
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 4 號 1997 年 11 月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 34, No. 4, November 1997

재화중량 8,000 톤급 Barge선의 침로안정성에 대한 실험적 연구

전호환*, 권순홍*, 하동대*, 하상운**

An Experimental Study On the Course-Keeping of an 8,000 DWT Barge ship

by

H.H. Chun*, S.H. Kwon*, D.D. Ha* and S.U. Ha**

요 약

바지(barge)선이 예인선에 의해 예인삭으로 예인될때 예인시스템의 특성상 yaw운동이 일어나 큰 sway운동이 발생할 수 있다. 특히, 바람이나 파랑들의 외력의 작용에 의해 바지선이 과도한 운동을 일으키게 되어 예인이 곤란하거나, 심할경우 예인선이나 예인물이 전복되는 사례가 보고되고있다. 따라서 예인물의 침로 안정성은 주변 항해 선박의 안정성과도 관계되어 여러가지 측면에서 중요한 문제로 다루어져 왔다.

본 연구는 8,000톤급 바지선의 침로 안정성에 관한 회류수조와 예인수조의 시험 결과이다. 여러가지 형태의 스케그(skag)를 바지선의 선미부에 부착하여 정수 및 불규칙파에서 침로안정성 시험을 수행하였다. 8,000톤급 바지선이 스케그 부착없이 예인선으로 예인될때 sway 운동의 진폭은 바지선폭의 약 10배정도인것이, 효과적인 스케그의 부착으로 진폭을 0으로 만들어 침로 안정성을 유지할수있음을 보였다.

Abstract

When a barge is towed by a tug boat using a tow line, the barge is frequently subject to a large sway motion induced from its inherent yaw motions. This large sway motion combined with external forces due to winds and waves may makes the towing to be difficult or even dangerous. It has been reported that in worse situations, barges or tugs are capsized.

발 표 : 1995년도 대한조선학회 추계연구발표회 ('95.11.10)

접수일자 : 1996년 2월 3일, 재접수일자 : 1997년 7월 5일

*정회원, 부산대학교 조선해양공학과 (기계기술연구소)

**정회원, (주) 강남

In addition, the large sway motion of the towed barge gives a menace to the safety of ships navigating nearby.

This paper is the results of the experimental investigation into the course stability of an 8,000 DWT barge using a Towing Tank and a Circulating Water Channel. Various skegs are designed and course stability tests for the barge with skegs are conducted in calm water and in irregular waves. It is observed that an effective skeg attached to the barge enables the sway motion to be zero while the sway amplitude of the bare hull is around 10 times its breadth.

1. 서 론

최근, 여러종류의 해양구조물과 해상 plant들 및 바지선들이 다른 선박에 의해 예인되어 목적장으로 이동되어 지는 일들이 부쩍 늘어나고 있다. 더우기, 육상 교통의 혼잡으로 인해 해상으로의 화물수송량이 크게 증대되는 추세이어서 바지선의 이용이 증가할 것으로 예상된다.

바지(barge)선이 예인선에 의해 예인삭으로 예인되어 갈때 예인시스템의 특성상 yaw운동이 일어나 큰 sway운동이 발생할 수 있다. 특히, 바람이나 파랑들의 외력의 작용에 의해 바지선이 과도한 운동을 일으키게 되어 예인이 곤란하거나, 심할경우 예인선이나 예인물이 전복되는 사례가 보고 되고있다[1, 2]. 따라서 예인물의 침로 안정성은 주변 항해 선박의 안정성과도 관계되어 여러가지 측면에서 중요한 문제로 다루어져 왔다.

바지선의 침로 안정성을 유지 하기위해 일반적으로 선미부근에 스케그를 부착한다. 본 논문은 재화중량 8,000톤급 바지선의 선미부분에 여러형태의 스케그를 부착하여 회류수조와 예인수조에서 침로안정성에 대한 모형 시험결과를 보고한다. 먼저 나선 모형으로 여러가지 yaw각도에서 tuft시험으로 유선을 측정하여 스케그의 부착위치와 모양을 결정한다. 설계된 스케그를 부착각도와 부착위치를 바꾸어 가며 회류수조에서 yaw 안정성을 관측하여 만족스러운 몇몇 경우에 대해서, 예인수조에서 예인삭으로 예인하여 정수중 및 불규칙 해상 상태에서도 침로안정성을 확인하였다. 관측된 바지선 주위의 유선과 포텐셜유동에서의 3-D 패널(panel)법에 의해 계산된 유선의 결과가 비슷하여

수치해석 프로그램이 스케그의 설계에 보조적으로 활용됨을 보였다. 또한 예인삭의 형상이 예인물의 침로안정성에 영향을 미침을 보였다. 나선과 스케그 부착시의 저항을 측정하여 적은 저항증가를 주면서 효과적으로 예인물의 침로안정성을 유지할 수 있는 스케그 형상을 제안하였다.

2. 바지선과 모형선 제원

바지선의 제원은 길이 = 85.0 m , 폭 = 27.0 m , 흘수 = 4.5 m 이고 Fig.1에 선도가 주어졌다. 본 바지선은 예인선에 의해 6.5 ~ 7.5 노트의 속도로 운항될것이며 운항 구역은 근해 수역이다. Fig.1에 주어진 DWT 8,000톤급 바지선의 1/60 의 축적으로 나무 모형선을 제작하였다. 따라서 모형선의 길이는 1.42m, 폭 0.45m, 흘수는 0.076m 이다.

3. 시험 설비 및 시험 항목

시험은 부산대학교 조선해양공학과와 회류수조 시험 장비와 예인수조 시험 장비로 나누어 하였다. 회류수조의 관측 구간 제원은 길이 4.1m, 물깊이 1.2m, 폭 1.8m 이고 최대유속은 2.0m/s 이다. 예인수조 크기는 90m, 폭 5m, 물깊이 3m 이며 전차의 최대속도는 5.0m/s 이다. 각각의 실험실에서 시험한 항목은 아래와 같다.

회류수조

- 나선(bare hull) tuft 시험.
- 나선 침로 안정성 시험.
- 스케그 부착 침로 안정성 시험.

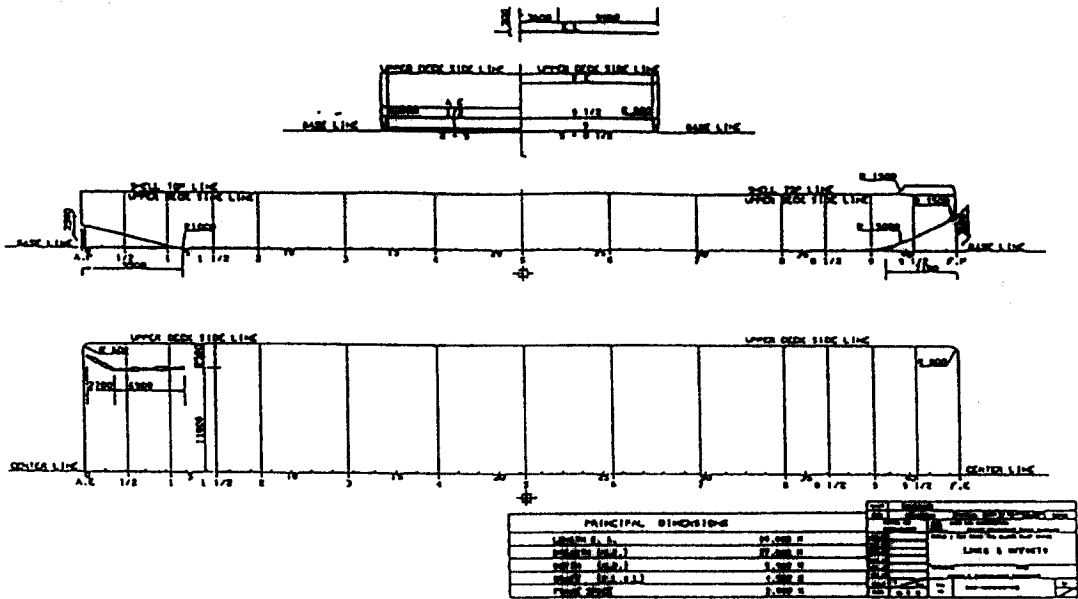


Fig. 1 Lines of a DWT 8,000 ton barge

예인수조

- 저항 시험(나선 및 스케그 부착)
- 정수중에서 예인선으로 바지선을 예인하면서 침로 안정성 시험.
- 불규칙해상 상태에서 예인선으로 바지선을 예인하면서 침로 안정성 시험.

4. 시험 결과 해석

4.1 Tuft 시험

바지선의 선미부에 tuft를 부착하여 회류수조에서 유속 0.3, 0.4, 0.5 m/s(각각, 실선속도 4.5, 6.0, 7.5 노트와 같음)에서 바지선의 종축과 무한 유체의 입사방향(angle of attack)을 0°, 5°, 10° 및 15°로 변화하면서 유선을 관측하였다. Fig.2에서 5가지는 유속 0.5 m/s에서 유체의 입사 방향이 0°, 5°, 10°, 15° 일때의 tuft 시험으로 관측한 선미부에서의 유선의 방향을 보여준다.

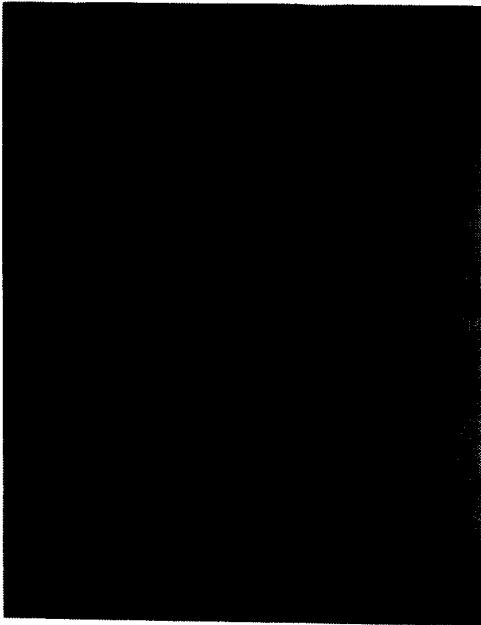
Fig.6은 유속 0.5 m/s (실선 7.5 노트)에서 입사각 0°일 경우 Rankine 소오스 분포에 의한 3-D panel 법에 의해 계산한 유선을 보여주고 있다.

Fig.2의 결과와 비교해 보면 정성적으로 비슷한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

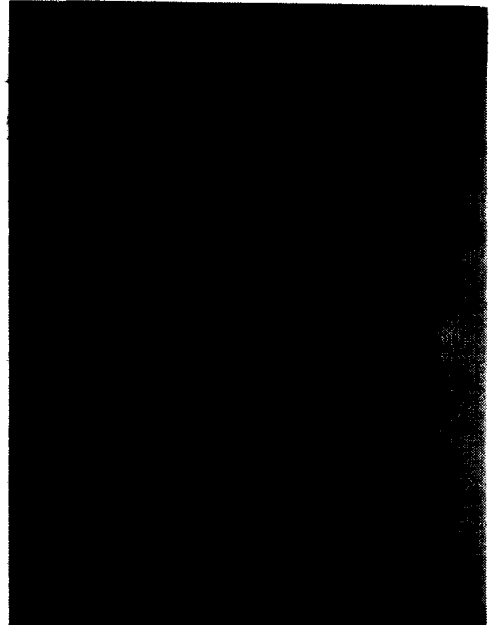
4.2 스케그 설계

유선 시험 결과를 바탕으로 하여 스케그의 모양과 스케그의 부착위치에 대한 정보를 다소 얻을 수 있다. 즉, 바지선이 어떤 외력에 의해 yaw 운동을 발생하려고 할때 그 반대 방향으로 yaw 모멘트(moment)를 상쇄할수있는 힘을 발생시키는 장치를 부착하면 된다.

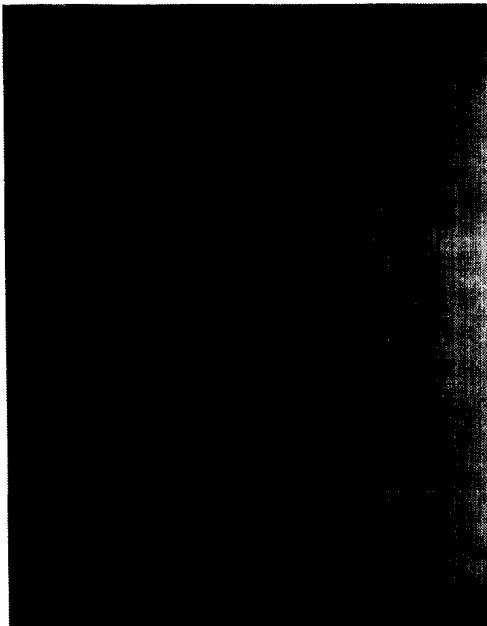
Fig.7은 선미부에 직선형 스케그가 역유선 방향으로 부착되어 있는 경우와, 너클(knuckle)형 스케그가 유선 방향으로 부착되어 있는 경우, 바지선이 직진할 경우와 yaw가 일어났을때 스케그에 의해 발생하는 힘을 화살표로 표시됨을 보여주고 있다. 바지선이 직진으로 운항할때는 선미부에 부착된 스케그가 안쪽으로 힘을 얻어 yaw를 억제해 주고 있으며, 만일 이러한 억제해주는 힘을 능가하는 강한 외력에 의해 yaw가 발생하였다면, 이 yaw를 상쇄시킬수있는 더 큰 힘이 발생한다면 바지선은 원점으로 돌아갈 것이다. 그림에서 보듯이 직선형 스케그보다는 너클형 스케그가 yaw가 일



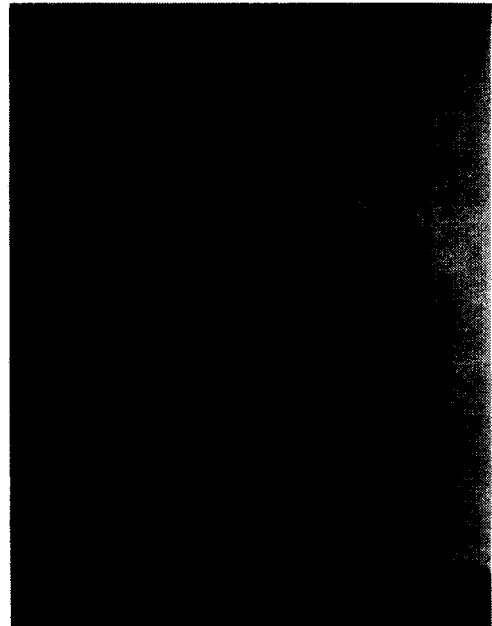
Velocity : 0.5 m/s, Angle of attack : 0°
Fig.2 Streamline observation by a tuft test



Velocity : 0.5 m/s, Angle of attack : 10°
Fig.4 Streamline observation by a tuft test



Velocity : 0.5 m/s, Angle of attack : 5°
Fig.3 Streamline observation by a tuft test



Velocity : 0.5 m/s, Angle of attack : 15°
Fig.5 Streamline observation by a tuft test

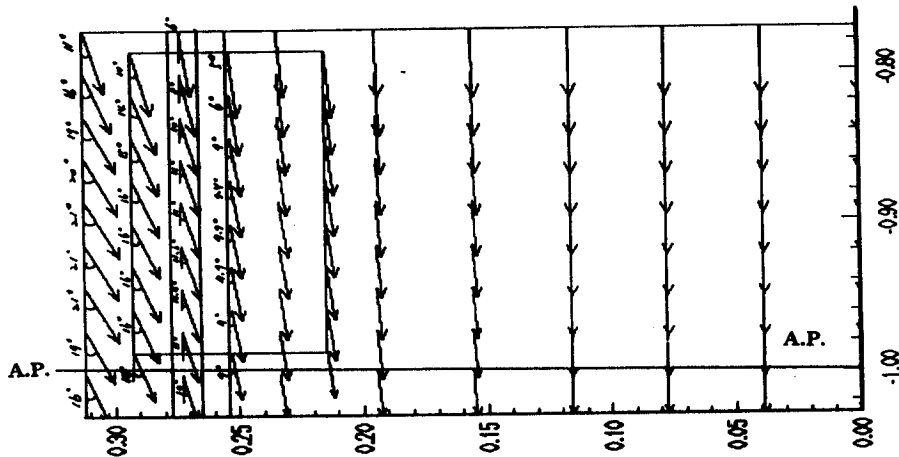


Fig.6 Computed streamlines in the stream (flow speed: 0.5 m/s)

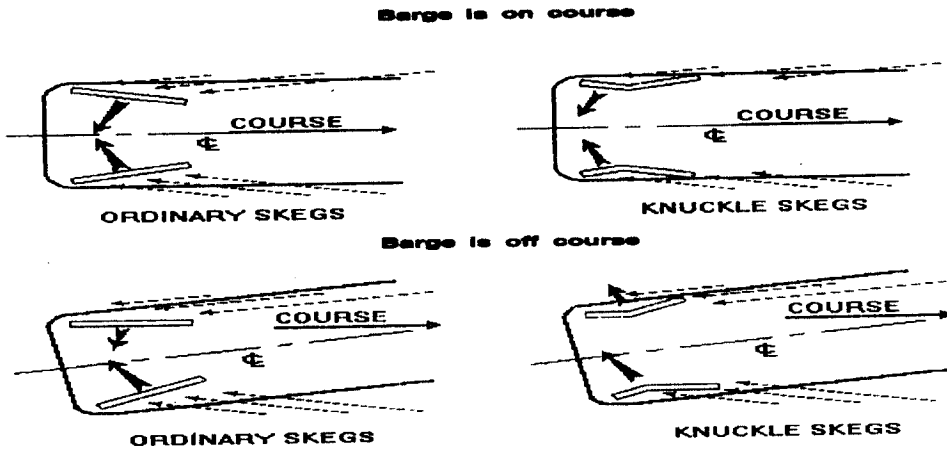


Fig.7 Force acting on the skag

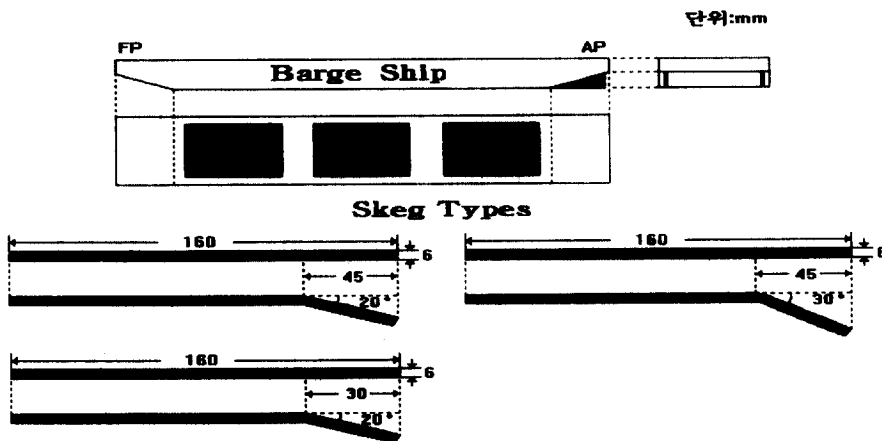


Fig.8 Skag configurations

어났을때, 보다 큰 복원력을 발생시키고 있음을 알수있다. 너클형 스케그의 또다른 장점의 하나는 너클부에서 유속이 가속되어, 보다 큰 모멘트를 발생시킬수 있다는 것이다. 그리고 스케그의 앞부분이 유선 방향과 일치하기 때문에 총저항도 직선형 스케그에 비해 줄어들 것으로 예상된다.

이러한 사실을 체계적으로 규명하기 위해 직선형 스케그 1조와 너클형 스케그 4조를 제작하였다. 제원과 모양은 Fig.8에 보여주고 있으며, 5조 모두 다 총 길이는 16cm(모델 스케일)로 하였다. 너클형인 경우 너클부 길이는 4.5cm와 3.0cm로 하였으며, 각각에 대해서 너클부의 각은 20°와 30°로 하였다.

4.3 회류 수조 침로 안정성 시험

먼저 나선에 대해서 예인삭 시스템에 대한 yaw 운동의 안정성 시험을 수행하였다. 예인삭의 시스템은 Y-cable이 바지선의 선수부에 연결되고 delta판(plate)을 통해 1개의 직선 cable이 예인선에 연결된다.

한국 선급[3]에서는 예인삭 전체길이를 아래와 같이 규정해 두고있다.

$$S = K(L_1 + L_2)$$

- S : 예인삭의 길이(m)
- L1 : 예선의 길이(m)
- L2 : 부선의 길이(m)
- K : 다음 표에 의한 값

	연해구역	근해구역 이상
K	1.5 ~ 2.0	2.8 ~ 3.7

부선인 바지선의 길이는 85.0m이고 이를 예인할 예인선의 길이는 48.5m 이며 본 바지선은 근해구역 이상에서 항해하기로 되어있다. 따라서 윗식에 의해 예인삭의 길이는 373.8m~493.95m 사이의 값으로 된다(1/60 scale인 경우 6.23m~8.23m).

회류수조 측정 구간의 제원은 길이 4.1m, 폭 1.8m, 깊이 1.2m 이기 때문에 1/60로 축소된 예인삭(6.23m~8.23m)으로는 안정성 시험을 할수없고 최대2.68m(4.1m - 모형선 길이)가 되도록하여 시

험을 수행하였다.

Fig.11은 Y-cable 길이와 폭의 변화에 따라서 4가지 다른 예인삭 시스템을 보여주고있다. 선주의 요구에 의해 Fig.11의 A형이 사용되어질 것이나 4가지 다른 예인 시스템 변화에 따른 침로 안정성에 대해서도 조사해 보았다.

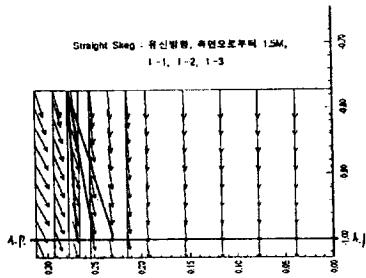
스케그가 없는 나선의 경우 4가지 예인삭 시스템 모두 불안정한 횡방향 운동을 보였다. 회류수조의 중앙에 바지선을 정지해 두었을때 미소 yaw 운동이 발생하여 yaw 모멘트에의해 점차 크게 진동하는 sway 운동을 보였다. 그러나 A, B, C, D 순으로 sway 운동의 진폭 증대 속도가 둔화됨을 알수 있었으며 이러한 결과는 예인삭 시스템에 의해 부선의 직진성이 영향을 받음을 알수있고 이 결과는 스케그 부착시험에서도 나타났다.

스케그 부착 시험은 Fig.8에 보여주는 스케그들로 부착위치, 부착각도 등을 바꾸어 가며 시험을 수행하였다. 총 21경우에 대해서 시험한 결과를 Table 1에 요약해 두었다. Fig.9에 스케그의 종류별 부착 위치를 보여주고 있으며 선미부에서의 계산된 유선의 방향도 함께 표시하였다.

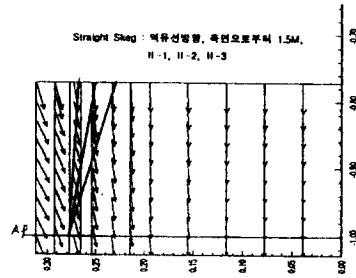
너클형 스케그인 경우 너클부 길이가 모델 스케일로 3cm 일경우(Fig.8 참조) 너클 부의 효과가 미소하여, 즉 직선 스케그로 역유선 방향으로 부착한 경우 (II-1, 2, 3)보다 안정성이 떨어졌기 때문에 실험을 중단하고 4.5cm인 경우만 수행하였다. 따라서 Table 1에 보여주는 너클형 스케그인 경우, 모두 너클부의 길이가 4.5cm인 경우이다. Table에서 각(angle)들의 의미는 Fig.10에 나타내었으며, 유효 입사각 α_3 는 너클부 1/2 지점에서 나선에 대해 계산한 유선의 유효 입사각을 나타낸다.

바지선의 직진성 시험은 회류수조의 중앙부에서 바지선을 흔들어 놓았을때, 시스템이 안정적이면 어느시간 후에는 회류수조의 중앙부에 돌아와서 정지 하는점을 유의하여 다음과 같이 수행하였다. 먼저 만재(full load)출수 상태에서 실선속도 7.5노트의 유속을 보내고, 바지선을 회류수조의 측면에서 놓았을때 회류수조의 중앙부까지 돌아와서 정지 할때까지의 주기를 측정하였다. 1주기라 함은 원점까지 돌아오는것을 의미하며, 1과 1/4 주기라 함은 수조의 측면에서 바지선을 놓았을때 돌아와서 중앙부로 가면서 일직선으로 정지하는 상황을 의미한다.

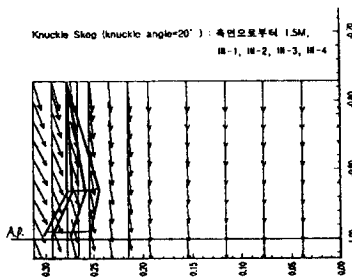
9-A



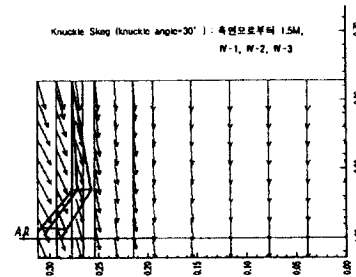
9-B



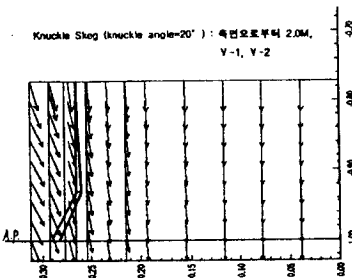
9-C



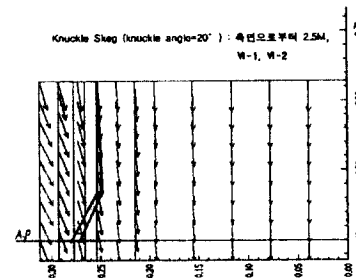
9-D



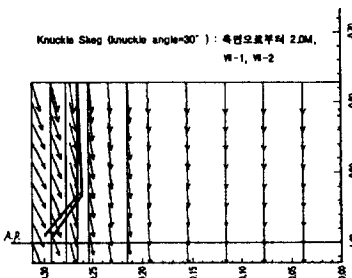
9-E



9-F



9-G



9-H

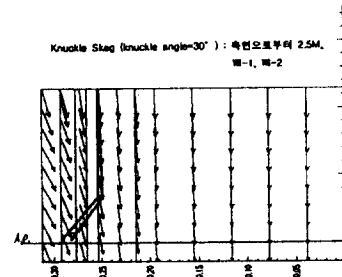
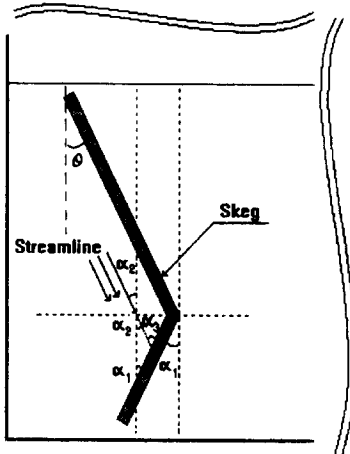


Fig.9 Position of the skeg in the stern together with the calculated streamlines



STERN PART

Fig.10 Definition of the angle of flow incidence

Table 1 Summary of the stability test results with various skegs

No.	Skeg형태	부착방향	부착각도 (θ)	부착위치 (끝단으로부터)	Knuckle 방향각도 α_1	유선입사각 α_2	유효입사각 α_3	안정성*
I-1	직선	유선방향	2°	1.5 (m)				×
I-2	"	"	7°	"				×
I-3	"	"	12°	"				×
II-1	직선	역유선방향	2°	"	2°	12°	14°	△
II-2	"	"	7°	"	7°	12°	19°	2¼주기
II-3	"	"	12°	"	12°	12°	24°	2¼주기
III-1	Knuckle(20°)	유선방향	0°	"	20°	15°	35°	2¼주기
III-2	"	"	2°	"	18°	14°	32°	1¼주기
III-3	"	"	7°	"	13°	10°	23°	1¼주기
III-4	"	"	12°	"	8°	7°	15°	4¼주기
IV-1	Knuckle(30°)	"	0°	"	30°	15.5°	45.5°	1¼주기
IV-2	"	"	2°	"	28°	14.5°	42.5°	¾주기
IV-3	"	"	7°	"	23°	11°	34°	2¼주기
V-1	Knuckle(20°)	"	0°	2.0 (m)	20°	12°	32°	1¼주기
V-2	"	"	2°	"	18°	11°	29°	3¼주기
VI-1	Knuckle(20°)	"	0°	2.5 (m)	20°	10°	30°	2¼주기
VI-2	"	"	2°	"	18°	8.5°	26.5°	3¼주기
VII-1	Knuckle(30°)	"	0°	2.0 (m)	30°	13°	43°	1¼주기
VII-2	"	"	2°	"	28°	12°	40°	1¼주기
VIII-1	Knuckle(30°)	"	0°	2.5 (m)	30°	11°	41°	1¼주기
VIII-2	"	"	2°	"	28°	10°	38°	1¼주기

* 안정성은 유속 7.5노트의 속도(실선)에서 회류수조의 측면에서 barge선을 놓았을때 중앙부까지 돌아와서 정지할때까지의 주기를 말함

따라서 정지하는 주기가 짧으면 짧을 수록 바지선의 침로안정성은 강하다고 해석할수있다. Table 1에서 보여주는대로 유선 방향으로 부착된 직선

스케그인 경우 sway 운동이 발산하지는 않으나 일정한 크기로 진동하는 것을 관측할수 있었으며 직선형 스케그를 역유선 방향으로 부착하였을 경

우 부착각도가 증가할수록 정지 주기가 짧아짐을 알수있다. 너클형 스케그를 부착한 경우 모두 침로 안정성이 있음을 알수있고, 그 정도는 부착위치와 각도에 따라서 다소 차이가 있음을 알수있다.

Table 1의 결과를 바탕으로 하여 회류수조에서 바지선의 침로 안정성에 대한 시험 결과를 요약하면 아래와 같다.

a) 바지선의 침로 안정성은 스케그의 부착위치, 부착각도 및 형태에 민감함.

b) 바지선의 안정성은 스케그로의 유선의 유효 입사각과 관계가 있는 것을 알수있음. 스케그의 부착 위치를 선측으로 부터 1.5m, 2.0m, 2.5m 으로 변화 시켰을때 30°의 너클 각도를 가진 경우 유효 입사각이 38°~45°이면 아주 우수한 안정성을 가지고 있음. 반면에 20°의 너클 각도를 가진 경우는 1.5m 위치에서 30° 근처가 좋으며 2.5m의 위치에서는 좋은 효과를 기대할수가 없었음. 이러한 유효 입사각은 나선에서 계산한 것이기 때문에 스케그 부착시, 유효 입사각이 다소 달라질수 있기 때문에 명확한 결론을 내리는 것은 다소 무리가 있음. 그러나 너클 부의 각도를 20° 보다는 30° 로 하는것이 전체적으로 우수하다는 것을 알수있음.

c) 스케그의 부착위치에 관계없이(1.5~2.5m), 유효 입사각을 조절하면 안정적인 시스템을 얻을 수 있으며, 실용적인 면을 제외하고는 1.5m 위치에서의 2°의 부착 각도를 가진 IV-2가 가장 좋은 것으로 보임. 그러나 VII-1, VII-2, VIII-1, VIII-2 모두 절대적인 안정성을 가지고 있음.

d) 계류삭의 형태에 관계없이 스케그만의 부착으로 절대적인 안정성을 얻을수 있으나 Y-cable의 길이와 폭을 증가시키면 안정성 측면에서 향상됨을 알 수 있음. 예로서 IV-3의 경우, Fig.11서 보여주는 대로 Y-cable의 길이를 증가하거나(0.33m에서 0.6m로) 혹은 폭(0.11m에서 0.175m로)을 증가하면 정지주기가 각각 1/4씩 줄어들음을 관측하였음. 이는 앞에서 언급하였듯이 계류삭의 길이와 모양에 따라서 부선의 침로 안정성이 다소 영향을 받음을 알수있음.

e) Table 1에서는 모두 만재홀수인 경우를 보여 주나 안정성이 뛰어난 몇몇 경우에 대해서 경하(ballast) 홀수에 대해서도 같은 시험을 수행하였다. 경하홀수 경우는 배수량이 작고 선미부의 스케그가 만재 홀수일때보다 자유표면 가까이 있기 때문에 정지 주기가 더욱 짧아짐을 알수있었고 이는 침로안정성이 더욱 향상됨을 의미함.

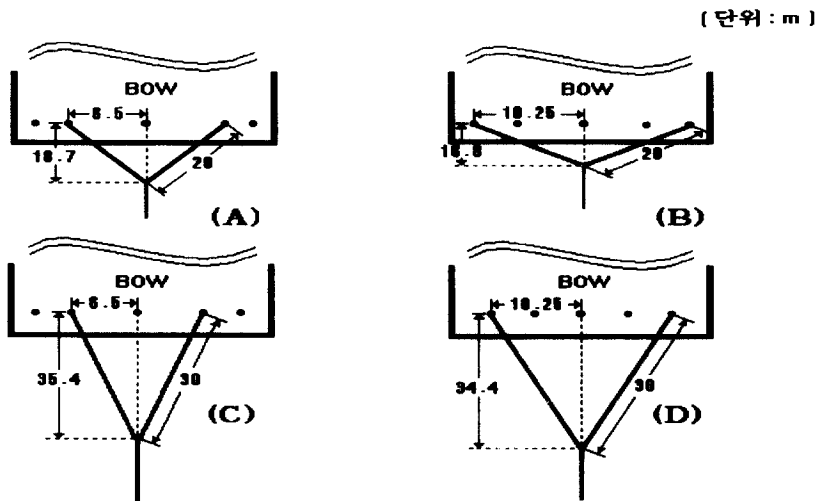


Fig.11 Configurations of the Y-cable towing system

4.4 예인 수조 시험

저항 시험

Table 1에서 보여주는 총 21경우 중 침로 안정성이 우수하다고 생각되는 7가지 경우에 대해서 예인 수조에서 정수중에서의 저항을 측정하여 나선의 저항과 함께 Fig.12에 주었다. 그림에서 보여 주듯이 총 4가지 속도에서 측정한 결과 나선의 저항에 비해 너클형 스케그를 가진 경우 저속(0.3m/s, 실선속도 4.5 노트)에서는 23%~33%의 저항 증가가 있고 고속(0.6m/s, 실선속도 9.0 노트)의 경우 7%에서 17%의 저항 증가가 있음을 알 수 있다. 전 속도에서 우수한 저항 성능을 가진 스케그 형태는 없으며 저항 시험의 오차를 감안한다면 스케그부착시 서로 비슷한 저항값을 주는 것으로 생각된다.

본 바지선은 6.5~7.5노트의 속도로 운항될 것이기 때문에, 경우 VIII-2가 저항 성능면에서 다소 우수함을 알 수 있다.

안정성 시험

실선의 예인에 사용될 예인사 시스템을 1/60으로 축소하여 예인선으로 바지선을 예인하는 시험

(irregular waves)인 경우에 수행하여, 회류 수조에서 시험한 결과를 검증하였다. 불규칙파의 발생은, 조파기가 현재 컴퓨터에 의해 작동되지 않기 때문에, 모형선이 허락하는 최대의 파고로 하여 눈으로 조절하였다.

회류수조에서 시험한 항목중 우수한 경우 총 6가지(IV-1, IV-2, VII-1, VII-2, VIII-1, VIII-2) 및 나선에 대해서 시험을 수행하였다. 나선을 예인선으로 7.5노트의 속도로 정수중에서 예인했을 경우 sine 곡선을 그리면서 따라왔으며, 그 폭은 약 4.6m(실선으로 확장했을 경우 약 276m, 즉 바지선 폭의 약 10배)였다. 반면에, 불규칙파에서는 sway의 진폭이 거의 반으로 줄어들었으며 이는 sway운동이 파에 의해 억제되는 효과(즉, 감쇄 효과)에 기인함을 육안으로 관찰할 수 있었다. 또, 스케그 부착시 시험한 모든 조건에서 정수중과 파가있는 상태에서 전혀 sway 운동이 없이 직선으로 예인됨을 알 수 있었다. 이는 회류수조에서 시험한 안정성 시험 결과가 수조 시험에서 확인 됨을 보여주었고, 너클형 스케그의 부착이 저항의 많은 증가없이 바지선의 침로 안정성을 유지해주고 있음을 알 수 있다.

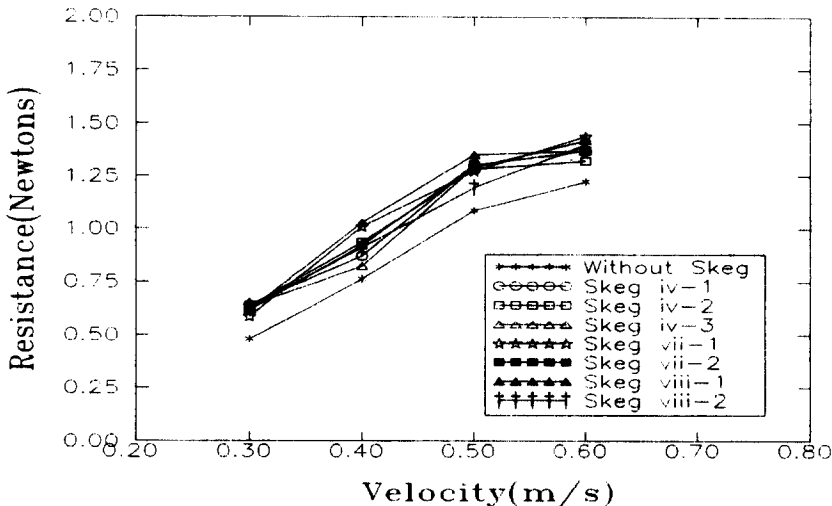


Fig.12 Resistance of the barge

5. 결론

참 고 문 헌

DWT 8,000톤의 스케그 부착 시험을 바탕으로 아래의 결론을 얻었다.

a) 바지선의 안정성은 스케그의 형태, 부착위치, 크기 및 각도 등에 좌우 됨.

b) 직선형 스케그보다는 너클형 스케그가 보다 더 효과적 임.

c) 너클형 스케그인 경우 부착위치에 관계없이 유체의 너클부로의 유효 입사각을 조절하면 침로 안정성을 얻을수있음.

d) 컴퓨터 프로그램으로 계산한 유선과 관측한 유선이 정성적으로 비슷한 경향을 보이기 때문에 스케그 설계시 프로그램의 활용으로 시험시간 단축할수있음.

e) 적절한 스케그 부착만으로 예인삭의 형태에 관계없이 절대적인 안정성을 얻을수 있으나, 예인삭 Y-cable의 길이와 폭을 증가 시키면 보다 더 향상된 안정성을 얻을수 있었음.

f) 회류수조 시험에서 안정성을 주는 조건들이 예인수조에서 모두 안정성이 있는 것으로 검증되었기 때문에 회류 수조의 활용이 부각됨. 그러나 회류수조의 크기제한 (길이, 폭 및 예인삭 길이등)으로 인해 시험의 한계가 있으며 예인수조로 최종적인 검증을 거치는 것이 바람직하다고 생각됨.

- [1] Benford H. 'The Control of Yaw in Towed Barges', Paper presented at the April 1955 meeting of the Gulf section of SNAME, 1955
- [2] Strandhagen A.G. et al, 'The Dynamic Stability on course of Towed Ships', Trans. of SNAME, Vol. 58, 1950
- [3] 한국선급협회, '부선예항 검사규칙', 1987