IRR형 Ramjet Intake 형상 최적설계
(Integrate Rocket Ramjet Engine Intake Shape Optimization)

민병영*, 이재우*, 변영환*

* 건국대학교 항공우주공학과
(Email : bymin76@konkuk.ac.kr)

램젯 엔진을 장착한 미사일은 기존의 터보젯 이나 터보팬 엔진에 비해 압축기와 터빈과 같은 엔진 구성품이 없어 무게가 가볍고 초음속에서 저항도 적으며 고속의 비행영역에서 연료효율과 생존성능이 뛰어나기 때문에 차세대 미사일 추진 시스템으로서 세계 여러 국가에서 개발 및 운용이 이루어지고 있다. 하지만 램젯 엔진은 충분한 램 효과를 얻어야 초기 점화가 가능하기 때문에 현재 개발되고 있는 대부분의 시스템은 최초 발사시 로켓 부스터에 의해 가속하고 로켓연료를 모두 소모하고 난 후에 흡입구가 개방되어 램젯 엔진이 점화하는 방식을 취하고 있다.

램젯엔진은 압축기 없이 외부 램프에 의한 경사충격파와 흡입구 목 뒷편의 종말충격파(Terminal Normal Shock)에 의한 램 압축 효과와 내부 덕트의 단면적 변화에 의한 내부 압축만으로 운동에너지를 압력 에너지로 전환하여 연소실에서 필요한 공기를 공급받게 된다. 하지만 충격파를 통과한 흐름은 전압력 손실로 인하여 엔진 효율을 저하시키므로 이를 최대한 줄일 수 있도록 설계해야 한다. 또한 내부 덕트에서 곡률이 심하면 흐름의 박리가 발생하여 연소실로 유입되는 흐름을 불안정하게 만들어 엔진성능을 감소시킬 수 있다. 그러므로 흡입구의 성능은 일차적으로 램젯 엔진의 성능에 영향을 미치게 되어 적절한 흡입구 형상의 설계는 램젯 엔진 시스템 설계에서 가장 중요하게 고려되어야 할 부분 중의 하나이다.

본 연구에서는 2단의 외부 램프를 가지는 흡입구 형상에 대한 최적설계를 수행하였다. 최근의 미사일은 선두부 및 전방동체에 레이더, 탄두 및 전자장비 등을 탑재하는 경향이므로 흡입구는 미사일의 후방 동체 옆면에 위치한 형태로 고려하여 내부 덕트를 S 형상이 되도록 하였다. 목적함수로는 전압력 회복율과 내부 덕트에서

의 흐름의 왜곡률을 고려하며, 연소실 입구속도와 압력, 그리고 질량유량을 제약조건으로 고려한다. 공력해석은 Euler/N-S CFD Code를 이용하며, 최적화 기법으로는 유전자 알고리즘과 반응면 기법을 이용하였다. 반응면 기법은 목적함수를 2차함수로 근사하여 효율적으로 해석시간을 줄임과 동시에 신뢰성 있는 최적화를 가능하게 한다. 형상 설계를 위해서는 적절한 형상 표현 방법이 있어야 하는데 일반적으로 많이 쓰이는 형상함수로는 Bezier 와 NURBS 곡선이 있다. 본 연구에서는 좀 더 다양하고 세밀한 형상표현이 가능한 NURBS 곡선을 이용하였다. 또한 설계변수의 수를 줄이고 문제를 좀더 단순화하기 위해 카울립의 위치와 형상, 첫 번째 외부램프의 각도, 내부 덕트의 윗면 형상은 일정하게 고정시켰으며, 두 번째 외부램프의 각도와 내부 덕트의 아랫면을 이루는 NURBS 곡선의 조정점의 위치를 설계변수로 하였다. 또한 흡입구 목의 면적이 너무 좁게되면 초킹이 발생하여 흡입구 앞쪽에 강한 bow shock 이 발생하거나 연소실에서의 약간의 압력진동에도 unstart 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 흡입구 목의 면적은 약간의 여유를 두기 위해 두 개의 외부 경사충격파를 통과한 흐름이 흡입구 목 앞에서 수직충격파를 통과한다는 가정하에 초킹이 일어나지 않는 최소 면적으로 하였다.