

인천항 갑문의 운영 수준에 관한 연구

구 자 윤*

*한국해양수산연수원 교수

A Study on the Operational Utilization Levels of Lock Gates in Incheon Port

Ja-Yun Koo*

*Professor, Korea Institute of Marine and Fisheries Technology, Pusan 608-080, Korea

요 약 : 인천항의 내항에는 10K 및 50K 갑문중 10KT 갑문의 내측문짝만이 1련만 설치되어 있는 관계로 매 3년마다 시행되는 문짝의 정기 수리 기간중 10KT 사용이 전면 중단되고 있으므로, 정부에서는 갑문운영의 효율성을 증대시키기 위하여 10KT 갑문의 내측문짝을 1련 증설하는 공사를 시행중에 있다. 본 논문에서는 이들 갑문의 현재 및 장래 운영 수준을 평가함을 목적으로 하였다.

연구결과, 갑문의 1998년도 운영 수준은 10KT는 0.2119, 50KT는 0.2061이며, 이는 10KT의 정기수리로 매3년 46.5일간 폐쇄를 고려한 것이다. 2006년의 운영수준은 0.2246(10KT), 0.2539(50KT)이며, 2011년은 0.2241(10KT), 0.2560(50KT)로 추정되었으며, 특히 50KT 갑문의 운영수준이 2011년도에 1998년도보다 24.5%까지 더욱 급격히 증가될 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 대기행렬이론, SLAM 시뮬레이션 언어, 통항 우선권, 평균 운영 수준

Abstract : In inner harbour of Incheon Port, there are two lock gates (50KT, 10KT) which have two gates per lock gate in inner/outer sides except a gate in inner harbour side of 10KT. Due to the lack of the fore-mentioned gate, the use of 10KT lock gate is suspended in every 3 years for regular maintenance. Now an additional gate is under construction in order to improve the efficiency of the 10KT lock gate. This paper will be aimed to evaluate the operational utilization levels of lock gates in present and future. The operational utilization levels of lock gates in 1998 are evaluated 0.2119 in 10KT lock gate, 0.2061 in 50KT lock gate which were considered the 46.5 closed days every 3 years for 10KT regular maintenance. The levels are estimated to 0.2246(10KT), 0.2539(50KT) in 2006 and 0.2241(10KT), 0.2560(50KT) in 2011. The levels of 50KT lock gate in 2011 are evaluated to be more rapidly increased up to 24.5% from the levels in 1998.

Key words : Queueing Theory, Simulation Language for Alternative Modelling, Transit Priority, Average Operational Utilization Level

1. 서 론

인천항에는 5만톤급과 1만톤급 갑문이 각각 1기씩 설치되어 있으며, 각 갑문의 문짝이 외항측에는 각각 2련씩, 내항측에는 50KT 2련, 10KT 1련이 설치되어 있다. 따라서 내항측 문짝이 1련만 설치되어 있는 10KT 갑문시설의 경우 매 3년마다 시행되는 문짝의 정기수리 기간중 그 사용이 전면 중단되는 실정이므로 정부에서는 갑문운영의 효율성을 증대시키기 위하여 10KT 갑문의 내측 문짝을 1련 증설하는 공사를 진행중에 있다.

10KT 갑문의 내측 문짝시설 증설공사는 1999년에 10KT 갑거를 181.15m 연장하는 것으로 초기안이 되어 있었으나,^{1,2)} 이는 내항측에서 선박의 동시 입출거가 불가능하게 되어 갑문 운영 효율성이 오히려 저하되며, 선박의 운항 안전성도 저하될 것이라는 연구 결과³⁾에 따라 50KT와 같은 형태로 10KT 갑거의 연장없이 시행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 대기이론 시뮬레이션 기법⁴⁾에 근거한

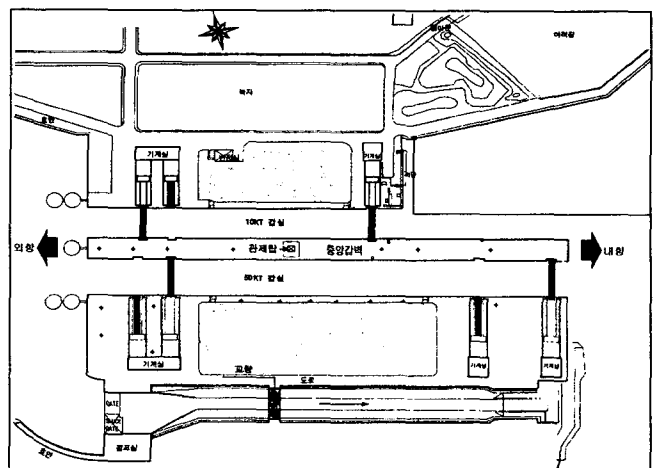


Fig. 1 Layout of Lock Gates in Incheon Port

SLAM SYSTEM(Simulation Language for Alternative Modelling) 4.6을 이용하여 10KT와 50KT 갑문의 이용율(Utilization)을 산출하여 현재의 갑문 운영 효율성을 진단하고, 갑거의 연장

* 정회원, jykoo@post.webkimft.or.kr, (051)620-5765

이 없는 10KT 갑문 증설시 그 효율성의 증가 수준을 평가하며, 장래 추가 갑문의 필요성 여부를 판단하고자 한다.

2. 갑문의 입출거 규칙과 모델링

2.1 갑문관련 규정

인천항항만시설운영세칙에서 규정하는 “갑문통과선박의 기준”으로서 통과가능 선박의 범위는 Table 1과 같다.

선저와 해저 지면과의 여유수심은 본선박 홀수의 10% 이상을 유지하되, 여유수심이 본선박 홀수의 10% 미만인 경우는 관계 도선사의 의견청취, 예선 증선 등 선박의 안전항행을 위한 조치를 취하여야 하며, 어떠한 경우에도 여유수심은 30cm 이상을 유지하여야 한다.

2.2 갑문 입출거 운영 특성

인천항 갑문을 입출거하는 선박들의 입출거 운항 특성을 고려하여 본 시뮬레이션의 모델링에 규칙화하였다.

- (1) 내항을 입출항하기 위한 갑문 입거는 10K이하의 선박은 10KT 갑거를, 50KT 이하의 선박은 50KT 갑거를 이용하는 것으로 한다.
- (2) 10KT-C 갑문문짝 정기 정비공사를 위하여 10KT를 폐쇄하는 기간은 과거실적을 살펴볼 때 1995년 11월 1일부터 12월 10일까지 40일간, 1999년 6월 1일부터 7월 23일까지 53일 각각 시행되었고, 이를 평균할 때 매 3년마다 46.5일 10KT 갑거를 폐쇄하는 것으로 한다.
- (3) 저조시 조고가 120cm이하일 경우 갑문운영이 불가능하며, 8월을 기준할 때 120cm 이하의 조고는 22회이므로, 이를 고려한 일일 갑문 운영시간은 평균 22시간 32분이다.
- (4) 갑거통과 소요시간
갑거 통과시 소요되는 시간은 Table 2와 같이 10KT의 경우 32.7분, 50KT는 36.7분이 소요된다.
- (5) 내항측 갑문 입출거 소요시간
갑문 내항측 입출거는 타선과의 조우시에도 동시 입출거가 가능한 경우로, 다기능 선박조종 시뮬레이터(FMSS)를 이용하여 실시간 입출거 실험결과 갑문별 입출거 소요시간이 10KT 입출거시 13.5분, 50KT 입출거시 17.7분으로 획득되어 이의 값을 대기이론 시뮬레이션 모델링에 사용한다.

Table 1 Vessels available to transit 10KT and 50KT Lock Gates

구 분		10KT 갑문	50KT 갑문
선박의 폭(m)		19.2	32.3
선박의 길이 (m)	내측 갑문	150.0	230.0
	외측 갑문	160.0	300.0

Table 2 Average Transit Time in 10KT and 50KT Lock Gates
(Unit: min)

수 위 차	10KT 갑거	50 KT 갑거
3m	26	30
5m	32	36
7m	40	44
평균 소요시간	32.7	36.7

(주) 인천지방해양수산청 갑문관리소 자료

한편, 제2항로에서 갑문 진입부까지는 양 갑문의 동시 입출거가 불가능하므로 선박의 점유시간은 내항측 50KT 입출거 평균 소요시간인 17.7분을 같이 사용하였다. 이 구역의 선박점유시간은 갑문 증설전후의 갑문 배치에 변경이 없는 조건이므로 증설전후의 선박대기시간 차이에 직접 영향을 미치지 아니한다.

2.3 인천항 항로 통항특성

인천항의 제1~3항로를 통항하는 선박들의 운항상 특성을 고려하여 본 시뮬레이션에 모델링하였다.

- (1) 선박의 항로진입부 도착은 포와송 형태(Poisson Manner)를 따른다. 즉, 각 항로별 입항선박의 도착시간은 지수분포(Exponential Distribution)에 따르는 것으로 가정한다.
- (2) 항로에 도착한 선박은 선행선박과의 거리가 충분할 때 항로에 진입할 수 있다. 최소한 선박간의 이격거리는 선박 길이와 선속에 따른 최소이격거리에 따른다.
- (3) 항로의 진입순서는 먼저 도착한 선박이 먼저 진입한다 (First Come First Served Queue Discipline).
- (4) 갑문 이북의 위험물 운반선박은 야간 입출항이 제한된다.
- (5) 남항에 컨테이너 전용부두가 건설될 예정이므로 동·서수도에서 남항까지는 DL(-) 14.5m로 준설하는 것으로 계획한다.
- (6) 대개 2만 G/T 이상의 선박은 만재흘수가 10.0m 이상으로, 남항 이북의 최소수심 7.9m를 피하기 위하여 조위가 평균 수면 +4.6m 이상에 맞추기 위한 조위대기가 필요하다.
- (7) 항로내에서 모든 선박이 일정한 속도로 항행한다. 단, 항로내의 각 구간에 대한 평균 속도는 해당 구간별로 따로 정한다.
- (8) 선박이 항로내의 교차점을 진행할 때 안전상 일정시간 동안 다른 선박이 진입할 수 없으며, 선박의 항로 교차점 통과시간은 갑문지역을 제외하고 5분으로 한다.
- (9) 항로의 교차점에서 선박이 조우하게 될 때 선박의 항행 규칙에 따른 우선순위에 따라 교차점을 통과한다. 개항 절차법에 의거하여 항로 진출입 선박과 항로를 통항하는 선박 사이에는 항로 진출입 선박이 피항할 의무를 가진다.

2.4 해상 교통량의 추정

인천항의 2006년 및 2011년도 해상 교통량 추정치는 항행위협해역에 대한 해상교통환경평가용역 보고서(해양수산부, 2000. 3)⁵⁾에 근거하였으며, 그 추정절차는 Fig. 2와 같다.

인천항의 입항선 교통량은 Fig. 3에 나타난 바와같이 1996~1998년간 년평균이 21,910척이었으며, 2006년 27,093척, 2011년 31,797척으로 증가할 것으로 추정되었으며, 이들 추정치는 톤수별로 그룹화된 것을 본 모델링에 사용하였다.

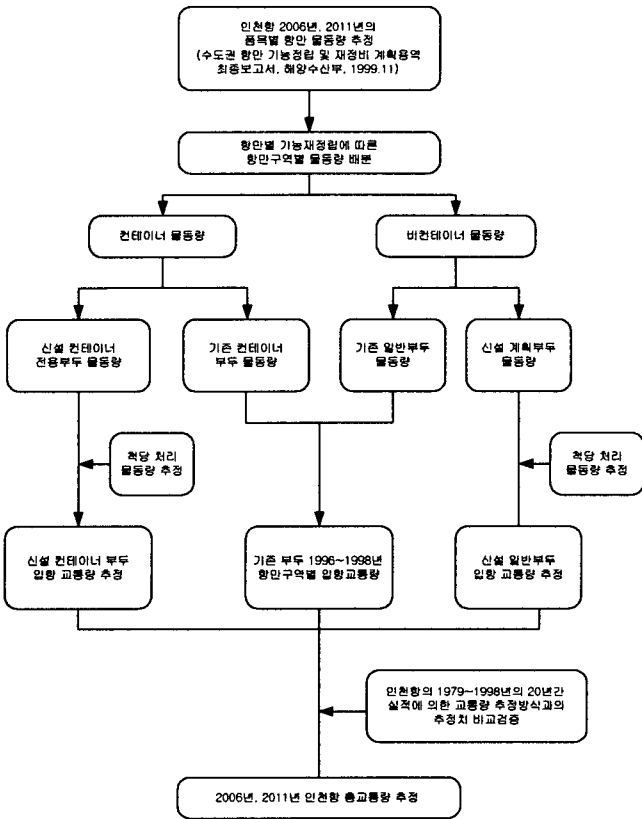


Fig. 2 Flow Chart to estimate Traffic Volumes in Incheon Port(Year: 2006, 2011)

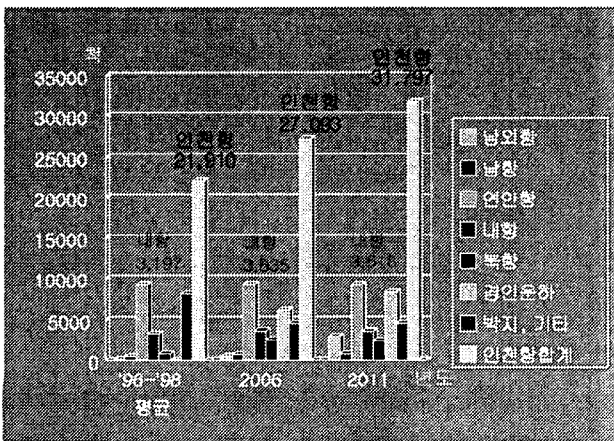


Fig. 3 Trend of the Entering Traffic Volumes in Incheon Port

3. 갑문 운영수준 평가 모델링의 구성

3.1 항로의 모형

인천항 항로상에서의 선박 운항은 Fig. 4와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

이 때 8개 지역으로 구분한 각 부두에 선박이 접이안 혹은 입거하기 위해서는 12개의 교차점이 발생하는 것을 알 수 있다. 12개 교차점에서의 선박 통행 우선순위는 개항질서법에 의거하여 Table 3과 같이 설계한다.

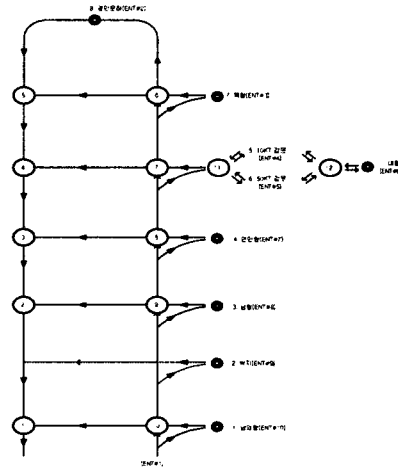


Fig. 4 Location of Piers and Number of Crossing Point

Table 3 Transit Priority at Each Crossing Point

교차부 번호	선박 진입 방향	통행 우선권	점유시간 (분)
1	•10진입부(남외항) → 출항항로 •출항항로	출항항로	5 5
2	•8진입부(남항) → 출항항로 •출항항로	출항항로	5 5
3	•7진입부(연안항) → 출항항로 •출항항로	출항항로	5 5
4	•10KT 혹은 50KT 갑문 → 출항항로 •출항항로	출항항로	5 5
5	•3진입부(북항) → 출항항로 •출항항로	출항항로	5 5
6	•3진입부(북항) → 출항항로 •입항항로	입항항로	5 5
7	•4진입부(10KT) / 5진입부(50KT) → 출항항로 •입항항로	입항항로	5 5
8	•7진입부(연안항) → 출항항로 •입항항로	입항항로	5 5
9	•8진입부(남항) → 출항항로 •입항항로	입항항로	5 5
10	•10진입부(남외항) → 출항항로 •입항항로	입항항로	5 5
11	•8교차부 → 10KT 혹은 50KT 갑문 •4진입부(10KT) / 5진입부(50KT) → 7교차부	2항로의 출거선	17.7 17.7
12	•4진입부(10KT) / 5진입부(50KT) → 6진입부(내항) •6진입부(내항) → 10KT 혹은 50KT 갑문	내항으로의 출거선	0.0 0.0

3.2 모델링의 흐름도

갑문 운영수준 평가모델링의 흐름도는 전체적으로 Fig. 5에 나타내고 있다.

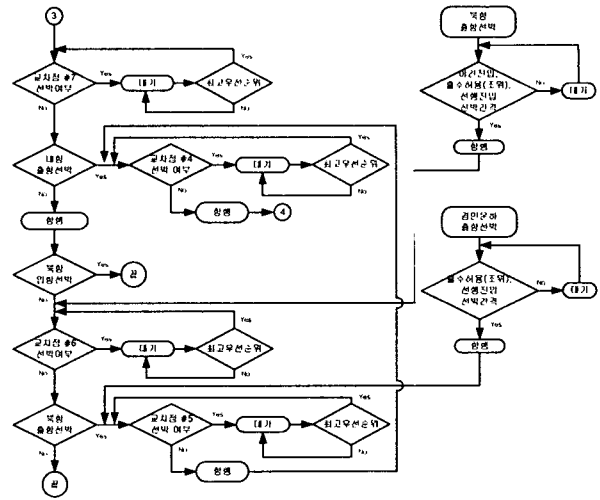
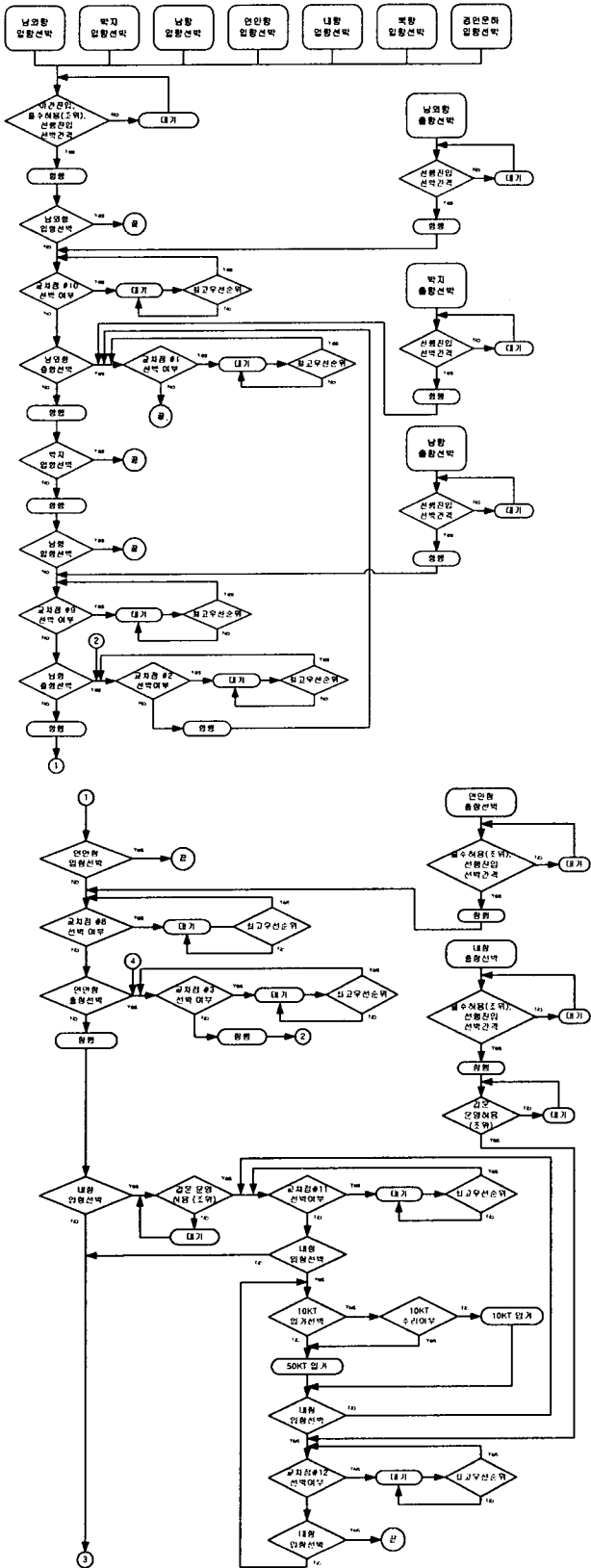


Fig. 5 Flow Chart to evaluate the Operational Utilization Levels of Lock Gates

3.3 모델링에 사용된 데이터

(1) 선박의 도착시간 분포

모든 선박은 지수분포에 따라 항로의 진입부에 도착하며, 최근(1996~1998년의 3년치 평균)의 경우 평균도착 시간간격은 Table 4와 같다.

(2) 선박간 최소 진입간격

항로내에서 안전을 위하여 최소 이격거리를 유지하며, 항로 내에서 8노트로 항행할 경우 선박의 최소 진입간격은 Table 4와 같다.

Table 4 Average Arrival Time Interval and Min. Time Interval required to enter Each Pier of Incheon Port per year (1996~1998)

구역	선박 تون급별 (G/T)	입항 척수 (척)	평균 도착간격 (분)	선박 길이 (m)	선박간 최소진입간격	
					최소이격 거리 (m)	최소 시간 간격 (분)
남외항	2만 이상	71	7,402.8	200	2,453	9.9
남항	1만 미만	468	1,123.1	90	1,104	4.5
연안항	1만 미만	9,112	57.7	90	1,104	4.5
	1만~2만	142	3,701.4	150	1,840	7.5
내항	2만 이상	20	26,280.0	200	2,453	9.9
	1만 미만	1,793	293.1	90	1,104	4.5
	1만~2만	915	574.4	150	1,840	7.5
북항	2만 이상	489	1,074.8	200	2,453	9.9
	1만 미만	468	1,123.1	90	1,104	4.5
	1만~2만	78	6,738.5	150	1,840	7.5
박지, 기타	2만 이상	261	2,013.8	200	2,453	9.9
	1만 미만	6,956	75.6	90	1,104	4.5
	1만~2만	540	973.3	150	1,840	7.5
인천항 합계		21,910				

(주) 2006년, 2011년도의 교통량 추정치, 평균도착간격 및 선박간 최소진입간격 표시는 지면관계로 생략함.

(3) 항로내 선박의 속력과 항행시간

항로내 각 교차점간의 항로길이를 선박조종 시뮬레이션 결과 획득한 평균선속으로 나누면 Table 5와 같이 각 교차점간의 항행시간이 계산된다.

(4) 교차점 통과시간

일반 교차점에서의 점유시간은 여유치를 고려하여 5분으로 한다.

갯문구역에서의 점유시간은 내항측 교차점에서 10KT 입출거시 13.5분, 50KT 입출거시 17.7분의 통과시간이 소요되나 동시 입출거가 가능하므로 이 구간을 따로 점유하지는 않는다. 제2항로측 교차점에서는 증설전후의 형태가 동일하며, 동시 입출거가 불가능하므로 이 구간 점유시간을 17.7분으로 사용한다.

(5) 10KT의 폐쇄기간

10KT-C 갑문문짝 정기 정비공사를 위하여 10KT를 폐쇄하는 기간은 매 3년마다 46.5일을 사용하였다.

(6) 모델의 수행시간

모델은 분단위로 수행되며, 3년(1,576,800분)의 기간동안 수행한다.

4. 갯문 운영수준의 평가결과

인천항 항로를 경인운하, 북항, 갯문 10KT, 갯문 50KT, 연안항, 남항, 묘박지, 남외항 구역의 8개 지역으로 나누어 12개 교차부를 포함한 조건에서 1,576,800분(3년)간 갯문의 운영수준 평가 시뮬레이션을 시행하여 Fig. 6과 같은 결과를 얻었다.

1) 1996~1998년의 3년간 10KT-C 정비공사로 매3년마다 46.5일 10KT가 폐쇄되는 현행 갯문 운영수준은 10KT가 0.2119, 50KT가 0.2061이었다. 만일 10KT 갯문 증설이 이미 완료되어 10KT-C 정비공사가 필요없는 조건을 가정할 시에는 갯문 운영수준은 10KT가 0.2210, 50KT가 0.1960으로 추정된다.

즉, 현행 10KT가 정비공사로 폐쇄되는 경우 갯문 운영수준은 10KT와 50KT가 0.21 전후로 거의 비슷한 수준을 가지나, 폐쇄되지 않는다면 10KT의 운영수준이 50KT보다 높게 나타남을 알 수 있다.

2) 2006년에는 10KT 갯문 증설로 10KT 폐쇄가 필요 없게 됨에 따라 10KT의 갯문 운영수준은 0.2246, 50KT의 갯문 운영수준은 0.2539로 추정된다. 즉, 10KT 갯문의 운영수준은 1998년 대비 6.0% 증가로 거치나, 50KT 갯문의 운영수준은 23.2%로 크게 증가한다. 수도권항만 기능정립 및 재정비계획용역보고서(해양수산부, 1999)⁷⁾에 따르면 수도권 물동량 증가로 인하여 인천항의 컨테이너 물동량이 1998년 기준 200천TEU(내항)에서 2006년 1,511

Table 5 Channel Length and Average Pilot Time

영역별	선박 항행경로	항로 길이 (mile)	평균 선속 (kts)	항행 시간 (분)
남외항	•입항: 1진입부 →10교차부	2.0	12	10
	•출항: 10진입부 →10교차부	6.0	8	45
	10교차부 → 1교차부	-	-	-
남항	•입항: 10교차부 → 9교차부	9.5	10	57
	•출항: 8진입부 → 9교차부	1.5	4	23
	9교차부 → 2교차부	-	-	-
	2교차부 → 1교차부	9.5	10	57
연안항	•입항: 9교차부 → 8교차부	1.5	6	15
	•출항: 7진입부 → 8교차부	0.5	4	8
	8교차부 → 3교차부	-	-	-
	3교차부 → 2교차부	1.5	6	15
내항	•입항: 8교차부 → 7교차부	0.5	6	5
	•출항: 6진입부 →4,5진입부	0.5	1~3	17.7
	4,5진입부 →11교차부	0.6	1~3	17.7
	11교차부 → 7교차부	0.5	4	8
	7교차부 → 4교차부	-	-	-
4교차부 → 3교차부	0.5	6	5	
북항	•입항: 7교차부 → 6교차부	1.3	6	13
	•출항: 3진입부 → 6교차부	0.5	4	8
	6교차부 → 5교차부	-	-	-
	5교차부 → 4교차부	1.3	6	13
경인운하	•출항: 2진입부 → 5교차부	3.5	6	35
기 타	•10교차부 → 묘박지	-	-	무시
	•묘박지 → 1교차부	-	-	무시
	•4진입부(10KT) 통과시간	0.1	0~1	32.7
	•5진입부(50KT) 통과시간	0.2	0~1	36.7
	•4진입부 ⇄ 6진입부	0.5	1~3	13.5
•5진입부 ⇄ 6진입부	0.5	1~3	17.7	

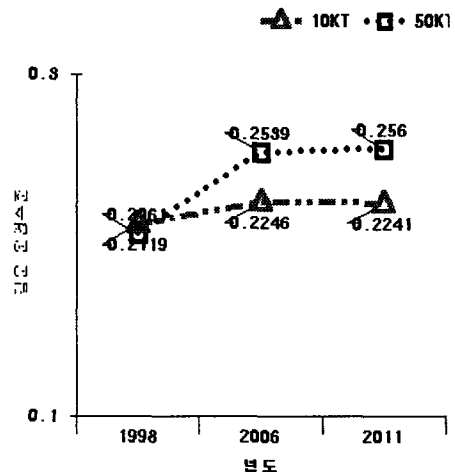


Fig. 6 Operational Utilization Levels of Lock Gates in Incheon Port

천TEU(내항 747천TEU, 남항 330천TEU, 연안항 51천TEU, 경인운하 375천TEU, 인천국제공항부두 8천TEU)로 증가될 것으로 예측되고, 내항의 컨테이너 물동량도 1998년 대비 2006년은 373.5% 증가될 것으로 예측된 바, 2006년도 50KT 갑문의 운영수준 증가율 23.2%는 컨테이너선의 내항 입출항이 대폭 증가됨에 기인한 것이다.⁷⁾

- 3) 2011년 10KT 갑문 증설로 10KT 폐쇄가 필요 없는 경우 10KT의 갑문 운영수준은 0.2241, 50KT의 갑문 운영수준은 0.2560으로 추정된다. 만약 10KT 갑문 증설이 없었다면 10KT 폐쇄로 인하여 10KT의 갑문 운영수준은 0.2142, 50KT의 갑문 운영수준은 0.2670으로 추정된다. 2011년 내항의 교통량은 내항선석 개발계획이나 내항선석 운영 변경계획이 따로 없으므로 2006년 대비 교통량 증가율이 미미하고, 갑문의 운영수준도 2006년도와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

5. 결 론

현재 10KT 갑문은 10KT-C 정비공사로 매3년마다 46.5일 10KT가 폐쇄되어 갑문 운영수준은 10KT가 0.2119, 50KT가 0.2061 수준이다.

2006년에는 10KT 갑문 증설로 10KT 폐쇄가 필요없게 됨에 따라 10KT의 갑문 운영수준은 0.2246, 50KT의 갑문 운영수준은 0.2539로 추정된다. 즉, 10KT 갑문의 운영수준은 1998년 대비 6.0% 증가로 거치나, 50KT 갑문의 운영수준은 23.2%로 크게 증가한다. 이는 수도권 물동량 증가로 인하여 내항의 컨테이너 물동량이 1998년 기준 200천TEU에서 2006년 747천TEU로 373.5% 증가될 것으로 예측된 바, 2006년도 50KT 갑문의 운영수준 증가율 23.2%는 컨테이너선의 내항 입출항이 대폭 증가됨에 기인한 것이다.

2011년에는 10KT의 갑문 운영수준은 0.2241, 50KT의 갑문 운영수준은 0.2560으로 추정된다. 즉, 2011년 내항의 교통량은 내항선석 개발계획이나 내항선석 운영 변경계획이 따로 없으므로 2006년 대비 교통량 증가율이 미미하고, 갑문의 운영수준도

2006년도와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

따라서, 1998년 대비 2011년에는 갑문 운영수준이 10KT가 5.8%, 50KT가 24.2%로 각각 증가할 것으로 추정되며, 특히 50KT의 사용빈도가 10KT보다 훨씬 증대될 것임을 예측할 수 있다.

결론적으로, 양 갑문의 운영수준이 2011년 기준으로 10KT가 0.2241, 50KT가 0.2560 수준이므로 내항내에 특별한 선석 개발이 따로 추진되지 않는 한 추가의 별도 갑문 증설은 시급하지 않다고 판단된다. 그러나, 50KT의 운영수준 증가율이 1998년 대비 2011년에는 24.7%로 급증하는 추세이므로 특히 50KT의 유지보수 및 관리에 더욱 각별한 관심이 요망된다.

참 고 문 헌

- [1] 인천지방해양수산청·인천항건설사무소(1998):인천항 갑문문짝(10KT)증설 기본설계 용역보고서
- [2] 인천지방해양수산청·인천항건설사무소(1999):인천항 갑문문짝(10KT)증설 실시설계 보고서
- [3] 한국해양수산연수원(2000):인천항 갑문문짝(10KT) 증설 공사 관련 선박조종 시뮬레이션 용역보고서
- [4] 구자윤(1997):항계내 항로의 해상교통혼잡도 평가에 관하여, 한국항만학회지 제11권 제2호, pp.173-189
- [5] 해양수산부(2000):항행위험해역에 대한 해상교통환경평가 용역보고서
- [6] 인천지방해양수산청·인천항건설사무소(1996):인천북항 기초자료조사 및 평가용역 보고서
- [7] 해양수산부(1999):수도권항만 기능정립 및 재정비계획용역 최종보고자료
- [8] 한국수자원공사(1996):경인운하건설사업 기본계획 및 기본설계 보고서
- [9] 해운항만청(1996):신항만투자우선순위 평가최종보고서

원고접수일 : 2002년 03월 24일

원고채택일 : 2002년 06월 11일