선체 선수(船首) 형상에 따른 유동해석에 관한 연구

김태룡*, 이동렬*
대구가톨릭대학교 기계자동차공학부*
e-mail:dlee@cu.ac.kr

A Study on the Flow Analysis for the Ship Front.

Tae-Ryong Kim*, Dong-Ryul Lee*
School of Mechanical and Automotive Engineering,
Catholic University of Daegu*

요 약

본 논문에서는 선체의 선수(船首)의 형상에 따른 유체의 유동에 관하여 연구 하였다. 선수(船首) 부분에 유체유동을 알아보고 압력과 속도를 비교하여 보다 나은 설계를 분석 하였다. 두 가지 형상설계를 기본 바탕으로 하였으며, 두 가지 형상에 세 가지 속도를 비교해 보았다. 설계된 선체 중 해석을 한 부분은 침수면을 해석 하였으며, 침수면 제외한 부분은 유동장 해석에서 생략하였다. 속도와 선체의 형상을 비교함으로써 더 효율적인 설계형상을 도출해 낼 수 있다.

1. 서론

에너지 절약의 문제는 전 세계적인 주요 연구 과제로 되어 있으며 특히 2007년부터 현재까지는 에너지 대외 의존도가 96.6%에 달하는 대한민국의 경우는 경제활동의 모든 분야에서 에너지 소비를 줄이는 과제는 국가적 주요 목표로 되었다. 2010년 말 기준 국내 소비 에너지의 16.3%가 해상 수송을 위한 운송에너지로 소비되고 있으며 이러한 해상 수송의 큰 부분을 차지하고 있는 대형 운송수송 선박의 연비를 1%만 개선하여도 국가적으로 에너지 절약에 크게 기여할 것으로 생각된다. 연비를 줄이기 위해서는 유체, 즉 물이 선체에 미치는 저항을 줄여야 한다.[1]

현재 장거리 수송을 위한 대형 LNG선은 해상 운송의 중요한 수단으로 세계적으로 널리 활용되고 있으며 국내에서도 운행되고 있다. 일반적으로 선체는 그림 1 에서 보는 것과 같이 외형형상이 구상을 갖추고 있으며 선체 전방에서의 압력저항을 줄이기 위해 구상형태로 설계되어 있다. 최근 선박에 관한 연구 사례들을 보면 선체 주위에 난류 유동장의 해석이 대부분이다.[2] 과거에는 선체 주위의 유동장을 경계층이론에 의하여 해석하고자 하는 노력이 진행되어 왔으나 경계층이 비체에는 적용이 하기 곤란한 경우가 많으며, 따라서 최근에 고속전산기의 급격에 발달에 따라, 3차원 Naveir-Stokes, RANS방정식을 이용하여 점성유동장을 해석하는 것이 일반적인 경향이다. 본 연구에서는 시간적, 경제적으로 이점을 가지고 있는 수치해석 프로그램 3차원 해석 프로그램 Fluent를 이용하여 유동장 해석을 하였으며, 항력을 계산하고 도출해 내었다.

본 연구는 선체 선수의 유선 형상에 따른 유동해석을 하는데 목적을 두었다. 이 연구 결과를 통하여 저항 성능을 비교해 보고 또한 선체 선수의 형상에 따른 선박 설계에 어떤 영향을 미치는지 파악한다. 선체에는 여러 가지 유동장의 해석이 있지만, 본 연구에서 공기의 저항의 연구보다 침수면의 유동저항을 중요시하고 해석을 할 것이다.[3] 2 가지 형상에 따른 유동 저항 및 3 가지 속도에 따른 유동 저항을 해석하는데 목적을 두었다.

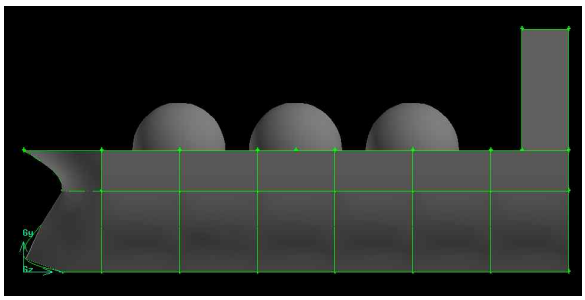
[그림 1] The actual shape of the Ship.

2. 설계 및 해석

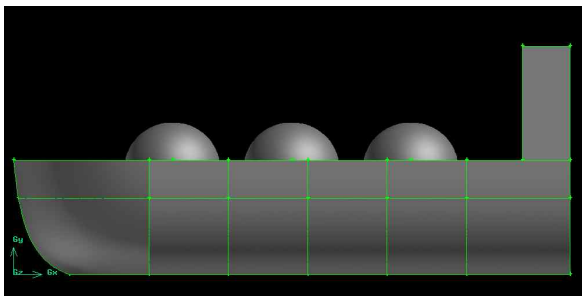
이번 연구를 수행함에 있어서 기본적인 모델은 그림1 형상을 토대로 형상 변경을 하여 연구를 하였다. 형상 설계는 Gambit 2.4.6을 통하여 설계를 하였다. 그림2와 그림3에서 보는 바와 같이 비교를 위하여 선체의 선수 부분에만 형상 변형을 하였으며, 갑판상과 함교 함미부분은 두 가지 경우 일치한다. 선체의 윗부분은 정확한 해석을 위하여 생략하고, 침수면 만을 해석에서 고려하였다. 해석 조건에는 파도가 없는 조건을 전제하였으며, 속도는 저속, 중속, 고속으로 15knots(7.7m/s), 20knots(10.3m/s), 30knots(15.4m/s)로 주었다.

각기 다른 속도를 설정하여 유체의 압력과 속도, 항력계수 (Drag Coefficient)를 비교할 것이다. Case1에서는 선수의 수면에 잠기는 부분을 벌브(Bulb)형태로 주었으며, Case2에서는 선수의 순면 상에서부터 수면에 잠기는 부분까지 같은 곡률을 주었다.[4] 본 연구에서 격자 생성을 하기 위하여 설계 프로그램과 동일한 Gambit 2.4.5을 사용하였다. 설계와 격자 생성 후에 수치해석을 위한 상용 해석 프로그램은 Fluent 6.3.26을 사용했다.[5]

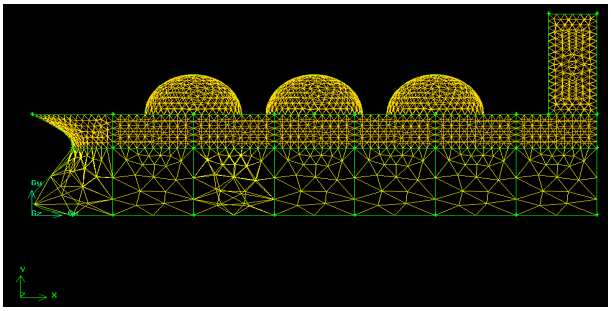
설계조건은 3차원 유체의 난류유동, K-ε 측정을 하였다.[6] 입력속도는 Air Zone, Water Zone 두 곳을 나누어 주었지만 수치해석적으로는 Water Zone만 고려한다. 속도는 각기 15knots(7.7m/s), 20knots(10.3m/s), 30knots(15.3m/s)로 적용하였다. 서론에서 표기한 바와 같이 그림1에서는 실제 형상을 보여 주고 있다. 유체의 유동은 X방향으로 흐른다고 설정, 입구 출구를 한 개씩 설계 하였다. 그림4, 5, 6, 7은 Case1, Case2에서 격자를 생성한 것이다. 격자의 개수는 각각 case1은 395965개 case2는 134538개로 격자를 생성하였다. Gambit 데이터 중에서 너무 상세한 형상은 단순화시켜 표면격자를 생성하였다. 표면격자의 생성은 메모리의 한계 때문에 부분별로 나누어서 실시하였다. 이렇게 격자계를 구현하면서 보다 개선된 결과를 얻게 되리라 기대된다. 격자시스템은 비정렬 격자계를 채택하였다.



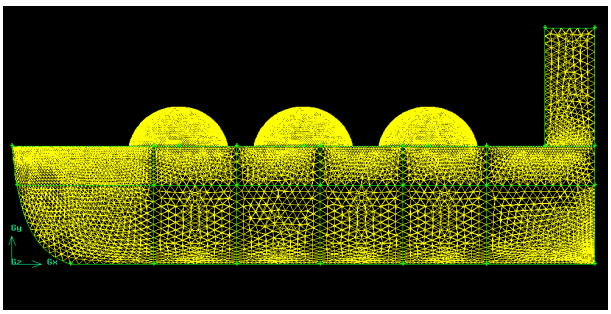
[그림 2] The Ship of Case 1



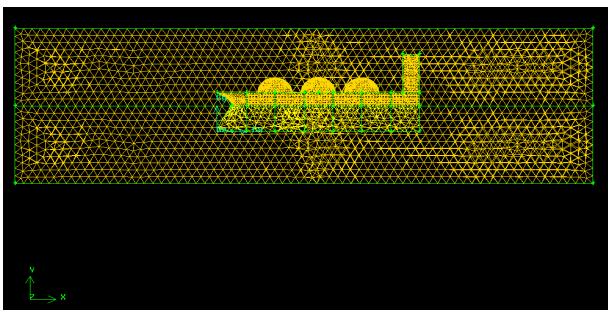
[그림 3] The Ship of Case 2



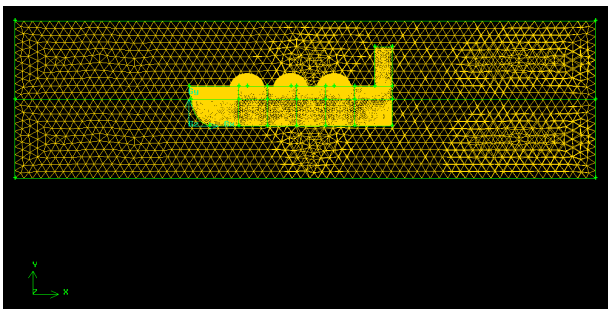
[그림 4] Grid of Case1



[그림 5] Grid of Case2



[그림 6] Grid of Case2



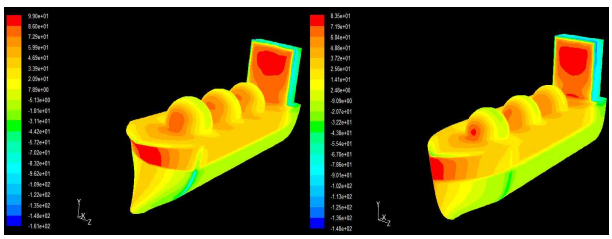
[그림 7] Grid of Case2

격자의 모양은 삼각형의 형상이다. 삼각형은 격자의 표면격자를 만들어 주면서 공간을 채우는 체적격자를 자동으로 만들 수 있는 장점(Auto mesh generation)이 있다. 이 격자계는 그동안 수렴성이나 해의 정확성이 뛰어나다. 본 연구에서 사용한 Fluent는 비압축성 문제를 주 해석분야로 삼고 있어 난류모델링을 하는 이번 연구에 적합하다.

3. 결과 및 고찰

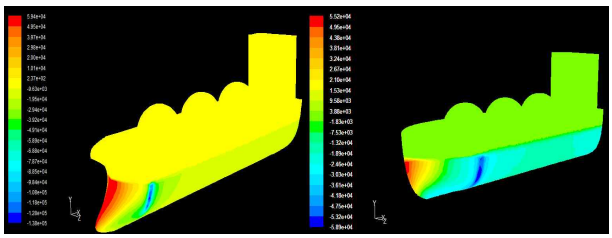
본 연구에서는 여러 가지 선박종류 중 액화천연가스 운반선인 LNG선을 모델링하였으며, 형상 변경을 하였으며, 형상변경을 통하여 압력, 속도, 압력저항계수와 항력계수를 수치적으로 해석 하였다. Case1의 경우 선수 부분에 비선형곡률(bulb)형상을 주었으며, 침수부에는 구(spherical)형태로 설계를 하였다.

해석프로그램 Fluent에서 유동 조건을 설정한 다음 각각 Iterations 102번, 107번에서 수렴을 하였다. 그림 8, 9, 10는 침수면에 대한 압력분포를 보여주고 있다.



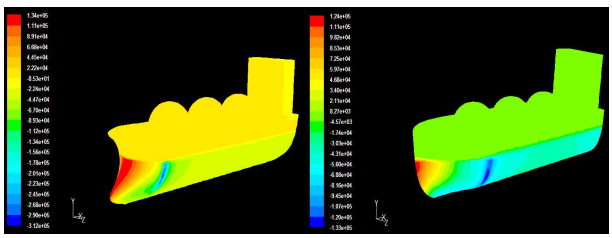
(a) case1 (b) case2

[그림 8] Static pressure Distributions(Velocity 15knots)



(a) case1 (b) case2

[그림 9] Static pressure distributions(velocity 20knots)



(a) case1 (b) case2

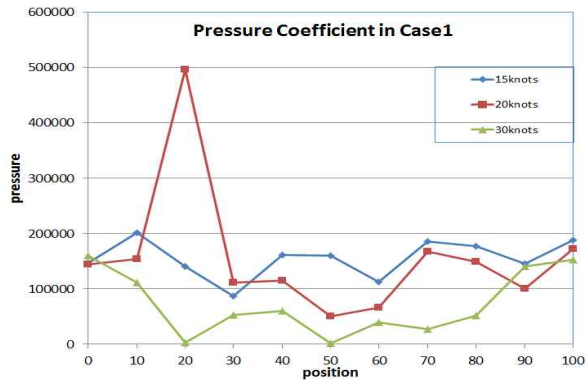
[그림 10] Static pressure distributions(velocity 30knots)

선체의 선수 전면부, 즉 침수면에 대해 압력이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 두 경우를 비교해 보면 정성적인 특징에는 큰 차이가 없으나 정량적인 면에서는 case1이 case2보다 약 8.3% 압력 차이가 발생한다고 볼 수 있다. 표면압력 분포계산은 유동속도 15knots, 20knots, 30knots 세 경우에서 행해졌는데. 이는 차체의 특성 길이를 기준으로 하는 Reynolds No. 사용하였다. Reynolds No.는 15knots일 때 7.7×10^6, 20knots일 때 10.3×10^6, 30knots일 때 15.4×10^6이다. 압력계수(C_p)를 나타내는 식은 다음과 같다.

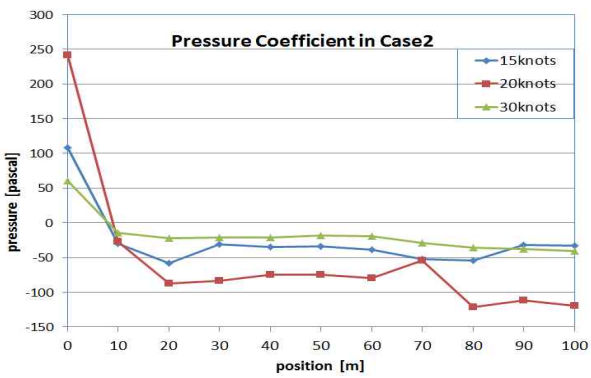
$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty}$$

여기서 p_∞ 과 U_∞는 각각 자유 유동의 압력과 속도를 의미한다.

그림8, 9, 10에서 나타내는 바와 같이 선수 부분의 형상에 따라서 걸리는 압력이 다르기 때문에 선체의 위 쪽 부분에 걸리는 저항도 미치는 영향이 다르다. Case1에서는 선수에서 비선형식의 곡률로 인해서 공기가 선수에서 와류가 생기게 되지만 Case2에서는 선수의 형태에 따라서 공기가 선수를 따라서 선체의 윗부분으로 올라가는 것을 알 수 있다. 그림 11, 12는 선체선수의 침수면에서 압력계수의 분포도를 나타내고 있다. 전체 선체의 길이(100m)다. X축은 선체의 길이 이며 Y축은 C_p값이다. Case1, Case2 의 선체의 전장에 대한 선체 선수의 침수된 면의 압력계수를 나타내고 있다. Case2 같은 경우는 격자생성과 컴퓨터 성능의 관계로 50번 Iteration을 하였으며 계수에는 큰 영향을 주지는 않는다. 이 그림들에 의하면 Reynolds No의 변화에 따른 정략적인 압력계수의 수치는 변하였으나 정성적인 압력계수의 경향은 거의 일치함을 알 수 있었다.



[그림 11] Pressure Coefficient in Case1



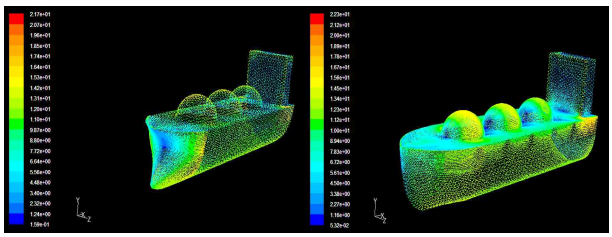
[그림 12] Pressure Coefficient in Case1

Case2의 경우에 선체 침수면주위에서 압력정체 영역이 나타나고 선수 선상까지 압력 구배가 생성되었다. 압력계수 결정으로 인해 압력 정체 영역을 파악하여 외부로부터 저항력을 어느 정도 예측 할 수 있으며 선상의 최적설계를 위함에도 영향을 준다고 판단이 된다.

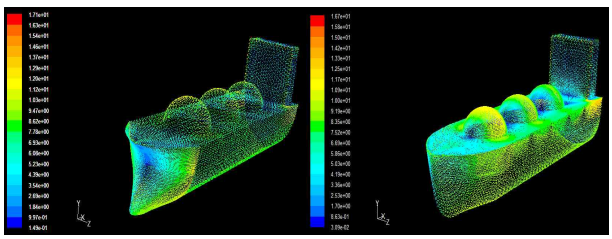
그림 13은 3차원에서 속도벡터(velocity vectors)를 도시하였다.

유동의 흐름 방향은 선체 선수방향(X)방향으로 흐른다고 조건을 주었다. 속도가 정체되거나 많이 줄어드는 구간이 선체 선수부분인 것을 잘 알 수 있다.

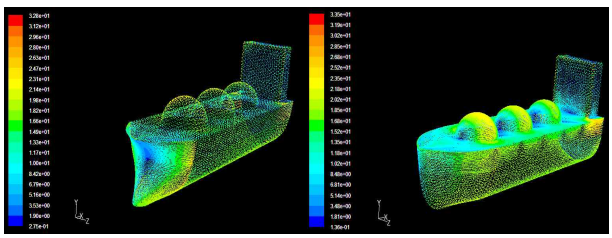
선체 침수면에 관련된 항력계수의 값들을 Fluent를 통하여 도출 해 낼 수 있었다. 프로그램의 효율적인 성능으로 수치해석도 정확하고 신속하게 해낼 수 있었다.



(a) case1 (15knots) (b) case2 (15knots)



(a) case1 (20knots) (b) case2 (20knots)



(a) case1 (30knots) (b) case2 (30knots)

[그림 13] Velocity Vectors around Ships

[표 1] Drag Coefficient

	15knots	20knots	30knots
case1	1.9×10^7	1.6×10^7	1.5×10^7
case2	2.2×10^7	1.8×10^7	1.5×10^7

표1에서는 선체의 유동에 대한 C_d값을 도출해낸 것이다.[7]

속도가 커질수록 저항 영역에서의 항력 계수가 작아지는데 결과는 이를 잘 나타내고 있다. 계산된 항력계수값은 파도가 없다는 가정과 바람이 불지 않는다는 점을 고려하였으며, 실제보다 적은 값으로 계산되었다고 생각되며 실험치보다 계산 값들이 큰 값을 나타내는 것을 고려한다면 타당한 결과라고 볼 수 있다. 위 의 계산 결과는 수렴성을 실험적으로 검증한 매우 타당한 결과이다. 이는 실험 결과가 수치모사 결과의 항력계수 값보다 훨씬 작게 나오는 것을 고려하면 지금까지의 연구가 모두 타당하다고 밝히고 있다.

4. 결론 및 향후 과제

본 연구로부터 장거리 운항하는 선박의 공기역학적 저항력을 줄이는데 선체의 선수 형상 설계가 매우 중요함을 알 수 있었다. 선체의 선수 형상은 Bulb형태가 가장 최적화라는 것을 알 수 있었다. 이번 연구에서 선박의 유동해석은 실험결과의 검증의 차원이나 보조적인 수단으로서가 아니라 선박 형상 설계의 변경을 통한 공기역학적 특성을 개선하는 적극적인 수단으로서 자리 잡을 수 있는 발판이 되었다고 사료되며 차후 개선된 연구 환경에서는 보다 정밀한 모델링이 가능할것이라고 여겨진다. 하지만 여전히 많은 논문들에서 제시해왔던 데로 정확한 유동저항들을 예측하는데 조금 어려움이 있다. 난류모델 자체가 이러한 현상들을 발생시키는데 원인이기도 하다. 이러한 문제에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔고 개선된 선박들을 조선회사에서는 개발하고 있는 상황이다. 또한 운항하는 선박에 발생하는 압력저항은 연료 소비량을 많이 소모하는데 크게 차지할 것으로 보이며 형상설계를 통하여 최적 설계를 한다면 이러한 연비소모량도 줄어 들 것이라고 생각이 된다. 현재의 설계된 선체보다 훨씬 더 효율적인

설계를 하여 선박산업의 발전에 조금이나마 보탬이 되기를 바란다.

참고문헌

[1] 김진, 박일룡, 김광수, 반석호, 김유철, “선박의 저항 및 저항성능 해석을 위한 수치기법 개발”, 대한조선학회논문집, 제48권 제2호, 2011.

[2] 이승희, 박종진, “선체주위 난류유동장의 해석에 관한 연구”, 한국전산유제공학회지, pp 64-70, 2005.

[3] 이병혁, 박종천, 정성준, 류민철, 김용수, 김영훈 입자법을 이용한 비선형성 자유표면 유동의 수치 시뮬레이션, 한국해양공학회지, 21권, 제6호, 2007.

[4] 박일룡, 서성부, 김진, “뭉뚝한 선수 선형 주위 자유수면 유동 수치 해석”, 한국해양공학회지, 제26권, 제1호, pp 9-16, 2012.

[5] 허남건. “CFD를 이용한 자동차 공기역학 특성 해석”, 자동차공학회지, 제12월호, pp 22-25, 1999.

[6] 샤피로, Ascher H, “모양과 흐름. 항력의 유체역학” Doubleday & ㈜, 1961.

[7] 오광호, 유재훈, “고속 활주선의 항주자세와 저항 추정”, 한국해양과학기술협의회, 2011