

액체로켓엔진의 벨로우즈 극저온 단열재 적용

김영준* · 정은환**

Application of Bellows Cryogenic Insulation for Liquid Rocket Engines

YoungJun Kim* · Eunhwan Jung**

ABSTRACT

In development of liquid-propellant rocket engine, engine gimbaling requires various types of bellows movements and cryogenic insulation is applied with movement-based design and material on each axial and circular bellows. Cryogenic insulation of Bellows for high pressure line and recirculation line are necessary to maintain cryogenic temperature for engine efficiency and protect from heat transfer and radiation of high temperature components during engine gimbaling

초 록

액체로켓엔진 개발에서 엔진 짐벌링 시 산화제라인의 벨로우즈 극저온 단열 방법을 연구하였다. 극저온 산화제의 열단열과 엔진구성품의 고온으로부터의 열차폐는 엔진 추진성과 효율에 중요하다. 엔진 짐벌링중 고압배관과 재순환라인(예냉라인)이 단열부위로 기존의 극저온 단열과는 차별화된 디자인과 소재가 필요하다. 엔진 짐벌링중에 벨로우즈의 극저온 단열재가 열단열과 열복사를 고려하여 새로운 디자인으로 마찰력과 작동반경을 고려하여 PTFE소재의 단열재가 적용된다. 향후 엔진 시험을 통하여(짐벌링과 TVC) 새로운 벨로우즈 단열재가 향상되고 디자인 변경이 요구된다.

Key Words: Liquid-propellant Rocket Engine(액체로켓엔진), LOx(액체산소), PTFE(테프론), cryogenic Insulation(극저온 단열), Bellows(벨로우즈)

1. 서 론

액체로켓엔진의 열환경은 엔진구성품(터보펌프, 연소기, 가스발생기 등)들로부터 극저온과 고온의 복합적이고 엔진구성품 보호와 추진성능에

열단열과 열차폐가 액체로켓엔진 개발에 중요한 요소이다. 이전 액체로켓엔진 극저온/고온 단열 연구외에 차별적으로 엔진의 짐벌링의 경우 작동범위와 동작반경에 영향을 미치는 단열을 단열 성능, 디자인, 재질, 두께를 연구하였다.

액체로켓엔진에서 극저온의 산화제라인에는 고압배관과 재순환라인(예냉라인)등에는 엔진의 짐벌링을 위한 벨로우즈가 장착되고 그에따른

* 한국항공우주연구원 발사체엔진팀

† 교신저자, E-mail: yjun13@kari.re.kr

단열이 필요하다. 액체로켓엔진에서는 열차폐, 열단열 등이 극저온과 고온이 동시 존재함으로 단열재 성능과 재질에 열환경을 고려하여 적용된다. 짐벌링이 적용되는 극저온라인의 단열에는 고온 환경, 짐벌링 각도에 따른 서로간의 마찰력, 벨로우즈 자체의 단열 단면 등이 고려된다. 열환경과 마찰력, 재질의 강도에 맞는 재질선정이 필요하고 단열에 두께와 짐벌링의 각도에 맞는 디자인이 단열재의 단열 접촉면적을 고려하여 적용된다.

2. 벨로우즈 단열재

액체로켓엔진의 극저온과 고온단열에 적용된 단열재와는 달리 짐벌링을 위한 주 벨로우즈 부위의 극저온 단열재는 각각 고압배관과 예냉라인에 축형과 회전형 벨로우즈에 적용된다.

축형 벨로우즈의 경우는 배관의 그 축에 따라 길이 변경에 따라 단열 부위의 노출방지와 피스별 분리하여 단열재의 마찰부분이 고려된다. 또한 가속도 센서나 온도센서의 절개부분을 고려하여 제작되고 축형 벨로우즈의 작동시 흘러내림을 고려하여 단열재의 고정부위를 스트랩 처리하여 벨크로 고정한다(figure 1).

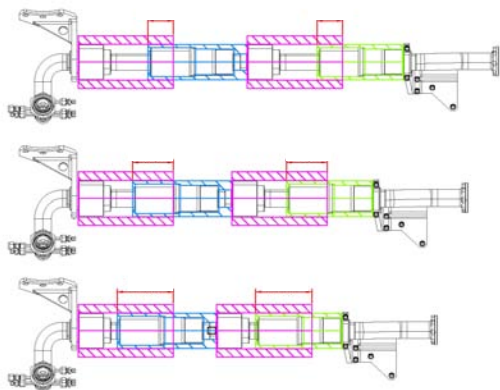


Fig. 1 Cryogenic Insulation of Axial and Rotational Bellows

회전형 벨로우즈의 경우는 축형 길이변경과 짐벌링 각도에 따라 마진을 고려하여 마찰부위

를 최소화하여 제작한다. 회전반경 $\pm 6^\circ$ 의 경우 절개부분과 마진과 길이방향 회전반경을 여유를 고려한다. 극저온 단열의 경우 열환경에 따라 두께(약 10t)를 유지하되 겹치는 면의 경우 총 두께를 배관단열 두께 이상으로 설치된다.



Fig. 2 Cryogenic Insulation Material

극저온 단열재 재질로는 cryogel이 성능면에서는 우수하나 분진에 의해 엔진의 자켓제작으로는 적합하지 않으며, Eglass AL felt(figure 2)의 경우 K값이 0.034이며 제작용이와 AL에 의한 열반사 성능이 있어 고온의 엔진 구성품으로부터 radiation을 막아준다.



Fig. 3 Cryogenic Insulation for Recirculation Line

엔진 열해석상에 10t의 두께와 중량이 가벼우며 부드러운 제질로 친환경적 작업이 가능하다.

재순환라인(예냉라인)의 축형 벨로우즈와 회전형 벨로우즈를 피스별 제작해 마찰력과 강도를 고려하여 외피에 PTFE를 적용하였다. PTFE는 외부온도 200℃까지 고온에 강하며 강도가 높아 엔진조립중 조립tool에 손상이 거의 없다(figure 3).

고압배관(figure 4)의 경우 짐벌링용 벨로우즈 2개가 각각 다른 형태로 장착되며 단열재는 외경부위에 밴드로 고정되어 회전반경에 방해되지 않도록 설치된다. 8각 형태의 벨로우즈에 원형의 단열재가 마진을 가지고 제작되어 공간을 만들고 내부의 극저온과 엔진외부의 고온으로부터 보호한다.

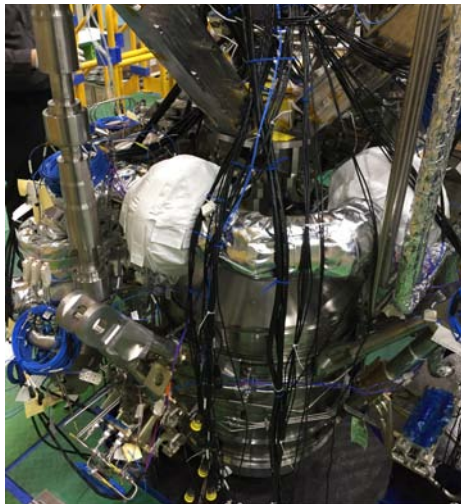


Fig. 4 Installation of Cryogenic Insulation for High Pressure Bellows

4. 결 론

액체로켓엔진개발에 엔진구성품의 극저온/고온 단열재 제작 및 설치에 있어서 엔진 짐벌링의 경우 작동범위와 동작반경에 영향을 미치는 단열을 단열 성능, 디자인, 재질을 연구하였다. 엔진 짐벌링중 고압배관과 재순환라인(예냉라인)이 단열부위로 기존의 극저온 단열과는 차별화된 디자인과 소재가 필요하다.

짐벌링 엔진의 성능 및 효율을 극대화 하기 위해 구성품의 단열재가 새로운 디자인과 마찰력과 작동반경을 고려하여 PTFE소재의 단열재가 적용된다. 향후 엔진 시험을 통하여(짐벌링과 TVC) 새로운 벨로우즈 단열재가 향상되고 디자인 변경이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 정용현, 이은석, 설우석, 양창환, 김우겸 “열유동 환경이 고려된 액체로켓엔진의 단열재 수치해석,” 한국추진공학회, , 2010.5, pp.165-169
2. Wang, T. and Luong, V., "Hot-Gas-Side and Coolant-Side Heat Transfer in Liquid Rocket Engine Combustors," Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 8, No. 3, July-Sept. 1994
3. 김영준, 조명환 “액체로켓엔진의 시스템 단열 설계,” 한국추진공학회, 2014. 5
4. 김영준, 정은환 “액체로켓엔진의 극저온 단열 설계,” 한국항공우주학회, 2015. 9
5. 김영준, 정은환 “액체로켓엔진의 플룸에 의한 고온 단열재 적용 방법에 대한 연구,” 한국항공우주학회, 2016. 9
6. 김영준, 정은환 “액체로켓엔진의 극저온/고온 단열재 적용방법에 대한 연구,” 한국추진공학회, 2016. 11