

발전용 엔진 트로틀 바디의 유동해석

황재우*, 김창수**, 최두석***, 박성영****

*공주대학교 기계자동차공학부

**공주대학교 생산기술연구소

e-mail:sungyoung@kongju.ac.kr

Flow Simulation of the throttle body for a Power Generation Engine

Jae-Woo Hwang*, Chang-Su Kim**, Doo-Seck Choi***, Sung-Young Park****

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

**Mechanical Engineering Dept., Graduate School, Kongju National University

***Green-Car Technology Research Institute, Kongju National University

****Industrial Technology Research Institute, Kongju National University

요 약

1400cc급 발전용 엔진 트로틀 바디의 최적화 및 성능 향상을 위하여 유동해석을 수행하였다. 베르누이 정리를 기본으로, 성능을 발휘하는 주요 설계인자인 트로틀 바디 내부의 트로틀 밸브 각도 및 흡기부 곡률 등을 설계 변수로 유동해석을 수행하였다. 벤츄리관 흡입부의 곡률을 증가시켜 트로틀 바디에서 소모되는 흡기저항을 줄였다. 감소된 흡기저항은 펌핑로스를 저감하여 연비향상에 도움이 될 것으로 기대된다. 결과적으로 해석결과 분석을 통하여 최적화된 모델을 제시하였다.

1. 서론

1980년대 이후로 엔진기술이 발전함에 따라 대부분의 엔진은 기화기/믹서 방식 대신 인젝터 방식을 사용하게 되었다. 특수한 목적으로 이용되는 엔진에서는 기화기/믹서가 여전히 중요한 성능부품으로 작용하고 있다. 기화기/믹서는 연료를 미립화하고 공기를 적당한 비율로 혼합시켜 가솔린 기관의 실린더로 공급하는 장치이다. 엔진의 최대출력과 경제적인 효과, 그리고 환경을 위해서는 이론 공연비로 운전되어야 한다. 경제적인 효과를 위해서는 공연비가 커야하고, 최대출력을 위해서는 공연비가 작아야 하며, 엔진이 작동할 때 부하조건이나 속도변화에 무관하게 정확한 혼합비를 유지시켜야 한다. 그런 이유에서 성능이 우수한 기화기/믹서 일수록 복잡한 구조를 갖게 된다[1]. 유해가스를 최소화 하기 위해 트로틀 밸브의 열림 각도에 대한 정보가 엔진의 전자제어 장치에 전달되어 이에 상응하는 최적의 연료가 분사 되어 배기가스를 조절한다[2].

최근 배기가스 규제가 기존 엔진에 국한되지 않고 노외용 엔진(non-road engine) 부분에서도 세계적인

로 강화되는 시점에서, 선진국 시장 수요의 증대와 규제 대응을 위한 엔진 부품의 기술개발 노력이 요구되고 있다[3-5].

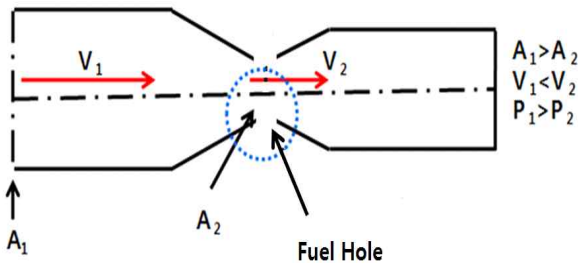
현재 엔진의 배기규제에 대응하기 위한 연구는 기계적인 구조변경에 의한 방법과 연료개선에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 기계적인 구조변경에는 흡·배기포트 개조에 의한 소기효율 개선 방안, 분사 방식 적용에 의한 공연비 최적화 방안, 트로틀 바디 니들형상 및 트로틀 밸브 제어를 통한 공연비 제어 방식 등이 있으며[6-8], 연료개선에 의한 방법으로 LPG 등과 같은 저공해 연료를 적용하는 방법이 있다[9].

본 연구의 목적은 배기가스 배출에 큰 영향을 미치는 발전용 엔진의 트로틀 바디 성능변수를 분석하는데 있다. 효과를 분석하기 위하여 변수들을 트로틀 바디 모델에 반영하고, 각각의 모델에 대한 유동해석을 수행하였다. 해석결과를 통하여 트로틀 바디의 주요 설계변수에 대한 특성효과를 분석하고, 궁극적으로 최적화된 가스엔진 트로틀 바디 모델을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

그림 1은 성능을 발휘하는 주요설계인자인 트로틀 바디 내부의 벤튜리관(Venturi tube)이다. 벤튜리관은 관의 단면적이 완만히 줄었다가 중앙부에서 최소 단면적이 되고, 다시 관의 단면적이 확대되는 구조를 가지고 있다. 벤튜리의 단면적이 최소가 되는 부분의 유동속도가 가장 빠르고, 대기압과의 압력차이가 가장 크기 때문에, 이 부분에 연료 공급홀이 설치된다. 메인 연료 공급홀은 공기가 벤튜리로 흐를 때, 메인노즐 선단의 압력과 대기압과의 압력 차이에 의해 흡입효과가 발생하며 연료를 공기와 혼합하게 된다.



[그림 1] 트로틀 바디의 벤튜리관의 개략도

2.2 지배방정식과 경계조건

벤튜리 내부의 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 본 연구에 사용된 상용 소프트웨어에서 정의된 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지 방정식의 표현은 식(1)-(3)과 같다. 또한 난류운동에너지 방정식과 난류운동에너지 소산방정식은 식(4) 및 (5)로 표현된다. 난류 모델로서 표준 k-ε 모델을 사용하였다[10].

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

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

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

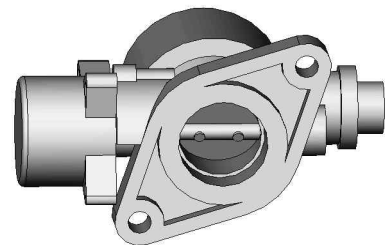
$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + S_\epsilon \quad (5)$$

입구 경계조건은 엔진의 최대 토크가 발생하는 Wide Open Throttle 상태에서, 1400cc 엔진의 체적 효율을 100%로 가정하여 계산하였다. 계산된 공기의 질량유량은 0.0189 kg/s으로, 입구경계조건으로 적용하였다. 입구 공기의 온도는 상온으로 설정하였다. 출구의 경계조건은 대기압 조건을 설정하였고, 입출구의 ΔP를 분석하기 위해 연료 공급홀에 압력을 목표치 조건으로 설정하였다.

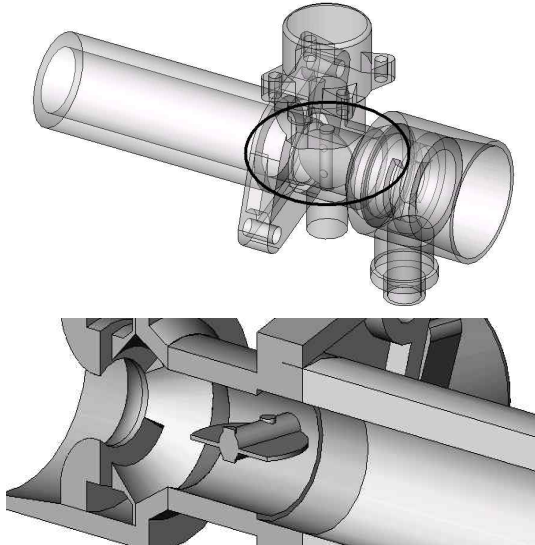
2.3 해석 모델

본 연구의 대상은 현재 발전용 엔진에 사용되는 트로틀 바디이다. 트로틀 바디의 모델링을 위하여 통합 환경을 제공하는 3D 디자인 설계 프로그램인 SolidWorks를 사용하였고, 유동해석은 SolidWorks와 연동되는 상용해석 소프트웨어인 FloWorks를 사용하였다. 그림 2는 유동 해석에 중요한 인자들을 단순화하여 실제 크기에 맞게 트로틀 바디 본체, 트로틀밸브, 연료 공급홀, 흡입부 곡률을 부품별로 모델링하였고 이를 어셈블리하여 유동해석을 수행하였다.



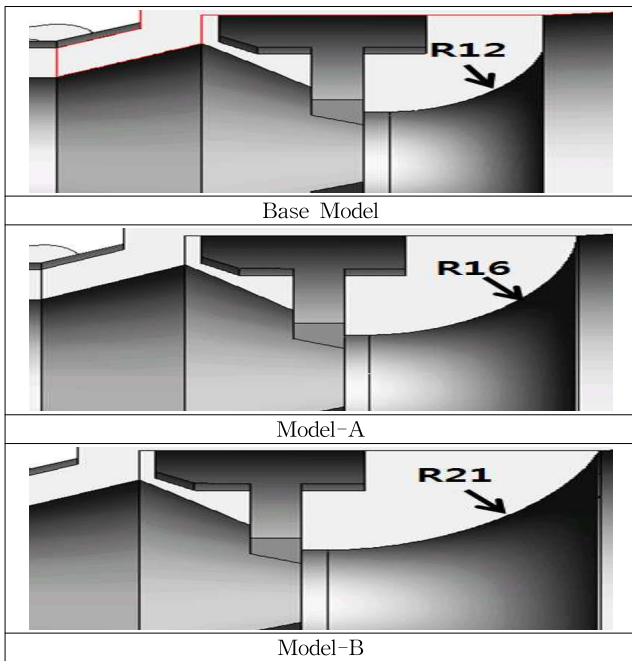
[그림 2] 트로틀 바디 제품과 3D 모델링

그림 3은 출구의 역류(Reverse Flow)에 의한 유동 불안정을 줄이고, 해석 결과의 정확성을 높이기 위하여 출구면에 90mm의 확장 관로를 추가하였다.



[그림 3] 벤투리 관 및 연료 공급홀

그림 4는 성능을 발휘하는 주요 설계인자인 트로틀 바디의 벤투리 내부 트로틀 밸브 각도 및 흡입부 곡률 등을 변수로 해석 후 선정된 모델이다. 기본 모델을 기준으로 부드러운 유동의 흐름을 위해 흡입부 곡률반경을 12, 16 및 21mm로 설계하여, 벤투리관 압력 및 유동흐름을 고찰하고자 하였다.

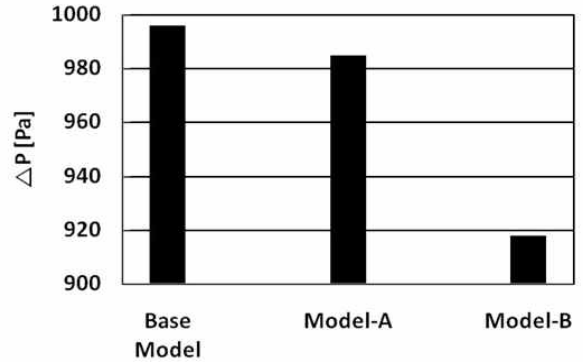


[그림 4] 흡입부 곡률에 따른 모델

3. 해석결과 및 고찰

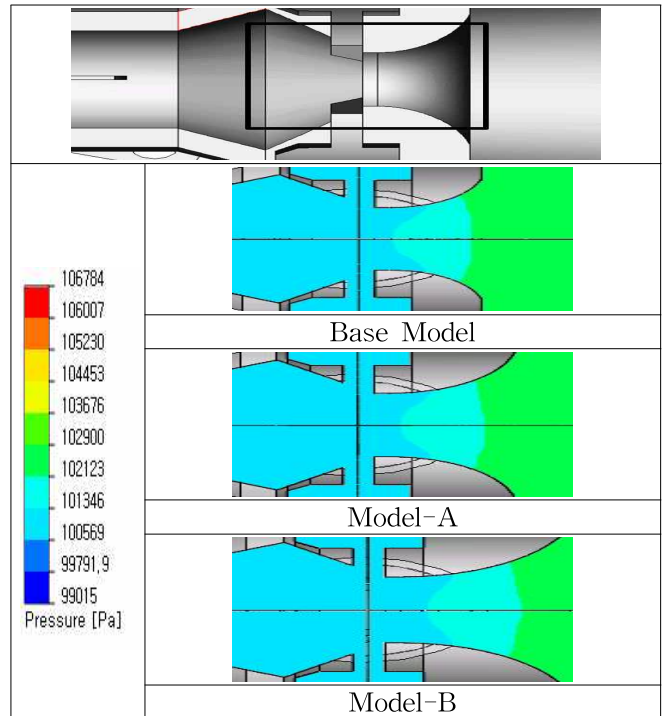
설정된 경계조건을 바탕으로 유동해석을 수행하였다. 각각의 모델에 공기 유입량이 동등하고 연료 공급 홀에 작용하는 압력이 동일할 때, 입·출구의 압

력차가 작을수록 펌핑손실이 감소하기 때문에 이를 중심으로 분석하였다. 그림 5는 입·출구의 압력차 해석결과 그래프이다. 베이스 모델 대비, 모델-B의 압력차가 크게 감소하였음을 확인할 수 있다.



[그림 5] 입·출구의 압력차

그림 6은 연료 공급홀 부근의 압력분포 해석결과를 보여주고 있다. 모델-B가 가장 낮은 압력변화 범위를 보였고 베이스 모델이 가장 큰 압력변화를 보였다.

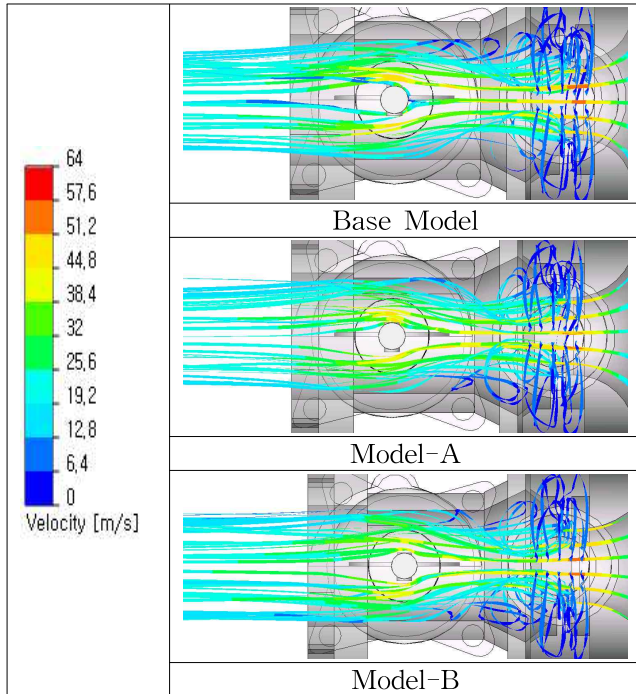


[그림 6] 압력분포 해석결과

그림 7은 흡입공기의 유선과 속도를 보여주고 있다. 각 모델의 속도는 동등한 수준이었으나, 모델-B에서 가장 완만한 유선을 보이고 있음을 확인할 수

있다. 따라서 모델-B가 유선 및 압력분포 측면에서 가장 양호한 결과를 보이고 있다.

참고문헌



[그림 7] 유동의 흐름과 속도 해석결과

4. 결론

1400cc급 발전용 엔진 트로틀 바디의 유동해석 및 분석을 통하여 유동흐름과 압력차가 가장 우수한 모델을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발전용 엔진 트로틀 바디의 벤츄리관에서 발생하는 유동흐름과 입·출구 압력변화는 흡입부 각도에 따라 큰 영향을 받는 중요한 설계요소이다.
- 2) 베이스 모델 대비, 벤츄리관의 흡입부 곡률을 증가시켜 원만한 속도장을 형성하였고, 유동흐름의 Dead Volume을 감소하여 유동의 흐름이 원활해진 것을 확인하였다. 이러한 압력강하량의 감소는 펌핑로스를 저감하여 엔진 연비향상에 긍정적인 효과로 작용할 것으로 기대된다.

- [1] W.A. Schuster, "Small Technology", Delmar Publishers, 1999
- [2] Kim. S. C., Kim. C., 1999, "Flow Characteristics Inside a Throttle Valve Used to Control the Intake Air Flow Rate in Engines," KSAE, Vol. 7, No. 8, pp. 91~98.
- [3] T. Tokui and J. Shirahata, "Small Engine Catalyst for US Emission Regulations", SAE 2002-32-1837, 2002.
- [4] 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
- [5] P. Stuecke, C. Egbers and W. Geyer, "A Two-Stroke Chain Saw Engine to Fulfil Current Tier Emission Levels", SAE 2005-32-0101, 2005
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] M.Sivakumar and V. Balasubramanian, "Flow Field Analysis of a Carburettor Using CFD", SAE 2005-26-058-2005.
- [9] 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
- [10] NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007