

활주선의 하중 및 무게 중심 위치 변화가 항주 자세에 미치는 영향에 대한 연구

김동진^{†*}, 이기표*, 박한솔*

서울대학교 조선해양공학과*

A Study on the Effects of Weight and Center of Gravity of a Planing Craft on Running Attitude

Dong-Jin Kim^{†*}, Key-Pyo Rhee* and Han-Sol Park*

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University*

Abstract

Motion characteristics of a planing craft are sensitively changed according to its weight and longitudinal center of gravity. In this paper, planing craft model tests were performed in calm water for various test conditions and Froude numbers. Sinkage and trim were measured to analyze the relations between the attitudes of a planing craft and the weight and center of gravity of it. Theoretical formula for the prediction of the attitudes of a prismatic planing hull was modified so that it can be applied to the prediction of the attitudes of a non-prismatic planing hull, and the calculation results by the modified formula were in good agreements with the experimental data.

※Keywords: Planing craft(활주선), High-speed towing test(고속 예인 시험), Weight and Center of Gravity(하중 및 무게중심), Running attitude(항주 자세)

1. 서론

활주형 고속선은 선박의 중량을 부력으로 지지하는 통상의 배수량형 선박과는 달리 일정 속도 이상이 되면 주로 선저의 양력에 의해 자중의 대부분을 지지하게 되므로, 선체가 수면 위로 들어올려져서 고속으로 항주할 수 있다. 이러한 활주

상태가 되면 힘과 모멘트의 평형이 이루어지고, 그 때의 활주 자세는 하중 및 무게 중심 위치 등에 큰 영향을 받는다. 고속선의 안전한 운항을 위해서는 설계 과정에서부터 이러한 조건들을 고려한 항주 자세 예측이 필요하다. 고속선 개발 단계에서 운항 성능을 예측하기 위해서는 일반적으로 축소 모형을 이용한 고속 예인 시험이 유용하다.

일반적인 배수량형 선박의 모형 시험은 중저속에서 수행되는 반면에, 고속선 모형 시험은 비교적 작은 모형을 대상으로 Froude 상사 법칙을 만

접수일: 2009년 3월 4일, 승인일: 2009년 5월 11일

† 교신저자: kdj8277@snu.ac.kr, 010-3994-4007

측하는 고속 영역에서 실시된다. 서울대학교 선형 시험 수조에서는 고속 전차를 이용한 모형 시험이 가능하며 이전부터 고속 예인 시스템의 시험 가동을 반복하여 왔다(Shin et al. 2005, Kim et al. 2008). 또한 최근에는 고속선의 상하 동요 및 종동요를 자유로 두고 예인할 수 있는 연직면 운동 계측 장치를 제작하여 고속선의 활주 시 자세 변화를 더 편리하게 계측하고 있다.

본 논문에서는 정수 중에서 고속선의 하중 및 무게 중심 위치를 변화시키면서 다양한 예인 속도에 대해 부상량, 트림각을 계측하였다. 설계 상태의 하중 및 무게 중심을 기준으로 일정한 수치를 증가 혹은 감소시키면서 조건들의 변화에 따른 자세 변화 경향을 파악하였다.

고속선의 활주 시 자세를 예측하기 위한 이론적인 연구는 이전부터 진행되어 왔다. 이러한 연구들 중에 주형(prismatic) 선형을 대상으로 한 Martin(1976), Baek(1986)의 이론적 계산식을 비주형(non-prismatic) 선형에 적용할 수 있도록 일부 수정하고 그 계산 결과를 실험 결과와 비교하였다. 또한 활주 상태에서 하중 및 무게 중심 위치에 따른 여러 힘 성분들의 크기 변화를 비교하고 물리적인 분석을 수행하였다.

2. 시험 장치

2.1 고속 예인 전차

서울대학교 선형 시험 수조의 고속 예인 전차를 이용하여 모형 시험을 실시하였다. 고속 예인 전차의 개념도는 Fig. 1과 같다.

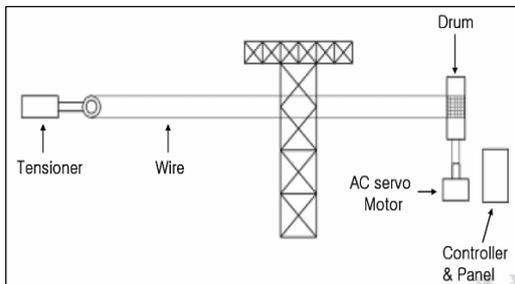


Fig. 1 Schematic view of high speed towing carriage

고속 예인 전차는 외팔보 구조로 알루미늄 프로파일 소재이며, AC 서보모터에 연결된 와이어 드럼에 의하여 구동된다. 모형선 및 계측 장비를 포함한 최대 중량은 230kg, 최대 예인 속도는 15m/s이다.

2.2 연직면 운동 계측 장치

활주선이 운항할 때 연직면 상의 상하 동요 및 종동요 변위를 계측하기 위해 연직면 운동 계측 장치를 제작하였다. 장치 개념도 및 완성 사진은 Fig. 2와 같다.

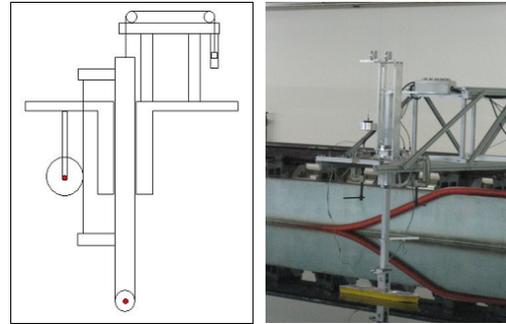


Fig. 2 Heave and pitch measuring equipment

모형선을 예인하는 수직봉이 상하로 자유롭게 움직이며 수직봉에 연결된 와이어가 원반을 돌려서 원반 중심의 포텐셔미터로 상하 동요 변위를 계측할 수 있다. 또한 수직봉 하단부의 힌지가 모형선의 센서축과 연결되며 이 힌지에 결합되어 있는 포텐셔미터로 종동요 변위를 계측할 수 있다. 수직봉의 무게가 모형선에 더해지는 것을 막기 위해 수직봉과 같은 무게의 보정추를 설치하여 무게를 빼주게 된다.

2.3 모형선

대상 활주선은 35노트급 고속 경비정으로 1/35 축소 모형이고, hard-chine을 가진 선형이다. 모형선의 정면선도와 주요 제원은 Fig. 3 및 Table 1과 같다. Deadrise 각은 선미에서 20°이고 선체 중앙부에서는 23°이다. Table 1에서 LCG는 선미 트랜섬으로부터 무게 중심까지의 거리이다.

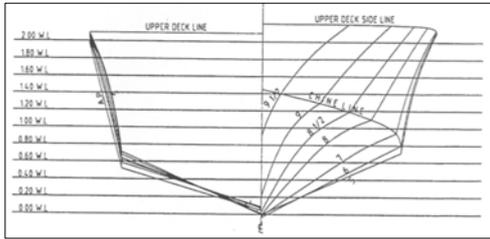


Fig. 3 Body plan of planing boat

Table 1 Principal particulars of planing boat

Particulars	Full scale	Model
LOA [m]	18.3	0.523
LWL [m]	17.38	0.497
Breadth [m]	4.6	0.131
LCG [m]	7.0	0.2
Draft [m]	0.9095	0.026

3. 모형 시험 결과

3.1 시험 조건

정수 중에서 모형선의 하중, 무게 중심 위치, 그리고 Froude 수를 변경하면서 실험을 하였다. Froude 수는 모형선의 전장을 기준으로 무차원화한 값이며 0.2~1.3 범위에서 0.1 혹은 0.2 간격으로 설정하여 실험을 실시하였다. 하중은 0.75kg을 기준으로 0.65~0.85kg, 무게 중심은 선미에서 부터 200mm를 기준으로 180~220mm 범위에서 변화시키며 시험하였다. 하나의 조건을 변화시킬 경우 다른 모든 조건들은 설계 상태 값으로 고정하였다. 단, 무게 중심이 바뀔 경우 예인점도 새로운 무게 중심 위치로 이동시켜 시험을 수행하였다. 구체적인 시험 조건을 Table 2와 같이 정리할 수 있다.

Table 2 Test parameters for model tests

Froude Number	Weight [kg]	LCG [mm]
0.2~1.3	0.65,0.75,0.85	180,200,220

3.2 설계 조건에 대한 시험 결과

매 시험마다 시간에 대한 상하 동요 및 종동요 변화를 계측하였다. 전차가 등속으로 예인되는 구간에서 일정한 상하 동요 및 종동요 값이 계측되며 이를 평균을 취하여 부상량 및 트림각을 얻었다. Figs. 4-5는 시간에 대한 상하 동요, 종동요 변화 그래프의 예로 설계 조건, 즉 하중은 0.75kg, 무게 중심은 선미에서 200mm 떨어진 곳에 위치한 상태에서 Froude 수 0.8로 예인할 경우이다.

설계 조건인 하중 0.75kg, 무게 중심 200mm 일 경우 각 Froude 수에 따른 부상량 및 트림각을 그래프로 나타내면 Figs. 6-7과 같다.

부상량은 연직 상방을 양의 값으로 하였고, 트림각은 선수가 들리는 방향을 양의 각도로 정의하였다. 부상량은 모형선 전장으로 무차원화하고, 트

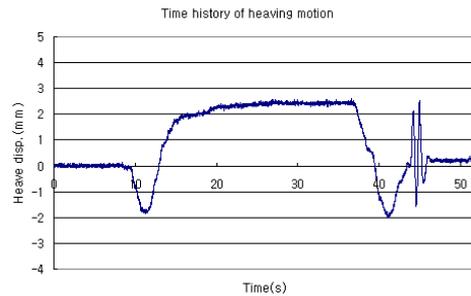


Fig. 4 Time history of heaving motion (Fn 0.8, Weight 0.75kg, LCG 200mm)

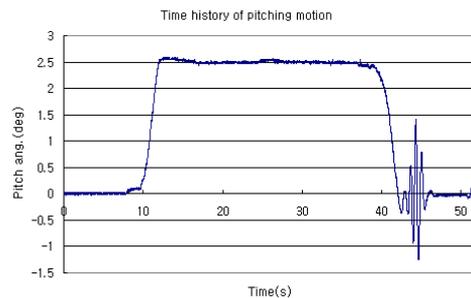


Fig. 5 Time history of pitching motion (Fn 0.8, Weight 0.75kg, LCG 200mm)

림각은 각도(°) 단위로 그래프를 작성하였다. 부상량 결과를 보면 Froude 수가 0.5일 때까지는 침하하다가 그 이상에서는 점차 부상한다. 트림각은 Froude 수 0.6까지 증가하여 최대가 약 2.5°이며, 그 이상에서는 완만하게 감소하는 추세를 보인다.

3.3 하중 변화에 따른 시험 결과

무게 중심을 200mm 위치에 고정하고 하중을 0.65, 0.75, 0.85kg으로 변화시킬 경우 Froude 수에 따른 부상량 및 트림각은 Figs. 8-9와 같다.

Figs. 6-7의 결과를 그래프에 실선으로 함께 실어서 값을 비교하기 편리하도록 하였다. 사각형은 하중을 0.85kg으로 증가시킬 경우이고, 삼각형은 하중을 0.65kg으로 감소시킬 경우의 결과이다. 하중의 변화에 따라 부상량의 변화는 작으나, 하중이 커질수록 트림각 결과 값은 대체로 크다.

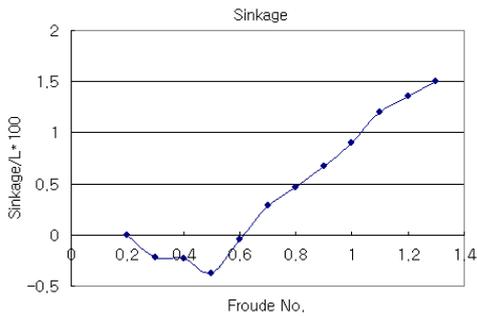


Fig. 6 Sinkage
(Weight 0.75kg, LCG 200mm)

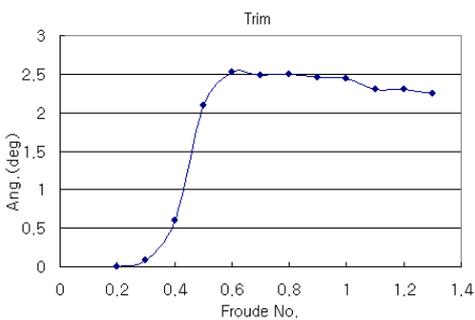


Fig. 7 Trim angle
(Weight 0.75kg, LCG 200mm)

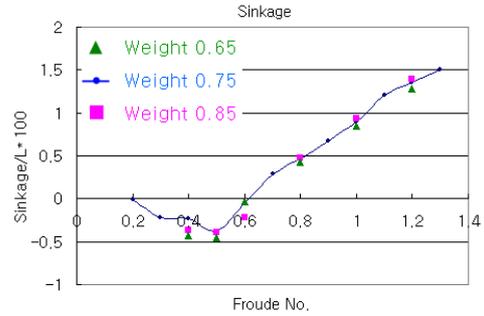


Fig. 8 Sinkage
(Weight 0.65/0.75/0.85kg, LCG 200mm)

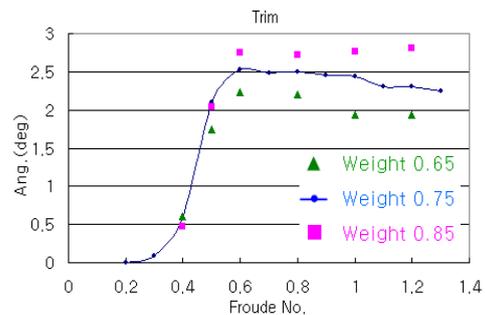


Fig. 9 Trim angle
(Weight 0.65/0.75/0.85kg, LCG 200mm)

3.4 무게 중심 변화에 따른 시험 결과

하중을 0.65kg으로 고정하고 무게 중심을 변화시킬 경우 Froude 수에 따른 부상량 및 트림각은 Figs. 10-11과 같다. 무게 중심을 선미로부터 각각 180, 200, 220mm 위치로 이동하고 예인점도 무게 중심 위치로 이동시켜 시험을 하였다.

Figs. 10-11에서 사각형은 무게 중심이 선미로부터 180mm 위치에 있을 때의 결과이며 삼각형은 220mm에 있을 때의 결과이다. 무게 중심 좌표가 작을수록 선미 쪽으로 이동한 것이다. 무게 중심 좌표가 선미 쪽으로 이동한 경우가 초기 설계 기준 상태에 비해 부상량과 트림각이 대체로 크다는 것을 알 수 있다.

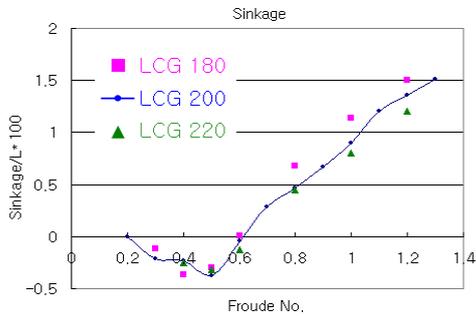


Fig. 10 Sinkage
(Weight 0.75kg, LCG 180/200/220mm)

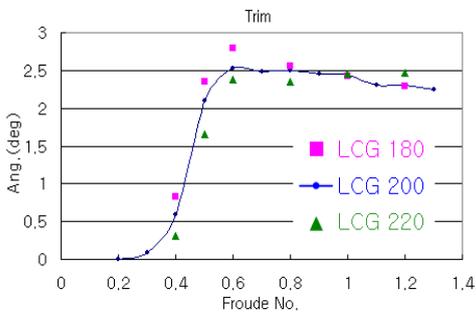


Fig. 11 Trim angle
(Weight 0.75kg, LCG 180/200/220mm)

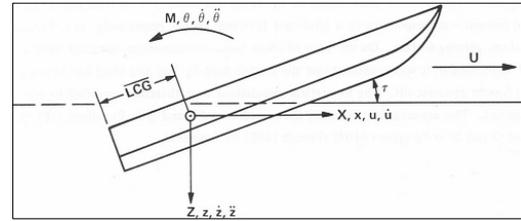


Fig. 12 Coordinate system

면의 부가 질량과 횡류 저항 계수(cross flow drag coefficient)에 대한 Shuford(1957) 등의 예전 실험 자료를 바탕으로 수식화가 가능하다. 부력은 Brown(1971)의 연구를 참고하고, 마찰력은 Savitsky(1964)에 의해 마련된 경험식을 사용하였다. 힘의 평형식은 식 (1)과 같다.

평형 상태에서는 모멘트의 합 역시 0이 되어야 한다. 무게 중심을 모멘트 중심으로 한다면 중력에 의한 모멘트는 0이고, 앞에서 열거한 나머지 힘 성분들에 의한 모멘트를 각각 계산하여 식 (2)처럼 모멘트 평형식을 구성할 수 있다.

$$D\lambda^3 + (C + D + E)\lambda^2 + (B + C - E - W')\lambda - W' = 0 \quad (1)$$

$$B = \frac{\pi}{2} \sin\tau \cos^2\tau (1 - \sin\beta), \quad C = C_{D,c} \sin^2\tau \cos^3\tau \cos\beta,$$

$$D = 0.624 \sin\tau \cos\tau / C_V^2, \quad E = -C_f \sin\tau / \cos\beta$$

$$\begin{aligned} & \frac{\pi \sin 2\tau (1 - \sin\beta) \lambda}{4(1 + \lambda)} (\lambda + \lambda_{e2} - \frac{2}{3} \lambda_{e1} - \lambda_g) \\ & + C_{D,c} \sin^2 2\tau \cos\beta (\frac{\lambda}{2} - \lambda_g) \frac{\lambda}{4} \\ & + \frac{0.624 \sin\tau}{C_V^2} \lambda^2 (\frac{\lambda}{3} - \lambda_g) - \frac{C_f}{\cos\beta} \lambda (\lambda_V - \frac{\tan\beta}{4}) \\ & + (-W' \tan\tau + \frac{\lambda C_f}{\cos\tau \cos\beta} - F_W') [(\lambda_{k1} - \lambda_V) \cos\tau + (\lambda_{e1} - \lambda_g) \sin\tau] \\ & + F_W' [(\lambda_{k2} - \lambda_V) \cos\tau + (\lambda_{e2} - \lambda_g) \sin\tau] = 0 \quad (2) \end{aligned}$$

식 (1), (2)에서 β 는 deadrise 각, $C_{D,c}$ 는 횡류 저항 계수, C_V 는 폭 Froude 수 (U/\sqrt{gb}), C_f 는 마찰 저항 계수, W' 는 하중을 무차원화한 값이다. λ_g, λ_V 는 무게 중심, $\lambda_{e1}, \lambda_{k1}$ 은 예인력 중심, $\lambda_{e2}, \lambda_{k2}$ 는 풍력 중심의 x, z좌표를

4. 이론적 고찰

4.1 활주 상태의 평형 방정식

활주선의 항주 자세를 계산하는 이론 및 응용은 Savitsky(1964), Martin(1976), Baek(1986), Yeo et al.(2007)등에 의해 수행되었으며, 이 중에 Martin(1976), Baek(1986)의 연구를 참고하면 고속선의 연직면 운동을 표현하는 좌표계는 Fig. 12와 같다. 고속선의 무게 중심을 원점으로 하고 자유표면과 평행한 전진 방향을 x좌표, 연직 하방을 z좌표로 설정하였다.

고속선의 평형 방정식은 다음과 같이 힘과 모멘트의 평형 관계로부터 도출할 수 있다. 평형 상태일 때 연직 하방으로 작용하는 중력은 유체동역학적 힘, 부력, 마찰력, 예인력, 풍력의 연직 상방 성분들의 합력과 같다. 유체동역학적 힘은 각 단

모형의 폭으로 각각 무차원화 한 값이다. 따라서 미지수는 정상 상태의 트림각 τ 와 keel의 평균 침수 길이 λ 두 개이다. 두 식의 iteration을 통해 정상 상태의 활주선 자세를 계산할 수 있다.

그런데 식 (1), (2)는 deadrise 각이 일정한 주형(prismatic) 선형을 대상으로 한 평형 방정식이다. 본 연구에서 대상으로 하는 모형선은 활주 시 침수 부위의 deadrise 각이 일정하지 않은 비주형(non-prismatic) 선형이므로 비주형 선형에 적용 가능하도록 식을 일부 수정할 필요가 있다.

Deadrise 각의 변화에 따라 부력, 마찰력 등은 큰 변화가 없지만 유체동력학적 힘은 선형에 큰 영향을 받는다. 우선 일정한 deadrise 각일 때 전체 유체동력학적 힘을 F_D , 그로 인한 모멘트를 M_D 라고 한다. 그리고 deadrise 각이 선미에서 β_0 , 침수 길이 상단에서 β_1 로 선형적 증가, 혹은 감소한다고 할 때 각 단면마다 유체동력학적 힘의 연직 상방 성분 변화와 그로 인한 모멘트 변화를 수식화하여 계수 α_F , α_M 을 구할 수 있다. 최종적으로 비주형 선형에 대한 유체동력학적 힘과 모멘트 F_D' , M_D' 은 식 (3), (4)와 같다.

$$F_D' = \alpha_F F_D \tag{3}$$

$$\alpha_F = \frac{1}{\cos \beta_0} \frac{\sin \beta_1 - \sin \beta_0}{\beta_1 - \beta_0}$$

$$M_D' = \alpha_M M_D \tag{4}$$

$$\alpha_M = \frac{[(a - \lambda) \sin \beta_1 - a \sin \beta_0] - (\frac{1}{\beta_1 - \beta_0}) [\cos \beta_1 - \cos \beta_0]}{(\beta_1 - \beta_0) \cos \beta_0 (a - \frac{\lambda}{2})}$$

4.2 계산 결과와 실험 결과의 비교

4.1절에서의 수정된 평형 방정식을 통해 대상 활주선의 자세를 계산하여 이를 3장의 모형 시험 결과와 비교하기로 한다. 대표적으로 하중을 0.65, 0.85kg으로 변경한 경우와 무게 중심 위치를 180, 220mm로 변경한 경우에 각각에 대한 트림각 변화를 Figs. 13-16에 나타내었다.

Fig. 13과 Fig. 14에서 보면 우선 하중이 0.75 kg, 무게 중심이 선미로부터 200mm 위치일 때에 대해 실선과 점선으로 각각 표시된 실험 결과 및

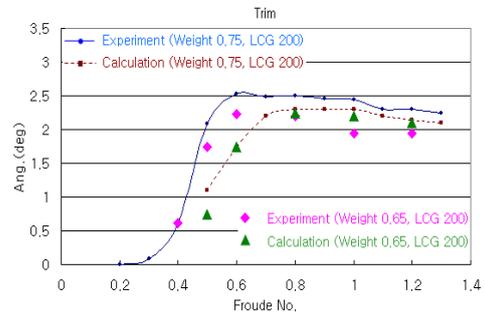


Fig. 13 Comparison of experimental and theoretical results of trim angles (Weight 0.65/0.75kg, LCG 200mm)

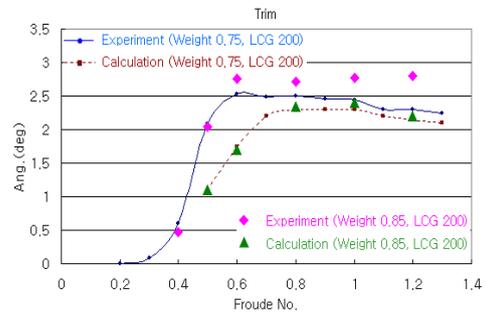


Fig. 14 Comparison of experimental and theoretical results of trim angles (Weight 0.75/0.85kg, LCG 200mm)

계산 결과의 경향이 같으며, 고속의 활주 영역에서 거의 같은 결과를 갖는다는 것을 알 수 있다. 그리고 실험에서는 하중이 감소할 때 트림각이 줄어들며 반대로 하중이 증가하면 트림각이 커졌는데 계산에서도 마름모와 삼각형 점들로 표시된 결과가 이와 같은 경향을 보인다. 다만 실험에서 하중 변화에 따른 트림각의 변화는 약 $\pm 0.3^\circ$ 이었던 반면에, 계산상에서는 하중에 따른 트림각의 증감량이 $\pm 0.1^\circ$ 이내이므로 실험과 계산에 약간의 차이가 있다. 이는 실험상의 오차에 기인하는 것으로 추정된다.

Fig. 15에서 무게 중심이 선미 쪽으로 이동할수록 트림각이 커짐을 알 수 있고 실험과 계산 결과에서 같은 경향을 보인다. 특히 Froude 수 0.8 이상의 활주 영역에서 계산 결과가 실험 결과와 거의 같음을 확인할 수 있다. Fig. 16에서는 반대로

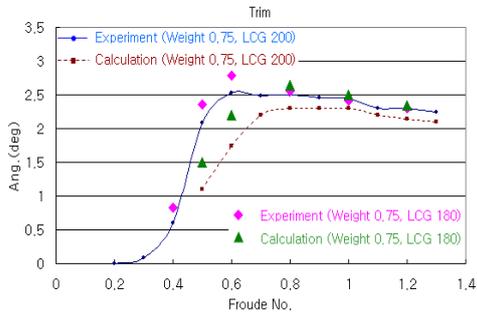


Fig. 15 Comparison of experimental and theoretical results of trim angles (Weight 0.75kg, LCG 180/200mm)

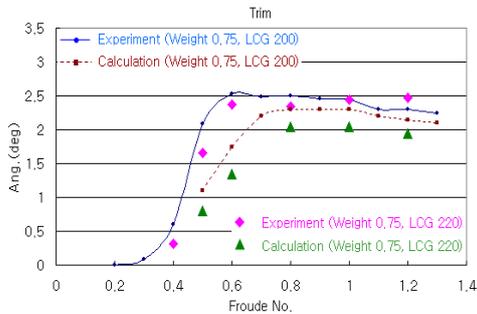


Fig. 16 Comparison of experimental and theoretical results of trim angles (Weight 0.75kg, LCG 200/220mm)

Table 3 Vertical Force components (Weight 0.65/0.75/0.85kg, LCG 200mm)

LCG[mm]	200		
Weight[kg]	0.65	0.75	0.85
λ (침수길이)	0.094	0.107	0.120
τ (트림각)	2.25	2.30	2.35
F_D (유체력)	-1.83e-2	-2.03e-2	-2.21e-2
F_B (부력)	-4.97e-3	-6.59e-3	-8.37e-3
F_F (마찰력)	1.83e-4	2.14e-4	2.43e-4
F_W (중력)	2.31e-2	2.67e-2	3.02e-2

Table 4 Vertical Force components (Weight 0.75kg, LCG 180/200/220mm)

Weight[kg]	0.75		
LCG[mm]	180	200	220
λ (침수길이)	0.091	0.107	0.122
τ (트림각)	2.65	2.30	2.05
F_D (유체력)	-2.14e-2	-2.03e-2	-1.93e-2
F_B (부력)	-5.47e-3	-6.59e-3	-7.60e-3
F_F (마찰력)	2.09e-4	2.14e-4	2.16e-4
F_W (중력)	2.67e-2	2.67e-2	2.67e-2

무게 중심이 선수 쪽으로 이동한 경우이며 실험과 계산 모두 모두 설계 상태에 비해 트림각이 감소하는 경향을 보인다. Froude 수 0.6 이하의 낮은 속도에서는 아직 정상 활주 이전이므로 이론 계산에 의한 결과가 실험 결과와 차이가 있다.

4.3 활주선의 자세에 대한 물리적 고찰

Table 3과 Table 4에서 Froude 수 1.0일 때 하중과 무게 중심 변경에 대한 힘 성분들의 크기 변화를 표로 나타내었다. 모든 힘은 무차원화 된 값이며 연직 하방이 양이다. λ 는 keel의 평균 침수 길이, τ 는 트림각이다.

Table 3에서 하중, 즉 중력이 커지면 이를 지지하기 위한 부력이 커지고, 침수 면적도 크기 때문에 유체력과 마찰력도 증가한다. 모든 힘 성분이

유사한 비율로 증가하였으므로 트림각은 거의 변화 없고 부력 증가를 위해 조금 더 물에 잠겨있는 상태임을 예측할 수 있다. 실험상에서는 초기 부상량을 0으로 간주하였으므로 Fig. 8 에서처럼 부상량 차이가 거의 없는 것으로 계속되지만, 초기 흘수까지 고려한다면 하중이 0.85kg인 경우가 0.65kg인 경우에 비해 상대적으로 더 침하한 상태에서 활주한다는 것을 알 수 있다.

Table 4에서는 무게 중심이 선미 쪽으로 이동할수록 더 많이 부상하여 전체 부력은 줄어들고 대신 트림각이 커져서 선저의 입사각이 커지기 때문에 수직 방향의 유체력 성분이 증가한다. 더 많이 부상하고 침수 면적이 줄어들어서 전체 마찰력은 감소하나 트림각이 커져서 마찰력의 수직 방향

성분 감소 비율은 매우 작다. 하중 조건이 같기 때문에 중력은 모두 같다. 정리하면 무게 중심이 선미 쪽으로 이동할수록 부력은 감소하나 트림각 증가로 수직 방향 유체력 성분이 증가해서 중력을 지탱함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 정수 중에서 활주선의 하중 및 무게 중심 위치에 따른 정상 활주 상태의 자세 변화에 대해 실험 및 계산을 수행하였다. 우선 각 시험 조건에 대한 연직면 운동, 즉 부상량과 트림각을 예측하였다. 하중이 커질수록 트림각이 증가하였으며, 무게 중심이 선미 쪽으로 이동할수록 부상량과 트림각이 증가하는 경향을 보였다.

이어서 Martin(1976)과 Baek(1986)의 주형 선형에 대한 이론식을 바탕으로 비주형 선형에 대해 적용 가능하도록 일부 수정하고, 활주선 자세 계산을 수행하였다. 힘과 모멘트의 평형식에서 침수 길이 및 트림각을 얻고 이를 실험 결과와 비교했을 때 거의 같은 경향을 보임을 확인하였다. 또한 하중과 무게 중심 위치 변화에 따른 힘 성분들의 변화를 분석함으로써 이러한 조건들이 고속선의 활주 자세에 미치는 영향에 대해 물리적인 고찰을 하였다. 이후에도 활주선 운동에 대한 이론 및 실험적인 연구가 더 이루어지길 기대하며, 연직면 상의 운동뿐만 아니라 횡방향 운동 및 안정성에 관한 연구도 앞으로의 과제이다.

후 기

본 연구의 일부는 서울대학교 BK21 해양기술인력양성사업단 및 해양시스템공학연구소(RIMSE)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Kim, D.J., Rhee, K.P. and You, Y.J., 2008, "An Experimental Study on the Motion of a Planing Craft with respect to Design Parameters in Still Water and Waves," Proceedings of the Annual

Autumn Meeting of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 59-66.

- Baek, K.H., 1986, An analysis of the Stability and the Motion Responses of a Planing Craft, M.D. Thesis, Seoul National University.
- Brown, P.W., 1971, An Experimental and Theoretical Study of Planing Surfaces with Trim Flaps, Davidson Laboratory Report 1463, Stevens Institute of Technology.
- Martin, M., 1976, Theoretical Determination of Porpoising Instability of High-Speed Planing Boats, DTNSRDC Report 76-0068.
- Savitsky, D., 1964, "Hydrodynamic Design of Planing Hulls," Marine Technology, Vol.1, No.1.
- Shin, J.I., Yang, J.M., Park, H.W., Kim, J.S. and Kim H.C., 2005, "A Study on the Resistance Characteristics of a Stepped Planing Hull Using a High-Speed Towing System," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 4, pp. 341-349.
- Shuford, C.L., 1957, "A Theoretical and Experimental Study of Planing Surfaces Including Effects of Cross Section and Plan Form," NACA Report 820.
- Yeo, D.J., Lee, H.J. and Kang, C.G., 2007, "Estimation of WIG's Take-off State Based on Planing Theory," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 5, pp. 534-541.



< 김 동 진 >



< 이 기 표 >



< 박 한 솔 >