

## 초음속흐름에서 썰기면의 국부적변화가 항공력학적특성에 주는 영향

김경일, 대기훈

초음속흐름에 놓여있는 썰기에서 발생하는 충격파와 그것들의 간섭과 호상작용에 대한 문제들[1, 2]이 리상기체범위에서 많이 제기되었으며 점성기체의 날개프로필주위초음속흐름에 대한 연구도 진행되었다.[3]

론문에서는 점성기체의 초음속흐름에서 썰기면의 국부적변화가 있을 때 비대칭성이 항공력학적특성에 미치는 영향을 류체흐름해석프로그램인 Fluent에 기초한 수치계산을 통하여 연구하였다.

점성기체의 막흐름에 대한 런립방정식계(RANS)와 이 방정식계를 닫기게 하는 란류모형들이 알려져있다.[1] 여기서는 문제의 특성으로부터 란류모형으로는 스파라트-알마르스모형(Spalart-All Maras Model)을 그리고 매질은 공기로 선정하였다.

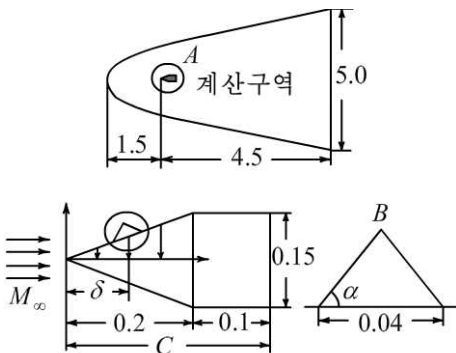


그림 1. 계산구역

계산에서는 썰기형태의 앞부분을 길이가 0.2m 이고 너비가 0.15m이며 뒤의 길이가 0.1m인 직4각형부분이 있는 평면도형으로 취하였으며 외부계산구역은 일반적인 설정방법에 따라 앞쪽으로 물체길이의 5배, 뒤쪽으로는 물체길이의 15배가 되도록 설정하였다.(그림 1) 썰기면의 국부적변화는 2등변3각형형태로 취하였으며 밑변은 0.04m로 고정하고 크기는 밑각( $\alpha$ )으로 변화시켰다. 그러면  $\alpha$ 는 충격파뒤흐름에 놓이는 썰기의 반정각으로 되며 3각형의 정점에서 흐름은  $180^\circ$  보다 큰 각주위흐름으로, 그다음에는 다시 반정각이  $\alpha$ 인 썰기주위흐름으로

된다.

취급하는 물체주위초음속정상흐름에 대한 수치해석을 진행할 때 경계조건은 썰기결면에서는 부착조건을 주었으며 바깥경계에서는 먼압력마당경계조건으로 취하였다.

전체 계산구역은 구조그물로 분할하였다. 벽근방에서는 경계층의 영향을 충분히 고려하여 그물을 조밀하게 작성하였다.

계산결과의 그물의존성을 평가하기 위하여  $M_\infty = 0$ 에 대하여 물체의 양력계수와 저항력계수, 모멘트계수의 그물분할수에 따르는 변화를 계산하였다. 계산결과 국부적변화가 있는 경우에 항공력학적특성들이 그물분할수가 7만개이상에서는 일정한 값에 다가가므로 그물분할수를 10만개로 취하였다.

계산실험은 국부적변화의 위치와 크기가 일정할 때 마흐수의 변화, 국부적변화의 위치와 마흐수가 일정할 때 국부적변화의 크기, 마흐수와 국부적변화의 크기가 일정할 때 위치의 변화  $\delta$ 에 따르는 항공력학적특성에 대하여 진행하였다.

물체의 양력과 저항력 및 모멘트계수들은 다음과 같이 정의하였다.

$$C_L = \frac{L}{1/2\rho_\infty v_\infty^2 c}, \quad C_D = \frac{D}{1/2\rho_\infty v_\infty^2 c}, \quad C_M = \frac{M}{1/2\rho_\infty v_\infty^2 c^2}$$

여기서  $L$  은 물체의 윗면과 아래면에 작용하는 접선응력과 압력에 의한 힘의 합력의  $Y$ 축방향성분 즉 양력이고  $D$  는  $X$ 축방향성분 즉 저항력이며  $M$  은 췌기앞끝에 대한 모멘트이다.(그림 1)  $C$ 는 기준길이로서 물체의  $X$ 축방향으로 0.3m만큼 취하였다.

$\alpha = 14.03^\circ$  이고 국부적변화의 위치가 2등변3각형밀면의 가운데점이 췌기윗면의 가운데 있을 때 마흐수에 따르는 계산결과와  $M_\infty = 2$  이고 국부적변화의 위치가 위의 경우와 같을 때 밑각  $\alpha$ 의 변화에 따르는 계산결과를 표 1에 주었다.

표 1.  $\alpha$ 의 변화에 따르는 계산결과

$M_\infty$	$C_L$	$C_D$	$C_M$	$\alpha/(^\circ)$	$C_L$	$C_D$	$C_M$
2.0	-0.048	0.516	0.019	0.00	0.000	0.476	0.000
2.5	-0.043	0.404	-0.016	5.00	-0.010	0.492	-0.002
3.0	-0.043	0.351	-0.021	14.03	-0.048	0.517	0.019
3.5	-0.039	0.314	-0.019	26.56	-0.039	0.528	0.041
4.0	-0.036	0.289	-0.017	36.87	-0.028	0.544	0.057
4.5	-0.036	0.272	-0.016	45.00	-0.014	0.563	0.070

췌기면에서 국부적변화가 없는 경우에 경사충격파뒤의 흐름은 공기를 이상완전기체로 보면  $M_\infty = 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5$  일 때  $M = 1.18, 1.62, 1.96, 2.26, 2.53, 2.76$  으로 되며 이 흐름에서 련결충격파가 형성될수 있는 최대췌기반정각  $\theta_{\max}$  은 각각  $3.39, 15.13, 22.37, 27.01, 30.12, 32.30^\circ$  이다.

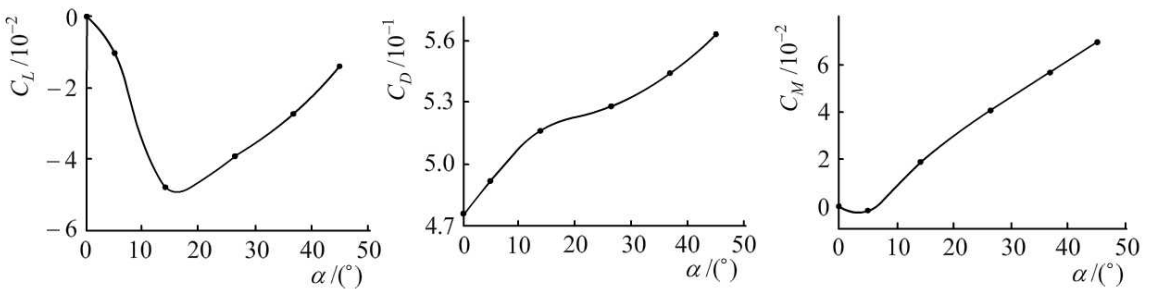


그림 2.  $M_\infty = 2$  일 때  $\alpha$ 의 변화에 따르는  $C_L$  과  $C_D, C_M$ 의 변화

계산결과는 점성기체에서  $\alpha = 14.03^\circ$  이고  $M_\infty = 2.0, 2.5$  인 경우에는 3각형의 앞모서리에 리탈충격파가 형성되고 이 리탈충격파가 앞흐름에 영향을 주어 물체앞에 련결충격파가 아니라 리탈충격파가 형성된다는것을 보여준다.(그림 2) 결국 밀면의 흐름에도 국부적변화의 영향이 미치므로  $C_L$  이 커지고  $C_M$  의 부호도 달라진다.

$M_\infty > 2.5$ 에서는 국부적변화의 앞모서리에 련결충격파가 생기며 그뒤에는 저속흐름이,  $M_\infty$ 가 증가하면 초음속흐름이 형성된다. 그러므로 국부적변화의 영향은 앞흐름과 아래면흐름에서는 나타나지 않으며 저항력계수는 마흐수가 증가할 때 감소하지만 양력과 모멘트계수의 변화특성은 복잡하며 계산을 통하여 결정할수 있다.

표 1과 그림 2에는  $M_\infty = 2$  일 때  $\alpha$ 의 변화에 따르는  $C_L$  과  $C_D, C_M$ 의 변화를,

그림 3에는  $M_\infty = 2$ ,  $\delta = 0.1\text{m}$ ,  $\alpha = 26.56^\circ$  일 때 등마흐수선과 등압선을 보여주었다.

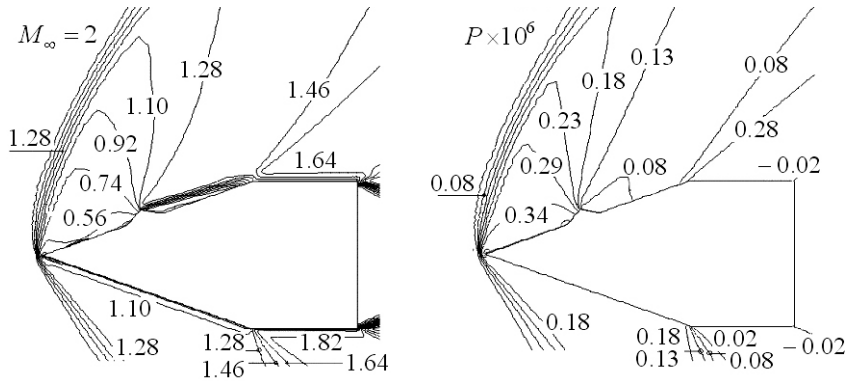


그림 3.  $M_\infty = 2$ ,  $\delta = 0.1\text{m}$ ,  $\alpha = 26.56^\circ$  일 때 등마흐수선과 등압선

$\alpha = 0, 5^\circ$  일 때 편결경사충격파뒤에서  $M = 1.34$  이고  $\alpha = 5^\circ$  에서는 3각형의 앞모서리에 음속선이 존재한다.  $\alpha = 26.56^\circ$  일 때에는 국부적변화의 영향에 의하여 리탈곡선충격파가 형성되고 아래면에서의 흐름은 편결충격파가 형성될 때와 다르다.(그림 3) 이러한 경향은  $\alpha$  가 커질수록 강해지며  $\alpha = 26.56, 36.87, 45.00^\circ$  일 때 물체앞끝으로부터 곡선리탈충격파까지의 거리는 7.82, 12.1, 17.4mm이고 국부적변화가 밑면의 흐름에 주는 영향은 더 커진다. 이 영향으로  $C_L$  은  $\alpha = 14.03^\circ$  일 때 절대값으로 제일 커지게 된다.  $C_D$  가  $\alpha$  의 증가에 따라 커지는것은 명백하다.  $\alpha$  가 증가하는데 따라  $C_M$  도 커지는데 이것은 물체에 리탈충격파가 형성되어 밑면의 압력분포와 윗면뒤부분의 압력분포가 변화되는것과 관련된다.

표 2. 계산결과

$\delta/\text{m}$	$C_L$	$C_D$	$C_M$
0.05	-0.101	0.498	0.018
0.10	-0.048	0.516	0.019
0.15	-0.080	0.543	-0.002

또한  $M_\infty = 2$ ,  $\alpha = 14.03^\circ$  일 때 국부적변화의 위치  $\delta$  에 따르는 계산결과는 표 2와 같다. 국부적변화의 위치가 뒤로 이동할 때  $C_L$  의 절대크기와  $C_D$  는 증가하며  $C_M$  의 변화는 증가하다가 감소한다는것을 보여준다.

우의 계산결과들로부터 국부적변화의 위치와 크기, 마흐수의 변화에 따르는 흐름마당의 변화로 하여 물체의 항공력학적결수들이 크게 달라진다는것을 알수 있다. 이러한 변화는 물체의 비행특성의 변화를 가져올수 있다는것을 보여준다.

## 맺 는 말

초음속흐름에서 켜기면의 국부적변화의 영향에 대한 2차원적해석으로 국부적변화의 위치와 크기, 비행마흐수에 따르는  $C_L$  과  $C_D$ ,  $C_M$  의 변화를 결정하였다. 이것은 물체의 비행특성의 변화를 가져올수 있다는것을 보여준다. 물체의 구체적인 비행특성은 속도와 마중각, 국부적변화의 시간에 따르는 변화를 고려하여 연구하여야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 태기훈, 류체 흐름리론과 응용, 김일성종합대학출판사, 383~402, 주체105(2016).
- [2] Shobhan Royl et al.; J. Fluid Mech., 863, 242, 2019.
- [3] Kazuya Takeuchi; Transactions of the JSME, 81, 827, 2015.

주체109(2020)년 9월 5일 원고접수

### **The Effect of Local Variation of Wedge Surface on Aerodynamic Characteristics in Supersonic Flow**

*Kim Kyong Il, Thae Ki Hun*

In this paper, we estimated the influence of local variation of wedge surface on aerodynamic characteristics in supersonic flow and determined the values of the characteristic changes by using Fluent.

Keywords: supersonic, wedge