

2차원 초음속 추력편향노즐 쉐리엔 가시화

정한진* · 유두환* · 최성만**† · 장현수***

Schlieren Visualization of the 2-D Supersonic Thrust Vector Nozzle

Hanjin Jeong* · Duwhan Yu* · Seongman Choi**† · Hyunsoo Chang***

ABSTRACT

The thrust vectoring concept has been used for use in new advanced supersonic aircraft. This study presents the performance characteristics of the thrust vectoring nozzle by visualizing the shock behaviors with Schlieren method. We performed experimental tests to see the geometrical effects of the thrust vector nozzle by changing pitch angle and length of pitch flaps. From this study we could understand the supersonic flow characteristics of the thrust vector nozzle. The total thrust of thrust vector nozzle is diminished by increasing the flap angle. But there is an optimum flap length ratio for attaining the highest thrust level and proper pitch effect.

초 록

추력편향 개념은 최신의 초음속 전투기에 적용되어 사용되고 있다. 본 연구는 추력편향노즐의 성능특성을 쉐리엔기법을 이용한 충격파 가시화를 통하여 제시한다. 피치 각 변화와 피치플랩길이 변화라는 추력편향노즐의 기하학적인 특성에 따른 실험평가를 수행하고, 이러한 연구를 통하여 추력편향노즐의 초음속 유동특성을 분석하였다. 추력편향노즐의 총 추력은 편향각도가 증가함에 따라 감소되며, 추력손실이 가장 적으면서 적절한 편향 효과를 가지는 최적의 플랩 길이비가 존재한다.

Key Words: Thrust Vector Nozzle(추력편향노즐), Schlieren Method(쉐리엔기법)

1. 서 론

최신의 초음속 항공기의 경우 고기동성, 생존성 향상을 위한 스텔스성 및 단거리/수직 이착

륙 성능이 필수 요구조건으로 부각되고 있다[1]. 이를 위하여 미래 항공기의 개발방향에 대부분 노즐의 추력편향 능력을 포함시키고 있는 추세이다. 특히 축대칭 노즐과 유사한 성능을 가지면서도 가변제어 및 추력편향이 가능한 2-D 축소-확대 노즐을 이용한 추력편향 기술은 기동성, 운용성, 생존성 등의 향상을 위한 필수적인 요소로 인식되고 있다[2-4]. 따라서 본 연구에서는 추력

* 전북대학교 대학원 항공우주공학과

** 전북대학교 항공우주공학과

*** 국방과학연구소

† 교신저자, E-mail: csman@jbnu.ac.kr

편향기술에 대한 기초연구의 일환으로 2차원 초음속 추력편향 노즐에 대한 유동 가시화 실험연구를 수행하여, 피치 편향각 및 피치플랩길이의 등의 기하학적 변수에 대한 영향을 분석하고 평가하였다.

2. 실험모델 및 실험장치

2.1 실험모델

실험조건 설정 및 실험모델 설계에 필요한 데이터는 김 등[5]의 연구에서 수행된 가상의 항공기 엔진 설계 및 성능 분석 데이터를 사용하였다. 설계된 가상의 항공기 엔진을 통하여 획득된 데이터를 바탕으로 축소 모델을 적용한 후, 등가면적 변환을 통하여 축소칭 노즐에서 이차원 축소-확대 노즐로 변환 시켰으며, 이에 추력 편향개념을 적용하여 Fig. 1 과 같은 실험모델을 완성하였다.

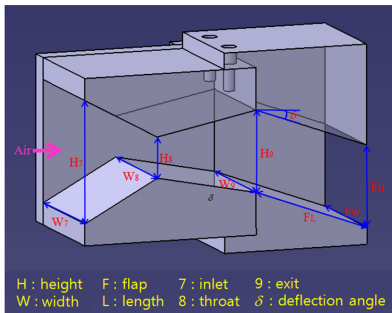


Fig. 1 Test Nozzle Configuration

실험 변수(Variant)는 피치 편향각 및 피치 플랩길이로 설정하였으며 Table 1에 실험 Variant가 제시되어 있다.

2.2 실험장치

실험장치는 크게 고압공기공급시스템, 시험장치부, 계측시스템으로 구성되어 있으며 Fig. 2에 개략도가 제시되어 있다. 고압공기공급시스템은 초음속 배기조건을 만족시키기 위한 고압의 공기를 제공하며, 시험장치부는 고압공기시스템

으로부터 제공된 공기를 실험노즐에 전송하여 추력을 발생 시킨 후에 대기로 방출시키는 일련의 과정을 포함하는 유로를 형성하는 부분이다.

Table 1. Test variants

Variant	Case	Mach	Pitch Length	Yaw Length	Pitch Angle	Yaw Angle
피치 플랩 편향	1	M=1.5	1.5H9	1.5H9	0°	0°
	2	M=1.5	1.5H9	1.5H9	10°	0°
	3	M=1.5	1.5H9	1.5H9	20°	0°
피치 플랩 길이	4	M=1.5	0.5H9	0.5H9	20°	0°
	5	M=1.5	1.0H9	1.0H9	20°	0°
	6	M=1.5	1.5H9	1.5H9	20°	0°
	7	M=1.5	2.0H9	2.0H9	20°	0°
	8	M=1.5	2.5H9	2.5H9	20°	0°

H9 : Length of the Test Nozzle Exit

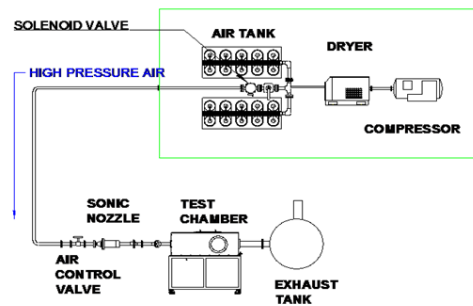


Fig. 2 Test facility layout

노즐 후류의 유동가시화는 쉐리렌(Schlieren) 기법을 사용하여 수행하였다. 쉐리렌 기법을 적용하기 위한 쉐리렌 시스템은 크게 광원, 평면거울, 오목거울, Knife Edge, 카메라 등으로 구성된다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 피치플랩 편향에 따른 영향

Table 1의 Case 1, 2, 3에 해당하는 피치편향 실험은 모두 같은 실험조건에서 편향 각을 변경하는 것으로 수행되었다. Case 1에 대한 가시화 이미지가 Fig. 3에 제시되어 있다. 각 Case 별

로 웨지에 발생한 경사 충격파의 각도를 측정하고, 경사 충격파 관련 식[6]을 사용하여 배기 속도 계산이 가능하다[7].

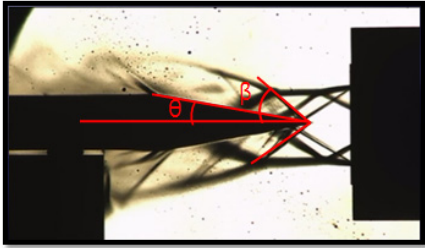


Fig. 3 Schlieren visualization for the Shock angle measurement (Case 1)

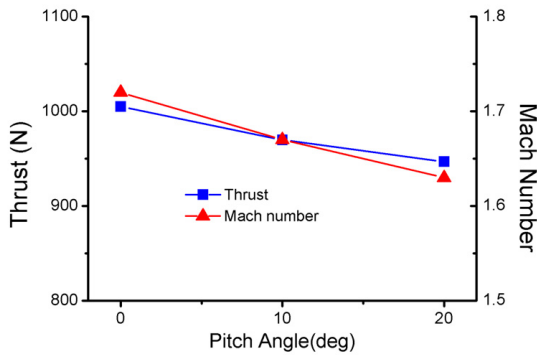


Fig. 4 Thrust and Mach number with the pitch deflection angle

Figure 4에서 피치 편향 각이 증가 할수록 추력 및 노즐 배기속도가 감소함을 알 수 있다. 기계적인 추력편향 방식으로서 플랩을 사용하는 추력편향 노즐의 경우 노즐 내부의 플랩 힌지 부분에서 경사충격파가 발생하는데, 편향각이 증가함에 따라 노즐 내부에 발생하는 경사충격파의 각도는 더욱 커지게 되며 충격파를 통과한 제트의 속도는 점차 줄어들게 되어 결국 추력이 감소되는 결과를 가져오는 것으로 판단된다.

3.2 피치플랩 길이비에 따른 영향

추력편향 노즐의 편향효율은 기하학적인 유동의 편향정도와 편향된 제트속도를 측정함으로써 판단 가능하다. Fig. 6에서 플랩 길이비가 0.5에

서 1.5로 증가할 때 추력도 함께 증가됨을 볼 수 있다. 그러나 길이비가 1.5에서 더욱 증가할 경우 추력은 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 플랩길이비가 0.5, 1.0 인 경우 초음속 제트 유동은 경사진 플랩을 따라 유도되지 못하고 노즐의 아랫면에서 유동박리가 발생함을 Fig. 5의 Case 4, 5에서 살펴 볼 수 있다.

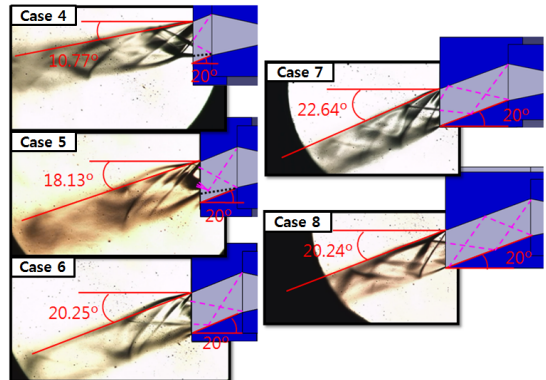


Fig. 5 Schlieren visualization with pitch-flap length ratio [Case 4(0.5H₉), Case 5(1.0H₉), Case 6(1.5H₉), Case 7(2.0H₉), 8(2.5H₉)]

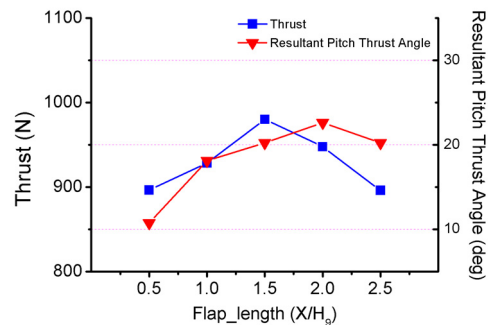


Fig. 6 Thrust and resultant thrust angle with the flap length ratio.

이러한 유동 박리로 인하여 유동은 피치 편향 각을 추종하지 못하게 되며, 출구유효 단면적의 감소를 초래하여 추력이 저하된다고 판단된다. 한편 플랩길이비가 1.5 인 경우에는 플랩의 벽면에 따라 반사, 재 반사되는 경사충격파의 개수가

점차 많아지게 되어 이에 따른 에너지 손실이 점차 커지게 되어 추력이 감소하게 되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

동일한 작동조건 및 노즐에서 피치플랩의 편향각이 증가 할수록 추력손실이 커지게 된다. 이것은 편향각의 증가에 따라 노즐 내부의 피치플랩 힌지의 각도가 커지게 되며 이로 인하여 발생하는 경사 충격파의 각도 또한 커지기 때문이다. 피치플랩 편향각 20° 일 경우 피치플랩 길이의 비 1.5이상에서 적절하게 유동이 편향됨을 확인 할 수 있었다. 즉 특정 피치플랩 편향각에서 유동이 적절하게 편향되기 위한 최소한의 피치플랩길이비가 존재함을 확인 할 수 있었다. 피치플랩비가 0.5에서 1.5 로 증가함에 따라 추력은 증가하다 피치 플랩비 1.5 이상에서는 추력이 다소 감소함을 확인 하였다. 이러한 현상은 피치플랩비가 0.5에서 1.5 로 증가하는 경우 유동의 박리가 점차 감소하게 되며, 1.5 이상에서는 노즐 내부에서 발생하는 경사 충격파의 개수가 점차 증가되어 에너지 손실이 발생하기 때문으로 판단된다. 따라서 유동의 기하학적인 편향 정도와 추력 손실정도를 고려할 경우 피치플랩 길이의 비가 1.5인 경우에 추력 편향효율이 가장 양호한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 기초연구인 "추력편향노즐 성능해석 및 모델링" 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. W.B. Herbst, "Future Fighter Technologies", Journal of Aircraft, Vol. 17, No. 8., 1980

2. "Advanced Exhaust Nozzle System Concepts Demonstration", Contract F33615-77-C-3094
 3. G.T.Jr. Carson and F. J. Capone, "Static Internal Performance of an Axisymmetric Nozzle With Multiaxis Thrust-Vectoring Capability", NASA TM-4237, 1991
 4. H.L. Stevens, E.B. Thayer and J.F. Fullerton, "Development of the Multi-Function 2-D/C-D Nozzle", AIAA-81-1491, 1981
 5. 김윤희, 최성만, 장현수, "2D 추력편향 노즐 성능 및 유동 해석 (Investigation of the 2D Convergent-Divergent Thrust Vectoring Nozzle).", 한국추진공학회 2009년도 제33회 추계학술대회논문집, pp.483-486, (2009)
 6. Theo G. Keith, James E. John, "Gas Dynamics" , Third Edition, Person Education International (2009) , Chapter 12., pp. 453~490
 7. NICHOLAS CUMPSTY, "JET PROPULSION", Third Edition, CAMBRIDGE University Press (2005), Chapter 3., pp. 25~30