

## HMD를 사용한 가상현실 선박 시뮬레이터 시스템의 프로토타입 개발

임 정 빈\* · 공 길 영\*\* · 구 자 영\*\*\*

Development of Prototype VR Ship Simulator System Using HMD

*Jeong-Bin Yim\* · Gil-Young Kong\*\* · Ja-Yeong Gu\*\*\**

〈목 차〉	
Abstract	3.1 하드웨어
1. 서 론	3.2 소프트웨어
2. VRSS 구현 방법	4. 실험 및 결과
2.1 개발환경	4.1 실험
2.2 3차원 입체영상	4.2 결과
2.3 3차원 입체음향	5. 결 론
3. VRSS 시스템 구성	참고문헌

### Abstract

The paper deals with the implementation of prototype Ship Simulator system (VRSS) by Virtual Reality techniques with Head Mounted Display (HMD) device. The prototype VRSS was consists of PC-based human sensors, object oriented operating system. In addition, two kinds of databases arranged from Head Related Transfer Functions and 3D object models were used to create 3D sea sound, and to construct virtual world, respectively. Using the prototype system, we carried out some simulation tests for the overtaking situation to prevent collisions at sea, and discussed on the usability of the system. As results from simulations, the prototype VRSS can provide multisensory and interactive display environment. The results gave rise to the user interaction with 3D objects that give realistic reproduction of navigational environments under a given scenario. Thus, we found that the prototype VRSS should be one of the next-generation ship simulation system.

\* 정희원, 국립목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

\*\* 정희원, 국방과학연구소, 선임연구원

\*\*\* 정희원, 해양경찰청 전산통신과 전산제, 경감

### 1. 서 론

선박 시뮬레이터(ship simulator)는, 선박의 조종과 운용 및 적응 훈련을 교육하기 위한 장치로서, 국내의 민·관·군 교육기관에서 사용하고 있다. 기존 시뮬레이터는, 실물형태의 장치를 이용하여 구성되기 때문에 고가이며, 복잡하고, 업그레이드(upgrade)가 쉽지 않은 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점 해결의 대안으로서, 가상현실(virtual reality)기술을 선박 시뮬레이터에 적용한 가상현실 선박 시뮬레이터(Virtual Reality Ship Simulator; VRSS)가 연구되고 있다[1]-[6].

이러한 VRSS 개발에는, 3차원 그래픽, 3차원 음향, 3차원 센서 등의 하드웨어 구축기술과, 3차원 모델링과 객체지향 방식의 소프트웨어 구현기술, 그리고 항해전문가 시스템(navigational expert system), 멀티 네트워킹(multi-networking), 선박 조종술 등, 다양한 분야의 기술이 복합적으로 필요하다. 특히, 선박 시뮬레이터는 자동차나 항공기 시뮬레이터와는 달리, 선장, 항해사, 도선사, 조타수 등의 다중 사용자가 동시에 참여하는 것도 하나의 큰 특징이다. 현재까지의 가상현실에 관한 일부 요소기술은 상당수준까지 개발되어 있으나, 시스템 통합 기술, 항해 전문가 시스템, 선박 및 해양환경의 3차원 모델링 등에 관한 연구는 초보 단계에 있기 때문에 상용화 수준의 VRSS 개발까지는 다소 시간이 걸릴 것으로 예상된다.

이 연구에서는, 지금까지의 VRSS 연구과정에서 획득한 일부 핵심기술을 이용하여, 단일 사용자를 대상으로 하는 몰입형(Immersion-type) VRSS의 Prototype 시스템을 개발하였다. 이 시스템은, 가상공간에 몰입하기 위한 HMD(Head Mounted Display)라는 표시장치를 사용하고, 가상공간을 객체지향 방식의 3차원 모델로 구현하여 PC에서 작동시켰다. 따라서 시스템 구성이 간단한 장점이 있다. 그리고, 이 시스템에 상대선박이 본선을 추월하는 상황을 시뮬레이션하면서, 다수 시청자를 대상으로 심리물리평가를 실시하여 개발한 VRSS 시스템의 유효성을 평가하였다. 평가결과, 가상세계

에 구성된 사이버 선박과 사이버 항해사 사이에 상호작용이 발생하고, 입체감 있는 그래픽 화면과 3차원 음향의 발생으로 자연스러운 두 선박 사이의 추월상황이 연출됨을 알 수 있었다.

### 2. VRSS 구현방법

#### 2.1 개발환경

Fig. 1은, 몰입형 프로토타입 VRSS 개발에 필요한 장치와 도구를 나타낸다.

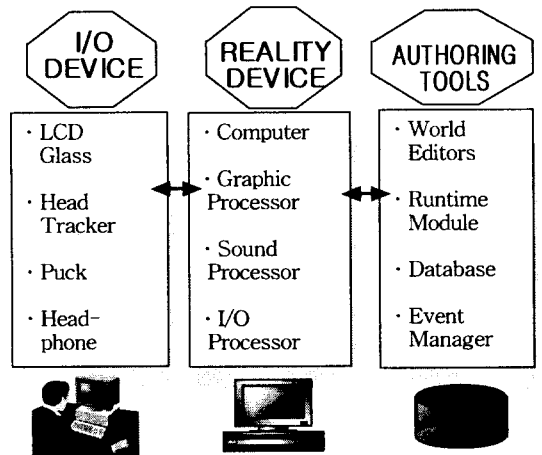


Fig. 1. Authoring tools and devices to develop the prototype VRSS.

Fig. 1에서, I/O DEVICE는 인간과 가상공간 사이의 인터페이스 역할을 하는 장치들이며, REALITY DEVICE는 가상공간 운용에 필요한 하드웨어 장치를 나타내고, AUTHORIZING TOOLS는 가상공간 구축에 필요한 저작도구(authoring tool)를 나타낸다. 이들의 세부 구성요소는 다음과 같다.

I/O DEVICE의 구성은, 3차원 그래픽을 사용자의 두 눈에 전시하기 위한 스테레오 LCD(Liquid Crystal Display) 안경, 사용자 머리 위치를 추적하기 위한 Head Tracker, 가상공간에서 사용자가 원하는 메뉴나 장치를 제어하기 위한 Puck, 3차원 음향을 생성하기 위한 스테레오 Headphone 등으로 구성되어 있다.

REALITY DEVICE의 구성은, 시스템 구동을 위한 PC, 그래픽 데이터를 고속으로 처리하여 스테레오 LCD 안경으로 전송하기 위한 Graphic Processor, 3차원 음향을 처리하기 위한 Sound Processor, I/O DEVICE의 입출력신호를 처리하기 위한 I/O Processor 등으로 구성된다.

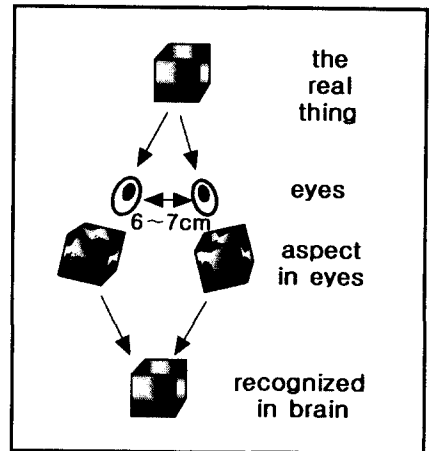
AUTHORING TOOLS의 구성은, 가상공간에 객체(Object)를 구축하기 위한 World Editor, 가상세계 구동을 위한 Runtime Module, 3차원 그래픽 모델과 머리전달함수(Head Related Transfer Functions: HRTFs)로 구성된 Database, 입출력사건을 처리하기 위한 Event Manager 등으로 구성된다.

VRSS 시스템 구성에 있어서 중요한 부분은, 인간지각의 60% 정도를 차지하는 시각과 30% 정도를 차지하는 청각에 대한 3차원 입체영상과 3차원 입체음향이다. 이 외에 후각이 5%, 촉각이 4%, 미각이 1%를 차지하며, 이러한 종류의 인간지각에 관해서는 전문가 집단에 의하여 기초 단계에서 연구되고 있다[7]. 이 연구에서는, 시각과 청각에 관한 가상현실 기술을 VRSS의 시스템 개발에 적용하는 것으로 연구 범위를 제한한다. 이러한 시각과 청각에 관한 3차원 입체영상과 3차원 입체음향이 이 시스템 개발에 적용하기 위한 방법을 아래에 기술한다.

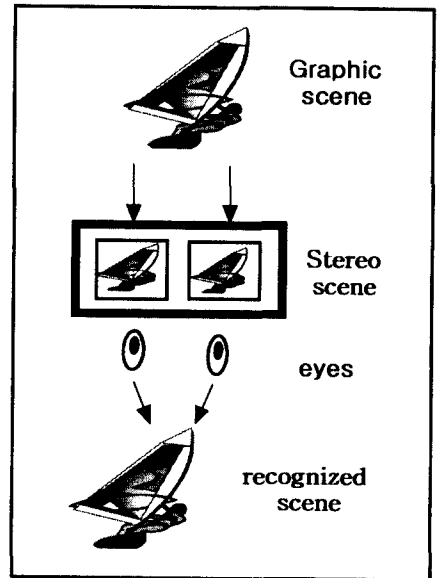
## 2.2 3차원 입체영상

Fig. 2는 인간이 물체를 보았을 때 입체적으로 느끼는 메카니즘을 나타낸다. 인간은, Fig. 2(a)와 같이 인체 구조상 6~7cm 간격을 갖는 2개의 눈을 갖기 때문에 사물을 바라보는 각도에 따라서 뇌에서 입체적으로 인식한다. 가상현실의 경우는, Fig. 2(b)와 같이 인공적으로 제작한 하나의 그래픽 장면을 인간이 바라보는 것과 같이 왼쪽 화면과 오른쪽 화면으로 분리하여 각각 2개의 화면에 표시한 후, 인간의 좌측과 우측 눈에 전달하므로써 입체영상을 구현하게 된다.

이 실험에서는 HMD에 부착된 0.7"의 스테레오 LCD 안경을 사용하고, SUPERSCAPE사의 3-D WEBMASTER를 이용하여 3차원 입체영상을 제



(a)



(b)

Fig. 2. Three-Dimensional perception mechanism, by a human(a), by the virtual reality(b).

작하였다. 스테레오 LCD 안경에 나타내는 입체 영상은, 사용자의 시야각(Field Of View; FOV)이 변함에 따라서 그에 대응하는 장면이 연속적으로 나타나야 한다. 따라서, Fig. 3과 같이 사용자의 FOV가 정해진 크기의 공간만 볼 수 있는 경우, 사용자 머리의 움직임을 추적하여 연속적으로 FOV를 출

력하는 기능이 필요하다.

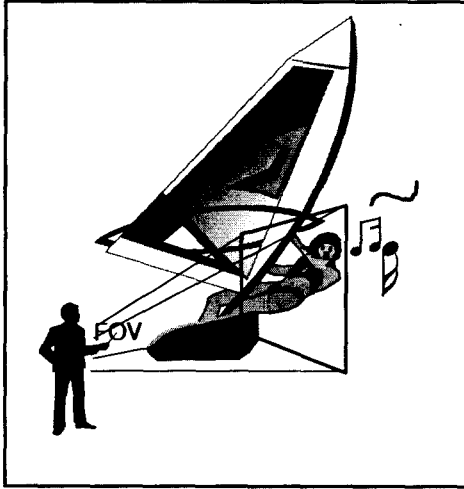


Fig. 3. An example of FOV(Field Of View) in a scene.

이 연구에서는, 현재 사용자의  $FOV(x_0, y_0)$ 에 대한 위치에서, 머리가 이동한 변위  $\Delta x$  와  $\Delta y$  를 구하여 새로운 위치  $(x_1, y_1)$  를 다음 식(1)과 같이 계산한 후, 새로운  $FOV(x_1, y_1)$  에 대한 장면과 음향을 연속 발생시켰다.

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 \pm \Delta x \\ y_1 &= y_0 \pm \Delta y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

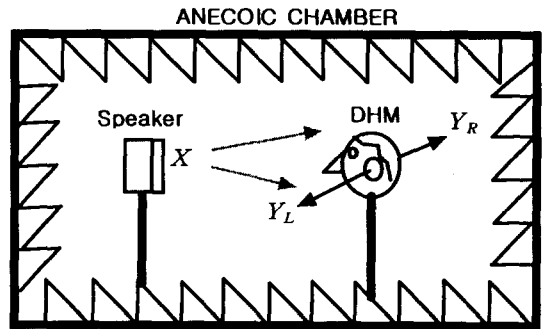
위의 식(1)의 이동변위  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  는, HMD 내부에  $x$  축과  $y$  축 방향으로 가속도계(accelerometer)를 각각 설치한 후, 머리가동에 따른 가속도  $a_x$  와  $a_y$  를 검출해서 다음 식(2)과 같이 이중적분으로 구하였다.

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= \int \int a_x \\ \Delta y &= \int \int a_y \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

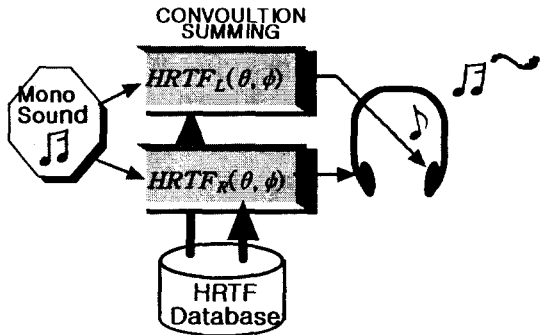
2.3 3차원 입체음향

3차원 입체음향은 스테레오 음향과 다른 것으로

서, 음향의 거리감, 공간감, 음상정위 등을 갖기 때문에 청취자는 자연에서 음을 듣는 것과 같은 효과를 느낄 수 있다. 이러한 3차원 음향 구현의 대표적인 방법이 HRTFs를 이용하는 것이다. Fig. 4는 HRTFs의 측정과 HRTFs를 이용한 3차원 음향 재생원리를 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 4. Three-dimensional sound production mechanism. HRTFs measurement in an anechoic chamber(a), sound reproduction procedure using HRTFs(b).

Fig. 4(a)와 같이 무향실(anechoic chamber)에 스피커를 설치한 후, 음원(X)을 방사하고, 그 음을 의사머리(Dummy Head Microphone; DHM)라는 인간의 머리 형태와 동일한 장치를 사용하여, 왼쪽(left) 고막 위치에 설치한 마이크로폰에서 출력  $Y_L(\theta, \phi)$  을 측정하고, 오른쪽(right) 고막 위치

에 설치한 마이크로폰에서 출력  $Y_R(\theta, \phi)$ 을 측정한다. 여기서,  $\theta$ 는 수평면상  $0^\circ \sim 360^\circ$  사이의 방위를 나타내고,  $\phi$ 는 수직면상  $-90^\circ \sim +90^\circ$  사이의 고각을 나타낸다. 측정방법은,  $\theta$ 와  $\phi$ 를 여러 개의 격자로 분할한 각각의 위치 ( $\theta, \phi$ )에 DHM을 회전시켜서 음원과 고각 사이의 입출력관계를 측정한다. 이러한 입출력관계를 Z-영역에서 수식으로 나타내면 다음 식(3)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} Y_L(\theta, \phi) &= X \cdot HRTF_L(\theta, \phi) \\ Y_R(\theta, \phi) &= X \cdot HRTF_R(\theta, \phi) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

위의 식(3)에서의  $HRTF_L(\theta, \phi)$ 과  $HRTF_R(\theta, \phi)$ 은, 각각 음원(X)과 DHM의 왼쪽과 오른쪽 고각에 설치한 마이크로폰 사이의 공간전달 특성을 나타내며, 간단히 다음 식(4)으로 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} HRTF_L(\theta, \phi) &= \frac{Y_L(\theta, \phi)}{X} \\ HRTF_R(\theta, \phi) &= \frac{Y_R(\theta, \phi)}{X} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

위의 식(4)의  $HRTF_L(\theta, \phi)$ 과  $HRTF_R(\theta, \phi)$ 의 쌍이 HRTFs이며, DHM을 회전시킨 위치에서의 공간정보를 포함하고 있다. 따라서, Fig. 4(b)와 같이 HRTFs가 갖는 정보가 단일 음원(monaural sound)에 포함되도록 콘볼루션 합산(convolution summing) 과정을 통하게 되면, 재생된 음에는 HRTFs의 공간정보가 포함되기 때문에 입체적으로 들리게 된다. 즉, 사용자가 원하는 임의의 방위  $\theta$ 와 고각  $\phi$ 에서 음이 들리도록 할 수 있다. 이러한 HRTFs는 수 백개 이상의 위치에서 측정하기 때문에 고각과 방위로 분류된 데이터 베이스로 저장하여 이용한다. 이 연구에서는, 무향실에서 측정된 710개의 HRTFs 데이터를 이용하였다. 이러한 3차원 음향에 관한 연구는 참고문헌[8]-[11]에 상세히 기술되어 있다.

### 3. VRSS 시스템 구성

#### 3.1 하드웨어

Fig. 5는 VRSS의 하드웨어 구성도로서, 시스템

을 운영하기 위한 OPERATING PART, 입출력 신호처리를 위한 I/O PART, 인간센서들로 구성된 SENSING PART로 구성하였다.

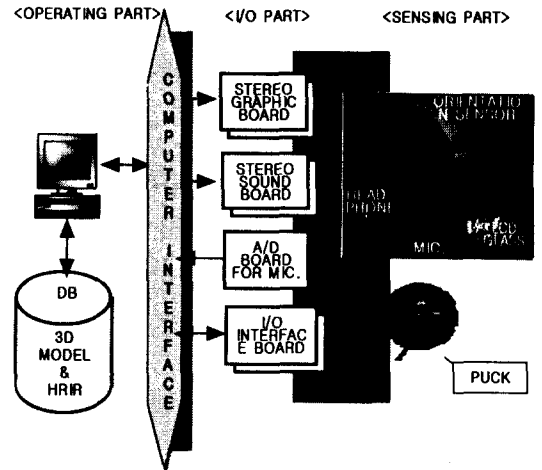


Fig. 5. Configuration of VRSS hardware.

Fig. 5의 OPERATING PART에서는, 586PC (400MHz)를 기반으로 3차원 그래픽 모델과 HRTFs의 데이터 베이스를 유지 관리하면서, 사용자의 FOV에 해당하는 3차원 영상과 3차원 음향을 지속적으로 추적하여 컴퓨터 인터페이스를 통해서 I/O PART로 전송한다. 그리고, 이 PC에는 3차원 그래픽 가속보드와 3차원 음향처리 보드를 내장하여 고속으로 데이터를 처리하게 하였다.

Fig. 5의 I/O PART에서는, PC에서 출력한 스테레오 그래픽을 스테레오 LCD 안경으로 전송하는 STEREO GRAPHIC BOARD, 스테레오 음향을 헤드폰으로 전송하는 STEREO SOUND BOARD, 사용자의 음성을 샘플링하여 스피커로 출력하기 위한 A/D BOARD, 입출력 센서를 위한 I/O INTERFACE BOARD 등으로 구성하였다. 이 보드들은 PC의 슬롯에 집적 접속되어 있고, 외부 센서들과의 입출력은 VGA 표준 15핀 커넥터와 RS-232C 표준 9핀 커넥터를 사용하였다.

Fig. 5의 SENSING PART는 HMD와 Puck으로 구성되어 있다. HMD는 미국 FORTE사의 제품을 사용하였다. HMD에 내장된 스테레오 LCD 안경

은, FOV가 35도(diagonal)이고, 181K 화소(pixel)를 갖고있는 컬러 액정 화면이다. 그리고, 2차원 위치센서는 x축과 y축 가속도센서로 구성되어 있는데, 이 센서의 핏치와 롤링(Pitch & Roll) 감지능력은  $\pm 70$ 도(오차  $\pm 0.05$ 도), 요우(Yaw) 감지능력은  $\pm 360$ 도(오차  $\pm 0.1$ 도)이다. OPERATING PART에서, 이 위치센서에서 결정된 사용자 머리의 이동 위치에 대한 영상과 음향의 FOV를 결정한다. Headphone은 완전밀폐형으로서, 청취자의 두 귀를 모두 감싸는 형태이다. Puck은, 청취자가 손에 쥐고서 가상 공간의 물체나 메뉴를 선택하는데 사용하며, 수은센서 방식을 채택하여 2-축(Pitch and Roll) 감지가 가능하고, 축 당  $\pm 45$ 도까지의 감지능력을 갖고있다.

### 3.2 소프트웨어

3차원 그래픽 저작도구로 사용한 소프트웨어는, SUPERSCAPE사의 3D-WEBMASTER이고, Runtime Module은 같은 회사의 VISCAPE를 사용하였다. 이 저작도구의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 객체 사이의 실시간 상호작용(realtime interactive) 기능을 지정할 수 있다. 따라서, 자연계에 나타나는 중력(gravity), 마찰(friction), 충돌(collision) 등의 현상을 객체에 발생시킬 수 있다.
- (2) 객체의 시간센서 기능이 있기 때문에 상호작용 없이 객체 스스로 독립적인 움직임을 할 수 있다. 따라서, 정해진 시나리오에 따라 사건을 연출할 수 있다.
- (3) SCL(Superscape Control Language)이라는 객체지향(object oriented)의 VRML(Virtual Reality Model Language)언어가 지원되기 때문에 외부 프레임에서 객체를 제어할 수 있다. 따라서, 다양한 장면들의 결합과 제어를 자연스럽게 만들 수 있다.

이 연구에서는 이 저작도구를 이용하여 Fig. 6과 같은 절차에 따라서 가상공간에 '상대선박이 본선의 우현으로 추월하는 상태'를 연출하였다.

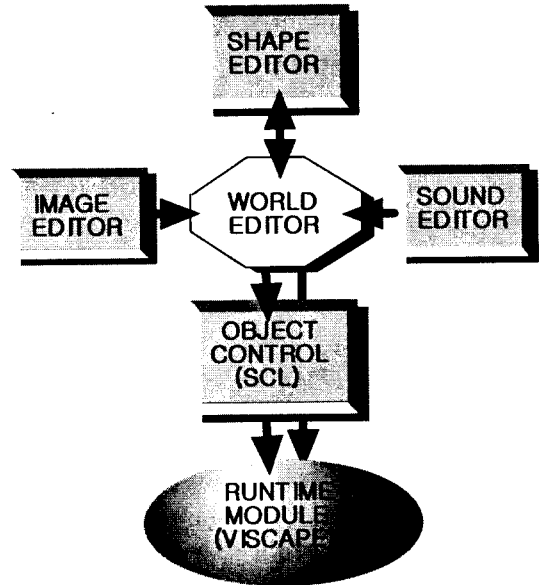


Fig. 6. Flow diagram for the virtual world creation.

첫 번째 단계에서는, SHAPE EDITOR, IMAGE EDITOR, SOUND EDITOR를 이용한다. 먼저, SHAPE EDITOR를 이용하여, 물체의 3차원 모델을 구성한 후 파일형태로 데이터 베이스를 구축한다. IMAGE EDITOR를 이용하여 외부에서 촬영한 사진이나, 그림을 가상공간에 적합하도록 편집하여 .PCX, .GIF, .JPG 등의 확장자를 갖는 파일로 데이터 베이스를 구축한다. SOUND EDITOR를 이용해서는 HRTFs와 이 가상공간에서 사용할 음원(기적소리, 파도소리 등)과 콘볼류션 합산하여 3차원 음향을 재생한 후, .WAV 확장자를 갖는 파일로 데이터 베이스를 구축한다.

두 번째 단계에서는, 가상세계 구축을 위한 WORLD EDITOR를 이용하여 위에서 제작한 형상물들의 속성, 위치, 기능 등을 지정하여 가상공간에 물체를 건설한다.

세 번째 단계는, 물체들 사이의 상호작용과 제어 기능을 부여하는 OBJECT CONTROL 단계로서, SCL을 이용하여 각 물체의 속성을 지정하는 프로그램을 작성한 후, 코딩하게 된다.

마지막 단계에서는, 지금까지 제작한 객체를

RUNTIME MODULE인 VISCAPE에서 작동시킨 후, 설계자의 의도대로 구축되어 있는지를 점검한다. 점검결과가 미흡하면, 다시 처음 단계로 되돌아가서 가상세계를 구축하는 과정을 되풀이한다.

#### 4. 실험 및 결과

##### 4.1 실험

Fig. 7은 VRSS에서 상대선박이 본선 우현으로 추월(overtaking)하는 상황을 연출한 연속장면 중에서, 대표적인 장면을 카메라 촬영과 같은 효과를 갖는 스냅 샷(snapshot)으로 나타낸 것이다.

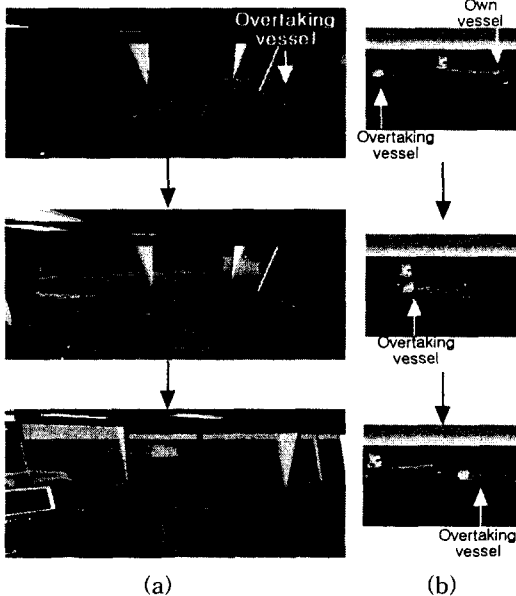


Fig. 7. Snap-shots taken from 'the situation to be overtaken' during simulation. Interior view in the own ship's bridge(a), exterior view of simulation situation(b).

Fig. 7에서, 그림 (a)는 본선의 선교 내부에서 창문을 통하여 추월하고 있는 상대선박을 바라보는 장면이고, 그림 (b)는 외부에서 두 선박을 바라보는 방안을 나타낸다. 그리고, 상대선박은 '국제해상충돌예방규칙'에 의거 '우현추월신호'로서 장음 2

발과 단음 1발(— — ●)의 기적음을 울리고 있고, 이에 대한 '추월동의신호'로서 본선은 장음-단음-장음-단음(— ● — ●)을 울리고 있다. 이 때, 상대선박의 기적소리는 상대선박이 이동하는 방향 쪽에서 들리도록 프로그램되어 있다.

이와 같은 Fig. 7의 장면을 시청자에게 보여주고, 그 때의 느낌을 평가하여 이 연구에서 제작한 프로토타입 VRSS의 유효성을 검토하였다. 느낌을 평가하는 방법으로는, 심리학적인 평가방법 (Psychological Assessment Method)에 의미분화 척도법(Semantic Differential Scales Method)을 도입한 SDMPA(Semantic Differential Method with Psychological Assessment)을 개발하여 적용하였다. 이 평가방법은, 느낌이라는 인간의 주관적인 평가를 수량화하여 객관적인 수치로 평가할 수 있는 새로운 기법이다.

SDMPA를 적용하는 방법은, 먼저 실제 해상에서의 추월상황에 대한 비디오 장면을 보여준 후, Fig. 7의 장면을 시청자에게 보여줘서 시청자가 인지한 느낌을 5단계의 평가지표로 측정하여 수량화하였다. 여기서, 느낌을 나타내는 표현으로는 '자연스러움'(naturalness), '현실감'(reality), '동일감'(coincidence) 등, 다양한 표현이 있는데, 아직까지 이러한 표현이나, 평가 방법이 확립된 바 없기 때문에 이 연구에서는 '자연스러움'이란 느낌만을 평가표현으로 정하였다. '자연스러움'이란 느낌에 대한 평가지표로는, 다음 Table 1과 같이 0에서 4까지의 숫자를 이용한 5단계 척도(scale)를 이용하였다.

Table 1. Five steps scale

Scale	Means
0	자연과 전혀 다르다.
1	자연과 다르나, 해상의 느낌은 준다.
2	자연과 비슷하나, 어색하다.
3	자연과 동일하지 않으나, 유사하다.
4	자연과 동일하다.

Table 1의 평가지표에 의한 평가결과는 다음 식 (5)의  $S_{nat}$  (nat는 natural의 의미)로 수량화 한 후,

평가하였다.

$$S_{nat} = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M SD_{i,j}}{LM} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $SD_{i,j}$ :  $i$  번째 시청자가  $j$  번째 응답한 평가척도,  $i$ : 시청자 번호,  $j$ : 반복번호,  $L$ : 시청자의 수,  $M$ : 시청자 1인당 실험 반복 수.

4.2 결과

20세에서 40세까지의 남자 4명, 여자 3명의 시청자를 대상으로 1인당 3회 반복하여 위의 식(5)를 적용한 평가결과 평균  $S_{nat}=3.0$ 이었다. 여기서,  $S_{nat}=3.0$ 의 의미는 표 1에서, ‘자연과 동일하지 않으나 유사하다’이므로, 자연과 완전히 일치하지는 않으나 유사한 해상장면이 연출되었음을 의미한다. 이 결과로부터 제작한 프로토타입의 VRSS가 몰입형 선박 시뮬레이터로서 유효함을 확인하였다.

5. 결 론

단일 사용자를 대상으로 PC 기반의 몰입형 가상 현실 선박 시뮬레이터(VRSS) 시스템을 프로토타입으로 개발하였다. 이 장치에 상대선박이 본선을 추월하는 경우의 시나리오를 연출하여 시청자를 대상으로 평가한 결과, 자연환경과 유사한 시뮬레이션이 연출되었다. 따라서, 이 연구결과 개발한 VRSS가 차세대 선박 시뮬레이터 시스템으로 적용 가능함을 알았다.

앞으로, 이 시스템에 다양한 기능을 추가하여 full mission 시뮬레이터로 개발해나갈 예정이고, 다양한 민,관,군 시뮬레이터 분야에 적용할 예정이다.

Reference

[1] Dennis McLeod, Chrysostomos L. Nikias,

and Alexander A. Sawchuk, "Integrated Media Systems," IEEE Signal Processing Magazin, Vol. 16, No.1, pp.33-43, January 1999.

[2] 임정빈, 이상집, "인공 현실 기술을 응용한 선박 조종 시뮬레이터 구현에 관한 기초연구," 해양안전학회 학술발표논문집, pp.5-18, 1997. 5.  
 [3] 국방과학 연구소, 제9절 항공기 시뮬레이터, 국방과학 기술조사서 2권, pp.783-806, 1998. 1.  
 [4] 임정빈, 김현중, "가상현실 선박 시뮬레이터의 시스템 설계," 해양환경안전학회 학술발표논문집, pp.7-17, 1999. 5.  
 [5] 임정빈, 박계각, "다중 사이버 인물을 갖는 가상현실 선박 시뮬레이터의 시스템 설계," 해양환경안전학회지, 제6권, 제1호, pp.1-9, 2000. 1.  
 [6] 임정빈, "가상현실 선박 시뮬레이터의 배경 구현," 해양환경안전학회지, 제6권, 제1호, pp.11-22, 2000. 1.  
 [7] 유승동, 박 범, "HMD를 사영한 몰입형 자동차 VR Simulator Prototype 구축," 정보처리학회지, 제5권, 제2호, pp.35-42, 1998. 3.  
 [8] Chris Kyriakakis, Panagiotis Takalides, and Tomlinson Holman, "Surrounded by Sound," IEEE Signal Processing Magazin, Vol. 16, No.1, pp.55-66, January 1999.  
 [9] 임정빈, "가상현실 선박 조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장 생성(I):머리전달합수 모델링," 한국항해학회지, 제22권, 제3호, pp.17-25, 1998. 9.  
 [10] 임정빈, "가상현실 선박 조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장 생성(II):음장제어," 한국항해학회지, 제22권, 제3호, pp.27-34, 1989. 9.  
 [11] 임정빈, 머리전달합수 모델링에 의한 3차원 음장재생에 관한 연구, 부경대학교 박사학위논문, 1997. 2.