

CFD 연구 및 초고속선 선형개발



곽 승 현*

1. CFD 연구배경

전산유체역학의 기술이 발전함에 따라서 복잡한 유동을 어느정도 신빙성 있게 예측할수 있게 되었고, 실제로 다양한 공학분야에서 제품의 개발과 설계에 적용되고 있는 실정이다. 최근에는 선박개발과 관련된 분야에서 연구가 수행되었고, 부분적으로 선형개발 과정에서 응용되고 있다. 선체주위의 유동은 잘 알려져 있는 바와 같이 외부 비점성유동, 3차원 경계층유동, 3차원 난류유동으로 설명되는 복잡한 현상이다. 점성의 영향은 선체주위의 전 유동공간에서 있게 마련이지만, 특히 선체표면 주위의 경계층 후류에서 중요한 역할을 하게 된다. 점성유동은 선체의 점성저항에 직접적으로 영향을 미치고, 근접한 후류에서 점성유동장은 프로펠러의 설계와 성능에 많은 영향을 끼친다. 이와같이 점성의 중요성에도 불구하고, 조파저항의 연구와 관련된 비점성 유동의 연구가 20세기 거의 전 기간을 통해서 이루어진 것과는 대

조적으로, 점성연구의 연구역사는 불과 과거 20여년에 불과하다고 하겠다. 이는 Navier Stokes 방정식 또는 이의 개략화된 방정식을 수치해석하기 위해서는 강력한 전자계산기가 출현하여 3차원 경계층 방정식을 수치해석할수 있기까지 기다려야 했었다. 1970년대는 선체주위의 3차원 난류 경계층을 해석하기 위한 여러 가지 방법이 제안되었고, 1980년에서야 이러한 결과들을 정리해 볼수 있었다. 이를 위해서 SSPA-ITTC Workshop이 조직되었고, 1980년 6월 Gothenburg에서 개최되었다. 주최측에서는 2개의 선형이 제시되었고, 세계에서 17개 그룹에서 계산결과를 제시하여 서로 비교하였다. 제시된 많은 방법들이 선체의 앞부분에서 발달되는 얇은 경계층은 잘 예측하여 설계목적으로 사용할 수 있었으나, 선미근처와 후류에서의 유동은 합리적으로 예측하는데 실패하였다. 따라서 3차원 경계층의 예측은 이후 간접적으로 선형설계에 제한된 범위내에서 활용되었으나 직접적인 기여도는 적었다. 이후 1980년대에

* 한라공과대학교 조선공학과, 부교수

는 많은 연구자들이 점성유동에 관한 연구에 박차를 가했고, 3차원 얇은 경계층의 연구에서 선미근처와 후류유동에 관심을 두었고 많은 연구결과가 보고 되었다. 좀더 일반적인 점성유동의 해석을 위해서는 대표적으로 Reynolds Averaged Navier-Stokes(RANS)를 해석해야만 한다. 1980년대 말은 이와 관련된 연구를 종합할 적절한 시기라고 판단되었고, 이를 위해서 2차 워크샵이 SSPA Maritime Consulting AB, CTH(Chalmers University of Technology), IIHR(Iowa Institute of Hydraulic Research) 공동주최로 개최되었다. 3차 워크샵은 1994년 일본의 선박기술연구소가 주관하였다. 자유수면을 포함한 상태에서 선체주위의 점성유동 및 프로펠러 주위의 속도분포 계산을 수행하는 것으로 각 참가자들의 계산결과가 실험값과 비교되었다. 대상선형은 HSVA Tanker 선형과 Dyne (Mystery) 선형이었다. 결과는 선미에서 반류분포가 난류모형의 형태에 따라 재연이 서로 다를 보였다. 이것은 점성계수 형성의 크기에 영향이 있기 때문에 난류모델에 관한 연구가 요구되었다. 자유표면을 포함한 선체주위의 유동계산에 있어서는 Series 60 선형이 비점성 및 점성류에 대하여 2개의 프루드수에 대해 연구를 수행하였다. 점성류로 계산된 결과와 실험치를 비교하면 수치계산 결과의 정도가 낮은 상태이고 고속에서는 선체주위의 파형은 잘 계산되고 있으나 멀어질수록 감쇄됨을 알수 있었다. 조파저항은 어느정도 실험값에 근접하고 있으나 파형에 있어서는 격자계, 자유표면 경계조건, 선체표면조건등 집중적인 연구가 요구되었다. 비점성류에 대해서는 랜킨소스법으로 계산되었으며 파형에 있어서는 점성류의 계산결과보다 더 잘 맞고 있다. 이상의 워크샵에서의 결과를 종합하면, 그간 선미와 후류의 유동계산에 상당한 발전이 있음을 알 수 있다. 그중 몇가지 방법은 프로펠러 평면에서 속도 등고선의 위치와 형상을 잘 예측하였다. 그러나 아직도 후류 중심에서의 유동은 잘 예측하지 못하고 있다. 빌지 볼텍스의 크기는 매우 작으나, 선미에서의 유동에 큰 영향을 미치고, 이러한 유동현상을 계산

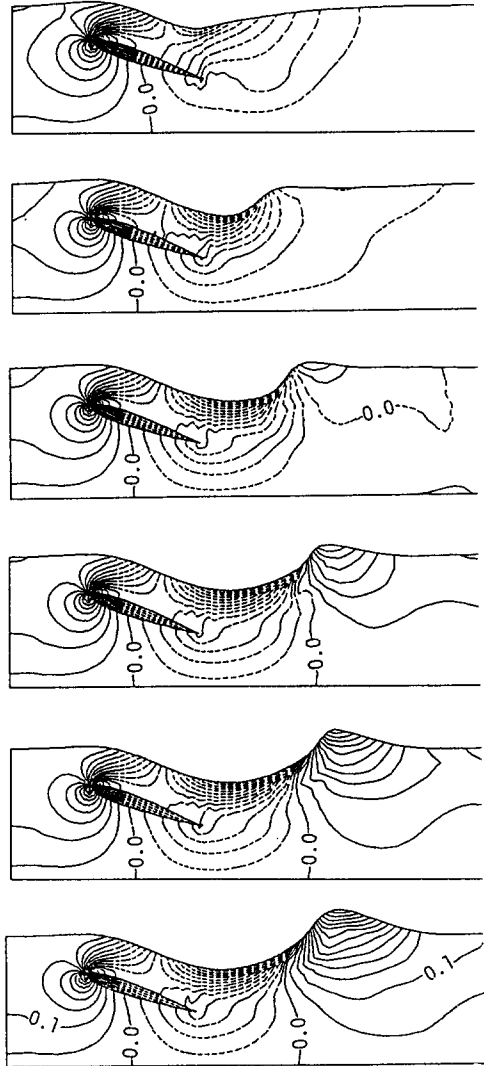


그림 1 자유표면하 초고속선 수중의 계산 (압력분포 및 자유표면 파고생성)

에 의해서 합리적으로 예측하지 못하고 있다. 최근의 선박분야에서는 선박의 초고속화와 대형화를 위한 노력이 고조되고 있다. 쌍동선, 수중익선, 공기부양선 등 소형의 초고속선들을 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 건조·개발하고 있으며, 또한 대형화를 위하여 복합지지형으로 선형변화를 유도하고 있다. 이러한 초고속선의 선형

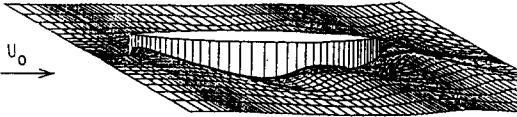


그림 2.1 자유표면 유동장 파괴형성
(S103 Ship, Baldwin Lomax 난류모델)

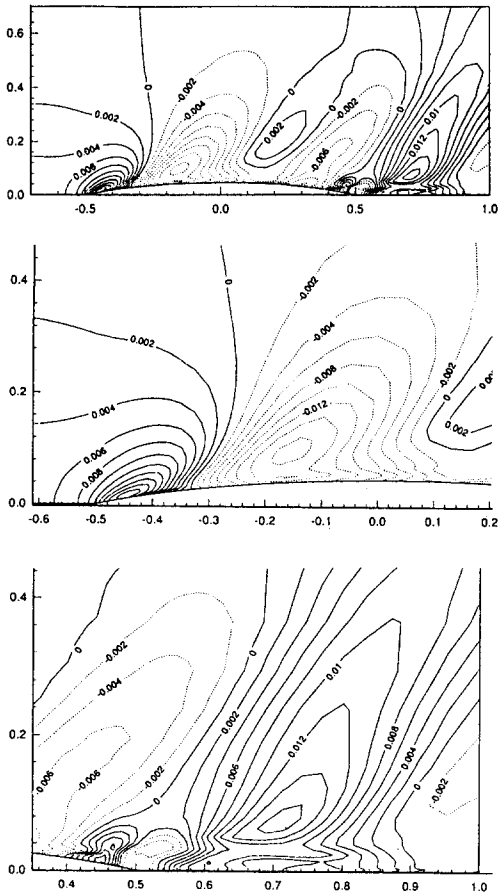


그림 2.2 자유표면 유동장 파괴계산
(선수미, 선수, 선미파고 분포도)

개발에 있어서 핵심이 되는 요소 기술로는 저항 및 추진 성능의 추정, 새로운 선형의 설계, 내항 성능 해석과 선체운항자세 제어기술 등을 들 수 있다. 이와같이 선박의 유체역학적 특성의 해석 방법은 크게 나누어 이론적, 실험적 및 수치해석

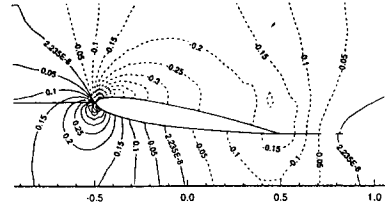
적 방법을 들 수 있다. 이중에 이론적 방법은 초고속선의 단순하지 않은 선형특성 및 비선형성이 강한 조파현상 등으로 적용성에 한계가 있으며, 두번째의 실험방법은 모형선제작 및 실험기법의 난이성과 선형의 복잡성에 따른 축척효과로 실선 성능의 추정에 어려움이 있어 그리 수월한 편은 아니다. 한편 수치해석적 방법으로서의 CFD (Computational Fluid Dynamics)는 급속한 전산기 성능의 발달과 더불어 많은 발전을 거듭하고 있으며, 특히 선박분야에 서도 일반선형에 대한 선체주위의 유동장 해석 및 성능추정, 초기설계에의 응용에서 그 활용성이 입증되고 있다. 따라서, 초고속선에 대하여도 CFD의 대표적 장점이라 할 수 있는 실선에 대한 수치실험이 짧은 시간에 저가의 경비로 가능하다는 것과 그 결과가 모형선 실험결과보다 상세하고 충실한 정보의 확보기능을 감안한다면 앞으로 초기 고속선 선형개발 단계에서의 CFD의 적용을 기대해 볼만 할 것이다.

2. 초고속선의 기술개발 현황

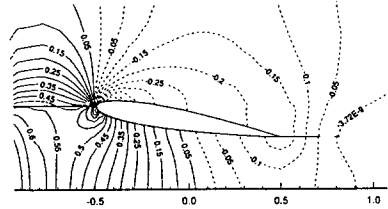
초고속선의 요구성능은 크게 대형화, 고속성, 경제성, 내항성 및 승선감으로 나누는데, 소형선에서 대형선까지 일반적으로 많이 이용되고 있는 선형은 배의 중량을 부력으로 지지하는 배수량형 단동선이지만, 고속으로 항주할 때에는 조파저항이 급격히 증가할 뿐만 아니라 파도의 영향으로 선체가 심한 롤링 및 피칭을 하게 된다. 따라서 배수량형 선박로서는 고속화 및 쾌적화를 동시에 만족시키는 것은 곤란하다. 그러므로 고속으로 항주시 우수한 저항성능과 내항성능을 얻기 위해서는 선체의 배수용적 대부분을 수면으로부터 부양시키거나 또는 깊이 잠수시켜 고속선의 저항성분 중 대부분을 차지하는 수면교란에 의한 조파저항을 감소시키고 선체에 작용하는 파랑외력을 적게 하는 것이 필요하다. 공기부양선(air support vehicle)은 추진장치와는 별도로 부양기관 및 부양팬에 의하여 발생된 공기압력으로 선체를 수면위로 부상시켜 운항하는 선형으로 선수

미 및 좌우현 모두 skirt로 된 Air Cushion Vehicle(ACV)과 고정선체로 된 표면효과선(SES)이 있다. ACV는 수면위로 부상시켜 항주하는 수륙양용의 임무를 수행하는 초고속선으로서 경량화하는 것이 고속화의 요점이다. 따라서 대부분의 ACV에서는 알루미늄 구조재의 사용과 gas turbine 기관의 채용으로 경량화 노력이 행하여졌다. SES는 종래의 ACV에 seal을 부착하고 양현은 물에 잠기는 고정선체로 대신한 선형으로 ACV형으로는 수륙양용 목적에 적합하지만 air screw에 의한 추진력 제한 때문에 대형선의 개발이 어렵고 연료소모율이 높으며 조종성능 및 내항성능이 저하되므로 SES는 수상전시용으로서 이의 결점을 제거한 선형이다.

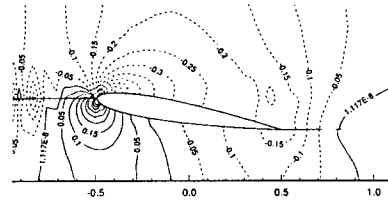
수중익 쌍동선은 쌍동선체 하부에 수중익을 부착하여 고속에서 얻어지는 양력으로 선체를 부상시켜 항주하는 선형으로 물수수중익에 의한 동적 양력과 쌍동선체에 의한 부력으로 선체중량을 지지한다. 수중익은 선수부에는 각 선체밑에 전물수형으로 부착하고 선미부에는 양선체간을 연결하는 전물수형으로 하며 전후수중익은 모두 자동제어되는 flap을 가지고 있다. 이 선형은 조파저항을 감소시킬수 있으며 해수면과의 접촉이 적으므로 내항성능이 우수하고 파랑중 선속저하가 적은 잇점이 있으나 선체를 부양시키기 위한 초기 소요 동력이 많이 요구되고 수중익과 자동제어 장치에 따른 건조비가 증가되는 단점이 있다. SWATH (Small Waterplane Area Twin Hull)의 선체를 지지하는 원리는 보통 쌍동선과 같이 정적부력에 의한 것으로서 수면하에 안정 fin을 갖는 2개의 원통형 쌍동선체로서 부력을 유지하고 strut으로 상부 갑판부 선체와 연결한 것이다. 이 SWATH의 특징은 파랑중에 동요가 적고 선속저하가 적으며 고속 항주시 조파저항이 적으므로 여객선 및 해양조사선으로 우수하나 저항이 크고 예비부력이 적으며 탑재물의 변화에 따른 흘수변화 및 중경사가 크게 된다. 표면효과익선(WIG)은 지면 또는 해면을 비행할 때 양력이 증가하는 지면효과를 이용하여 많은 화물을 작은 동력으로 운반가능한 항공기와 선박의 중간 형태



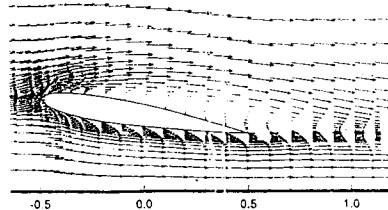
(a): w/o PAR,



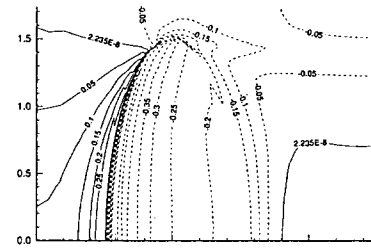
(b): with PAR1



(c): with PAR2,



(d): 속도분포



(e): 날개면 압력분포

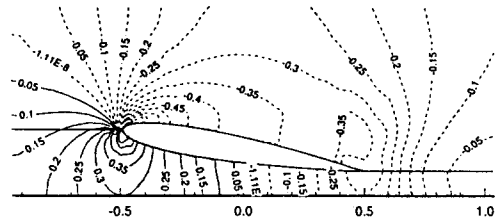
그림 3 초고속선 WIG 계산결과(h/c=0.3)

를 위한 운송수단으로 수륙양용이 가능 하지만 주로 해상에서 운항되므로 일반적으로 항공기보다는 선박으로 분류되고 있다. WIG는 전진할 때 RAM 효과에 의해 날개의 밑면이 air cushion 상태가 되도록 설계되었으며 일단 부상하게 되면 가속이 용이하다. 소형 WIG에서는 추진기의 추력을 날개 밑으로 불어 넣어 RAM 효과를 더욱 크게 하는 PAR(Power Augmented Ram) 방식을 활용해 운항한다.

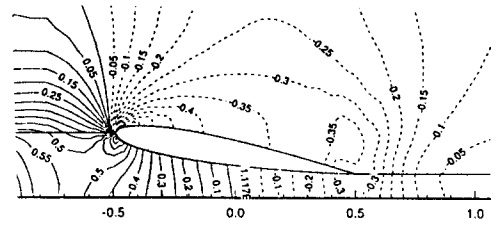
앞으로 개발될 초고속선형은 보다 복잡하고 속도도 빠르게 됨에 따라 기존의 이론적, 실험적 연구분야만으로는 선형설계의 활용에 있어 그리 효과적이지 못할 것이다. 초고속선 관련 핵심기술을 요약하면 초고속선 선형설계기술, 선체구조설계 및 방진설계기술, 추진전달 시스템 기술, 선체 자세제어 시스템 기술 등이다.

3. CFD 기술 및 초고속선 선형개발

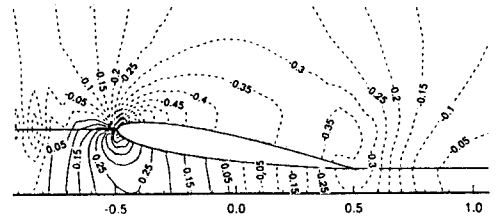
최근 초고속선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것과 함께 유한차분법을 고속선 주위에 적용하여 보려고 하는 연구가 수행되고 있고, 활주형선에 대한 계산결과들을 보면 선체주위 쇄파 및 선수 스프레이 등은 재연이 어렵지만 저항추정 및 파형은 좋은 결과를 보여주고 있다. CFD를 통한 계산은 수학적 모델에 따른 지배방정식과 격자계를 사용해야 하는 한계성은 가지고 있으나 짧은 시간에 필요로 하는 결과의 습득, 실선적용 가능성, 저렴한 경비 및 계산된 유동장에 있어서 상세한 정보제공을 들수 있다. 고속이기 때문에 레이놀드수가 커져서 N-S 방정식의 확산항이 무시될 수 있고 Euler 방정식의 해도 고려될 수 있으나, 자유수면의 강한 비선형성은 자유수면조건 및 이 부근에서의 난류모델 등에 세심한 검토가 있어야 한다. CFD의 세부요소로는 지배방정식의 각항에 대한 수치해법, 격자문제, 난류모델, 자유표면 조건의 처리 등을 들 수 있다. 선박수치 유체역학 분야에서 지배방정식인 N-S 방정식을 푸는데 있어서 경계적분법, 유한요소법, 유한차분법 등이 이용되어져 왔으나 초고속



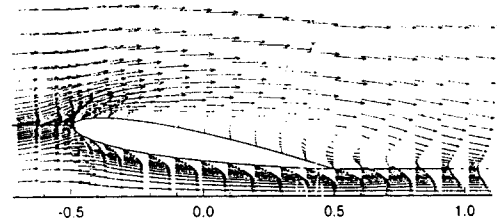
(a):w/o PAR



(b):with PAR1



(c):with PAR2



(d):속도분포

그림 4 초고속선 WIG 계산결과($h/c=0.1$)

선에서는 적용성이 가장 넓은 유한차분법이 경계적분법이나 유한요소법보다도 활용도가 높다. 그러므로 물체적합 좌표계에 비하여 정도가 떨어지고 전산프로그램이 복잡하지만 초고속선의 경우 레이놀드수가 큰 관계로 선체표면에서 경계층이 매우 얇고 선체표면 가까이에서의 부분적 유동보

다는 보다 넓은 부분에서의 유동정보가 필요하기 때문에 직사각형 격자계의 사용으로도 선형설계의 초기단계에 충분히 활용할 수 있는 계산결과를 얻을 수 있다. CFD에 의한 초고속선 주위의 유동해석은 초고속선의 각종 유체역학적 특성의 추정이 가능하며 선체부가물의 상호간섭효과도 시뮬레이션이 가능하다.

초고속선은 선속, 재화중량등의 설계요구조건과 해상상태, 항구조건 등의 제한조건이 종래의 고속선과는 상이하기 때문에 지금까지의 조선기술로는 해결이 쉽지 않으며 기존기술에 타 산업의 첨단기술이 접목되어야 한다. 즉, 최소저항 선형개발을 위한 조선기술 이외에도 운항자세 제어를 위한 제어기술, 고강도 신재료를 위한 소재기술 및 경량화와 고속추진을 위한 항공기술 등 분야별 첨단기술을 효과적으로 활용함으로써 목표를 달성할 수 있으며, 이를 위해 초고속선 관련 기반기술 및 설계분야별 핵심기술을 확보하는 것이 시급한 과제이다. 초고속선의 개발추세는 초고속화, 대형화, 우수한 내항성능, 고급내장재의 사용, 저진동 및 저소음을 갖춘 고급선박을 요구하고 있다. 이러한 관점에서 현재까지 35노

트 이상의 300~400인승급으로 다양한 선형이 개발되어 있으나, 운항속도 30~40노트에서는 쌍동선, 45노트 이상의 초고속 영역에서는 SES가 주를 이룰 것으로 예상된다. 쌍동선은 타 고속선에 비하여 시스템이 단순하고 유지비가 저렴하며 소음과 진동이 적어 고속여객선에 적합한 선형이나, 속도의 한계점과 황천시 운동성능이 저하되는 결점이 있다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 전물형 수중익 부착 쌍동선이 개발되었으나 높은 선가로 인해 아직까지 선사에 큰 관심을 끌지 못하고 있다. SES는 쌍동성에 비해 건조비와 유지비가 높지만 45노트 이상의 초고속을 발휘할 수 있으며, 자세제어 장비설치로 항해시 승선감을 향상시켜 초고속선으로 유망한 선형이다. 고속성 및 쾌속성으로 인하여 초고속 카페리의 건조가 최근 증가되어 왔으며 배의 크기도 점차 대형화되어 갈 전망이다. 그러나 고속성, 적재성, 내항성등을 모두 만족시키기 위하여 부력, 양력, 공기압력의 3가지 선체중량 지지력을 적절하게 활용하여 경량형 고풍력 가스터빈 추진체계와 선체 자세를 적절하게 컨트롤하는 자세제어 시스템을 갖춘 새로운 개념의 복합지지 선형이 출현할 것으로 예상된다. 한편 지면효과를 이용하여 동일한 출력으로 훨씬 무거운 중량물을 운반하는 것이 가능한 높은 운송효율을 가진 선박과 비행기의 중간형태를 갖춘 WIG선에 대한 연구 개발도 활발히 전개될 것으로 예상된다.

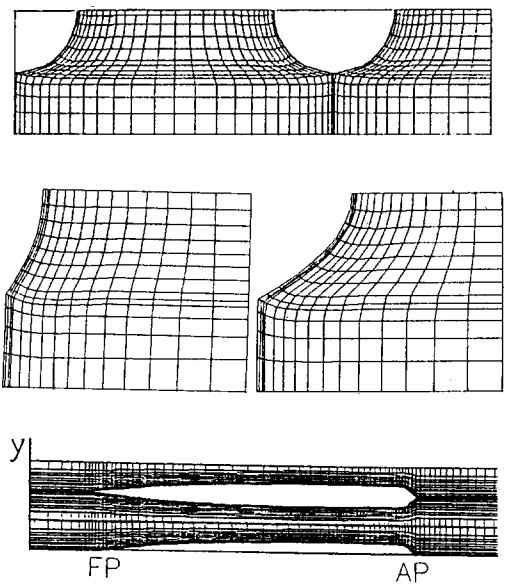


그림 5 고속쌍동선(Catamaran)의 계산격자

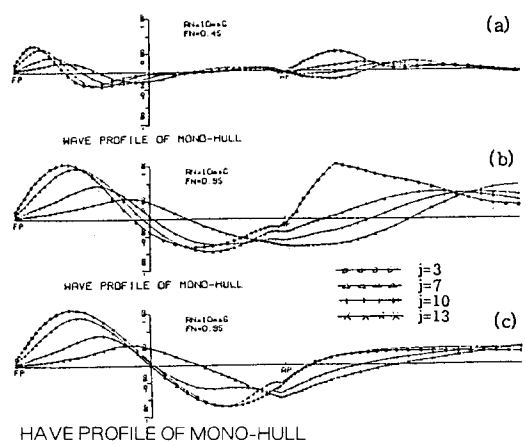


그림 6 고속쌍동선(Catamaran)의 파고계산

4. 결 론

CFD 연구를 초고속선 선형개발에 활용한다면 선체주위의 유동장 계산결과로부터 압력 및 속도, 자유표면 파고분포등 초고속선의 설계 및 기본계획 단계에서 필요한 저항 및 추진성능 자료를 얻을 수 있다. 이러한 기능을 더욱 개선 발전시키면 선형개발에 더 많은 적용이 예상된다. 또한 항주 시간에 따른 초고속선의 운동특성을 고려할 수 있게 된다면 앞으로 항주자세제어 및 내항성능과 승선감의 추정도 CFD 연구를 통해서 가능하리라 믿는다. 이제 국내조선소를 중심으로, 21세기에 도래할 것으로 예측되는 고속 해상수송 수단에 대한 수요에 대응하고 조선기술의 우위확보를 위해 고부가가치, 고성능이 요구되는 초고속선 기술개발에 연구를 집중해야겠다.

참 고 문 헌

1. Y. Kodama, "Recent Progress and future trends in CFD for ship flows-What has the CFD workshop Tokyo 1994 brought us?", Korea-Japan Joint Workshop on CWC, 1994
2. H. Miyata, S. Nishimura, and A. Masuko, "Finite difference simulation of nonlinear waves generated by ships of arbitrary three dimensional configuration", J. of Comput. Phys., Vol. 60, No. 3, pp. 391-436, 1985
3. T. Hino, N. Hirata, and T. Hori, "Calculation of free surface flows generated by planing crafts", Proc. of FAST '91, Norway, 1991
4. Y.G.Lee, S.G.Jeong, S.H.Lee, and S.W. Hong, "Numerical simulation on flow analysis on flow fields around a high speed planing ship", Proc. of workshop on wave resistance and viscous flow, Univ. of Tokyo, 1994
5. Y. G. Lee and H. Miyata, "Finite difference simulation method for 2-D flow about bodies of arbitrary configuration", Jour. of Soc. of Nav. Arch. of Japan, Vol. 167, pp. 1-8, 1990
6. M. Shin and K. Mori, "Numerical computation of 2-Dimensional waves behind a hydrofoil", Jour. of Soc. of Nav. Arch. of Japan, Vol.163, pp. 17-22, 1988
7. S.H.Kwag, "Numerical study on 3 dimensional power augmented ram wing in ground effect", Int. Conf. of ISOPE'97, pp. 701-708, USA, 1997
8. S.H.Kwag and D.J.Kim, "Numerical simulation of stern waves past planing plate", Int. Conf. of MARIND'96, PP.151-166, Bulgaria, 1996
9. S.H.Kwag and K.S.Min, "A study on the free surface viscous flows and wave submerging phenomenon", Int Conf. of ICHD '94, pp. 443 -449, China, 1994
10. S.H.Kwag and K.S.Min, "Computation of free surface flows around 3-D hydrofoil and wigley ship by N-S solver", 6th Int Conf. on Num. Ship Hydro., pp. 171-288, USA, 1993
11. K.Mori, S.H.Kwag, and Y.Doi, "Numerical simulation of ship waves and some discussions on bow wave breaking and viscous interaction of stern wave", 18th ONR symp. on Naval Hydro., pp. 191-206, USA, 1991
12. Y.G.Lee, H.Miyata, and H.Kajitani, "Some application of TUMMAC method to 3-D water wave problem", Jour. of Soc. of Nav. Arch. of Korea, Vol. 25, No. 4, 1988

