

75톤급 재생냉각 연소기 기술검증용 시제 설계 및 제작

김종규* · 안규복* · 임병직* · 김문기* · 강동혁* · 최환석*

Design and Fabrication of Technology Demonstration Model of 75 tonf Regenerative Cooling Thrust Chamber

Jonggyu Kim* · Kyubok Ahn* · Byoungjik Lim* · Munki Kim* · Dong-Hyuk Kang* · Hwan-Seok Choi*

ABSTRACT

Design and fabrication of Technology Demonstration Model(TDM) of 75 tonf regenerative cooling thrust chamber were described. It has design chamber pressure of 60 bar, propellant mass flow rate of 243.6 kg/s, and nozzle expansion ratio of 12. It has a single welded structure of the mixing head and the chamber. Design and fabrication technologies established through this TDM can be used to development of flight model.

초 록

75톤급 일체형 재생냉각 연소기 기술검증용 시제의 설계 및 제작에 대하여 기술하였다. 기술검증용 연소기의 설계 연소압력은 60 bar, 추진제 유량은 243.6 kg/s, 그리고 노즐 팽창비는 12이다. 헤드부와 추력실부가 용접되는 일체형 재생냉각형 연소기이다. 본 기술검증용 시제품을 통해 확립된 설계 및 제작 기술들은 비행용 모델 개발에 활용될 것이다.

Key Words: Technology Demonstration Model(기술검증시제), Mixing Head (연소기 헤드), Regenerative Cooling Chamber (재생 냉각 연소실)

1. 서 론

한국항공우주연구원에서 총 3기의 한국형발사체용 75톤급 액체로켓엔진 연소기 기술검증시제(TDM)를 개발하였다. 그 중 2기 시제에 대한 설계 및 제작, 저압 연소시험을 통한 작동성 및 설계 검증을 수행하였다[1][2]. TDM 1, 2호기는 헤

드부와 추력실부가 분리되는 형상으로 설계하였다. 1호기 연소실의 냉각 방식은 내열재 삭마 방식이며, 2호기는 채널 냉각 방식이지만 추력실부를 냉각한 연료가 헤드부로 유입되는 재생냉각 방식이 아닌 헤드부로 연료가 별도로 유입되는 방식이었다. 본 논문에서 다룬 TDM 3호기는 이러한 분리형이 아닌 완전한 일체형 재생냉각 방식의 연소기이다. 본 논문에서는 75톤급 액체로켓엔진 연소기 기술검증시제 3호기의 설계 및 제작에 대해 정리하였다.

* 한국항공우주연구원 연소기팀
연락처, E-mail: bellstar@kari.re.kr

2. 75톤급 연소기 기술검증시제 설계

75톤급 연소기는 연소압력 60bar, 혼합비 2.45, 추진제 유량 243.6 kg/s, 그리고 노즐 팽창비가 12인 연소기이다[3]. Figure 1에 TDM 3호기의 전체 형상을 나타내었다. TDM 3호기는 크게 헤드부와 추력실부로 구성되며 각각은 다음과 같이 설계되었다.

2.1 TDM 3호기 시제 헤드부 설계

TDM 3호기의 헤드부는 기존의 75톤 1/2.5 scale 축소형 연소기 헤드부와 유사하게 산화제 돔, 각 추진제 매니폴드, 중앙 점화분사기, 주 분사기 및 배플 분사기, 수직 및 수평 분리판, 분사기면, 산화제 유입구 등으로 구성되어 있다. Figure 2에 헤드부의 내부구조를 나타내었다. 산화제 돔은 크게 3부분으로 구성되며, 구조해석을 통해 두께 및 형상이 결정되었다. 산화제는 중앙으로 공급되며, 매니폴드 내에서의 균일한 분포를 위해서 수직 분리판 및 수평 분리판을 두었다. 수직 분리판은 산화제 돔과 용접되는 구조로 균일한 분포를 위한 역할과 구조적인 보강재의 역할을 동시에 수행하도록 설계하였다.

TDM 3호기에 적용된 주 분사기는 720개(중앙 점화 분사기 제외)의 동축와류형 분사기이며, 분사기면에 15열로 배열된다. 또한 배플 분사기는 1차, 2차 허브(총 102개)와 블레이드(총 48개)로 구성되며, 길이는 62.9 mm로 결정하였다.

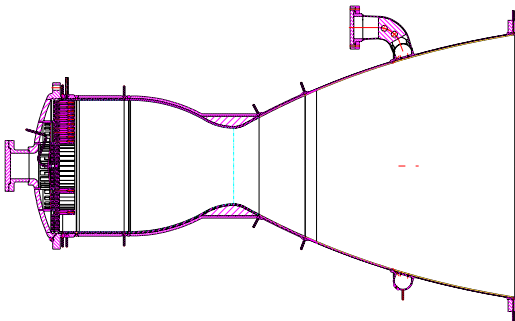


Fig. 1 Schematic of TDM#3

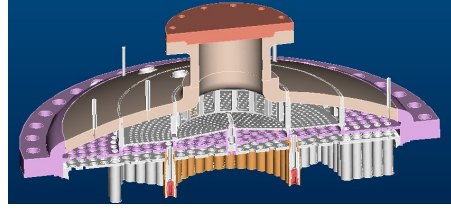


Fig. 2 Mixing Head of TDM#3

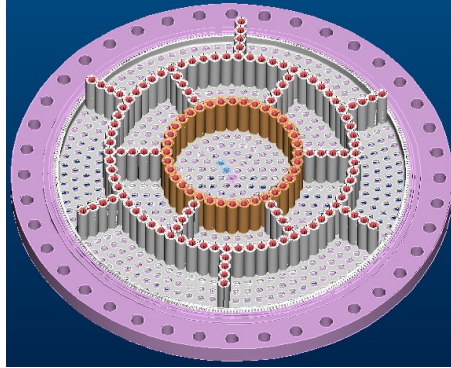


Fig. 3 Injector Arrangement at Face Plate

2.2 TDM 3호기 시제 추력실부 설계

추력실부는 실린더부, 노즐목부, 1차 노즐부, 2차 노즐부, 연료링, 연료유입구 등으로 구성되어 있다. 각각의 구성품은 내피와 외피로 구성되어 있으며, 내피에는 냉각을 위한 채널이 가공되어 있고, 외피와 브레이징 접합된다. 추력실부의 벽면 냉각을 위해서 2개의 막냉각 벨트를 헤드부와 실린더부 사이(1차 막냉각), 실린더부와 노즐목부 사이(2차 막냉각)에 각각 두었다. 막냉각 유량은 전체 연료 유량의 약 10%이며, 1차 막냉각과 2차 막냉각 각각 3%, 7%의 유량이 유입되도록 설계하였다. 또한 추력실부 내벽에 ZrO₂ 열차폐코팅을 하였다. 냉각 채널의 형상은 기본적으로 사각형이며 채널수는 300 ~ 760개로 각 구역마다 다르다. 또한 냉각 채널의 높이는 약 4.5 ~ 7 mm, 폭은 약 1.5~3.5 mm를 유지하였다.

3. 75톤급 연소기 기술검증시제 제작

75톤급 연소기 기술검증시제 제작 방식 및 공정은 기존 30톤급 연소기의 것과 거의 유사하여 기존 문헌들을 참고하기 바란다[2][4][5]. 본 논문에서는 몇몇 구성품에 적용한 새로운 제작방식들을 위주로 기술하였다.

3.1 TDM 3호기 시제 헤드부 제작

TDM 3호기 헤드부는 각각의 부품들을 가공하여 조립 후 브레이징 및 용접을 통해 접합한다. 분사기는 각 부품이 기계가공을 통해 완성된 후 브레이징을 거쳐 접합되고, 개별적인 수류시험을 통해 유량 및 차압을 확인, 최종적으로 헤드부에 장착될 분사기들을 선별한다. 또한 헤드부를 구성하는 부품의 소재는 대부분 저온에서 기계적인 특성이 좋은 STS316L의 소재를 사용하였다. 분사기 매니폴드부가 완성되면 각각의 분사기들을 일정한 패턴에 따라 배열, 조립한다. 또한 점화 분사기, 분사기면, 산화제 수직보강재 등을 조립한 후 브레이징을 실시한다. 1차 기밀시험을 통해 기밀상태를 점검한 후 산화제 수평분리판 및 점화기 배관 등을 용접하여 접합한다. 산화제 돔을 조립한 후 EBW를 통해 접합한 후 최종 강도 및 기밀시험을 수행하여 완성한다. 최종적으로 분사기면에 열적 보호를 위한 ZrO_2 열차폐 코팅을 수행한다. Figure 4에 각각의 공정사진을 나타내었다.

3.2 TDM 3호기 시제 추력실부 제작

TDM 3호기의 추력실부의 내피는 실린더부, 노즐목부, 1차 노즐부, 2차 노즐부(일부)는 동합금 소재이며 외피는 S31803 duplex 소재이다. 실린더부, 노즐목부, 1차 노즐부의 내피 및 외피는 링형상의 재료를 기계가공하여 최종형상으로 가공된다. 실린더부 내피의 채널수는 450개이며 채널윤료가 30° 기울어진 spiral 형상이다. 또한 분사기면에서 약 18 mm 떨어진 곳에 점화를 위한 홀(원주방향 6곳)이 위치하고, 그 후단에 1차 막냉각 벨트($\phi=0.9$ mm, 접선홀 90개)가 위치한다. 노즐목부는 내피와 외피 그리고 조립을 위한 부시가 삽입되어 접합된다. 이 방식은 향후 비행용 모델에서는 내피부와 외피부를 조립한 후 노즐

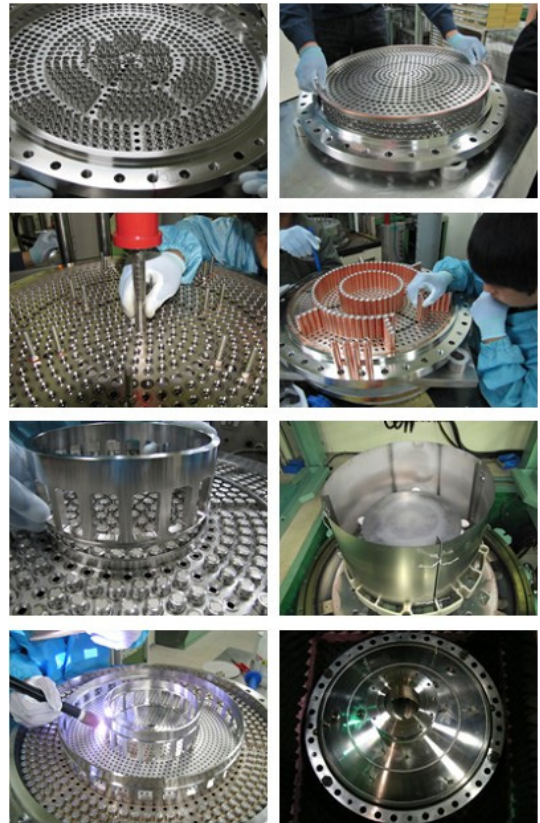


Fig. 4 Fabrication process of mixing head assembly

목 후단을 여러 치구를 이용하여 내피부를 벌려서 조립하는 방식을 적용할 예정이다. 노즐목부와 1차 노즐부를 먼저 EBW로 접합한 후 브레이징을 통해 내피, 외피를 접합하고 실린더부와 다시 EBW를 통해 접합되어 실린더부, 노즐목부, 1차 노즐부가 하나의 구성품으로 완성된다. 위에서 언급하였듯이 외피부는 링형상의 재료를 가공하여 최종형상으로 제작하는데 75톤급 연소기에서 2차 노즐부의 경우는 출구직경이 1048 mm로 상당히 크다. 이러한 크기의 외피를 제작하기 위해서 기존 방식대로 링형상의 소재를 이용한다면 비용 및 가공시간에 있어서 매우 비효율적일 것이다. 이에 기존 30톤급 연소기의 경우는 일정한 두께를 갖는 평판소재를 롤링 및 프레스 등의 공정을 거쳐 가공하는 기술을 적용하였다[5]. 본 TDM 3호기에서는 일정한 두께를 갖는 평판소재 대신 냉간압연된 박판(두께 약 0.8

mm)을 이용하였다[6]. Figure 5에 박판을 이용하여 2차 노즐부 외피를 가공하는 공정 사진을 나타내었다. 박판을 롤링을 통해 원추형 형상으로 만든 후 용접을 통해 외피를 완성한다. 그 다음 기계가공을 거친 후 금형을 이용한 프레스싱 공정을 통해 노즐 형상으로 가공된다. 프레스싱 공정 후에 내부 형상을 검사한다. 완성된 외피부는 내피부와 조립되어 브레이징을 통해 접합되고, 먼저 제작된 실린더부, 노즐목부, 1차 노즐부와 접합되어 추력실부가 완성되고, 최종적으로 Fig. 6과 같이 헤드부와 접합된다.



Fig. 5 Fabrication of 2nd nozzle outer jacket



Fig. 6 TDM#3 of 75-tonf Thrust Chamber

4. 결 론

한국형발사체용 75톤급 액체로켓엔진 연소기 기술검증시제 3호기는 재생냉각 방식의 일체형 연소기로 기존 30톤급 연소기 개발에서 획득한 기술을 바탕으로 설계 및 제작되었다. 본 시제에서 새롭게 적용된 박판을 이용한 노즐 외피부의 제작 방식은 기존의 제작방식에 비해 비용 및 가공 시간에 있어서 매우 유리한 방식이다. 향후 이러한 기술들은 비행용 모델 개발에 적극 활용 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 김종규, 안규복, 임병직, 김문기, 한영민, 최환석, "75톤급 액체로켓엔진 연소기 저압연소시험," 한국추진공학회 춘계학술대회, 2010. 05, pp.10-13
2. 이광진, 김종규, 임병직, 서성현, 한영민, 유철성, 최환석, "75톤급 액체로켓엔진 연소기의 기술검증 시제 제작," 한국추진공학회 추계학술대회, 2009. 11, pp.608-612
3. 한영민, 김종규, 이광진, 서성현, 김성구, 유철성, 최환석, "75톤급 액체로켓엔진 연소기 기본설계," 한국추진공학회 추계학술대회, 2009. 11, pp.125-129
4. 김종규, 한영민, 이광진, 임병직, 안규복, 최환석, "산화제 선공급 액체로켓엔진 연소기의 설계 및 제작," 한국항공우주학회 추계학술대회, 2008, 11, pp.851-854
5. 김종규, 한영민, 서성현, 이광진, 최환석, "지상연소시험용 실물형 재생냉각 연소기(확대비 12)의 설계 및 제작," 한국추진공학회 추계학술대회, 2007. 11, pp.114-118.
6. 유철성, 이금오, 김종규, 한영민, 최환석, "연소기 노즐확장부 외피구조물의 성형 특성," 한국추진공학회 춘계학술대회, 2010. 5, pp.428-432