

초기 선형 설계를 위한 자동화 툴 개발

이주현¹·이신형^{2,†}·전동수³·지혜련³·김용수³
서울대학교 대학원 조선해양공학과¹
서울대학교 조선해양공학과 해양시스템공학연구소²
대우조선해양³

Automatic Tool Development for Initial Hull Form Design

Ju hyun Lee¹·Shin hyung Rhee^{2,†}·Dong Su Jun³·Hye Ryoum Chi³·Yong soo Kim³
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea²
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd., Korea³

Abstract

Thanks to the rapid advancement of computational power and development of numerical methods, Computational fluid dynamics techniques are being used widely for the prediction of ship resistance performance. In the present study, an automatic tool was developed to facilitate hull form modification, consequent mesh generation, and flow analysis for parametric study. It is a tedious job to go back and forth between geometry modification and mesh generation for every hull form variation. With the developed tool, users can make multiple hull form variation and their hull form performance prediction easily in a few simple steps. The verification of the developed tool was done by applying it to resistance performance parametric study of a generic POD propulsion cruise ship with different lengths of bow and stern. It is believed that the tool can be extended to more sophisticated hull form variation and help optimize the ship performance more efficiently.

Keywords : Parametric study(매개변수연구), CFD(전산유체역학), Ship hull(선형)

1. 서론

선종이 다변화 되고, 건조기간이 단축됨에 따라 유체역학적 성능을 고려한 빠르고 효율적인 선형개발의 요구가 증대 되었다. 따라서 선형의 유체역학적 성능을 최대화하기 위한 여러 최적화 방법이 제안되고 있다(Choi, et al., 2003). 가장 많이 사용되는 방법으로 선박의 여러 매개변수(parameter)를 바꾸어 선형을 최적화 하는 방법이 있다(Lee & Choi, 2009). 이를 통해 설계변수의 여러 조합에 따라 다양한 선형이 생성된다. 생성된 선형의 성능 추정을 위해서는 모형시험을 수행 한다(Choi, et al., 2010). 그런데 모든 선형에 대해서 모형시험을 수행하기에는 과도한 시간과 비용이 필요하다. 따라서 값비싼 모형시험의 횟수를 줄이기 위하여 선체주위 유동해석이 활발히 이루어지고 있다(Kim, et al., 2007). 선박의 저항 성능을 예측하는데 있어서 실험을 통한 결과가 더 신뢰할 만 하다고 여겨지고 있지만, 선형의 초기 설계 단계에서는 CFD를 통한 해석이 필요하게 된다(Michalski, 2008). CFD해석을 수행하기 위해서는 계산에 앞서 해석하고자 하는 형상에 적합한 계산 격자를 구성해야 한다. CFD를 통한 매개변수연구에 있어서도 각각의 경우에 대한 계산 격자를 생성하여야 한다. 이때 기존에 쓰이던 방식으로는 약간의 선형변화에도 계산 격자를 전

부 다시 생성해야 되기 때문에 격자를 생성하는 데에 많은 시간과 노력이 필요했다. 따라서 격자생성에서 반복적인 작업을 줄이기 위해 자동으로 격자를 생성할 수 있는 방법의 필요성이 대두 되었다.

본 연구에서는 선형의 매개변수연구를 위한 (1) 선형을 변형시키고, (2) 변형된 형상에 적합한 계산 격자를 구성하고, (3) 생성된 계산격자를 사용해 CFD해석을 수행하는 모든 과정을 수행하기 위한 자동화 도구를 개발하였다. 개발된 도구는 널리 쓰이는 세 가지의 상용코드를 활용하며, 매개변수 연구에 능숙하지 않은 사용자와 반복적이고 지루한 작업을 줄이고 싶은 사용자를 위해 사용자 인터페이스를 제공한다. 개발된 도구에 입력해 주어야 하는 정보는 원래 선형의 형상파일과 변형시키고자 하는 비율 그리고 초기의 기본적인 격자뿐이다.

개발된 도구가 선형의 매개변수 연구에 필요한 시간과 노력을 줄여 선형 설계의 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대 된다.

2. 선형 매개변수연구 자동화

Fig. 1에서 CFD를 사용한 선형의 매개변수의 자동화 절차를 보여준다. 절차는 (1) 형상 처리, (2) 격자 생성, (3) CFD 해석의 3

단계로 나뉠 수 있다. 개발된 도구는 각 단계에서의 작업들을 널리 사용되는 상용 툴을 활용하여 수행한다. 먼저, 원래의 선형과 원하는 변형률의 입력이 필요하다. 그러면 개발된 도구는 수정되어야 하는 선형의 매개변수를 계산 한다. 다음으로 해당하는 상용 툴을 실행시키고 수정된 명령어들을 불러들인다.

Fig. 2에서 개발된 도구의 사용자 인터페이스의 예를 보여준다.

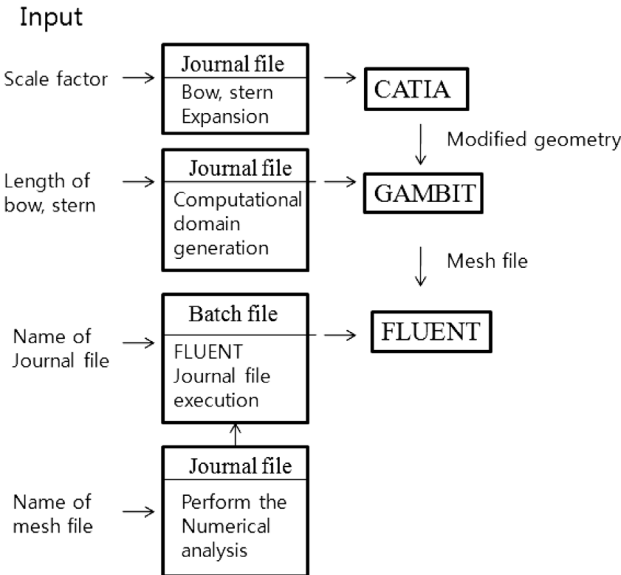


Fig. 1 Procedure flow chart

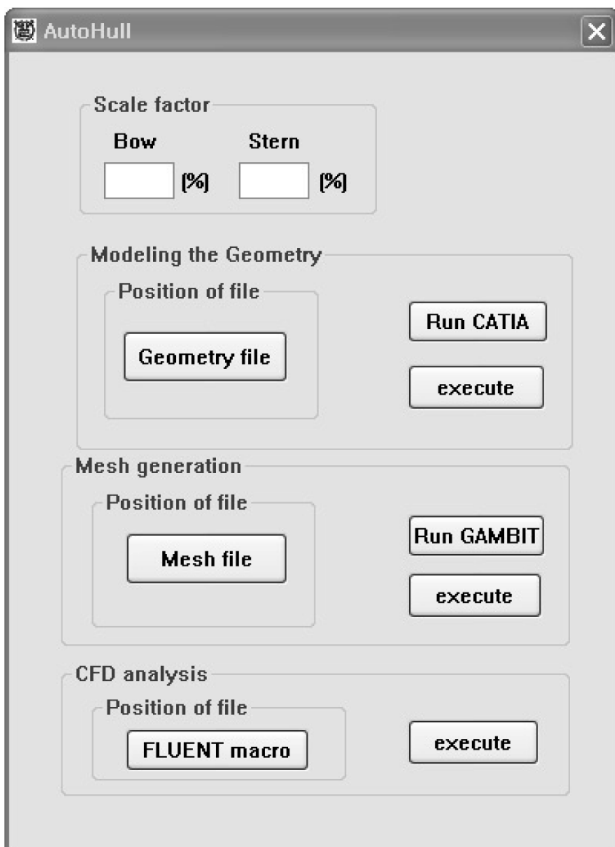


Fig. 2 User interface of the developed tool

2.1 형상 처리

일반적으로 격자 생성을 위한 형상을 만들고 수정하는데 CAD (Computer-aided design)가 사용된다. 매개변수연구 시, 형상의 변화가 매우 작은 경우에도 모든 경우에 대하여 유사한 형상의 수정을 CAD를 통해 수행하여야 한다. 이러한 매우 지루하고 반복적인 작업들을 수행하기 위해서 많은 시간과 노력이 필요하게 된다. 그러나 이러한 작업은 미리 기록된 CAD 프로그램의 명령어를 불러들이는 것으로 대체될 수 있다. 본 연구에서는 상용 CAD 프로그램인 CATIA(Computer Aided Three dimensional Interactive Application)이 형상의 처리를 위해 활용 되었다. CATIA는 3차원 CAD 프로그램으로 자동차나 항공기를 설계, 개발하는 데 사용하는 프로그램이다. CATIA에서는 실행된 명령어를 비주얼 베이직 코드의 포맷으로 저장하는 기능을 제공한다. 이 기능을 활용하여, 형상을 변형시키기 위해 실행된 명령어들의 목록이 파일로 기록된다. 그러면 변형하는 방식이 동일한 경우에 대해서 다른 변형률을 적용하기 위해서는 기록된 파일에서 적절한 상수만 수정된다.

개발된 도구의 적용가능성을 보이기 위해서, 선수와 선미의 길이를 설계 변수로 선정하였다. 선형의 다른 매개변수에 대한 변형 역시 적합한 CAD 프로그램의 명령어들을 사용한다면 가능하다. 사용자가 선수와 선미의 길이를 바꾸기 위해 변형률을 입력하면, 개발된 도구는 저장된 CATIA 명령어에서 해당하는 상수를 수정하고, Fig. 3과 같이 이를 실행 시킨다.

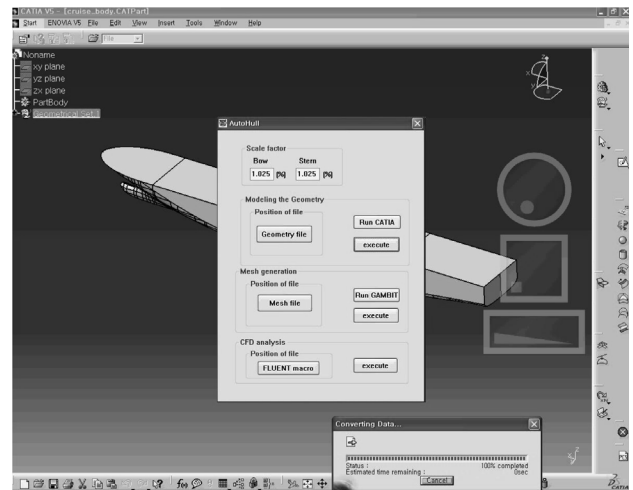


Fig. 3 Geometry handling using developed tool

2.2 격자생성

매개변수 연구에서는 점진적인 형상의 변화가 발생하므로, 격자의 생성에는 일관성과 격자생성의 편의를 위해 원래 격자의 위상과 배치가 유지되어야 한다. 즉, 원래 선형의 기본적인 격자가 주어지면 변형된 형상에 대한 격자는 동일한 명령어와 매개변수들을 사용하여 생성될 수 있다. 본 연구에서는 상용 격자생성프로그램인 GAMBIT을 사용하여 앞서 생성한 선박 형상 주위의 유동에 대한 계산 격자를 구성하였다. 선박의 선수, 선미를 길이 방향

으로 변형시킬 경우 혼합격자(hybrid mesh) 생성 방법을 적용하여 격자를 생성할 수 있다. 이 방법은 전체 계산 영역을 여러 하위영역(sub-domain)으로 나누고, 복잡한 형상을 가지는 하위영역은 비정렬격자로 채우고, 덜 복잡한 형상의 하위영역은 정렬격자를 사용해 구성하는 것이다. 혼합격자를 선박에 적용하면 형상이 바뀌는 선수 선미에 해당하는 하위영역은 비정렬격자로 구성되고 나머지 부분은 정렬격자로 구성된다. 이렇게 함으로써 형상이 바뀌는 하위영역에 대해서도 비정렬격자를 생성함으로써 자동으로 격자를 생성할 수 있게 된다. 개발된 도구에서는 입력받은 변형률에 대해 적합한 계산 영역을 구성하기 위해 필요한 값들을 계산하고 GAMBIT에서 실행되는 명령어들의 상수를 수정하고, Fig. 4와 같이 실행시킨다.

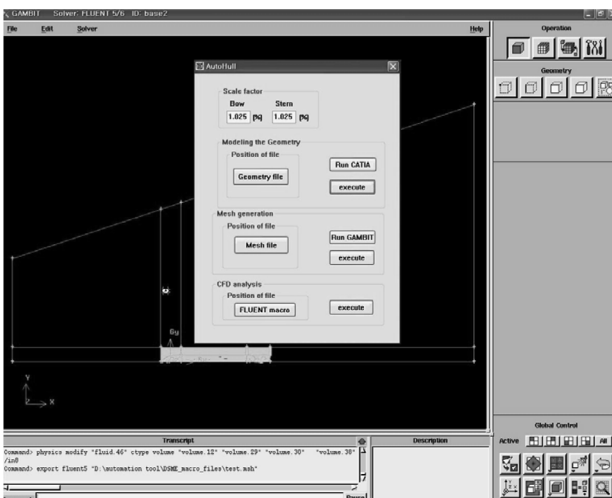


Fig. 4 Mesh generation using developed tool

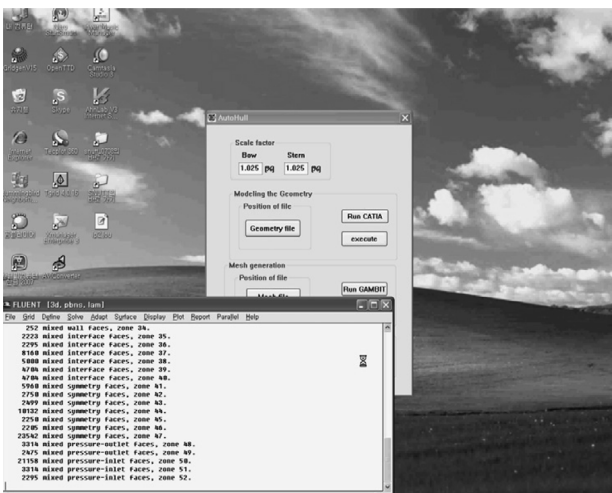


Fig. 5 CFD analysis using developed tool

2.3 수치 해석

매개변수 연구에서는 수치해석법에 대한 설정이 여러 다른 격자에 대해서 동일하게 적용되는 경우가 많다. 이것은 CFD 해석

의 관점에서는 매개변수 연구의 각 경우의 변화가 크지 않기 때문이다. 따라서 수치해석 때도 유사한 격자들을 불러들여서 동일한 계산 방법을 적용하는 반복적인 작업을 수행하게 된다. 앞서와 마찬가지로, 수치해석에서의 이러한 반복적 작업을 수치해석 프로그램의 명령어를 Fig. 5와 같이 불러들임으로써 수행할 수 있다. 본 연구에서는 수치해석 프로그램으로 FLUENT 6.3을 사용하였다. 개발된 도구는 이용하여 저장된 명령어를 적용하여 동시에 여러 개의 FLUENT 계산을 실행함으로써 CFD를 수행하는데 소요되는 시간을 절약할 수 있다.

3. 개발 코드의 적용

개발된 자동화 툴을 적용하는 예를 보이고자 선수, 선미 길이 변화에 대한 매개변수연구를 수행 하였다.

3.1 대상선형

매개변수연구를 수행할 선형은 대우조선해양(주)에서 제공한 포드추진 방식의 크루즈 선형이다. 해석에는 프로펠러를 제외한 포드 추진기를 포함하여 수행한다. 이 선형을 예로 보임으로써 선미에 부가물이 있고 선미의 길이 변화에 따라 부가물의 위치가 바뀌는 복잡한 형상을 가지는 경우에 대해서도 자동으로 격자를 생성할 수 있음을 보인다. 대상 선형을 1/60 비율로 제작한 모형 선형은 Fig. 6과 같다. Table 1에서 대상 선의 주요 제원을 나타내고 있다.

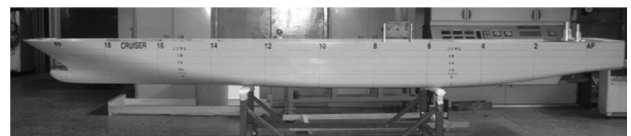


Fig. 6 Photograph of the model

Table 1 Principal dimension of model

| Model ship dimensions | |
|-----------------------|---------------------|
| Scale ratio | 1/60 |
| Design speed | 1.46m/s |
| L_{pp} | 4.03m |
| Breadth | 0.6m |
| Draft | 0.18m |
| Wetted surface area | 2.83m ² |
| Displacement | 0.231m ³ |

3.2 생성한 모델

선박의 선수와 선미를 길이방향으로 확장을 하였다. 각각 다른 여러 확장비를 가지는 경우를 정하였다. 결정된 확장비율과 침수 표면적의 변형률은 Table 2와 같고 각 경우의 선형은 Fig. 7와 같

다. Fig. 7에서 표시된 부분이 길이가 변형된 부분이다. 각 선형의 L_{BP} 와 프루드 수, 레이놀즈 수는 Table 3과 같다.

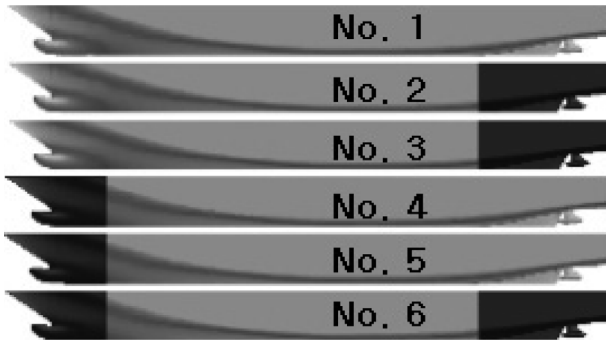


Fig. 7 The shape of ship hull

Table 2 Scale factor

| No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|-------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Scale factor (%) | Bow | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 5 | 2.5 |
| | Stern | 0 | 2.5 | 5 | 0 | 0 | 2.5 |
| WSA variation (%) | Bow | 0 | 0 | 0 | 3 | 6.1 | 3 |
| | Stern | 0 | 2.6 | 5.2 | 0 | 0 | 2.6 |

Table 3 Dimensionless parameter

| No. | L_{BP} (m) | $F_N \times 10$ | $R_N \times 10^9$ |
|-----|--------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 242.00 | 2.323 | 2.725 |
| 2 | 243.11 | 2.317 | 2.738 |
| 3 | 244.23 | 2.312 | 2.750 |
| 4 | 242.62 | 2.320 | 2.732 |
| 5 | 243.25 | 2.317 | 2.739 |
| 6 | 243.74 | 2.314 | 2.745 |

3.3 계산영역

계산은 포드형 추진기의 형상을 포함하였다. 그러나 추진기의 회전이 없는 상태를 계산하였기 때문에 선형 주위의 유동이 좌우 대칭을 이루므로 반쪽에 대해서 계산 영역을 구성하였다.

구성된 계산 영역은 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 푸른색으로 표시된 하위영역이 길이방향으로 선형이 바뀌는 부분이다. 이들 하위영역은 앞서 논한 바와 같이 변형을 가지는 복잡한 형상에서의 쉬운 격자생성을 위해 비정렬격자로 구성하였고, 나머지 바뀌지 않는 부분은 정렬격자를 사용해 구성하였다. 자유 수면에서의 파의 발생을 정확하게 추정하기 위해서 자유수면 근처에서 조밀한 격자를 분포시켰다. 선수와 선미의 비정렬격자에서는 선체근처에서 조밀한 격자를 분포하고 벽면에서 멀어질수록 커지도록 격자를 구성하였다. 사용한 난류모델에 맞게 벽면 $y+$ 는 100~150의 값을 유지하도록 맞추었다. 계산 영역의 경계조건은 다음과 같다.

(1) Fig. 9에서 녹색으로 표시된, 전체 영역의 앞면과 오른쪽 옆면의 경계에는, 수심에 따른 정수압과 속도에 따른 동압을 고려한 전압력 경계조건을 적용하였고, (2) 파란색으로 표시된 뒷면의

경계에는 정수압을 수심에 맞게 지정해 주었다. (3) 선체 주위에는 점착경계조건을 적용하였고, (4) 나머지 면은 대칭 경계조건으로 설정하였다.

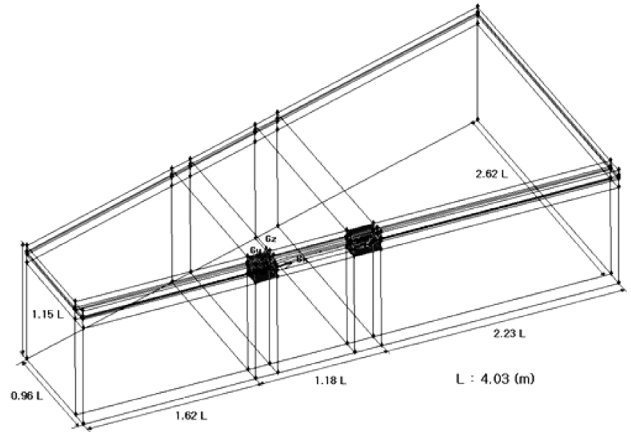


Fig. 8 Computational domain

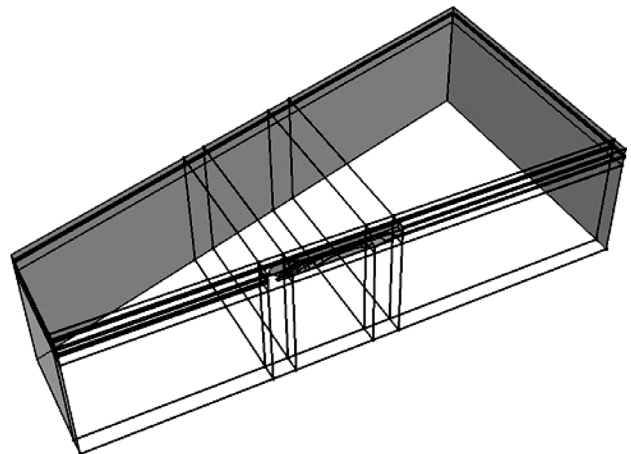


Fig. 9 Boundary condition

3.4 수치해석방법

수치계산에서의 지배방정식과 수학적 모델링은 다음과 같다.

1) 질량보존방정식

$$\frac{\partial(\rho_m)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \vec{v}_m) = 0 \tag{1}$$

여기서 질량가중평균속도 \vec{v}_m 은 식 (2)와 같이 정의되며,

$$\vec{v}_m = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \vec{v}_k}{\rho_m} \tag{2}$$

혼합물(mixture)의 밀도는 식 (3)과 같다.

$$\rho_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \quad (3)$$

α_k 는 각 상(k)의 체적분율(volume fraction)이다.

2) 운동량보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n (\alpha_k \rho_k E_k) + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n [\alpha_k \vec{v}_k (\rho_k E_k + p)] = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_E \quad (4)$$

혼합물의 점성계수는 식 (5)와 같다.

$$\mu_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \mu_k \quad (5)$$

난류모델은 Shih, et al.(1994)이 제안한 realizable k-ε모형을 사용 하였다. 벽면에서의 처리는 Kim, et al.(1995)이 제안한 비평형 벽함수법을 사용했다. 속도 압력 연성에 대한 기법은 운동량 보존 방정식과 압력 방정식을 한 행렬로 연계하여 푸는 방법을 사용하였다. 자유 수면이 있는 문제의 해석을 위해서 다상류 모형은 VOF(volume of fluid)로 설정하였다. 운동량, 난류에너지와 난류소산율에 대해서는 2차 정도의 상류 차분법으로 이산화 하였고 Volume Fraction은 HRIC법으로 이산화 하였다.

4. 결과

본 절에서는 자동적으로 수치해석까지 마친 상태의 결과를 보인다. 해석은 2.5Ghz의 16개의 CPU를 사용하였고 수렴된 해를 얻기 위해서는 24~48시간 정도의 계산시간이 소요되었다. 해석 결과는 저항, 파형, 파고의 비교를 통해 보았다.

4.1 저항

먼저, 원래 선형의 저항을 추정된 결과를 모형시험의 결과와 비교하였다. Table 4는 수치해석과 모형시험 결과를 나타낸다. 저항의 오차는 6.93%로 계산과 실험이 어느 정도 일치하는 결과를 보여준다.

Table 4 Comparison of resistance coefficients

| | Pressure Coeffi. ($\times 10^{-4}$) | Viscous Coeffi. ($\times 10^{-3}$) | Total Coeffi. ($\times 10^{-3}$) | Error (%) |
|-----|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| CFD | 8.269 | 3.29 | 4.1208 | 6.93 |
| EFD | | | 4.4277 | |

각 경우에 대한 저항의 성분을 비교한 결과는 Fig. 10과 같다. Fig. 10에서는 원형인 대상 1에 대한 각 경우의 저항성분의 증감

을 그래프로 나타내었다. 각 경우에서 세 개의 막대는 순서대로 압력저항계수(pressure force coefficient), 점성저항계수(viscous force coefficient), 전저항계수(total force coefficient)를 나타낸다. 각 경우의 선형이 변하여 바뀐 침수표면적을 적용하여 각 저항 성분의 계수를 구하였다. 그 결과 선수, 선미 모두 길이가 증가 하였을 때 저항계수가 감소하는 경향을 보였다. 특히 선미의 길이 방향변화에서 그 경향이 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 선수의 변화와 선미의 변화에서 저항성분의 변화의 경향이 다르게 나타나는데 이것은 선수는 유선형의 모양이기 때문에 길이가 길어질수록 선수 쪽 수선면의 형상이 날카로워져서 물을 가르는 도입각이 작아져 압력저항은 감소하고, 면적은 넓어져 점성저항은 증가하는 경향을 보인다. 반면에 선미에서는 박리가 일어나기 때문에 길이가 길어진다고 해도 점성저항에는 큰 영향이 없고, 압력저항에 더 큰 영향을 미치게 되는 것으로 보인다. 선수, 선미의 변화 모두에서 변화량이 클 때 더 큰 저항 계수의 감소를 보였다.

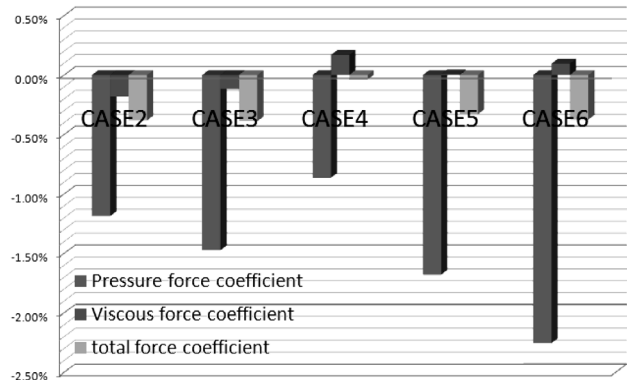


Fig. 10 Comparison of resistance Coefficient

4.2 파 고

각 경우의 hull에서의 파고를 비교한 결과는 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 X축은 선박의 길이 방향의 거리를 원래 선형의 LPP로 나누어 무차원화한 수이고 Y축은 선박의 높이 방향의 거리를

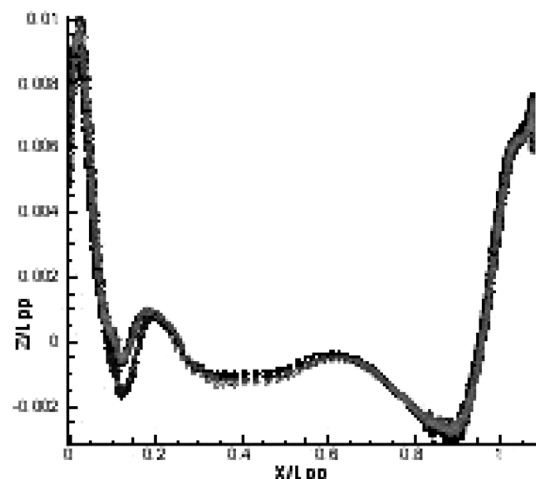


Fig. 11 Comparison of wave profile of all cases

원래 선형의 L_{pp} 로 나누어 무차원한 수이다.

선미가 변형된 경우에서의 파고의 변화를 자세히 보기 위하여 대상 1, 2, 3 에서의 파고의 비교를 Fig. 12에 나타냈다. 위 세 경우에서 선미 선형만 바뀌었기 때문에 선미에서의 파고만 비교하였다. 비교를 통해서 transom에서의 최대점이 선미 길이가 증가하는 대상 3 으로 갈수록 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

선수가 변형된 대상 1, 4, 5 에서의 파고를 살펴보기 위해 위 세 경우에 대한 선수에서의 파고를 Fig. 13에서 비교하였다. Fig. 13에서 선수가 긴 대상 5 에서 선수파가 작게 발생하는 경향을 보였다. 이것으로 보아 선수의 구상선수에서 발생한 파가 선체에 도달하기 전까지의 거리가, 선수의 길이가 길어짐으로써 증가하여 더 낮은 높이의 파가 선체에 도달하게 된 것으로 보인다. 이것은 Fig. 13에서 각 케이스서의 첫 번째 점이 대상 4, 5 에서 높이가 더 낮은 점에서 시작하는 것으로 확인할 수 있다. 파고의 비교를 통해서 자동으로 생성한 격자를 이용한 매개변수연구의 결과, 일정한 경향성을 보이며 선형의 변화가 잘 적용되는 의미 있는 결과를 보임을 확인할 수 있다.

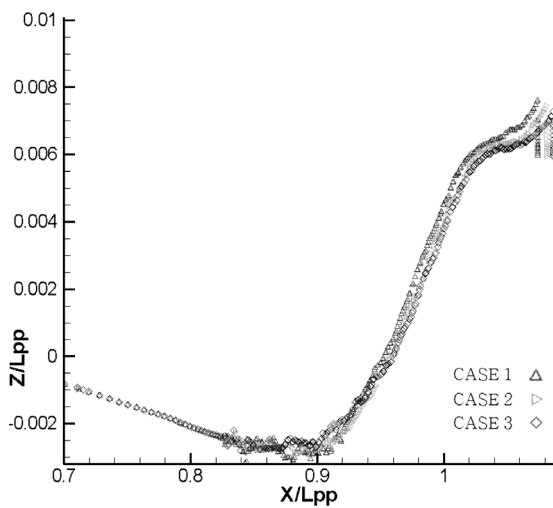


Fig. 12 Comparison of wave profile for case1, 2, and 3.

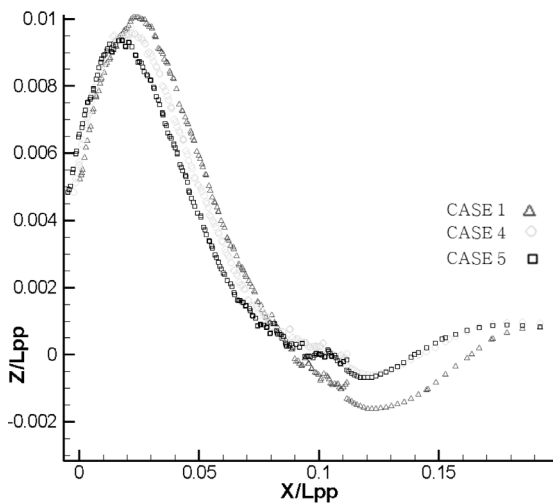


Fig. 13 Comparison of wave profile for case 1, 4 and 5.

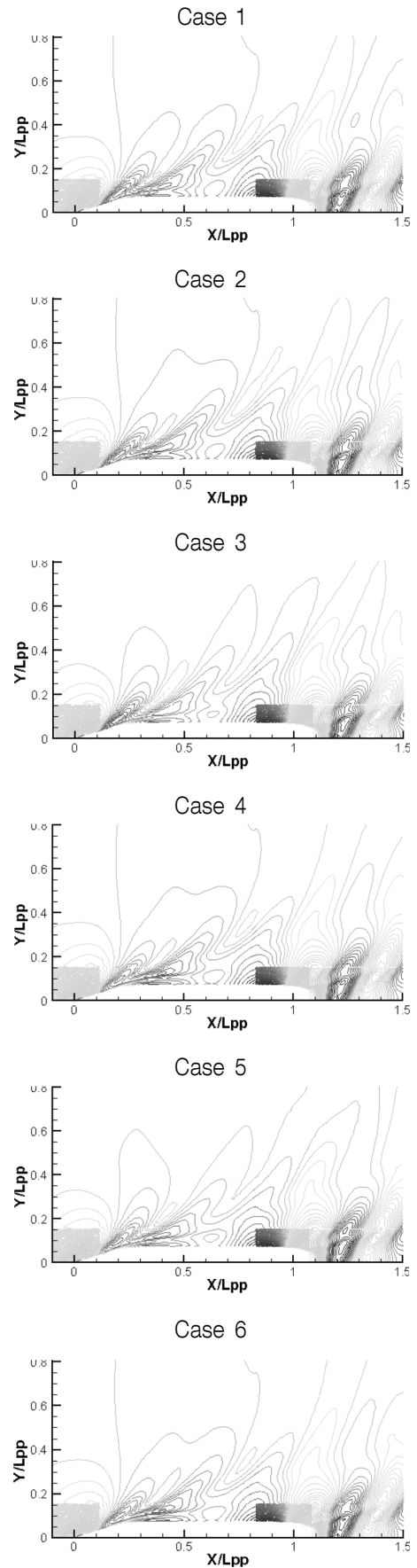


Fig. 14 Comparison of wave pattern

4.3 파형

Hull 주위의 파형을 비교한 결과는 Fig. 14와 같다. 각 경우에서의 선체 주위에서 발생하는 발산파가 잘 나타났다. 이를 통해 제시한 방법으로 자동으로 격자를 생성하였을 경우에도, 선체주위에서 발달하는 파형을 원래의 선형과 동일한 조밀도로 구할 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

선박의 선형변화 매개변수 연구를 자동으로 수행하는 도구를 개발 하였다. 개발된 도구를 대우조선해양(주)에서 설계한 크루즈 선형의 선수와 선미의 형상을 길이 방향으로 변형시키는 여러 경우에 대해 적용하였다. 각 경우에 대한 결과의 저항과 파형, 파고의 비교를 통해 제안된 방법의 유효성을 검증하였다. 결과를 통해 선박의 매개변수연구 시, 전처리 프로그램과 CFD해석 프로그램과의 조합을 통해 충분한 정도의 결과를 가질 수 있는 격자를 생성하고, 해석하는 과정을 자동으로 수행할 수 있음을 보였다. 이를 통해 각 선형의 저항성능의 우열을 설계자가 빠르게 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 대우조선해양-서울대학교 크루즈선 기술개발 산학협력단과 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(20090093129, 다중현상 CFD 연구센터)임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

Choi, H.J. Seo, K.C. Kim, B.E. & Chun, H.H., 2003. Development of an Optimum Hull Form for a Container Ship with Minimum Wave Resistance, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(4), pp.8-15.

Choi, J.E. et al., 2010. Resistance and Propulsion Characteristics of Various Commercial Ships based on CFD Results. *Ocean Engineering*, 37(7), pp.549-566.

Kim, H.J. Chun, H.H. & Jeong, S.H., 2007. Development of CFD Based Stern Form Optimization Method. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(6), pp.564-571.

Kim, S.E. & Choudhury, D., 1995. A Near-Wall Treatment Using Wall Functions Sensitized to Pressure Gradient. *In: ASME FED Separated and Complex Flows*. ASME, 217, pp.273-279.

Lee, Y.S. & Choi, Y.B., 2009. Hull Form Optimization Based on From Parameter Design. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(6), pp.562-568.

Michalski, J.P., 2008. A parametric method of evaluation of resistance of swath ships. *Polish Maritime Research*, 15(1), pp.3-10.

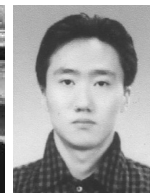
Shih, T.H., Liou, W.W., Shabbir, A., Yang, Z.G., and Zhu, J., 1995. A new kappa-epsilon eddy viscosity model for high Reynolds-number turbulent flows. *Computers & Fluids*, 24, pp.227-238.



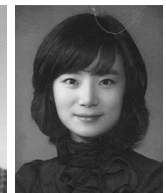
이주현



이신형



전동수



지혜련



김용수