

소형엔진 기화기의 유동해석

배봉기*, 박성영*

*공주대학교 기계자동차공학부

Flow Simulation of a Small Engine Carburettor

Bongki Bae* and Sung-Young Park*

*Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University

요 약

현재 일반적으로 사용되는 300cc 소형엔진 기화기의 최적화 및 성능 향상을 위하여 유동해석을 수행하였다. 베르누이의 정리를 기본으로, 성능을 발휘하는 주요 설계인자인 기화기 내부의 벤츄리 튜브의 각도, 길이 등을 변수로 하여 유동해석을 수행하였다. 그 결과를 분석하여 최적화된 모델을 제시하였다. 결론적으로, 유동 해석을 바탕으로 기존 사양 대비 향상된 성능의 모델을 제시하였다. 유동해석을 통해 기화기 내부의 벤츄리관에 곡면(Rounding)처리를 적용함으로써 기화기에서 소모되는 흡기저항을 줄여 펌핑로스를 저감할수 있음을 확인하였다. 펌핑로스의 저감은 엔진 연비의 향상과 엔진토크에 긍정적 효과로 작용할 것으로 기대된다. 벤츄리관의 출구 각도를 감소시킴으로써 박리를 개선하여 Dead Volume을 줄임으로서 기존 모델에 대비하여 원활해진 유동의 흐름을 얻을 수 있었다. 이는 흡기유량을 증대시키고 엔진출력을 상승시키는 효과로 작용할 것으로 예상된다.

1. 서론

1980년대 초 이후로 엔진기술이 발전함에 따라 대부분의 차량은 기화기 방식 대신 인젝터 방식을 사용하게 됐다. 하지만 소형엔진 혹은 특수한 목적으로 이용되는 엔진에서는 기화기가 여전히 중요한 요소로 작용하고 있다. 기화기는 연료를 미립화하고 공기를 적당한 비율로 혼합시켜 가솔린 기관의 실린더로 공급하는 장치이다. 엔진의 최대출력과 경제적인 효과, 그리고 환경을 위해서는 14.5 : 1 에 가까운 이론 공연비를 만들 수 있어야 하는데, 경제적인 효과를 위해서는 공연비가 커야하고, 최대출력을 위해서는 공연비가 작아야 하며, 엔진이 작동할 때 실은 짐이나 속도변화에 상관없이 정확한 혼합비를 유지시켜야 한다. 그런 이유에서 성능이 우수한 기화기 일수록 복잡한 구조를 갖게 된다.[1]

국내의 소형엔진에 대한 기술수준은 농업/원예용 제품에 머물러 있으며 더욱이 4행정 소형엔진에 관련한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 최근 배기 규제가 기존 자동차 엔진에 국한되지 않고 노외용 엔진(non-road engine) 부분에서도 세계적으로 강화되는 시점에서 선진국 시장 수요의 증대와 배기규제 대응을 위한 소형엔진의 기술개발 노력이 요구되는 시점이다.[2-4]

현재 소형엔진의 배기규제에 대응하기 위한 연구

에는 기계적인 구조변경에 의한 방법과 연료개선에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 기계적인 구조변경에는 흡·배기포트 개조에 의한 소기효율 개선 방안, 분사방식 적용에 의한 공연비 최적화 방안, 기화기 니들형상 및 스토틸 위치제어를 통한 공연비 제어방식 등이 있으며[5-7] 연료개선에 의한 방법으로 LPG 등과 같은 저공해 연료 적용을 통한 연료 공급 개선에 의한 방법이 있다.[8]

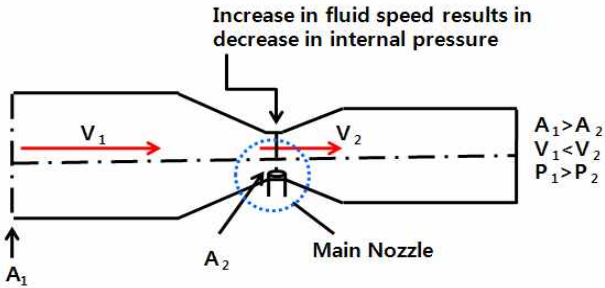
본 연구의 목적은 4 행정 소형엔진에 사용되는 기화기의 유동해석을 통해 기화기 내부의 주요 설계변수에 따른 기화기 특성 효과를 분석하고 궁극적으로 최적화된 모델을 제시하는 것이다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

그림 1은 성능을 발휘하는 주요설계인자인 기화기 내부의 벤츄리 관(Venturi tube)이다. 벤츄리관은 관의 단면적이 급격히 줄었다가 중앙부에서 최소 단면적이 되고, 다시 관의 단면적이 확대되는 구조를 말하며, 흡입이 생성되고 들어오는 공기의 속도가 증가되게 된다. 벤츄리의 단면적이 가장 좁은 부분의 유동속도가 가장 빠르고, 대기압과의 압력차이가 가장 크기 때문에 이 부분에 메인노즐(Main Nozzle)이 설치된다. 메인노즐은 연료 컨테이너에서 벤츄리로

연결되는 관을 말하며 공기가 벤튜리로 흐를 때, 메인노즐 선단의 압력과 대기압과의 압력 차이에 의해 Sucking 효과가 발생하여 연료가 분출된다.



[그림 1] 기화기의 벤튜리관의 개략도

2.2 지배방정식과 경계조건

벤튜리 내부의 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 본 연구에 사용된 상용 소프트웨어에서 적용된 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지 방정식의 표현은 식(1)~(3)과 같다. 또한 난류운동에너지방정식과 난류운동에너지 소산방정식은 식(4) 및 (5)로 표현된다. 난류 모델로서 표준 k-ε 모델을 사용하였다.[9]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}[\mu_f(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i] + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H \quad (3)$$

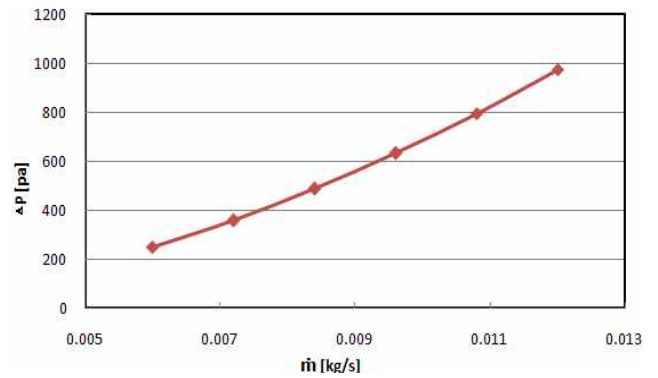
$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i}((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_i}) + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i}((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) + S_\epsilon \quad (5)$$

입구 경계조건은 엔진의 토크곡선에서 토크가 최대가 되는 Wide Open 상태의 2800rpm일 때를 기준으로 질량유량 관계식에서 얻은 값 0.0084kg/s의 유량을 입구조건으로 적용하였으며 입구 공기의 온도는 상온으로 설정하였다. 해석에서 적용한 흡입유량은 300cc 소형엔진의 체적효율을 100%로 가정하여 4행정 사이클 2800rpm으로 환산하여 계산하였다. 출구의 경계조건은 Static Pressure로 대기압 조건을 설정하였고 입출구의 ΔP와 연료노즐의 압력 값을

비교하기 위해 연료노즐에 Goal을 조건으로 하여 압력을 측정하였다.

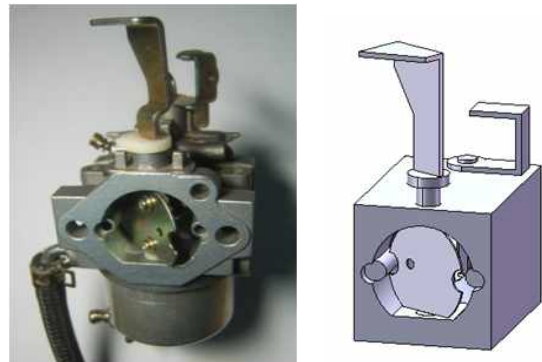
그림 2는 2000rpm에서 4000rpm까지 400rpm단위로 질량유량 값의 해석으로 얻은 입·출구의 압력 변화 값이다. 질량유량 값이 증가함에 따라 입·출구의 압력차가 증가함을 보여준다.



[그림 2] 질량유량에 따른 압력변화

2.3 해석모델

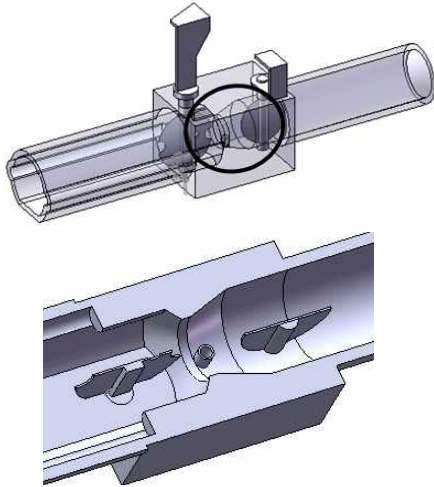
본 연구의 대상은 현재 소형엔진(300ccc)에 사용되는 기화기이다. 유동해석을 위해 통합 환경을 지원하는 3D 디자인 설계 프로그램인 SolidWorks를 사용하였고, 유동해석은 상용해석 소프트웨어인 FloWorks를 사용하였다. 그림 3은 유동해석에 중요한자들을 단순화하여 실제 크기에 맞게 기화기 본체, 연료노즐, 초크밸브와 스톱밸브를 부품별로 모델링 하였고 이를 어셈블리하여 해석기법을 적용하였다.



[그림 3] 기화기의 본 제품과 단순화한 모델링

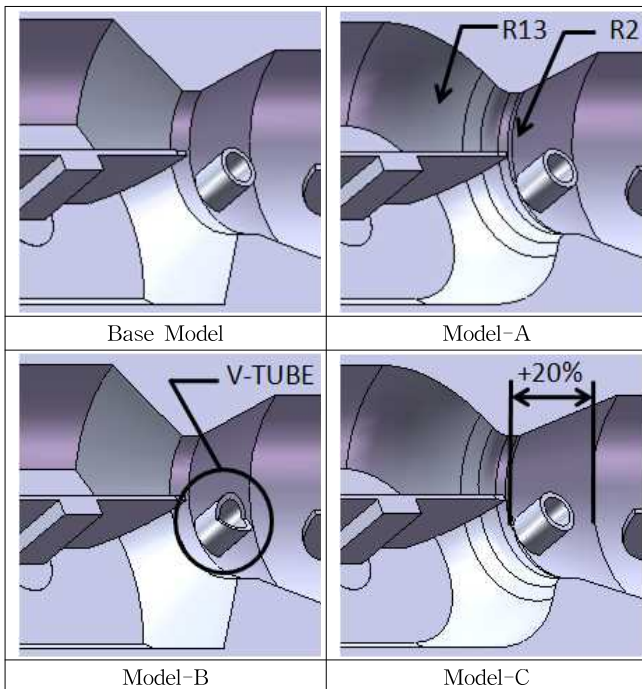
그림 4는 입구와 출구의 역류(Reverse Flow)에 의한 유동불안정을 줄이고 해석 결과의 정확성을 높이기 위하여 입구와 출구면의 앞뒤로 80mm의 확장관로를 추가한 해석모델이다.

3. 해석결과 및 고찰



[그림 4] pipe가 연결된 기화기와 벤츄리 관 및 연료노즐

그림 5는 성능을 발휘하는 주요설계인자인 기화기의 벤츄리 내부 각도, 길이 및 연료노즐 형상 등을 변수로 하여 해석 후 선정된 모델이다. 기본 모델을 기준으로 하여 모델-A는 부드러운 유동의 흐름을 위해 벤츄리 부위에 적당한 곡면(Rounding)처리를 하였고, 모델-B는 연료노즐의 압력 변화를 보기 위해 연료노즐 형상을 V자로 변형했으며, 모델-C는 역류(Reverse Flow) 및 분리흐름(Separate Flow)의 개선을 위해 벤츄리 출구부의 길이를 12mm에서 15mm로 20%증가시켜 확대각도를 완만히 설계하고 벤츄리 부위에 곡면 처리를 하여 유동저항을 감소시키고자 하였다.



[그림 5] 해석 모델

설정된 경계조건을 바탕으로 유동해석을 수행하였다. 각각 다른 모델에 공기의 유입량이 같고 연료노즐에 작용하는 압력이 동일할 때, 입·출구의 압력차 ΔP 가 작을수록 토크가 상승하는 효과를 낼 수 있기 때문에 이를 중심으로 분석하였다.

그림 6은 입·출구의 압력차와 연료노즐의 압력 값의 해석결과 그래프이다. 약 0.05% 이내에서 연료노즐의 압력 차이가 있음을 볼 수 있으며, 모델-A와 모델-C의 입·출구 압력차가 크게 감소함을 보여준다.

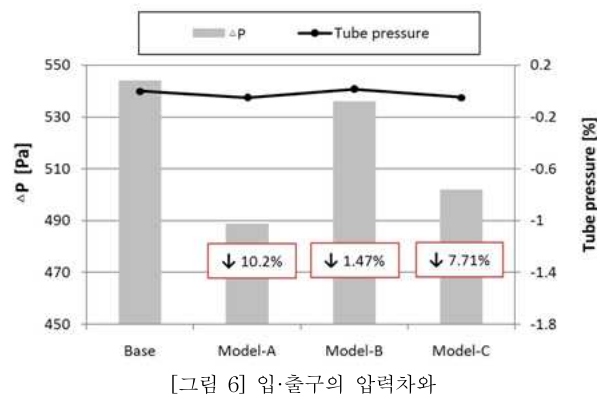
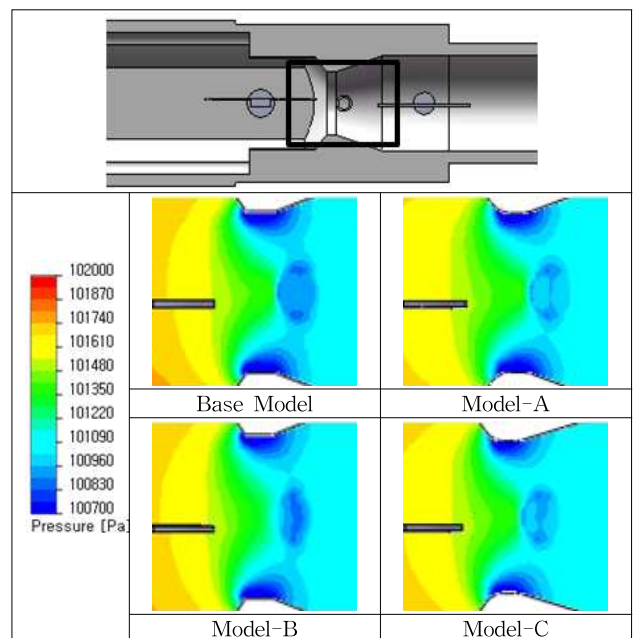
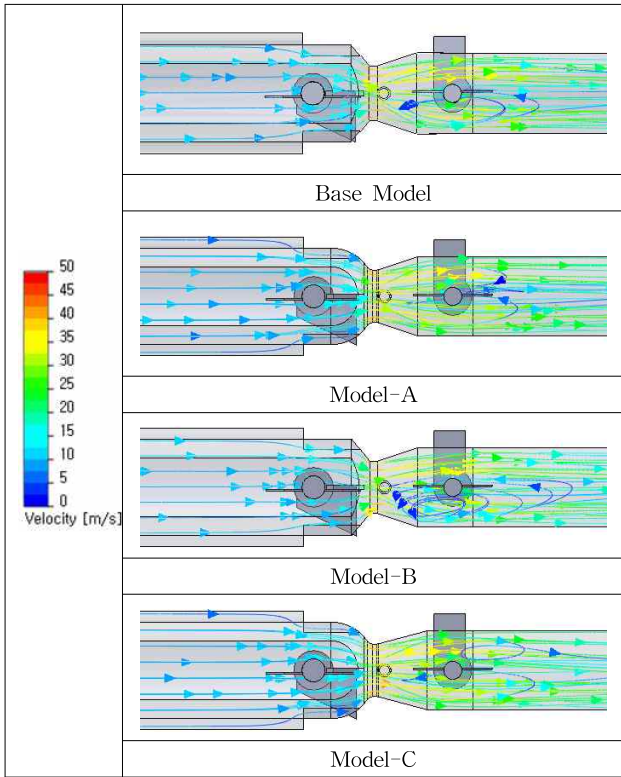


그림 7은 연료노즐 부근의 압력 값과 분포의 해석 결과를 보여주고 있다. 베이스 모델이 가장 넓은 음압범위를 보였고 제안 모델 중 모델-B가 가장 큰 음압을 보였다.



[그림 7] 압력분포 해석결과

그림 8은 유동의 흐름과 속도를 보여주고 있다. 박리를 개선하기 위해 벤츄리 뒷부분의 길이를 늘려 각도를 좁힌 모델-C가 타 모델에 비해 비교적 흐름의 방해가 없이 원활하게 흐르는 것을 확인 할 수 있었다.



[그림 8] 유동의 흐름과 속도 해석결과

4. 결론

300cc 소형엔진 기화기의 유동해석 및 분석을 통하여 긍정적인 효과를 보인 기화기 모델을 제안하였으며, 최적화의 방향을 제시 하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기화기 내부의 벤츄리관에서 발생하는 유동의 흐름과 압력변화는 곡면과 연료노즐의 형상, 벤츄리관의 길이 및 각도에 큰 영향을 받는 중요한 설계요소이다.
- 2) 유동해석을 통해 기화기 내부의 벤츄리관에 곡면(Rounding)처리를 적용함으로 기화기에서 소모되는 흡기저항을 줄여 펌핑로스를 저감할수 있음을 확인하였다. 펌핑로스의 저감은 엔진 연비의 향상과 엔진토크에 긍정적 효과로 작용할 것으로 기대된다.

- 3) 벤츄리관의 출구 각도를 감소시킴으로 박리를 개선하여 Dead Volume을 줄임으로서 기존 모델에 대비하여 원활해진 유동의 흐름을 얻을 수 있었다. 이는 흡기유량을 증대시키고 엔진출력을 상승시키는 효과로 작용할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] W.A. Schuster, "Small Technology", Delmar Publishers, 1999
- [2] T. Tokui and J. Shirahata, "Small Engine Catalyst for US Emission Regulations", SAE 2002-32-1837, 2002.
- [3] J. Bin, L. Manqun, Y. Xicheng and Sun Yaqin, "Emission Control Strategy and Technologies on Chinese-Made Four-stroke Non-Road Small Spark-Ignition Engines", SAE 2005-32-0052, 2005
- [4] P. Stuecke, C. Egbers and W. Geyer, "A Two-Stroke Chain Saw Engine to Fulfil Current Tier Emission Levels", SAE 2005-32-0101, 2005
- [5] B. Kobayashi, T. Sawada, R. Zama, N. Ogura and S. Wada, "Investigation of Port Design for Small Air-Head Stratified Scavenging Two-Stroke Cycle Engine", SAE 2005-32-0012, 2005.
- [6] M. Yoshida, T. Suzuki, Y. Oguri. W. Bin, Z. Dasen, S. Shuying and L. Xinghu, "Study on Electronic control of Air-Fuel Ration and Ignition Timing for Small Gas-oline Engine", SAE 2001-01-1861,2001.
- [7] M.Sivakumar and V. Balasubramanian, "Flow Field Analysis of a Carburettor Using CFD", SAE 2005-26-058-2005.
- [8] L. Li, Z. Wang, B. Deng, Y.Han and H. Wang, "Combustion and Emissions Characteristics of a Small Spark-Ignited LPG, SAE 2002-01-01738, 2002
- [9] NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007