

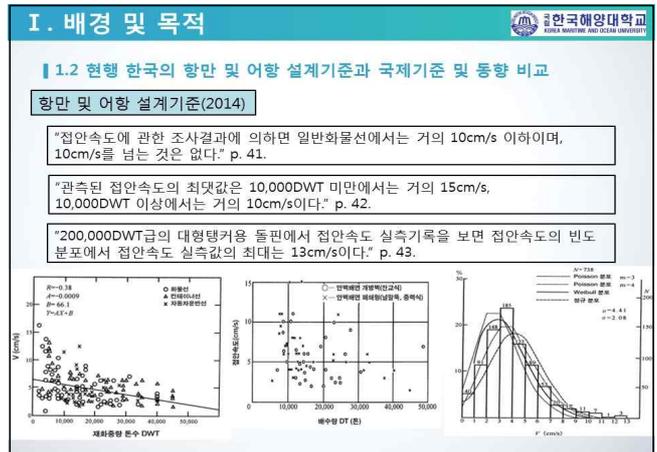
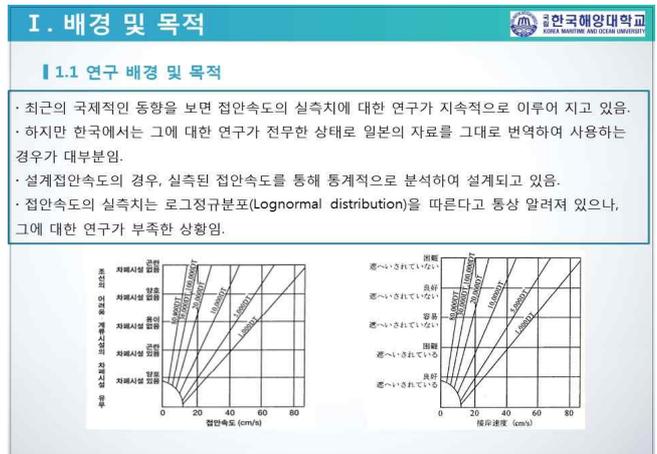
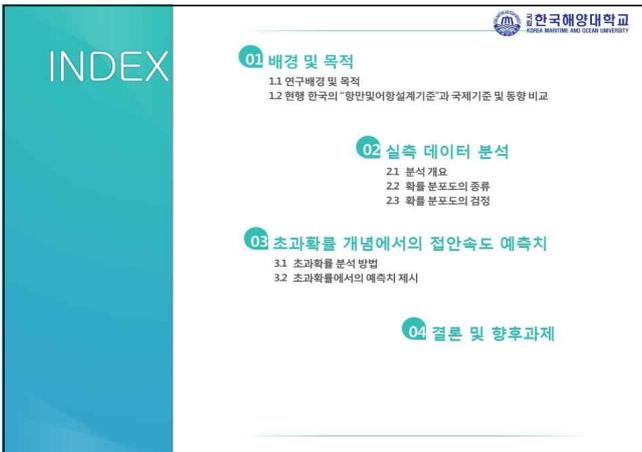
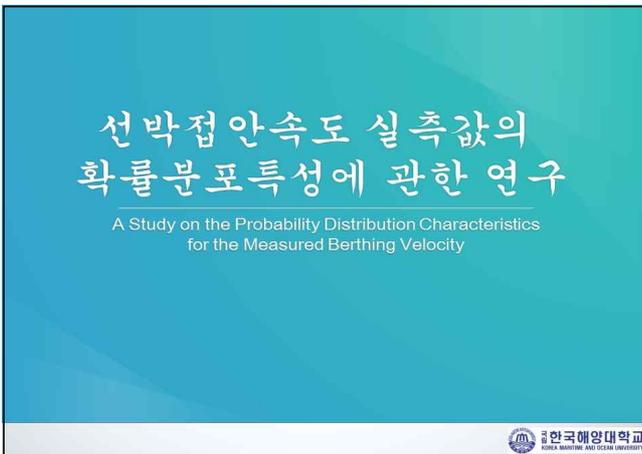
선박접안속도 실측값의 확률분포특성에 관한 연구

이상원* · 조장원** · † 조익순

*한국해양대학교 대학원, **한국해양수산연수원, † 한국해양대학교 선박운항과 교수

요 약 : 선박이 부두의 계류시설에 접촉할 때 발생하는 접안에너지는 해당선박의 접안속도에 가장 큰 영향을 받는다. 접안속도가 과다할 경우 부두에 접촉하는 사고로까지 이어질 수 있으므로 각각의 부두 특성에 맞는 적절한 접안속도를 설계하는 것이 중요하다. 선박접안속도의 경우, 일반적으로 대수정규분포를 따른다고 가정하고 있으나 국내에서는 이에 대한 검증이나 연구가 없어 해외의 사례를 바탕으로 설계접안속도를 설정하고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 부두의 선박접안속도를 설계하기 위한 통계학적인 접근으로 접안속도의 실측데이터를 토대로 그 빈도수를 히스토그램으로 표현하여 각각의 확률분포도와 비교 분석하고, 확률분포에 대한 검증법으로 K-S (Kolmogorov-Smirnov Test) 검정, A-D(Anderson-Darling) 검정, Q-Q(Quantile-Quantile) Plot 등을 이용하여 접안속도 분포에 적합한 확률분포도를 확인하였다. 분석 결과, 선박접안속도의 빈도분포는 일반적으로 알려진 대수정규분포 뿐만 아니라 Weibull 분포와 적합한 형태를 보이는 것을 알 수 있었다. 추가적으로 본 연구에서는 초과확률 개념에서의 접안속도의 예측치를 구하여 구해진 1/1000, 1/10000의 접안속도 예측치를 설계접안속도의 참고자료로 제안하고자 한다.

핵심용어 : 선박접안속도, 확률분포도, K-S 검정, A-D 검정, Q-Q Plot, 초과확률



† 교신저자 : 종신회원, ischo@kmou.ac.kr
* 정회원, leerar@naver.com

II. 실측 데이터 분석

2.1 분석 개요

Number of data collected by DWT

DWT	Jetty 1	Jetty 2	Jetty 3	Total
-50K	65	55	-	120
50K-100K	24	5	5	34
100K-150K	-	4	39	43
150K-200K	-	-	8	8
200K-250K	-	-	-	0
250K-300K	-	-	2	2
300K-	-	-	7	7
All ships	89	64	61	214

II. 실측 데이터 분석

2.2 확률 분포도의 종류

- Frequency distribution of berthing velocity(Each Jetty)

II. 실측 데이터 분석

2.1 분석 개요

II. 실측 데이터 분석

2.3 확률 분포도의 검정 (Goodness of Fit)

- 적합도 검정 Goodness-of-Fit Test
: 적합도 검정이란 실험 데이터들이 어떤 이론 분포에 속하는지를 판단하기 위한 통계적 도구

- Kolmogorov-Smirnov 검정 (K-S 검정)
- Anderson-Darling 검정 (A-D 검정)
- Q-Q Plot (Quantile-Quantile Probability Plot)

II. 실측 데이터 분석

2.2 확률 분포도의 종류

확률 분포도	계산식(확률 밀도 함수)
정규분포 (Normal distribution)	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
대수정규분포 (Lognormal distribution)	$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
와이블분포 (Weibull distribution)	$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k\right)$

$f(x)$: Probability distribution function(PDF)
 x : Berthing velocity(cm/s)
 μ : Mean(cm/s)
 σ : Standard deviation (cm/s)
 λ : Scale parameter Weibull distribution (cm/s)
 k : Shape parameter Weibull distribution

II. 실측 데이터 분석

2.3 확률 분포도의 검정 (Goodness of Fit)

Kolmogorov-Smirnov 검정 (K-S 검정)

$$D = \max_{1 \leq k \leq n} |S(V_k) - F(V_k)|$$

D : 검정통계량
 $S(V_k)$: V_k 에 대한 실측 데이터의 누적 확률(=k/n)
 $F(V_k)$: V_k 에 대한 확률 분포도의 누적 확률
 n : 실측데이터 수

Distribution	D	기각 한계		검정 결과	
		유의수준 1%	유의수준 5%	유의수준 1%	유의수준 5%
Normal	0.1185	0.1107	0.0929	기각	기각
Log-Normal	0.0806	0.1107	0.0929	채택	채택
Weibull	0.0701	0.1107	0.0929	채택	채택

$D <$ 유의수준 : 적합
 $D >$ 유의수준 : 기각

II. 실측 데이터 분석

2.3 확률 분포도의 검정 (Goodness of Fit)

Anderson-Darling 검정 (A-D 검정)

$$A^2 = -S - n \sum_{k=1}^n \left[\frac{(2k-1)}{n} \{ \ln(F(V_k)) + \ln(1-F(V_{n+1-k})) \} \right]$$

$$A^* = A^2 (1 + 0.75/n + 2.25/n^2)$$

A^2 : 검정통계량
 A^* : 데이터 수에 의한 수정 검정량
 n : 실측데이터 수

유의수준 1% : $1.0348(1 - 1.013/n - 0.93/n)$
 유의수준 5% : $0.7514(1 - 0.795/n - 0.89/n)$

Distribution	A*	기각 한계		검정 결과	
		유의수준 1%	유의수준 5%	유의수준 1%	유의수준 5%
Normal	4.7565	1.0254	0.7454	기각	기각
Log-Normal	2.2668	1.0254	0.7454	기각	기각
Weibull	1.3314	1.0254	0.7454	기각	기각

$A^* < \text{유의수준}$: 적합
 $A^* > \text{유의수준}$: 기각

III. 초과확률 개념에서의 접안속도 예측치

3.1 초과확률 분석 방법

Measured velocities in ascending order(cm/s)	Rank Number (j)	Relative Rank Position (j/N)	Median Rank (MR), (j + 0.3)/(N + 0.4)	Probability of exceedance (1-F(v)) = (1-MR)
v_1	1			
v_2	2			
\vdots	\vdots			
v_{j-1}	$j-1$			
v_j	j			
v_{j+1}	$j+1$			
\vdots	\vdots			
v_N	N			

- 실측데이터를 가장 작은 값(Minimum value)부터 차례로 나열시킨다.
- 각각의 값들에 Rank Number를 순서대로 나열한다.
- Relative Rank Number는 각각의 Rank Number를 총 데이터 수로 나누어서 구한다.
- 정확한 추정치를 구하기 위해 Median Rank(MR)을 구한다. (*Benard's approximation of MR)
- 초과확률은 1-F(v)로 구해지며, 여기서 F(v)는 각각의 Distribution Function이다.

II. 실측 데이터 분석

2.3 확률 분포도의 검정 (Goodness of Fit)

Q-Q Plot (Quantile-Quantile Probability Plot)

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Distribution	R ²
Normal	0.9038
Log-Normal	0.9363
Weibull	0.9716

III. 초과확률 개념에서의 접안속도 예측치

3.2 초과확률에서 예측치 제시

Probability of exceedance	1/10	1/100	1/1,000	1/10,000
Normal distribution	13.573	18.472	22.001	24.881
Log-Normal distribution	14.978	29.534	43.599	55.978
Weibull distribution	13.994	20.790	26.215	30.763

II. 실측 데이터 분석

2.3 확률 분포도의 검정 (Goodness of Fit)

Q-Q Plot (Quantile-Quantile Probability Plot)

Velocity (cm/s)	Count	Cumulative count	Relative Frequency	Cumulative Frequency
0-2	13	13	6.1%	6.1%
2-4	28	41	13.1%	19.2%
4-6	45	86	21.0%	40.2%
6-8	46	132	21.5%	61.7%
8-10	32	164	15.0%	76.6%
10-12	19	183	8.9%	85.5%
12-14	13	196	6.1%	91.6%
14-16	6	202	2.8%	94.4%
16-18	1	203	0.5%	94.9%
18-20	4	207	1.9%	96.7%
20-22	3	210	1.4%	98.1%
22-24	2	212	0.9%	99.1%
24 이상	2	214	0.9%	100.0%

IV. 결론 및 향후과제

결론 및 향후과제

- 우리나라의 기준이 외국 기준에 비해 구체적이지 못하며 선박의 대형화 등에 최신 동향에 대한 기준 반영이 되지 않음.
- 실측데이터 분석 결과, 평균값 기준으로는 설계기준 값 이내, 하지만 최대값은 초과하는 사례가 발생함
- 정규분포, 대수정규분포, Weibull 분포의 분포 형상을 오버레이 하여, 분포형상에 대한 분석해본 결과, 대수정규분포와 Weibull 분포도를 따름.
- 현재 분석한 실측 데이터의 부족으로 여러 항만 및 부두에 대한 데이터 모수 증가가 필요함.
- 다양한 데이터 취득 후, 확률 모형에 따른 신뢰수준별 설계 접안속도를 추정하여 항설기준 개정을 위한 설계값 제시가 필요.