

계산 유체역학의 기술 개발과 선형 설계

곽 승 현

〈현대선박해양연구소 책임연구원〉

최근에 계산유체역학이란 칭호로 CFD (Computational Fluid Dynamics)라는 용어가 각 분야에서 일컬어지고 있다. 이것은 유체운동의 지배 방정식을 수치적으로 풀어서 유체현상을 규명하려고 하는 시도로서 근간에 컴퓨터 속도의 향상, 용량의 증가 및 가격의 저하에 의해서 종래에 불가능했던 대규모의 계산이 가능해졌기 때문이다. CFD 분야로 선박유체의 계산 경향은 유체의 지배 방정식인 NS (Navier-Stokes) 방정식을 수치적으로 풀어내는 방향으로 급속히 진행되고 있으며 여기에는 유한차분법, 유한해석법, 유한체적법, 유한요소법 등이 사용되고 있다. 이것은 지금까지 오랫동안 선박 유체 역학을 주도해 왔던 포텐셜 이론을 근간으로 하는 경계요소법과 함께 계산유체역학의 주류를 이루고 있다. 많은 기관에서 수치 종사자들이 각기 나름대로 수치계산을 수행하지만 상호간의 주요 관심 사항은 다음과 같다. 즉, 계산 레이놀즈(Reynolds) 수는 얼마인가. 모델 수준인가 아니면 실선 수준인가. 또는 난류 모델은 어느 것을 사용하느냐. 또는 격자는 어떻게 분포했느냐. 자유표면 처리는 어떻게 했는가. 계산시간은 얼마나 걸렸느냐. 컴퓨터 기종은 무엇을 사용했느냐. 선형이론과 비교했을때 정확성은 어떠냐 하는 것들이 대부분이다.

선형 설계의 관점에서 본 선체주위의 유동장계산은 저항 값의 추정 및 반류 분포의 예측이 가장 절실한 요구가 되겠다. 이런 요구에 부응하기

위해서 NS 방정식의 수치 계산은 점성이 삽입될 수 있고 난류 모델의 도입과 자유표면의 경계조건 처리가 용이하다는 관점에서 연구가 활발히 진행되어지고 있다. NS 수치 해법은 박리(Separation)가 존재하더라도 그것이 수학적으로 특이점이 되지 않기 때문에 수치 처리가 용이하고 복잡한 3차원 물체도 쉽게 처리하여 표현하기 어렵거나 또는 불가능한 유동장도 수치 계산을 통하여 쉽게 재현(Simulation)이 가능하다. 일례로 자기장을 이용한 선박 계산인 MHD (Magneto Hydro-dynamics)의 유동장과 같은 계산이다. 선박에너지 개발을 위한 미래의 유력한 추진체로서 초전도 자력장을 이용한 선박을 들 수 있는데 이와 같은 경우에는 실험을 하기에는 비용이 엄청나게 소요되고 설비 자체가 복잡하기 때문에 CFD를 이용해서 초기 계획을 구상하고 선체 주위의 유동장의 제어 및 기초 설계를 하여야 할 것이다. CFD 계산을 통해 일반적으로 얻을 수 있는 것은

- 압력 분포
- 자유 표면 파고
- 유속 분포
- 유선 추적
- 선체 표면의 응력 분포
- 한계 유선 분포
- 선미 와류 생성 과정
- 선체 저항 계산

등으로 선형 개발에 필요한 기본 자료들이다.

여기서 CFD의 유용가치를 강조할 수 있는데 기이 많은 개기버브 그림들 중에서 근드너만 적대 한 경비와 노력이 투입되어야 한다. 또한 현재의 실험 시설로는 정량적으로 측정할 수 없는 부분도 일부 있다. CFD의 경우는 그러한 어려움은 없으나 꼭 필요한 것이 수치계산의 검증이다. 계산 결과의 유효성(validity)을 검증해야 한다는 의미이다. 계산은 실험을 통하여 반드시 비교 검토가 이루어져야 하며 이의 수단으로 선박 분야에서는 Wigley 모형이나 Series 60와 같은 것들이 사용되고 있다. 당 연구소의 저항추진연구실에서는 CFD의 연구가 수년 전부터 소수의 인원을 중심으로 이루어져 왔다. 이와 관련하여 대표적인 몇 가지만 소개하고자 한다.

그림 1은 NS 방정식을 풀어 얻은 Wigley 모형선의 자유 표면 파고의 재현이다. 실선에 가까운 선형으로 점성과 난류 모델을 모두 넣고 수치 계산을 해서 얻은 자유표면의 형상이다. 실선 계산을 위한 수학적 모형의 계산에 불과하지만 파도 형성등 점성 유동 계산이 원만히 이루어져 CFD 연구에 큰 기반이 되고 있다. 그림 2는 삼차원 수중익(Hydrofoil)에 대한 계산인데 압력 분포 및 자유수면을 보여주고 있다. 여기서 우리는 자유수면파와 물체 사이의 강한 상호간섭 현상을 볼 수 있다. 이것은 잠수정의 유체 계산이라든지 또는 쌍동선과 같은 고속 여객선의 수중익 물체를 해석하고 양력 및 항력을 계산할 수 있는 기초를 마련해 주고 있다. 그림 3은 수중익 주위의 속도 벡터를 나타낸 것이다. 물체 주변의 유동장을 CFD 계산을 통해 쉽게 얻을 수 있는 것을 보여준다.

위와 같은 것들이 CFD 수치계산을 수행하여 얻어진 결과의 일부인데 한번의 계산으로 다량의 유체역학적 데이터를 얻을 수 있다는 것이 장점이라고 할 수 있겠다. 그러나 아직까지는 계산들이 모델 스케일에서 주로 이루어졌고 근간에 좀 더 강력한 기종의 계산기가 도입되어질 전망이다. 현재 보유하고 있는 SUN SPARC W/S도 수년전과 비교하면 계산속도나 용량 면에서 수십 배는 향상되어졌기 때문에 격세지감으로 생각되어지나 앞으로 보다 강력한 기종이 들어오면 CFD의

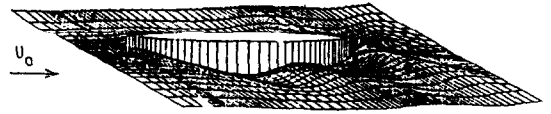


그림 1 Wigley 모형선 주위의 파도 형상

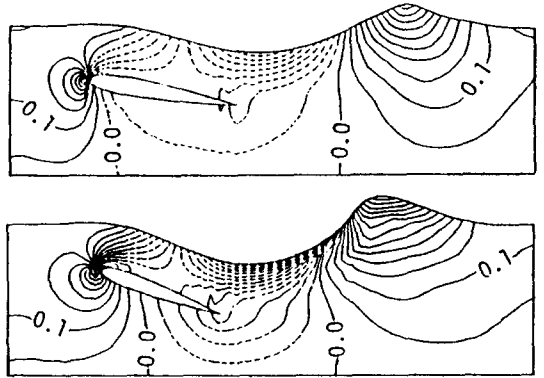


그림 2 수중익 주위의 압력분포 및 자유수면 (위는 양각 10°, 아래는 양각 20°)

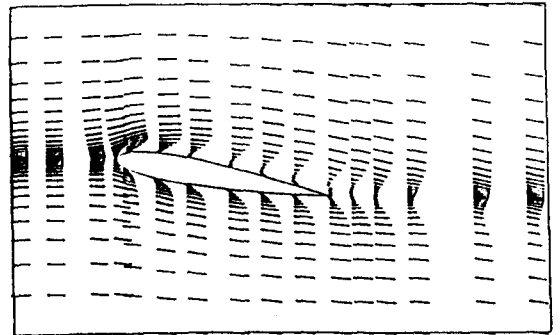


그림 3 양각 10°의 수중익 주위의 속도벡터

발전 속도는 더 빠르게 진행되리라 믿어진다. 조선소의 연구 업무는 무엇보다도 선형 설계에 직접적으로 도움을 줄 수 있는 CFD 계산이어야 한다. 현재까지의 계산이 주로 레이놀즈 수가 10^6 정도까지 이루어져 있고 따라서 모델 스케일의 실험치와 비교하는 정도이지만 한단계 도약하여 실선 스케일의 계산을 시도해 보는 것이 CFD 종사자들의 최종 목표일 것이다. 실선 레이놀즈 수에서 난류 모형과 자유표면을 포함시킨 상태에서 선체 주위의 유동장을 얻어내는 작업이 당면과

제이고 이와 같은 수치 계산을 통해 선수 또는 선미의 선형을 일부 수정했을시 성능 특성의 우열을 가릴 수 있을 정도가 되어야 하겠다. 그렇게 되면 예인수조에서의 시험 횟수를 상당량 감소시킬 수 있어서 이른바 수치 수조라는 용어를 사용할 수 있을 것이다. 그렇게 되기 위해서는 도약의 단계에서 많은 연구가 요구된다. 우선 격자 생성의 범용성이다. 격자는 크게 분류하여 물체 표면 격자와 물체 표면밖의 해수를 수치적으로 잘게 자르는 3차원 격자로 구분하는데 격자 생성의 기본 원리로는 격자 수를 가능한 줄여 주면서 정도를 향상시키는 것이다. 한편 유체역학적 관점에서 보면 경계층 내의 급격한 유동변화를 포착할 수 있을 정도의 격자 분포를 구성해야 한다. 격자를 만드는 방법 및 수치 기법도 수치 연구자에 따라 각기 상이하고 이에 따른 계산결과와 격자 의존성도 다를 수 있으나 가장 이상적인 격자 구조는 격자 점의 밀도에 관계없는 즉 격자 의존성이

없는 계산을 수행하는 것이다. 그러나 실선 스케일의 높은 레이놀즈 수에 적합한 격자 수를 가지고는 현재로서는 슈퍼 컴퓨터를 사용하지 않고는 계산할 수 없는 실정이다.

격자 생성 이외에도 난류 모형의 적합성을 검토해야 하겠다. 실선 스케일에서 난류 모형의 적합성을 검토해야 하겠다. 실선 스케일에서 난류 모형이 실제 유체의 에너지 원리와 확산에 부응하는지 수치 모델의 검토가 요구된다. 자유표면에 점성 및 난류를 포함한 상태에서 적합한 모델링이 이루어져야 하겠고 이를 검증할 실험이 수행되어야 하겠다. 그 외에도 벽 법칙의 사용에 대한 수치 계산상의 적합성 및 쇄파 현상에 관한 것도 검토되어야 하겠다. 위에 열거한 것들이 하나하나 정립되어진 후에야 비로소 선형 설계를 위한 명실상부한 실선 스케일의 수치계산이 가능해질 수 있을 것이다.

