

論 文
B3-3

An evaluation of Marine Traffic Congestion in Pusan Port by Simulation Method

S. M. Soak · K. T. Yeo · H. G. Lee · C. Y. Lee

부산항 해상교통 혼잡도 평가에 관하여

석상문* · 여기태** · 이홍걸*** · 이철영****

Key Word : 해상교통량(Marine Traffic Volume), 대기행렬이론(Queueing Theory), 지수분포 (Exponential Distribution), Awe-Sim 시뮬레이션 언어 (Awe-Sim Simulation Language), 시뮬레이션 Network 모델(Simulation Network Model), 통항우선권 (Transit Priority), 평균대기시간(Average Waiting Time), 평균대기열(Average Waiting Length), 평균이용률(Average Utilization)

Abstract

In Pusan port, the studies, which analysis container cargo volumes by using forecasting methods and research about container logistics system, etc., have been continuously performed.

But, in Pusan port, this study on an evaluation of traffic congestion has been scarcely performed until now. Especially, when changing and extending a berth, and constructing a new port, it is very important to examine this field. And it should be considered.

Thus, this paper aims to analysis the effect of ship traffic condition in 2011, to evaluate marine traffic congestion, according to changing ship traffic volumes in Pusan port.

To analysis it, we used simulation method and examined the results

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

일반적으로, 항로시스템은 항만의 가장 기본이 되

는 Infra중의 하나로써, 항로상의 안전성 재고 및 해 난사고 방지라는 관점은 접어두고 라도, 경쟁력 재 고 및 선박을 유치하기 위한 관점으로도 수로의 해 상교통량 혼잡도 평가는 반드시 고려되어야 할 중

* 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 석사과정

** 정회원, 양산대학 교통물류정보과 전임강사

*** 정회원, 동경공업대학 경영공학과 박사과정

**** 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

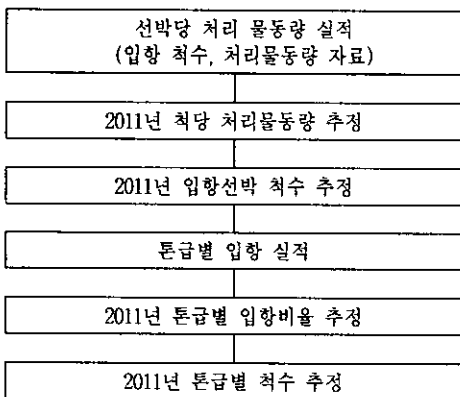
요한 요소이다. 그럼에도 불구하고, 부산항 해상교통량의 혼잡도에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한, 이러한 연구는 부두의 확장이나 변경, 신항만 건설, 기타 항만의 여건 변화시, 선박통항량이 변화함에 따라 반드시 고려되어야 할 필수적인 요소이며, 이미 울산항, 가덕신항만 등의 교통량 혼잡도 평가가 연구된바 있다. 따라서, 본 연구는 가덕신항만의 가동 및 기타 항만의 여건 변화를 감안하여 2011년을 중심으로 선박교통량이 변화함에 따라, 현재의 부산항의 선박통항에 어떠한 변화가 있을 것인지 수로의 혼잡도를 분석하고 평가하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

1.2 연구수행방법

수로의 교통량에 따른 혼잡도를 평가하는데는 대기행렬이론에 의한 분석과 시뮬레이션기법에 의한 분석 등이 이용될 수 있다. 대기행렬이론으로 선박의 도착패턴을 무작위로 해석하여 평균대기시간 등을 구할 수 있으나, 수로의 전체상황을 그대로 반영하기 곤란하고, 수로의 교차부에 대한 해석은 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션기법을 이용하였다.

2. 부산항 2011년 해상교통량 추정

2.1 해상교통량 추정 방안



<그림2-1> 부산항2011년 해상교통량 추정 방안

부산항의 2011년 교통량을 추정하기 위해서, 본 연구에서는 <그림2-1>과 같은 방법을 중심으로 각 부두별 교통량 추정을 실시하였으며, 컨테이너항만의 경우, 기존연구(여기태, 구자윤:“부산항의 On Dock운영화에 따른 CY면적 산정에 대하여”, 한국항만학회지 Vol.11-2, 1997.12월)에서 제시하고 있는 2011년 교통량추정을 토대로 이용하였다.

2.2 교통량 추정결과

부산항에 기항할 선박의 교통량을 추정하기 위해서는 가장 먼저, 각 부두별 선박당 처리할 수 있는 물동량을 예측할 필요가 있다. 따라서, 기존의 각 부두별 입항선박척수, 처리 물동량, 선박당 처리물동량, 이러한 Data를 토대로 경향식을 이용하여 추정한 결과는 <표2-1>과 같다.

5부두의 경우, 기존의 처리실적이 계속적인 감소 추세를 보이고있음에 따라 단위선박당 평균처리물량 추정이 용이하지 못하기 때문에 본 연구에서는 톤급별 기항실적을 기준으로 경향식을 이용하여 추정하였다. 한편, 2011년 입항척수를 추정하기 위해서는 각 부두별 총 입항 선박의 평균 톤수를 환산하여 평균 입항선박 척수를 추정할 수 있으나, 실제로 기항하는 선박들은 그 크기가 다르므로 본 연구에서는 보다 실제적인 추정을 위해서 각 부두의 톤급별 기항실적 Data를 이용하여 각 부두의 2011년 톤급별 입항선박 척수를 추정하였다. 단, 컨테이너 부두의 경우 앞서 언급한 것 같이 기존 연구에서 제시한 추정결과를 토대로 제시하고자 한다.

3. 시뮬레이션 모델의 구성

3.1 시뮬레이션 기법의 이용

선박의 수로이용 과정을 분석해보면, 선박이 수로를 이용하기 위하여 선행선박과의 간격이 충분치 않을 경우 대기하여 안전거리를 확보한 후, 진입하는 형태로 이는 대기행렬이론에서의 형태와 같다. 그러나, 대기행렬이론을 이용하여 선박의 도착패턴을 무작위로 해석하여 평균대기시간 등을 구할 수 있으

나, 수로의 전체상황을 그대로 반영하기 곤란하고, 수로의 교차부에 대한 해석은 매우 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 컴퓨터를 이용하여 수로의 상황을 수치 모델화 하여 각 지점에서의 대기시간 등을 구하는 방법인 시뮬레이션기법을 도입하고자 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 언어인 AWE-SIM을 사용하여 모델화 하였다.

3.2 모델의 개요

3.2.1 가정조건

선박의 개항질서법에 의거, 부산항 각 항로는 단

선항로로 이용되고 있으며, 부산지방해양수산청 조도관제소에 문의한 결과 및 관련 연구보고서 등을 토대로 다음의 가정아래 모델을 설계하였다

- (1) 선박의 각 항로의 도착은 포아송(Poisson) 형태를 따른다. 즉, 각 항로별 입항선박의 도착시간은 지수 분포(Exponential Distribution)에 따른다.
- (2) 항로에 도착한 선박은 선행선박과 거리가 충분히 할 때 항로에 진입할 수 있다. 최소한 선박간의 이격거리는 선박 길이와 선속에 따른 최소이격거리를 따르며, 최소이격거리는 PIANC (Permanent International Association of Navigational Congress)에서 제안한 선박 정

<표2-1> 2011년 부산항 부두별 입항 선박 척수 추정 및 도착간격

부두명	선박크기	입항척수	입항비용	도착간격(분)	부두명	선박크기	입항척수	입항비용	도착간격(분)
국제 여객	3천G/T미만	164	0.20499	3187.575	O 도박지	5백~3천G/T	649	0.87589	809.8308
	5천~7천G/T	238	0.29697	2200.293		3천~5천G/T	91	0.12379	5730.068
	7천~1만G/T	400	0.49804	1311.985		100G/T미만	1	0.01012	277267.4
1부두	5백G/T미만	476	0.35915	1102.498	경인 부두	1천~3천G/T	22	0.12200	23005.81
	5백~3천G/T	63	0.04812	8228.637		3천~5천G/T	161	0.85998	3264.139
	3천~5천G/T	561	0.42319	935.6602		5천~7천G/T	1	0.00799	351242.4
	5천~7천G/T	4	0.00352	112453.1		5백G/T미만	209	0.56898	2510.934
	1만~2만G/T	220	0.16601	2385.17		5천G/T이상	158	0.43101	3314.698
2부두	3천G/T미만	4140	0.60636	126.941	자성대	1만G/T미만	107	0.153	4898.4
	3천~5천G/T	2164	0.31699	242.8213		1만~2만G/T	143	0.204	3675.5
	5천~7천G/T	37	0.00545	14107.99		2만~3만G/T	50	0.071	10512.0
	7천~1만G/T	338	0.04958	1552.479		3만~4만G/T	215	0.308	2434.5
	1만G/T이상	147	0.02162	3560.218		4만~5만G/T	75	0.108	6943.2
중요 부두	3천G/T미만	169	0.1259	3108.748		5만G/T이상	109	0.156	4804.4
	3천~5천G/T	1773	0.22064	1773.893		1만G/T미만	137	0.153	3825.3
	5천~7천G/T	3616	0.10823	3616.04		1만~2만G/T	183	0.204	2869.0
	7천~1만G/T	3083	0.12653	3083.272		2만~3만G/T	63	0.071	8238.2
	1만~2만G/T	1731	0.22606	1731.362		3만~4만G/T	276	0.308	1900.2
3부두	2만G/T이상	2031	0.19253	2031.832	4만~5만G/T	97	0.108	5418.6	
	5천G/T미만	515	0.49662	515.7572	5만G/T이상	140	0.156	3751.6	
	5천~7천G/T	2641	0.09697	2641.16	1만G/T미만	128	0.153	4083.9	
	7천~1만G/T	1253	0.20426	1253.967	1만~2만G/T	171	0.204	3062.9	
	1만~2만G/T	1484	0.17255	1484.412	2만~3만G/T	59	0.071	8804.0	
4부두	2만G/T이상	8653	0.0296	8653.222	3만~4만G/T	259	0.308	2029.3	
	5천G/T미만	1405	0.64774	374.0287	4만~5만G/T	90	0.108	5798.5	
	5천~7천G/T	304	0.14054	1723.805	5만G/T이상	131	0.156	4006.1	
	7천~1만G/T	332	0.15307	1582.774	1만G/T미만	51	0.153	10186.0	
	1만G/T이상	127	0.05863	4132.088	1만~2만G/T	68	0.204	7650.7	
5부두	500G/T미만	362	1.000	1448.732	김만 파장	2만~3만G/T	23	0.071	21991.6
3천G/T미만	1403	0.64141	374.5827	3만~4만G/T		103	0.308	5063.6	
3천~5천G/T	658	0.30119	797.7098	4만~5만G/T		36	0.108	14439.6	
5천~7천G/T	60	0.02768	8679.891	5만G/T이상		52	0.156	9992.4	
7천~1만G/T	19	0.00911	26373.46	1만G/T미만		35	0.153	14681.6	
7부두	1만~2만G/T	45	0.02060	11661.52	1만~2만G/T	47	0.204	11018.9	
	2만G/T이상	27	0.01261	19047.27	2만~3만G/T	16	0.071	31662.7	
	5백G/T미만	32	0.38921	16327.01	3만~4만G/T	72	0.308	7289.9	
	3천~5천G/T	23	0.28487	22306.88	4만~5만G/T	25	0.108	20774.7	
	7천~1만G/T	9	0.11488	55311.81	5만G/T이상	36	0.156	14400	
M 도박지	2만G/T이상	17	0.21102	30114.29	유암 터미널	5만G/T이상	36	0.156	14400

지거리에 관한 경험식에서 수로내의 제한 조건 즉, 천수와 항로유지의 여유분 50% 및 충돌방지를 위한 여유분 20%를 고려한 다음식을 이용하였다.

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

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

단, d : 최소이격거리(m)

D : 선박의 정지거리(m)

V : 선박의 속도(Knot)

L : 선박의 길이(m)

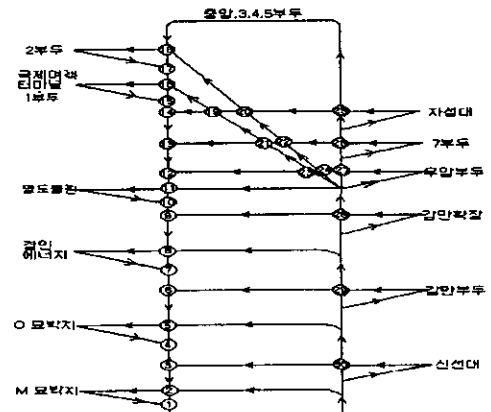
- (3) 항로의 진입순서는 먼저 도착한 선박이 먼저 진입한다.
- (4) 항로내에서 모든 선박이 일정한 속도로 항행한다. 단, 각 구간에 대한 평균속도는 주 항로 8Knot, 항내 3, 5Knot로 정하고, 시뮬레이션의 엄밀을 기하기 위해 항내 3Knot인 경우와 5Knot인 경우를 달리하여 실시하였다.
- (5) 선박이 항로내의 교차지점을 진행할 때 안정상 일정시간 동안 다른 선박이 진입할 수 없다. 선박의 항로교차점 통과시간을 조도 관제소에 문의한 결과 일반적으로, 주 항로에서 약 4분, 항내에서 약 2~3분 정도 소요되나, 선박의 안전성 및 보수적인 결과를 산정하기 위하여 주항로 8분, 항내 3분으로 가정하였다. (6) 선박이 수로의 교차점에서 교차하게될 때 선박의 항행규칙에 따른 우선순위에 따라 교차지점을 통과한다. 개항질서법에 의거, 항로 진출입 선박과 항로를 통행하고 있는 선박사이에는 항로 진출입 선박이 피항해야 할 의무를 가지고, 항로를 통행하고 있는 선박이 교차점에서 교차될 때 교차선박의 紅燈을 보는 선박이 피항해야 할 의무가 있다.
- (7) 항로의 교차점과 항로의 기종점에는 대기에 충분한 수역을 가진다.
- (8) 선박이 항로내에서 정선할 때에는 그 정선 위치를 유지할 수 있고, 정선 후 다시 그 영역내 항행속도로 항해하기까지의 지체시간은 무시한다.
- (9) 항만에서의 선석부족으로 인한 대기는 고려하

지 않는다.

- (10) 예인선, 도선사의 숫자는 충분하여 이들을 기다리는 시간의 지체는 없다.

3.2.2 수로의 모형

부산항 항로상의 선박 운항은 <그림3-1>과 같은 형태로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 북항을 기종점으로 하는 대부분의 부두를 고려대상으로 하고 있으며, 북항내에 있는 A요박지의 경우 항내에 존재함에 따라 항내 부두에 기항하는 선박과의 빈번한 교차가 발생해 선박의 지체요인으로 작용함에 따라, 현재 점차적으로 규모를 축소하고 있어, 2011년에는 없어질 전망이다. 8부두의 경우 해군부두로서 군사 용도로 사용되고 있고, 연안여객터미널의 경우 남항항로를 이용하는 선박이 대부분이고 또한, 조사한 결과를 토대로 감안할 때 북항 항로를 이용하는 선박의 경우 비교적 규모가 작은 선박이어서 선박의 통행에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 사료되어 본 연구의 고려대상에서 제외하였다.



<그림 3-1> 부산항 북항로 선박이용형태

3.3 시뮬레이션 Network모델의 구성

3.3.1 모델에 사용된 데이터

- (1) 수로내 선박의 속도 : 3.2.1의 (4)와 같다.
- (2) 각 교차지점간 항행시간 : 각 교차지점간 항행 시간은 부산지방해양수산청 조도 관제소에 문

의한 결과를 토대로 환산하였으며, 다음<표 3-1>와 같다.

- (3) 선박의 도착시각 분포 : 모든 선박은 지수분포에 따라 수로의 진입부에 도착하며 <표2-1>의 평균도착시간간격에 의하여 발생한다.
- (4) 교차점 통과시간 : 3.2.1의 (5)와 같다.
- (5) 모델의 수행시간 : 모델은 분 단위로 수행되며 1년(525,600분)의 기간동안 수행하며, 실제적인 시물레이션을 위해 시물레이션 시간 동안 개체발생량에 제한을 두지 않았다.
- (6) 선박간 최소진입간격 : (식1)으로 환산한 선박간 최소이격거리를 유지하기 위한 최소진입간격은 <표3-2>와 같다.
- (7) 선박 통행 우선순위 : 3.2.1의 (6)과 같다.

3.3.2 시물레이션 Network 모델

본 연구에서는 부산항의 대부분의 부두를 등급별로 세분하여 고려하였기 때문에, Network 모델 자체가 매우 방대하고(진입부 14개, 교차지점 30개) 또한 Network의 Main 부분은 반복 수행되고 있으므로 처음 몇 부두만을 대상으로 설명하고자 한다.<그림3-1참조>. 우선, 입항 선박을 살펴보면, 제1항로로 진입하는 컨테이너 선을 비롯한 기타 일반·잡화선을 기항하는 각 부두별로 선박의 도착을 발생시킨다. 이 때 각 선박들은 이용 부두별 선박의 규모별로 지수분포에 따라 선박의 도착을 발생시킨다. 예를 들어, 신선대 이용 컨테이너선의 경우 총 입항척수 898척 중, 30.8%를 점유할 것으로 추정된 3만~4만DWT급 선박은 평균 1900.2분 간격으로 발생한다. 따라서, 평균값이 1900.2인 지수분포에 따른 Random Number를 발생시킨다. 발생된 선박은 도착시각, 이용항만, 선행선박의 최소시간간격, 우선순위 등의 정보를 지닌다. 발생된 선박은 수로의 진입부(부산 북항 제1항로)에 선박의 존재여부를 점검하고, 선행선박이 없으면 선행선박과 도착시각과의 차이를 계산하여 그 차이가 최소시간간격 이상일 경우에는 수로로 진입하고 그 시각을 기록한다. 진입부에 대기선박이 있거나, 선행선박과의 진입시각 차이가 최소시간간격보다 클 경우에는 대기 후 도착

<표3-1> 각교차지점간항행시간

부두별	선박항행경로	항로길이(m)	평균선속(knot)	항행시간(분)
M 묘박지	▶입항:1진입부 → 2교차부	3275	8	13.25
	▶출항:14진입부 → 1교차부	1250	8	5.06
신선대	▶입항:1진입부 → 30교차부	3575	8	14.47
	▶출항:13진입부 → 30교차부	2160	8	8.75
	▶출항:30교차부 → 3교차부	300	8	1.21
	▶출항:3교차부 → 2교차부	600	8	2.43
O 묘박지	▶입항:30교차부 → 5교차부	1025	8	4.15
	▶출항:12진입부 → 4교차부	495	8	2.0
	▶출항:4교차부 → 3교차부	725	8	2.94
장만부두	▶입항:30교차부 → 29교차부	1000	8	3.95
	▶출항:11진입부 → 29교차부	450	8	1.82
	▶출항:29교차부 → 6교차부	300	8	1.21
	▶출항:6교차부 → 5교차부	250	8	1.01
정인부두	▶입항:29교차부 → 8교차부	540	8	2.77
	▶출항:10진입부 → 7교차부	1200	8	7.78
	▶출항:7교차부 → 6교차부	240	8	1.56
장만부두	▶입항:29교차부 → 28교차부	565	8	3.72
	▶출항:9진입부 → 28교차부	575	8	3.73
	▶출항:28교차부 → 9교차부	300	8	1.21
	▶출항:9교차부 → 8교차부	325	8	2.16
영도 물련	▶입항:28교차부 → 11교차부	600	3	6.48
	▶출항:8진입부 → 10교차부	900	3	3.89
	▶출항:10교차부 → 9교차부	600	3	6.48
국제 여객 1부두	▶입항:28교차부 → 23교차부	600	3	6.48
	▶출항:23교차부 → 21교차부	0	3	3.89
	▶출항:21교차부 → 19교차부	0	3	0
	▶출항:19교차부 → 16교차부	0	3	0
	▶출항:16교차부 → 15교차부	3050	3	32.94
	▶출항:15교차부 → 14교차부	100	3	19.76
2부두	▶입항:28교차부 → 24교차부	600	3	6.48
	▶출항:24교차부 → 22교차부	0	3	3.89
	▶출항:22교차부 → 20교차부	0	3	0
	▶출항:20교차부 → 18교차부	0	3	0
	▶출항:18교차부 → 17교차부	1250	3	13.5
	▶출항:17교차부 → 16교차부	100	3	8.10
우암 부두	▶입항:28교차부 → 27교차부	600	3	6.48
	▶출항:7진입부 → 27교차부	3070	3	33.15
	▶출항:27교차부 → 24교차부	0	3	0
	▶출항:24교차부 → 23교차부	0	3	0
	▶출항:23교차부 → 12교차부	0	3	0
	▶출항:12교차부 → 11교차부	210	3	2.27
7부두	▶입항:27교차부 → 26교차부	300	3	3.24
	▶출항:6진입부 → 26교차부	2325	3	1.94
	▶출항:26교차부 → 22교차부	0	3	33.15
	▶출항:22교차부 → 21교차부	0	3	15.04
	▶출항:21교차부 → 13교차부	0	3	0
	▶출항:13교차부 → 12교차부	300	3	0
지성대	▶입항:26교차부 → 25교차부	1050	3	11.34
	▶출항:5진입부 → 25교차부	2000	3	6.80
	▶출항:25교차부 → 20교차부	0	3	25.11
	▶출항:20교차부 → 19교차부	0	3	0
	▶출항:19교차부 → 14교차부	0	3	0
	▶출항:14교차부 → 13교차부	1050	3	0
중앙2,3,4 5부두	▶출항:2진입부 → 18교차부	550	3	5.94
			5	3.56

순서에 따라 진입한다. 출항선박의 경우도 이와 같은 방법으로 진행된다. 수로에 진입한 선박이 해당부두에 기항되기 위해 시물레이션에서 각 분기지점에 조건식을 부여하여 해당부두에 기항시킨다. 부두에 기항한 선박은 대기시간 및 기타 자료를 기록하고 모델에서 소멸된다.

출항 선박의 경우도 입항 선박과 동일한 방식으로 발생된다. 출항하는 선박과 입항하는 선박이 교차지점에서 교차할 경우 앞서 제시한 개항질서법에 의거한 우선순위에 따라, 진입하며 대기한 선박의 대기시간이 각 교차지점에 기록된다. 예를 들어 <그림3-1>에서와 같이 교차지점 30(POINT 30)의 경

<표3-2> 선박간 최소 진입간격

부두명	선박크기	대표선박 길이(m)	최소이격 거리(m)	최소진입 시간간격(분)	부두명	선박크기	대표선박 길이(m)	최소이격 거리(m)	최소진입 시간간격(분)	
국제여객	3천G/T미만	80	981.2	4	O 표박지	5백~3천G/T	80	981.2	4	
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7		3천~5천G/T	100	1220.5	4.9	
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5		100G/T미만	20	245.3	0.9	
1부두	5백G/T미만	50	613.3	2.5	경인부두	1천~3천G/T	75	919.9	3.7	
	5백~3천G/T	80	981.2	4		3천~5천G/T	100	1220.5	4.9	
	3천~5천G/T	100	1226.5	4.9		5천~7천G/T	115	1410.5	5.7	
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7	영도출판	5백G/T미만	50	613.3	2.5	
	1만~2만G/T	150	1839.8	7.5		5천G/T이상	130	1594.5	6.5	
2부두	3천G/T미만	80	981.2	4	자성대	1만G/T미만	115	1410	5.7	
	3천~5천G/T	100	1226.5	4.9		1만~2만G/T	152	1864.3	7.5	
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7		2만~3만G/T	212.9	2611.2	10.6	
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5		3만~4만G/T	241.5	2962	12	
중앙부두	1만G/T이상	200	2453	9.9		4만~5만G/T	250.5	3072.4	12.4	
	3천G/T미만	80	981.2	4		5만G/T이상	294.0	3605.9	14.6	
	3천~5천G/T	100	1226.5	4.9		신선대	1만G/T미만	115	1410	5.7
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7			1만~2만G/T	152	1864.3	7.5
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5	2만~3만G/T		212.9	2611.2	10.6	
1만~2만G/T	150	1839.8	7.5	3만~4만G/T	241.5		2962	12		
2만G/T이상	200	2453	9.9	4만~5만G/T	250.5		3072.4	12.4		
3부두	5천G/T미만	100	1226.5	4.9	잠안 터미널	5만G/T이상	294.0	3605.9	14.6	
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7		1만G/T미만	115	1410	5.7	
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5		1만~2만G/T	152	1864.3	7.5	
	1만~2만G/T	150	1839.8	7.5		2만~3만G/T	212.9	2611.2	10.6	
2만G/T이상	200	2453	9.9	3만~4만G/T		241.5	2962	12		
4부두	5천G/T미만	100	1220	4.9	잠안 확장	4만~5만G/T	250.5	3072.4	12.4	
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7		5만G/T이상	294.0	3605.9	14.6	
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5		1만G/T미만	115	1410	5.7	
	1만G/T이상	150	1839.8	7.5		1만~2만G/T	152	1864.3	7.5	
5부두	500G/T미만	50	613.3	2.5		우암 터미널	2만~3만G/T	212.9	2611.2	10.6
	3천G/T미만	80	981.2	4	3만~4만G/T		241.5	2962	12	
7부두	3천~5천G/T	100	1226.5	4.9	4만~5만G/T		250.5	3072.4	12.4	
	5천~7천G/T	115	1410.5	5.7	5만G/T이상		294.0	3605.9	14.6	
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5	1만G/T미만		115	1410	5.7	
	1만~2만G/T	150	1839.8	7.5	1만~2만G/T	152	1864.3	7.5		
	2만G/T이상	200	2453	9.9	2만~3만G/T	212.9	2611.2	10.6		
M 표박지	5백G/T미만	50	613.3	2.5	우암 터미널	3만~4만G/T	241.5	2962	12	
	3천~5천G/T	100	1220.5	4.9		4만~5만G/T	250.5	3072.4	12.4	
	7천~1만G/T	130	1594.5	6.5		5만G/T이상	294.0	3605.9	14.6	
2만G/T이상	200	2453	9.9							

우, 제1항로로 입항하는 선박과 신선대에서 출항하는 선박이 교차하게 되는데 이 경우 우선순위 원칙에 따라 신선대에서 출항하는 선박이 피항해야 할 의무를 지니게 된다.

모델은 위와 같은 방식으로 1년(525600분)동안 실행되며, 1년 동안에 수행된 각 지점의 기본 통계자료와 평균대기시간, 평균대기선박 수뿐만 아니라, 각 지점별 선박의 대기할 확률 이용률 등의 자료도 얻을 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 연구에서 실시한 시뮬레이션 결과를 종합해

보면, M표박지로 입항하는 선박과 출항하는 선박이 교차하는 지점, 신선대에서 출항하는 선박과 입항하는 선박간의 교차점, 2부두로 입항하는 선박과 중앙, 3, 4, 5부두에서 출항하는 선박, 그리고, 2부두와 국제 여객터미널 및 1부두에 입항하는 선박과 자성대, 7부두, 우암부두에서 출항하는 선박이 교차하는 부분에서 평균 약6분~21분정도의 대기가 발생하였으며, 선행선박이 대기함으로 말미암아, 발생하는 대기척수는 대부분 1척 이하이며, 어떤 선박이 부산항에 입항할 때 각 부두에 있어서 대기할 확률은 5분이하가 대부분인 것으로 분석되었다. 그리고, 각 진입부에서의 선행선박과의 이격거리를 감안한 대기는 거

의 발생하지 않을 것으로 분석되었다. 따라서, 위의 경우를 종합해 보면, 부산항의 경우 수로 자체의 능력에는 큰 문제가 없으나, 항로의 특성상 빈번한 교차로 인한 대기가 발생하는 것으로 분석된다. 결론적으로 선박이 항로상에서 복잡하게 교차하는부분이 많다는 것이 대기 발생의 주요원인임을 감안하여, 항내 항로의 재조정이 필요할 것으로 사료 된다.

5. 결 론

시뮬레이션 실시 결과, 2011년 부산항은 수로자체의 능력에는 큰 문제가 없으나, 항로의 특성상 복잡하게 얽혀 있는 부분이 많아, 선박의 대기가 빈번히 발생할 것으로 파악되었다. 따라서, 묘박지의 위치 이동 및 인접한 항만의 기능 분산화로 선박의 집중화를 막을 필요가 있다고 생각되어진다. 본 연구에 있어서 앞으로의 과제로는 우선, 시뮬레이션은 그 특성상 항만의 여러 제반여건이 변화함에 따라, 주기적으로 실시할 필요가 있으므로 모델을 일반화하여 일반유저(User)가 쉽게 이해하고 사용가능한 부산항 시뮬레이션 Tool의 개발이 필요하고, 본 연구의 특성상 보다실제상황에 정확히 부합되는 모델링이 무엇보다도 중요함을 감안 할 때 이 부분 역시 여전히 앞으로의 과제로 남아 있다.

참고문헌

- 1) 구자윤, 1997. 12. 항계내 항로의 해상교통 혼잡도 평가에 관하여 - 울산 신항만의 혼잡도 평가를 중심으로-, 한국항만학회지 제11권 2호 pp. 173-189
- 2) 구자윤, 1997. 협수로의 교통량에 따른 혼잡도 평가에 관하여, 한국해양학회지 제21권 2호 pp.19-40
- 3) 임진수 외 2명, 1996. 2. 가덕수도 선박통항 여건 검토, 해운산업연구원
- 4) 여기태, 구자윤, 1997. 12. 부산항의 On Dock 운영화에 따른 소요 CY면적 산정에 대하여, 한국항만학회지 제11권 2호 pp. 157-172
- 5) 임진수 외 1명, 1991. 컨테이너 터미널 능력산정에 관한 연구, 해운산업연구원
- 6) A. Alan B. Pritsker 외, 1997. Simulation with Visual SLAM and AweSim, John Wiley & Sons. Inc.
- 7) 부산지방해양수산청 전산자료