

船舶制御에 影響을 미치는 人間 및 情報要因에 관한 시뮬레이션 研究

具 滋 永* · 金 換 秀**

A Study on Simulation of the Human and Informational
Effect on Ship's controllability

Ja-Yeong Gu · Whan-Su Kim

〈目 次〉

Abstract	5. 實驗結果 및 分析
1. 序 論	5.1 實驗結果
2. 實驗準備	5.2 分析
3. 시뮬레이션을 위한 船舶의 數學모델	6. 結 論
4. 實驗方法 및 條件	參考文獻

Abstract

The safety of the ship manoeuver is dependent not only on the inherent characteristics of the ship itself and environmental conditions, but also on the skill and experience of the ship operator.

As the ship operator's judgement is related to his experience and skill, based on outside information, piloted controllability also depends upon the effectiveness, accuracy and reliability of various information which is obtainable from navigational equipments and aids to navigation that are available to the ship operator.

Although these factors, human factors and informational factors, have been pointed out as major factors which affect the controllability of a ship, there was no a comprehensive examination on the effect of these two factors.

In this thesis, therefore, an attempt was made to examine whether or not there is clear indication that these two factors affect the controllability of a ship in reality. Experiments were conducted using the port design simulator of the Korea Maritime University.

* 한국해양대학교 석사과정 항해학과 해사산업공학 전공

** 한국해양대학교 해사안전관리학과 부교수

From the simulations, it was found that there is no significant difference in the manoeuvring performance between students with 1 year sea experience and the navigators with 3 year's sea experience. On the other hand, it was found that there is difference in the performance of the track keeping manoeuvres of the ship operators between two cases, one in the case of a channel with 2 buoy system and the other in the case of a channel with 4 buoy system.

In addition to the above findings, results show most accurate performance in the visual scene and radar condition, compared to radar only and visual scene only condition.

1. 序 論

항만내에 새로운 부두를 건설하거나 방파제 축조, 수로의 배치 및 수로의 재조정등, 항만을 개발할 때 우선적으로 고려해야 할 요소 중의 하나가 입출항 선박의 항내 안전 操船이다. 항내 안전操船은 수로 및 항만을 이용하게 될 선박의 크기와 조종성능과 같은 선박요인, 가항수역의 크기, 바람, 조류, 파도등의 환경요인, 항로표지의 배치 및 성능과 같은 항로표지요인 그리고 操船者の 경험과 판단력등의 인간요인에 의해 결정된다.¹⁾

선박操船時 操船者는 선박과 환경조건에 대한 정보를 수집해서 선박제어를 실행하게 되므로, 조선자의 선박제어 능력을 최상으로 유지하기 위해서는 조선자에게 정보수집부담과 정보분석부담을 최대한으로 경감시켜 주어야 하며,⁹⁾ 이를 위해서는 操船者가 주어진 환경에 직면하는 순간 곧바로 操船판단이 이루어질 수 있도록 제반조건을 갖추어 주는것이 필요하다.

그리고 근래까지 발생한 해난사고의 약 75%가 연안항해 중이거나 항내조선 중 발생한 것이었으며,²⁾ 이들사고는 대부분이 항해사 혹은 선장의 판단착오나 실수에 의한 것이라는 연구보고를 비추어 볼 때 선박조종자의 기술, 즉 인간요인이 선박의 안전에 매우 중요한 요소라는 사실을 알 수 있다. 특히 SCHUFFEL은 정확한 선위의 확인과 침로의 유지가 필요한 제한수역에서는 항해사의 기술과 판단이 가장 큰 영향을 미친다고 지적하고 있다.²⁾

이와 같이 선박제어에 미치는 인간요인의 영향은 매우 크며, 조선자의 경험이나 기술에는 항로

표지요인등과 같은 외부환경으로부터 얻는 항해정보와 Radar 등과 같은 본선에 탑재된 항해장비들로부터 얻은 항해정보를 정확하게 판단하고 분석하여 이를 적절히 이용하는 것이 포함된다. 이처럼 인간요인 및 항로표지와 같은 외부정보요인이 선박제어에 미치는 영향이 매우 크다는 사실이 여러 연구보고서 등에서 지적되어진 반면 조선자의 경험이나 기술의 정도 그리고 항로표지 또는 항해장비들로부터 얻은 정보의 질과 양이 조선자의 판단과정을 거쳐 선박제어에 미치는 영향력에 대해서는 아직까지 종합적으로 연구되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 인간의 경험 및 기술이 선박의 제어에 미치는 영향과 항로표지와 레이더 그리고 시각 등을 통해서 얻는 외부정보의 질과 양이 선박의 제어에 미치는 영향에 대해 시뮬레이터를 이용하여 실험적으로 분석하여 보았다.

연구방법으로는 실험항로상에서 실험조건별 항로의 이탈량을 조사, 분석하여 前述한 각 요인들이 선박의 제어에 미치는 영향에 대해 분석하는 방법을 채택하였으며, 이를 위해 부산항내에 두개의 만곡부를 갖는 가상의 협수로항로를 만들어 시뮬레이터에 입력한 뒤 실험에 사용하였다.

먼저 인간요인이 선박제어에 미치는 영향에 대한 분석을하기 위하여 3년 정도의 해상실무 경험이 있는 항해사그룹과 1년간의 실습경험이 있는 학생그룹과의 선박조선시 실험항로상에서의 항적 이탈 차이에 관한 비교를 해보았다.

그 다음으로 외부정보요인 중 항로표지로부터 얻는 정보가 선박제어에 미치는 영향을 알아보기 위하여 항해사그룹을 대상으로 2 Buoy System과 3 Buoy System, 3 Buoy System과 4 Buoy System,

2 Buoy System과 4 Buoy System의 경우에 대한 항적이탈량을 각각 비교해본 뒤, 4 Buoy System에서 Quick Flash와 Slow Flash에 대한 각각의 항적이탈량에 대한 비교를 하였다.

또, 외부정보요인 중 항로표지로부터 얻는 정보가 선박제어에 미치는 영향을 알아보기 위해 항해사그룹을 대상으로 Radar만을 보면서 조선하는 경우와 Visual Scene만으로 항해하는 경우, Radar만 사용하는 경우와 Radar와 Visual Scene을 동시에 보면서 조선하는 경우, Visual Scene만으로 조선하는 경우와 Radar와 Visual Scene을 동시에 보며 조선할 경우에 대하여 항적이탈의 변화를 비교해 보았다.

2. 實驗準備

실험에는 한국해양대학교에 설치되어 있는 항만 설계 시뮬레이터(Port Design Simulator)를 이용하였다. 이 Simulator는 항만을 계획하여 설계하는 과정에서 부두 및 외곽시설의 평면배치와 수로의 배치등에 대한 타당성을 선박 操船 시뮬레이션 및 접·이안, 묘박, 예선(Tugboat) 훈련등을 사전에 검토하고 평가하여 필요시 계획안에 대한 수정을 할 수 있게 하는 장비이다.

전체 System은 Net Work를 구성하기 위한 16 Bit Computer를 제외하고는 On line에 6대의 32 Bit Computer, Off line에 2대의 32 Bit Computer로 구성되어 있는 데 전체 System을 제어하는 In-

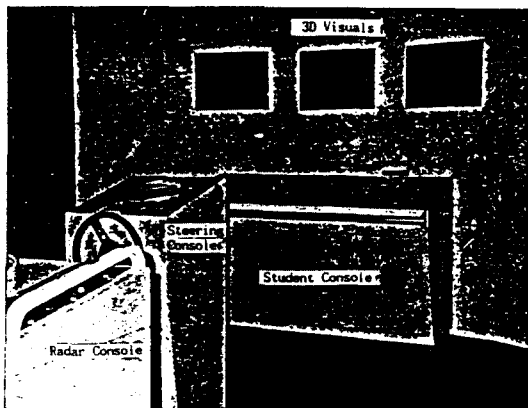


Fig. 2.1 Port Design Simulator.

structor Station에서, 수학모델이 내장된 Console Unit내의 별도의 PC에 의해 구동된 후 Main System에 전달되게 된다.

3차원 그래픽을 구현하기 위해 RISC형 32 Bit Computer 3대가 Network로 연결되어 있으며, Radar영상의 구현을 위해 별도의 RISC형 Computer가 장치되어 있다. 영상화면, Steering Console, Student Console 및 Radar Console은 Fig. 2.1과 같이 구성되어 있다.

3. 시뮬레이션을 위한 船舶의 數學모델

본 실험에서의 수학모델은 McCallum에 의해 개발된 Heuristic Type Mathematical Model을 이용했다.

3.1 방정식의 유도

1) 선박의 입력정보와 출력정보

선박의 운동을 Surge, Sway, Yaw라는 3차원의 자유운동만으로 움직이는 동력학적 System으로 보면 선박에 대한 입력정보들은 원하는 타각, D_g 와 원하는 기관, 즉 N_{PD} (Desired shaft speed, port)와 N_{SD} (Desired shaft speed, starboard)이다. 또 선수미에 Thruster가 장착된 선박인 경우에 거기에 따른 입력정보들은 B_i (Bow thruster)나 S_i (Stern thruster)등으로 표현된다.

환경에 대한 입력정보는 바람과 조류로서 바람에 대해서는 진풍향은 WW (Wind direction from)로 나타내고, 상대풍향은 North에 대한 방향을 나타낸다. 또 풍속은 W m/s로 나타낸다. 조류에 대한 입력정보의 경우 선수미에서의 속도는 C_{sb} (Current speed at bow), C_{ss} (Current speed at stern)로 그리고 방향은 각각 C_{hb} (Current heading at bow), C_{hs} (Current heading at stern)로 주어진다.

Fig. 3.1에서 보는 것과 같이 이러한 입력정보가 주어질 때 이 모델의 출력정보들은 Surge, Sway, Yaw속도에 대한 상태변수들이 되며, 이들이 적분되어서 이동거리 및 회두각이 되고 이에 따라 선박의 위치와 선수각이 변하게 된다.

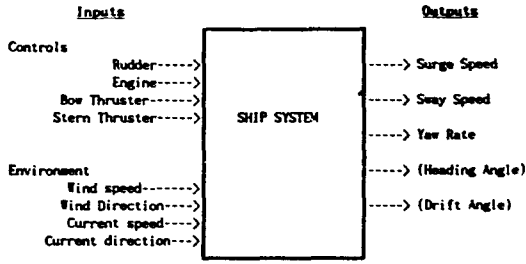


Fig. 3.1 Input and Output of the Ship manoeuvring System

2) 선박의 축과 운동속도에 대한 유체동력학적 인 표시

Fig. 3.2에서는 선박의 중앙지점으로부터 선수쪽 방향을 X축으로 하여 Ox로, 우현쪽을 Y축으로 하여 Oy로, 선저쪽 방향을 Z축으로 하여 Oz로하는 선박에 고정된 수직 직교축이 사용된다. Surge속도는 $u(m/s)$ 로 나타내고, Sway 속도는 $v(m/s)$ 로, Yaw율은 $r(rad/s)$ 로 나타낸다.

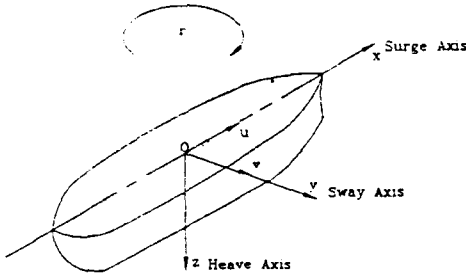


Fig. 3.2 Axis System

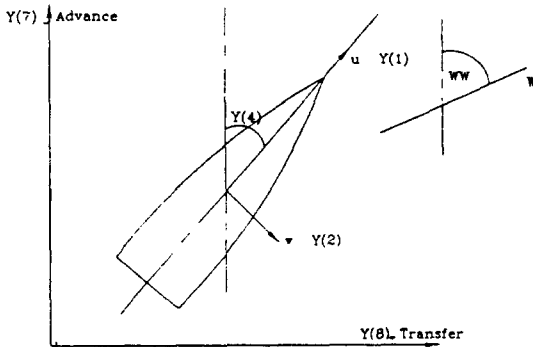


Fig. 3.3 Axis Transformation

Fig. 3.3은 선박의 중심에 고정된 축에서 지면에 고정된 좌표축을 변환하는 관계 및 풍향과 풍속에 대한 관계를 보여준다.

3.2 시스템 입력치 모델링

1) Rudder제어

Rudder제어 시스템에 대한 응답은 실제타각 R_r 과 조타기 타각 Dg 와의 차이에 따라 변한다. 실제타각과 조타기타각의 차이가 3도 이내이면 그 응답은 시간상수 $1/K(12)$ 초에 대한 지수로 나타나고, 그 밖의 시간대에 대한 응답은 $K(14)$ 각도/SEC의 속도를 가진 일차함수(직선형)로 나타난다.

$$R_r = \delta \times R_{tod} \quad (3.1)$$

$$\delta = K(14)R_{tod} \quad R_r < Dg \text{ 일 때} \quad (3.2)$$

$$\delta = -K(14)R_{tod} \quad R_r > Dg \text{ 일 때} \quad (3.3)$$

$$\delta = K(12)(Dg - R_r) / R_{tod} \quad |(Dg - R_r)| < 3\text{도 일 때} \quad (3.4)$$

여기서 R_{tod} 는 Rad값을 도(Degree)수로 변환시켜 주는 변환상수를 나타낸다.

2) 엔진

엔진응답은 $1/K(13)$ 초라는 시간상수를 가진 단순한 지수응답으로 나타난다고 가정한다.

따라서

$$N_s = K(13)(N_{sd} - N_s) \text{로 표현된다.} \quad (3.5)$$

여기서 N_{sd} 는 계획 축속도를 나타내고 N_s 는 실제 축속도를 나타낸다.

3) 선수Thruster

선수Thruster는 Fig. 3.4에서와 같이 선체의 중앙에서 선수방향으로 $0.4 \times$ 선박의 길이만큼 떨어져있는 한 점에 작용하고 가정한 것으로 $Y_{bo} N$ (뉴턴)의 크기를 갖는 힘으로 나타낸다.

선수Thruster는 선박의 속력이 0인 상태에서는 설계마력 전체의 크기로 선체에 작용을 하지만 선속이 증가 할수록 그 효력은 떨어지게 된다. 선속이 $2m/s$ 이상이 되면 Thruster의 효력이 없어진다는 것을 가정할 때 다음식 (3.6), (3.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{bt} = Y_{bto} \times B_t \times (u-2)/2 \quad u \leq 2 \text{ 일 경우} \quad (3.6)$$

$$Y_{bt} = 0 \quad u > 2 \text{ 일 때} \quad (3.7)$$

여기서 Y_{bt} 는 선수Thruster의 작용력의 크기를, Y_{bto} 는 선수Thruster의 최대작용력의 크기를, B_t 는 선수Thruster의 제어의 크기를 각각 나타낸다.

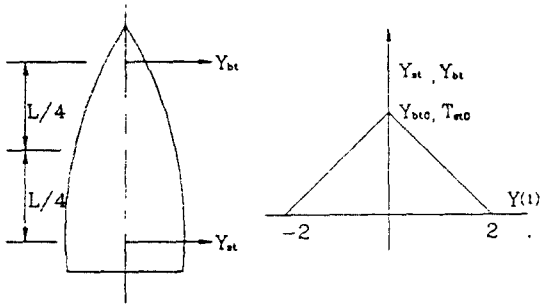


Fig. 3.4 Bow and Stern Thruster Behaviour

선수Thruster의 제어 B_t 는 시뮬레이션이 실행되는 동안 운항자의 조종에 따라 수정될 수 있는 변수이다. 우현으로 최대로 미는 추진력의 값을 +1로 하고, 좌현으로 최대로 미는 추진력의 값을 -1로 준다.

3.3 유체동력학적 변수들의 정상상태 값의 표현

Surge속도(u), Sway속도(v) 그리고 회두각속도(r)등 주요변수들을 계산하는 방법은 입력정보 상태에 따른 각각의 정상상태 값을 정한 다음, 새로운 값을 얻기 위한 각 변수에 대한 일차미분방정식을 구하는 것이다.

정상상태 값들은 다음과 같이 구할 수 있다.

1) 정상상태에서의 Surge속도(U_{ss})

선박의 정상상태에서의 Surge속도(U_{ss})는 선박 엔진의 실제 Shaft속도에 비례한다. 또 선박이 선회하고 있는 동안에는 회두각속도의 제공에 비례하는 속력의 손실이 있게 된다. 선박이 후진할 때 Surge속도는 주어진 Shaft속도에 비해 떨어지는데, 그 이유는 선박이 후진하는 경우에는 선체의 끌림이 더 크기 때문이다. 그러나 선회하는 동안의

Surge속력손실은 거의 같은 비율로 나타난다고 가정할 수 있다.

따라서 정상상태에서의 Surge속도(U_{ss})는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U_{ss} = K(4)N_s - K(5)ur^2 \quad u \geq 0 \text{ 일 때} \quad (3.8)$$

$$U_{ss} = K(8)K(4)N_s - K(5)ur^2 \quad u < 0 \text{ 일 때} \quad (3.9)$$

2) 정상상태에서의 회두각속도(R_{ss})

정상상태에서의 회두각속도(R_{ss})는 타각에 직접적인 영향을 받는다. 대부분 선박의 경우 이 부분은 매우 비선형적인 것으로 알려져 있다. 현재의 방정식에서는 각 선박의 비선형에 대한 적절한 값을 주기위해 이를 지수관계로 나타낸다.

따라서 다음과 같이 표현된다.

$$R_{ss} = K(2)\delta^{K(27)} + \beta \quad (3.10)$$

상선의 경우 멱지수 $K(27)$ 은 일반적으로 0.3과 0.7사이의 값을 취하고, 정상상태와 관련된 조타특징은 Fig. 3.5와 같다. 정상상태에서의 회두각속도(R_{ss})는 선박의 속력에도 영향을 받는다. 선속이 0인 상태에서 타는 효력이 없다. 따라서 저속에서 적절한 타효를 주고, 고속에서는 거기에 상응하는 값으로 증가시켜주기 위한 가중치 $W(u)$ 가 사용된다.

그 가중치는 다음식(3.11)과 같다.

$$W(u) = \sqrt{\frac{|U|}{K(9)}} \quad (3.11)$$

추진기의 회전영향도 정상상태에서의 회두각속도에 영향을 준다. 오른쪽으로 회전하는 단추진기 선박의 경우 추진기가 오른쪽으로 회전할 때 추진기의 축력은 선박을 좌현쪽으로 회전시키는 영향을 준다.

이러한 선회효과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = K(3)(u - K(4)N_s) \quad (3.12)$$

따라서 정상상태의 회두각속도는 다음과 같이 표현된다.

$$R_{ss} = K(2)\delta^{K(27)}W(u) + K(3)(u - K(4)N_s) \quad (3.13)$$

3) 정상상태에서의 Sway속도(V_{ss})

환경조건과 Thruster의 영향이 없을 경우 Sway는 단지 선박의 선회에 의해서만 영향을 받는다. 대수속력이 없는 상태에서 선회를 할 경우에는 Sway현상은 없다.

그래서 정상상태의 Sway속도는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{ss} = K(7) \cdot r \cdot W(u) \quad (3.14)$$

3.4 기본 선박운동방정식

기본적인 선박운동방정식은 다음과 같이 유도된다.

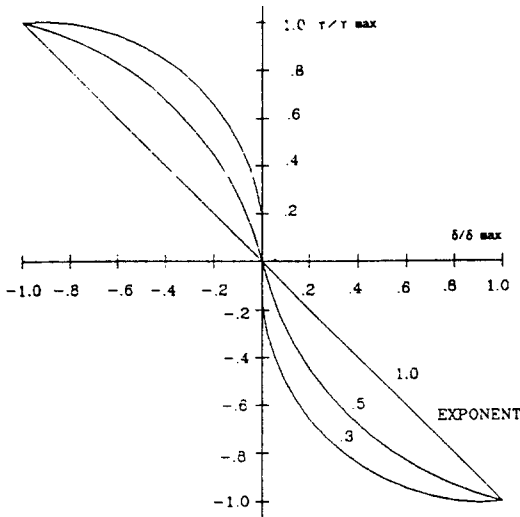


Fig. 3.5 Steady State Steering Characteristics

1) Surge속도

Surge속도에 대한 시간상수는 $K(6)$ 이다. 이 시간상수는 여러가지 경우에 따라 서로 다른 조건으로 수정될 필요가 있다. 선박의 속력이 떨어질 때에는 대부분의 선박의 경우 큰 시간상수를 가진다.

본 운동방정식에서는 감속시의 시간상수변화를 고려하기 위하여 상수 $K(10)$ 을 도입 하였다. 선박이 선회할 때에는 Drift Angle이 증가하면서 저항수면에 접하는 선체의 측면면적이 넓어지고 이에 따라 선박의 속력이 빠르게 감소하게 된다. u 에

관한 시간상수를 Drift Angle의 증가에 따라 감소시키기 위하여 변수 T_c 가 도입되었다.

$$T_c = (1 - K(11) |\alpha|) \quad (3.15)$$

$T_c > 0.4$ 라는 제한조건하에 Surge가속도 $d1$ 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d1 = (U_{ss} - Y(1)) / (K(6) T_c) \quad Y(1) \leq U_{ss} \text{ 일 때} \quad (3.16)$$

$$d1 = (U_{ss} - Y(1)) / (K(10) K(6) T_c) \quad Y(1) > U_{ss} \text{ 일 때} \quad (3.17)$$

여기서 $Y(1)$ 은 u 에 해당되는 Surge속도를 나타낸다.

2) Sway속도

Sway가속도 $d2$ 를 정상상태의 Sway값과 실제 Sway값을 사용하여 표현하면 다음과 같이 된다.

$$d2 = (V_{ss} - Y(2)) / K(19) \quad (3.18)$$

여기서 $d2$ 는 SWAY가속도를, $Y(2)$ 는 v 에 해당되는 실제 Sway속도를 각각 나타낸다.

3) 회두각속도(Yaw Rate)

타에 대한 선박의 응답은 선박의 운동방향과 Shaft의 회전방향에 따라 변한다. 이것은 아래 일차방정식의 R_{ss} 에 대한 승수에 반영된다.

회두각속도 $d3$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$d3 = (R_{ss} - Y(3)) / K(1) \quad Y(1) \geq 0, N_s \geq 0 \text{ 일 때} \quad (3.19)$$

$$d3 = (-R_{ss}/2 - Y(3)) / K(1) \quad Y(1) < 0, N_s < 0 \text{ 일 때} \quad (3.20)$$

$$d3 = (R_{ss}/2 - Y(3)) / K(1) \quad \text{그 밖의 조건일 경우} \quad (3.21)$$

여기서 $Y(3)$ 는 실제 Yaw Rate를 말한다.

3.5 환경변수의 모델링

1) 바람

바람이 선체에 작용하는 힘은 바람의 세기의 제곱에 비례한다고 가정한다. 풍향은 선체의 중심선을 기준으로 분석할 수 있고 O_x 와 O_y 에 대한 결

과적인 속도를 계산할 수가 있다. 바람으로 인한 선회효과는 수면상의 선체구조물의 크기와 위치에 따라 달라진다.

선미에 거주구역이 있는 선박들은 바람의 영향으로 풍상측으로 선수가 선회하는 경향을 띠게 되고, 반면에 선체의 중앙부에 거주구역이 있는 선박이나 건현을 높게 가진 선박은 선회하는 것이 아니라 풍하측으로 표류하는 경향을 띠게 된다. Fig. 3.6에서는 바람계산에 관련된 변수들을 보여준다.

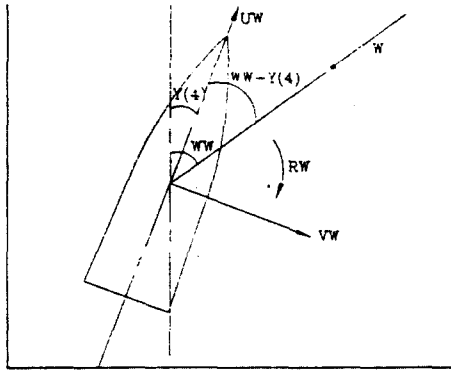


Fig. 3.6 Wind Nomenclature.

바람에 관한 영향은 다음과 같이 표현된다.

$$W_A = K(64) \times |\sin W| + K(65) \times |\cos W| \quad (3.22)$$

$$W_L = K(62) \times K(64) \times W_s^2 \times \sin 2W \quad (3.23)$$

$$W_D = K(63) \times W_s^2 \times W_A \quad (3.24)$$

$$UW = W_L \times \sin W - W_D \cos W \quad (3.25)$$

$$VW = -W_L \times \cos W - W_D \sin W \quad (3.26)$$

$$RW = K(66) \times VW \quad (3.27)$$

여기서 UW, VW, 그리고 RW는 선박운동방정식에 바로 부각되어 사용된다.

2) 조류

선수와 선미에서 정상상태에 대한 조류속도를 계산하기 위한 과정은 Fig. 3.7에서 나타나 있는 것처럼 지축(地軸)에 대한 속도를 선박 관련속도로 변환하여 입력하는 과정 중의 하나이다. 조류는 선체 중심선상에서 선수 및 선미에서 각각 선체길이의 1/4에 해당하는 지점에 작용하는 것으로 가정한다.

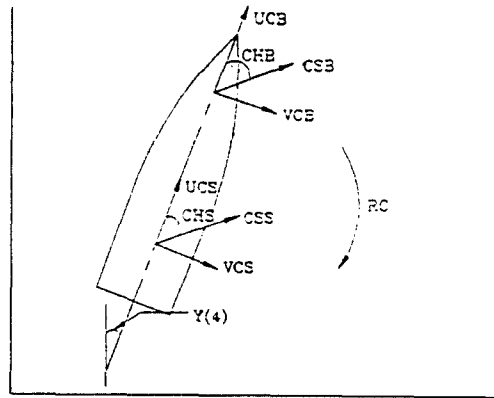


Fig. 3.7 Current Nomenclature

일반적으로 연산에 대한 입력치를 얻기 위해서는 조류에 대한 Database를 만들어 주는 것이 필요하다. 입력된 속도들은 각각에 대한 값을 반복해서 읽어들이어 결과적으로 영향을 주는 조류로 계산된다.

Ox 와 Oy에 영향을 주는 전체조류의 영향은 선수, 선미 전체에 영향을 주는 그 합으로 얻고, 조류로 인한 선회효과는 선체길이의 1/4, 즉 K(52)/4인 지렛대의 축부분에 작용하는 Sway 조류들의 차이로 계산할 수 있다.

조류의 영향은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$UCB = K(54) \times \cos CHB \times K(55) \times CSB \times K(83) \quad (3.28)$$

$$VCB = 0.5 + K(52) \times \sin CHB \times K(55) \times CSB \times K(83) \quad (3.29)$$

$$UCS = K(54) \times \cos CHS \times K(56) \times CSS \times K(84) \quad (3.30)$$

$$VCS = 0.5 \times K(52) \times \sin CHS \times K(56) \times CSS \times K(84) \quad (3.31)$$

선박운동방정식에서 부가된 조류의 영향은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$UC = (UCS + UCB) \quad (3.32)$$

$$VC = (VCS + VCB) \quad (3.33)$$

$$RC = (VCB - VCS) \times K(52) / 4 \quad (3.34)$$

3.6 선박운동방정식

최종적인 선박운동방정식은 기본적인 선박운동 방정식 $d1$, $d2$, $d3$ 에 바람 및 조류에 의한 영향을 가산하여 구성된다. Surge, Sway속도 및 Yaw Rate는 다음과 같이 표현되며 이들 값을 적분하면 선수 및 횡방향의 이동거리 및 회두각이 계산되어 다음번 위치 및 Heading이 계산되게 된다. 적분은 Euler적분법을 이용한다.

$$d1 = \int_0^t (d1 + U_w/K(23) + U_c/K(16)) dt \quad (3.35)$$

$$d2 = \int_0^t (d2 + V_w/K(24) + V_c/K(17)) dt \quad (3.36)$$

$$d3 = \int_0^t (d3 + R_w/K(25) + R_c/K(18)) dt \quad (3.37)$$

4. 實驗條件 및 方法

4.1 實驗對象船舶

본 Port Design Simulator에 내장된 선박모델 중에서 가장 일반적이라 할 수 있는 공선상태의 DWT 80,000톤급 Bulk선을 대상선박으로 선정하여 실험하였다. 선박제원은 Table 4.1과 같다.¹⁵⁾

Table 4.1 Specification of the Modelled Ship used for the Experiment.

1) 배수량(Displacement)	80,000tons	2) 수선간장(L. B. P)	217m
3) 폭(B)	45m	4) 흘수(F)	5.3m
5) 흘수(A)	8.6m	6) 깊이(D)	11m
7) 최대속력(AHD)	17.2kts	8) 최대속력(ASTRN)	11.6kts
9) 선회중거(Advance)	434m	10) 선회횡거(Transfer)	55m
11) 선회경(Tactical Diameter)	361m	12) Type of engines	SSD
13) Number of shafts	1	14) Max shaft speed(AHD)	78rpm
15) Max shaft speed(ASTRN)	55rpm	16) Type of propellers	Fixed
17) Time for rudder, P to S	26sec	18) 최대타각	35도

4.2 航路條件

1) 항로의 형태

Fig. 4.1과 같이 출발지점에서 초기침로를 263도로 출발하여 1,100m 항해를 하여 첫번째 turn을 실행하고 307도로 변침하여 2,812m 항해를 한 후 두번째 turn을 실행한 다음 273도로 변침하여 1,200m 항해하면 실험이 끝나도록 했다.⁷⁾

2) 항로의 수심

항로 및 주위의 모든 수심을 실험대상 선박의 흘수에 충분한 수심인 18m로 했다.

3) 항로의 폭

이 실험에서는 Fig. 4.1에서와 같이 항로의 폭을 195m(600 feet)로 했다.

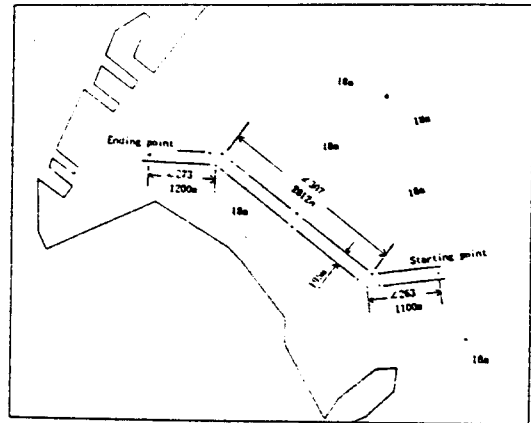


Fig. 4.1 Arrangement of the Channel for Experiment.

4.3 環境 및 航路標識條件

4.3.1 環境條件

1) 풍향과 풍속 및 조류의 방향과 속도

시뮬레이션 실험참여자들의 해상경험이 많지않고 또 이 실험에서의 커다란 의미가 없다고 판단하여 입력하지 않았다.

2) 시 정

이 Simulator에서 이용가능한 시정정도는 수치로 0-9까지 있으며, 여기서 "0"는 맑은날 밤의 자정정도를 나타내며 "9"는 맑은날의 정오정도를 나타낸다. 본 실험에서는 주간 실험의 경우에는 "9"를 선정하여 실험을 하였고 야간의 경우에는 "2"를 선정하여 실험하였다.

4.3.2 航路標識條件

1) 종류

일반적으로 해상에 설치되는 Flashing Buoy를 선정하여 좌현은 Red, 우현은 Green색으로 표시했다.

2) 특징

주간의 경우는 좌,우현 고유의 색으로 Buoy를 식별할 수 있도록 했고, 야간의 경우에는 실험목적에 따라 주기가 0.5초인 Quick Flash와 주기가 4.0초인 Slow Flash로 구분하였다. 또 불빛(Flash)도 좌현에는 Red Light를, 우현에는 Green Light를 각각 설치했다.

3) 위치

각 Buoy의 위치는 Fig. 4.1과 같이 오른쪽으로 turn할 경우에는 항로의 우측 한계선 굴곡 지점에 Turning Buoy를 설치하고 항로의 좌측 한계선에 경계 Buoy를 설치 했고, 좌현쪽으로 turn할 경우에는 그 반대로 설치 했다. 그리고 중심항로의 경우는 항로의 길이가 약 1.5 Nautical Miles(2,812 m)인 관계로 첫번째 turn지점과 두번째 turn 지점의 중간에 항로 경계Buoy를 설치했다.

4.4 實驗方法

이 실험에서는 시뮬레이션 실험참여자를 두 그룹으로 나누었다. 그중 한 그룹은 해기사를 목적으로 교육을 받고 있으며, 1년간의 승선실습 경험이 있는 한국해양대학교 해사대학 4학년 학생으로

구성되었고, 다른 한 그룹은 4년간(6개월의 실습 기간 포함) 해기사 교육을 받고 3년정도의 해상 실무경력을 가진 2~3급 해기사들로 구성되었다. 이들 두 집단 모두 Simulation의 경험이 없어 2~3회 정도의 연습을 실행한 후 실제 Simulation에 임하게 했다.

먼저 인간요인이 선박제어에 미치는 영향을 검증하기 위해 각 그룹별로 인원을 각각 선정하여 항해사그룹은 7명이 총 57회의 실험에 임했으며, 학생그룹은 5명이 총 50회의 실험에 임했다.

전체 실험횟수 가운데는 외부정보요인 중 항로 표지로부터 얻는 정보가 선박의 제어에 미치는 영향을 알아보기위한 실험과 레이더로부터 얻는정보와 시각으로부터 얻는정보와의 차이를 분석하기위한 실험 및 항로표지의 질적인 면을 분석하기위한 Quick Flash와 Slow Flash에대한 실험도 포함되어 있다.

그 구체적인 방법으로는 항해사그룹이 2 Buoy, 3 Buoy, 4 Buoy System에 대해서 각각 14회씩의 실험을, Quick Flash와 Slow Flash에 대해 각각 5회씩의 실험에 임했고, 또 Radar만으로 항해할 경우와 Visual Scene만으로 항해할 경우, 그리고 Radar와 Visual을 동시에 보면서 항해를 할 경우에 대해 각각 5회씩 실험하였다.

5. 實驗結果와 分析

5.1 實驗結果

시뮬레이션한 대표적인 결과는 Table 5.1과 Fig. 5.1과 같다. 이러한 결과를 분석하기 위해서는 선박이 항해한 항적과 항로중심선이 이루는 부분의 면적을 구해야 한다.

항로이탈면적을 구하기 위해 본 논문에서는 매 20초마다 선박이 이동한 위치에 대한 X, Y좌표 값을 이용하고, 각 항로의 중심선에 대한 함수에서 한 지점에서의 X좌표 값으로 항로중심선상의 Y값을 계산하여 선박이 20초간 이동한 거리를 직선으로 간주, 각 구간의 사다리꼴 면적을 구한 뒤 이들을 합하여 전체의 면적을 구했다.

Table 5.1 Results of the Simulated Run-Area between Desired Course and Simulated Track

Input data : X, Y(mm) AND Calculated Y-coordinate											
1	6437.0	2419.0	2419.0	2	6367.0	2418.0	2418.0	3	6291.0	2416.0	2416.0
4	6210.0	2411.0	2411.0	5	6124.0	2402.0	2402.0	6	6032.0	2390.0	2390.0
7	5938.0	2377.0	2377.0	8	5836.0	2363.0	2347.6	9	5650.0	2331.0	2327.9
10	5563.0	2324.0	2318.7	11	5472.0	2331.0	2308.0	12	5382.0	2342.0	2375.5
13	5294.0	2357.0	2441.5	14	5209.0	2385.0	2505.3	15	5126.0	2428.0	2567.5
16	5045.0	2478.0	2628.3	17	4962.0	2536.0	2690.5	18	4877.0	2598.0	2754.3
19	4788.0	2665.0	2821.0	20	4700.0	2733.0	2887.0	21	4608.0	2804.0	2956.0
22	4516.0	2880.0	3025.0	23	4423.0	2960.0	3094.8	24	4328.0	3043.0	3166.0
25	4231.0	3129.0	3238.8	26	4132.0	3217.0	3313.0	27	4032.0	3307.0	3388.0
28	3931.0	3398.0	3463.8	29	3826.0	3493.0	3542.5	30	3723.0	3587.0	3619.8
31	3616.0	3684.0	3700.0	32	3509.0	3781.0	3780.3	33	3400.0	3881.0	3862.0
34	3317.0	3964.0	3924.3	35	3255.0	4022.0	3970.8	36	3184.0	4065.0	3992.4
37	3105.0	4087.0	3997.4	38	3020.0	4096.0	4002.7				
Area of Each segment(cm ²)											
1	.0	2	.0	3	.0	4	.0	5	.0		
6	.0	7	.1	8	.2	9	.0	10	.1		
11	.3	12	.5	13	.9	14	1.1	15	1.2		
16	1.3	17	1.3	18	1.4	19	1.4	20	1.4		
21	1.4	22	1.3	23	1.2	24	1.1	25	1.0		
26	.9	27	.7	28	.6	29	.4	30	.3		
31	.1	32	.1	33	.2	34	.3	35	.4		
36	.6	37	.8	38	.0						
Total Area=22.5924000cm ²											

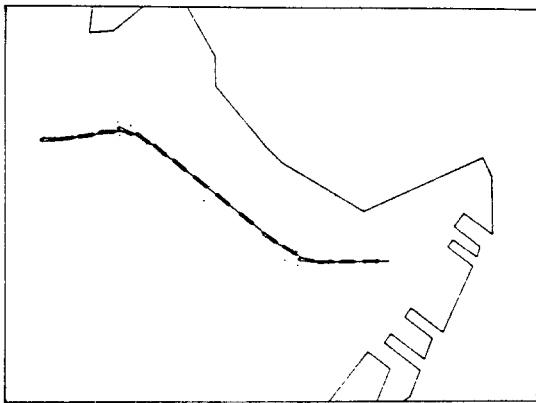


Fig. 5.1 Sample of Simulated Run

5.2 分析

5.2.1 항해사그룹과 학생그룹에 대한 비교 분석

이 실험은 선박이 굴곡지점을 항해할 때 학생그룹과 항해사그룹간의 실행程度에 대한 실험을 한 것으로 그 결과의 Data와 분석 결과는 Table 5.2, 5.3과 같다.

이 실험결과를 유의수준 5%에서 검정하기 위해 다음과 같은 방법을 이용한다. 두 모집단의 평균 차에 대한 검정은 두 모집단의 평균 간의 차이가 있는지 없는지를 검정하는 것이므로 가설은 다음과 같이 설정된다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

Table 5.2 Simulated Results of Navigator Group and Its Statistics.

```

Data List Free/X1.
VAR LAB X1 'Area of A Group'.
Begin Data.
18.2  15.7  07.2  17.5  29.1  11.1
21.5  28.3  27.5  12.0  23.0  18.9
32.1  21.2  46.4  19.2  25.5  16.1
18.7  26.3  70.7  18.6  16.2  39.8
12.2  74.6  12.0  16.6  18.3  22.9
14.6  43.3  23.2  19.8  27.9
12.3  29.1  20.2  22.6  24.8
20.6  27.2  12.1  42.6  21.6
17.5  15.6  19.3  19.1  24.6
28.8
End Data.
Set List='D : /11.LIS'.
Frequencies X1/Statistics=A11.
Mean          24.004  Std Err          1.809  Median          20.600
Mode          12.000  Std Dev          12.921  Variance         166.961
Kurtosis       6.627  S E Kurt          .656  Skewness         2.322
S E Kew        .333  Range           67.400  Minimum          7.200
Maximum       74.600  Sum             1224.200
Valid Cases    51      Missing Cases    0
    
```

이러한 가설이 결정되면 판정기준을 결정하기 위한 검정통계량을 선정해야 한다. 여기서 표본평균의 차 $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ 는 모평균의 차 $\mu_1 - \mu_2$ 의 不偏 추정량이므로 두 모집단의 평균차 $\mu_1 - \mu_2$ 에 대한 검정에서는 표본평균의 차 $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ 가 검정통계량이 된다. 따라서 검정통계량을 알게 되면 그 확률분포를 이용하여 두 모집단의 평균차 $\mu_1 - \mu_2$ 에 대한 검정을 할 수 있다.

평균이 각각 μ_1, μ_2 , 분산이 각각 σ_1^2, σ_2^2 인 두 모집단에서 각각 독립적으로 추출한 크기 n_1, n_2 인 표본의 평균이 \bar{X}_1, \bar{X}_2 인 경우에 두 표본평균의 차 $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ 의 분포는 n_1, n_2 가 모두 30이상인 표본이면 두 모집단의 분포형태와 관계없이 평균 $\mu \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = \mu_1 - \mu_2$, 분산 $\sigma^2 \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$ 인 정규분포를 갖게 되므로

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \text{인 정규분포를 이룬다.}$$

이 Z를 검정통계량으로 사용하게 된다. 그래서 유의수준 이 α 로 주어지면 Fig. 5.2와 같이 검정통계량분포 양 끝부분의 기각역에 속하는 면적이 각각 $\alpha/2$ 가 되도록 검정의 임계치 $Z_{\alpha/2}$ 와 $-Z_{\alpha/2}$ 가 정해진다. 여기서 $Z > Z_{\alpha/2}$ 혹은 $Z < -Z_{\alpha/2}$ 이면 귀무가설을 기각하고, $-Z_{\alpha/2} \leq Z \leq Z_{\alpha/2}$ 이면 귀무가설을 채택하게 된다.

이러한 방법을 기초로 제1그룹과 제2그룹 간의 실험결과를 유의수준 5%에서 검정하여 $\alpha=0.05$ 에 대한 값($\alpha-\alpha/2$)을 정규분포표에서 읽으면 임계치 $\pm Z_{\alpha/2} = \pm 1.96$ 이다. 따라서 $\pm Z_{\alpha/2} = \pm 1.96$ 이

Table 5.3 Simulated Results of Student Group and Its Statistics.

Data List Free/X1.					
VAR LAB X1 'Area of A Group'.					
Begin Data.					
04.3	20.6	75.4	19.3	32.0	
09.3	20.7	86.1	20.8	32.1	
15.9	21.6	06.3	22.2	34.3	
16.1	24.0	07.3	22.7	40.8	
17.9	26.2	08.4	23.2	46.3	
23.4	27.8	13.0	34.6	10.5	
24.9	28.2	15.6	36.1	13.7	
27.8	42.6	18.0	43.1	15.1	
30.8	44.2	20.2	64.1	15.2	
End Data.					
Set List = 'D : 12.LIS'.					
Frequencies X1/Statistics = A11.					
Mean	26.727	Std Err	2.525	Median	22.700
Mode	27.800	Std Dev	16.937	Variance	286.581
Kurtosis	3.568	S E Kurt	.965	Skewness	1.690
S E Skew	.354	Range	81.800	Minimum	4.300
Maximum	86.100	Sum	1202.700		
Valid Cases	45	Missing Cases	0		

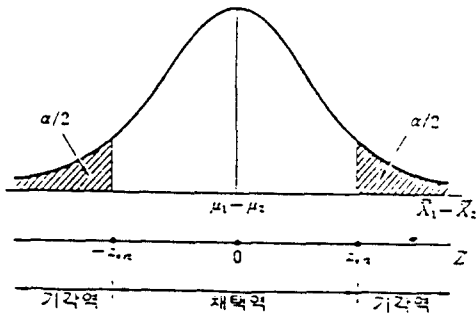


Fig. 5.2 Critical Regions for Two-Tailed Test.

므로 귀무가설 H_0 의 기각역은 $Z > 1.96$, $Z < -1.96$ 이고 채택역은 $-1.96 < Z < 1.96$ 이다. 그리고 Table 5.2, 5.3에서 $N_1=51$, $N_2=45$, $\bar{X}_1=24.00$, $\bar{X}_2=26.73$, $\sigma_1=12.921$, $\sigma_2=16.94$ 에 대한 Z값은 다음과 같이 계산된다.

$$Z = \frac{(26.73 - 24.00) - 0}{\sqrt{\frac{166.961}{51} + \frac{286.851}{45}}} = \frac{2.73}{3.1} = 0.88$$

Z값이 귀무가설의 채택영역인 $-1.96 \leq Z \leq 1.96$ 에 포함되므로 귀무가설이 채택된다. 따라서 항해사그룹과 학생그룹간의 항로이탈면적의 차이는 없다고 볼 수 있다.

5.2.2 2 Buoy System과 3 Buoy System에 대한 비교 분석

이 실험은 선박이 굴곡지점을 향해할 때 그 지역에 설치되어 있는 항로표지 System이 2 Buoy일 경우와 3 Buoy일 경우에 대한 실험을 한 것으로 그 결과 Data와 분석결과는 Table 5.4, 5.5와 같다.

이 실험결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서

Table 5.4 Simulated Results of 2 Buoy and 3 Buoy Test

```

Data List Free/Source BUOYTWTH
VAL Label Source 1 'TWOBUOY' 2 'THREEBUOY'.
Begin Data.
1 12.1 1 24.8 2 43.3
2 12.0 2 27.7 1 21.6
1 16.1 1 25.5 2 20.2
2 12.1 2 28.3 1 22.9
1 16.2 1 27.9 2 21.2
2 15.6 2 29.1 1 23.0
1 18.3 1 28.8 2 23.2
2 15.7 2 29.1 1 24.6
2 19.3
End Data.
Set List= 'D\8.LIS'
T-Test Group=Source(1, 2)/Variable=BUOYTWTH.
    
```

Table 5.5 Results of T-Test in case of 2 Buoy and 3 Buoy Test

T-Test for : BUOYTWTH							
		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		14	22.8929	6.824	1.824		
Group 2		14	23.0786	8.413	2.249		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2-Tail	T	Degrees of	2-Tail	T	Degrees of	2-Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
1.52	.460	.06	26	.949	.06	24.94	.949

검정하여 보면, Table 5.5에서 두 집단의 분산비인 F값(1.52)이 유의수준과 두 집단의 자유도(26)에 대한 T분포표상의 임계치(-2.0555 ≤ T ≤ +2.0555)에 대해 채택영역에 해당되기 때문에 공동분산측정(Pooled Variance Separate)란의 값으로 검정한다.

여기서 유의도가 0.949로 검정유의수준인 0.05보다 훨씬 크므로 대립가설이 기각된다. 따라서 Turn지점에서의 항로표지 System이 2 Buoy일 때 항해하는 경우와 3 Buoy일 때 항해하는 경우는 항로이탈면적평균에서 통계적인 차이가 있다고 볼 수 없다.

5.2.3 3 Buoy System과 4 Buoy System에 대한 비교 분석

이 실험은 선박이 굴곡지점을 항해할 때 그 지역에 설치되어 있는 항로표지System이 3 Buoy일 경우와 4 Buoy일 경우에 대한 실험을 한 것으로 그 결과 Data와 분석결과는 Table 5.6, 5.7과 같다.

이 실험결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서 검정하여 보면, Table 5.7에서 두 집단의 분산비인 F값(5.07)이 유의수준과 두 집단의 자유도(26)에 대한 T분포표상의 임계치(-2.0555 ≤ T ≤ +2.0555)에 대해 기각영역에 해당되기 때문에 단독분산측

Table 5.6 Simulated Results of 3 Buoy and 4 Buoy Test

```

Data List Free/Source BUOYTHFO
VAL Label Source 1 'THREEDUOY' 2 'FOURBUOY'.
1 12.0 1 27.7 2 14.6
2 07.2 2 18.7 1 20.2
1 12.1 1 28.3 2 16.6
2 12.0 2 18.6 1 21.2
1 15.6 1 29.1 2 17.5
2 12.2 2 19.1 1 23.2
1 19.3 1 43.3 2 18.2
2 19.8
End Data
Set List='D:\9.LIS'.
T-Test Group=Source(1, 2)/Varianle=BUOYTHFO.
    
```

Table 5.7 Results of T-Test in case of 3 Buoy and 4 Buoy Test

		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		14	23.0786	8.413	2.249		
Group 2		14	15.9643	3.737	.999		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
5.07	.006	2.89	26	.008	2.89	17.94	.010

정(Separate Variance Estimate)란의 값으로 검정한다.

여기서는 유의도가 0.010으로 검정유의수준인 0.05보다 작으므로 대립가설이 채택된다. 따라서 Turn지점에서의 항로표지System이 3 Buoy일 때 항해하는 경우와 4 Buoy일 때 항해하는 경우에 대한 비교에서는 항로이탈면적평균으로 볼 때 통계적으로 차이가 있다고 볼 수 있다.

5.2.4 2 Buoy System과 4 Buoy System에 대한 비교 분석

이 실험은 선박이 굴곡지점을 항해할 때 그 지역에 설치되어 있는 항로표지System이 2 Buoy일 경우와 4 Buoy일 경우에 대한 실험을 한 것으로 그 결과Data와 분석결과는 Table 5.8, 5.9와 같다.

이 실험결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서 검정하여 보면, Table 5.9에서 두 집단의 분산비인 F값(3.33)이 유의수준과 두 집단의 자유도(26)에 대한 T분포표상의 임계치($-2.0555 \leq T \leq +2.0555$)에 대해 기각영역에 해당되기 때문에 단독분산측정(Separate Variance Estimate)란의 값으로 검정한다.

여기서는 유의도가 0.003으로 검정유의수준인 0.05보다 작으므로 대립가설이 채택된다. 따라서 Turn지점에서의 항로표지System이 2 Buoy일 때 항해하는 경우와 4 Buoy일 때 항해하는 경우는 항로이탈면적평균에서 볼 때 통계적인 차이가 있다고 할 수 있다.

Table 5.8 Simulated Results of 2 Buoy and 4 Buoy Test

```

Data List Free/Source BUOYTHFO
VAL Label Source 1 'THREEDUOY' 2 'FOURBUOY'.
Begin Data.
1 12.1 2 16.6 1 24.8
2 12.0 1 21.6 2 18.6
1 16.1 2 17.5 1 25.5
2 12.2 1 22.9 2 19.1
1 16.2 2 17.5 1 27.9
2 12.3 1 23.0 2 19.2
1 18.6 2 18.2 1 28.8
2 14.6 1 24.6 2 19.8
1 18.9 2 18.7 1 39.8
2 07.2
End Data
Set List='D:\10.LIS'.
T-Test Group=Source(1, 2)/Varianle=BUOYTHFO.
    
```

Table 5.9 Results of T-Test in case of 2 Buoy and 4 Buoy Test

T-Test for : BUOYTWTH							
		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		14	22.8929	6.824	1.824		
Group 2		14	15.9643	3.737	.999		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
3.33	.038	3.33	26	.003	3.33	20.15	.003

5.2.5 Quick Flash와 Slow Flash에 대한 비교 분석

이 실험은 선박이 야간에 굴곡지점을 향해할 때 그곳에 설치되어 있는 Buoy(4 Buoy System)의 Flashing이 Quick일 경우와 Slow일 경우에 대한 실험을 한 것으로 그 결과 Data와 분석결과는 Table 5.10, 5.11와 같다.

이 실험결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서 검정하여 보면, Table 5.11에서 두 집단의 분산비인 F값(2.69)이 유의수준과 두 집단의 자유도(8)

에 대한 T 분포표상의 임계치($-2.3060 \leq T \leq +2.3060$)에 대해 기각영역에 해당되기 때문에 단독분산추정(Separate Variance Estimate)란의 값으로 검정한다.

여기서 유의도가 0.115로 나타나 검정유의수준인 0.05보다 훨씬 크므로 대립가설이 기각되고 귀무가설이 채택된다. 따라서 Turn지점을 향해할 때 Buoy의 Flashing이 Quick일 경우와 Slow일 경우에 대한 검정에서는 항로이탈면적평균으로 볼 때 통계적인 차이가 없다고 할 수 있다.

Table 5.10 Simulated Results of Quick Flash and Slow Flash Test

```

Data List Free/Source BUOYTHFO
VAL Label Source 1 'SLOW FLASH' 2 'QUICK FLASH'.
1 18.0 2 13.0
1 26.2 2 20.2
1 20.7 2 28.3
1 21.6 2 16.9
1 27.5 2 19.1
End Data
Set List = 'D : \4.LIS'.
T-Test Group = Source(1, 2)/Varianle = FLASHING.
    
```

Table 5.11 Results of T-Test in case of Quick Flash and Slow Flash Test

T-Test for : Flashing							
		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		5	24.8000	3.411	1.525		
Group 2		5	19.4800	5.598	2.503		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
2.69	.360	1.81	8	.107	1.81	6.61	.115

5.2.6 Radar 와 Visual Scene에 대한 비교 분석 이 실험은 어떤 원인에 의해 Radar가 고장이 나서 외부물체만 보면서 항해를 해야 하는 경우와 갑자기 시정이 제한되어 Radar만 보고 항해를 해야만 할 경우를 가정해서 실험한 것으로 그 결과 Data와 분석결과는 Table 5.12, 5.13과 같다.

이 결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서 검정하여 보면, Table 5.13에서 두 집단의 분산비인 F값(13.41)이 유의수준과 두 집단의 자유도(8)에

대한 T 분포상의 임계치($-2.30 \leq T \leq +2.30$)에 대해 기각영역에 해당되므로 단독분산측정(Separate Variance Estimate)란의 값으로 검정을 한다.

여기서 유의도는 0.904로 유의수준인 0.05보다 훨씬 크기 때문에 대립가설이 기각된다. 따라서 Radar만 보면서 항해할 경우와 Visual Scene만으로 항해를 할 경우에 대한 검정에서는 항로이탈면 적평균으로 볼 때 통계적인 차이가 없다고 할 수 있다.

Table 5.12 Simulated Results of Radar only and Visual Scene only Test

```

Data List Free/Source RADVIS
VAL Label Source 1 'VISUAL' 2 'RADAR'.
1 22.7 2 27.8
1 23.2 2 30.8
1 34.6 2 32.0
1 36.1 2 31.1
1 43.1 2 34.4
End Data
Set List='D:\5.LIS'.
T-Test Group=Source(1, 2)/Varianle=RADVIS.
    
```

Table 5.13 Results of T-Test on case of Radar only and Visual Scene only

T-Test for : Flashing							
		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		5	31.9400	8.813	3.941		
Group 2		5	31.4200	2.407	1.076		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
13.41	.028	.13	8	.902	.13	4.59	.904

5.2.7 Radar 및 Radar와 Visual Scene에 대한 비교 분석

이 실험의 경우도 시정이 제한되어 Radar만 보고 항해를 해야 할 경우와 그렇지 않고 극히 정상적인 상황에서 항해를 할 경우에 대한 실험을 한 것으로 그 결과 Data와 분석결과는 Table 5.14, 5.15와 같다.

이러한 결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서 검정하여 보면, Table 5.15에서 두 집단의 분산비인 $F(1.02)$ 이 유의수준과 두 집단의 자유도(8)에 대한 T 분포표상의 임계치($-2.30 \leq T \leq +2.30$)에

대해 채택영역에 해당되기 때문에 공동분산추정(Pooled Variance Estimate)란의 값으로 검증을 한다.

이 실험의 경우에는 유의도가 0.000 이므로 검정유의수준인 0.05보다 작으므로 대립가설이 채택된다. 따라서 Radar만 보고 항해할 경우와 Radar와 Visual Scene을 모두 보면서 항해할 경우에 대한 검정에서는 항로이탈면적평균으로 볼 때 통계적인 차이가 있다고 할 수 있다.

Table 5.14 Simulated Results of Radar only Radar+Visual Scene Test

```

Data List Free/Source RARAVIS.
VAL Label Source 1 'RADAR' 2 'RADVIS'.
1 12.7 2 20.6
1 30.8 2 20.7
1 32.0 2 21.6
1 32.1 2 24.0
1 34.4 2 26.2
End Data
Set List='D:\7.LIS'.
T-Test Group=Source(1, 2)/Varianle=RADVIS.
    
```

Table 5.15 Results of T-Test in case of Radar only and Radar+Visual Scene Test

T-Test for : RARAVIS							
		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		5	31.4200	2.407	1.076		
Group 2		5	22.6200	2.425	1.085		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
1.02	.988	5.76	8	.000	5.76	8.00	.000

5.2.8 Visual Scene 및 Radar와 Visual Scene에 대한 비교 분석

이 실험의 경우는 갑작스럽게 Radar가 고장이 난 경우와 그렇지않고 극히 정상적인 상황에서 항해를 할 경우를 가정하여 실험한 것으로 그 결과 Data와 분석결과는 Table 5.16, 5.17과 같다.

이러한 결과를 대립가설(두 집단에 대한 차이가 있다) $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$ 로 설정하여 유의수준 5%에서 검정하여 보면, Table 4.17에서 두 집단의 분산비인 F값(12.41)이 유의수준과 두 집단의 자유도(8)에 대한 T 분포표상의 임계치($-2.30 \leq T \leq +2.30$)

에 대해 기각영역에 해당되기 때문에 단독분산추정(Separate Variance Estimate)란의 값으로 검정을 한다.

이 실험에서는 유의도가 0.076으로 검정유의수준인 0.05보다 크므로 대립가설이 기각된다. 따라서 Visual Scene만 보고 항해할 경우와 Visual Scene과 Radar 모두를 보고 항해할 경우에 대한 검정에서 통계적인 항적이탈의 차이는 없다고 할 수 있다.

Table 5.16 Simulated Results of Visual Scene only and Radar+Visual Scene Test

```

Data List Free/Source VISRAV
VAL Label Source 1 'VISUAL' 2 'RADVIS'.
1 22.7 2 20.6
1 23.2 2 20.7
1 34.6 2 21.6
1 36.1 2 24.0
1 43.1 2 26.2
End Data
Set List= 'D : \6.LIS'.
T-Test Group=Source(1, 2)/Varianle=VISRAV.
    
```

Table 5.17 Results of T-Test in case of Visual Scene only Radar+Visual Scene Test

T-Test for : VISRAV							
		Number of csaes	Mean	STNDAD DEV.	STNDAD ERR.		
Group 1		5	31.9400	8.813	3.941		
Group 2		5	22.6200	2.425	1.085		
		Pooled Variance Estimate			Seperate Variance Estimate		
F	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail	T	Degrees of	2 Tail
Value	Prob	Value	Freedom	Prob.	Value	Freedom	Prob.
13.21	.028	2.28	8	.052	2.28	4.60	.076

6. 結 論

인간요인 및 외부정보요인이 선박의 제어에 미치는 영향을 알아보기 위하여 항만설계 시뮬레이터에 가상항로를 입력하여 각 검증요인별로 실험 그룹을 나누어 제어의 精度를 비교하는 실험을 한 뒤 그 결과를 분석하였다.

먼저 인간요인이 선박의 제어에 미치는 영향을 알아보기 위한 항해사그룹과 학생그룹과의 비교실험에서는 실질적인 항로이탈면적평균에 있어서는 그룹간에 근소한 차이를 보였으나, 통계적으로는 항적이탈의 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 외부정보요인중 항로표지로부터 얻는 정보가 선박의 제어에 미치는 영향을 알아보기 위한 비교실험의 경우, 2 Buoy System과 3 Buoy System과의 비교에서는 인간요인에 관한 분석의 경우와 마찬가지로 항적이탈면적이 평균에 있어서는

근소한 차이가 있었으나 통계적으로는 차이가 없는 것으로 나타났다.

그러나 2 Buoy System과 4 Buoy System과의 비교와 3 Buoy System과 4 Buoy system과의 비교에서는 평균값의 실질적인 차이 뿐만아니라 통계적으로도 상당한 차이가 있는 것으로 나타나 외부정보요인중 항로표지요인이 선박의 제어에 미치는 영향이 실질적으로 있음을 확인하였다.

또 4 Buoy System에서 실시한 Quick flash와 Slow Flash와의 비교에서는 실질적인 항로이탈면적에서는 평균값의 근소한 차이를 보이고 있으나 통계적으로는 차이가 없는 것으로 나타나 항로표지의 질이 선박제어에 미치는 영향은 그다지 크지 않음을 알 수 있었다.

그리고 레이더와 시각을 통해서 얻는 정보가 선박의 제어에 미치는 영향을 확인하기 위한 비교실험의 경우, Radar와 Visual Scene과의 비교와 Vi-

sual Scene 및 Radar와 Visual Scene에 대한 비교에서 실질적인 항로이탈면적에는 다소 차이가 있으나 통계적으로는 차이가 없는 것으로 나타났고, Radar 및 Radar와 Visual Scene에 대한 비교에서는 통계적인 차이가 있는 것으로 확인되었다. 즉 시각을 통해 얻는 외부정보가 선박의 제어에 미치는 영향이 크다는 사실을 확인하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 인간요인이 선박제어에 영향을 미친다는 사실이 통계적으로 입증되지 않았다.

(2) 외부정보요인중 항로표지요인은 선박의 제어에 실질적인 영향을 미친다. 다만 항로표지의 질은 그다지 영향을 미치지 아니한다.

(3) 레이더로 부터 얻는 정보는 통계적인 차이가 있을 정도로 영향을 미치지 아니하지만 시각으로 얻는 정보는 큰 영향을 미친다.

이 결과로부터 외부정보가 선박의 제어에 크게 영향을 미친다는 것과 그 중에서도 항로표지로부터 얻는 정보가 선박의 제어에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수가 있다. 아울러 항로표지로부터 얻는 정보의 경우, 항로표지의 질보다 표지의 수가 더 큰 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

따라서 항로의 안전성을 개선하기 위해서는 항로표지를 개선하는 것이 중요하며, 그 중에서도 항로표지의 질을 개선하는 것보다는 표지의 수를 늘이는 것이 더 바람직하다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 연구결과는 항로를 설계할 때 또는 항로의 안전성을 개선하고자할 때 유용한 기초 정보가 될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 인간의 경험과 기술, 그리고 정보요인들이 선박제어에 미치는 영향을 의미있게 고찰한 연구라 사료된다.

이 실험에서는 실험대상 집단을 1년간 승선실습을 마친 4학년 학생집단과 3년정도의 항해사 근무 경력을 가진 집단으로 나누어 실험을 실시하였으나 항해사 집단의 경우 대부분 승선후 1-3 년간의 공백기간이있는 사람들로 구성되어기 때문에 두 집단간에 경험과 기술의 차이가 실제로 없어서 이러한 결과가 나왔을 가능성도 배제할 수 없다.

따라서 인간의 경험과 기술이 선박의 제어에 영향을 미치게 하는지 그렇지 않은지 또, 어느 정도

경험상의 차이가 있을 때 선박의 제어에 영향을 미치기 시작하는지 등을 분석하기위해 현재 선박에 승선근무하고 있는 항해사들 및 도선사들로 실험집단을 구성해서 보다더 심도 있는 실험과 분석을 해볼 필요가 있으며, 이는 앞으로의 과제 중의 하나이다.

參 考 文 獻

1. Kim, W. S., *Port Design and Simulation ; Validity of Microcomputer Aided Port Design Simulation and Its Application*, Doctoral Thesis of the University of Walse, Cardiff, JUNE 1990, pp.194-216.
2. Schuffel, H., *Human Control of Ships in Tracking Tasks*, Publication of the Instituut Voor Zintuigfysiologie TNO Promoted by Prof.Sanders, Netherland, 1980, pp.1-17, 95-118.
3. Broome, D. R., Marshall, L., "Assessment of Ship Course-Keeping Performance with Variation in Environmental Disturbance", *Human Factors in Transport Research*, Vol.1, Academic Press, London, 1980, pp.31-39.
4. Schuffel, H., "Some Effects of Radar & Outside View on Ship's Controllability", *Human Factors in Transport Research*, Vol.1, Academic Press, London, 1980, pp.40-48.
5. Smith, M. W., Multer, J., Schroeder, K., "Simulator Evaluation of Turn Lighting Effectiveness for Nighttime Piloting", *Proceeding of the Fifth CAORF Symposium*, CAORF, NEWYORK, MAY 1983, pp.B3.1-B3.11
6. Atkins, D. A., Bertsche, W. R., "Evaluation of the Safety of Ship Navigation in Harbours", *Proceedings of Spring Meeting/STAR Symposium*, Coronado, California, 1980, pp.65-77.
7. Kray, Casimir J., "Layout and Design of Channels and Manoeuvring Areas", *Bulletin of Permanent International Association of Navigation Congress*, Vol.1, No.21, 1975, pp.55-61.
8. 임상전, 基本造船學, 大韓教科書株式會社, 서

- 을, 1986, pp. 731-736.
9. 小林 弘明, “操船情報と操船能力について”, 日本航海學會論文集, 平成 5年(1993) 3月, pp. 41-46.
 10. 田中 邦彦, 金湖夫士夫, 宮崎惠子, 桐谷 伸夫, “船舶航行システムの シミュレーター I”, 日本航海學會論文集, 平成 5年(1993) 3月, pp. 129-131.
 11. 小瀬 邦治, 南部 幸則, W. Misiag, 久保崎 浩, 高見 雄三, “パイロット操船から見た針路不安定の許容限界に関するシミュレータスティー III”-變針お主體にした操船-日本航海學會論文集, 平成 4年(1992) 9月, pp. 154-155.
 12. 中村 紳也, 石岡 靖, 郭 璧奎, 小瀬 邦治, “水域施設における船舶操船の安全性評價方法に関する研究”, 日本航海學會論文集, 平成 5年(1993) 3月, p. 155.
 13. Maritime Dynamics, *The Maritime Dynamics Port Design and Ship Operation Simulator-System Description*, The Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U. K., 1990.
 14. Maritime Dynamics, *A Guide to the Generation of Plotter, Radar, & Visual Database*, The Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U. K., 1990.
 15. Maritime Dynamics, *Maritime Dynamics Heuristics Ship Mathematical Model*, The Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U. K., 1990.
 16. Maritime Dynamics, *Instructor Station-User Guide*, The Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U. K., 1990.
 17. Maritime Dynamics, *Adding Buoys*, The Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U. K., 1990.
 18. 辛泰坤, 統計學, 法文社, 서울, 1985, pp. 287-318.
 19. Smith, M. W., Marino, K. L., Multer, J., *Short Range Aids to Navigations Systems Design Manual for Restricted Waterways*, U. S. Coast Guard, Washing, D. C., JUNE 1985, pp. 4. 1-4. 22