

선박간 충돌 위험상황에서의 항해사 정보처리 특성에 관한 연구

김비아 · 오진석* · 이세원 · 이재석†
부산대학교 심리학과 · *해양대학교 해사대학
(2007. 12. 17. 접수 / 2008. 2. 14. 채택)

Mariner's Information Processing Characteristics in Ship-to-Ship Collision Situation

Bia Kim · Jin-Seok Oh* · Sewon Lee · Jaesik Lee†

Department of Psychology, Pusan National University

*Division of Mechatronics Engineering, National Korea Maritime University

(Received December 17, 2007 / Accepted February 14, 2008)

Abstract : The purpose of the present study was to investigate the mariner's information characteristics in ship-to-ship collision situation using the full mission ship-handling simulator. Risk levels of ship-to-ship collision were manipulated by whether the target ship complies with the naval regulations and by movement patterns of target ship. Dependent variables reflecting mariner's information characteristics in ship-to-ship collision situation were measured in terms of radar detection reaction time, free recall performance of past navigation situation, and subjective ratings for the task difficulty. The results showed that, in general, the mariners appeared to be deteriorated in their radar detection reaction time and free recall performance as the risk of ship-to-ship collision increased. Also, the mariners tended to rate required tasks more difficult in the high risk ship-to-ship collision situation.

Key Words : mariner's information-processing, ship-handling simulation, ship-to-ship collision, radar monitoring

1. 서 론

항해사들이 주변 운항 환경에 따라 높은 인지부하 상황에 노출될 수 있다는 것은 비교적 많은 연구자들이 지적하고 있다¹⁻³⁾. 이러한 높은 인지 부담은 주변의 많은 선박과의 원활한 교통을 위해 자신의 선박을 적절히 제어할 뿐만 아니라 레이더와 같은 항행 보조 장치를 통해 제시되는 다양한 정보들을 통합하기 위하여 자신의 주의를 효율적으로 할당해야 한다는 요구에 일차적인 원인이 있으며⁴⁾, 몇몇 연구들도 주변의 교통량이 증가하거나 충돌 위험이 있을 경우 항해사의 인지적 작업부하의 정도가 크게 증가한다는 것을 보여주었다⁵⁾.

이 때문에 많은 선박 사고들은 인간 에러에 기인한 것이 많은 부분을 차지하고 있다. 해양 안전심판원의 우리나라 선박 관련사고 분석자료(1988-2002)⁶⁾에 따르면, 선박을 직접 조종하는 항해사의 인적 원

인으로 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 항행 법규를 위반하여 사고가 발생한 경우도 23.5%에 이른다. 또한 선박과 선박 사이의 충돌사고 비율(37.1%)이 접촉이나 좌초 및 전복에 비해 특히 높고, 이러한 사고는 대개 상대선과의 거리가 1해리 미만인 경우(34.8%)가 가장 높았다. 외국의 한 자료를 보아도⁷⁾, 대부분의 해양사고(90%)는 항해사의 항행 조종의 부담이 크고, 다른 선박의 거동에 파악에 높은 인지적 부하가 초래되는 연근해, 항구 주변 및 운하 주변이며, 특히 Perrow⁸⁾는 주요 선박 충돌 사고의 56%가 운항 규칙 위반에 의한 것이라고 보고하였다.

이러한 국내외의 선박 관련 사고자료 및 연구결과를 종합해 보면, 선박 사고는 기본적으로 항해사의 인적 요인에 의해 발생하며 이러한 인적 요인 중에서도 항해사의 선박 조종 및 인지적 부담이 높을 때 많이 발생한다는 것을 알 수 있다.

† To whom correspondence should be addressed.
jslee100@pusan.ac.kr

좀 더 구체적으로 말하면, 주변 항로의 교통량 증가에 의한 항해사의 정보처리 부담 및 다른 선박의 예기치 못한 행동(예를 들어, 운항 규칙의 위반)으로 인한 불확실성의 증가가 선박간 충돌 사고의 가장 중요한 요인이 되고, 특히 선교내의 레이더가 제공하는 부가적 정보에 대한 미흡한 처리(즉, 특정 레이더가 안전 운항에 필요한 정보를 제공함에도 불구하고 항해사들이 전방에서 발생하는 항해 상황에 지나치게 주의 집중한다는 점) 등이 이러한 사고 가능성을 더 촉진하는 요인들이라고 요약할 수 있다.

선박 관련 사고와 관련된 이러한 핵심적 측면들, 즉 항행 상황의 과밀화로 주어지는 정보 처리 부담 및 조작의 어려움(높은 인지 부하와 시간 스트레스), 잘못된 방략의 사용(특정 시스템에 지나치게 주의 집중 하는 것), 상황의 불확실성 및 이에 대한 예측 능력에 대한 요구 부담(운항 법규 위반 등으로 인해 다른 선박의 거동이 불확실하고 예측하기 매우 어렵다는 점) 등을 종합적으로 검토해 보면 선박간 충돌 사고 방지를 위해서는 인간 오퍼레이터의 정보 처리 특성에 대한 면밀한 검토가 선행되어야 한다는 결론이 가능하다. 본 연구는 선박끼리의 충돌 가능성이 높은 상황을 선박 시뮬레이션을 통해 재현하고, 이 상황에서 항해사들이 어떠한 정보처리 특성을 보이는지 관찰함으로써 해양 사고의 방지를 위한 기초적 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험

2.1. 실험참가자

한국해양대학교 해사대학 4학년 학부생 19명을 대상으로 하였고 이들의 성별은 모두 남자였으며, 실험 참가 후 참가비를 받는 조건으로 실험에 참가하였다.

2.2. 선박 시뮬레이터

본 연구에서 사용된 선박 시뮬레이터는 노르웨이 Kongsberg Norcontrol사의 Polaris Simulator System 이며 중앙제어실(instructor station), 선교(own ship Bridge Module), CIG(computer image generator)실, Debriefing실 등으로 구성되어 있다. 시뮬레이터의 주통제 컴퓨터는 3.2Ghz급 펜티엄-4 PC이고, 항행 시나리오 구성 및 항행 수행 데이터 저장 프로그램은 MS Visual C++로 구현되었다. 항행 장면에 대한 그래픽은 좌우 270도 크기의 돛형 화면을 지원하는 13개의 프로젝터에 의해 항해자 전방 2.0m에



Fig. 1. View of bridge of the full mission ship handling simulator used in this study.

는 스크린에 투사된다. 항해자의 시뮬레이터 제어에 따라 항행 환경을 변화시킴으로써 실제 항행 상황과 거의 동일한 환경을 제공하며, 선교 내부의 청각 요소들은 Norcontrol사에서 개발한 음향 시스템과 한국 해양대학교에서 자체적으로 개발한 시스템을 채택하고 있다. 항해자의 선박 제어 행동 및 이에 따른 선박의 거동, 그리고 기타 항행 관련 대상들에 대한 정보는 5초 단위로 측정되어 데이터베이스에 저장되었다. 본 연구에서 사용한 항행 시뮬레이터는 거의 모든 유형의 선박을 시뮬레이션 할 수 있었으나 시나리오의 구성과 조선의 용이함 등을 고려하여 자기 선박(own ship)은 2만 톤급 유조선(chemical tanker, 최대속도: 13.44 노트)을 사용하였다.

2.3. 항해 레이더

본 연구에서의 실험은 선박 시뮬레이터의 선교 안의 레이더 시스템을 통한 항행 정보의 제공이 매우 중요한 비중을 차지한다. 본 연구에서 항해사들은 육안을 통해(즉, 시뮬레이터의 전방 디스플레이 화면을 통해) 다른 선박들의 거동을 관찰할 뿐만 아니라 선교에 탑재된 레이더를 통해서도 중복적으로 정보를 확인하여 주어진 과제를 수행해야 하기 때문이다. 본 연구에서 사용된 레이더는 Norcontrol사에서 제작한 DataBridge2000 ARPA로 이 기종은 1280×1024 픽셀의 고해상도 화면상에 정지하고 있는 선박이나 움직이고 있는 목표 선박의 위치, 항행방향, 항행속도 등의 정보를 제공한다.

2.4. 항해 시나리오 및 실험 절차

본 연구에서는 항해 과정 중 발생할 수 있는 선

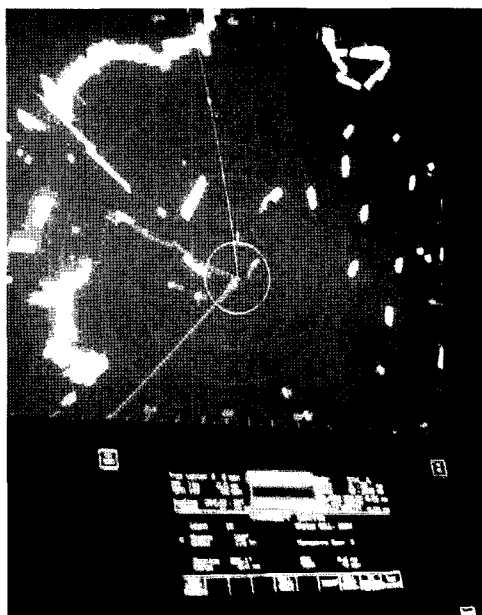


Fig. 2. Radar system employed to measure mariner's reaction time for visual warnings.

박간 충돌 가능 상황을 두 가지의 변인으로 조작하였다. 첫 번째 변인은 항해사가 주시하여야 하는 목표 선박(target ship)이 해양 규범상 운항 규칙을 준수하고 있는지의 여부이고, 두 번째 변인은 그러한 목표 선박이 경로를 변경하는지의 여부(목표 선박 거동형태)이다. 목표 선박의 운항 규칙 준수 여부에 따라 항해 상황이 관례(routine) 혹은 긴급상황(emergency) 상황으로 구분되었고, 목표 선박 거동 형태에 따라서는 직진(fixed) 혹은 변경(altering) 상황으로 구분되었다.

먼저, 목표 선박과의 충돌 위험 정도 변인에서 관례 조건은 목표 선박이 자기 선박의 우현으로부터 접근해 오는 조건으로 해양 규칙상 우현에서 접근하는 선박이 항로에 대해 우선권을 가지고 있기 때문에 목표 선박이 충돌 경로에 위치해 있을 때 실험 참가자들이 자기 선박에 대한 항로를 변경해야 하는 조건이다. 반면, 긴급상황 조건은 목표 선박이 해양 교통 규범상 운항 규칙을 어기고 항로를 양보하지 않거나 항로 변경을 통해 자기 선박과의 충돌 경로로 진입해 오는 경우이다. 목표 선박 거동 형태에서 직진 경로 조건은 목표 선박이 진행 항로에 대한 변경을 하지 않고 직진하는 경우이며, 항로 변경 조건은 목표 선박이 안전한 거리에 위치해 있다가 항행 경로를 변경하여 항해사가 즉각적으로 조치를 취하지 않으면 충돌 상황이 발생하는 경우이다.

실험에 사용된 시나리오의 시간은 총 5분이고 대상 지역은 앵커리지 부근을 모사하였으며, 기타 지형지물은 제시하지 않았다. 자기 선박의 목표 속도는 자기 선박의 최대 속도 및 조선의 난이도를 고려해 10노트로 설정하였다. 목표 선박의 최초 출현 위치는 각 시나리오의 조건에 맞게 우현(starboard) 혹은 좌현(port)으로 설정하였고 목표 선박의 거동 변화는 실험 시작 후 5분 안에 무선적인 시점에서 발생하도록 하였다.

본 실험에서 사용된 일차 과제는 자기 선박의 최초 운항 방향을 유지하면서 10노트의 속도로 항행하는 것과 충돌의 위험이 있다면 충돌을 회피할 수 있도록 조율하는 것이었고 이 두 가지 과제 중에서 충돌 회피 과제가 더 중요한 과제임을 알려주었다. 이차 과제는 레이더의 좌측에 위치한 보조 디스플레이를 감시하는 것이었는데 'GYRO' 버튼에서 알람과 함께 불이 점멸하면 이를 발견하는 즉시 그 옆에 위치한 'ALARM' 버튼을 눌러 이에 대해 반응하는 것이었는데 경보의 제시 이후 반응하기까지의 시간(반응시간)을 측정하였다.

시나리오가 끝나면 참가자는 시나리오 미리 준비된 설문지를 통해 종료 직전 상황에 대해 자세히 기술하도록 요구 받았고(자유회상 과제), 종료된 시나리오에 대한 주관적인 인지 부하량(주관적 과제 난이도)을 평정하였다. 이와 같은 방법으로 목표 선박과의 충돌 위험 정도 조건에 각각 할당된 참가자는 목표 선박의 두 가지 거동 형태 조건에 모두 참가하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 독립변인들에 따른 종속 측정치들의 차이는 변량분석(ANOVA)을 이용해 분석하였으며, 통계적 기각역은 5%로 정하였다.

3.1. 레이더 감시수행: 반응시간 측정치

레이더 감시 수행 측정치(즉, 항행 과제 수행 도중 레이더 상에 무선적 시점에서 제시된 에러 메시지에 대한 반응시간)에 대한 전반적인 분석결과(Fig. 3), 레이더 에러 메시지에 대한 실험참가자들의 반응시간은 충돌 위험이 높은 긴급상황 보다는 충돌 위험이 상대적으로 낮은 관례상황에서[4.29초 vs. 3.36초, $F(1, 16) = 46.39, p < .001$], 그리고 목표 선박이 항로를 변경하는 상황보다는 항로를 고정하고 직진하는 상황[3.37초 vs. 4.24, $F(1, 16) = 25.43, p < .001$]에서 통계적으로 유의하게 더 빠른 반응시간을 보였다.

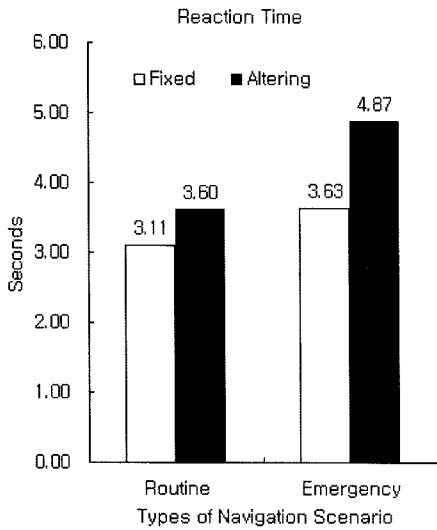


Fig. 3. Reaction time in radar monitoring as the functions of navigation scenario and behavior patterns of target ship.

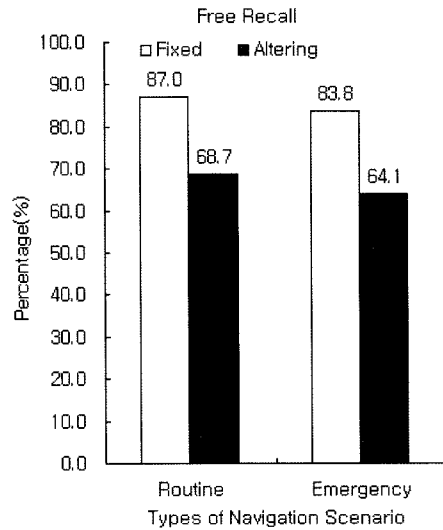


Fig. 4. Free recall performance as the functions of navigation scenario and behavior patterns of target ship.

이러한 결과는 표 선박이 운항 법규를 위반하고 있거나 항로를 변경하는 경우와 같이 목표 선박 거동에 대한 감시가 많이 요구되는 상황에서는 레이더 감시 과제가 전체적으로 저조하다는 것을 시사한다. 특히, 목표 선박의 운항법규 준수여부와 목표선박의 거동유형 사이의 통계적으로 유의한 상호작용이 관찰되었는데 $[F(1, 16) = 4.74, p = .045]$, 이러한 결과는 실험참가자가 목표 선박의 거동을 주시하면서 동시에 레이더 감시 수행을 수행할 때, 목표 선박이 운항법규를 준수하지 않으면서 경하는 경우 레이더 감시 수행이 상대적으로 더 저조해질 수 있음을 시사한다.

3.2. 항해 상황에 대한 자유회상률

실험이 종료되고 화면이 제거된 상태에서 실시된 항해 상황 자유회상률에 대한 분석 결과(Fig. 4), 앞에서 보고된 레이더 감시 수행 측정치와는 달리 목표 선박의 운항법규 준수여부에 따른 자유회상률에는 유의한 차이가 관찰되지 않았고, 목표 선박의 운항법규 준수여부와 목표 선박의 거동 형태 사이의 상호작용 효과도 유의하지 않았다. 그러나 항해 상황에 대한 실험참가자들의 자유회상률은 목표 선박 거동을 변경하는 경우보다는 직진하는 경우[85.4% vs. 66.48%, $F(1, 16) = 71.61, p < .001$]에 통계적으로 유의하게 더 높았다. 이러한 결과는 목표 선박의 운항법규 준수여부와는 상관없이 목표 선박이 항로

를 변경하는 경우에 항해사들의 항해 상황에 대한 자유회상률이 높다는 것을 의미한다. 즉, 항해사들은 목표 선박이 항로를 변경하여 자신의 선박으로 접근해 오는 경우 자기 선박과 목표 선박의 충돌을 회피하기 위해 주로 목표 선박의 거동에 더 많은 주의를 기울였을 것이며, 이 때문에 주변 상황을 제대로 파악하지 못하여 궁극적으로는 자유회상 과제에서의 수행이 더 저조했다는 것을 시사한다.

3.3. 주관적 과제수행 난이도

항해 상황에 따라 항해사들의 항해 과제 수행에 대한 주관적 난이도를 0-100%의 범위(100%는 가장 난이도가 높은 경우)에서 평정한 점수를 분석한 결과가 Fig. 5에 요약되어 있다. 분석 결과, 실험참가자들은 목표 선박이 운항법규를 준수하고 있는 관례상황에 비해 목표 선박이 운항법규를 어기고 있는 긴급상황에 대해 $[F(1, 16) = 34.29, p < .001]$, 그리고 목표 선박이 항로를 고정하고 직진하는 경우보다는 항로를 변경하는 상황에 대해 과제 수행이 더 어려웠다고 보고하였다 $[F(1, 16) = 42.29, p < .001]$. 한편 이 두 요인 사이에서 주관적 과제 난이도에 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 목표 선박의 운항법규 준수 여부나 목표 선박의 경로 변경 여부가 각각 독립적으로 항해사의 주관적 항해 과제 수행 난이도에 영향을 미친다는 것을 시사한다.

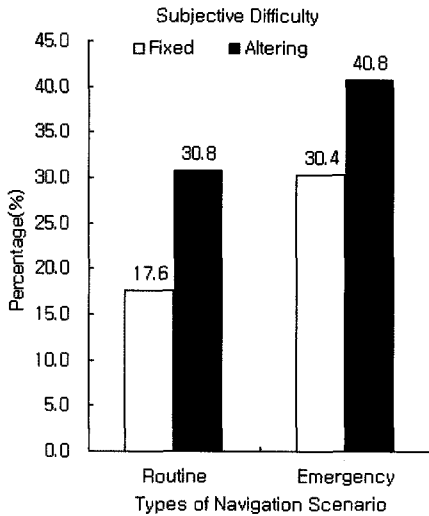


Fig. 5. Subjectively rated task performance difficulty as the functions of navigation scenario and behavior patterns of target ship.

4. 결론

본 연구에서는 충실도 높은 항행 시뮬레이터를 이용하여 선박끼리의 충돌을 야기할 수 있는 항해 상황을 (1) 목표 선박의 운행법규 준수여부와 (2) 목표 선박의 항로변경 여부를 조작하여 인위적으로 재현한 후 이 상황에서 항해사들이 보이는 정보처리 특성을 레이더 감시 반응시간, 항해 상황에 대한 기억 정도 및 항해사들의 주관적 과제 난이도의 측정치를 통해 살펴보았다. 본 연구의 결과들을 종합하면, 일반적으로, 항해사들은 명시적으로 주어진 항해 복잡성의 증가(예를 들어, 목표 선박이 해양 규칙을 위반하거나 갑자기 항로를 변경하는 경우)에 따라 정보처리의 부담이 증가하여 레이더 감시 수행이나 항해 상황에 대한 파악 능력이 전반적으로 감소할 뿐만 아니라, 주관적으로도 이러한 상황에서의 과제 수행을 더 어렵다고 평가하는 경향이 있다고 결론지을 수 있다.

본 연구는 충실도 높은 선박 시뮬레이션을 이용하여 선박간 충돌 가능 상황을 체계적이고 현실감있

게 제공함으로써 본 연구를 통해 자료를 항해사 훈련 과정에 반영할 수 있는 기초적 자료를 얻을 수 있었다는 점에서 의미가 있다. 그러나 본 연구가 실제 선박과 거의 동일한 항행 환경을 제공하는 충실도 높은 시뮬레이터를 통하여 이루어진 것이지만 본 연구 결과의 활용 가치를 위해서는 실제 항행 상황에서 본 연구 결과가 현실적으로 적용될 수 있는지도 검토해야 할 것이다

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(R01-2006-000-10559-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- 1) M.B. Dyer-Smith, "Shipboard organization-The choices for international shipping", *Journal of Navigation*, Vol. 45, pp. 414~424, 1992.
- 2) D.F. Grocott, "The 21st century navigation situation", *Journal of Navigation*, Vol. 45, pp. 315~328, 1992.
- 3) J.D. Lee and T.F. Sanquist, "Maritime automation", In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications*(pp. 365~384). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1996.
- 4) P.M. Sanderson, "The human planning and scheduling role in advanced manufacturing systems: An emerging human domain", *Human Factors*, Vol. 31, pp. 635~666, 1989.
- 5) N. Sablowski, "Effects of bridge automation on mariner's performance", In A. Coblenz(Ed.), *Vigilance and performance in automated systems*(pp. 101~110). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 1989.
- 6) 해양안전심판원, 해양안전 심판사례(사고종류별 해양사고통계편), <http://www.kmst.go.kr>, 2004.
- 7) R.G. Cockroft, "Collisions at sea", *Safety at Sea*, June, pp. 17~19, 1984.
- 8) C. Perrow, "Normal Accidents". Princeton, NJ: Princeton University Press, 1984.