

바지선 제원 및 선형계수에 따른 침로 안정성 연관연구

천장호* · 김문찬* · 전호환* · 도인록* · 구자균**

*부산대학교 조선해양공학과

**코맥디자인테크

Correlation Study on Course Keeping Stability of Barges according to Variations in Dimensions and Hull Coefficient

Jang-Ho Chun*, Moon-Chan Kim*, Ho-Hwan Chun*, In-Rok Do* and Ja-Kyun Koo**

*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**KOMAC Design Tech Co., Ltd. Seoul, Korea

KEY WORDS: Towing tank 예인수조, Barge 바지선, Stern skeg 선미 스키그, Course keeping capability 침로 안정성, Parametric study 매개변수 연구

ABSTRACT: Recently, a ship-shaped barge has been developed to improve the resistance performance, as well as course-keeping capability. However, the stern of the barge is still similar to a box shape, and the vortex generated at the side of the barge creates drag and yaw instability. In order to solve this problem, stern skegs are normally used. The present paper deals with the correlation between the size of the stern skegs and the barge dimensions and hull coefficient. A stern skeg was designed to prevent yaw instability and minimize any additional resistance. The resistance test and course keeping test were performed in the towing tank at Pusan National University. To determine the correlation parameters between the designed stern skeg size and barge dimensions, a parametric study was also performed. Based on the experimental data from five barges, the optimum skeg dimensions were successfully derived. It is expected that the validation of the present study will be carried out by further experiments and computational comparisons in the near future.

1. 서 론

일반적으로 바지선들의 형상은 상자 형에 근사한 형상을 하고 있으나 곡선형 선수로 설계하여 슬래밍 방지에 의한 내항성 향상과 비효율적인 에너지 손실을 줄여 속도 증가를 가져오는 경우도 있다. 이러한 곡선형 선수는 선수 근처의 횡방향 유동이 자유롭게 되어 편주(Yaw) 진폭이 감소되는 이점이 있으며 곡선형 선수에 비하여 비교적 적재능력이 우수한 기존의 상자형의 바지선에 비하여 저항이 크게 감소하는 장점이 있다. 또한 대부분의 경우, 선미하부에 경사를 주는 바지형 선미 형상은 후부 선체 바로 밑 부분의 유동을 원활하도록 유도하기 때문에 저항 성능의 관점에서 유리하게 된다. 하지만 이러한 선형의 개선에도 불구하고 과거의 바지선보다 전체적인 성능은 향상 되었지만 선미 후류에 발생하는 보오텍스는 여전히 존재하며 보오텍스 감쇠를 통해 운항 시 침로유지를 할 수 있도록 하는 부가물인 스키그를 필요로 한다. 그러나 스키그의 설치로 인한 저항 증가가 불가피하기 때문에 선미 스키그 설계는 대상 바지선의 경제성을 확보하면서 침로 안정성을 유지하도록 이루어져야 한다.

도서순회 해상 소각선을 대상선박으로 하여 선박 형 선수를 갖는 바지선에 여러 가지 스키그를 부착하여 저항 성능 및 직진

성능을 기존 바지선과 상대적으로 비교함으로써 선미 형상, 스키그의 형상 및 부착위치에 대한 연구가 이루어진바가 있으며 (이귀주와 이진철, 1997) 86m급 해상 소각 부선의 스키그 부착 위치 결정을 위한 모형시험을 수행한 결과로 직진성능 및 저항 성능 측면에서 적합한 측면 스키그의 부착각도를 결정하는 연구가 수행된 바 있다(이귀주 등, 1999). 부산대학교에서는 75m급 바지선에 대한 침로안정을 위한 스키그 설계와(Kim, 2003) 64m급 바지선에 대한 스키그 설계가 이루어진 바 있다(Kim, 2005).

본 연구에서는 선행연구로 수행된, 코맥디자인테크에서 설계한 5척의 바지선 각각의 침로유지를 위한 선미 스키그의 설계과정을 설명하고 설계된 스키그의 형상을 바탕으로 대상 바지선의 제원 중 스키그의 형상에 영향을 미치는 선형요소를 찾아 스키그와 바지선 제원 상호간의 연관관계를 도출함으로써 향후 설계되는 스키그의 초기형상결정의 방향을 제시하고자 한다.

2. 모형시험 및 스키그 설계

2.1 대상선박 및 모형시험 조건

본 연구의 모형시험은 부산대학교 예인수조에서 수행되었다. 수조의 제원은 총 길이 100m, 폭 8m, 깊이 3.5m(최대깊이 8m)

이고 예인전차의 최고예인속도는 7m/s, 최대가속도는 2m/s²이며 Fig. 1은 예인수조의 모습이다.



Fig. 1 The facilities of Pusan National University towing tank

각각의 바지선에 대한 모형선은 목선으로 제작하여 시험을 수행하였으며 바지선의 주요제원은 Table 1과 같다.

전장은 최대 128.20m에서 최소 65.25m이고 폭은 최대 36.0m, 최소 18.0m이며 배수량도 최대 14323.3m³, 최소 3150.2m³의 다양한 분포를 이루고 있다. 예인속도는 각각 대상 바지선의 설계속도를 기준으로 하였으며 모형시험의 편의를 고려하여 모형선의 전장이 1-2m가 되도록 축척비를 선정하였다. 바지선의 선수 부분형상은 곡선형 형상을 띄고 있으며 선미하부형상은 선체하부에서 선미방향으로 대각선의 형태를 띄고 있다. 본 연구에서 고려되는 바지선의 선수 및 선미 형상은 큰 변화가 없이 전체적으로 유사한 선형을 가지고 있으며 본 연구에서의 고려조건으로는 포함하지 않았다.

대부분의 경우 바지선의 모형시험은 안정된 침로 유지하면서 저항의 증가가 최소가 되도록 스케그를 결정하기위해 수행되어진다. 만약 스케그가 확실한 자료에 근거하지 않고 설계되어진다면 일부 경우들에서는 좋은 결과가 나올 수도 있으나 대부분의 경우에서는 과도한 저항 또는 불충분한 침로 안정성의 결과를 초래할 수 있다.

모형선의 편주(Yaw) 운동 특성들은 실제 바지선에서의 편주(Yaw) 운동 특성들과 동일하다는 것이 증명 되었으며 대부분의 경우 모형 시험에서 과도한 편주(Yaw) 운동을 방지하기 위해

개발된 장치들은 실제 바지선에서 동일한 성능을 갖는 것으로 알려져 있다(Robert and Frederick, 1981).

따라서 모형시험은 실선으로 확장 시 가장 안정적인 침로안정성을 확보하기 위하여 바지선의 운항 조건 중 안정성 측면에서 가장 불리한 조건에서 수행되어야한다. 운항조건 중 만재흡수 상태에서 바지선의 운항 시 선미 후류 보오텍스가 선체에 영향을 주는 넓이가 가장 크기 때문에 다른 조건에 비하여 상대적으로 가장 큰 압력변동을 가지게 된다. 그러므로 적합한 스케그를 설계하기 위하여 안정성 측면에서 가장 불리한 만재흡수 상태에서 수행되었다. 모형시험의 순서는 안정성시험이 선행되고 이후 저항시험을 수행하였다. 이는 불필요한 저항시험을 방지하여 시험시간의 단축을 위함이다.

2.2 침로안정성 시험

침로안정성 시험은 대상 바지선이 실제로 운항되는 조건과 시험조건을 유사하게 하여 수행함으로써 향후 실선으로의 확장 시 동일한 침로안정성을 확보하여야 한다. 따라서 Fig. 2와 같이 Yoke type rope를 바지선의 선수부에 취부하고 예인전차에 설치하고 Froude상사를 고려한 설계속도로 예인하여 침로안정성 시험을 수행하였다.



Fig. 2 Yoke type rope

2.3 대상 선박의 침로불안정성

앞 절에서 언급된 시험방법을 통하여 스케그가 부착되지 않은 대상 바지선에 대하여 침로안정성 시험을 수행한 결과, 대표적

Table 1 The variation of barge (Full scale)

	LOA	Breadth	Draft	Disp.	Design Velocity	Froude Number	Scale Ratio	Block Coefficient
Barge#1	100.00 m	36.0 m	3.3 m	10189.2 m ³	7 Knots	0.115	55.0	0.858
Barge#2	92.50 m	36.0 m	3.3 m	9600.9 m ³	7 Knots	0.120	55.0	0.874
Barge#3	128.20 m	36.0 m	3.5 m	14323.3 m ³	9 Knots	0.131	60.0	0.887
Barge#4	65.25 m	18.0 m	3.0 m	3150.2 m ³	7 Knots	0.142	43.5	0.894
Barge#5	70.00 m	20.0 m	3.3 m	4255.0 m ³	7 Knots	0.137	40.0	0.921

으로 Fig. 3과 같은 모형 바지선의 편주(Yaw) 진폭이 모형바지선 폭의 3-4배 정도에 이르는 침로 불안정성을 확인할 수 있다.

본 연구에서 고려되는 다른 모형 바지선의 침로안정성에 대하여 동일한 방법으로 시험을 수행하였을 때 각각의 모형바지선에 대한 편주(Yaw) 진폭은 Table 2와 같이 나타났다.

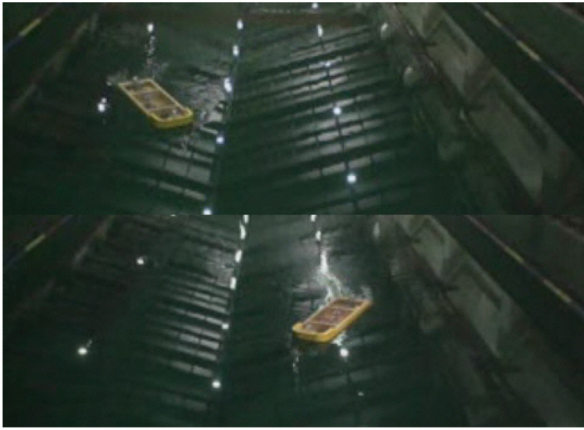


Fig. 3 Course-keeping instability of model barge

Table 2 Yaw amplitude of model barge without skeg

	Yaw amplitude
Barge#1	2.96 m
Barge#2	3.93 m
Barge#3	2.00 m
Barge#4	3.51 m
Barge#5	2.44 m

침로안정성에 대한 평가기준은 참고문헌(이귀주와 이건철, 1997)을 참고하여 초기에 직진방향으로 예인 시 침로의 직진 성능을 유지하는 지에 대한 것으로, 편주(Yaw) 진폭이 대상 바지선 폭의 5% 범위 내에 있을 때 침로안정성을 유지한다고 판단하였다. Table 2에 나타난 대상 바지선들의 편주(Yaw) 진폭은 평가기준을 반영하였을 때 침로안정성이 유지되지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 현상이 모형선에서 실선으로 확장되어 운항 시 최대 200m에 이르는 편주(Yaw) 진폭을 발생하여 다른 선박이나 해상 부유물에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되므로 대상 바지선의 침로 안정을 유지하기 위하여 선미 하부에 스키프를 설계하였다.

2.4 스키프 설계방법 및 스키프의 형상

앞 절에서 설명한 바와 같이 바지선의 운항 시 침로안정성을 유지하기 위하여 스키프를 설계하였다. 각 바지선에 적합한 스키프를 설계하는 방법에 대해서 본 연구에서 고려되는 바지선 중 Barge#5의 스키프를 설계하는 과정을 통하여 설명될 수 있다.

먼저 부산대학교에서 수행되었던 이전연구(Kim, 2003; Kim, 2005)를 바탕으로 스키프의 형상을 Fig. 4와 같이 결정하였다.

결정된 스키프는 전체적으로 직삼각형의 형상을 띄고 있으며 이는 선체를 측면에서 보았을 때 대각선인 선미 하부형상에 맞

추어 취부에 용이하도록 하기 위함이다. 또한 스키프의 형상이 꺾인 형상을 띄고 있는 이유는 전호환 등(1997)의 연구에 의해 확인되어진 바 있다. 부산대학교 회류수조에서 수행되었던 재화중량 8,000 톤급 바지선의 침로안정성에 대한 연구결과 Fig. 5에서와 같이 바지선 선미부 바닥면으로 유입되는 유동이 회전을 하는 현상을 확인할 수 있었으며 이를 상쇄시키기 위하여 직선형태의 스키프 보다 꺾인 부분에서의 가속에 의해 보오텍스의 세기가 상대적으로 커서 회전하는 유동을 더 효율적으로 상쇄시킬 수 있는 꺾인 형상의 스키프를 사용한다.

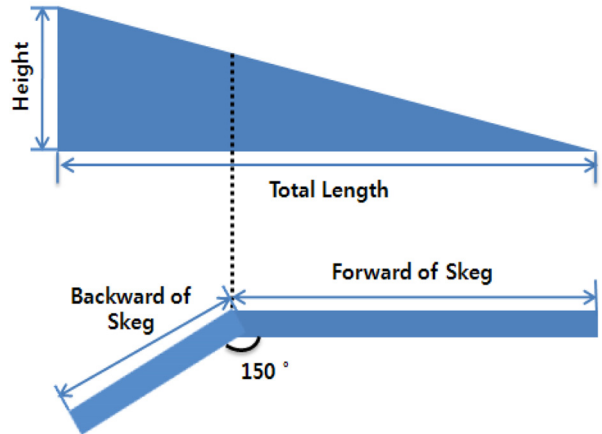


Fig. 4 Dimension of skeg

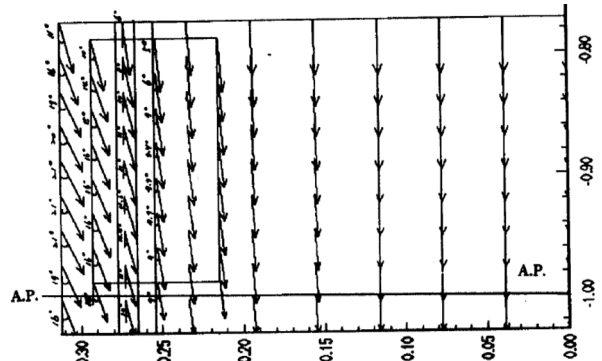


Fig. 5 Computed streamlines in the stream (Chun et al., 1997, flow speed: 0.5m/s)

또한 스키프의 꺾인 각은 30°일 때 적합하다는 것을 확인할 수 있었는데, 예를 들어 꺾인 각도가 20°일 때 동일한 크기의 스키프의 저항이 30°에 비하여 적게 나오는 것은 당연한 것이지만 스키프에 의해 생성되는 보오텍스의 크기가 작아서 침로 안정성 측면에서 불리하였다. 따라서 침로안정성을 확보하기 위해서는 스키프의 크기를 증가시켜야하며 그에 따른 저항증가로 20°로 꺾인 스키프는 저항측면에서 꺾인각이 30°인 스키프에 비하여 불리한 면을 보였다. 따라서 스키프의 꺾인각이 30°일 때 적합하다는 것을 알 수 있었다.

스키프의 초기형상을 선정하는 방법은 이전연구에서 설계된 스키프의 형상을 바탕으로 3개의 모형 스키프를 설계하며 Fig 6과 같다.



Fig. 6 Designed model skegs

설계된 모형 스케그를 차례대로 모형 바지선에 부착하여 침로안정성 시험을 수행한다. 모형 스케그가 바지선에 부착되어 있는 모습은 Fig. 7과 같다.

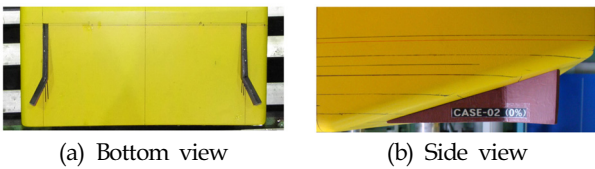


Fig. 7 View for attached skeg

침로안정성에 대한 시험의 경우 Fig. 6에서 보인바와 같이 설계된 3개의 모형 스케그가 정확하게 직진성을 유지(침로 이탈 폭이 배 폭의 5%이내)할 수 있는 경우 저항증가를 최소화하기 위해 더 작은 스케그(각각 10% 면적감소)를 제작하여 침로안정성 시험을 수행한다. 이러한 시행착오법을 통하여 저항관점에서 유리하면서 침로안정성이 확보되는 가장 작은 크기의 스케그를 대상 바지선에 적합한 스케그로 선정하였다. 동일한 방법을 통하여 다른 4척의 바지선에 대한 스케그를 설계하였다. 5척의 대상 바지선의 스케그의 제원을 Table 3에 간략하게 나타내었다.

Table 3 Variation of skeg (Full scale)

	L_{Skeg}	L_{Fwd}	$\frac{L_{Fwd}}{L_{Skeg}}$
Barge#1	8.48 m	5.90 m	0.695
Barge#2	8.14 m	5.66 m	0.695
Barge#3	9.80 m	6.99 m	0.713
Barge#4	5.23 m	3.56 m	0.681
Barge#5	5.15 m	3.52 m	0.682

Table 3에서 L_{Skeg} 은 스케그의 전체길이(Total length)를 나타내며 L_{Fwd} 는 스케그가 꺾이기 전(Forward of skeg)의 길이로 정의한다. 마지막 항은 스케그의 형상에 대한 경향을 쉽게 파악하기 위하여 스케그가 꺾이기 전의 앞부분 길이와 스케그 전체길이의

비를 나타내었다. 이를 바탕으로 스케그가 꺾이는 위치를 알 수 있으며 이는 전체길이의 68~72%임을 확인할 수 있다.

2.5 저항시험 방법

저항시험은 Fig. 8과 같이 바지선의 중앙에 동력계를 연결하고 선수부와 선미부에 Trim guide를 설치하여 대상 바지선을 고정시켜서 스케그가 부착되지 않은 바지선과 침로안정성 시험을 통하여 설계된 스케그가 부착된 바지선에 대하여 설계속도를 기준으로 3-8개의 속도에 대하여 수행되었다.

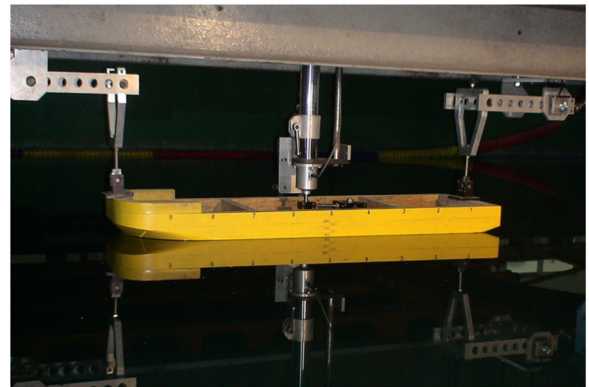


Fig. 8 View for resistance test

2.5 모형선 저항시험 결과

각각의 대상 바지선들의 스케그의 유무에 따른 저항시험 결과를 Fig. 9에 나타내었으며 설계속도에서 스케그의 유무에 따른 모형선의 저항 및 저항의 증가량은 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison about resistance result

	Bare Hull	With Skeg	Comparison
Barge#1	1.122 N	1.230 N	9.6%
Barge#2	0.894 N	1.017 N	13.8%
Barge#3	1.439 N	1.641 N	14.0%
Barge#4	0.778 N	1.081 N	38.9%
Barge#5	1.331 N	1.504 N	13.0%

Fig. 9를 통하여 Froude수가 커지면서 스케그의 유무에 관계없이 전 저항이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 스케그에 의한 저항의 증가량은 식 (1)과 같이 정의된다. 식 (1)은 일반적으로 증가량을 표시할 때 사용하는 수식이지만 증가율의 기준을 명확하게 하기 위하여 본 논문에 기술하였다.

$$\Delta Resistance (\%) = \frac{(R_{Without\ Skeg} - R_{With\ Skeg})}{R_{Without\ Skeg}} \quad (1)$$

Table 4에서 Barge#4를 제외한 나머지 대상바지선들은 스케그를 부착함으로써 9-14%의 저항증가율을 보였다. Barge#4의 스케그에 의한 저항 증가율은 다른 바지선들에 비하여 크게 증

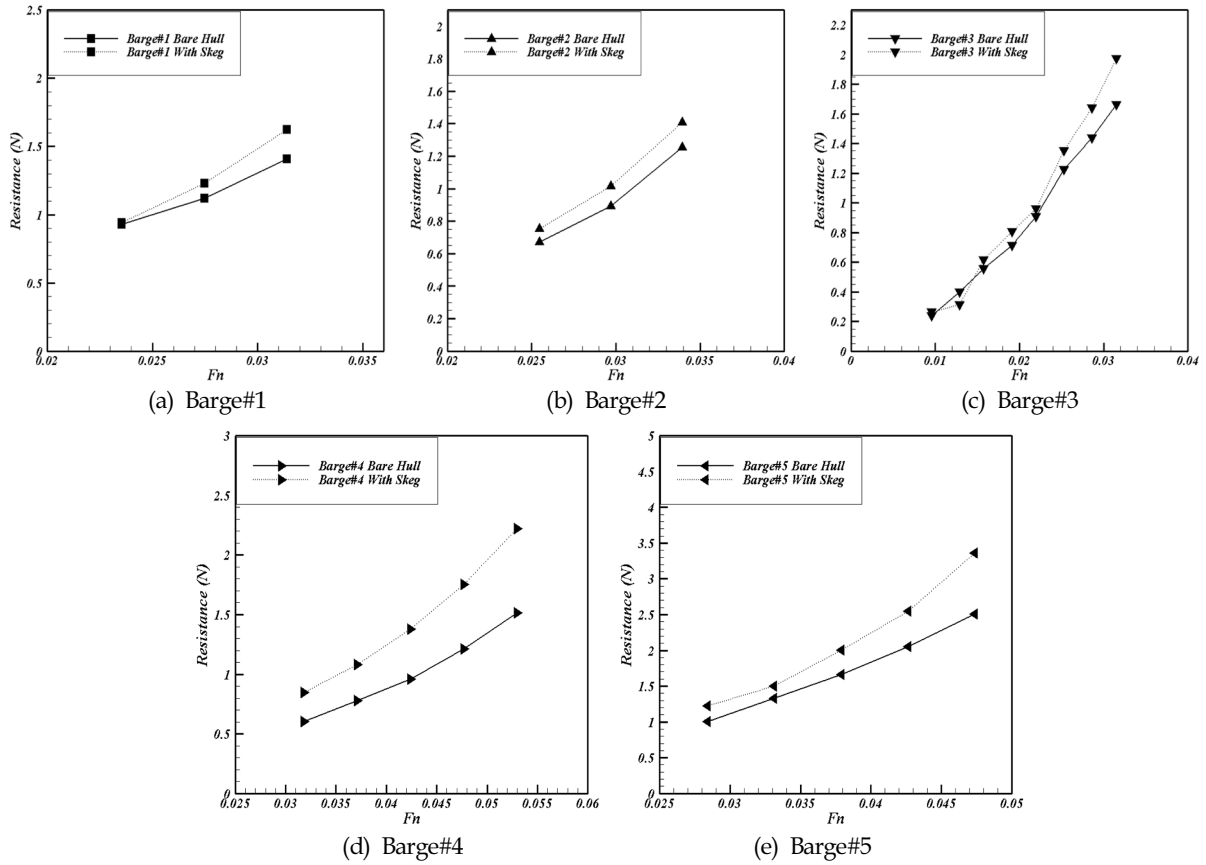


Fig. 9 Resistance test results

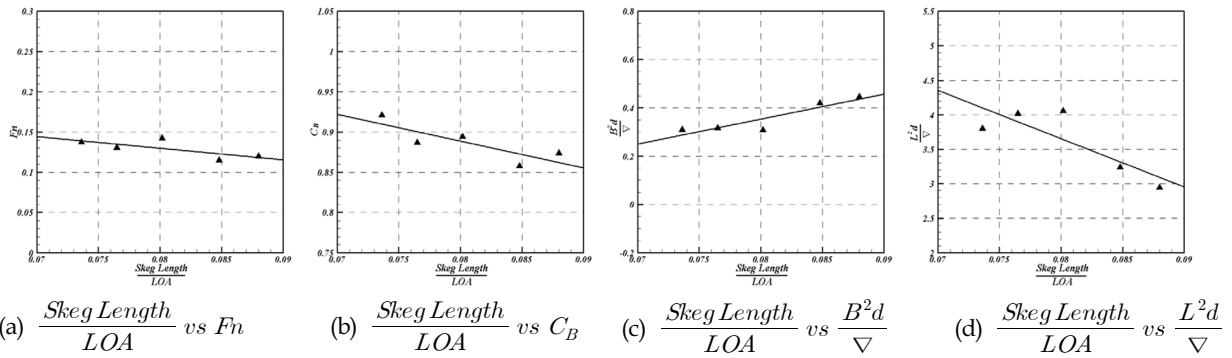


Fig. 10 Correlation about skag and each factor

가하는 것을 확인 할 수 있다. 그 이유는 스케그에 의한 정량적인 증가량은 전체적으로 비슷한 경향을 띄지만 스케그를 부착하지 않았을 때의 바지선의 저항이 상대적으로 작기 때문에 상대적으로 크게 증가해 보이는 것이다.

3. 대상 바지선과 스케그의 연관관계

3.1 바지선 요소 선정

본 연구의 주요 목적은 바지선의 침로 불안정성에 기여하는 선형요소와 설계된 스케그의 상관관계에 대해 고려하는 것이다. 먼저 스케그의 크기에 관여하는 요소들을 찾기 위하여 선형계수,

주요제원, 무차원수 등을 고려하였다. 본 논문에서 모든 변수를 기재할 수 없으므로 스케그의 크기와 변수들의 관계에 대해 분석하여 Fig. 10에 대표적으로 4가지의 그래프를 나타냈다.

각각의 그래프의 x축은 스케그의 전체길이를 대상 바지선의 LOA로 나누어서 무차원수로 나타내었고 y축은 고려된 선형요소이다. Fig. 10에서 (a)는 선박의 저항요소 중 조파저항 및 파계에 연관되는 Froude수에 대해 나타내었으며 선미 후류 보텍스 생성에 관여하며 스케그 설계에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. Fig. 10의 (b)는 선체의 수선 아래부분의 날쭉한 정도를 나타내는 계수인 방형계수로 영향성은 있지만 전장, 폭, 흘수가 모두 포함되어있는 식이므로 어떤 변수가 더 큰 영향성을 가지고

있는지를 가늠할 수 없었다. 따라서 방형계수에서 L 을 B , B 를 L 로 바꾸는 시도를 통하여 변수가 미치는 영향에 대해 고려하였으며 Fig. 10에서 (c)와 (d)에 도시하였다. 그래프에서와 같이 Fig. 10의 (d)에 비하여 (c)가 더 스케그 설계에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며 이는 스케그의 크기가 바지선의 길이보다 폭에 더 의존적이라는 것이다. 폭이 더 의존적인 이유는 선미부에서 생성되는 보조텍스 사이의 간격이라고 할 수 있는 요소이기 때문이다. 따라서 스케그의 크기에 관여하는 변수로는 Froude수와 방형계수에서 L 을 B 로 바꾼 계수로 나타났다.

3.2 연관관계 연구

앞 절의 연구를 바탕으로 바지선의 선미 스케그의 크기와 선형요소와의 연관성이 가장 잘 나타나는 그림이 Fig. 11이라 할 수 있겠다.

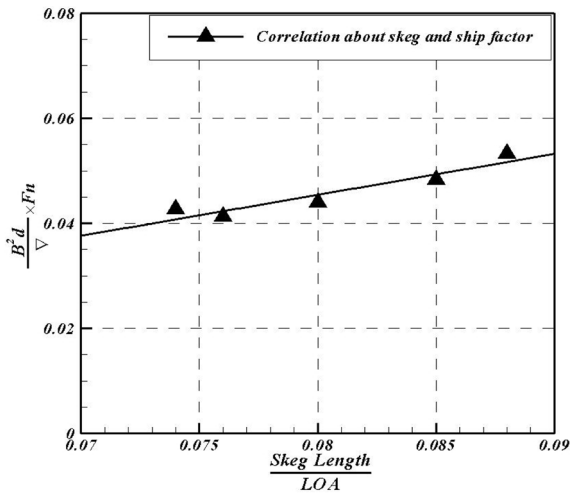


Fig. 11 Correlation about skeg and barge

이에 대한 추세식을 다음과 같이 도출해 낼 수 있다.

$$\frac{B^2 d}{\Delta} \cdot Fn = 0.7724 \cdot \frac{L_{Skeg}}{LOA} - 0.0164 \quad (2)$$

식 (2)를 통하여 침로 안정성에 영향을 미치는 요소로 폭, 배수량, 흘수, Froude수 등임을 확인할 수 있었다. 또한 폭이나 흘수가 증가하면 선미 스케그가 전체 바지선에 차지하는 비율이 증가하고 폭이나 흘수가 감소하면 선미 스케그가 전체 바지선에 차지하는 비율이 감소한 것을 알 수 있다. 그리고 폭과 흘수 중에서는 폭의 변화가 스케그의 크기에 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 5척의 바지선의 침로유지를 위해 설계된 스케그를

바탕으로 바지선의 제원과 스케그와의 연관관계를 도출해 내었으며 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

(1) 선박의 침로 불안정성과 선미 스케그의 크기(길이)는 비례한다고 할 수 있으며 선미 스케그의 크기(길이)를 결정하는 데 중요한 선박의 요소로는 흘수, 폭, 배수량, Froude수 등으로 나타났다. 흘수에는 선형적으로 그리고 폭에는 제곱에 비례하여 스케그 크기(길이)를 결정할 수 있음을 알 수 있다.

(2) 본 연구는 향후 설계되는 유사한 선박형 바지선 형상의 경우에 선미 형상과 선박의 제원에 따라 초기 스케그의 길이 및 형상을 결정하기 위한 자료로 사용되어질 수 있을 것이나 보다 정도 높은 스케그 크기(길이)를 결정하기 위해서는 모형시험이 병행되어야 할 것으로 생각되며 바지선의 선형이 개량됨에 따라 이와 같은 초기 측정식은 수정되어야 할 것이다.

(3) 앞으로 더 많은 시험 결과를 토대로 지속적인 검증과 또한 계산에 의한 비교 연구를 수행할 예정이다.

후 기

본 논문은 코맥 디자인 테크 (KOMAC Design Tech Co., Ltd.)로부터 재정적인 지원을 받아 수행된 연구이며, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

이귀주, 이진철, (1997). “도서순회 해상소각 바지선의 적정 스케그 형상 및 크기에 관한 연구”, 한국해양공학회지, 제11권, 제3호, pp 100-106.

이귀주, 권규혁, 이광일 (1999). “해상소각 부선의 부가물 개발을 위한 시험적 연구”, 한국해양공학회지, 제13권, 제1호, pp 18-22.

전호환, 권순홍, 하동대, 하상운, (1997). “재화중량 8,000 톤급 Barge선의 침로안정성에 대한 실험적 연구”, 대한조선학회 논문집, 제34권, 제4호, pp 1-11.

Kim, M.C (2003). Course-Keeping Model Test of a 75M Class Flat Barge, ASERC Report, No 2003-01-05.

Kim, M.C (2005). Course-Keeping Model Test of a 64M Class Flat Barge, ASERC Report, No 2005-20-01.

Robert L. and Frederick A. (1981). “Recent Developments in Barge Design, Towing, and Pushing”, Marine Technology, Vol 18, No 1, pp 10-21.

2011년 5월 27일 원고 접수
 2011년 9월 26일 심사 완료
 2011년 10월 17일 게재 확정