

가변 자유수면 패널법을 이용한 선체 주위 포텐셜 유동 해석

최희종^{†*}, 김진^{**}, 반석호^{**}, 박일룡^{**}, 김광수^{**}

부산대학교 첨단조선공학연구센터*
한국해양연구원 해양시스템안전연구소**

Variable Free Surface Panel Method for Potential Flow Analysis around a Ship

Hee-Jong Choi^{†*}, Jin Kim^{**}, Suak-Ho Van^{**}, Il-Ryong Park^{**} and Kwang-Soo Kim^{**}

Advanced Ship Engineering Research Center, Pusan National University*
Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI**

Abstract

A new solution method was developed to solve the free surface flow around a hull and named as 'Variable Free Surface Panel Method'. In the method the non-linearity of the free surface boundary conditions was fully taken into account and the raised panel method was employed to effectively solve the problem. The transom stern flow was also considered and the panel on the hull was generated using the panel cutting method. Numerical calculations were performed for KCS(KRISO Container Ship) hull form and compared with the experimental data to confirm the validity of the method. The comparison with the conventional free surface panel method was also accomplished. It is confirmed that new method gives more reliable results than the conventional method.

※Keywords: Potential flow(포텐셜 유동), Variable free surface panel method(가변 자유수면 패널법), Panel cutting method(패널 절단법), Nonlinear free surface boundary conditions(비선형 자유수면 경계조건), Transom stern flow(트랜섬 선미 유동)

1. 서론

Dawson(1977)에 의해 선체주위 유동해석을 위한 실용적인 패널법(panel method)이 제안된 이후 이 분야에 대한 연구는 지속적으로 이루어져

오고 있으며 특히 컴퓨터의 처리 속도가 기하급수적으로 향상됨에 따라 최근에 두드러진 연구 성과를 보여주고 있다.

패널법을 사용한 선체 주위 유동 해석에 있어서 수치 해석 기법의 괄목할만한 진보는 1980년대 후반에 이루어졌는데 자유수면의 비선형 경계조건을 구체적으로 해결할 수 있는 방법들이 제안되었다(Xia 1986, Ni 1987, Kim 1989).

접수일: 2007년 9월 10일, 승인일: 2007년 12월 23일

† 교신저자: choihj@pusan.ac.kr, 010-5509-0005

최근에는 선박의 고속화와 운항 목적의 다변화로 인하여 복잡한 형상을 가지거나 과도한 자세 변화를 하는 선박이 개발되고 있으며, 이와 같은 선박 주위의 유동을 예측할 수 있는 해석 기법 개발에 대한 필요성이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 복잡한 형상을 가지는 선박에 대하여 선체 주위 포텐셜 유동 해석을 할 경우 자유수면 경계조건의 비선형성을 효과적으로 만족시킬 수 있는 수치 해석 기법을 개발하였으며 가변 자유수면 패널법(VFSPM; variable free surface panel method)이라고 부르기로 하였다.

개발된 해석 기법의 타당성을 검증하기 위하여 KCS(KRISO Container Ship) 선형에 대한 수치 해석을 수행하였으며 모형시험 결과와 비교하였다. 또한 기존 방법(CFSPM; conventional free surface panel method)의 수치 해석 결과와 비교를 통하여 무엇이 얼마나 개선되었는지를 보이고자 하였다. 본 논문에서 언급하고 있는 기존의 방법은 Kim et al.(2000a)이 제안한 방법을 나타내며, 수치 해석은 상용소프트웨어인 WAVIS ver. 1.3을 사용하였다.

2. 문제의 정식화

좌표계는 Fig. 1에 보이는 바와 같이 선박의 중앙에 고정된 우수좌표계로 x축은 선미로 향하고 y축은 우현, z축은 위쪽을 양의 방향으로 정의하였다.

본 연구는 비선형 자유수면 경계조건을 고려한 선체 주위 포텐셜 유동 해석에 관한 것으로 유장 내의 유체가 이상유체라는 가정 하에서 유동은 지

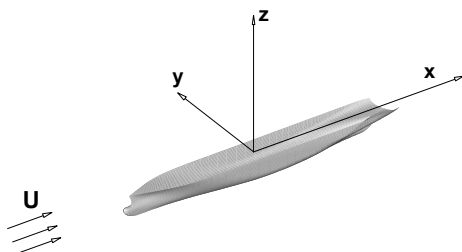


Fig. 1 Coordinates system

배방정식인 라플라스방정식(Laplace equation)을 만족하며, 자유수면에서는 비선형 자유수면경계조건을 만족하고, 선체표면에서는 유체입자의 비침투조건을 적용하였다. 그리고 선수부에서 상류방향으로 어느 정도 떨어진 자유수면 영역에서는 선체의 존재에 의하여 발생된 파가 없어야 한다는 조건인 방사조건을 적용하였다. 문제의 정식화와 관련된 세부사항은 Choi et al.(2006)을 참고하였다.

수치해석에 사용된 선박인 KCS 선형은 트랜섬 선미를 가지는 선박으로 트랜섬 선미를 가지는 선박에 대한 수치해석을 하기 위하여 채택된 트랜섬 선미 모델은 다음과 같다.

$$h_x = \frac{3}{2} \frac{h - h_{tr}}{\Delta x} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{hull} \quad (1)$$

위 식에서 h_x 과 h_{tr} 는 각각 파고의 x방향의 미분값과 트랜섬 선미 끝단의 z방향 좌표를 나타내며, $\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{hull}$ 은 트랜섬 선미 끝단에서의 Buttock Angle이다(Kim et al. 2001).

3. 가변 자유수면 패널법

3.1 자유수면 패널의 생성 및 배치

자유수면 경계조건의 비선형성을 만족시키기 위하여 Fig. 2에서 나타낸 것과 같이 최초로 정수면에서 출발하여 최종 수렴해를 얻기까지 반복적으로 자유수면 경계조건의 만족점을 이동해가면서 수렴 조건을 만족할 때까지 수치 계산을 하게 된다.

기존의 방법에서는 자유수면 경계조건의 만족점을 수평 방향의 이동 성분인 x, y방향으로는 이동하지 않고 상하 방향의 이동 성분인 z방향으로만 이동하여 반복 계산을 한다. 흘수 방향으로 선형 변화가 심하지 않은 선박에 대해서는 무리 없이 반복 계산을 할 수 있지만 Fig. 2(a)와 같이 흘수 방향으로 선형의 변화가 심한 경우에는 자유수면 경계조건의 만족점이 반복 계산을 하는 과정 중에 선체 내부로 들어가 버리는 현상이 발생할 수 있으며 이는 해가 발산하는 직접적인 원인이 된다.

더욱이 자유수면 패널을 생성할 때 선체 근처의 유동을 정밀하게 구하기 위해 선체 근처에 조밀한 패널을 생성하게 되므로 이에 대한 주의가 필요하다. 이와 같은 현상을 피하기 위하여 초기에 자유수면 패널을 생성할 때 선체에 가상의 침하량을 준다거나 또는 정수면보다 높은 위치에서 자유수면 패널을 생성하는 방법을 사용하고 있다. Fig. 2(a)는 δZ 만큼의 침하량을 주어 자유수면 패널을 생성한 경우이며 3번째 반복 계산 단계 이후부터 만족점이 선체 내부로 들어가는 것을 볼 수 있다.

가변 자유수면 패널법은 기존 방법의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것으로 Fig. 2(b)에 나타난 것과 같이 반복 계산 단계마다 이전 단

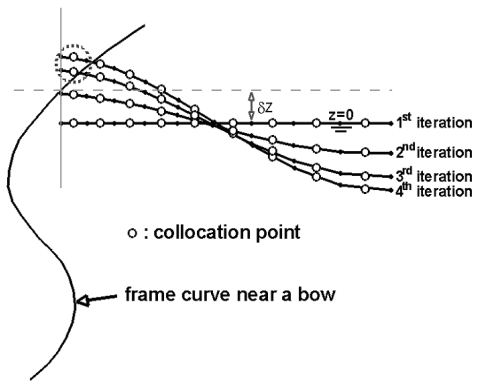
계에서 구하여진 선측 파고와 파계를 고려하여 자유수면 패널을 재배치하는 방법이며 계산 절차는 다음과 같다.

1. 정수면에 대하여 자유수면 패널을 생성한다 (Fig. 2(b), 1st iteration).
2. 자유수면 경계조건을 적용하여 만족점에서 파고를 구하고, 이를 이용하여 자유수면 패널의 각 꼭짓점에서 파고를 내삽법을 사용하여 구한다.
3. 자유수면 패널의 꼭짓점들 중에서 선체에 가장 가까운 점들(1st panel points)의 파고는 인접한 만족점들에서의 파고를 이용하여 외삽법으로 구하고, 이를 이용하여 자유수면 패널을 재배치한다 (Fig. 2(b), 2nd iteration).
4. 최종 수렴해를 구할 때까지 2와 3의 단계를 반복한다 (Fig. 2(b), 3rd & 4th iteration).

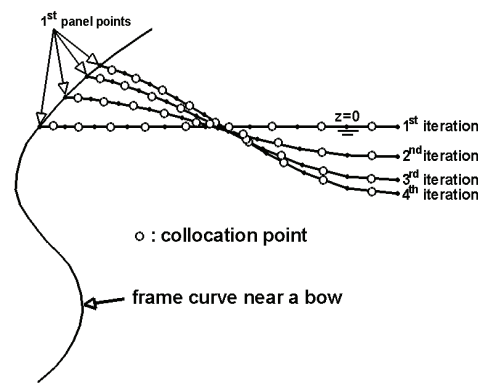
3.2 트랜섬 선미 모델의 적용

선체가 트랜섬 선미를 가질 때 Fig. 3에서 처럼 선미파가 트랜섬 선미 끝단보다 위로 올라가거나 (A) 아래로 내려갈 수 있다(B). 트랜섬 선미 모델의 적용 여부는 파와 트랜섬 선미의 상호 위치에 따라 결정될 문제이나 미리 알 수가 없기 때문에 해석 결과로부터 트랜섬 선미의 적용 여부를 판단하여야 한다.

기존의 방법에서는 앞 절에서 언급한 것과 같이 초기에 자유수면 패널을 생성할 때 선체에 가상의 침하량을 준다거나 또는 정수면보다 높은 위치에서 하게 되며, 패널 생성 위치에 따라 트랜섬 선미 모델의 적용 여부가 결정된다. 다시 말해서 자유수면 패널을 생성할 때 그 위치가 트랜섬 선미 끝단보다 위에 있으면 트랜섬 선미 모델을 적용하



(a) conventional free surface panel method



(b) variable free surface panel method

Fig. 2 Conceptual description of panel redistributions

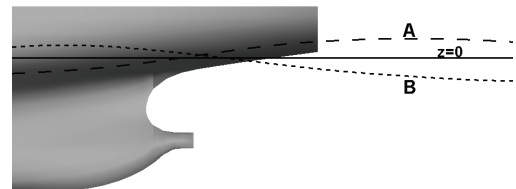


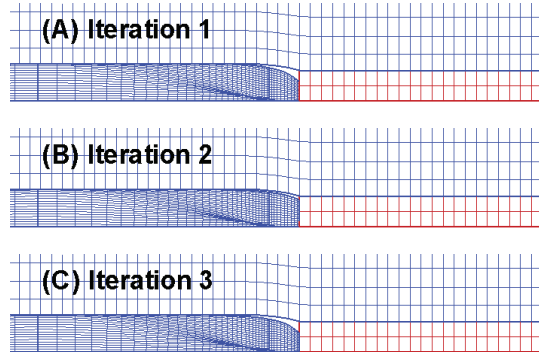
Fig. 3 Configuration between the transom stern and possible wave profiles

고 그렇지 않으면 선체를 크루즈 선형으로 간주하여 수치 해석을 수행 한다.

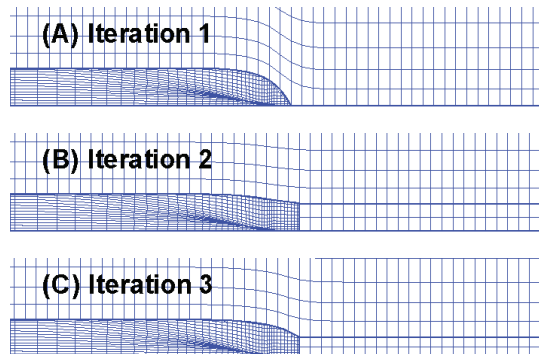
가변 자유수면 패널법에서는 각 단계마다 이전 단계에서 구하여진 파에 의하여 트랜섬 선미 모델의 적용 여부가 결정된다. 트랜섬 선미 끝단이 파보다 높은 위치에 있으면 선체를 크루즈 선형으로 보고 수치 해석을 행하는 반면 그렇지 않은 경우 트랜섬 선미 모델을 적용하여 수치해석을 하게 된다. 반복 계산 도중에 트랜섬 선미 끝단이 물 안에 잠겨 있다가 물 위로 나온다거나 반대로 수면 위에 있다가 물 안에 잠기는 경우가 발생할 수 있는데 각 상황에 맞게 자유수면 패널을 재배치하여 수치해석을 하게 된다. 트랜섬 선미 이후의 자유수면 패널은 트랜섬 선미를 떨어져 나가는 선측 파고의 위치를 고려하여 재배치된다.

Fig. 4는 1~3번째 반복 계산 단계에서 생성된 패널을 비교한 것이다. 기존의 방법(Fig. 4(a))을 사용하였을 경우 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 자유수면 패널의 수평 방향의 변화가 없으며 선체 표면 패널과 자유수면 패널 사이에 빈 공간이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 각 반복 계산 단계마다 파의 생성이나 선체 자세의 변화로 인하여 서로 다른 형태의 빈 공간이 발생함을 알 수 있다. 가변 자유수면 패널법(Fig. 4(b))을 사용할 경우 각 반복 계산 단계마다 자유수면 패널이 선체 자세와 선측 파고를 고려하여 자유수면 패널을 재배치하게 되므로 완전히 닫힌 패널 경계 영역을 이루게 된다는 것을 알 수 있다. 특히 Fig. 4(b)의 1번째 반복 계산 단계(A)에서는 정수면이 트랜섬 선미 끝단보다 아래에 있어서 선체를 크루즈 선형으로 보고 반복 계산을 한 반면 2번째 반복 계산 단계(B)에서는 1번째 반복 계산 단계(A)의 결과를 근거로 트랜섬 선미 모델이 적용된 것을 볼 수 있다.

Fig. 5(A)는 정수면에 대하여 생성된 1번째 반복 계산을 위한 계산 패널인 Fig. 4(b)(A)를 사용하여 구한 것으로 자유수면 경계조건의 만족점에서의 파계를 나타낸다. Fig. 5(B)는 2번째 반복 계산을 위한 계산 패널인 Fig. 4(b)(B)의 패널 꼭짓점에서의 z방향의 좌표를 윤곽선(contour)으로 나타낸 것으로 Fig. 5(A)를 사용하여 구한 것이다.



(a) conventional free surface panel method



(b) variable free surface panel method

Fig. 4 Comparison of hull and free surface panel distributions

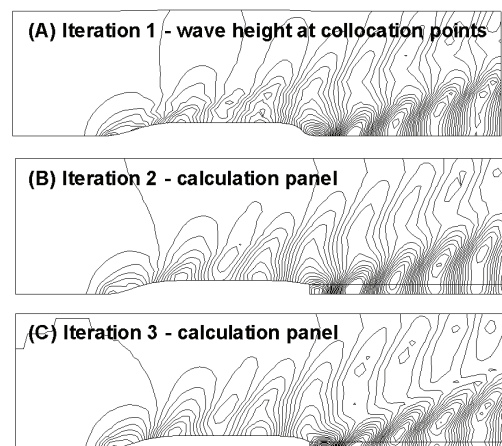


Fig. 5 Calculated wave pattern(A) and calculation panels(B)(C)

Fig. 5(C)는 3번째 반복 계산을 위한 계산 패널인 Fig. 4(b)(C)의 패널 꼭짓점에서의 z방향의 좌표를 윤곽선으로 나타낸 것으로 2번째 반복 계산 결과를 사용하여 구한 것으로 다음 단계의 반복 계산을 위한 계산 패널로 사용된다. 패널의 꼭짓점에서의 z방향의 좌표는 내삽법인 크리깅법(Kriging method)를 사용하여 계산하였다(Lu and Goddard 2004).

4. 수치해석

개발된 수치 해석 기법의 타당성 검증 및 기존의 방법과의 비교를 위하여 KCS(KRISO Container Ship)선형에 대해 수치 해석을 수행하였다. 선체 표면의 패널은 Choi et al.(2006)이 제안한 패널 절단법(panel cutting method)을 사용하였으며 모형 시험 결과는 Kim et al.(2000b)의 결과를 사용하였다.

4.1 기존의 방법

기존의 방법을 사용할 경우 초기에 자유수면 패널을 생성할 위치를 정하게 되는데, 이 절에서는 서로 다른 위치에서 자유수면 패널을 생성하여 수치 해석을 할 때 결과가 어떻게 되는지 조파 저항 계수의 관점에서 알아보하고자 한다. 조파 저항 계수는 선체 표면의 압력 계수를 적분하여 구한 것이다(Choi et al. 2005).

Fig. 6에서 δZ_S 는 선체의 침하량을 나타내고 δZ_{FS} 는 자유수면 패널의 생성 위치를 나타낸다. 실선(solid line)으로 나타낸 것은 선체를 δZ_S 만큼 이동한 경우를 예로 나타낸 것이며 1~3번째 반복

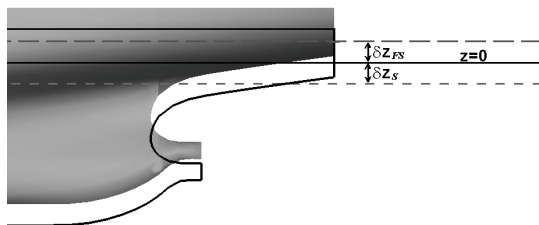


Fig. 6 Locations of free surface panel generation

계산 단계를 수행하는 과정 중에 각 반복 계산 단계마다 $\delta Z_S/3$ 만큼씩 초기 위치로 돌아가게 되므로 $\delta Z_S=0$ 이 아니라면 3번째 반복 계산 단계 이후에 구하여진 해가 선체의 자세에 대한 수치 해석 결과가 된다.

Fig. 7은 수치 해석에 사용된 자유수면 패널을 나타낸 것으로 $F_n=0.215$ 를 경계로 서로 다른 자유수면 패널 분포를 사용하였다. 패널 수는 두 경우 모두 동일하게 x방향으로 150개, y방향으로 15개의 패널을 분포하였으며, 반복 계산중에 소오스 패널은 패널의 x방향 길이만큼 상방향으로 이동하였다. 자유수면 경계조건의 만족점은 안정된 해를 얻기 위하여 패널의 x방향 길이의 0.25배 만큼 상류 방향으로 이동하였다(Choi et al. 2006).

Table 1은 δZ_{FS} 는 고정하고 δZ_S 을 변화시켰을 때 조파 저항 계수(wave resistance coefficient, C_W)를 비교한 것으로 x로 표시된 것은 해가 발산한 경우를 나타낸다.

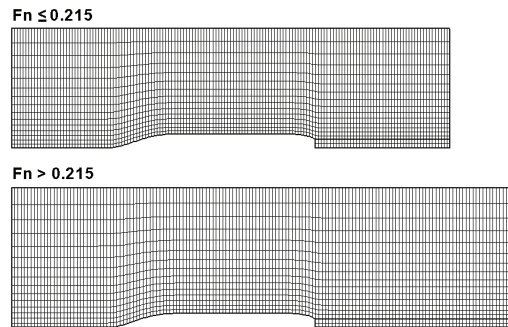


Fig. 7 Free surface panel distributions

Table 1 Comparison of C_W ($\delta Z_{FS} = 0.000$)

δZ_S \ F_n	0.004	0.005	0.006	0.007
0.185	0.699	x	x	x
0.200	0.659	x	x	x
0.215	0.707	0.852	0.999	x
0.230	x	0.855	0.987	x
0.245	0.757	0.893	1.024	1.1653
0.260	x	1.087	1.232	1.3764
0.275	x	x	1.659	1.8093
0.290	x	x	2.086	x

Table 2 Comparison of C_W ($\delta Z_S=0.003$)

δZ_{FS} \ Fn	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
0.185	0.582	0.586	x	x	x
0.200	0.560	0.599	0.548	0.536	0.523
0.215	0.617	0.632	0.619	0.605	0.592
0.230	0.631	0.650	0.643	0.632	0.621
0.245	0.679	0.699	0.682	0.692	0.683
0.260	0.875	0.900	0.894	0.897	0.894
0.275	x	1.340	1.345	1.352	1.352
0.290	x	1.796	1.803	1.801	1.798

Table 3 Comparison of C_W ($\delta Z_S=0.004$)

δZ_{FS} \ Fn	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
0.185	x	x	x	x	x
0.200	0.676	x	x	x	x
0.215	0.736	0.733	0.728	0.723	0.718
0.230	0.748	0.748	0.745	0.739	0.738
0.245	0.790	0.801	0.798	0.795	0.793
0.260	0.989	1.013	1.020	1.021	1.022
0.275	1.424	1.448	1.461	1.466	1.453
0.290	x	1.889	1.897	1.897	1.895

Table 4 Comparison of C_W ($\delta Z_S=0.005$)

δZ_{FS} \ Fn	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
0.185	x	x	x	x	x
0.200	x	x	x	x	x
0.215	0.860	0.864	0.866	0.866	0.864
0.230	0.865	0.869	0.869	0.869	0.872
0.245	0.910	0.915	0.916	0.919	0.922
0.260	1.117	1.132	1.136	1.140	1.144
0.275	1.546	1.566	1.574	1.580	1.584
0.290	1.984	1.994	1.997	1.998	1.998

Table 5 Comparison of C_W ($\delta Z_S=0.006$)

δZ_{FS} \ Fn	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
0.185	x	x	x	x	x
0.200	x	x	x	x	x
0.215	x	x	x	x	x
0.230	1.002	1.005	1.009	1.010	1.011
0.245	1.036	1.043	1.049	1.058	1.062
0.260	1.251	1.260	1.268	1.274	1.279
0.275	1.682	1.690	1.699	1.705	1.709
0.290	2.104	2.103	2.107	2.109	2.109

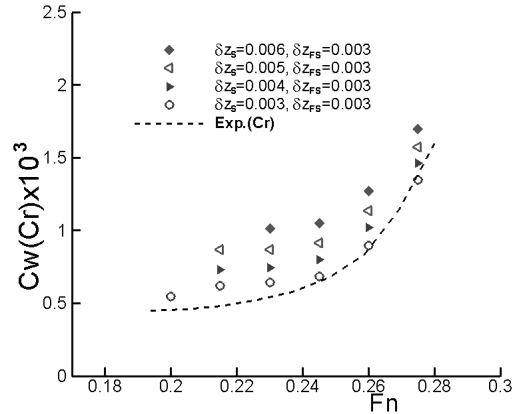


Fig. 8 Comparison of C_W or C_R

Table 2~5는 δZ_S 는 고정하고 δZ_{FS} 를 변화시켰을 경우의 계산결과이다. 표에서 알 수 있는 것과 같이 조파 저항 계수는 δZ_{FS} 보다 δZ_S 의 변화에 민감하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 $\delta Z_{FS}=0.003$ 으로 고정하고 δZ_S 를 변화시켰을 때 조파 저항 계수와 모형 시험에 의한 잉여 저항 계수를 서로 비교한 것이다. 전 선속에 대하여 δZ_S 가 커지면서 일정 비율로 조파 저항 계수가 커지는 것을 알 수 있다.

4.2 가변 자유수면 패널법

가변 자유수면 패널법을 사용할 경우 자유수면 패널은 사용된 선형, 주어진 패널의 개수와 자유수면 영역에 따라 유일한 모양으로 결정된다. 그러므로 이 절에서는 동일한 자유수면 영역에 대하여 자유수면 패널의 개수를 변화시켰을 때 조파 저항 계수의 변화를 알아보려고 한다.

Fig. 9는 수치 해석에 사용된 자유수면 패널들을 나타낸 것으로 Case 1은 x방향으로 120개, y방향으로 12개의 패널(120×12개)을 분포한 경우이고 Case 2는 150×15개, Case 3은 180×18개의 패널을 분포한 경우이다. 선속 변화에 따른 자유수면 패널 영역은 Fig. 7에 나타낸 것과 같다.

Fig. 10은 조파 저항 계수와 모형 시험의 잉여 저항 값(residual resistance coefficient, C_r)을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 패널 수의 변화에도 불구하고 조파 저항 계수의

편차가 심하지 않은 것을 알 수 있으며 모형 시험 값과의 비교에서도 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 모형 시험을 하여 계측한 자유수면에서의 파계와 가변 자유수면 패널법을 사용하여 구한 파계를 비교한 것이다. 계산결과가 전반적으로 모형시험결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 모형 시험, 기존의 방법 그리고 가변 자유수면 패널법을 사용하여 구한 파고를 서로 비교한 것으로 선측에서 $y/L=0.08, 0.1, 0.15$ 만큼

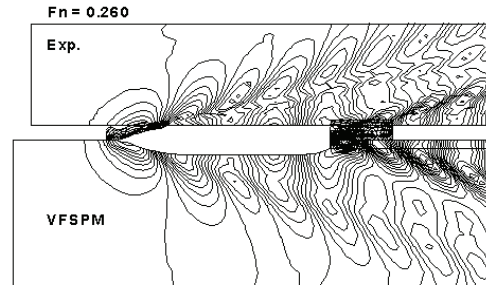


Fig. 11 Comparison of wave patterns

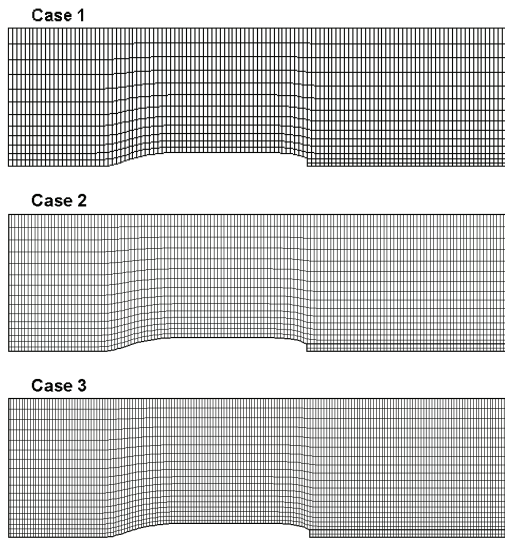


Fig. 9 Free surface panel distributions

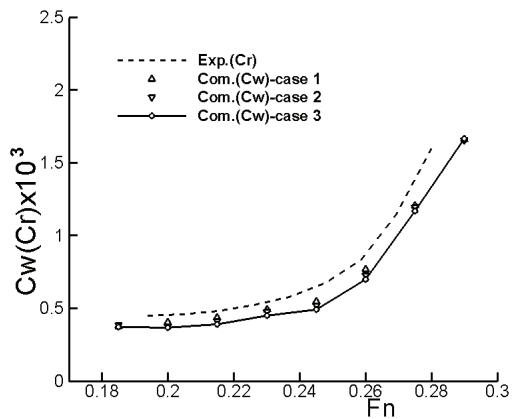


Fig. 10 Comparison of C_W or C_R

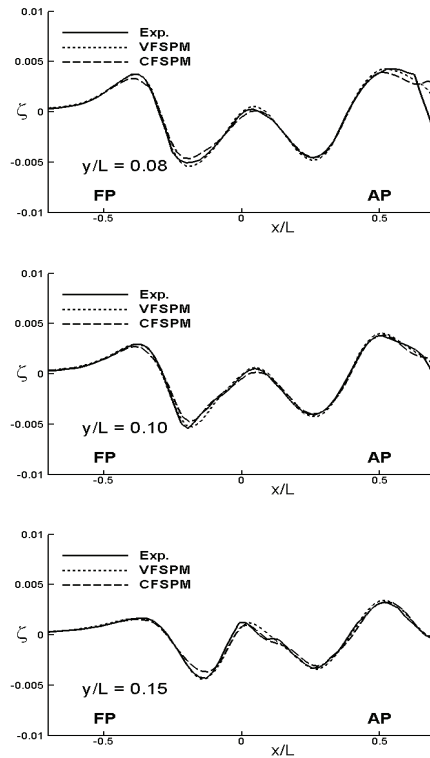


Fig. 12 Comparison of wave cuts

떨어진 곳에서의 파고를 나타내며 $Fn=0.260$ 인 경우이다. 기존의 방법을 사용하여 계산한 파고는 Fig. 8에서 볼 수 있는 것과 같이 조파 저항 계수의 관점에서 모형 시험 값과 가장 가까운 값을 주었던 $\delta Z_S=0.003, \delta Z_{FS}=0.003$ 에 대한 수치 해석 결과이다. 모형 시험에 의하여 계측된 파를 기준으로 기존의 방법과 가변 자유수면 패널법을 사용

하여 계산한 결과를 서로 비교할 때 가변 자유수면 패널법을 사용하였을 때가 모형 시험 결과를 더욱 잘 따라가고 있는 것을 알 수 있는데 이 같은 현상은 특히 선수부에서 더욱 뚜렷하게 나타난다.

5. 결론

본 연구에서는 다양한 형상을 가지는 선박에 대하여 선체 주위 포텐셜 유동 해석을 할 경우 자유수면 경계조건의 비선형성을 효과적으로 만족시킬 수 있는 기법인 가변 자유수면 패널법을 제안하였다. 그리고 실제 선박에 대한 적용 여부를 확인하기 위하여 광범위하게 연구가 진행되었던 선형인 KCS(KRISO Container Ship)에 대하여 수치 해석을 하고, 그 결과를 모형 시험 값과 기존의 방법을 사용하여 계산한 결과를 비교함으로써 가변 자유수면 패널법의 우수성과 실용성을 보이고자 하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 기존의 방법과 가변 자유수면 패널법의 결과를 모형 시험 결과와 비교하였을 때 가변 자유수면 패널법이 모형시험결과를 더욱 잘 예측한다는 것을 알 수 있었다.

2. 기존의 방법에서는 자유 수면과 선체의 형상 변화가 심한 경우 경계조건의 만족점이 선체 내부에 위치하게 되어 해가 발산하게 되는 경우가 있었다. 가변 자유수면 패널법에서는 매 반복계산단계마다 새로이 패널을 생성하므로 경계조건의 만족점도 선체 바깥에 존재하게 되어 수치 해석의 정도도 향상되고 수렴성도 현저하게 향상되었다.

3. 가변 자유수면 패널법을 사용하면 기존의 방법을 사용하였을 때 문제가 되었던 자유수면 패널의 생성 위치에 관계없이 일관적으로 수치 해석을 수행할 수 있으며 자유수면 패널수의 변화에 따른 조파 저항 계수의 편차 또한 작다는 것을 알 수 있었다.

4. 트랜섬 선미를 가진 선박에 대한 수치 해석에서 문제가 되었던 트랜섬 선미의 처리 여부를 수치 해석 과정에서 결정할 수 있어서 정확한 유동 해석이 가능하였다.

이상의 결과를 근거로 하여 본 연구에서 개발한 가변 자유수면 패널법이 비선형 자유수면 경계조건을 고려한 선체 주위 유동 계산에 유용하게 적용될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

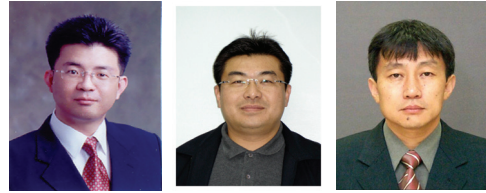
후 기

본 연구는 산업자원부 국가연구개발사업(PN0105A)과제의 일부로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- Choi, H.J., Kim, J., Van, S.H., Park, I.R. and Kim, K.S., 2006, "Panel Cutting Method a New Approach in Hull Surface Panel Generation," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 6, pp. 638-646.
- Choi, H.J., Kim, M.C., Chun, H.H., 2005, "Development of an Optimal Hull Form with Minimum Resistance in Still Water," SOTECH, Vol. 9, No. 3, pp. 1-13.
- Dawson, C.W., 1977, "A Practical Computer Method for Solving Ship Wave Problems," Second International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, pp. 30-38, University of California, Berkeley, USA.
- Kim, D.H., Kim, W.J. and Van, S.H., 2000a, "Analysis of the Nonlinear Wave-Making Problem of Practical Hull Forms Using Panel Method," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 4, pp. 1-10.
- Kim, D.H., Kim, W.J. and Van, S.H., 2000b, "Experimental Investigation of Local Flow around KRISO 3600TEU Container Ship Model in Towing Tank," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 3, pp. 1-10.
- Kim, D.H., Kim, W.J. and Van, S.H., 2001, "Validation of Transom Modeling of Potential Flow Analysis Program in WAVIS," Journal of Ships & Ocean Engineering, Vol. 31, pp. 105-110.

- Kim, K.J., 1989, Ship Flow Calculations and Resistance Minimization, Ph.D. Thesis, Chalmers University, Gothenburg, Sweden.
- Lu, K. and Goddard, S., 2004, "GRASS-based High Performance Spatial Interpolation Component of Spatial Decision Support Systems," Proceedings of the FOSS/GRASS Users Conference – Bangkok, Thailand.
- Ni, S.Y., 1987, Higher Order Panel Methods for Potential Flows with Linear or Non-Linear Free Surface Boundary Conditions, Ph.D. Thesis, Chalmers University, Gothenburg, Sweden.
- Xia, F., 1986, Numerical Calculation of Ship Flows with Special Emphasis on the Free Surface Potential Flow, Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.



< 최희종 > < 김진 > < 반석호 >



< 박일룡 > < 김광수 >