

부선의 안전운항 향상 방안 연구

A Study on Improvements of Safe Operation of Barge

김부영^{†*}, 박정대^{*}, 김영두^{*}, 강원식^{**}, 이상민^{***}

Bu-Young Kim^{†*}, Jeong-Dae Park^{*}, Young-Du Kim^{*}, Won-Sik Kang^{**}, Sang-Min Lee^{***}

요 약 문

부선은 타 선박에 비해 운항조건 등의 특성상 많은 어려움과 위험에 노출된 채 해상운송 업무를 수행하고 있으며, 예부선 해양사고는 일반 선박보다 40%이상 높게 나타나고 있다. 본 연구는 부선의 안전운항에 필요한 정량적이고 객관적인 정보를 제공하기 위해 실무에서 가장 많이 사용되고 있는 선수 형상을 지닌 부선을 대상으로, skeg와 bridle이 부선의 회두운동에 미치는 영향 조사를 위한 수조실험을 통해 부선의 동적 거동에 의한 예인장력의 변동을 측정하고, skeg가 선수 형상이 다른 부선의 침로안정성에 미치는 영향을 분석·검증하여 예부선의 안전예항 방안을 도출하였다.

※ **Keywords** : 예부선 안전운항, skeg, bridle, 부선 회두운동, 침로안정성

1. 서 론

다양한 분야에서 유용하게 활용되고 있는 예부선은 타 선박에 비해 운항조건 등의 특성상 많은 어려움과 위험에 노출된 채 해상운송업무를 수행하고 있는 실정이다. 특히, 부선과 결합된 예부선은

부선으로 인하여 조종성능이 제한되며, 조류, 바람, 파도 등과 같은 외력의 영향으로 운항 안정성 확보에 많은 어려움이 발생하고 있다.

본 연구에서는 부선의 안전운항 업무를 위하여 정량적이고 객관적인 정보를 제공하고자 실무에서 가장 많이 사용되고 있는 3가지 유형의 선수 형상을

†* 논문 주저자, 선박안전기술공단

** 선박안전기술공단

*** 군산대학교 해양생산학과 교수

지닌 부선을 대상으로 ① skeg와 bridle이 부선의 회두운동에 미치는 영향 조사를 위한 수조실험으로 부선의 동적 거동에 의한 예인장력의 변동 측정, ② CFD를 이용하여 skeg에 의한 부선 주위의 유동장 변화 조사와 skeg가 선수 형상이 다른 부선의 침로안정성에 미치는 영향을 분석하고 검증을 통하여 예부선의 안전예항 방안에 대하여 도출하였다. 그리고 예부선 안전운항을 위한 국내 및 국외의 지침 분석을 통하여 지침 안에 대하여 고찰하였다.

2. 예부선 해양사고 현황

2.1 해양사고 발생현황 분석

최근 5년간(2008년~2012년) 해양사고 발생건수는 총 3,612건, 연평균 722.4건이며, 같은 기간동안 해양사고 발생척수는 4,711척, 연평균 942.2척이다.

2012년 해양사고 발생건수는 726건으로 2008년 480건 대비 약 51% 증가, 발생척수는 2012년 1,002척으로 2008년 636척 대비 약 57% 증가한 것으로 나타났다.

Table 1 최근 5년간 해양사고 발생추이('08~'12)
(단위 : 척/건)

연 도	해양사고척수	해양사고건수
2008	636	480
2009	915	723
2010	961	737
2011	1,197	946
2012	1,002	726
합 계	3,709	2,886

최근 5년간 선박용도별 해양사고를 분석하면 최근 5년간 해양사고 발생건수와 동일하게 모든 선박의 해양사고가 증가한 것으로 나타났다.

한편, 최근 5년간 선박용도별 해양사고는 어선이 총 3,373건이 발생되어 전체해양사고 대비 71.6%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 나머지 비어선의 해양사고는 화물선, 기타선, 예선, 유조선, 여객선 순으로 많이 발생한 것으로 나타났다.

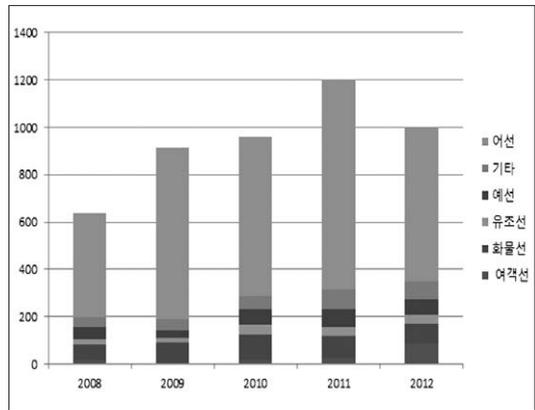


Fig. 1 최근 5년간 선박용도별 해양사고 현황

비어선 해양사고 중 예선은 약 21%를 차지하고 있는 것으로 나타나 예부선의 해양사고가 비어선 해양사고의 상당한 부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

최근 5년간 선박용도별 해양사고 원인현황을 분석하면 전체 해양사고 중 82%가 운항과실로 인해 발생한 것으로 나타나 해양사고의 주요 원인이 운항과실인 것으로 조사된다.

운항과실의 주요 내용은 ① 해상충돌예방 규칙 등 충돌회피를 위한 법령 규제사항 미준수, ② 경계, 선위확인, 침로선정 유지 등 항해 일반 원칙적 미준수, ③ 창구폐쇄, 적하상태 점검, 수로도지 비치 등 출항전 준비의 부적절, ④ 직무명령, 미준수,

당직보고, 인계 등 부적절, ⑤ 운항과실, 기타 등으로 나타났다.

Table 2 최근 5년간 선박용도별 해양사고 운항과실 현황('08~'12)

(단위 : 건)

	여객선	화물선	유조선	예선	기타	어선	합계
2008	4	29	12	18	8	51	122
2009	2	16	11	19	4	61	113
2010	5	32	14	24	4	46	125
2011	3	25	13	22	6	39	108
2012	2	11	14	21	7	64	119
합 계	16	113	64	104	29	261	587
원인총계	28	139	83	130	39	466	885
비율(%)	57	81	77	80	74	78	

2.2 예부선 안전운항 위해요소 분석

2.2.1 예부선 해양사고 및 선박등록 현황

최근 5년간 비어선의 선박용도별 해양사고 결과, 화물선, 기타선, 예선, 유조선, 여객선 순으로

Table 3 최근 5년간 선박용도별 등록척수 현황 ('08~'12)

(단위 : 척)

	선종	2008	2009	2010	2011	2012
선박 등록 척수	여객선	207	200	203	212	221
	화물선	855	820	819	810	798
	유조선	747	721	737	729	721
	예 선	1,259	1,245	1,246	1,271	1,283
	계	3,817	3,750	3,769	3,762	3,752

해양사고가 발생한 것을 알 수 있고 어선을 제외하면 일반 화물선 및 예선 등이 비어선 해양사고의 상당 부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

특히, 비어선 해양사고 중 약 21%를 차지하고 있는 예선의 등록척수는 전체 비어선 선박의 약 40%를 차지하고 있어 예선에 대한 실질적인 안전운항 증진을 위한 노력이 더욱 필요할 것으로 판단된다.

2.2.2 최근 5년간 예부선 사고 유형별 발생 현황

최근 5년간 예부선 사고 유형을 살펴보면 기타(안전운항 저해 등), 충돌, 좌초 순으로 전체 해양사고 유형과 비슷하게 나타났다.

하지만, 기타(안전운항 저해 등)와 충돌, 좌초가 예부선 전체 해양사고의 약 80%를 차지하는 것으로 나타나 타 선종보다 예부선에서 기타(안전운항 저해 등), 충돌 및 좌초사고가 더 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

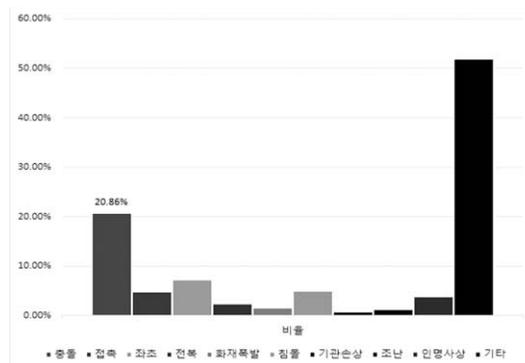


Fig. 2 최근 5년간 예선 해양사고 유형별 발생현황 ('08~'12년)

1) ① 해상충돌예방 규칙 등 충돌회피를 위한 법령 규제사항 미준수, ② 경계, 선위확인, 침로선정 유지 등 항해 일반 원칙 미준수, ③ 창구폐쇄, 적하상태 점검, 수로도지 비치 등 출항전 준비의 부적절, ④ 직무명령, 미준수, 당직보고, 인계 등 부적절, ⑤ 운항과실, 기타 등

2.2.3 최근 5년간 예부선 사고 원인현황

예부선의 해양사고 원인 분석결과, 80%이상인 운항과실¹⁾로 인해 발생한 것으로 분석되었다. 이는 전체 선박의 해양사고 주요원인과 일치한다.

Table 4 최근 5년간 예부선 해양사고 원인현황 ('08~'12)

(단위 : 건)

해양사고 원인	예선	비율 (%)
운항과실	104	80.6
적화작업, 어로작업, 선내작업 등을 행함에 재해방지를 위한 행위 부적절	8	6.2
기관의 구조, 공작재질 등의 안전성 결함	5	3.9
전기설비, 하역설비 등 의장의 안전성 결함	4	3.1
선박운항관리 부적절	1	0.8
불가항력	1	0.8
기 타	4	3.1
원인불명	2	1.6
합 계	129	100

2.2.4 예부선 안전운항 위해요소 분석

예부선 안전운항 위해요소는 다른 선박 대부분의 사고원인과 같이 인적과실의 부분이 운항과실에 의하여 발생하는 것으로 분석되었다.

하지만, 예부선은 타 비어선 선박에 비하여 야간시 및 가까운 거리에서의 선박 및 장애물과 조우하는 경우 사고가 비교적 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

이는 예부선의 제한적인 조종성능이 크게 작용하는 것으로 판단되며, 예부선 운항자에 대한 교육 및 지침의 마련이 필요할 것으로 생각된다.

또한, 예부선의 제한적인 조종성능을 고려하여 조종성능 향상 방안 마련 등의 노력이 필요할 것으로 판단된다.

3. 예부선 안전성 확보를 위한 지침 개선방안 고찰

3.1 예부선 운항관련 법규

3.1.1 예부선 운항관련 국내 법규

예인선의 선박소유자가 부선 및 구조물 등을 예인하고자 하는 때에는 선박안전법 제43조에 따라 예인선향해검사를 받아야 한다. 예인선향해 검사에 합격한 예인선은 예인선향해검사증서를 발급받으며, 선박소유자는 예인선향해 검사증서를 해당 예인선에 비치하여야 한다. 예인선향해검사는 선박안전법 시행규칙 제81조에 따라, 부선과 구조물 등을 예인하기 위하여 갖추어 둔 예인설비 등에 대하여 1년마다 예인선향해검사증서의 유효기간이 끝나는 날 전후 3개월 이내에 검사를 받아야 한다. 다만, 압항부선과 결합하여 운항하는 예인선과 평수구역에서만 운항하는 예인선의 경우에는 예인선향해검사를 받지 아니한다.

3.1.2 국제해사기구(IMO)의 안전예항 지침

국제해사기구(IMO)에서는 항해 안전 및 해양 환경 보호를 위해 상업적으로 예인작업 수행하는 예인선의 지침서 개발 필요성을 인식하여 1998년

3월 제43차 선박설계·의장 전문위원회에서(DE) 안전 예방지침서를 개발하였으며, 1998년 12월 제70차 해상안전위원회(MSC)에서 검토 후, 안전 예방지침서(MSC/Circ.884, GUIDELINES FOR SAFE OCEAN TOWING)를 최종 승인 하였다.

3.2 예부선 교육지침 개발

3.2.1 일본의 예부선 시스템 현황

일본의 경우, 예선 선원(항해사, 선장 포함)의 대부분은 해상기술학교에서 배출된다. 일본의 선원교육기관은 크게 외항과 내항으로 구분할 수 있으며, 외항 선원은 상선계 대학과 상선고등전문학교에서 교육하여 배출하고, 내항 선원은 해기대학교와 해상기술단기대학교, 해상기술학교에서 교육·배출한다.



Fig. 3 일본의 선원교육 개요

예선 선원의 대다수를 교육 배출하고 있는 해상 기술학교의 경우, 특별히 예선에 대한 교과목

또는 교육 프로그램을 운영하고 있지는 않다. 주로 일본의 내항 선박에 승선하는 4급 해기사로서 갖추어야 할 전문지식 중심으로 교육하는 시스템을 운영하고 있다.

그에 비하여 예선 회사는 예선 선원으로서 신입 사원을 채용하면, 기본적으로 예선에 관한 이론 교육을 회사에서 실시하고, 보다 중요한 교육 내용은 현장(예선)에서 선장에게 책임과 권한을 주어 엄격하게 시행하는 교육시스템을 운영하고 있다. 선장은 예선의 안전과 운항에 관한 전반적인 내용을 수시로 교육하고, 그 결과를 보고서 형태로 회사에 제출한다.

그리고 1년에 1회, 교육에 대한 내용 및 결과를 포함하는 인사고과를 실시하여 회사에 제출하고, 회사에서는 예선 선장에 대한 신뢰 및 권한 인정 등을 기반으로 하여 인사고과를 충실히 반영하는 조치(예를 들어, 승진 등)를 취함으로써 선원들의 교육 충실도 및 참여도를 제고한다.

재교육 부분에 있어서의 대표적인 예선 교육 프로그램은 시뮬레이터 교육이다. 예선 회사의 요청에 의하여 맞춤형 시뮬레이터 사용 프로그램(주로 직진, 후진, 선회, 대형선박의 접안 및 이안 등의 예선 조종술)이 해기대학교에 개설되어 운용 중에 있으며, 4명이 1조가 되어 진행되는 2일 코스이다.

3.2.2 예부선 교육훈련 지침

3.2.2.1 예부선의 일반 특징

예부선에 승선하고자 하는 선장 및 항해당직을 담당하는 해기사는 그 임무를 수행하기 전에 예부선의 운항 특성을 고려하여 적절한 경험과 훈련을

받는 것이 중요하다. 이러한 경험과 훈련은 실제 승선하는 선박과 동일한 선박 또는 유사한 선박의 조종 및 운용특성을 가진 승인된 선박조종시물 레이더 과정을 이수함으로써 가능하게 된다.

훈련과 교육은 적절한 자격과 경험을 갖춘 자에 의하여 실시되어야 하고 획득한 지식, 이해 및 경험은 예부선 종사자로 하여금 해상에서의 인명의 안전과 해양환경보호를 적절히 고려하여 선박을 안전하게 운항할 수 있어야 한다.

또한, 예부선을 운항하는데 있어서 요구되는 전문 용어, 종류, 설계 및 기관에 관한 지식, 예부선에서 주로 발생할 수 있는 위험상황 및 조치에 관한 지식을 갖추어야 한다.

3.2.2.2 예부선 조종 특성

예선과 부선의 연결상태에 따라서 예인운항 조종특성에 관한 지식을 갖추어야 한다. 그러한 조종특성을 이해하는데 있어서는 예인삭의 길이와 강도, 조류의 영향, 상대적으로 중량이 큰 예인물의 타력, 대변침에 의한 영향 등을 고려해야 한다.

예인삭의 길이와 조정성능의 특성을 살펴보면, 길이가 짧을수록 피예인물의 추종성이 양호하나(장점), 급작스런 탄력 감소 또는 변침으로 인한 예인선과의 충돌 또는 전복의 위험성이 발생했을 때 대비시간이 부족하다는 단점이 있다. 또한, 예인삭의 인장성 저하로 순간적 외부 하중에 예인삭이 단절될 위험성이 증대한다.

그리고 길이가 길수록 순간적으로 외부 하중 발생에 의한 예인삭의 절단 위험은 크게 줄어들지만 예항능력이 감소(외력에 의한 침로 유지의 어려움, 현수부의 중력에 의한 예항력 분산 등)한다. 또한, 변침시의 어려움이 있으며 조류, 바람 등에 의한

외력으로 선회폭(swept path) 확대 등으로 다른 선박과의 충돌회피동작을 취하기 어려운 단점이 있다.

따라서, 예인삭 안전하중 및 해상상태 등을 고려한 적절한 길이의 조정능력이 안전항해에 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

3.2.2.3 예부선 장비의 운용

예인장비에 있어서는 예인원치, 예인삭/호사, 블라드/비트/페어리드, 예인 혹, 브리들, 예인삭 슬리브, 연결 샤프, 회수장치 운용방법 및 관리에 대해서 지식을 갖추어야 한다. 예인장비를 사용할 시 특히, 예부선 사이의 예인삭의 연결과 해체에 관한 지식, ITBs(Integrated Tug-Barges units(ITBs)(Dual Mode, Push Mode and alongside Mode)의 예인삭의 운용방법 등에 대한 지식을 갖추어야 한다.

또한 그러한 장비들을 운용함에 있어서 장비의 기능 불량 등으로 인한 예측하지 않은 사고에 대한 조치 절차도 알아야 한다.

3.2.2.4 화물운용, 화물 준비 및 계획

예부선 해기사들은 화물 적양하, 복원성, 중형 강도, 과적하 방지, Free surface effects and Sloshing, 화물 적재 및 고정에 관한 지식을 갖추어야 한다.

또한 선장과 항해사는 출항 전에 최악의 해상 상태에서 예부선 조종특성을 고려해야 한다. 또한 화물의 적부 상태를 확인해야 한다. 또한 예인과 부선의 연결상태, 부선의 화물 적재상태에 따라서 발생할 수 있는 최악의 예부선 조종 특성 상태를 고려해야 한다. 그에 따른 비상대응 계획을 마련

하여야 한다. 항해사는 비상상황에 대한 본인의 책무에 친숙해야 한다. 이러한 비상계획은 예인선의 구조 및 설계 그리고 해상 상태에 따라 적절히 작성되어야 한다.

3.2.2.5 예부선 조종 시뮬레이션

시뮬레이션 교육의 경우에는 예인선의 선박 조종특성 뿐 아니라 최소한 예부선 사고사례, 예부선 운용 및 항해, 그리고 비상상황에 대한 지식도 갖추어야 한다. 다음 표는 조종시뮬레이터를 이용하여 교육효과를 극대화하는 방안이다.

4. 예부선 조종성능 향상을 위한 방안

선미예인 방식에 의해 예인되고 있는 부선의 침로안정성은 예부선 운항에 있어서 매우 중요한 요소 중 하나이다. 부선의 침로안정성이 확보되지 않은 채 해상에서의 예인업무를 이행하게 될 경우 해양사고를 발생시킬 위험성이 매우 높다. 본 연구에서는 부선의 침로안정성을 향상시키기 위한 방안으로 부선의 회두운동에 영향을 미치는 항목들을 조사하기 위하여 수조 실험을 실행하였다. 선수 형상에 따라 회두운동 특성이 다르게 나타나기 때문에 서로 다른 선수 형상을 지닌 3척의 부선 모델을 대상으로 skeg의 영향(부착 유무 및 개수), 예인 선속의 영향, 예인사 길이의 영향, 브라이들의 영향에 대하여 종합적으로 분석하였다.

이와 같이 수행된 수조 실험 결과를 이용하여 skeg 및 브라이들의 유무 및 선속과 예인사의 길이가 부선의 회두운동 및 예인장력에 미치는 영향을 분석함으로써 선미예인 시 가장 안전한

예인방법을 파악하고자 한다.

모형선의 회두운동 특성들은 실제 부선에서의 회두운동 특성들과 동일하다는 것이 증명되었으며, 대부분의 경우 모형 실험에서 과도한 회두운동을 방지하기 위해 개발된 장치들은 실제 부선에서 동일한 성능을 갖는 것으로 알려졌다(Latorre and Ashcroft, 1981). 따라서 수조 실험을 통하여 취득하게 되는 안전 예방 방안은 실제 실무에서도 적용 가능하리라 기대된다.

4.1 수조실험에 의한 회두운동 특성 분석

수조 실험에 사용된 모형 부선은 실무에서 자주 접할 수 있는 선수 형상이 다른 세 종류의 부선으로 상자형 모델 KNU-001과, 육각형 모델 KNU-002, spoon형 모델 KNU-003으로 구성되어 있다. 모형선은 1,400톤급 실선 부선의 1/50 크기로 제작하여 실험에 사용하였다.

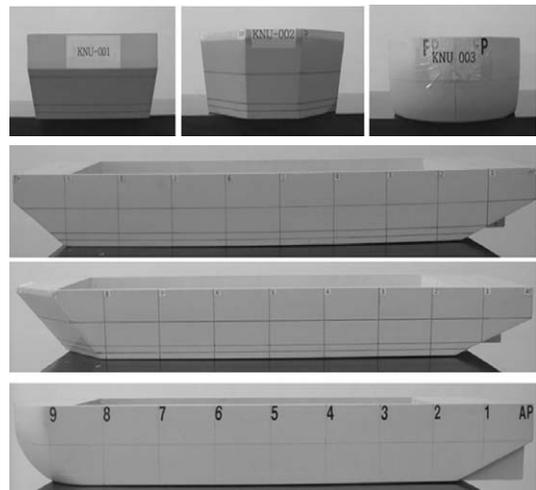


Fig. 4 Front and side views of model ship

Fig. 5는 부선의 선미쪽 모습을 보여주고 있다. Fig. 5에서 보이는 것처럼 skeg가 부착되지 않은

경우, center skeg만 부착된 경우, side skeg가 부착된 경우, center skeg 및 side skeg가 부착된 경우의 4가지로 구분하여 skeg가 부선의 침로안정성에 미치는 영향에 대하여 조사하고자 하였다. 본 연구의 목적은 선수 형상이 다른 부선들의 침로안정성을 상호 비교하기 위한 것으로서 선미 형상은 3척의 부선 모두 동일한 형태로 제작하였다.

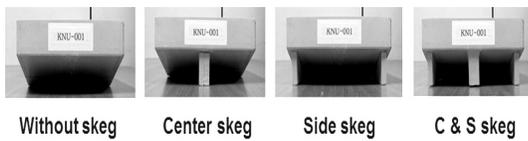


Fig. 5 Skeg arrangement on the model

모형 실험은 실선에서의 안정성 확보를 위하여 가장 불리한 조건에서 수행되어야 한다. 만재흡수시 부선의 선미부근의 후류 vortex가 선체에 미치는 영역이 가장 넓기 때문에 경하상태와 같은 다른 조건에 비하여 상대적으로 가장 큰 압력 변동을 유발하게 되므로 본 연구에서는 만재상태를 실험 조건으로 선택하였다.

부선을 연결하는 예인삭은 와이어 로프를 이용하였으며, 와이어 로프는 직경 1mm의 로프로서 실무에서 사용하고 있는 와이어 로프와 소선수 및 꼬임 방향이 동일한 형태의 것을 사용하였다. 부선에 예인삭만 직접 연결한 경우와 예인삭에 브라이들을 설치하여 연결하는 두가지 방법을 채택하였다. 여기서 브라이들이란 물체를 예인할 때 예인삭에 걸리는 하중을 분산하고, 일정한 각도로 끌고 가기 위해 예인삭에 연결한 삼각형 모습을 한 예인줄을 의미한다.

본 연구에서는 부선의 회두운동 특성을 파악하기 위하여 국립수산과학원 회류수조실(8.0m×2.8m×1.4m; 길이×폭×깊이)에서 실험을 수행

하였으며, 모형선이 수조 벽 근처에 접근하는 현상은 없었고 회두운동에 측벽영향이 미치지 않는 것으로 판단되었다. 가장 안정적인 선미 예인 방식을 파악하기 위하여 실무에서 많이 사용하고 있는 선수 형상이 다른 부선 모델을 대상으로 부선의 선수 형상, skeg의 유무 및 부착 위치, 예인삭의 길이, 선속, 브라이들의 유무 및 길이에 따른 부선의 회두운동을 조사, 분석하였다.

4.1.1 스케그 영향분석

Skeg의 설치 유무 및 부착 위치가 부선의 회두운동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 skeg를 설치하지 않은 경우, center skeg를 설치한 경우, side skeg를 설치한 경우, center skeg와 side skeg를 설치한 경우로 구분하여 수조 실험을 실시하였다.

먼저 KNU-001 부선의 경우, 선속은 7노트이며 예인삭만 연결시킨 경우를 기준으로 skeg가 설치되지 않은 경우 부선의 회두운동은 좌우 28도로 가장 크게 나타나고 있으며, center skeg가 설치된 경우에는 약 1.5도, side skeg가 설치된 경우와 center skeg 및 side skeg가 설치된 경우에는 1도 미만의 회두운동이 발생하고 있는 것을 확인할

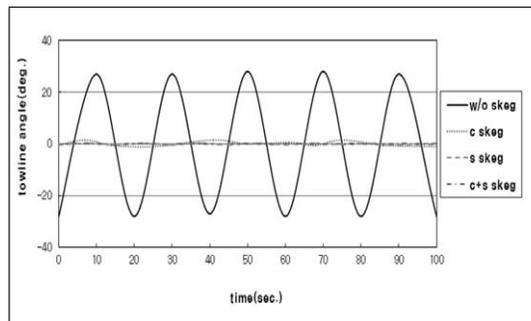


Fig. 6 Comparison of towline angle for KNU-001 ($\theta = 1L$, $V_s = 7.0$ kts)

수 있었다. 즉 KNU-001 부선은 center skeg의 설치만으로도 충분한 침로안정성의 확보가 가능한 것으로 판단된다.

다음으로 KNU-002 부선의 경우, 선속은 7노트이며 예인삭만 연결시킨 경우를 기준으로 skeg가 설치되지 않은 경우 부선의 회두운동은 좌우 31도로 가장 크게 나타나고 있으며, center skeg가 설치된 경우에는 약 23도, side skeg가 설치된 경우와 center skeg 및 side skeg이 설치된 경우에는 1도 미만의 회두운동이 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉 KNU-002 부선은 side skeg의 설치로 침로안정성이 대폭 향상되고 있음을 알 수 있다.

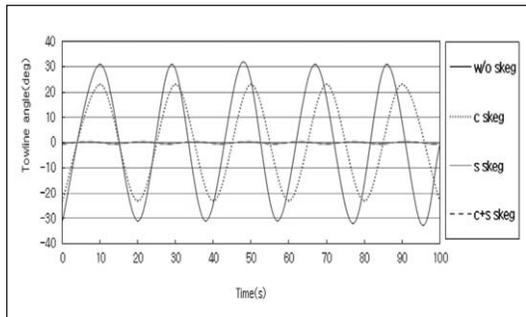


Fig. 7 Comparison of towline angle for KNU-002 ($\ell = 1L$, $V_s = 7.0$ kts)

마지막으로 KNU-003 부선의 경우, 선속은 7노트이며 예인삭만 연결시킨 경우를 기준으로 skeg가 설치되지 않은 경우 부선의 회두운동은 좌우 43도로 가장 크게 나타나고 있으며, center skeg가 설치된 경우에는 약 30도, side skeg가 설치된 경우와 center skeg 및 side skeg이 설치된 경우에는 1도 미만의 회두운동이 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉 KNU-003 부선은 skeg가 설치되지 않은 경우 다른 선형의 부선들

보다 큰 회두운동을 하고 있으며, KNU-002 부선과 유사하게 center skeg의 효과는 그다지 크지 않고, side skeg의 설치로 침로안정성이 대폭 향상되고 있는 것을 알 수 있다.

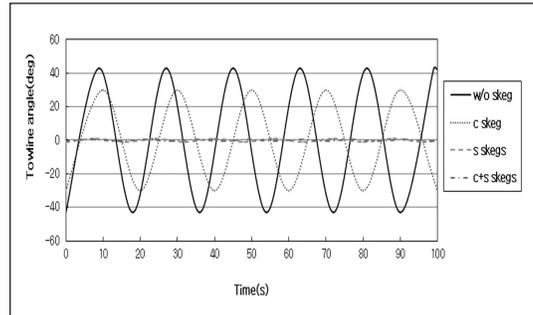


Fig. 8 Comparison of towline angle for KNU-003 ($\ell = 1L$, $V_s = 7.0$ kts)

예인장력의 변화를 분석해 보면, KNU-001 부선의 경우 center skeg의 설치에 의하여 예인장력이 대폭 감소하고 있는 것을 확인할 수 있다. KNU-002의 경우에는 center skeg 설치에 의하여 회두운동은 8도 정도 감소하고 있지만 예인장력은 비교적 큰 폭으로 감소되고 있는 현상을 볼 수 있다. 이상과 같이 선수 형상의 차이와 관계없이 skeg의 설치에 부선의 예인장력을 비교적 양호하게 감소시킬 수 있는 요소라고 판단되어진다.

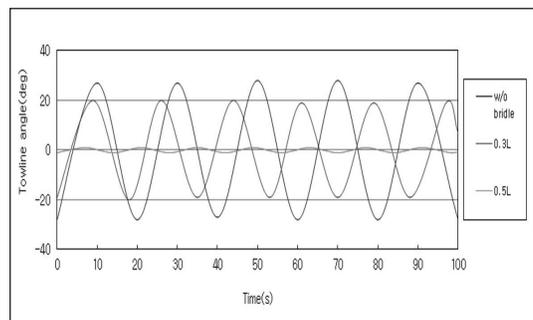


Fig. 9 Comparison of towline angle for KNU-001 ($V_s = 7.0$ kts, without skeg)

4.1.2 브라이들 영향분석

브라이들의 유무 및 브라이들의 길이가 부선의 회두운동에 미치는 영향을 파악하기 위하여 브라이들을 설치하지 않고 예인삭만 연결했을 경우, 브라이들의 길이를 0.3L 및 0.5L로 설치한 경우로 구분하여 실험을 실시하였다.

먼저 KNU-001 부선의 경우, 예인삭만 연결했을 때는 부선의 회두가 좌우 각각 약 28도 정도로 가장 크게 나타남을 알 수 있고, 브라이들의 길이가 0.3L에서는 약 20도, 0.5L에서는 약 2~3도 정도로 부선의 회두가 가장 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 예인삭만 연결했을 때 보다는 예인삭에 브라이들을 설치했을 때 회두각도가 작아지며, 브라이들의 길이가 길어질수록 부선의 회두운동이 작게 나타나고 있다. 특히 브라이들의 길이가 예인삭 길이의 50%정도(0.5L) 되는 시점부터 회두각도가 현저하게 감소하여 브라이들에 의한 침로 안정성 효과가 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

다음으로 KNU-002 부선의 경우, 예인삭만 연결했을 때는 부선의 회두각도가 좌우 각각 약 31도 정도로 가장 크게 나타남을 알 수 있고, 브라이들의 길이가 0.3L에서는 약 24도, 0.5L에서는 약 16도 정도로서 브라이들의 길이가 증가함에

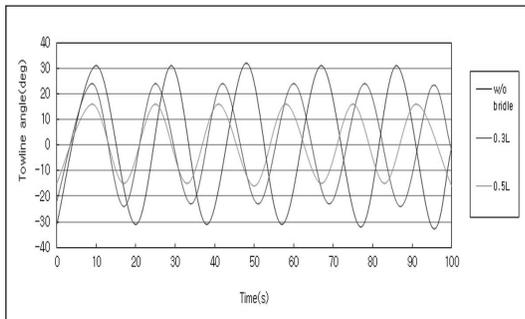


Fig. 10 Comparison of towline angle for KNU-002 (Vs=7.0kts, without skeg)

따라 부선의 회두각도가 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. KNU-002 부선의 경우 브라이들의 효과는 KNU-001 부선만큼 크게 작용하지는 않지만 0.5L에서 약 50%의 회두운동 진폭을 감소시키는 역할을 하고 있는 것으로 보여진다.

마지막으로 KNU-003 부선의 경우, 예인삭만 연결했을 때는 부선의 회두각도가 좌우 각각 약 43도 정도로 가장 크게 나타남을 알 수 있고, 브라이들의 길이가 0.3L에서는 약 33도, 0.5L에서는 약 24도 정도로서 브라이들의 길이가 증가함에 따라 부선의 회두각도가 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. KNU-003 부선의 경우에도 브라이들의 효과는 KNU-001 부선만큼 크게 작용하지는 않지만 0.5L에서 약 50%의 회두운동 진폭을 감소시키는 역할을 하고 있는 것으로 확인되고 있다.

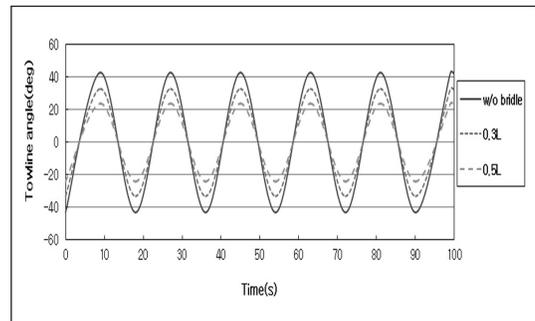


Fig. 11 Comparison of towline angle for KNU-003 (Vs=7.0kts, without skeg)

예인장력은 선형에 관계없이 회두각도가 작아짐에 따라 예인장력도 함께 감소되고 있는 것을 실험을 통해서 알 수 있었다. 따라서 예인장력을 감소시키기 위해서는 브라이들을 설치한 후 예인작업을 하는 것이 보다 안전한 예방법이라고 추정할 수 있다.

4.1.3 선속별 분석

예인 선속에 따른 영향을 파악하기 위하여 모형 부선 KNU-001과 KNU-002, KNU-003 모델을 선속별로 실험 하였다. 예인선의 길이가 '1L' 이고, 예인선만 연결했을 때 KNU-001 모델의 선속별 비교로서 5노트에서는 부선의 회두가 약 29도 정도, 7노트에서 약 28도, 9노트에서 약 25도로 선속에 따른 부선의 회두각도에는 큰

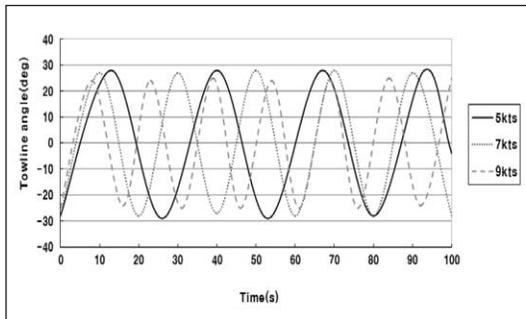


Fig. 12 Comparison of towline angle for KNU-001 ($\ell = 1L$, without skeg)

차이가 없음을 알 수 있다. 또한 회두주기를 비교해 보면, 5노트의 경우 약 26초의 주기를 지닌 채 좌우 회두운동을 하지만 7노트에서는 약 20초, 9노트에서는 약 16초로 선속이 빨라짐에 따라 주기가 짧아지는 것을 파악할 수 있었다.

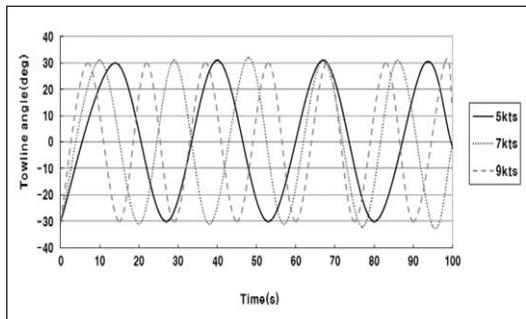


Fig. 13 Comparison of towline angle for KNU-002 ($\ell = 1L$, without skeg)

예인선의 길이가 '1L' 이고, 예인선만 연결했을 때 KNU-002 모델의 선속별 비교 결과, 5노트에서는 부선의 회두가 약 30도, 7노트에서 약 31도, 9노트에서는 약 31도 정도로서 부선의 선속에 따른 부선의 회두각도는 약 1~2도 미만의 미소한 차이를 보이고 있다. 또한 회두주기는 5노트에서 약 27초, 7노트에서 약 20초, 9노트에서는 약 15초로 선속이 빨라짐에 따라 회두주기가 짧아지는 것을 알 수 있다.

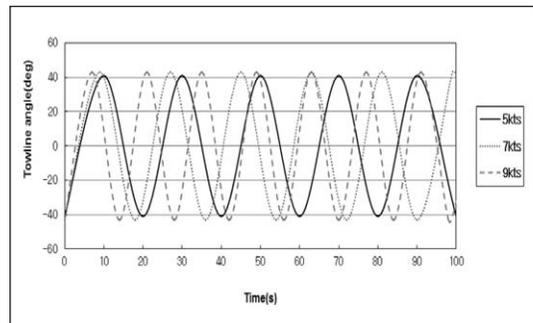


Fig. 14 Comparison of towline angle for KNU-003 ($\ell = 1L$, without skeg)

예인선의 길이가 '1L' 이고, 예인선만 연결했을 때 KNU-003 모델의 선속별 비교 결과, 5노트에서는 부선의 회두가 약 41도, 7노트에서 약 43도, 9노트에서는 약 43도 정도로서 부선의 선속에 따른 부선의 회두각도는 약 1~2도 정도의 미소한 차이를 보이고 있다. 또한 회두주기는 5노트에서 약 20초, 7노트에서 약 18초, 9노트에서는 약 14초로 선속이 빨라짐에 따라 회두주기가 짧아지는 것을 알 수 있었다.

위와 같이 부선의 형상과 상관없이 선속은 회두주기에만 변화를 가져오고 회두각도의 변화에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었다.

그러나 예인장력을 분석해 보면, KNU-001 및

KNU-002 부선 모두 회두운동 진폭의 변화는 크지 않지만, 선속의 감속으로 예인장력은 확연히 감소되고 있는 모습을 볼 수 있다. 따라서 과도한 예인장력이 부선과 예선에 작용할 때에는 예인 속력을 감속하는 것이 효과적인 예인 운항 방법이라고 판단된다.

4.1.4 예인삭 길이별 분석

예인삭 길이에 따른 회두운동을 조사하기 위하여 KNU-001과 KNU-002, KNU-003 모델의 선속이 7노트일 경우, skeg가 설치되지 않고 예인삭만 연결한 상태에서의 '1L' 과 '2L' 을 실험하였다.

KNU-001 모델의 '1L' 에서는 부선의 회두가 좌우 각각 약 28도 정도로 나타났고, '2L' 에서는 약 15도 정도로서 예인삭의 길이가 길수록 회두각도가 46% 정도 작아지고 있음을 확인할 수 있다.

KNU-002 모델의 예인삭만 연결한 상태에서의 '1L' 과 '2L' 을 비교한 것으로서 '1L' 에서는 부선의 회두가 약 31도 정도로 크게 나타남을 알 수 있고, '2L' 에서는 약 17도 정도로서 예인삭의 길이가 길어짐으로서 회두각도는 약 45% 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

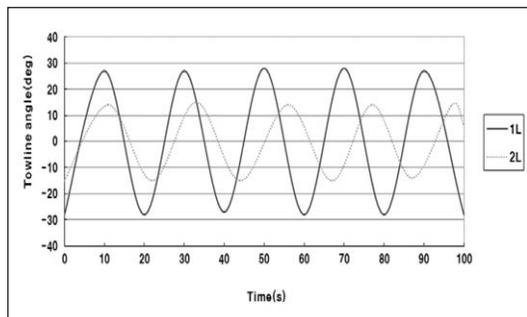


Fig. 15 Comparison of towline angle for KNU-001 (Vs=7.0kts, without skeg)

KNU-003 모델의 예인삭만 연결한 상태에서의 '1L' 과 '2L' 을 비교 결과, '1L' 에서는 부선의 회두가 약 43도 정도로 크게 나타남을 알 수 있고, '2L' 에서는 약 24도 정도로서 예인삭의 길이가 길어짐으로서 회두각도는 약 44% 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

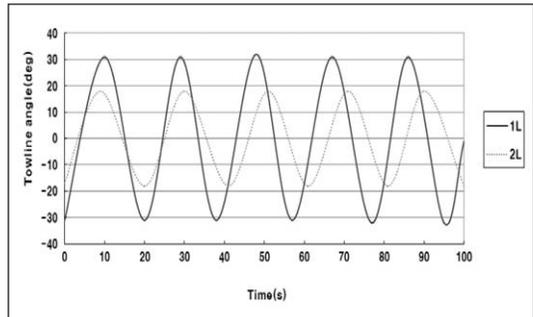


Fig. 16 Comparison of towline angle for KNU-002 (Vs=7.0kts, without skeg)

예인장력의 특성에 대하여 분석해 보면, KNU-001 및 KNU-002 부선 모두 회두운동의 진폭이 감소되는 것과 함께 예인장력도 유사한 성향으로 감소되고 있는 것을 확인 할 수 있다. 선속에 의해 나타나는 회두운동 진폭 및 예인장력 변화의 특성을 제외 하고는 다른 조건들에서는 회두운동 진폭과 예인장력은 거의 비례하는 모습이 실험을 통하여 확인되었다.

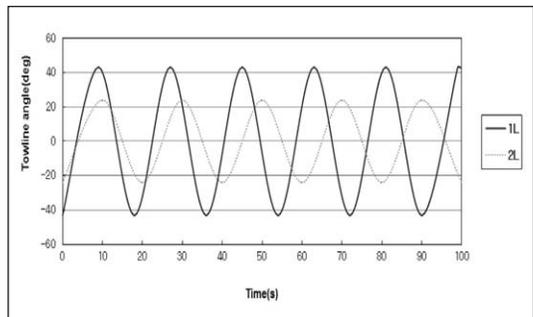


Fig. 17 Comparison of towline angle for KNU-001 (Vs=7.0kts, without skeg)

4.1.5 종합

본 연구에서는 예부선 운항시 skeg의 설치 유무 및 설치 위치, 브라이들의 설치 유무 및 브라이들의 길이, 선속의 차이, 예인삭의 길이에 따른 부선의 회두운동 특성을 조사한 결과 다음과 같은 내용을 파악할 수 있었다.

부선의 회두운동은 부선에 연결된 예인삭의 길이가 길수록 부선의 회두가 작아짐을 알 수 있었다. 또한, 예인삭만 연결한 상태보다 예인삭에 브라이들을 연결하는 것이 부선의 회두가 작아지며, 브라이들의 길이가 길어질수록 부선의 회두운동이 크게 작아짐을 알 수 있었다. skeg의 설치 위치에 의한 효과는 선수 선형에 따라서 다르게 나타나고 있는 모습을 보여주고 있다.

선속에 따른 부선의 회두각도는 선속이 5노트에서 7노트 및 9노트로 빨라짐에 따라 큰 변화는 보이지 않았지만, 주기가 짧아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 예인장력은 감소할수록 큰 폭으로 작아지는 특성을 보여주고 있다.

부선의 과도한 회두운동을 감소시키기 위해서는 부선의 선수형상에 따라 회두운동이 다르게 나타나기 때문에 가장 효과가 좋은 skeg를 선형에 맞게 설치하고, skeg가 설치되지 않은 부선의 경우는 예인삭의 길이를 길게 하거나 긴 브라이들을 설치하여 미속상태의 속도로 예방하는 것이 안전 예방업무에 도움이 될 것으로 판단된다.

4.2 CFD에 스케그 효과의 분석

해상에서 예인되고 있는 부선의 침로안정성은 매우 불안정하며, 이를 보완하기 위하여 과학적인 분석 데이터 없이 관습적으로 skeg를 설치하여

운항하고 있는 경우가 많다.

부선의 선수 형상에 따라 회두운동에 차이가 발생하고 있는 것이 수조 실험을 통하여 확인되었다. 이러한 회두운동을 감소시키기 위한 가장 좋은 방법은 선미에 skeg를 설치하는 것이다. 그러나 선수 형상에 의해 skeg 효과가 다르게 나타나고 있으므로, 각 부선에 작용하는 유체력 특성을 파악하여 이를 통한 침로안정성을 판별할 필요가 있다. 본 연구에서는 3차원 vortex 발생과 같은 비선형 영향을 해석하기 위해 CFD를 이용하여 선수 형상이 다른 부선의 사항 및 정상선회중의 sway force, yaw moment를 계산하고, 부선 주위의 유동장을 해석함으로써 이를 토대로 skeg에 의한 각 선박의 침로안정성 특성에 대하여 분석하였다.

4.2.1 수치계산

본 연구에서는 수치계산을 위하여 상용 해석 프로그램인 Fluent를 사용하였고, 격자계의 생성은 Gridgen을 이용하였다. 시뮬레이션을 위한 skeg의 부착 유무 및 skeg의 부착 위치에 따라 각 선박별 4개의 계산 조건으로 구분하여 총 8 케이스를 대상으로 수치계산을 수행하였다.



Fig. 18 Top views for attached skeg and without skeg for KNU-001 and KNU-002

4.2.2 계산결과와의 분석

각 부선에 작용하는 유체력을 계산한 결과, KNU-001 부선의 경우 비선형적인 침로안정성 지수 값을 나타내고 있으며, 편류각에 따른 skeg의 효과를 선형적으로 예측할 수가 없었다. 반면에 KNU-002 부선의 경우 skeg에 의해 편류각이 커짐과 동시에 sway force는 증가하고, yaw moment는 감소하는 모습을 확인할 수 있었다. 즉 skeg에 의해서 침로안정성 지수 값이 향상되고 있다는 것을 알 수 있었다.

Table 5 Sway Force and Yaw Moment on Hull and Skegs for KNU-001

Drift angle = 15 degrees		Drag force(N)	Sway force(N)	Yaw moment (N · m)
case 100	hull	8.294E-01	1.324E+00	-3.238E-01
	total	8.294E-01	1.324E+00	-3.238E-01
case 101	hull	7.907E-01	1.265E+00	-3.347E-01
	center skeg	2.343E-02	-3.341E-02	-1.383E-02
	total	8.142E-01	1.232E+00	-3.485E-01
case 102	hull	7.879E-01	1.342E+00	-3.245E-01
	side skeg	3.978E-02	-1.696E-02	-6.500E-03
total	8.277E-01	1.325E+00	-3.310E-01	
case 103	hull	7.519E-01	1.296E+00	-3.266E-01
	center skeg	2.571E-02	-4.920E-02	-2.117E-02
	side skeg	4.637E-02	6.005E-02	2.827E-02
	total	8.240E-01	1.307E+00	-3.195E-01

각 부선별 유체력 및 유동장을 구체적으로 분석해 보면, 먼저 KNU-001 선박의 나선(bare hull)에 작용하는 sway force 및 yaw moment는

Table 6 Sway Force and Yaw Moment on Hull and Skegs for KNU-002

Drift angle = 15 degrees		Drag force(N)	Sway force(N)	Yaw moment (N · m)
case 200	hull	7.031E-01	1.127E+00	-2.517E-01
	total	7.031E-01	1.127E+00	-2.517E-01
case 201	hull	7.211E-01	1.140E+00	-2.499E-01
	center skeg	5.860E-03	2.498E-02	1.133E-02
	total	7.270E-01	1.165E+00	-2.385E-01
case 202	hull	6.943E-01	1.164E+00	-2.439E-01
	side skeg	2.485E-02	9.965E-02	4.707E-02
	total	7.191E-01	1.264E+00	-1.968E-01
case 203	hull	7.102E-01	1.169E+00	-2.439E-01
	center skeg	8.160E-03	7.510E-03	3.580E-03
	side skeg	2.861E-02	9.071E-02	4.313E-02
	total	7.470E-01	1.267E+00	-1.972E-01

KNU-002 선박과 마찬가지로 sway force는 (+), yaw moment는 (-) 값을 나타내고 있다.

그러나 skeg에 작용하는 힘 및 모멘트 값은 불규칙하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. Center skeg이 설치된 101 및 103 case의 경우 우현(흡입면)쪽에 강한 vortex가 생성되고 이로 인하여 이 부분의 압력장이 낮아지게 되며, 또한 선박의 가장 끝 부분인 선미 중앙의 AP 지점과 center skeg의 뒤쪽 상부인 수면 부근에서는 입사하는 수류 등에 의하여 양의 압력이 작용하고

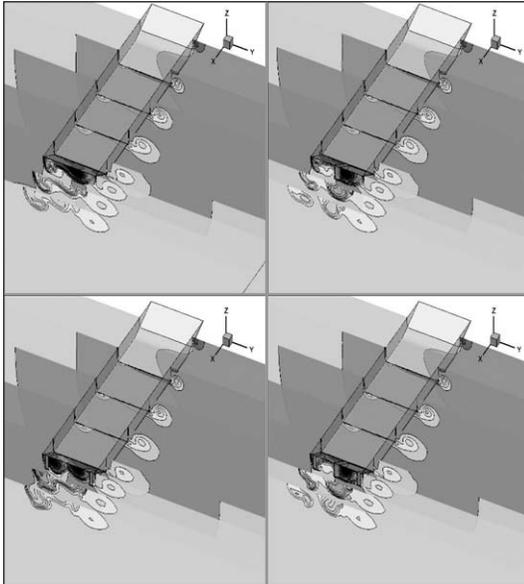


Fig. 19 Axial velocity contours at $x=-0.35, -0.2, 0.0, 0.2, 0.35, 0.5(\text{AP})$ and 0.65 of KNU-001 (a) without skeg(100), (b) with center skeg(101), (c) with side skeg(102), and (d) with center and side skeg(103)

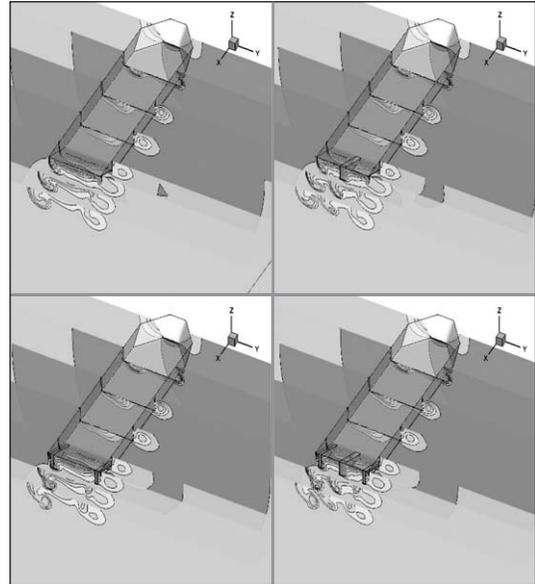


Fig. 21 Axial velocity contours at $x=-0.35, -0.2, 0.0, 0.2, 0.35, 0.5(\text{AP})$ and 0.65 of KNU-002 (a) without skeg(200), (b) with center skeg(201), (c) with side skeg(202), and (d) with center and side skeg(203)

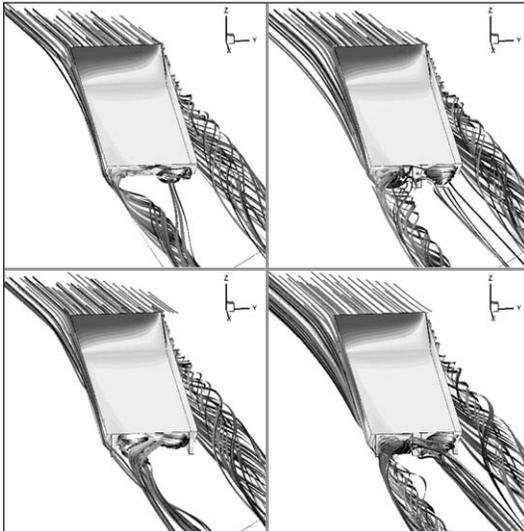


Fig. 20 Pressure and flow streamlines for KNU-001 at (a) without skeg(100), (b) with center skeg(101), (c) with side skeg(102), and (d) with center and side skeg(103)

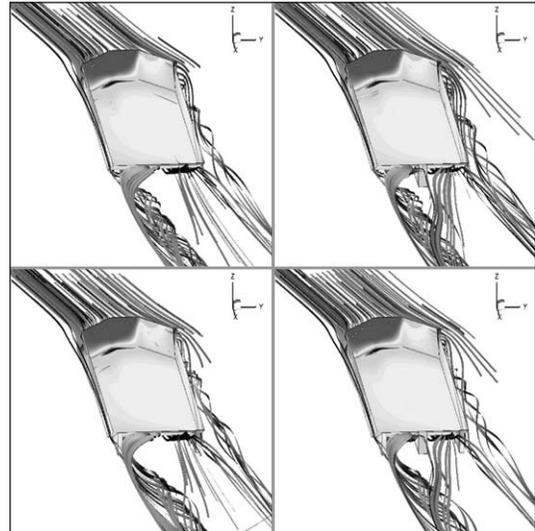


Fig. 22 Pressure and flow streamlines for KNU-002 at (a) without skeg(200), (b) with center skeg(201), (c) with side skeg(202), and (d) with center and side skeg(203)

있다. 이와 같은 종합적인 유동장의 변화로 인하여 선미를 좌현쪽에서 우현쪽으로 향하게 하여 침로안정성이 향상되는 것으로 보여진다. 그리고 side skeg이 설치된 102 case의 경우에는 큰 vortex가 2개 생성되며 이중에서 가장 강한 vortex는 우현쪽 skeg에 근접하여 발달되어 있으며, 이러한 vortex의 영향으로 압력장이 변하게 되고, 또한 vortex가 직접적으로 우현쪽 skeg에 작용함으로써 선미를 우현쪽으로 향하게 하는 것으로 추정된다.

KNU-002 선박에 작용하는 유체력 성분들을 살펴보면, 나선(bare hull)에 작용하는 sway force는 (+)값을, yaw moment는 (-)값을 보여 주고 있다. 그러나 skeg에 작용하는 힘과 모멘트를 보면, sway force와 yaw moment 모두 (+)값을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 skeg가 sway damping force는 증가시키고, 회두모멘트는 감소시키는 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 또한 선미쪽 압력 분포를 살펴보면, 부선 본체에 작용하는 압력 변화는 비교적 미비하고 침로안정성의 변화는 skeg에 작용하는 유체력에 의한 것으로 판단된다. Center skeg만 설치된 201case에 비해서 side skeg가 설치된 202 및 203 case의 경우 skeg에 작용하는 sway force 및 yaw moment는 거의 4배 정도 커지고 있는 것을 확인할 수 있다.

이상과 같이 center skeg보다는 side skeg의 설치에 의해 KNU-002 선박의 침로안정성이 대폭 향상되고 있음을 확인할 수 있으며, 이러한 결과는 202 및 203 case에서 침로안정성 확보가 가능하다는 수조 실험 결과와 일치하는 모습을 보이고 있다.

5. 결 론

예부선의 안전운항 향상방안을 도출하기 위하여 국내 및 국제 기준의 예부선 운영지침에 대하여 고찰하였고 예부선의 주된 사고원인인 인적과실 저감을 위하여 관련 조종 시뮬레이션 교육 등을 포함하는 교육 방안을 대하여 도출하였다.

그리고 부선의 조종성능 향상을 위하여 skeg 및 bride 이용하여 최적의 부선의 안정성 향상 방안에 대하여 도출하였고, 이는 부선의 과도한 회두운동을 감소시키기 위해서는 부선의 선수형상에 따라 회두운동이 다르게 나타나기 때문에 가장 효과가 좋은 skeg를 선형에 맞게 설치하고, skeg가 설치되지 않은 부선의 경우는 예인삭의 길이를 길게 하거나 긴 브라이들을 설치하여 미속 상태의 속도로 예방하는 것이 안전 예방 업무에 도움이 될 것으로 도출되었다.

후 기

본 연구는 선박안전기술공단의 2013년도 자체 연구사업으로 추진하였음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- (1) C. B. Hong and H. J. Yang(2008), Evaluation of course stability performance for tanker using CFD, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 5, pp. 523-529
- (2) S. Y. Kim and Y. G. Kim(2001), Computation of viscous flows around a ship

- with a drift angle and the effects of stern hull form on the hydrodynamic forces, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 3, pp. 1~13
- (3) H. Yasukawa, N. Hirata and K. Kose (2006), Improvement of course-keeping ability of a high speed mono-hull by skegs, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 3, pp. 125~131
- (4) K. K. Koh and H. Yasukawa(2012), Comparison study of a pusher-barge system in shallow water, medium water and deep water conditions, Ocean Engineering, Vol. 46, pp. 9-17
- (5) H. Miyazaki, T. Nimura, M. Ueno and Y. Tsukada(2007), Numerical study of stern flow field in steady turning motion, Proceeding of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, No. 5E, pp. 57~58
- (6) H. Miyazaki, Y. Tsukada and M. Ueno (2008), Numerical study of hydrodynamic force of manoeuvring motion about different stern form(single-screw ship and buttock flow stern), Proceeding of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, No. 7E, pp. 17-18
- (7) S. Inoue, K. Kijima and M. Doi(1977), On the course stability of a barge, Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects, No. 54, pp. 193-201
- (8) M. Takekawa, S. Nagamatus and S. Motora(1975), Course stability of towed large barge, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 137, pp. 186-195
- (9) S. Inoue, M. Hirano and K. Mukai(1979), The non-linear terms of lateral force and moment acting on ship hull in the case of maneuvering, Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects, No. 58, pp. 153-160
- (10) K. Kijima, T. katsuno, Y. Nakiri and Y. Furukawa(1990), On the manoeuvring performance of a ship with the parameter of loading condition, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 168, pp. 141-148
- (11) T. Xing, S. Bhushan and F. Stern(2012), Vortical and turbulent structures for KVLCC2 at drift angle 0, 12 and 30 degrees, Ocean Engineering, Vol. 55, pp. 23-43
- (12) R. Broglia, G. Dubbioso, D. Durante and A. D. Mascio(2012), Simulation of turning circle by CFD : Analysis of different propeller models and their effect on manoeuvring prediction, Applied Ocean Research, Vol. 39, pp. 1-10
- (13) K. Nonaka, T. Fuwa, and T. Nimura (1986), Measurement of wake flow and hydrodynamic force distribution on a

- ship model drift angle(2nd report, Tanker model), Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects, No. 72, pp. 197~212
- (14) J. H. Chun, M. C. Kim, H. H. Chun, I. R. Do and J. K. Koo(2011) Correlation study on course keeping stability of barges according to variations in dimensions and hull coefficient, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 25, No. 5, pp. 27~32
- (15) H. H. Chun, S. H. Kwon, D. D. Ha and S. U. Ha(1997), An experimental study on the course-keeping of an 8,000DWT barge ship, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 34, No. 4, pp. 1~11
- (16) K. J. Lee and K. C. Lee(1997), A study on the appropriate shape and size of skeg for the incinerator mounted circular barge, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 11, No. 3, pp. 100~106
- (17) R. Latorre and F. Ashcroft(1981), Recent developments in barge design, towing, and pushing, Marine Technology, Vol. 18, No. 1, pp. 10~21
- (18) W. J. Kim, D. H. Kim, Y. G. Kim, S. Y. Kim and S. H. Van(2000), An experimental study on stern flow around a VLCC model with drift angle, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 1, pp. 52~61