

다상경계에서 반구-원기둥결합체운동에 대한 수값모의연구

김철석, 박송욱

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 발전된 나라들에서 이룩한 과학기술의 성과를 널리 받아들이고 그것을 더욱 발전시킴으로써 최신과학기술의 높은 봉우리를 빨리 점령하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 142페이지)

선행연구[1]에서는 고속어뢰주위의 압축성다상매질흐름을, 선행연구[2]에서는 수중항주체주위의 흐름을 CFD방법으로 풀어서 류체력학적특성량들을 론의하였다.

논문에서는 물-공기경계상에서 운동하는 임의의 물체에 대하여 계산비용을 줄이면서 동적그물방법을 적용할수 있는 한가지 방안을 제기하고 동적그물 및 다상흐름해석방법으로 반구형앞머리부를 가지는 원기둥체의 류체력학 및 항공력학적특성들을 결정하였다.

1. 동적그물방법의 이론적연구

경계의 운동에 의하여 변형되는 구역들에서 체적그물을 갱신하는 방법에는 두가지 방법 즉 평활화국부재그물방법과 동적충방법이 있다.

평활화국부재그물방법은 그물점사이선들을 호상연결된 용수철들처럼 보고 초기위치에서 평형상태를 이루고있다가 경계가 변하면 그물도 후크의 법칙에 따라 변하는 방법이다. 그물의 질이나 크기가 미리 정한 기준을 벗어나는 세포나 면들은 다시 그물분할한다.

동적충방법은 6면체나 직3각기둥과 같은 그물구역에서 운동하는 경계에 린접한 세포들의 층을 그 높이에 따라 추가하거나 없애는 방법이다.

움직이는 경계와 린접한 세포들의 층은 사용자가 정한 경계층높이에 기초하여 분리되거나 그 다음층에 합쳐진다.

2. 다상흐름해석방법

체적비방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{a_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (1)$$

여기서 \dot{m}_{qp} 는 상 q 로부터 상 p 으로 수송되는 질량이고 \dot{m}_{pq} 는 상 p 로부터 상 q 으로 수송되는 질량, S_{a_q} 는 사용자정의질량원천항이다.

일반적으로 n 개의 상이 존재하는 경우 체적비로 평균화된 밀도는 다음의 형태를 가진다.

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \quad (2)$$

다른 모든 속성들도 역시 이와 같이 취급된다.

운동량방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

3. 동적그물방법의 리용을 위한 한가지 방안

우선 물체주위의 그물작성에서 벽에 가까운 일정한 구역까지는 y^+ 에 대한 요구를 만족시키도록 하고 그 외부를 적당한 크기의 그물로 작성하였다. 그리고 벽경계만을 이동시키지 않고 벽에 가까운 계산그물까지 함께 이동시킴으로써 벽경계주위에서의 그물갱신을 진행하지 않고 그 이동구역의 바깥구역그물만을 갱신하였다.

이 경우에 벽경계주변의 그물들은 초기의 상태를 유지하는것으로 하여 계산그물수를 일정하게 유지하면서도 계산결과의 정확도를 보장할수 있다.

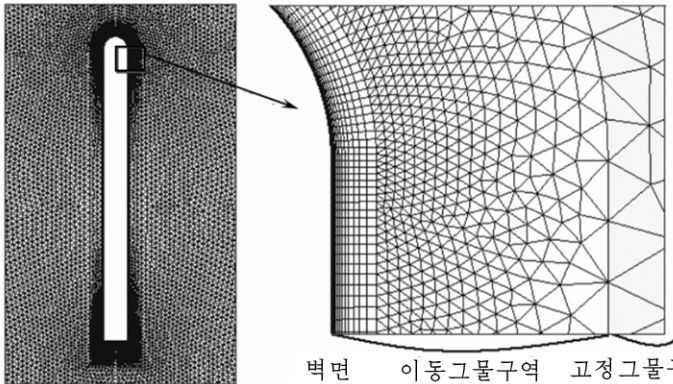


그림 1. 이동 및 고정구역의 그물

반구의 반경이 0.1m이고 원기둥의 길이가 2m인 운동체의 2차원그물분포는 그림 1과 같다.

2차원계산실험에서는 주어진 비행체를 세워놓고 계산한 결과에 비해서 벽경계만을 이동시킬 때에는 8%, 벽근방그물까지 이동시킬 때에는 5% 상대오차내에서 류체력학적특성값들이 정확하다는것을 확인하였다.

4. 계산결과분석

3차원계산에 리용된 그물의 총수는 137만 개이고 FLUENT6.326을 리용한 비정상계산에서 풀이기로서는 pbns, 난류모형으로서는 표준 $k-\epsilon$ 모형, 다상모형은 VOF모형, 압력-속도결합처리하는 PISO방법을 선택하였다.

계산은 $t=0.49s$ (수면위 2.86m)까지 진행하였으며 시간에 따르는 양력 및 저항력결수의 변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 머리부는 0.167s

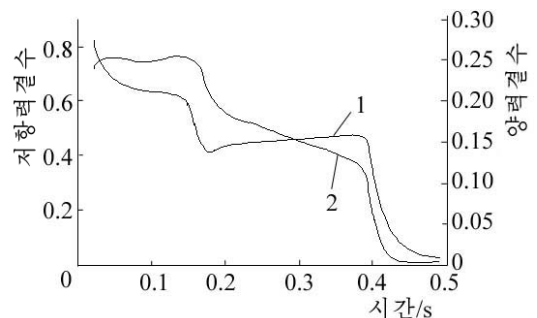


그림 2. 저항력 및 양력결수변화($v=30m/s$)
1-저항력결수변화, 2-양력결수변화

에, 꼬리부는 0.397s에 수면에 도달한다.

머리부의 수면리탈후부터 운동체가 완전히 공기중에 들어설 때까지 뜰힘은 선형적으로 감소하고 이에 비하여 쓸림저항력은 적게 감소하는데 이로 하여 저항력은 점차 커지게 된다.

한편 양력은 머리부가 물속을 빠져나갈 때 머리부에서의 양력이 급속히 작아지는것으로 하여 감소하며 완전히 리탈할 때까지는 선형적으로 감소하다가 원기둥체의 꼬리부분이 공기중에 완전히 들어설 때 급격히 감소한다.

물체전체가 공기중에 있는 상태에서의 항력특성값들을 정상계산값들과 비교한 결과는 표와 같다.

표. 비교결과

계산방법		저항력			양력			Mz	
		압력	쓸림	전체	압력	쓸림	전체	전체	
반구	정상	0.626 896	0.037 628	0.664 523	3.156 812	0.037 715	3.194 527	0.845 770	
	비정상	0.582 369	0.032 821	0.615 190	3.167 440	0.036 128	3.203 567	0.813 841	
원기둥	정상	-0.007 753	0.952 692	0.944 939	1.230 348	0.029 963	1.260 312	0.554 887	
	비정상	-0.007 881	0.832 513	0.829 632	1.173 127	0.027 289	1.200 416	0.513 336	

정상계산에 의한 공기중에서 운동체의 항력과 동적그물방법을 리용한 다상흐름해석에서의 항력사이의 상대오차는 5%이하이다.

참 고 문 헌

- [1] F. M. Owis et al.; Journal of Fluid Engineering, 125, 459, 2003.
- [2] 王聪 等; 战术导弹技术, 2, 10, 2007.

주체103(2014)년 9월 5일 원고접수

Numerical Simulation Research on the Motion of a Half Sphere-Cylinder Combination in Multiphase Boundary

Kim Chol Sok, Pak Song Uk

We determined the fluid and aero dynamic characteristics of an object that moves on the boundary of water and air by using dynamic mesh and multiphase flow analysis method.

Using the method proposed in this paper, computational cost is much low and relative error of the computational results is about 5 percent than previous results.

A body with any types that moves in multiphase boundary can be simulated by this method.

Key words: dynamic mesh, multiphase flow, aerodynamic characteristic