

선박조종과 안전항해를 위한 항해사와 SCMS의 상호작용

김비아* · 이재식** · 김종도*** · † 오진석****

* 부산대학교 대학원, ** 부산대학교 교수, ***, 한국해양대학교 교수****

Interaction between Navigation Officer and SCMS for Ship Control and Safe Navigation

Bia Kim* · Jae-Sik Lee** · Jong-Do Kim*** · † Jin-Seok Oh****

*** Pusan National University, Pusan 606-735, Korea

**** Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 해난사고를 억제하고 선박을 안전하게 운항하기 위해서는 선박을 조종하는 항해사와 항해사의 항해 수행을 보조하는 시스템의 효과적인 상호작용이 필수적이다. 본 연구에서는 항해사의 항해 수행을 지원하고 안전한 선박 운행을 확보하기 위해 개발된 SCMS(Ship Control and Management System)의 기능을 항해사의 수행과 관련지어 (1) 경계(watchkeeping), (2) 위치확인(positioning) 및 조종(manuevering)의 측면에서 개관하고, 선박 조종 및 안전성 확보를 위해 항해사가 이 시스템과 어떠한 방식으로 상호작용하는지 기술하였다. 또한 실제 선박에 탑재된 것과 동일한 SCMS 시뮬레이터를 이용하여 항해사를 훈련할 경우 선박조종을 위한 교육시간이 훨씬 단축될 수 있다는 것과, 실제 항해 실습 과정에서 경험하는 선박조종에서의 안전 정도(특히 조종 부문에서)도 급격히 상승함을 경험적 자료를 통해 확인하였다.

핵심용어 : 인적요인, SCMS, 항해사, 안전, 해난사고, 인지능력

Abstract : Effective interaction between navigation officer and automated navigation-support system is essential for ship-handling and safe navigation. In this study, the functions of the SCMS(Ship Control and Management System) which was developed and implemented to support navigation officer's ship control and to guide safe navigation were described in terms of navigation officer's tasks(i.e., watchkeeping, positioning, and maneuvering), and the interactive relationship between navigation office and the system were analyzed. In addition, the effectiveness of the system was evaluated in the scope of training efficiency and subjectively rated safety level.

Key words : Human factors, SCMS, Navigation officer, Safety, Marine accident, Cognitive ability

1. 서 론

선박의 안전을 위해 다양한 시스템이 개발되어 운용되고 있다. 해난사고는 인적 재해, 물적 재해와 더불어 대형 환경 재해를 동반하는 경우가 많이 있다. 이러한 특성 때문에 안전항해를 위해 선박을 통합적으로 제어관리 할 수 있는 SCMS(Ship Control and Management System)가 개발되어 운용되고 있다.

이러한 SCMS는 항해시스템을 통합 관리하는 INS(Integrated Navigation System)와 기관시스템을 통합 관리하는 PCS(Propulsion Control System)가 연동되어 선박의 안전항해를 위해 운용되고 있다.

선박의 안전을 위해 항해사들은 다양한 훈련 및 교육을 받고 승선하고 있으며, 이러한 과정을 거쳐 해난사고의 발생을 억제하고 있는 것이 현실이다. 그러나 과거에 비해 해기사의 질적 수준 저하와 안전에 대한 의식 부족에 기인한 해난사

고는 해결해야 하는 문제점이다.

본 연구에서는 SCMS 의해 운항되고 있는 선박과 항해사의 연관관계를 선박안전 측면에서 연구하고, 그 결과를 제시하고자 한다. 일반적으로 선박은 집이안, 협수로 통과, 운하통과, 연안항해 등의 일부 항행 구역을 제외하고는 대부분 SCMS와 같은 선박 자동화 운항시스템을 활용하여 운항하고 있다(고 등, 2003).

본 연구를 통하여 자동화 선박에서 SCMS의 역할과 운항선박에서 SCMS 측면에서 연구 분석해 보고자 한다.

2. SCMS

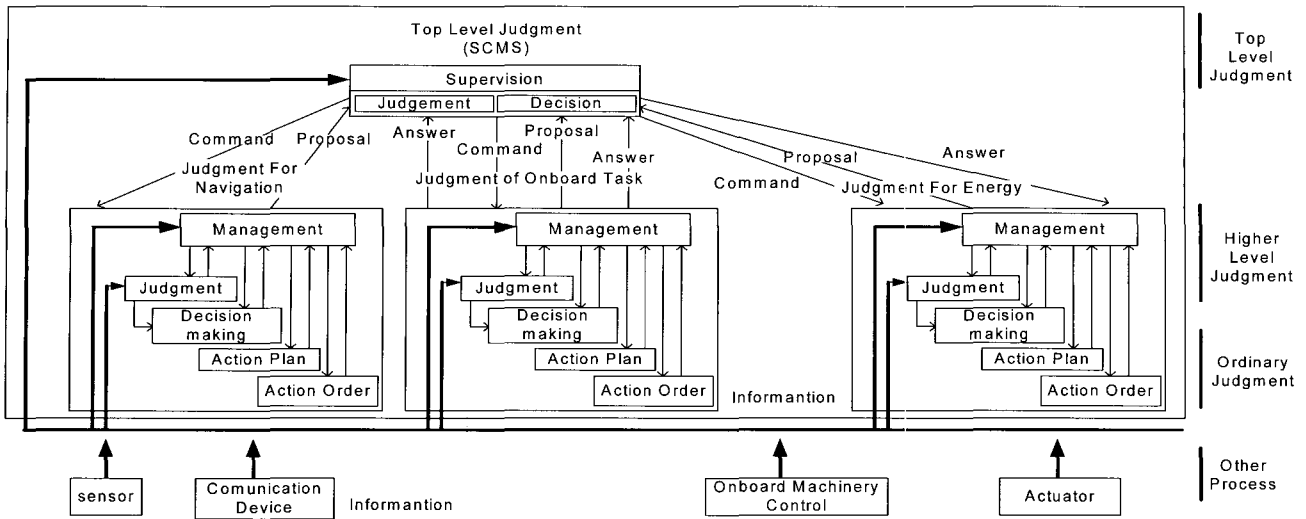
SCMS는 다양한 시스템을 관리하기 위해 디지털 및 아날로그 신호를 처리할 수 있어야 하고, 이를 위해 신호처리모듈과 인터페이스 특성이 양호해야 한다. SCMS는 수학적 모델링

* 정회원 : biakim@pusan.ac.kr, 051)510-3030

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

*** 정회원 : jdkim@hhu.ac.kr, 051)410-425

† 교신저자 : 오진석(정회원), ojs@hhu.ac.kr, 051)410-4283



자료: 오진석(2003), 선박자동화, p.31

Fig. 1 Logic Flow for SCMS

을 통하여 DRC(Dead Reckoning Control) 같은 기능을 갖추어야 하며, VE(Vessel Estimator)는 수학적인 서브모델(submodel)로 구성되어 선박의 동적인 운동특성을 최적으로 나타낼 수 있어야 한다. SCMS가 안전 운항을 지원하기 위해서는 코스유지, 트랙유지, 위치유지 같은 FV(Force Vector)와 회전모멘트 등을 고려한 알고리즘을 갖추어야 한다.

SCMS가 항해사의 역할을 하기 위해서는 신뢰성을 갖춘 비논리 방지 알고리즘과 같은 논리와 관련된 알고리즘이 구축되어야 한다. 이러한 논리에 근거하여 판단과 결정을 인간과 같이 한다. Fig. 1는 SCMS의 판단과 결정과정을 정리한 논리 흐름도이며 항해사가 운항 중에 운항환경을 판단하여 기기를 조작하는 것과 같이 SCMS는 TLJ(Top Level Judgement)에서 판단하여 선박 안전운항 상태를 유지하도록 하고 있다 (홍등, 1990).

3. 항해사와 SCMS 관계

3.1 운항 측면

SCMS와 같은 선박 자동화 운항 시스템은 선내업무 중 선박운항에 필요불가결한 업무를 제외하고는 가능한 한 육상으로 이관하고 선내의 각 기기 및 시스템은 가능한 한 수리가 필요 없거나 쉽도록 하는 한편, 컴퓨터가 각 기기의 운전상태를 감시 기록하는 것은 물론 각 기기와 시스템의 성능 평가, 이상검진을 하는 등 각종 자료의 분석과 통계처리를 행하여 선박 운항자에게 운항에 필요한 최소한의 정보만을 제공함으로써 선박운항의 효율과 신뢰성의 향상을 시도하고 있다. 또한 SCMS는 운항에 따른 경제성의 향상, 안정성의 향상, 선내 근로환경의 개선, 승선 인력 확보의 용이성 등을 향상시킬 수 있다. 승무원 소수 정원화와 경제성은 승선 인력의 부족과 선

원비 상승의 문제를 소수 정원화 된 자동화 선박이 해결해 줄 수 있다. 운항의 경제성에 관한 문제는 선박용 엔진이 대형화됨에 따라 연비 절감의 측면에서 중요한 문제가 되었다. SCMS는 선박을 최적 제어하고 이를 통해 연비를 절감할 수 있으므로, 운항 경제성을 향상시킬 수 있다. 또한 항로 결정을 최적화함으로써 항해 일수를 단축하면 선박의 가동률이 높아지고 따라서 운항 경제성이 향상되고, 하역작업의 최적화는 하역인력의 절감 및 하역시간의 단축을 통하여 선박의 운항 경제성을 향상시켜 주게 되며, 선박의 자세를 실시간 탐지 및 밸러스트 탱크 운용의 자동화를 통하여 트림, 횡경사 등의 선체자세를 실시간 제어함으로써 선박의 운항 안정성을 향상시킬 수 있다. 그밖에 선박 관리, 선박 사무 분야의 자동화는 선단 전체를 효율적으로 관리할 수 있게 하여 준다(김, 1980)

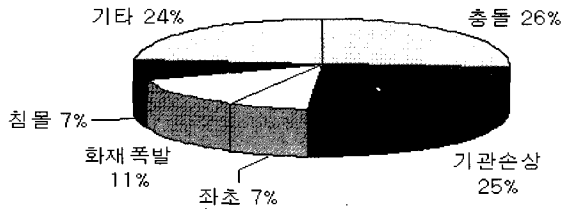
3.2 안전 측면

위와 같은 운항측면에서의 장점을 향상시키기 위해서는 운항 안전성 분야를 소홀히 다룰 수 없으므로 자동화 선박의 안전성 확보는 필수적이다. 따라서 SCMS와 같은 선박 자동화 시스템이 겸비해야 할 가장 중요한 것은 안전성의 향상이라고 하여도 과언이 아니다.

해양안전심판원의 분석에 따르면 국내에서 2005년에 발생한 해난사고의 유형별 현황을 살펴보면 Fig. 2와 같이 충돌 좌초에 의한 사고가 전체의 33%, 기관손상에 의한 사고가 25%를 차지한다. 하지만 여기서 기관손상에 의한 사고는 대부분 어선에서 발생하였으며 어선을 제외한 선박의 경우에는 충돌 및 좌초에 의한 사고가 대부분을 차지한다고 볼 수 있다.

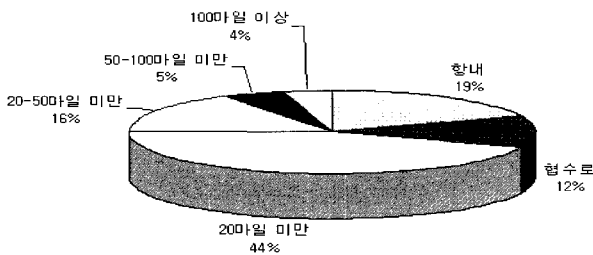
한국해양수산개발원에서 분석한 해난사고 거리별 발생현황(2004)을 정리하면 Fig. 3과 같다. 충돌 좌초사고와 같은 해난 사고는 항내, 협수로, 육지로부터 20마일 미만의 해역에서 발생하는 것을 보여주고 있다. 즉 충돌예방시스템과 연동성을

갖춘 SCMS로 운항할 경우 사고율이 높은 해역에서의 사고율을 줄일 수 있다.



자료: 해양안전심판원, <http://www.kmst.go.kr>

Fig. 2 The types of marine casualties in 2005



자료: 한국해양수산개발원, <http://www.kmi.re.kr>

Fig. 3 The places of marine casualties in 2004

따라서 충돌예방시스템과 연동 운용되는 SCMS는 항해사에 의한 인적과실을 예방하며, 더불어 선박의 안전성을 확보해 준다. 그 외에도 화재탐지 시스템, 소화 시스템, 안전하역 시스템, 유류 누설방지시스템을 관리하는 기능을 갖추으로써 충돌 등의 해난사고를 체계적으로 예방할 수 있다.

4. 해난사고 특성

해난사고의 요소는 Environmental Conditions(환경조건), Technical faults & deficiencies(기술적 고장 및 결함), Human Factors(인적요소) 그룹으로 분류할 수 있다.

항해당직자의 신체적/ 정신적 건강상태, 항행환경 그리고 특히 선박조종 직무에 속한 원인요소들이 사고의 원인으로 등장하면서 다른 그룹의 원인요소들보다 더 높은 영향을 미치는 것으로 보여 진다. 이 밖에 기술적인 고장이나 결함 또는 당직체계 등에 속한 요소들이 다른 그룹의 요소들 보다 더 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

그러나 유효수준(박, 1994)이라는 지표를 사용하여 사고에 미치는 각 원인요소 그룹의 상대적 유효수준을 비교해 보면, 선박조종 직무에 속한 원인요소들이 사고의 원인으로 등장하면서 다른 그룹의 원인요소들보다 더 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 밖에 기술적인 고장이나 결함 또는 당직체계 등에 속한 요소들이 그 밖의 그룹 요소들 보다 더 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 상대적인 중요도에서는 선박조종 직무에 관한 원인그룹의 중요도가 가장 높으며(0.35), 항

해당적 관련 원인 요소 그룹이 0.17, 항행 환경요소 그룹이 0.14로 각각 두 번째 및 세 번째 중요도를 차지하고 있다. 전체적으로 보아 인적요소가 전체 사고 요소 중에서 0.59를 차지하며, 환경조건이 0.33 그리고 기술적 고장이나 결함요소가 나머지 0.08을 차지하는 것으로 나타났다.(박, 1994)

Table 1 Effect level by factor groups

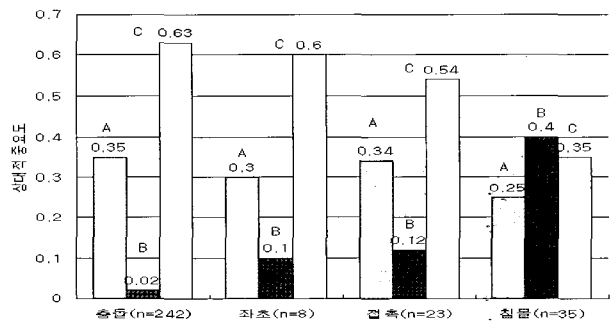
그룹	세부그룹	유효수준	
환경 요소	외부조건	0.12	0.33
	항로조건	0.08	
	항행환경	0.14	
기술적 고장 및 결함		0.08	
인적 요소	건강상태	0.01	0.59
	조직/훈련	0.04	
	상호관계	0.01	
	당직관계	0.17	
	선박조종	0.35	

자료: 박진수,(1994), 월간 해양한국, 25p

선주의 무리한 항차수행 요구등과 같은 '사업적 동기에서 비롯된 압력'과, '상대선의 항법위반', '위급한 상황에서 상대선의 무조치' 등과 같은 원인요소를 환경조건외 항행환경 소그룹에 포함시켰기 때문에 인적요소의 비중이 약간 낮게 나왔으며 따라서 앞의 분석에서 나온 인적요소는 사고에 관련된 당해선박 승무원의 인적요소로 제한하여 해석할 필요가 있다 (김 등, 2000)

Fig. 4는 사고종류별, 원인요소 그룹별 유효수준(Effect Level)을 보여주고 있다. 충돌 사고의 경우 인적 요소가 63%

A: 환경조건 B: 기술적 사고 또는 결함 C: 인적요소



자료: 박진수,(1994), 월간 해양한국, 25p

Fig. 4 The Relative importance of factor groups in different type of casualties

환경조건이 35%를 차지하는데 반해 기술적 고장이나 결함 요소는 2%에 불과하다. 좌초의 경우에는 인적요소가 60%, 환경조건이 30%를 차지하고 기술적 고장이나 결함요소는 10%를 차지한다. 그러나 침몰의 경우에는 인적 요소가 35%를, 환

경조조건이 25%를 차지하는데 반하여 기술적 고장이나 결함요소가 무려 40%를 차지하고 있다.

Fig. 4를 통하여 알 수 있는 것은 충돌에 있어 가장 주된 원인은 인적요소에 속하는 원인들로서 그중 특히 경계소홀 및 위급한 상황에서의 태만함이 높은 유효수준을 보이고 있고, 환경조건으로서는 위급한 상황에서 상대선의 무조치, 상대선의 항법위반 및 안개로 인한 시정제한이 중요한 원인들이다. 그 밖에 좌초, 접촉사고 등도 항해사의 태만과 주위력 결핍이 원인이 된다.

항해사의 항행 수행이 갖는 총체적 특성에 비추어 항해사와 관련된 인간 요인 뿐만 아니라 선박의 제어 능력 및 항행 보조 장치들의 설계와 같은 다양한 요인들이 안전한 항행과 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 SCMS는 선박에서 항해사의 역할을 최적으로 수행할 수 있도록 구성한다.

5. SCMS 역할

해난사고에 영향을 미치는 원인들과 그 관계는 매우 다양하고 복잡하다. 해난 심판 사례자료를 이용하여 사고에 영향을 미쳤을 것으로 추측되는 모든 사고원인 요소를 추출해 내고, 각각의 원인 요소를 정리하면 Essential factor(사고발생에 절대적인 영향을 미친 요소)가 가장 큰 영향을 준다.

SCMS와 연관관계를 확인하기 위하여 선박에서 항해사의 업무를 분석하면 다음에 정리한 분야에서 항해사와 SCMS가 밀접한 관계를 가지고 있다.

첫째, 경계(watchkeeping)는 SCMS가 기본적으로 갖추고 있어야 하는 기능으로 해상에서 움직이는 물체와 고정되어 있는 물체를 인지하고, 방향, 거리, 속도 등의 정보를 확보하면서 목표 물체의 미래상황을 예측하는 것이다. 항해사가 경계를 소홀히 하면 충돌 등의 재해를 유발한다.

둘째, 위치(positioning) 기술에 대한 분야의 SCMS는 레이더, GPS 등으로부터 신호를 받아 위치를 지속적으로 확인한다. 이는 항해사들이 눈, 레이더 등을 활용하여 직접 위치를 확인하는 역할을 대신하여 수행 할 수 있게 한다.

셋째, 조종(maneuvering)분야의 SCMS는, 당직 중에 일정 간격으로 점검하는 항해사의 업무를 코스(course), 트랙(track) 등의 항행코스지점 waypoint)을 활용하여 자동으로 수행한다.

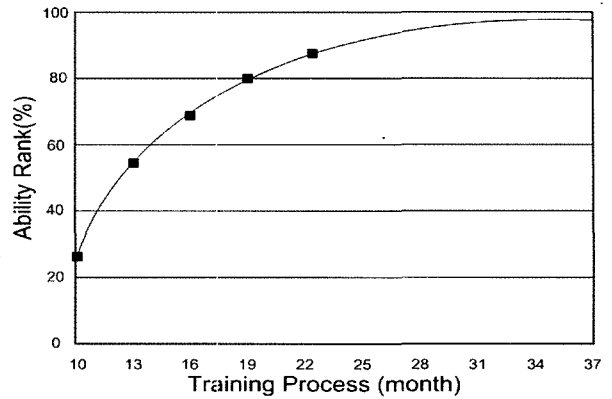
그밖에 장비조작(instrument manipulating), 통신(communication), 항법규칙(rule of road), 계획(planning), 비상사태(emergency), 관리(management) 분야도 항해사의 역할과 유기적인 관계를 가지고 있다.

항해사 및 SCMS의 선박조종능력은 복합적인 기본기술로 구성되어 있고, 그 개념을 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

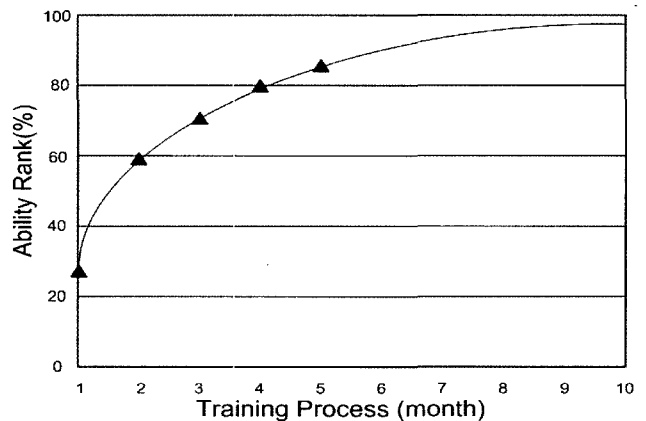
$$S(a,b) = t_1(a) + t_2(b) + t_3(a,b) \tag{1}$$

식 (1)에서 S는 전체 제어능력, a는 요소기술 1, b는 요소기술 2, t_1 은 요소기술 a에 대한 능력, t_2 는 요소기술 b에 대한

능력, t_3 는 a 및 b 두 기술의 합성기술의 능력을 의미한다. 식(1)에서 단순한 기본 기술 그룹인 t_1 , t_2 등은 어떤 경우에 선박조종기술로는 충분하지 않다. 이러한 경우에는 a와 b 기술을 수행 시에 t_1 및 t_2 가 합성된 기술이 요구된다(Makoto, 2002).



(a) onboard training



(b) simulator training

■, ▲ : observation Value

자료 : Kobayashi Hiroaki et al(2000), New Standards of MET Using Ship Handling Simulator

Fig. 5 Learning process

대부분의 자동화 선박의 경우 SCMS를 탑재하고 있으며, 이러한 SCMS는 시뮬레이터로 개발되어 선박조종기술을 숙지하는 장비로 활용되고 있다. 그러므로 선박에 승선하는 항해사들은 선박용 조종 시뮬레이터를 활용한 교육을 받고 있다.

본 논문에서는 실제 선박에 탑재된 SCMS와 동일한 SCMS 시뮬레이터로 교육을 받을 경우 선박조종능력 숙지정도에 대하여 고찰해 보았다.

Fig. 5를 보면 시뮬레이터를 활용하여 교육한 경우 숙지정도가 약 100%로 도달하는데 9-10개월의 시간이 필요하지만, 시뮬레이터를 활용하지 않은 경우에는 34-37개월의 시간이 필요한 것을 알 수 있다. 따라서 SCMS 시뮬레이터를 활용한 숙지과정이 교육시간을 훨씬 단축할 수 있음을 보여준다. 이

상과 같이 항해사의 역할을 최적으로 반영한 SCMS 시스템을 설계하고, 실제 선박에 탑재한 SCMS와 유사한 시뮬레이터로 교육을 받으면 선박안전을 유지하는데 많은 도움이 된다. 그러므로 안전개념이 알고리즘화된 프로그램을 탑재한 선박용 시뮬레이터로 교육을 받고 승선하는 것이 안전운항 측면에서 유리하다.

Fig. 6은 선박에 안전수준 추이를 도시한 것이다. 본 실험은 실습생(20명)을 대상으로 설문문을 통하여 수행하였으며, 실습과정에서 실습생이 느낀 선박안전에 대한 안전수준을 조사한 결과이다.

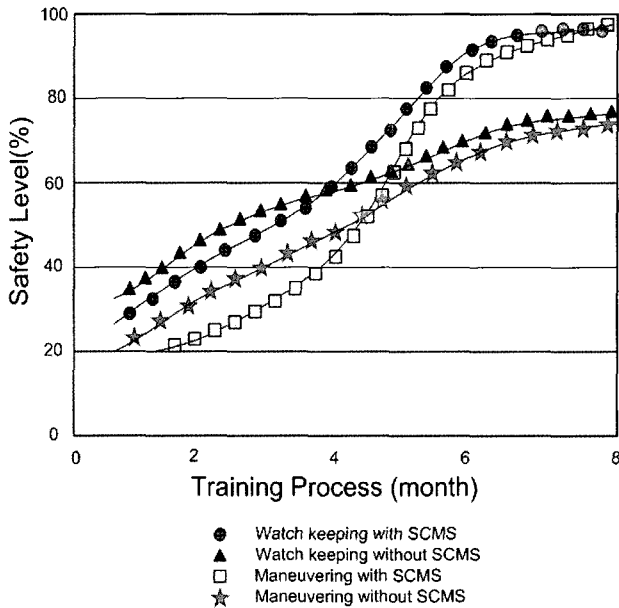


Fig. 6 Safety level process for ship

안전도 추이에 대한 조사에서 초기에는 SCMS를 활용한 경계에 익숙하지 않아 대부분 육안으로 경계하는 것을 편하게 생각하지만, 인간이 지속성 및 반복성에 취약한 현상이 4개월이 지난 시점에 나타나고, 자동화의 편리성을 추구하면서 SCMS를 활용하기 시작한다. 초기에는 경계보다 조종측면에서 SCMS 활용도가 떨어지지만 시간이 경과할수록 조종부분에서 활용도가 급격히 상승함을 알 수 있다. 이러한 이유는 SCMS를 활용한 경계보다 조종이 어려운 결과이다.

이상의 연구과정을 통하여 선박의 안전운항을 위해서는 다양한 항해환경과 항해사의 심리적인 특성을 반영한 알고리즘이 SCMS와 같은 자동화 체계에 반영되어야 안전을 기반으로 한 최적의 선박조종체계가 될 수 있다.

6. 결 론

지금까지 우리는 해난사고를 예방하고, 선박을 안전하게 운항하기 위하여 승무원의 운항기술 향상을 위한 훈련강화, 선박설비 개선, 운항요건 강화 및 설비의 결함을 줄이는 등 하드웨어적 측면의 개선에 주력하여 왔다. 이러한 설비 개선, 엄

격한 운항규정 등의 외형적인 안전시스템을 구축하더라도 해난사고를 최소화하기 위해서는 한계가 있다.

그러므로 해난사고를 억제하고 선박을 안전하게 운항하기 위해서는 선박을 운항하는 인적요인에 의해 발생하는 문제점을 최소화 하는 것이 필수적이다.

이를 위해 대부분의 자동화 선박들이 탑재하고 있는 SCMS에 항해사의 심리적인 특성을 반영한 인간공학적인 운항알고리즘을 반영할 필요성이 있다. 또한 인간의 인지특성 및 정보처리 특성을 반영한 알고리즘 및 항해사의 상황 인식을 축출할 수 있는 메카니즘으로 SCMS를 구축할 수 있다면, 항해사에 게 보다 높은 수준의 선박안전을 보장해 줄 것으로 기대된다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] 김상수, 정재용, 하원재, 송두현, 박진수(2000), "선박충돌 사고의 원인 조사 및 분석방법에 관한 연구". 한국해양항만 학회지, 제24권1호, pp24,12.-22.
- [2] 김영만(1980), "논단: 선박자동화의 장래지망", 해양한국 (월간해양한국), Vol.1980, No.9월, pp. 42-45
- [3] 고준수, 유병량, 이준호(2003), "선박자동화 발전방향", 한국 해기사 협회 海技 제440호, pp.20-25
- [4] 박진수(1994), "해난사고의 원인 및 그 상호관계에 대한 분석", 해양한국 (월간해양한국), Vol.1994, No.2월, pp. 20-29
- [5] 한국해양수산개발원, "해난사고 거리별 발생 현황", <http://www.kmi.re.kr>, 해양수산통계 중 해양환경, 계시물 번호 18번
- [6] 해양 안전 심판원, "사고종류별 해난 사고 현황", <http://www.kmst.go.kr>, 사고통계 분석 중 최근 5년간 통계, 표3
- [7] 홍순익, 이우식, 문진상(1990), "공청회: 선박기술 고도화에 관하여" 설계 자동화, 대한 조선학회, Vol.1990, No. 0, pp. 93-115
- [8] Makoto Endo (2002), "The Necessary Techniques for Safe Navigation and the Assessment of the Competency", Toyama National College of Maritime Technology, Japan. pp.1-11

원고접수일 : 2006년 11월 2일

원고채택일 : 2006년 12월 29일