

# 초고속선의 선형개발과 CFD

이영길 <인하대학교 교수>

## 1. 서 언

인류사회의 생활수준향상과 급속한 경제발전속도는 보다 신속한 여객과 화물운송을 필요로 하고 있다. 이에 대응하는 능력에 있어, 육로운송과 항공운송이 해상운송에 비하여 우위를 차지하여 왔으나, 이들 각각의 단점과 대량운송의 필요성 대두로 인하여 앞으로의 운송수단으로 점차 해상운송에 많은 기대를 걸고 있는 추세이다. 그러므로, 최근의 선박분야에서는 선박의 초고속화와 대형화를 위한 노력이 한층 고조되고 있다. 즉, 쌍동선, 수중익선, 공기부양선 등 소형의 초고속선들을 우리나라를 비롯한 세계 각국에서 건조 및 개발하고 있으며, 또한 대형화를 위하여 복합지지형으로 선형변화를 유도하고 있다. 이러한 초고속선의 선형개발에 있어서 핵심이 되는 요소기술로는 저항 및 추진능력의 추정, 새로운 선형의 설계, 내항성능 해석과 선체 운항자세 제어기술등을 들 수 있다. 이와 같은 선박의 유체역학적 특성의 해석방법으로는 크게 나누어 이론적 방법, 실험적 방법 및 수치해석적 방법을 들 수 있다. 이 중에 이론적 방법은 초고속선의 단순하지 않은 선형특성 및 비선형성이 강한 조파현상등으로 적용성에 한계가 있으며, 두번째의 실험적 방법에 있어서는 모형선 제작 및 실험기법의 난이성과 선형의 복잡성에 따른 축척효과로 실선성능에로의 추정에 어려움이 있어 그리 수월한 편이 아니다. 한편, 수치해석적 방법으로서의 CFD(Computational Fluid Dynamics)는 급속한 전산기성능의 발달과 더불어 많은 발전을 거듭하고 있으며, 특히 선박분야에 있어서도 일반선형에 대한 주위의 유동장해석 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 상

세하고 충실한 정보의 확보가능등을 감안한다면, 앞으로 초기 초고속선 선형개발단계에서 CFD의 적용을 기대해 볼만 할 것이다. 이러한 관점에서부터, 본고에서는 초고속선의 선형개발에 있어서 CFD의 활용성에 관하여 고찰해 보고자 한다.

## 2. 초고속선 선형개발의 동향

일반적으로 선박의 고속화에 따른 배의 종류로는, 고속 활주형 단동선, 쌍동선, 수중익선 및 공기부양선등을 들 수 있다. 그런데, 보통 40knots 이상으로 항주하는 초고속선의 경우, 선박의 속도 증가와 더불어 내항성, 안정된 운항자세, 경제성등에 있어서 성능향상을 요구받고 있으며, 게다가 최근에는 대형화까지 요구되고 있는 추세이다. 따라서, 위에서 언급한 배의 종류중에 고속 활주형 단동선은 이러한 요구에 부응할 수가 없으므로 그 밖의 선종들을 대상으로 초고속선 개발이 진행되고 있다. 고속 쌍동선은 대개 30-40knots정도의 속도를 가지며 일반적인 쌍동선 형태로, 파랑중 동요방지와 조파저항 감소를 목적으로 하는 SWATH, 초고속카페리가 목적인 초세장형 쌍동선 SSTH등의 선형이 있다. 이들 선형들은 선체 안정을 위하여 fin, strut등을 부가물로 가진다. 그러나, SWATH는 유체 및 구조상의 결점을 가지고 있으며, SSTH는 아직 실적선은 없는 상태이다. 초고속 수중익선으로는 쌍동선이 일반적으로, Flap이 부착된 전물수 수중익이 내는 동적양력이 선체중량의 약 80%정도를 담당하게 된다. 이 선형은 양력을 얻기 위한 수중익의 설계와 위치선정, 선체 및 수중익간의 상호간섭효과 해석등을 중요한 요소기술로 요구하며, 수중익의 중량문제로 대형화는 좀 어려운 형편이다. 공기부양선에는 ACV(Air Cushion Vehicle)와 표면효과선(SES, Surface Effect Ship)이 있다. 표면효과선은 ACV의 추진력, 내항 및 조종

성능, 경제성등에 있어서의 결점을 보완한 것으로, 세계 여러나라에서 초고속용 선박으로 개발, 건조하고 있다. 특히, 표면효과는 쿨슨룸내의 공기압력조절로 선체자세 제어기능이 발달함에 따라 내항성, 승선감등이 좋은 관계로, 최근 초고속선의 주종을 이루고 있다. 한편, 점차 초고속 화물선분야에서 대형화가 요구됨에 따라 선박의 중량을 지지하는 부력, 양력 및 공기의 동적압력을 최적으로 조화시킨 복합지형의 새로운 형식을 갖춘 초고속선형이 개발, 연구중에 있다. 이들의 예로는, 일본서 개발중인 양력식 복합지지선 TSL( Techno-Super Liner )-F와 공기압력식 복합지지선 TSL-A, 유럽의 EUROFAST, 호주의 WPC등을 들 수 있으며, 국내에서도 KRISO 및 각 조선소에서 개발을 추진중에 있다. 앞으로 30-40knots 근방의 고속선으로는 쌍동선선형이 효과적일 것으로 보이며, 45knots이상의 초고속선에 있어서는 SES가 광범위하게 개발될 것으로 보인다. 그 이상의 속도범위에 있어서는 지면이나 자유수면 가까이 항주하는 날개의 RAM효과를 응용한 WIG선이 보다 활발히 개발될 것으로 보인다.

앞으로 개발될 초고속선형은 보다 복잡하고 속도도 빠르게 됨에 따라, 기존의 이론적, 실험적 연구분야만으로는 선형설계에의 활용에 있어 그리 효과적이 되지 못할 것이다. 초고속선 선형개발을 위한 핵심기술로는 초고속선의 최소화 및 추진을 위한 조선기술, 대형화를 위한 복합지형 선형설계 기술, 내항성능 해석기술 및 선체 운항자세 제어기술등을 들 수 있다. 이러한 몇가지 핵심기술에 있어서 이론적, 실험적 연구분야보다는 CFD분야가 앞에서 언급한 몇가지 장점들로 인하여 보다 효과적으로 선형의 초기설계단계에 응용되어 질 수 있을 것이다.

### 3. CFD 현황

최근 전산기의 급속한 발달은 공학의 여러분야에 있어서 CFD의 역할을 더 한층 부각시키고 있다. 선박분야에 있어서도 1980년대 중반부터 활용성이 점차 고조되고 있는 실정이다. 일반선박의 선형설계분야에 있어서, 선수부분에서의 조파현상 시뮬레이션은 임의 선박에 있어서 선수부분 조파특성, 조파저항 추정 및 선수 선형설계에 응용되고 있으며, 선미부분에서의 반류특성 계산은 선미 추진기위치에서의 속도분포와 추진계수 추정에 활용되어지고 있다. 그러나, 아직 여러분야의 CFD에 의한 계산결과에 있어서 정량적인 정도확인이 좀 미흡한 부분이 남아

다. 또한, 이러한 계산의 정도확인과 함께 계속 연구, 발전되어야 할 CFD분야의 세부요소로는 지배방정식의 각 항에 대한 수치해법, 난류모델, 자유표면조건 처리, 격자계문제등을 들 수 있다. 선박 수치유체역학분야에서 지배방정식인 N-S( Navier-Stokes )방정식을 품에 있어서 경계적분법, 유한요소법, 유한차분법등이 이용되어져 왔다. 경계적분법은 포텐셜 이론을 근간으로 선박 유체 및 선형설계에 있어서 오랜동안 중요한 역할을 담당하여 왔으며, 유한요소법은 그리 많지는 않으나 자유수면문제에 몇몇 적용된 예를 가지고 있다. 한편, 가장 원초적이면서도 적용범위가 넓은 유한차분법은 계산량이 많은 관계로 근래 약 15년간의 급속한 전산기의 발달과 함께 이용도가 급상승하고 있다. 유한차분법에 있어서, N-S방정식의 대류항 처리문제, 선체주위 유동장에 적절한 난류모델의 선택, 비선형 조파현상에 대응한 자유수면 처리기법, 선형 및 주요 연산조직에 적합한 격자계의 작성등이 더욱 연구되어야 할 과제로 남아 있으나, 적용범위가 넓은 관계로 선박 및 해양의 여러 유체역학적인 문제에 적용되고 있고, 부분적 요소연구도 계속해서 진행되고 있다. 그러나, 열심히 풀고 있는 지배방정식이 앞으로 실제 유동현상에 얼마만큼 근접할 수 있으며, 또한 편미분 방정식의 차분화에 따른 유동장의 격자계형성이 구하고자 하는 해에 주는 영향이 어느정도 줄어들 수 있을 것인가가 속제로 남아 있다.

앞에서 본 바와 같이, CFD분야에 아직 해결해야 할 문제가 많지만, 이것은 앞으로 이론적 및 실험적 연구가 병행되면서 상호 보완해 나가야 할 것으로 본다. 현재, 유한차분법은 선박해양분야에 널리 활용되고 있으며, 선박분야의 초고속선형개발에도 그 활용도가 높아가고 있다.

### 4. 초고속선과 CFD

초고속선 성능추정 및 선형설계에 있어서, CFD는 그 장점들을 활용한다면 보다 효과적으로 사용되어 질 수 있을 것이다. 즉, 앞서서도 언급한 바와 같이, CFD의 장점으로는 수학적 모델에 따른 지배방정식과 격자계를 사용해야 하는 한계성은 가지고 있으나, 실선적용 가능성, 짧은 시간에 필요로 하는 결과의 습득이 가능, 저렴한 경비 및 계산된 유동장에 있어서 상세한 정보제공등을 들 수 있겠다. 고속인 관계로 Reynolds수가 크기 때문에 N-S방정식의 확산항이 무시될 수 있을 만큼 작게 되어 Euler방정식의

해도 고려될 수 있으나, 자유수면의 비선형성이 강한 변화는 자유수면조건 및 이 부근에서의 난류모델등 세심한 검토가 있어야 한다. 필요에 따라서는 2층류 해석도 필요하게 될 것이다.

초고속선에는, 앞장에서 설명한 바와 같이, 적용성이 가장 넓은 유한차분법이 경제적분법이나 유한요소법보다 활용도가 높다. 그러나, 유한차분법에 있어서 사용되는 격자계중 물체적합격자계는 복잡한 초고속선의 선형구조, 비선형성이 강한 조파현상들로 사용에 한계가 있게 된다. 그러므로, 물체적합격자계에 비하여 정도가 좀 떨어지고 전산프로그램의 vector화가 어려워 복잡해 지기는 하나, 직사각형격자계를 활용하면 이러한 문제는 해소될 수 있다. 초고속선의 경우, Reynolds수가 큰 관계로 선체표면에서의 경계층이 매우 얇고 선체표면 가까이에서의 부분적 유동특성보다는 보다 넓은 부분에서의 유동정보가 필요함에 따라, 직사각형격자계의 사용으로도 선형설계의 초기단계에 충분히 활용될 수 있는 계산결과를 얻을 수 있을 것이다.

CFD에 의한 초고속선 주위의 유동해석은 초고속선의 각종 유체역학적 특성의 추정이 가능하며, 선체부가물간의 상호 간섭효과도 시뮬레이션 가능하다. 특히, 저항은 일반선박에 비하여 여러종류의 저항성분으로 분류됨에 따라, 이에 대응하는 해석이 모형실험보다 충실할 수 있을 것이다. 이밖에 2장에서 들은 여러가지 선형개발을 위한 핵심적인 요소기술에도 적용이 가능할 것이다. 이러한 계산들은, 현재 시험

적으로 쌍동선, ACV, 표면효과선 및 2차원 WIG등에 적용되어 그 적용성이 검토되고 있다. 초고속선과 같이 새로이 선형을 개발해야 하는 단계에서는 보다 손쉽고 빠르게 활용할 수 있는 CFD분야의 개발된 전산프로그램들이 유용하게 응용될 수 있을 것이다.

### 5. 맺음말

초고속선에 CFD분야가 활용된다면, 초고속선의 각종 유체역학적 특성들을 보다 손쉽고 빠르게 추정이 가능할 것이며, 이러한 기능을 더욱 개선, 발전시키면 선형개발에의 응용도 가능하게 될 것이다. 또한, 세계 및 국내 각 조선소에 있어서 고부가가치, 고성능의 초고속선 기술개발에 연구투자가 집중되고 있는 추세에 따라, 계산시 항주시간에 따른 초고속선의 운동특성을 고려할 수 있게 된다면, 앞으로 항주 자세제어 및 내항성능과 승선감의 추정을 위한 시뮬레이션 및 해석도 모형시험이 필요없이 가능하게 될 것이다.

계산결과외의 보다 효율적인 가시화를 위한 프로그램의 개발이 뒤따르게 된다면, 보다 효율적인 선형설계에의 응용이 기대된다. 끝으로, CFD가 초고속선의 선형개발에 보다 효과적으로 활용됨을 기대하기 위하여는, 조선소에서의 선형설계 실무자들의 CFD에 대한 기본지식과 각 계산조직의 특징, 사용법등에 있어서의 숙지가 필요할 것이다.

## 國際學術會議案內

開催時期	開催地	會議名
95.11.7~11.8	Jakarta, Indonesia	Regional Maritime Conference Indonesia 95
11.22~11.23	Melbourne, Australia	2nd Int. Workshop on Aluminium Ships
11.23~11.24	London, U.K.	High Speed Maritime Transport and Defense
96.5.6~5.9	Houston, Texas, USA	Offshore Drilling Conference
6.23~6.26	Trondheim, Norway	High Speed Ship Symposium
7.4~7.5	Taqat, Korea	3rd International Workshop on Ship and Mach. Hydrodynamics
9.8~9.13	Copenhagen, Denmark	Maritime Research Club on Marine Simulation and Ship Management