

통항분리제도의 설계지침에 관한 기초적 연구

박영수*

*한국해양대학교 운항훈련원 교수

A Study on Basic Analysis for Design Guideline of Traffic Separation Scheme

Young-Soo. Park*

*Ship Operation Training Center, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 해상교통관리 방법 중에서 국내외적으로 폭주하는 해역에서의 해상교통 흐름을 정류하여 통항선박의 해상교통 안전성을 향상시키는 방법 중 주로 이용되고 있는 것은 항로 설정 및 통항분리대의 설정이다. 항로 및 통항분리대의 설정 시 지침이 되는 설계지침 가운데 국내외적으로 항로 설계지침은 존재하지만 통항분리대에 대한 설계지침에 대한 언급은 어느 문헌에도 없어 전문가의 주관적 판단에 의하여 설정이 되고 있는 실정이다. 현재까지 통항분리대의 설정 시 해양사고의 감소효과에 대한 연구는 다소 있지만, 통항분리대의 설계지침에 대한 연구는 없다. 본 연구는 통항선박의 안전을 위하여 설정되는 통항분리제도에 대한 설계지침을 선박 운항자의 관점에서 본 정량적 수치로 제공하고자 한다. 특히 통항분리대는 많은 선박의 통항을 분리하기 위한 제도이기 때문에 통항하는 선박의 교통용량을 고려하여 설계하였다.

핵심용어 : 해상교통관리, 해양사고, 해상교통흐름 정류, 안전성 향상, 통항분리제도, 설계지침

ABSTRACT : Route Design & TSS(Traffic Separation Scheme) establishment are often used to improve the marine traffic safety in the heavy waters. There are several domestic and international route design guidelines, but there is no guideline of TSS design. So, TSS is designed by specialist's subjective opinion. Until now, when TSS is designed there are a few paper about the easiness effectiveness of marine accident, but there is no paper to design TSS guideline. This paper proposes the design guideline about TSS to improve the safety of navigation vessel by the quantitative assessment in the viewpoint of mariner.

KEY WORDS : Marine Traffic Management, Marine Accident, Marine Traffic flow Rectification, Safety Improvement, Traffic Separation Scheme, Design Guideline

1. 서 론

일반적으로 해상교통관리는 선박교통관리제도(Vessel Traffic Services, VTS)에 의한 정보제공, 항행원조 및 교통관리 서비스를 의미한다. 이러한 해상교통관리제도는 선박의 항행 안전성을 향상시키기 위한 관리 대책의 한 수단이지만, 통항방식의 설정, 교통량의 총량규제, 교통류의 정류, 항행속력의 규제, 교통신호에 의한 관제, 항행지원정보의 제공 등 선박교통안전을 위해 실시되는 모든 방법을 해상교통관리라고 정의할 수 있다(朴, 2002).

이러한 해상교통관리 방법 중에서 국내외적으로 폭주하는 해역에서의 해상교통 흐름을 정류하여 통항 선박의 해상교통 안전성을 향상시키는 방법은 항로 설정 및 통항분리대의 설정이 빈번이 사용되고 있다. 항로 및 통항분리대의 설정 시 지침이 되는 설계지침 가운데 국내외적으로 항로 설계지침은 존재하지만 통항분리대에 대한 설계지침에 대한 언급은 어느 문헌에도 없어 전문가의 주관적 판단에 의하여 설정이 되고 있는 실정이다. 현재까지 통항분리대의 설정 시 해양사고의 감소효과에 대한 연구는 다소 있지만 통항분리대의 설계지침에 대한 연구는 없다. 본 연구는 통항선박의 안전을 위하여 설정되는 통항분리제

*대표저자 : 박영수(중심회원), yspark@bada.hhu.ac.kr 051)410-4204

도에 대한 설계 지침을 선박운항자의 관점에서 본 정량적 수치로 제공하고자 한다. 특히 통항분리대는 많은 선박의 통항을 분리하기 위한 제도이기 때문에 통항하는 선박의 교통용량을 고려하여 설정하고자 한다.

2. 통항분리제도의 개요

2.1 통항분리제도의 개요

1960년대에 대형 해양사고가 북유럽에서 연속하여 발생하여 이에 대처하기 위하여 1961년에 서독, 프랑스와 영국의 항해학회는 Dover해협에서의 통항분리 방법에 관한 연구에 착수하고, 뒤이어 통계적으로 충돌의 위험성이 증가하고 있는 다른 해역들에 대해서도 방법을 연구하였다(해양수산부, 2005). 1968년에는 41개소의 통항분리방식 및 2개소의 피항수역이 IMO(International Maritime Organization)에서 권고된 이후에 참여수역 수도 크게 증가하여 1973년에 결의되었다. 또한 1972년 국제해상충돌예방규칙 제10조는 IMO에서 채택한 통항분리방식 내 또는 부근을 항행하는 선박의 행동에 대하여 기술하고 있다.

IMO의 통항분리방식의 항로폭은 통항 밀도, 당해해역의 일반적인 이용방식 및 이용 가능한 조선 수역을 고려하여야 한다고 기술하고 있다. 하지만 이러한 요소에 의하여 통항분리대의 설계 폭에 어느 정도 영향을 미치는지는 기술하고 있지 않다.

이 연구에서는 이러한 고려요소 중 통항 밀도인 선박통항 교통량을 기초로 하여 통항분리대의 적정 최소폭을 결정하고자 하며, 대상수역의 지형에 따라 다소 상이할 것으로 사료되어 현행 우리나라 연안의 통항분리대 폭을 기초로 계산하고자 한다.

2.2 통항분리제도의 효과

통항분리제도의 설치 효과에 대한 실제해역에 대한 연구 결과를 보면, Johnson(1978)은 영국 도버해협에서의 충돌사고를 조사한 결과 통항분리대 설치로 인하여 해양사고가 23% 감소한 것으로 조사하였다. 그리고 Fujii(1981)와 Kuroda(1990)는 일본 동경만의 통항분리대 설치 이후 충돌사고가 18% 감소하였다고 발표하였다. 또한 통항분리대 설치에 의한 추정 효과 연구에서는 약 31%(COST301, 1986), 약 24%(US Coast Guard, 1973)의 충돌사고가 감소한다는 연구가 있다. 또한 박(2003)해상교통류시뮬레이션을 이용한 중앙선 표시가 없는 왕복수로를 대상으로 하여 통항분리대 설치의 효과를 계산한 결과 약 32%의 선박운항자의 조선 부담감이 감소하는 것으로 계산하였다.

하지만 이러한 통항분리제도의 설치 효과에 대한 연구는 존재하지만 통항분리대가 어느 정도가 적절한지에 대한 설계에 대한 연구는 없을 뿐만 아니라 국제적인 지침이 없는 상황이다.

2.3 우리나라 통항분리제도 현황

본 연구에서는 우리나라의 통항분리제도 중 Fig.1의 아래 그림(역만도 부근 통항분리제도)과 같이 중앙에 통항분리대 폭이 일정한 것을 대상으로 하였다. 이와 같이 중앙에 일정한 폭이 있는 우리나라의 통항분리제도의 현황을 보면 Table 1과 같으며 접근수로, 연안으로 구분할 수 있으며 연안 중 중간에 섬이 있는 자연적인 분리 형태와 중간에 분리대를 설치한 분리형태 2가지로 구분할 수 있다.

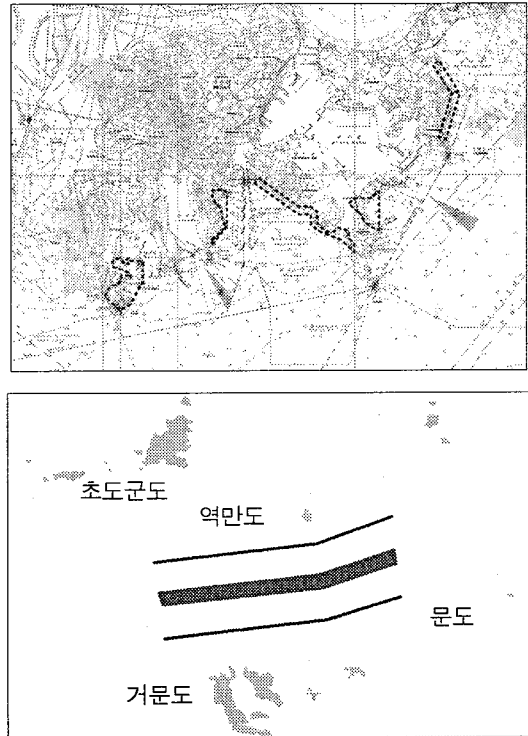


Fig. 1 Examples of Traffic Separation Scheme in Korea

Table 1 Traffic Separation Scheme in Korea

수역명	통항 항로폭	통항분리대 폭	비고
홍도부근	2.1M	0.5M	연안
역만도 부근	1.4M	0.6M	연안
가덕수도	0.5M	0.08M	진입수로
부도수도	450m	80m	진입수로
충무항로	500m	180m	진입수로
광양진입수로	0.9M	0.2M	진입수로
출운초 부근	1.6M	1.4M	연안(섬)
맹골수도 부근	1.3M	1.3M	연안
매물도 부근	1.5M	1.2M	연안
청산도 부근	800m	500m	연안
흑도 부근	1.0M	1.2M	연안(섬)
평택항 부근	0.4M	0.2M	진입수로
팔미도 부근	0.3M	0.05M	진입수로

역만도 부근의 통항분리대와 같이 중앙의 분리대가 일정한 모양의 통항분리대를 일반화시키면 Fig.2와 같이 정리할 수 있다.

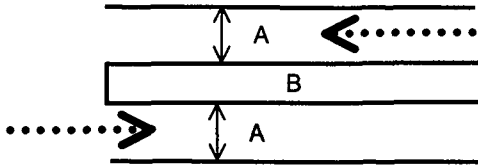


Fig. 2 General Traffic Separation Scheme in Korea

Table 1을 Fig.2의 통항항로폭(A)과 분리대폭(B)을 비율을 비교하여 보면, Fig.3과 같이 통항항로폭 1.0M이하의 경우에는 분리대폭이 통항항로폭의 60%이하의 TSS(Traffic Separation Scheme)가 대다수이며, 통항항로폭 1.0M을 넘는 TSS의 경우의 분리대폭은 통항항로폭의 40% 이상의 TSS가 대다수이다.

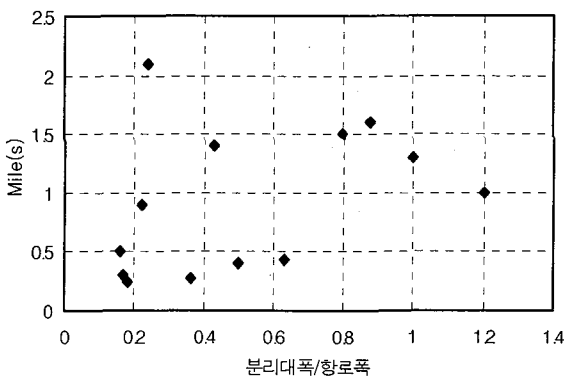


Fig. 3 Proportion of Separation Zone to Separation Fairway

3. 통항분리대 설계지침 시뮬레이션

이 연구에서는 통항분리대의 분리대폭과 항로폭을 파라미터로 하여 통항분리 해석을 행하는 통항선박의 선박운항자의 조선 부담감의 관점에서 분리대폭과 항로폭을 가지고 설계지침을 도출하고자 한다. 이와 같은 설계지침을 검토하기 위하여 선박운항자의 조선부담감을 정량화한 환경스트레스모델(ES model, Environmental Stress Model)을 적용하고자 한다.

3.1 바람직한 통항분리대 설계지침 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 바람직한 통항분리대 설계지침을 시뮬레이션 하기 위하여 아래와 같이 조건을 설정한다.

(1) 통항분리대의 통항항로폭(Fig.2의 A)은 400m, 1000m, 1

mile, 1.5 mile의 4종류로 설정한다.

(2) 통항분리대의 분리대폭(Fig.2의 B, 여기서는 통항항로폭의 몇 배로 표시, 예 0.5W)은 분리선만이 존재하는 경우를 예상한 분리대폭 0m, 통항분리대폭을 무한정 확장한 경우를 예상한 일방통행의 경우를 설정한다. 또한 통항분리대가 존재하지 않는 중앙선이 없는 경우에 대하여도 설정한다.

(3) 통항분리대의 선박통항량은 시간당 10척, 15척, 20척, 30척의 4가지로 설정한다. 선박 크기별 구성요소는 TSS 설치에 의한 효과를 연구한 이전의 연구(박, 2003)와 동일하게 소형선(20~1000GT), 중형선(1000~10000GT), 대형선(10,000GT 이상)으로 구분한다

(4) 피항조건을 고려하지 않은 시뮬레이션을 실시한다. 이는 각 선박 사이의 마주침에 따른 잠재적 부하의 크기를 명확하게 하기 위한 것으로 피항조건을 하지 않는다는 전제하에 선박간의 마주침이 시작하여 끝날 때까지 어느 정도의 부하가 가해지는지를 예측하여 각 마주침에 있어서 본래 가해진 잠재적 부하로 표현하기 위함이다.

3.2 환경스트레스 모델 개념

본 연구에서 적용된 평가모델인 환경스트레스 모델의 개념은 간단히 정리하면 아래와 같다.

환경스트레스 모델은 본선을 둘러싸고 있는 주변환경을 조선환경과 교통환경으로 구분하고, 이 두 환경이 선박조종자에게 가해지는 부하의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 개발된 모델이다. 이 모델은 조선환경과 교통환경이 선박조종자의 행동을 제약할 때 선박조종자에게 가해지는 부하의 크기를 행동 제약에 따른 조선 곤란도에 기초하여 정량화하였다.

자연조건, 지형조건, 시설조건 등과 같은 조선환경에 의해 제약을 받는 조선수역은 선박조종자의 행동을 제약하는데, 이때 선박조종자가 느끼는 곤란도를 정량화한 것이 조선환경스트레스 모델이다. 한편, 다른 선박의 교통흐름과 같은 교통환경이 조선상의 행동을 제약하게 되는데, 이 때 선박조종자가 받는 조선부담의 크기를 정량화한 것이 교통환경스트레스 모델이다.

이처럼 본선을 둘러싸고 있는 자연조건, 지형조건, 시설조건, 타 선박 등의 환경으로 인해 선박조종자가 느끼는 부담의 크기를 정량화하여 환경요소가 조선곤란성에 어느 정도 영향을 주는가를 지표로 표현할 수 있다. 즉, 환경스트레스모델이란 환경으로 인한 조선곤란도 평가를 위해 개발된 평가모델이다. 주어진 환경에서 잠재하는 위험이 가시화 되어 선박조종자가 받는 환경스트레스의 크기를 「환경스트레스 값」라 한다. 환경스트레스 값은 지형이나 시설물 등 조선환경에 기인하는 스트레스의 크기인 「조선환경스트레스 값(ES value for Land, ES_L치)」와, 타 선박에 기인하는 스트레스의 크기인 「교통환경스트레스 값(ES value for Ships, ES_S치)」로 구성되며, 두 스트레스 값을 종합하여 「종합환경스트레스 값(Aggregation of ES

value, ES_A 치)라 한다. 본 연구에서는 통항분리대폭과 통항 분리대내의 항로폭과의 관계를 기초로 한 통항 교통량을 고려하기 때문에 ES_s 치를 사용한다. 환경스트레스 값과 선박 조종자의 허용기준에 대하여는 참고문헌(Kinzo Inoue, 2000)에 명시되어 있다.

4. 통항분리대폭과 항로폭의 관계

여기서는 해상교통류 시뮬레이션에서 발생한 모든 선박이 대상해역을 통항하는 과정 중에 가해진 교통환경스트레스치의 시계열 데이터를 수집하고, 그 통항로상에서 선박운항자가 허용할 수 없는 상황인 교통환경스트레스치가 750 이상이 가해지는 비율 [$P(ES_s \geq 750)$]을 산출하여 분석하고자 한다.

4.1 필요한 통항분리대의 항로폭 산출을 위한 분석

Fig.4~Fig.8까지는 시간당 통항량이 5척, 10척, 15척, 20척, 30척의 경우에 대하여 각 통항분리대의 항로폭에 대한 선박운항자의 조선부담감을 나타낸 그림이다. 이 그림에서 대상해역의 통항분리대가 존재하지 않고 중앙선이 없는 경우에 대하여 계산한 결과를 세모(▲)로 도시하였으며, 통항분리대의 분리선만 존재하는 경우에 대하여 계산한 결과를 마름모(◆)로, 통항분리대의 분리대폭을 무한정 크게 하여 계산한 결과를 예상한 일방통행의 경우의 계산결과를 네모(■)로 각각 도시하였다. 이와 같이 통항분리대의 분리선만을 가진 경우와 통항분리대의 분리대폭을 무한정 확장하여 계산한 결과값을 서로 비교하면 분리대폭을 어느 정도의 크기로 하여야 하는지에 대하여 도출할 수 있을 것이라 판단하였기 때문이다.

또한 중앙선이 없는 경우에 대하여 계산한 결과값은 지금까지는 통항분리대 설치에 의한 계산값과 비교하였지만 통항분리대의 경우와 무한정 크게 확장한 분리대폭을 가진 경우와 어느 정도 차이가 나는지에 대하여 비교하기 위하여 계산하여 도시하였다.

4.2 통항분리대의 효과 계산

Fig.4~Fig.7까지에서 중앙선이 없는 경우와 통항분리대의 분리선만 있는 경우를 비교하면 시간당 통항량이 15척 이하일 경우 약 50%의 조선부담감의 감소효과가 발생하지만, 20척 이상의 경우에는 약 35%의 조선부담감의 감소효과가 발생하는 것으로 계산되었다. 그리고 통항분리대의 분리대폭을 무한정 확장한 경우에는 시간당 통항량이 15척 이하일 경우에는 약 74%의 조선부담감의 효과가 발생하지만, 시간당 통항량이 20척 이상일 경우에는 선박운항자의 조선부담감의 감소효과가 약 60%가 있는 것으로 계산되어 이전의 연구(박, 2003)보다 많은 효과가 있는 것으로 나타났다.

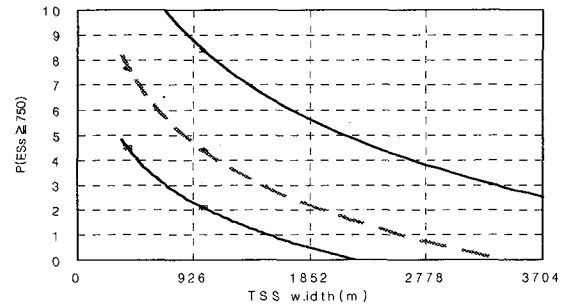


Fig. 4 Relationship of TSS width and Ship-handling Difficulty for Traffic Volume 10ships/hour

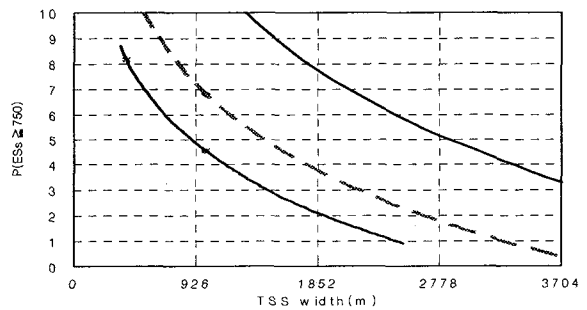


Fig. 5 Relationship of TSS width and Ship-handling Difficulty for Traffic Volume 15ships/hour

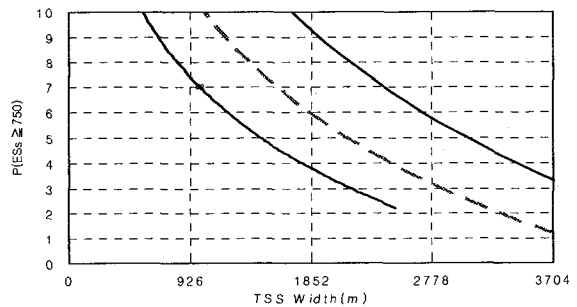


Fig. 6 Relationship of TSS width and Ship-handling Difficulty for Traffic Volume 20ships/hour

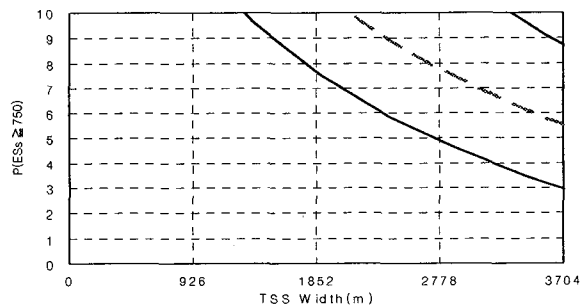


Fig. 7 Relationship of TSS width and Ship-handling Difficulty for Traffic Volume 30ships/hour

4.3 필요 통항분리대의 필요 분리폭 계산

통항분리대에서 필요한 통항분리대폭을 계산하기 위하여 분리폭을 무한정으로 확장한 것으로 갖누하여 일방통항의 경우에 대하여 계산한 결과와 분리선만 있을 경우의 결과를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

(1) 시간당 통항량 10척의 경우

- 분리선만 있는 경우: $Y = -3.601\log X + 29.28$
- 분리대폭을 무한정으로 확장한 경우: $Y = -2.62\log X + 20.19$

(2) 시간당 통항량 15척의 경우

- 분리선만 있는 경우: $Y = -4.941\log X + 40.93$
- 분리대폭을 무한정으로 확장한 경우: $Y = -3.95\log X + 31.81$

(3) 시간당 통항량 20척의 경우

- 분리선만 있는 경우: $Y = -6.881\log X + 57.70$
- 분리대폭을 무한정으로 확장한 경우: $Y = -5.46\log X + 44.49$

(4) 시간당 통항량 30척의 경우

- 분리선만 있는 경우: $Y = -7.86\log X + 70.08$
- 분리대폭을 무한정으로 확장한 경우: $Y = -6.77\log X + 58.54$

상기의 식들을 이용하여 시간당 통항량별로 통항분리대의 항행폭에 대한 무한정으로 확장한 필요 통항분리대폭을 계산한 결과를 표로 정리하면 Table 2와 같으며 이를 도시하면 Fig. 8 과 같다.

Table 2 Result of Require TSS width

시간당 통항량	통항 항로폭 (A)	무한정으로 확장한 필요 분리대폭(B)	(B-A)/A
10척/시	926m	552m	0.6W
	1852m	883m	0.48W
	2778m	1086m	0.39W
	3704m	-	-
15척/시	926m	416m	0.44W
	1852m	638m	0.34W
	2778m	762m	0.27W
	3704m	804m	0.21W
20척/시	926m	418m	0.45W
	1852m	662m	0.36W
	2778m	873m	0.31W
	3704m	974m	0.26W
30척/시	926m	421m	0.45W
	1852m	721m	0.39W
	2778m	967m	0.35W
	3704m	1175m	0.32W

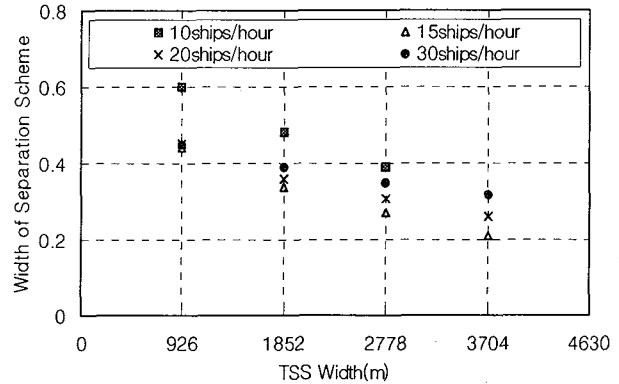


Fig. 8 Require Separation Scheme Width per TSS width

이 표와 그림을 통하여 시간당 통항량이 10척일 경우에 통항분리대의 항로폭이 2마일 이상일 경우에는 통항분리제도의 분리선만으로도 분리대의 역할을 충분히 하는 것으로 사료되지만, 선박의 통항량이 증가할수록 통항분리대의 분리대폭이 필요한 것으로 계산되었다.

4.4 바람직한 통항분리대의 분리폭 설계지침

현재 전세계적으로 통항분리제도의 항로폭에 대한 통항분리대폭을 설계하고 있는 지침은 없다. 하지만 이번 연구를 통하여 바람직한 통항분리대폭을 시간당 예상 선박통항량과 통항분리제도의 항행폭을 이용하면 산출할 수 있도록 Fig. 9와 같이 설계지침을 제안하였다. 즉, 통항분리제도의 항로폭을 기준으로 하여 통항분리대폭을 나눈 값으로 정리된 이 설계지침은 대상 해역을 통항하는 선박의 시간당 통항 예상척수에 의하여 항행할 수 있는 TSS의 항로폭별로 바람직한 TSS의 분리폭(또는 분리선)을 결정할 수 있는 가이드라인을 제안하였다.

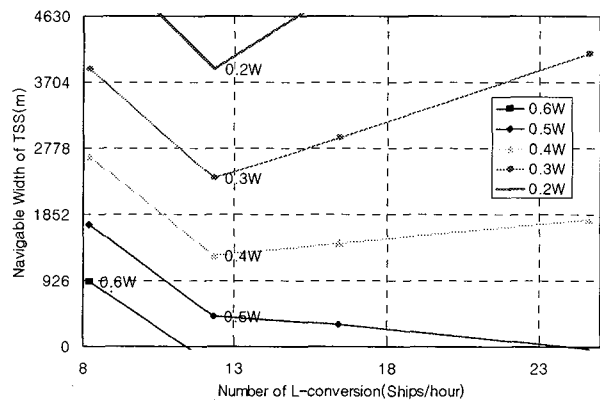


Fig. 9 Recommend Guideline of Separation Width per Navigable TSS Width

5. 결 론

국내외적으로 폭주하는 해역에서의 해상교통 흐름을 정류하여 통항 선박의 해상교통 안전성을 향상시키는 방법은 항로 설정 및 통항분리대의 설정이 빈번히 사용되고 있다. 항로 및 통항분리대의 설정 시 지침이 되는 설계지침 가운데 국내외적으로 항로 설계지침은 존재하지만 통항분리대에 대한 설계지침에 대한 언급은 어느 문헌에도 없어 전문가의 주관적 판단에 의하여 설정이 되고 있는 실정이다.

본 연구는 통항선박의 안전을 위하여 설정되는 통항분리제도에 대한 설계 지침을 선박운항자의 관점에서 본 정량적 수치로 제공하고자 하였다. 특히 통항분리대는 많은 선박의 통항을 분리하기 위한 제도이기 때문에 통항하는 선박의 교통용량을 고려하여 설정하고자 하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 통항분리제도의 항로폭을 기준으로 하여 통항분리대폭을 나누는 값으로 정리한 지표를 이용하여 대상해역을 통항하는 선박의 시간당 통항 예상척수를 가지고 TSS의 항로폭별로 바람직한 TSS와 통항분리대폭(또는 분리선)을 결정할 수 있는 가이드라인을 제안하였다.

(2) 시간당 통항량이 10척일 경우에 통항분리대의 항로폭이 2마일 이상일 경우에는 통항분리제도의 분리선만으로도 분리대의 역할을 충분히 하는 것으로 사료되지만, 선박의 통항량이 증가할수록 통항분리대의 분리대폭이 더욱 많이 필요한 것으로 계산되었으며 통항분리제도의 항로폭(1W)을 기준으로 하여 0.45W~0.25W까지로 표현할 수 있었다.

(3) 통항분리대의 분리대폭을 무한정 확장하였다고 가정한 경우에 시간당 통항량이 15척 이하에는 약 74%의 조선부담감의 효과가 발생하지만, 시간당 통항량이 20척 이상에는 선박운항자의 조선부담감의 감소효과가 약 60%가 있는 것으로 계산되었다.

(4) 통항분리대의 항로폭을 기준으로 하여 통항분리대의 분리폭 및 항로폭과의 관계와 선박운항자의 조선부담감의 감소효과는 LOG함수에 근사하여 증감하는 것을 알 수 있었다.

후 기

한국해양대학교 신진교수연구비 지원 과제임

참 고 문 헌

[1] 박영수, 정재용, 박진수, 井三欣三(2003), 해상교통류 시뮬레이션을 이용한 통항분리제도의 정량적 효과평가, 대한교통학회지 제21권제1호, pp41-49

[2] 해양수산부 국립해양조사원(2005), 항로지정

[3] 朴榮守(2002), 海上交通管理に關する基礎的研究、神戸大學博士論文

[4] Fujii Y., Kaku S.F.(1981), Time Trend of Traffic Accidents in Japan, Proceedings of Fourth International Symposium on VTS, Bremen

[5] Johnson D. R.(1978), Recent Trends in Navigation Safety in the Dover Strait, Proceedings of Third International Symposium on Marine Traffic Service, Liverpool Polytechnic Press

[6] Kinzo Inoue(2000), Evaluation Method of Ship handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways, The Journal of Navigation, The Royal Institute of Navigation, Volume 53, Number 1, pp.167-180

[7] Kuroda K., EKITA H.(1990), Safety Assessment of Waterway Network in Bay Area, Proceedings of the 27th International Navigation Congress, Osaka

[8] Kemp J.F., Goodwin E.M., Pick K.(1986), Risk Assessment Problem Area Identifier, COST301 Final Report on Task 2.46., Commission of European Communities.

[9] U.S. Coast Guard(1973), Vessel Traffic Systems-Analysis of Port Needs, Final Report, Washington DC