

# 목포 대교와 통항 선박 사이의 충돌 확률 계산을 위한 통계 변수 추정

임정빈† · 김대희\*

† 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, \*목포해양대학교 대학원 박사과정

## Statistical Parameter Estimation to Calculate Collision Probability Between Mokpo Harbor Bridge and Passing Vessels

Jeong-Bin Yim† · Dae-Hee Kim\*

† Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea  
\*Graduate School of Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약** : 본 논문에서는 목포 대교와 통항 선박 사이의 충돌 확률 계산에 필요한 통계 변수 추정에 관해 기술했다. 먼저 목포대교 통항 선박들의 AIS(Automatic Identification System) 정보를 입수한 후, 선박들의 통항 궤적 분포를 분석하고, 목포대교 중심으로 부터의 이격 거리와 목포대교 통항시의 침로 및 속력 등에 대한 평균과 표준편차를 추정하였다. 궤적 분포 분석 결과, 이격 거리와 통항 침로에 대한 궤적 분포는 정규 분포 형태로 나타났고, 통항 속력 분포는 서로 다른 두 종류의 정규 분포 형태를 나타냈다. 그리고 궤적 분포와 이들의 정규 확률분포와의 상대 비교를 통해서 추정된 확률 변수 값의 유용성을 확인하였다.

**핵심어** : 목포 대교, 선박-교량 충돌, 선박 궤적 분포, 통계 변수, 정규 분포

**Abstract** : This paper describes statistical parameter estimation to calculate collision probabilities between Mokpo Harbor Bridge and passing vessels. At first, we obtained AIS (Automatic Identification System) information from passing vessels, then after, analyzed the lateral distributions of vessel tracks and estimated the mean and the standard deviation for the distance away from bridge center, the passing course and the passing speed. The analysis results of track distribution for the distance away and the passing course are shown as normal type, otherwise the speed distribution shown as two kinds of different normal type. In addition, we testified that the usefulness of estimated parameter values through the relative comparison between the track distributions and it's normal probability distributions.

**Key words** : Mokpo harbour bridge, vessel-bridge collision, vessel track distribution, statistical parameter, normal distribution

## 1. 서 론

현재 건설 중인 목포대교와 통항 선박 사이의 충돌 모델을 선행 연구(임, 2010b)에서 보고한 바 있다. 충돌 모델에서 충돌 확률을 계산하기 위해서는 (1)목포대교 통항 선박들의 궤적이 항로 중심으로부터 이격된 거리, (2)목포대교 주 교각과의 충돌 침로, (3)목포대교 통과시의 속력 등에 관한 평균과 표준편차가 필요하다.

본 연구의 목적은 이러한 세 가지 통계 변수를 추정하는 데 있다. 연구 방법은, 우선 AIS(Automatic Identification System) 수신기에서 선박 정보를 입수하여 선박 궤적 분포를 구한 후, 이격 거리와 침로 및 속력에 대한 평균과 표준편차를 추정하여 정규 확률밀도함수를 구성하였다. 그리고 정규 확률 밀도와 실측 데이터를 비교하고, 다양한 기존 연구 결과와 비교 평가하여 최종적으로 본 연구에 적용할 통계 변수 값을 정하였다.

실험결과, 이격 거리와 통항 침로에 대한 분포는 정규 분포를

나타냈고, 통항 속력 분포는 서로 다른 두 종류의 정규 분포를 나타냈다. 그리고 추정 결과와 선박 궤적 분포들에 대한 상대 비교 평가를 통해서 추정된 확률 변수 값들이 목포대교와 통항 선박 사이의 충돌 확률 계산에 적용 가능함을 확인하였다.

## 2. 데이터 수집과 처리

### 2.1 데이터 수집과 처리

Fig. 1은 데이터 수집과 통계 변수 추정에 관한 절차이다. 본 연구에 적용한 AIS 데이터 획득 장치는 선행연구(임, 2009; 임, 2010a)에서 제안한 해상교량 위기관리 시스템의 데이터 수집 장치를 이용하였고, 데이터 수집은 2010년 7월 11일부터 17일까지 24시간 연속하였으며, 실험 대상 선박은 AIS 오류 선박을 제외한 입항 213척, 출항 219척 등 총 432척이다. AIS 수신기는 161.975 MHz와 162.025 MHz의 채널을 갖고, -112 dBm의 민감도를 갖는 Smart Radio SR-162 모듈로 제

† 교신저자 : 종신회원, jbyim@mmu.ac.kr 061)240-7170  
\* 연회원, badajigi75@mmu.ac.kr 061)240-7137

작하였다.

Fig. 1의 STEP 1에서, 수집한 AIS 데이터는 서버에 저장한 후, 호출하여 목포대교 중심으로부터 1 마일(mile) 이내의 데이터만 발췌하면서 AIS 오류 데이터를 제거하고, 통항 선박들의 궤적 양상을 살펴보기 위해 목포대교로부터 200 m(meter) 이내의 데이터만 발췌한 후, 다시 목포대교를 통과하는 432척의 선박 데이터를 추출하였다. STEP 2에서는 선박들의 항로 궤적 분포를 구한 후, 이 궤적들에서 다양한 통계 변수를 추정하였다. STEP 3에서는 기존 연구결과와 비교하여 최종적으로 본 연구의 목적인 통계 변수 값을 획득하였다.

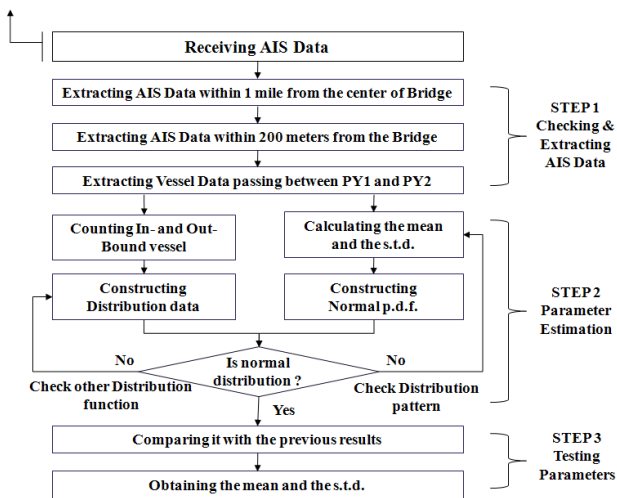


Fig. 1 Approaching steps to statistical parameter estimation

## 2.2 데이터 처리 결과

Fig. 2와 Fig.3은 목포대교 중심으로부터 1 mile 이내의 입항과 출항 선박에 대한 항로 궤적을 각각 나타낸 것으로, 입항 궤적을 알기 쉽도록 목포대교 부근의 목포항 해도(No.301)에 겹쳐서 나타냈다. 이 그림에서, 목포대교 부근 입출항 항로는 굴곡이 심하고, 입출항 궤적이 상당 부분 중첩되어 있음을

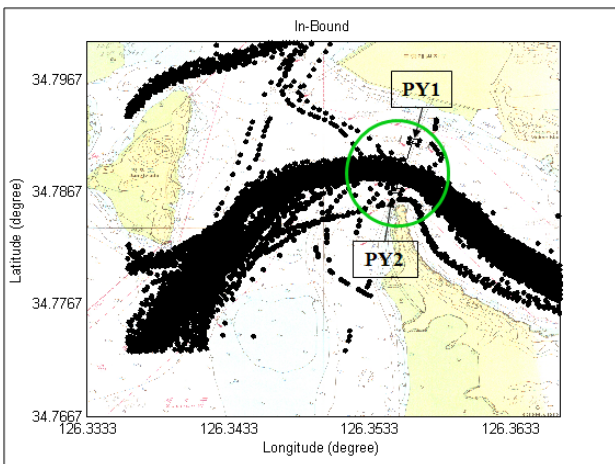


Fig. 2 In-Bound vessel tracks within 1.0 mile from the center of Mokpo harbor bridge

볼 수 있다. 그리고 목포대교로부터 200 m 이내의 입항 궤적만 상세히 나타낸 Fig. 4의 경우, 궤적이 주 교각 PY2에 근접되어 있고, Fig. 5의 출항 궤적은 항로 중앙에 근접되어 있다.

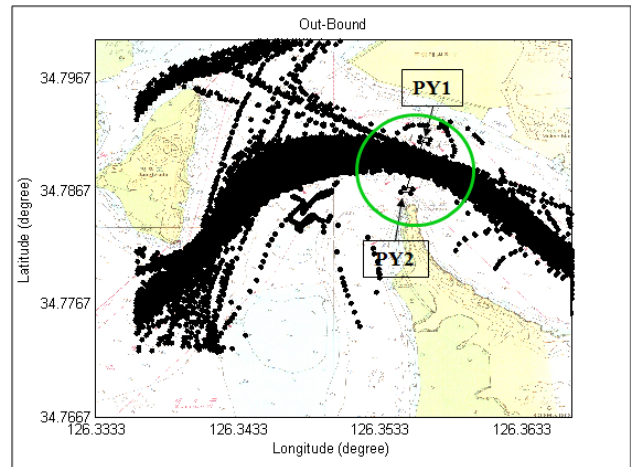


Fig. 3 Out-Bound vessel tracks within 1.0 mile from the center of Mokpo harbor bridge

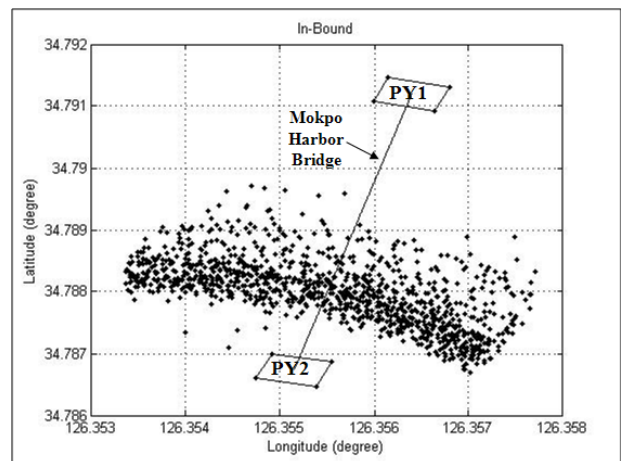


Fig. 4 In-Bound vessel tracks within 200 meters from the mean position of each tracks

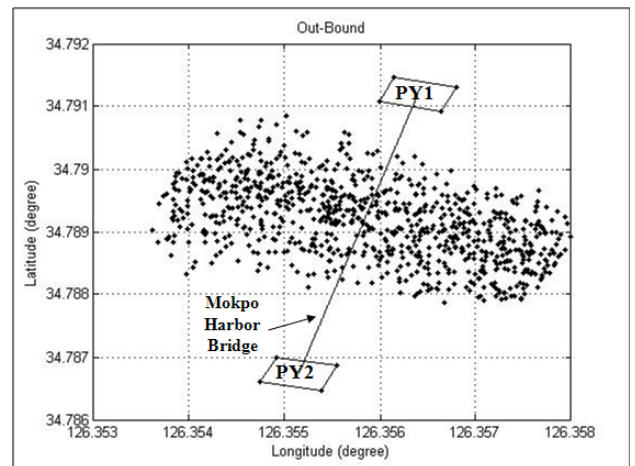


Fig. 5 Out-Bound vessel tracks within 200 meters from the mean position of each tracks

### 3. 통계 변수 추정과 평가

#### 3.1 통계 변수 추정 개요

선행 연구(임, 2010b)에서 제시한 선박-교량 실시간 충돌 모델은 다음 식(1)과 같이,  $j$  번째 선박이 시간  $t$  의  $s(t)$  위치에서 교량과 충돌할 확률  $P_{C,j}^{s(t)}$  ( $0.0 \leq P \leq 1.0$ )로 나타냈다.

$$P_{C,j}^{s(t)} = P_{A,j}^{s(t)} P_{V,j}^{s(t)} P_{G,j} \quad (1)$$

여기서,  $P_{A,j}^{s(t)}$ 는 항로이탈 확률,  $P_{V,j}^{s(t)}$ 는 충돌회피 실패확률,  $P_{G,j}$ 는 기하학적 충돌확률.

위의 식(1)의 계산에는 다음의 통계 변수 추정이 필요하다.

- (1) 목포대교 중앙 위치로부터 입출항 선박들 궤적이 이격된 거리의 평균  $\mu_x$ , 표준편차  $\sigma_x$ , 정규 확률분포  $N(\mu_x, \sigma_x^2)$
  - (2) 입출항 선박들이 주 교각 PY1과 PY2 사이(이하  $|PY1-PY2|$ 로 표시)를 통과할 때의 침로에 대한 평균  $\mu_\theta$ , 표준편차  $\sigma_\theta$ , 정규 확률분포  $N(\mu_\theta, \sigma_\theta^2)$
  - (3) 입출항 선박들이  $|PY1-PY2|$ 을 통과할 때의 속력에 대한 평균  $\mu_{spd}$ , 표준편차  $\sigma_{spd}$ , 정규 확률분포  $N(\mu_{spd}, \sigma_{spd}^2)$
- 위에서 기술한 평균  $\mu$ 와 표준편차  $\sigma$ 는 다음 식(2)와 식(3)을 이용하여 계산했다.

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i \quad (2)$$

$$\sigma = \left[ \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (y_i - \mu)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

여기서,  $M$ 은 데이터 수,  $y_i$ 는  $|PY1-PY2|$ 을 통항한 선박에서 수신한  $i$  ( $i=1,2,3,\dots,M$ )개의 실측 데이터.

#### 3.2 이격 거리 분포 분석

Fig. 6은  $|PY1-PY2|$ 을 통과한 입항 선박들의 이격 거리 분포(그림에 'Distance Distribution'로 표시)와 이로부터 추정한  $\mu_x$ 와  $\sigma_x$ 를 갖는 정규 확률분포  $N(\mu_x, \sigma_x^2)$ (그림에 'Normal p.d.f.'로 표시 및 p.d.f.는 probability density function을 의미)를 나타낸다. x-축은 설계 길이 500 m(meter)인 목포대교의 주 교각 PY2부터 PY1까지의 거리를 나타내고, y-축은 상대 확률을 나타낸다. 이격 거리 분포는 x-축 위치로 통과한 선박의 척수를 최대 크기 1.0으로 규격화(normalization)한 것이고, 정규 확률분포는 이격 거리 분포와 비교하기 위하여 최대 크기 1.0으로 규격화한 것이다. 그리고 Fig. 7은 출항 선박에 관한 것으로, 그림 설명은 Fig. 6과 같다.

Fig. 6과 Fig. 7에서, 입출항 선박들의 이격 거리 분포는 모두 정규 확률분포  $N(\mu_x, \sigma_x^2)$ 로 대표할 수 있음을 알 수 있다. Table 1에 Fig. 6과 Fig. 7에 적용한  $\mu_x$ 와  $\sigma_x$ 를 정리했다.

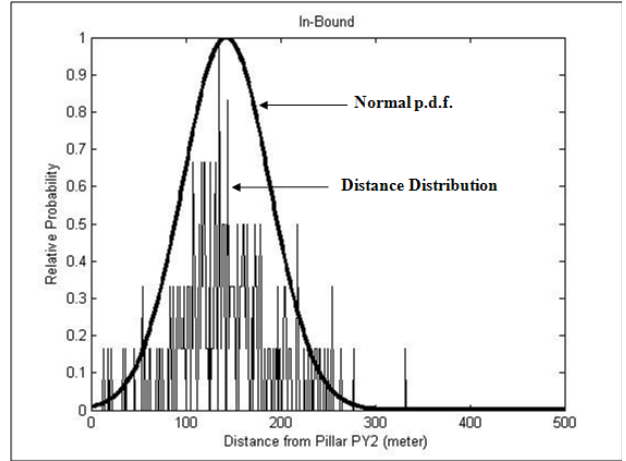


Fig. 6 Lateral distance distribution of In-Bound vessel tracks and its normal probability density

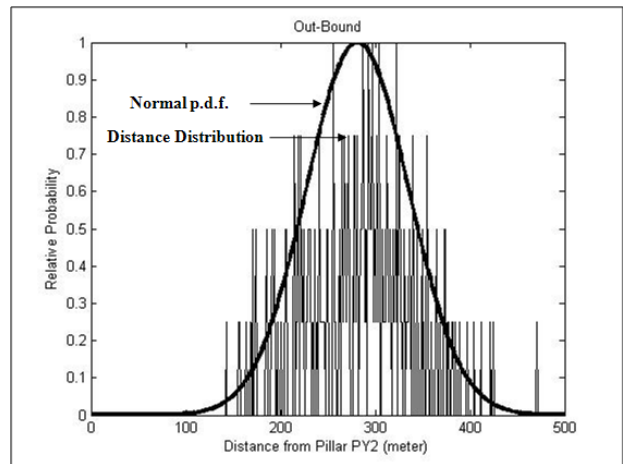


Fig. 7 Lateral distance distribution of Out-Bound vessel tracks and normal probability density

Table 1에서, 입항 선박의 경우, 목포대교 중심으로부터(표에서 'From Center'로 표시) 주 교각 PY2 방향으로 평균 112.07 m 이격되어 있고, 출항 선박은 PY1 방향으로 평균 26.49 m 이격되어 있다.

Table 1 Experimental results to the statistical parameter estimation with the distance distribution

	In-Bound (meters)		Out-Bound (meters)	
	From PY2	From Center	From PY2	From Center
$\mu_x$	142.64	112.07	281.20	26.49
$\sigma_x$	46.02		54.02	

한편, AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 기준(AASHTO, 1991)에 의하면,  $\mu_x$  = 항로 중간선,  $\sigma_x$  = 선박의 전장(Length Overall)으로 근사되어 있고, Inoue 등(Larsen, 1993)에 의하면  $\mu_x = aW$ ,

$\sigma_x = 0.105 W$  ( $W$ 는 항로 폭,  $a$ 는 항로 중심선이 있는 경우 0.2, 중심선이 없는 경우는 0.1)으로 근사되어 있다. 따라서 AASHTO 기준에 의한  $\mu_x = 0.0$  m(항로 중간을 의미)와 Inoue 등에 의한  $\mu_x = 50.0$  m(목포항의  $W=500.0$  m, 항로 중심선이 없기 때문에  $a = 0.1$ ) 등은, Table 1의 입항 시  $\mu_x = 112.07$  m와 출항 시  $\mu_x = 26.49$  m 등과 큰 차이를 나타낸다. 선행 연구(임, 2010b)에서는 이러한 분석 연구가 없었기 때문에 AASHTO 기준을 적용한 바 있는데, 본 연구결과 목포대교 통항 선박의 평균 이격 거리에 대해서는 Table 1의 결과를 적용해야함을 알 수 있다.

### 3.3 침로 분포 분석

Fig. 8은  $|PY1 - PY2|$ 을 통과한 입항 선박들의 침로 분포(그림에 ‘Course Distribution’로 표시)와 이로부터 추정된  $\mu_\theta$ 와  $\sigma_\theta$ 를 갖는 정규 확률분포  $N(\mu_\theta, \sigma_\theta^2)$ (그림에 ‘Normal p.d.f.’로 표시)를 나타낸다. x-축은 입항 시의 침로를 나타내

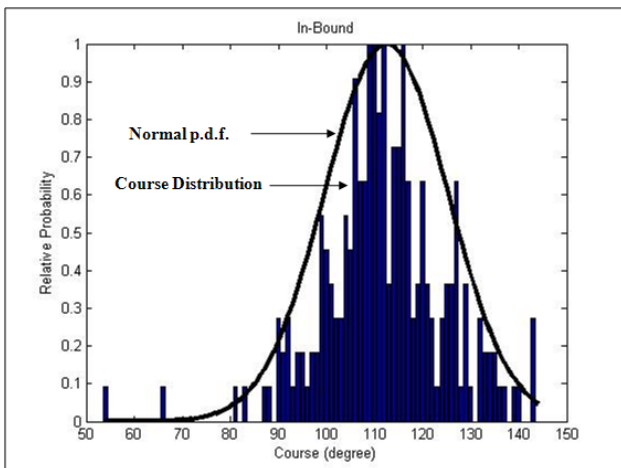


Fig. 8 Lateral course distribution of In-Bound vessel tracks and its normal probability density

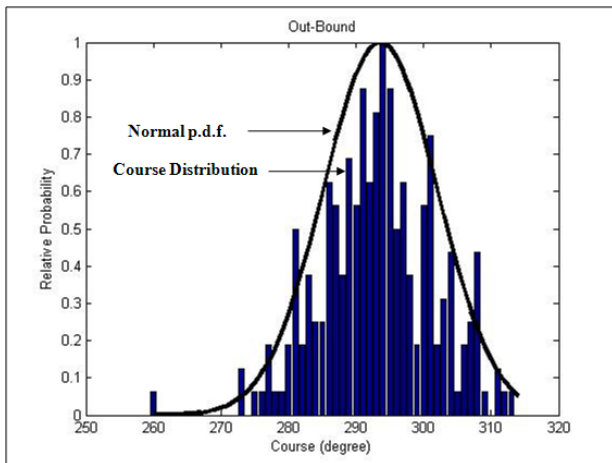


Fig. 9 Lateral course distribution of Out-Bound vessel tracks and its normal probability density

고, y-축은 상대 확률을 나타낸다. 침로 분포는 x-축 값의 침로로 통과한 선박의 척수를 최대 크기 1.0으로 규격화한 것이고, 정규 확률 분포는 침로 분포와 상대 비교를 하기 위해서 최대 크기 1.0으로 규격화한 것이다. Fig. 9는 출항 선박에 관한 것으로, 그림 설명은 Fig. 8과 같다.

Fig. 8과 Fig. 9에서, 입출항 선박들이  $|PY1 - PY2|$ 에서 형성한 침로 분포는 모두 정규 확률분포  $N(\mu_\theta, \sigma_\theta^2)$ 로 대표할 수 있음을 알 수 있다.

Table 2에 Fig. 8과 Fig. 9에 적용한  $\mu_\theta$ 와  $\sigma_\theta$ 를 정리했다.

Table 2 Experimental results to the statistical parameter estimation with the course distribution

	In-Bound(degrees)	Out-Bound(degrees)
$\mu_\theta$	112.44	293.59
$\sigma_\theta$	12.75	8.39

Table 2에서  $\mu_\theta$ 는  $|PY1 - PY2|$ 을 통과할 때의 평균 선박 침로를 의미하는데, 본 연구에 필요한 것은 선박이 PY1 또는 PY2와 충돌하는 경우의 상대 충돌 침로에 대한 평균  $\mu_{Col_\theta}$ 와 표준편차  $\sigma_{Col_\theta}$ 이다. 그러나 본 연구에서 획득한 데이터는 선박과 PY1 또는 PY가 충돌한 경우가 없기 때문에  $\mu_{Col_\theta}$ 를 구할 수 없다.

한편 Kunz(1998)는 다양한 실험을 통해  $\mu_{Col_\theta} = 0.0^\circ$ ,  $\sigma_{Col_\theta} = 10.0^\circ$ 로 보고한 바 있다. 여기서 Table 2의  $\sigma_\theta$ 는 선박이  $|PY1 - PY2|$ 을 통과할 때의 표준편차인데, 선박이 PY1 또는 PY2와 충돌하는 경우에도  $\sigma_\theta$ 의 표준편차를 형성할 것으로 예상됨으로  $\sigma_{Col_\theta} = \sigma_\theta$ 로 고려할 수 있다. 그리고  $\mu_{Col_\theta}$ 의 경우는 선박과 PY1 또는 PY2와 충돌하는 경우 일반적으로  $0.0^\circ$  내외가 될 것으로 고려할 수 있기 때문에, 본 연구에서도 Kunz(1998)가 제안한  $\mu_{Col_\theta} = 0.0^\circ$ 를 적용한다.

### 3.4 속력 분포 분석

Fig. 10은  $|PY1 - PY2|$ 을 통과한 입항 선박들의 속력 분포(그림에 ‘Speed Distribution’로 표시)와 이로부터 추정된  $\mu_{spd}$ 와  $\sigma_{spd}$ 를 갖는 정규 확률분포  $N(\mu_{spd}, \sigma_{spd}^2)$ (그림에 ‘Normal p.d.f.’로 표시)를 나타낸다. x-축은 입항 시의 속력, y-축은 상대 확률 등을 나타낸다. 속력 분포는 x-축 값의 속력으로 통과한 선박 척수를 최대 크기 1.0으로 규격화한 것이다. Fig. 11은 출항 선박에 관한 것으로, 그림 설명은 Fig. 10과 같다.

Fig. 10과 Fig. 11의 경우는 정규 확률분포를 세 가지로 나타냈는데, ‘Normal p.d.f. for 0~30 kts’는 속력 분포 데이터 전체로 계산한 결과, ‘Normal p.d.f. for 0~14 kts’는 0~14 kts 사이의 속력 분포 데이터로 계산한 결과, ‘Normal p.d.f. from for 14~30 kts’는 14~30 kts 사이의 속력 분포 데이터로 계

산한 결과 등이다. 여기서 14 kts로 양분된 이유는, 목포항선박통항규칙제정(안)(2010)에 ‘목포항계 내에서 항행 최고 속력은, 쾌속여객선 20 kts 이하, 그 외 선박 12 kts 이하’로 규정되어 있기 때문에 선박들이 이 범위 내외의 속력으로 운항하기 때문인 것으로 고려된다.

따라서 목포대교 통항 선박들의 속도 분포는 ‘Normal p.d.f. for 0~30 kts’로 나타낸 정규 확률분포로 대표할 수 없고, 14 kts를 기점으로 양분된 두 가지 정규 확률분포를 적용해야함을 알 수 있다. Table 3에 Fig. 10과 Fig. 11에 적용한  $\mu_{spd}$ 와  $\sigma_{spd}$ 를 정리하였다.

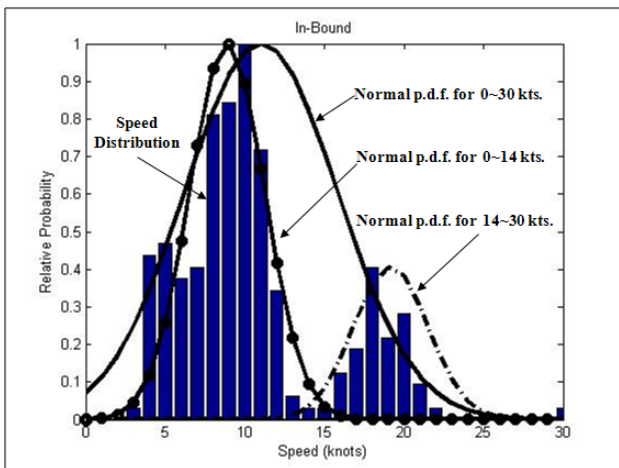


Fig. 10 Lateral speed distribution of In-Bound vessel tracks and its normal probability density

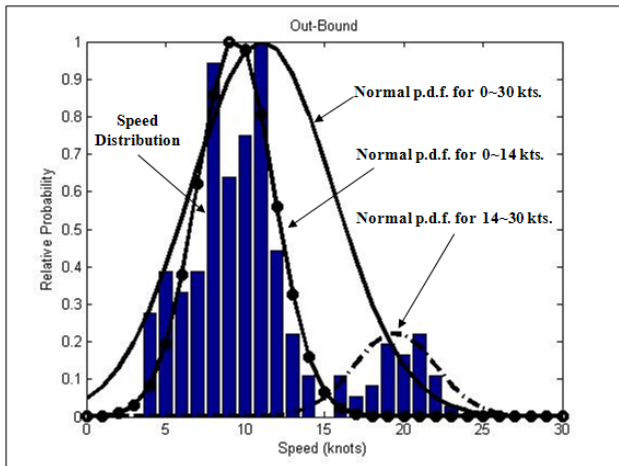


Fig. 11 Lateral speed distribution of Out-Bound vessel tracks and its normal probability density

Table 3 Experimental results to the statistical parameter estimation with the speed distribution

	In-Bound (knots)			Out-Bound (knots)		
	all	≤14.0	≥14.0	all	≤14.0	≥14.0
$\mu_{spd}$	11.01	8.88	19.17	11.06	9.38	19.43
$\sigma_{spd}$	4.79	2.36	2.33	4.48	2.41	2.55

### 3.5 분석 결과

Fig. 12에 세 가지 통계 변수 획득 결과를 도식화했다. 이격거리의 경우, 입항 시  $|PY1-PY2|$ 의 중앙으로부터 평균 112.1 m 이격되어 항행하기 때문에 PY2와의 충돌이 예상되고, 출항 시에는  $|PY1-PY2|$ 의 중앙에 근접한 평균 26.5 m로 이격되어 항행하기 때문에 입항 선박들과의 충돌이 예상된다. 또한, 평균 입출항 항로 사이의 폭이 138.6 m로 좁기 때문에 입출항 선박 사이에 상당한 주의가 필요한 것으로 나타났다.

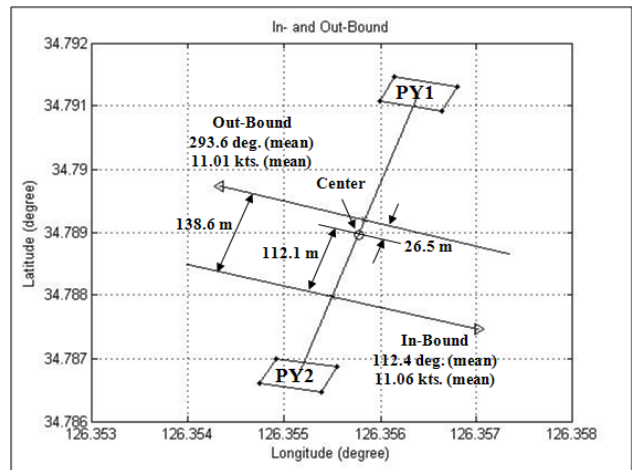


Fig. 12 Summarized experimental results to the estimated statistical parameters

## 4 결론

본 연구에서는 목포대교 통항 선박들의 AIS 정보를 이용하여 목포대교와 통항 선박 사이의 충돌 확률 계산에 필요한 세 가지 확률 변수를 추정하였고, 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 평균 이격 거리는, 입항 선박의 경우 항로 중심으로부터 주 교각 PY2 방향으로  $\mu_x = 112.1$  m, 출항 선박의 경우는 PY1 방향으로  $\mu_x = 26.5$  m 등으로 나타났다.

(2) 충돌 침로의 경우는, 입항 시  $\mu_{Col_\theta} = 0.0^\circ$ ,  $\sigma_{Col_\theta} = 12.75^\circ$ , 출항 시  $\mu_{Col_\theta} = 0.0^\circ$ ,  $\sigma_{Col_\theta} = 8.39^\circ$  등으로 고려되었다.

(3) 속력의 경우, 입항 시 14 kts 미만인 경우  $\mu_{spd} = 8.9$  kts,  $\sigma_{spd} = 2.4$  kts 그리고 14 kts 이상인 경우  $\mu_{spd} = 19.2$  kts,  $\sigma_{spd} = 2.3$  knots 등으로 나타났다. 출항 시에는 14 kts 미만인 경우  $\mu_{spd} = 9.4$  kts,  $\sigma_{spd} = 2.4$  kts 그리고 14 kts 이상인 경우  $\mu_{spd} = 19.4$  kts,  $\sigma_{spd} = 2.6$  kts 등으로 나타났다.

본 실험결과는 선형 연구(임, 2010b)에서 제안한 목포대교 해상교량 위기관리 시스템의 선박-교량 충돌 모델에 적용하여 시스템을 구축할 예정이다. 그리고 향후 목포대교 건설 이전과 이후의 항로 궤적 변동 양상을 조사하고, 목포대교 항로 부근의 계절별, 시간별, 선종별, 톤수별, 기상별 등 다양한 환

경변화에 따른 항로 분포를 분석하여 선박-교량 충돌 모델에 적용할 예정이다.

## 후 기

이 논문은 2008년부터 2010년까지 국토해양부지정 호남지역 Sea Grant 사업단 연구개발사업 과제 지원에 의해 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [1] 목포항선박통항규칙제정(안) (2010), 목포지방해양항만청 항만물류과, pp.1~9
- [2] 임정빈 (2009), “해상교량 설계측면과 선박운항 측면을 고려한 새로운 선박-교량 실시간 충돌위기 평가기법 소개: 목포항을 중심으로,” 한국항해항만학회 2009 공동학술대회논문집, pp.321~323
- [3] 임정빈 (2010a), “목포대교 건설에 따른 목포항 통항 안정성 검토,” 한국항해항만학회 2010 공동학술대회논문집, pp.35~38
- [4] 임정빈 (2010b), “통항 선박과 목포대교의 충돌 위기 평가 모델 개발,” 한국항해항만학회지, Vol. 34(6), pp.405~415
- [5] AASHTO (1991), *Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges*, Vol. 1, pp.1~120
- [6] Kunz C. U. (1998), “Ship Bridge Collision in River Traffic, Analysis and Design Practice,” *Ship Collision Analysis*, Edited by Henrik Gluver and Dan Olsen, A. A. Balkema, Denmark, pp.13~21
- [7] Larsen O. D. (1993), *Ship Collision with Bridge*, IABSE, p.47

---

원고접수일 : 2010년 8월 13일

심사완료일 : 2010년 10월 17일

원고채택일 : 2010년 10월 19일