination) 구조로서, 한 개의 요소라도 그 발생 확률이 한계발생확률을 초과하게 되면 선박은 기능을 잃게 되어 위험하게 된다[10].

한편, 이들 각 내항성능 평가요소들에 대해 일반적으로 적용되고 있는 한계치와 한계발생확률은 표 3-1에 나타내었다[11-14]. 여기에서 각 내항성능 평가요소에 대한 한계발생확률이 각각 다르게 제안된 것은 각 요소에 대한 연구가 개별적으로 행하여져 얻은 결과이기도 하고, 다른 한편으로는 내항성능 평가시 각 요소의 중요도를 달리 부여한 의미도 있다.

#### 3.1.2 내항성능의 평가치와 위험도

선박의 내항성능 평가는 일반적으로 각 내항성능 평가요소가 그 한계치를 초과하는 발생 확률로부터 정의되는 평가치, 위험도, 최대 위험도, 상대 위험도를 적용한다[15-16].

가. 평가치

임의 내항성능 평가요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을  $Q(X_i)$ 라고 하면, 임의 내항성능 평가요소의 평가치  $E_{X_i}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln \{Q(X_i)\}}} = \left[ \frac{\sigma_{X_i}}{X_i} \right] \quad (3-1)$$

여기서,  $\sigma_{X_i}$  : 내항성능 평가요소의 표준편차

평가치  $E_{X_i}$ 가 0이 되면 임의 요소( $X_i$ )의 신뢰도는 1이 되고,  $E_{X_i}$ 가 무한대가 되면  $X_i$  요소의 신뢰도는 0이 된다.

나. 위험도

임의  $X_i$  요소의 주어진 한계발생확률에 관한 한계 평가치를  $E_{X_{ic}}$ 로 하고, 한계 평가치  $E_{X_{ic}}$ 에 대한 평가치  $E_{X_i}$ 의 비를  $X_i$  요소의 위험도  $\mu_{X_i}$ 라 정의한다.

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[ \frac{X_i}{\sigma_{X_{ic}}} \right]}{\left[ \frac{X_i}{\sigma_{X_i}} \right]} = \frac{\sigma_{X_{ic}}}{\sigma_{X_i}} \quad (3-2)$$

여기서,  $\sigma_{X_{ic}}$  :  $X_i$ 가 위험하게 되는 한계표준편차

위험도  $\mu_{X_i}$ 는 파에 대한 만남각( $\chi$ ), 선속(V) 및 해상 상태(S)에 따라 변화

며,  $\mu_{X_i} \geq 1.0$ 인 경우  $X_i$  요소가 위험하고,  $\mu_{X_i} < 1.0$ 인 경우는 안전하다는 것을 나타낸다.

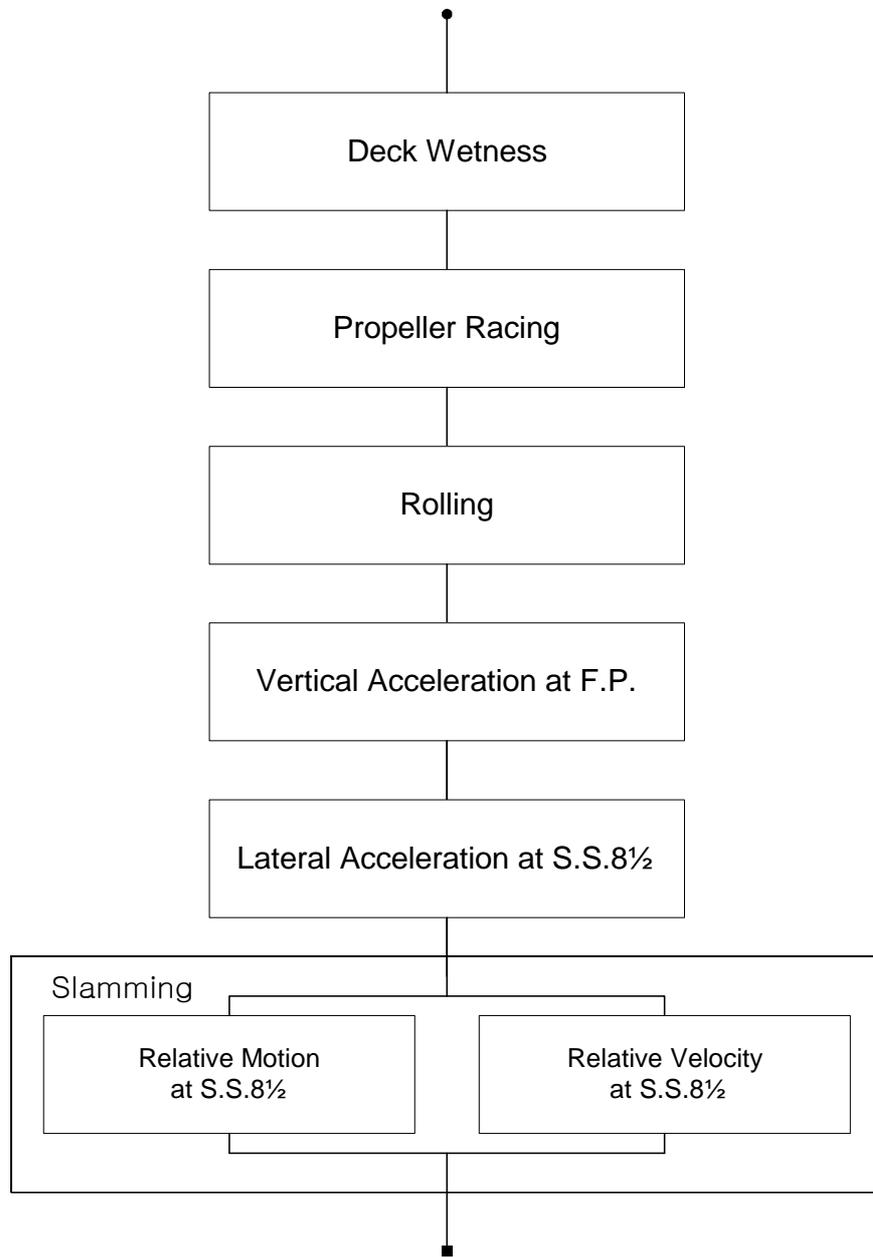
다. 최대 위험도와 상대 위험도

내항성능 평가요소의 위험도에서 최대치를 최대 위험도  $\mu_m$ 이라 정의한다.

$$\mu_m(X, V, S) = \text{Maximum}[\mu_i(X, V, S)] \quad (3-3)$$

< 표 3-1 각 내항성능 평가요소의 한계치 및 한계 발생확률 >

내항성능평가요소	한계치	한계발생확률
선수 갑판 침수 (Deck wetness)	모형시험결과에 의해 해석된, 정수중 항주시의 수위상승을 고려한 F.P.의 유효조건[11]	$2 \times 10^{-2}$
프로펠러 레이싱 (Propeller racing)	정수중 항주시의 수위상승을 고려한 Propeller 상단 노출[12]	$10^{-1}$
슬래밍 (Slamming)	S.S.8½에서 선저노출과 동시에, 파에 돌입할 때 선저의 파면에 대한 상대속도가 한계속도 (Threshold velocity)를 초과하는 것[13] 단, Threshold velocity = $0.09\sqrt{gL}$ g: 중력가속도	$10^{-2}$
횡동요 (Rolling)	선체중양부 weather side의 bulwark top에 해수가 유입하는 것을 한계상태로 하여 정수중 흘수면에서 bulwark top까지의 높이[14]	$10^{-3}$
좌우가속도 (Lateral acceleration)	S.S.8½에서의 좌우가속도가 0.6g(g:중력가속도)를 초과할 경우[14]	$10^{-3}$
상하가속도 (Vertical acceleration)	F.P에서의 상하가속도가 0.8g(g:중력가속도)를 초과할 경우[14]	$10^{-3}$



< 그림 3-1 > 내항성능 평가요소의 시스템적 결합

이  $\mu_m$ 은 어떤 상황 하에서  $\mu_{X_i}$ 의 최고치인 값으로서, 그 값은 각 요소에 대한 상대치로 비교되는 값이다.

또한 임의  $X_i, X_j$  요소의 위험도가  $\mu_i, \mu_j$  인 경우,  $X_i$  요소를 기준으로 하여 나타낸  $X_j$  요소의 위험도의 비를  $X_i$  요소에 대한  $X_j$  요소의 상대 위험도  $\mu_{ij}$  라 정의 한다.

$$\mu_{ij} = \frac{\mu_i}{\mu_j} = \frac{\frac{X_i}{\sigma_{X_i}}}{\alpha_{ij} \left[ \frac{X_j}{\sigma_j} \right]} = \frac{\sigma_{X_{jc}}}{\sigma_{X_{jc}}} \cdot \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_i}} \quad (3-4)$$

$$\text{여기서, } \alpha_{ij} = \frac{E_{X_{jc}}}{E_{X_{jc}}} = \frac{\left[ \frac{X_{jc}}{\sigma_{X_{jc}}} \right]}{\left[ \frac{X_{jc}}{\sigma_{X_{jc}}} \right]}$$

여기에서  $\mu_{ij} > 1.0$ 인 경우는  $X_i$  요소에 비해  $X_j$  요소가 더 위험하고,  $\mu_{ij} < 1.0$ 인 경우는 그 반대의 의미를 갖는다.

이러한 상대 위험도  $\mu_{ij}$ 를 계산함으로써 기준 요소인  $X_i$  요소와 임의  $X_j$  요소는 상대적으로 동등하게 성능을 평가할 수 있게 된다. 그것은  $X_j$  요소의 한계치를  $\alpha_{ij} \cdot \mu_{ij}$  배한 값이  $X_j$  요소의 겉보기 한계치( $X_{jc}$ )로 되기 때문에 기준으로 한  $X_i$  요소로서 임의의  $X_j$  요소의 상태를 평가할 수 있다.

## 3.2 내항성능 평가지표

### 3.2.1. 개요

앞에서 밝힌 바와 같이 기존의 연구에서 내항성능 평가요소에 대한 한계 발생 확률이 각각 다르게 제안되어 있어 기존의 내항성능 평가요소를 이용하여 선박의 항해위험도를 평가하기 위해서는 모든 내항성능 평가요소를 계측하여야 한다. 그러나 각 요소의 특성상 계측을 위한 센서의 설치가 불가능한 것도 있고, 또 모든 요소에 센서를 설치하여 평가하는 것은 경제적인 면에서도 문제가 있다.

시스템 요소의 고장 발생 확률이 같은 경우, 그 고장률이 동일하게 되는 신뢰성 공학의 공리를 이용해 각 내항성능 평가요소의 위험도가 같은 경우, 그 발생 확률도 같다는 것으로 변환하여 계산하는 것으로 선박 시스템 전체의 항해위험도를 평가할 수 있는 내항성능지표(Seakeeping Performance Index)가 개발되었다[14]. 이 내항성능지표는 선박의 종류, 적화 상태(홀수 상태) 등에 관계없이, 어떠한 운항상태에서도 선박 전체의 항해위험도를 임의 한 개 내항성능 평가요소만을 계측하여도 6개 내항성능 평가요소의 위험도를 계산할 수 있게 되므로 6개 요소를 모두 계측하지 않아도 전체 선박 시스템의 항해위험도를 평가할 수 있는 지표이다.

### 3.2.2 내항성능 평가요소의 변환 평가치

현재까지 연구되어진 바에 따르면, 과량중을 항해하는 선박 시스템의 내항성능 평가요소의 한계발생확률이 각각 다르게 설정되어 있어 한계발생확률이 큰 내항성능 평가요소에 비해서 작은 요소의 위험도가 전체 선박 시스템의 내항성능 평가에서 무시되어 위험한 상태가 안전한 상태로 평가되는 경우가 있다. 이를 보완하기 위해 각 내항성능 평가요소들이 한계발생확률에 도달하면, 그 위험도가 한계발생확률이 가장 큰 프로펠러 레이싱의 한계발생

확률( $Q_{Pc}=10^{-1}$ )에 도달하는 것과 같은 값으로 변환하여 평가하는 것이다. 즉 각 내항성능 평가요소의 위험도가 프로펠러 레이싱의 위험도와 같은 경우, 그 발생 확률도 프로펠러 레이싱의 발생 확률과 동일하게 된다고 변환 평가하여 각 내항성능 평가요소의 평가치( $E_i$ )에 대한 변환 평가치( $\widetilde{E}_i$ )를 다음과 같이 계산한다.

가. 프로펠러 레이싱에 대한 변환 평가치

$$\widetilde{E}_P = \frac{E_P}{\alpha_{PP}} = E_P \cdot \frac{E_{Pc}}{E_{Pc}} = E_P \quad (3-5)$$

여기서,

$$E_P : \text{프로펠러 레이싱의 평가치} \quad \left( \frac{\sigma_P}{X_P} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln(Q_P)}} \right)$$

$\widetilde{E}_P$  : 프로펠러 레이싱의 변환 평가치

$$E_{Pc} : \text{프로펠러 레이싱의 한계 평가치} \quad \left( \frac{\sigma_{Pc}}{X_{Pc}} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln(0.1)}} \right)$$

나. 프로펠러 레이싱 이외의 임의 요소에 대한 변환 평가치

$$\widetilde{E}_i = \frac{E_i}{\alpha_{Pi}} = \frac{E_{Pc}}{E_{ic}} \cdot E_i = \mu_i \cdot E_{Pc} \quad (3-6)$$

$$\widetilde{E}_j = \frac{E_j}{\alpha_{Pj}} = \frac{E_{Pc}}{E_{jc}} \cdot E_j = \mu_j \cdot E_{Pc}$$

여기서,

$$\alpha_{Pi} : \text{프로펠러 레이싱과 } i \text{ 요소의 한계 평가치의 비} \quad \left( = \frac{E_{ic}}{E_{Pc}} \right)$$

$$\mu_i : i \text{ 요소의 위험도 } \left( = \frac{E_i}{E_{ic}} \right)$$

식3-5, 3-6에서 위험도가 같은 경우 그 변환 평가치도 같아지며, 그 발생 확률 ( $\tilde{Q}_i$ )도 같은 값을 가지게 됨을 알 수 있다.

$$\mu_i = \mu_j \Rightarrow \tilde{E}_i = \tilde{E}_j, \quad \tilde{Q}_i = \tilde{Q}_j \quad (3-7)$$

### 3.2.3 내항성능지표의 정의

앞에서 제안한 프로펠러 레이싱에 대한 변환 평가치를 이용하여, N 개의 내항성능 평가요소로 구성되는 선박 전체 시스템의 변환 평가치( $\tilde{E}_T$ )와 한계 평가치( $E_{Tc}$ )에 대한 개념을 분석하여 내항성능지표( $\mu_T$ )를 정의하여 제안한다. 선박 전체 시스템의 변환 평가치  $\tilde{E}_T$  는 다음과 같이 정리하여 나타낼 수 있다.

$$\tilde{E}_T = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln(1 - \tilde{P}_T)}} \quad (3-8)$$

$$\text{여기서, } \tilde{P}_T = \prod_{i=1}^n \tilde{P}_i$$

선박의 내항성능 평가요소의 신뢰도 함수  $\tilde{P}_i$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
\tilde{P}_i &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\tilde{E}_i}\right)^2\right\} \\
&= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{a_{P_i}}{\tilde{E}_i}\right)^2\right\} \\
&= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{a_{P_i} \cdot X_i}{\sigma_i}\right)^2\right\} \\
&= 1 - Q(X_i)^{a_{P_i}^2}
\end{aligned} \tag{3-9}$$

$$\text{여기서, } Q(X_i) = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i}{\sigma_i}\right)^2\right\}$$

그리고 선박 시스템의 한계 평가치  $E_{Tc}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{Tc} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln(1 - P_{Tc})}} \tag{3-10}$$

여기서,

$$P_{Tc} = \prod_{i=1}^n P_{ic}$$

$$P_{ic} = 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i}{\sigma_{ic}}\right)^2\right\} = 1 - Q_{X_{ic}}$$

$P_{Tc}$  : 내항성능 신뢰도 함수

$Q_{X_{ic}}$  : 각 요소의 한계발생확률 (Rayleigh 분포)

따라서 선박 시스템 전체의 항해위험도를 평가하기 위해서는 식 3-10의 한계 평가치( $E_{Tc}$ )와 식 3-8의 변환 평가치( $\tilde{E}_T$ )의 비를 내항성능지표  $\mu_T$  로 정의하고, 다음과 같이 나타낸다.

$$\mu_T = \frac{\widetilde{E}_T}{E_{Tc}} = \sqrt{\frac{\ln(1 - P_{Tc})}{\ln(1 - \widetilde{P}_T)}} \quad (3-11)$$

여기에서  $\mu_T \geq 1.0$ 인 경우 선박 시스템 전체는 위험하게 되고,  $\mu_T < 1.0$ 인 경우 시스템은 안전한 것으로 평가할 수 있다.

또한 이  $\mu_T$ 는 내항성능 평가 요소 중 한 개의 요소라도 그 위험도가 1보다 큰 경우,  $\mu_T$ 도 1보다 크게 되는 성질을 가지고 있다. 따라서  $\mu_T$ 는 내항성능 평가요소의 최대 위험도와 근사하는 값이 된다. 이것은 한 개의 요소만을 계측하여 모든 내항성능 평가요소의 최대 위험도의 근사치를 구할 수 있어, 간편하고 편리한 하드웨어 제작에 여러 가지 이점이 있을 것으로 판단된다.

$$\mu_T \doteq \mu_m(X, V, S) = \text{Maximum}[\mu_i(X, V, S)] \quad (3-12)$$

### 3.2.4 임의 한 개 요소에 의한 항해위험도 평가

식 3-9의 내항성능 평가요소의 신뢰도 함수  $\widetilde{P}_i$ 는 상대 위험도  $\mu_{ij}$ 를 매개로 하여 임의의 내항성능 평가요소 한 개만을 계측하여도 계산이 가능하다. 이것을 이용하여 파랑중을 항해하는 선박의 항해위험도를 평가할 수 있는 내항성능지표  $\mu_T$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{P}_i &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{P_i} X_{im}}{\beta_i \sigma_i}\right)^2\right\} \\ &= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{P_i} X_{im}}{\alpha_{P_i} \mu_{ij} \sigma_i}\right)^2\right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{E_{ic}}{E_{pc}} \cdot \frac{E_{ic}}{E_{ic}} \cdot \frac{X_{im}}{\mu_{ij} \sigma_i}\right)^2\right\} \\
&= 1 - \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\alpha_{pi}}{\mu_{ij}} \cdot \frac{X_{im}}{\sigma_i}\right)^2\right\} \\
&= 1 - Q\left(X_{im}\right) \left(\frac{\alpha_{pi}}{\mu_{ij}}\right)^2
\end{aligned}$$

여기서,

$X_{im}$  : 계측하는 임의의 내항성능 평가요소

$$\beta_i = \alpha_{ij} \cdot \mu_{ij}$$

$\mu_{ij}$  : 임의 i 요소에 대한 임의 j 요소의 상대 위험도

$\alpha_{pi}$  : 프로펠러 레이싱에 대한 임의 i 요소의 한계평가치의 비

### 3.3 선체운동 가속도 계측·해석 시스템

#### 3.3.1 개요

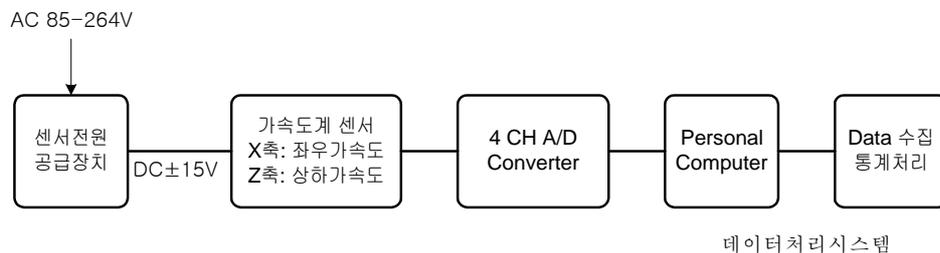
본 시스템은 가속도 계측·해석 장치내에 장착된 2개의 고정도 가속도 센서(Accelerometer)를 이용하여, 복잡한 선체의 6자유도 운동에서 얻어지는 선체의 좌우 및 상하가속도를 측정하여 이를 표시해 주는 자료 취득 시스템(Data Acquisition System)이다.

여기서 선체의 좌우가속도를 X축, 상하가속도를 Z축으로 하여 계측한 선체 가속도 값의 평균 및 분산값을 퍼스널 컴퓨터를 통해 수집·통계 처리한다.

가속도 계측·해석 장치는 내항성능 평가요소 중 계측이 편리하고, 화물의 안전과 승조원의 작업성 등에 직접적인 영향을 주는 상하, 좌우가속도를 계측하여 그 데이터를 분석하는 시스템이다.

가속도 계측·해석 장치의 제원은 275cm×185cm×140cm이며, 중량은 2.5 Kg이다.

그림 3-2는 가속도 계측·해석 시스템의 기본적인 흐름도이며, 실험 장비의 선교 배치 모습은 그림 3-3과 같다.



< 그림 3-2 > 선체운동 가속도 계측·해석 시스템의 기본 흐름도



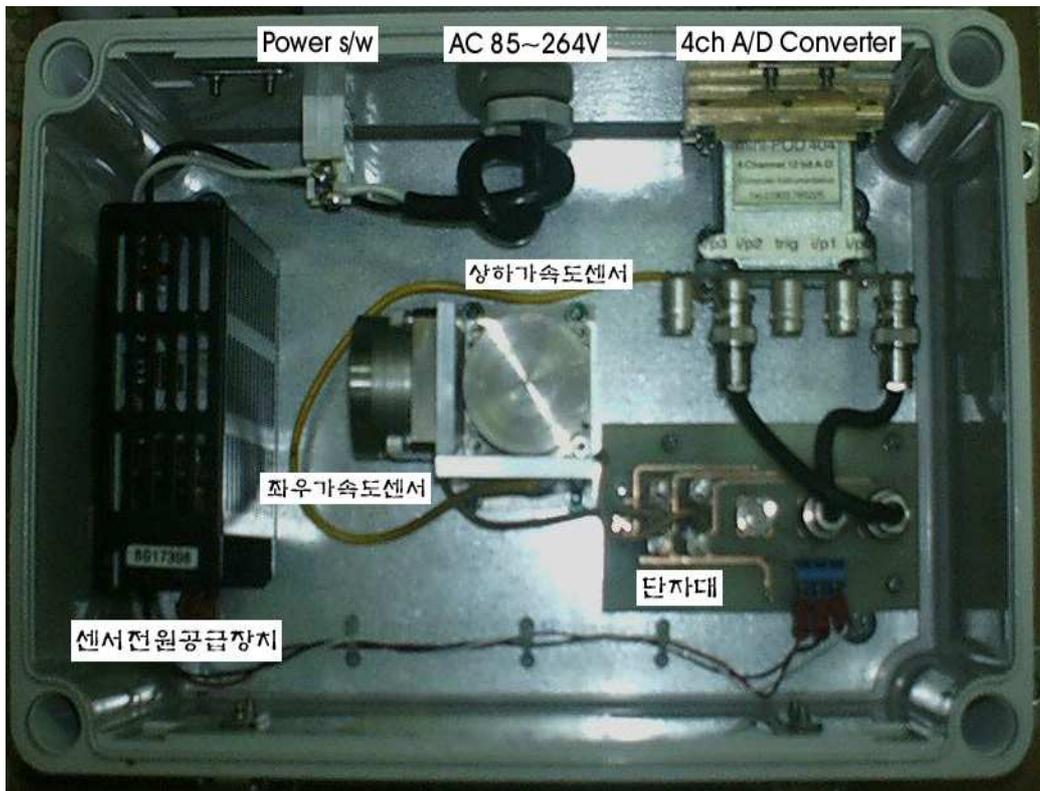
< 그림 3-3 > 실험장비의 선교 배치 모습

가. 신호처리절차

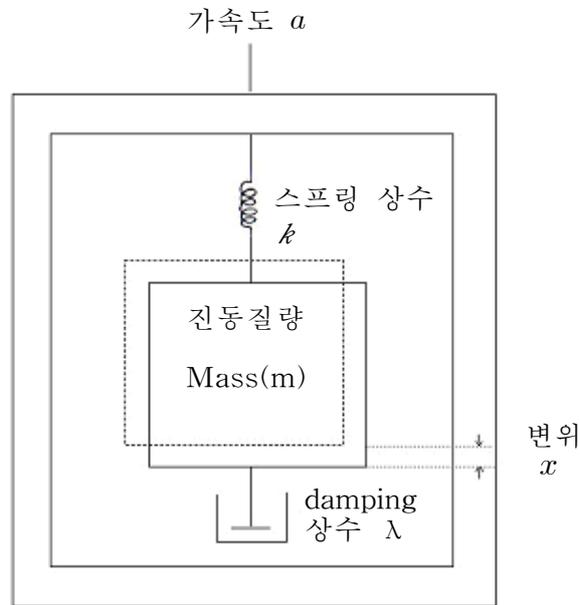
가속도 계측·해석 실험장치는 AC 85~264V의 전압이 공급될 때, 전원 스위치가 이를 제어, 센서 전원 공급 장치를 통해 DC±15V로 변환되고, 단자대를 통해 가속도 센서에 전원을 공급한다. 이 때, 선체의 움직임에 따라 발생하는 X축(좌우) 및 Z축(상하)의 가속도량(전기적인 Analog 신호)을 A-D 변환기(Analog-Digital Converter)를 통해 데이터 처리 시스템(퍼스널 컴퓨터)에서 인식 가능한 디지털 신호 레벨로 변환시켜 병렬로 신호를 보내 준다. 퍼스널 컴퓨터는 이 신호를 받아 계측되는 가속도량을 파일로 저장하여 데이터를 수집 통계 처리한다. 그림 3-4는 본 실험장치의 내부 모습이다.

본 시스템의 데이터 취득 및 분석에 사용된 소프트웨어는 'VD-20(Vessel

Dynamic)'이며, 볼랜드 C++로 구성되었다. 실시간으로 계측한 값을 화면에 표시하도록 설계되어 있으나 계측이 끝난 다음에 실선계측자료의 재생 또는 계측자료를 그래프로 변환해 주지는 못하는 단점이 있다.



< 그림 3-4 > 계측시스템의 내부 모습



< 그림 3-5(a) > 가속도계의 원리

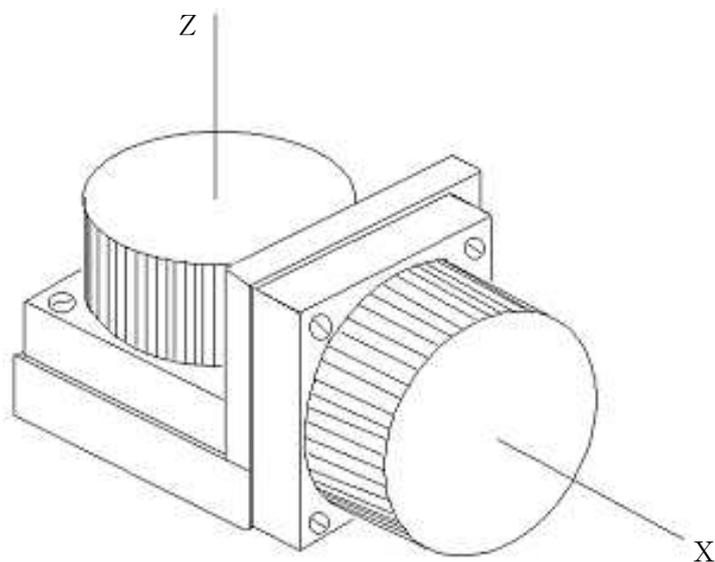
나. 가속도 센서(Accelerometer)

본 연구에 사용된 가속도 센서는 그림 3-5(a)에서와 같이 진동질량 Mass(m)가 센서 패키징 안의 스프링에 의해 매달려 있는 구조로 모델링할 수 있는 기계식 센서이다. 이 센서가 가속도  $a$ 에 의해 움직이게 되면, 관성력에 의해 진동질량 Mass(m)의 상대적 변위  $x$ 가 생기게 되고, 그것이 전기적 신호로 감지된다. 그 동작 방정식은 아래와 같이 주어진다.

$$ma = m \frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \frac{dx}{dt} + kx \quad (3-14)$$

여기서,  $k$ 는 스프링 상수,  $\lambda$ 는 damping 상수이다.

선체운동 가속도 계측·해석 시스템에 사용된 가속도 센서의 주요 사양은 표 3-2에 나타내며, 두 개의 가속도 센서를 설치하여 좌우가속도를 X축, 상하가속도를 Z축 방향으로 하여 계측하고 그 모습은 그림 3-5(b)와 같다.



< 그림 3-5(b) > 가속도 센서의 계측 방향

< 표 3-2 가속도계의 기본 사양 >

ITEMS	DIMENSION
Measured acceleration range	$\pm 2 \text{ g}$
Scale Factor	5 V/g
Operating temperature	-50 °C, +70 °C
Power consumption	0.5 W
Shock resistance	30 g
Vibration strength within a range of up to 500 Hz	5 g
Supply voltage	$\pm 15 \text{ V}$
Dimension	38×38×25 (mm)
Mass	115 (g)

다. 데이터의 수집 및 통계처리

계측 센서로부터 얻어진 데이터는 양과 음의 두 개의 극치(extreme value)가 나타나지만, 일반적인 선체의 운동은 기준점을 중심으로 상하/좌우 대칭운동을 하기 때문에 두 값을 다 취하여 계산할 필요가 없다. 그래서 본 시스템에서는 좌우 및 상하가속도의 양의 극치값만을 취하며, 이들 값을 각각 L(좌우) 및 U(상하)로 시작하는 파일로 저장한다. 그리고 이들 파일이 혼돈되지 않도록 반드시 디렉토리를 새로 설정하여 그 디렉토리에 저장한다.

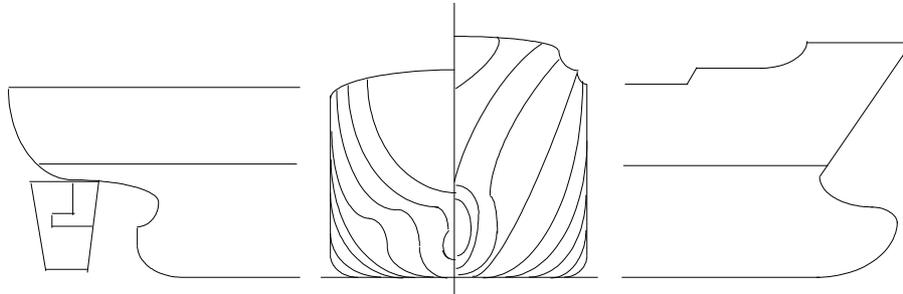
본 시스템에서의 통계처리는 각 파일당의 극치값의 평균 및 분산치로서, 저장을 시작한 때로부터 최종 파일에 이르기까지의 평균, 분산치를 계산하여 파일의 끝에 표시한다. 각각의 파일에서 평균 및 분산치는 M, V로 표시되며, 측정 개시후 현재까지의 평균 및 분산치는 M2, V2로 나타난다.

데이터의 계측 간격은 100msec로 설정하였으며, 계측 데이터 저장 시간은 10분으로 하였다.

라. 계측 방법

본 연구의 실선 계측 대상선박은 여객선형으로 그림 3-6은 선도, 표 3-3은 주 요목이며, 표 3-4는 항해 일정이다. 계측방법은 매 4시간 당직중 교대 시간을 기준으로 약 30분~1시간 계측을 행하였으며, 기상 악화시 또는 기타 필요시 1시간 이상 계측도 하였다.

선체운동의 계측이라는 관점에서, 정확한 계측을 하기 위해 선체운동 가속도 해석 장치를 선교의 선체중심선상에 설치하였다. 또한, 선체의 심한 운동으로 인해 실험장치의 동요가 생기지 않도록 고정을 하였다.



< 그림 3-6 > 대상선박의 선도

< 표 3-3 대상선박의 주 요목 >

ITEMS		DIMENSION
Length P.P.	L <sub>pp</sub> (m)	93
Breadth	B (m)	14.5
Depth	D (m)	7
Mean Draft	dm (m)	5.115
Displacement Volume	(m <sup>3</sup> )	4,274.82
Block Coefficient	C <sub>b</sub>	0.6028
Length-Breadth Ratio	L/B	6.414
Breadth-Draft Ratio	B/D	2.835
Height of C.G.	KG (m)	5.033
Metacentric Height	GM (m)	1.355
Rolling Period	TR (sec)	13.142
Propeller Diameter	DP (m)	3.55
Propeller Pitch Ratio	p	0.751

< 표 3-4 대상선박의 항해일정 >

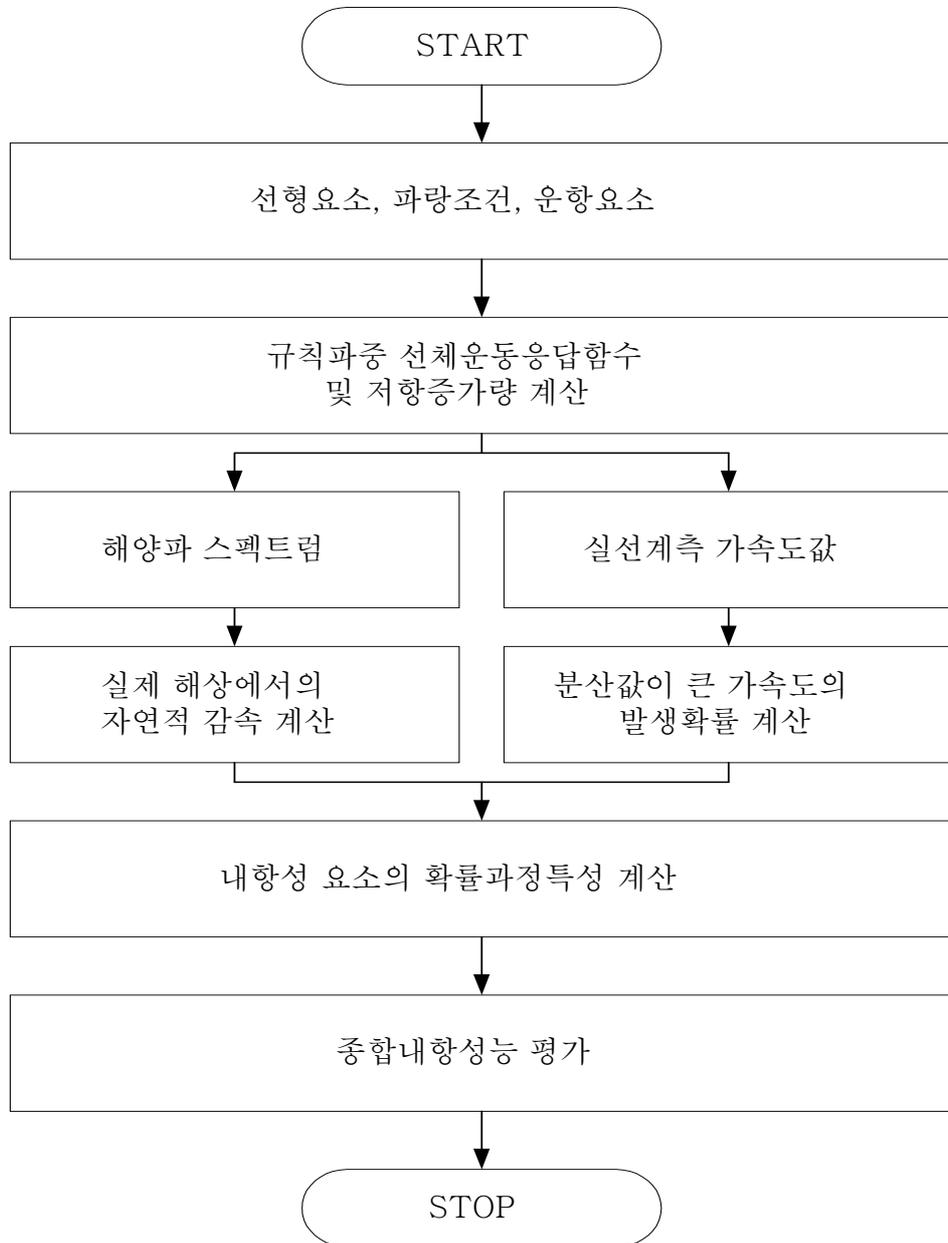
항구명	거 리(Mile)	속 력(Kts)	항해일수
BUSAN	1830	12.71	5d-23h
HAIPONG			
CEBU	1400	13.86	4d-05h
BUSAN	1541	13.76	4d-17h
총 합계	4771	13.36	14d-21h

### 3.4 상하가속도를 계측한 내항성능 평가지표

앞장에서 정의한 내항성능지표( $\bar{\mu}_r$ )는 내항성능 평가요소 중 한 개 요소만을 계측하여 선박 전체의 항해위험도를 평가할 수 있는 지표이다.

따라서, 본 장에서는 내항성능 평가요소 중 선박운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 상하 및 좌우가속도를 선체운동 가속도 계측·해석 시스템을 통해 계측하여 그 중 발생확률이 큰 한 개의 요소만을 채택하여 종합내항성능을 평가한다.

실선계측을 통한 내항성능평가 시스템의 구성은 그림 3-7과 같다.



< 그림 3-7 > 내항성능평가 시스템의 구성

## 제 4 장 내항성능 평가 기술을 이용한 해양사고 분석

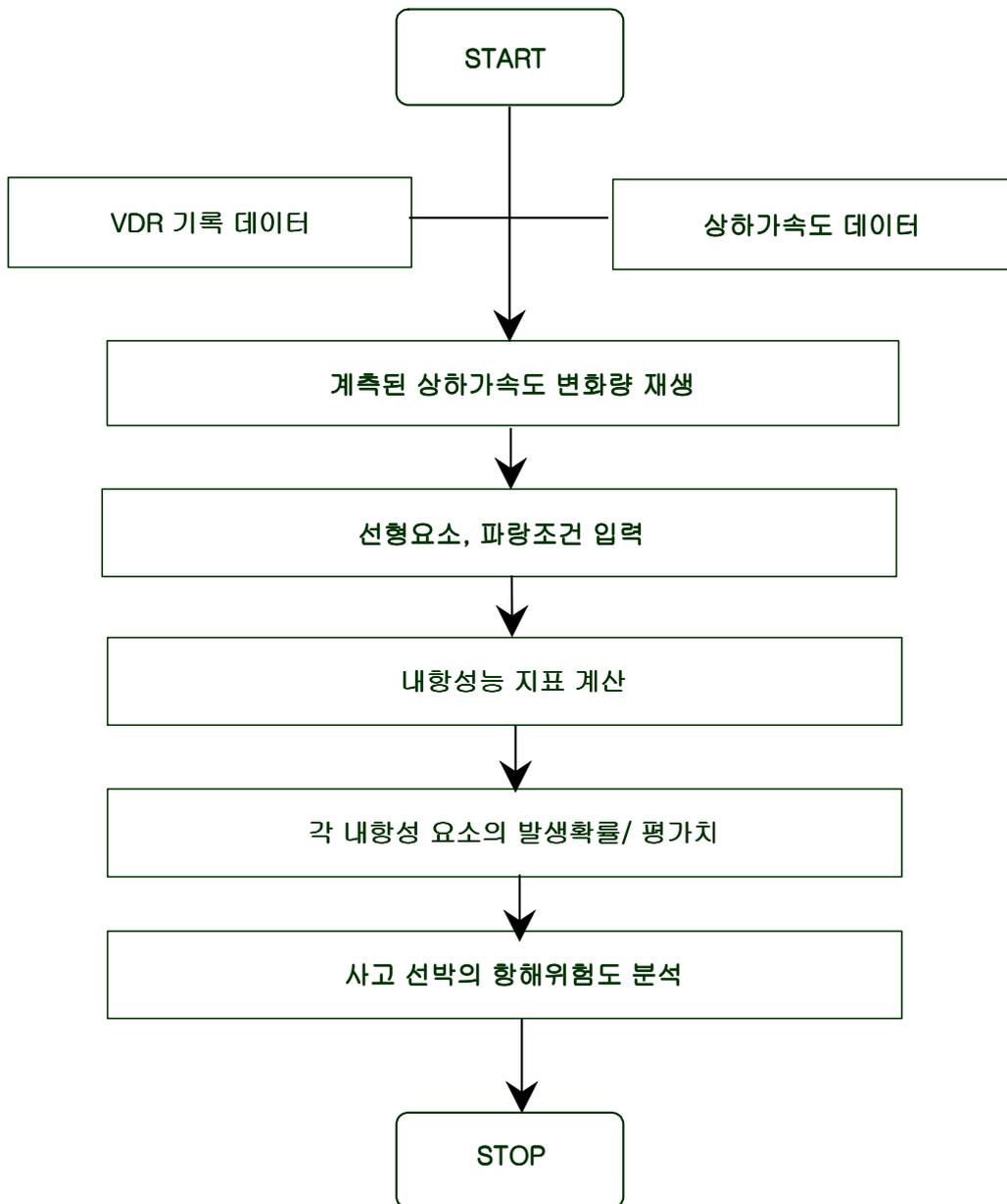
### 4.1 상하가속도 데이터를 이용한 항해위험도 평가

선체운동 가속도 측정 시스템을 이용하여 측정된 가속도 변화량을 재생시켜, 당시의 해상상태에서의 선박의 운동을 재연할 수 있는 기술이 개발되었고, 이런 가속도 기록 데이터가 남아 있으면 정확한 선박 운항상태를 해석할 수 있다[17].

다시 말해, VDR에 추가 기록 데이터인 상하 가속도를 이용하여 임의의 내항성능 평가요소가 Rayleigh의 극치 분포를 따를 때, 주어진 평가요소의 한계발생확률(표 3-1)에 대한 한계평가치의 비를 위험도로 정하는 확률을 이용하여 각 내항성능 평가요소의 위험도를 역산하여 사고 당시 선박에 가해진 위험 현상을 분석하여 사고 원인을 규명할 수 있다.

여기서는 내항성능 평가요소 중 선박운항자들이 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 상하 선체운동을 가속도 측정·해석 시스템을 통해 측정하여 그 중 발생확률이 큰 한 개의 요소만을 채택하였다. 그리고 이 요소를 각 내항성능 평가요소들의 한계발생확률이 가장 큰 프로펠러 레이싱의 한계발생확률 값으로 변환하여 평가하였다.

상하가속도 측정에 의한 항해위험도 평가 시스템의 구성을 나타내면 그림 4-1과 같다.



< 그림 4-1 > 상하가속도 계측에 의한 사고원인 분석시스템의 구성

그림 4-2의 (a) ~ (d)는 대상선박이 주어진 해상을 항해할 때 측정한 상하가속도 데이터이다.

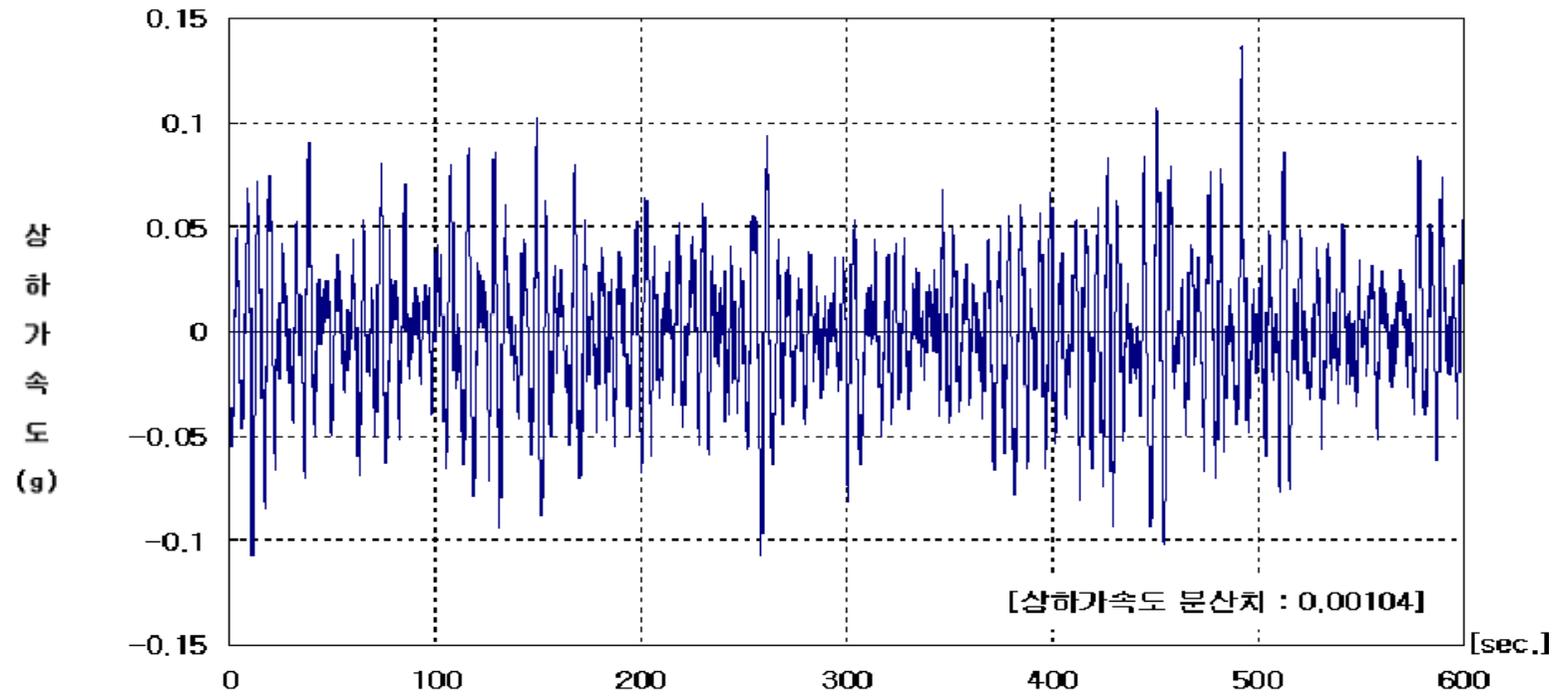
그림 4-2(a)는 해상상태 B.F. No. 6에서 해양파와의 만남각이 150도, 선속 13kts로 항해시의 상하가속도의 측정한 데이터를 시계열로 표시한 것이다.

그림 4-2(b)는 해상상태 B.F. No. 6에서 해양파와의 만남각이 115도, 선속 15.3kts로 항해시의 상하가속도의 측정한 데이터를 시계열로 표시한 것이다.

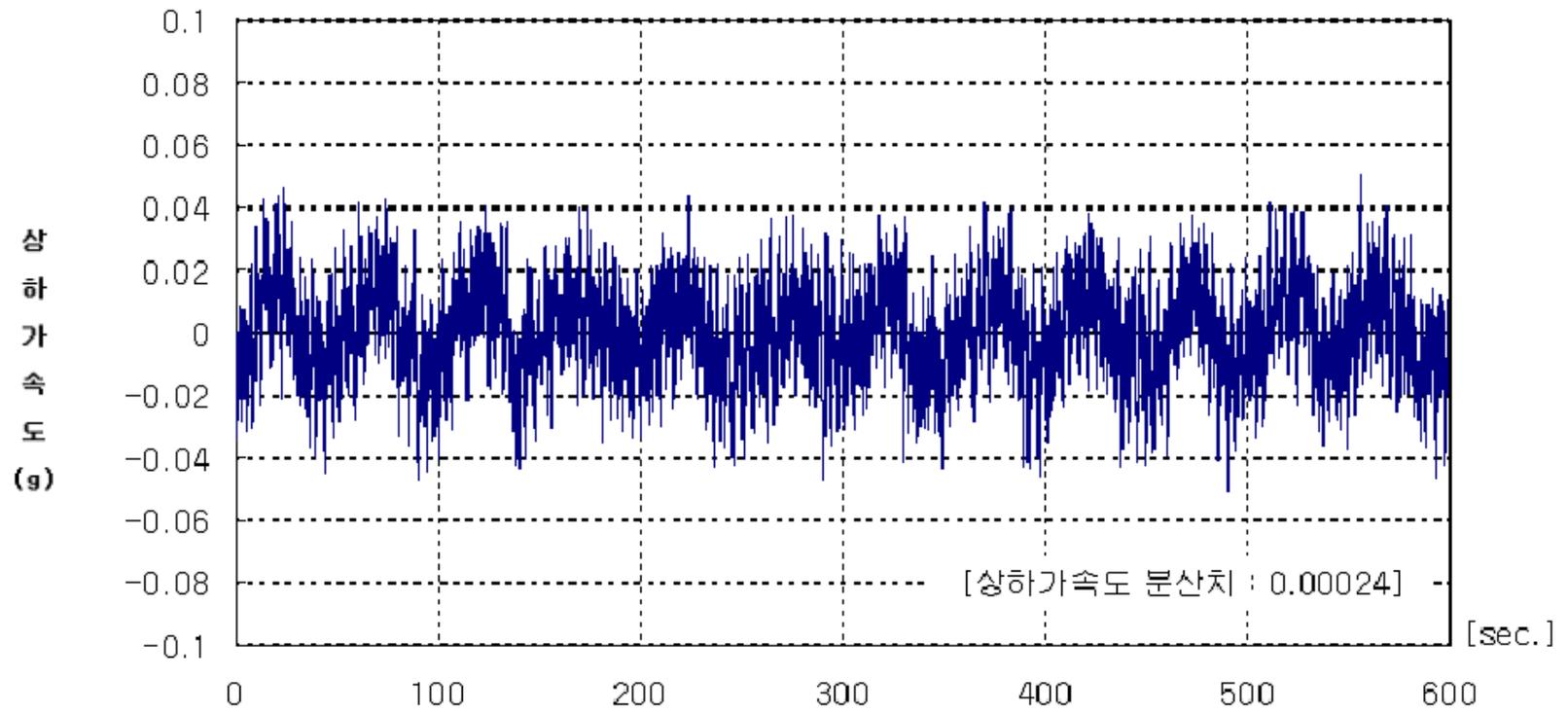
그림 4-2(c) 해상상태 B.F. No. 5에서 해양파와의 만남각이 030도, 선속 14kts로 항해시의 상하가속도 측정한 데이터를 시계열로 표시한 것이다.

그림 4-2(d) 해상상태 B.F. No. 4에서 해양파와의 만남각이 085도, 선속 14kts로 항해시의 상하가속도 측정한 데이터를 시계열로 표시한 것이다.

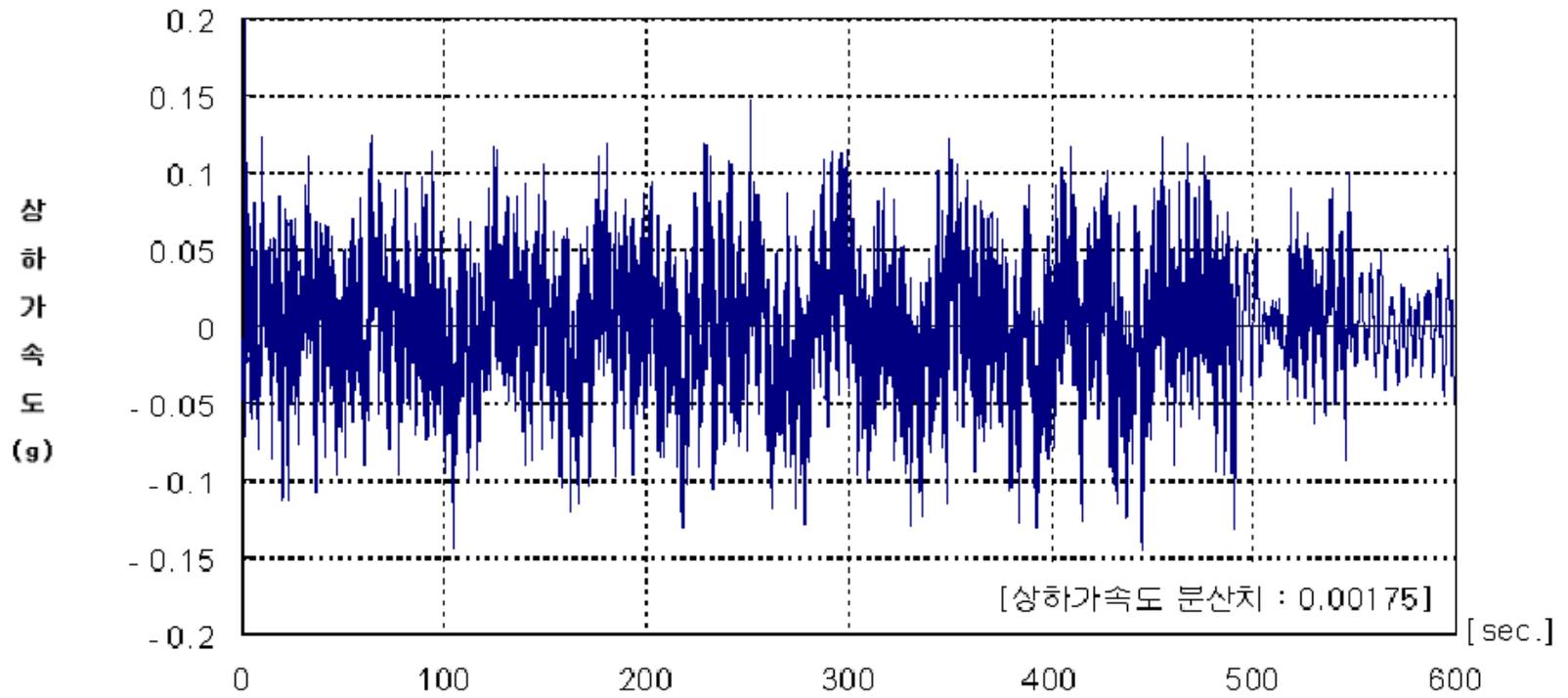
이상의 결과를 통하여 해양파와의 만남각과 해상상태에 대한 상하가속도 분산치를 구할 수 있다. 또한 각 해상상태에 있어서 상하가속도의 주기는 해양파와의 만남각에 따라 다소간의 차이가 있지만, 작은 것은 2~3초, 긴 것은 5~6초로 나타났으며, 이와 같은 주기에서 측정 간격을 100msec로 정하면 한 주기 당 데이터의 샘플 수가 20-60개로 되어, 측정한 데이터를 A/D 변환하여도 원 파형의 데이터를 충분히 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.



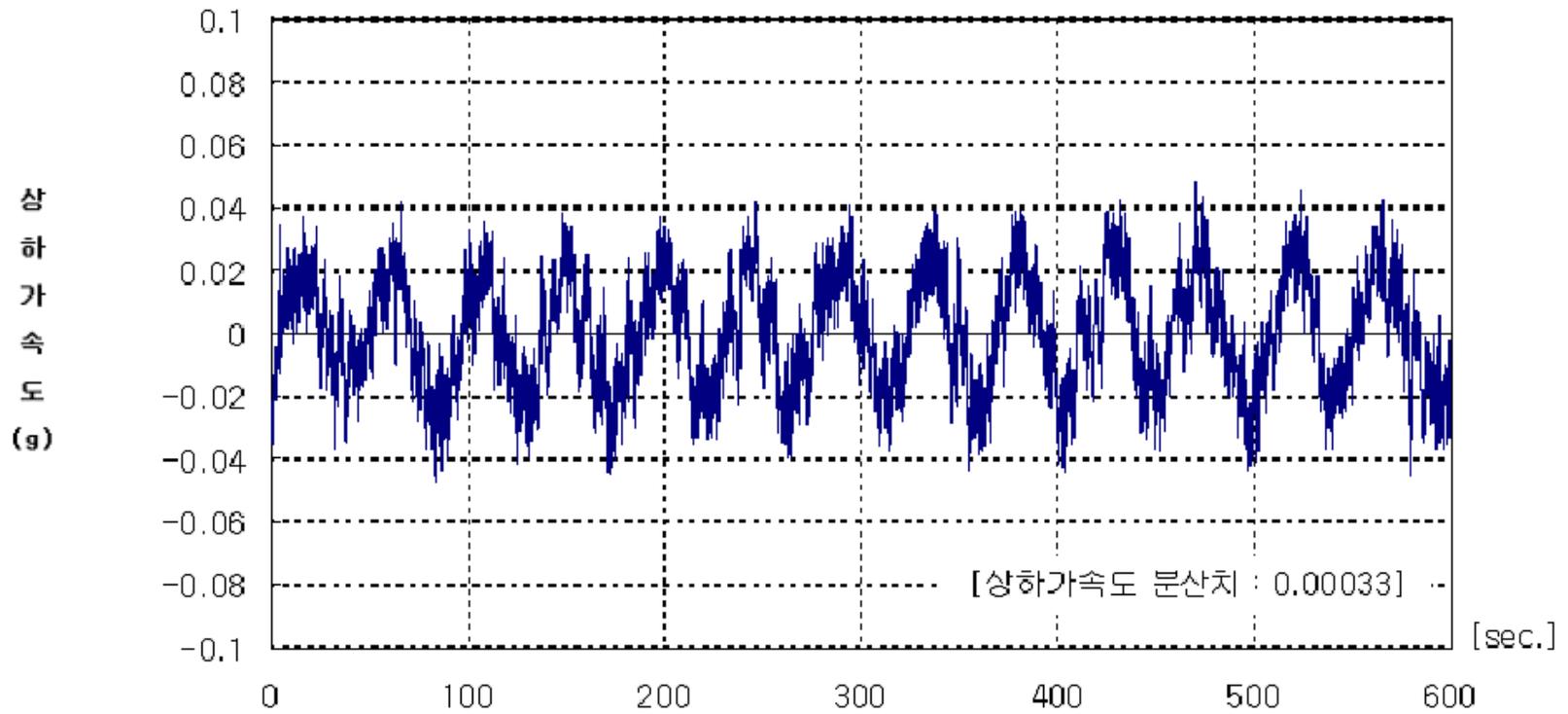
< 그림 4-2(a) > 상하가속도의 시계열 데이터(B.F. No. 6, 만남각 150도, 선속 13kts)



< 그림 4-2(b) > 상하가속도의 시계열 데이터(B.F. No. 6, 만남각 115도, 선속 15.3kts)



< 그림 4-2(c) > 상하가속도의 시계열 데이터(B.F. No. 5, 만남각 030도, 선속 13.8kts)



< 그림 4-2(d) > 상하가속도의 시계열 데이터(B.F. No. 4, 만남각 085도, 선속14kts)

#### 4.2 항해위험도 평가에 의한 해양사고 분석

종합 내항성능 평가시스템으로 측정한 상하가속도의 시계열 데이터에서도 보듯이 전반적으로 상하가속도의 분산치는 해상상태가 양호하여 작은 값으로 계산되었다. 그림 4-3 ~ 5(a), (b)는 대상선박에서 획득한 상하가속도 데이터를 이용하여 해상상태에 대한 선박과 해양파와의 만남각에 대한 위험도를 나타낸 것으로서, 선박과 해양파와의 만남각은 선수를 180도로 하여 선미가 0도가 된다. 여기서 위험도가 1.0미만인 값은 대상선박에서 획득한 상하가속도 데이터를 이용하여 얻은 결과이며, 위험도가 1.0을 초과하여 표시된 것은 실제 선박에서는 나타나지 않아 수치해석 시뮬레이션을 하여 각 내항성능 평가요소를 나타내었다.

본 연구에서 수치 계산에 사용한 선형은  $L_{pp} = 93m$ 의 여객선형으로서 그 주요목은 표 3-3에 나타내고, 표 4-1은 해상상태별 유의파고 및 평균 파 주기를 나타낸 것이다.

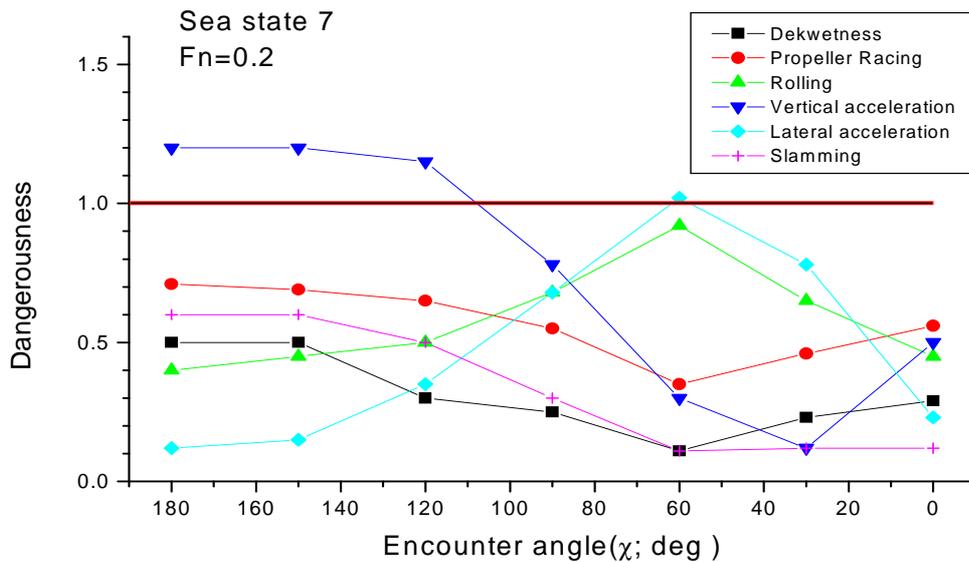
< 표 4-1 해상상태별 유의파고 및 평균 파 주기(WMO CODE 1100) >

Beaufort No.	Mean Wave Period $T_0$ (sec)	Significant Wave Height $H_{1/3}$ (m)	Wind Speed (kts)
1	1.2	0.1	1~4
2	1.7	0.2	4~7
3	3.0	0.6	7~11
4	3.9	1.0	11~17
5	5.5	2.0	17~22
6	6.7	3.0	22~28
7	7.7	4.0	28~34
8	9.1	5.5	34~41
9	10.2	7.0	41~48

그림 4-3(a), (b)는 해상상태 B.F. No. 7에서의 만남각에 대한 항해위험도 값을 나타내었다.

그림 4-3(a),  $F_n = 0.2$  (11.7 kts) 에서는  $\chi = 180^\circ \sim 120^\circ$ , 선수과 부근에서 상하가속도가 항해위험도를 초과해서 나타났고, 프로펠러 레이싱도 다소 영향이 크게 나타남을 알 수 있다.

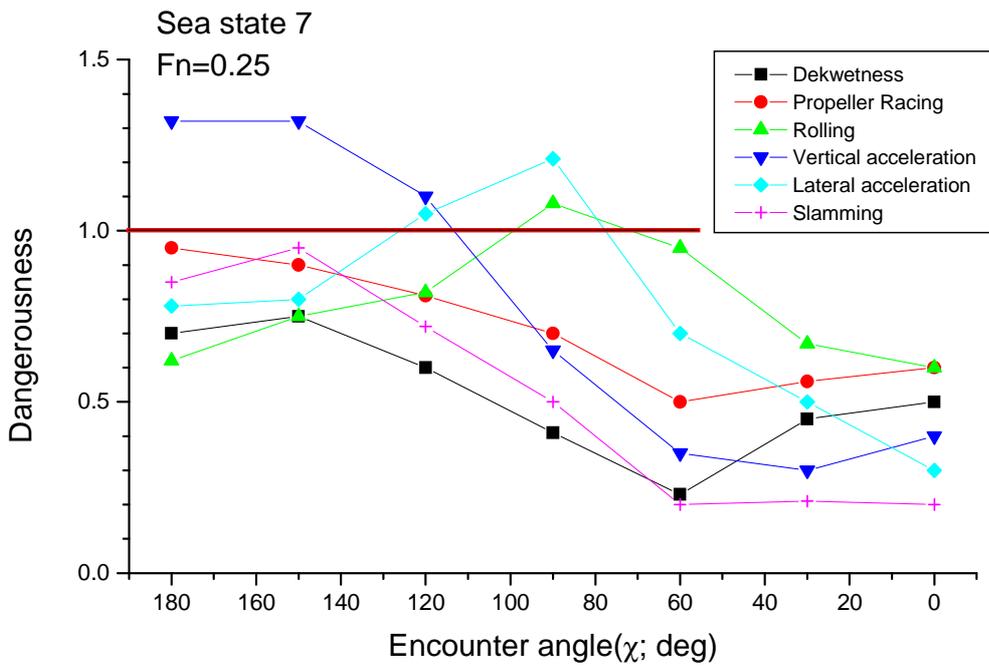
횡동요와 좌우가속도는  $\chi = 90^\circ \sim 60^\circ$ 횡과 부근에서 가장 위험하게 되기 쉬운 것으로 나타났고, 선미파에서 선미사파까지 안전하게 나타남을 알 수 있다.



< 그림 4-3(a) > 만남각에 대한 항해위험도(Sea state 7,  $F_n = 0.2$ )

그림 4-3(b)은  $F_n = 0.25$ (14.68 kts)에서는  $\chi = 180^\circ \sim 120^\circ$ 에서는 마찬가지로  $F_n = 0.2$ 에서보다 위험도가 높게 나타났고,  $\chi = 120^\circ \sim 50^\circ$ 에서는 횡동요와 좌우가속도의 위험도가 높은 상태로 나타났다.

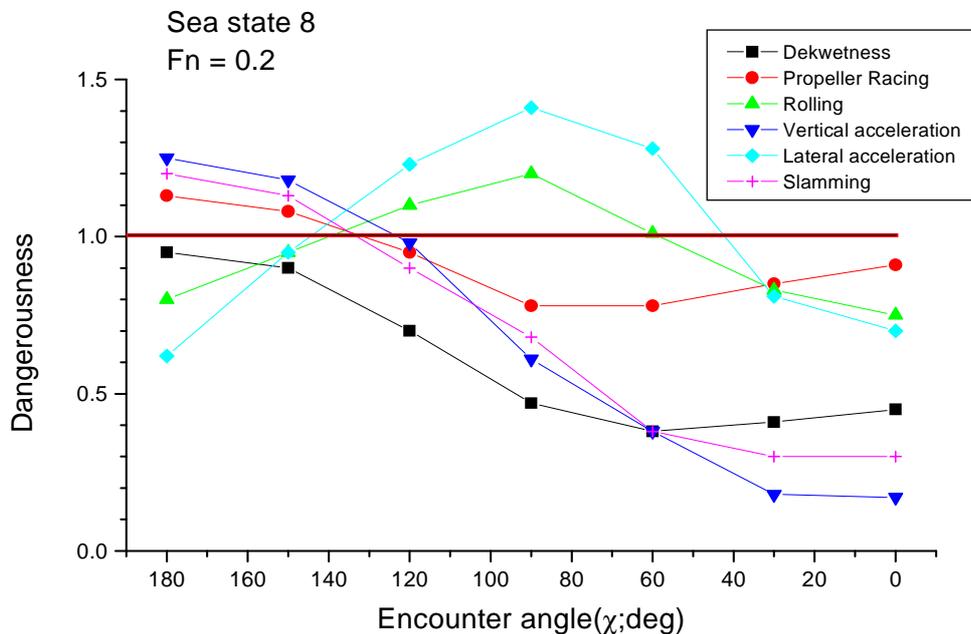
이런 현상은 내항성능 평가요소의 위험도에 의하면 한계 발생확률이 큰 프로펠러 공회전과 슬래밍이 주된 원인이 되고, 그 당시 사고가 발생하였다면 이 원인이 크게 작용했다는 것을 알 수 있다.



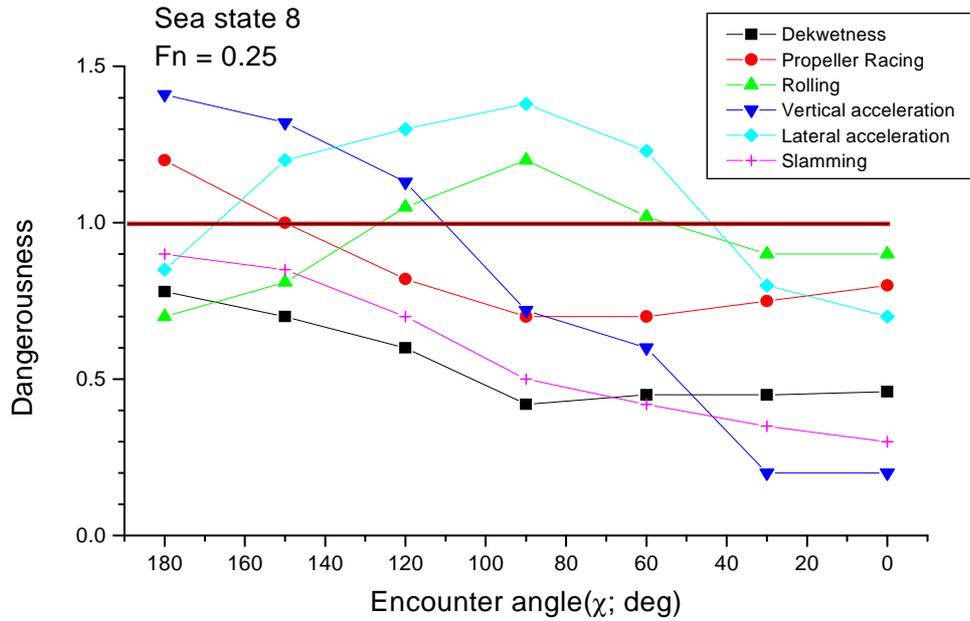
< 그림 4-3(b) > 만남각에 대한 항해위험도(Sea state 7,  $F_n = 0.25$ )

그림 4-4(a), (b)는 해상상태 B.F. No. 8에서의 만남각에 대한 항해위험도 값을 나타내었다.

그림 4-4(a)는  $F_n = 0.2$ (11.7 kts), 그림 4-4(b)는  $F_n = 0.25$ (14.68 kts)인 경우로써 선수와 부근에서는 상하가속도의 영향이 다소 크게 나타나고, 횡동요와 좌우가속도는 횡과 부근에서 가장 위험하게 되기 쉬운 것으로 나타났다. 해상상태 B.F. No. 7보다는 그 범위가 확대되어  $F_n = 0.2$ ,  $F_n = 0.25$ 에서는  $\chi = 180^\circ \sim 50^\circ$ ,  $F_n = 0.275$ 에서는  $\chi = 180^\circ \sim 40^\circ$ 에 걸쳐 위험한 상태로 나타났다. 선수와 부근에서는 상하가속도, 슬래밍, 프로펠러 레이싱의 영향이 다소 크게 나타나고, 횡동요와 좌우가속도는 횡과 부근에서 가장 위험하게 되기 쉬운 것으로 나타났다. 선미파에서는 다소 안전하게 나타남을 알 수 있다.



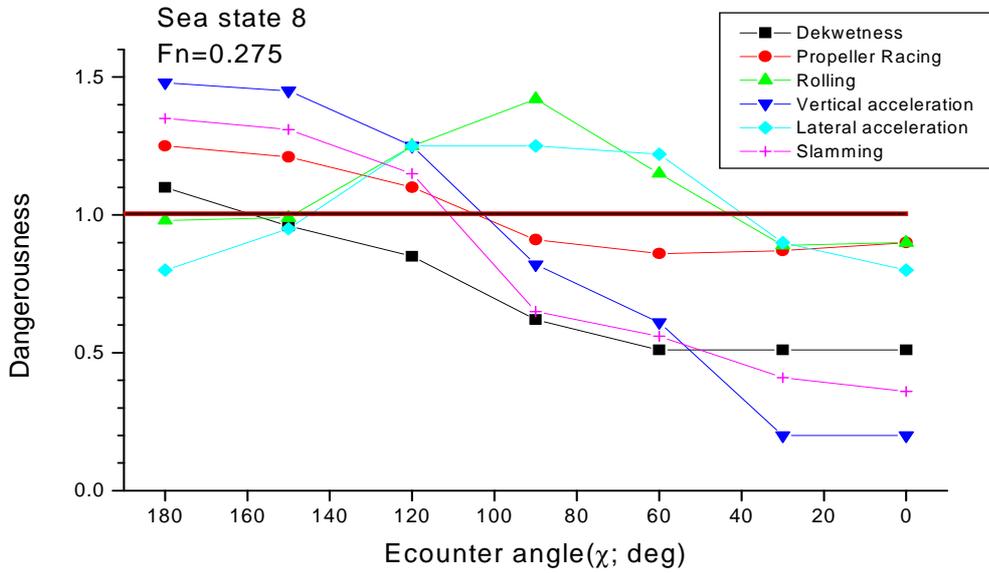
< 그림 4-4(a) > 만남각에 대한 항해위험도(Sea state 8,  $F_n = 0.2$ )



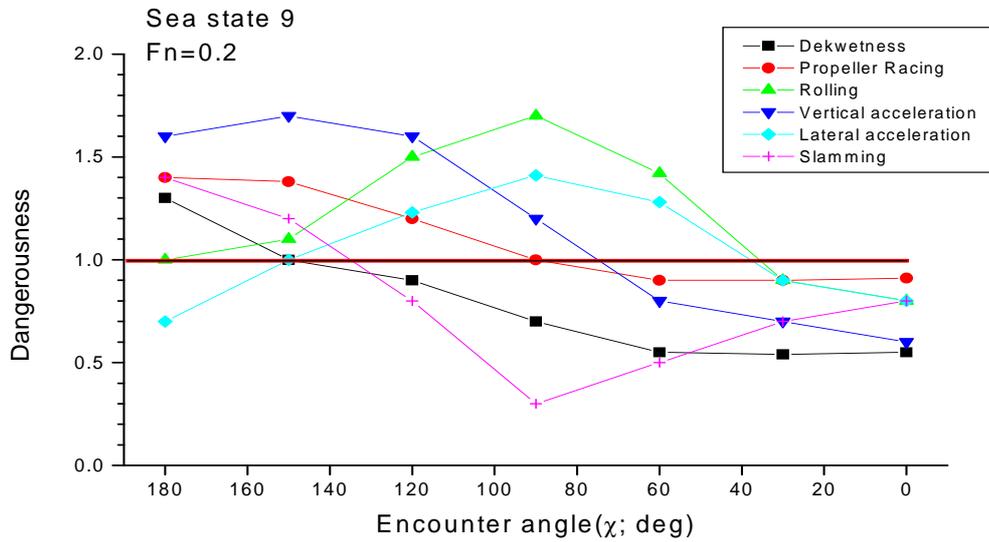
< 그림 4-4(b) > 만남각에 대한 항해위험도(Sea state 8, Fn = 0.25)

그림 4-5(a)는 해상상태 B.F. No. 8, Fn = 0.275(16.1 kts)일 경우, 그림 4-5(b)는 해상상태 B.F. No.9, Fn = 0.2(11.7 kts)에 대해 수치해석 시뮬레이션에 의한 만남각에 대한 항해위험도를 평가하여 나타낸 것이다.

선수부근에서 횡 방향 부근까지 전 만남각에 대해 상하가속도, 슬래밍, 프로펠러 레이싱, 선수 갑판침수 등의 요인들이 복합적으로 작용하여 위험한 상태로 나타났으며, 그 당시 사고가 발생하였다면 여러 요소가 복합적으로 작용하였다는 것을 알 수 있다.



< 그림 4-5(a) > 만남각에 대한 항해위험도(Sea state 8, Fn = 0.275)



< 그림 4-5(b) > 만남각에 대한 항해위험도(Sea state 9, Fn = 0.2)

## 4.3 VDR 성능 향상을 위한 항해위험도 평가 기술의 적용 방안

### 4.3.1 해양사고 유형별 분석시스템을 통한 원인규명

표 4-2는 중앙해양안전심판원의 최근 5년(1998~2002년)간 사고종류별 해양사고 발생현황을 나타낸 것이다. 지금까지의 해양사고 종류별 분석현황을 보면 충돌사고가 전체의 23%정도를 차지하여 기관 손상에 이어서 두 번째로 높은 사고 비율을 나타내고 있다. 이러한 충돌사고에 대한 분석방법을 보면, 먼저 데이터를 수집하여 충돌 상황도 작성, 충돌에 이르기까지의 상황과 조종자의 행위분석을 통해 밝혀진 사고 원인과 선내관리제도 및 회사관리제도 상의 인과관계여부 등을 종합적으로 하여 원인요인과 외부적요인과의 인과관계를 찾아 행위자에 대한 법적인 처벌과 사고재발을 방지하기 위한 노력이 있었다.

화재, 폭발 및 시설물 손상 등과 같은 해양사고에 대해서도 충돌사고 분석과 유사하게 행해졌다. 그렇지만, 해양사고의 20%를 차지하는 좌초·침몰사고에 대한 원인분석 자료는 찾아보기 힘든 상황이며, 일부 분석된 자료도 추측과 조사관의 개인 의견이 제시된 분석 자료가 많다.

또한 표 4-3의 VDR의 기록 항목에서 보듯이 충돌·접촉 사고 등의 사고 분석에 필요한 자료는 많이 저장 기록되지만, 좌초·침몰사고와 같은 해양사고시 선박의 선체운동 및 위험현상 등에 대한 분석에 필요한 자료를 찾아보기 힘들며 기존의 기록 데이터만으로는 사고 원인 분석에 어려움이 있다.

### 4.3.2 항해위험도 평가기술을 이용한 VDR

본 연구에서 제안하고 있는 성능이 향상된 VDR이라고 함은 해양사고의 20%를 차지하고 있는 침몰·좌초 사고에 대한 원인 분석을 위해 기존 VDR 기록 데이터에 내항성능을 이용한 항해위험도 평가시 필요한 상하가속도 데

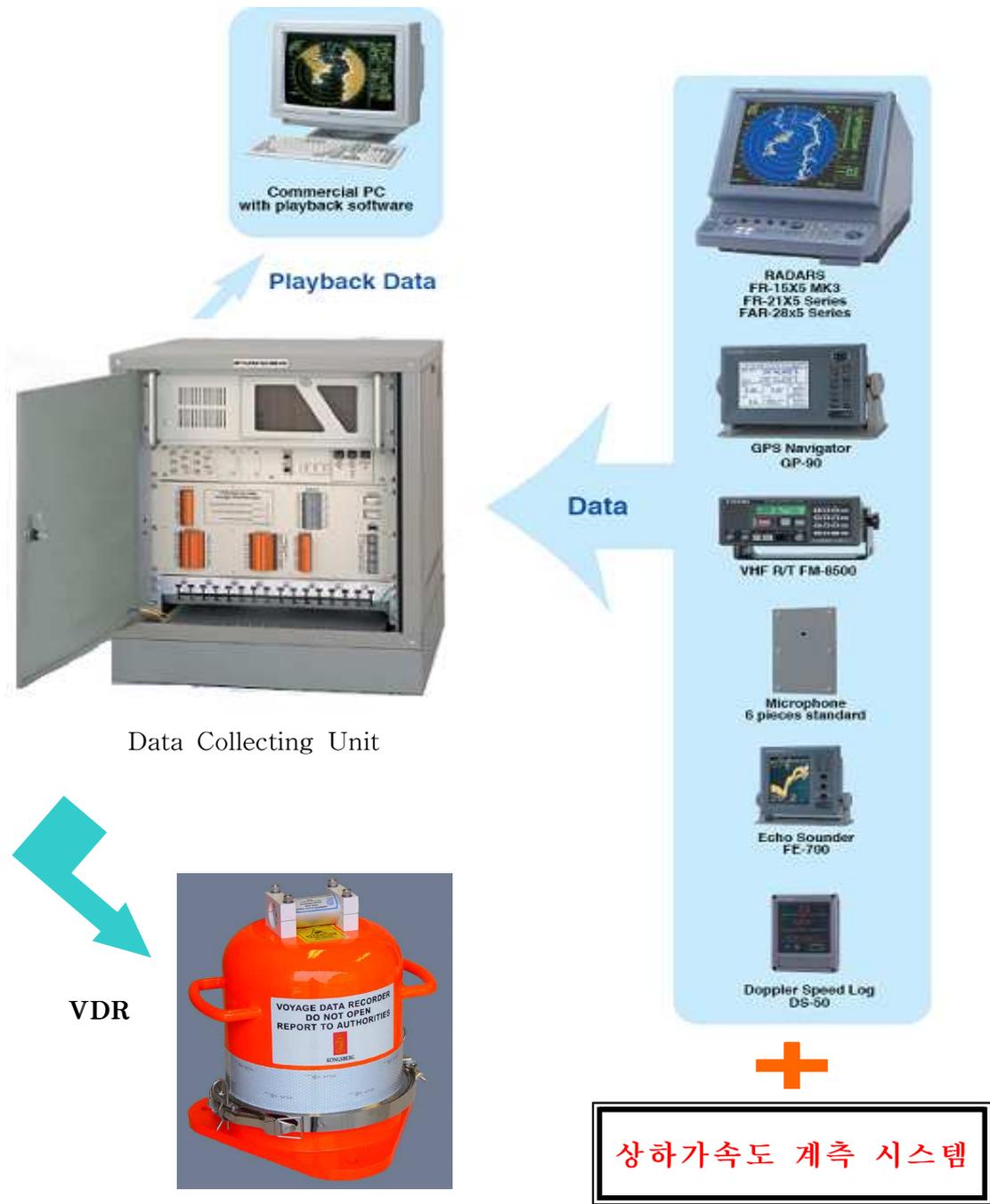
이더가 추가 기록된 것을 말한다. 이 기록된 데이터를 통하여 당시 선박의 선체운동 및 위험현상 등을 분석하여 사고에 영향을 준 요소를 규명할 수 있으며, 특히 성능이 향상된 VDR은 선박의 좌초·침몰 사고의 원인 분석을 위하여 항해하고 있는 선박의 내항성능 평가요소인 선체 상하가속도 신호를 실시간으로 획득하여, 이를 이용한 해상 상태별, 침로별 내항성능지표를 계산하여 각 내항성능 평가요소별 위험도를 분석함으로써 사고 원인을 정량적이고 객관적으로 밝힐 수 있다. 그림 4-6은 기존 VDR에 선체 상하가속도를 추가 계측하기 위한 가속도 센서를 인터페이스한 것이다.

< 표 4-2 사고종류별 해양사고 발생현황(단위; 건) >

사고 종류 연도	충돌	접촉	좌초	화재 · 폭발	침몰	기관 손상	조난	시설물 손상	인명 사상	안전 · 운항 저해	기타	계
1998	147	5	77	60	84	242	48	4	8	43	54	772
1999	173	2	68	67	90	269	24	2	13	73	68	849
2000	130	11	58	48	63	196	23	-	19	51	35	634
2001	141	15	60	62	72	135	25	1	17	44	38	610
2002	184	13	58	42	55	110	18	3	20	13	41	557
계	775	46	321	279	364	952	138	10	77	224	236	3,422
구성 비 (%)	22.7	1.3	<b>9.4</b>	8.2	<b>10.6</b>	27.8	4.0	0.3	2.3	6.5	6.9	100

< 표 4-3 해양사고별 VDR 기록 항목과의 관계 >

사고종류 기록항목	사고종류									
	충돌	접촉	좌초	화재· 폭발	침몰	기관 손상	조난	시설물 손상	인명 사상	안전· 운항 저해
날짜/시간	●	●	●	●	●	●				
선박위치	●	●	●	●	●	●				
선박속력	●	●								
선수방위	●	●								
음성채널	●	●		●						
레이더 영상	●	●	●							
음향측심기			●							
경보상태				●		●				
조타기 명령 및 응답	●	●								
엔진 명령 및 응답	●	●				●				
수밀문 및 방화문 상태				●	●					
풍력 및 풍속	●	●	●							
선체 개구부 상태					●					
선체응력					●		●			



< 그림 4-6 > 항해위험도를 이용한 성능이 향상된 VDR

## 제 5 장 결 론

VDR 성능 향상을 위하여 기존에 개발되어 탑재되고 있는 VDR의 현황을 조사 분석하여 그 문제점으로 선박의 해양사고 중에서 좌초·침몰에 대한 원인 분석이 미흡함이 도출되었다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 내항성능 평가요소인 선체 상하가속도 데이터를 측정하여 해양사고 분석시스템에 활용하기 위한 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 기존의 VDR에 기록된 자료를 이용하여 해양사고의 20%정도를 차지하는 좌초·침몰 사고에 대한 원인 분석을 하기에는 미흡한 점이 도출되었다. 이를 개선하기 위해서 기존 VDR에 상하가속도를 추가 기록 데이터로 하는 것을 제안하였다.
- (2) 항해하고 있는 선박의 선체 상하가속도 신호를 실시간으로 획득하고, 이를 이용하여 해상 상태별, 침로별 내항성능지표를 계산하여 항해위험도를 분석하였다. 항해위험도 분석은 계산된 내항성능지표를 이용해 Deck-wetness, Propeller Racing, Slamming, Rolling 등의 발생 확률을 계산하고, 계산된 확률을 이용하여 각 내항성능 평가요소의 위험도를 역산하여 사고 당시 선박에 가해진 위험 현상을 분석하여 사고 원인을 규명할 수 있는 방안을 제안하였다.
- (3) 상하가속도를 추가 기록 데이터로 하여 선박의 좌초·침몰 사고에 대한 사고 원인 분석을 함으로써 정량적으로 해양사고를 분석·평가하였다.

향후, 선체 상하가속도 센서를 기존의 VDR에 인터페이스 하는 기술적인

문제와 실선을 통한 반복적인 실험을 통한 결과와 선박 시뮬레이션을 통한 선박의 운항상태를 서로 비교 분석하여 제안된 기술에 대한 유효성 제고가 되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- (1) 공길영 : 안전공간 설정에 의한 선박내항성의 평가시스템 개발에 관한 연구, 1992. 2
- (2) 박문수 : 선박종류에 따른 내항성능 평가에 관한 연구, 1994. 2
- (3) 조익순 : 선박탑재형 종합내항성능 평가시스템 개발을 위한 기초적 연구, 2000. 2
- (4) 공길영 : 선박 탑재형 내항성능 평가시스템 개발(1), 한국항해항만학회지 제28권 제1호, 2004, pp, 1 - 8
- (5) 중앙해양안전심판원 : 해양사고 정보관리 시스템 개선(VDR 연구부문) 최종 보고서, 2002. 12
- (6) NAV 49/7 : Feasibility study on carriage of VDR on existing cargo ships, 2003. 3
- (7) 김병곤 : VDR 분석 프로그램 개발과 해양안전심판(상, 하), 해양안전심판원 해양안전소식지, 2002
- (8) 片山瑞穂 : VDR の要件について, 日本造船學會, 2001. 7
- (9) 허용범 : VDR-회수책임을 중심으로, 해양안전심판원 해양안전소식지, 2001
- (10) 金順甲·内藤 林·中村彰一 : 船舶の波浪中耐航性能評價に關する研究, 日本造船學會論文集, No.155, 1984
- (11) Lewis E. V. : The Status of Merchant Ship Seakeeping Research, Proc.19th ATTC, Vol.1, 1980. 7
- (12) Nakamura S.·Hosoda R. : A Method for Predicting the Power in a Seaway, Proc.14th ITTC, Vol.4, 1975
- (13) 日本造船研究協會, 第125研究部會 : 超高速コンテナ船の耐航性に關する報告書, 研究資料No.211, 1975, pp. 10 - 23
- (14) 中村彰一 : 耐航性の諸要素, 第1回 耐航性に關するシンポジウム, 日本造船學會, 1969
- (15) 高木又男·新井新一 : 船舶·海洋 構造物の耐波理論, 成山堂書店, 1996, pp. 269 - 274
- (16) 北澤孝宗·黒井昌明·高木又男 : コンテナ船の波浪中での限界速度, 日本造船學會誌(第138號), 1975年
- (17) 김순갑·공길영·김철승: 선박 탑재형 내항성능 평가시스템 개발에 관한 연구, 토탈소프트뱅크 연구보고서, 2003. 8

## 표 목차

표 2-1 VDR 탑재 대상선박 및 시기 .....	19
표 2-2 VDR 기록 데이터 항목 .....	27
표 3-1 각 내항성능 평가요소의 한계치 및 한계 발생확률 .....	44
표 3-2 가속도계의 기본 사양 .....	57
표 3-3 대상선박의 주 요목 .....	59
표 3-4 대상선박의 항해일정 .....	60
표 4-1 해상상태별 유의파고 및 평균 파 주기(WMO CODE 1100) .....	69
표 4-2 사고종류별 해양사고 발생현황(단위; 건) .....	76
표 4-3 해양사고별 VDR 기록 항목과의 관계 .....	77

## 그림 목차

그림 2-1 FDR 자료의 시뮬레이션 화면(예) .....	11
그림 2-2 항공기 분석시스템의 구성도 .....	11
그림 2-3 차량용 블랙박스의 구성 및 시스템 구성도 .....	14
그림 2-4 차량용 사고 재현 프로그램 .....	17
그림 2-5 선박용 VDR의 구성 .....	22
그림 2-6 VDR 분석시스템의 구성 .....	37
그림 3-1 내항성능 평가요소의 시스템적 결합 .....	45
그림 3-2 선체운동 가속도 계측·해석 시스템의 기본 흐름도 .....	53
그림 3-3 실험장비의 선교 배치 모습 .....	54
그림 3-4 계측시스템의 내부 모습 .....	55
그림 3-5(a) 가속도계의 원리 .....	56
그림 3-5(b) 가속도 센서의 계측 방향 .....	57
그림 3-6 대상선박의 선도 .....	59
그림 3-7 내항성능평가 시스템의 구성 .....	61
그림 4-1 상하가속도 데이터 계측에 의한 사고원인 분석시스템의 구성 .....	63
그림 4-2(a) 상하가속도의 시계열 데이터(B.F.No.6, 만남각 150도, 선속 13kts) ·	65
그림 4-2(b) 상하가속도의 시계열 데이터(B.F.No.6, 만남각 115도, 선속 15.3kts) ·	66
그림 4-2(c) 상하가속도의 시계열 데이터(B.F.No.5, 만남각 030도, 선속 13.8kts) ·	67
그림 4-2(d) 상하가속도의 시계열 데이터(B.F.No.4, 만남각 085도, 선속 14kts) ·	68
그림 4-3(a) 만남각에 대한 항해위험도(sea state 7, $F_n = 0.2$ ) .....	70
그림 4-3(b) 만남각에 대한 항해위험도(sea state 7, $F_n = 0.25$ ) .....	71
그림 4-4(a) 만남각에 대한 항해위험도(sea state 8, $F_n = 0.2$ ) .....	72
그림 4-4(b) 만남각에 대한 항해위험도(sea state 8, $F_n = 0.25$ ) .....	73
그림 4-5(a) 만남각에 대한 항해위험도(sea state 8, $F_n = 0.275$ ) .....	74
그림 4-5(b) 만남각에 대한 항해위험도(sea state 9, $F_n = 0.2$ ) .....	74
그림 4-6 항해위험도를 이용한 성능이 향상된 VDR .....	78