

다목적 소형 추력측정기의 제작 및 기초 검증시험

김형민*, 김정용**, 허환일***

Development and Preliminary Performance test of Multi-purpose Small Scale Thrust Measurement System

Hyungmin Kim · Jungyong Kim** · Hwanil Huh***

초 록

본 연구에서는 기존의 추력측정 방법보다 간단한 추력측정 방법으로서 피토 압력을 이용한 방법을 제안하였고, 이의 검증용 위해 소형 추력측정기를 제작하였다. 추력측정기를 이용하여 모델로켓 모터 및 초음속 풍동의 추력측정을 통하여 그 가능성을 확인하였고 본 연구의 목표인 피토압력과 추력측정기를 이용한 측정 추력의 비교연구가 계획되어 있다.

1. 서 론

로켓뿐만 아니라 항공기 엔진 성능의 가장 중요한 요소는 추력을 얼마나 얻을 수 있는지에 달려있다. 추력의 추정과 측정은 엔진의 성능 테스트 및 비행체의 운용에 있어 매우 중요하다.

항공우주 분야에서의 일반적인 추력 측정 방법으로는 추력 측정기(thrust stand)를 사용하여 연소에 의한 직접적인 추력을 실험적으로 얻는 방법이 있다. 하지만 일반적인 추력 측정기를 사용한 추력 측정으로는 초음속 연소기와 같이 전체 엔진이 아닌 엔진의 부분적인 모델 실험 또는 추력 측정기를 사용할 수 없는 모델 엔진의 추력 측정에 어려움이 있다. 또한, 실제 엔진의 추력 측정에는 상당한 설비와 투자가 요구되므로 학교 및 소규모 실험실 수준에 적절한 추력 측정 방법이 필요하다. 추력 측정기를

이용하여 추력을 측정하는 경우 전체 추력에서 저항(drag)을 뺀 값을 측정하지만 실험을 통해 측정된 피토 압력 데이터를 이용하여 추력을 측정하는 경우, 실추력을 직접 계산할 수 있다.

본 연구에서는 추력 측정 장치 없이 실험적으로 얻은 피토압력을 이용하여 추력을 측정하는 방법의 검증 및 기타 소형 로켓 엔진 또는 초음속 풍동과 모델 초음속 연소기의 추력을 측정하기 위한 선행연구로서 압력 센서(load-cell)를 이용한 소형 추력측정기를 설계/제작하고 실험을 통해 피토 압력을 이용한 추력 측정방법의 타당성을 검토하고 초음속 풍동의 추력 측정 및 소형 가스터빈 엔진의 고도 및 RPM에 따른 추력 변화, 초음속 연소기 및 소형 로켓 모터의 추력 측정에 이를 활용하고자 한다.

* 충남대학교 대학원 항공우주공학과 (Chungnam Nat'l. Univ. Dept. of Aerospace Eng.)

** 충남대학교 첨단수송체연구소(Chungnam Nat'l. Univ. Research Institute of Advanced Vehicles)

*** 충남대학교 항공우주공학과(Chungnam Nat'l. Univ. Dept. of Aerospace Eng.)

2. 본론

2.1 피토압력을 이용한 추력

제트 추진 기관의 이상적인 추력식은 뉴턴의 제 2 법칙으로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \quad (1)$$

엔진을 통한 추력(F_v)은 크게 질유량(\dot{m})과 출구 속도(V_e)로 표현되는 모멘텀 추력과 출구 압력(P_e)과 노즐 출구 단면적(A_e)으로 표현되는 압력 추력의 두 항으로 표현된다.

$$F_v = \dot{m}v_e + P_e A_e \quad (2)$$

위의 식에 이상기체 상태 방정식과 비열비를 적용하면 마하수(M_e)와 피토압력(P_0)으로 표현이 되는 추력식을 아래와 같이 유도할 수 있다[1, 2].

$$F_v = P_0 A_e f(\gamma, M_e) \quad (3)$$

For subsonic;

$$f(\gamma, M_e < 1) = \left[1 + \frac{\gamma-1}{2} M_e^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} (\gamma M_e^2 + 1) \quad (4)$$

For supersonic;

$$f(\gamma, M_e \geq 1) = \left[\frac{2}{(\gamma+1)M_e^2} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \left[\frac{2\gamma M_e^2 - (\gamma-1)}{\gamma+1} \right]^{\frac{1}{\gamma-1}} (\gamma M_e^2 + 1) \quad (5)$$

2.2 추력측정 시스템 개발

Fig. 1과 같이 모델 초음속 풍동 또는 로켓 모터에서 발생하는 추력을 실험적으로 측정할 수 있는 추력측정시스템 (Thrust Measurement System: TMS)을 구성하였다.

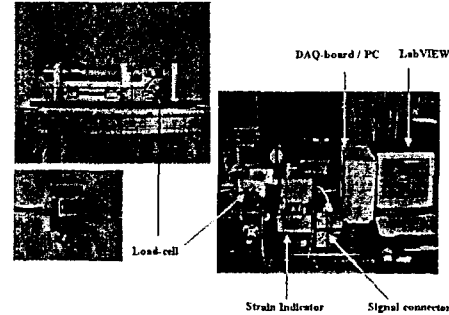


Fig 1. Thrust measurement system

추력 측정 장치(thrust stand)는 받침대 위에 로드셀을 지지하는 부분 그리고 추력 측정 모델이 설치될 부분과 여기에 마찰이 거의 없는 볼 베어링 방식의 슬라이드를 장착한 수평방식으로 제작하였다.

로드셀에서 측정된 저항값은 전압으로 변환되어 데이터 획득 장치(Data Acquisition Board)를 통해 연결된 저장장치에서 LabVIEW 프로그램으로 구성된 패널을 통해 추력 데이터로 변환하여 측정된 추력 값을 제공한다.

2.3 추력측정 시스템 성능 검증

선행 실험으로 단위하중에 대한 보정을 실시한 결과 Fig. 2와 같은 그래프를 통해 단위하중의 증가에 대한 전압과의 관계식을 얻을 수 있었으며, 이는 선형적인 관계로 측정 오차는 무시할 정도이다.

하지만 실제 실험의 경우, 추력은 변화하는 값이므로 이에 대한 검증을 위해 미국 Estes사에서 제작한 B-6 타입 모델로켓 모터의 연소 시험을 통해 동적인 추력 변화에 대한 추력 측정 장치의 성능시험을 수행하였다(Fig. 3 참조).

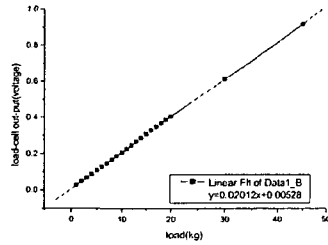


Fig. 2 Calibration of load cell

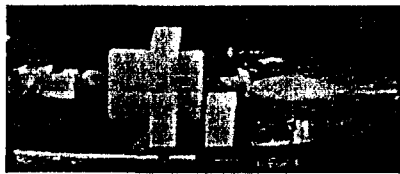


Fig. 3. Fire test of model rocket motor

Fig. 4는 추력 측정기를 이용하여 실험을 통해 얻은 Estes 사 모델 로켓 모터의 성능시험 결과인 추력 곡선이다.

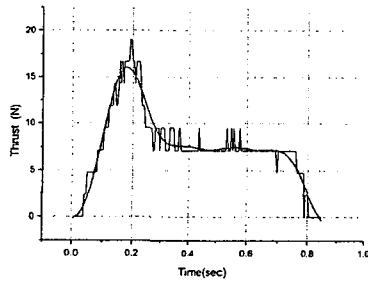


Fig. 4 Experimental thrust distribution of Estes B-6 motor(Fire test 1.)

Estes사에서 제시한 데이터와 실험 결과 값을 비교해 보면 연소시간 및 곡선 개형은 일치하였으며 실험에 의해 평균 6.5 [Ns]의 임펄스(total impulse)를 얻을 수 있었다.

실험을 통한 결과를 분석해 보면 실험 주변 환경이나 실험에서의 잡음(noise) 등에 의한 영향이 크지만 필터링(filtering)과 데이터 획득에 필요한 gain 조정을 통해 더 정확한 결과 값을 얻을 수 있을 것으로 추정된다.

2. 4 초음속 풍동에의 적용

본 연구의 목적인 피토압력을 이용한 추력 측정방법의 검증을 위한 실험을 위해 Fig. 5과 같은 초음속 풍동을 구성하였다.

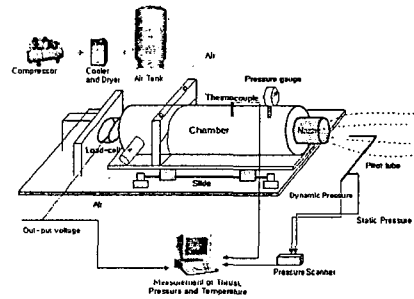


Fig. 5 TMS for supersonic wind tunnel

고압으로 압축된 공기는 3m'의 탱크에 가압되고 regulator를 통해 10kg/cm²로 감압되어 초음속 풍동에 유입된다. 초음속 풍동은 settling chamber와 축대칭 노즐로 구성된 blowdown식의 간단한 형태로 Settling chamber로 유입된 공기는 M=1.8로 설계된 노즐(Dt=12mm, De=15mm)을 통해 0.37kg/s의 질유량으로 배출된다.

노즐 출구에서의 피토압력과 로드셀로 측정되는 추력값 및 챔버 내에서의 압력과 온도를 센서를 통해 측정하는 시스템으로 예비실험을 위해 간단한 초음속 풍동장치를 Fig. 6과 같이 구성하여 실험해 보았다. 출구의 피토압력을 제외한 측정결과 Fig. 7과 같은 추력곡선으로 나타나는 결과를 얻었다

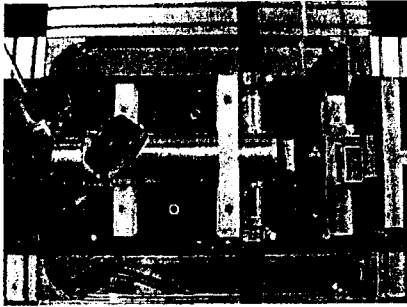


Fig. 6 An Application of TMS for supersonic wind tunnel

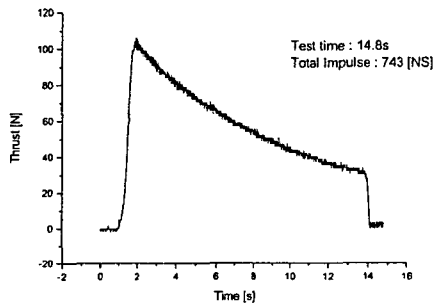


Fig. 7 A result of thrust measurement for the supersonic wind tunnel

4. 결론

본 연구에서는 실험에서 얻을 수 있는 피토 압력을 이용한 추력 측정 방법에 대한 연구의 선행 연구로서 추력측정장치를 구성하고 시험해보았다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 피토 압력을 이용한 추력 측정방법의 검증 및 실추력 측정을 위해 저비용으로도 구성이

가능한 추력 측정기를 설계/제작하여 그 기초 성능을 검증하였다.

2. 실험을 통해 각종 엔진의 추력을 측정할 수 있는 방법의 적용 가능성을 확인하였다.

3. 초음속 노즐 추력 측정을 각각 피토압력을 이용한 추력 방법과 본 추력 측정기를 이용하여 측정 후 결과의 비교연구가 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구 지원 (과제번호:KOSEF(특정)R01-2000-00316)으로 수행된 연구결과 중 일부이며 연구비를 지원해 주신 한국과학재단에 감사 드립니다.

참고문헌

1. John D. Anderson, JR, "Fundamentals of Aerodynamics," McGraw-Hill, 1991.
2. Hiers, R., and Pruitt, D., Determination of Thrust from Pitot Pressure Measurements, AIAA Paper 2001-3314, 2001.
3. 김정용, 서정원, 허환일, 김 유, "피토 압력을 이용한 초음속 풍동의 추력 추정에 대한 기초 연구," 제17회 한국추진공학회 추계 학술발표 대회, KAIST, November 16, 2001.
4. Huh, H., Kim, J., Kim, Y., and Driscoll, J. F., "Assessment of Thrust from Pressure measurements of Supersonic Combustor," Accepted for presentation, The 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Indianapolis, Indiana, USA, July 7-10, 2002.