

터보펌프 성능시험 및 평가

홍순삼* · 임현* · 김대진* · 차봉준* · 강정식* · 임병준* · 김진한*

1. 서 론

한국항공우주연구원에 설치된 터보펌프 성능시험 설비에 대하여 소개한다. 이 시험설비의 설치 목적은 10 톤급 터보펌프의 성능을 검증하는 데 있다. 시험 대상의 터보펌프는 연료펌프, 산화제펌프, 터빈으로 구성되어 있으며 성능시험기는 펌프시험기, 터빈시험기, 그리고 조립체 시험기로 나누어진다 (Fig. 1 참조). 터보펌프에 사용되는 펌프는 유량이 많고 압력이 높으며 로켓에 탑재되는 특성상 그 크기가 작고 가벼워야 한다. 이에 따라 통상의 수류펌프에 비하여 높은 수두와 회전수를 가지는 펌프를 시험할 수 있는 시험기를 사용하여야 한다. 또한 회전수가 높아짐에 따라 캐비테이션 특성이 중요한 성능 파라미터가 되므로 이에 대한 시험도 중요하다.

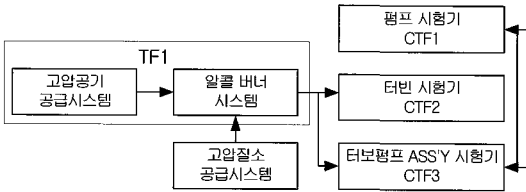


Fig. 1 터보펌프 성능시험설비 구성도

2. 터보펌프 성능시험설비

2.1 펌프시험기

펌프시험기에서는 산화제펌프 및 연료펌프에 대한 시험을 수행하게 되는데 개발된 펌프의 양정, 효율, 공급유량, 흡입성능 등을 검증하게 된다. 작동 유체로 상온의 물을 사용하며 주요 구성품으로는 모터, 기어박스,

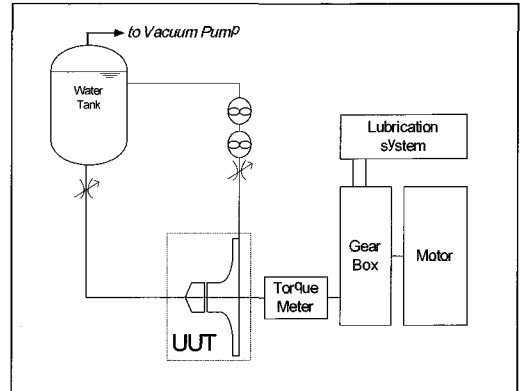


Fig. 2 펌프시험기 구성도

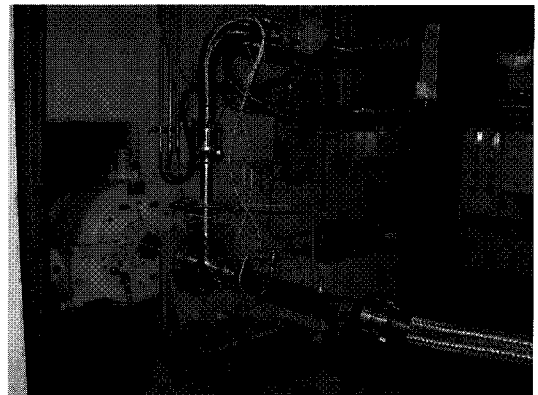


Fig. 3 펌프시험기

토크미터, 유량조절밸브, 유량계, 물탱크 등이 있다. 구동 모터의 동력은 320 kW 이고 기어박스를 통하여 펌프 회전수 20,000 rpm까지 시험가능하다. 물탱크는 3 m³ 용량이고 가압 또는 흡입시험을 위하여 진공펌프를 이용한 가압 등이 가능하다. 펌프에 의하여 물탱크로부터 물이 흡입되고 다시 물탱크로 물이 배출하는 폐회로 형식의 시험기이다. 펌프시험기의 구성도는 Fig. 2에, 시험기 형상은 Fig. 3에 나타내었다.

* 한국항공우주연구원
E-mail : sshong@kari.re.kr

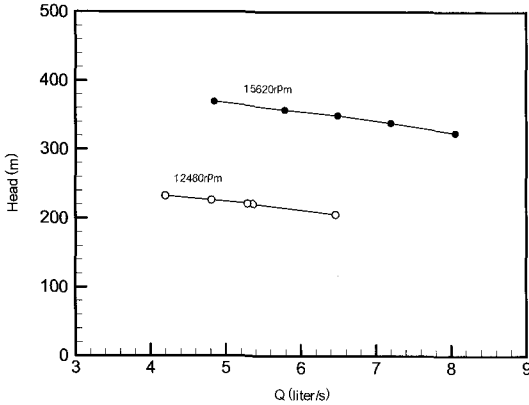


Fig. 4 펌프의 양정-유량 성능 시험 곡선

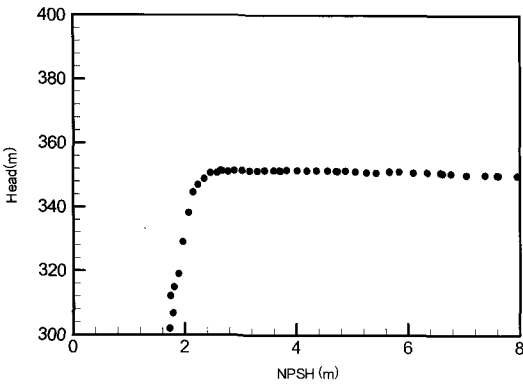


Fig. 5 펌프의 캐비테이션 성능시험 곡선

유량계는 정확도를 높이기 위하여 직렬로 터빈유량계 2개를 설치하여 사용하였다. 펌프 하류에 설치되어 있는 전동밸브로 유량 조절을 하며 펌프 입구에 설치된 전동밸브는 보조용으로 사용한다. 소요되는 축토크를 측정하기 위하여 토크미터가 펌프와 기어박스 사이에 설치된다. 펌프 케이싱에는 진동 특성을 살펴보기 위하여 축 방향 및 반경 방향의 가속도계가 설치된다. 또한 펌프 입구 및 출구에서는 고속 응답 특성을 가진 압력 섭동 센서가 설치되어 유체의 압력 섭동량이 측정된다. 펌프 시험 결과의 예를 Figs. 4와 5에 나타냈었다. Fig. 4에 펌프의 양정-유량 곡선을 나타내었는데 펌프 회전수를 2 가지로 하여 시험한 결과를 제시하였다. Fig. 5에는 펌프의 캐비테이션 시험 결과를 제시하였다.

2.2 터빈시험기

터빈시험기에서는 개발된 터빈의 압력비, 효율, 출등을 검증한다. 작동 유체로 상온의 공기를 사용하며 주요 구성품으로는 수력 동력계가 있는데 용량은 200 kW 이고 회전수는 20,000 rpm까지 시험가능하다. 터빈의 질량 유량은 버너 상류에 위치한 초킹 노즐을 이용하여 측정한다. 터빈의 압력비는 터빈 하류에 설치된 오리피스로 조절되는데 이 압력비를 설계값으로 맞추기 위하여 몇 가지 터빈 출구 오리피스를 제작/설치하여 시험하게 된다. 터빈시험기 구성도는 Fig. 6에, 시험기 형상은 Fig. 7에 나타내었다.

터빈 출력을 측정하기 위하여 설치된 수력 동력계에는 터빈 회전축이 스플라인 형식으로 조립된다. 터빈 케이싱에는 진동 특성을 살펴보기 위하여 축 방향 및 반경 방향의 가속도계가 설치된다. 터빈 시험 결과의 예를 Fig. 8에 나타내었는데 터빈 효율-속도비 관계를 제시하였다.

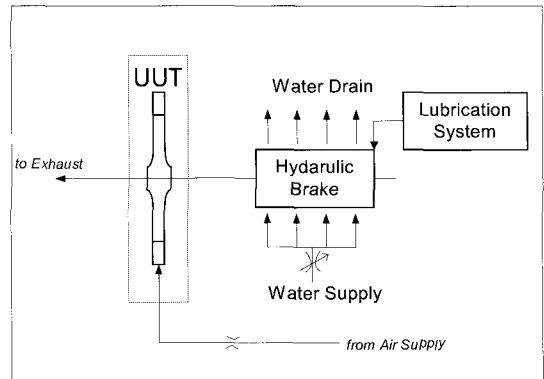


Fig. 6 터빈시험기 구성도

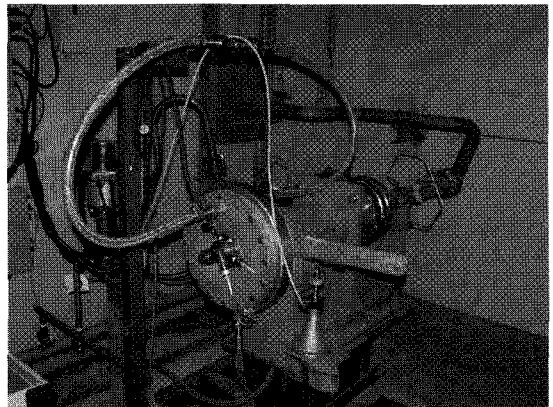


Fig. 7 터빈시험기

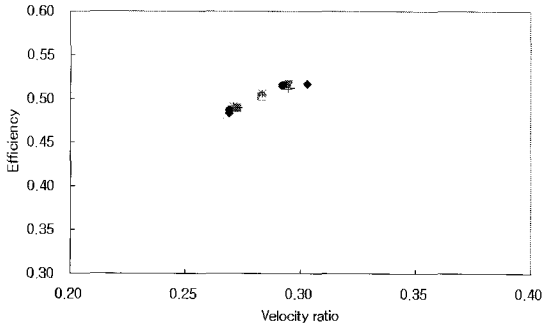


Fig. 8 터빈의 효율-속도비 성능 시험 곡선

2.3 조립체시험기

조립체 시험에서는 터보펌프 조립체 (산화제펌프, 연료펌프, 터빈이 동일 축으로 연결됨)의 동력 균형, 진동, 쉘 및 베어링의 작동 등을 검증한다. 조립체시험기 구성도는 Fig. 9에, 시험기 형상은 Fig. 10에 나타내었다. 펌프의 경우 상온의 물이 작동 유체이고 각

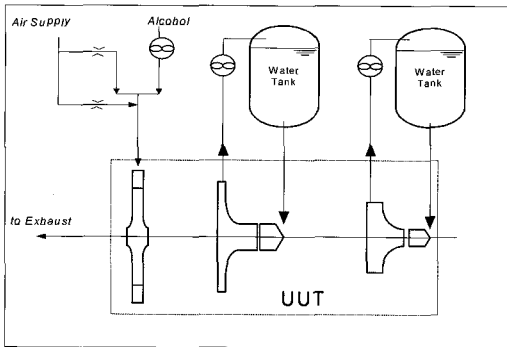


Fig. 9 터보펌프 조립체시험기의 구성도

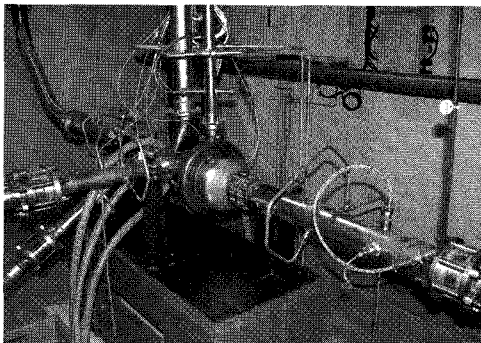


Fig. 10 터보펌프 조립체시험기

펌프에 의하여 물탱크로부터 물이 흡입되고 다시 물탱크로 물이 배출하는 폐회로 형식이다. 펌프의 유량은 펌프 하류에 설치된 터빈 유량계에 의하여 측정된다.

시험 중 펌프 유량은 변경되지 않고 펌프 출구 배관에 설치된 오리피스 내경에 의하여 하나의 유량계수로 고정된다. 설계 유량계수를 찾기 위해 몇 번의 시행착오를 통하여 오리피스 내경이 결정된다. 조립체터빈의 경우 상온 또는 400℃의 고온 공기를 작동 유체로 사용한다. 터빈 압력비는 터빈 하류에 설치된 오리피스에 의하여 결정되는데 오리피스 내경은 시행착오를 통하여 몇 번의 시험을 거쳐 결정된다. 조립체의 터빈에 공급하는 고온 공기는 고압 공기가 버너를 지나면서 생성되는데 버너의 연료로는 알콜을 사용한다 (Figs. 11과 12 참조). 터빈의 질량유량은, 버너 상류에 위치한 초킹 노즐로부터 계산된 공기 유량과 직렬로 배치된 2개의 터빈유량계로 측정되는 알콜 유량을 합하여 계산된다. 산화제펌프 및 연료펌프 케이싱에는

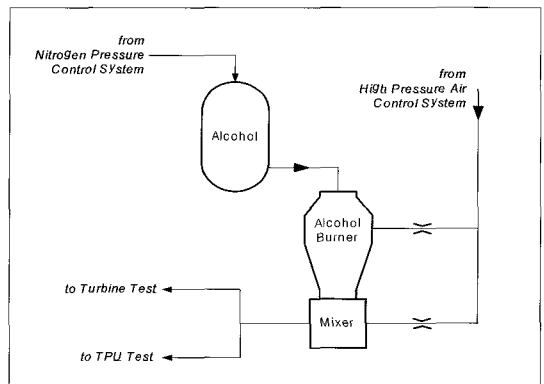


Fig. 11 알콜버너의 구성도

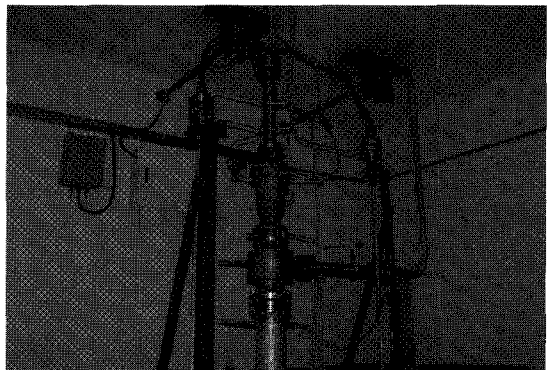


Fig. 12 알콜버너

진동 특성을 살펴보기 위하여 축 방향 및 반경 방향의 가속도계가 설치된다. 또한 산화제펌프 및 연료펌프 출구에서는 고속 응답 특성을 가진 압력 섭동 센서가 설치되어 유체의 압력 섭동량이 측정된다. 축회전수를 측정하기 위하여 연료펌프의 인듀서 케이싱에 와전류형 (eddy current type) 회전수 측정센서가 설치된다.

톤급 터보펌프를 사용하여 시험설비 전반에 대한 인수 시험이 수행되었고 또한 개량 형태의 추력 10톤급 터보펌프에 대한 성능시험이 성공적으로 완료되었다. 이로써 산화제펌프, 연료펌프, 터빈, 조립체 성능시험설비의 구축을 통하여 개발된 터보펌프의 성능 입증 및 성능시험평가 기술을 확립하게 되었다.

3. 맺음말

한국항공우주연구원에 설치된 터보펌프 성능시험 설비에 대하여 소개하였다. 현재 기본 형태의 추력 10

후 기

본 연구는 과학기술부 주관 민군겸용기술사업 연구 개발의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.