

# 추진기관 혁신적 연비향상을 위한 승압연소기 개요 및 연구동향

최정열\*†

## Introduction to Pressure Gain Combustors for the Game-Changing SFC Improvement in Propulsion Systems

Jeong-Yeol Choi\*†

### ABSTRACT

During a last decade, detonative combustion is promising combustion mechanism of high-speed propulsion systems, but is more rigorously considered in these days as a game-changer for the improvement of thermodynamic efficiency of propulsion and power generation systems. Regardless of the skepticism about the pressure loss associated with the strong shock waves, it is shown that the additional compression by the strong shock wave exhibits increased thermodynamics efficiency that is not achievable by conventional compression systems. Present talk will give an introduction to the concepts and the recent activities on the pressure gain combustors (PGC) researches based on detonation phenomena.

**Key Words** : Pressure Gain Combustor, Constant Volume Combustion, Detonation

액체 로켓 및 가스터빈 엔진 등, 정압 조건에서 가열이 이루어지는 Brayton 사이클 기반의 모든 개방형 동력 장치의 성능은 압력 비에 의존한다. 그러나 비추력이나 연비 등의 성능 향상을 위해서 기계적인 방법으로 터보 펌프나 압축기의 단수나 회전수를 늘려 압축비를 증가시키는 방법은 더 이상의 성능 향상에 어려움을 겪고 있는 상황이다.

이러한 어려움을 극복하기 위한 획기적인 방안의 하나로써, 개방형 동력 장치에서 데토네이션을 이용하여 연소 과정을 통하여 압력을 증가시켜 정적 연소 (Constant Volume Combustion, CVC)방식을 구현할 수 있는 승압연소기 (Pressure Gain Combustor, PGC) 연구가 여러 연구 기관에서 활발히 진행되고 있으며, 이를 통하여 획기적인 (정압연소 대비 15~30% 사이클 효율 향상) 성능 향상이 기대되고 있다. 따라서 본 강연에서는 이에 대한 개념 및 세계적인 연구 동향을 소개하고자 한다.

PGC 연구의 대표적인 사례로는 지난 10여년간 많은 연구가 진행된 PDE (Pulse Detonation Engine) 이나 최근 새로이 연구되고 있는 CDE (Continuous Detonation Engine)또는 RDE (Rotating Detonation Engine) 등, CVC 사이클

에 기반한 엔진을 기존의 터보제트와 결합한 형태의 복합 사이클 추진기관 개념등이 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. 1 PW사의 PDE 시연 장면[1]

2008년 6월 DARPA 는 Vulcan 엔진 개발 프로그램을 공고하였다. Vulcan 프로그램은 F119 와 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 기

\* 부산대학교 항공우주공학과

† 연락처, [aerochoi@pusan.ac.kr](mailto:aerochoi@pusan.ac.kr)

TEL : (051)510-2373 FAX : (051)513-3760

반으로 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. 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 해결 가능한 것으로 보이며, 이상으로 극초음속 장거리 비행을 위한 추진 체계 기술은 완성될 수 있는 것으로 보인다.

그러나 DARPA의 Vulcan 프로그램은 2단계로 진행하면서 항공용 엔진 개발 목표를 수정하여 함정용 가스터빈 엔진에 PGC 또는 CVC 사이클 엔진을 도입하여 상당한 수준의 연료비 절감이 가능함을 보이는 것을 목표로 수정하였다. 이는 현재의 TRL 수준에 비추어 항공용 엔진 개발보다 현실적으로 쉬운 목표로 수정한 것으로 여겨진다. 이와 더불어 PDE 가 주류이던 Vulcan 프로그램 연구에 RDE 연구가 새로이 포함되기 시작하였다.[2-5]

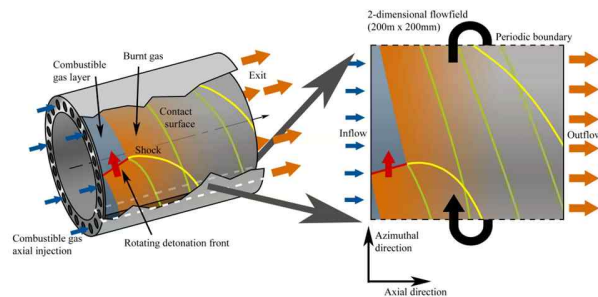


Fig. 2 Operation Concept of Rotating Detonation Engine[3]

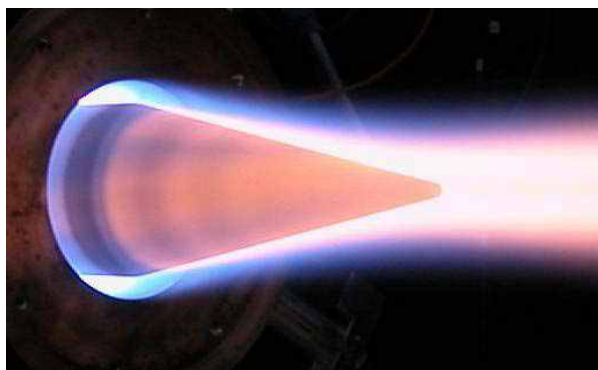


Fig. 3 Rotating Detonation Engine by PWR [5]

2000년대의 RDE 연구는 프랑스에서 기초 연구로 먼저 시작 되어, 폴란드 등 에서도 활발히 진행되고 있으며, TRL수준이 PDE 보다 낮기는 하지만 연속적으로 작동 가능한 특징 때문에 PDE 보다 더 큰 잠재력을 가진 것으로 여겨지고 있으며, 액체 로켓의 연소 불안정 기구와 관련하여 새로이 연구의 관심이 주어지고 있다.

본 논문의 발표 내용에는 데토네이션 이론에 대한 간략한 소개와 더불어 PGC 의 개념과 함께, PDE 및 RDE (또는 CDE) 등의 기타 데토네이션 추진 기관에 대한 설명이 있을 것이다. 아울러 미국 DARPA가 Vulcan 프로그램으로 여러 연구 기관에서 진행하고 PGC 연구 및 프랑스, 러시아, 폴란드 등의 연구 및 로켓/가스터빈 엔진과의 체계 통합 연구 동향에 대해서 소개하고자 한다.

## 후 기

본 논문은 국방과학연구소 국제공동기초연구과제 (ADD-12-70-05-01)로부터 지원 받았습니다.

## 참고 문헌

- [1] T. Bussing, "VULCAN Overview," VULCAN Industry Day Agenda, June 10 2008.
- [2] F. Schauer and A. Mabbett, "Vulcan Engine Demonstration Program," 2011 International Workshop on Detonation for Propulsion (IWDP2011), Nov. 14-15, 2011, Busan, Korea
- [3] P. Wolanski, "Detonative propulsion," 34<sup>th</sup> Symposium (International) on Combustion, Jul.-Aug. 2012, Warsaw, Poland.
- [4] R. Fievisohn, "Rotating Detonation Engine Research at AFRL," 2012 International Workshop on Detonation for Propulsion (IWDP2012), Sep.1-3, 2012, Tsukuba, Japan
- [5] S. Claflin, "Recent Progress in Continuous Detonation Engine Development at Pratt & Whitney Rocketdyne," 2012 International Workshop on Detonation for Propulsion (IWDP2012), Sep.1-3, 2012, Tsukuba, Japan
- [6] R. M., Clayton, R. S. Rogero, J. G. Sotter, "An Experimental Description of Destructive Liquid Rocket Resonant Combustion," AIAA Journal, Vol. Vol 6, No. 7, 1968, pp. 1252-1259.