

액체로켓 터보펌프 벌류트 케이싱의 파열시험

윤석환** · 전성민* · 김진한*

Burst Test of Volute Casings for Liquid Rocket Turbopump

Suk-Hwan Yoon**, Seong Min Jeon*, Jinhan Kim*

Key Words : Turbopump(터보펌프), Volute(벌류트), Burst test(파열시험), Structural analysis(구조해석)

ABSTRACT

Volute casings for liquid rocket turbopump are designed and evaluated in a structural point of view. At the design step 3D modeling and finite element analyses are conducted iteratively. During the step various loads such as internal pressure, casing stiffness and mounting forces are considered in the analyses, along with the weight minimization effort. After the design step volute casings are manufactured by metal casting process, and then they are subjected to burst test for structural verification. In the burst test strains at several points are measured and compared with predicted values.

1. 서 론

액체로켓엔진의 핵심 구성품 중 하나인 터보펌프는 저압의 액체 연료와 산화제를 고압으로 가압하여 연소실로 공급하는 역할을 하며, 각각 연료와 산화제를 가압하는 연료펌프, 산화제펌프 및 이들을 구동하기 위한 터빈으로 나눌 수 있다¹⁾. 터보펌프에서는 요구되는 유량과 압력에 따라 원심 펌프 및 축류 펌프가 사용되며, 상대적으로 낮은 유량과 높은 압력이 요구되는 곳에는 원심 펌프를, 높은 유량과 낮은 압력이 요구되는 곳에는 축류 펌프를 사용한다.

이 중 국내에서 개발 중인 한국형 발사체의 터보펌프에는 원심 펌프가 사용되는데, 펌프의 출구부에 위치한 벌류트 케이싱은 내부의 임펠러에서 구현되는 높은 내부 압력을 견디는 역할을 하여 펌프 케이싱 중 구조적으로 가장 높은 중요성을 가지고 있다²⁾.

벌류트 케이싱은 내부적으로 발생하는 작동유체의 높은 압력 하중을 견뎌야 함과 동시에 터보펌프로부터 엔진측 지지대로 전달되는 각종 하중에 대한 구조적 안전성도 확보하여야 한다. 또한 이러한 강도 요구 조건과 더불어 펌프와 터빈이 직렬로 연결되어 있는 구조에서 전체 터보펌프 케이싱의 일정 수준 이상의 강성 확보를 위하여 벌류트 케이싱도 충분한 강성을 지니고 있어야 하며 내부에 위치한 베어링을

견고하게 지지하기 위한 강성도 확보되어야 한다.

벌류트 케이싱의 강도 측면에서 가장 중요한 부분은 혀(tongue) 부분의 응력 집중 현상에 대한 안전성을 확보하는 것이다. 벌류트 혀는 구조적인 측면에서 높은 내부 압력에 대한 팽창 변위에 따라 필연적으로 정적인 응력 집중이 발생하는 곳이고, 이것은 벌류트 케이싱의 고유한 형상에 의한 것이므로 피할 수 없는 문제로서 케이싱의 보강, 즉 벽두께 증가나 외부 립의 삽입과 함께 가능한 경우 이중 벌류트 형상의 채용, 임펠러 외주 부분의 안내깃 삽입 등을 통하여 허용 수준까지 응력을 완화시키는 것이 중요하다^{3,4,5,6)}.

벌류트 혀는 이러한 정적인 하중뿐 아니라 임펠러에서 가압되어 토출되는 작동 유체의 고주파 동압에 의한 동적 하중 성분에도 노출된다. 이러한 동적 하중은 벌류트 혀와 임펠러 끝단 사이의 거리에 따라 크게 변화하며, 보통 수력학적 효율과 구조적 안전성 사이에서 적절한 값을 선정하는 것이 필요하다⁷⁾.

본 연구에서는 한국형 발사체용 터보펌프 케이싱으로 설계된 산화제펌프 벌류트 케이싱과 연료펌프 벌류트 케이싱의 이론적, 실험적 안전성을 검증하기 위하여 정적 3차원 구조해석 및 파열시험을 실시하였다. 정적 3차원 구조해석을 통하여 벌류트 케이싱의 이론적 안전성을 조사하였으며, 이후 실제 동일 형상의 벌류트 케이싱을 주조 공정을 통하여 개발하였다. 이러한 주조 케이싱에 대한 파열시험을 실시함으로써 설계의 적정성 및 주조품의 건전성을 동시에 평가하

* 한국항공우주연구원 터보펌프팀

† 교신저자, E-mail : shyoon@kari.re.kr

고자 하였다.

2. 벌류트 케이싱 파열시험

2.1 파열시험 방법

Table 1에 개발된 펌프의 간략한 정보를 수록하였으며, 적절한 운전 조건에 대한 구조 설계 및 해석을 통하여 완성된 산화제펌프 벌류트 및 연료펌프 벌류트 케이싱의 3차원 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

인코넬738LC소재를 사용한 주조 공정을 통하여 완성된 벌류트 케이싱의 건전성 및 강도를 실험적으로 확인하기 위하여, 실제 제작된 케이싱에 대하여 수압을 이용한 파열시험을 실시하였다. 벌류트의 모든 개구부를 적절한 플랜지와 실을 이용하여 밀폐한 후, 내부 전체 공간에 대하여 균일압으로 가압하여 케이싱의 건전성을 확인하였다. 가압 도중 케이싱의 항복 여부를 파악하기 위하여 벌류트 외벽에 2개소를 선정하여 3축 스트레인 게이지 로제트를 부착하여 변형률을 실시간으로 측정하였으며, 후에 이 지점에서의 변형률을 해석결과와 비교하였다.

파열시험을 위하여 케이싱 내부 압력을 점차 증가시켜야 하는데, 항복 시점 및 파괴 시점을 보다 더 효율적으로 파악하기 위하여 가압 및 해압을 반복하면서 점차 가압량을 늘이는 방법을 선택하였으며, 각 단계의 해압 시 변형률이 원상 복구하는지의 여부를 관찰하여 케이싱의 소성 변형 양상을 파악하고자 하였다. 산화제펌프 벌류트 케이싱과 연료펌프 벌류트 케이싱의 시간에 따른 가압 패턴을 Fig. 2에 나타

내었다. 그래프에서 알 수 있듯이, 최초 2 MPa의 수압으로 가압하여 주요 체결 부위의 누수 여부를 확인한 후 해압하였으며, 이후 6 MPa에서부터 가압과 해압을 반복하며 매 가압 시점에서 2 MPa씩 압력을 증가시켜 파열 시점까지 진행하였다. 매 가압 및 해압 단계에서 스트레인 게이지들의 변형률을 실시간으로 관찰, 기록하였다.

Fig. 3과 Fig. 4에 각각 수압시험 치구에 고정되어 시험 준비가 완료된 산화제펌프 및 연료펌프 벌류트 케이싱을 나타내고 있다. 각각의 벌류트는 안전을 고려하여 마련된 전용 수압시험기를 이용하여 시험을 진행하였다.

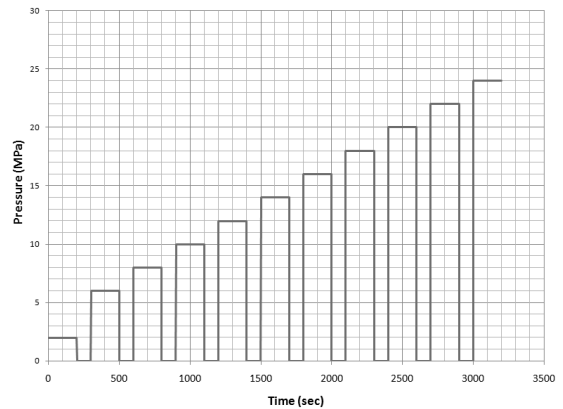


Fig. 2 Pressurizing pattern of volute casings

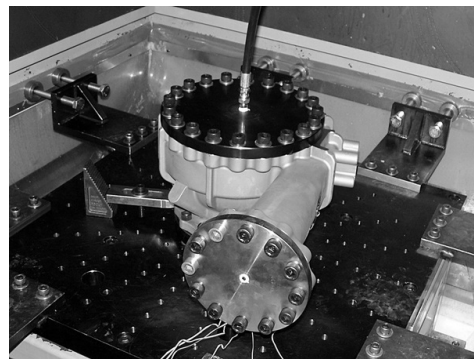


Fig. 3 Volute casing of oxidizer pump ready for burst test

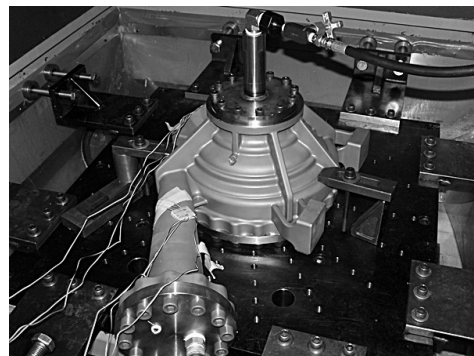


Fig. 4 Volute casing of fuel pump ready for burst test

Table 1 Pump specification

		Oxidizer pump	Fuel pump
Type		centrifugal	centrifugal
Medium		LOx	kerosene
Stages		single	single
Material	shaft	stainless steel / superalloy	stainless steel
	casing	stainless steel / superalloy	stainless steel

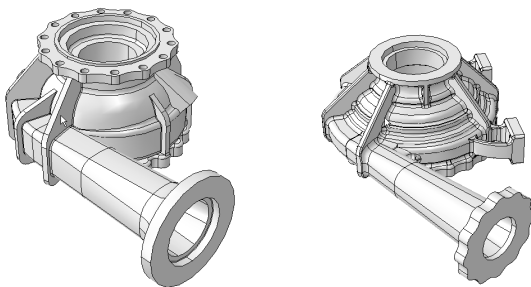


Fig. 1 Designed shape of volute casing for oxidizer pump(left) and fuel pump(right)

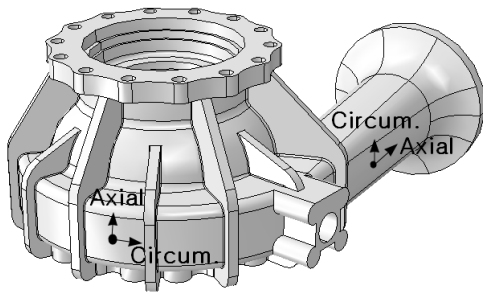


Fig. 5 Points of strain gage measurement

전술하였듯이 벌류트 케이싱의 외벽에 3축 스트레인 게이지 로제트를 부착하였는데, 부착 위치를 Fig. 5에 나타내었다. 벌류트 케이싱은 굴곡이 많고 보강재인 림(rib)이 많이 분포하고 있어 스트레인 게이지를 임의로 부착하기가 어려우며, 주로 편의성을 고려하여 벌류트 스크롤 외벽 및 디퓨저 외벽에 각각 한 개씩의 지점을 선정하여 부착하였다. 게이지의 부착 방향은 벌류트 스크롤에 붙인 게이지는 펌프 축 방향을 axial로 정의하였으며, 디퓨저에 붙인 게이지는 디퓨저 축 방향을 axial로 정의하였다.

위와 같이 시험 조건을 설정하고 스트레인 게이지를 부착한 후, 수압을 이용한 가압 시험을 실시하였다. 스트레인 게이지는 스트레인 앰프와 연결하여 실시간으로 가압 및 해압에 따른 변형률의 변화를 측정하고 기록하였다.

2.2 파열시험 결과

앞 절과 같은 방법을 통하여 벌류트 케이싱의 파열시험을 실시하였으며, Fig. 6과 Fig. 7은 각각 산화제펌프와 연료펌프 벌류트 케이싱의 시간에 따른 변형률 측정 결과를 정리한 것이다.

그래프를 관찰해보면, 산화제펌프와 연료펌프 벌류트 케이싱 모두 가압 및 해압 패턴에 맞추어 즉각적으로 변형률의 변화가 일어나고 있음을 볼 수 있다. 산화제펌프 벌류트 케이싱의 경우 벌류트 디퓨저의 원주 방향 변형률이 가장 크게 반응하고, 벌류트 스크롤의 축 방향 변형률, 벌류트 디퓨저의 축 방향 변형률, 그리고 벌류트 스크롤의 원주 방향 변형률의 순으로 내부 압력에 대한 변형률의 민감도가 감소하는 것으로 나타났다. 반면 연료펌프 벌류트 케이싱의 경우 벌류트 스크롤의 축 방향 변형률, 벌류트 디퓨저의 원주방향 변형률, 벌류트 스크롤의 원주방향 변형률, 그리고 벌류트 디퓨저의 축 방향 변형률의 순으로 변형률의 민감도가 감소하는 것으로 나타나, 산화제펌프 벌류트와 다른 양상을 보여주고 있다.

이와 같은 민감도의 차이는 위 그림에서 가압 상태일 때의 변형률 값만 추출하여 내부압력과 변형률의 관계를 도시한 Fig. 8과 Fig. 9에서 보다 뚜렷하게 확인이 가능하다.

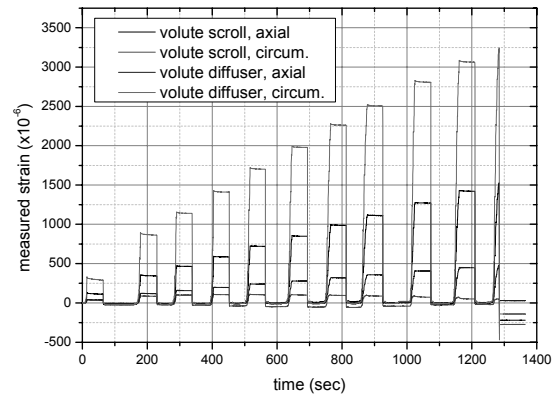


Fig. 6 Measured strains of the oxidizer pump volute casing

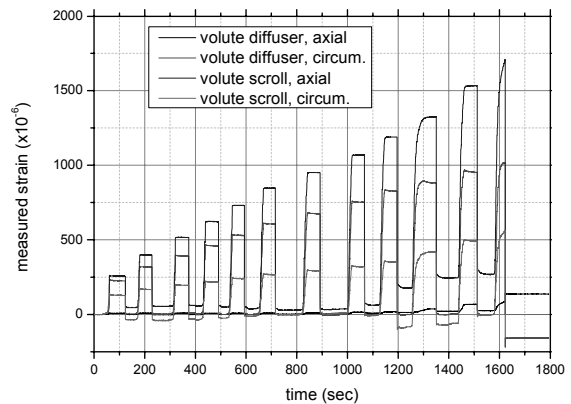


Fig. 7 Measured strains of the fuel pump volute casing

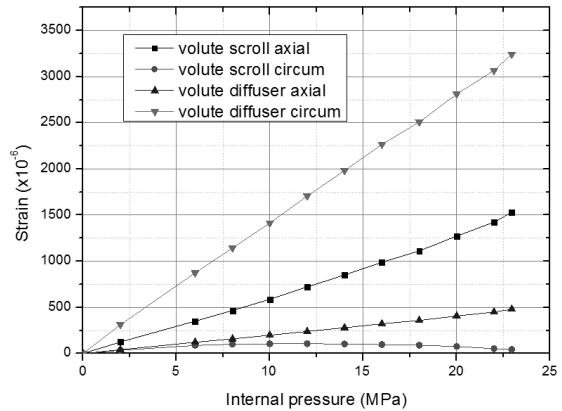


Fig. 8 Measured strain vs. internal pressure of the oxidizer pump volute

Fig. 8은 산화제펌프 벌류트의 내부압력과 변형률의 관계를 나타내고 있다. 내부압력에 대한 민감도에 따라 변형률의 변화는 전체적으로 크게 보아 선형적인 관계를 유지하고 있음을 알 수 있다. 실제 벌류트 허 및 그 근방에서는 내부 압력 하중이 일정 값 이상에 도달하면 응력 집중이 발생하여 소성 변형이 발생하면서 점차 파단이 진행되어 가지만 이것은 초

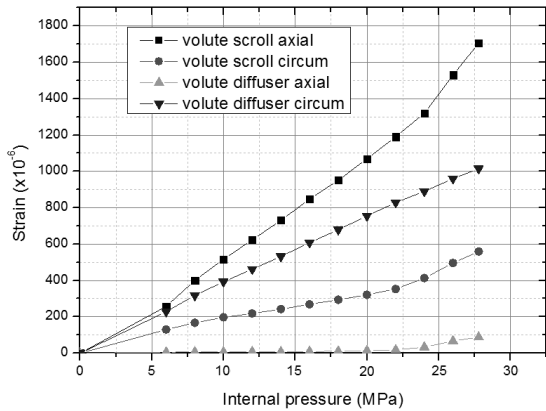


Fig. 9 Measured strain vs. internal pressure of the fuel pump volute

기에는 매우 국부적인 현상이므로 벌류트 혀로부터 멀리 떨어진 스크롤 외면 및 디퓨저 외면에서는 쉽게 관찰되지 않는다. 따라서 벌류트 케이싱 외면의 스트레인게이지 부착지점에서의 변형률은 파단 직전까지 거의 선형적인 거동을 유지함을 알 수 있다. 이와 같이 나타나는 방향별 민감도의 차이는 내부 압력과 면적을 통해 발생하는 힘의 크기와 케이싱의 두께에 영향을 받는데, 특히 벌류트 디퓨저의 형상은 모두 양 끝이 폐쇄된 단조로운 실린더 형상으로 근사하여 이해할 수 있다. 유한한 벽두께를 가진 폐쇄된 실린더에서 내부 압력이 외부 압력보다 클 경우 원주방향 변형률이 축방향 변형률보다 커지게 되므로 디퓨저에서는 원주방향 변형률이 더 민감하게 증가하며, 이것은 그래프에서도 확인이 가능하다⁸⁾. 한편 벌류트 스크롤에서의 축방향 및 원주방향 변형률의 비교는 벌류트 케이싱이 축방향에 따라 불규칙한 단면적 및 벽두께를 보이고 있기 때문에 이러한 간단한 비교가 어렵게 된다. 또한 벌류트 케이싱 외측면에 구조적 보강을 위한 립이 불규칙적으로 배열되어있어 이 또한 스크롤의 변형률에 방향에 따른 민감도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이러한 관계는 Fig. 9의 연료펌프 벌류트의 변형률 그래프에서도 동일한 양상을 보인다. 기본적으로 선형에 가까운 관계를 나타내고 있지만, 압력이 높아질수록 변형률의 증가 추세가 가파르게 변하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 케이싱에 소성변형이 일어나 가압 후 해압 단계에서 변형률이 원점으로 복귀하지 못하고 다시 가압에 따른 변형률 상승이 일어나기 때문이다. 이것은 가압과 해압의 이력을 나타낸 Fig. 6과 Fig. 7에서도 다시 한번 확인이 가능하다. Fig. 6의 산화제펌프 벌류트에 해당하는 그래프에서는 각각의 가압 후 해압 과정에서 소성변형량이 크게 눈에 띄지 않으므로 Fig. 8의 그래프에서 비교적 깨끗한 선형관계를 보이고 있으나, Fig. 7의 연료펌프 벌류트에서는 압력이 높아질수록 가압 후 해압 과정에서 소성변형량이 상당량 잔류하는 것으로 나타났으며, 이에 따라 Fig. 9의 그래프도 후반부에 이르러 점차



Fig. 10 Crack at the oxidizer pump volute



Fig. 11 Crack at the fuel pump volute

변형률 증가의 기울기가 상승하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각의 벌류트 케이싱 파괴 형상을 나타내었다. 내부 압력 하중에 의한 벌류트 케이싱의 파단은 벌류트 혀 지점에서 시작되는 것은 익히 알려진 사실이며, 이는 대부분의 경우 실험적으로나 해석적으로나 확인이 가능하다. 이러한 혀 부분의 응력 집중은 내부 압력에 의하여 벌류트 케이싱이 전체적으로 팽창하면서 혀를 펌프 축 방향의 전후방 양쪽에서 잡아당기는 변위가 발생하기 때문인데, 이 때문에 벌류트 혀의 전방 혹은 후방 필릿 부분에서 파단이 시작된다. 또한 전후방 필릿의 어느 쪽에서 응력 집중 현상이 심해지는가의 여부는 보통 혀를 기준으로 전방이나 후방 케이싱의 강성 차이에 많이 좌우되며, 특히 혀 부근의 입구부분 플랜지의 구속 조건에 영향을 받는 경우가 많다. Fig. 10은 산화제펌프 벌류트의 파단 형상을, Fig. 11은 연료펌프 벌류트의 파단 형상을 나타낸다. 전술한 바와 같이 파단은 벌류트 혀의 모서리 필릿에서 시작이 된 것을 확인할 수 있으며 산화제펌프 벌류트는 혀의 후방 필릿, 연료펌프 벌류트는 혀의 전방 필릿에서 균열이 시작된 것을 알 수 있다. 이는 케이싱의 상대적 두께 차이로 설명이 가능한데, 벌류트 후방부의, 두께가 평균 20~30 mm에 달하는 두꺼운 케이싱 부분과 연결된 스크롤 부분의 케이싱 두께가 산화제

펌프는 16 mm, 연료펌프는 8 mm로서 차이가 크다. 따라서 산화제펌프는 후방 두꺼운 케이싱과 인접 스크롤 부분의 케이싱 강성이 모두 높아 그 사이에 위치하고 있는 혀의 후방 필릿에서의 변형량이 상대적으로 작으며, 반대편인 전방 필릿에서 상대적으로 큰 변형이 일어나 이 부분에서 먼저 균열이 시작된 것으로 생각된다. 연료펌프는 스크롤의 두께가 얇아 이 부분의 케이싱 강성이 낮으므로 두꺼운 후방부와의 경계부에 위치한 혀의 후방 필릿에서 큰 변형이 일어나 균열이 먼저 시작된 것으로 유추할 수 있다.

3. 벌류트 케이싱 구조해석

3.1 해석 방법

벌류트 케이싱의 초기 설계는 3차원 모델링과 각종 하중을 고려한 구조 해석을 반복함으로써 최적화가 이루어진다. 우주발사체 구성품의 특성 상 가능한 중량을 줄이면서도 구조적 안전성을 확보하는 것이 중요한데, 구조 해석은 유동 해석 결과로부터 나온 내부 압력 분포를 사실적으로 고려하여 이루어지며 이를 토대로 최종 3차원 형상이 결정된다.

이렇게 실제 운전 조건에 맞게 설계된 벌류트 케이싱에 내압/기밀시험이나 파열시험을 실시할 경우, 이 조건에 대하여 다시 구조 해석을 실시하여야 한다. 그 이유는 실제 운전 조건에서는 내부에 복잡한 압력 분포를 고려하여 설계가 이루어지지만, 내압/기밀시험이나 파열시험은 시험의 특성 상 대부분 단일 압력으로 내부가 채워지므로 하중 조건이 크게 달라지기 때문이다. 또한 이러한 시험 시 벌류트 케이싱의 개구부를 차단하는 플랜지가 설치되는데, 플랜지 면적으로부터 내부 압력에 의한 추가적인 외력이 상당량 발생하기 때문에 이것 역시 해석에 고려하여야 한다.

이에 따라 구조 해석은 플랜지가 모두 체결된 상태에서의 3차원 모델을 생성하여 내부에 균일 압력 하중을 가하는 방법으로 진행하였다. Fig. 12에 개구부에 모두 플랜지가 모델링된 벌류트의 3차원 형상을 나타내었다. 실제 파열시험 시 압력은 낮은 압력에서부터 높은 압력까지 단계적으로 가압

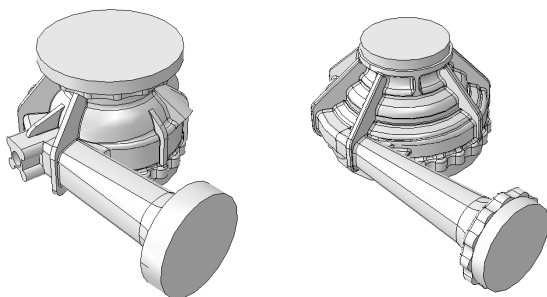


Fig. 12 Modified shape of volute casing for oxidizer pump(left) and fuel pump(right)

및 해압을 반복하면서 소성 변형이 발생하였는지의 여부를 조사하게 되므로 이러한 가압 사이클과 동일하게 하중을 고려하였다.

파열시험은 금속의 특성 상 필연적으로 소성 변형을 동반하게 되므로 소재 기계적 성질의 탄성 영역 및 소성 영역까지 고려하는 탄소성 해석을 실시하였다⁹⁾. 아울러 모재인 인코넬 738LC의 주조품에서 채취하여 가공한 인장시험편에 대한 인장시험을 실시하여 기계적 성질의 대푯값을 파악한 후 이를 해석에 고려하였다.

3.2 해석 결과

파열시험 시 내부 압력에 따른 미세스 등가응력 분포의 예를 Fig. 13과 Fig. 14에 나타내었다. 산화제펌프 및 연료펌프 벌류트 케이싱 내부에 파열시험에서 적용하였던 여러 수준의 균일 압력 하중을 모두 고려하여 해석한 결과 중 한 예로서 4 MPa의 균일 압력이 작용하고 있을 때의 미세스 등가응력 분포를 나타낸다. 해석결과에서 응력 단위는 Pa로 나타내었다.

벌류트 케이싱의 응력은 대부분 혀와 그 인접 부분에 집중되므로, 벌류트 케이싱의 외곽면 응력은 대부분 그보다 훨씬

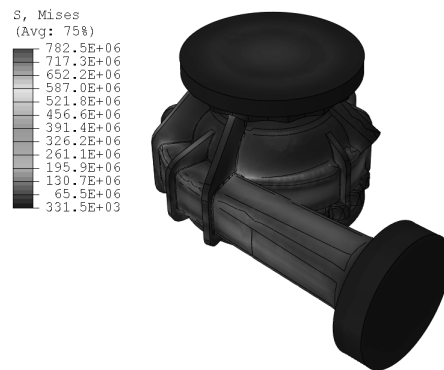


Fig. 13 Distribution of Von Mises equivalent stress of oxidizer pump volute at 4 MPa

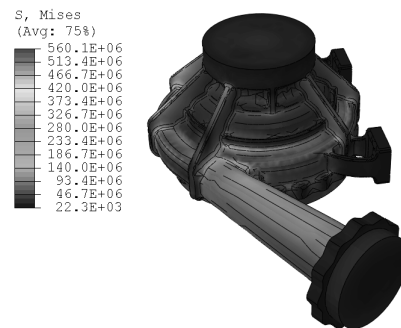


Fig. 14 Distribution of Von Mises equivalent stress of fuel pump volute at 4 MPa

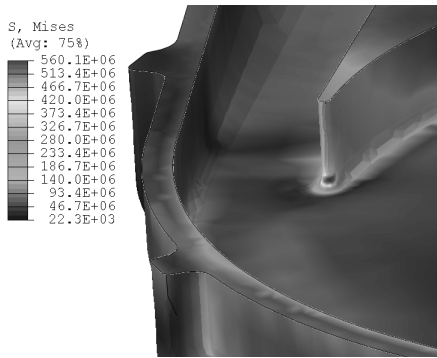


Fig. 15 Stress concentration at volute tongue of fuel pump

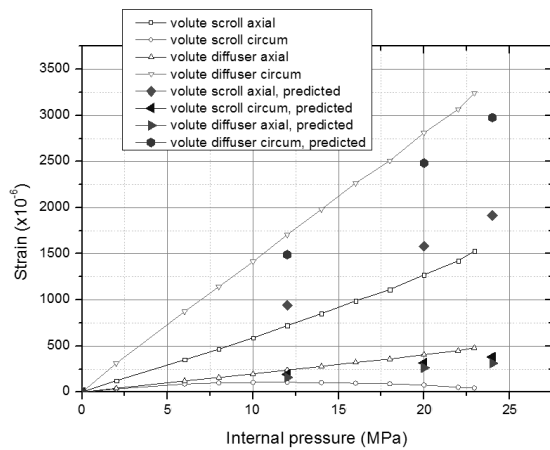


Fig. 16 Measured vs. predicted strains at oxidizer pump volute

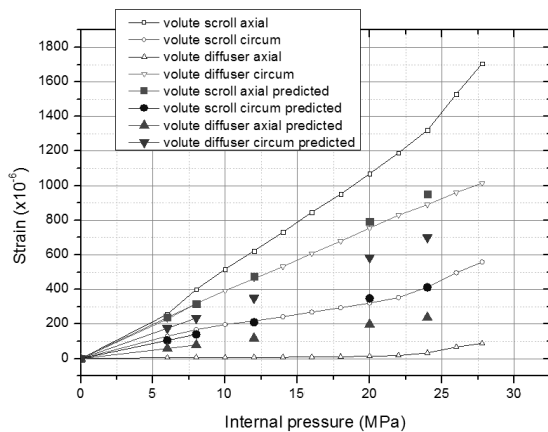


Fig. 17 Measured vs. predicted strains at fuel pump volute

퍼보면 실제 벌류트 혀 부근에는 Fig. 15와 같은 높은 수준의 응력 집중 현상을 발견할 수 있다.

이와 같은 작업들을 통하여 파열시험을 실시한 벌류트 케이싱과 동일 형상에 대하여 가압량에 따른 변형량 분포를 조사하였으며, 이를 실험을 통한 결과인 Fig. 8 및 Fig. 9와 비교하여 다음과 같은 그래프를 얻을 수 있었다.

결과 그래프를 살펴보면 대체적으로 내부압력 증가에 따른 변형률의 증가세 경향이 일치하고 있는 것을 알 수 있으며, 특히 연료펌프보다 산화제펌프 벌류트 케이싱에서 근소하게 더 결과가 일치하는 것을 알 수 있다. 시험에서 측정된 변형률의 변화와 마찬가지로 해석으로 예측된 변형률도 내부압력 증가에 따른 벌류트 혀에서의 소성변형량 및 소성영역의 증가에 의해 측정지점에서 약간의 비선형적인 증가세를 확인할 수 있다. 해석과 측정에서 발생하는 불일치는 주로 해석 시 사용한 소재의 기계적 성질 차이 때문으로 판단되는데, 본래 소재의 기계적인 성질을 정확히 해석에 반영하려면 인코넬738LC 주조 소재를 이용하여 인장시험을 실시한 후 탄성역과 소성역에 걸친 정확한 변형률과 응력 데이터를 얻어야 하지만, 본 연구에서는 소성역에서의 측정 데이터 부재로 인하여 데이터를 근사화하는 과정에서 오차가 발생한 것으로 보인다. 또한, 변형률 측정에서 발생한 스트레인게이지의 측정 오차도 하나의 원인이 될 수 있을 것이다.

4. 결론

액체로켓엔진용 터보펌프의 벌류트 케이싱에 대하여 운전 조건에 맞추어 구조해석과 3차원 모델링을 통한 설계 및 제작이 이루어진 후, 제작된 벌류트 케이싱의 적절한 설계 여부 및 품질 건전성 여부를 판단하기 위하여 파열시험을 실시하였다. 벌류트 케이싱은 인코넬738LC 소재를 정밀 주조함으로써 제작하였으며 산화제펌프 및 연료펌프 벌류트 케이싱에 대하여 각각 파열시험을 실시하였다. 아울러 파열시험 하중 조건에 대한 구조해석을 추가로 실시하여 벌류트 케이싱의 응력분포 및 소성변형 발생 등의 여부를 예측하였다. 파열시험에 대한 변형률 측정 결과 및 구조해석을 통한 예측값을 비교하였고, 두 결과의 경향이 잘 일치하는 것을 확인하였으며 이를 통해 벌류트 케이싱의 설계 및 제작 건전성을 검증할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Kim, J., Lee, E. S., Choi, C. H. and Jeon, S. M., 2004, "Current Status of Turbopump Development in Korea Aerospace Research Institute," International Astronautical Congress(IAC-04-S.P.17), Vancouver, Canada.
- (2) Kim, J., Hong, S. S., Jeong, E. H., Choi, C. H. and Jeon, S. M., 2007, "Development of a Turbopump for a 30 Ton Class Engine," 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA Paper 2007-5516, Cincinnati, OH, USA.
- (3) Park, C. Y., Kim, J. W. and Kim, Y. S., 2000, "Integrity Evaluation and Root Cause Analysis of Cracks at the Volute Tongue of Centrifugal Pump," Journal of Fluid

- Machinery, Vol. 3, No. 4, pp. 7~14.
- (4) Kim, J. W., Kim, Y. S. and Park, C. Y., 2002, "Failure Analysis of Cracking at Volute Tongues of Feedwater Pump Casings," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 9, pp. 17~30.
- (5) Asl, M. G., Torabi, R. and Nourbakhsh, S. A., 2009, "Experimental and FEM Failure Analysis and Optimization of a Centrifugal-Pump Casing," *Engineering Failure Analysis*, Vol. 16, pp. 1996~2003.
- (6) Xu, C and Mueller, M., 2005, "Development and Design of a Centrifugal Compressor Volute," *International Journal of Rotating Machinery*, Vol. 3, pp. 190~196.
- (7) Pavesi, G., 2006, "Impeller Volute and Diffuser Interaction," *Design and Analysis of High Speed Pumps*, Educational Notes RTO-EN-AVT-143, Paper 6, pp. 6-1~6-28.
- (8) Boresi, A. P., Schmidt, R. J. and Sidebottom, O. M., 1993, "Advanced Mechanics of Materials," 5th ed., John Wiley & Sons, INC, pp. 444~447.
- (9) ABAQUS Standard User's Manual, 2009, Dassault Systèmes.