



매크로 기능을 이용한 선박 격자의 자동 생성 기법

이 주 현,¹ 이 신 형*²

AUTOMATIC MESH GENERATION AROUND SHIP HULL USING THE MACRO

J.H. Lee¹ and S.H. Rhee*²

The research to predict the resistance performance of the ship using the CFD analysis is increasing. For the CFD numerical analysis the computational mesh, which is proper to computational model, has to be made before the analysis is begun. In the parametric study, even though the deformation of each case is not very sharp, the whole computational mesh should be regenerated according to the conventional way. Hence, lots of effort is needed to repeated mesh generation work. To solve these problems, the automatic mesh generation method using the macro function of commercial CAD program and mesh generation program is introduced in this study. First, in the CAD program, by using the macro function and putting the deformation rate of bow and stern in lengthwise, the repeated modeling work is performed automatically. Next, the generated geometries are read by the mesh generation program and the proper mesh for the geometry is created automatically also using the macro function. The hybrid mesh which has unstructured grid near the bow and stern and structured grid in the remaining part of domain is used. The verification of the developed method is done by applying the method to predict the resistance performance of the podded propulsion cruise ship of the Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) in the cases of different length of bow and stern and pod set in different position. The author believes that the introduced method can help to make the database to optimize the resistance performance of the ship in various cases can be constructed without difficulty.

Key Words : Parametric study, 매크로(Macro), 전산유체역학(CFD)

1. 서 론

더 빠르고 효율적인 선형개발 요구가 증가함에 따라 설계자들은 유체역학적 성능을 고려하여 선박 형상을 빠르게 결정하여야 하게 되었다[1]. 따라서 선형의 유체역학적 성능을 최대화하기 위한 여러 최적화 방법이 제안되고 있다[2]. 가장 많이 사용되는 방법으로 선박의 여러 parameter 들을 바꾸어 가며 선형을 최적화 하는 방법이 있다 이러한 방법을 통해서 설계변수의 여러 조합에 따라 다양한 선형이 만들어 진다 각각의 선형에 대해서 모형시험을 수행하기에는 너무 많은 비용이 들어간다. 따라서 실험을 대신하여 CFD 해석을 이용한 성능 예측이 많이 이루어지고 있다 선박의 저항 성능을

예측하는데 있어서 실험을 통한 결과가 더 신뢰 할 만 하고 여길 수 있을지 몰라도, 초기 선형의 설계 단계에 있어서는 CFD를 통한 해석이 의미를 가질 수 있다[3]. CFD 해석을 수행하기 위해서는 계산에 앞서 해석하고자 하는 모델에 적합한 계산 격자를 구성해야 한다 따라서 parametric study에 있어서도 각각의 경우에 대한 계산 격자를 생성하여야 한다 이때 기존에 많이 쓰이던 격자생성 방식으로는 선형의 약간의 변형에도 계산 격자를 다시 생성해야 되어 격자를 생성하는 데에 많은 시간과 노력이 필요했다 따라서 격자생성에서 이렇게 반복적인 작업을 줄이기 위해 자동으로 격자를 생성할 수 있는 방법을 제안하게 되었다. 선박의 형상을 수정하고, 수정된 형상에 대한 계산 격자를 만들고 이를 해석하는 과정까지를 각각의 macro기능과 batch파일을 이용하는 방법을 제안하여 반복된 작업을 피할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 통해 parametric study의 비용을 줄여 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대 된다.

1 학생회원, 서울대학교 대학원 조선해양공학과

2 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

* Corresponding author E-mail: shr@snu.ac.kr



2. Macro 기능을 이용한 자동화 방법

캐드 프로그램과 격자생성 프로그램의 macro 기능을 이용하여 parametric study의 각 경우에 대한 격자를 자동으로 생성하고 생성된 여러 격자를 수치해석하는 방법을 제안한다

2.1 Macro 기능을 이용한 CAD 프로그램에서의 모델링

격자를 생성하기 위해서는 계산하고자 하는 형상에 대한 형상정보를 가지고 있어야 한다 이러한 형상정보는 캐드 프로그램에서 캐드파일로 저장된다 따라서 캐드프로그램을 이용하여 원하는 형상을 모델링 하여야한다 Parametric study 시에는 각 경우에서 달라지는 형상을 캐드프로그램을 이용하여 모델링 하여야 한다. 이때 달라지는 parameter에 의해서 전체 혹은 특정 부분에서의 형상변화가 생기게 되는데 변하는 parametric study의 특성상 변하는 양상은 동일하고 크기만 다른 여러 경우가 생기게 된다. 이 때 같은 방식으로 여러 경우를 직접 모델링 할 경우 반복되는 작업을 수행하여야 한다 선박의 경우, 선수, 선미의 형상을 길이 방향으로 변형하는 경우 앞서 논의한 바와 같이 동일한 양상으로 변형되는 크기만 다른 여러 경우가 존재하게 된다 이러한 경우 캐드 프로그램의 macro 기능을 이용하여 반복된 작업을 줄일 수 있다. macro 기능은 사용자가 입력한 명령어를 저장해 두었다가 저장된 파일을 실행할 경우 기록된 명령어들을 차례로 수행하는 기능이다. 본 연구에서는 상용 캐드 프로그램인CATIA를 사용하여 연구를 수행하였다 CATIA에서는 앞서 논의한 macro 기능을 지원하며 명령어가 기록되는 파일은 비주얼 베이직 코드로 저장된다. 저장된 코드를 편집기를 이용해 편집할 수 있다. 변형시키고자 하는 형상으로ahcpfdmf 변형시킨 뒤 이를 macro 파일로 저장하면 사용한 명령어들이 차례로 저장되어 동일한 변화에 대해서는macro 편집기능을 이용하여 기록된 코드에서 상수만 바꾸어 주어 변화하는 크기만 다르게 한 형상을 자동으로 모델링 할 수 있다 선박과 같은 경우에는 선수, 선미를 길이 방향으로 scale factor를 적용하여 확대 혹은 축소시켜 주고 이를 macro file로 저장시켜 두면 macro 편집기능을 이용하여 확대하는 scale만 바꾸어 주고, 이 macro 파일을 실행함으로써 변형된 형상을 얻을 수 있다

2.2 Macro 기능을 이용한 격자생성 프로그램에서의 격자생성 방법

생성된 형상파일을 바탕으로 격자생성 프로그램에서는 계산도메인을 생성하고, 도메인에 계산격자를 분포시킨다 Parmetric study 시의 여러 경우에서 변화양상이 같고 변화되는 크기만 달라지는 경우에는 앞서CAD 프로그램에서의 모

델링과 마찬가지로 격자생성에서도 격자를 구성하는 방법은 동일하고 입력해 주는 수치만 달라지게 된다 따라서 격자생성프로그램에서도 macro 기능을 사용하여 동일한 방법의 격자생성을 자동으로 수행 할 수 있다. 본 연구에서는 상용 격자생성프로그램인 GAMBIT을 사용하여 앞서 생성한 선박 형상 주위의 유동에 대한 계산 격자를 구성하였다GAMBIT에서는 macro 기능을 journal 이라는 이름으로 지원한다 journal 파일에는 사용자가 입력한 명령어가 모두 기록되어 있어 파일을 실행하면 기록된 명령어를 수행한다 GAMBIT에서도 역시 journal 파일의 journal 파일의 편집과 실행 기능을 제공한다. 편집기능을 이용하며 계산 모델이 변함에 따라바뀌어진 계산 도메인의 크기 등을 변경시켜 주어 여러 다른 형상에 대해서 계산 격자를 구성 할 수 있다 선박의 선수, 선미를 길이 방향으로 변형시킬 경우 hybrid mesh 생성 방법을 적용하여 격자를 생성할 수 있다. 이 방법은 전체 계산 도메인을 여러 sub-domain으로 나누고, 복잡한 형상을 가지는 sub-domain은 비정렬격자로 채우고, 덜 복잡한 형상의 sub-domain은 정렬격자를 사용해 구성하는 것이다 Hybrid mesh를 적용하면 형상이 바뀌는 선수, 선미에 해당하는 sub-domain은 비정렬격자로 구성되고, 나머지 부분은 정렬격자로 구성된다 이렇게 함으로써 형상이 바뀌는 sub-domain에 대해서도 비정렬격자를 생성함으로써 자동으로 격자를 생성할 수 있게 된다 선수, 선미의 바뀐 길이만 journal 파일에서 수정해 줌으로써 변형된 형상에 대한 계산 격자를 자동으로 생성 할 수 있다

2.2 Batch 파일을 이용한 수치 해석

생성된 여러 격자들을 수치해석하기 위해서는 격자 파일을 수치해석 코드에서 불러들여 문제에 맞는 계산방법을 적용하여야 한다. Parametic study를 위해서 수치해석 때도 앞서와 마찬가지로 유사한 격자들은 불러들여서 동일한 계산 방법을 적용하는 반복작업을 수행하게 된다 수치해석에서의 이러한 반복작업은 batch 파일을 만들어 줄 일 수 있다. 본 연구에서는 수치해석 툴로 FLUENT 6.3을 사용하였다. Batch 파일을 이용하면 FLUENT를 back ground에서 실행되게 할 수 있다. 또한 실행된 FLUENT에서 저장된 journal 파일을 불러들이게 할 수 있다. FLUENT에서의 journal 파일 역시 일련의 명령어들은 저장하고 있어 journal 파일을 실행할 때 저장된 명령어들을 실행한다. 이러한 방법으로 여러 계산 격자들에 대해서 같은 계산 방법을 적용하여 계산을 수행할 수 있다 한 예로 journal 파일에서는 계산격자파일을 불러들이고 계산방법을 적용하여 계산을 수행하고 종료하는 일련의 명령어를 저장한다 Batch파일에서 계산하고자 하는FLUENT를 실행시키고 각 경우에 맞는 journal 파일을 실행시켜서 여러 계산 격자들이 차례로 자동으로 해석되도록 할 수 있다



Fig. 1 Photograph of the model.

3. Macro 기능을 이용한 격자자동 생성 예

제안된 격자 생성 방법을 적용하는 예를 보이도록 선박에 대한 parametric study를 수행하였다.

3.1 대상 선형

Parametric study를 수행할 선형은 DSME에서 제공한 포드추진 방식의 크루즈 선형이다 해석에는 선형과 프로펠러를 제외한 포드 추진기를 포함하여 수행한다 이 선형을 예로 보임으로써 선미에 부가물이 있고 선미의 길이 변화에 따라 부가물의 위치가 바뀌는 복잡한 경우에 대해서도 자동으로 격자를 생성할 수 있음을 보인다 대상 선형을 1/60 비율로 제작한 모형 선형은 Fig. 1과 같다. Table 1에서 대상 선의 주요목을 나타내고 있다.

3.2 생성한 격자

선박의 선수와 선미를 길이방향으로 확장을 하였다 각각 다른 여러 확장비를 가지는 경우를 정하였다 결정된 확장비율을 table 2 과 같다.

3.3 계산 도메인

계산은 포드형 추진기의 형상을 포함하였다 그러나 추진기는 회전이 없는 상태를 계산하였기 때문에 선형 주위의 유동이 좌우대칭을 이루므로 반쪽에 대해서 계산 도메인을 Fig. 2 와 같이 구성하였다.

Fig. 2에서 붉은 색으로 표시된 sub-domain이 길이방향으로 선형이 바뀌는 부분이다 이들 sub-domain은 앞서 말한 바

Table 1 Principal dimension of the ship.

Model ship dimensions	
Scale ratio	1/60
Design speed	1.46 m/s
Lpp	4.03 m
Breadth	0.6 m
Draft	0.18 m
Wetted surface area	2.83 m ²
Displacement	0.231 m ³

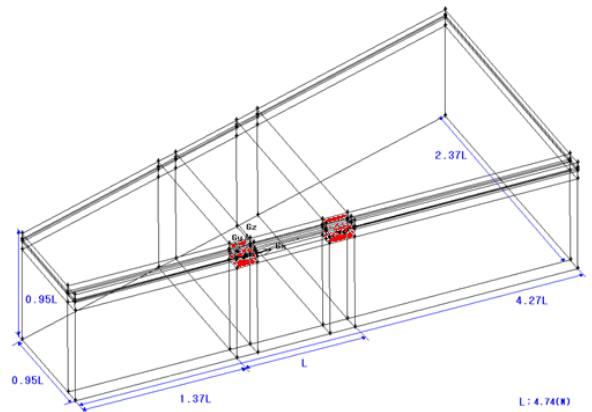


Fig. 2 Computational domain.

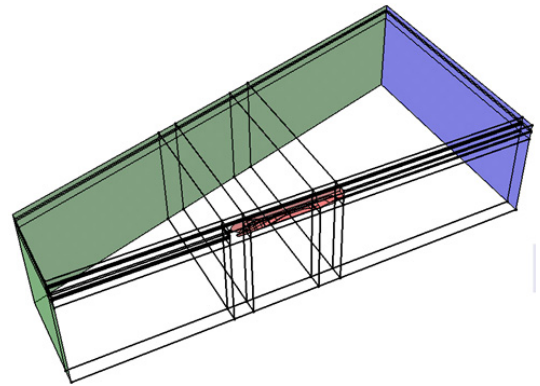


Fig. 3 Boundary condition.

와같이 복잡하게 바뀌는 선형에서의 자동 격자생성을 위해서 비정렬격자로 구성하였고 나머지 바뀌지 않는 부분은 정렬격자를 사용해 구성하였다 자유 수면에서의 파의 발생을 정확하게 추정하기 위해서 자유수면 근처에서 조밀한 격자를 분포시켰다.

계산 도메인의 경계조건은 다음과 같다

Table 2 Scale factor.

No.	확장비율 (%)	
	선수	선미
1	0	0
2	0	2.5
3	0	5
4	2.5	0
5	5	0
6	2.5	2.5
7	5	5



(1) Fig. 3에서 녹색으로 표시된 전체 도메인의 앞면과 오른쪽 옆면의 경계에는 hydrostatic pressure를 고려한 전압력 경계조건을 적용하였고 (2) 파란색으로 표시된 뒷면의 경계에는 hydro static pressure를 수심에 맞게 지정해 주었다 (3) 선체 주위에는 no-slip 조건을 적용하였고 (4) 나머지 면은 symmetry 로 설정하였다.

3.4 수치 해석방법

수치계산에서의 지배방정식과 수학적 모델링은 다음의 방정식을 만족해야 한다.

3.4.1 질량보존방정식

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

여기서 질량가중평균속도는 식(2)와 같이 정의되며,

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

혼합물(mixture)의 밀도는 식 (3)과 같다.

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

는 각 상(k)의 체적분율(volume fraction)이다.

3.4.2 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 같고,

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

1차 상과 2차 상 간의 속도편차(drift velocity) 는 식 (6)과

같이 정의 된다.

$$\vec{v}_{dr,k} = \vec{v}_k - \vec{v}_m \quad (6)$$

3.4.3 에너지보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n (\alpha_k \rho_k E_k) + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n [\alpha_k \vec{v}_k (\rho_k E_k + p)] = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_E \quad (7)$$

식 (7)에서 유효열전도계수 $k_{eff} = \sum \alpha_k (k_k + k_t)$ 이며, 는 사용된 난류모델에 따라 정의되는 난류열전도계수이다 내부에 나지는 식 (8)과 같이 정의되며,

$$E_k = h_k - \frac{p}{\rho_k} + \frac{v_k^2}{2} \quad (8)$$

비압축성인 상에 대해서는 $E_k = h_k$ 가 된다.

3.4.4 2차상 에 대한 체적분율방정식

$$\frac{\partial(\alpha_p \rho_p)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_m) = -\nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_{dr,p}) + \sum_{q=1}^n (\dot{m}_{gp} - \dot{m}_{pq}) \quad (9)$$

Implicit 시간 적분법 즉, 1st order backward Euler method, 가 비정상 유동을 해석하기 위해 사용되었다 점성 모델은 Shih, T.H. 등[4] 이 제안한 realizable k-epsilon(2 eqn.)을 사용하였다. No-slip 면에서의 처리는 Kim, S.E 등[5] 이 제안한 non-equilibrium Wall Function을 사용했다. 속도 압력 연성에 대한 Scheme은 운동량 보존 방정식과 압력 방정식을 한 행렬로 연계하여 푸는 방법을 사용하였으며 압력 항은PRESTO! 방법으로 이산화 하였다. Momentum, Turbulent kinetic energy 와 Turbulent Dissipation Rate에 대해서는2nd Order Upwind 방법으로 이산화 하였고 Volume Fraction은 HRIC방법으로 이산화 하였다. 자유수면이 있는 문제의 해석을 위해서 multiphase model을 volume of fluid로 설정하였다. VOF의 이산화를 위해 Implicit방법을 사용하였으며 open channel flow로 계산하였다. CFD 계산은 FLUENT 6.3을 이용하여 수행하였다.

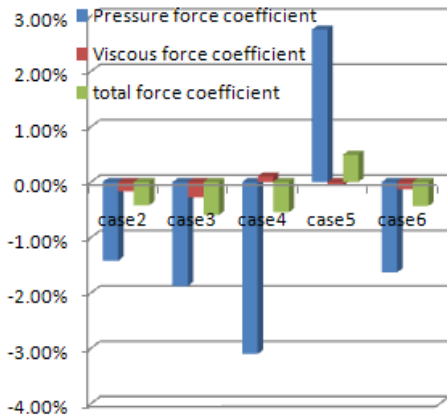


Fig. 4 Comparison of resistance coefficient.

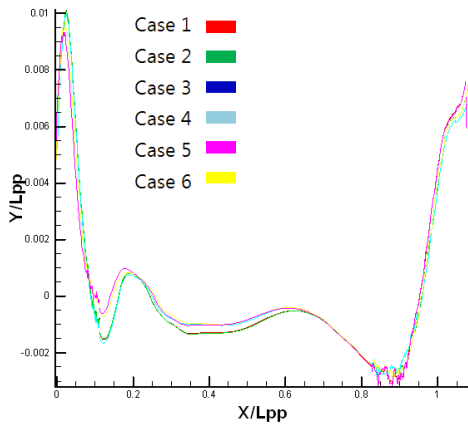


Fig. 5 Comparison of wave profile.

4. 결 과

앞서 생성한 격자에 대한 해석을 수행하였다. 해석 결과는 저항, wave pattern, wave profile의 비교를 통해 보였다.

4.1 저항

각 경우에 대한 저항의 성분을 비교한 결과는 Fig. 4와 같다. 원래의 선형인 case 1에 대하여 비교하여 각 저항성분의 증감을 그래프로 나타내었다.

4.2 Wave profile

각 경우의 hull에서의 wave profile을 비교한 결과는 Fig. 5와 같다.

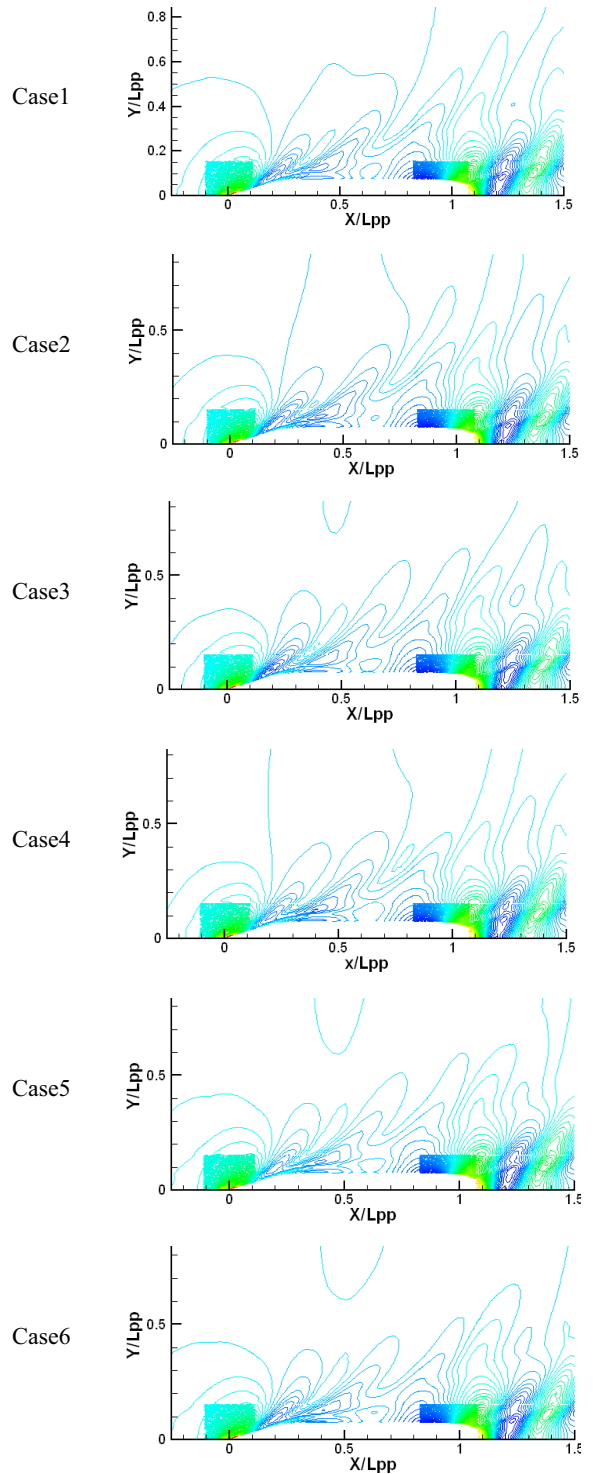


Fig. 6 Comparison of wave pattern.



4.3 Wave pattern

Hull 주위의 wave pattern을 비교한 결과는 Fig. 6와 같다.

5. 결 론

매크로 기능을 이용하여 선박주위의 하이브리드 격자를 자동으로 생성하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 대우에서 설계한 크루즈 선형에 적용하여 선수와 선미의 형상을 길이 방향으로 변형시키는 여러 경우에 대해 적용하였다. 각 경우에 대한 결과의 저항과 wave pattern, wave profile의 비교를 통해 제안된 방법의 유효성을 검증하였다. 결과를 통해 선박의 Parametric study 시, macro 기능을 이용하여 pre-processor와 CFD해석틀의 조합을 통해 충분한 정도의 결과를 가질 수 있는 격자를 생성하고 해석하는 과정을 자동으로 수행할 수 있음을 보였다.

후 기

본 연구는 대우조선해양서울대학교 크루즈선 기술개발 산

학협력단의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다

참고문헌

- [1] 2008, ZHANG Ping, "PARAMETRIC APPROACH TO DESIGN OF HULL FORMS," *Journal of Hydrodynamics*, 20(6), pp.804-810.
- [2] 2004, 최희중 외 2인, "최적선형개발에 대한 기초연구" *한국해양공학회지*, 제18권3호, pp.32-39.
- [3] 2008, "A parametric method of evaluation of resistance of swath ships," *Polish maritime research*, Vol.15, pp.3-10.
- [4] Shih, T. H. , Liou W. W., A. Shabbir, Z. G. Yang, and Zhu J., "A new kappa-epsilon eddy viscosity model for highReynolds-number turbulent flows," *Comput. Fluids* 24: pp.227-238.
- [5] 1995, Kim S.E. and Choudhury D., "A Near-Wall Treatment Using Wall Functions Sensitized to Pressure Gradient," In *ASME FED Vol. 217, Separated and Complex Flows. ASME*.