

연안-운하 연계수송용 푸셔-바지 선형주위의 유동특성에 관한 연구

김성용*, 이영길**, 이승희**

A Study on the Flow Characteristics around a Hull Form of Coast-Canal Going Pusher-Barge

Sung-Yong Kim*, Young-Gill Lee** and Seung-Hee Lee**

요 약

본 논문에서는 연안과 운하에서 연계수송이 가능한 수송시스템의 개발을 위하여 설계된 바지(barge)와 푸셔(pusher)의 저항성능을 모형시험과 수치계산에 의하여 해석하고자 하였다. 무한수심 조건에서의 모형시험으로는 인하대학교 선형시험수조에서 저항과 침하, 선측파형 등을 측정하였으며, 유동장 해석을 위한 수치계산의 경우에는 MAC법을 기초로 한 유한차분법(Finite Difference Method)에 의하여 계산을 수행하였다. 먼저, 모형시험의 경우에는 계획속력을 6 knots로 하는 설계선형에 대하여, 저속에서부터 계획속도이상의 구간까지 모형시험을 실시하여 각 속도에 따른 저항특성들을 비교하였다. 일련의 모형시험 결과들은 기존의 유사한 선형의 모형시험결과들과 비교하였다. 수치계산의 경우에는, 설계선형에 관하여 계획속도에서 푸셔와 바지선형 각각의 단독운항상태와 두 선체가 동시에 연결되어 운항하는 상태에 대한 계산을 수행하였다. 또한, 모형시험이 어려운 제한수로를 운항하는 상태에 관하여도 수치계산을 수행하였고, 각각의 계산결과들로부터 운항상태에 따른 선체주위의 유동장의 특성을 비교하였다.

Abstract

In this paper, the development of a pusher-barge hull form which enables the continuous transportation along the coast and canal is performed. For the design stage of the hull forms, these are developed for Kyungin canal which is will be drawn up as the next contribution project of the Korean government are adopted

접수일자 : 2000년 4월 3일. 승인일자 : 2000년 12월 2일

* 인하대학교 선박공학과 대학원(E-mail: jnqt@hananet.net)

** 정회원, 인하대학교 선박해양공학과

The model tests for the designed ship are carried out in the Inha University Towing Tank and the numerical simulations are done with a finite difference method based on MAC scheme. At first, the experiments are performed with designed model ships from low speed to high speed including service speed(6knots) among the corresponding designed speed. Resistance characteristics of designed ships are compared with experimental results of other several pusher-barge hull shapes. Next, the numerical simulations are performed for three cases, that is pusher only, barge only and pusher-barge condition in the designed speed. Each calculations are carried out in deep and restricted water condition. The flow characteristics around hulls in the latter condition are compared with those in the former condition.

제 1 장 서 론

우리나라의 경우, 육상에서의 화물수송량이 점점 증가하여 육상수송시스템의 효율성이 저하되고 있는 가운데, 정부에서는 서울-인천간의 운하건설을 계획하여 수도권외 물류수송효율을 개선하고자 하고 있다. 현재까지 국내 물류수송의 대부분은 육상을 통하여 이루어져 왔으나, 물류수송량이 점점 증가함에 따라 물류비용이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 날로 심각해지는 교통체증현상으로 인하여 수송효율이 점점 떨어지고 있는 추세이다. 유럽을 비롯한 외국의 경우, 하천과 운하를 이용한 수송시스템이 많이 활용되고 있으며, 미국의 미시시피강, 테네시강 등과 유럽의 라인, 엘베, 도나우강 등에서는 강을 통하여 내륙화물을 수송하는 바지 시스템(barge system)을 도입하고 있다.[1] 최근에는 내륙에서의 수송뿐만 아니라 하천과 연안을 연계한 수송시스템의 도입을 모색하고 있다. 이러한 시스템의 경우 연안과 운하에서 동시에 운항이 가능한 선박의 설계가 선행되어야 하며, 운하 또는 하천에서의 운항제한조건을 만족시키는 선형의 개발이 필요하게 된다.[2] 우리나라의 경우는 인천-평양간의 컨테이너를 푸셔-바지를 이용하여 일부를 처리하고 있으나 아직은 미약한 수준에 있다. 이러한 상황에서 정부에서는 수송시스템 개선의 일환으로 앞에서 언급한 경인운하 건설을 추진하고 있으며, 이 운하를 이용하여 수도권으로 유입되는 화물을 흡수, 처리하고자 하

고 있다. 하천 또는 운하에서 운항하는 선박의 경우는 비교적 얇은 흘수의 일반적 선형 또는 바지의 형태가 유리할 것이라고 생각되어진다.[5] 본 논문에서는 해상뿐만 아니라 수심과 폭이 제한된 운하에서도 운항이 가능한 푸셔-바지선형의 유체역학적 특성 파악을 목적으로 하고 있으며, 운하와 하천에서 운항하는 선박의 경우에는 흘수와 운항속도면에서 제한을 받게 되므로 이러한 제약조건을 만족하면서도 저항성능이 우수한 선형의 개발을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 연안과 제한수로에서 동시에 운항이 가능한 바지선형과 푸셔선형을 대상선형으로 선형설계를 한 후, 모형시험과 수치계산을 통하여 설계선형의 저항성능을 검토하고자 하였다. 모형시험의 경우에는 일반적인 저항시험을 통하여 전저항, 선수미 침하, 선측파형 등을 측정하여 설계선형의 저항성능을 검토하고자 하였으며, 선체주위의 유동장해석을 위한 수치계산의 경우에는 MAC법을 기초로 한 유한차분법에 의하여 계산을 수행하였다.[7] 수치계산의 경우, 실험이 어려운 운하를 항해하는 조건에서도 계산을 수행하여 심해상태뿐만 아니라 수심과 폭이 제한된 제한수로에서의 선체주위 유동장의 특성을 파악할 수 있도록 하였다.

제 2 장 푸셔-바지선의 선형설계

2.1 푸셔-바지선의 선형설계 기본개념

본 연구의 대상이 되는 푸셔-바지선형을 설계하

는데 있어서, 그것이 연안용인가 아니면 운하용인가에 따라 파랑, 조류 및 바람의 세기가 달라지므로 항해조건에 차이가 생기게 된다. 이러한 항해 조건의 차이로 연안용과 운하용은 푸셔와 바지의 연결부가 단순한 체인 또는 고정된 연결구조물로 달라지므로, 연안용의 연결부를 채용하는 연안-운하 연계수송용 푸셔-바지선은 연결부 구조물 설치 및 선박 건조 비용면에서 경제성이 낮아진다. 따라서 수십개의 바지를 운반하는 연안용 바지 전용운반선을 따로 계획하고, 바지들을 운하 및 하천에서 수송하는 푸셔-바지 시스템을 계획하는 것도 수송효율면에서 경제적일 수 있다. 본 논문의 대상이 된 선형에서는 운하용을 기준으로 하고, 연안과 운하에서 연계운항이 가능하도록 선형을 설계하였다.

2.2 경인운하용 푸셔-바지선 설계를 위한 설계조건

- 1) 선종 : 경인운하에서 항해하게 될 컨테이너 및 모래, 쓰레기 수송용 푸셔-바지선
- 2) 예상항로 : 인천(서해터미널) - 경인운하 - 서울(서울터미널) - 북한강
- 3) 운하수심 : 약 6m
- 4) 수로 폭 : 100m(직선구간) ~ 200m(곡선구간)
- 5) 대상선박의 크기 : 남한강 주운 사업 계획 시 표준선박으로 채택된 900톤급 바지선
- 6) 바지선 선단 편성의 예 :
 바지선 1척 + 푸셔
 바지선 2척(길이방향) + 푸셔
 바지선 3척(길이방향) x 2척(폭방향) + 푸셔
 바지선 3척(길이방향) x 3척(폭방향) + 푸셔
- 7) 푸셔의 소요마력추정 :
 운항표준속도 : 6 Knots
 조류속도 : 3 Knots
 바지선 1척 + 푸셔 : 400 HP
 바지선 2척(길이방향) + 푸셔 : 600 HP
 바지선 3척(길이방향) x 2척(폭방향) + 푸셔 : 1200 HP
 바지선 3척(길이방향) x 3척(폭방향)

+ 푸셔 : 1600 HP

Table 1 에서는 기준선과 설계선형의 주요요목(principal dimension)을 비교하고 있다. 표를 살펴보면, 두 선체의 길이는 기준선을 기준으로 푸셔의 경우는 증가하였고 바지의 경우는 감소하였다. L/B를 살펴보면, 기준선에 비하여 두 선체 모두 증가한 것을 볼 수 있다. 선평이 증가할 경우 복원성면에서는 유리하나 선박의 저항면에서는 불리하므로 파도가 비교적 약한 운하의 경우 저항성능을 향상시키는 쪽으로 선형을 개선하였다. 천수의 경우 일반적으로 심해의 경우보다 선박의 저항이 증가하므로 이러한 설계는 타당하다고 생각된다. 일반적으로 바지의 형태를 구분할 때, L/B가 2.0 정도일 경우 폰툰(pontoon)이라고 하고, L/B가 그 이상의 경우를 선행바지라고 한다면, 본 논문에서 설계된 선형의 경우는 선행바지에 해당한다. 선행바지의 경우 폰툰의 경우보다 저항성능면에서 우수한 결과를 보여주고 있다.

B/T의 경우를 살펴보면, B/T는 일반적으로

Table 1 Comparison of principal characteristics between Mother ships and designed hull forms

	Pusher		Barge	
	기준선	설계선	기준선	설계선
L _{BP} (m)	25.0	36.5	75.0	53.5
B (m)	8.6	7.9	15.0	7.9
D (m)	3.7	5.0	5.7	5.0
draft(m)	3.0	2.7	4.2	2.7
Displacements (ton)	334.0	576.8	3940.0	1053.8
Design Speed (knots)	12.9	6.0		6.0
LWT (ton)	246.0	414.7	923.0	202.6
DWT (ton)	88.0	162.2	3017	851.2
L/B	2.90	4.62	5.00	6.75
B/T	2.86	2.96	3.60	2.93
L _{cb} (+ : positive direction)	+0.07 m	+1.44 m	+1.23m	-1.14
C _B	0.519	0.723	0.821	0.904

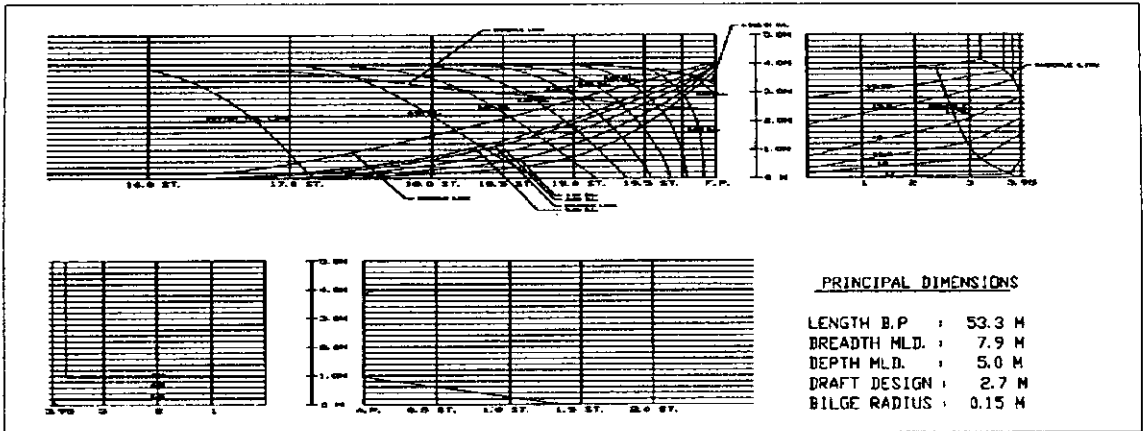


Fig. 1 Lines of barge

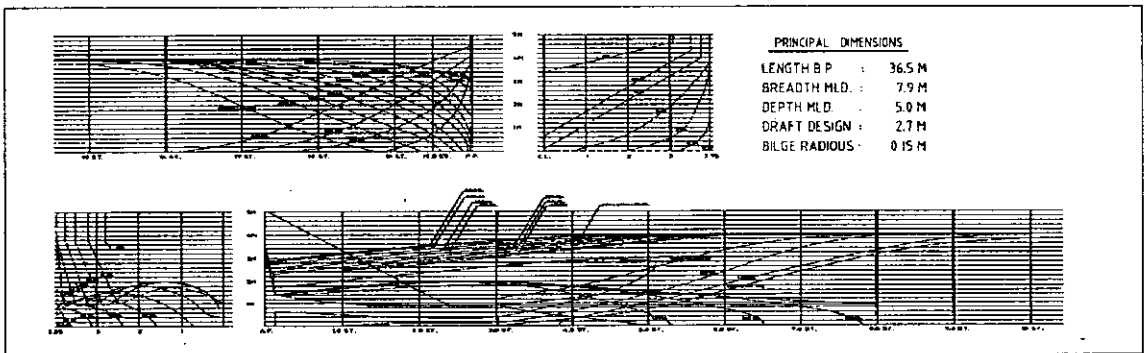


Fig. 2 Lines of pusher

저항의 계산기준으로 사용되며 조파저항면에서는 B를 작게 하는 것이 유리하고, 이에 따라 배수량이 부족할 경우는 흘수를 증가시키는 것이 유리하다. 본 논문에서 설계된 선형의 경우에는 운하를 운항하는 것을 주목적으로 하여 중심의 제한을 받으므로 흘수의 제한을 만족하면서 B를 되도록 감소시켜서 조파저항면에서 유리하도록 설계하였다. 이러한 이유로 선폭을 감소하여 C_B 의 경우 기준선의 수치보다 증가하였다. 설계된 선형의 선도(lines)는 Fig. 1, 2에서 보였다. 설계된 선형의 선도를 살펴보면, 선수미 측면 외형선이 아래부분의 기선과 이루는 각도의 경우에 20-30도 정도의 범위를 유지하고 있으며, 이러한 형태는 저항성능 면에서 유리한 형태이다.

제 3 장 모형시험

모형시험은 인하대학교 선형시험수조에서 실시되었으며, 세 가지 경우에 대하여 수행되었다. 첫 번째는 바지단독운항의 경우에 대하여 모형선을 제작하여 실험을 수행하였으며, 두 번째는 푸셔단독운항상태에 관한 실험, 세 번째는 푸셔와 바지가 연결되어 운항하는 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 바지, 푸셔 각각의 모형은 1/50 축척으로 제작되었으며, 각각의 실험은 일반적인 저항시험과 침하와 트림 추정을 위하여 F.P., A.P.에서의 침하량계측이 수행되었다. 모형선 예인시의 예인점은 각각의 모형선형의 부력중심에 위치하도록 하였다. 두 선형이 연결된 경우에는 예인점을 푸셔의 부력중심에 위치하도록 하였으며, 두 모형선

의 연결부분에 얇은 알루미늄 판을 사용하여 두 모형을 결합하는 방법을 택하였다. 난류축진을 위한 장치로 사용된 스타드(stud)들로는 모형선의 19스테이션(station) 표면에 1.5mm의 지름과 2.0mm의 높이를 가지는 못이 10mm간격으로 위치하도록 하였다.

제 4 장 수 치 계 산

4.1 지배방정식

본 연구에서는 유동장을 비압축성, 비점성유동이라고 가정하여, 지배방정식들로 보존형의 3차원 Euler 방정식과 연속방정식을 사용하였다. 격자계의 형태에 있어서는 가변교차격자계(variable & staggered mesh system)를 적용하여 계산의 정도를 높이고 계산시간의 효율성을 높이도록 하였다. 계산영역은 배의 반쪽만을 포함하는 유동장으로 구성하였으며, 좌표계로는 자유수면과 선수 앞 끝단이 만나는 점을 원점으로 하는 직교좌표계를 사용하였다. 지배방정식의 차별화에 있어서는, 대류항을 제외한 나머지 항들은 시간에 대하여 전진차분, 공간에 대하여 2차중심차분으로 정리하였다. 대류항의 차분기법으로는 2차중심차분과 donor cell법을 조합한 hybrid 기법을 적용하였다[8].

4.2 경계조건

4.2.1 물체 경계격자 설정

선체표면의 표현에 있어서는, XY평면에서는 선분(segment)들의 연속으로 표현된 수선들(water lines)로, YZ평면에서는 횡절선들(frame lines)로 하나의 격자에서 수직방향의 변화가 무시된 계단상으로 표현된다. 모든 격자들은 유체격자, 물체경계격자, 물체내부격자로 분류되며, 각각의 격자에 알맞도록 계산법이 구성되어 있다. 물체경계에서는 free-slip 조건을 적용하였으며, 물체경계격자에서의 압력 반복계산법은 속도압력동시반복법을 사용하였다.

4.2.2 자유표면조건

자유표면에서 점성응력(viscous stress)과 표면장력(surface tension)의 효과를 무시하고, "irregular star"기법을 사용하여 역학적 조건을 만족하도록 하였다. 한편, 자유표면에 놓여진 Marker들은 Lagrangian manner로 움직여지고, 이들의 각 시간단계에서의 새로운 위치는 새로운 자유표면을 결정하도록 하여 운동학적 조건을 만족하도록 하였다[8].

4.2.3 기타 경계조건

유입경계면에서는 속도에 Dirichlet조건을, 압력에 Neumann조건을 적용하였고, 선체의 중앙면에서는 좌우대칭조건을 적용하였다. 또한, 유출경계면에서는 속도, 압력 모두 Neumann조건을 주었으며, 제한수로의 계산에서 측면경계와 저면경계에서는 속도에 대하여 Slip 조건을, 압력에 대하여 Neumann조건을 주었다.

제 5 장 결과 및 고찰

5.1 모형시험

실험에 사용된 대상선형의 주요요목과 실험조건은 Table 2에서 보여주고 있다. 실험 결과를 고찰하여 보면, Fig. 3에서 보여주고 있는 잉여저항 계수의 경우 형상저항이 대부분을 차지하는 저속 구간에서, CB가 큰 바지단독실험과 푸셔-바지선의 경우에 비하여 CB가 가장 작은 푸셔 단독실험의 경우가 제일 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 그러나 속력이 증가하고 잉여저항중에서 조파저항이 차지하는 비율이 커지면서, 실선속력 약

Table 2 Principal characteristics of designed hull forms

Model	Barge		Pusher		Pusher-Barge	
	Ship	Model	Ship	Model	Ship	Model
Lpp	53.3 m	1.066 m	36.5 m	0.730 m	89.8 m	1.796 m
Breadth	7.9 m	0.158 m	7.9 m	0.158 m	7.9 m	0.158 m
Draft	2.7 m	0.054 m	2.7 m	0.054 m	2.7 m	0.054 m
Design Speed	6 Knots	0.44 m/s	6 Knots	0.44 m/s	6 Knots	0.44 m/s
Range(Fn)	0.12 - 0.25		0.12 - 0.26		0.12 - 0.23	
Cb	0.904		0.723		0.814	

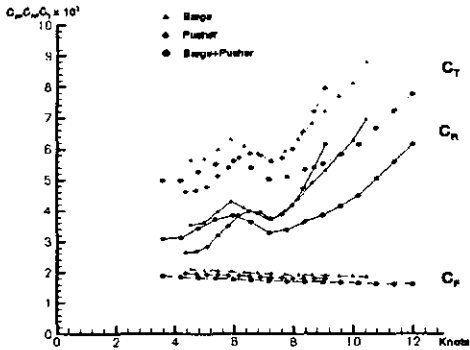


Fig. 3 C_T , C_R , C_F Curves
(2-Dimensional Analysis)

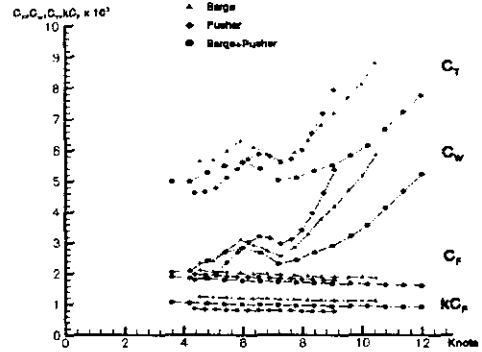
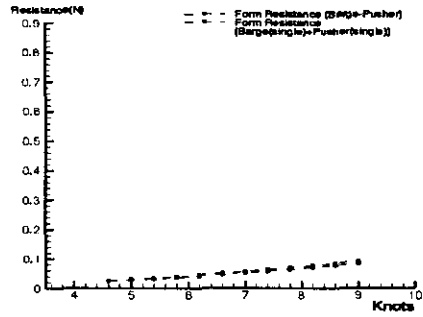
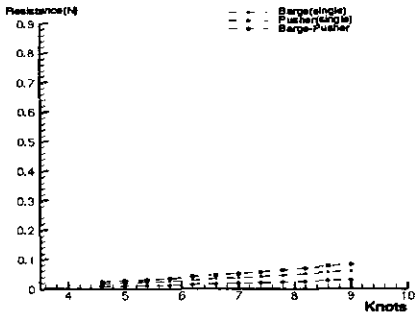


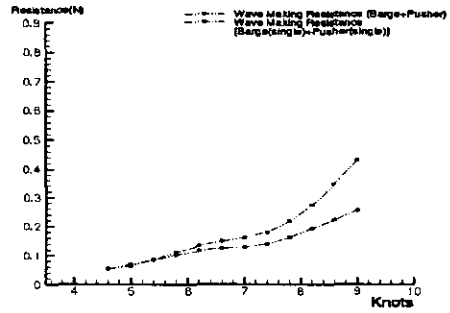
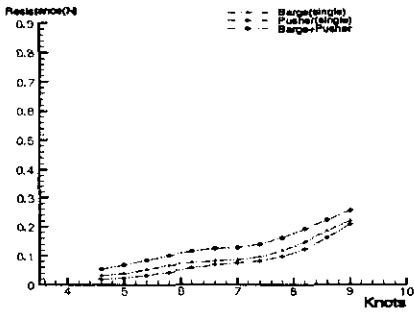
Fig. 4 C_T , C_W , C_F , kC_F Curves
(3-Dimensional Analysis)

6Knots 이상에서부터 L/B가 큰 푸셔-바지의 경우가 보다 더 적은 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 실험결과를 해석하는데 있어서 고려되어야 할 점은 두 선형의 설계시 조류의 속도가 고려되었다는 점이다. 설계과정에서 조류의 속력(3knots)을 고려한 점을 참고한다면, 설계선형의 운항 속력은 3-9knots에 해당한다는 것을 알 수 있다. 이러한 사항을 참고하여 잉여저항계수곡선을 살펴보면 세 가지 경우 모두 운항속력(3-9Knots)에서 일반적인 운하용 저속선의 경우와 비교하여 본다면 조파저항능이 그리 나쁘지 않음을 알 수 있다. 잉여저항계수값을 속도에 따라 비교하여 볼 때, 조류의 속도를 고려한 운항속도 3knots와 9knots에서 두 선체를 연결한 경우가 각각의 선체가 단독 운항하는 상태보다 비교적 나은 저항성을 보여주고 있다. Fig. 4에서는 Prohaska의 방법을 사용하여 각각의 선형에 관하여 형상저항계수를 구하는 3차원해석법으로 정리하였다. 3차원 해석의 결과로 구하여진 조파저항계수의 경우 저속구간에서는 푸셔의 경우 조파저항계수의 경우가 가장 작은 값을 보이거나 속도가 증가할수록 바지와 푸셔가 연결된 경우가 가장 작은 값을 보인다. Fig. 5에서는 각각의 선체의 저항성분값들을 속도에 따라서 비교하고 있다. 각각의 저항성분값들의 경우, 푸셔 단독운항의 경우가 가장 작은 값

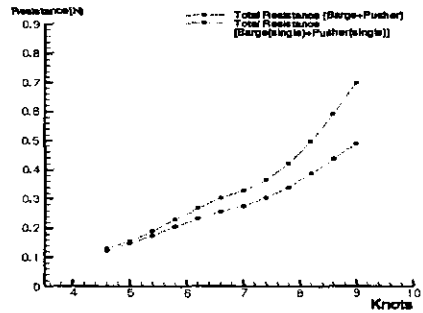
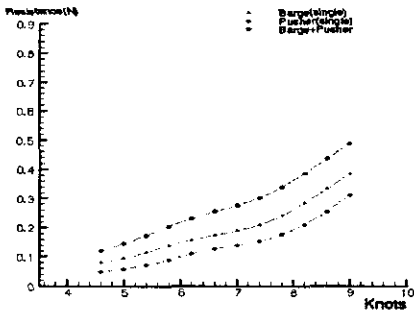
을 가지며, 이 결과는 푸셔의 형상계수값과 배수량이 가장 작기 때문이라고 생각되어진다. 다음으로 Fig. 6에서는 바지, 푸셔 단독운항상태의 저항성분값을 더한 결과와 푸셔-바지의 경우에 저항성분값들을 비교하고 있다. 먼저 형상저항값의 경우 전구간에 걸쳐서 푸셔의 경우가 약간 작은 값을 보이고 있다. 다음으로 조파저항값의 경우 형상저항이 대부분을 차지하는 저속구간에서는 두 경우가 차이가 거의 없으나 속도가 증가할수록 푸셔-바지의 경우가 조파저항값이 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 푸셔-바지의 경우 두 선체의 연결부분에서 각각의 선체의 단독운항 상태와 비교하여 푸셔의 선수파고와 바지의 선미파고가 감소하므로 이로 인한 연결부위의 조파저항 감소가 조파저항값을 작게 만드는 것이라고 생각되어진다. 이러한 이유로 다음의 전저항값을 살펴보면 형상저항값이 대부분을 차지하는 저속구간의 경우 값의 차이가 적으나 속도가 증가할수록 전저항값의 차이가 커지는 것을 볼 수 있다. Fig. 7에서는 각각의 선체에 관하여 전저항 중 형상저항과 조파저항, 마찰저항이 차지하는 비율을 그래프로 나타내고 있다. 각각의 선체 단독운항상태의 경우 일반상선의 경우와 비교하여 볼 때 저속에서 조파저항값이 큰 값을 가진다. 이는 설계선의 선체형상의 경우 저속으로 운항하면서 보다 많은 양의 화



Form Resistance



Wave Resistance



Total Resistance

Fig. 5 Comparisons of disintegrated resistance components

Fig. 6 Comparisons of disintegrated resistance components between Pusher-Barge and Barge(single)+Pusher(single)

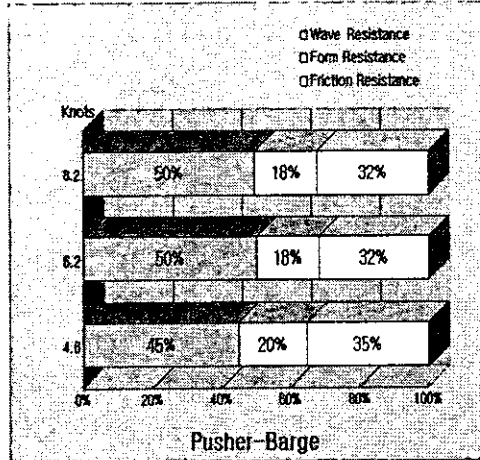
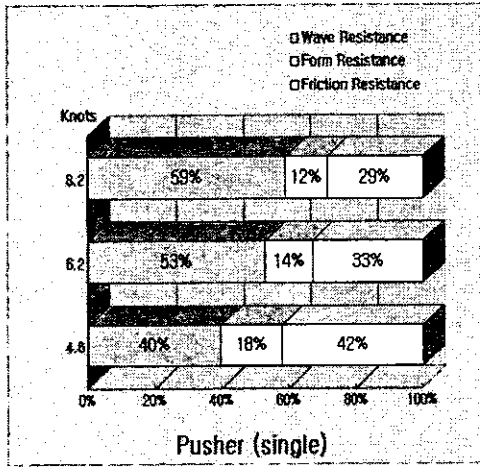
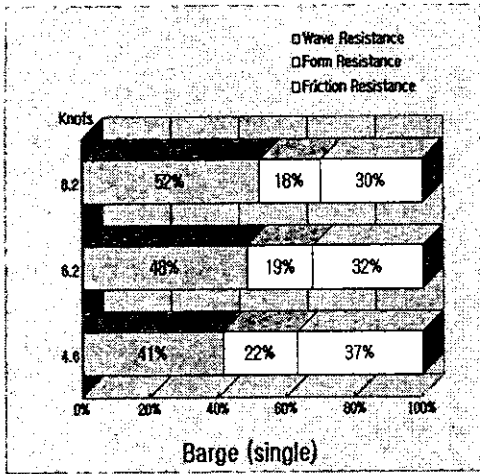


Fig. 7 Comparisons of disintegrated resistance components at each hull type

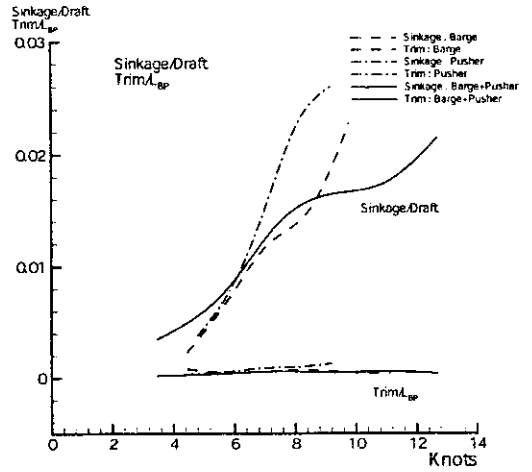


Fig. 8 Trim and Sinkage

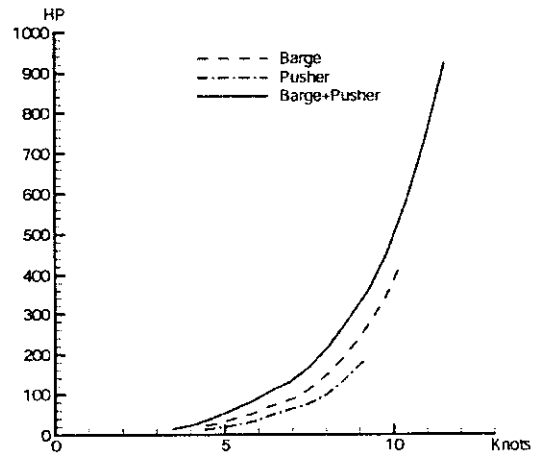


Fig. 9 EHP Curves

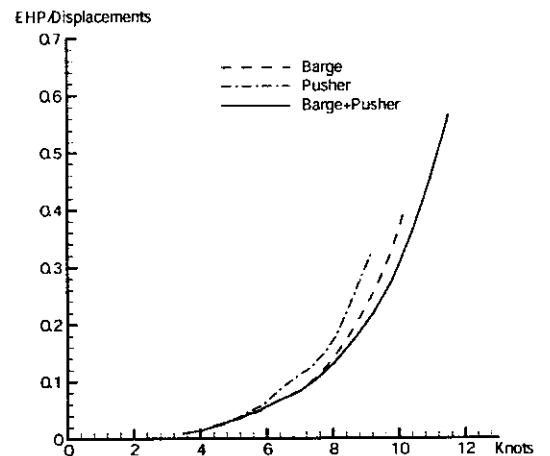
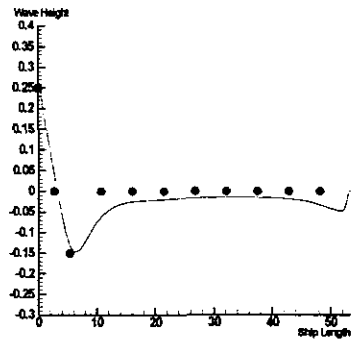


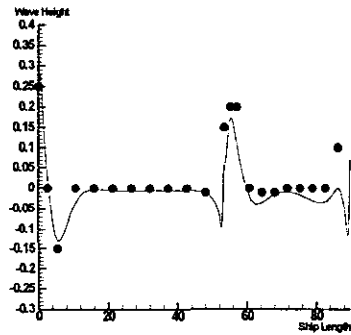
Fig. 10 EHP/Displacements Curves

볼을 운송하여야 하므로 조파저항의 관점보다는 화물운송효율 측면에서 고려하였기 때문이다. 세 가지 경우를 비교하여 보면, CB값이 상대적으로 큰 바지와 푸셔-바지의 경우 전속도구간에 대하여 형상저항값이 전저항값의 약 20%정도를 차지하는 것을 볼 수 있다. 설계선형의 경우 3-9 Knots의 비교적 저속구간을 운항하므로 형상저항값과 마찰저항값이 일반적인 속도로 운항하는 선박에 비해 큰 부분을 차지하게 된다고 생각된다.

Fig. 8에서 침하와 트림의 계측결과를 살펴보면, 운항속도구간에서 푸셔-바지의 경우 그리 크지 않은 침하와 트림을 보여주고 있으므로 안정적인 항주자세를 가지게 될 것이라 예상된다. Fig. 9에서는 EHP 곡선을 보여주고 있다. 또한, Fig. 10에서는 각각의 경우에 대한 단위배수량당 EHP를 비교하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 저속구간에서는 크게 차이가 없으나 운항속도구간에서는 푸셔-바지의 경우가 단위배수량당 유효마력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 유효마력의 감소의 원인은 앞에서 설명한 것과 같이 푸셔-바지의 침수표면적의 감소와 조파저항감소의 결과에 기인한다고 생각된다. Fig. 11에서는 각각의 실험과 수치계산에서의 선측파형을 비교하고 있다. 각각의 결과는 설계선형의 설계속도인 실선의 속력 6 Knots의 경우에 계측 및 계산된 것이다. Fig. 12에서는 다른 두 가지 바지, 푸셔선형의 경우와 푸셔-바지의 경우에 관하여 단위 배수량 당 유효마력곡선을 비교하고 있다. 그림을 살펴보면, 8knots이상의 범위에서 단위배수량당 유효마력이 푸셔의 경우 설계선형보다 높은 값을 가지고 바지의 경우와 푸셔-바지의 경우 설계선형보다 적은 값을 보여주고 있다. 이러한 결과의 원인은 푸셔의 경우 비교대상선형의 L/B가 적은 값을 가지고 있는 것에 기인한다고 생각되어지며, 푸셔-바지의 경우는 설계선형에 비하여 적은 CB값을 가지므로 적은 유효마력값을 가지는 것으로 생각되어진다. 비교가 된 실험결과 또한 CB가 가장 작은 푸셔의 경우가 가장 작은 유효마력값을 나타내고 CB가 큰 바지의 경우가 가장 큰 유효마력값을 가지며, 푸셔-바지의 경우 바지단독운항의 상태보다 적은



Barge



Pusher-Barge

Fig. 11 Comparison of Wave height profiles along the hull surface

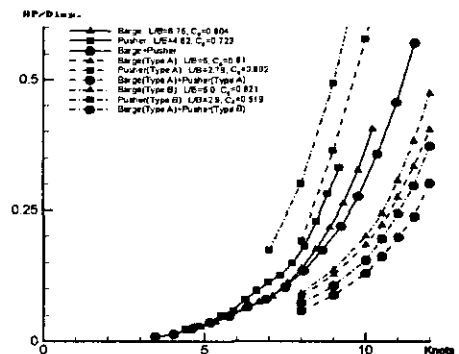


Fig. 12 Comparison of EHP/Disp. with other Pusher-Barge Types

유효마력값을 가진다. 이러한 결과들은 본 논문의 실험결과가 다른 형태의 푸셔-바지 선형의 실험결과와 비교하여 정성적으로 일치하는 경향을 보이며, 이러한 실험결과와의 비교를 통하여 본 설계선형의 저항시험 결과가 물리적으로 타당성을 가진다고 생각되어진다.

5.2 수치계산

수치 계산은 푸셔와 바지 각각의 선형에 관하여 심수상태와 운하상태의 설계속력 6Knots에서 계산을 수행하였다. 운하상태의 계산에 대해서는 경인운하의 계획조건인 수심 6m, 폭 100m의 경우에 대하여 계산을 수행하였다. 첫번째로, 바지와 푸셔 단독운항상태의 경우 계산에 사용된 격자계는 Fig. 13, 14에서와 같다. 각각의 경우에 대하여 가변교차격자계를 사용하였으며, 계산의 정도를 높이기 위하여 유동이 복잡한 선수와 선미부분에 격자를 집중시켰다. Fig. 15, 16에서는 바지와 푸셔 단독선형의 각각의 운항조건에 대한 파형조감도를 보여주고 있다. Fig. 17, 18에서는 바지와 푸셔 단독운항상태의 경우에 관한 심수상태

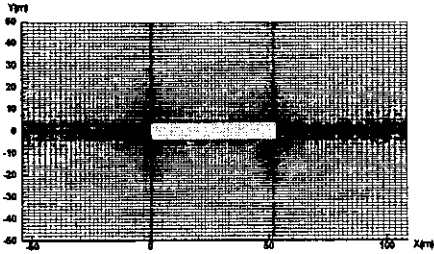


Fig. 13 Grid system for numerical simulation (Barge)

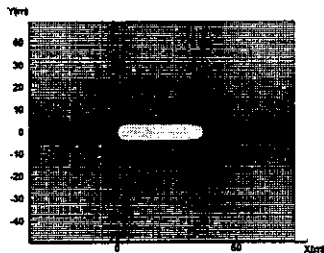
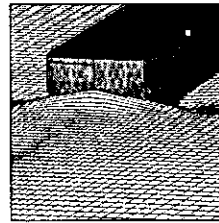
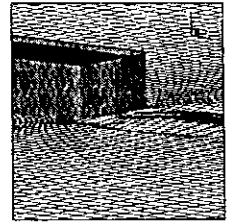


Fig. 14 Grid system for numerical simulation (Pusher)

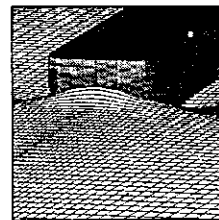


Front Side

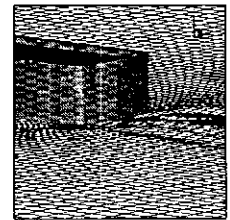


Rear side

Deep Water



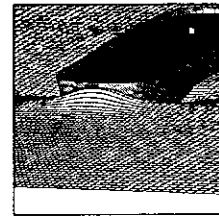
Front Side



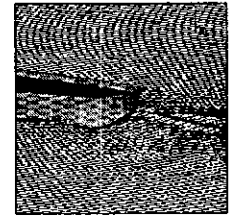
Rear side

Canal

Fig. 15 Perspective views of wave pattern (Barge)

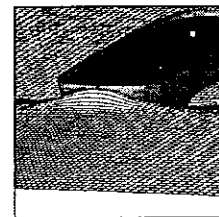


Front Side

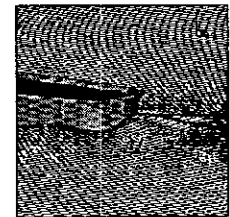


Rear side

Deep Water



Front Side



Rear side

Canal

Fig. 16 Perspective views of wave pattern (Pusher)

와 운하상태에서의 선측파형을 비교하고 있다. 선측파형을 살펴보면, 운하상태의 경우에 파고의 증가를 볼 수 있으며, 이것은 천수효과에 기인한다고 생각되어진다. Fig. 19, 20, 21, 22에서는 선체표면의 압력분포를 나타내고 있다. 운하중을 운항하는 경우에 선체밑바닥에 압력이 음(-)의 값을 가지는 범위가 보다 크게 분포하는 것을 볼 수 있다

Fig. 23, 24, 25, 26에서는 선체주위에서의 유동상태를 보이는 stream ribbon을 나타내고 있다. 천수상태일 경우 선체 아랫부분에서의 유선이 침수상태에 비하여 곧고 빠르게 빠져나가는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 천수상태에서 일반적으로 선체 아랫부분과 운하의 바닥사이에서 속도가 증가하는 현상 때문이라고 생각되어진다.

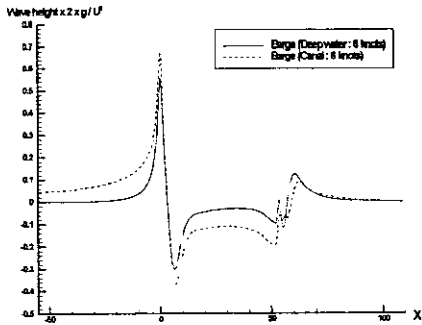


Fig. 17 Wave height profiles along hull surface (Barge)

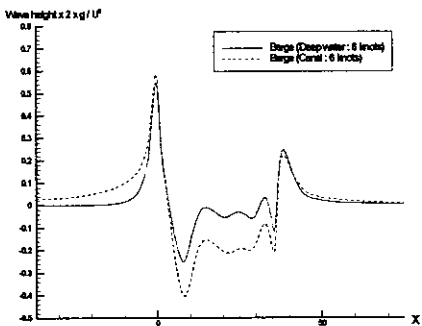


Fig. 18 Wave height profiles along hull surface (Pusher)

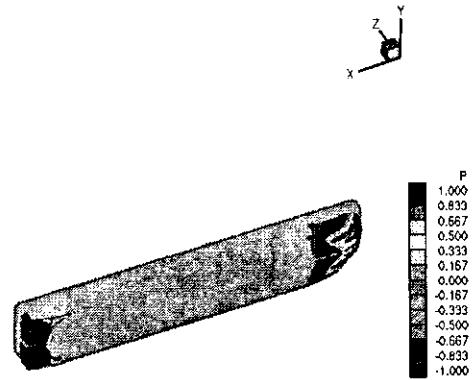


Fig. 19 Hull Pressure Distribution (barge, deep water condition)

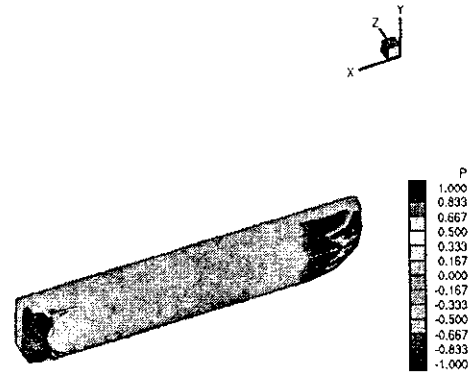


Fig. 20 Hull Pressure Distribution (barge, canal condition)

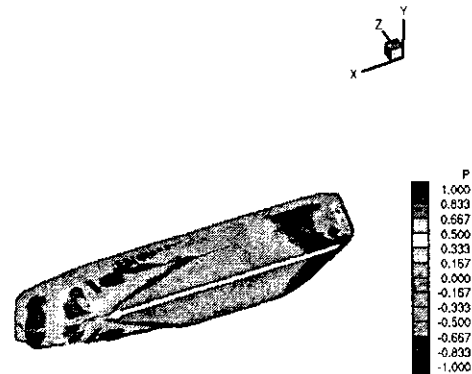


Fig. 21 Hull Pressure Distribution (pusher, canal condition)

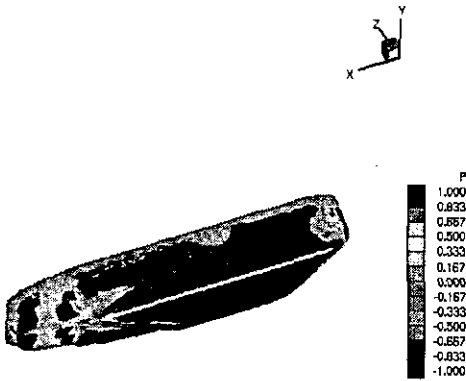


Fig. 22 Hull Pressure Distribution (pusher, deep water condition)

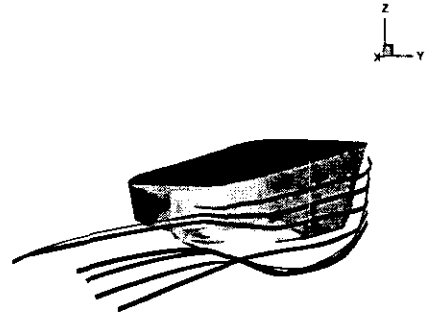


Fig. 25 Stream Ribbons around the Hull (pusher, deep water condition)

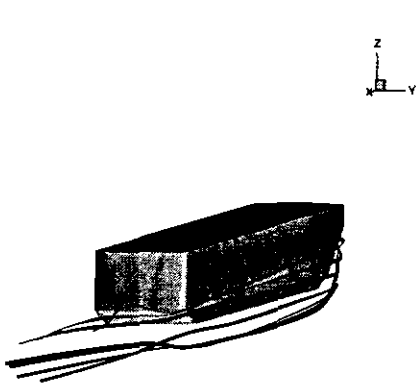


Fig. 23 Stream Ribbons around the Hull (barge, deep water condition)

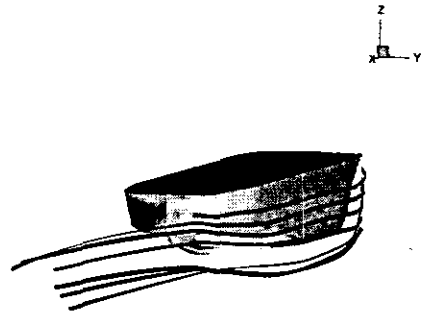


Fig. 26 Stream Ribbons around the Hull (pusher, canal condition)

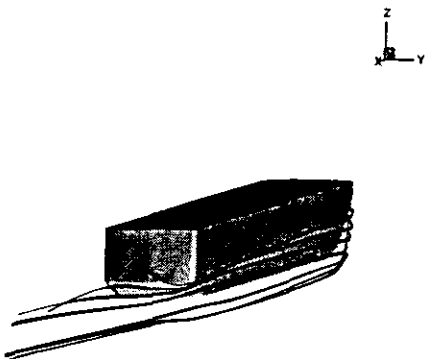


Fig. 24 Stream Ribbons around the Hull (barge, canal condition)

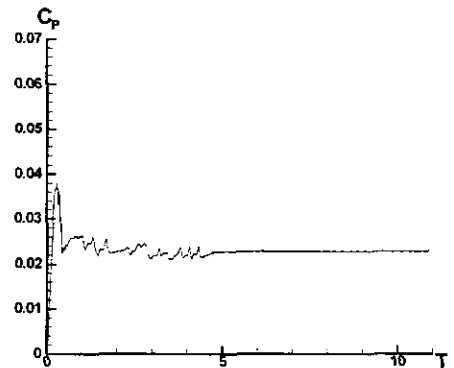


Fig. 27 Cp History (barge, deep water condition)

Fig. 27, 28, 29, 30에서 바지와 푸셔 각각의 단독운항상태에 관한 압력저항계수(C_p)의 시간에 따른 변화를 비교하여 보면, 운하상태에서 운항할 경우에 저항이 보다 크게 걸리는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 앞의 그림들에서 보는 바와 같이 선수부분의 파도가 앞으로 밀리는 현상을 비롯한 여러 가지 천수운항상태의 특성 때문이라고 생각되어진다.

다음은 푸셔와 바지선이 연결되어 운항하는 상태에 대한 계산결과이다. 계산에 사용된 격자계는 Fig. 31과 같으며, 두 선체가 접합되는 부분과 바지의 선수, 푸셔의 선미에 격자를 집중하여 계산의 정도를 높이고자 하였다. 먼저 Fig. 32에서 선수, 연결부분, 선미부분의 파형조감도를 보여주고 있다. 침수상태와 운하상태에 대한 선측파형은 Fig. 33에서 보여주고 있으며, 선측파형을 살펴 보면 두 선체가 접합된 부분에서 국부적으로 파고가 높아지는 것을 볼 수 있으며, 전체적인 파형은 단독운항의 상태와 유사하게 나타나고 있다.

Fig. 34, 35에서의 선체표면압력분포에서도 운하상태의 경우 선체바닥에서 압력이 음의 값을 가지는 영역이 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다. Fig. 36, 37에서는 선체주위에서의 stream ribbon들을 나타내고 있다. Fig. 38, 39에서의 C_p 를 비교해보면 운하상태의 경우가 선수파고의 증가로 인해 보다 큰저항을 받는 것을 볼 수 있다.

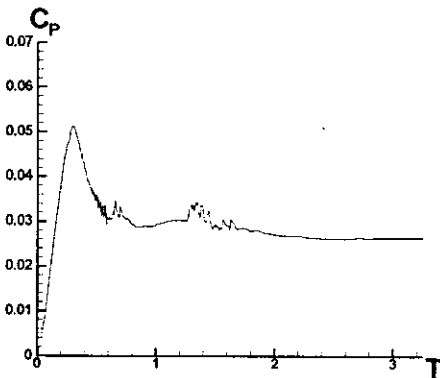


Fig. 28 C_p History (barge, canal condition)

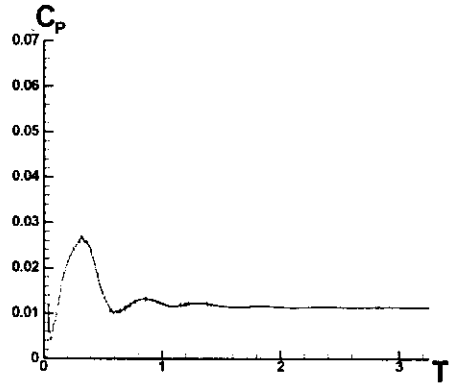


Fig. 29 C_p History (pusher, deep water condition)

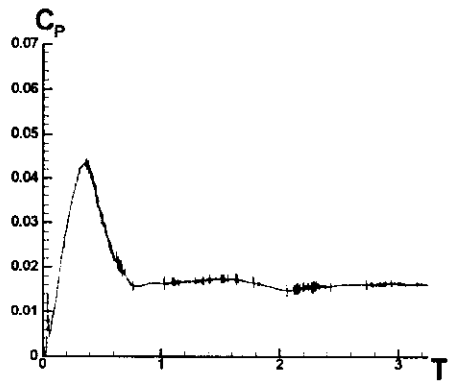


Fig. 30 C_p History (pusher, canal condition)

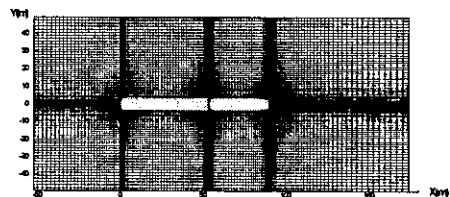
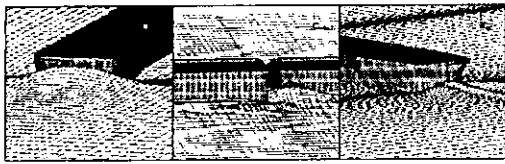
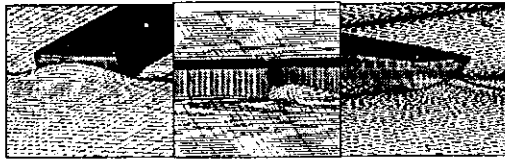


Fig. 31 Grid System for Numerical Simulation (pusher-barge)



Front Side(Barge) Connected Region Rear side(pushers)
Deep Water



Front Side(Barge) Connected Region Rear side(pushers)
Canal

Fig. 32 Perspective Views of Wave Pattern (pusher-barge)

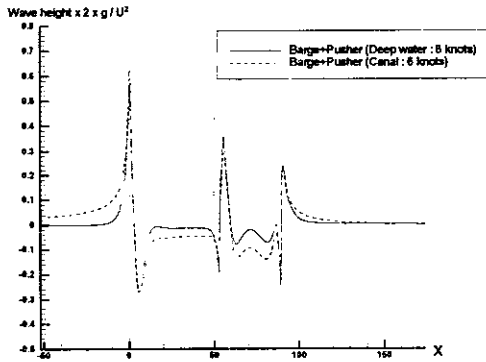


Fig. 33 Wave height profiles along hull surface (pusher-barge)

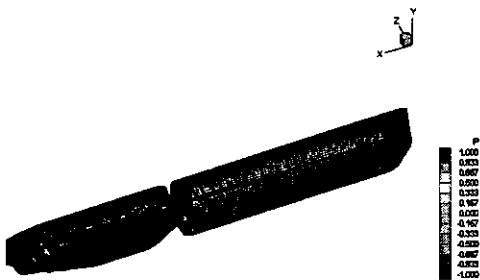


Fig. 34 Hull pressure distribution (pusher-barge, deep water condition)

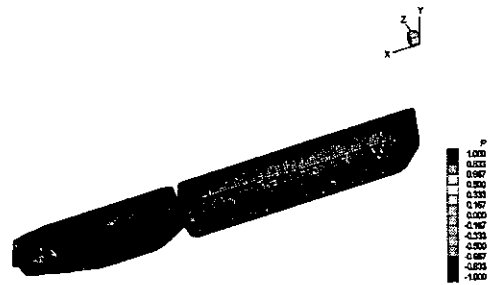


Fig. 35 Hull Pressure Distribution (pusher-barge, canal condition)

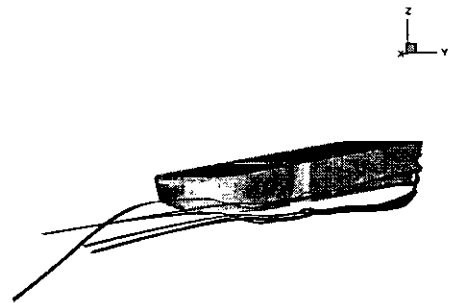


Fig. 36 Stream Ribbons around a Hull (pusher-barge, deep water condition)

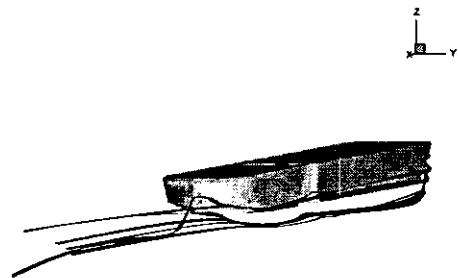


Fig. 37 Stream Ribbons around a Hull (pusher-barge, canal condition)

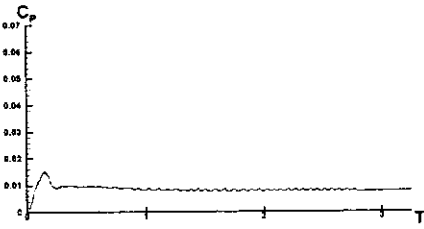


Fig. 38 Cp History (pusher-barge, deep water condition)

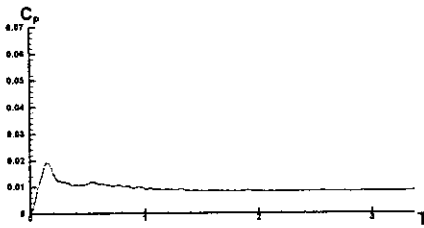


Fig. 39 Cp History (pusher-barge, canal condition)

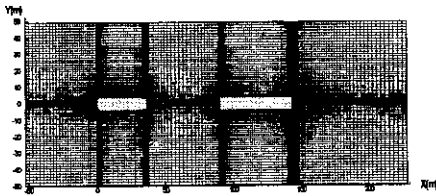


Fig. 40 Grid system for numerical simulation (tug-barge : Case 1)

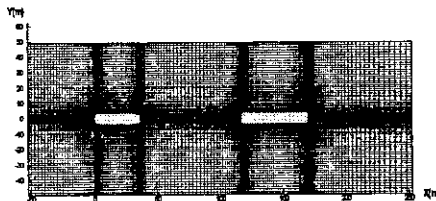


Fig. 41 Grid system for numerical simulation (tug-barge : Case 2)

다음으로, 바지를 운반하는 방법 중 다른 경우인 예인선(tug boat)에 의한 예인상태에 대하여 수치계산을 수행하였다. 이 경우에 예인선의 선형은 위의 계산에서 사용된 푸셔 선형을 적용하여

계산을 수행하였다. 계산은 예인선의 위치가 바지의 선수에서 바지의 길이의 1.0배(case1)와 1.5 배(case 2)만큼 앞부분에 위치시켜 계산하였다. Fig. 40, 41에서는 계산에 사용된 격자계를 보여 주고 있다. 격자는 계산의 정도를 높이기 위해 파형이 복잡한 각각의 선체의 선수와 선미부분에 집중하였다. Fig. 42에서 각각의 계산에 대한 예인선의 선수부분, 예인선과 바지의 사이부분, 바지의 선미부분 파형조감도를 살펴보면, 각각의 선체가 독립적으로 운항할 때와 유사한 파형을 보여 주고 있으나 두 선체의 중간부분에서는 두 계산의 경우 모두 선수파고가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과의 원인은 바지의 선수에서 발생된 파가 천수효과로 인하여 앞으로 밀리는 현상 때문이라고 보여진다. 다음으로는 Fig. 43, 44에서 그림에서 보면 예인선의 선수파고의 경우 단독 운항의 경우와 유사한 정도로 증가하고 있으나 두 경우에 대한 선측파형을 비교하고 있다. 이 두 선체의 사이부분에서는 두 선체간의 거리에따른 예인선과 바지의 사이부분에서 파고의 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 45, 46, 47, 48에서는 앞에서 말한 두 가지 경우에 대한 선체표면압력분포를 보여주고 있다. 그림에서 보면 두 가지 경우에 바지부분의 압력값들이 바지 길이의 1.0배, 1.5배 예인선이 떨어져 있을 경우에 커다란 차이를 보이지 않는다.



Front Side(Tug) Center Region Rear side(Barge) Deep Water



Front Side(Tug) Center Region Rear side(Barge) Canal

Fig. 42 Perspective views of wave pattern (tug-barge)

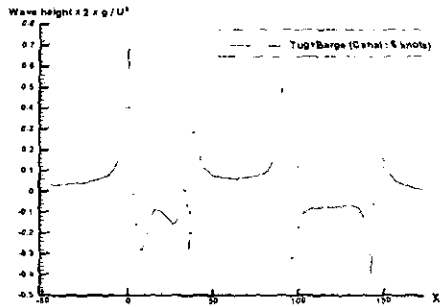


Fig. 43 Wave Height Profiles along Hull Surfaces (tug-barge : Case 1)

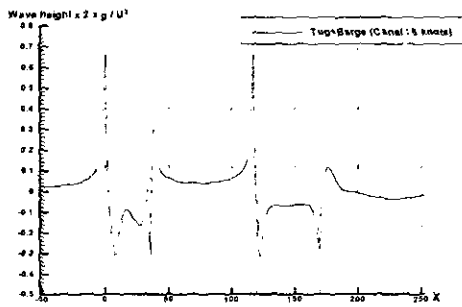


Fig. 44 Wave Height Profiles along Hull Surfaces (tug-barge : Case 2)

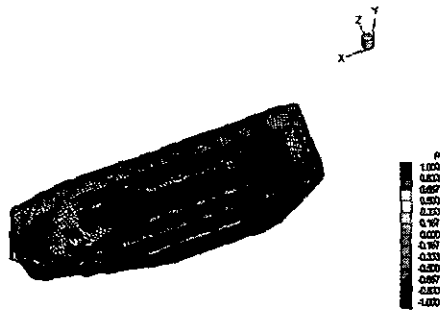


Fig. 45 Hull Pressure Distribution (tug : Case 1)

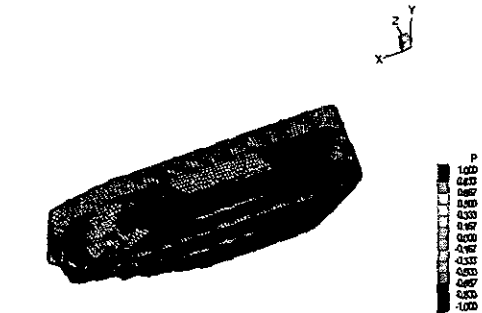


Fig. 46 Hull Pressure Distribution (tug : Case 2)

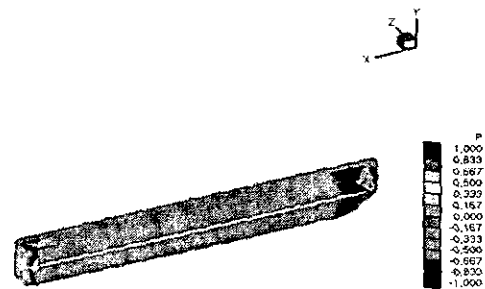


Fig. 47 Hull Pressure Distribution (barge : Case 1)

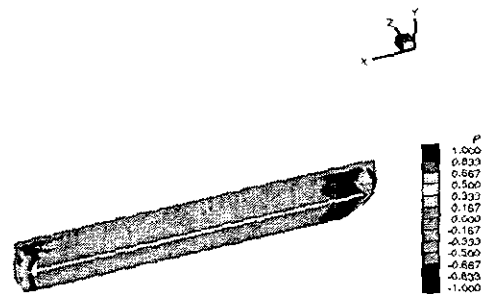


Fig. 48 Hull Pressure Distribution (barge : Case 2)

이러한 결과로 미루어보아 위에 계산된 두 경우에 있어서는 예인선과 바지 사이의 간섭효과가 발생하지만 그 크기에 있어서는 작은 것으로 생각되어진다. Fig. 49, 50에서는 각각의 경우에 대한 선체주위에서의 stream ribbon들을 보여주고 있다. 앞에서 말한 결과들로 Fig. 51, 52에서 보면 C_p 의 경우 Fig. 39의 푸셔-바지의 경우보다 저항이 크게 걸리는 것을 볼 수가 있으며, 또 예인선-바지의 두 가지 경우를 비교하여 보면 압력 저항계수값의 차이가 거의 나지 않는다. 계산된 C_p 값을 앞에서 계산한 푸셔-바지의 경우와 비교해 보면 본 논문에서의 설계선형을 대상으로 운하

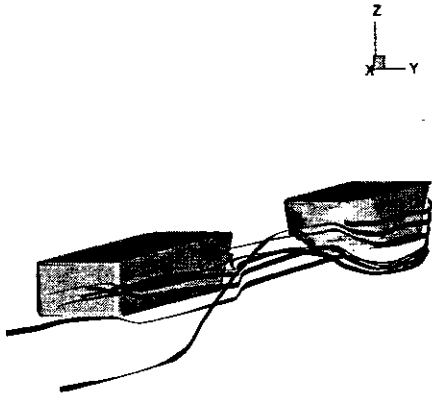


Fig. 49 Stream Ribbons around a Hull (tug-barge : Case 1)

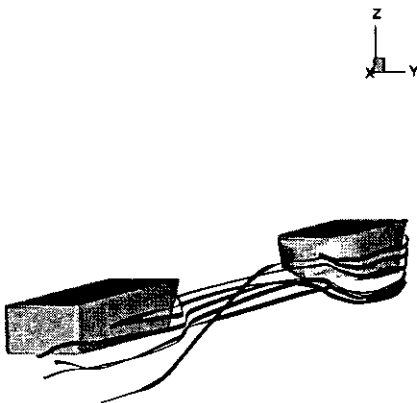


Fig. 50 Stream Ribbons around a Hull (tug-barge : Case 2)



Fig. 51 C_p History (tug-barge : Case 1)



Fig. 52 C_p History (tug-barge : Case 2)

를 운항하는 경우 푸셔-바지 타입이 예인선-바지의 경우보다 저항성능면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

제 6 장 결 론

앞에서의 실험과 수치계산의 결과들을 통하여, 설계된 선형에 대해 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모형시험과 수치해석을 통하여 설계선형의 유체역학적 특성을 파악할 수 있었다. 또한, 수치시물레이션의 경우 실험이 용이하지 않은 운하상태에 관한 계산을 수행하여 설계선형이 운하를 운항하는 상태에 관한 유동특성을 파악할 수 있었다.
- 2) 모형시험 결과를 정리하여 보면, 설계된 푸셔-바지의 경우 설계속력 3-9 knots일 때 전저항중에서 각각의 저항성분들이 차지하는 비율은, 조파저항의 경우 약 45%, 형상저항의 경우 약 20%, 마찰저항의 경우 약 35%

를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 일반상선의 경우와 비교하여 보면 조파저항관점에서 비효율적이라고 생각되나 본 설계선의 목적인 운하에서의 저속운항과 화물수송효율면에서 고려한 선형특성을 생각한다면 타당한 결과라고 생각되어진다.

- 3) 모형시험과 수치계산의 결과는 정성적으로 일치하는 결과를 보였으며, 따라서 푸셔-바지의 선형설계시에 본 수치계산조작이 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 설계된 선형은 바지, 푸셔 단독 운항상태보다 바지와 푸셔가 연결되어 운항되는 경우가 저항성능면에서 유리한 것을 모형시험과 수치계산의 결과들로부터 알 수 있었다.
- 5) 본 논문에서와 같이 운하상태를 운항하는 선박의 경우, 낮은 설계속력을 가지므로 일반상선의 경우와 비교하여 형상저항과 마찰저항이 전체저항중에서 비교적 큰 부분을 차지함을 모형시험으로부터 알 수 있었다. 따라서 저속으로 천수, 또는 운하를 운항하는 선박을 설계하는 경우에는 이러한 저항특성에 관한 고려가 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 KOSEF 지정 인하대학교 황해권 수송시스템 연구센터의 후원을 받아 이루어진 것으로, 센터 및 관계하신 여러분께 감사 드립니다. 본 논문의 정리와 그림의 수정에 수고한 인하대학교 대학원 김호은군에게도 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Pfenningstorf, "pusher-barge Shipping", Handbuch der Werft (HDW), 1985, in German.
- [2] W. Kruse, "Rationalization by Standardization of Barge type", HANSA 105, 1988 in German.
- [3] J. Osterhorz, "Ro-Ro Ship for the

Donau Shipping", Jahabuch der Schiffbautechnischer Gesellschaft 87, 1993, in German.

- [4] G.Marshall, "Tug-barges for Short Sea Routes with Special Reference to the North East Coal Trade. Trans. NECIES, Vol.101, No.3, 1985.
- [5] "The Ship in River-Sea through Traffic", 15th Duisburg Colloquium on Shipping and Ocean Technology, The Shipping Technology Faculty of Duisburg University, Germany.
- [6] Alfred M. Kracht, "Design of Bulbous Bows", SNAME Trans., Vol. 86, 1978, pp.197-217.
- [7] Nishimura S., and Miyata H., "Finite Difference of Nonlinear Ship Waves by the TUMMAC_IV Method and Its Application to Hull-Form Design", J. soc. Nav. Archit. Jpn Vol 157, 1985.
- [8] Lee Y.-G., Miyata H. and Kajitani H., "Some Application of the TUMMAC Method to 3D Water-Wave Problem", J. Soc. Naval Archit. Korea. Vol.25, No.4, Dec., 1988.
- [9] 정승규, 이승희, 이영길, 홍성완, "유한차분법을 이용한 쌍동선 선형주위의 유동장 해석", 대한조선학회 1995년도 춘계연구발표회 논문집, 1995.
- [10] 최항순, "제한수로를 임계속도로 항진하는 선박의 조파저항, 침하 및 종경사에 대한 비선형 해석", 대한조선학회 논문집, Vol.26, No.4, pp.3-13, 1989.
- [11] 이영길, 이승희, 이규열, 김성용, "200TEU급 연안, 하천, 연계 컨테이너선의 선형개발", 대한조선학회 논문집 Vol.34, No.4, pp.72-83, 1997.
- [12] 이영길, 나영인, "모형시험 및 수치해석을 통한 수중의 쌍동선 주위의 유동장 해석", 대한조선학회 논문집, Vol.34, No.4, pp.61-71, 1997.