

선박조종시뮬레이터를 이용한 반복 항해 훈련이 선박 조종에 미치는 영향

이준범* · 오진석** · 이재식***

*부산대학교 심리학과 대학원생 · **한국해양대학교 교수 · ***부산대학교 심리학과 교수

The Effect of Repeated Mariner Training Using a Ship-Handling Simulator System on Ship Control

Joon-Bum Lee · Jin-Seok Oh · Jae-Sik Lee

*Graduate Student, Department of Psychology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
**Professor, Division of Mechatronics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
***Professor, Department of Psychology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

요 약 : 본 연구는 선박 조종에 영향을 주는 대표적 요인들(충돌위험 정도, 목표선박의 항로변경 여부 및 주변 선박 수)을 체계적으로 조작한 조건들에서 항해사의 상황인식 훈련이 항해사의 선박 조종 능력에 어떠한 차이를 가져오는지 선박조종시뮬레이터를 이용하여 분석하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 항해와 관련된 상황인식 훈련을 받은 조건에서 실험참가자들은 여러 선박 조종 요소들(목표선박과의 거리 유지와 충돌 비율)에서 훈련을 받지 않은 조건에 비해 수행이 우수하였다. 둘째, 훈련을 받지 않은 실험참가자들은 목표선박이 평소 상황에서 항로를 변경하는 경우 선박 조종에 가장 큰 어려움을 겪었으나 훈련 이후에는 이러한 경향이 크게 감소하여 동일한 조건에서 수행이 향상되는 것이 관찰되었다. 이러한 결과들을 종합하면, 선박 조종에서의 상황인식에 대한 여러 요소들의 훈련은 항해사들의 기본적 선박 조종 능력에서 우수한 수행을 이끌 수 있는 것으로 판단된다.

핵심어 : 선박조종, CPA, 회피 방법, 충돌 비율, 훈련 효과

Abstract : The purpose of the present study was to investigate the effect of mariner's situation awareness(SA) training on navigation performance using a full mission ship-handling simulator. For this purpose, the mariners were trained in terms of various aspects of SA. Independent variables such as risk levels of ship-to-ship collision, navigational route types of "target ship(TS)", and number of ships around the own ship(OS) were systematically varied, and dependent variables of closest point of approach(CPA) between TS and OS, number of collision, types of collision-avoidance strategy were measured. The results can be summarized as followings. First, training on mariner's SA appeared to induce improved performances in various aspects of ship handling. Second, mariners in the routine navigation situation where TS had priority following maritime rules seemed to suffer to prepare collision avoidance when the TS altered its route. However, this tendency greatly reduced after the training. These results suggest the benefit of mariner's SA training on maritime safety.

Key words : Mariner training, CPA, Collision avoidance strategy, Mariner's situation awareness, Ship-handling simulation

1. 서 론

우리나라의 선박 관련사고 분석(해양 안전심판원, 1988-2002)을 살펴보면 선박을 직접 조종하는 항해사의 인적 원인으로 인한 운항 과실 비율이 전체 사고에 대해 90.3%를 차지하고 있다. 이 중에서도 항해사의 정보처리 특징과 직접적으로 관련된 경계소홀이나, 선위에서의 과실 등이 원인이 된 경우는 66.8%로 다른 원인들에 가장 높으며, 이 외에 항해 법규를 위반하여 사고가 발생한 경우도 23.5%에 이른다. 외국의 한 자료를 보아도(Cockroft, 1984), 대부분의 해양 사고(90%)는 항

해사의 선박 조종 부담이 크고, 다른 선박의 거동에 파악에 높은 인지적 부하가 초래되는 연근해, 항구 주변 및 운하 주변이며, 특히 Perrow(1984)는 주요 선박 충돌 사고의 56%가 운항 규칙 위반에 의한 것이라고 보고하였다.

항해사의 선박 조종이 갖는 총체적 특성에 비추어 항해사와 관련된 인간 요인뿐만 아니라 선박 및 항해 보조 장치들의 설계와 같은 다양한 요인들이 안전한 선박 조종 수행과 밀접한 관계를 갖는다는 것은 당연한 결론일 수 있다. 그러나 이렇게 다양한 요인들을 모두 고려하여 선박 조종 행동을 설명하고자 하는 노력은 몇 가지 문제를 갖고 있다. 첫째, 선박 조종 행동

* 정회원, terapan@nate.com 051)510-3030

** 종신회원, ojs@hhu.ac.kr 051)410-4283

*** 대표저자 : 이재식(정회원), jslee100@pusan.ac.kr 051)510-2131

과 관련된 많은 요인들을 광범위하게 고려하고자 할 경우 선박 조종과 관련된 핵심적 요인이 무엇이며 이 요인이 구체적으로 안전한 선박 조종에 어떠한 기여를 하는지 간과할 수 있다. 둘째, 항해 실습이나 수행 능력 검사 장면에서와 같이 현실적으로 항해와 관련하여 다양한 인간 요인들을 모두 고려할 수 없는 영역에서는 항해와 관련된 핵심적 인간 요인의 고려 없이 상대적으로 중요성이 떨어지는 요인들이 주로 교육되거나 평가될 수 있다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 본 연구에서는 실제 항해 상황을 보다 현실감 있게 재현해 줄 수 있는 선박조종시물레이터를 이용한 항해 시뮬레이션을 훈련 및 평가 방법으로 채택함으로써, 항해 과제에 대한 항해사의 수행을 측정하기 위해 기존의 연구들이 사용하였던 비교적 단순한 형태의 실험 방법이 갖는 한계를 극복하고자 한다. 둘째, 항해 훈련이 진행됨에 따라 항해사의 선박 조종 수행은 어떠한 방식으로 변화하는지를 관찰하고자 한다. 기존의 연구들이 특정 영역에서의 수행 차이를 검토하기 위해 전문가-초심자를 대상으로 한 횡단적 연구를 주로 수행하였으나(손 과 박, 2003), 본 연구에서는 훈련 과정을 통해 선박 조종 기술의 어떠한 측면들이 향상되는지 검토하고자 한다.

3. 방 법

3.1 실험 참가자

본 실험에서는 시물레이터의 조작법에 관한 절차가 없기 때문에 기본적으로 선박조종시물레이터의 사용방법을 이미 숙지하고 있는 한국해양대학교 해사대학 4학년 학부생 18명을 대상으로 연구를 실시하였으며, 이들의 평균 연령은 22.33세(SD=1.03)였고 성별은 모두 남자였다.

3.2 선박조종시물레이터와 레이더

본 연구에서 사용된 선박조종시물레이터 시스템은 한국 해양대학교내 마린 시뮬레이션 센터가 보유하고 있는 노르웨이 Kongsberg Norcontrol사의 선박조종시물레이터였다. 본 연구에서 사용한 선박조종시물레이터는 거의 모든 유형의 선박을 시뮬레이션 할 수 있었으나 시나리오의 구성과 조건의 용이함 등을 고려하여 본선(Own ship)은 2만톤급 유조선(Chemical Tanker, 최대속도: 13.44 노트)을 사용하였고 본선 외 총 여섯 종류의 선박을 목표선박이나 주변 선박(distracter)으로 사용하였다.

본 연구에서 사용된 레이더는 Norcontrol사에서 제작한 DataBridge2000 ARPA로 이 기종은 1280 x 1024 픽셀의 고해상도 화면상에 정지하고 있는 선박이나 움직이고 있는 목표선박의 위치, 항해방향, 항해속도 등의 정보를 제공한다.

3.3 항해 시나리오

모든 항해 시나리오는 실험참가자들이 신속하고 정확하게 선박을 조종하지 않을 경우 충돌이 발생하도록 작성되었다. 실험에 사용된 시나리오의 시간은 총 5분이며 바람, 조류 등 기타 외력은 고려하지 않았다. 대상 지역은 울산 외항 앵커리지 부근이었으며, 설정 선박 이외의 선박은 없었고 기타 지형 지물도 존재하지 않았다.

실험에 사용된 시나리오의 각 조건에 대해 살펴보면 먼저, 평시상황(routine) 조건은 목표선박(target ship: 본 연구에서는 항해사가 즉각적으로 본선을 조종하지 않을 경우 본선과 충돌을 야기할 수 있는 선박을 목표선박으로 정의하였고, "target ship"이라는 용어는 Hockey, Healey, Crawshaw, Wastell, & Souer, 2003의 논문에서 인용하였다)이 본선의 우현으로부터 접근해 오는 조건으로 해양 규칙상 우현에서 접근하는 선박이 항로에 대해 우선권을 가지고 있기 때문에 목표선박이 충돌 경로에 위치해 있을 때 실험 참가자들이 본선에 대한 항로를 변경해야 목표선박과의 충돌을 피할 수 있는 조건이다. 반면, 긴급 상황(emergency) 조건은 목표선박이 해양 교통 규칙상 운항 규칙을 어기고 항로를 양보하지 않거나 항로 변경을 통해 본선과의 충돌 경로로 진입해 오는 경우이다. 그리고 목표선박의 항로변경 여부에서 직진(fixed) 조건은 목표선박이 항로에 대한 변경을 하지 않고 진행하는 경우이며, 변경(altering) 조건은 목표선박이 안전한 거리에 위치해 있다가 항해 경로를 변경하여 항해사가 즉각적으로 조치를 취하지 않으면 충돌 상황이 발생하는 경우이다. 본선과 목표선박을 제외한 주변 선박이 1척인 조건과 5척인 조건이 각각 있으므로 총 8가지의 실험 조건들이 가능하고, 실험 조건 각각에 따라 총 8벌의 시나리오를 사용하였다(Tabel 1 참고).

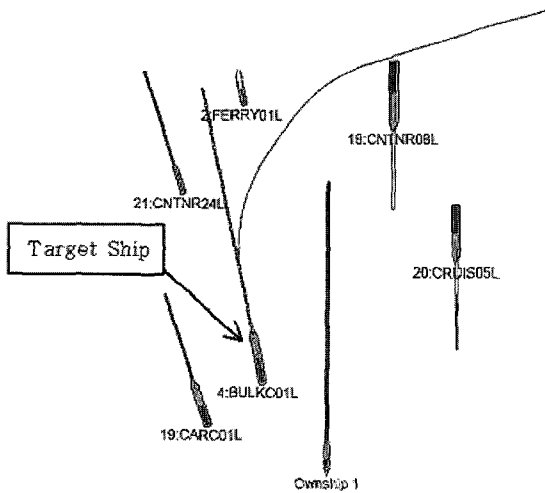
Table 1 Type of Navigation Scenario

Scenario	Collision Threat	Target Behavior	Target Approach from
Routine/fixed	Routine	Fixed	Starboard
Routine/altering	Routine	Altering	Starboard
Emergency/fixed	Emergency	Fixed	Port
Emergency/altering	Emergency	Altering	Port or Starboard

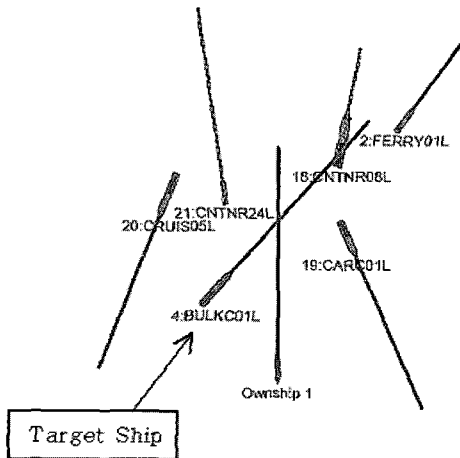
본선의 최초 방향은 진행 방향의 방위와 상관없이 000도로 설정하였고, 최초 속도 및 목표 속도는 본선의 최대속도 및 조선의 난이도를 고려해 10노트로 설정하였다. 모든 시나리오에서 공통적으로, 본선이 미리 설정된 최초 방향과 최초 속도로 운행하는 상황에서는 본선과 목표선박이 충돌하도록 목표선박의 항로를 설정한 반면, 목표선박을 제외한 주변의 선박과 본

선이 충돌하지 않도록 하였다. 목표선박의 최초 출현 위치는 각 시나리오의 조건에 맞게 우현(starboard) 혹은 좌현(port)으로 설정하였고 주변 선박의 위치 및 방향, 그리고 선박의 종류는 무작위로 설정하였으며, 목표선박의 거동 변화는 실험 시작 후 5분 이내에 임의적인 시점에서 발생하도록 하였다.

예를 들어, Fig. 1에서 (a) 시나리오의 경우 목표선박은 4번 벌크선이며 이 선박은 본선의 좌측에서 충돌 위험이 있는 지역으로 항로를 변경한다. (b) 시나리오의 경우에는 본선과 충돌 위험이 있는 목표선박이 시나리오의 시작부터 종료까지 항로를 변경하지 않고 고정 항로를 유지한다는 것이 Fixed 조건 시나리오의 특징이다. 긴급상황 시나리오와 Altering 시나리오의 차이는 Table 1에서 보는 바와 같이 목표선박의 위치가 본선의 우현이나 좌현이냐의 차이이고, 주변 선박수의 차이는 본선과 목표선박을 제외한 나머지 선박의 수에 따라 구분된다. 모든 시나리오에서 본선과 목표선박을 제외한 나머지 선박은 주변 선박이며 본선이 최초의 항로를 유지할 경우 충돌 위험이 전혀 없도록 항로를 설정하였다.



(a)



(b)

Fig. 1 Examples of the Scenario

3.4 실험 절차

실험은 긴급상황 조건의 그룹과 평시상황 조건의 그룹이 제 1선교와 제 2선교에서 각각 독립적으로 실험에 참가하는 방식으로 진행되었다. 실험 참가 순서 및 시나리오 제시 순서는 임의적으로 지정하였고, 선교 내에서는 두 명의 참가자가 각각 항해사와 조타수의 위치에서 실험에 참가하였다. 각각의 선교에는 연구자가 한 명씩 위치하고 실험이 시작되기 전에 1차 과제(목표선박과의 충돌을 피하면서 본선을 조종하는 과제)와 2차 과제(레이더 감시 과제)에 대한 설명을 포함한 실험 전반에 관한 설명을 실험참가자에게 제공하였다. 그리고 2, 3회기에서는 이전 회기에서 참가자가 작성했던 회상 과제에 대해 피드백해주는 과정이 추가되었다.

본 실험에서 사용된 1차 과제는 000도로 선박의 방향을 유지하면서 10노트의 속도로 항해하는 것과 충돌의 위험이 있다면 충돌을 회피할 수 있도록 조종하는 것이었고 이 두 가지 과제 중에서 충돌 회피 과제가 더 중요한 과제임을 알려주었다. 2차 과제는 레이더의 좌측에 위치한 보조 디스플레이를 감시하는 것이었는데 'GYRO' 버튼에서 알람과 함께 불이 점멸하면 이를 발견하는 즉시 그 옆에 위치한 'ALARM' 버튼을 눌러 Gyro 에러에 대해 반응하는 것이었다.

실험이 시작되면 약 5분 정도의 실험 시나리오가 진행되고 실험 도중 다른 선박과의 충돌로 인해 본선이 움직일 수 없게 되면 5분이 지나지 않았더라도 그 시점에서 시나리오를 종료하였다. 충돌이 없거나 충돌이 있더라도 본선이 선교에 의해 조종이 가능하다면 시나리오를 그대로 진행시키고 시작 후 5분경에 화면을 제거(black-out) 시키고 종료하였다. 이와 같은 방법으로 참가자는 총 네 개의 시나리오에 대한 과제를 수행하게 되고 모든 과정이 끝나면 조타수와 항해사의 임무교대가 이루어졌다.

3.5 선박 조종 수행 측정치

다른 선박과의 충돌 위험 상황에서 얼마나 효율적으로 충돌을 회피했는지에 대한 측정치로 실제 충돌 빈도의 본선과 목표선박과의 최단 거리(Closest Point of Approach; CPA), 그리고 충돌을 회피하기 위한 선박 조종 유형(엔진의 조작을 통한 선박의 속도 변화만을 사용한 경우, 조타에 의한 방향 변화만을 사용한 경우, 그리고 엔진 조작과 조타를 동시에 사용한 경우)을 중속 측정치로 측정하였다. 이 측정치들은 실험참가자의 수행에 대한 선박 조종 데이터와 참가자가 직접 작성한 설문지 응답을 통해 분석하였다.

3.6 시뮬레이션 측정 변수 및 분석 방법

본 연구는 모든 항해사들이 두 수준의 목표선박과의 충돌 위험 정도(평시상황 vs. 긴급상황) 두 수준의 목표선박 항로변경 여부(직진 vs. 변경), 두 수준의 교통 혼잡 정도(주변 선박의 수, 1척 vs. 5척), 그리고 세 수준의 실험 회기(즉, 대략 1주일 간격으로 총 3회기)가 모두 조합된 조건에 반복적으로

참여하는 2x2x2x3 피험자내 설계이다. 그리고 이러한 독립변인들에 따른 종속변인들의 차이는 변량분석(ANOVA)을 이용해 분석하였다.

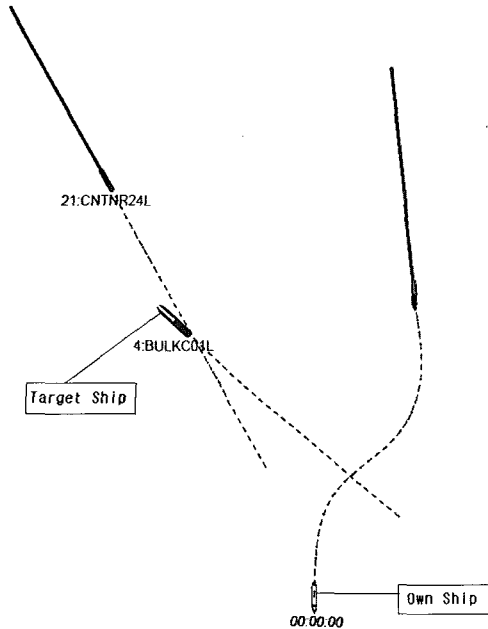


Fig. 2 Example of the Simulation Data

Table 2 Example of the Simulation Table

Elapsed (hh:mm:ss)	Heading	Speed	Rate of turn	Rudder
00:05:00	355	12	s11	p0.7
00:04:50	353	12	s17	s0.7
00:04:46	351	12	s20	s7.6
00:04:42	350	12	s14	s13.5
00:04:34	349	12	s1	s11.6
00:04:20	351	11	p11	s7.8
00:04:00	356	11	p20	s7.9
00:03:58	357	11	p21	s7.4
00:03:44	002	11	p26	s6.9
00:03:32	008	11	p31	s6.9
00:03:22	013	11	p39	s2.1
00:03:14	019	11	p41	s1.8
00:03:06	025	11	p50	p2.6
00:03:00	030	11	p52	p10.7
00:02:52	037	11	p49	p10.7
00:02:44	043	11	p43	p10.7
00:02:36	048	11	p35	p10.7
00:02:28	052	11	p25	p10.7
00:02:20	054	11	p13	p10.7
00:02:10	056	11	p2	p10.7
00:02:00	055	10	s9	p10.7
00:01:46	052	10	s18	p10.7
00:01:34	047	9	s28	p11.8
00:01:30	045	9	s36	p4.9
00:01:24	041	10	s40	s0.4
00:01:16	036	10	s42	s2.7
00:01:12	033	10	s43	s11.8
00:01:08	030	10	s44	s20.9
00:01:00	025	11	s42	s23.8
00:00:52	019	11	s39	s23.8
00:00:42	013	11	s33	s23.4
00:00:30	007	12	s26	s23.8
00:00:16	002	12	s21	s23.8
00:00:12	001	12	s15	s17.9
00:00:08	000	12	s4	s8.6
00:00:00	000	12	s0	s0.0

4. 결 과

4.1 본선과 목표선박과의 최단 거리(CPA)

훈련회기에 따른 평균 CPA는 1회기에서 180m, 2회기에서 223m, 그리고 3회기에서 236m로 목표선박과의 최단 거리가 뚜렷하게 증가하였는데, 이와 같은 수행상의 변화는 훈련이 진행될수록 보다 안전하게 항해하기 위해 안정적인 CPA를 확보하는 경향을 반영한 것으로 보인다(Fig. 3). 그리고 평소 상황보다는 긴급상황에서 CPA가 더 길었는데(232m vs. 195m), 이러한 결과는 항해사들이 평소상황 보다는 긴급상황 조건에서 목표선박과의 거리를 더 멀리 유지하려는 경향을 보였기 때문이라고 해석할 수 있다.

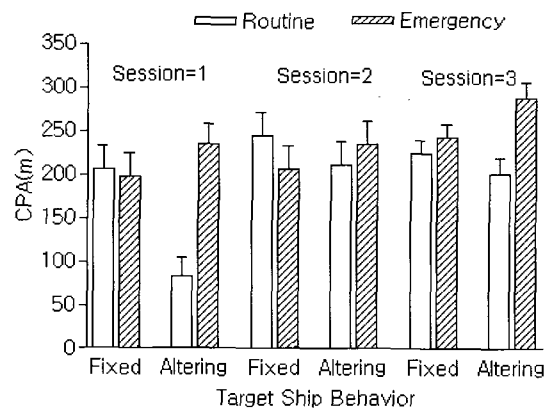
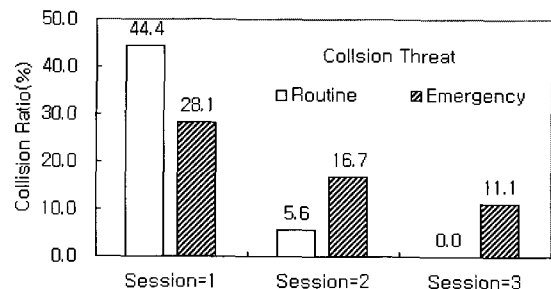


Fig. 3 CPA between Own Ship and Target Ship

4.2 실제 충돌 비율

본선과 목표선박간의 충돌 비율을 분석한 결과는 다음과 같다(Fig. 4). (1) 충돌 위험 정도, 목표선박의 항로변경 여부 및 주변 선박의 수와 상관없이 1회기에서 3회기까지 훈련 회기가 진행될수록 충돌 발생 비율은 전반적으로 낮아졌다. 그러나 1회기의 경우 충돌위험이 상대적으로 더 낮은 평소상황에서 충돌비율이 더 높았는데, 이것은 실험참가자들이 훈련 이전에는 평소상황에서의 충돌 위험정도를 과소평가했기 때문인 것으로 해석된다. 이러한 경향은 훈련이 계속됨에 따라 사라지고, 충돌 위험 정도가 더 큰 긴급상황에서의 충돌 비율이 더 높았다. (2) 전체적으로 보면 목표선박이 직진하는 경우보다는 항로를 변경하는 경우, 그리고 주변의 선박 수가 적은 경우보다는 많은 경우에 목표선박과의 충돌비율이 상대적으로 더 높았다.



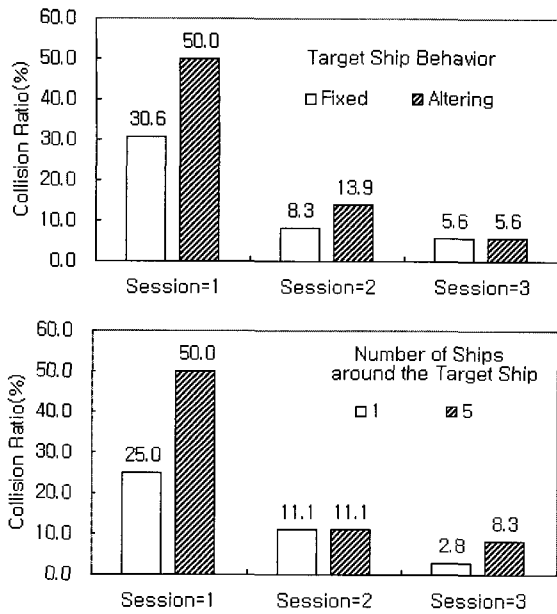


Fig. 4 Collision Ratio

4.3 충돌 회피를 위한 선박 조종의 유형 분석

본선과 목표선박과의 충돌을 회피하기 위한 선박 조종 방법을 훈련 회기별로 분석한 결과(Fig. 5), 훈련 회기가 진행될수록 항해 속도만을 조작하거나 혹은 항로 변경만으로 목표선박과의 충돌을 회피하고자 하는 노력이 점차 감소하는 대신 이 두 가지 방법을 모두 사용하여 충돌을 회피하고자 하는 경향이 상대적으로 더 높았다. 이러한 결과는 훈련 회기가 진행됨에 따라 항해사들이 목표선박과의 충돌의 회피하기 위해 좀더 적극적으로 선박을 조종하는 경향이 더 커진다는 것을 시사한다. 특히 이러한 경향은 목표선박과의 충돌 위험이 상대적으로 더 낮았던 평시 항해 상황인 경우 더 뚜렷하였다.

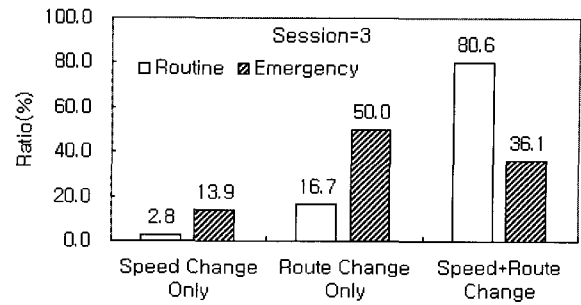
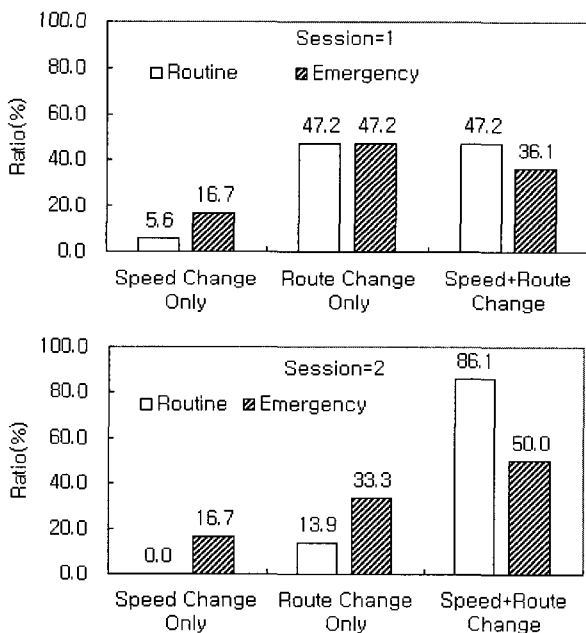


Fig. 5 Ratio of Ship-Control Strategies for Collision Avoidance

5. 논 의

해양/항해 분야는 그 실용적 의미에 의해 매우 활발하게 연구되어온 분야이며 항해사들의 인적 요인에 대한 분석도 그 중요성에 비추어 앞으로 활발히 연구되어야 할 영역이다. 본 연구의 결과, 훈련 회기가 거듭될수록 선박조종(목표선박과 안전한 거리 유지, 실제 충돌 비율의 감소, 효율적인 충돌회피 방법 사용)수행이 유의하게 향상됨을 관찰할 수 있었다. 항해사에 대한 이러한 훈련 효과는 항해시뮬레이션을 이용한 훈련에만 그치지 않을 것으로 예상된다.

본 연구의 자료는 시뮬레이터를 이용한 항해 훈련을 통해 구체적으로 어떠한 능력이 발달하는지를 관찰함으로써 항해수행에 근거하는 인간 요인의 규명에 중요한 기초 자료를 제공하였다고 자체 평가된다. 본 연구를 통해 얻어진 자료를 바탕으로 하여 새로운 항해 훈련 시나리오를 개발하고 효과를 검증한다면 이러한 훈련을 통해 궁극적으로 해양 사고의 감소를 가져올 수 있을 것이다. 또한 대부분의 선박들이 장착하고 있는 자동항법 시스템의 설계에 인간 오퍼레이터의 정보처리 특성을 고려한 설계 가이드라인이나 원리를 제공하여 항법 시스템에 항해사의 상황인식을 촉진할 수 있는 요소를 구현할 수 있다면 이러한 노력 역시 항해사의 안전한 선박 운행에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R012-006-00010-5590-2006)지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] 손영우, 박수에 (2003), “전문성과 작업기억 부하양이 조종사의 상황인식에 미치는 영향”, 한국심리학회지: 산업 및 조직, 제 16권, pp. 155-174.
 [2] 해양안전심판원(2004). “해양안전심판사례(사교종류별 해양사고통계편)” <http://www.kmst.go.kr>
 [3] Cockroft, R. G. (1984). “Collisions at sea”, Safety at Sea. June, pp. 17-19.

- [4] Hockey, G. R. J, Healey, A., Crawshaw, M., Wastell, D. G., & Souer, J. (2003), "Cognitive demands of collision avoidance in simulated ship control", Human Factors, Vol 45, pp.252-265.
- [5] Perrow, C. (1984), "Normal Accidents". Princeton, NJ: Princeton University Press.
- [6] Schuffel, H., Boer, J. P. A., & van Breda, L. (1989), "The ship's wheelhouse of the nineties: The navigation performance and mental workload of the officer of the watch", Journal Of Navigation, Vol 42, pp.60-72.

원고접수일 : 2005년 8월 17일

원고채택일 : 2005년 9월 7일