

설계 접안능력에 따른 선박규모별 상대적 접안속도 도출

강은지* · 김대근** · † 조익순

*한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 석사과정생, **한국해양수산연수원 교수, † 한국해양대학교 해사인공지능·보안학부 교수

요 약 : 선박의 대형화 등 급격한 환경변화에 따라 항만시설 확보에 주력을 기울이고 있지만 늘어난 항만 물동량을 따라가지 못해 부두의 설계접안능력보다 더 큰 선박이 접안하는 사례가 빈번하게 발생하고 있다. 하지만 이러한 접안 과정이 위험하다고 평가되어야 하는 것인지는 고려해볼 필요가 있다. 부두는 정해진 설계접안에너지가 있으며 부두에 접안하는 선박의 규모가 각각 다르므로 허용되는 접안속도 또한 달라져야 한다. 따라서 본 연구는 설계접안에너지를 고려한 선박규모별 허용접안속도를 구하고자 한다. 또한 실측접안속도에 적용하여 부두 접안 능력과 선박 규모가 고려된 상대적인 값을 가지는 추정접안속도를 도출할 수 있다. 이를 통해 대상부두에서 얼마나 많은 선박이 위험한 속도로 접안하고 있는지 분석하였다.

핵심용어 : 추정접안속도, 접안에너지, 선박 규모, 흡수에너지, 접안능력

I. 서론 - 연구배경

선박 대형화 등 급격한 환경변화에 따라 항만시설을 확보하는데 주력하였으나 늘어난 항만 물동량을 따라가지 못해 부두의 설계접안능력보다 더 큰 선박이 접안하는 사례가 빈번하게 발생함.

| 번호 | 시설명 | 선식 | 구조형식 | 부두접안능력(DWT) | 허용접안선박 규모(DWT) |
|----|---------|--------|------|-------------|----------------|
| 1 | 석 탄 부 두 | MBT 01 | 간교 | 40,000 | 82,044 |
| 2 | 윤선항1부두 | MB1 01 | 간교 | 5,000 | 11,432 |
| 3 | 윤선항2부두 | MB2 01 | 관분류 | 20,000 | 83,684 |
| 4 | 윤선항2부두 | MB2 02 | 관분류 | 40,000 | 76,812 |

접안에너지 산정식: $E_f = \left(\frac{M_s V^2}{2}\right) C_e C_m C_s C_c F_s$

과도한 속력으로 부두에 접안하면 부두 계류시설이 파괴되거나 선체 손상과 같은 사고가 일어날 수 있음

I. 서론 - 연구배경

부두 설계접안에너지 계산 -> 에너지 흡수할 수 있는 방충재 선택

I. 서론 - 연구방법

II. 접안속도 실측데이터 분석

데이터 수집

대상 부두 : OKYC(OILHUB KOREA YEOSU) terminal
 접안속도 실측 : DAS(Docking aid system)
 데이터 수집 기간 : 2017.03.02 ~ 2021.03.25 (7557개 data)

| | Jetty1 | Jetty2 | Jetty3 |
|-----------------------------|---|----------------|----------------|
| Capacity | 80,000 DWT | 120,000 DWT | 320,000 DWT |
| Berthing velocity(Designed) | 12cm/s | 15cm/s | 15cm/s |
| Berthing velocity(Operated) | Safety : 5cm/s, Warning : 6~10cm/s, Dangerous : 11~15cm/s | | |
| Fender type | Reel Fender | Reel Fender | Reel Fender |
| Fender standard | 1,200H * 2unit | 1,700H * 2unit | 2,250H * 2unit |
| Fender energy absorption | 1,070kJ | 2,900kJ | 6,420kJ |

† 교신저자 : 중신회원, ischo@kmou.ac.kr
 * 정회원, eunji3301@g.kmou.ac.kr

II. 접안속도 실측데이터 분석

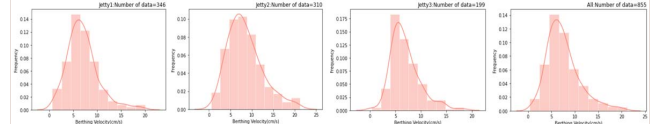
기초 데이터 분석 - Jetty별 접안속도 분석

| Velocity(cm/s) | Jetty 1 | Jetty 2 | Jetty 3 | Total |
|-------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Average | 6.97 | 8.45 | 6.91 | 7.49 |
| Standard Deviation | 3.29 | 4.06 | 2.88 | 3.58 |
| Coefficient of Variance | 0.47 | 0.48 | 0.42 | 0.48 |
| Max observed Value | 19.98 | 21.21 | 18.41 | 21.21 |
| Data Number | 346 | 310 | 199 | 855 |

| Velocity (cm/s) | Count | Cumulative count | Relative frequency | Cumulative frequency |
|-----------------|-------|------------------|--------------------|----------------------|
| 0-2 | 20 | 20 | 2.3% | 2.3% |
| 2-4 | 81 | 101 | 9.5% | 11.8% |
| 4-6 | 222 | 323 | 26.0% | 37.8% |
| 6-8 | 26 | 549 | 26.4% | 64.2% |
| 8-10 | 139 | 688 | 16.3% | 80.5% |
| 10-12 | 78 | 766 | 9.1% | 89.6% |
| 12-14 | 38 | 804 | 4.4% | 94.0% |
| 14-16 | 22 | 826 | 2.6% | 96.6% |
| 16-18 | 13 | 839 | 1.5% | 98.1% |
| 18-20 | 13 | 852 | 1.5% | 99.6% |
| 20 이상 | 3 | 855 | 0.4% | 100.0% |

II. 접안속도 실측데이터 분석

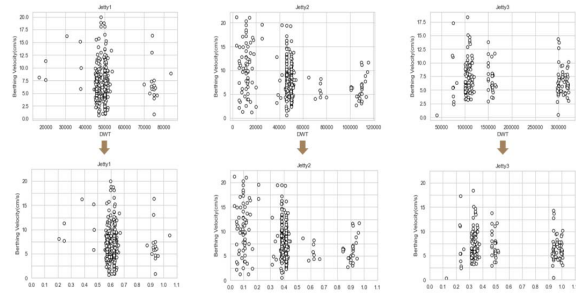
기초 데이터 분석 - Jetty별 접안속도 분석



| | Normal | | Lognormal | | Weibull | | |
|-----|---------|---------|-----------|--------|---------|---------|---------|
| | p-value | Result | p-value | Result | p-value | Result | |
| ALL | Jetty1 | 0.007 | unadopt | 0.316 | adopt | 0.047 | unadopt |
| | Jetty2 | 0.033 | unadopt | 0.999 | adopt | 0.000 | unadopt |
| | Jetty3 | 0.011 | unadopt | 0.288 | adopt | 0.026 | unadopt |
| All | 0.000 | unadopt | 0.205 | adopt | 0.000 | unadopt | |

II. 접안속도 실측데이터 분석

기초 데이터 분석 - Jetty별 선박크기 무차원화



III. 방충재 성능과 허용접안속도 관계식

선박규모별 허용접안속도 산출

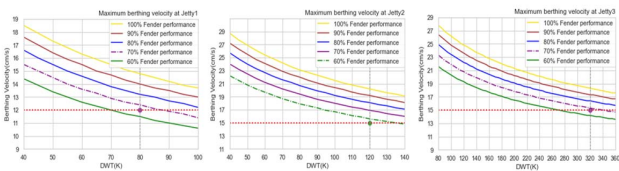
$$V = \sqrt{\frac{2E_f}{M_s C_e C_m C_s C_f}} \rightarrow \text{접안에너지 산출식 역산}$$

$$E = \phi E_{cat} \geq E_f$$

E : 방충재 흡수에너지
 ϕ : 펜더 성능의 영향 요인
 E_{cat} : 정상 방충재 흡수에너지
 E_f : 선박 접안에너지

III. 방충재 성능별 허용접안속도와 선박규모 관계

선박규모별 허용접안속도 산출



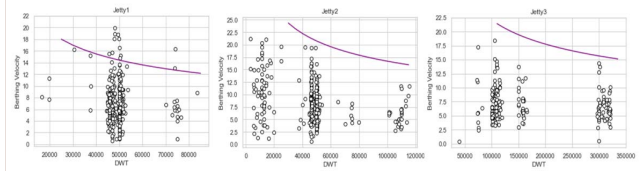
70%

60%

70%

III. 방충재 성능별 허용접안속도와 선박규모 관계

선박규모별 허용접안속도의 실측데이터 적용



$$V_{0.7}^1 = 563.984 \cdot DWT^{-0.3386}$$

$$V_{0.6}^2 = 825.813 \cdot DWT^{-0.3396}$$

$$V_{0.7}^3 = 880.579 \cdot DWT^{-0.3200}$$

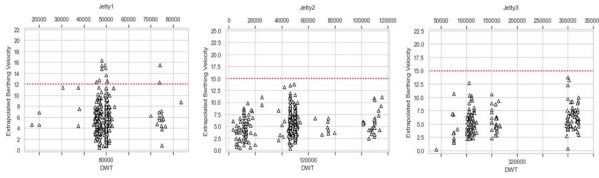
III. 방충재 성능별 허용접안속도와 선박규모 관계

추정접안속도 도출

$$eV = mV \frac{dV}{tV^n}$$

eV : 추정접안속도
 mV : 실제접안속도
 dV : 설계접안속도
 tV : 변위접안속도
 n : Jetty 위치
 r : 방충재 성능

| | Berthing Safety Evaluation | | |
|------------------|----------------------------|---------|---------|
| | Jetty 1 | Jetty 2 | Jetty 3 |
| Berthed Ships | 346 | 310 | 199 |
| $mV < tV$ | 12 | 0 | 0 |
| $eV < dV$ | 12 | 0 | 0 |
| Risk probability | 3.47% | 0% | 0% |



IV. 결론 및 향후연구

- 접안속도 기초데이터분석 결과**
 대상 부두에 발안하는 선박의 접안속도가 전체적으로 높지 않음.
 데이터의 높은 밀도가 모두 대수정규분포를 따름.
 무차별화한 결과 전체적으로 접안능력 범위를 초과하는 선박이 거의 없으며, 접안능력에 비해 작은 크기의 선박들이 많이 접안함.
- 실측데이터와 허용접안속도의 비교**
 각 방충재의 성능에서 대수정규분석 방법을 활용하여 선박규모별 허용접안속도 관계식을 도출하였으며, 실측데이터와 비교해본 결과 Jetty1에서 허용접안속도를 넘어서는 선박이 12척 존재함. Jetty2와 3에서는 모든 선박이 허용접안속도 범위 내에 존재하여 안전하게 접안할 것을 알 수 있음.
- 향후연구 : 다양한 항만과 선종을 대상으로 접안속도 운용가이드라인 제안**
 본 연구는 국내 한 Tanker 부두에 한정된 결과로, 대상 부두에서 선박에 대한 관리가 철저해 이루어질 경우 접안능력을 현저히 초과하는 선박들이 많이 접안하는 부두에서 더 상세한 접안속도 가이드라인을 제안할 수 있음.