

DARPA의 정적연소 (CVC) 기반 극초음속 추진기관 개발 프로그램

최정열* · 노진현** · 조덕래**

Constant Volume Combustion (CVC)-based Hypersonic Propulsion System Development Program by DARPA

Jeong-Yeol Choi* · Jinhyeon Noh** · Deok-Rae Cho**

ABSTRACT

Present review introduces the constant volume combustion (CVC)-based hypersonic propulsion system development program recently initiated by DARPA for the hypersonic cruise vehicle (HCV).

초 록

본 리뷰에서는 미국 DARPA가 극초음속 순항 비행체를 위하여 최근 시작한 정적연소 기반 극초음속 추진기관 개발 프로그램에 대하여 소개한다.

Key Words: DARPA, Hypersonic Cruise Vehicles (HCV), constant volume combustion (CVC)

1. 미국의 극초음속 항공기 개발 전략

2001년 방위계획지침에 의하면 미국의 방위는 우주권을 포함하는 중요 영역에서 가상 적에 비해 월등한 우위를 점하는 것을 목표로 하고 있으며, 이에 의하여 미 공군 우주사령부는 필요한 시기, 즉각적으로 군수 화물을 지구 궤도에 수송 및 회수 하는 것을 한 가지 임무로 정하였다. 그러나 이러한 임무는 현재의 로켓 기술로는 이론적으로도 충족할 수 없으며 오직 항공기처럼 운용이 가능한 공기흡입 방식의 극초음속 항공 우주

기만이 유일한 대안이라는 결론을 얻은 상태이다. 과거 미국은 NASP 계획을 통하여 NASA의 주도하에 항공우주기 계획을 진행하였으나 기술 수준에 비하여 무리한 목표로 인하여 계획이 취소된 바 있다. 그러나 이 당시 축적된 기술을 바탕으로 꾸준히 관련 연구를 진행하고 있으며, NASP 와 같이 단번에 항공우주기를 개발하려는 계획을 진행하기 보다는 개별 적용 체계를 가진 단계별 항공기 개발 과정을 통하여 최종 목표를 달성하는 방향으로 진행하고 있다.

2004년 X-43A 스크램제트 무인기의 비행 시험을 성공적으로 마친 미국은 극초음속 항공기 체계 기술이 성숙한 단계에 이르렀다고 판단하고, NASA 주도의 극초음속 항공기의 개발을 취소하는 대신 DARPA가 주도하에 본격적으로 극초

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

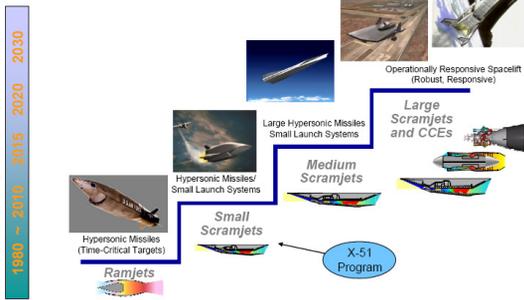


Fig. 1 AFRL/RZ's hypersonic scramjet technology development approach

음속 기술 실증기를 개발하고 있다. HyFly는 2005, 07년 비행 시험에 이어 2010년 추가 비행 시험을 계획하고 있으며, X-51A는 2009년 4차례의 극초음속 비행시험이 계획되어 있다.

한편, DARPA는 극초음속 항공기 개발을 주된 내용으로 하는 Falcon 프로젝트를 진행하고 있다. Falcon 프로젝트에서는 HTV-1, 지상 시험 모델의 시험을 이미 마치고, 극초음속 시험 비행체인 HTV-2의 초도 비행을 2009년 3월 계획하고 있으며, 이를 바탕으로 X-51A의 추진 기술을 접목한 HTV-3X를 2012년 비행 시험하는 계획을 가지고 있다. X-51A가 수백-1,000 km 가량의 비행거리를 가지는 크루즈 미사일 형태의 일회용 비행체라면, HTV-3X는 현재 군용 전폭기의 50-70% 정도 크기에 수천 km 비행 거리의 정찰 및 공격 임무를 가지는 무인기가 될 전망이다. 한편, HCV는 미 대륙에서 지구 어느 곳이든 2 시간 이내에 정찰, 수송 등의 임무를 수행할 수 있는 현용 전폭기 이상의 크기의 비행체가 될 전망이다.

2. 추진기관 개발 전략

이러한 극초음속 비행체 개발을 위해서는 공력, 구조, 제어 등 항공우주 공학 각 분야에서 현재의 기술 수준을 뛰어넘는 도전 과제를 가지고 있으며, 특히 극초음속 추진 기관에서 혁신적인 발전을 필요로 한다. 이후의 내용에서는 이들

극초음속 비행 체계의 추진기관 핵심 기술에 대해 살펴본다.

2.1. HTV-3X 추진기관 체계

항공기와 같은 운용을 목표로 하는 HTV-3X 비행 체계는 이착륙과 극초음속 영역까지 가속을 위하여 기존의 제트 엔진과 램제트/스크램제트 엔진을 결합한 형태인 TBCC 엔진을 계획하고 있다. 마하수 2.5 - 5까지 운용 가능한 램제트 엔진 및 더 높은 마하수에서 작동하는 스크램제트 엔진은 하나의 유도에서 두 가지 모드로 작동 가능한 dual mode 램제트/스크램제트 엔진의 통합된 형태로 개발될 계획이다.

한편, 터보제트 엔진은 초음속 및 극초음속 영역에서 안정된 천이 과정을 위하여, 기존의 터보제트 엔진에서는 불가능한 매우 높은 속도인 마하수 4 까지 작동할 수 있을 것이 요구된다. 이를 위하여 미해군의 초음속 장거리 크루즈 미사일 개발 프로그램 RATTLLRS에서 마하수 3까지 작동할 수 있도록 개발된 YJ102R 터보제트 엔진

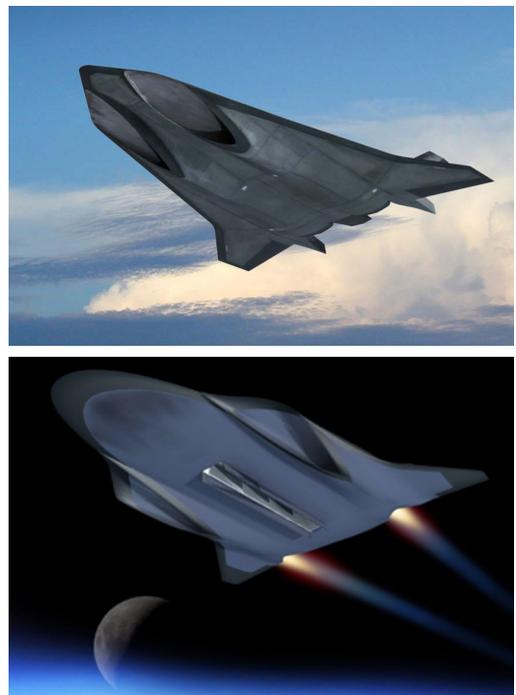


Fig. 2 HTV-3X (upper) and HCV (lower)

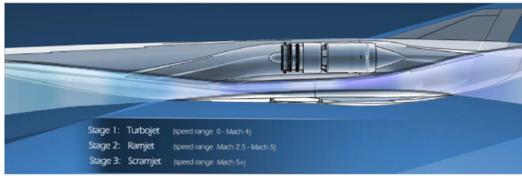


Fig. 3 TBCC strategy for HTV-3X



Fig. 4 RATTILRS 비행체 및 엔진

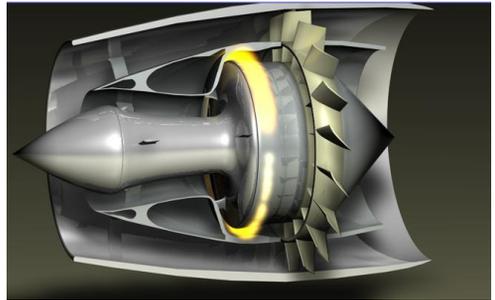


Fig. 5 PW사의 PDE(좌측), CDE 개념도(우측)

을 마하수 4까지 작동 가능하도록 보완 개발하는 계획을 가지고 있다.

2.2. CVC 시스템

근래 환경 및 에너지 문제가 전 세계적인 화두로 대두되면서, 항공 우주 추진 분야에서도 기존 Brayton 사이클에 비하여 현격히 높은 열효율을 가지는 추진기관에 대한 연구가 많은 관심을 얻고 있다.

이러한 노력의 한가지로써, 정압 연소를 이용하는 Brayton 사이클 대신에 Humphrey 사이클과 같은 정적 연소(CVC, Constant Volume Combustion) 방법에 관심이 증가하고 있다. 공기흡입 추진기관이나 로켓 추진기관과 같은 개방계(open system)에서 Humphrey 사이클을 구현하는 방법으로는 데토네이션 파 후방의 연소 과정이 정적 연소에 가까우므로 데토네이션 파를 이용하는 시스템 등이 고려되고 있다. 데토네이션 파를 이용하는 경우 약 30배 정도의 압력 상승효과가 있는 별도의 압축기가 필요 없거나, 추가적으로 상당한 압력 상승을 가져올 수 있어 기존 Brayton 사이클 기반 기존의 가스 터빈 엔

진에서는 불가능한 수치인 15-20% 가량의 열효율 상승을 기대되고 있어, 친환경 추진 시스템으로도 기대를 얻고 있다.

CVC 시스템을 구현하는 현실적인 방법으로써, 지난 10여년간 많은 연구가 진행된 펄스 데토네이션 엔진(Pulse Detonation Engine, PDE) 이외에도 연속(또는 회전) 데토네이션 엔진(Continuous or Rotating Detonation Engine, CDE or RDE) 그리고 Detonation Wave Rotor 등에 대하여 지난 수년간 많은 진척이 있었다.

데토네이션 연소 시스템 중 CDE의 개념은 환형 관대를 흐르는 연료/공기 혼합 기체에서 데토네이션을 발생시키고, 유량 균형에 의하여 지속적으로 회전하는 파를 유지시키는 추진기관의 고성능의 연소 방법이다. CDE 엔진은 기존의 PDE와는 연속적으로 작동하므로 PDE에서 문제가 되던 작동 주파수의 한계, 소음 진동의 문제 등에서 자유로워 실제 시스템에서 적용에 훨씬 유리한 측면을 가지고 있는 것으로 보이며, 연료 분사 및 유량 공급 계통 등의 설계 제작 측면에서도 훨씬 유리한 것으로 여겨진다.

2.3. HCV 추진기관 및 VULCAN Project

2008년 6월 DARPA 는 VULCAN 엔진 개발 프로그램을 공고하였다. VULCAN 프로그램은 F119와 같은 기존의 터보 엔진을 기반으로 CVC (Constant Volume Combustion) 엔진을 부가하여 마하수 4까지 비행 가능한 엔진을 개발하는 프로그램이다. 이는 소형 비행체인 HTV-3X가 초음속 크루즈 미사일용 터보제트 엔진을 이용할 수 있는 반면, 대형 비행체인 HCV를 위하여 기반으로 이용할 수 있는 높은 초음속 영역까지 작동 가능한 대형 터보 제트 엔진은 존재하지 않는 상황이기 때문이다. 즉 높은 마하수에서 작동 가능한 터보 제트 엔진은 재료의 문제로 인하여 열차폐 및 냉각, 소재 등에서 기존의 엔진과는 다른 기술 수준을 요구하므로, 개발 및 생산 비용에서 비현실적이라는 판단으로 보인다.

이러한 대안으로 지난 10년간 많은 연구가 진행된 PDE (Pulse Detonation Engine) 이나 최근 새로이 연구되고 있는 CDE (Pulse Detonation Engine) 등, CVC 사이클에 기반한 엔진을 기존의 터보제트와 결합한 형태의 복합 사이클 추진 기관 개념을 고려하고 있다. 최근의 연구를 통하여 PDE 등 CVC 사이클 엔진은 높은 초음속 영역에서 램제트 엔진 보다 높은 비추력을 가지는 것으로 판단되며, 터빈과 같은 고온 회전 부품이 없기 때문에 높은 초음속에서의 작동에 문제가 없을 것으로 예상된다.

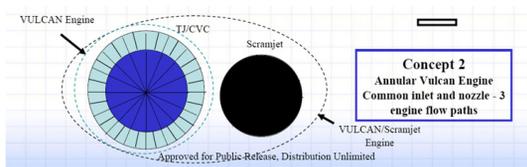


Fig. 6 VULCAN 엔진 통합 개념도

따라서 HCV를 위한 TBCC 통합 체계는 기존에 개발된 군용 터보 팬 엔진과 CVC 엔진을 결합하여 마하수 4까지 이용 가능한 추진 기관과,

마하수 2.5부터 6 이상까지 작동 가능한 dual-mode 램제트/스크램제트 엔진을 병렬로 결합한 형태가 될 것으로 보인다. 이러한 형태의 엔진 조합에 필요한 기술적 문제는 모두 해결 가능한 것으로 보이며, 이상으로 극초음속 장거리 비행을 위한 추진 체계 기술은 완성될 수 있는 것으로 보인다.

참고 문헌

1. Boudreau, A., "Hypersonic Air- Breathing Propulsion Efforts in the Air Force Research Laboratory," AIAA 2005-3255, 2005.
2. Mutzman, R., Murphy, J. and Hank, J., "The X-51A Scramjet Engine Flight Demonstration Program," AIAA-2008-2540, 2005.
3. Kazmar, R., "Airbreathing Hypersonic Propulsion at Pratt & Whitney - Overview," AIAA 2005-3256, 2005.
4. Walker, S., Morris, S., Mamplata, C. and Tang, M., "Falcon HTV- 3X: A Reusable Hypersonic Test Bed," AIAA-2008-2544, 2008.
5. Tang, M., Hamilton, B.A., Chase, R.L., "The Quest for Hypersonic Flight with Air-Breathing Propulsion", AIAA 2008-2539, 2008.
6. Walker, S., Tang, M., Morris, S. and Mamplata, C., "Falcon HTV-3X - A Reusable Hypersonic Test Bed," AIAA 2008-2544, 2008.
7. Bussing, T., "VULCAN Overview," VULCAN Industry Day Agenda, June 10 2008.