

직선항로에서의 적정 최대속력에 대한 검토·연구

박영수* · 정재용** · 박진수***

*,***한국해양대학교 교수, **목포해양대학교 교수

A Study on the Validity of Proper Maximum Navigation Speed in a Straight Waterway

Young-Soo Park*, Jae-Yong Jong**, Jin-Soo Park***

*, *** Professor, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

** Professor, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 컨테이너 선박 및 고속선 등과 같은 고속선박의 등장으로 해상에서의 선박 속력은 이전보다 더욱 높아지고 있다. 그러나 우리나라의 특정해역으로 지정되어 있는 현행 교통 밀집해역에서의 속력규제는 수십년전의 규정으로 현재의 교통상황에 잘 부합되지 않는 제도라고 사료된다. 특히 그 해역을 항행하고 있는 선박운항자의 주장으로 인천항의 속력규제 폐지, 광양항의 속력규제 완화 등 속력규제에 관한 논의가 계속되고 있지만 이러한 협수로에서의 속력규제에 대하여 수치화되거나 정량화된 연구는 드물다.

본 연구에서는 직선항로에서의 통항선박의 흐름을 재현한 후, 선박운항자의 선박운항 부담감을 정량화한 환경스트레스 모델(ES Model)을 이용하여 속력규제에 대하여 분석하여 최대속력규제의 효과 여부를 알아보려고 한다.

핵심용어 : 통항속력규제, 해양사고, 선박교통관리, 선박운항 부담감, 환경스트레스 모델

ABSTRACT : Recently, ships' average navigation speed become faster than before because of the increasing of high-speeds vessel including container ships and passenger-ferries. So, it is considered that the speed limit in the navigation channel in Korea isn't proper for vessel management in these days. Also, there is rare paper studies about the speed limit quantitatively and numerically, especially the speed limit is discussing continuously, as abrogation of Incheon Port's speed limit and alleviation of Gwang-yang Port's speed limit according to the requests by the navigating mariners. Consequently this paper deals with the effectiveness of speed limits using the Environmental Stress Model, after replay of the navigation traffic flow in the straight waterway using marine traffic flow simulation technique.

KEY WORDS : Navigation Speed limit, Marine Accidents, Vessel Traffic Management, Ship Operation Burden, Environmental Stress Model

1. 서 론

우리나라에서는 협수로에서 선박의 안전운항 확보의 한 방법으로 해상교통안전법에 의거하여 특정해역에서의 선박속력규제 구간을 설정하여 운영하고 있다. 이러한 항행선박에 대한 속력규제는 협수로에서의 사고발생 방지를 위하여 선박을 일정한 속도 이하로 하여 선박 교통흐름을 정류하는 효과를 기대하여 제안된 것이다.

그러나 최근에는 선박의 대형화에 동반한 고속화로 인하여 항행선박의 안전성 향상을 위한 방법이었던 속력규제가 선박간의 상대속력차이가 작아져 상대선박과의 추월상태 완료까지 장시간이 소요되는 경우가 많다. 또한 선박이 집중되는 혼잡시간에는 많은 선박들의 항해가 이루어져 선박이 집중되는 현상이 발생하는 등 속력규제에 의한 부정적 효과도 나타나고 있다. 이

러한 속력규제의 장점과 단점에 대한 기존의 연구(Park, 2002)는 있지만, 협수로 특히 직선항로에서 통항선박의 적정한 최대 속력에 대한 검토는 이루어지지 않았다. 이 연구에서는 항행선박의 속력규제 중 과연 최대속력을 몇 노트로 할 것인가에 대하여 초점을 맞추었다. 통항하는 선박교통량을 고려하고 해상교통류 시뮬레이션을 이용하여 재현된 선박 흐름에 환경스트레스 모델(Kinzo Inoue, 2000)을 적용하여 선박운항자의 운항부담감의 관점에서 정량적으로 해석하여 평가하고자 한다.

2. 해상교통류 시뮬레이션 조건

2.1 속력규제의 현황 및 시뮬레이션상의 조건

1989년 3월 해상교통안전법 시행규칙은 항로지정방식이 적용되는 수역에서의 출입항법 및 속력을 제정하였다. 현재 부산항 출입항로는 10노트, 광양항 출입항로는 14노트의 속력규제가 있으며, 인천항로의 12노트 속력규제는 폐지되었다.

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

**정회원, jyjong@mmu.ac.kr, (061)240-7308

***정회원, jspark@hhu.ac.kr, (051)410-4240

이렇듯 선박 속도규제의 최대속력은 항만별로 다르다. 이는 각 항만의 특성인 항로의 길이, 선박의 교통량, 선박의 크기 등의 영향을 받기 때문에 사료된다. 본 연구에서는 속도규제의 최대속력이 어느 정도가 되어야 적정한지에 대하여 검토하기 위하여 항로의 길이와 항행선박의 크기는 일정하다는 전제하에 항행선박의 교통량 및 이 항행선박의 교통 형태를 변수로 하여 항로의 최대속력을 3가지로 설정하였다.

- (1) 선박발생척수: 시간당 통항량 10척, 20척, 40척의 3종류
- (2) 선박의 크기 구성: Table 1과 같이 8가지 종류의 선박 크기로 구성

Table 1. Occurrence Vessel's Length & Percentage

GT	Average Length(m)	Standard Deviation of Length(m)	Percentage (%)
20~100GT	15.2	5.6	27.1
100~500GT	52.4	13.2	46.9
500~1000GT	70.4	7.5	3.6
1000~3000GT	90.8	10.4	13.8
3000~6000GT	114.6	46.5	1.5
6000~10000GT	141.2	12.6	1.7
10000~20000GT	174.1	15.9	4.0
more than 20000GT	266.0	44.0	1.4

- (3) 최대속력: Fig.1의 (a)와 같이 최대속력제한이 없는 경우, 최대속력제한이 15노트 경우(Fig. 1의 (b)) 및 최대속력제한이 12노트인 경우(Fig. 1의 (c))
- (4) 항로의 항행폭: 400m, 1000m, 1852m의 3종류로 설정

2.2 직선항로의 설정

협수로의 직선항로 길이는 총 7마일로 설정하고 해상교통류 시뮬레이션을 이용하여 선박의 교통흐름을 Fig.2와 같이 재현한다. 또한 교통밀도를 더욱 세밀하게 집계하기 위하여 이 해역을 가로·세로를 각각 250m의 정사각형으로 나눈다.

교통흐름의 패턴은 시뮬레이션 시작점으로부터 끝점까지 통항을 자유로운 랜덤한 교통흐름, 시작점에서 끝점까지 교통흐름이 평행한 경우인 2가지 교통흐름패턴을 설정하여 시뮬레이션을 수행한다.

Fig.2에서 ◇는 시뮬레이션 시작이후 1시간 경과시의 통항선박의 위치를 나타내고 있고, △는 2시간 경과시, ×는 3시간 경과시, *는 4시간 경과시, ○는 5시간 경과시의 선박의 항행 위치를 플롯팅한 것이다.

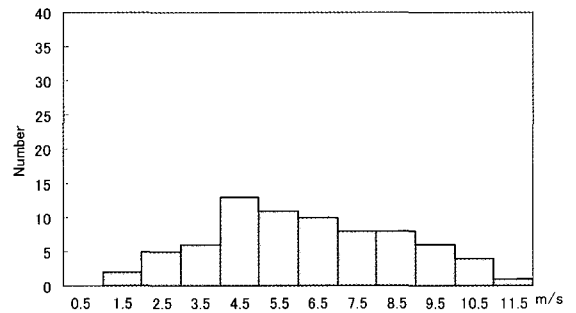
또한 선박이 마주치는 상황에서 피항까지는 선박운항자의 부담감을 해소하기 위하여 피항동작 과정을 거친다. 이 연구에서는 대상해역에서의 통항에서 선박간 마주치는 경우의 충돌위험에 대한 부담감을 알기 위하여 각 선박이 피항조치를 하지 않는다고 전제한다. 즉 선박간의 마주침이 시작하여 통과할 때까지의 과정에서 본래의 침로로 통항할 때까지 어느 정도의 부

하가 가해졌는지를 계산하여 각 마주침에 가해진 잠재적 부하를 정량적으로 표현하기 위하여 피항동작을 고려하지 않은 시뮬레이션을 실시하였다(박, 2005).

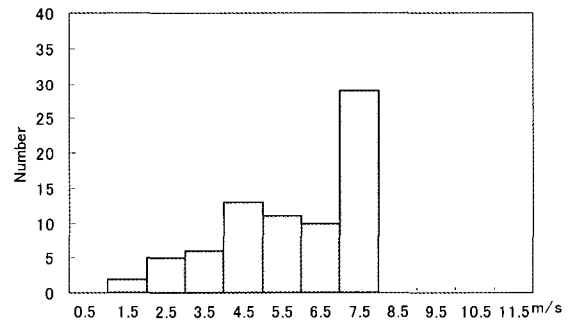
3. 평가모델

3.1 환경스트레스 모델의 적용

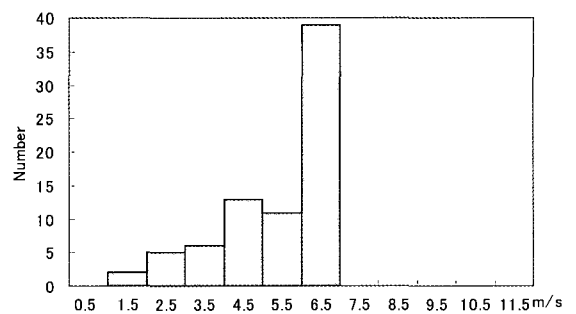
이 연구에서는 일정시간당 통항하는 선박의 교통흐름에 대하여 환경스트레스 모델을 적용함으로써 통항하는 선박이 항행함에 있어서 어느 정도의 조선 곤란성이 선박운항자에 가해지는가를 평가하였다. 즉, 시뮬레이션 시간동안 항행한 모든 선박을 대상으로 가해진 환경스트레스 값의 시계열 데이터를 수집하여, 선박운항자가 허용할 수 없는 상황, 즉 환경스트레스 값이 750이상인 가해지는지에 대하여 분석하였다.



(a) Without Maximum Speed Limitation



(b) Maximum Speed Limitation 15kts



(c) Maximum Speed Limitation 12kts

Fig. 1. Speed Distribution of Occurrence Vessel.

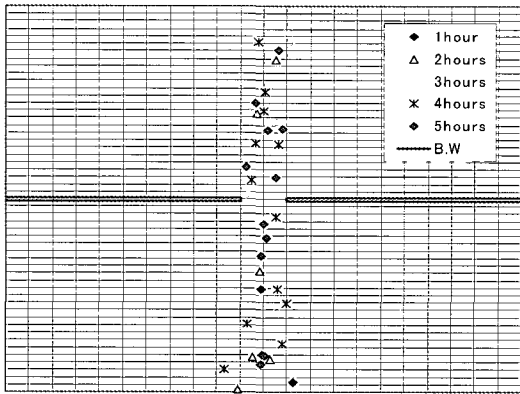


Fig. 2. Traffic Flow Image of Occurrence Vessel.

3.2 환경스트레스 모델

이 연구에서 적용된 평가모델인 환경스트레스 모델의 개념은 아래와 같다.

환경스트레스 모델은 본선을 둘러싸고 있는 주변환경을 조선 환경과 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 곤란감에 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.

주어진 환경에서 잠재하는 위험이 가시화 되어 정량적으로 표현된, 선박조종자가 받는 환경스트레스의 크기를 「환경스트레스 값」이라 한다. 환경스트레스 값은 지형이나 시설물 등 조선 환경에 기인하는 스트레스의 크기인 「조선환경스트레스 값(ES value for Land, ES_L치)」, 타 선박에 기인하는 스트레스의 크기인 「교통환경스트레스 값(ES value for Ships, ES_S치)」으로 구성되며, 두 스트레스 값을 종합하여 「종합환경스트레스 값(Aggregation of ES value, ES_A치)」이라 한다. 이 연구에서는 선박만을 고려하기 때문에 ES_S치를 사용한다. 환경스트레스 값과 선박 운항자의 허용기준에 대하여는 참고문헌(Kinzo Inoue, 2000)에 명시되어 있다.

4. 직선항로에서의 최대속력

이 연구에서는 해상교통류 시뮬레이션에서 재현된 통항 선박을 대상으로 환경스트레스 모델을 적용하여 직선항로에서의 방파제 및 타선박의 영향으로 인한 선박운항자의 부담감을 정량적으로 표현한 종합환경 스트레스치가 가해지는 정도를 계산하

였다.

4.1 통항선박의 최대속력 변화에 따른 분석 방법

해상교통류 시뮬레이션에서 발생한 각각의 선박을 운항하는 선박 운항자의 조선 곤란성의 시계열 데이터 변화를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 그리고 통항로 상에서 선박운항자가 허용할 수 없는 상황인 종합환경스트레스치가 750 이상이 가해지는 비율을 기초로 최대속력에 따른 분석을 실시하였다. Fig. 3은 해상교통류 시뮬레이션 중 선박의 발생척수가 시간당 20척이고 항행폭은 400m일 경우인 결과이다.

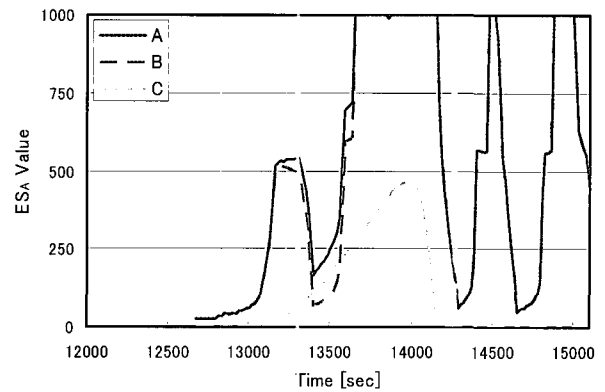


Fig. 3. Example of Changes of ES_A Values.

이 그림의 횡축은 해상교통류 시뮬레이션 시간을 나타내고, 종축은 종합환경스트레스치를 나타낸다. 그리고 시뮬레이션에서 통항한 선박 A~C와 같이 선박이 처해진 교통환경에 의한 주위 환경에 따라 종합 환경스트레스치의 변화 상황을 나타내고 있다. 실선으로 나타낸 통항선박 A의 길이는 250m이고, 점선으로 나타낸 통항 선박 B의 길이는 100m, 일점쇄선으로 표현한 통항선박 C의 길이는 50m이다. 통항선박 A 및 B는 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위인 환경스트레스치 750을 넘어 가장 높은 수치인 1,000에 도달하는 것을 알 수 있다.

4.2 통항선박의 최대속력 변화에 따른 결과

통항선박의 속력이 24kts인 선박이 최대속력제한이 15kts인 해역을 통과할 경우 24kts를 15kts로 RPM을 떨어뜨려 운항하여야 할 것이다. 이런 경우에 선박 운항자의 운항 부담감이 얼마나 변화할 것인가에 대하여 알아보려고 한다. 해역의 넓이를 나타내주는 항행폭의 변화 및 해역의 혼잡여부를 나타내는 밀도를 의미하는 발생척수의 변화를 계산상의 파라미터로 설정하여 분석하였다. 이러한 분석을 위하여 이 연구에서는 시뮬레이션에서 발생한 통항 선박의 최대속력을 24kts→15kts→12kts로 변화시켜 발생척수별로 최대속력의 효과를 선박 운항자의 조선 부담감의 변화와 관련하여 알아보기로 한다.

Fig. 4는 항행폭 1,000m일 경우에 제한최대속력 3종류별로 선박운항자가 허용할 수 없는 범위의 비율과 평균 플롯팅 수와의

관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 횡축의 플롯팅 수는 시뮬레이션 실시 후 1시간이 지난 시점에 수집한 결과로 해상해역의 밀도가 증가(시간당 플롯팅 수 50 이상)하면 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위의 비율이 증가하는 것을 알 수 있다.

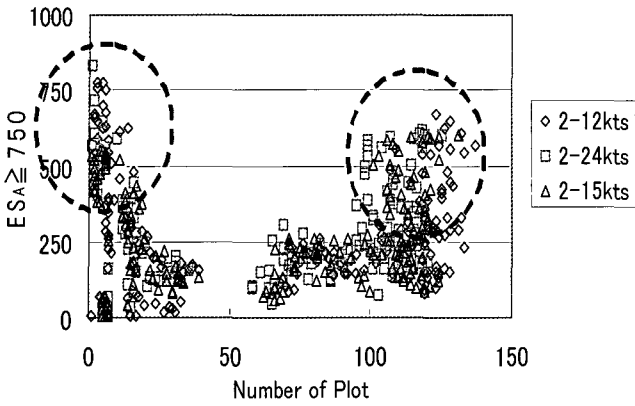


Fig. 4. Ship-handling Difficulty of Maximum Speed Limitation.

Fig. 5는 항행폭이 400m, 1,000m 및 1,852m일 경우, 최대속력별로 선박운항자의 조선 부담감의 변화 상태를 나타낸 것이고 선박의 최대속력제한별로 구분되어 있다. 이 그림에서 횡축은 평균 플롯팅 수를 나타내고 있다. 이 평균 플롯팅 수는 해상해역을 250m로 나눈 정사각형(Fig.2 참조) 안을 통행한 15초 단위의 선박 항적을 시간으로 나누어 계산하였다. 이는 단순한 통행선박척수로 표현하지 않고 시간당 이 해역의 혼잡정도를 시간당 밀도로 표현하고자 함이다.

Fig. 5에서 최대속력제한이 24kts일 경우에는 마름모(◆), 15kts일 경우에는 네모(■), 12kts일 경우에는 세모(▲)로 각각 도시하였다. 각 통행선박척수는 그래프 상에 10척, 20척, 40척으로 표현하였다. Fig. 5를 정리하면 통행척수가 증가할수록 모든 항행 폭에서는 선박운항자의 조선 부담감이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 통행척수의 경우에는 항행폭의 증가로 인하여 종합환경 스트레스치가 낮아지는 것을 알 수 있다.

4.3 항행폭 및 통행선박별 적정 최대속력

Fig. 6은 Fig. 5를 통행척수별로 분류하여 제한최대속력별로 속력규제의 효과를 알아보기 위하여 작성한 그래프이다. 이 그림에서 항행폭 400m는 마름모로, 항행폭 1,000m는 세모로, 항행폭 1,852m는 네모로 각각 표시하였다.

이 그림을 보면 시간당 통행척수가 10척일 경우에는 모든 항행폭에서 최대속력규제가 12kts보다는 15kts에서 효과가 더욱 뛰어나고, 항행폭이 좁을수록 선박 운항자의 허용할 수 없는 범위의 감소율이 현저한 것을 알 수 있다.

시간당 통행척수가 20척일 경우에는 항행폭 1,000m를 분기점으로 하여 1,000m까지는 12kts보다 15kts의 속력규제 효과가

뛰어난 것으로 나타나지만, 항행폭 1,000m가 넘어서면 오히려 12kts의 속력규제 효과가 뛰어난 것으로 나타나고 있다.

또한 시간당 통행척수가 40척인 경우에는 항행폭 400m일 경우에는 12kts보다 15kts 속력규제 효과가 뚜렷하지만, 400m를 초과하는 항행폭에서는 12kts 속력규제 효과가 약간 뛰어난 것으로 나타났다. 그리고 항행폭이 아주 넓은 1852m인 경우에는 속력규제의 효과는 극히 미미한 것으로 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

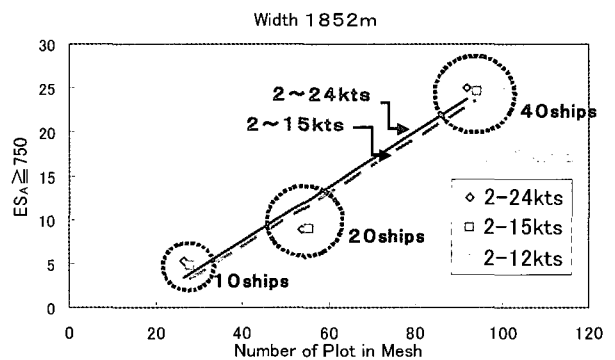
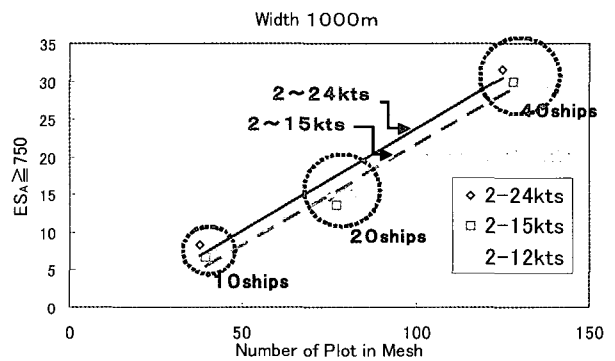
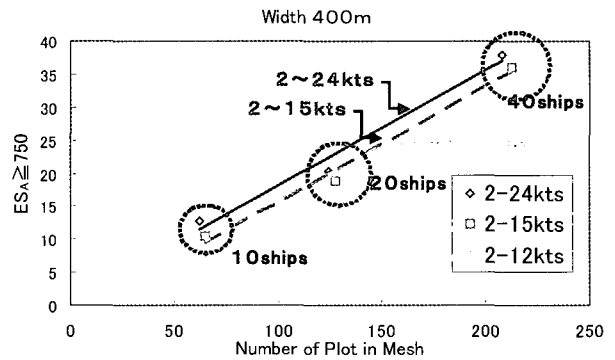
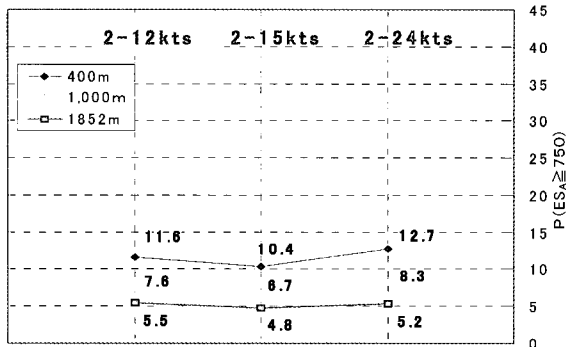
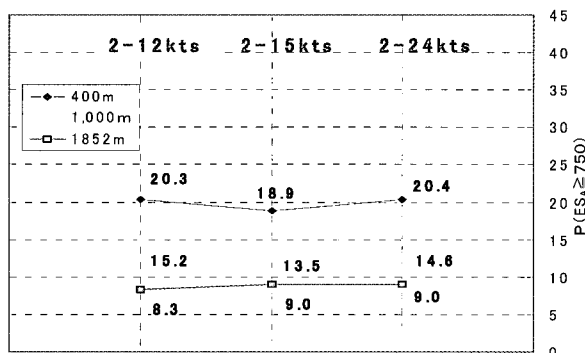


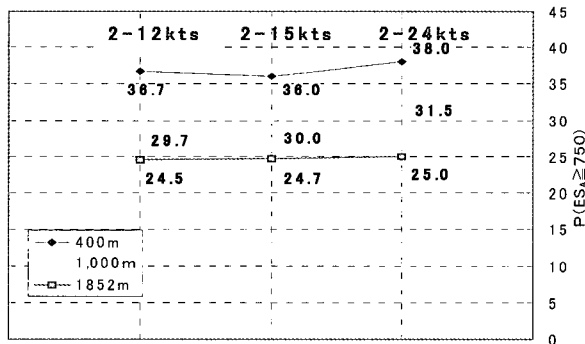
Fig. 5. Relationship between Maximum Speed and Ship-handling Difficulty.



(a) Traffic Volume 10 ships/hour



(b) Traffic Volume 20 ships/hour



(c) Traffic Volume 40 ships/hour

Fig. 6. Efficiencies Relationship of Maximum Speed and Ship-handling Difficulty.

Table 2. Proper Maximum Navigation Speed

volume width	10ships/hour	20ships/hour	40ships/hour
400m	15kts	15kts	15kts
1000m	15kts	15kts	12kts
1852m	15kts	12kts	12kts

(1) 항행폭이 400m인 경우에는 모든 통항척수에서 최대제한속력이 15노트가 바람직하고, 1000m의 경우에는 시간당 통항척수가 20척까지는 15노트, 40척은 12노트가 바람직하다.

그리고 1852m인 경우에는 시간당 통항척수가 10척일 때는 15노트, 20척 이상일 때는 12노트가 바람직하다.
 (2) 시간당 통항척수가 10척인 경우에는 모든 항행폭에서, 20척인 경우에는 1000m까지, 40척인 경우에는 400m까지는 최대제한속력이 12노트보다는 15노트가 바람직하다.

4.4 통항로의 항행유형별 최대속력효과에 의한 변화

지금까지는 랜덤한 교통흐름이 존재할 경우에 대하여 분석하였다. 하지만 실제해역에서의 랜덤한 교통 흐름과 평행한 교통 흐름이 상존한다. 왜냐하면 선박은 자기가 가고자 하는 목적지에 될 수 있는 한 항법을 어기지 않고 최단 항로를 취하려고 하기 때문이다. 이러한 교통흐름의 패턴 차이로 인한 속력규제의 효과를 분석하고자 한다.

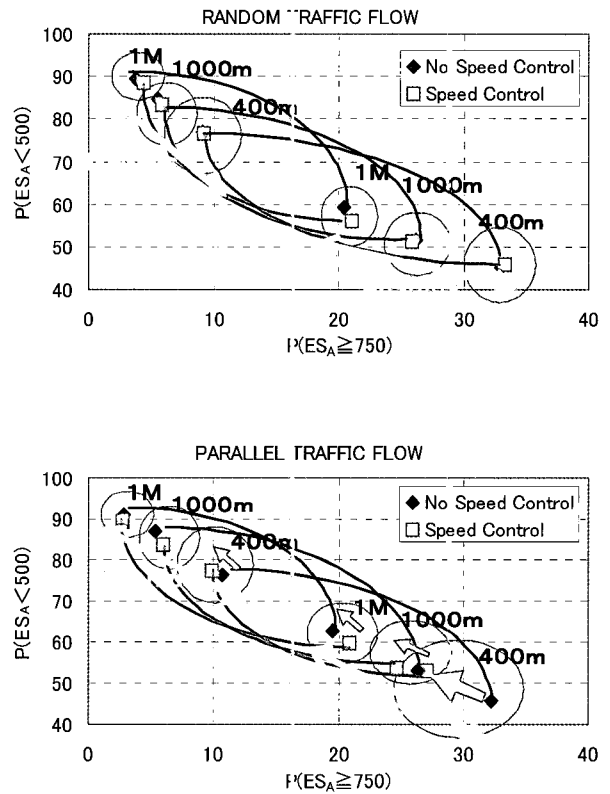


Fig. 7. Comparison Random Traffic Flow with Parallel Traffic Flow.

Fig. 7은 12kts의 속력규제가 있는 경우(네모■)와 없는 경우(마름모◆)를 설정한다. 시간당 통항척수가 10척 및 40척일 경우를 대상으로 횡축은 선박 운항자가 허용할 수 없는 범위의 비율과 종축은 선박 운항자가 충분히 허용할 수 있는 범위의 비율을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 랜덤한 교통 흐름보다 평행한 교통흐름의 경우에 횡축의 감소율도 증가하고 종축의 증가율도 증가하므로 속력규제의 효과가 전체적으로 뛰어난 것을 알 수 있다.

5. 결 론

통항 선박의 속력 중 과연 제한최대속력을 몇 노트로 할 것인가에 대하여 통항교통량 및 항행폭을 파라미터로 하여 해상교통류 시뮬레이션으로 재현된 선박에 대하여 선박운항자의 운항 부담감을 정량적으로 수치화한 모델을 이용하여 평가하였다.

이 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 통항척수가 증가할수록 모든 항행 폭에서는 선박운항자의 조선 부담감이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 통항척수일 경우에는 항행폭의 증가로 인하여 종합환경 스트레스치가 낮아지는 것을 알 수 있다.
- (2) 항행폭이 좁을 수록 속력규제의 효과가 뛰어나며, 항행폭이 넓을 경우는 속력 규제의 효과가 미미하다.
- (3) 시간당 통항척수가 적은 경우(10척/시간)에는 모든 항행폭에서 최대제한속력이 12노트보다는 15노트가 바람직하다.
- (4) 항로폭이 좁은 해역(400m)의 경우에는 모든 통항척수에서 최대제한속력이 12노트보다는 15노트가 바람직하다.
- (5) 랜덤한 교통흐름보다 평행한 교통흐름의 경우가 선박운항자가 허용할 수 없는 범위($ESA \geq 750$)의 감소율도 증가하고 선박운항자가 허용할 수 있는 범위($ESA < 750$)의 증가율도 증가하므로 속력규제의 효과가 전체적으로 뛰어난 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박영수 · 박진수 · 고재용 · 정재용 · 이은(2005), 해상교량 건설을 위한 선박통항 안전성 검토요소에 관한 연구-1, 한국항해항만학회, 제29권 1호, pp.71-75.
- [2] 朴榮守 · 井上欣三(2002): 狹水路における速力規制の功罪検証, 日本航海學會論文集, 第106号, pp.79-86.
- [3] Inoue Kinzo(2000): Evaluation Method of Ship handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways, The Royal Institute of Navigation, Volume 53, Number 1, pp.167-180.

원고접수일 : 2006년 4월 28일

원고채택일 : 2006년 6월 21일