

무인고속전차를 이용한 활주선 모형의 저항시험 기법 연구

이영길¹·하윤진^{2,†}·정광열²·채순재¹
인하대학교 조선해양공학과¹
인하대학교 대학원 조선해양공학과²

A Study on the Resistance Test Method for Planning Hull Model using the High Speed Towing Carriage

Young-Gill Lee¹·Yoon-Jin Ha^{2,†}·Kwang-Leol Jeong²·Soon-Jae Chae¹
Dept. of Naval Architects and Ocean Engineering, Inha University¹
Dept. of Naval Architects and Ocean Engineering, Graduate School of Inha University²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The resistance test of a high speed craft such as planing ship is performed with a high speed towing carriage instead of ordinary towing carriage because of the speed limitation. In the resistance test using high speed towing carriage, the model ship is fixed to the carriage to restrain the running attitude for enough measuring time. Such method is called fixed model test method. In the fixed model test method, to get the appropriate running attitude, the model test is iteratively repeated until the trim moment and lift force are close to zero. In this research, trim free model test method is investigated to reduce the number of iteration. And, the limitation of towing speed range in the trim free model test method is investigated.

Keywords : High-speed towing carriage(고속전차), Trim free model test(자유 트림 시험기법), Fixed model test(완전 구속 시험기법)
Planing hull(활주선형), Ship resistance(선박 저항)

1. 서론

활주선형 등 고속으로 항주하는 선박에 대한 모형 시험은 기존 예인전차의 속도와 수조 길이의 한계 등으로 인하여 많은 어려움이 있다. 고속선의 모형 시험 시 예인전차를 이용할 경우 예인가능 속도의 제한으로 모형선이 작아져야 하나 모형선이 작아지게 되면 모형 시험 결과의 신뢰성에 한계가 있을 것이다. 따라서 무인 상태에서 고속으로 예인할 수 있는 경량화된 고속전차가 필요하다. 인하대학교에서는 고속모형선의 저항시험을 위하여 최대 20m/s까지 예인할 수 있는 무인고속전차를 제작하였다. 하지만 무인고속전차가 고속으로 주행 할 때, 정속구간에서 모형선의 항주자세가 정상상태에 이르러야 하지만 충분한 수조 길이가 확보되지 않으면, 모형선의 항주자세가 정상상태에 이르기 전에 모형 시험이 끝나게 될 수도 있다. 따라서 무인고속전차를 이용한 고속선 모형 시험 시 기존의 모형 시험기법과는 다른 모형 시험기법이 요구된다. Kawahara, et al. (1993)의 연구에서는 모형선의 침하를 자유롭게 하여 트림만을 고정시키는 모형 시험기법(이하 :

자유 침하 시험기법)에 대하여 제안하였다. 하지만 이 시험기법의 경우 분력계를 이용하여 추진축 방향의 힘을 측정하여 항주시 모형선에 작용하는 부양력과 트림모멘트가 0에 근접 할 때까지 반복시험을 수행하는 것이다. 그리고 추진축 방향의 힘을 측정하여 별도의 수식에 의하여 저항이나 부양력, 트림모멘트를 추정해야한다. Ikeda (1990)는 Kawahara, et al. (1993)의 연구와는 다르게 모형선의 침하와 트림을 모두 구속하고 저항과 부양력, 트림모멘트를 3분력계를 이용하여 직접 측정하는 모형 시험기법(이하 : 완전 구속 시험기법, fixed)을 제안하였다. 이 연구에서는 직접 각 방향의 힘들을 측정함으로써 수식에 의한 힘들의 추정을 수행하지 않은 장점이 있지만, 모형선의 침하와 트림을 모두 구속하여 실험하기 때문에 예인 횟수가 증가하게 된다. 따라서 Lee, et al. (2008)은 이러한 단점들을 극복하고자 모형선의 트림을 자유롭게 하여 침하만을 구속하는 모형 시험기법(이하 : 자유 트림 시험기법, trim free)을 제안하였다. 이 연구에서는 완전 구속 시험기법에 비하여 예인 횟수가 줄었으며, 저항과 침하, 트림이 정성적, 정량적으로 완전 구속 시험기법과 근접한 결과를 보였다. 본 연구에서는 Lee, et al. (2008) 연구에서의 고속선 모형 속

도보다 고속으로 예인할 수 있는 고속선 모형으로 자유 트림 시험기법에 대한 모형 시험 결과의 신뢰성과 시험기법의 유용성을 파악하고 가능한 모형 시험 속도영역을 파악하여 보았다.

2. 무인고속전차

인하대학교에서는 고속선 모형 시험을 수행하기 위하여 최대 20m/s까지 예인할 수 있는 무인고속전차를 제작하였다.

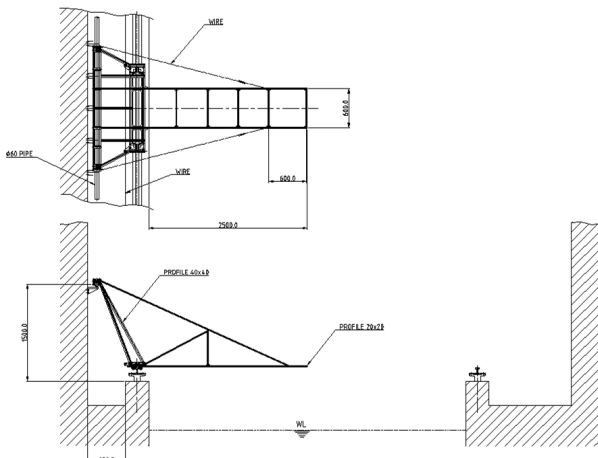


Fig. 1 Plan of the high speed towing carriage

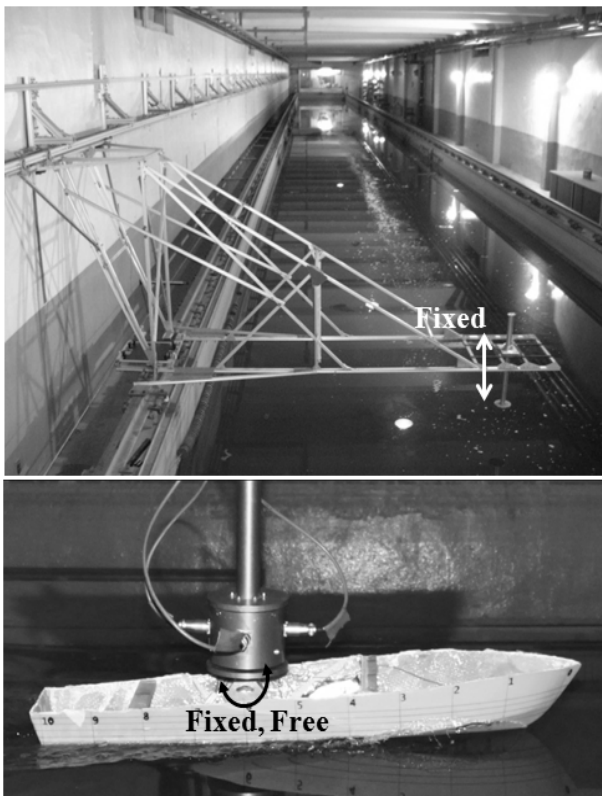


Fig. 2 Adjustment methods of sinkage and trim of a model ship

Fig. 1과 같이 truss구조로 제작되었으며, 외팔보의 형식이다. 모형시험 시 모형선의 침하, 트림 조정 방법은 Fig. 2와 같이 무인고속전차에 축을 두어 이를 고정하는 방식으로 모형선의 침하는 구속시킨다. 축 아래에는 3분력계가 설치되며, 3분력계와 모형사이에 포텐쇼메타가 설치되어있는 부분에 힌지로 트림을 자유롭게 하였으며, 힌지부분을 고정시키게 되면 트림을 구속시킬 수도 있다.

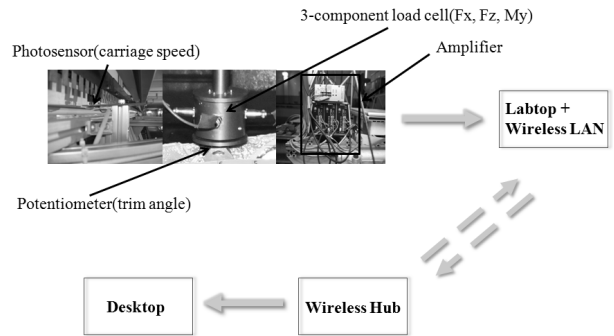


Fig. 3 Measuring system for the high speed towing carriage

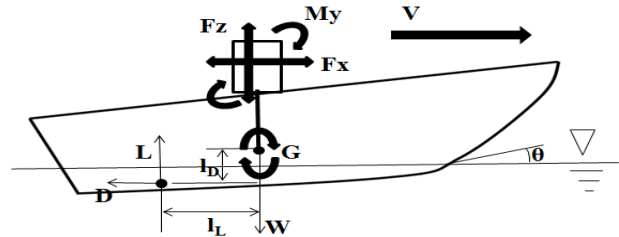


Fig. 4 Free body diagram of a towing model ship

Fig. 3은 모형 시험을 위한 계측시스템이다. 무인고속전차의 경우 모형 시험 시 무인으로 모형선을 예인하기 때문에 무선계측 시스템을 구성하였다. 무인고속전차의 속도는 선형시험수조 측면에 펄스판을 설치하여 포토센서로 계측을 수행하며, 모형선의 힘들과 트림 각은 각각 3분력계, 포텐시오펀으로 계측한다.

3. 원전 구속 시험기법과 자유 트림 시험기법 비교

3.1 모형 시험기법 비교

무인고속전차를 이용한 고속선 모형 시험은 수조 길이의 한계로 인하여 예인전차와는 다른 모형 시험기법이 요구된다. 따라서 Ikeda (1990)의 연구와 같이 원전 구속 시험 기법으로 모형 시험을 수행할 수 있다. 이 모형 시험기법은 Fig. 4와 같이 모형선의 침하와 트림을 구속하고 3분력계를 이용하여 항력과 부양력, 트림모멘트를 계측하는 것이다.

$$L - W = F_z \quad (1)$$

$$L \cdot l_L + D \cdot l_D = M_Y \quad (2)$$

각 속도마다 식 (1)과 (2)에서 부양력과 트림모멘트가 0에 가까워질 때 항력(저항)을 얻어내는 것이다. 하지만 이 모형 시험기법의 경우 Fig. 4에서 부양력과 트림모멘트가 0에 근접해질 때까지 모형선의 침하와 트림을 반복적으로 조정해주어야 한다. 따라서 많은 예인 횟수가 필요할 것으로 예상된다. Lee, et al. (2008)의 연구에서 자유 트림 시험기법은 침하만을 조정하고 트림은 자유롭게 두어 부양력과 트림모멘트가 0에 근접해질 때까지 반복적으로 모형 시험을 수행하는 방법이다. 즉, 자유 트림 시험기법에서의 모형선 트림 각은 정상상태에서 완전 구속 시험기법의 트림 각과 근접해질 때, 부양력과 트림모멘트가 0에 근접해지는 것이다. 따라서 이 방법은 침하만을 조정하기 때문에 완전 구속 시험기법보다 예인 횟수가 줄어든 가능성이 있다.

3.2 모형 시험결과 비교

본 절에서는 Lee, et al. (2008)의 연구결과였던 완전 구속 시험기법과 자유 트림 시험기법을 이용한 모형 시험결과들을 재검토하였다. 이 연구에서는 고속경비정 M5008 선형(West Japan Fluid Engineering Laboratory Co., LTD, 2005)으로, $F_n \nabla = 0.78$ 에서 $F_n \nabla = 3.73$ 까지 모형 시험을 수행하였다. Fig. 5는 $F_n \nabla = 3.73$ 에서 완전 구속 시험기법과 자유 트림 시험기법의 예인 횟수를 비교한 것이다. 완전 구속 시험기법의 경우 6번 정도 침하와 트림을 조정하여 예인하였을 때, 부양력과 트림 모멘트가 0에 근접해가는 것을 볼 수 있으며, 자유 트림 시험기법의 경우 3번 정도만 침하만 조정하여 예인하여도 부양력과 트림 모멘트의 힘들이 0에 근접해하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 트림 각의 경우 두 모형 시험기법 모두 참고문헌 (West Japan Fluid Engineering Laboratory Co., LTD, 2005)에서의 모형 시험결과와 근접하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 참고문헌 (West Japan Fluid Engineering Laboratory Co., LTD, 2005)의 모형 시험결과와 비교할 때 본 실험결과와 모형 시험조건이 다르기 때문에 오차를 보이는 것으로 예상되며, 추후 고찰이 필요할 것으로 생각된다. 하지만, 두 기법 모두 부양력과 트림모멘트의 힘들이 0에 근접해 졌을 때 트림 각의 정상적인 결과는 매우 근접한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 두 모형 시험기법을 이용하여 $F_n \nabla = 3.73$ 에서 부양력과 트림모멘트가 0에 근접하였을 때, 계측결과들의 시간기록이다. 계측 결과들을 보면, 무인고속전차의 정속구간에서 약 7초 정도 유용한 결과가 얻어지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 이 구간에서 두 모형 시험기법들의 항력과 트림 각이 정상적으로 근접한 것을 확인할 수 있으며, 자유 트림 시험기법의 경우 모형선의 트림 각이 무인고속전차의 정속구간에서 정상상태에 이른 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 7은 전 속도구간에서의 모형 시험결과이다. 저속구간에서는 예인전차로 가능한 속도 구간까지 모형 시험을 수행하였으며, 두 속도영역에서 예인전차와 무인고속전차의

모형 시험결과를 비교하였다. 예인전차와 무인고속전차의 모형 시험결과를 비교하여 정상적으로 그 결과가 매우 근접한 것을 확인할 수 있다. 따라서 무인고속전차 모형 시험결과와 신뢰성을 파악할 수 있다.

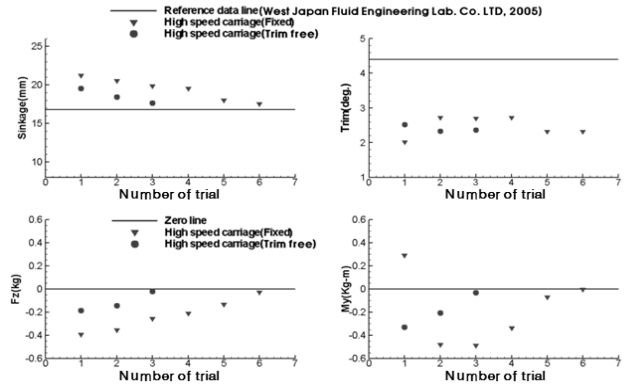


Fig. 5 Comparison of the fixed and the trim free model test methods (M5008, $F_n \nabla = 3.73$, towing speed = 4.50m/s)

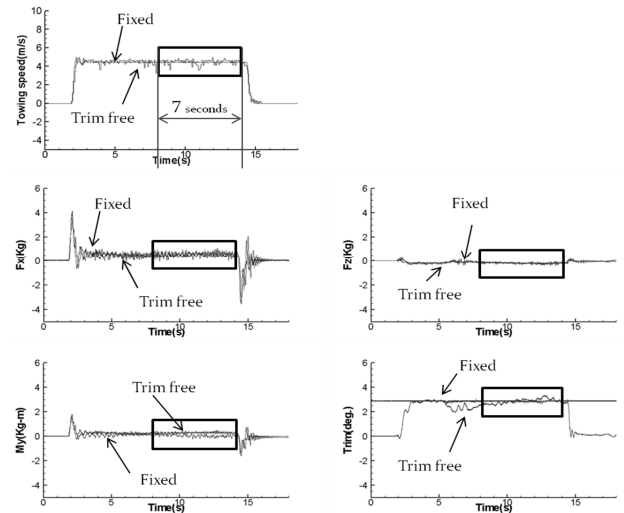


Fig. 6 Time histories of experimental results from the fixed and the trim free model test methods (M5008, $F_n \nabla = 3.73$, towing speed = 4.50m/s)

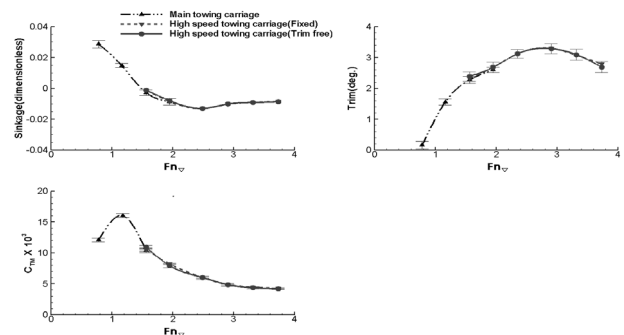


Fig. 7 Comparison of the total resistance coefficient, the sinkage and the trim angle of the model ship (M5008)

또한, 완전 구속 시험기법과 자유 트림 시험기법을 비교하면, 두 모형 시험기법 모두 정량적, 정성적으로 매우 근접한 것을 확인할 수 있다. 따라서 무인고속전차 모형 시험결과의 신뢰성과 자유 트림 시험기법의 유용성을 파악하였다.

4. 대상 모형

Lee, et al. (2008)에서의 선형보다 고속으로 예인할 수 있는 DTMB Series No. 62 Model 4667-1 선형 (Clement & Blount, 1963)을 이용하여 자유 트림 시험 기법에 대하여 모형 시험을 수행하였다(Fig. 8). 본 선형의 주요제원은 Table 1과 같으며, 최대 $F_n \nabla = 5.54$ (예인속도 : 6.38m/s)까지 예인시키기 때문에 모형선의 강도를 고려하여 FRP로 제작하였다. 또한 모형 크기결정은 무인고속전차가 외팔보이기 때문에 그 안정성을 고려하였다.

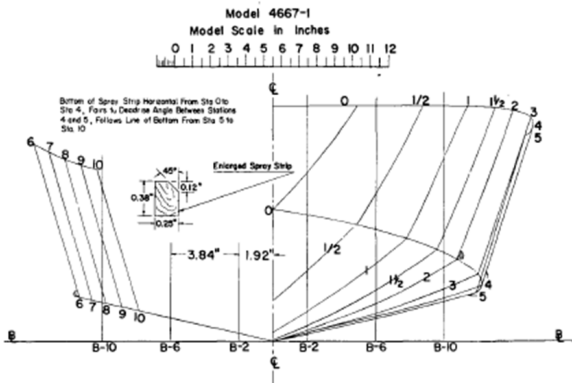


Fig. 8 Body plan of the DTMB Series No. 62 Model 4667-1

Table 1 Principal dimensions of the DTMB Series No. 62 Model 4667-1

	Reference model (Clement & Blount, 1963)	Model(IUTT)
Scale ratio	1/3.048	
LBP (m)	2.438	0.800
Breadth (m)	0.596	0.196
Draft, moulded F.P. (m)	0.103	0.034
Draft, moulded A.P. (m)	0.106	0.035
Displacement (Kg)	68.150	2.407
Range of $F_n \nabla$	0.26 ~ 5.54	

5. 모형 시험 기법 및 결과

본 연구에서는 Lee, et al. (2008)에서의 선형보다 고속으로

예인할 수 있는 DTMB Series No. 62 Model 4667-1 선형으로 자유 트림 시험 기법을 이용하여 모형 시험을 수행하였다. 침수 표면적은 모형을 투명하게 제작하여 모형 시험 시 촬영을 통하여 계측을 수행하는 것이 관례이지만, 항주사제가 Clement and Blount (1963)의 모형 시험결과에 근접하기 때문에 Clement and Blount (1963)의 침수표면적 자료를 이용하였다.

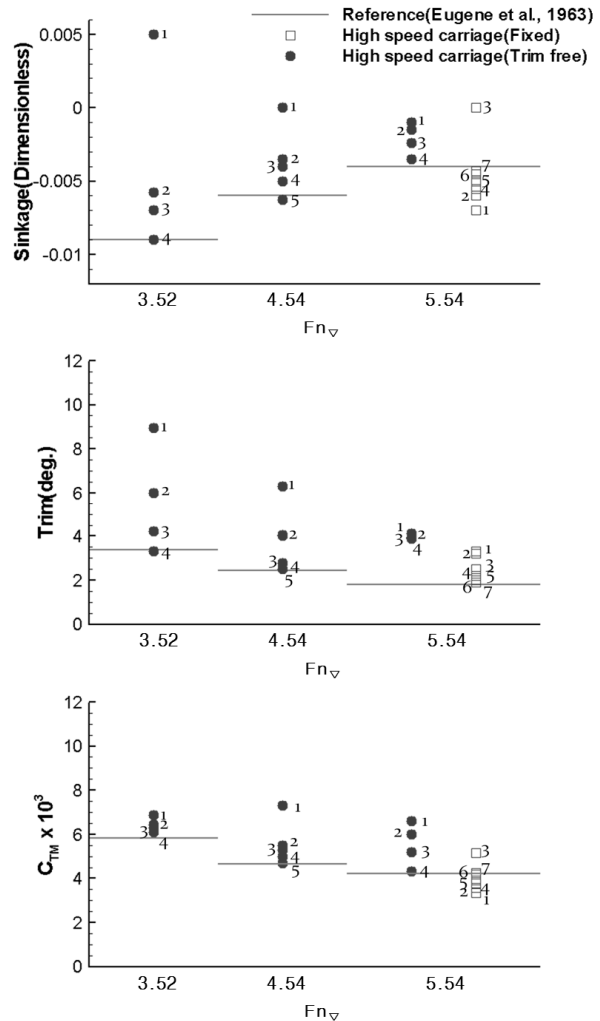


Fig. 9 Number of trials of the model tests (DTMB Series No. 62 Model 4667-1, $F_n \nabla = 3.73, 4.54, 5.54$, towing speed = 4.05, 5.23, 6.38m/s)

Fig. 9는 모형 시험 시 $F_n \nabla = 3.52, 4.54, 5.54$ 에서의 예인 횟수이다. $F_n \nabla = 3.52$ 와 4.54 에서는 각각 4, 5번 정도 예인하였을 때, Clement and Blount (1963)의 모형 시험결과와 근접한 것을 확인할 수 있다. 따라서 Lee, et al. (2008)의 연구(Fig. 5)와 본 연구의 결과를 비교하면, 자유 트림 시험기법은 3~5번 정도의 예인 횟수로 정량적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 $F_n \nabla = 5.54$ 에서는 4번 정도 예인하였을 때, 침하와 전저항 계수의 경우 Clement and Blount (1963)의 결과와 근접하였지만, 트림 각의 경우 큰 오차를 보인다. 이를 확인하기 위하여 각

계측결과들의 시간기록을 확인하여 보았다. Fig. 10은 자유 트림 시험기법을 이용하여 $F_n \nabla = 4.54$ 에서 부양력과 트림모멘트의 힘들이 0에 근접하였을 때, 계측결과들의 시간기록이다. 계측 결과들을 보면, 무인고속전차의 정속구간에서 약 4초 정도 유용한 결과가 얻어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 모형선의 트림 각이 무인고속전차의 정속구간에서 정상상태에 이른 것을 확인할 수 있으며, Fig. 9에서와 같이 Clement and Blount (1963)의 모형 시험결과와 근접한 결과를 보인다. Fig. 11은 완전 구속 시험기법과 자유 트림 시험기법으로 $F_n \nabla = 5.54$ 에서의 모형 시험결과이다.

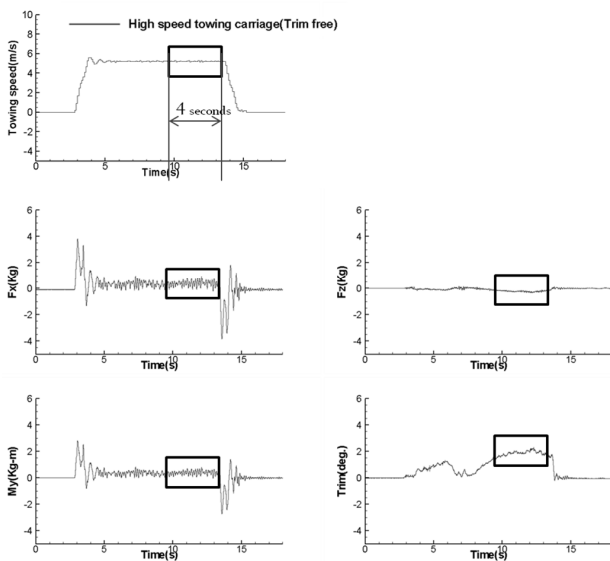


Fig. 10 Time histories of experimental results from the trim free model test method (DTMB Series No. 62 Model 4667-1, $F_n \nabla = 4.54$, towing speed = 5.23m/s)

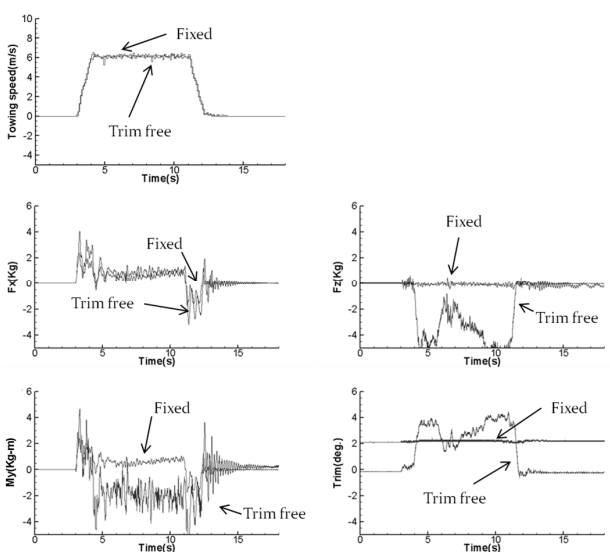


Fig. 11 Time histories of experimental results from the fixed and the trim free model test methods (DTMB Series No. 62 Model 4667-1, $F_n \nabla = 5.54$, towing speed = 6.38m/s)

완전 구속 시험기법의 경우 부양력과 트림모멘트의 힘들이 0에 근접하였을 때의 결과이며, Fig. 9에서 확인할 수 있는 바와 같이 7번 정도 예인하여 Clement and Blount (1963)의 모형 시험결과와 정량적으로 근접하였다. 하지만 Fig. 11에서 자유 트림 시험기법의 경우 트림 각이 완전 구속 시험기법에 비하여 큰 결과를 보인다. 이는 무인고속전차의 정속구간에서 트림 각이 정상상태에 이르지만, Fig. 11에서 보이는 바와 같이 $F_n \nabla = 5.54$ 에서 무인고속전차의 가속구간에서 모형선은 과도한 선미트림이 일어나고, Fig. 12를 보면, $F_n \nabla = 4.54$ 에 비하여 $F_n \nabla = 5.54$ 에서 선체에 스프레이 현상이 크게 일어나는 것을 확인할 수 있다. 무인고속전차의 가속구간에서 선체에 일어나는 큰 스프레이 현상으로 인하여 정속구간에서 트림 각이 작아지지 않는 것으로 생각된다. 또한 이러한 영향으로 인하여 3분력계로 계측된 결과들의 동요가 매우 큰 것으로 생각되며, $F_n \nabla = 5.54$ 정도 이상의 속도영역에서는 자유 트림 시험기법을 이용한 모형 시험이 어려운 것으로 판단된다. Fig. 13은 전 속도구간에서의 모형 시험결과이다. Fig. 7과 마찬가지로 저속구간에서는 예인전차로 가능한 속도 구간까지 모형 시험을 수행하였다. Clement and Blount (1963)과 예인전차, 무인고속전차의 모형 시험결과들을 비교하였을 때, 정량적, 정성적으로 그 결과들이 매우 근접한 것을 확인할 수 있다. $F_n \nabla = 5.54$ 를 제외하고 보다 고속영역에서 Clement and Blount (1963)과 무인고속전차 모형 시험결과를 비교하면, $F_n \nabla = 4.54$ 까지는 매우 정량적, 정성적으로 근접한 것을 확인할 수 있으며, 약 4초 정도의 계측결과를 얻어낼 수 있다. 따라서 $F_n \nabla = 4.54$ 까지는 자유 트림 시험기법이 무인고속전차를 이용한 모형 시험 시 매우 유용할 것으로 판단된다.

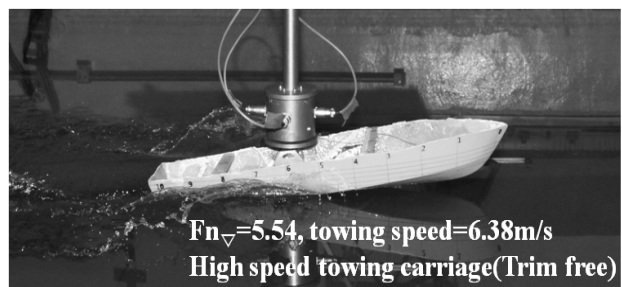
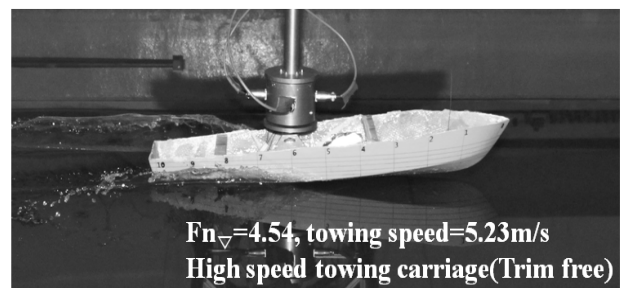


Fig. 12 Photographs of the model tests at $F_n \nabla = 4.54, 5.54$ (DTMB Series No. 62 Model 4667-1, trim free, towing speed = 5.23, 6.38m/s)

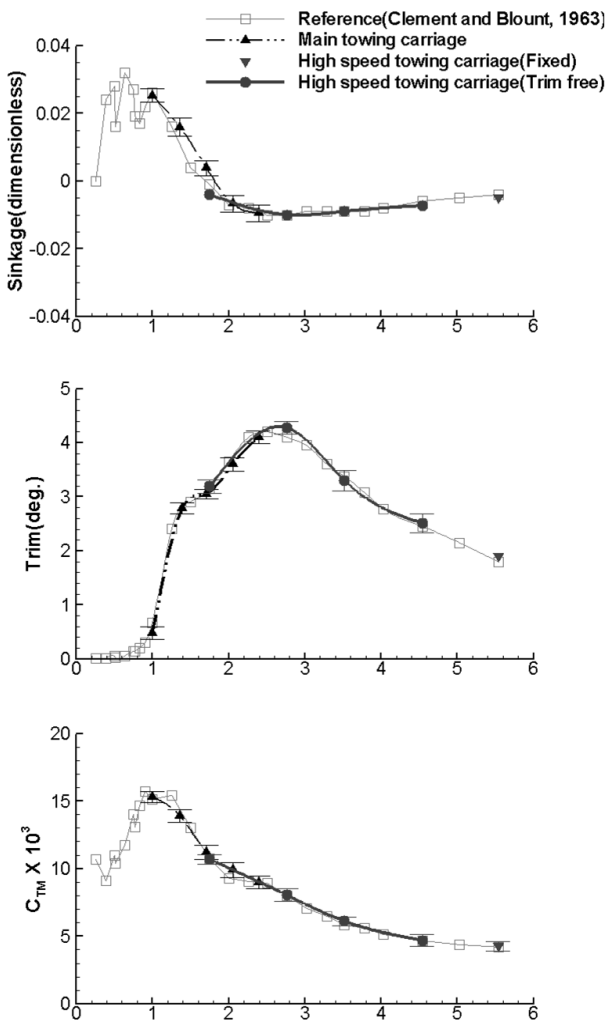


Fig. 13 Comparison of the total resistance coefficients, sinkages and trim angles of the model ship (DTMB Series No. 62 Model 4667-1)

하지만 본 연구 결과만을 확인하였을 때, $F_n \nabla = 5.54$ 이상의 속도영역에서는 무인고속전차의 가속구간에서 모형선의 과도한 선미트림으로 인하여 자유 트림 시험기법을 이용한 모형 시험은 어려운 것으로 생각되며, 예인 횡수가 많아지지만 $F_n \nabla = 5.54$ 이상의 완전 구속 시험기법을 이용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 활주선형을 이용하여 자유 트림 시험기법의 유용성을 파악하고 모형 시험이 가능한 속도영역을 파악하여 보았다.

1) Lee, et al. (2008)의 연구에서는 완전 구속 시험기법과 자유 트림 시험기법을 비교하였을 때, 자유 트림 시험기법이 3번 정도로 예인 횡수를 줄였다. 또한 본 연구의 결과로 봤을 때, $F_n \nabla = 5.54$ 에서 완전 구속 시험기법으로는 예인 횡수 7번 정도가 필요하였으며, 자유 트림 시험기법을 이용하여서는 최대

5번 정도의 예인 횡수가 필요하다. 따라서 자유 트림 시험기법이 완전 구속 시험기법에 비하여 예인 횡수를 줄일 수 있다.

2) 본 연구 결과에서 $F_n \nabla = 5.54$ 의 모형 시험결과는 무인고속전차의 가속구간에서 과도한 선미트림으로 인하여 큰 스프레이 현상이 발생하며, 이로 인하여 무인고속전차의 정속구간에서 트림 각이 감소하지 않았다. 완전 구속 시험기법을 이용하였을 때, 많은 예인 횡수가 요구되었지만, 정량적으로는 Clement and Blount (1963)과 근접한 결과를 보인다. 모형 시험 시 초기트림을 주거나, 무인고속전차의 가속구간이 길어 천천히 무인고속전차가 가속하게 되면, 초기에 모형선의 과도한 선미트림이 발생하지 않을 것으로 예상된다.

3) 본 연구 결과를 예인전차와 Clement and Blount (1963)의 모형 시험결과들과 비교하였을 때, 정량적, 정성적으로 매우 근접하며, Lee, et al. (2008)의 연구 결과에서도 정도 높은 모형 시험결과를 보인다. 따라서 무인고속전차를 이용하여도 정도 높은 모형 시험이 가능하며, 자유 트림 시험기법이 무인고속전차를 이용한 모형 시험에서 매우 유용한 모형 시험기법으로 판단된다.

4) 자유 트림 시험기법은 완전 구속 시험기법에 비하여 예인 횡수를 줄일 수 있지만, 본 연구 결과만을 보았을 때, $F_n \nabla = 4.54$ 정도의 속도영역까지 모형 시험이 가능한 것으로 판단된다. 또한 자유 트림 시험기법을 이용할 때, $F_n \nabla = 4.54$ 이하의 속도영역까지는 약 4초 이상의 계속된 데이터를 해석할 수 있다. $F_n \nabla = 5.54$ 이상의 속도영역에서는 자유 트림 시험기법에 비하여 예인횡수가 많지만, 완전 구속 시험기법을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

5) 본 연구에서는 Clement and Blount (1963)에서 계속된 침수 표면적 결과가 있어 모형선의 침수표면적을 직접 계속하지 않았다. 새로운 고속선 모형 시험 시 모형선을 투명하게 제작하여, 촬영을 통하여 침수표면적을 계속할 것이며, 이를 저항 시험과 동시에 수행하므로 무인고속전차를 이용하였을 때 충분한 모형 시험이 가능할 것으로 생각된다.

후기

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

References

Clement, E.P. & Blount, D.L., 1963. Resistance Tests of a Systematic Series of Planing Hull Forms. *Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineering*, 71.

Ikeda, Y., 1990. Measurement of hydrodynamic forces acting on a high-speed craft model fixed to a three-component load-cell on a carriage. *Proceeding of the 19th International Towing Tank Conference*, Madrid, Kingdom of Spain, 2, December 1990.

Kawahara, U. Suzuki, K. & Yabushita, K., 1993. Resistance Test Method for High-Speed Boats by Using a Trim Fixed Type of Dynamometer. *Journal of Kansai Society Naval Architects*, Japan, 220, pp. 71-82.

Lee, Y.G. Ha, Y.J. Kim, K.S. & Chae, S.J., 2008, A Development on the method of resistance test using unmanned high-speed towing carriage. *Proceedings of the Society of Naval Architects of Korea*, Jeju, Republic of Korea, 30, May 2008, pp. 1243-1249.

West Japan Fluid Engineering Laboratory Co., LTD., 2005. *Tank Test of High speed planing hull, Nagasaki Pref. Japan, Report No. 11283-1*. Japan: West Japan Fluid Engineering Laboratory Co.

