

인천항 제2연륙교 적정 주경간 폭 결정에 관한 연구

(1) 교통량 측면과 선박 조종성 측면에서의 소요 교각폭 산정

구자윤* · 김석재** · 장은규*** · 김세원****

*,**한국해양수산연수원 교수 ***한국해양수산연수원 조교수 ****한국해양대학교 교수

A Study on the Optimal Width of the Main Span in the 2nd Bridge of Incheon

(1) Evaluation on the Optimal Width of the Main Span according to Traffic Volume and Ship Maneuverability

Ja-Yun Koo* · Seok-Jae Kim** · Eun-Kyu Jang*** · Se-Won Kim****

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

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

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

요 약 : 인천항의 송도 신도시와 영종도 인천국제공항을 이어주는 제2연륙교 건설사업이 1999년 민간제안사업으로 정부에 제안되어 3차례에 걸쳐 실시된 선박의 통항 안전성에 관한 연구에도 불구하고 적정 교각폭이 결정되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 인천항의 장래 교통량의 측면과 최대선형의 선박 조종성 측면에서 소요 교각폭을 산정함을 목적으로 하고 있다.

연구결과, 제2연륙교 주경간 항로는 교통량 수용을 위하여 기본적으로 왕복항로 설계가 필요하며, 2020년 교통량 수용을 위한 소요 교각폭은 1,005m, 최대선형의 왕복통항을 위한 소요 교각폭은 990m로 산정되어 1,000m 교각폭이 장래 교통량 수용 및 최대선형의 안전한 왕복통항이 가능한 것으로 평가되었고, 700m 교각폭은 최대선형의 일방통항은 가능하나 최대선형과 일반 중·소형선박과의 왕복통항은 안전성이 확보되지 아니한 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 적정 주경간폭, 교통용량, 선박 조종성, 일방항로, 왕복항로

Abstract : A construction project of Incheon 2nd bridge, which is connected between the Incheon Song-Do New Town and the Incheon International Airport in Young-Jong-Do, has been proposed by the private capital in 1999. But the optimal width of the main span has not been decided in spite of the three investigations into the feasibility of ship's safe transit in this planned bridge. In this paper, we study the optimal width of the main span according to the traffic volume in the future traffic and the ship maneuverability of maximum size aspect.

The result of this study, the channel in the main span of Incheon 2nd bridge is required to design two-way traffic scheme and the width of 1,000m, which will satisfy the safe transit from the viewpoint of the traffic volume in the future traffic and the ship maneuverability of maximum size.

Key words : Optimal Main Span Width, Traffic Volume, Ship Maneuverability, One-way channel, Two-way channel

1. 서 론

인천항의 송도신도시와 영종도 인천국제공항을 이어주는 제2연륙교 건설사업이 민간투자법에 따른 민간제안사업으로 1999년 정부에 제안되어 2008년도에 완공을 목표로 하고 있다. 이 교량은 사장교로서 현재 주경간폭 700m, 측경간폭 295m로 계획되어 있으나, 3차례의 통항 안전성 연구(한국해양연구원, 2001; JMS, 2004; 한국해양수산개발원 외, 2004)에서

주경간폭 670m 혹은 700m 조건에서의 통항안전대책이나 안전성 확보를 위한 비용추정을 시행하였지, 적정 교각폭의 연구가 시행되지 아니하였던 관계로 인천지역사회에 상당한 논란이 이어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 인천항의 장래 교통량의 측면과 최대선형의 선박 조종성 측면에서 소요 교각폭을 산정하고자 한다.

연구의 공정성을 위하여 현 시점까지 확정된 정부의 공식 통계치를 사용하였고, 기본적 자료로서 인천항 기본계획(해양

* 대표저자: 구자윤(중신회원), jykoo@seaman.or.kr 051)620-5765

** 정회원, kimsj@seaman.or.kr 051)620-5762

*** 정회원, ekjang@seaman.or.kr 051)620-5846

**** 중신회원, swkim@mail.hhu.ac.kr 051)410-4278

수산부 고시 제2003-29호) 및 전국무역항 항만기본계획 용역 보고서(해양수산부, 2001)을 사용하였다.

제2연륙교의 교량배치는 Fig. 1과 같다.

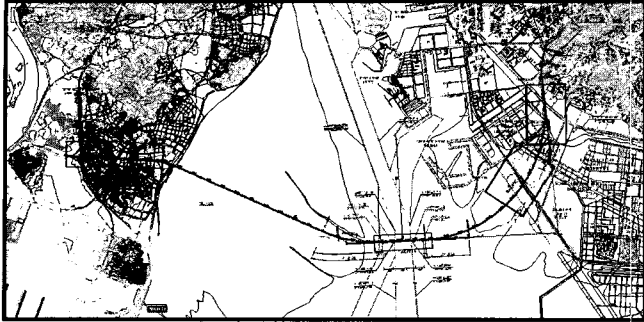


Fig. 1 Layout of Incheon 2nd Bridge

2. 인천항 해상교통량 추정 및 분석

2.1 인천항의 해상교통량 추정 방법

2006년, 2011년 및 2020년의 인천항 교통량을 추정하기 위하여 Fig. 2와 같은 추정절차를 따른다.

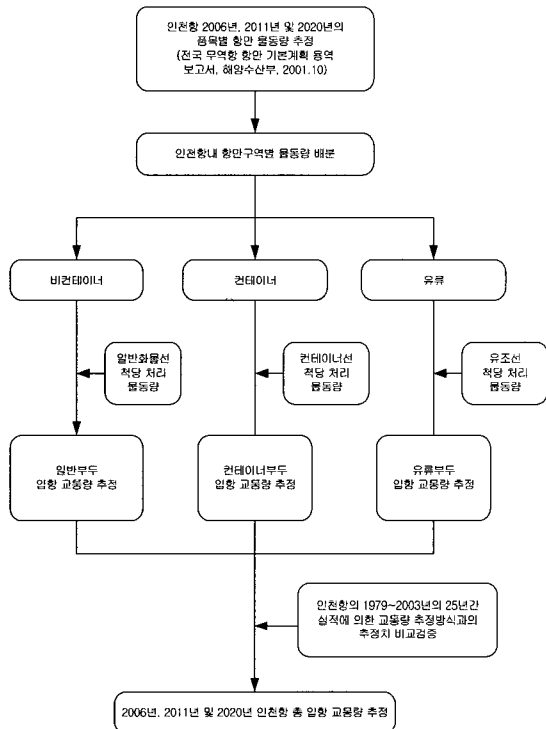


Fig. 2 Flow Chart to estimate the Future Traffic Volume in Incheon Port (Year: 2006, 2011, 2020)

2.2 인천항 부두별 규모와 물동량 추정

1) 인천항 부두별 규모

인천항의 2003년 기준 부두별 규모를 구역별로 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Capacity of Incheon Port in 2003

구역	부두 명칭	수심 (m)	동시접안능력 1K = 1,000 DWT (척)	주요취급화물
남항	제1잔교, 제2잔교			연안화물
	한일탱크돌핀	7	3K(1)	물유엔, 메탄올
	LG칼텍스가스돌핀	5.0~6.5	5K(1), 2K(1)	LPG
	쌍용양회돌핀 RH시멘트돌핀 동양시멘트돌핀	9~10	10K(3)	시멘트
	대한봉운부두	-	5K(2)	컨테이너
	인천남항모래부두	4	3K(6)	모래
	인천남항물량장	4	3K(2), 2K(2)	철재류, 모래
연안항	제1~10잔교			수산물
	국제여객부두	9.5	15K(1)	
	국내여객부두	7.5	10K(1)	
	SK(주)돌핀	11	20K(1), 3K(1), 1.5K(1)	LPG, 디젤, B,C유
	쌍용정유 돌핀	11	20K(1), 0.5K(1)	B,C유, 항공유
	석탄부두		100K(1), 50K(1)	석탄, 유류
내항	제1부두	0.7~4.3	50K(1), 4.5K(4), 35K(2), 2K(3)	일반부두 (철재, 원목, 사료, 잡화 등)
	제2부두	1.2~3.7	30K(1), 20K(2), 8K(5)	
	제3부두	0.8~3.9	20K(1), 10K(2), 8K(4)	
	제4부두	3.5~4.0	50K(1), 40K(1), 30K(1), 20K(1), 10K(1)	컨테이너, 양곡, 잡화 등
	제5부두	5.0	50K(4)	자동차
	제6부두	5.0	50K(1), 30K(2), 5K(2)	청정화물
	제7부두	4.0~4.3	50K(3), 20K(1)	양곡
	제8부두	4.0	50K(3)	고철, 산물(소금, 원형 등)
북항	간이접안시설	4.5	부선(4)	원목, 철재, 시멘트
	한진돌핀 한화에너지돌핀 대한항공 돌핀	10.0~17.0	20K(1), 75K(1), 60K(1), 100K(1), 50K(1)	원유, LPG, 디젤
	LG 칼텍스정유돌핀	18	5K(1)	LPG, 디젤
	LG칼텍스정유부두	26	40K(1)	LPG, 디젤
남외항	한국가스공사돌핀	16	75K(2)	LNG
	LG칼텍스정유	14	55K(1)	유류

2) 물동량에 근거한 인천항 해상교통량 추정치

인천항의 2006년, 2011년 및 2020년 물동량 전망 및 중장기 개발계획은 해양수산부 공식자료인 “전국무역항 항만기본계획 용역 보고서(해양수산부, 2001)”에 근거하였으며, 이를 요약하면 물동량 전망은 Table 2와 같고, 인천항 중장기 개발계획은 Table 3과 같다.

이를 근거로 일반화물선, 컨테이너선 및 원유선의 적당 처리화물량을 적용한 2006년, 2011년 및 2020년의 인천항 입항 교통량 추정치는 Table 4와 같다.

Table 2 Estimated Cargo Volume (Unit: 1,000RT, 1,000TEU)

구 분	2003	2006	2011	2020	
인 천 항	비 컨 테 이 너	80,262	98,046	128,369	186,120
	컨 테 이 너 (천 TEU)	15,796 (821)	14,675 (1,444)	31,045 (3,200)	51,134 (5,214)
	유 류	34,960	43,822	54,826	65,183
	계	131,018 (821)	156,543 (1,444)	214,240 (3,200)	302,437 (5,214)

(주) 1. 자료: ① 전국무역항 항만기본계획 용역 보고서(해양수산부, 2001)

② 인천항 기본계획(해양수산부 고시 제2003-29호, 2003.05.19)

2. 2003년은 실측치임(항만운영정보서비스[Port MIS]에서 추출).

Table 3 Middle and Long-term Development Plan of Incheon Port according to Transport Quantities

(Unit: 1,000RT, 1,000TEU)

구 분	2006		2011		2020			
	선석수	물동량	선석수	물동량	선석수	물동량		
제 2 연륙교 이북	남향	일반화물	13	17,407	13	17,638	13	18,217
		컨테이너	3	630	4	930	4	930
		유류	5	2,052	5	9,688	5	11,514
	연안향	일반화물	1	1,326	1	1,513	1	1,587
		컨테이너	2	51	2	58	2	58
		유류	5	4,877	5	4,877	5	5,800
	내향	일반화물	39	33,227	37	33,067	37	34,106
		컨테이너	5	380	5	706	5	755
	북향	일반화물	18	14,762	18	15,275	18	14,159
유류		8	23,111	8	23,111	8	27,479	
경인 운하	일반화물	15	19,230	25	34,717	36	56,172	
	컨테이너	4	375	6	656	9	1,066	
거침도	모래	4	6,221	4	6,221	4	6,221	
	소계	일반화물	90	92,173	98	109,431	109	130,462
		컨테이너	14	1,436	17	2,350	20	2,809
유류	18	30,040	18	37,676	18	44,793		
제 2 연륙교 이남	남의향	일반화물	9	5,750	28	18,746	75	55,359
		컨테이너			6	835	15	2,377
		유류	3	13,782	3	17,150	3	20,390
	인천국제공항부두	일반화물	1	91	1	159	1	265
		컨테이너	1	8	1	15	1	28
	소계	일반화물	10	5,841	29	18,905	76	55,624
		컨테이너	1	8	7	850	16	2,405
		유류	3	13,782	3	17,150	3	20,390
	총 계	일반화물	100	98,014	127	128,336	185	186,086
컨테이너		15	1,444	24	3,200	36	5,214	
유류		21	43,822	21	54,826	21	65,183	

- (주) 1. 자료: 전국무역항항만기본계획획용역보고서(해양수산부, 2001. 10)
 2. 경인운하는 2003년 감사원 감사결과 재검토후 추진하는 것으로 되어 있으며, 인천항내 처리 물동량이므로 경인운하 개발 포기시 연안항 등 타 항만에 분산 처리 전망됨.

Table 4 Estimated Traffic Volume for Entering Vessels in 2006, 2011 & 2020. (Unit: a vessel)

구 분	2003년	2006년	2011년	2020년
입 항 적 수	25,445	28,075	32,836	38,464

(주) 2003년은 실측치임.

2.3 인천항 입항선박의 추정치에 대한 검증

인천항의 1979년~2003년의 25년간 선박 입항실적을 분석하여 이들 실적을 기준으로 경향식, 로그함수식, 지수함수식 및 증가비율에 의한 추정치를 산출하면 Table 5와 같고, 경향식, 로그함수식, 지수함수식 및 증가비율에 의한 추정치의 평균치를 추세에 기인한 추정치로 보면, 2020년까지의 장래 화

물량에 근거한 추정치인 Table 4와 비교할 때 약 1~3.8%의 차이로 거의 일치함을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 장래 화물량에 의거한 교통량 추정치인 Table 4의 입항척수를 장래 교통량으로 채택하여 교통량에 따른 소요 교각폭을 산정하고자 한다.

Table 5 Comparison of Estimated Traffic Volume for Entering Vessel during the Past 25 years (Unit: a vessel)

추 정 방 식	2006	2008	2011	2020	2030	2040	
1979~2003년 의 25년간 실적	경향식에 의한 추정	25,739	26,526	27,707	31,249	35,184	39,119
	로그함수에 의한 추정	28,635	29,568	30,502	32,097	33,115	33,818
	지수함수에 의한 추정	26,772	27,930	29,763	36,014	44,510	55,012
	증가비율에 의한 추정	35,394	37,798	41,713	56,063	77,868	108,152
	평 균 (채택치)	29,135	30,455	32,421	38,856	47,669	59,025
화물량에 근거한 미시적 추정치	28,075	29,979	32,836	38,464	(47,500)	(59,000)	
차 이 (%)	3.8%	1.6%	-1.3%	1.0%	-	-	

- (주) 1. 경향식 = $393.5216 X(I) + 14720.78$ (Multiple R = 0.7926823)
 2. 로그함수 = $25443 + 2302.234 \text{Log}(X(I)+1)$
 (Total Rate = 55253.62, Average Rate = 2302.234)
 3. 지수함수 = $14794.17 \times 1.021408 \wedge X(I)$
 4. 증가비율 : 관측데이터의 평균 년 증가율 = 3.339849E-02

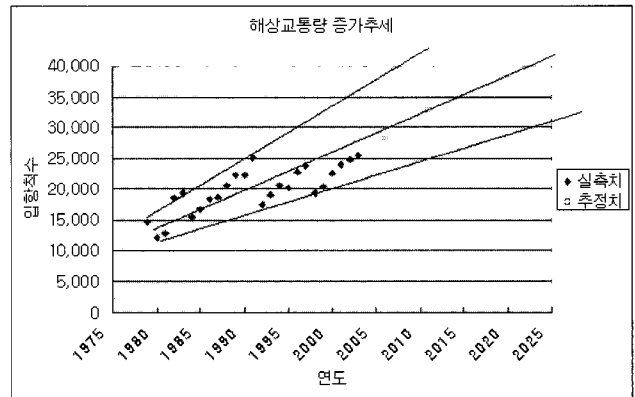


Fig. 3 Upward Trend for Entering Vessels of Incheon Port

3. 제2연륙교 통항선박 교통량 분석

3.1 제2연륙교를 통항하는 선박 교통량 추정

인천항 교통량중 남의향 입출항 선박을 제외한 제2연륙교를 통항하게 되는 장래 입항선의 예측치는 물동량에 근거하여 추정하였고 항만별 입항척수는 Table 6, 톤수별 입항척수는 Table 7과 같다.

Table 6 Estimated Number of Vessels Entering the Northern Harbours of the 2nd Bridge

구 분	제2연륙교 이북 항만 입항척수 (척)			
	2003년	2006년	2011년	2020년
남 항	279	6,650	9,720	9,140
연안항	12,164	1,293	1,241	1,180
경인운하	-	9,734	10,047	14,020
내 항	5,222	3,908	3,987	3,512
북 항	674	2,692	2,490	2,188
박지, 거점도, 기타	6,922	3,044	2,838	2,504
합 계	25,261	27,321	30,323	32,544

(주) 1. 2003년은 실측치임.
2. 경인운하 개발포기시 물동량은 연안항 등 타 항만에 분산 처리 전망됨.

Table 7 Estimated Number of Vessels with Different Size Entering the Northern Harbours of the 2nd Bridge

톤수구분 (G/T)	제2연륙교 이북 항만 입항척수 (척)			
	2003년	2006년	2011년	2020년
0.5K미만	12,826	10,689	10,322	11,276
0.5K-10K	9,108	11,217	14,072	14,968
10K-20K	1,837	3,223	3,658	4,068
20K-50K	1,346	1,997	2,091	2,054
50K 이상	144	195	180	178
합 계	25,261	27,321	30,323	32,544

(주) 2003년은 실측치임.

제2연륙교 이북항만에 입항하는 교통량중 500G/T 미만은 측경간을, 500G/T 이상은 주경간을 통과하는 것으로 할 때 연도별 주경간 통과선박은 Table 8과 같다.

Table 8 Estimated Traffic Volume in 2nd Bridge Main Span and Side Span

톤수구분 (G/T)	제2연륙교 이북 항만 통항척수 (척)			
	2003년	2006년	2011년	2020년
좌측 측경간 (출항)	12,826	10,689	10,322	11,276
주경간 (입출항)	24,870	33,264	40,002	45,536
우측 측경간 (입항)	12,826	10,689	10,322	11,276

(주) 1. 제2연륙교 통항규칙을 500G/T 미만은 측경간, 500G/T 이상은 주경간 통항으로 가정함.
2. 500G/T는 약 925DWT에 해당함.
재화중량톤수와 총톤수와의 관계식 "화물선 : GT=0.541DWT"에 근거

3.2 제2연륙교 통항선박 교통량 분석

1) 현재의 관측 교통량

인천항 제2연륙교 설치 예정지에 입·출항하는 선박 통항량

의 조사는 인천 해상교통관제센터의 2004년 7월 23일 00시부터 7월 29일 24시까지 만 7일간의 통항기록 레이더 자료를 추출하였으며, 이를 근거로 항만운영정보서비스(PORT-MIS)에서 관측선박의 제원을 확인하였다.

Table 9 Observed Traffic Volume per Day in the Scene of 2nd Bridge

톤수구분 (G/T)	제2연륙교 이북 항만 통항척수 (척/일)								연간
	7.23	7.24	7.25	7.26	7.27	7.28	7.29	평균	
좌측 측경간 (출항)	38	49	31	38	48	49	25	39.71	14,495
주경간 (입출항)	61	72	70	56	79	69	54	65.86	24,039
우측 측경간 (입항)	38	48	49	45	57	48	29	44.86	16,374

2) 통계량과 실측량의 비교

추정 교통량에 근거한 제2연륙교 통항선박을 주경간 및 측경간으로 나누어 분석하여보면, 실적치인 2003년 통계가 일간 주경간 통항선박이 68척이고, 실제 1주일 관측결과의 주경간 통과선박이 66척으로 거의 일치함을 보이고 있고, 따라서 2011년 및 2020년 주경간 통과할 추정 교통량은 일간 110척 및 125척으로 추정된다.

3) 주경간을 통과하는 500G/T 이상 선박의 교통량 분석

2003년 주경간을 통과하는 500G/T 이상 선박의 교통량 분석을 분석하면 24시간으로 평균한 시간당 주경간 통항량은 2.84척이고, 일 평균 주경간의 시간당 Peak 통항량은 8.14척(24시간 평균치의 2.87배)이며, 일 최대 주경간의 시간당 Peak 통항량은 13척(일 평균 Peak시의 1.6배)으로 나타났다.

Table 10 Estimated Traffic Volume over 500G/T per Hour in 2nd Bridge Main Span (Unit: a vessel)

톤수구분 (G/T)	시간당 주경간 통항 척수			
	2003년	2006년	2011년	2020년
24시간으로 평균한 시간당 주경간 통항량 (조위대기, 야간대기 등 제약조건 무시)	2.84	3.80	4.57	5.20
일 평균 주경간의 시간당 Peak 통항량	8.14	10.91	13.12	14.92
일 최대 주경간의 시간당 Peak 통항량	13	17.46	20.99	23.87

Table 10에서 나타나는 것과 같이 2011년 제2연륙교 주경간을 통과하는 500G/T 이상 선박의 통항량은 조위대기, 야간대기 등을 전혀 무시한 시간당 평균 통항량이 4.57척, 일 평균 주경간의 시간당 Peak 통항량은 13.12척, 일 최대 주경간의 시간당 Peak 통항량은 시간당 20.99척이 예상된다.

따라서 일 평균 Peak시 통항량은 13.12척은 4.6분당 1척의 선박 통항을 예견하고, 이는 해상교통관제(VTS)가 통상시 10분에 1척(선박간 이격거리 1.7마일), 최대가 5분에 1척(선박간

이격거리 0.83마일)으로 시행되는 바, 4.6분당 1척의 선박 통항에 대한 일방통항 운항은 한계치에 달한 것이며, 일 최대 주경간의 시간당 Peak시 2.9분당 1척의 통항은 불가능한 상황이 되므로 제2연륙교 주경간 항로는 왕복통항으로 설계되어야 한다.

Table 11 Transit Interval per Vessel over 500G/T in 2nd Bridge Main Span (Unit: minute)

톤수구분 (G/T)		척당 주경간 통항 간격 (분)			
		2003년	2006년	2011년	2020년
일방통항 설계	일 평균 교통혼잡 peak시	7.4	5.5	4.6	4.0
	교통혼잡 peak시	4.6	3.4	2.9	2.5
왕복통항 설계	일 평균 교통혼잡 peak시	14.7	11.0	9.1	8.0
	교통혼잡 peak시	9.2	6.9	5.7	5.0

4) 주경간을 통과하는 10,000G/T 이상 선박의 교통량 분석

주경간을 통과하는 10,000G/T 이상 선박의 2003년도 통항량은 왕복 6,654척으로 이를 분석하면 24시간으로 평균한 시간당 주경간 통항량은 0.76척이고, 일 평균 교통혼잡 peak시 시간당 주경간 통항량은 3척 (24시간 평균치의 3.95배)이며 교통혼잡 peak시 최대 시간당 주경간 통항량은 6척(일평균 peak시의 2.0배)으로 나타났다.

Table 12에서 나타나는 것과 같이 2011년 제2연륙교 주경간을 통과하는 10,000G/T 이상 선박의 통항량은 조위대기, 야간대기 등을 전혀 무시한 시간당 평균 통항량이 1.35척, 일 평균 peak시 통항량은 시간당 5.33척, 교통혼잡 최대 peak는 시간당 10.67척이 예견된다.

Table 12 Estimated Traffic Volume over 10,000G/T per Hour in 2nd Bridge Main Span (Unit: a vessel)

톤수구분 (G/T)	시간당 주경간 통항 척수			
	2003년	2006년	2011년	2020년
24시간으로 평균한 시간당 주경간 통항량(조위대기, 야간대기 등 제약조건 무시)	0.76	1.24	1.35	1.44
일 평균 교통혼잡 peak시 시간당 주경간 통항량	3	4.90	5.33	5.69
교통혼잡 peak시 최대 시간당 주경간 통항량	6	9.90	10.67	11.38

따라서 일 평균 peak시 통항량의 시간당 5.33척은 11.3분당 1척의 선박 통항을 예견하고, 교통혼잡 최대 peak시는 5.6분당 1척의 통항으로 교각폭 700m에서는 일방통항만이 가능하므로 교통혼잡 최대 peak시에는 10,000G/T 이상의 선박만 통항이 가능하고, 나머지 10,000G/T 미만 선박은 측경간만으로 항행하거나 혹은 통항이 불가능함을 알 수 있다.

제2연륙교 직하의 항로가 입출항 항로가 분리되는 왕복통항로의 설계시에는 10,000G/T 이상 선박은 2020년 일평균 peak시 통항량이 22.5분에 1척 통항가능하고, 교통혼잡 최대 peak시에도 11.3분에 1척으로 통항이 가능하다.

Table 13 Transit Interval per Vessel over 10,000G/T in 2nd Bridge Main Span (Unit: minute)

톤수구분 (G/T)		시간당 주경간 통항 간격 (분)			
		2003년	2006년	2011년	2020년
일방통항 설계	일 평균 교통혼잡 peak시	20	12.2	11.3	10.5
	교통혼잡 peak시	10	6.1	5.6	5.3
왕복통항 설계	일 평균 교통혼잡 peak시	40	24.5	22.5	21.1
	교통혼잡 peak시	20	12.2	11.3	10.5

4. 제2연륙교 통항선박 혼잡도 분석

4.1 제2연륙교를 통항하는 교통량의 혼잡도 모델링

1) 선박 톤수와 선박길이 분석

장래 교통량 증가에 따른 제2연륙교 항로폭의 적정성을 평가하기 위하여 범퍼(Bumper) 모델을 이용하였다. 해상 교통량에서 L^2 환산계수를 산정하기 위한 톤수별 평균톤수와 대표 길이는 2003년도 인천항 입항선박 데이터를 사용하였으며, Table 14와 같다.

20,000~50,000G/T 선박과 50,000G/T 이상 선박은 제2연륙교 이북항만으로 입항하는 선박과 남외항으로 입항하는 선박의 성향을 달리하는데, 이는 남외항의 경우 50,000G/T 이하는 LPG 선박이, 50,000G/T 이상은 LNG선박이 주종을 이루고 있기 때문이다.

Table 14 Standard Ship's Length by Tonnage and L^2 Conversion Coefficient

(a) 일반 화물선 - 제2연륙교 이북항만

구분	500 GT 미만	500 ~ 10,000 GT	10,000 ~ 20,000 GT	20,000 ~ 50,000 GT	50,000 GT 이상
평균 톤수 (GT)	250	2,816	14,364	30,302	54,387
대표 길이 (m)	35	139	144	185	208
L 환산계수	0.5	1.99	2.06	2.64	2.97
L^2 환산계수	0.25	3.94	4.23	6.98	8.83

(주) 1. 평균톤수 및 대표길이: 2003년도 인천항 입항선 자료
 2. 표준선: 1995년 우리나라 연안선 평균톤수인 약 1,000 G/T급 (70m 선박)을 기준함.

(b) 일반 화물선 - 남의항 입항선

구 분	500 GT 미만	500 ~ 10,000 GT	10,000 ~ 20,000 GT	20,000 ~ 50,000 GT	50,000 GT 이상
평균 톤수 (GT)	250	2,816	14,364	44,824	100,164
대표 길이 (m)	35	139	144	214	271
L 환산계수	0.5	1.99	2.06	3.06	3.87
L ² 환산계수	0.25	3.94	4.23	9.35	14.98

(c) 컨테이너선

구 분	10,000 GT 미만	10,000 ~ 20,000 GT	20,000 ~ 50,000 GT	50,000 GT 이상
평균 톤수 (GT)	6,992	15,998	37,134	66,500
대표 길이 (m)	122	159	240	279
L 환산계수	1.74	2.27	3.43	3.99
L ² 환산계수	3.03	5.16	11.75	15.89

2) 관측 교통량의 범퍼모델 구성

장래 교통량 증가에 따른 제2연륙교 항로폭의 적정성을 평가하기 위하여 범퍼(Bumper) 모델(藤井弥平 외, 1981; 藤井弥平 외, 1985; 구·여, 2001)을 이용한다.

범퍼 모델을 이용한 해상교통용량 추정은 환산교통량을 기준으로 항로상에서 선박이 점유할 폐쇄영역의 규모를 의미하며, 이 때 환산교통량에 사용하는 환산의 척도는 선박에 점유하는 수면의 넓이를 표현하기 위하여 선박길이의 제곱(L²)을 이용한 것이며, 교통량과 교통용량을 비교할 때에 이용한다. 본 연구에서 사용하는 표준선은 우리나라 연안선 평균 톤수가 가까운 약 1,000 G/T급(길이 70m) 선박을 기준으로 하였다.

기본 교통용량(Basic traffic capacity)이란 이론적인 최대 교통용량으로, 시정 4마일 이상, 풍력 3이하 또는 풍속 10 kts 이하, 조류 유속 3 kts 이하의 통상의 항행조건에서 거의 같은 크기의 선박이 거의 같은 정도의 속력으로 일정 폭의 직선모양의 수로를 한 방향으로 단위시간에 통과할 수 있는 최대 척수를 의미한다.

한편, 제2연륙교측 항로형태와 항행조건(조류, 풍압 등)을 고려한 항행실태에 의해 Table 15와 같은 후방 폐쇄영역을 설정하여 최대 교통밀도와 기본 교통용량을 결정한다. 이 지역은 최강 조류가 약 4Kts 가까이 흐르는 지역이므로 조류 영향을 고려한 후방폐쇄영역의 장직경을 아래 식에 근거하여 약 8.8L로 평가한다.

$$r = 8L + 2UL/V$$

단, r : 후방폐쇄영역의 장직경(Km) L : 표준선의 길이(Km)
U : 조류 유속(Km/h) V : 선속(Km/h)

현재 제2연륙교 주변의 운항선박 선속은 관측결과 여객선의 경우 평균 20Kts, 화물선의 경우 평균 10.8Kts로 운항되고 있으며, 본 연구에서도 이 구역은 대·소형 선박이 혼재한 협수로이

면서 변침지역이므로 10.0Kts를 평균 항행속력으로 취한다.

$$Q = \frac{1}{rs} WV$$

단, Q : 기본 교통용량 (척/시)

r : 후방폐쇄영역의 장직경 (Km)

s : 후방폐쇄영역의 단직경 (Km) W : 항로폭 (Km)

V : 선속(Km/h)

한편, 실용 교통용량(설계 교통용량)이란 기상상태의 출현 빈도, 선박항행의 자유성, 교통사고의 예상 발생수, 적용되는 교통관리의 양식, 항로의 교통체계에 따라 정해지는 서비스 수준과 실선박의 통행가능 용량 등으로부터 정해지는 용량이다. 실제 허용가능 교통량의 한도인 실용 교통용량은 교통관리가 없는 경우 기본 교통용량의 1/4 수준으로 본다.

Table 15 Bumper Model Area and Average Transit Speed

구 분	후 방 폐 쇄 영 역		평균 항행속력
	장직경	단직경	
제2연륙교 주변 항로	8.8L	3.2L	10.0 Kts (18.52 Km/h)

4.2 제2연륙교 주변 항로의 혼잡도 평가 결과

제2연륙교 주변 항로의 실용 교통용량을 최대 밀도인 기본 교통용량의 25% 수준으로 잡고, 이에 소요되는 항로폭과 교각폭을 계산하면 다음과 같이 요약되며, 그 결과는 Table 16과 같다.

- 1) 2011년 추정 교통량에 따라 주교각에 소요되는 항로폭은 749m로 교각과 항로경계의 여유치 175m를 고려할 때 소요 교각폭은 924m로 산정된다.
- 2) 2020년 추정 교통량에 따라 주교각에 소요되는 항로폭은 830m로 교각과 항로경계의 여유치 175m를 고려할 때 소요 교각폭은 1,005m로 산정된다.

Table 16 Required Channel Width and Main Span Width according to Traffic Volume

구 분	2003년	2006년	2011년	2020년
설계 교통용량 (척/시)	15.938	22.196	25.104	27.830
기본 교통용량 (척/시)	63.752	88.784	100.416	111.32
교통량에 따른 최소 항로폭 (m)	475	662	749	830
교각과 항로경계 여유치 (JMS, 2004) (m)	175	175	175	175
소요 교각폭 (m)	650	837	924	1,005

5. 선박조종 시뮬레이션에 의한 안전성 분석

5.1 선박조종 시뮬레이션 설계

시뮬레이션에 이용된 모델선박은 인천항에 출입하는 최대선형에 해당하는 6,000TEU급 컨테이너선과 80,000G/T급 원유운반선으로 정하였고 각각의 제원은 Table 17에 나타내었다.

시뮬레이션을 위해 교각폭 1,000m, 항로폭을 825m(입항항로 400m, 출항항로 400m, 분리구역 25m)로 설정하고 계획되어 있는 항로폭 700m의 출항 항로를 신설하였다. 모델선박인 6,000TEU급 컨테이너선과 80,000G/T급 원유운반선에 대해 각각 왕복 입항과 왕복 출항의 조건으로 총 8개의 시나리오를 설정하고 시정상태가 양호할 때와 시정이 500m인 상황 등의 특수조건도 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 방법은 6,000TEU급 컨테이너선은 입항시 제2연륙교 전방 2마일 지점에서 시작하여 남향 ICT 전면에서 접안준비, 출항시 남향 ICT 전면에서 출항하여 제2연륙교를 지나 신설 출항항로 진입후 침로 정침까지로 하였다.

80,000G/T급 원유운반선은 입항시 제2연륙교 전방 2마일 지점에서 시작하여 제2연륙교 후방 2마일 연안항까지, 출항시 제2연륙교 전방 2마일인 연안항 전면에서 출항하여 제2연륙교를 지나 신설 출항항로 진입 후 침로 정침까지로 하였다.

Table 17 Particulars of Model Ships

선박	상세	전장(m)	선폭(m)	흘수(m)
6,000TEU급 컨테이너선		304	40.0	12.0
80,000G/T급 원유운반선		265	48.5	14.6

5.2 시뮬레이션 결과 분석

- 1) 입항선의 근접도 변수 기술통계량은 Table 18, 출항선의 근접도 변수 기술통계량은 Table 19와 같다.
- 2) 80,000G/T급 원유운반선의 시정양호시 왕복통항을 위해서 소요되는 요소는 항로우측경계 319m, 항로 좌측경계 259m, 본선의 스웸트페이스(이하 SP) 66m, 교행선과의 이격거리 280m 및 교행선의 SP 66m로 소요 항로폭은 815m, 소요 교각폭은 990m인 것으로 나타났다.

Table 18 Descriptive Statistics for Inbound Vessel Proximity Variables (Unit: meter)

평가 지점		6,000 TEU 컨테이너선		80,000 G/T 탱커선	
		시정 양호	시정 500m	시정 양호	시정 500m
동측교각	M	256.3	266.5	315.0	275.5
	SD	39.86	36.45	59.51	30.44
교량하부 선박간 거리	M	280.8	335.0	286.5	285.8
	SD	57.33	72.46	69.03	89.93
스웸트페이스	M	60.74	66.75	61.53	58.38
	SD	7.24	8.98	4.70	6.40

Table 19 Descriptive Statistics for Outbound Vessel Proximity Variables (Unit: meter)

평가 지점		6,000 TEU 컨테이너선		80,000 G/T 탱커선	
		시정 양호	시정 500m	시정 양호	시정 500m
서측교각	M	285.8	310.0	248.7	292.5
	SD	22.06	65.32	44.0	43.57
교량하부 선박간 거리	M	360.8	356.3	279.2	320.0
	SD	62.34	39.92	72.02	44.06
스웸트페이스	M	58.25	58.21	65.59	61.57
	SD	13.62	5.97	24.29	9.45

Table 20 Required Width of the Main Span according to Ship Maneuverability

선형	시계	소요 교각폭 분석결과
6,000TEU 컨테이너선	시정 양호	일방통항시=우측경계(242.5m)+좌측경계(173.5m)+SP(61m)=477m 왕복통항시=우측경계(242.5m)+좌측경계(173.5m)+SP(61m)+교행선 이격거리(242.5m)+SP(61m)=780.5m
	시정 500m	일방통항시=우측경계(229.5m)+좌측경계(341.5m)+SP(67m)=638m 왕복통항시=우측경계(229.5m)+좌측경계(341.5m)+SP(67m)+교행선 이격거리(282m)+SP(67m)=987m
80,000G/T 탱커선	시정 양호	일방통항시=우측경계(319m)+좌측경계(259m)+SP(66m)=646m 왕복통항시=우측경계(319m)+좌측경계(259m)+SP(66m)+교행선 이격거리(280m)+SP(66m)=990m
	시정 500m	일방통항시=우측경계(206m)+좌측경계(257m)+SP(62m)=525m 왕복통항시=우측경계(206m)+좌측경계(257m)+SP(62m)+교행선 이격거리(350m)+SP(62m)=937m

(주) 교각두께 반경 7.5m + 안전설비 각 30m + 항로와 안전설비와의 여유수역 각 50m 확보 = 87.5m (JMS, 2004)

- 3) 80,000G/T급 원유운반선의 시정양호시 일방통항을 위해서 소요되는 요소는 항로우측경계 319m, 항로 좌측경계 259m, 본선의 SP 66m로 소요 항로폭은 471m, 소요 교각폭은 646m인 것으로 나타났다.
- 4) 80,000G/T급 원유운반선의 시정 500m의 시정제한시 및 6,000TEU급 컨테이너 선박의 시정 양호시와 500m 시정제한시에도 상기의 왕복통항시 교각폭 990m, 일방통항시 교각폭 646m에서 선박조종성 측면에서의 안전이 확보되는 것으로 나타났다.

따라서 이를 요약하면, 왕복통항을 위해서는 항로폭은 815m, 주경간폭은 990m가 소요되며, 일방통항을 위해서는 항로폭은 471m, 주경간폭은 646m가 소요된다.

6. 결론

본 연구에서는 인천항의 장래 교통량의 측면과 인천항에 출·입항하는 최대 선형에서의 선박 조종성 양 측면에서 소요 교각폭을 산정하였고, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 제2연륙교 통행 교통량 측면에서 기본적으로 왕복통행이 요구된다.
- 2) 700m 교각폭은 인천항 최대선형의 일방통행은 가능하나, 최대선형과 일반 중·소형선과의 왕복통행은 불가능하다.
- 3) 1,000m 교각폭은 Fig. 4 및 Fig. 5와 같은 항로배치가 가능하여 장래 교통량을 수용하면서 최대선형의 안전한 왕복통행이 가능하다.

- 4) 10,000G/T 이상의 대형선과 중·소형선박과의 왕복통행을 위한 주경간폭은 700~1,000m 사이에서 적정폭을 찾을 수 있으나, 이 때 10,000G/T 이상 선박간은 일방통행을 하여야 하므로 이 경우 대기선박의 체선·체화비용이 발생되어 항만의 효율이 저하될 우려가 있다. 따라서 일방통행 및 왕복통행의 교량통행 규칙에 따른 항만효율 변화 및 경제성 분석은 다음 연구에서 별도로 연구하고자 한다.

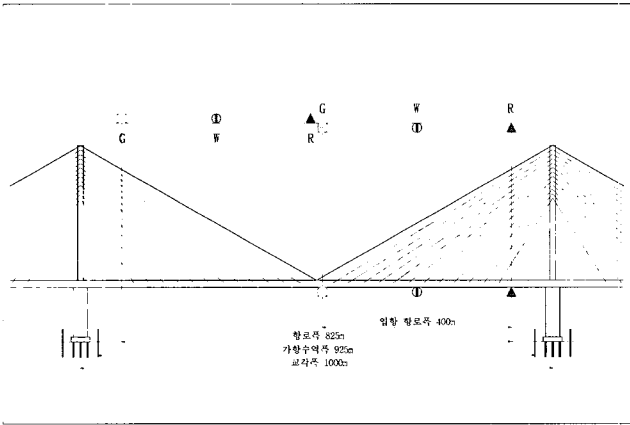


Fig. 4 Arrangement of Main Span Width 1,000m

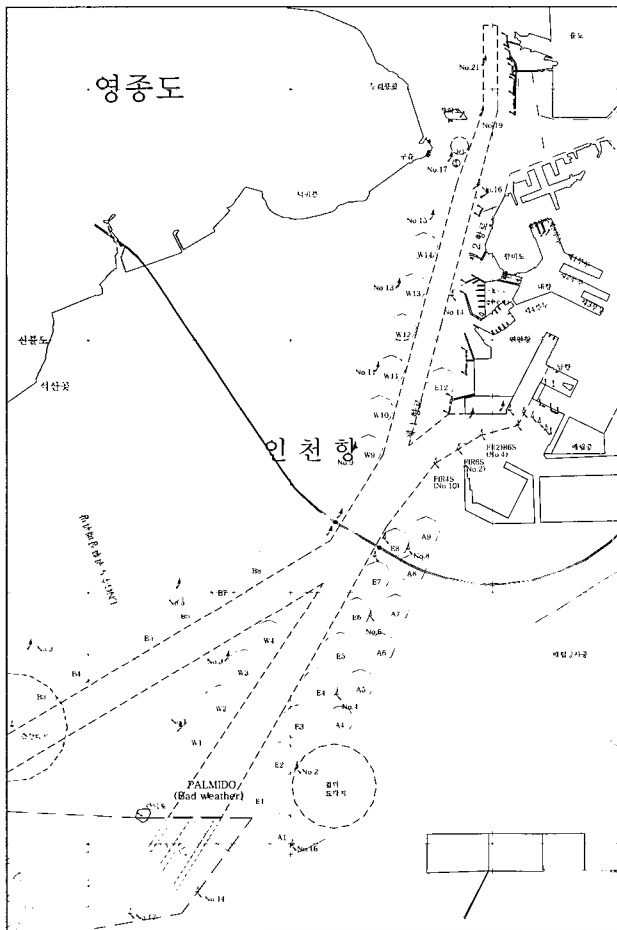


Fig. 5 Channel Layout of Main Span Width 1,000m

참 고 문 헌

- [1] 구자윤·여기태 (2001), “진입항로에 대한 해상교통 혼잡도 평가(1)”, 한국해양학회지, 제33호.
- [2] 한국해양수산개발원 외 (2004), “제2연륙교의 선박통행 안전성 확보 및 인천항 항만기능 유지방안 연구 최종보고서”
- [3] 한국해양수산연수원 (2000), “인천항 갑문문짝(10KT) 증설공사 관련 선박조종 시뮬레이션 용역보고서”
- [4] 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 (2001), “인천국제공항 제2연륙교 선박운행 안전성 평가 최종보고서”
- [5] 해양수산부 (2000), “항행위험해역에 대한 해상교통환경 평가 용역보고서”
- [6] 해양수산부 (2001), “전국무역항 항만기본계획 용역보고서(제2권 기본계획)”
- [7] 해양수산부 (2001), “전국항만 기본계획”
- [8] 해양수산부 (2003), “인천항 기본계획”, 해양수산부 고시 제 2003-29호.
- [9] Japan Maritime Science Inc. (2004), “Ship Navigation Safety Assessment (Incheon 2nd Bridge, South Korea)”, P.61.
- [10] 藤井弥平 외 2명 (1981), “海上交通工学”, 海文堂, PP.119-140.
- [11] 藤井弥平 외 2명 (1985), “交通システム工学(I)”, コロナ社, PP.91-97.

원고접수일 : 2004년 10월 27일

원고채택일 : 2004년 12월 15일