

모형선과 실선의 상관관계 추정을 위한 등가평판의 수치해석 및 적용

Numerical simulation of flow around an equivalent plate for model-ship correlation

김영민^{1*}, 박미연¹, 이희범¹

서울대학교 조선해양공학과¹

초 록

선박의 저항을 추정하는 일은 선박설계에 있어 가장 기본적인 작업이다. 그러나 선박의 크기는 매우 크기 때문에 일반적으로 모형선 실험을 통해 선박의 저항을 추정한다. 이 때, 모형선 실험은 Froude 수를 기준으로 수행하게 되는데 이 때문에 모형선과 실선의 Reynolds 수가 서로 다른 영역에 놓이게 된다. 따라서 모형선 실험에서 얻어진 데이터를 실선에 그대로 적용할 수 없기 때문에 모형선-실선 저항추정법을 사용하게 된다. 본 연구에서는 이러한 모형선-실선 저항추정법에 사용되고 있는 2차원 외삽법을 살펴보고 이 기법에 사용되고 있는 ITTC 마찰저항곡선을 등가평판 주위의 유동장 해석 결과와 비교하였으며 ITTC 마찰저항곡선에 대해 고찰하였다.

Key Words: 저항추정법 (model-ship correlation), ITTC 마찰저항곡선 (ITTC curve), 등가평판 (equivalent plate)

1. 서 론

선박의 저항시험에 사용되는 모형선의 축척비는 수조의 크기와 예인전차 및 설비, 계측장비에 따라 결정되며, 가능한 한 모형선의 크기를 크게 함으로써 모형시험의 불확실성을 최소화한다. 선박의 전체저항(total resistance)은 다양한 요인들이 서로 복잡하게 간섭한 결과로 나타나지만, 기본적으로는 조파와 점성에 의한 성분이 중요하다. 저항시험 시 측정되지 않는 공기저항(air resistance)은 실선의 저항추정 시 추가적으로 고려해야 한다. 선박의 속도성능을 향상시키기 위해서는 저항을 최소화해야 하며, 이를 위해서 저항의 성분, 생성 원인, 특성은 물론, 이러한 저항성분들과 선형의 상관관계에 대해 깊은 이해가 필요하다. 모형시험에서는 모형선과 실선의 Fn 와 Rn 가 모두 같도록 시험을 수행하는 것이 불가능하므로, 모형시험에서 얻는 결과를 이용하여 실선의 저항을 추정하기 위해서는 일련의 절차를 따른다. 이하에서는 모형선의 저항시험에서 측정된 저항으로 실선의 저항을 추정하는 방법들에 대해 고찰하기로 한다.

2. 저항 시험과 저항추정법

저항추정법 중 하나인 2차원 외삽법은 W. Forde의 실선 저항추정법을 근간으로 하고 있다. 모형시험으로 측정된 저항으로부터 모형선의 전체저항계수는 다음과 같이 얻는다.

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{(\rho_M V_M^2 / 2) S_M} \quad (1)$$

여기서 ρ_M 는 유체의 밀도, S는 침수표면적이다. 또한 모형선의 잉여저항계수 C_{RM} 은 다음과 같이 얻는다.

$$C_{RM} = C_{TM} - C_{FM} \quad (2)$$

여기서 C_{FM} 과 C_{FS} 는 ITTC 1957 모형선-실선 상관곡선의 마찰저항 공식으로부터 구할 수 있다.

$$C_F = \frac{R_F}{(\rho V^2 / 2) S} = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (3)$$

모형선과 실선의 Froude 수는 대응속도에서 서로 같고, 비교법칙에 따라 모형선과 실선의 잉여저항계수는 동일해야 하므로 다음을 얻는다.

$$C_{RS} = C_{RM} \quad (4)$$

따라서 실선의 전체저항계수 C_{TS} 는 다음과 같이 얻고,

$$C_{RS} = C_{FS} + C_{RS} \quad (5)$$

최종적으로 실선의 저항을 다음과 같이 구한다.

$$R_{TS} = \frac{1}{2} \rho_S V_S^2 S_S C_{TS} \quad (6)$$

ITTC 1957 는 모형선-실선의 마찰저항을 추정하는데 있어 다음의 식을 사용하도록 제안 하였다.

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Rn - 2)^2}$$

이 방법은 마찰저항계수는 위 식으로 계산하고 Froude 의 2 차원 외삽법을 기준으로 실선의 저항성능을 추정하는 방법으로 등가평판의 마찰저항 실험을 근거로 사용한 추정식이다.

마찰저항계수를 위 식으로 계산하면 Froude 의 2 차원 외삽법을 기준으로 실선의 저항성능을 추정할 수 있다. 그 절차를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 축척비 s 인 모형선을 모형선과 실선의 Rn 과 같도록 실선의 설계속도를 포함하는 속도 범위에 걸쳐 예인하여 전체저항 R_{TM} 을 측정한다.
- 2) 모형선의 전체저항계수 C_{TM} 은 식(1)로부터 구한다.
- 3) 모형선의 잉여저항계수 C_{RM} 은 식(2)로부터 구하는데, 모형선의 마찰저항계수 C_{FM} 은 모형선의 Rn 를

사용하여 식(3)으로부터 구한다.

4) 비교법칙에 의해 실선의 잉여저항계수 C_{RS} 는 식 (4)로부터 얻는다.

5) 실선의 전체저항계수 C_{TS} 는 다음과 같이 얻는다.

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RS} + C_A \quad (7)$$

여기서 C_{FS} 는 실선의 Rn 를 사용하여 식(3)으로부터 구하며, C_A 는 실선의 표면 거칠기 등을 반영한 모형선-실선 상관 수정계수(model-ship correlation allowance)로서 각 기관마다 시운전과 모형시험 결과를 고려하여 결정한다.

6) 최종적으로 실선의 저항은 식 (6)을 이용하여 얻는다.

3. 수치 계산 및 결과

본 연구에서는 ITTC 1957 마찰저항 추정 곡선이 유효하게 사용될 수 있는지 수치계산을 이용하여 비교해 보았다. ITTC 1957 곡선은 레이놀즈 수에 따른 등가평판의 마찰저항계수를 바탕으로 하였기 때문에 실제 수치계산에서 등가평판의 마찰저항 계수를 계산하였다. 유동해석을 위해 EDISON_CFD를 사용하였으며 계산에 사용된 도메인 및 격자는 그림 1과 같다.

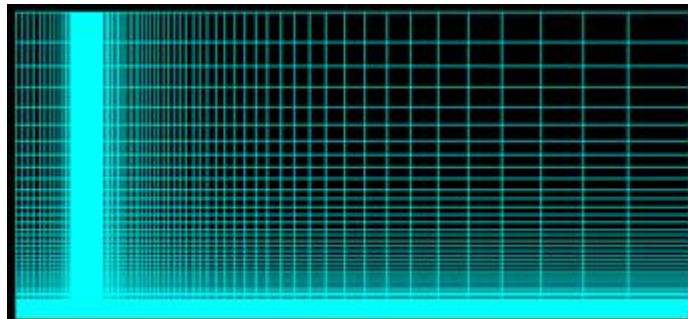


그림 1 계산영역 및 격자 구성

계산 격자는 발달하는 경계층을 잘 모사하기 위해서 바닥면 주위에 밀집 시켰으며 바닥면 앞쪽으로 유동장이 자유롭게 들어오는 영역을 두었다. 유동장은 실제 모형선 및 실선에서 사용하는 레이놀즈수 영역인 $10^{6.5} \sim 10^{7.5}$ 사이의 영역을 주로 계산하여 이 근방에서 ITTC 1957 곡선과 비교하였다.

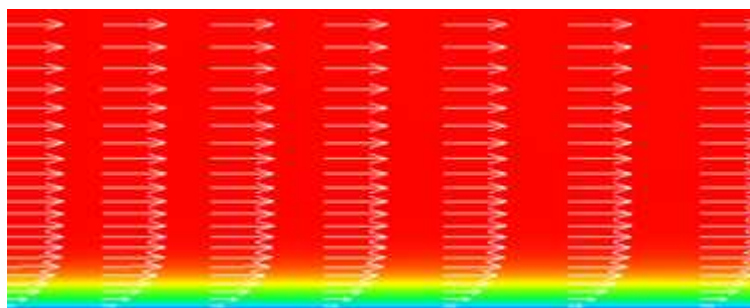


그림 2 경계층 주위의 압력과 u방향 속도

그림 2는 계산된 경계층 주위의 압력과 속도 벡터를 보여주고 있다. 평판에서의 속도는 고착조건에 의하여 0이 됨을 확인할 수 있으며 평판 위로 일정한 두께의 경계층 모습을 볼 수 있다. 경계층 부근의 압력은 평판 바로 위에서 매우 작으며 경계층의 위쪽으로 갈수록 압력이 높아지고 있음을 알 수 있다.

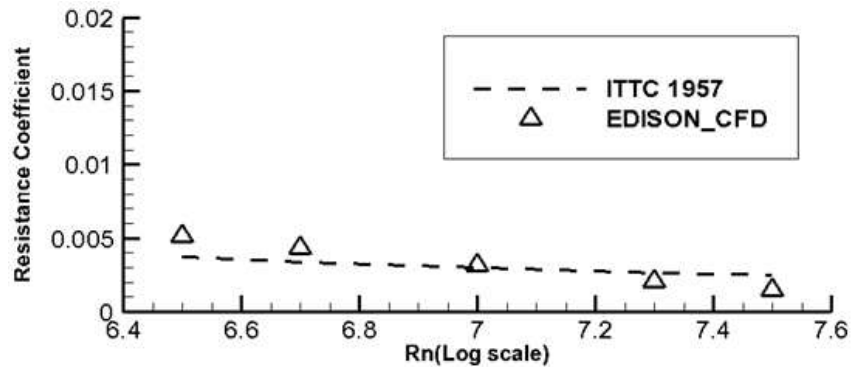


그림 3 ITTC 1957 곡선과의 비교

그림 3은 계산된 결과를 ITTC 1957 곡선과 비교한 것이다. 전체적으로 레이놀즈 수가 커질수록 마찰저항계수가 작아지는 경향을 알 수 있으며 계산 결과가 ITTC 1957 곡선과 전체적으로 유사한 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 CFD 프로그램인 EDISON_CFD를 이용하여 ITTC 1957 마찰저항 추정 공식이 유효하게 사용될 수 있는지 확인해 보았다. 특정 레이놀즈수에 따른 계산된 저항계수를 이미 제시되어 있는 ITTC 1957 곡선값과 비교를 하였다. 비교 결과 계산 결과의 값이 ITTC 1957 곡선과 큰 오차를 보이지 않고, 유사한 값을 나타냄을 알 수 있었다. 즉, 선박 모형시험에서 실선을 저항을 추정할 때, 진행 과정에 있어 마찰저항을 레이놀즈 수의 함수를 통하여 마찰저항계수를 근사적으로 구할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 첨단 사이언스.교육 허브 개발 사업(2011-0020563)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Froude, W., 1872, Experiments on surface friction, British Association Report
- (2) Froude, W., 1874, On experiments with HMS Greyhound, Vol. 15, Trans. INA
- (3) ITTC, 1957, Proc. of 8th ITTC, Madrid, Spain
- (4) 대한조선학회 선박유체역학연구회, 2009, 선박의 저항과 추진, 지성사, 서울, p69 p73 pp. 100~106