

정상상태에서 카뷰레터 더미모델의 스로틀 개도에 따른 압력특성

조형문*·김병국*·최영하*·윤석주**·한종규***

The characteristics of suction pressure by throttle opening of the carburetor dummy at steady state

Hyoungmun Cho*, Byeongguk Kim*, Youngha Choi*, Suckju Yoon**, Jongkyu Han***

Key Words : carburetor dummy(카뷰레터 모델), piston throttle(피스톤스로틀), venturi(벤추리), minor loss(부차적 손실), vacuum pump(진공펌프), suction pressure(흡입압력)

Abstract

The objective of this paper is to know the characteristics of pressure through a simplified typical carburetor used in small engines at the different throttle opening conditions. The carburetor is the device responsible for creating the right air-fuel mixture according to the different engine operating conditions. It is activated by the static or the dynamic pressure. The carburetor dummy is geometrically similar of LPG brush-cutter engine's diaphragm carburetor and is made of acrylic. Suction system gives body to crankcase vacuum using the vacuum pump and throttle opening conditions are controled by transfer device. Carburetor venturi throat and fuel charging tube diameter is each 20mm, 4.1mm. The result of the work presents an unprecedented phenomenon of suction pressure variation inside the carburetor venturi. It is predicted that these unprecedented pressure variation be caused by minor losses; sudden contraction or expansion, open or partially closed and so on.

1. 서론

카뷰레터는 가솔린엔진에서 연소를 위한 혼합기를 준비하는 가장 중요한 장치이며 엔진 개발의 역사와 함께 연소를 촉진 시키고 배기 배출물을 줄이기 위한 방향으로 발전되어 왔다. 현재는 자동차엔진에서 카뷰레터 대신에 인젝터를 이용한 분사 시스템을 대부분 사용하고 있지만 고비용의 분사 시스템을 사용할 수 없는 모터사이클이나 예취기, 소형발전기, 기계톱 등의 소형 엔진에서는 저비용, 소용량, 저중량 등의 제약 때문에 카뷰레터를 쉽게 대체할 수가 없다.

예취기 엔진의 경우에 작업환경이 평지뿐만 아니라 경사가 심한 곳에서도 이루어지기 때문에 가솔린을 연료로 사용하는 경우 카뷰레터에서 오버플로우(over flow)가 발생하기 쉬운 플로트 카뷰레터(float carburetor)대신에 다이어프램 카뷰레터(diaphragm carburetor)를 많이 사용하고 있으며, 상용되고 있는 LPG 예취기의 카뷰레터의 경우 연료의 특성상 대기압으로 압력을 낮출 필요가 있기 때문에 다이어프램 카뷰레터를 사용하고 있으며 피스톤 스로틀(piston throttle)이 상하로 움직이면서 혼합기를 조절하는 형태이다.[1,2]

국외의 카뷰레터에 관한 연구는 모터사이클의 이용이 많은 인도나 중국, 잔디깎기나 스노우모빌 등의 이용이 많은 미국과 유럽 등지에서 CFD를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있

다.[3,4,5,6] 국내의 카뷰레터에 관한 연구는 대부분 90년대 자동차엔진을 중심으로 이루어 졌으며, 카뷰레터에서 분무되는 혼합기가 엔진에 흡입되기 까지 흡기관내에서의 연료의 거동에 관한 연구가 대부분으로 액막울을 낮추고 혼합기의 기화율을 높이는 방향으로 이루어졌다.[7,8]

카뷰레터의 주요 역할은 엔진의 전 운전 영역에서 엔진이 요구하는 공기-연료 혼합기를 준비하는 것으로, 벤추리라고 하는 축소-확대 노즐을 통해 공기가 유동한다. 카뷰레터 입구를 통해 유입된 공기는 면적이 작은 벤추리 목을 지나면서 속도가 빨라지고, 이때 카뷰레터 입구와 노즐의 목 사이에서 압력차가 발생한다. 이 압력차에 의해 공기유동에 연료가 적당하게 혼합되는 것이다. 연료는 카뷰레터 연료 충전관을 통해 공기 유동에 유입되고 스로틀과 흡기 매니폴드를 지나는 공기유동에 의해 기화된다. 이렇듯 벤추리 목에서의 압력의 변화는 혼합기 형성에 중요한 인자이다.[9]

본 연구에서는 2행정 소형엔진에 LPG 연료 적용 기술을 개발하기 위한 기초연구로써 LPG 예취기 엔진의 피스톤 스로틀 타입의 카뷰레터를 기하학적 상사시킨 더미모델을 아크릴로 제작하여 스로틀의 개도에 따른 벤추리 목 부분에서 발생하는 압력특성을 관찰하고자 하였다.

2. 관련 이론

베르누이 방정식

정상유동에서 유선을 따르는 유체입자의 유동에너지, 운동에

* 전북대학교 기계공학과 대학원, hm3435@hotmail.com

** 전북대학교, 자동차신기술연구센터 mecysj@chonbuk.ac.kr

*** 한성공업 주식회사

너지 및 위치에너지를 합은 일정하다는 것을 나타내는 식으로 유동에서 유체의 운동에너지와 위치에너지 합은 유동에너지로 변환되어 압력이 변할 수 있다.

$$P + \rho \frac{V^2}{2} + \rho g z = \text{일정} \quad (1)$$

카뷰레터의 몸통 가운데에는 스톱플 피스톤이 들어 있어 그 부분의 단면적 변화를 통해 공기가 통과하면서 압력이 낮아져 연료충진관에서 연료가 분사된다. 즉, 일정량의 유체가 흐르는 관의 한 부분을 좁게 만들면 그 부분에서 유체의 속도가 빨라지면서 유체의 압력은 낮아지고 흡입압력은 커지게 된다.

벤츄리에서의 유동

벤츄리 목에서 공기의 질량 유량은 상류에서의 정체압력과 온도, 목에서의 압력의 영향을 받는다.

$$\dot{m}_a = \frac{C_{d,t} A_t p_{v,o}}{\sqrt{RT_{v,o}}} \left(\frac{p_{v,t}}{p_{v,o}} \right)^{1/\gamma} \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_{v,t}}{p_{v,o}} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right]^{1/2} \quad (2)$$

여기서 $C_{d,t}$ 와 A_t 는 각각 벤츄리 목에서의 충전계수, 면적이다. 만약 카뷰레터 입구에서의 속도를 무시하면, 식 2는 벤츄리 목에서 발생하는 압력강하($\Delta p_a = p_{v,o} - p_{v,t}$)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{m}_a = C_{d,t} A_t \sqrt{2\rho_{a0} (P_{v,o} - P_{v,t})} \Phi \quad (3)$$

3. 실험 장치 및 방법

본 실험에서는 LPG 예취기 엔진에서 사용하고 있는 피스톤 스톱플이 설치된 다이어프램 류레터의 더미 모델을 아크릴로 제작하였으며, 카뷰레터 모형의 도면과 치수를 Fig.1에 나타냈다.

본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 Fig.2에 나타냈다. 카뷰레터로 유입되는 공기의 유량을 측정하기 위하여 카뷰레터 전단에 벤츄리 미터를 설치하였고 각각의 압력탭에 U자관을 연결하여 차압을 측정하고 유량을 계산하였다. 벤츄리 미터의 설치와 유량계산은 [KS B ISO 5167]에 준하여 이루어졌다. 카뷰레터의 벤츄리 목은 스톱플 이송장치에 의해 개폐가 이루어지며 장치에 표시된 눈금을 통해 이송정도를 확인할 수가 있다. 목 하단의 연료 충전관을 마이크로마노메타와 연결하여 대기압과의 압력차를 측정하였다. 실험에 사용된 진공펌프(vacuum pump)는 링블로워(ring blower)의 흡입구와 토출구 방향을 바꾸어 흡입시스템을 구현하였다. 본 진공펌프의 흡입능력은 60Hz, 정격출력 0.28kW에서 최대압력 78mbar, 최대유량 66m³/h 이다.

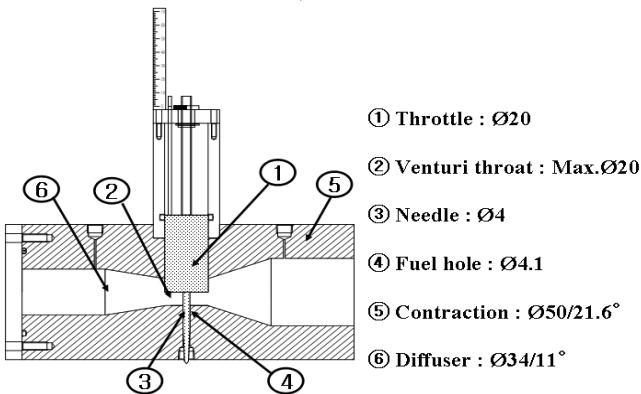


Fig. 1 Dimensional drawing of carburetor dummy

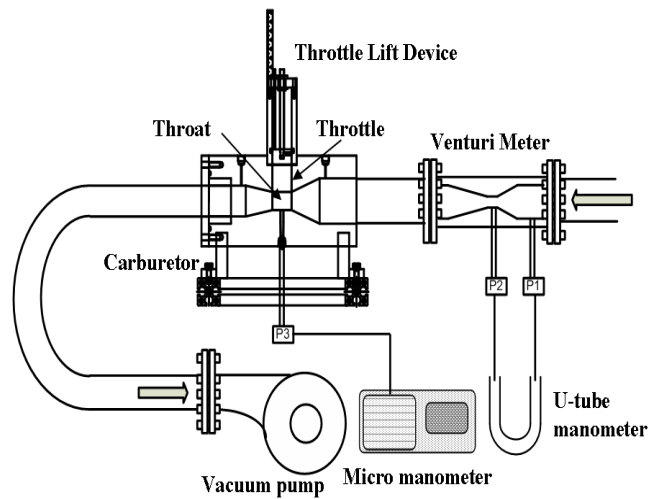


Fig. 2 An experimental setup for the measurement of suction pressure

본 실험은 스톱플의 개도에 따른 연료 충전관에서의 흡입압력의 변화를 보고자 했으며, 스톱플의 이송장치에 의해 총 8단계(20mm, 17mm, 15mm, 13mm, 10mm, 7mm, 5mm, 3mm)로 이송시켰다. 각각의 스톱플 개도상에서 진공펌프의 출력에 변화(0.28kW, 0.22kW, 0.16kW, 0.10kW)를 주었으며, 이때 카뷰레터를 지나는 유량과 속도를 측정하여 흡입압력에 미치는 영향을 분석하였다.

4. 실험 결과

4.1 스톱플 이송위치에 따른 개도 변화

Fig. 3는 이송장치에 의해 이송되어진 스톱플의 위치와 이에 따른 벤츄리 목에서의 단면적 변화를 도시한 것이다.

벤츄리 목직경 20mm 이상은 목을 벗어난 영역으로 변화를 줄 필요가 없다고 판단하여 제외시켰다. 스톱플의 이송 높이는 임의로 2mm에서 3mm 간격으로 이송시켰으며 스톱플이 상승함에 따라 단면적이 선형적으로 증가함을 알 수가 있으며, 이를 이용하여 각각의 단면적을 최대 단면적으로 나누어 무차원화하였다.

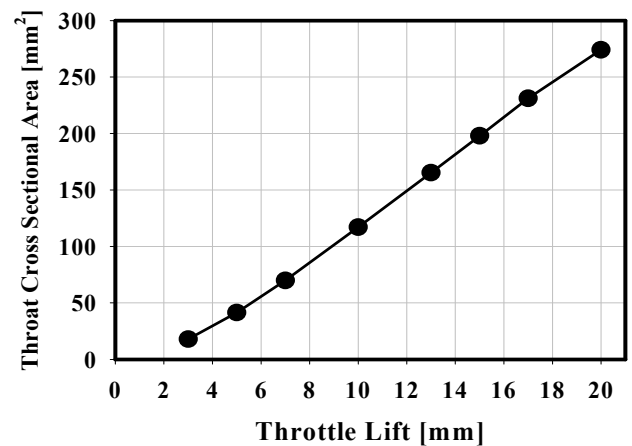


Fig. 3 Cross sectional area of carburetor venturi throat according to piston throttle lift

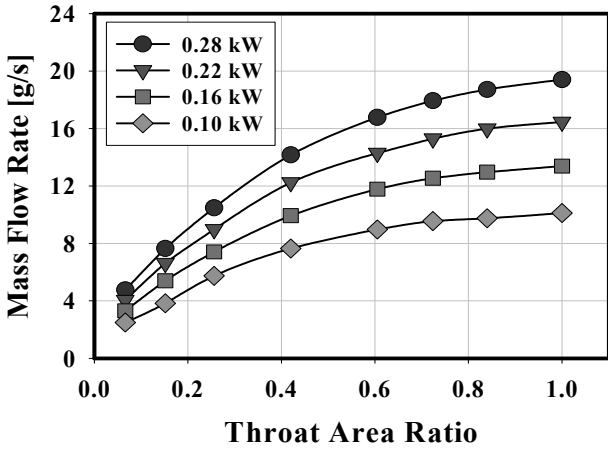


Fig. 4 Air mass flow rate through carburetor venturi according to throat area ratio

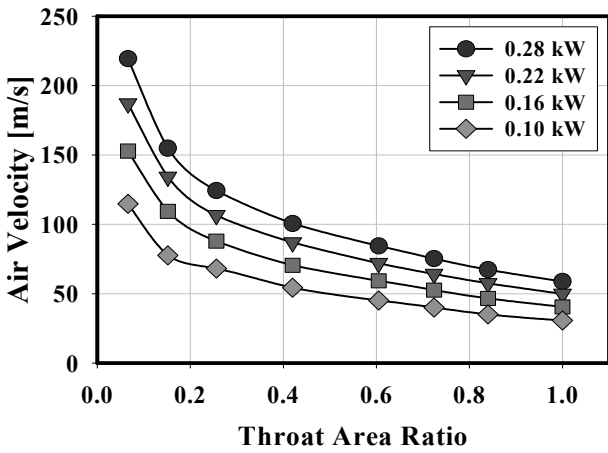


Fig. 5 Air velocity through carburetor venturi according to throat area ratio

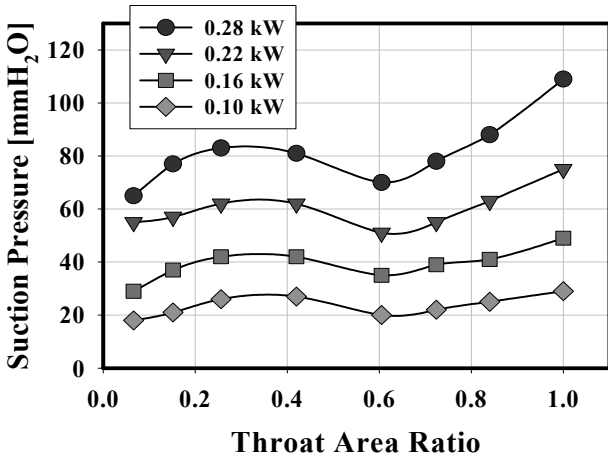


Fig. 6 Suction pressure in carburetor venturi according to the throat area ratio

4.2 스로틀 개도에 따른 유량 및 속도 특성

Fig. 4는 진공펌프의 출력에 대해서 카뷰레터 벤추리 목을 지나는 유량을 개도에 따라 도시한 것이다. 개도가 증가할수록 공기의 유량은 증가하고 있으며, 출력에 대해서는 각각 최고 4g/s 정도의 차이를 보이고 있다.

Fig. 5는 속도를 개도에 따라 도시한 것이다. 속도는 개도가

0.3까지는 급격하게 감소하다가 그 이상에서는 완만하게 감소하는 경향을 보인다. 카뷰레터 벤추리 목에서 유량과 속도는 각각의 개도에 따라 결정이 되지만 동일 유량 조건에서 개도와 속도는 연속방정식을 만족하고 있다.

4.3 스로틀 개도에 따른 압력특성

Fig. 6은 개도의 증가에 따른 연료충진관에서의 흡입압력에 대해 도시한 것이다. 개도 0.3까지는 흡입압력이 증가하다가 그 이후로 다시 감소하고 0.6에서 다시 증가하고 있다.

Fig. 5에서 공기의 속도는 줄어들지만 유량과 개도를 고려하였을 때, 벤추리 목에서의 동압은 증가되는 것으로 판단되며 동압의 증가로 정압이 감소하고 그만큼 흡입압력이 커질 것으로 예상되었지만 Fig. 6에서 처럼 개도 0.3에서 0.6사이에서 흡입압력의 감소가 관찰되었다. 0.3과 0.6사이의 흡입압력 감소는 스로틀 에지(edge)에 의해 발생하는 박리가 연료충진관에 영향을 미쳐 연료충진관 입구에서의 정압의 증가로 인해 흡입압력이 감소하고 있는 것으로 보인다.

Fig. 7은 개도 증가에 따른 흡입압력과 벤추리 목 전단의 동압의 비를 출력에 대해서 도시한 것이다.

이를 통해 유동이 벤추리 목으로 유입되면서 발생하는 부차적 손실의 변화를 확인할 수 있는데, 공기 흡입구에서 벤추리 목까지의 축소구간은 비교적 완만하며 개도가 0.6에서 1.0까지는 스로틀의 에지에서 발생하는 박리의 영향이 적어 부차적 손실이 적지만 개도 0.3이하에서는 스로틀이 돌연수축(sudden contraction)을 만들고 박리에 의하여 실질적 유량이 줄어들어 소위 베나 콘트랙타(vena contracta)가 발생하여 부차적 손실이 증가하는 것으로 판단된다. 그러므로 Fig. 6에서 개도 0.3이하에서의 흡입압력의 증가율에 비해 개도 0.6이상의 흡입압력 증가율이 더 크게 나타난다.

Fig. 8은 개도 증가에 따른 흡입압력과 벤추리 목에서의 동압의 비를 출력에 대해서 도시한 것이다.

이를 통해 벤추리 목에서 발생하는 동압이 흡입압력에 미치는 영향을 알 수 있으며 전체적으로 개도 증가에 따라서 동압의 영향이 줄어들고 흡입압력이 증가한다. 하지만 개도 0.3까지는 완만하게 증가하다가 0.3에서 0.6까지는 증가폭이 최소화되며 0.6 이상에서는 급격하게 증가하고 있다. 위에서 설명한 바와 같이 0.3과 0.6사이에서 유동의 불완전 현상이 발생하고 있으며 이는 박리에 의해 발생하는 유동이 연료충진관 입구에 영향을 미치고 있기 때문이다.

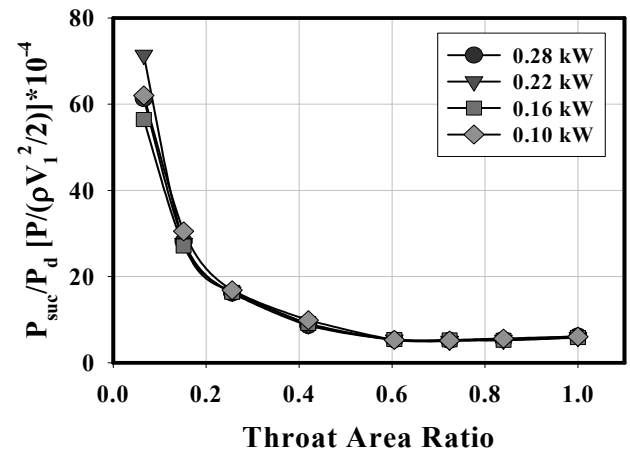


Fig. 7 The effect of minor losses according to the throat area ratio upstream carburetor venturi

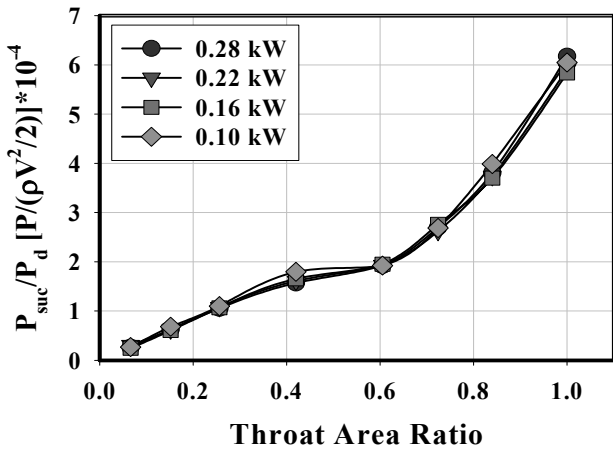


Fig. 8 The effect of suction pressure/dynamic pressure in carburetor venturi throat

5. 결론

소형 2행정 엔진에 사용되는 피스톤 스로틀 타입의 카뷰레터 를 기하학적 상사시킨 더미모델을 아크릴로 제작하여 스로틀의 개도에 따른 벤추리 목 부분에서 발생하는 압력특성을 관찰하고 자 수행한 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 피스톤 스로틀의 이송위치에 따라서 벤추리 목부분에 발 생하는 단면적은 선형적으로 증가한다.
- 2) 개도의 증가에 따라 유량은 증가하며 속도는 개도 0.3까지 급격하게 감소하다가 0.3이후부터 완만하게 감소한다. 동일 유량 에서 개도와 속도와의 관계는 연속방정식을 만족한다.
- 3) 개도의 증가에 따라 연료충진관에서 발생하는 흡입압력은 개도 0.3까지 완만하게 증가하다가 0.3과 0.6사이에서는 감소하 고 0.6이상에서는 증가폭이 크다. 이는 0.3이하에서는 스로틀 에 지에 의해 돌연수축이 만들어 지고 베나 콘트랙타가 형성되어 부차적 손실이 커짐으로 인해 0.6이상에서 보다 흡입압력의 증 가율이 낮다.
- 4) 개도 0.3과 0.6사이에서 흡입압력의 감소는 스로틀 에지 에 서 발생하는 유동박리가 연료충진관 입구에 영향을 미쳐서 정압 을 높이고 그만큼 흡입압력을 감소시키는 것으로 판단된다.

위의 결과로부터 개도 0.3이하에서 발생하는 돌연수축에 의 한 부차적 손실과 0.3과 0.6사이에서 스로틀의 에지에서 발생하 는 유동박리에 의한 불완전 유동이 흡입압력의 감소를 초래하고 있음을 확인할 수 있었다. 향후 벤추리 목 내부의 속도분포와 난류특성을 파악하여 이를 더욱 명확히 하고 스로틀 에지와 니 들 등의 개선을 통해 안정된 흡입압력을 형성할 필요가 있겠다.

후 기

본 연구는 산업기술재단의 지원으로 시행되는 “지역혁신인력 양성사업”의 수행 연구결과의 일부이며, 산업기술재단의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] Trimmer and Blower Carburetors Service Manual, Walbro社.

(<http://69.16.165.8/brochures.aspx>)

[2] A. Graham bell, "Two-Stroke Performance Tuning", Haynes Publishing, second edition, pp120-168, 1999.

[3] Hiroshige Akiyama et al., "Development of carburetors and elements parts of fuel injection system for motorcycles", SAE 2005-32-0068, 2005.

[4] M. Sivakumar과 V. Balasubramanian, "Flow Field Analysis of a Carburettor Using CFD", SAE 2005-26-058, 2005

[5] Diego A. et al., "Numerical and Experimental Study of Fuel and Air Flow in Carburetors for Small Engines", SAE 2004-32-0053, 2004.

[6] Diego A. et al., "Study of Carburetor Venturi Through Numerical Simulation and High Speed Visualization", 11th international symposium on flow visualization, 2004.

[7] 장중관, "가솔린 기관의 희박연소를 위한 기화 혼합장치내의 혼합기 유동특성에 관한 연구", 육사 논문집 제38집, 1990.

[8] 전홍신 등, "흡기관내 연료거동에 관한 실험 연구", 경희대학 교 논문집 제12집, pp217-229, 1983.

[9] John Heywood et al, "The two-stroke cycle engine", SAE, pp.1-5, 1999.