

가변 초음속 흡입구 기본설계

이경재* · 강상훈* · 이양지* · 양수석*

Preliminary Design of Movable Ramjet Intake

Kyungjae Lee* · Sanghun Kang* · Yangji Lee* · Sooseok Yang*

ABSTRACT

In this study, one type of ramjet intake were designed for the flight condition of Mach number 4 and numerical analysis was performed. In order to widen the flight envelope range (Mach number 2 ~ 6), movable intake concept was applied. The central body was designed so that the capture area ratio which is one of most important factors of ramjet intake design could be adjusted. And various types of cowl and movable insert part of shell were designed in order to control throat area which could increase total pressure recovery. The numerical results showed that the designed ramjet intake could be applied in various flights Mach number.

초 록

본 논문에서는 램제트 기관의 성능을 결정짓는 공기흡입구를 램제트 엔진의 비행 목적에 맞게 비행 마하속도 4에서 기본설계를 수행하였다. 순항고도 12km, Mach 2~6의 넓은 영역에서의 운용을 가능하게 하기 위하여 가변형 공기흡입구의 개념을 도입하였다.

Key Words: Ramjet Engine(램제트 엔진), Movable Intake(가변 흡입구), Total Pressure Recovery(전 압력회복), Capture Area Ratio(포획면적계수), Shock wave(충격파)

1. 서 론

램제트 엔진이 로켓 엔진과 가장 구분되는 특징은 공기흡입추진이라는 점이다. 공기흡입추진을 위해 램제트 엔진의 연소실은 로켓 엔진의 연소실보다 복잡해지지만, 램압축을 이용하여 압축기를 단순화 시킬 수 있다. 압축기와 산화제의 질량

을 줄여서 좀 더 높은 비추력을 얻을 수 있고 더 높은 성능을 갖게 된다. 그러므로 램제트 기관의 성능을 일차적으로 좌우하는 것은 흡입구의 성능이라 할 수 있다. 본 연구에서는 램제트 기관의 성능을 결정짓는 공기흡입구를 램제트 엔진의 비행 목적에 맞게 비행마하속도 4에서 기본설계를 수행하였다. 순항고도 12km, Mach 2~6의 넓은 영역에서의 운용을 가능하게 하기 위하여 가변형 공기흡입구의 개념을 도입하였다.

* 한국항공우주연구원 첨단추진기관팀
연락처, E-mail: lucia01@kari.re.kr

2. 기본 설계

설계 마하수가 4.0이며 꺾임각의 개수를 3으로 정의 하였을 때 가능한 전체 압축각도는 45°이다[1]. 하지만 최저마하수 2에서도 작동을 하기 위해서는 20~30°의 값을 전체 압축각도로 정의 하여야 한다[1]. 최대의 전압력 회복률을 얻기 위해서는 압축각도가 클수록 좋다. 이러한 전체 하에서는 30°의 각을 가정하는 것이 좋지만 경계층을 고려하여 28°의 각을 전체 압축각도로 정의하였다[1].

전체 압축각도를 28°로 정의한 후 원뿔 형태의 중앙몸체의 2개의 꺾임각을 결정하여야 한다. 꺾임각을 결정하기 위해서는 2개의 꺾임각으로 인하여 원뿔이 생성하는 3개의 경사충격파로 인한 전압력 손실이 각 경사충격파에서 비슷한 값을 갖도록 결정해주어야 한다[2]. 3개의 경사충격파에서 전압력 손실이 유사한 꺾임각은 각각 10.17°, 19.03° 이므로, 3개의 원뿔의 각을 10.17°, 19.03°, 28° 로 가정하였다. 각 원뿔에서 생성되는 경사충격파가 A라는 한 점에서 만나도록 원뿔의 길이를 정해주면 각 원뿔의 길이는 0.99, 1.28, 1.55가 된다[3].

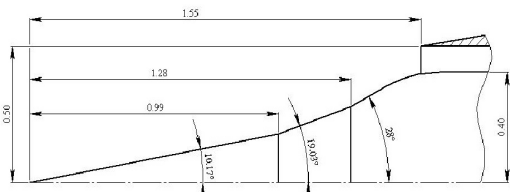


Fig. 1 설계마하수 4일 때의 최적 흡입구 형상

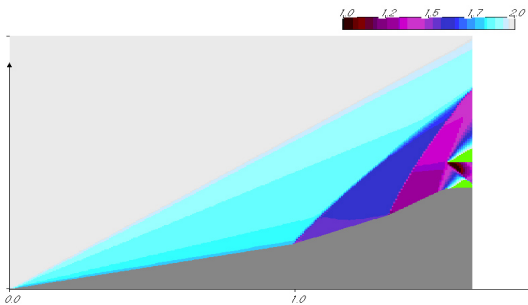


Fig. 2 비행 마하수 2일 때 충격파 구조

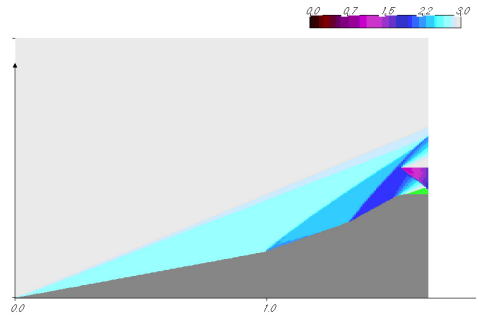


Fig. 3 비행 마하수 3일 때 충격파 구조

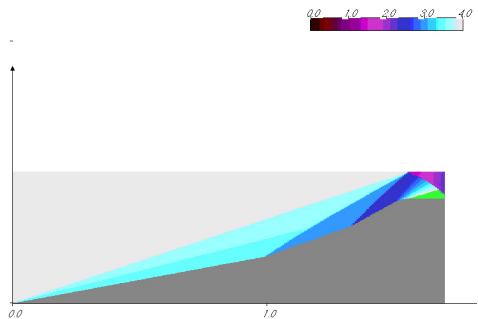


Fig. 4 비행 마하수 4일 때 충격파 구조

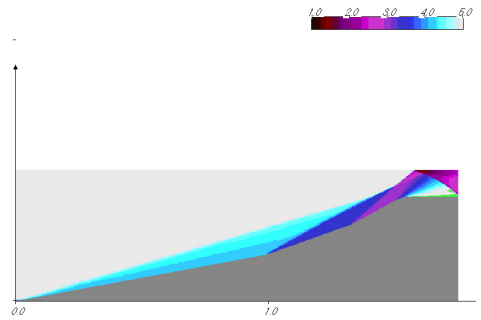


Fig. 5 비행 마하수 5일 때 충격파 구조

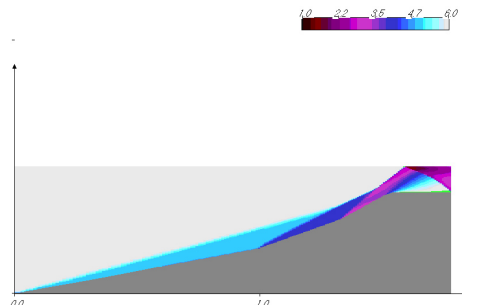


Fig. 6 비행 마하수 6일 때 충격파 구조

각 비행 마하수에서 전압력 회복률과 포획면적비 및 항력계수는 다음과 같다.

Table 1. 전압력 회복률, 포획면적비계수, 항력계수

비행마하수	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
전압력회복률	0.87	0.53	0.27	0.114	0.054
포획면적계수	0.56	0.79	1.0	1.0	1.0
항력계수	0.23	0.10	0	0	0

3. 가변형 흡입구 설계

위의 표에서 보면 포획면적비계수가 설계 마하수인 4.0 이상에서는 1.0을 나타내고 있지만 비행 마하수가 4.0 보다 작아질 때에는 점점 감소하고 있다. 포획면적비계수가 줄어들게 되면 엔진이 흡입하는 공기의 양이 줄어들게 되고, 이로 인해 충분한 추력을 발생시킬 수 없다. 충분한 추력을 발생시키기 위해서는 포획면적비계수를 증가시킬 필요가 있다.

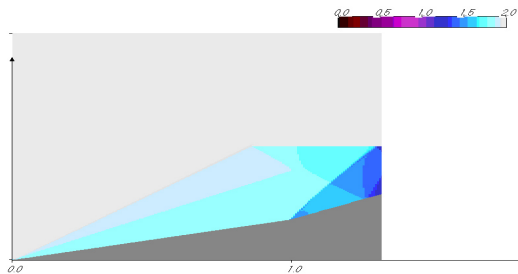


Fig. 7 비행 마하수 2.0, 포획면적비계수 1.0

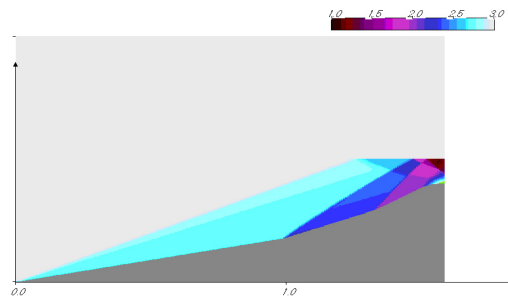


Fig. 8 비행 마하수 3.0, 포획면적비계수 1.0

포획면적비를 증가시키는 방법으로 가장 좋은

방법은 초음속 흡입구의 중앙몸체를 이동시키는 것이다. 초음속 흡입구의 중앙몸체를 이동시키면 첫 번째 원뿔에서 생성되는 경사충격파가 외부 덮개의 끝단에서 만나도록 해주면 초음속 흡입구의 포획면적비계수를 증가시킬 수 있다. 각 단계에서 첫 번째 원뿔에서 생성되는 경사충격파를 외부 덮개의 끝단에서 만나도록 한 후 계산되어진 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같다.

위의 그림에서도 알 수 있듯이 첫 번째 경사충격파를 외부덮개의 끝단에서 만나게 하면 포획면적비계수를 1.0으로 만들어줄 수 있다. 하지만 위와 같이 포획면적비계수를 1.0으로 조정해 주기 위해 중앙몸체를 이동시키게 되면 결과적으로 흡입구의 중요한 특성치의 하나인 전압력 회복률을 떨어뜨리게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 흡입구의 중앙몸체를 이동시켜서 포획면적비계수를 일정하게 만들어줌과 동시에 흡입구의 목면적을 조절해 주어야 한다. 흡입구의 목면적을 제어하는 방법으로는 두 가지가 많이 쓰이고 있다. 첫 번째 방법은 흡입구 외부 덮개의 부가적인 각임각을 주어서 중앙몸체의 이동에 따라 자동적으로 목면적을 제어하는 방식이다. 두 번째 방식은 흡입구 외부덮개 내부에 부가적인 삽입물을 장착시켜서 목면적을 제어하는 방식이다. 첫 번째 방식의 적용을 위해서 흡입구 외부덮개의 부가적인 각임각을 가정하여야 한다. 이는 설계자의 경험에 의하여 결정되는 값으로서 본 연구에서는 7°로 가정하여 적용하였다. 설계된 흡입구의 전압력 회복률, 포획면적계수, 흡입구 목면적은 다음과 같다.

Table 2. 전압력 회복률, 포획면적비계수, 흡입구 목면적, 중앙몸체 이동거리

비행마하수	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
전압력 회복률	0.88	0.58	0.40	0.18	0.08
포획면적계수	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
흡입구 목면적	0.59	0.41	0.22	0.22	0.22
이동거리	-0.667	-0.305	0	0.23	0.38

계산 결과에 따라 설계된 흡입구 및 충격파 구조는 다음과 같다.

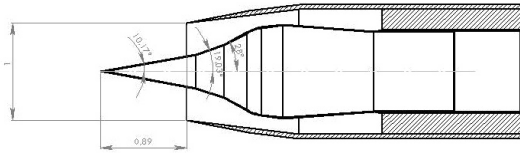


Fig. 9 설계마하수 4.0, 비행마하수 2.0

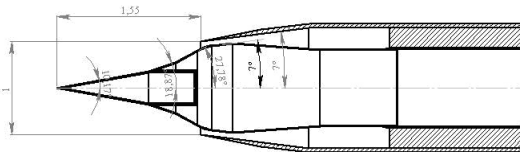


Fig. 10 설계마하수 4.0, 비행마하수 4.0

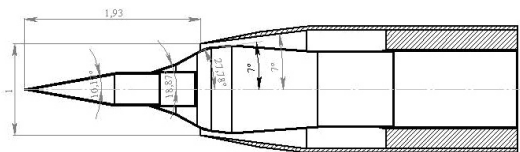


Fig. 11 설계마하수 4.0, 비행마하수 6.0

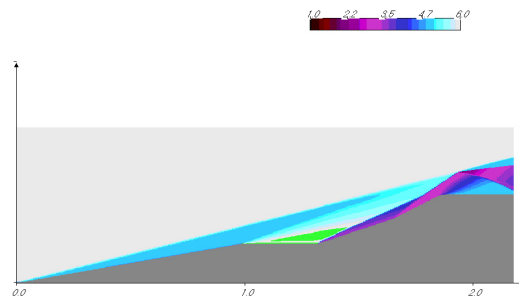


Fig. 12 설계마하수 4.0, 비행마하수 6.0

Table 2.의 값을 제어하기 전의 값인 Table 1. 과 비교해보면 전영역의 마하수에서 포획면적비 계수가 일정한 것을 알 수 있으며, 전압력 회복률 또한 전영역에 걸쳐서 증가해있다는 것을 알 수 있다. 특히 비행마하수 6.0 에서의 전압력 회

복률은 제어 전에 비하여 약 1.5배가 증가하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 마하수 4.0에서의 기본설계를 진행하였으며, 넓은 비행영역에 적용하기 위하여 가변형 흡입구를 적용하였다. 흡입구 중요 설계 변수인 포획면적비계수를 일정하게 만들기 위하여 중앙몸체의 이동거리를 제어하였으며, 전압력 회복률의 값을 증가시키기 위하여 흡입구 외부 덮개에 꺾임각을 주어서 흡입구 목면적을 제어해 주었다. 제어한 결과 거의 전영역에 걸쳐서 흡입구 포획면적비계수를 거의 일정하게 제어할 수 있었으며, 전압력 회복률을 증가시킬 수 있었다. 전압력 회복률의 증가는 특히 높은 마하수에서 두드러지게 나타났다. 기본설계 결과를 바탕으로 예전에 수행하였던 다른 설계마하수에서의 기본설계 결과와 비교하여 상세설계를 진행할 설계마하수를 선정하여 상세설계 및 제작을 진행할 예정이며, 초음속 풍동에 적용하여 실제 시험을 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. K.J. Lee, S.H. Kang, Y.J. Lee, S.S. Yang, D.S. Lee, J.S. Kwak, "Preliminary Design of Movable Air-Turbo Ramjet Engine Intake," AJCPP, 2008
2. J. Seddon, E. L. Goldsmith, "Intake Aerodynamics," AIAA EDUCATION SERIES, 1985
3. John J. Mahoney, "Inlets for Supersonic Missiles", AIAA EDUCATION SERIES, 1990