

항해 상황 복잡성이 선박간 충돌 회피를 위한 항해사의 상황인식에 미치는 영향: Ship Handling Simulator를 이용하여*

이 재 식[†]

부산대학교 심리학과

본 연구에서는 충실도 높은 항행 시뮬레이터를 이용하여 항해 상황의 복잡성을 결정하는 요인들(목표선박과의 충돌위험 정도, 목표선박 거동 형태 및 항행 상황 교통의 혼잡 정도)을 체계적으로 조작한 후에, 이들이 충돌 회피와 관련된 과제 수행에 미치는 효과를 상황인식 측정치(선박제어와 레이더 감시 수행, 항행 상황에 대한 파악 정도 및 과제 수행 전반에 대한 주관적 난이도 평정치)를 통해 살펴보았다. 본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 실험참가자들은 목표선박과의 충돌 위험정도와 목표선박의 항로 변경 여부에 의해 조작된 항해 상황의 복잡성이 높을수록 더 높은 충돌 비율을 보였다. 둘째, 선박 제어와 동시에 요구된 레이더 감시 수행은 목표선박과의 충돌위험 정도가 높은 조건에서 더 저조했고, 특히 이 조건에서 항행 상황 주변의 교통량이 많은 경우에는 레이더 정보에 대한 반응시간이 크게 증가하였다. 셋째, 항행 상황에 대한 자유회상률과 과제 수행에 대한 주관적 난이도를 종합적으로 고려해보면, 충돌위험 정도가 비교적 낮은 관례상황이라 할지라도 목표선박이 항로를 변경함으로써 자기선박과 충돌 가능성을 야기하는 경우에는 주변 선박의 수에 영향을 받아 자유회상률이 감소하는 대신, 주관적 난이도는 증가하였다.

주요어 : 항해사 상황인식, 항행 시뮬레이션, 선박제어, 레이더 감시수행

* 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2004-041-H00027)에 의하여 연구되었음.

† 교신저자 : 이재식, 부산대학교 심리학과, jslee100@pusan.ac.kr

우리나라의 선박 관련사고 분석(1988 - 2002년, 해양 안전심판원)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 항행법규를 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 보아도(Cockroft, 1984), 대부분의 해양 사고(90%)는 항해사의 항행 조종의 부담이 크고, 다른 선박의 거동 파악에 높은 인지적 부하가 초래되는 연구해, 항구 주변 및 운하 주변이며, 특히 Perrow (1984)는 주요 선박 충돌 사고의 56%가 운항 규칙 위반에 의한 것이라고 보고하였다.

최근 들어 해양에서의 교통량 증가에 따라 해양 사고도 증가하고 있을 뿐만 아니라 이에 따라 선박 조종의 자동화가 필수적인 요소로 부각된 상태이다. 그러나 이러한 운항 보조장치들의 선교(bridge)내 장착 및 설계에는 항해사의 정보처리 특성 및 인지 부담과 관련하여 몇 가지 심각하게 고려해야 할 사항들이 있다.

첫째, 이러한 자동화된 운항 보조장치들은 항해자가 미처 처리하지 못한 정보를 시스템이 스스로 처리하여 선박을 원활하게 운행한다는 순기능도 있으나 자동화된 시스템은 항해자의 정보처리 부담을 가중시키는 역기능을 갖기도 한다는 점이다. 예를 들어 시스템이 자동화되면 항행 상황에 대한 (일부분의) 정보 처리 기능을 시스템이 담당하게 되고, 이러한

처리 내용을 디스플레이를 통해 제시해 주어야 하기 때문에 항해사가 감시해야 하는 디스플레이의 수가 더 증가하여 이에 따라 항해사의 정보처리 부담이 커질 수 있다. Lee와 Sanquist(1996)는 이와 관련하여 충돌 회피 시스템과 같은 운항 보조장치들이 더 많은 주변 선박들에 대한 정보를 제공하고 안전 운항에 필요한 항해사의 계산 부담을 감소시켜주기도 하지만, 동시에 이러한 장치들의 구현으로 인해 시스템이 제공하는 다양한 정보들에 대한 항해사들의 해석과 지식의 부담은 더 가중된다고 보고하였다.

또 다른 문제는 대부분의 시스템 오퍼레이터들이 그렇듯이 시스템이 자동화되면 점차 항해사들이 특정 시스템을 과다하게 신뢰하는 경향을 보일 수 있고 이에 따라 다양한 정보원천들로부터 제시되는 정보들을 무시하고 특정한 디스플레이에만 과도하게 주의 집중하는 경향을 보이기도 한다는 점이다(Lee, 1996). 그 결과 부분적인 정보만 통합되어지고 이를 바탕으로 항행과 관련된 의사결정이 이루어질 경우 운항 보조 장치의 도움을 받지 않은 상황에 비해 더 위험한 상황에 봉착할 수도 있다(Vincente & Rasmussen, 1992).

운전이나 항공기 조종, 그리고 항행 수행과 같이 계속하여 변화하는 역동적인 상황에서는 오퍼레이터가 상황 변화를 꾸준히 인식하면서 최대한 적절하게 반응하는 것이 수행의 효율성과 안전에 필수적인 요소이다. 예를 들어 항해사들은 자신이 진행하고자 하는 경로의 방향을 계속하여 유지하면서 이와 동시에 자신이나 다른 선박의 위치 및 항속 변화, 항행 여건, 그리고 자신이 조종하는 선박 자체의 상태 변화(예를 들어, 엔진 상태) 등에 대해 계속적으로 주의를 주어야 한다. 뿐만 아니라

항해사들은 자신의 주변에 있는 선박, 항행 여건 및 자신의 선박 상태가 시간상으로 가까운 미래에 어떻게 변화될 것인가에 대해서도 미리 예측할 수 있어야 한다. 이러한 실시간 과제들을 유지하고 수행하는데 요구되는 정보들의 집합을 기술하기 위해 연구자들은 상황인식(situation awareness)이라는 용어를 사용하였다.

Endsley(1988)는 상황인식을 “어떠한 환경에 있는 단서들을 지각하고, 그들의 의미를 이해하며, 환경의 미래 상태를 예언하는데 이들을 투사하는 것”이라고 정의하였다. 그녀는 또한 상황인식에는 서로 다른 “수준”들이 있다는 것을 지적하였는데, 이러한 수준들은 인지적 복잡성에서 차이가 난다. 상황인식의 제1수준은 환경 속의 요소들이 갖는 상태, 속성, 그리고 역학을 지각(perceiving)하는 것이다; 상황인식의 제2수준은 자신이 갖고 있는 목표들(예를 들어, 진단이나 오류 발견과 같은 활동들을 포함해서)의 관점에서 이러한 단서들을 이해(comprehending)하는 것이다; 상황인식의 제3수준은 환경 속의 요소들에 대한 미래 상태를 투사(projecting)해 보는 것이다(Endsley, 1997).

상황인식에서 요구되는 인지적 과정들(예를 들어, 시스템에 대한 복잡한 정신적 표상으로 단서들을 통합하는 것)은 단서들을 해석하고 이들에 의미를 부여할 수 있는 기존의 지식을 통해 수행되어진다. 이것은 계기의 숫자를 읽는 것과 같이 매우 단순한 것일 수도 있고, 처리 제어 공장에서 오류를 발견하기 위해 수십 개의 디스플레이들을 평가하는 것과 같이 매우 복잡한 것일 수도 있다. 상황인식은 또한 위험 수준이나 의사 결정에 사용할 수 있는 가용한 시간의 양과 같은 요인들에 대한 평가들도 요구한다(Orasanu & Fischer, 1997). 상

황인식이 중요한 주제가 되는 이유 중의 하나는, 정신적 작업 부하나 스트레스가 높은 상황에서는 사람들이 상황인식을 “상실”하는 경향을 보이기 때문이다(Gugerty & Tirre, 1996). 예를 들어, 제트 비행기 조종사의 경우라면, 이것은 공간적 방향 상실이나 항공기의 상대적 위치에 대한 지식의 상실을 의미할 것이다.

선박을 이용한 항행이나 자동차의 운전, 그리고 항공기의 조종은 매우 다양한 상황에서 이루어진다. 그러나 운전과는 매우 판관으로 안전한 항행 유지에 중요한 대부분의 정보는 공간적 형태로 직접 관찰될 수 있는 것이 아니다. 그보다 항해사는 선박의 현재 위치와 선박의 현재 상태로부터 발생할 수 있는 미래의 위험 요소들에 대한 이해(understanding)와 인식(awareness)에 의존해야 한다. 다시 말해, 항해사들은 “상황에 대한 인식”을 갖고 있어야 한다. 예를 들어, 항해사는 자신이 조종하는 선박의 앞쪽과 옆쪽으로 각각 2 해리씩 떨어져 있는 다른 선박들이 충돌 가능한 경로에 있다고 인식하고 있는가, 혹은 항해사는 안개로 가려져 볼 수 없는 해상에서 충돌 가능 물체들을 인식하고 있는가 등이다. 그리고 앞서도 언급되었듯이 선박 외부에 존재하는 위험 요소에 대한 인식만큼 중요한 것은 선박 자체에 설치되어 있는 자동화 시스템의 상태에 대한 인식이다(Sarter & Woods, 1991)

과제 수행과 관련된 상황인식의 측정 방법은 크게 세 가지로 요약될 수 있다(Durso & Grondlund, 1999). 첫째, 자기보고 방법은 일종의 주관적 측정 방식으로 상황인식의 정도에 대해 시스템 오퍼레이터에게 스스로 평가해 보도록 하는 것이다(예를 들어, Taylor, 1990). 그러나 다른 많은 주관적 보고 방법이 갖는 문제와 마찬가지로 이러한 상황인식에 대한

주관적 자기 보고 방법에 대해서는 그 타당성에서 많은 의문이 제기되어 왔다(Nisbett & Wilson, 1977; Russo, Johnson, & Stephens, 1989).

주관적 자기 보고 방법의 문제를 해결하면서 비교적 직접적으로 상황인식 정도를 측정하는 방법은 시스템 오퍼레이터들에게 과제 수행의 특정 시점에서 그 이전까지 경험한 정보들을 보고하도록 하는 방법으로 이것은 가장 보편적으로 사용되는 방법 중 하나이다(Adams, Tenney, & Pew, 1995). 이 방법은 주로 기억 연구에서 많이 사용되어 왔으며, 기억의 정도와 상황인식의 정도가 서로 관련되어 있다는 사실에 기반한 것이다. Roediger와 McDermott (1993)는 이 방법을 통해 얻어진 자료를 (기억에 대한) 직접적 측정치라고 불렀다. 이 방법에서는 과제 수행의 무선적 시점에서 과제의 수행을 일시 중단하고(예를 들어, 제시된 스크린을 잠시 끄는 등의 방법을 통해) 지금까지 오퍼레이터가 경험한 상황이나 스크린이 꺼지기 직전 상황에 대한 것을 회상하도록 한다. 얼마나 많은 내용을 보고하는지가 이 방법의 주요 종속 측정치로 사용된다(Endsley & Bolstad, 1994). 그러나 이 방법은 일시적인 과제 수행 중단에 따라 과제 수행을 방해할 수 있고, 상황인식 측정을 위해 오퍼레이터의 기억 내용에만 의존해야 한다는 단점이 있다.

상황인식에 대한 간접적인 측정치는 다양한 수행 측정치들을 통해 상황인식의 정도를 측정하는 것이다. 예를 들어, 좋은 상황인식 능력을 보이는 항해사의 경우 항행과 관련된 여러 행동 지표들의 수행이 좋으며, 반대로 상황인식 능력이 떨어질 경우 마찬가지로 행동 지표들에 대한 수행 역시 저조해진다는 것을 가정하고 있다(Wickens, 1999). 본 연구에서는 항해 상황의 복잡성이 체계적으로 조작된 조

건에서 항해사가 보이는 다양한 수행을 상황인식의 관점에서 분석하고자 한다. 이를 위해 상황인식과 관련된 수행 측정치들로 상황인식을 직접적으로 반영하는 기억 내용 회상 측정치(즉, 시행 종료 후에 그때까지의 상황을 가능한 많이 그리고 정확하게 보고하도록 하는 것)와 상황인식에 대한 간접적 수행 측정치(즉, 실제로 항해사들이 보인 수행 지표들)를 모두 사용할 것이다.

연구개요 및 목적

본 연구는 항해사가 수행하는 항행 과제의 난이도를 결정하는 주요 변인들 즉, (1) 다른 선박과의 충돌 가능성 정도, (2) 항해사가 조종하는 선박(own ship, 이하 '자기선박'이라 부름)과 항로나 진행방향 등에서 서로 갈등을 야기할 수 있는 선박(target ship: 이하 '목표선박'이라 표기함)의 거동 형태, (3) 항행 상황 주변의 다른 선박의 수 등을 체계적으로 조작한 후, 항해사가 보이는 항행 과제의 여러 측면들을 항해사 상황인식의 관점에서 분석/해석함으로써 지금까지 많이 다루어지지 않았던 항해사 상황인식의 본질을 이해하는 것을 목적으로 한다.

항해 상황 복잡성과 항해사의 상황인식

다양한 요인들로 결정되는 항해 상황의 복잡성은 항해사의 효율적인 과제 수행에 영향을 미칠 것이다. 앞서서도 언급되었듯이, 본 연구는 항해 상황의 복잡성에 따라 항해사가 수행하는 과제는 어떠한 차이를 보이는지를 항해사의 상황인식의 측면에서 분석하는 것이

기 때문에 항해사의 안전 항해 및 원활한 선박 통제에 필수적인 상황인식의 요소에는 무엇이 포함되어야 하는가를 먼저 결정하였다.

기존의 항공기 조종 및 관제, 그리고 처리 제어 영역 등에서 상황인식 능력을 반영하는 것으로 여겨졌던 여러 요소들 중 공통적인 요소들에는 오퍼레이터의 작업기억 부담(Caretta, Perry, & Ree, 1996; 그러나 Sohn, Kim, Seol 및 Kim(2003)의 연구에서는 (항공기 조종) 전문성의 정도에 따라 작업기억 능력에는 차이가 없었다고 보고하고 있다] 및 장기기억과 관련된 요인들(Stokes, Kemper, & Kite, 1997), 제시된 자극 요소들의 통합 능력(Bellenkes, Wickens, & Kramper, 1997) 및 미래 상황에 대한 예측 능력(Gugerty, 1997) 등이 포함된다.

본 연구에서는 작업기억 부담 측면으로 항행 과제에 필수적인 목표선박 거동의 감시 과제와 동시에 레이더에 제시되는 정보를 탐지/확인하는 과제를 조합함으로써 작업기억 부담 요소를 평가하였다. 장기기억 요소의 평가를 위해서는 실험 후 시나리오의 여러 구성 요소들(주변 선박의 위치, 수 및 종류)에 대한 자유회상 과제를 실시함으로써 측정하였다.

또한 정보의 통합 능력과 미래 상황의 예측 능력을 평가하기 위해 Hockey, Healey, Crawshaw, Wastell 및 Souer(2003)의 연구 결과(즉, 항해자가 다양한 정보 요소들을 탐색하여 원활하게 통합할 경우 이를 바탕으로 미래 상황을 더 정확하게 예측함으로써 자기선박의 제어 방식뿐만 아니라 다른 선박과의 갈등 수준도 더 감소한다는 것)에 근거하여 자기선박의 전방과 후방에 각각 위치하여 항행하고 있는 선박들의 거동에 대한 항해사의 대처 능력을 나타내는 지표들(예를 들어, 목표선박과 자기선박 사이의 최단거리, 충돌 가능성이 있는

상황에서 충돌 회피를 위해 사용한 선박 조종 방식, 그리고 실제 목표선박과의 충돌 여부 등)을 측정하여 실험 조건에 따라 비교하였다.

항행 시나리오 작성

본 연구에서는 현실감 있는 항행 상황을 재현해 줄 수 있는 Full Mission Ship Handling Simulator를 이용하여 항행 시나리오를 작성하였다. 특히 항행 시나리오에는 목표선박과의 충돌 위험의 정도, 목표선박의 진행 방향(거동) 및 주변의 교통 혼잡도와 같은 항행 요소들을 다양한 수준에서 조작하여 상황인식에 대한 직접적/간접적 측정치들(즉, 항해사들이 주변의 항행-관련 요소들을 얼마나 잘 파악하고 있고, 다른 선박과의 충돌 위험 상황에서 얼마나 효율적으로 충돌을 회피하며, 항행과 관련된 전반적 선박 제어 수행은 어떠한지) 사이에는 어떠한 관계가 있는지 정량적으로 검토하였다.

본 연구의 항행 시나리오에서 조작된 독립변인의 유형과 각각의 독립변인 수준은 기본적으로 Hockey 등(2003)이 사용했던 것을 응용하였다. 이들은 PC상에 제시되는 레이더를 통해 충돌 위험의 정도, 목표선박의 거동 및 자기선박 주변의 교통량 등을 독립변인으로 조작한 후 이 변인들의 수준에 따라 항해사의 인지 부하 및 충돌 회피 행동에 어떠한 차이가 있는지 검토하였다. 그러나 PC를 사용한 Hockey 등(2003)의 연구와는 달리 본 연구는 (1) 실제 선박과 동일한 선교(bridge) 환경을 제공하는 선박 조종 시뮬레이터를 사용하였기 때문에 항해사들은 육안을 통해(즉, 시뮬레이터의 전방 디스플레이 화면을 통해) 다른 선박들의 거동을 관찰할 뿐만 아니라 선교에 탑

재된 레이더를 통해서도 중복적으로 동일한 정보를 확인할 수 있다는 점과, (2) 이들의 PC-기반 실험과는 달리 실제 항행과 마찬가지로 선교 안에 구현된 제어장치들을 사용하도록 함으로써 충실도(fidelity)가 훨씬 우월한 연구 방법을 채택하였다고 할 수 있다.

방 법

실험 참가자

한국해양대학교 해사대학 4학년 학부생 18명을 대상으로 하였고 이들의 평균 연령은 22.3세(SD=1.03)였고 성별은 모두 남자였으며, 실험 참가 후 참가비를 받는 조건으로 실험에 참가하였다. 18명의 실험 참가자들 중 피험자간 변인인 충돌위험 정도 조건에 9명씩 무선적으로 할당되었고, 각 집단 안에서는 9명의

실험참가자들이 두 가지 수준으로 각각 조작된 목표선박 거동 유형과 주변 선박수의 조합에 따른 네 가지 실험 조건에 모두 참가하였다. 독립변인의 속성과 구체적인 실험 설계에 대해서는 아래에 제시되어 있다.

항행 시뮬레이터

본 연구에서 사용된 선박 시뮬레이터 시스템은 노르웨이 Kongsberg Norcontrol사의 Polaris Simulator System이며 2개의 독립 또는 연계 운영이 가능한 선교 시스템과 비주얼 시스템, 레이더 시스템, 통신 시스템으로 구성되어 있다(그림 1 참조). 시뮬레이터의 운영 측면에서 구분하면 중앙제어실(Instructor Station), 선교(Ownship Bridge Module), CIG(Computer Image Generator)실, Debriefing실 등으로 구성되어 있었다. 선교에 설치된 종합항법장치는 Norcontrol사의 BridgeLine 2000 표준사양 제품으로서 노



그림 1. 본 연구에서 사용된 선박 시뮬레이터의 선교(bridge) 내부 전경.

르웨이 선급 DNV의 W1-OC, 독일선급 GL의 NAV-OC를 비롯한 여러 국가의 자동화 선박용 항법장치의 규격을 만족하는 시스템이다. 전자해도 표시장치(ECDIS: Electronic Chart Display and Information System)와 자동항행(route planning) 기능이 추가된 BridgeLine 2010 사양을 포함하고 있어서 통합적 항행 시스템(Integrated Navigation Systems)의 모든 기능을 갖추고 있으며, 특히 ARPA(Automatic Radar Plotting Aids: 자동 레이더 플로팅 장치)나 ECDIS를 비롯한 대부분의 시스템에 실제 장비를 이용하고 있으므로 자동화 선박의 첨단 종합항법장치의 모든 기능을 실제와 동일하게 적용할 수 있었다.

구체적인 항행 시뮬레이터 사양은 다음과 같다. 먼저 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 돔형 화면을 지원하는 13개의 프로젝터에 의해 항해자 전방 2.0m에 있는 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 대상(목표선박이나 주변 선박)들에 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 자기선박(Ownship)은 2만톤급 유

조선(Chemical Tanker, 최대속도: 13.44 노트)을 사용하였고 자기선박 외 총 여섯 종류의 선박을 목표선박이나 주변의 방해자급 선박으로 사용하였다.

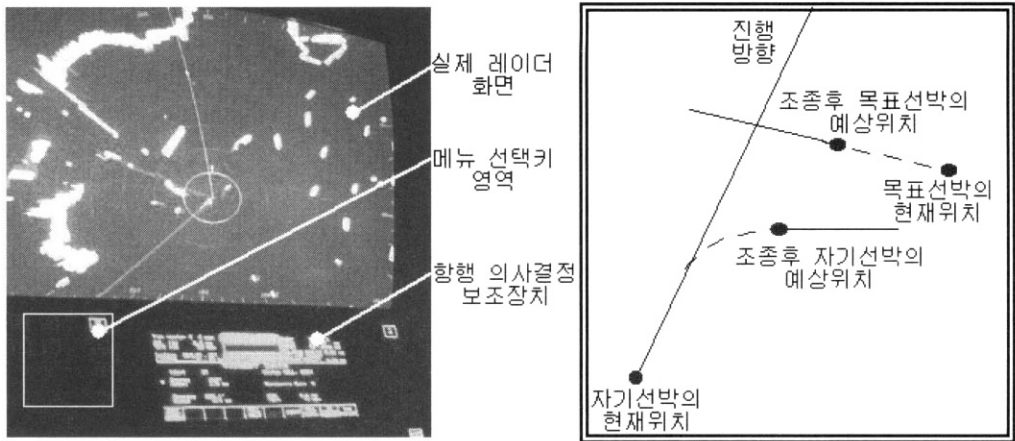
항행 레이더

본 연구에서의 실험은 선박 시뮬레이터의 선교 안의 레이더 시스템을 통한 항행 정보의 제공이 매우 중요한 비중을 차지한다. 즉, 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 x 1024 픽셀의 고해상도 화면상에 정지하고 있는 선박이나 움직이고 있는 목표선박의 위치, 항행방향, 항행속도 등의 정보를 제공한다. 그림 2는 본 실험에서 사용된 레이더의 실제 모습(a)과 항행 시나리오의 일례가 도식화된 장면(b)을 제시해 주고 있다.

항행 시나리오

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 지형지물도 존재하지 않았다.

항해상황의 복잡성을 조작하기 위해 본 실험에 사용된 독립변인들(즉, 충돌 위험정도, 목표선박 거동유형 및 주변 교통 혼잡도) 중 충돌 위험정도를 결정하기 위한 시나리오는



(a) 실제 레이더 화면

(b) 항행 시나리오의 일례

그림 2. 본 실험에서 사용된 레이더의 실제 모습(a)과 항행 시나리오의 일례가 도식화된 장면(b). (a)에서 항행 의사결정 보조장치에는 각종의 오작동 내용 및 경고, 자기선박의 진행방향, 엔진상태, 항행속도, 목표선박 진행 벡터 등이 제시되는데 이러한 보조장치는 본 연구에서 이차과제 수행 측정치를 수집하는데 사용되었다. (b)의 도식화된 항행 시나리오 화면상에 제시되어 있지 않지만 실제 실험 상황에서는 자기선박의 현재위치를 중심으로 1해리마다 동심원으로 범위(range)를 제시하였다.

목표선박의 해양 규칙 위반 여부(즉, 관례상황 vs. 긴급상황)로 조작하였다. 먼저, 관례상황(routine) 조건은 목표선박이 자기선박의 우현으로부터 접근해 오는 조건으로 해양 규칙상 우현에서 접근하는 선박이 항로에 대해 우선권을 가지고 있기 때문에 목표선박이 충돌 경로에 위치해 있을 때 실험 참가자들은 자기선박에 대한 항로를 변경해야 하는 조건이다. 반면, 긴급상황(emergency) 조건은 목표선박이 해양 교통 규범상 운항 규칙을 어기고 항로를 양보하지 않거나 항로 변경을 통해 자기선박과의 충돌 경로로 진입해 오는 경우이다. 목표선박 거동 유형 변인에서 직진(fixed) 경로 조건은 목표선박이 진행 항로에 대한 변경을 하지 않고 직진하는 경우이며, 항로 변경(altering) 조건은 목표선박이 안전한 거리에 위치해 있다가 항행 경로를 변경하여 항해사가 즉각적으로 조치를 취하지 않으면 충돌 상황

이 발생하는 경우이다. 그리고 교통 혼잡 정도는 자기선박과 목표선박을 제외한 주변 선박(방해자극 선박)의 수가 1척인 조건과 5척인 조건으로 조작되었다.

세 개의 독립변인은 각각 두 수준으로 조작되었기 때문에 총 8개의 항행 시나리오가 작성되었다. 모든 시나리오에 공통적으로 자기선박의 최초 방향은 0도, 최초속도 및 목표속도는 자기선박의 최대속도 및 조선의 난이도를 고려해 10노트로 설정하였다. 또한 자기선박이 최초의 방향과 속도를 가지고 운행하는 상황에서는 목표선박과 자기선박과의 충돌 위험이 있도록 목표선박의 항로를 설정하였고 주변의 방해자극 선박과 자기선박과의 충돌 위험은 없도록 설정하였다. 즉, 충돌위험 정도(관례상황 vs. 긴급상황) 혹은 목표선박의 거동 형태(직진 vs. 변경)에 상관없이 실험참가자가 적절하게 자기선박을 제어하지 못할 경우 충

돌이 발생하도록 시나리오를 구성하였다. 목표선박의 최초 출현 위치는 각 시나리오의 조건에 맞게 우현(starboard) 혹은 좌현(port)으로 설정하였고 방해자극 선박의 위치 및 방향은 무선적으로 설정하였으며, 목표선박의 거동 변화는 5분 안에서 무선적인 시점에서 발생하도록 하였다.

절차

실험은 연습 항행 조건과 본 항행 조건의 두 가지로 구분되었다. 긴급상황 조건에 할당된 집단과 관례상황 조건에 할당된 집단은 제 1선교와 제 2선교에서 각각 독립적으로 실험에 참가하는 방식으로 진행되었다. 실험 참가 순서 및 시나리오 제시 순서는 무선적으로 지정하였고, 선교 내에서는 두 명의 참가자가 각각 항해사와 조타수의 위치에서 실험에 참가하였다. 각각의 선교에는 연구자가 한 명씩 위치하고 실험이 시작되기 전에 1차 과제와 2차 과제에 대한 설명을 포함한 실험 전반에 관한 설명을 참가자에게 실시하였다.

본 실험에서 사용된 1차 과제는 0도로 선박의 방향을 유지하면서 10노트의 속도로 항행하는 것과 충돌의 위험이 있다면 충돌을 회피할 수 있도록 선박을 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 레이더 경고에 대해 반응하는 것이었다.

선교 내에서 실험에 대한 모든 준비가 끝나면 참가자는 VHF 통신을 통해 중앙제어실로

연락을 취하고 연락을 받은 후 제어실에 위치한 실험자에 의해 실험이 시작되었다. 시나리오 오는 약 5분간 진행되고 진행 중에 타 선박과의 충돌로 인해 자기선박이 움직일 수 없게 되면 5분이 지나지 않았더라도 그 시점에서 시나리오를 종료하였다. 충돌이 없거나 충돌이 있더라도 자기선박이 선교에 의해 제어가 가능하다면 시나리오를 그대로 진행시키고 시작 후 5분경에 화면을 정지(black-out) 시키고 종료하였다.

하나의 시나리오가 끝나면 참가자는 종료된 시나리오에 대한 주관적인 인지 부하량과 시나리오 종료 직전 상황 및 충돌 위험 상황에 대해 미리 준비된 설문지를 작성하도록 요구 받았다. 설문지 작성이 끝나고, 다음 시나리오 수행에 대한 준비가 되면 처음과 같은 방식으로 VHF 통신을 통해 중앙제어실로 연락을 하고 두 번째 시나리오가 시작되었다. 이와 같은 방법으로 참가자는 총 네 개의 시나리오에 대한 과제를 수행하였고, 시나리오의 제시 순서는 실험참가자에 따라 무선화되었다. 모든 과정이 끝나면 조타수와 항해사의 임무교대가 이루어지고 이전의 조타수가 항해사의 위치에서 실험에 참가하였다.

종속 측정치

앞에서도 언급되었듯이, 본 연구에서의 종속 측정치들은 모두 항해사의 상황인식을 반영하는 측정치들로 구성되었다. 이러한 종속 측정치들에는 항로 유지와 충돌 회피 수행(선박 조종 수행), 항행 보조 디스플레이(레이더)에 제시된 정보에 대한 감시 수행(레이더 감시 수행), 그리고 실험 종료 후 항행 상황에 대한 자유회상 수행 및 항행사의 전반적 과제

수행 난이도에 대한 주관적 평정치 등이 모두 포함되었다.

선박 제어 수행 측정치

목표선박과의 충돌 위험 상황에서 얼마나 효율적으로 충돌을 회피했는지에 대한 측정치로는 목표선박과의 실제 충돌 비율과 자기선박과 목표선박과의 최단거리(Closest Point of Approach: 이하 'CPA'라고 표기함), 그리고 충돌 회피 전략의 유형을 분석하였다. 참가자가 조종한 선박의 항로는 10초 단위로 데이터베이스에 궤적을 남기게 되는데 이를 통하여 연구자는 특정 시간에서의 각 선박의 위치 및 방향, 선박 간의 거리를 계산하였다.

이와 함께 보다 자세한 측정치인 선박의 속도, 러더(rudder)의 상태, heading 방향 등은 변화가 있을 때 마다 메인컴퓨터에 기록되었고 이 자료들은 추후 분석에서 사용되었다. 참가자가 목표선박과의 충돌을 피하기 위하여 선택했던 전략은 크게 (1) 엔진 조작을 통해 선박의 속도 변화만을 이용한 경우, (2) 조타에 의한 방향 변화만을 사용한 경우, 그리고 (3) 엔진 조작과 조타를 동시에 사용한 경우로 구분하였고, 각 집단에서 사용했던 전략의 유형과 빈도를 분석하였다. CPA는 실험 종료 후 출력된 결과물 상의 거리와 축척을 통해 계산할 수 있었는데 시나리오가 진행되는 동안의 최단 CPA값을 사용하여 분석에 사용하였으며, 단위는 미터를 사용하였다.

레이더 감시 수행 측정치

본 연구에서 실험 참가자들은 항행 과제를 수행함과 동시에 레이더에 제시된 정보를 감시하고 정보 내용에 따라 적절하게 반응하도록 요구 받았다. 즉, 레이더 상에 실험자에 의

해 인위적으로 제공된 “에러 메시지”에 대해 얼마나 빠르고 정확하게 반응하는지 측정하였다. 이러한 레이더 감시 반응은 경고가 제시된 시간에서부터 항해사가 지시된 특정 버튼(본 실험에서는 “ALARM” 버튼)을 누르기까지의 소요 시간을 1초 단위로 측정하여 메인컴퓨터에 기록하였다. 특히 일차적인 자료 분석 결과 이러한 레이더 감시 과제 수행에서는 에러가 없었기 때문에 반응 정확률은 분석에서 제외하였다. 레이더 감시 과제의 수행은 항해사들로 하여금 선박 전방의 항행 상황에 대한 화면과 부가 정보가 제시되는 레이더 화면 사이를 번갈아 주시하도록 요구함으로써 결과적으로는 더 빈번한 주의 전환과 과중한 인지 부하를 초래한다(Hockey 등, 2003). 그리고 인지 부하(혹은 정신적 작업부하)나 스트레스가 높은 상황에서는 사람들이 상황인식을 상실하는 경향을 보이기 때문에(Gugerty 등, 1996; Waag 등, 1997), 레이더 감시 수행 측정치는 항해사의 상황인식 능력을 반영해 줄 수 있는 또 다른 형태의 지표가 될 수 있다.

항해 상황에 대한 자유회상률

항해사들이 주변의 항행-관련 요소들을 얼마나 잘 파악하여 기억하고 있는지를 평가하기 위하여 각각의 시행 종료 후에 실험참가자가 경험했던 항해 상황 요소들에 대한 자유회상 과제(이 방법은 Endsley 등, 1994의 연구에 기초하여 채택하였다)를 실시하였다. 구체적으로 목표선박과 주변선박 사이의 위치, 상대적 거리, 진행 방향 및 주변선박의 이름에 대해 보고하도록 하여, 전체 가능한 점수에 대해 옳게 보고한 점수의 비율을 계산하였다. 예를 들어, 마지막 실험 종료 상황에서 관찰 가능했던 선박의 수가 5척이었고(따라서 전체적으

로 가능한 총점은 각각의 선박에 대한 위치 5 점 및 선박명 5점으로 총 10점이 된다), 항행 사가 이 중에서 다른 선박과의 위치에 대해서는 2번, 그리고 선박명에 대해서는 3번 정확하게 보고하였다면 총 5점이 되어, 회상정확률은 50%로 계산되었다.

주관적 과제 난이도

실험 후 참가자에게 자신이 수행한 항행 과제에 대한 전반적인 난이도에 대한 질문(“이 상황에서 요구된 과제를 수행하는 것이 얼마나 어렵다고 생각하십니까?”)에 대해 1점(전혀 어렵지 않음)에서 7점(매우 어려움)까지 주관적으로 평정하게 하였다.

실험설계 및 결과 분석 방법

본 연구에서는 두 수준의 충돌 위험정도(관례상황 vs. 긴급상황), 두 수준의 목표 선박 거동 형태(직진 vs. 변경), 그리고 두 수준의 교통 혼잡 정도(주변 선박의 수, 1 vs. 5)의 세 가지 독립변인이 조작되었다. 이 변인들 중에서 충돌 위험 정도 변인은 피험자간 변인이었던 반면(즉, 전체 18명의 실험참가자들 중 9명씩 충돌 위험 정도 조건에 할당되었다), 나머지 변인들은 피험자내 변인들이었다(즉, 각 충돌위험정도 조건에서 9명의 실험참가자들은 목표선박 거동 유형과 주변 선박수가 조합된 네 가지 조건에 모두 참여하였다). 그리고 이러한 독립변인들에 따른 종속 측정치들 중 CPA, 반응시간, 자유회상율, 주관적 난이도 자료에 대해서는 변량분석(ANOVA)을 이용해 5%의 기각역 수준에서 그 차이의 유의도를 검증하였고, 충돌 빈도나 충돌 회피 방략과 같은 자료에 대한 결과는 기술적 수준(즉, 상

대적 비율)에서 분석하여 보고하고자 한다.

결 과

선박 제어 수행 측정치

목표선박과의 최단거리(CPA)

충돌 위험성이 높은 상황에서 자기선박과 목표선박 사이의 최단거리(CPA)는 그 값이 클수록 우수한 수행을 반영한다. 분석 결과, 모든 독립변인들의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았던 반면, 목표선박의 거동 유형과 주변 선박수 사이의 이원 상호작용은 통계적 기각역에 근사한 수준에서 유의하였다($F(1, 16) = 4.31, MSE = 67222.22, p = .054$). 그림 3에서도 보이듯이, 항행 과정에서 목표선박을 제외한 주변 선박수가 1척이었던 경우는 목표선박이 항로의 변경하는 경우에, 반면 주변 선박 수가 5척인 경우는 목표선박이 항로를 고정하고 직진하는 경우에 더 큰 CPA를 보였다. 이러한 결과는 주변의 교통량이 크지 않을 경우에는 목표선박이 항로를 변경함에 따라 실험참가자들은 미리 선박을 제어하여 좀 더 안전한 거리를 두고 항해 과제를 수행할 수 있었던 반면, 주변의 교통량이 많은 경우에는 목표선박과의 최단거리를 유지하는데 방해를 받아 CPA가 더 짧아진 것으로 해석된다.

실제 충돌 비율

총 18명의 실험참가자들 중 9명씩 충돌 위험정도 조건에 할당되었고, 각 충돌 위험정도 조건에서 실험참가자들은 모두 4회의 실험에 임하였기 때문에(즉, 두 수준씩의 목표선박 거동 유형과 주변 선박 수) 세 가지 독립변인

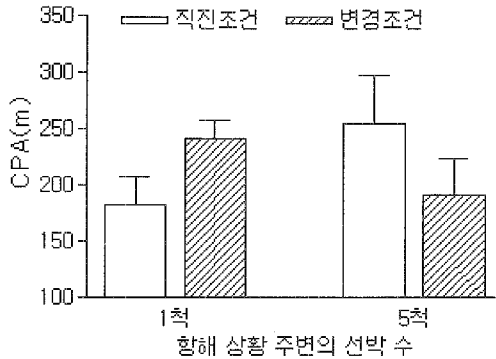


그림 3. 충돌위험 정도와 주변 선박 수에 따른 자기선박-목표선박 사이의 최단 거리(막대는 표준오차임)

각각에서 모두 36회의 충돌 여부를 관찰할 수 있었다. 그림 4에서 제시된 충돌비율은 전체 36회의 관찰 횟수 중 목표선박과의 충돌이 몇 번 발생하였는지를 각각의 변인별로 요약한 것이다. 그림 4에서도 보이듯이 실험참가자들은 목표선박과의 충돌위험 정도가 낮은 경우보다는 높은 경우에(5.6% vs. 16.7%), 그리고 목표선박이 항로를 고정하고 직진하는 경우보다는 변경하는 경우에(8.3% vs. 13.8%) 더 높은 충돌 비율을 보였다. 그러나 주변 선박 수에 따라서는 충돌비율이 동일하였다. 목표선박과의 충돌위험이 높거나 목표선박이 항로를 변

경하는 경우는 (그 반대의 조건들보다) 실험참가자의 과제 수행 부담이 상대적으로 더 높을 것이기 때문에 충돌비율이 이 조건들에서 상대적으로 더 높았던 것으로 판단된다. 반면 주변 선박 수는 목표선박과의 충돌여부를 결정하는데 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

충돌 회피 전략 유형

자기선박과 목표선박과의 충돌을 회피하기 위한 전략 유형(즉, 엔진속도만 조절한 경우, 자기선박의 방향만 변경한 경우, 그리고 엔진속도와 방향을 모두 조절한 경우)을 충돌위험 정도, 목표선박의 거동유형 및 주변 선박 수에 따라 분석한 자료가 그림 5에 제시되어 있다. 전체적으로 보면 목표선박과의 충돌의 회피하기 위해 실험참가자들이 가장 많이 사용한 충돌회피 전략은 엔진속도와 방향을 모두 사용한 것으로 이것은 전체의 68.1%를 차지한다. 그 다음은 방향만 조절한 경우(23.6%)이고 엔진속도만 조절한 회피전략이 가장 낮은 비율(8.3%)을 차지하였다. 이러한 결과는 항해사들이 목표선박과의 충돌의 회피하기 위해 좀 더 적극적으로 선박을 조종하는 경향이 보인다

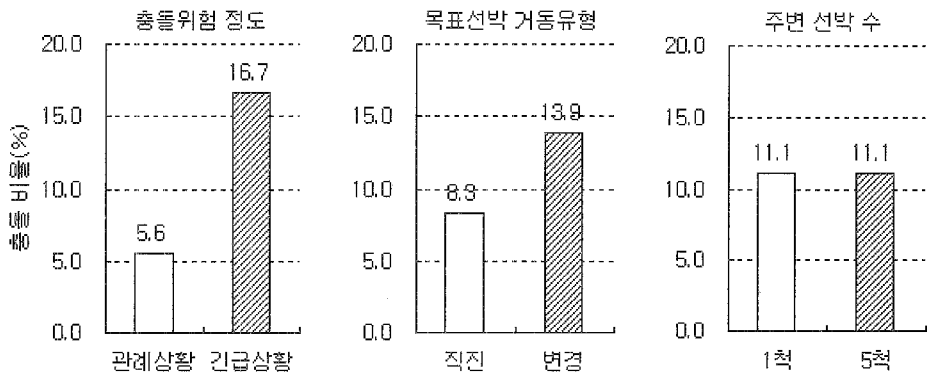


그림 4. 충돌위험 정도, 목표선박 거동유형 및 주변 선박 수에 따른 충돌 비율

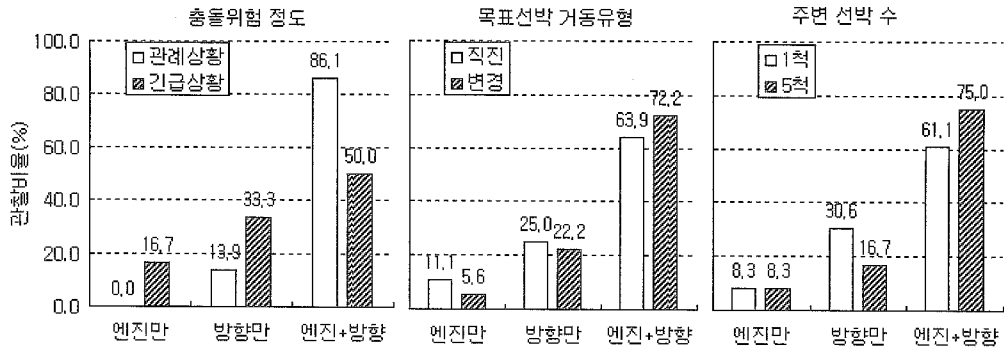


그림 5. 충돌위험 정도, 목표선박 거동유형 및 주변 선박 수에 따른 회피 반응 유형

다는 것을 시사한다. 다시 말해, 그림 5에서도 관찰할 수 있듯이 단순히 엔진의 속도만 줄이거나, 혹은 선박의 항로만 변경하는 것보다 엔진과 선박의 방향을 모두 제어하고자 하는 시도의 비율이 더 높다는 것을 알 수 있다.

목표선박과의 회피유형을 각각의 독립변인 별로 살펴보았을 때 특히 흥미있는 부분은 위험충돌 정도에 따른 회피방략이다. 즉, 엔진과 방향을 모두 조작하여 충돌을 회피하고자 한 경향은 목표선박과의 충돌 위험이 상대적으로 더 낮았던 관례적 항행 상황인 경우 더 뚜렷하였다는 점이다. 일반적으로 긴급상황에 비해 관례상황에서 충돌위험 정도가 상대적으로 더 낮다는 점을 감안하면 이러한 경향은 주목할 만하다. 앞에서 보고된 목표선박과의 최단 거리 측정치 결과와 관련지어 종합적으로 검토해 보면, 실험참가자들은 관례에 따라 항행하는 목표선박이 자신의 선박으로 접근해 오는 경우 자신의 선박이 목표선박과 충돌할 수 있는 가능성을 과소평가했을 수 있고, 이에 따라 목표선박의 거동에 주의를 별로 기울이지 않다가 충돌 가능 상황을 인식한 이후에 급하게 그리고 모든 선박 제어 방략을 사용하여 선박을 제어하기 시작하였기 때문인 것으로 보인다.

레이더 감시 수행 측정치

레이더 감시 수행 측정치(즉, 항행 과제 수행 도중 레이더 상에 무선적으로 제시된 에러 메시지에 대한 반응시간)에 대한 전반적인 분석결과, 레이더 에러 메시지에 대한 실험참가자들의 반응 시간은 긴급상황 보다는 관례상황에서[4.13초 vs. 3.46초, $F(1, 16) = 4.70$, $MSE = 1.7055$, $p = .046$], 그리고 항행 상황 주변의 선박 수가 5척인 경우보다 1척인 경우[3.97초 vs. 3.62초, $F(1, 16) = 6.20$, $MSE = 0.36$, $p = .024$]에 통계적으로 유의하게 더 빠른 반응 시간을 보였다. 이러한 결과들은 목표선박과의 충돌 위험 정도나 주변 선박 수에 따라 1차 과제 수행(즉, 선박 조종)이 어려운 조건에서 2차 과제 수행(즉, 레이더 감시 과제)도 전체적으로 저조하다는 것을 시사한다.

충돌위험 정도와 주변 선박 수 사이의 이원 상호작용은 통계적으로 유의한 수준은 아니었으나 레이더 감시 과제에서의 반응시간은 충돌위험 정도와 주변 선박 수에 따라 약간 다른 양상으로 차이를 보였다(그림 6). 즉, 전체적으로는 목표선박과의 충돌 가능성이 높은 조건과 주변 선박 수가 많은 조건에서 반응시간이 더 길었지만, 주변 선박수가 1척인 경우와 5

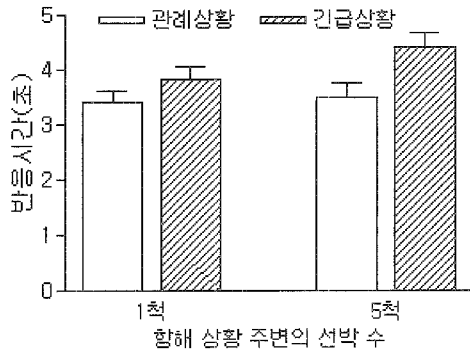


그림 6. 충돌위험 정도와 주변 선박 수에 따른 레이더 감시 반응시간(막대는 표준오차임)

척인 경우를 각각 분석한 결과 주변 선박이 1척인 경우는 충돌 위험 정도에 따라 반응시간에 차이가 없었으나 5척인 경우는 관례상황보다는 긴급상황에서 통계적으로 유의하게 긴 반응시간이 관찰되었다($F(1, 16) = 6.40, MSE = 1.16, p = .022$). 이러한 결과는 실험참가자가 목표선박의 거동을 주시하면서 동시에 레이더 감시 수행을 수행할 때, 목표선박과의 충돌위험 정도가 높은 경우에는 항행 상황 주변의 교통량에 따라 레이더 감시 수행이 상대적으로 더 많은 영향을 받을 수 있음을 시사한다.

항해 상황에 대한 자유회상 측정치

실험이 종료되고 화면이 제거된 상태에서 실시된 항해 상황에 대한 전체적인 자유회상률에 대한 분석 결과, 앞에서 보고된 선박 제어 수행 측정치나 레이더 감시 수행 측정치와는 달리 목표선박과의 충돌위험 정도에 따른 자유회상률에는 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 다른 종속측정치들과 유사하게 항해 상황에 대한 실험참가자들의 자유회상률은 목표선박 거동을 변경하는 경우보다는 직진하는 경우(72.6% vs. 84.8%, $F(1, 16) = 6.81, MSE$

$= 393.24, p = .019$), 주변에 선박수가 적었던 경우보다는 많았던 경우에(72.1% vs. 85.5%, $F(1, 16) = 11.20, MSE = 286.61, p = .004$)에 통계적으로 유의하게 더 높았다. 또한 목표선박의 거동 유형과 주변 선박 수 사이에는 5%의 임계역에 근접한 수준에서 상호작용효과가 관찰되었다($F(1, 16) = 4.21, MSE = 275.38, p = .057$, 그림 7).

목표선박의 거동 유형 및 주변 선박 수에 따른 자유회상률의 차이에서 가장 주목되는 부분은 주변 선박 수가 5척인 경우의 충돌 위험 정도에 따른 자유회상률에서의 차이이다. 즉, 일반적으로 목표선박이 항로를 변경하는 조건보다는 직진하는 조건에서, 그리고 주변 선박 수가 적은 조건보다는 많은 조건에서 자유회상률이 더 높았지만 주변 선박수가 1척인 경우에 비해 5척인 경우에는 목표선박이 항로를 고정하여 직진하는 경우보다는 항로를 변경하는 경우의 자유회상률이 현저히 감소하였다(82.2% vs. 62.0%, $F(1, 16) = 13.24, MSE = 278.0, p = .002$). 이러한 결과는 목표선박이 항로를 변경하여 자신의 선박으로 접근해오는 경우 자신선박과 목표선박의 충돌을 회피하기 위해 주로 목표선박의 거동에 더 많은

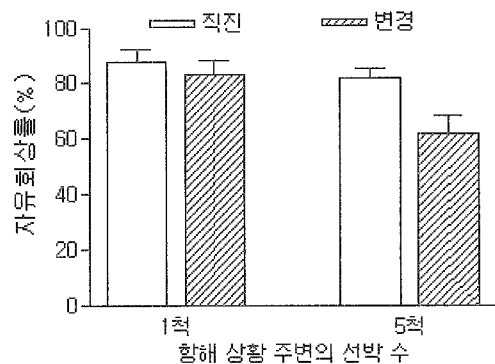


그림 7. 목표선박 거동유형과 주변 선박 수에 따른 자유회상률(막대는 표준오차임)

주의를 기울였을 것이며, 이 때문에 주변 상황을 제대로 파악하지 못하여 궁극적으로는 자유회상 과제에서의 수행이 더 저조했다는 것을 시사한다.

주관적 과제 수행 난이도

실험 종료 후 요구되어진 항행 과제 및 레이다 감시 과제 수행에 대한 실험참가자들의 주관적 난이도 평정 점수를 분석한 결과, 실험참가자들은 충돌위험 정도가 낮았던 관례상황에 비해 충돌위험 정도가 높았던 긴급상황에 대해 과제 수행이 더 어려웠다고 보고하였다($F(1, 16) = 6.48, MSE = 4.54, p = .022$). 또한 주변 선박 수가 1척이었던 조건에 비해 5척이었던 조건에서 주관적 난이도 평정치가 통계적으로 유의하게 높았다($F(1, 16) = 6.65, MSE = 0.53, p = .020$). 목표선박의 거동 유형에 따라서는 주관적 난이도 평정치에 유의한 차이가 관찰되지 않았으나, 목표선박 거동 유형과 주변 선박 수 사이에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 관찰되었다($F(1, 16) = 6.74, MSE = 0.132, p = .020$). 그림 8에 제시되어 있듯이, 목표선박이 항로를 고정하고 직진하

는 경우에는 주변의 선박 수에 따라 유의한 차이가 없었으나, 목표선박이 항로를 변경하는 경우는 주변의 선박 수가 1척인 경우에 비해 5척인 조건에서 주관적 난이도 평정치가 유의하게 더 컸다(3.22 vs. $3.89, F(1, 16) = 11.52, MSE = 4.0, p = .004$).

실험 조건에 따른 실험참가자들의 주관적 난이도에서의 차이는 위에서 살펴본 자유회상률에 대한 결과와 매우 유사한 패턴을 보인다. 다시 말해, 목표선박이 항로를 변경하지 않는 상황(이 상황에서도 실험참가자가 자기선박을 적절히 제어하지 않으면 충돌 상황을 야기한다)보다는 항로를 변경함으로써 자기선박과 충돌 가능성을 야기하는 경우에 주변 선박의 수에 따라 실험참가자들의 자유회상률과 주관적 난이도가 크게 달라지는 것으로 보인다.

논 의

본 연구에서는 충실도 높은 항행 시뮬레이터를 이용하여 항해 상황의 복잡성을 결정짓는 변인들을 체계적으로 조작한 후에, 항해사들의 선박간 충돌 회피 행동과 관련된 다양한 수행들을 상황인식 측정치를 통해 살펴보았다. 본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 실험참가자들은 충돌 위험성이 상대적으로 높은 긴급상황(즉, 목표선박이 해양 규칙을 위반하여 자기선박으로 접근하는 경우) 보다는 충돌 위험성이 낮은 관례상황에서 목표선박과의 충돌의 회피하기 위해 다양한 회피방략을 사용하여 선박을 제어하려는 경향을 보였으나, 충돌위험 정도가 높거나 목표선박이 항로 변경을 통해 자기선박으로 접근하는 경우는 충돌비율이 상대적으로 더 높았다. 둘째,

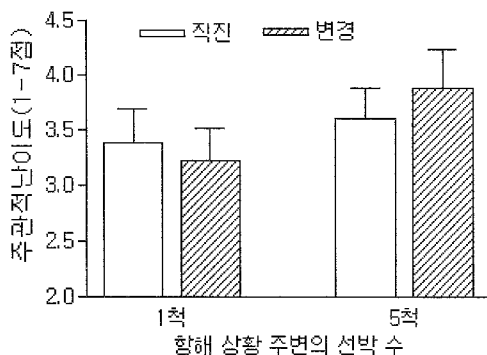


그림 8. 목표선박 거동유형과 주변 선박 수에 따른 주관적 난이도(막대는 표준오차임)

선박 제어와 동시에 요구된 레이더 감시 수행은 목표선박과의 충돌위험 정도가 높은 조건에서 더 저조했고, 특히 이 조건에서 항행 상황 주변의 교통량이 많은 경우에는 레이더 정보에 대한 반응시간이 크게 증가하였다. 셋째, 항행 상황에 대한 실험참가자들의 자유회상률과 과제 수행에 대한 주관적 난이도를 종합적으로 고려해보면, 충돌위험 정도가 비교적 낮은 관례상황이라 할지라도 목표선박이 항로를 변경함으로써 자기선박과 충돌 가능성을 야기하는 경우에는 주변 선박의 수에 영향을 받아 자유회상률이 감소하는 대신, 주관적 난이도는 증가하였다.

이러한 결과들을 종합하면, (1) 일반적으로, 실험참가자들은 명시적으로 주어진 항해 복잡성의 증가(예를 들어, 목표선박이 해양 규칙을 위반하거나 갑자기 항로를 변경하는 경우)에 따라 목표선박과의 충돌 비율도 증가하지만, (2) 목표선박과의 최단거리 유지, 레이더 감시 및 자유회상률 등의 수행 측면에서 보면 주변 교통량에 따라 목표선박이 거동 유형이 갖는 효과가 달라졌다. 특히, (3) 목표선박이 항로를 변경하는 경우는 목표선박의 예상 항로에 대한 좀 더 정확한 판단이 요구되기 때문에 실험참가자들은 이 상황에서의 과제 수행에 가장 큰 어려움을 경험하는 것을 보인다.

본 연구의 의의는 크게 두 가지 측면에서 요약될 수 있다. 첫째, 항해사의 수행을 심리학적 관점에서 분석한 기존 연구들이(예를 들어, Hockey 등, 2003) PC 혹은 축약된 형태의 시뮬레이션에 기반한 방법론에 많이 의존한 반면 본 연구에서는 충실도 높은 선박 시뮬레이션을 이용함으로써 항해 상황 복잡성에 따른 항해사의 수행을 좀 더 현실감있게 검토하였다는 점이다. 즉, PC를 사용한 Hockey 등

(2003)의 연구와는 달리 본 연구는 실제 선박과 거의 동일한 항행 과제 환경을 제공하였기 때문에 항해사들의 다양한 행동 요소들을 실시간/종합적으로 확인할 수 있었다. 둘째, 지금까지는 거의 적용되지 않았던 상황인식 개념을 항해사의 수행과 관련지어 검토하였다는 점이다. 항해사의 충돌 회피 행동에 근거하는 항해사의 상황인식 특성에 대한 경험적 자료를 실제적인 장면에서 적용한다면 항행사의 항행 훈련 방식에 대한 좀 더 적절한 방안이 모색될 수 있을 것이다. 즉, 본 연구를 통해 얻어진 항해 상황 복잡성과 항해사의 상황인식 능력 사이의 관계에 대한 자료를 항행사 훈련 과정에 반영함으로써 단순히 선박을 제어하는 차원을 넘는 보다 효율적인 항행 교습 프로그램의 설계가 가능할 것이다.

본 연구는 한계점도 가지고 있다. 본 연구가 실제 선박과 거의 동일한 항행 환경을 제공하는 충실도 높은 시뮬레이터를 통하여 이루어진 것이지만 본 연구 결과의 활용적 가치를 위해서는 실제 항행 상황에서 본 연구에서 밝히고자 하는 내용이 현실적으로 적용될 수 있는지도 검토해야 할 것이다. 예를 들어, 실제 선박을 이용한 항행 훈련과정에 시뮬레이션 상황에서 밝혀진 결과와 실제 항행 상황에서 관찰된 결과가 어느 정도 일관적인지 비교/검토한다면 본 연구 결과의 외적 타당도를 확인해 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

- 해양안전심판원 (2004). 해양안전 심판사례(사고 종류별 해양사고 통계편)
Adams, M. J., Tenney, Y. J., & Pew, R. W.

- (1995). Situation awareness and the cognitive management of complex systems. *Human Factors*, 37, 85-104.
- Bellenkes, A. H., Wickens, C. D., & Kramer, A. F. (1997). Visual scanning and pilot expertise: The role of attentional flexibility and mental model development. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 68, 569-579.
- Carretta, T. A., Perry, D. C., & Ree, M. J. (1996). Prediction of situation awareness in F-15 pilots. *International Journal of Aviation Psychology*, 6, 21-41.
- Cockroft, R. G. (1984). Collisions at sea, *Safety at Sea*, June, 17-19.
- Durso, F. T., & Gronlund, S. D. (1999). Situation awareness. In F. T. Durso, R. Nickerson, R. Schvaneveldt, S. Dumais, S. Lindsay, & M. Chi (Eds.), *The handbook of applied cognition*. (pp. 283-314). New York: Wiley.
- Endsley, M. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 37th Annual Meeting*, Santa Monica, CA: Human factors and Ergonomic Society.
- Endsley, M. (1997). The role of situation awareness in naturalistic decision-making. In C.E. Zsambol and G. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision-making* (pp. 269- 283). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Endsley, M. R., & Bolstad, C. (1994). Individual differences in pilot situation awareness. *International Journal of Aviation Psychology*, 4, 241-264.
- Gugerty, L. J. (1997). Situation awareness during driving: Explicit and implicit knowledge in dynamic spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3, 42-66.
- Gugerty, L. J., & Tirre, W. C. (1996). Situation awareness: A validation study and investigation in individual differences. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting*, Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomic Society.
- 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*, 45, 252-265.
- Lee, J. D. (1996). *Design of advanced ship systems: Emerging problems and human factors solutions*. Paper presented at the Centro Tecnico Navale(CETENA) Seminar on Human Factors Impact on Ship Design, Genova, Italy.
- Lee, J. D., & Sanquist, T. F. (1996). Maritime automation. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (pp. 365-384). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84, 231-259.
- Orasanu, J., & Fisher, U. (1997). Finding decision in natural environments: The view from the cockpit. In C. E. Zsambol and G. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision-making* (pp. 269-283). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Perrow, C. (1984). *Normal Accidents*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Roediger, H., & McDermott, K. (1993). Implicit

- memory in normal human subjects. In F. Boller & L. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology*(Vol. 8, pp. 63-131). Amsterdam: Elsevier.
- Russo, J. E., Johnson, E. J., & Stephens, D. L. (1989). The validity of verbal protocols. *Memory & Cognition*, 17, 759-769.
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1991). Situation awareness: A critical but ill-defined phenomenon. *International Journal of Aviation Psychology*, 1, 45-57.
- Sohn, Y. W., Kim, M. Y., Seol, J. W., & Kim, S. W. (2003). Cognitive prerequisites for developing expertise in situation awareness: Role for pilot memory. *한국심리학회지: 산업 및 조직*, 16, 205-230.
- Stokes, A. F., Kemper, K., & Kite, K. (1997). Aeronautical decision making, cue recognition, and expertise under time pressure. In C. E. Zsombok & G. Klein (Eds.), *Naturalistic decision making* (pp. 183-196). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Taylor, R. M. (1990). Situation awareness rating technique(SART): The development a tool for aircreww systems design. In *AGARD-CP-478, Situation Awareness in Aerospace Operations* (pp. 3-17). Neuilly-Sur-Seine, France.
- Vincente, K. J., & Rasumussen, J. (1992). Ecological interface design: Theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22, 589-606.
- Wickens, C. D. (1999). Aerospace psychology. In P. Hancock (Ed.), *Handbook of perception and cognition: Human performance and Ergonomics* (pp. 195-242). San Diego, CA: Academic Press.

1차 원고접수 : 2006. 8. 11

2차 원고접수 : 2006. 11. 12

최종게재결정 : 2006. 11. 16

The Effect of Navigation Complexity on Mariner's Situation Awareness for Collision Avoidance: Using the Full Mission Ship Handling Simulator

Jaesik Lee

Department of Psychology, Pusan National University

The purpose of the present study was to investigate the effect of naval situation complexity on mariner's situation awareness(SA) for ship-to-ship collision avoidance behavior using the full mission ship-handling simulator. Independent variables employed to manipulate naval situation complexity were risk levels of ship-to-ship collision, movement types of target ship(TS), and number of ships around the own ship(OS) were systematically varied. Dependent variables reflecting mariner's SA were measured in terms of closest point of approach(CPA) between TS and OS, number of collision, radar detection reaction time, and free recall performance of current situation, and subjective ratings for the task difficulty. The results can be summarized as followings. First, in general, they tended to collide with the TS more frequently when they encountered complex situation. Second, however, when the TS altered its path in the heavy traffic situation, the mariners appeared to deteriorate in their radar detection reaction time and free recall performance. Third, although the possibility of ship-to-ship collision is relatively lower in the routine navigation situation, the mariners tended to rate subjective task performance difficulty score higher than the other conditions when the TS altered its path. It is suggested that the mariners' ship control and other navigation-related performances can be interpreted in terms of SA.

key words : Mariner's situation awareness, Ship-handling simulation, Ship control, Radar monitoring