

CFD에 의한 자세변화가 큰 선박의 저항성능 해석

김현수* · 박동우*** · 양영준**

* 동명대학교 기계시스템공학과 석사과정, ** 동명대학교 조선해양공학부 교수

Analysis of Resistance Performance of a Ship having a Large Attitude
based on CFD

Hyun-Soo Kim* · Dong-Woo Park*** · Young-Jun Yang**

* Master's Course, Department of Mechanical Systems Engineering, Tongmyong University Busan 48520, Korea

** Professor, School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

요약 : 본 연구에서는 큰 침하량과 동적트림을 가지는 선박에 대하여 전산유체역학(CFD)을 기반으로 하여 효율적인 저항성능 추정 방법을 제시하였다. 본 방법에서 효율적이라 함은 점성 유동해석 이전에 비 점성 유동해석의 침하량과 동적트림 결과를 이용하여 선박의 큰 자세를 설정하고 DFBI(Dynamic Fluid Body Interaction) 방법에 의한 점성 유동해석을 수행한 것이다. 본 방법을 방법I로 명하였다. 방법I는 해석 전에 큰 자세를 설정함으로써 인해 중첩격자(Overset Mesh) 기법을 사용하지 않는 단순한 격자시스템(Fig. 3 참고)을 사용하면 된다. 이로 인해 방법I는 계산시간 단축 및 계산의 정도를 높일 수 있는 장점이 있다. 점성 유동해석은 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+를 사용하였다. 방법I의 첫 번째 점성 유동해석 결과는 최종 수렴된 결과와 비교하였을 때 저항 값에서 최대 1% 내에서 차이를 보임을 확인 하였다. 중첩격자가 아닌 단순 격자시스템에 의한 STAR-CCM+에서 제공하는 DFBI 기법을 활용하여 계산단계 별로 변화된 자세에 대하여 매번 격자를 변경하여 수렴된 결과를 도출하였다. 본 방법을 방법II로 명하였다. 방법II의 저항 값과 비교하였을 때 방법I은 선속에 따라 0.03% ~ 0.6%의 차이를 보였다. 방법I의 결과는 수조모형시험과의 비교를 통해서 정성적 그리고 정량적으로 타당함을 확인하였다.

핵심어 : 큰 침하량과 동적트림, 전산유체역학, 비 점성 유동해석, 저항성능, 수조모형시험

Abstract : This research presents an efficient method based on computational fluid dynamics (CFD) for estimating the resistance performance of a ship with a large settlement amount and a dynamic trim. The settlement of the inviscid flow analysis and the results of dynamic trim were used to set a large attitude for the ship prior to performing a viscous flow analysis; a viscous flow analysis was subsequently performed by Dynamic Fluid Body Interaction (DFBI). This method is termed as method I, in which a simple grating system can be used without employing the overset mesh technique by setting many attitudes before interpretation. Thus, method I is advantageous in reducing calculation time and improving calculation accuracy. The viscous flow analysis was performed using a commercial CFD code STAR-CCM+. Compared with the final convergence result, the first viscous flow analysis result of method I exhibited a variation of less than 1% of resistance. The result was obtained by changing the gratings each time an attitude is changed at each calculation stage, based on the DFBI method provided to STAR-CCM+ using a simple grating system, which is not a superposed grating. This method is termed as method II. Compared with method II of resistance, method I exhibited a difference of 0.03 - 0.6% for linear velocity. The results of method I were confirmed to be qualitatively and quantitatively appropriate through comparison with several trillion simulations.

Key Words : Large sinkage and dynamic trim, CFD, Potential flow analysis, Resistance performance, Towing tank model test

* First Author : gustn9484@tu.ac.kr, 051-629-1642

† Corresponding Author : dwpark@tu.ac.kr, 051-629-1654

1. 서론

프루드 수(Froude Number, F_N)가 약 0.3에서 1.0 수준의 고속 어선(혹은 고속정)은 높은 F_N 에 따라 Fig. 1과 같이 항주 시 침하량(Sinkage)이 정지항수 대비 약 20% 이상 그리고 동적트림(Dynamic Trim)은 약 3도(degree) 이상으로 정상상태에 도달하였을 때 큰 자세변화가 발생한다. 이로 인해 Fig. 2에서와 같이 저항곡선에서도 선속에 따라 골(Hollow)과 봉우리(Hump)의 특성이 뚜렷하게 나타나는 것이 특징이다.

이러한 선박의 수주단계에서 다음의 내용을 요청 받는다. 첫째, 선주로부터 다양한 선형 형태(Type)에 대한 속도성능 평가를 요청 받고 있다. 이에 기본설계 단계에서 신속한 속도성능 제시가 필요하다. 둘째, 선형설계 단계에서 모형시험에 준하는 CFD 기반의 저항성능 추정을 요구 받고 있다.



Fig. 1. High speed vessel with large sinkage and trim.

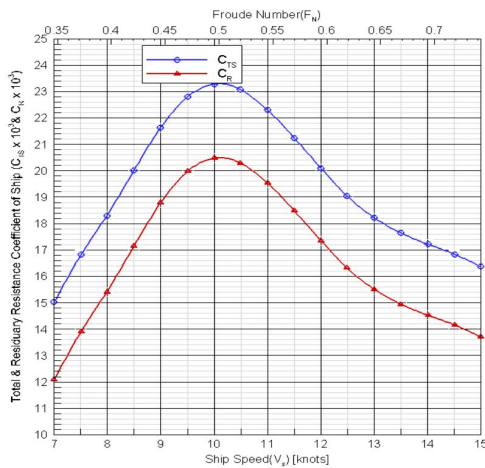


Fig. 2. Hollow and hump phenomenon of resistance curve by large sinkage and trim.

점성 유동해석에 의해 자세변화가 큰 선박의 저항성능 계산 시에 일부 결과에 의하면 중첩격자(Overset Mesh) 기법을 사용해서 해석을 수행하고 있으나 이는 격자계 구성, 계산 시간 및 계산 정도 등에 있어 어려움이 있는 것으로 알려져

있다. 중첩격자 기법은 주로 선박의 운동과 조종문제에 사용되었으며 Castiglione et al.(2014)은 많은 연구 결과를 발표하였다. Kim et al.(2007)은 자항상태에서 선체, 프로펠러와 타의 상호작용 해석에 적용한 결과를 제시하였다. 그리고 중첩격자가 아닌 Fig. 3과 같은 격자시스템을 사용하면 자세변화를 고려하여 해석할 경우 큰 침하량과 동적트림으로 인해 해가 발생한다.

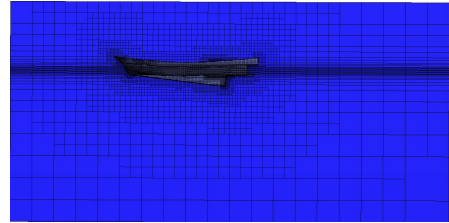


Fig. 3. Grid system applied to the DFBI.

본 연구에서는 큰 침하량과 동적트림을 가지는 선박에 대하여 전산유체역학(CFD)을 기반으로 하여 효율적인 저항성능 추정 방법을 제시하였다. 본 방법에서 효율적이라 함은 점성 유동해석 이전에 비 점성 유동해석의 침하량과 동적트림 결과를 이용하여 선박의 큰 자세를 설정하고 DFBI(Dynamic Fluid Body Interaction) 방법에 의한 점성 유동해석을 수행한 것이다. 본 방법을 방법I로 명하였다. 방법I는 해석 전에 큰 자세를 설정함으로써 인해 중첩격자(Overset Mesh) 기법을 사용하지 않는 단순한 격자시스템을 사용하면 된다. 이로 인해 방법I는 계산시간 단축 및 계산의 정도를 높일 수 있는 장점이 있다. 점성 유동해석은 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+를 사용하였다. 방법I의 첫 번째 점성 유동해석 결과는 최종 수렴된 결과와 비교하였을 때 저항 값에서 최대 1% 내에서 차이를 보임을 확인 하였다. 중첩격자가 아닌 단순 격자시스템에 의한 STAR-CCM+에서 제공하는 DFBI 기법을 활용하여 계산단계 별로 변화된 자세에 대하여 매번 격자를 변경하여 수렴된 결과를 도출하였다. 본 방법을 방법II로 명하였다. 방법II의 저항 값과 비교하였을 때 방법I은 선속에 따라 0.03%~0.6%의 차이를 보였다. 방법I의 결과는 수조모형시험과의 비교를 통해서 정성적 그리고 정량적으로 타당함을 확인하였다.

2. 대상선박

대상선박은 2척이며, 2척 모두 예인수조 모형시험을 수행하였다. 2척의 모습, 실선에서의 기본 제원과 수치해석을 위한 축척비는 Fig. 4와 Table 1에 나타내었다.

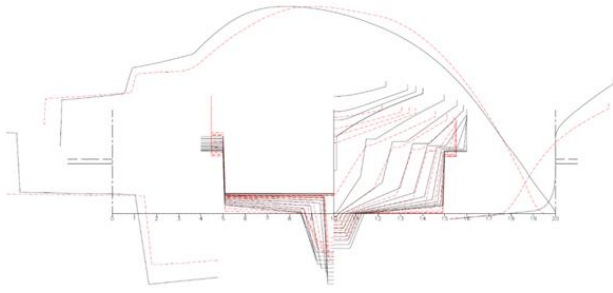


Fig. 4. Object vessels (1st ship: red, 2nd ship: black).

Table 1. Particulars of the object vessels

	Object vessels	
	1 st ship	2 nd ship
Scale ratio	6.4	
Length between perpendiculars, L_{pp} (m)	9.46	9.46
Breadth, B (m)	2.87	2.64
Draft at F.P.&A.P, T_F/T_A (m)	0.35/0.53	0.4/0.55
Displacement (m^3)	10.60	10.61
Wetted surface of a ship, W_{SA} (m^2)	38.40	37.74
Speed range (knot)	9.0~15.0	

3. 수치기법1)

본 방법은 점성 유동해석 이전에 비 점성 유동해석의 침하량과 동적트림 결과를 이용하여 선박의 큰 자세를 설정하고 DFBI 방법에 의한 점성 유동해석을 수행한 것이다. 본 방법을 앞에서 언급한대로 방법I로 명하였다.

3.1 방법I의 비 점성 유동해석

방법I의 비 점성 유동해석 코드는 비선형 자유표면 경계조건을 반복계산에 의해 수치적으로 만족하게 하였고 그 해는 트림(Trim)과 침하(Sinkage)를 고려한 자유상태(Free Condition)에서의 결과이다. 고속선박의 안정적인 해석을 위해서 자유표면의 계산영역, 자유표면 패널의 가로-세로 비, 전체 패널 수 등을 수조모형시험과의 비교를 통해 최적화하였다.

1) 3.2의 방법I의 점성 유동해석에서 수치해석 조건은 본 저자가 저항해석에 사용하는 표준화된 방법으로 Park(2018a; 2018b)에도 유사하게 기술되어 있음. 본 논문에서의 대상선박은 고속선박에 따라 격자구성 등에 있어 구체적인 부분에는 명확한 차이가 있음.

3.2 방법I의 점성 유동해석

본 계산에 적용된 좌표계는 Fig 5와 같다. 계산영역은 $-2L_{pp} \leq x \leq 1L_{pp}$, $0 \leq y \leq 1.35L_{pp}$, $-1.35L_{pp} \leq z \leq 0.7L_{pp}$ 로 정하였다. Inlet, Top, Bottom은 Velocity Inlet Type을 사용하였고, Outlet은 Pressure Outlet, Side와 Symmetry는 Symmetry Plane Type으로 설정하였습니다. 선체에서 발생한 자유 수면이 계산영역의 입구, 출구 및 대칭 경계 조건에 의해 왜곡되지 않도록 계산영역을 설정하였다. 표면 재배열 및 벽면 유동모사를 잡기 위해서 트리머(trimmed mesh)와 경계층 격자(prism layer)를 이용하였다. 생성된 전체 격자수는 약 20만개로 계산에 사용된 격자시스템은 앞에서 언급한 Fig. 3과 같다.

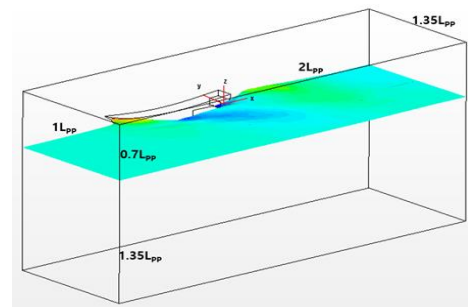


Fig. 5. Coordinate system.

트리머는 유동 특성이 복잡한 영역에서 격자를 조밀하게 구성하며 단순한 영역에서 격자의 크기를 크게 설정하는 방법을 통해 적은 격자수로 효과적인 유동해석이 가능한 장점이 있다. 또한 계면에서 수직한 격자를 생성함으로써 자유 수면을 보다 정확하게 모사할 수 있는 장점이 있다. 트리머를 적용할 경우 저항 값에서 오차가 크게 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 선체 주변에 경계층 격자를 적용하였다. 선체주변, 즉 수면에 직면하는 선체(hull)/트랜섬(transom)에서 총 6개의 경계층 격자를 생성하였으며 첫 번째 경계층 격자는 선체 전체의 $y+$ 이 40~50이 되도록 하고 벽함수(wall function)를 사용하였다. 격자의 수가 계산시간에 영향을 미치기에 선체 갑판부에는 경계층 격자를 적용하지 않았다. 그 이유는 갑판에 작용하는 힘은 공기에 의한 전단력으로 전체 저항에서 무시할 수 있는 수준이기 때문이다. 실제로 갑판에 경계층을 생성한 경우와 그렇지 않은 경우의 힘의 차이는 전체 저항 값의 0.1% 미만이다. 자유수면 유동해석을 위하여 VOF(Volume of Fluid)를 사용하여 다상 유동을 모델링 하였다. 동적 트림을 고려하기 위해 비 점성 유동해석에 의한 주 자세 셋팅 후 DFBI 기법을 사용하였다. DFBI 기법은 선체의 자세 변화에 따라 계산 영역 전체가 이동 및 회전하는 방법으로 선체의 침하량은 계산 영역 전체의 z 방향 수직 이동으로 나타나며, 트림은 계산 영역 전체

의 y 방향 회전으로 나타난다.

따라서 본 연구에서는 비 점성 유동 해석에 의한 결과를 활용한 방법I과 단순 격자시스템을 이용하여 STAR-CCM+에 제공하는 DFBI 기법을 바탕으로 계산단계 별로 변화된 자세에 대하여 매번 격자를 변경하는 방법II의 결과를 비교하였다. 난류모델은 Reynolds stress model을 적용하였다. 계산 시간 간격은 $\Delta t = 0.02s$ 를 적용하여 총 30초까지 계산을 수행하였다. 매 시간 간격에서 10회의 내부 반복 계산을 수행하였으며, 안정적인 자세 변화를 위해 release time을 1초, ramp time을 2초로 설정하여 3초 후부터 선체에 작용하는 힘과 모멘트를 통해 선체의 동적 자세 변화를 고려하였다. 선체의 동적 자세를 고려함에 따라 저항 값이 주기적인 변화를 보여주어 20초 이후부터 30초의 평균값을 계산하여 저항 값으로 사용하였다. 평균값을 계산하는 시간에 따른 오차는 약 0.3% 미만이다.

4. 결과 및 검토

방법I에 의해 상대적으로 중속인 11노트($F_N \approx 0.55$)와 고속인 15노트($F_N \approx 0.8$)에서 해석을 수행하였다. 해석은 모형선 크기이다(Table 1 참조).

4.1 방법에 의한 저항성능 평가

4.1.1 1st ship 11노트($F_N \approx 0.55$)

점성 유동해석 이전에 비 점성 유동해석에 의한 침하량과 동적트림을 계산하였다. Table 2는 계산단계 별로 모형크기의 전 저항, 상하방향의 침하량 그리고 트림을 나타낸 것이다. 상하방향 침하량(sinkage)의 부호 (-)는 침하를 나타내고 트림의 부호 (-)는 선미트림을 나타내었다. 전 저항의 수렴 조건은 침하량의 경우 평균항속의 0.3% 이내 그리고 트림은 0.01도(degree)이내이면 수렴한 것으로 하였다. Fig. 6(a)의 검은색 선형은 초기 정적항속 자세를 나타내고 있으며 빨강색 선형은 비 점성 유동해석에 의한 침하량과 동적트림을 반영한 항속이다. Table 2를 보면 비 점성 유동해석에 의한 침하량은 약 -0.01129m로서 초기 정적항속 대비 약 16.42% 침하되었고 트림은 약 1.02도(degree)이다. 고속선입에 따라 주 운항선속인 11($F_N \approx 0.55$)노트에서도 큰 자세변화를 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, Fig. 6(a)의 빨강색 선형은 점성 유동해석 이전에 비 점성 유동해석 결과에 의한 주 항속(초기 정적항속 + 비 점성 유동해석에 의한 침하량 및 동적트림 고려)를 세팅 한 것이다. Fig. 6(b)의 파랑색 선형은 점성 유동해석의 DFBI 방법에 의한 첫 번째 해석결과이다. 빨강색 선형과 파랑색 선형을 비교해 보면 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. Table 2를 보면 빨강색 선형과 비교해 볼 때 침하량

은 초기항속 대비 약 1.06% 그리고 트림은 약 0.2도(degree) 변화하였다. Fig. 6(c)는 점성 유동해석의 DFBI 방법에 의한 두 번째 계산 결과이다. 파랑색 선형과 녹색 선형을 비교해 보면 자세변화가 거의 없음을 확인하였다. Table 2를 보면 파랑색 선형과 비교해 볼 때 침하량은 초기항속 대비 약 0.99% 그리고 트림은 약 0.07도(degree) 변화하였다. 저항 값은 53.08 N에서 53.42 N으로 약 0.6% 차이를 보였다. 세 번째 계산에서 수렴조건을 만족하였으며 Table 2를 보면 첫 번째 해석 결과와 최종 수렴된 해석 결과와의 저항 값 차이는 1% 내임을 확인하였다.

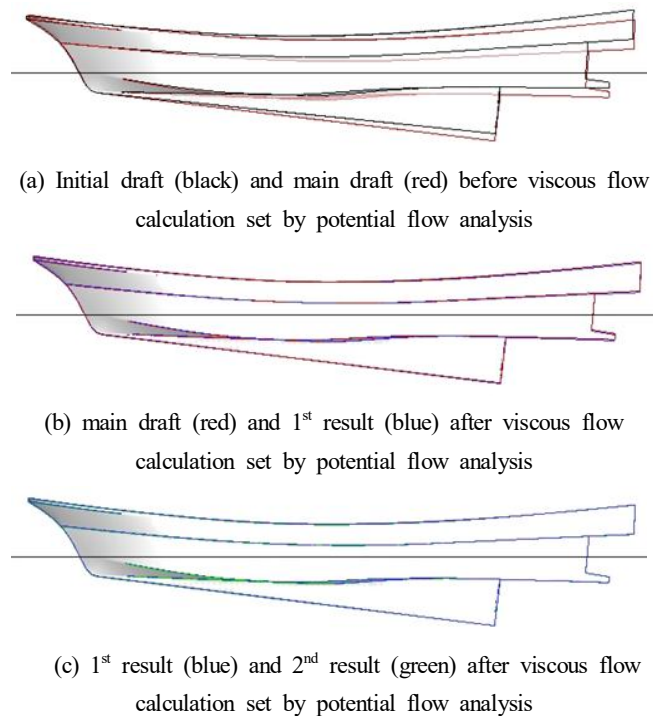


Fig. 6. Viscous flow calculation procedure set by potential flow analysis (11.0 knots).

Table 2. Results for viscous flow calculation procedure set by potential flow analysis (11.0 knots)

	Resistance in Model (N)	Sinkage (m)	Trim (deg.)
Result from Potential Code	-	-0.01129 (16.42 %)	-1.0228
1 st Analysis by DFBI	53.0845	-7.26E-04 (1.06 %)	-0.2139
2 nd Analysis by DFBI	53.4159	-6.84E-04 (0.99 %)	0.0724
3 rd Analysis by DFBI	53.6473	-1.78E-04 (0.26 %)	0.0099

CFD에 의한 자세변화가 큰 선박의 저항성능 해석

Fig. 7은 11노트에서 수조모형시험의 선측과형과 방법I에 의한 결과를 비교한 것이다.

Zone I의 CFD 결과는 모형시험 결과와 비교하였을 때 비선형성이 강한 선수과형, 파고의 높이, 수평으로 나가는 형상 및 선수과가 차지하는 영역이 유사함을 확인 할 수 있었다. Zone II의 CFD 결과는 모형시험 결과와 비교하였을 때 파의 기울기, 파의 시작 위치 및 끝나는 위치가 유사함을 확인할 수 있다. Zone III의 CFD 결과는 모형시험 결과와 비교하였을 때 3번 스테이션(Station) 근처에서 파정의 위치와 형상이 서로 유사함을 확인 할 수 있다. 방법I에 의한 CFD 결과와 수조모형시험은 정성적으로 타당함을 확인하였다.

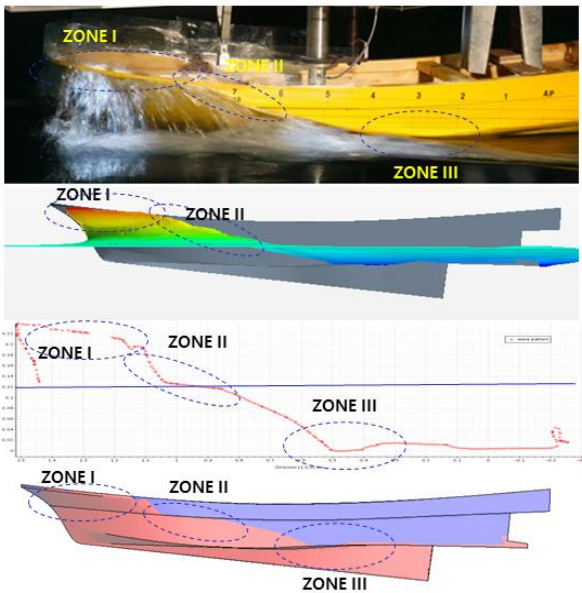


Fig. 7. Comparison of wave profile between towing tank test and CFD (11.0 knots).

4.1.2 1st ship 15노트($F_N \approx 0.8$)

15노트는 $F_N = 0.8$ 로서 대상선박의 최대속도이다. 그 결과는 Table 3에 정리하였다. Fig. 8(a)의 검은색 선형은 초기흘수 자세를 나타내고 있으며 빨강색 선형은 비 점성 유동해석에 의한 침하량과 동적트림을 반영한 흘수이다. Table 3을 보면 비 점성 유동해석에 의한 침하량은 약 -0.01231 m로서 초기흘수 대비 약 17.90% 침하 되었고 트림은 약 1.3도(degree)이다. 11노트($F_N \approx 0.55$)보다 큰 자세 변화가 일어남을 확인하였다. Fig. 8(b)의 파랑색 선형은 점성 유동해석의 DFBI 방법에 의한 첫 번째 해석결과이다. Table 3을 보면 빨강색 선형과 비교해 볼 때 침하량은 초기 정적흘수 대비 약 3.77% 그리고 트림은 약 0.19도(degree) 변화하였다. Fig. 8(c)는 점성

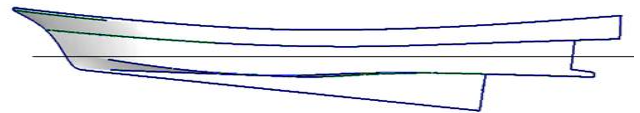
유동해석의 DFBI 방법에 의한 두 번째 계산 결과이다. 파랑색 선형과 녹색 선형을 비교해 보면 자세변화가 거의 없음을 확인하였다. Table 3을 보면 파랑색 선형과 비교해 볼 때 침하량은 초기 정적흘수 대비 약 0.4% 그리고 트림은 약 0.03도(degree) 변화하였다. 저항 값은 71.84 N에서 71.70 N으로 약 0.2% 차이를 보였다. 세 번째 계산에서 수렴조건을 만족하였으며 Table 3을 보면 첫 번째 해석 결과와 최종 수렴된 해석 결과와의 차이는 0.25% 이내임을 확인하였다.



(a) Initial draft (black) and main draft (red) before viscous flow calculation set by potential flow analysis



(b) main draft (red) and 1st result (blue) after viscous flow calculation set by potential flow analysis



(c) 1st result (blue) and 2nd result (green) after viscous flow calculation set by potential flow analysis

Fig. 8. Viscous flow calculation procedure set by potential flow analysis (15.0 knots).

Table 3. Results for viscous flow calculation procedure set by potential flow analysis (15.0 knots)

	Resistance in Model (N)	Sinkage (m)	Trim (deg.)
Result from Potential Code	-	-0.01231 (17.90%)	-1.30024
1 st Analysis by DFBI	71.8434	-2.59E-03 (3.77%)	-0.1972
2 nd Analysis by DFBI	71.6965	-2.74E-04 (0.40%)	-0.0281
3 rd Analysis by DFBI	71.6633	-1.23E-04 (0.18%)	0.0130

Fig. 9는 15노트에서 수조모형시험의 선측과형과 방법I에 의한 결과를 비교한 것이다. Zone I의 CFD 결과를 모형시험 결과와 비교하였을 때 11노트 보다 강한 비선형 선수파형, 파고의 높이, 수평으로 나가는 형상 및 선수파가 차지하는 영역이 유사함을 확인 할 수 있었다. Zone II의 CFD 결과는 모형시험 결과와 비교하였을 때 파의 기울기, 파의 시작 위치 및 끝나는 위치가 유사함을 확인할 수 있다. Zone III의 CFD 결과는 모형시험 결과와 비교하였을 때 3번 스테이션(Station)에서 2번 스테이션(Station)사이 파정의 위치와 형상이 유사함을 확인 할 수 있다. Fig. 9의 15노트 역시 방법I에 의한 CFD결과와 수조모형시험은 정성적으로 타당함을 확인하였다.

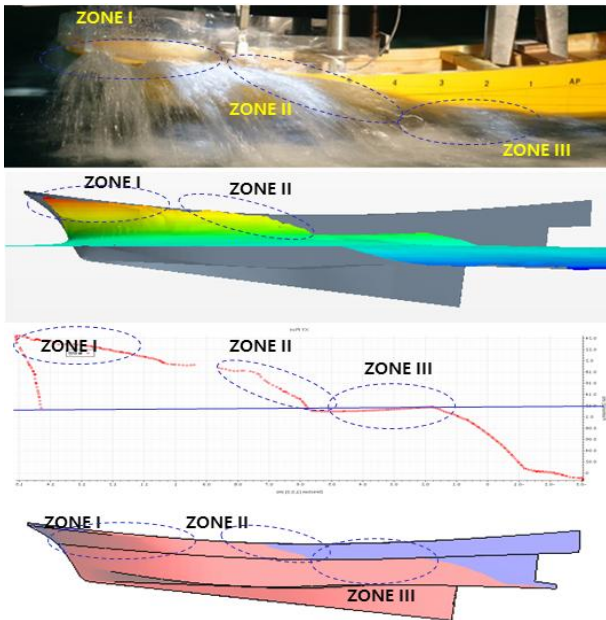


Fig. 9. Comparison of wave profile between towing tank test and CFD (15.0 knots).

4.2 방법I, 방법II 및 모형시험의 저항 값 비교

Fig. 10과 Table 4는 방법I, 방법II 및 모형시험의 저항 값을 비교한 것이다. Table 4의 ① R_{TM} 은 방법I에 의한 것이고 ② R_{TM} 은 방법II에 의한 것이다. ① R_{TM} 과 ② R_{TM} 은 선속에 따라 0.03%~0.6%의 차이를 보였다. 방법I의 결과인 ① R_{TM} 과 모형시험 결과와 비교해 볼 때 선속에 따라 2.5%~5.5%의 차이를 보였다.

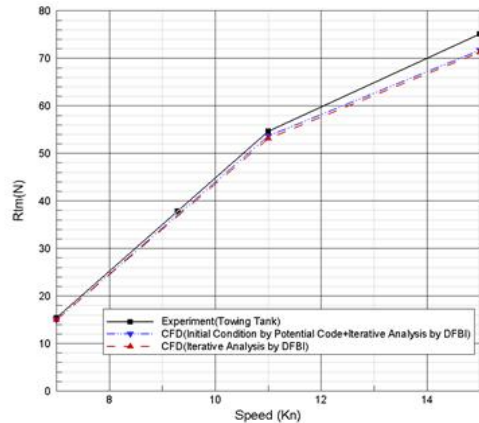


Fig. 10. Comparison of Resistance by 1st ship.

Table 4. Results of resistance by towing tank test and CFD

Vs [Kn]	7.0	11.0	15.0
F_N	0.354	0.556	0.758
R_{TM} [Model Test]	15.369	54.614	75.138
(%)	(100.0)	(100.0)	(100.0)
① R_{TM} [CFD]	14.906	53.647	71.663
(%)	(96.98)	(98.23)	(95.36)
② R_{TM} [CFD]	14.930	53.127	71.297
(%)	(97.14)	(97.28)	(94.89)

4.3 선형 별 방법과 모형시험의 유효마력 비교

Fig. 4의 2척의 대상선박에 대하여 방법I에 의한 결과와 모형시험 결과를 비교하였다. 방법I에 의한 결과로부터 계산된 전 저항(R_{TM})을 이용하여 ITTC-1978 2차원 해석법에 따라 유효마력을 추정하였다(ITTC-1978). Table 5와 Fig. 11은 그 결과를 나타낸 것이다. Table 5와 Fig. 11을 보면 1차와 2차 선형의 모형시험 결과는 약 10% 차이를 보여주고 있다. 또한 방법I에 의한 결과 역시 약 10%의 차이를 보인다. 즉, 상대적인 정량적 비교는 충분히 가능하다고 판단된다.

Table 5. Comparison of EHP for towing tank test and CFD by Method I

Vs [kn]	F_N	EHP (PS), Model Test			EHP (PS), CFD by Method I		
		1 st Ship	2 nd Ship	%	1 st Ship	2 nd Ship	%
10	0.495	85	77	90.59	81	74	91.36
11	0.545	108	97	89.22	106	96	90.57
12	0.595	127	113	89.09	123	111	90.24

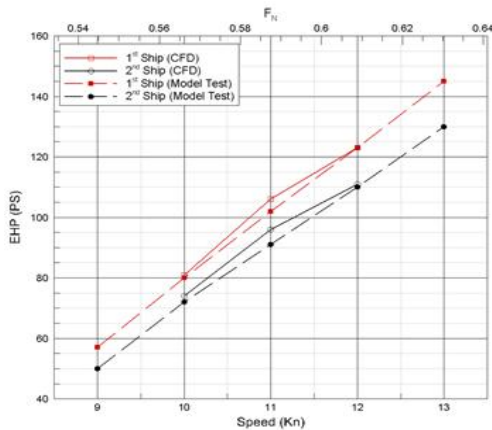


Fig. 11. Comparison of EHP.

5. 결론

본 논문의 관심사항은 큰 침하량과 동적트림을 가지는 선박에 대하여 전산유체역학(CFD)을 기반으로 하여 효율적인 저항성능 추정 방법을 제시하는 것이었다. 방법은 점성 유동해석 이전에 비 점성 유동해석의 침하량과 동적트림 결과를 이용하여 선박의 큰 자세를 설정하고 DFBI 방법에 의한 점성 유동해석을 수행하였다. 방법II는 단순 격자시스템을 이용하여 DFBI 기법을 바탕으로 계산단계 별로 변화된 자세에 대하여 매번 격자를 변경하여 수렴된 결과를 도출하였다. 본 논문에서 제시한 방법I은 격자 구성 및 해석시간을 단축하고 계산의 정도를 높일 수 있다는 점에서 장점이 있다. 또한 수조모형시험과의 비교를 통해서 정성적 그리고 정량적으로 타당함을 확인하였다.

- 1) 방법I에 의한 저항성능 평가를 수행하였다. 11노트와 15노트에서 세 번의 계산결과 수렴조건을 만족하였으며 11노트에서는 1%, 15노트에서는 0.25% 이내의 저항 값 차이를 보여주었다. 이는 비 점성 유동해석 결과를 바탕으로 한 첫 번째 점성 유동해석 결과를 사용해도 큰 차이가 없는 것을 확인 할 수 있었다.
- 2) 방법I에 대한 정성적 평가를 위하여 수조모형시험의 선측 파형과 비교를 하였다. CFD의 결과는 모형시험과 비교하였을 때 선수파형, 파고의 높이 및 파정의 위치 등 유사함을 보여주었다.
- 3) 선형 별 방법I과 모형시험의 유효마력을 비교한 결과 1차와 2차 선형의 모형시험 결과는 약 10% 차이를 보여주었고 방법I에 의한 결과 역시 약 10%의 차이를 보여주었다. 즉, 상대적으로 정량적 비교는 충분히 가능하다고 판단된다.

사 사

본 성과물은 중소벤처기업부에서 지원하는 2019년도 맞춤형 기술파트너 지원사업(No. S2789931)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] Castiglione, T., W. He, F. Stern, and S. Bova(2014), URANS simulation of catamaran interference in shallow water, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 33-51.
- [2] ITTC(1978), Report of Performance Committee, 15th ITTC, Hague.
- [3] Kim, K. S., I. R. Park, J. Kim, Y. J. Kim, and S. H. Van(2007), RANS analysis for obliquely towed VLCC tanker by using the overset grid scheme, *Proceedings of KAOSTS*, Seoul, Korea, pp. 895-904.
- [4] Park, D. W.(2018a), Assessment of the Resistance Performance of Hull Appendages Attached to Fishing Vessels Using CFD, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 24, No. 2, pp. 267-274.
- [5] Park, D. W.(2018b), Resistance Performance Map through Studies on the Dimension Parameters of the Bilge Keel attached on the Fishing Vessel, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 24, No. 5, pp. 583-590.

Received : 2019. 11. 11.

Revised : 2019. 12. 23.

Accepted : 2019. 12. 27.