

적응형그물을 리용하여 류체흐름모의의 정확성을 높이기 위한 한가지 방법

김철홍, 최경혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《자연과학부문에서는 식량문제, 에네르기문제를 비롯하여 인민경제발전과 국방력강화에서 절박하게 나서는 과학기술적문제들을 푸는데 적극 이바지하며 기초과학과 첨단과학기술부문에서 세계적인 경쟁력을 가진 연구성과들을 내놓아야 합니다.》

그물작성은 계산류체력학에서 매우 중요하다. 그것은 주어진 문제에 대하여 선택하는 그물형태에 따라 수값풀이를 얻을수도 있고 얻지 못할수도 있기때문이다. 이와 같은 리유로 하여 그물작성은 계산류체력학에서 중요한 하나의 체계를 구성한다.[1, 2]

론문에서는 대규모의 계산을 효과적으로 진행하기 위한 그물작성방법인 적응형그물작성법에 대하여 제기하였다.

계차법이나 유한요소법, 유한체적법과 같은 계산방법들은 리산그물점들에서 계산을 진행하여야 한다.

흐름마당에서 이러한 리산점들의 배열을 그물이라고 하며 이와 같은 그물을 결정하는 방법을 그물작성(생성)이라고 한다.

수값계산의 정확도를 높이기 위해서는 흐름특성량들의 구배가 심한 구역에 보다 많은 그물점들을 조밀하게 밀집시켜야 한다. 그러나 이때 제기되는 문제는 그물점들을 조밀하게 배치할수록 계산량이 많아지게 된다는것이며 더우기는 흐름특성량들의 구배가 심한 구역을 모르는 경우에는 불가능하다는것이다. 이런 문제를 해결하기 위한 한가지 방법이 적응형그물을 리용하는것이다.

적응형그물은 흐름마당구배가 큰 구역에 그물점들을 자동적으로 밀집시키는 그물이다. 적응형그물의 우점은 고정된 그물점수에 대하여 정확도가 높다는것이다.

즉 적응형그물을 리용하면 같은 그물점수를 가지고 보다 정확한 모의결과를 얻을수 있다.[3]

여기서 적응이라는 의미는 풀이구역에 적응하여 구조그물이 아닌 비구조그물을 리용한다는 의미가 아니라 풀이의 정확성을 높이기 위하여 이미 작성한 그물을 개선한다는 의미를 담고있다.

일반적으로 적응처리는 2개의 구별되는 과제들로 구분되는데 하나는 개별적인 세포들을 표식하는것이고 다른 하나는 이 표식에 기초하여 계산세포들을 보다 세밀하게 하거나 거칠게 하는것이다.

세분화를 위하여 표식되는 세포들은 3각형은 4개의 3각형으로, 4각형은 4개의 4각형으로, 4면체는 8개의 4면체들로, 6면체는 8개의 6면체들로, 직3각기둥은 8개의 직3각기둥들로, 각추는 6개의 각추와 4개의 4면체들로 나눈다.(그림 1)

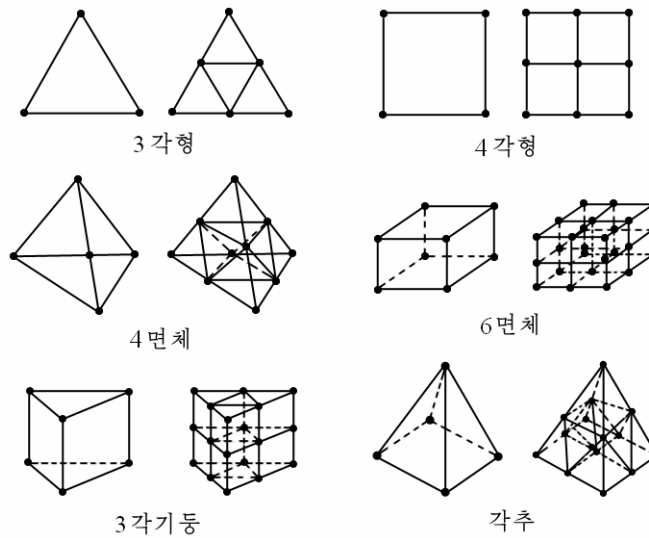


그림 1. 계산세포들의 세분화

적응처리에는 경계적응, 구배적응, 동적구배적응, 등값적응, 구역적응, 체적적응 등이 있다.

여기서는 정각이 15° 인 쐐기형물체에 수평으로 들어오는 초음속류체흐름에 의한 경사충격파형성모의를 진행한 다음 구배적응형그물을 리용하여 모의의 정확도를 높이기 위한 방법을 고찰하였다.

모의대상의 기하학적형태는 그림 2와 같다.

그림 2에서 $ABCDEF$ 구간이 모의구간이며 EF 는 쐐기형물체의 경계를 나타낸다. 이때 변 AB , BC , CD , DE 들은 먼거리마당부분으로서 경계형태를 먼거리마당(far field)으로 규정하며 EF 는 쐐기부분으로서 경계형태를 벽(wall)으로, FA 는 대칭부분으로서 대칭(symmetry)으로 규정하였다. 먼거리마당경계값은 마흐수 3, 1기압, 온도는 300K으로 설정하였다.

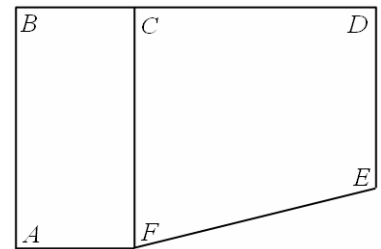


그림 2. 모의대상의 기하학적형태

초기모의에 리용된 그물과 모의결과는 그림 3,4와 같다.

그림 4에서 보면 쐐기우에서의 마흐수나 압력결수경계가 예리하지 않는데 이것은 모의정확도가 충분히 보장되지 못한 결과이다. 그래서 적응형그물을 리용하여 이 경계에서의 마흐수나 압력결수와 같은 물리적량들을 보다 정확히 모의하려고 한다.

구배를 취하려는 물리적량으로는 마흐수를 선택하였으며 턱값은 1차모의결과를 보면서 0.1로 결정하였다. 다음 필요한 세포들을 표식하고 적응하였다. 이때 얻어진 적응형그물은 그림 5와 같다.

그림 5에서 보는것처럼 마흐수의 구배가 있는 부분의 세포들이 표식되고 분할되었다.

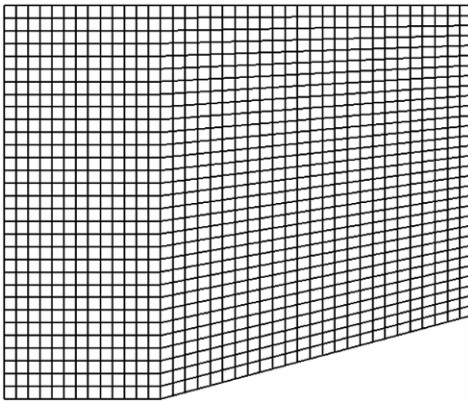


그림 3. 초기모의에 리용된 그물

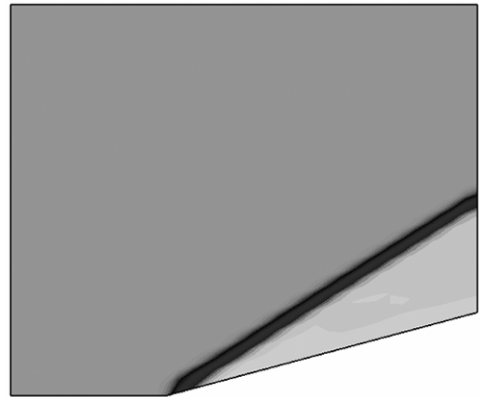


그림 4. 초기모의결과(마흐수등고선)

이때 어느 정도로 분할하겠는가 하는것은 턱값에 따라 결정된다.
적응형그물을 리용한 모의결과는 그림 6과 같다.

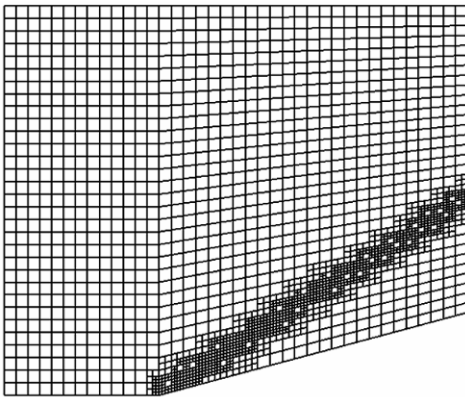


그림 5. 적응형그물

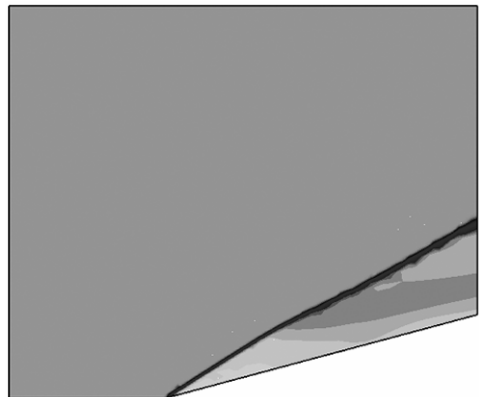


그림 6. 적응형그물을 리용한
모의결과(마흐수등고선)

구배적응을 한 경우와 유사한 정확도의 풀이를 얻기 위해서는 처음보다 대략 10배정도 많은 그물을 리용하여야 한다. 이것은 기억기소비나 계산시간측면에서 불합리하다. 이 경우에 적응형그물을 리용하면 기억기소비나 계산시간을 줄이면서도 필요한 정확도를 보장할수 있다.

그물의 특성량은 표와 같다.

표. 그물의 특성량(개)

그물류형	세포수	면수	마디점수
초기그물	1 178	2 425	1 248
적응형그물	2 204	4 647	2 444
벤그물	21 450	44 027	22 578

맺 는 말

췌기형물체주위의 초음속흐름모의에 대하여 적응형그물을 리용한 모의결과와 리용하지 않은 모의결과사이의 정량적인 대비분석을 통하여 적응형그물의 효과성을 검증하였다.

론문에서 리용한 방법은 대규모의 류체흐름모의를 비롯하여 주기억소비가 많은 계산들에 리용할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 장대욱 등; 력학전서, 김일성종합대학출판사, 293~311, 주체102(2013).
- [2] 장대욱; 계산류체력학과 응용, 김일성종합대학출판사, 259~276, 주체100(2011).
- [3] K. pons et al.; Adaptive Mesh Refinement Method, hal-01330679, 2016.

주체108(2019)년 6월 5일 원고접수

Research of an Adaptive Meshing Method for Accuracy Improvement of Fluid Flow Simulation

Kim Chol Hong, Choe Kyong Hyok

We suggested an adaptive meshing method for accuracy improvement of large-scale simulation.

Key word: adaptive meshing method