

각국의 스크램제트 개발 프로그램 개관

원수희* · 정인석** · 최정열***

Overview on Worldwide Scramjet Development Programs

Su-Hee Won* · In-Seuck Jeung** · Jeong-Yeol Choi***

ABSTRACT

Advances in scramjet technology over the past 40 years odd have been remarkable, involving dramatic advances in hypersonic flight-demonstrated technologies. Especially, it is noticeable that since 1990s the international activity in scramjet development has increased considerably. Strong scramjet development capabilities in developed countries are being created through many ongoing research programs for a new generation of industrial and military capability. In this paper the current status of scramjet technology is identified through the investigation of scramjet development programs of each developed country.

초 록

지난 40여 년에 걸쳐 극초음속 비행시연 기술을 포함한 스크램제트 기술은 현저한 진보를 보였다. 특히 1990년대 이후 스크램제트 개발에 있어서 국제적인 활동이 눈에 띄게 증가한 점은 주목할 만하다. 선진국에서는 새로운 세대의 산업 및 군사적 능력을 위해서 현재 진행되고 있는 많은 연구 프로그램들을 통해 강력한 스크램제트 개발 능력이 구축되고 있다. 본 논문에서는 선진 각국의 스크램제트 개발 프로그램들을 살펴봄으로써 스크램제트 기술 현황을 제시하고자 한다.

Key Words: Hypersonic(극초음속), Scramjet Engine(스크램제트 엔진)

1. 서 론

라이트 형제가 1903년 인류 최초의 동력 비행에 성공한 이래, 두 차례의 세계 대전을 거치면서 항공기 추진 기관은 비약적인 발전을 거듭해

왔다. 터보제트가 1939년 첫 비행에 성공하였으며, 1940년 램제트, 1943년 대형 액체 로켓, 1960년 재사용 및 추력조절이 가능한 유인용 로켓이 최초로 비행하였다. 그러나 공기흡입 엔진의 경우 1940년 램제트 엔진의 첫 비행 이래 2004년 스크램제트 엔진의 비행시험 성공까지 약 60여 년이 소요되었다. 비행체 개발이 추진기술의 성숙과 더불어 당대의 기술적 관심과 경제적 현실 등을 반영함을 고려해도 램제트와 스크램제트

* 서울대학교 대학원 항공우주공학과
** 서울대학교 항공우주공학과
*** 부산대학교 항공우주공학과
연락처, E-mail : aerochoi@pusan.ac.kr

엔진 사이의 간극이 상당하다. 이는 상대적으로 스크램제트 추진기술의 어려움을 보여주는 것이기도 하다. 그러나 1990년대 이후, 성숙된 기반 기술을 바탕으로 새로운 고속 추진기관 기술이 상당한 성장을 이루었다[1]. 특히 지상시험 장비 및 지상시험을 검증하는데 사용할 수 있는 비행 시험 기술의 성과는 괄목할 만하며[2], 이러한 노력은 2004년 X-43A에 의한 항공기 최고속도 경신 등, 여러 사례에서 성과를 보이고 있다. 이러한 성공을 계기로 국제적인 스크램제트 개발이 더욱 활성화 되고 있으며, 스크램제트 추진기관이나 극초음속 항공기가 가까운 장래에 실용화될 것으로 여겨져 각국의 주목을 받고 있다.

본 논문에서는 개발 필요성 및 가능성이 점차 중대되고 있는 스크램제트 추진기관에 대한 최근 선진국 개발 동향을 살펴봄으로써 스크램제트 엔진의 기술 현황을 파악하고자 한다.

2. 선진국의 최근 개발동향

2.1 미 국 (Hyper-X)

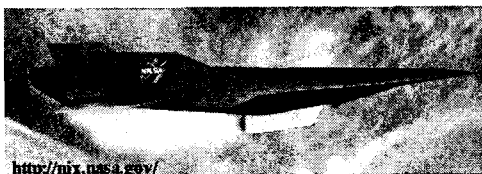


Fig. 1 X-43A demonstrator vehicle

1996년 시작된 Hyper-X 프로그램은 공기흡입 극초음속 비행기술의 입증과 개발을 목표로 한다. 첫 모델인 X-43A는 마하 7과 10에서 약 10초간 동력 비행을 시험하며, 연료는 기체 수소를 이용한다. 2001년 6월의 첫 비행은 발사 직후 발생한 Pegasus 로켓의 문제로 실패하였다. 2004년 3월의 두 번째 발사는 성공적이었다. B-52 폭격기에서 Pegasus 로켓 선두부에 장착되어 발사된 실험체는 마하 7의 속도로 약 10초간 동력비행 시험을 수행하였다. 두 번째 비행은 항공역학적 부하를 줄이고 구조와 제어시스템 마진을 늘리

기 위해 40,000 feet 고도에서 발사되었다. 2004년 11월 수행된 세 번째 비행시험은 마하 9.8의 동력비행을 성공적으로 수행하였으며, 스크램제트 연구는 더욱 활성화될 것으로 기대된다.

X-43C는 미 공군의 HyTech 프로그램에 의해 개발된 스크램제트 엔진의 테스트를 위해 제작될 시험체이다. 이 엔진은 가변 형상 흡입구와 탄화수소 연료를 채택하고 있다는 점에서 기존 스크램제트 엔진과 차별된다. X-43C는 탄화수소 연료를 사용하여 X-43A 보다 긴 약 5분간의 동력 비행을 하며, 이를 통해 시스템의 성능, 램제트/스크램제트 작동 여부 및 비행가능영역을 확인하기 위한 기동비행 등을 시험한다. X-43C의 비행시험은 X-43A에 의해 개발된 기술을 토대로 X-43A에 의해 입증된 하부 시스템을 사용한다.

X-43B는 X-43 계열 중의 세 번째 비행체이며 최초의 재사용 비행체가 될 예정이다. X-43B는 TBCC와 RBCC 기관 중 하나의 엔진을 채택할 예정으로 다른 X-43 기체들과 달리 Pegasus 로켓에 의존하지 않는다. TBCC는 마하수 4까지는 탄화수소 연료를 사용하는 터보제트 또는 터보램제트 엔진, 마하수 7~8까지는 탄화수소 연료를 사용하는 램제트 또는 스크램제트 엔진으로 작동한다. 한편 RBCC의 경우 마하수 3~4까지는 로켓을 이용하여 초기가속을 하며, 마하수 7~8까지는 탄화수소를 이용하는 램제트 또는 스크램제트 엔진으로 작동한다. 마하수 12~15에서는 TBCC와 RBCC 모두 수소연료를 사용한다.

2.2 러시아 (HFL)



Fig. 2 HFL Kholod and launch stand

CIAM(Central Institute of Aviation Motors)은

1991년부터 축대칭 이중모드 스크램제트 엔진의 비행시험을 수행하였다. 1991년 11월에 첫 비행시험이 수행되었으며 최대 마하수는 5.5이다. 러시아-프랑스 공동연구로 1992년 11월과 1995년 3월의 두 번째와 세 번째 비행시험에서는 최대 마하수가 각각 5.35와 5.8이었으며, 세 번째 비행시험에서는 탑재 파워 시스템의 고장으로 인해 엔진의 작동에 실패하였다. 1998년 2월에 수행된 네 번째 비행시험은 CIAM-NASA의 공동연구로서 램-스크램 이중모드 작동 및 초음속 연소 모드의 엔진 작동 범위의 연구를 위해 마하수 3.5-6.4까지 약 77초간 비행시험이 수행되었다.

이러한 일련의 비행시험으로 CIAM은 비행중의 초음속 연소현상을 증명하려 하였으며, 지상시험 및 비행시험 간의 상관관계를 도출하여 스크램제트 엔진의 설계기술을 확립하고자 하였다. 극초음속 비행 실험장치인 HFL Kholod는 SA-5 지대공 미사일에 장착되어 비행시험이 수행되었으며, 이는 SA-5 궤적이 극초음속 비행시험 요구조건에 부합하였기 때문이다. HFL은 연료 공급장치, 제어장치, 계측장치 등으로 구성되어 있으며, HFL과 발사 장치를 Fig. 2에 나타내었다.

2.3 프랑스 (JAPHAR)

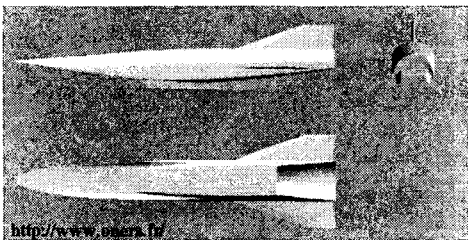


Fig. 3 Generic model of JAPHAR

PREPHA(프랑스)와 Sänger(독일) 후속으로 독일과 협력하여 1997년 시작된 JAPHAR는 이전 PREPHA 연구를 기초로 개발된 고정구조 이중모드 램제트 엔진을 채택하였다. JAPHAR는 마하 4~8에서 작동하는 수소연료 이중모드 램제트의 개발을 목표로 하였으며, 이 과정에서 공기열 역학에 대한 수치해석 코드의 개량 및 검증뿐만

아니라 수행될 비행시험에 대한 개념을 개발하고자 하였다. 2000~2002년 사이 마하수 4.9, 5.8, 7.6에 대한 지상 시험이 수행되었으며, 이를 통해 아음속, 아음속-초음속 천이, 초음속 연소 등을 확인하였다. Fig. 3에 JAPHAR를 나타내었다.

한편 프랑스는 스크램제트 엔진의 비행시험을 위해 2003년 LEA를 시작하였다. LEA는 이중모드 램제트 추진 비행체를 마하 4~8의 속도에서 비행시험하기 위한 프로그램으로, 이를 통해 지상 개발 방법론과 비행검증을 얻을 수 있을 것이다. 추진 시스템으로는 고정식 구조(JAPHAR)나 가변형 구조(Prométhée/PIAF) 중 선택된다. 2010~2012년 6회의 비행시험이 계획되어 있으며, 시험용 비행체는 비회수형이다.

2.4 일본 (RPSC)

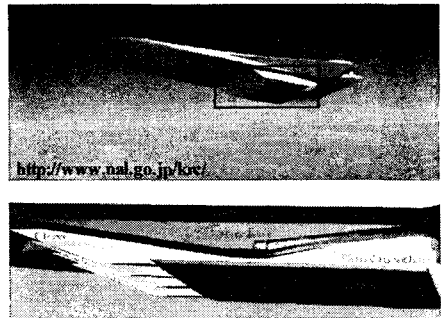


Fig. 4 SSTD demonstrator vehicle

일본 JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)의 KSPC(Kakuda Space Propulsion Center)는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 복합 사이클 엔진을 중심으로 연구를 수행하고 있다. 복합 사이클 엔진은 이젝터제트, 램제트, 스크램제트, 로켓 모드로 구성되어 있으며, 엔진 구성요소, 엔진 시스템, RJTF(Ramjet Test Facility)에서의 실험적 연구 등을 통해 추진시스템의 개발을 목표로 한다. 복합 사이클 엔진의 작동 모드는 초기 이륙으로부터 마하 3까지는 이젝터제트, 마하 3-6 사이에는 램제트, 마하 6-10 사이에서는 스크램제트, 그 이상에서는 다시 로켓 추진 모드로 순으로 변환된다. 복합 사이클 엔진의 재생냉각 요구조건 등에 대한 개념연구가 수행되었으며,

각 구성요소에 대한 실험이 RJTF에서 수행되었다. 이젝터제트에 대한 공력 실험, 램제트 스크램제트 모드에서의 연소 실험, 흡입구 공력 등이 여기에 포함된다. 또한 동체통합 설계에 따른 효과 및 복합 사이클 엔진의 축소 모델에 대한 실험도 RJTF에서 수행되고 있다.

25 호 주 (HyShot)

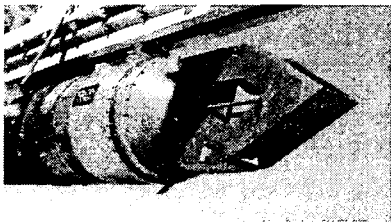


Fig. 5 HyShot flight test model

호주는 국제 컨소시움을 구성하여 HyShot 스크램제트 엔진의 비행시험 프로그램을 수행하였으며, 세계최초로 비행환경에서의 초음속 연소를 확인하는데 성공하였다. HyShot 프로그램은 2단 과학로켓을 이용하여 2차원 스크램제트 엔진구조물을 고도 350km까지 쏘아올린 후 자유낙하하는 로켓의 선두부에 달려있는 스크램제트 엔진이 고도 35-23km 사이를 지나면서 마하 7.6을 얻게 되는 구간에서 약 5초간 실험이 수행된다. 2회에 걸쳐 비행시험이 시도되었으며, 2001년 실시된 첫 번째 비행시험은 1단 로켓 꼬리날개의 파손으로 인해 실패하였다. 두 번째 시도는 2002년 6월에 수행되었으며 성공적인 비행을 통해 스크램제트 엔진의 초음속 연소를 확인하였다. 비행시험에 사용된 스크램제트 엔진 모델을 Fig. 5에 나타내었다.

3. 국내 연구동향

국내의 경우 현재 진행되고 있는 국가적 스크램제트 개발 프로그램은 없으나, 국제공동연구 참여를 통한 스크램제트 관련 기술 습득과 함께 연구소 및 대학을 중심으로 스크램제트 엔진에

대한 기초연구를 수행하고 있다. 국방과학연구소는 비행 마하수 3 정도의 램제트 엔진뿐만 아니라 비행 마하수 6-8 정도의 스크램제트 엔진에도 큰 관심을 보이고 있으며, 한국항공우주연구소는 차세대 위성운반체로서 스크램제트 엔진에 관심을 가지고 있다. 대학의 스크램제트 관련 연구로는 서울대, 부산대, 충남대 및 건국대 연소추진 연구그룹들의 연구 활동이 활발히 진행되고 있다. 그 외에 일본 및 호주 등에서 수행되고 있는 국제공동연구에 참여함으로써 스크램제트 관련 자료 확보 및 기술의 습득을 기대하고 있다.

4. 결 론

지난 40여 년간의 연구를 통해 스크램제트 엔진에 대한 상당한 기술적 진보가 이루어지게 되었다. 특히 지상시험을 검증할 수 있는 마하 7 이상의 비행시험 기술과 액체 탄화수소 스크램제트 엔진 기술에 있어서의 진보는 주목된다. 국내의 스크램제트 관련분야는 제한적이거나 램제트 개발을 위한 기본적인 설계기술, 제작기술에 대한 연구가 수행중인 상태이나, 성능시험장비의 한계로 인해 제한적인 성능시험만을 수행할 수 있고, 대부분 해외 개발 프로그램에 부분적으로 참여하여 기술을 습득하는 형편이다. 따라서 시험장비 능력보강 및 스크램제트 엔진 개발을 위한 투자가 시급하고, 기초기술 개발 및 심화를 위한 지속적인 개발프로그램의 수행이 필요하다.

참 고 문 헌

1. McClinton, C. R., Andrews, E. H., and Hunt, J. L., "Engine Development for Space Access: Past, Present and Future," ISABE Paper 2001-1074, Jan. 2001.
2. Ronald, S. F., "A Century of Ramjet Propulsion Technology," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 20, No. 1, pp. 27-58, 2004.