

감만부두 확장구역 개장과 기타 항만개발이 장래 부산 북항에 미치는 해상교통 혼잡도 평가에 관하여⁺

구 자 윤* · 여 기 태**

Evaluation of the Traffic Congestion in the Passage I of Pusan Harbour
due to the Opening of the Extended Terminal adjacent to the Gamman
Terminal and Other Port Developments

J. Y. Koo · K. T. Yeo

Key Words : 부산 북항 항로(The Passage I of Pusan Harbour), 교통 혼잡도(Traffic Congestion), 대기행렬이론(Queueing Theory), 지수분포(Exponential distribution), SLAM 시뮬레이션 언어(Simulation Language for Alternative Modelling), 통항 우선권(Transit Priority), 평균대기시간(Average Wait Time), 평균대기선박수(Average Length)

Abstract

In Pusan Harbour, new port development projects are implemented such as the Extended Terminal adjacent to the Gamman Terminal, Pusan New Port, the Navy ○○ piers, etc. which will require new marine traffic environments in the Passage I of Pusan Harbour.

Specially, the turning basin of the Extended Terminal adjacent to the Gamman Terminal has been designed to overlay the Passage I of Pusan Harbour, which will interrupt the inbound traffic flow and the results will be worried to decrease the efficiency of port operation.

Therefore, this paper will be aimed to evaluate the traffic congestion in the Pusan Passage I due to the opening of new ports within Pusan Harbour in 2006 and 2011 by using computer simulation based the queueing theory.

⁺ 이 논문은 해양수산부의 지원에 의하여 연구되었음.

* 정희원, 한국해양수산연수원 교수

** 정희원, 우석대학교 유통통상학부 교수

1. 서 론

부산 북항의 제1항로는 350m의 항로폭으로, 감만부두 확장구역 공사 및 운영을 위하여 개항질서법 제12조의 규정에 의한 부산항 제1항로를 1999년 8월 14일부로 약 150m 서측으로 옮겨 수정 배치하였다.

감만부두 확장구역은 1995~2001년의 사업기간 동안 약 217,580백만원의 예산을 투입하여 50,000 DWT급 2선석 및 5,000 DWT급 1선석의 컨테이너 부두를 신설하는 것으로 480천TEU/년의 처리능력을 가질 예정이다.

감만부두 확장구역 실시설계 선박운항 시뮬레이션 평가¹⁾ 결과 본 선석으로부터 입항자세의 접안상태에서 출항을 위한 선회시에는 50,000 DWT급 선박의 경우 북항항로의 입항선 통제가 요구되는 시간은 약 17~18분 가량이고, 5,000 DWT급 선박의 경우는 내항방파제측에 위치하는 관계로 입항선 통제가 요구되는 시간은 약 20~21분으로 평가되었다.

따라서 본 연구는 선박의 운항이 빈번한 북항 항로상에서 감만부두 확장구역 접안선박의 이안을 위한 선회로 해상교통의 혼잡도가 우려됨에 따라 그 영향을 분석코자 한다.

부산 북항 항로상의 선박 통항여건을 검토하기 위하여 행하는 항로 혼잡도 평가는 북항 항로의 선석 위치별 평균대기시간과 평균대기선박수를 평가하는데 있다.

항로의 혼잡도는 항로의 분기점(부두별 이접안을 위하여 선박이 항로상에서 교차하는 점)에 대하여 선박항행 시뮬레이션기법을 사용하였다.

2. 해상 교통량 추정

2.1 해상 교통량 추정방법

2006년과 2011년의 부산항 교통량을 추정하기 위하여 Fig. 1과 같은 추정절차를 따른다.

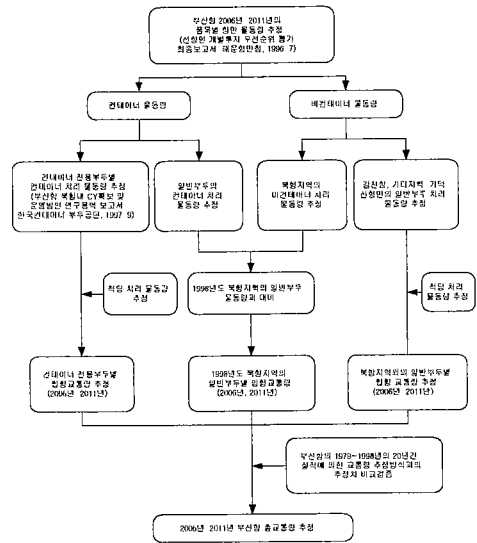


Fig. 1 Flow Chart to estimate Traffic Volumes in Pusan Harbour (Year: 2006, 2011)

2.2 부산항의 해상 물동량 추정

부산항의 해상 물동량은 신항만개발 투자 우선순위 평가 최종보고서²⁾에서 배분된 부산항 물동량을 기본으로 하여 가덕신항만 개발 기본계획 용역 보고서³⁾의 가덕 신항만 물동량을 고려하면 Table 1과 같이 추정된다.

Table 1 Estimated Cargo Volumes in Pusan Harbour (Unit: thousand tons)

구 분	1998년	2001년	2006년	2011년	
전 국	589,931	997,320	1,255,032	1,497,863	
부 산 항	수입	32,136	45,552	52,413	61,127
	수출	49,643	48,421	60,320	67,241
	연안	14,654	21,004	24,427	29,822
	계	96,433	114,977	136,980	158,190

(주) 1. 해운항만청, 신항만투자우선순위 평가최종보고서, 1996.7.
2. 1998년도는 실측치임.

2.3 부산항의 해상 교통량 추정

1) 부산항 컨테이너 부두 통항량 추정

부산항 컨테이너부두에 입항해야 할 선박 척수는 처리 물동량을 자성대부두 및 신선대부두 실적으로부터 추정한 연도별 단위 선박당 평균 처리물량으로 나누어 구한 결과 Table 2와 같이 추정된다.

Table 2 Estimated Entering Traffic Volumes in Pusan Container Terminals (except General Ports)

구 분	2006년			2011년			
	추정 물동량 (천TEU)	척당 처리 물량 (TEU/척)	총 입항 척수 (척)	추정 물동량 (천TEU)	척당 처리 물량 (TEU/척)	총 입항 척수 (척)	
북항 내측	우암부두 7부두	265	600	442	265	650	408
	자성대	1,000	1,250	800	1,000	1,300	769
	소 계	1,265	-	1,242	1,265	-	1,177
북외항	감만부두	1,200		960	1,200		923
	감만부두 확장구역	480	1,250	384	480	1,300	369
	신선대	1,200		960	1,200		923
	소 계	2,880	1,250	2,304	2,880	1,300	2,215
기타	감천항	281	1,250	225	228	1,300	175
	가덕 신항만	2,494	1,250	1,995	4,304	1,300	3,311
	소 계	2,775	1,250	2,220	4,532	1,300	3,486

- (주) 1. 물동량 자료: 가덕신항만 개발 기본계획 용역보고서(해양수산부, 1996. 12.) P. 254
 2. 물동량 배분: 부산항 북항내 CY확보 및 운영방안 연구용역 보고서(한국컨테이너부두공단, 1997. 9.)
 3. 신설부두의 개장시기는 감만부두 확장구역(2002년), 가덕 신항만(1단계 2006년, 2단계 2011년)을 각각 기준으로 함.

2) 부산항 일반부두 통항량 추정

부산항의 일반부두 물동량 전망은 Table 3와 같다. 1998년도 북항지역내의 일반부두 화물수송 실적은 36,875천톤, 입항선박은 17,803척으로 척당 처리 화물량은 2,071톤/척의 수준이다. 가덕 신항만이 건설되는 2006년도 및 2011년도 추정 화물량은 2006년 34,327천톤, 2011년 36,237천톤으로 1998년도 화

물수송 실적과 거의 동일 수준을 유지할 것으로 판단된다. 이는 일반부두내의 컨테이너화물의 상당량이 가덕 신항만 준공에 따라 컨테이너 전용부두로 이전되어 하역되기 때문이다. 따라서 일반부두 화물량이 거의 동일수준이므로, 북항지역 일반부두의 입항선박 척수 추정은 1998년도의 실적치를 그대로 2006년 및 2011년도 추정치로 사용한다.

Table 3 Estimated General Cargo Volumes in Pusan Harbour (Unit: thousand tons)

구 분		1998년	2001년	2006년	2011년	
부산항	수 입	32,136	45,552	52,413	61,127	
	수 출	49,643	48,421	60,320	67,241	
	연 안	14,654	21,004	24,427	29,822	
계		96,433	114,977	136,980	158,190	
부산항 부두별	컨테이너 전용부두	컨테이너	49,400	58,141	81,632	97,586
	북항 일반부두	컨테이너 일반화물	12,749	13,874	4,247	0
		소 계	24,126	25,259	30,080	36,237
	감천항 기타지역 가덕신항	일반화물	6,190	12,666	13,201	14,828
		일반화물	3,968	5,007	5,535	6,561
		일반화물	-	-	2,285	2,978
	소 계		10,158	17,673	21,021	24,367
계		96,433	114,977	136,980	158,190	

- (주) 1. 물동량 배분: 가덕신항만 개발 기본계획 용역보고서(해양수산부, 1996. 12.) P. 318
 2. 1998년도는 실적치임.

한편, 북항내 기능 재배치 계획은 다음과 같은 조건으로 검토한다.

- 1~4부두를 매립하여 도시용지화하는 안은 장기구상안으로 가덕 신항만이 운영개시된 조건에서 추가로 대체항만시설이 개발되어 부산항의 적체문제가 해소된 후에 재검토되어 관계부처 협의를 거친 뒤 기능이전이 고려되어야 한다. 따라서 이러한 전제조건이 충족되지 않은 조건에서는 현재와 같은 기능을 유지할 수 밖에 없다.
- 7부두 및 7부두 확장: 현재의 고철, 광석, 석탄 등의 화물취급에서 컨테이너 부두로 기능 이전

- 8부두 및 연합철강부두: 군시설은 신선대 남측으로 이전하며, 8부두 전면을 잡화부두로 확장(2만톤 3선석, 3만톤 3선석)

그러므로 1998년도 부두별 입항척수를 기능 재배치에 따라 7부두를 컨테이너 전용부두화하고, 연합철강부두 화물을 8부두 및 연합철강부두(기능재배치)로 이전하며, A박지 교통량을 M박지와 O박지에 수용하는 것으로 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4 Estimated Entering Traffic Volumes in General Ports of North Harbour (Year: 2011) (Unit: fleets)

부두명	톤수 구분 (G/T)							
	5백GT 미만	5백~3천GT	3천~5천GT	5천~7천GT	7천~1만GT	1만~2만GT	2만GT 이상	계
북항 내측	4,752	5,122	2,447	715	992	1,033	286	15,347
북외항	동명부두	47	483	151	6	-	-	687
	M박지	8	43	55	9	11	19	162
	O박지, 기타	325	1,012	71	24	29	57	1,607
	소계	380	1,538	277	39	40	76	2,456
총계	5,132	6,660	2,724	754	1,032	1,109	392	17,803

Table 2의 부산항의 컨테이너부두 교통량 추정치와 Table 4의 북항 지역의 일반부두 교통량 추정치, 북항 이외지역의 일반부두 교통량 추정치를 합산하면 Table 5와 같이 추정된다.

Table 5 Estimated Total Traffic Volumes in Pusan Harbour (Unit: fleets)

구분	1998년			2006년			2011년		
	컨테이너부두	일반부두	계	컨테이너부두	일반부두	계	컨테이너부두	일반부두	계
북항 내측	1,726	15,242	16,968	1,242	15,347	16,589	1,177	15,347	16,524
북외항	1,639	2,561	4,200	2,304	2,456	4,760	2,215	2,456	4,671
감천항	331	5,003	5,334	225	8,179	8,404	175	9,187	9,362
기타 지역	-	6,337	6,337	-	8,717	8,717	-	10,332	10,332
가덕신항	-	-	-	1,995	1,416	3,411	3,311	1,845	5,156
총계	3,696	29,143	32,839	5,766	36,115	41,881	6,878	39,167	46,045

(주) 1998년도는 실측치임.

2.4 부산항 입항선박 추정치의 검증

부산항의 1979년~1998년의 20년간 선박 입항실적을 기준으로 경향식과 로그함수식에 따라 2006년과 2011년의 부산항 입항척수를 추정하면 Table 6와 같이 산출된다. 이 결과는 앞서 화물량에 근거한 미시적 추정치인 Table 5와 비교하면 그 차이가 1%미만으로서 거의 동일하므로 본 연구의 해상교통량 추정치의 채택값은 미시적 추정치인 Table 5를 근거로 부산 북항의 혼잡도를 추정하고자 한다.

Table 6 Accepted Estimation of Entering Traffic Volumes in Pusan Harbour (Unit: fleets)

추정 방식	2006	2011	
1979~1998년의 20년간 실적	경향식에 의한 추정	42,432	48,661
	로그함수에 의한 추정	41,774	44,011
	평균	42,103	46,336
화물량에 근거한 미시적 추정 (채택치)	41,881	46,045	
차이 (%)	0.53%	0.63%	

3. 시뮬레이션을 이용한 항로 혼잡도 평가

3.1 시뮬레이션 기법의 이용

본 연구에서는 시뮬레이션 언어인 SLAM-SYSTEM 4.6(Simulation Language for Alternative Modelling)을 이용하여 선박의 수로이용 형태를 모델화하였다.

3.2 모델의 개요

1) 가정

부산 북항의 항로는 개항질서법에 의하여 단선 항로로 이용되며, 다음의 가정 아래에서 모델을 설계하였다.

가) 선박의 항로 진입부 도착은 포와송 형태 (Poisson Manner)를 따른다. 즉, 각 항로별 입항선박의 도착시간은 지수분포 (Exponential Distribution)에 따른다.

나) 항로에 도착한 선박은 선행선박과의 거리가 충분할 때 항로에 진입할 수 있다. 최소한 선박간의 이격거리는 선박 길이와 선속에 따른 최소이격 거리에 따르며, 이 최소이격거리는 PIANC (Permanent International Association of Navigational Congress)가 제안한 선박정지거리에 관한 경험식에서 수로내의 제한조건 즉, 천수와 항로 유지의 여유분 50% 및 충돌방지를 위한 여유분 20%를 고려한 다음 식을 이용한다.

$$d = D \times 1.5 \times 1.2$$

$$= (2.2 \times V^{0.75} + 1.8) \times L$$

- 단, d = 최소 이격거리(m)
- D = 선박의 정지거리(m)
- V = 선박 속도(Knot)
- L = 선박 길이(m)

다) 항로의 진입순서는 먼저 도착한 선박이 먼저 진입한다(First Come First Served Queue Discipline).

라) 부산 북항의 야간 도선이나 조류에 따른 입항 제한이 현재 없으므로 특별한 제한을 고려하지 않는다.

마) 항로내에서 모든 선박이 일정한 속도로 항행한다. 단, 항로내의 각 구간에 대한 평균 속도는 해당 구간별로 따로 정한다.

바) 선박이 항로내의 교차점을 진행할 때 안전상 일정시간동안 다른선박이 진입할 수 없다. 북항 진입부와 내항방파제간 거리 약 5,000m, 평균 선속 6Kts 및 각 교차부를 고려할 때 선박의 항로 교차점 통과시간은 5분으로 한다. 단, 감만확장부두에서 출항시 9교차점에서 선외출항에 따른 입항항로 점유시간은 선박조종 시뮬레이션결과 25분으로 평가되어 이를 채택한다.

사) 항로의 교차점에서 선박이 조우하게 될 때 선박의 항행규칙에 따른 우선순위에 따라 교차점을 통과한다. 개항질서법에 의거하여 항로 진출입선박과 항로를 통항하는 선박 사이에는 항로 진출입 선박이 피항할 의무를 가진다.

아) 항로의 교차점이나 항로의 기종점에는 선박의 대기에 필요한 충분한 수역을 가진다.

자) 선박이 항로내에서 정선할 때에는 그 정선 위치를 유지할 수 있고, 정선후 다시 그 영역내 항행속도로 항해하기까지의 지체시간은 무시한다.

차) 항만에서의 선석의 부족으로 인한 대기는 고려하지 않는다.

카) 예인선, 도선사의 숫자는 충분하여 이들을 기다리는 시간의 지체는 없다.

타) 항내 잠종선은 고려대상에서 제외하였으며, 전 선박의 항로내의 운항에 대해서는 완전한 통제가 이루어진다.

2) 항로 혼잡도 평가 모델

가) 항로의 모형

부산 북항 항로상에서의 선박 운항은 Fig. 2와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

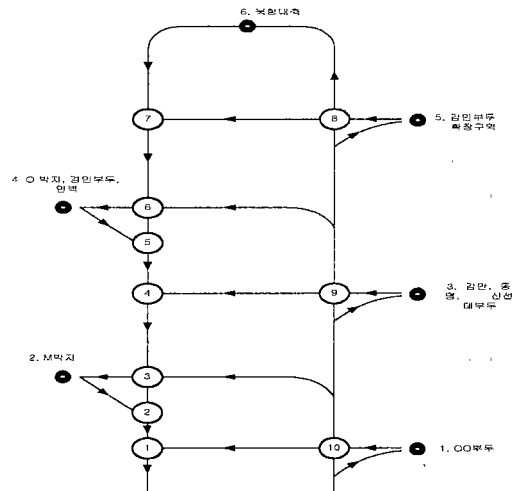


Fig. 2 Location of Piers and Number of Crossing Point

이 때 6개 지역으로 구분한 각 부두에 선박이 접이안하기 위해서는 10개의 교차점이 발생하는 것을 알 수 있다. 10개 교차점에서의 선박 통행 우선 순위는 개항질서법에 의거하여 Table 7과 같이 설계한다.

Table 7 Transit Priority at Each Crossing Point

교차부 번호	선박 진입방향	통행 우선권	점유 시간 (분)
1	• 7진입부(○○부두, 현재 A박지) → 출항항로 • 출항항로	출항항로	5 5
2	• 6진입부(M박지) → 출항항로 • 출항항로	출항항로	5 5
3	• 입항항로 → M박지 • 출항항로	출항항로	5 5
4	• 5진입부(감만 · 동명 · 신선대부두) → 출항항로 • 출항항로	출항항로	5 5
5	• 4진입부(O박지 · 경인부두 · 안벽) → 출항항로 • 출항항로	출항항로	5 5
6	• 입항항로 → O박지 · 경인부두 · 안벽 • 출항항로	출항항로	5 5
7	• 3진입부(감만확장부두) → 출항항로 • 출항항로	출항항로	5 5
8	• 3진입부(감만확장부두) → 출항항로 • 입항항로	입항항로	25 5
9	• 5진입부(감만 · 동명 · 신선대부두) → 출항항로 • 입항항로	입항항로	5 5
10	• 7진입부(○○부두, 현재 A박지) → 출항항로 • 입항항로	입항항로	5 5

나) 모델의 흐름도

항로 혼잡도 평가 시뮬레이션 모델의 흐름도는 전체적으로 Fig. 3에 나타내고 있다.

3) 모델에 사용된 데이터

가) 항로내 선박의 속력과 항행시간

항로내 각 교차점간의 항로길이를 선박종류 시뮬레이션 결과 획득한 평균속력으로 나누면 Table 8과 같이 각 교차점간의 항행시간이 계산된다.

나) 선박의 도착시간 분포

모든 선박은 지수분포에 따라 항로의 진입부에 도착하며, Table 9의 평균도착 시간간격에 의하여 발생한다.

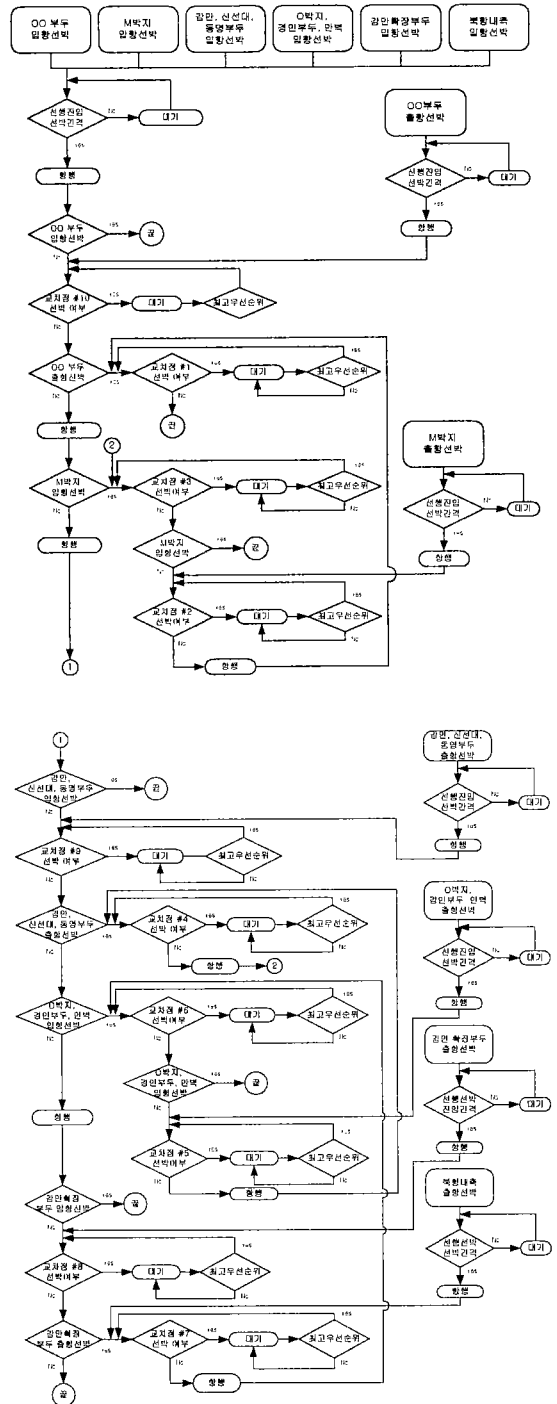


Fig. 3 Flow Chart to evaluate the Traffic Congestion in Channels

Table 8 Channel Length and Average Pilot Time

영역별	선박 항행경로	항로 길이 (m)	평균 선속 (kts)	항행 시간 (분)
○○부두	•입항: 1진입부 → 10교차부	4,200	8	17
	•출항: 7진입부 → 10교차부	800	5	5
	10교차부 → 1교차부	-	-	-
M박지	•입항: 10교차부 → 3교차부	1,000	8	4
	•출항: 6진입부 → 2교차부	800	4	7
	2교차부 → 1교차부	1,000	8	4
감만, 신선대, 동명부두	•입항: 10교차부 → 9교차부	1,700	8	7
	•출항: 5진입부 → 9교차부	900	4	7
	9교차부 → 4교차부	-	-	-
	4교차부 → 3교차부	700	8	3
O박지, 경인부두, 안벽	•입항: 9교차부 → 6교차부	900	8	4
	•출항: 4진입부 → 5교차부	400	4	3
	5교차부 → 4교차부	900	8	4
감만확장 부두	•입항: 9교차부 → 8교차부	2,000	8	9
	•출항: 5진입부 → 8교차부	300	4	3
	8교차부 → 7교차부	-	-	-
	7교차부 → 6교차부	1,100	8	5
북항내측	•출항: 2진입부 → 7교차부	2,500	5	16
기타	•10교차부 → 1교차부			
	•3교차부 → 2교차부			
	•9교차부 → 4교차부			
	•6교차부 → 5교차부			
	•8교차부 → 7교차부			무시

다) 교차점 통과시간

일반 교차점에서의 점유시간은 5분으로 하나, 감만부두 확장구역에서 출항시 9교차점에서 선회출항에 따른 입항항로 점유시간은 선박종종 시뮬레이션결과 25분으로 평가되어 이를 채택한다.

라) 모델의 수행시간

모델은 분단위로 수행되며, 1년(525,600분)의 기간동안 수행한다.

마) 선박간 최소 진입간격

항로내에서 안전을 위하여 최소 이격거리를 유지하며, 항로내에서 8노트로 항행할 경우 선박의 최소 진입간격은 Table 9과 같다.

Table 9 Average Arrival Time Interval and Min. Time Interval required to enter Each Channel of Pusan Passage I in 2011.

구분	선박 크기 (G/T)	입항척수 (척)	평균도착 간격 (분)	선박길이 (m)	선박간 최소진입간격	
					최소 이격거리(m)	최소 시간간격(분)
북항 내측 전테 이너 부두	10K 미만	323	1,627.2	115.0	1,410	5.7
	10K ~ 20K	339	1,550.4	152.0	1,864	7.5
	20K ~ 30K	51	10,305.9	212.9	2,600	10.5
	30K ~ 40K	210	2,502.9	241.5	2,962	12.0
	40K ~ 50K	115	4,570.4	250.5	3,072	12.4
북항 내측 일반 부두	50K 이상	139	3,781.3	294.0	3,606	14.6
	0.5K 미만	4,752	110.6	30.0	368	1.5
	0.5K ~ 3K	5,122	102.6	70.0	859	3.5
	3K ~ 5K	2,447	214.8	100.0	1,227	5.0
	5K ~ 7K	715	735.1	115.0	1,410	5.7
감만 부두 확장 구역	7K ~ 10K	992	529.8	130.0	1,594	6.5
	10K ~ 20K	1,033	508.8	150.0	1,840	7.5
	20K 이상	286	1,837.8	200.0	2,453	9.9
	10K 미만	56	9,385.7	115.0	1,410	5.7
	10K ~ 20K	68	7,729.4	152.0	1,864	7.5
감만 부두, 신선대 부두	20K ~ 30K	22	23,890.9	212.9	2,600	10.5
	30K ~ 40K	101	5,204.0	241.5	2,962	12.0
	40K ~ 50K	55	9,556.4	250.5	3,072	12.4
	50K 이상	67	7,844.8	294.0	3,606	14.6
	10K 미만	282	1,863.8	115.0	1,410	5.7
동명 부두	10K ~ 20K	342	1,536.8	152.0	1,864	7.5
	20K ~ 30K	108	4,866.7	212.9	2,600	10.5
	30K ~ 40K	504	1,042.9	241.5	2,962	12.0
	40K ~ 50K	276	1,904.3	250.5	3,072	12.4
	50K 이상	334	1,573.7	294.0	3,606	14.6
O 박지, 안벽, 경인 부두	0.5K 미만	47	11,183.0	30.0	368	1.5
	0.5K ~ 3K	483	1,088.2	70.0	859	3.5
	3K ~ 5K	151	3,480.8	100.0	1,227	5.0
	5K ~ 7K	6	87,600.0	115.0	1,410	5.7
	7K ~ 10K	29	18,124.1	130.0	1,594	6.5
M 박지	10K ~ 20K	57	9,221.1	150.0	1,840	7.5
	20K 이상	89	5,905.6	200.0	2,453	9.9
	0.5K 미만	8	65,700.0	30.0	368	1.5
	0.5K ~ 3K	43	12,223.3	70.0	859	3.5
	3K ~ 5K	55	9,556.4	100.0	1,227	5.0
○○ 부두	5K ~ 7K	9	58,400.0	115.0	1,410	5.7
	7K ~ 10K	11	47,781.8	130.0	1,594	6.5
	10K ~ 20K	19	27,663.2	150.0	1,840	7.5
	20K 이상	17	30,917.6	200.0	2,453	9.9
계		25,575	20.6			

(주) 1998년도 실적 및 2006년도 추정치 표시는 지면관계로 생략함.

3.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션의 결과로부터 얻을 수 있는 자료로는 이용 부두별 평균대기시간 및 평균대기선박수, 항로의 각 진입부 및 각 교차점에서의 대기선박수 등이며, 시뮬레이션 특성상 시뮬레이션 수행기간(1년, 525,600분) 동안의 최대 대기선박수 등도 구할 수 있다.

1) 평균대기시간

북항 항로를 6개 지역으로 나누어 10개 교차부를 포함하여 525,600분(1년)간 혼잡도 평가 시뮬레이션을 시행한 결과, 주요 위치별 평균 대기시간은 Table 10과 같다.

Table 10 Average Wait Time per Year in Crossing Points of Pusan Passage I (Unit: min)

항로내 위치	1998년		2006년		2011년	
	평균 대기 시간	표준 편차	평균 대기 시간	표준 편차	평균 대기 시간	표준 편차
입항시 제1항로 진입 간격 대기 (ENT #1)	1.33	10.60	1.47	10.50	1.43	10.4
제1항로 입항시 교차점 #10 대기	0.71	9.51	0.47	1.30	0.45	1.26
제1항로 입항시 교차점 #9 대기	0.13	1.45	0.14	1.15	0.13	1.11
제1항로 입항시 교차점 #8 대기	0.00	0.17	0.30	2.63	0.34	2.74
제1항로 출항시 교차점 #7 대기	0.21	0.76	0.45	2.12	0.49	2.23
제1항로 출항시 교차점 #4 대기	0.17	1.15	0.19	0.84	0.19	0.86
제1항로 출항시 교차점 #1 대기	0.07	2.97	0.22	2.32	0.21	2.33

2) 평균 대기선박수

제1항로 진입부를 포함한 각 주요 교차점에서의 평균 대기 선박수는 Table 11과 같다.

Table 11 Average Length in Crossing Point of Pusan Passage I (Unit: fleets)

구 분	1998년			2006년			2011년		
	평균	표준 편차	최대	평균	표준 편차	최대	평균	표준 편차	최대
교차점 #1	0.004	0.137	7	0.014	0.138	6	0.014	0.139	6
교차점 #4	0.008	0.106	7	0.010	0.101	5	0.009	0.099	5
교차점 #7	0.007	0.085	2	0.015	0.135	4	0.016	0.144	4
교차점 #8	0.000	0.018	2	0.012	0.199	16	0.013	0.204	16
교차점 #9	0.008	0.144	9	0.010	0.179	12	0.009	0.177	12
교차점 #10	0.031	0.714	36	0.026	0.170	4	0.026	0.168	4
진입부 #1	0.024	0.807	46	0.029	0.830	42	0.028	0.812	42

3) 대기 시간분포

시뮬레이션의 장점중의 하나는 평균값뿐만 아니라 대기시간의 분포도 얻을 수 있으며, 따라서 전혀 대기가 없을 확률도 구할 수 있다. Table 12는 북항 항로내 움직이는 선박이 대기하지 않을 확률과 10분이상 대기할 확률을 보여준다.

Table 12 Probability of Non-Waiting in Crossing Point of Pusan Passage I

항로내 위치	1998년		2006년		2011년	
	대기하지 않을 확률	10분 이상 대기 확률	대기하지 않을 확률	10분 이상 대기 확률	대기하지 않을 확률	10분 이상 대기 확률
입항시 제1항로 진입간격 대기	0.802	0.021	0.764	0.025	0.765	0.023
제1항로 입항시 교차점 #10 대기	0.868	0.003	0.816	0.001	0.819	0.001
제1항로 입항시 교차점 #9 대기	0.965	0.001	0.963	0.001	0.964	0.001
제1항로 입항시 교차점 #8 대기	0.998	0.000	0.979	0.012	0.977	0.015
제1항로 출항시 교차점 #7 대기	0.898	0.000	0.880	0.011	0.879	0.013
제1항로 출항시 교차점 #4 대기	0.942	0.000	0.930	0.000	0.932	0.000
제1항로 출항시 교차점 #1 대기	0.991	0.000	0.936	0.000	0.935	0.000

4. 혼잡도 평가 결론

부산 북항인 제1항로 있어서 SLAMSYSTEM을 이용하여 Fig. 2와 같이 북항내측, 감만확장부두(현재의 연합철강부두), O박지·경인부두·안벽, 감만·동명·신선대부두, M박지, OO부두(현재의 A박지) 구역으로 6개 지역으로 나누어 10개 교차부를 포함하여 525,600분(1년)간 혼잡도 평가 시뮬레이션을 시행한 결과는 다음과 같다.

1) 북항의 제1항로 진입시 평균대기시간은 Table 10에서와 같이 1998년도 1.33분에서, 2006년 1.47분, 2011년 1.43분으로 거의 대기가 발생하지 않을 것으로 평가된다. 이는 2006년도 가덕 신항만 1단계의 준공, 2011년 가덕 신항만의 2단계의 준공 등으로 부산 북항의 교통량이 현저히 가덕 신항만으로 이전됨으로서 1998년도의 실적과 비교시 혼잡도의 증가는 거의 없는 상태이다.

2) 감만부두 확장구역 준공에 따른 감만부두 확장구역 출항선과 제1항로 입출항선과의 교차부에서 이안을 위한 항로 점유시간이 17~21분이 소요됨으로서 상당한 대기시간이 필요할 것이라는 우려는 감만부두 확장구역의 입출항선 빈도가 하루 1척 정도로 추정됨으로서 평균대기시간도 1분을 넘지 않아 우려할 수준의 대기는 일어나지 않을 것으로 평가된다.

그러나, Table 12에서와 같이 이 지역에서 제1항로 입항대기가 10분 이상일 확률이 1998년도 0.000에서 2006년 0.012, 2011년 0.015 수준이고, 제1항로 출항대기가 10분 이상일 확률이 1998년도 0.000에서 2006년 0.011, 2011년 0.013 수준으로서 제1항로 입출항선의 선속 변경이 요할 수 있으므로 부산항 항만교통정보센터(PTMS)의 관련선박 운항정보제공 및 입출항선 선속 관계가 제1항로상에서 각별히 요망된다.

3) OO부두 준공에 따른 함정의 입출항으로 북

항 진출입 선박과의 교차부에서 북항 진출입 상선의 평균대기시간도 1분을 넘지 않으므로서 우려할 대기는 일어나지 않을 것으로 평가된다.

4) 2006년과 2011년의 기타 각 교차부에서의 입출항시 평균대기시간도 주항로상에서는 1분이하, 각 선석에서 주항로로 나올 때는 4분이하로 거의 대기는 일어나지 않을 것으로 평가된다.

5) Table 11에서와 같이 제 1항로 입항시 선박 최소진입간격에 따른 평균대기선박수는 1998년, 2006년 및 2011년 모두 평균 0.1척이하이며, 교차부에서의 평균 대기 선박수 또한 0.1척이하로 거의 대기가 발생하지 않을 것으로 평가된다.

6) Table 12에서와 같이 각 선석에서의 출항시 10분이상 대기확률은 최대 0.044 수준이나, 이안착업 과정에서 제1항로상의 입출항선 항행상태를 보면서 이안속도를 조정할 수 있으므로 운항상의 큰 애로점을 없을 것으로 평가된다.

참고문헌

- 1) 한국컨테이너부두공단, 부산항 감만부두 확장구역 실시설계 선박운항 시뮬레이션 용역보고서, 1997. 8.
- 2) 해운항만청, 신항만투자우선순위 평가최종보고서, 1996.7.
- 3) 해양수산부, 가덕신항만 개발 기본계획 용역보고서, 1996. 12.
- 4) 한국컨테이너부두공단, 부산항 북항내 CY확보 및 운영방안 연구용역, 1997. 9.
- 5) 구자윤, 협수로의 교통량에 따른 혼잡도 평가에 관하여, 한국항해학회지 제21권 제2호, pp. 19~40, 1997. 6.
- 6) 구자윤, 항계내 항로의 해상교통혼잡도 평가에 관하여, 한국항만학회지 제11권 제2호, pp. 173~189, 1997. 12.