



선박의 이/접안 데이터를 통한 자동 이/접안 시 횡방향속도 참조모형 개발에 관한 연구

김정현¹·조현재²·김수림²·이준호³·박종용^{4,†}

한국조선해양기자재연구원¹

부경대학교 마린융합디자인공학과²

부경대학교 실습선 나라호³

부경대학교 조선해양시스템공학과⁴

A Study on Development of Sway Velocity Reference Model During Auto-berthing/Unberthing Through Analysis of Ship's Berthing/Unberthing Data

Jung-Hyeon Kim¹·Hyun-Jae Jo²·Su-Rim Kim²·Jun-Ho Lee³·Jong-Yong Park^{4,†}

Korea Marine Equipment Research Institute¹

Department of Marine Design Convergence Engineering, Pukyong National University²

Training Ship NARA, Pukyong National University³

Department of Naval Architecture and Marine System Engineering, Pukyong National University⁴

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Crabbing motion is a pure sway motion with only sway velocity. The ship's crabbing motion is essential for an ideal berthing/unberthing process. The unberthing situation proceeds in sequential order such as crabbing motion section, pivoting section, and outer port section. For the berthing situation, the sequence has a reverse order: the inner port section, pivoting section, and crabbing motion section. In this paper, the berthing/unberthing data of the reference ship, Pukyong National University research ship "NARA", was analyzed to develop a sway velocity reference model. Several constraints were defined to derive the crabbing motion section during berthing/unberthing. The sway velocity reference model for the auto-berthing/unberthing was developed using the estimated sway velocity. A reproduction simulation of the ship was performed to compare the designed reference model and the reference ship data.

Keywords : Berthing/unberthing(이/접안), Crabbing motion(횡이동), Sway velocity(횡방향속도), Research vessel NARA(해양탐사선 나라호), Constraint(제약조건), Reference model(참조 모형)

1. 서론

최근 자율운항선박의 관심이 높아짐에 따라 선박의 충돌회피, 경로 최적화, 자동 이/접안에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 자동 이/접안은 좁은 항만 내 저속의 복잡한 조종운동으로 이루어져있고, 외항에 비해 바람, 파도, 조류와 같은 환경 외란의 영향을 크게 받으며, 항만에 정박하고 있는 선박이나 운항 중인 선박으로 인해 고려해야 하는 요인이 많다. 또한, 선박이 이/접안을 하기 위해 경험과 전문성이 있는 도선사와 선원, 선

박을 안벽까지 이동시키기 위한 예인선이 필요하다. 따라서 인력과 예인선 없이 수행할 수 있는 자동 이/접안 유도 및 제어시스템의 높은 정확도가 요구된다.

선박의 자동 이/접안에 관한 연구는 다음과 같다. 이/접안 시 선박의 비선형 특성을 고려하기 위해 신경망 이론(neural network theory)이 적용된 연구 (Yamato et al., 1990; Zhang et al., 1997), 전문가 시스템이 적용된 연구 (Yamato et al., 1992), 항만 내에서의 선박의 경로를 계획하는 최적화 이론(optimization theory)이 적용된 연구 (Djouani & Hamam, 1995)가 수행된 바

있다. Son et al. (2004)은 선수 및 선미 스러스터를 장착한 모형을 이용하여 선박의 횡이동 및 제자리 선회(standstill turning)을 결합한 자동 이/접안 시스템에 대한 연구를 수행한 바 있다. Won et al. (2008)은 주 추진 프로펠러와 타, 선수 스러스터(bow thruster) 및 선미 스러스터(stern thruster)를 갖는 선박의 비선형 자동 이/접안 제어 알고리즘 설계하였다. Park & Kim (2013)은 선박의 선수 스러스터와 좌우현의 추진기를 이용한 push-pull 모드를 모델링하여 순수 횡이동하는 자동 이/접안 상황의 피드백 선형화 제어를 제안하였다. 또한, Park & Kim (2014)은 바람과 같은 환경외란에 적응할 수 있는 adaptive backstepping controller를 제안하였고, 순수 횡이동, 이/접안 상황에서의 시뮬레이션을 수행하였다. Kim et al. (2018)은 2기의 사이드 스러스터 및 1기의 아지무스 스러스터(azimuth thruster)가 장착된 선박의 접안을 ballistic과 final과정으로 구분하여 선박의 자동접안 시뮬레이션을 수행하였다. Im & Nguyen (2018)은 선박에서 항구까지의 상대적인 방위와 거리를 포함하는 헤드 업 좌표계를 사용하여 특정 정박지뿐만 아니라 다른 정박지로 선박을 제어할 수 있는 인공 신경망 제어 시스템을 개발한 바 있다. Park & Lee (2020b)은 부경대학교 해양탐사선 나라호의 동적위치제어시스템을 이용하여 ITTC(The International Towing Tank Conference)의 실선스케일 조종시험을 기반으로 실선의 횡이동 시험을 수행하였다.

선박의 이안은 크게 세 가지로 안벽으로부터 떨어지는 횡이동(crabbing) 구간, 외항을 할 수 있게 선박의 방위각을 선회하는 피벗(pivoting) 구간, 외항 구간으로 구분할 수 있다. 선박의 접안 과정은 선박의 이안 과정의 역순으로, 내항구간, 안벽 근처까지 이동하며 선박의 방위각을 안벽과 평행하게 선회하는 피벗 구간, 안벽으로 접근하는 횡이동 구간으로 구분할 수 있다. 본 연구는 실선의 이상적인 이/접안 상황을 phase 1, phase 2, phase 3로 구분하였다. phase 1은 선박의 방위각이 안벽의 각도를 유지하고 종방향속도가 0 kts인 횡이동 구간으로, phase 2는 선박의 방위각이 선형적으로 증가 또는 감소하는 피벗 구간으로, phase 3는 항구에 출입하는 외/내항 구간으로 정의하였다.

이전 수행된 연구들은 선박 이/접안의 제어기 설계에 치중되었다. 하지만 높은 정확도의 제어기라도 안전한 이/접안을 수행

하기 위해 신뢰도 높은 이/접안 참조모형이 필요하다. 본 연구는 전문가가 안전하게 이/접안을 수행한 선박의 데이터를 기반으로 이/접안 시 횡방향속도 참조모형 유도를 목적으로 한다. 우선, 아지무스 스러스터와 선수 스러스터가 장착된 실선의 이/접안 데이터를 분석하여 횡이동 구간을 도출하기 위한 제약조건을 정의하였다. 이를 바탕으로 이/접안 상황 중 횡이동 구간의 횡방향속도에 대한 참조모형을 개발하였다. 또한, 참조모형을 기반으로 선박의 경로를 재생산한 시뮬레이션을 통해 참조모형의 성능을 검증하였다.

2. 실선시험 준비

2.1 부경대학교 해양탐사선 나라호

본 연구에 사용된 데이터는 해양탐사작업과 학생들의 승선실습을 수행하기 위해 설계된 부경대학교 해양탐사선 나라호의 데이터이다. Fig. 1과 Table 1은 각각 나라호의 일반배치도와 제원이다.

Table 1 Principal dimensions of NARA (Park & Lee, 2020a)

Item	Value
Length overall, LOA [m]	70.7
Length between perpendicular, LBP [m]	59.7
Breadth [m]	13.5
Draft [m]	4.70
Displacement [tons]	1,494
Metacentric height, GM [m]	0.600
Design speed [m/s]	7.10

2.2 좌표계

본 연구에서 사용된 좌표계는 Fig. 2과 같다. 선박의 수평면 운동을 표현하기 위하여 지구고정좌표계 $O_o-x_o y_o$ 와 선박고정좌표계 $o-xy$ 가 사용되었다. 지구고정좌표계 x_o 축과 선박고정좌표계 x 축이 이루는 각을 방위각 ψ 로 정의한다. 또한, 선박고정

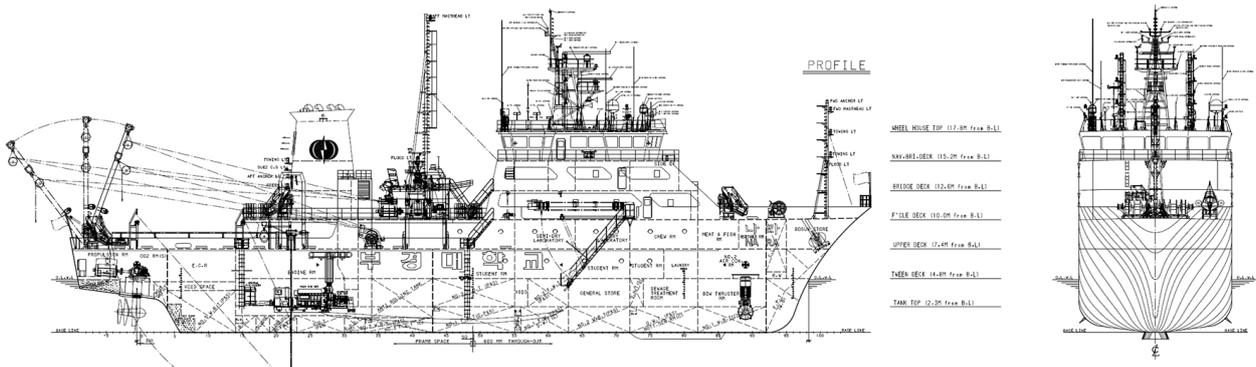


Fig. 1 General arrangement of NARA (Park & Lee, 2020)

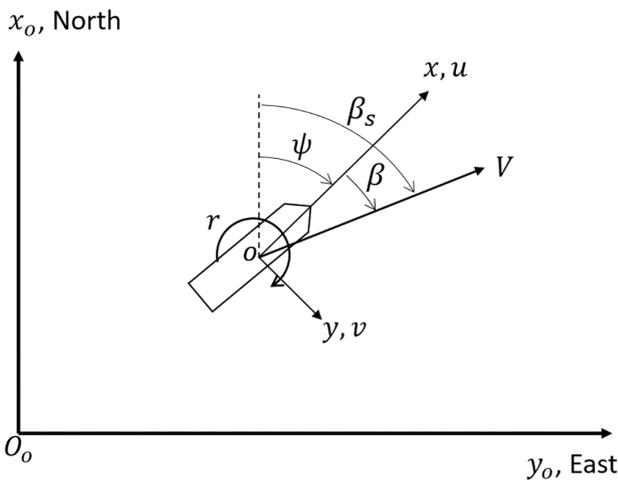


Fig. 2 Coordinate system

좌표계에서 정의되는 종방향속도, 횡방향속도, 각속도(rate of turn, ROT)는 각각 u, v, r 로 정의한다. 지구고정좌표계 x_o 축과 선박의 전속도 V 가 이루는 각을 β_s , 선박고정좌표계 x 축과 선박의 전속도 V 가 이루는 각을 편류각 β 라고 정의한다.

3. 실선 데이터 분석

3.1 제약조건

본 연구에서는 실선 데이터 분석에 앞서, 나라호의 이/접안 상황에서 횡이동 구간을 도출하기 위해 제약조건에 대해 정의하였다. 선박의 횡이동은 순수하게 좌우방향으로만 이동하는 운동이므로 방위각을 일정하게 유지해야 한다. 이에 따라 “방위각”에 대한 제약조건을 정의하였다. 또한, 선박이 안전하게 이/접안해야 하므로 선박의 횡이동 중 “전속도”에 대한 제약조건을 정의하였다. Table 2와 같이 정의한 제약조건을 이용하여 나라호의 이/접안 데이터에서 횡이동 구간을 도출하였다.

Table 2 Constraint parameter

Parameter	Value
Velocity [kts]	≤ 1
Heading angle [deg]	Desired heading angle ± 10

3.2 횡방향속도 추정

횡방향속도를 도출하기 위해 Park & Lee (2020)의 횡방향속도 추정과정을 이용하여 편류각 β 를 추정하였다. 부경대학교 해양탐사선 나라호의 GPS의 데이터 계측 주기는 1Hz이며, 계측된 전속도의 해상도(resolution)는 0.1 kts다. 센서로 계측된 속도의 잡음을 억제하기 위해 식 (1)과 같은 저주파 통과 필터(Low Pass Filter, LPF)를 사용하였다.

$$\hat{V}_k = \alpha \hat{V}_{k-1} + (1 - \alpha) V_k \tag{1}$$

위 첨자 “ $\hat{}$ ”는 추정값으로 정의하였다. k 는 데이터의 순서를 의미하는 지수, V 는 계측된 전속도, \hat{V} 는 저주파 통과 필터를 통하여 추정된 전속도를 의미한다. 상수 α 는 저주파 통과 필터의 설계 파라미터(parameter)이며, 시행착오를 통해 0.8로 적용하였다.

선박의 종방향속도 u , 횡방향속도 v 를 도출하기 위해 편류각 β 를 GPS로 계측된 선박의 위치와 방위각을 이용하여 추정하였다. 우선, 지구고정좌표계에서 선박의 전속도 방향을 의미하는 β_s 를 식 (2)로 추정하였다. x_0 와 y_0 는 GPS로 계측된 선박의 위치 데이터이다.

$$\hat{\beta}_{s,k} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{0,k} - y_{0,k-1}}{x_{0,k} - x_{0,k-1}} \right) \tag{2}$$

GPS로 계측된 선박의 위치 데이터 계측 주기도 1Hz이므로, 위치 데이터를 기반으로 추정된 β_s 의 잡음을 억제하기 위해 식 (3)과 같은 저주파 통과 필터를 적용하였다. 식 (3)의 α_β 는 식 (1)의 α 와 마찬가지로 0.8로 설정하였다.

$$\hat{\beta}_{s,k} = \alpha_\beta \hat{\beta}_{s,k-1} + (1 - \alpha_\beta) \hat{\beta}_{s,k} \tag{3}$$

편류각 β 는 추정된 β_s 와 계측된 방위각 ψ 의 차이를 이용하여 식 (4)와 같이 추정하였다.

$$\hat{\beta}_k = \hat{\beta}_{s,k} - \psi_k \tag{4}$$

추정된 전속도 \hat{V} 와 편류각 $\hat{\beta}$ 를 바탕으로 선박의 종방향속도 및 횡방향속도는 각각 식 (5)와 식 (6)으로 추정하였다.

$$\hat{u}_k = \hat{V}_k \cos \hat{\beta}_k \tag{5}$$

$$\hat{v}_k = \hat{V}_k \sin \hat{\beta}_k \tag{6}$$

3.3 이안 데이터 분석

본 연구에서는 자동 이안 알고리즘을 위한 참조모형을 개발하기 위해 2015년부터 2019년까지 용호부두에서 수행된 나라호의 14개의 이안 데이터를 분석하였다. 이안은 횡이동 구간인 phase 1, 피벗 구간인 phase 2, 외항 구간인 phase 3의 순서로 진행된다.

Fig. 3은 2015년 04월 29일에 수행된 나라호의 이안 데이터(20150429D)의 전체적인 이안 데이터의 선박의 궤적, 속도, 방위각, 각속도를 그래프로 표현한 결과이다. 이 때, “20150429D”는 2015년 04월 29일에 수행된 나라호의 이안 데이터를 의미한다. 선박의 궤적 그래프에서 파란색 점선은 나라호의 형상을 표현한 것이다. 속도 그래프의 파란색 실선은 GPS로 계측된 선박의 전속도 V , 주황색 점선은 추정된 종방향속도 u , 노란색 점선은 추정된 횡방향속도 v 를 의미한다. Fig. 3을 보면, 선박이 방위각을 유지하며 횡이동을 하는 0초부터 약 110초까지 구간이 phase 1이다. 선박의 방위각이 선형적으로 감소하는 약 110초부터 250초까지의 피

벗 구간이 phase 2이며, 이후 구간은 phase 3이다.

Fig. 4는 “20150429D”의 phase 1을 나타낸 그래프이다. 약 110초 동안 약 34 m를 횡이동하며 이안하였음을 확인할 수 있

다. 횡이동 중 최대 횡방향속도는 0.783 kts, 안벽과의 최대 방위각오차는 3.6°, 최대 각속도는 0.198°/s이다. 선박의 속도 그래프를 보면, 횡방향속도가 지배적이고 종방향속도는 0 kts에

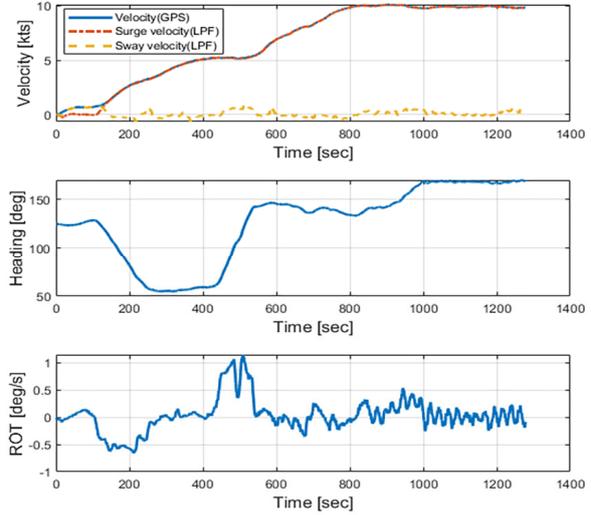
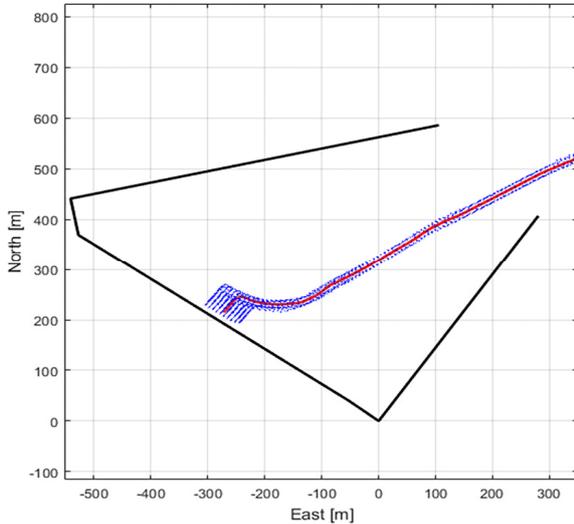


Fig. 3 NARA's unberthing data (20150429D)

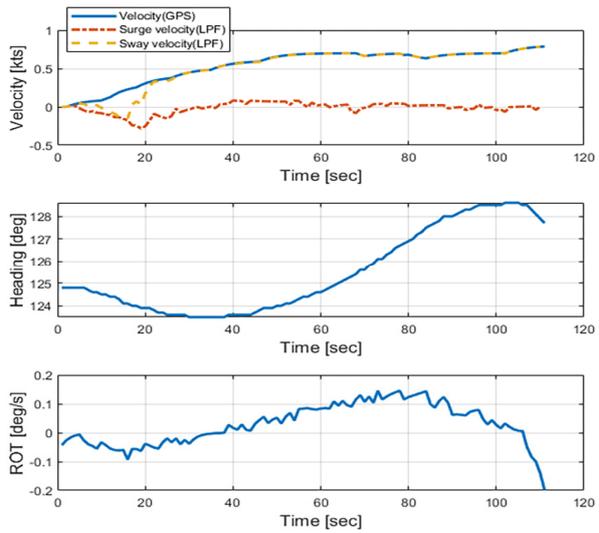
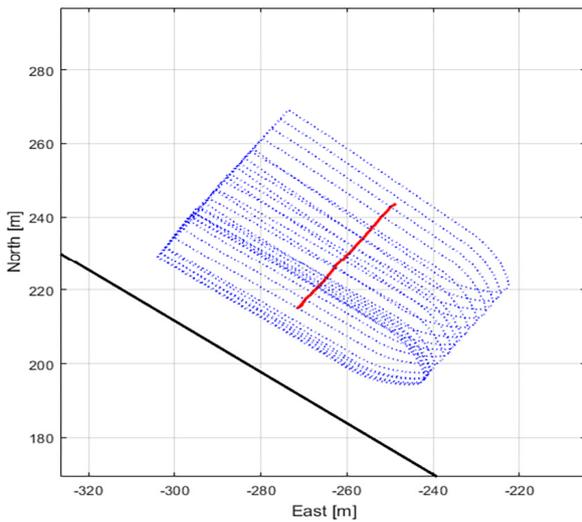


Fig. 4 Crabbing motion of NARA's unberthing data (20150429D)

Table 3 Analysis of unberthing data of NARA

#	Case	Time [sec]	Distance [m]	v max [kts]	ψ_e max [deg]	ROT max [deg/s]
1	20150429D	110	33.9	0.783	3.60	0.198
2	20190429D	110	33.9	0.783	3.60	0.199
3	20190507D	115	32.9	0.753	9.50	0.212
4	20190513D	128	38.0	0.812	9.80	0.197
5	20190916D	110	36.9	0.680	5.20	0.238
6	20191028D	113	36.5	0.840	6.20	0.355
7	20191104D	129	39.5	0.719	4.30	0.285
8	20191111D	109	34.6	0.826	9.40	0.305
9	20191118D	105	34.5	0.728	5.60	0.372
	Average	116	36.1	0.833	6.36	0.320

수렴하므로 순수 횡이동으로 간주할 수 있다. 선박의 방위각 그래프에서 선박이 옹호부두 안벽의 각도인 약 125° 부근에서 안벽과 평행하게 횡이동하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3은 나라호의 14개 이안 데이터를 3.1절의 제약조건을 바탕으로 도출된 횡이동 구간의 소요된 시간, 횡이동한 거리, 최대 횡방향속도, 안벽 각도와 방위각오차 ψ_e 의 최댓값, 최대 각속도를 나타낸 결과이다. 14개의 데이터 중 오류가 있거나 순수 횡이동 구간을 식별할 수 없는 5개의 데이터는 분석에서 제외하였다. 분석결과, 약 116초 동안 평균 36 m를 횡이동하며 이안했음을 알 수 있다.

3.4 접안 데이터 분석

본 연구에서 자동 접안 알고리즘의 참조 모형을 도출하기 위해 2015년부터 2019년까지 옹호부두에서 수행된 나라호의 14개의 접안 데이터를 분석하였다. 접안은 내항 구간인 phase 3, 피벗 구

간인 phase 2, 횡이동 구간인 phase 1의 순서로 진행된다. 마찬가지로, 접안 상황의 횡이동 구간을 도출하기 위해 3.1절의 정의된 제약 조건을 적용하였다. 14개의 접안 데이터의 대부분은 제약조건을 만족하지 못하였다. 이들은 데이터에 문제가 있거나, 순수 횡이동이 아닌 운동으로 접안을 수행하였다. 예를 들어, Fig. 5는 오류가 있거나 횡이동 구간 없이 접안한 데이터 중 2019년 4월 4일에 수행된 접안 데이터(20190404E)를 도시한 결과이다. 선박의 궤적 그래프에서 선박의 순수 횡이동이 아닌 운동으로 접안을 수행한 것을 볼 수 있다. 또한, 선박의 속도 그래프를 보면, 횡방향속도보다 종방향속도가 지배적인 것을 확인할 수 있다. 이는 접안을 수행하였지만 순수 횡이동으로 접안을 수행했다고 볼 수 없다.

제약조건을 만족한 데이터는 2019년 11월 22일에 수행된 접안 데이터(20191122E)이다. 따라서 “20191122E”의 데이터를 접안 유도 알고리즘의 참조모형 개발을 위한 데이터로 선정하였다. “20191122E”의 전체적인 접안 데이터를 표현한 그래프는 Fig. 6과 같다. Fig. 6의 방위각 그래프에서 방위각을 유지

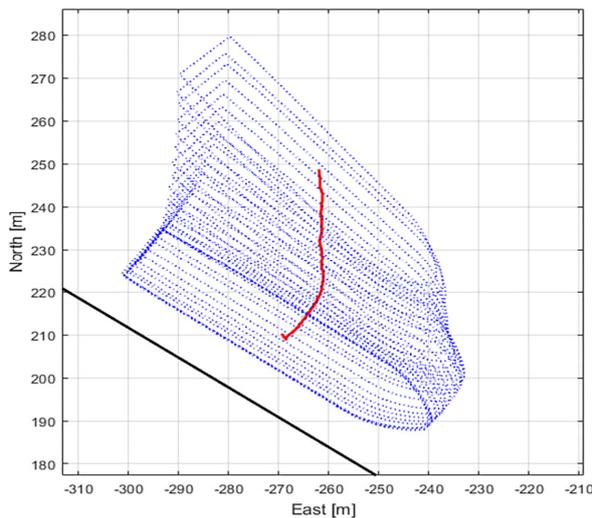


Fig. 5 Berthing data of NARA (20190404E)

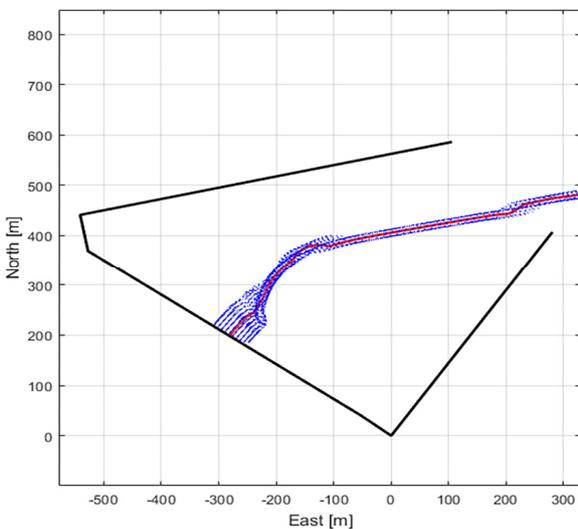
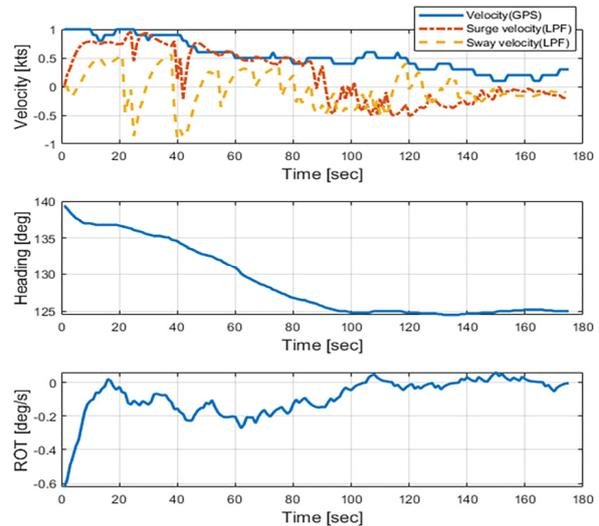
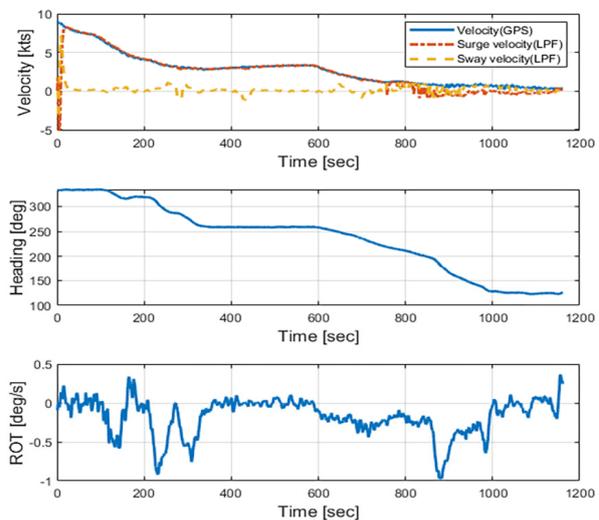


Fig. 6 Berthing data of NARA (20191122E)



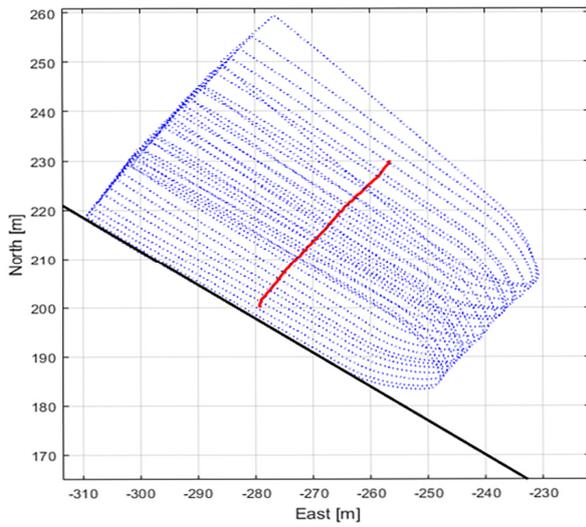


Fig. 7 Crabbing motion in berthing of NARA (20191122E)

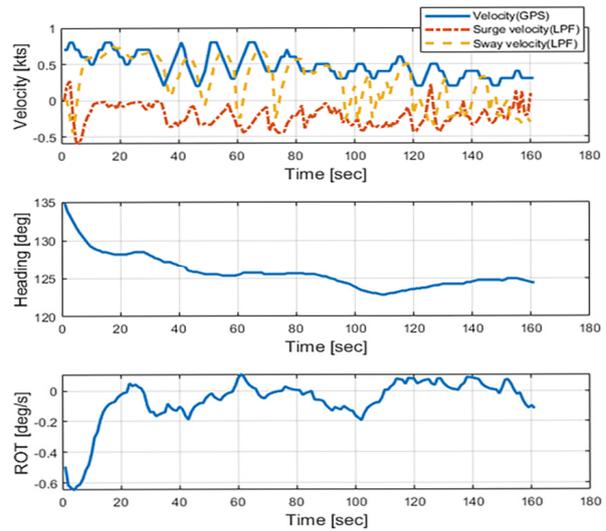


Table 4 Analysis of berthing data of NARA

#	Case	Time [sec]	Distance [m]	v max [kts]	ψ _e max [deg]	ROT max [deg/s]
1	20191122E	160	37.4	0.696	9.90	0.645

하는 약 600초 이전의 내항 구간이 phase 3, 약 600초부터 900초까지 방위각이 선형적으로 감소하는 피벗 구간이 phase 2, 이후 안벽과 평행한 각도를 유지하면서 속도가 감소하는 횡이동 구간이 phase 1이다. “20191122E”의 phase 1의 도출한 그래프는 Fig. 7과 같다. 약 160초 동안 약 37 m를 순수 횡이동 운동을 하며 접안했음을 확인할 수 있다. 횡이동 중 최대 횡방향속도는 0.696 kts, 안벽 각도와 최대 방위각오차는 9.90°, 최대 각속도는 0.645 °/s이다. 나라호의 속도 그래프를 보면, 이안 상황과 달리 종방향속도가 존재하나 횡방향속도가 지배적 이므로 순수 횡이동으로 판단하였다. 방위각을 표현한 그래프를 보면, 방위각은 옹호부두 안벽의 각도와 평행을 유지하고 있다.

나라호의 “20191122E” 데이터를 3.3절의 이안 데이터와 같이 나타낸 결과는 Table 4과 같다. 횡이동 거리는 이안 상황과 약 4%의 차이가 있으나, 소요된 시간은 약 38%가 더 소요되었다. 이는 접안은 안벽 방향으로 횡이동을 하므로, 안벽과 충돌 위험이 있어 안전하게 접안을 수행하기 때문이라고 판단하였다.

4. 횡방향속도 참조모형 도출

본 연구에서 횡방향속도 참조모형(reference model)을 도출하기 위해 식 (7)과 같은 Fossen (2002)의 속도 참조모형을 선정하였다. ζ는 감쇠계수, ω_n은 고유 진동수, v_c는 목표 횡방향속도를 의미한다.

$$\ddot{v} + 2\zeta\omega_n\dot{v} + \omega_n^2v = \omega_n^2v_c \quad (7)$$

자동 이/접안 시 시간에 따른 횡방향속도를 도출하기 위해 참조모형의 해의 형태를 식 (8)과 같이 가정하였다.

$$v(t) = C_1 + C_2e^{\lambda t} \quad (8)$$

이/접안 시 횡이동 구간은 종방향속도가 0kts이기 때문에 3.2절에서 추정된 횡방향속도에 대하여 참조모형을 도출하였다. 참조모형의 초기조건은 각각 식 (9)과 식 (10)과 같다. 식 (9)의 t_s는 이안 시작 시간이고, 식 (10)의 t_f는 접안 종료 시간이다. 이안의 경우, 이안 시작하기 전의 선박의 속도는 0 kts이어야 한다. 접안의 경우, 접안이 종료되었을 때 선박의 속도는 0 kts이어야 하기에 이와 같이 정의하였다.

$$v_D(t_s) = 0 \quad (9)$$

$$v_E(t_f) = 0 \quad (10)$$

Matlab의 curve fitting toolbox를 이용하여 추정된 횡방향속도와 식 (9), 식 (10)를 만족하도록 식 (8)의 형태로 커브 피팅을 수행하였다. Table 5은 이/접안 상황의 횡방향속도 참조모형의 계수를 나타낸 표이다. 이안 계수는 각 데이터별 추정된 횡방향속도를 기반으로 커브 피팅한 결과의 평균값이다. 접안의 계수는 순수 횡이동에 가까운 운동으로 접안을 수행한 “20191122E”의 횡방향속도에 대하여 커브 피팅을 진행한 결과이다.

Table 5 Parameter of unberthing/berthing reference model

Parameter	Unberthing	Berthing
C1	0.713	0.761
C2	-0.713	-0.161
λ	-0.0466	0.0102

Fig. 8과 Fig. 9은 각각 이/접안 상황 선박의 추정된 횡방향속도, 피팅된 커브를 그래프로 표현하였다. 검색색 점은 각 케이스 별 시간에 따른 추정된 횡방향속도를, 빨간색 실선은 횡방향속도 참조 모형이다.

나라호의 이/접안 데이터의 평균과 도출한 참조모형을 비교하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 선박이 횡이동한 거리와 방위각을 일정하게 설정하고 속도에 대해서 재생산한 결과이다. Fig. 10과 Fig. 11, Table 6과 7에서 이/접안 상황의 재생산 결과를 확인할 수 있다. Fig. 10과 Fig. 11의 속도 그래프를 보면, 도출한 횡방향속도 참조모형에 따라 선박이 이/접안을 수행하고 있음을 확인할 수 있다. 재생산된 선박 이/접안 시 횡이동에 소요된 시간은 각각 120초, 171초이다. 이안 시뮬레이션의 소요된 시간은 평균 데이터와 4초의 차이가 발생하였다. 이는 3 %의 낮은 오차로, 이안 상황의 횡방향속도 참조모형의 성능을 검증하였다. 반면 접안의 경우 11초 차이로 약 7 %의 오차가 발생하였는데, 이는 추정된 횡방향속도의 동요로 인해 데이터 피팅하면서 발생한 오차라고 사료된다.

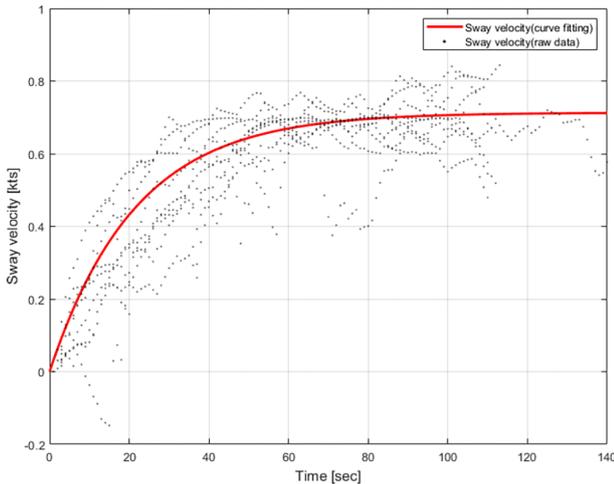


Fig. 8 Curve fitting result of sway velocity for unberthing

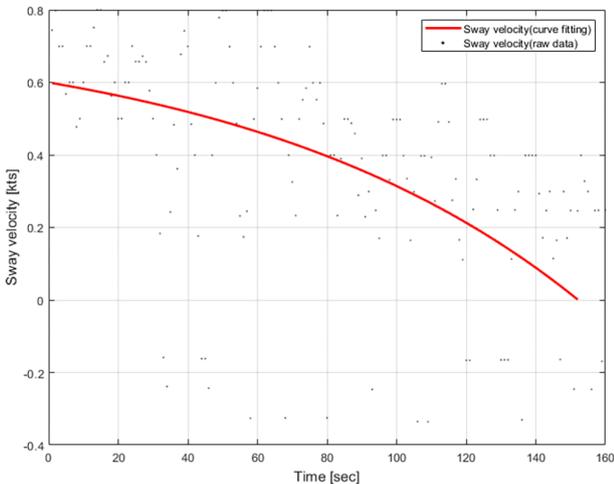


Fig. 9 Curve fitting result of sway velocity for berthing

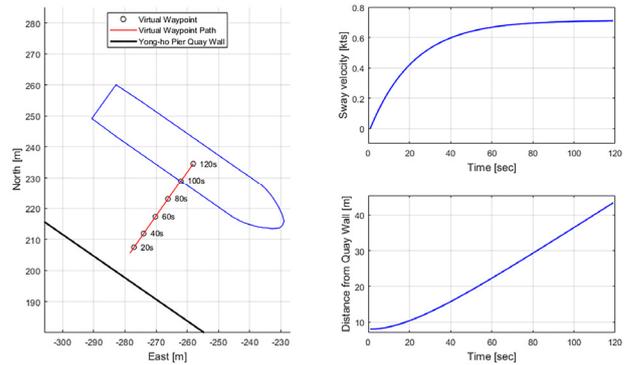


Fig. 10 Unberthing simulation by reference model

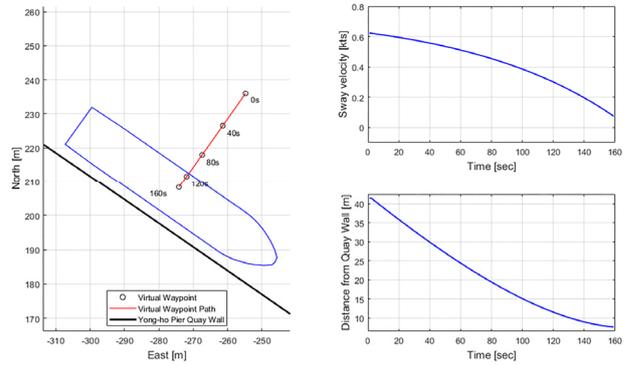


Fig. 11 Berthing simulation by reference model

Table 6 Comparison between NARA data and simulation at unberthing

	NARA	Simulation	Difference
Time [sec]	116	120	4.00
Distance [m]	36.1	36.1	-
Heading [deg]	125±6.36	constant	-

Table 7 Comparison between NARA data and simulation at berthing

	NARA	Simulation	Difference
Time [sec]	160	171	11.0
Distance [m]	37.4	37.4	-
Heading [deg]	125±10.6	constant	-

5. 결론

본 연구는 부경대학교 해양탐사선 나라호의 실제 이/접안 데이터를 분석하여 이/접안 시 횡방향속도 참조모형을 개발하였다. 사용된 데이터는 전문가 상황에 따라 안전하게 이/접안을 수행하여 신뢰성이 높기 때문에 참조모형 개발을 위한 데이터로 선정하였다. 전체 이/접안 과정 중 순수 횡이동 구간을 도출하기 위해 선박의 방위각과 속도에 대한 제약조건을 적용하였다. 도출한 구간의 추정된 횡방향속도에 대해 커브피팅을 수행하여 참조모형을 도출하였다. 이를 기반으로 이/접안 데이터와

참조모형을 비교하기 위해 재생산 시뮬레이션을 수행하였다.

이안의 경우, 대부분의 데이터가 순수 횡이동으로 이안을 수행하여 경향성이 비슷하였다. 시뮬레이션을 수행한 결과, 소요된 시간의 오차가 거의 없이 이안을 수행하여 참조모형의 성능을 검증하였다. 반면 접안의 경우, 바람과 조류와 같은 환경외란이 존재하고, 전문가의 접안 방식에 차이가 있어 대부분 피벗 또는 순수 횡이동이 아닌 운동으로 접안을 수행하였다. 순수 횡이동으로 접안을 수행한 하나의 데이터로 참조모형을 도출하였다. 소요된 시간의 오차는 이안보다 컸으나, 데이터와 피팅 사이의 발생한 오차라고 판단하였다. 추후 연구에서 순수 횡이동으로 접안을 수행한 데이터와 이/접안을 수행할 때의 환경외란의 데이터가 추가 확보하여 보다 실용적인 유도 시스템을 설계할 예정이다.

후 기

본 논문은 2020년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 '자율운항선박 기술개발사업(20200615, 지능형 항로 의사결정 기능을 갖는 자율운항 시스템 개발)'의 지원으로 연구되었습니다.

References

Djouani, K. & Hamam, Y., 1995. Minimum time-energy trajectory planning for automatic ship berthing. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 20(1), pp.4-12.

Fossen, T.I., 2002. *Marine control system-guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles*. Marine Cybernetics.

Im, N.K. & Nguyen, V.S., 2018. Artificial neural network controller for automatic ship berthing using head-up coordinate system. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 10(3), pp.235-249.

Kim, K.H., Kim, B.G. & Kim, Y.B., 2018. A study on the optimal tracking control system design for automatic ship berthing. *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, 22(4), pp.72-80.

Park, J.Y. & Kim, N.W., 2013. Modeling and controller design of crabbing motion for auto-berthing. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 27(6), pp.56-64.

Park, J.Y. & Kim, N.W., 2014. Design of an adaptive backstepping controller for auto-berthing a cruise ship under wind loads. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(2), pp.347-360.

Park, J.Y. & Lee, J.H., 2020a. A study on full-scale maneuvering trials using bow thruster. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 57(1), pp.52-59.

Park, J.Y. & Lee, J.H., 2020b. A study on full-scale crabbing test using dynamic positioning system. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 57(6), pp.345-352.

Son, N.S., Kim, S.Y., Yoon, H.K. & Lee, C.M., 2004. Study on auto-berthing and auto-deberthing system of ship using thrusters. *Journal of The Korean Society for Marine Environment & Energy*, pp.7-14.

Won, M.C. et al., 2008. A study on a nonlinear control algorithm for the automatic berthing of ships. *Journal of The Korean Society of Ocean Engineers*, 22(3), pp.34-40.

Yamato, H., Koyama, T. & Nakagawa, T., 1992. Automatic berthing using the expert system. *Proceeding of Workshop on Artificial Intelligence Control and Advanced Technology in Marine Automation(CAMS'92)*, pp.173-183.

Yamato, H., Uetsuki, H. & Koyama, T., 1990. Automatic berthing by the neural controller. *Proceeding of Ninth Ship Control Systems Symposium*, September, Bethesda, U.S.A. 3, pp.183-201.

Zhang, Y., Hearn, G.E. & Sen, P., 1997. A multivariable neural controller for automatic ship berthing. *IEEE Control Systems*, 17(4), pp.31-45.



김정현

조현재

김수림

이준호



박종용