

항로의 교통용량 추정 및 항로 가동률에 대한 고찰

공인영*, 양찬수**

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양안전방제연구본부 책임연구원

** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양안전방제연구본부 선임연구원

A Review on the Estimation of Traffic Capacity and Operating Rate of a Fairway

In-Young Gong*, Chan-Su Yang*

* Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering/KORDI, Yuseong PO Box 23, Daejon, 305-600, Korea

요약 : 항로의 해상교통량 수용 능력을 평가하는 여러 기법들 중에서, 가장 간단한 수준에서 검토가 가능한 기법으로서, 범퍼 모델을 이용한 항로 교통용량 추정기법에 관하여 기술한다. 항로의 교통용량을 추정하기 위한 간단한 계산식과 실제 항로에서의 교통량을 추정하는 기법에 대하여 고찰하고, 이를 바탕으로 항로의 가동률이라는 개념을 수립하여, 이러한 모델을 우리나라 주요 항만의 진입항로에 적용하여 보았다. 본 기법은, 항로의 기본제원 설계시, 대상 해역에서 예상되는 해상교통량을 그 접근 항로가 수용할 수 있는 능력이 있는지를 검토하기 위한 초기의 정량적 평가 수단으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 항로, 해상교통량 수용능력, 항로 교통용량, 범퍼 모델, 항로 가동률

Abstract : Rapid increase of maritime traffic volume and the increase of vessel size make it indispensable for the fairway designer to estimate the traffic capacity of a fairway at its early design stage. In this paper, as one of the methods to estimate the maritime traffic capacity of a fairway, operating rate of a fairway is defined and reviewed together with its basic characteristics, which is a brief estimation model based on bumper model around a ship. The method is applied to the approach channels of major harbors in Korea to give some guidelines on the acceptable traffic capacity of a fairway. In spite of its simplicity, this method can be used as an effective tool to discriminate whether the principal dimension of a fairway is enough or not from the viewpoint of maritime traffic capacity at its initial design stage.

Key Words : Fairway, Traffic Volume, Traffic Capacity, Bumper Model, Fairway Operating Rate

1. 머리말

과거에는 항로의 제원을 결정할 때, 그 항로에서 운항 예정인 최대 크기의 선박이 바람이나 조류 등이 존재하는 여러 가지 다양한 항행환경 하에서 항로 경계를 침범하지 않고도 운항이 가능한지 여부에 주로 초점이 맞추어져 있으며, 주요 항만설계 지침상의 항로 설계기준도 거의 대부분 이러한 관점에서 기술되어 있다 (PIANC, 1997), (일본항만협회, 1999) (한국항만협회, 2000).

최근 해상을 통한 물동량 증가와 더불어 선박의 크기가 점차 대형화되면서, 항로의 효율성 뿐 아니라 항로의 통항 안전성 관점에서도, 항로가 선박에 의한 해상교통량을 어느 정도까지 수용할 수 있는가에 대한 관심이 고조되고 있으며 (Transportation Research Board, 2001), 또한 항로의 용량을 어떻게 정의할 것

인가에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다 (Blume, 2005).

본 논문에서는, 항로의 해상교통량 수용 능력을 평가하는 여러 기법들 중에서, 가장 간단한 수준에서 검토가 가능한 기법으로서, 범퍼 모델의 폐색(閉塞) 영역 개념을 이용한 항로 교통용량 추정기법에 관하여 기술한다.

제 2 장에서는 항로의 교통용량을 추정하기 위한 간단한 계산식과 실제 항로에서의 교통량을 추정하는 기법에 대하여 고찰하고, 제 3 장에서는 이러한 교통량을 추정하기 위한 기초 자료로서, 우리나라 연안에서 항해하는 선박들의 톤급별 분포를 조사해 보았다. 이어서 제 4 장에서는 이러한 모델을 우리나라 주요 항만 및 건설중인 항만의 진입항로에 적용하여 보았다.

본 기법은, 항로의 기본 제원 설계시, 대상 해역에서 예상되는 해상교통량을 그 접근 항로가 수용할 수 있는 능력이 있는지를 검토하기 위한 초기의 정량적 평가 수단으로 사용이 가능

할 것으로 판단된다.

2. 항로의 가동률

2.1 실용교통용량의 추정

폭 W의 항로에서 균일한 크기의 선박들이 선속 V로 연속해서 항행하고 있다고 가정할 때, 이 항로가 수용할 수 있는 이론적인 최대교통용량(척/시)을 나타내는 기본교통용량은 다음 식으로 표현된다(해문당, 1981).

$$Q = \frac{1}{rs} WV \quad (1)$$

단, Q : 항로 기본교통용량(척/시)
 r : 폐색 영역의 장직경(Km)
 s : 폐색 영역의 단직경(Km)
 W : 항로폭(Km)
 V : 선속(Km/h)

식 (1)에서 정의된 Q 값을 기본교통용량이라고 하며, 이 값은 통상적인 항행조건에서 거의 같은 크기의 선박이 거의 같은 정도의 속력으로 일정 폭의 직선 모양의 수로를, 한 방향으로 단위 시간에 통과할 수 있는 이론적인 최대 척수를 의미한다.

실제로는 해상 및 기상 상태, 선박 항행의 자유성, 적용되는 해상교통관리 방식 등에 따른 선박 운항 제한 등에 의해 실제 통행가능 척수는 이보다 훨씬 작아지게 되며, 이처럼 실질적으로 가능한 허용가능 교통량을 실용교통용량이라고 한다. 이 값은 별도의 교통관리가 없는 경우 기본교통용량의 20~25%로 가정하는 것이 일반적이다.

따라서, 항로의 폭(W), 항로에서의 선박들의 평균 선속(V), 항로를 운항하는 선박들의 평균 크기(L), 범퍼 모델에 근거한 폐색영역의 크기(r, s) 등을 알면, 이 항로가 수용할 수 있는 이론적인 최대 항로 교통용량(Q)을 식 (1)에 의해 추정할 수 있다.

실제 대상 해역에는 크기가 다양한 선박들이 혼재되어 운항하기 때문에, 항로 교통용량을 평가하기 위해서는 표준 선박을 설정한 후, 이 표준 선박이 시간당 몇 척씩 통과할 수 있는지를 계산하여 평가하는 것이 편리하다. 항로 교통용량 평가를 위한 표준 선박으로서, 총톤수 약 1,000톤, 전장 70m의 선박을 선택하는 것이 일반적이다.

어떤 항로의 실용교통용량을 추정하는 절차를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 대상 해역의 항로 폭 W(Km)를 조사한다.
- 2) 대상 항로에서의 선박들의 평균 속력 V (Km/h)를 조사한다.

- 3) 범퍼 모델에 의한 폐색영역이란, 선박의 안전운항을 위하여 다른 선박의 진입을 허용하지 않는 본선 주위의 영역을 의미한다. 폐색영역의 장직경(r)은 8L, 단직경(s)은 3.2L로 추정하는 것이 일반적이다(해문당, 1981). L은 본선의 길이를 의미하는데, 여기서는 표준선박(길이 70m)을 이용하여 계산한다.
- 4) 이상의 추정값을 이용하여, 식 (1)로 주어진 기본교통용량 Q 를 구하고, 이의 20%의 값을 실용교통용량(Q_p)으로 추정한다.

2.2 항로가동률의 추정

여기서는, 실제 이론적인 교통용량인 실용교통용량에 대비되는 값으로서, 실제 해상 교통량에 근거한 교통용량을 추정함으로써, 실제 항로의 교통량 수용능력의 척도를 알 수 있는 항로 가동률의 개념 및 추정법에 관하여 기술한다.

- 1) 대상 해역을 운항하는 선박의 선종별, 톤급별 해상교통량 (척수)과 평균길이를 추정한다. 톤급이 구간으로 주어진 경우에는, 그 구간 경계로 설정된 각 선박의 길이값의 평균길 이를 사용한다. 톤급별 선박의 제원이 구체적으로 알려져 있지 않은 경우에는 3.3절의 Table 1과 같은 통계자료를 참고할 수 있다.
- 2) 대상 해역에서 운항하는 선종별, 톤급별 해상교통량(척수)을, 2.1절에서 정의한 표준선박(길이 70m)의 해상교통량(척수)으로 환산한다. 이 때, 크기에 따른 보정을 위해 선박 길이의 제곱에 비례하는 L^2 환산 교통량을 활용한다. 즉, 140m짜리 선박 1 척은 표준선박(길이 70m) 4 척의 해상교통량에 해당된다.
- 3) 이처럼 계산한 모든 선종별 L^2 환산 교통량을 합산한 후, 이를 그 해역에서의 연평균 운항일수(330일로 가정) 및 1일 운항 가능시간(24시간)으로 나누어 시간당 실제 해상교통량 (척/시)을 추정한다. 1일 운항 가능시간은 선종별로 달라질 수 있으므로, 필요시 선종별로 별도로 시간당 해상교통량을 구한 후 합산하여 실제 해상교통량(Q_T)을 추정한다.
- 4) 위에서 구한 실제 해상교통량(Q_T)과 위 2.1절에서 구한 실용 교통용량 값(Q_p)의 비율(항로 가동률 : T_C)을 구하여, 항로의 해상교통량 수용능력을 평가한다.

$$T_C (\%) = \frac{Q_T}{Q_p} \times 100 (\%) \quad (2)$$

- 5) 항로 가동률(T_C)이 100%이면, 항로가 수용할 수 있는 이론상의 최대 해상 교통량에 도달하였음을 의미한다. 또한 이 값이 작을수록, 그 항로는 추가로 해상교통량을 수용할 수 있는 여지가 있음을 의미한다.

2.3 항로 가동률 지수의 특성 고찰

위에서 정의된 실용교통용량(Q_p) 및 이에 근거한 항로가동률(T_C)은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 1) 범퍼 모델은, 넓은 해역에서 운항하는 여러 선박들 간에 서로 안전하게 운항할 수 있는 최소한의 영역을 규정하는 모델이며, 범퍼모델에서 요구되는 폐색 영역의 단직경 s 보다 좁거나 혹은 거의 비슷한 폭 W 를 가지는 항로에서 이러한 모델을 적용할 경우 주의가 필요하다.
- 2) 본 기법은 항로의 해상교통량 수용능력을 평가하는 가장 초보적인 평가 수단으로 간주되어야 하며, 위 2.2절의 평가 사항 이외에 더 이상의 응용은 바람직하지 않다. 즉, 주어진 해상교통량(Q)을 수용하기 위한 소요 항로폭(W)을 구하는 등의 응용은 바람직하지 않다.
- 3) 위 2.1절에서 정의한 표준 선박의 크기가 변하면, Q_T , Q_P 등의 값은 변화하지만, 그 비율인 항로가동률 T_C 의 값은 변하지 않는다. 따라서, 항로의 해상교통용량 수용 능력(T_C)을 평가할 경우 표준 선박을 어떤 선박으로 설정하였는가는 그리 중요하지 않다.
- 4) 위 2.1절의 선속(V)의 크기가 증가하면, 항로의 교통용량(Q_P)은 이에 비례하여 증가하지만, 실제 해상교통량(Q_T)은 선속과 무관하다. 따라서, 선속이 증가하면, T_C 의 값은 선속에 반비례하여 감소한다.
- 5) 위 2.1절의 폐색영역의 크기가 감소하면, 항로의 교통용량(Q_P)은 이에 비례하여 증가하지만, 실제 해상교통량(Q_T)은 폐색영역의 크기와 무관하다. 따라서, T_C 의 값은 폐색영역의 크기($v \times s$) 증가에 반비례하여 감소한다.
- 6) 위 2.2절에서 연간운항 가능일수 및 1일 운항 가능시간이 증가하면, 실제 해상교통량(Q_T)은 이에 반비례하여 감소한다. 따라서 T_C 의 값도, 연간운항 가능일수 및 1일 운항 가능시간이 증가하면, 이에 반비례하여 감소한다.

3. 우리나라 연안 해상 교통량의 톤급별 분포 특성 고찰

3.1 개요

2장에서 추정되는 항로 가동률의 값은, L^2 환산 교통량에 따라 추산되므로, 동일한 척수의 선박이 입항하더라도 그 크기 분포에 따라 항로 가동률의 값이 크게 달라질 수 있다.

기존의 항만에 입항하는 선박들의 톤급별 분포 비율은 해양수산통계연보 등에 의해 파악할 수 있으나, 새로 건설되는 항만이나 항로의 경우에는 추정할 수밖에 없다. 여기에서는, 이러한 추정값으로 사용할 수 있도록, 우리나라 연안 해상교통량의 톤급별 분포 특성을, 해양수산통계연보에 근거하여 기술한다.

3.2 주요 항만의 톤급별 입항척수 분포

Fig. 1은 2003년 우리나라 전국 항만 및 부산, 인천 등 주요 항만에 입항한 선박의 톤급별 척수 분포 비율을 도시한 것이다 (해양수산부, 2004). 목포항의 경우에는 소형선의 비중이 상대적으로 높고, 광양항, 부산항의 경우에는 대형선의 비중이 상대

적으로 다소 높게 나타나는 등, 항만에 따라 다소의 차이는 있으나, 대부분의 항만에서 거의 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

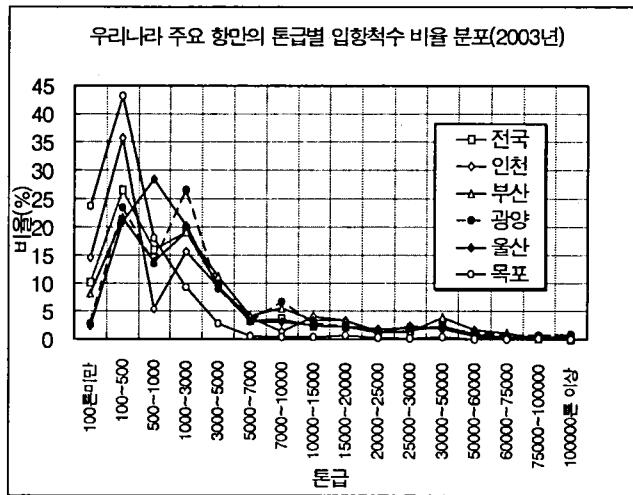


Fig. 1 Number of Vessels(Arrival) according to Tonnage(2003)

3.3 톤급별 입항 선박의 평균 길이

2003년 우리나라 전국 항만에 입항한 선박의 톤급별 분포(해양수산부, 2004)는 Table 1과 같다. Table 1에 표시된 각 톤급별 평균 GT는 입항 선박의 총 GT를 입항척수로 나눈 값이며, 이 평균 GT를 선박의 평균 길이로 환산하기 위해서 다음 식을 사용하였다(해문당, 1981)

$$GT = \frac{L^3}{250} \quad (3)$$

각 톤급별로 추정된 선박의 평균 길이와 척수를 곱하여 합산한 후 다시 전체 입항선박 척수로 나누면, 2003년 우리나라 전국 항만에 입항한 선박의 평균 길이는 약 82.2m로 추정된다.

Table 1 Number of Vessels(Arrival) according to Tonnage(2003)

톤급별(GT)	척수	총 GT	평균 GT	평균 길이(m)
100톤 미만	19,618	4,914,258	250.5	39.7
100~500	50,985	28,945,535	567.7	52.2
500~1,000	30,884	24,580,272	795.9	58.4
1,000~3,000	36,836	65,867,467	1788.1	76.5
3,000~5,000	18,446	74,786,900	4054.4	100.5
5,000~7,000	6,374	37,967,701	5956.7	114.2
7,000~10,000	6,971	57,636,245	8268.0	127.4
10,000~15,000	4,628	58,037,049	12540.4	146.4
15,000~20,000	4,341	74,130,861	17076.9	162.2
20,000~25,000	2,121	47,733,492	22505.2	177.9
25,000~30,000	2,963	80,570,213	27192.1	189.4
30,000~50,000	4,499	174,086,635	38694.5	213.1
50,000~60,000	1,759	95,237,631	54143.1	238.3
60,000~75,000	782	53,700,127	68670.2	258.0
75,000~100,000	717	60,272,484	84062.0	276.0
100,000톤 이상	625	83,510,347	133616.6	322.1
계	192,549	1,021,977,217	5307.6	82.2

단, Table 1에서 100톤 미만 및 100톤~500톤급 선박의 평균 GT값이 각 범위 값의 상한선을 넘고 있어, 통계자료에 일부 오류가 포함된 것으로 판단되며, 추후 확인이 필요한 부분이다. 2001년도 통계자료에서부터 이러한 현상이 나타나고 있다.

4. 우리나라 주요 항만의 접근항로에의 적용

4.1 주요 항만의 선박 입항 척수

2003년 인천항, 울산항, 광양항, 목포항 등에 입항한 선박의 톤급별 척수는 다음과 같다(해양수산부, 2004).

Table 2 Number of Vessels(Arrival) at Major Harbors(2003)

톤급별(GT)	척 수			
	인천	울산	광양	목포
100톤 미만	3,727	594	634	2,575
100~500	9,099	5,289	5,337	4,672
500~1,000	1,370	7,207	3,101	1,949
1,000~3,000	3,984	5,128	6,053	1,004
3,000~5,000	2,400	2,343	2,072	304
5,000~7,000	1,005	821	723	67
7,000~10,000	349	769	1,518	41
10,000~15,000	1,018	635	673	43
15,000~20,000	855	555	532	69
20,000~25,000	286	445	343	23
25,000~30,000	609	506	514	16
30,000~50,000	457	550	432	42
50,000~60,000	139	215	330	1
60,000~75,000	4	5	172	0
75,000~100,000	83	20	163	11
100,000톤 이상	60	214	186	1
계	25,445	25,296	22,783	10,818

연평균 항만 가동일수는 약 330일, 항만은 24시간 가동한다고 가정하였다. 항로기본용량을 계산하기 위한 표준선박의 길이는 82.2m로 가정하였고, 각 항로에서 선박의 평균 선속은 10 Knots라 가정하였다.

4.2 인천항 접근항로

2003년 인천항에 입항한 선박은 총 25,445척이다. 인천항 제1항로(석탄부두 서측 및 No.8 부표 부근), 동수도(영종도 서측), 서수도(자월도 서측)에서 각각 항로 가동률을 추정하면 다음과 같다.

Table 3 Operating Rate of Incheon Approach Fairway(2003)

구분	항로폭 (m)	통항방식	Q_P (척/시)	Q_T (척/시)	T_c (%)
제1항로	500	왕복	10.7	8.2	76.2
동수도	1,000	편도	21.4	4.1	19.0
서수도	2,000	편도	42.8	4.1	9.5

4.3 울산항 접근항로

2003년 울산항에 입항한 선박은 총 25,296척이다. 울산항 제1항로(Pilot Station 부근)에서 항로 가동률을 추정하면 다음과 같다.

Table 4 Operating Rate of Ulsan Approach Fairway(2003)

구분	항로폭 (m)	통항방식	Q_P (척/시)	Q_T (척/시)	T_c (%)
제1항로	540	왕복	11.6	8.9	77.1

4.4 광양항 접근항로

2003년 광양항에 입항한 선박은 총 22,783척이다. 광양항 제1항로(낙포각 전면)에서 항로 가동률을 추정하면 다음과 같다.

Table 5 Operating Rate of Gwangyang Approach Fairway(2003)

구분	항로폭 (m)	통항방식	Q_P (척/시)	Q_T (척/시)	T_c (%)
제1항로	800	왕복	17.1	9.6	55.8

4.5 목포항 접근항로

2003년 목포항에 입항한 선박은 총 10,818척이다. 목포항 제1항로(장좌도 남단)에서 항로 가동률을 추정하면 다음과 같다.

Table 6 Operating Rate of Mokpo Approach Fairway(2003)

구분	항로폭 (m)	통항방식	Q_P (척/시)	Q_T (척/시)	T_c (%)
제1항로	350	왕복	7.5	1.5	20.4

4.6 부산신항 접근항로에서의 항로가동률 추정

Table 7은 현재 건설 중인 부산신항 진입항로(항로폭 600m, 왕복항로) 및 토도 남측진입항로(항로폭 420m, 편도항로)의 장래 예상되는 항로 가동률을 추정한 것이다. 부산신항의 입항 대상 선박들이 대부분 대형 컨테이너선인 관계로 항로 가동률이 상당히 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig.2는 이를 그림으로 표시한 것이며, 위에서 추정한 일부 다른 항로의 값과 같이 도시한 것이다.

Table 7 Operating Rate Estimation for Busan New Harbor Approach Fairways

항로	대상 연도	항로폭 (m)	Q_P (척/시)	Q_T (척/시)	T_c (%)
진입항로	2008	600	11.5	8.6	74.3
	2011	600	11.5	20.2	175.6
	2020	600	11.5	17.7	153.8
토도 남측 항로	2011	420	6.1	10.1	167.2
	2020	420	6.1	8.9	146.4

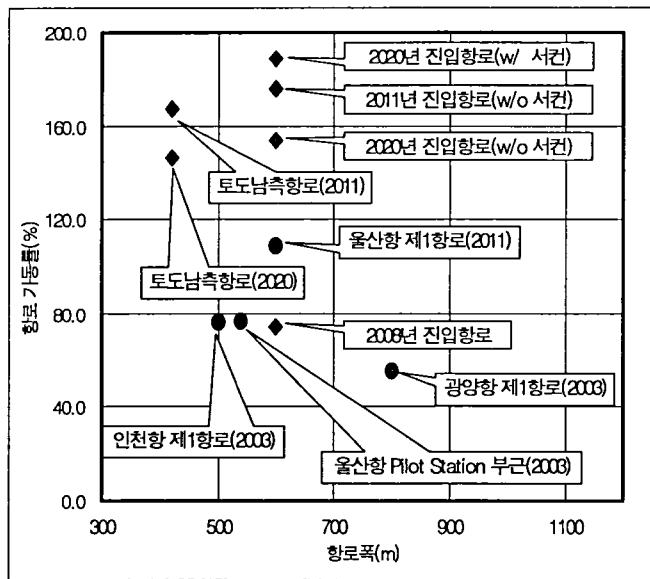


Fig. 2 Estimation of Operating Rate for Busan New Harbor Approach Fairways

참 고 문 헌

- [1] 일본항만협회(1999) : 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설(하권)
- [2] 한국항만협회(2000) : 항만 및 어항설계 기준,
- [3] 해문당(1981) : 해상교통공학
- [4] 해양수산부(2004) : 2004 해양수산통계연보
- [5] Alan L. Blume(2005) : Toward a Better Understanding of Waterway Capacity, PIANC Magazine No.118.
- [6] PIANC(1997) PTC II : Approach Channels - A Guide for Design, Report of Working Group II-30. Supplement to Bulletin No.95
- [7] Transportation Research Board(2001) : Marine Board Seminar on Waterway and Harbor Capacity, Washington DC, (관련자료 http://www4.nas.edu/trb/homepage.nsf/web/waterway&harbor_capacity)

5. 맷음말

최근 해상을 통한 물동량 증가와 더불어 선박의 크기가 점차 대형화되면서, 항로의 효율성 뿐 아니라 항로의 통항 안전성 관점에서도, 항로가 선박에 의한 해상교통량을 어느 정도까지 수용할 수 있는가에 대한 관심이 고조되고 있으며, 또한 항로의 용량을 어떻게 정의할 것인가에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다.

항로의 제원을 결정하기 위해 고려하여야 할 요소는 많이 있으나, 본 논문에서는 항로의 개념설계 단계에서 해상교통량 관점에서 항로의 폭이 적정한 수준인가를 평가하기 위한 방법으로서 항로가동률의 개념을 수립하고, 이를 추정하는 방법에 대해 검토하였다.

이러한 항로가동률 개념을 사용함으로써, 새로운 항로의 폭 설계시 대상 해역의 해상교통량 특성을 고려할 수 있을 뿐 아니라, 기존 항만의 항로에서의 항로가동률을 참조할 수 있으므로, 항만 설계자의 판단에 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 기법은, 새로운 항로의 폭을 결정할 때, 대상 해역에서 예상되는 해상교통량을 그 접근 항로가 수용할 수 있는 능력이 있는지를 검토하기 위한 초기의 정량적 평가 수단으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는, 한국해양연구원의 2005년도 기본연구사업인 “해양위해도 통합관리 시스템 기반기술 개발(III)” 과제의 일부로서 수행되었다.