

선박조종 시뮬레이션을 통한 선박 경로 교환의 효과 분석

백연지* · 정창현***

* 목포해양대학교 대학원, ** 목포해양대학교 항해학부

Analysis of Effect of the Ship's Route Exchange through the Ship Handling Simulation

Yun-Ji Paek* · Chang-Hyun Jung***

* Graduate School, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Republic of Korea

** Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Republic of Korea

요약 : 종합 안전관리체계인 e-navigation을 준비하기 위해 선박의 의도된 경로를 선박 대 선박, 그리고 선박 대 육상 간에 공유하는 경로교환에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 경로교환을 위한 기술적인 측면에서의 연구 개발은 진행되고 있으나, 그 효과나 문제점 등 도입 필요성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구는 선박조종 시뮬레이션을 통해 경로교환이 항해 안전에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 시뮬레이션 수행자들의 주관적인 평가를 종합하여 경로교환의 효과를 검증하였다. 선박 간 경로교환을 할 경우 최초 충돌회피 시점은 평균 3.43분 더 빨라졌으며, 충돌회피 방향은 60%가 변경되었다. 또한 타선 A와의 최근접점은 31% 더 가까워지고, 평균 타 사용지수는 57% 줄어들었다. 그리고 설문 응답자의 95%는 경로교환이 충돌회피 의사결정에 영향, 85%는 안전운항에 긍정적인 영향, 90%는 사고예방 효과, 70%는 항해사의 심리적 부담 경감, 70%는 경로교환을 실무에 도입해야한다고 답하였다.

핵심용어 : e-navigation, 경로교환, 선박조종 시뮬레이션, 안전, 심리적 부담, 사고예방

Abstract : To prepare the integrated safety management system 'e-navigation', research is being conducted on the route exchange for sharing intended routes between ship and ship, and between ship and land. But they don't have enough specific grounds for the effects of route exchange and the necessity of its introduction and focus on technical aspects like the implementation of route exchange. This study tried to quantitatively analyze the effects of route exchange on sailing safety with the use of ship handling simulation, integrate simulation performers' subjective evaluations, and investigate the effects of route exchange. The ship-to-ship route exchange resulted in the initial collision avoidance action time was 3.43 minutes faster, the collision avoidance direction change rate was 60%, the proximity to target A was 31%, and Mean Rudder Angle Index decreased by 57%. In addition, 95% of the survey respondents had an effect on the decision making of collision avoidance, 85% had a positive impact on safety navigation, 90% had an accident prevention effect, 70% reduced the psychological burden of officers, and 70% should be introduced in practice.

Key Words : e-navigation, Route exchange, Ship Handling Simulation, Safety, Psychological burden, Accident prevention

1. 서론

국제해사기구(International Maritime Organization : IMO)는 해사 안전과 보안을 더욱 향상시키고 환경 보호에 기여하기

위해 e-navigation을 추진하고 있다(IMO, 2008). 종합 안전관리 체계인 e-navigation을 준비하기 위해 선박의 의도된 경로(Intended route)를 선박 대 선박, 그리고 선박 대 육상 간에 공유하는 경로교환(Route exchange)에 대한 연구가 진행 중이다.

경로교환이란 전자해도표시정보장치(Electronic Chart Display and Information System : ECDIS)에 입력한 의도된 경로를 부근 선박 및 육상국에 전파하고, 타 선박의 경로 정보를 공유하여 ECDIS 화면에 표시하는 것이다(Wilske and Lexell, 2011).

* First Author : vlotusv@mmu.ac.kr, 061-240-7447

† Corresponding Author : hyon@mmu.ac.kr, 061-240-7182

※ 이 논문은 “선박조종시뮬레이션을 통한 선박 경로교환의 효과 분석”이란 제목으로 2016년도 해양환경안전학회 추계학술대회(해양경비안전교육원, 2016.11.24.-25, p.58)에 발표되었음.

선박조종 시뮬레이션을 통한 선박 경로 교환의 효과 분석

경로교환은 기존에 향해 안전성을 해치는 요인으로 지적되어 온 상황인식 결여, 주변 환경의 잘못된 해석, 언어로 인한 의사소통 문제, 음성통신의 한계를 보완하는 수단이 될 것으로 기대된다.

발틱해의 EfficienSea 프로젝트는 타선의 변침점을 포함한 의도된 경로를 공유하여 화면상에 표시하고 타선의 변침점 도착예정시간(Estimated Time of Arrival : ETA)을 제공하였다. 또한 항해사를 대상으로 정성적인 평가를 통해 경로교환이 항해사의 업무 부담감지수를 감소시킨다는 결과를 얻었다(EfficienSea Project, 2011). 그리고 MonaLisa 프로젝트에서는 선박교통조정센터(Ship Traffic Coordination Centre : STCC)가 선박의 항해계획을 공유하여 검토, 승인 및 모니터링 하는 시스템을 제안하였다(MonaLisa Project, 2012). 또한 ACCSEAS 프로젝트는 타선으로부터 수신한 의도된 경로 위에 마우스를 갖다 대면 특정 위치에서의 ETA와 최근접점(Closest Point of Approach : CPA)을 계산해서 표시한다(ACCSEAS Project, 2015).

선행연구를 검토해보면 경로교환의 효과나 도입 필요성에 대한 구체적인 근거가 미비하고, 경로교환의 구현 등 기술적인 측면에 주안점을 두고 연구 개발이 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 항해사의 승선 경력에 따른 경로교환의 효과를 확인하기 승선 경력별로 4그룹으로 나누어 선박조종 시뮬레이션을 실시하고, 경로교환 여부에 따른 선박조종 시뮬레이션의 정량적 평가와 항해사의 주관적인 평가를 종합하여 경로교환의 효과를 검증하고자 한다.

2. 선행 연구

2.1 EfficienSea 프로젝트

발틱해의 EfficienSea 프로젝트는 Fig. 1과 같이 타선을 클릭하면 타선의 변침점을 포함한 의도된 경로를 화면상에 표

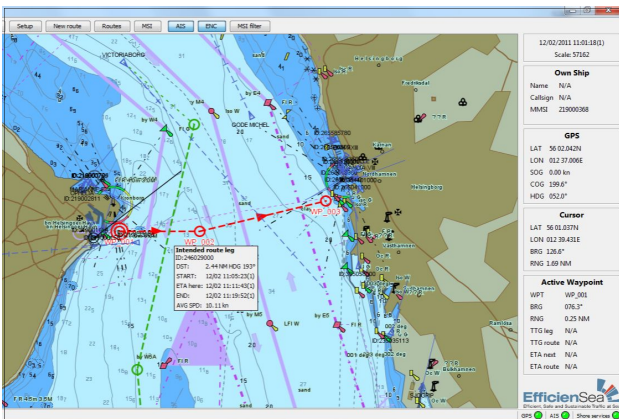


Fig. 1. Presentation of other vessels Intended Route (EfficienSea Project, 2011).

시하고 타선의 변침점 도착예정시간을 알 수 있다(EfficienSea Project, 2011). 항해사를 대상으로 상대선의 경로 정보가 ECDIS에 표시되는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하고 NASA-TLX(Task Load Index) 방식으로 업무 부담감 지수를 평가한 결과 Fig. 2와 같이 업무 부담감 지수가 약 2배가량 줄어들었다(Arkadiusz Tomczak et al., 2012).

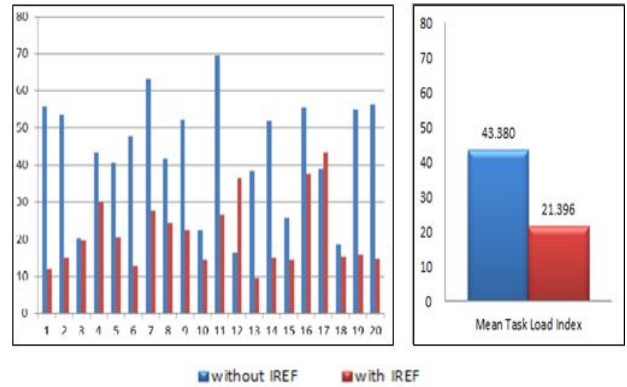


Fig. 2. TXL index for simulation trails with and without IREF (Intended Route Exchanged Functionality) (Arkadiusz Tomczak et al., 2012).

2.2 MonaLisa 프로젝트

MonaLisa 프로젝트에서는 STCC가 관할하는 해역에 진입하는 선박이 항해계획을 STCC로 전송하여 STCC가 선박의 항해계획을 재검토하도록 하였다. STCC가 선박의 항해계획을 승인하게 되면 선박은 Fig. 3과 같이 초록색으로 표시되는 항로(Green route)를 따라 항해를 하고 STCC는 지속적으로 선박을 모니터링 한다(MonaLisa Project, 2012).

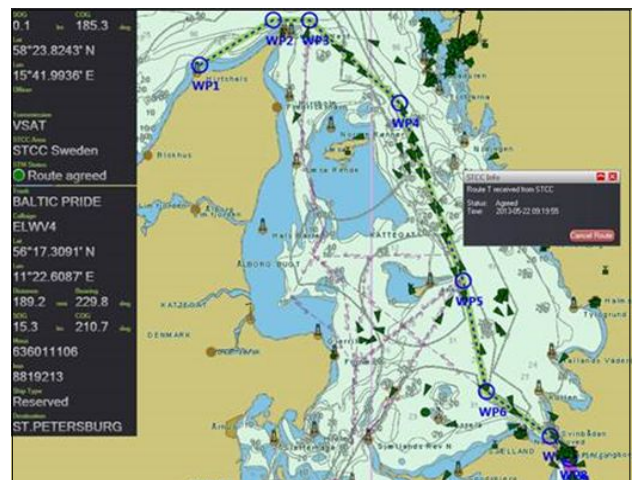


Fig. 3. Green Route (IALA-MonaLisa Project, 2012).

2.3 ACCSEAS 프로젝트

북해의 ACCSEAS 프로젝트는 타선으로부터 수신한 의도된 경로 위에 마우스를 갖다 대면 특정 위치에서의 ETA와 CPA를 계산해서 표시한다. Fig. 4와 같이 CPA가 임계값보다 작은 경우 e-Navigation Prototype Display(EPD)에 황적색 경고선이 나타난다. ACCSEAS 프로젝트는 선박자동식별장치(Automatic Identification System : AIS)의 한계를 보완할 수 있는 Maritime Cloud Messaging Service(MMS)를 이용하여 보다 더 기능을 개선하였다(ACCSEAS Project, 2015).

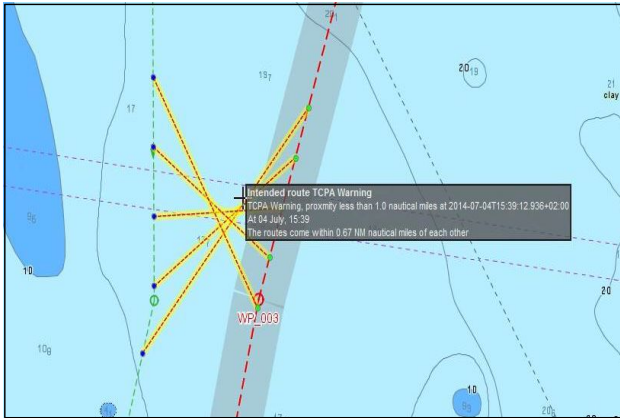


Fig. 4. CPA Warning (ACCSEAS Project, 2015).

이러한 경로교환에 대한 선행연구를 살펴보면 기술적인 측면에 초점을 맞추어 연구·개발하고 있으며, 경로교환의 도입 필요성 및 효과성을 뒷받침해 줄 정량적인 근거는 미비하다. EfficienSea 프로젝트에서 경로교환 유무에 따른 항해사의 업무 부담감 지수를 평가하였으나, 이는 주관적인 의견을 바탕으로 하는 정성적인 평가이다. 따라서 경로교환의 효과를 정량적으로 평가해 볼 필요가 있다.

3. 연구 방법

3.1 선박조종 시뮬레이션 수행자

해상에서의 실무 경력을 가지고 있는 15명의 항해사와 5명의 실습 항해사를 대상으로 선박조종 시뮬레이션을 수행하였다. 항해사의 승선 경력에 따른 경로교환의 효과를 확인하기 위해 승선 경력이 1년 미만인 실습 항해사, 승선 경력 3년 미만 항해사, 승선 경력 6년 미만 항해사, 승선 경력 6년 이상 항해사와 같이 총 4개의 그룹으로 나누어 분석하였다.

선박조종 시뮬레이션 수행자들이 보유하고 있는 면허는 1급 항해사(상선) 2명(10%), 2급 항해사(상선) 10명(50%), 3급 항해사(상선) 3명(15%)이다. 선박조종 시뮬레이션 수행자들이 승선한 대표 선종은 탱커, 컨테이너선, 벌크선이다.

3.2 선박조종 시뮬레이션 설정

선박조종 시뮬레이션 대상 해역은 Fig. 5와 같이 우리나라 연안에서 비교적 선박의 교차가 많이 발생하는 여수·광양항 일대로 선정하였다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2015). 이 해역은 동서로 통항하는 선박뿐만 아니라 제주 또는 남중국해를 향해 남진하는 선박과 여수·광양항에 입항하기 위해 북진하는 선박이 교차하는 곳으로 불규칙한 교통 흐름이 나타나는 곳이다.



Fig. 5. Area of simulation (Ministry of Oceans and Fisheries, 2015).

선박조종 시뮬레이션 대상 선박과 타선은 선박조종 시뮬레이터에서 보유하고 있는 모델 선박 중 연안 항해를 감안하여 선정하였으며, 대상 선박과 타선의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Ship's particular

Ship	Deadweight (ton)	L.B.P (m)	Beam moulded(m)	condition
Own	20,000	155.0	27.0	Ballast
Target A	20,000	155.0	27.0	Ballast
Target B	3,000	79.5	12.5	Ballast

대상 선박은 Fig. 6과 같이 북위 34도 23분 동경 128도 05.9분에서 서쪽으로 항해하여 역만도 남단에 있는 통항분리방식을 이용하는 항해계획을 가지고 있다. 대상 선박의 초기 선수방위는 255도, 속력은 15.0노트(knots)로 설정하였다.

항행 장애물은 대상 선박을 기준으로 1시 방향 9.2마일에 작도와 11시 방향 12.4마일에 간여암이 있다. 대상 선박이 간여암 북단으로부터 2마일(Nautical Mile : NM) 떨어진 지점에서 변침하도록 하였다.

타선 A는 여수·광양항 교통안전 특정해역으로부터 출항

선박조종 시뮬레이션을 통한 선박 경로 교환의 효과 분석

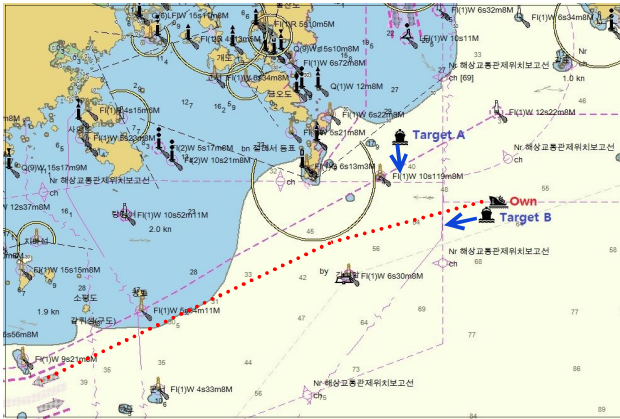


Fig. 6. Scenario 1 (Normal).

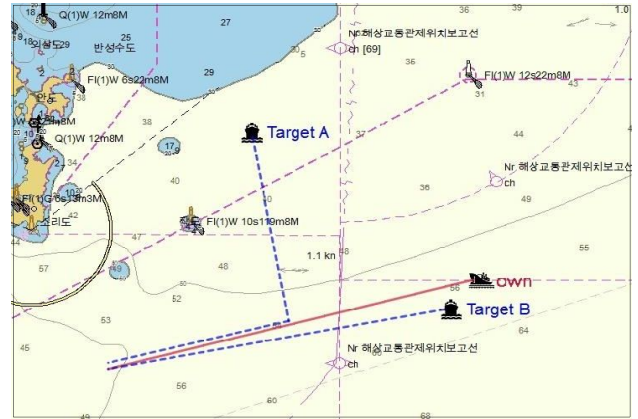


Fig. 7. Scenario 2 (Route exchange).

하는 선박으로 선수방위 169도, 속력 15.0노트를 유지하고 있다. 대상 선박을 기준으로 우현 8.8마일 전방에 위치하고 있으며, CPA는 0.29마일이다. 대상 선박과 타선 A는 국제해상충돌예방규칙(International Regulations for Preventing Collision at Sea : COLREG)에서 정의하는 횡단상태(Cross situation)에 해당된다. 타선 A는 유지선의 지위를 가지고 대상 선박은 피항선의 지위를 가지므로, 대상 선박은 타선 A의 진로를 피하여야 한다(IMO, 1972). 타선 A는 목적지에 따라 남진할 수도 있고 부산 방향으로 동진 또는 목포 방향으로 서진할 수도 있는 가능성을 가지고 있다.

타선 B는 대상선박과 마찬가지로 역만도 남단에 있는 통항분리방식을 이용하도록 하는 항해계획에 따라 서쪽으로 항해하고 있는 선박이다. 대상 선박을 기준으로 좌현 1.6마일 전방에 위치하고 있으며, 선수방위 261도, 속력 13.0노트를 유지하고 있어 대상 선박보다 선속이 느리다. 대상 선박과 타선 B는 COLREG에서 정의하는 추월(Overtaking)에 해당한다. 타선 B는 피추월선의 지위를 가지고 대상 선박은 추월선의 지위를 가지므로, 대상선박은 타선 B를 완전히 앞질러 멀어질 때까지 추월당하는 타선 B의 진로를 피하여야 한다(IMO, 1972). 타선 B는 목적지에 따라 계속 서진할 수도 있고, 여수·광양항 방향으로 북진할 수도 있으며, 남진할 가능성도 있다.

이와 같이 항해사가 타선과의 횡단 및 추월 상태에서 타선의 다양한 변침가능성까지 고려하도록 환경을 구축하였다.

3.3 시나리오

시뮬레이션 수행자에게 두 번의 시뮬레이션이 대상 해역은 같으나 타선 A와 B의 항해 의도에 따라 변침 방향이 달라질 수 있다고 설명하였다. 첫 번째 시뮬레이션은 선박조종 시뮬레이션 수행자에게 Table 1에 있는 정보와 Fig. 6과 같이 본선의 항해계획을 제공하였다. 타선 A와 타선 B의 항

해 의도를 알려주지 않은 채 타선의 변침 가능성을 염두에 두고 항해하도록 하였다. 타선이 AIS에 목적지를 입력하지 않은 경우와 출항 전 목적지를 변경하지 않아 잘못된 정보를 제공하는 경우 항해사에게 혼란을 초래할 수 있기 때문에 이러한 요인을 배제하고자 타선 A와 타선 B의 목적지를 알려주지 않았다.

두 번째 시뮬레이션은 선박조종 시뮬레이션 수행자에게 첫 번째 시뮬레이션과 동일한 정보를 제공하고 이에 추가하여 Fig. 7과 같이 타선 A와 타선 B의 경로를 ECDIS에 파란 점선으로 제공한 후(Route exchange) 시뮬레이션을 실시하였다.

4. 선박조종 시뮬레이션 결과 분석

4.1 정량적 평가

정량적 평가 항목은 Table 2와 같이 경로교환이 항해사의 의사결정에 영향을 주는지 확인하기 위해 충돌회피 동작 시점과 충돌회피 방향을 평가 항목으로 선정하였고, 항해 안전과 운항 효율에 영향을 주는지 확인하기 위해 타선 A와의 CPA, 계획항로 이탈정도 그리고 평균 타 사용지수를 평가항목으로 선정하였다.

Table 2. Analysis items of ship handling simulation

Analysis Item	Data
Time of action to avoid collision (Minute)	Track, Heading, Position, Rudder angle, Time
Direction to avoid collision	Track, Heading, Position, Time
CPA to Target A (NM)	Track, Position, Distance, Time
Distance of deviation from planed route (NM)	Track, Position, Distance
Mean Rudder Angle Index (%)	Time, Rudder angle

각 평가 항목별 분석에서 경로교환 여부에 따라 동일표본에서 측정된 평균값이 유의한 차이가 있는지를 통계적으로 검증하기 위해서 대응표본 t 검정을 활용하였다.

가) 최초 충돌회피 동작 시점

대상 선박은 COLREG에 의거하여 타선 A와 타선 B의 진로를 피해야 하는데, 경로교환이 충돌회피 동작을 취한 시점에 영향을 주는지 비교·분석하였다.

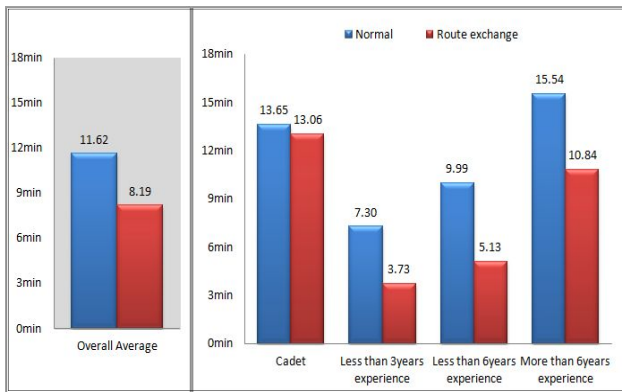


Fig. 8. Time of action to avoid collision (Group).

항해사 전체를 대상으로 한 대응표본 t-검정 결과 경로교환 유무에 따른 충돌회피 동작시점이 통계적 유의성에 근접한 수치($p < 0.051$)로 귀결됐다.

Fig. 8과 같이 선박 간 경로교환 없이 항해하였을 경우 최초 충돌회피 동작 시점의 전체 평균은 시뮬레이션 시작 후 11.62분이 지난 시점이고, 선박 간 경로교환을 통해 타선의 경로를 알고 항해한 경우 전체 평균은 8.19분으로 타선의 경로를 모르고 항해한 경우보다 평균 3.43분 더 빨리 충돌회피 동작을 취하였다. 그리고 모든 승선 경력별 그룹에서 경로교환을 하였을 경우 더 빨리 충돌회피를 시도하였으나, 실습항해사의 경우에는 상대적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

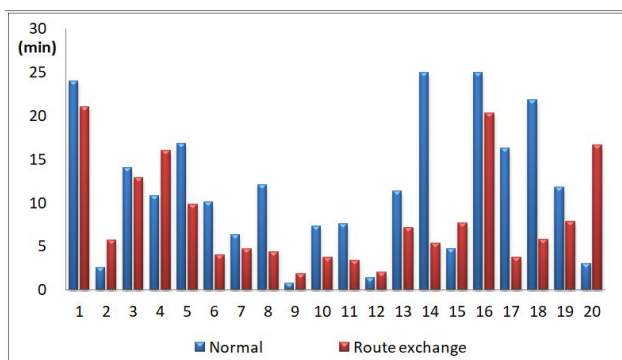


Fig. 9. Time of action to avoid collision.

Fig. 9와 같이 시뮬레이션 수행자 전체를 대상으로 살펴보면 14명(70%)이 선박 간 경로교환을 하였을 경우 일반 항해 때 보다 더 빨리 충돌회피 동작을 취하였다. 이는 선박 간 경로교환을 통하여 상대선의 경로를 알고 있을 경우 불확실성으로 인한 충돌회피 의사결정의 지연이 줄어 초기에 의사결정을 시행한 것으로 판단되며, 선박 간 위험한 근접상황을 사전에 피할 수 있음을 의미한다.

나) 충돌회피 방향 변화

대상선박이 타선 A와 타선 B의 진로를 피하기 위해 선택한 충돌회피 방향을 분석한 결과 Fig. 10과 같이 시뮬레이션 수행자의 60%가 충돌회피 방향이 달라졌다. 승선경력별 충돌회피 방향 변화율은 승선경력 3년 이하 80%, 실습생 60%, 6년 미만 60% 그리고 6년 이상 40%로 승선경력이 작을수록 변화율이 더 크게 나타났다.

또한 좌현으로 충돌회피 한 비율이 경로교환 후 35%로 일반 항해 때보다 15% 증가하였는데, 이는 타선의 경로를 알지 못한 상황에서는 여러 가지 가능성을 염두에 두고 충돌회피 의사결정을 내리기 때문에 우현으로 충돌회피 하는 경향이 컸지만, 경로교환을 통하여 타선의 의도를 알고 항해할 때에는 두 선박 모두 진로를 피하고 충돌회피 동작 이후에도 위험한 관계가 지속될 가능성이 적은 좌현으로 초기에 충돌회피 한 비율이 높아진 것으로 판단된다.

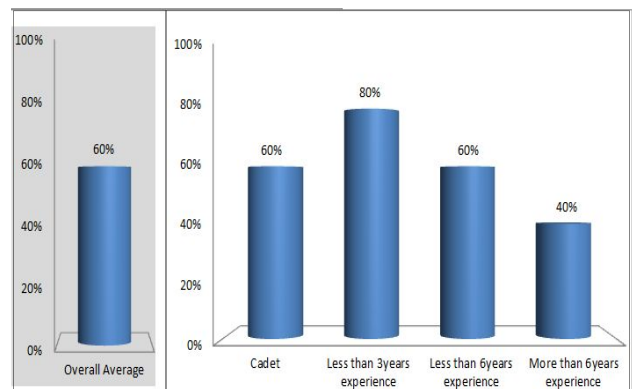


Fig. 10. Change in direction to avoid collision (Group).

다) 선박 근접도

경로교환이 타선과의 근접도에 미치는 영향을 알아보기 위해 대상 선박과 횡단상태에 있는 타선 A와의 근접도를 비교·분석하였다. 항해사 전체를 대상으로 한 대응표본 t-검정 결과 경로교환 유무에 따라 타선 A와의 CPA가 유의미한 차이($p < 0.007$)를 보였다.

Fig. 11과 같이 선박 간 경로교환 없이 일반적으로 항해하였을 경우 타선 A와 최근접점(CPA)에서의 거리 평균은

선박조종 시뮬레이션을 통한 선박 경로 교환의 효과 분석

1.109마일이고, 선박 간 경로교환을 하였을 경우 전체 평균은 0.762마일로 31% 더 가까웠다.

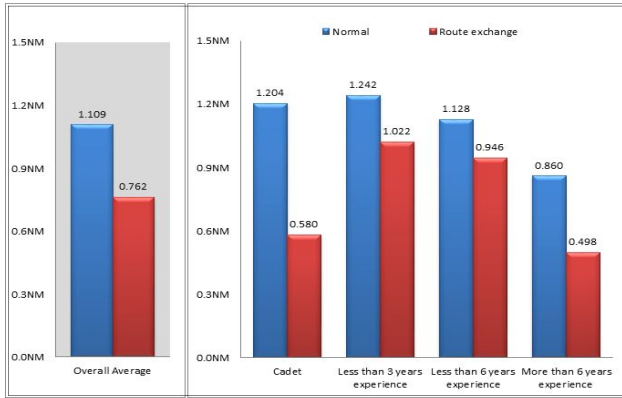


Fig. 11. CPA to Target A (Group).

시뮬레이션 수행자 중 75%가 선박 간 경로교환을 하였을 경우 CPA가 더 가까웠으며, 승선경력별 평균도 모든 그룹이 경로교환을 하였을 경우 일반 항해 때보다 CPA가 더 가까웠다. 승선경력별 타선 A와의 CPA는 실습생 52%, 6년 이상 42%, 3년 이하 18% 그리고 6년 미만 16% 순으로 더 가까워졌다. 경로교환 후 타선 A와의 CPA가 가장 가까운 그룹은 승선경력 6년 이상 그룹으로 0.498마일이다.

이는 경로교환을 통해 타선 A의 변침 의도를 확인하였을 때 변침 후 타선 A의 경로가 본선의 진행 방향과 거의 유사하여 충돌의 위험성이 낮다고 판단하고 항해 효율을 고려하였기 때문이다. 즉 항해 안전성이 확보된 상태에서는 항해 효율을 추구하려는 경향이 나타났다.

라) 계획항로 이탈 정도

선박조종 시뮬레이션 수행 결과인 항적과 계획된 항로를 비교·분석하여 경로교환 유무에 따른 계획된 항로에서의 이탈 정도를 분석하였다. 항해사 전체를 대상으로 한 대응표본 t-검정 결과 경로교환 유무에 따른 계획항로 이탈 정도가 유의미한 차이(p<0.572)를 보이지 않았다.

Fig. 12와 같이 선박 간 경로교환 없이 일반적으로 항해하였을 경우 계획된 항로에서의 이탈 정도의 전체 평균은 0.978마일이고, 선박 간 경로교환을 하였을 경우 전체 평균은 0.923마일로 큰 차이가 없었다. 승선경력별 평균을 보면 3년 이상의 승선경력을 가진 그룹의 계획항로 이탈 정도는 유사하였지만 3년 미만의 승선경력 그룹 평균은 경로교환 시 약 0.2NM만큼 계획항로에서 더 멀어졌고, 실습 항해사 그룹 평균은 경로교환 시 약 0.4NM만큼 계획항로에 더 가까워졌다. 시뮬레이션 수행자 중 55%가 선박 간 경로교환을 하였을 경우 계획된 항로에서의 이탈 정도가 더 적었으나

큰 차이가 없었고, 계획항로 이탈 정도는 실습생 그룹에서만 효과가 있는 것으로 나타났다.

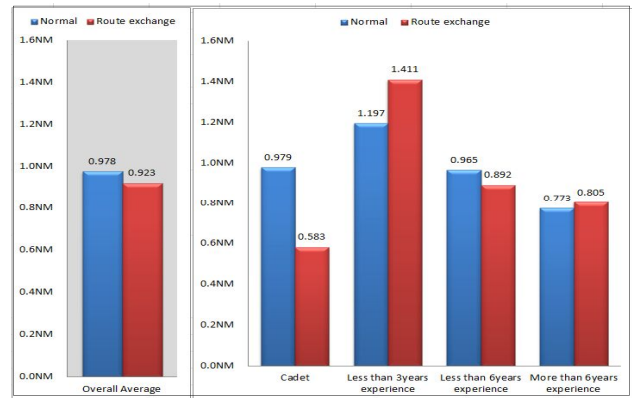


Fig. 12. Distance of deviation from planned route (Group).

마) 평균 타 사용지수

경로교환을 실시함으로써 조타기의 사용 횟수 또는 조타각(δ)에 영향을 미치는지 알아보기 위해 평균 타 사용지수 (Mean Rudder Angle Index : MRI)를 비교·분석하였다. 조타기는 가장 필수적인 선박 제어수단의 하나이므로 조타기의 사용내역을 면밀히 분석하면 대상선박의 특정상황에서의 조종 특성을 파악할 수 있다. 평균 타 사용지수는 식 (1)을 이용하여 산출하며, 선박이 운항하는 동안(T) 타력의 사용 정도를 나타낸다.

$$MRI = \int_0^T \frac{|\delta|}{\delta_{\max}} dt \times \frac{100}{T} (\%) \quad (1)$$

항해사 전체를 대상으로 한 대응표본 t-검정 결과 경로교환 유무에 따라 평균 타 사용지수가 유의미한 차이(p=0.001)를 보였다.

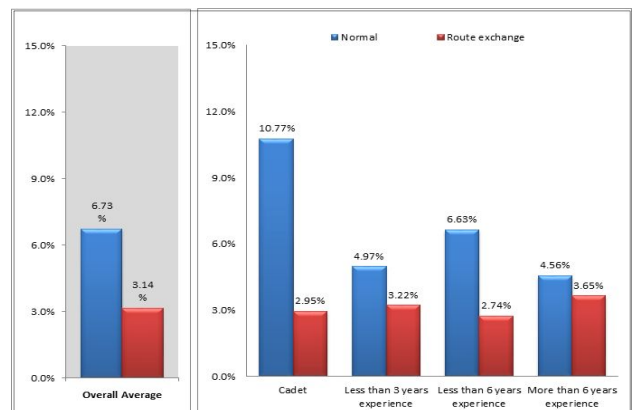


Fig. 13. Mean Rudder Angle Index.

Fig. 13과 같이 선박 간 경로교환 없이 일반적으로 항해하였을 경우 평균 타 사용지수 전체 평균은 7.36%, 선박 간 경로교환을 하였을 경우 전체 평균은 3.14%로 약 2배가량 줄어들었다. 시뮬레이션 수행자 중 85%가 선박 간 경로교환을 하였을 경우 평균 타 사용지수가 더 낮았으며, 승선경력별 모든 그룹이 일반 항해 때보다 평균 타 사용지수가 더 낮게 나타났다. 승선경력별 평균 타 사용지수 변화율은 실습생 73%, 6년 미만 59%, 3년 이하 35% 그리고 6년 이상 20% 감소하였다.

이는 선박 간 경로교환이 충돌회피 의사결정에 도움을 주어 일반 항해 때보다 불필요한 타 사용이 줄어들고 효율적으로 항해할 수 있게 한다는 것을 의미한다.

Table 3. quantitatively analyze

	Normal	Route Exchange
Time of action to avoid collision	11.62 min	8.19 min
Direction to avoid collision	STB'D 75%	STB'D 65%
Change of decision	-	60%
CPA to Target A	1.109 NM	0.762 NM
Distance of deviation from planned route	0.978 NM	0.923 NM
Mean Rudder Angle Index	6.73%	3.14%

Table 3과 같이 선박조종 시뮬레이션을 정량적으로 분석한 결과 선박 간 경로교환은 의도한 경로로 항해할 시 예상되는 타선과의 관계를 조기에 판단할 수 있게 함으로써 충돌회피 동작 시점이 평균 3.43분 더 빨라지고 선박조종 시뮬레이션 수행자의 60%가 충돌회피 방향을 바꾸는 등 항해사의 충돌회피 의사결정에 도움을 주는 것으로 평가되었다.

경로교환이 항해사의 의사결정에 도움을 주기 때문에 타선 A와의 CPA가 평균 31% 더 가까워지고 타 사용지수가 약 2배가량 줄어 불필요한 타 사용이 줄어들었다. 이는 항해 안전성이 확보된 상태에서는 항해 효율을 추구한다는 것을 보여준다.

4.2 정성적 평가

시뮬레이션 수행자를 대상으로 경로교환에 대한 주관적 평가를 분석한 결과 Fig. 14와 같이 설문 응답자의 95%는 충돌회피 의사 결정에 영향을 미친다고 답하였고, 응답자의 85%는 안전운항에 긍정적인 영향을 미친다고 답하였다. 그리고

설문 응답자의 90%는 사고예방 효과가 있다고 답하였고, 응답자의 70%는 항해사의 심리적 부담을 경감시킨다고 답하였다. 또한 경로교환의 실무 도입여부에 대해서는 설문 응답자의 70%가 경로교환을 도입해야 한다고 답하였다.

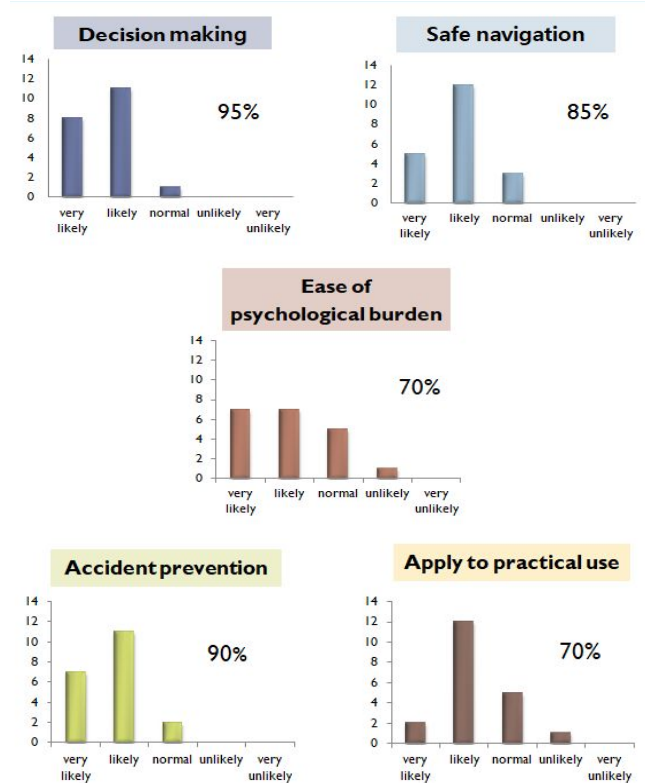


Fig. 14. Qualitative assessment.

5. 결론

선박조종 시뮬레이션을 통해 경로교환의 효과를 정량적·정성적으로 분석하였다. 선박 간 경로교환을 한 경우 최초 충돌회피 시점은 평균 3.43분 더 빨라졌으며, 충돌회피 방향은 경로교환 후 60%가 변화되었다. 타선 A와의 최근접 거리는 31% 더 가까워졌으며, 평균 타 사용지수는 57% 줄어들었다. 그리고 충돌회피 방향 변화, 타선과의 근접도 및 평균타 사용지수는 승선경력이 적은 항해사에게 경로교환 효과가 더 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

설문 응답자의 95%가 경로교환이 충돌회피 의사 결정에 영향, 85%는 안전운항에 긍정적인 영향, 90%는 사고예방 효과, 70%는 항해사의 심리적 부담을 경감 그리고 70%가 경로교환을 실무에 도입해야 한다고 답하였다.

정량적인 평가와 정성적인 평가를 종합한 결과, 경로교환은 항해사의 의사결정을 지원하여 항해 안전성을 높이고 항

해사의 심리적 부담을 경감시키며 사고예방에도 효과가 있다고 평가되었다.

경로교환은 선박 대 선박뿐만 아니라 선박 대 육상 간 경로 공유를 통해 e-navigation이 추구하는 종합 안전관리체계에 중요한 요소가 될 것이며, 나아가 최적항로 설계 및 무인선 도입에도 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 경로교환의 효과를 분석한 기초 연구로써 경로교환 이외의 요인에 의한 영향을 배제하고자 시나리오를 단순하게 구축하여 경로교환의 효과를 확인하였다. 향후 연구에서는 항행 장애물, 교통량 등을 고려한 다양한 시나리오를 구축하여 경로교환 효과의 신뢰성을 검증할 필요가 있다.

그리고 경로교환의 긍정적인 효과는 상대선의 경로정보에 대한 신뢰성이 확보될 때 가능한 것이므로 신뢰성 확보에 관한 연구가 이뤄져야 할 것이다. 또한 사고 발생 시 경로교환 유무에 따른 책임 소재에 관한 논란이 생길 가능성이 있는바 관련 규정에 대해서도 면밀히 검토해야 할 것이다.

e-Navigation Underway, International Conference on e-Navigation, pp. 72-85.

Received : 2017. 11. 24.

Revised : 2017. 12. 22. (1st)

: 2018. 02. 06. (2nd)

Accepted : 2018. 02. 26.

References

- [1] ACCSEAS Project(2015), Tactical Exchange of Intended Routes, EVAV17-10.5.8, pp. 7-12, <http://www.accseas.eu/publications/> (Accessed Aug 2016).
- [2] Arkadiusz Tomczak, Paweł Zalewski, and Rafał Gralak(2012), Simulation Analysis of ECDIS's Route Exchange Functionality Impact on Navigation Safety, Annual of navigation, pp. 109-120.
- [3] EfficienSea Project(2011), Development of an e-navigation strategy implementation plan, COMSAR 16/INF.2, p. 9.
- [4] IALA(2012), MonaLisa Project, Testbed 1: Dynamic and proactive route planning, <http://academy.iala-aism.org/products-projects/e-navigation/test-bedsprojects/monalisa-1/> (Accessed Aug 2016).
- [5] IMO(1972), International Regulations for Preventing Collision at Sea 1972.
- [6] IMO(2008), Strategy for the Development and Implementation of e-navigation, MSC 85/26/Add.1, pp. 1-15.
- [7] Ministry of Oceans and Fisheries(2015), 2015 Coastal Traffic Map, pp. 18-19.
- [8] MonaLisa Project(2012), Concept for Activity 1: Dynamic & Proactive Routes or "Green-Routes", Concept Paper Act.1, pp.4-8, <http://www.sjofartsverket.se/en/MonaLisa/Archive/Activity-1---Dynamic--Proactive-Route-planning/> (Accessed Aug 2016).
- [9] Wilske, E. and O. Lexell(2011), Test bed for Evaluation of Methods for Decision Support in Collision Avoidance,