

선박조종시뮬레이터를 활용한 예부선의 유체력 간섭 특성에 관한 연구

이상민* · 조상희**

* 군산대학교 해양생산학전공, ** 군산대학교 대학원

Characteristics of Hydrodynamic Interaction on Tug-Barge Using Ship Handling Simulator

Sang-Min Lee* · Sang-Hui Jo**

* Major in Marine Science and Production, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

** Graduate School, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

요 약 : 예부선 운항 시 부두의 접안, 이안 및 좁은 수로를 항행할 경우 접할 수 있는 안벽 근처의 항행과, 두 선박이 접근하여 평행 항로상을 반대 방향으로 항과할 경우의 유체력 상호작용을 살펴보기 위하여, 예선의 부선 예항 시뮬레이션을 실시한 후 부선의 선수방향, 예선의 회두 모멘트와 횡방향의 힘과 같은 특성을 조사 및 분석하여 그에 따른 안전한 예부선의 조선 방안을 제시하였다. 그 결과 부선의 과도한 회두운동을 감소시키기 위해서는 예선의 속도가 너무 느리지 않도록 미속상태의 속도를 유지하고, 예인선의 길이를 가능한 한 부선의 길이만큼 줄여 항행하는 것이 안전예항 업무에 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 예부선, 유체력 상호작용, 회두모멘트, 횡방향 힘, 예인선, 선박조종시뮬레이션

Abstract : In order to investigate the hydrodynamic interaction between the tug-barge and bank or ship which is crossing to the opposite direction, the towing simulations of tug-barge transportation were performed. Heading of barge, yaw moment and lateral force of tug boat were obtained by this simulation. The characteristics of results were analyzed and the safety towing method for tug-barge operation was proposed. In order to reduce the slewing motion of barge for safe towing operation, the speed of tug boat should be kept slow ahead state with shortened towing line as length of barge within the limits of the possible.

Key Words : Tug-barge, Hydrodynamic interaction, Yaw moment, Lateral force, Towing line, Ship handling simulation

1. 서 론

현재의 예선은 대형 선박의 접·이안, 비 자항선의 예항 및 압항, 해상건설업, 해상운송업, 구난 작업 등 다양한 방면에서 주도적인 역할을 담당하고 있다(이, 2007). 그러나 예부선의 대형화 및 척수의 증가와 더불어 해양사고의 발생 빈도 또한 점차 증가되고 있는 실정이다. 이에 국토해양부 및 국내의 예부선 업계에서도 예부선의 안전 운항에 대하여 여러 가지 노력을 기울이고 있다.

예부선의 운항 특성상 예선은 부선에 의하여 그 조종성능이 제한되어 안전상 많은 주의가 요구된다. 여러 종류의 예인 방법중 선미예인에 따른 조선은 사고의 발생 위험이 높기 때문에 항행 시 각별한 주의가 필요하다(임 등, 2005). 따라서 선미예인 방식에 대한 예부선의 안전한 운항 방안에 대하여 검토가 필요할 것이다.

본 연구에서는 예부선 운항 시 부두의 접·이안, 좁은 수로 항행 시 접할 수 있는 안벽 근처의 항행, 두 선박이 접근하여 평행 항로상을 반대 방향으로 항과할 경우 유체력의 상호작용에 따른 예부선의 운항 특성을 살펴보기 위하여 Transas사에서 개발된 선박조종시뮬레이터(SHS, Ship Handling Simulator)를 이용하여 Tug-barge 단독운항, Bank to tug-barge, Ship to tug-barge와 같이 안벽이나 교차하는 선박과 예부선에 대한 상호 유체력 간섭 현상의 특성을 시뮬레이션을 실행하여 조사하였다. 이와 같이 수행된 시뮬레이터 결과를 이용하여 예인되는 부선의 회두운동, 예선에 작용하는 회두 모멘트와 횡방향의 힘과 같은 유체력 특성을 분석함으로써 선미예인 방식에 의한 부선의 예항시 타 물체와의 상호 간섭효과에 의하여 나타날 수 있는 현상을 파악하고자 한다.

2. 선박조종시뮬레이션의 개요

선박조종시뮬레이터는 도선사, 선장 및 항해사의 선박조종 훈련과 항만개발에 사용되는 모의 선박조종장비로서 선박의

* 대표저자 : 종신회원, smlee@kunsan.ac.kr , 063-469-1814

** shjo@kunsan.ac.kr , 063-469-1811

안전운항 및 항만개발연구에 이용되는 장비이다. 본 연구에서는 Transas사에서 개발된 SHS(Ship Handling Simulator)를 이용하여 예부선과 안벽 및 타 선박과의 상호 유체력 간섭효과와 관련된 시뮬레이션을 실시한다. 본 연구에서 사용된 선박조종 시뮬레이터는 국제해사기구(IMO)에서 권장하는 선박조종시뮬레이터의 성능 요건을 만족하며 시뮬레이션 실행 화면은 Fig. 1과 같다.

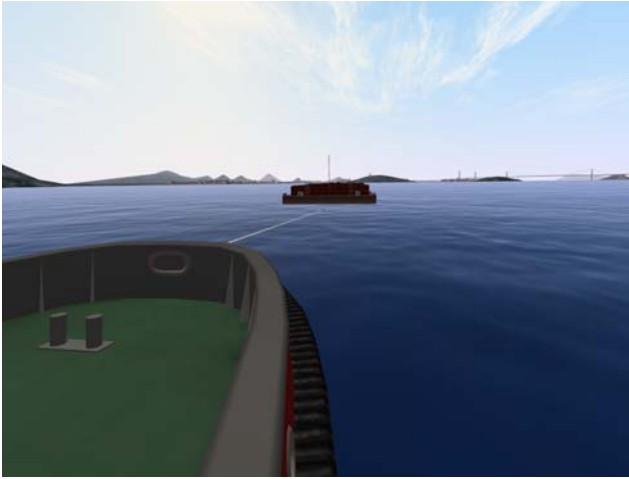


Fig. 1. Snapshot of towing barge simulation.

3. 선체운동방정식

본 시뮬레이션에 사용된 선체운동방정식의 좌표계는 Fig. 2와 같다. 선체중심점 O점으로부터 선수쪽 방향을 X축, 우현쪽 방향을 Y축, 선저쪽 방향을 Z축의 양(+)의 방향으로 하는 고정된 직각좌표계를 사용하여 선체운동을 구현한다(NAVI-TRAINER 4000, 2003).

또한 선체운동계산에 사용된 선체운동방정식은 식(1)~(9)와 같다.

$$(m + \lambda_{11}) \frac{dV_x}{dt} + (m + \lambda_{22}) V_y \omega_z + (m + \lambda_{33}) V_z \omega_y = \Sigma F_x + \Sigma F_{x(M)} \quad (1)$$

$$(m + \lambda_{22}) \frac{dV_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) V_z \omega_x - (m + \lambda_{33}) V_y \omega_x = \Sigma F_y + \Sigma F_{y(M)} \quad (2)$$

$$(m + \lambda_{33}) \frac{dV_z}{dt} - (m + \lambda_{11}) V_z \omega_y - (m + \lambda_{22}) V_y V_z = \Sigma F_z + \Sigma F_{z(M)} \quad (3)$$

$$(J_x + \lambda_{44}) \frac{d\omega_x}{dt} + [(J_z + \lambda_{66}) - (J_y + \lambda_{55})] \omega_y \omega_z + (\lambda_{33} - \lambda_{22}) V_y V_z = \Sigma M_x + \Sigma M_{x(M)} \quad (4)$$

$$(J_y + \lambda_{55}) \frac{d\omega_y}{dt} + [(J_x + \lambda_{44}) - (J_z + \lambda_{66})] \omega_x \omega_y$$

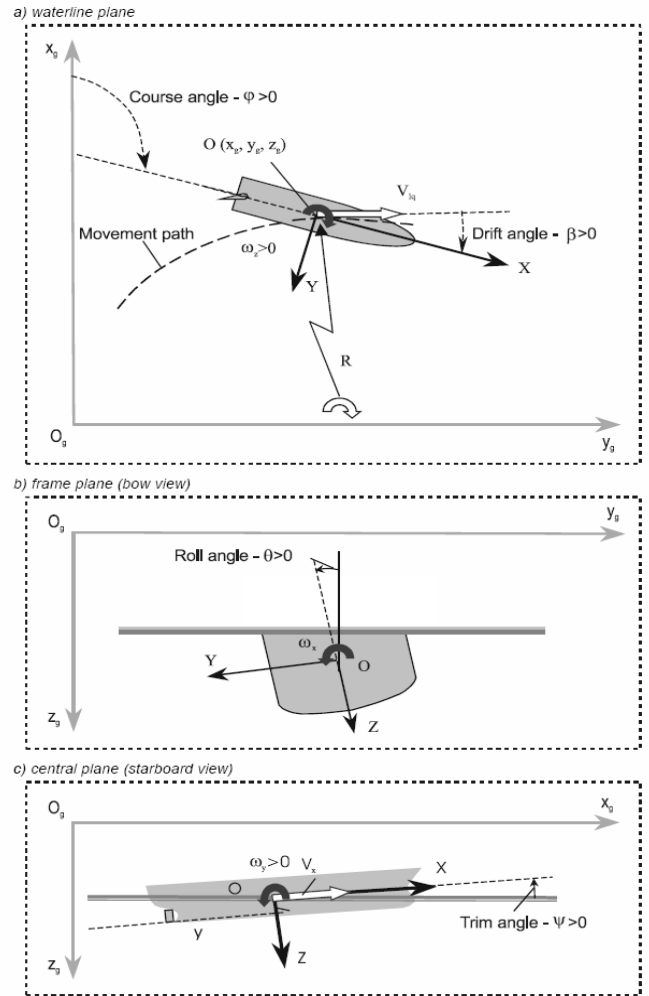


Fig. 2. Coordinates systems.

$$+ (\lambda_{11} - \lambda_{33}) V_x V_z = \Sigma M_y + \Sigma M_{y(M)} \quad (5)$$

$$(J_z + \lambda_{66}) \frac{d\omega_x}{dt} + [(J_y + \lambda_{55}) - (J_x + \lambda_{55})] \omega_z \omega_y + (\lambda_{22} - \lambda_{11}) V_y V_z = \Sigma M_z + \Sigma M_{z(M)} \quad (6)$$

$$\bar{x}_g = V_x \cos \phi \cos \psi + V_y (\sin \theta \cos \phi \sin \psi - \cos \theta \sin \phi) + \omega (\cos \theta \cos \phi \sin \psi + \sin \theta \sin \phi) \quad (7)$$

$$\bar{y}_g = V_x \sin \phi \cos \psi + V_y (\sin \theta \sin \phi \sin \psi + \cos \theta \cos \phi) + \omega (\cos \theta \sin \phi \sin \psi - \sin \theta \cos \phi) \quad (8)$$

$$\bar{z}_g = -V_x \sin \psi + V_y \sin \theta \cos \psi + \omega \cos \theta \cos \psi \quad (9)$$

단, J_x, J_y, J_z 는 각축의 관성모멘트, $\lambda_{11}, \lambda_{22} \dots \lambda_{66}$ 는 부가질량, V_x, V_y, V_z 는 각축의 선속도 성분, $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 는 각속도 성분을 나타낸다.

예선에 작용하는 횡방향의 힘과 회두모멘트는 각각 아래의 식 (10)과 (11)을 이용하여 구하게 된다.

$$\Sigma F_y = (F_{yBH} + \Sigma F_{yR} + F_{yP} + F_{yTHR}) + F_{yA} + F_{yC} + F_{yW} + F_{ybank} + F_{yShip} \quad (10)$$

$$\Sigma M_z = (M_{zBH} + \Sigma M_{zR} + M_{zP} + M_{zTHR}) + M_{zA} + M_{zC} + M_{zW} + M_{zbank} + M_{zbot} + M_{zShip} \quad (11)$$

4. 선박조종시물레이션의 실행

4.1 지형 · 지물 데이터베이스

선박조종시물레이션을 위한 데이터베이스는 지형 · 지물 데이터베이스와 선박 데이터베이스의 2가지로 이루어진다. 시물레이션 대상 항만에 대한 2차원 영상 데이터베이스로는 SHS 프로그램의 해당수역에서의 해안선 지형, 수심 등이 설정되어 있는 데이터베이스를 전자해도에서 선택하여 참조 하였다. Fig. 3은 안벽부근을 항해하는 예부선의 시물레이션을 실행하기 위해 설정한 해역을 나타내고 있다. 안벽의 간섭 현상을 파악하기 위한 안벽 부근 항행시에는 수심이 15m, VLCC와 마주치는 상황은 수심 50m의 해역에서 시물레이션을 실시하여 천수영향이 없도록 하였다.

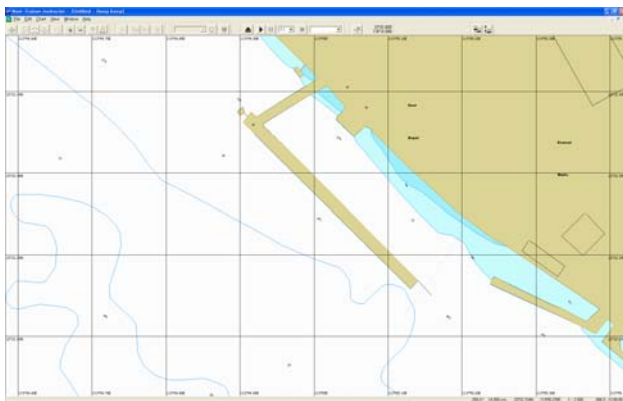


Fig. 3. Simulation area around the bank.

4.2 선박 데이터베이스

시물레이션에 사용된 모델 선박은 총 세 종류의 선박으로 Tug, Barge, VLCC로 구성되어 있으며, Table 1과 Fig. 4에 기본적인 제원과 그림을 나타내었다.

Table 1. Principal particulars of model ship

Classification	Displacement(t)	LOA(m)	Dreadth(m)	Draft (bow, stern)	Power (kw)
Tug	535	32	10	3.0, 4.3	2×1104
Barge	318	47	16	0.6	.
VLCC	321,260	332	58	20.8	23,493

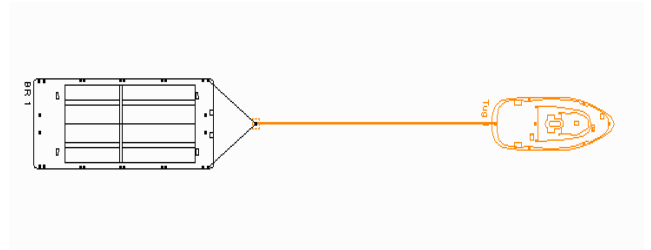


Fig. 4. 2,959hp tug and barge.

예선과 부선을 연결하는 예인삭은 폴리에틸렌 성분의 로프를 이용하고 실제 실무에서 많이 채택하고 있는 Bridle을 만들어 두 척이 이어지도록 하였다.

Table 2. Scenario of ship handling simulation

Scenario	Situation	Speed	Length of towing line	Distance between barge and bank/VLCC	Type
S-1	Tug-barge	Slow (7.3kt)	1L	.	Stern barge type
S-2			2L	.	
S-3			3L	.	
S-4		Dead slow (5.4kt)	1L	.	
S-5			2L	.	
S-6			3L	.	
S-7	Tug-barge to bank	Slow (7.3kt)	1L	1.5B	
S-8				1.75B	
S-9			2B		
S-10			2L	1.5B	
S-11				1.75B	
S-12			2B		
S-13		3L	1.5B		
S-14			1.75B		
S-15			2B		
S-16		Dead slow (5.4kt)	1L	1.5B	
S-17				1.75B	
S-18				2B	
S-19	2L		1.5B		
S-20			1.75B		
S-21			2B		
S-22	Slow (7.3kt)	3L	1.5B		
S-23			1.75B		
S-24			2B		
S-25		Dead slow (5.4kt)	1L	1.5B	
S-26				1.75B	
S-27			2B		
S-28	2L		1.5B		
S-29			1.75B		
S-30	2B				
S-31	Tug-barge to VLCC	3L	1.5B		
S-32			1.75B		
S-33			2B		
S-34		1L	1.5B		
S-35			1.75B		
S-36			2B		
S-37	Dead slow (5.4kt)	2L	1.5B		
S-38			1.75B		
S-39		2B			
S-40	3L	1.5B			
S-41		1.75B			
S-42		2B			

4.3 선박조종시뮬레이션 시나리오

본 연구에서 시행된 시뮬레이션 상황이 Table 2에 나타나 있다. [S-1]~[S-6]은 안벽과 선박간의 상호작용이 일어나지 않는 예부선 단독 시뮬레이션 상황이며, [S-7]~[S-24]는 예부선 항행과 안벽과의 상호작용을 알아보기 위하여 예인선의 길이별, 안벽과의 떨어진 거리의 차이별로 시뮬레이션을 실시하였다.

또한 [S-25]~[S-42]는 [S-1]~[S-6]의 상황에 VLCC와 상호 마주치는 상황에 대한 예부선과의 상호작용을 살펴보기 위한 시뮬레이션에 해당된다. 예부선 자체의 운항 특성을 파악하기 위하여 외력(조류, 바람 등)의 영향은 없도록 하였다. 예인선 길이와 안벽, VLCC와의 횡방향 통과 거리의 기준은 모두 부선의 길이와 폭을 기준으로 하였고, 상호 마주치는 상황의 VLCC의 속도는 Full speed로 고정하였다.

4.4 선박조종시뮬레이션 방법

본 연구에서의 선박조종시뮬레이션 모델 선박은 2,959마력급 예인선, 배수량 318톤급 부선 및 321,260톤급(DWT) VLCC를 대상선박으로 선정하여 실시하였다. 선박조종시뮬레이터를 이용하여 앞에서 기술한 시나리오 조건에서의 예부선에 대한 유체력 특성에 대하여 조사하였으며, 시뮬레이션의 전 과정은 다음의 순서에 따라 수행하였다. 이와 같은 과정에 의해 실시한 시뮬레이션 결과 모습을 Figs. 5~10에 나타내었다

① 데이터베이스의 개발

검토 해역에서 선박의 조종에 영향을 미치는 지형 및 안벽, 항로표지, 수심 등의 자료를 토대로 실제와 같은 상황의 재현이 가능하도록 대상해역을 선택하였다.

② 모델선박의 선정

예부선의 유체력 특성을 분석하기 위하여 2,959마력급 예인선, 배수량 318톤급 부선 및 321,260톤급 VLCC를 대상선박으로 선정하였다.

③ 예비 시뮬레이션

설정된 표준 조종모델의 타당성을 검증하고 필요에 따라 모델을 수정하기 위해 예비 시뮬레이션을 실시하였다.

④ 실제 시뮬레이션

예비 시뮬레이션 이후 조종 모델을 수정하여 선박조종시뮬레이션 시나리오상의 시뮬레이션을 실시하였다.

⑤ 평가

위의 시뮬레이션 결과 수집된 자료들을 바탕으로 부선의 Heading, 예선의 Lateral force, Yaw moment, Sway, Yaw 항목을 분석 및 평가하였다.

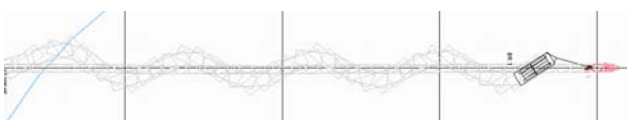


Fig. 5. Track of tug-barge (1L).

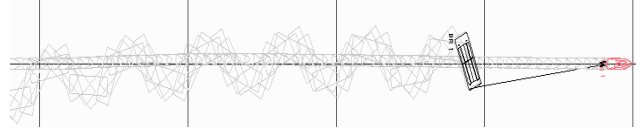


Fig. 6. Track of tug-barge (3L).

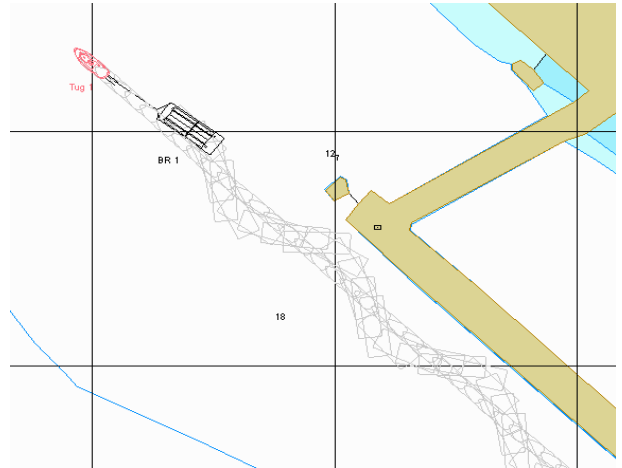


Fig. 7. Track of tug-barge to bank (1L).

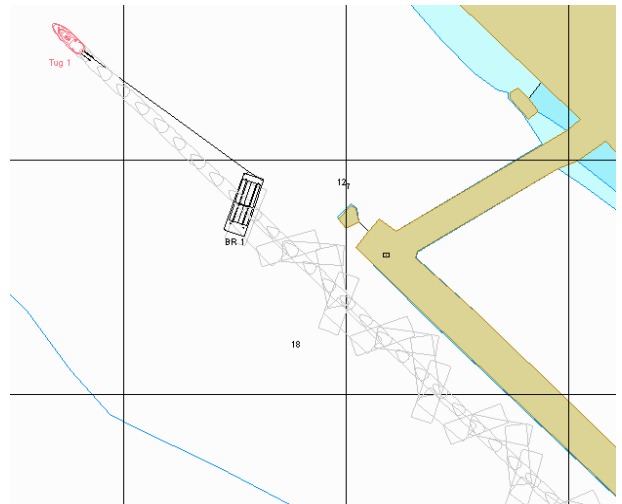


Fig. 8. Track of tug-barge to bank (3L).

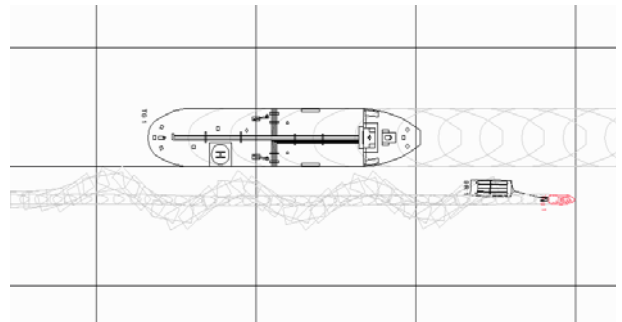


Fig. 9. Track of tug-barge to VLCC (1L).

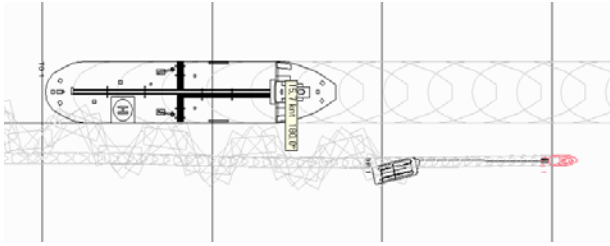


Fig. 10. Track of tug-barge to VLCC (3L).

4.5 시뮬레이션 분석

1) 예인삭 길이의 영향

예인삭의 길이에 의한 영향을 파악하기 위하여 예인삭의 길이를 1L, 2L, 3L로 각각 정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 'L'은 부선의 전장을 기준으로 하였다. Fig. 11에서 나타난 바와 같이 예인속도가 7.3kts인 경우 '1L'에서는 부선의 회두가 좌우 각각 40° 정도로 가장 적음을 알 수 있고, '2L'에서는 57° 정도로 점차 커지며, '3L'에서는 부선의 회두가 약 70° 정도로 매우 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 회두주기를 비교해 보면, '3L'의 경우 45초의 주기를 지닌 채 좌우회두운동을 하지만 '2L'에서는 50초, '1L'에서는 60초로 각각 1.1배 및 1.3배 주기가 길어지는 현상을 파악할 수 있었다.

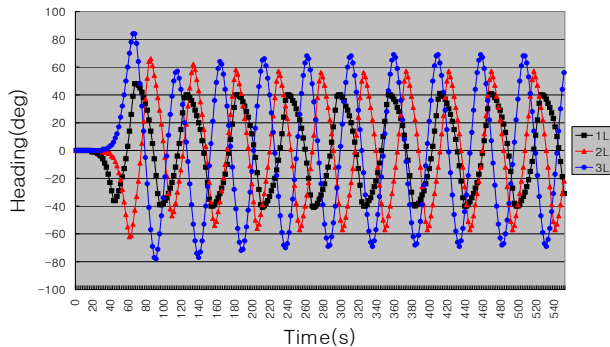


Fig. 11. Comparison of the heading of barge at different towing line(v=7.3kts).

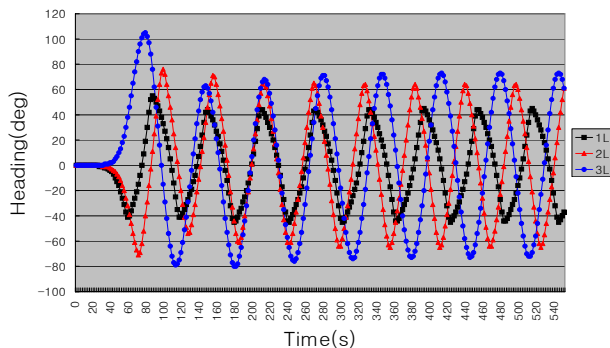


Fig. 12. Comparison of the heading of barge at different towing line(v=5.4kts).

또한 Fig. 12는 예인속도가 5.4kts로 감속된 경우에 해당되며,

이 경우 '1L'에서는 부선의 회두가 좌우 각각 44°~45° 정도로서 7.3kts로 예인할 경우보다 증가되고, '2L'의 경우에는 6°~7° 정도, '3L'의 경우에는 3°~4° 정도 커지는 현상을 보여주고 있다. 이상을 종합하여 보면 예인삭의 길이가 길어질수록 부선의 회두 진폭은 점차 증가하며 선속이 감소될수록 그 차이는 더욱 커지는 것으로 나타나고 있다.

2) 통과거리에 따른 영향

안벽 및 교차 선박과의 횡방향 통과거리의 차이에 의한 유체력 간섭 현상을 조사하기 위하여 Bank to tug-barge, Ship to tug-barge의 통과거리를 1.5B, 1.75B, 2B로 정하여 시뮬레이션을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 13과 Fig. 14에 제시하였다. 이때 'B'는 부선의 선폭을 기준으로 하였다.

먼저 Lateral force의 특성을 살펴보면, 안벽과 접하게 되는 90초부터 420초까지는 안벽에서 밀어내려고 하는 힘(음의 방향)이 두 배 정도 커지는 모습을 확인할 수 있다. 그리고 Yaw moment 측면에서는 안벽에 접근하기 직전부터 안벽의 반대방향으로 회두시키려는 모멘트(음의 방향)가 크게 작용하다가 안벽의 중간지점을 지난 이후부터는 비교적 좌우균형을 이루는 대칭적인 모습을 형성하고 있는 것으로 파악할 수 있다. 통과거리 1.5B, 1.75B, 2B 모두 유사한 크기와 주기 성분을 보여주고 있다. Lateral force 및 Yaw moment 모두 안벽에 접근하기 바로 직전에 안벽 반대방향으로 밀어내려는 경향이 매우 크게 작용하므로 부선을 예인하는 예선은 안벽 진입시 더욱 큰 주의가 필요하다고 할 수 있다.

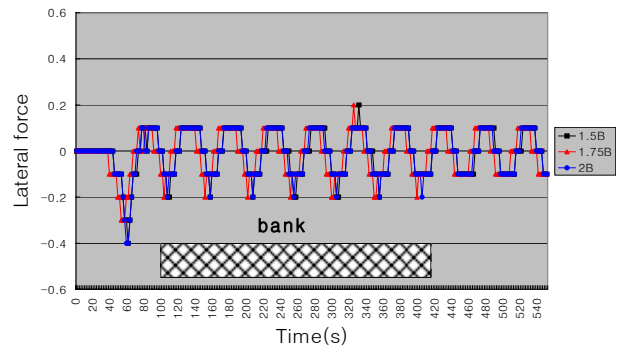


Fig. 13. Comparison of the lateral force on tug at different breadth (v=7.3kts, l=3L, state=bank).

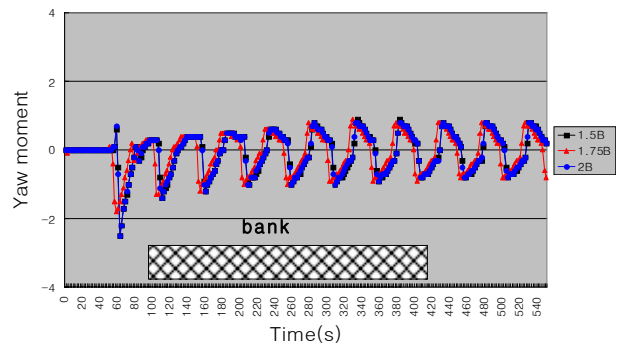


Fig. 14. Comparison of the yaw moment on tug at different breadth (v=7.3kts, l=3L, state=bank).

3) 예인속도의 영향

예선에 의한 예인속도의 영향을 파악하기 위해서 예부선의 항행속도를 7.3kts(slow)와 5.4kts(dead slow)로 정하여 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 15(예부선 단독항행)와 Fig. 16(안벽 근처의 항행)에서 나타난 바와 같이 부선의 경우 7.3kts보다 5.4kts의 경우, 즉 선속이 느릴 경우 회두의 진폭이 4°(예부선 단독 항행)와 5°(안벽근처 항행) 정도 가량 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 선속의 차이에 의한 부선의 회두주기는 상대적으로 속도가 빠른 7.3kts의 경우 1.4배 정도 빠른 것으로 파악된다. 예인선의 선속에 따른 부선의 회두는 선속이 느릴 경우 부선의 회두각은 커지고 예선의 Lateral force에 의한 Sway와 Yaw moment에 의한 Yaw는 작아지며, 선속이 빠를 경우 부선의 회두각은 적어지나 예선의 Sway 및 Yaw의 진폭은 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

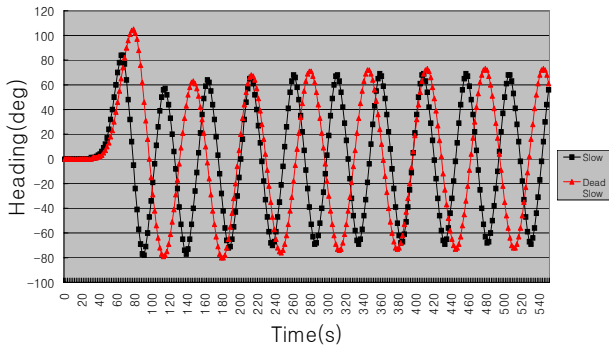


Fig. 15. Comparison of the heading of barge at different ship speed (v=7.3kts, 5.4kts, l=3L).

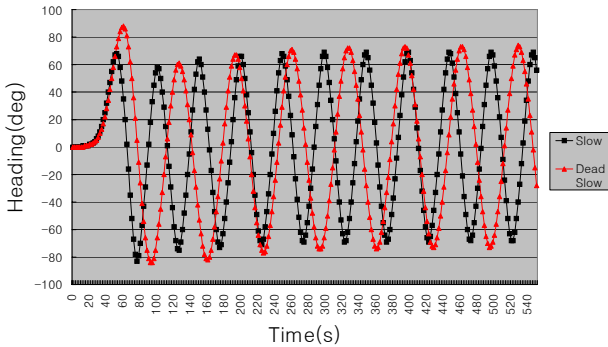


Fig. 16. Comparison of the heading of barge at different ship speed (v=7.3kts, 5.4kts, y=1.75B, l=3L, state=bank).

5. 결 론

본 연구에서는 예부선 운항 시 부두의 접·이안, 좁은 수로 항행 시 접할 수 있는 안벽근처의 항행, 그리고 두 선박이 평행 항로상의 반대방향으로 항파할 경우의 시뮬레이션을 실시하여 부선의 선수방향, 예선에 작용하는 회두 모멘트와 횡방향의 힘 등에 대한 특성을 조사한 결과 다음과 같은 내용을 파악할 수 있었다.

예부선 항행 시 예선과 부선에 연결된 예인삭의 길이가 짧을 수록 부선의 회두가 작아짐을 알 수 있다. 즉 ‘3L’의 경우 ‘1L’에 비하여 약 1.75배 부선의 회두가 증가하고 있는 것으로 파악되었다. 또한 예부선에 대한 안벽이나 교차 선박과의 통과거리가 가까울수록 예선의 Lateral force 및 Yaw moment가 증가하는 현상이 발견되었다. 이러한 유체력 변화가 예선의 조종 안정성에 영향을 미치어 안전한 예항업무를 방해하는 요소로 작용할 것으로 판단된다.

예선의 선속에 따른 부선의 회두는 극미속 상태의 선속일 경우 부선의 회두는 미속상태에 비하여 4°~5° 정도 커지고 예선의 Sway 및 Yaw의 운동 진폭은 작아지고 있음을 확인할 수 있었다. 그에 반하여 예선의 선속이 미속 상태일 경우 부선의 회두는 작아지나 예선의 Sway 및 Yaw는 증가하고 있음을 알 수 있다.

따라서 부선의 과도한 회두운동을 감소시키기 위해서는 예선의 속도가 너무 느리지 않도록 미속 상태의 속도를 유지하고, 예인삭의 길이를 가능한 한 부선의 길이만큼 줄여 항행하는 것이 안전 예항 업무에 도움이 될 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 이상평(2007), 우리나라 曳浮船業의 競爭力 強化方案에 관한 研究, 한국해양대학교 산업대학원 석사학위논문, pp. 1-3.
 [2] 임남균, 박성현, 박계각, 서기열(2005), 예부선 운항 안전 현황 연구, 2005년도 해양환경안전학회 추계학술발표회 논문집, pp. 41-46.
 [3] NAVI-TRAINER 4000 Mathematical Models Technical Description(2003), Transas Ltd., pp. 19-23.

원고접수일 : 2008년 10월 06일

원고수정일 : 2008년 11월 10일(1차)

2008년 12월 22일(2차)

2009년 03월 04일(3차)

게재확정일 : 2009년 03월 20일