

소형엔진 흡기포트의 성능 평가

박윤서*, 박성영*

*공주대학교 기계자동차공학부

e-mail : sungyoung@kongju.ac.kr

Performance Evaluation on the Small Engine Intake Port

Yun-Seo Park* and Sung-Young Park*

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

요 약

소형엔진의 성능을 결정하는 흡기시스템 중 흡기포트는 매우 중요한 설계인자이다. 본 연구는 흡기포트에 대한 성능실험 및 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 흡기 성능을 파악하고, 이러한 일련의 실험과정을 학습하여 제품의 성능 평가 절차를 정립하고 성능을 개선하는데 그 목적이 있다. 흡기 성능평가를 위해 리그를 구성하여 실험과 해석을 진행하였으며 이를 통하여 공기유량계수 값을 획득하였다. 공기유량계수 값은 밸브 리프트 변화에 따른 표준 밸브리프트로 환산한 값을 사용하였다. 실험적 연구를 통하여 기존 소형엔진 흡기 포트의 평가에 대한 기준을 제시하였고, 이는 소형엔진 흡기포트 설계 후 성능 평가를 위한 중요한 지표로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서 론

최근 들어 여가 생활 및 이동의 편의성으로 인한 소형엔진의 사용이 날로 늘어나고 있으며 그 영역을 점점 넓혀가고 있는 실정이다.[1] 소형엔진은 휴대 및 이동이 용이하도록 소형화 및 경량화가 주된 기술을 이루고 있으며, 저가의 기존기술을 사용하여 보급되고 있는 특징을 갖고 있다. 그러나 최근 선진국 시장의 수요증가와 환경규제에 따른 기술개발의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

기존 소형엔진의 경우 국내의 생산은 거의 전무한 상태이며, 일본 및 북아메리카로부터의 수입이 대부분을 차지하고 있으며, 따라서 이에 관련한 엔진 생산 및 제어 관련기술 개발은 전무한 상태이다. 일부 오토바이용 엔진의 경우 유사한 배기량의 엔진이 생산되고는 있으나 사용목적, 개발 목표 및 조건 등이 상이하다. 이러한 실정에서 국내의 소형엔진의 개발 및 효율을 높이기 위한 연구의 일환으로 소형 엔진의 흡기포트에 대한 연구를 진행하게 되었다. 이미 자동차의 경우 엔진의 효율을 높이기 위해 흡기시스템의 성능향상에 활발한 연구가 있어왔다. 반면 현재 국내 소형엔진의 경우 연구 및 개발 부족으로 인해 흡기 형상이 구조적으로 단순하여 낮은 효율의 흡기성능을 나타내고 있다. 흡기포트 형상과 관련하여 흡입되는 공기의 양은 엔진의 연소에 영향을 주고 이는 엔진의 성능·출력 및 연비에 있어서 주요 인자로 작용하게 된다. 따라서 엔진의 개발 시에 흡기시스템은 매우 중요한 개발 요소가 된다. 현재 국내 업체의 자체 설계 및 개발 능력의 부족으로 인하여 흡기시스템 개발에 있어서 많은 어려움을 겪고 있다. 본 연구는 소형엔진의 흡기시스템의 일부인 흡기포트에 대한 성능실험 및 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 흡기 성능을 파악하고, 이러한 일련의 실험과정을 학습하여 제품의 성능 평가 절차를 정립하고 성능을 개선하는데 그 목적을 두고 있다.



(a) 레이저용 엔진



(b) 이동식 발전기

[그림 1] 소형 엔진의 보편화

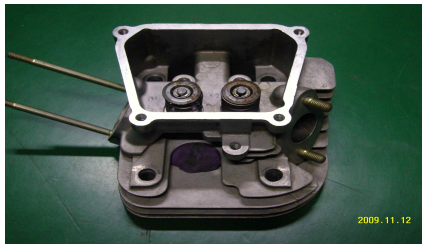
2. 실험 및 해석 모델 설정

2.1. 실험 모델

그림 2는 상용되고 있는 300cc급 Non-Road 소형 Gasoline SI 엔진이다. 기계식 기화기 Type의 카브레이터 연료공급 방식을 취하고 있으며, 엔진의 냉각은 공랭식이 적용되었고, 소형엔진의 헤드에는 각 1개씩의 흡기포트와 배기포트를 가지고 있다.



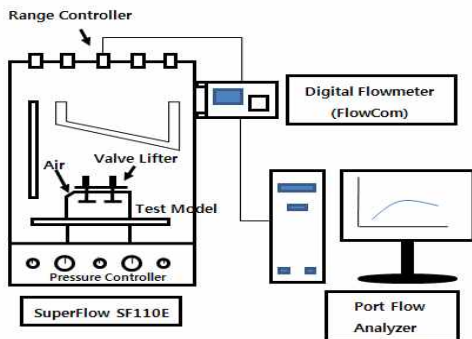
(a) 다용도 소형엔진



(b) 소형엔진 헤드
[그림 2] 성능 실험 모델

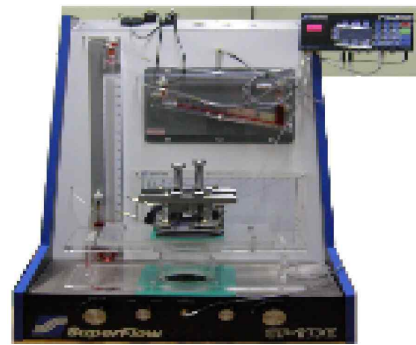
2.2. 실험개요 및 리그

실험에 사용된 장비는 소형흡기유동 측정장비인 Performance Trends, Inc의 SF-110E 모델이다. 이 측정장비를 이용, 소형엔진 흡기포트의 유량계수를 구하여 흡기성능을 평가하였다. 그림 3(a)는 Flowbench의 개략도이며 Flowbench를 통해 수집된 데이터가 Digital Flowmeter를 통해 Port Flow Analyzer로 전송되어 데이터를 분석하는 절차를 거친다.[2]

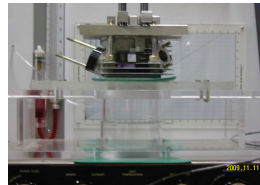


[그림 3] SF-110E Flowbench 개략도

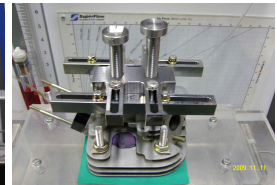
그림 4(a)는 소형엔진 헤드 성능을 측정하기 위해 밸브리프터와 소형엔진 헤드를 Flowbench에 장착한 모습이다. 소형엔진의 헤드부분을 그림 4(b)와 같이 아크릴 보어위에 장착시키고, 그림 4(c)와 같이 밸브리프터를 장착한 후 밸브리프터를 사용하여 1mm~7mm까지 1mm간격으로 흡기밸브의 높이를 조절한다. 각 리프트 별로 Range Controller를 설정하고 그 변화에 따른 압력변화를 Port Flow Analyzer를 통해 입구 경계조건인 16 inH₂O의 압력을 동일하게 설정한다. 이 때 측정된 질량유량을 통해 유량계수(실제 유량/이론유량)를 산출한다.[3]



(a) SF-110E Flowbench



(b) 아크릴 보어



(c) 밸브 리프터

[그림 4] 실험 모델의 장착

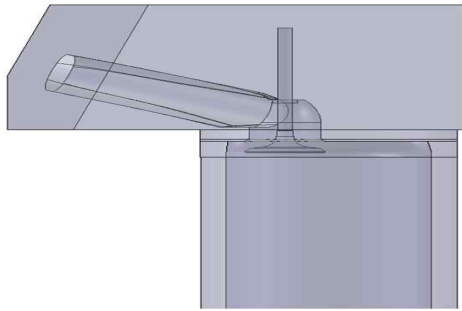
각 리프트별로 Range Controller의 설정치를 선택하기 위해서 Port Flow Analyzer에서의 기준 질량유량이 필요하며, Range Controller의 조합을 통해 Range 1~9까지의 선택이 가능하다. Flowbench에 장착된 300cc급 소형 엔진의 기준으로 Range Setting은 7까지만 사용되었다. Range Setting의 기준은 표 1에 명시된 바와 같다.

[표 1] 흡기유량 설정 기준표

L/s	1	2	3	4	5	6	7
Intake	4.4	8.5	13.7	18.5	27.5	38.7	48.3
Exhaust	4.4	8.6	14.5	19.6	29.0	40.7	49.9

2.3. 해석 모델

그림 5는 실제 소형 엔진의 헤드를 상용 3-D 설계 프로그램인 SolidWorks를 이용하여 모델링 한 모습이다. 헤드 외관은 해석결과에 영향을 미치는 변수로 작용하지 않으므로 해석의 편의를 위해 제거하였으며 설계변경을 통해 리프트를 변경하여 해석을 진행하였다.



[그림 5] 흡기포트 3D 모델링

2.4. 지배방정식 및 경계조건

헤드 내부의 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였고, 해석정식의 표현은 식(1)~(3)과 같다. 식 (4)~(5)는 난류운동에 사용된 FloWorks 소프트웨어[4]의 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지 방정식과 난류운동 에너지 소산방정식으로 아래와 같이 표현된다. 해석 난류 모델로서는 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

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

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

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

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

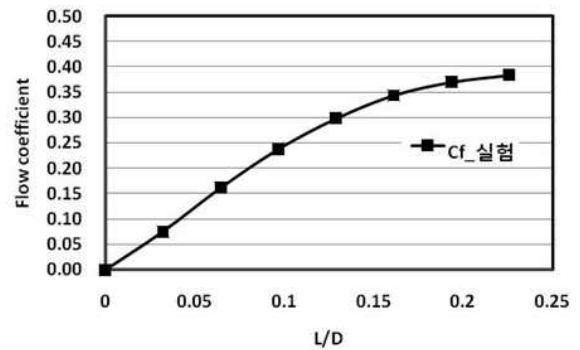
수치해석을 위한 경계조건으로 입구부와 출구부의 압력차를 16 inH₂O로 입구 경계조건을 설정하였다. 수렴 조건은 FloWorks에서 제공되는 자동 목표치 수렴방식을 사용하였고, 이는 일정 수렴기간동안 목표치의 최대값과 최소값의 차로써 정의되는 분산값을 계산하여 수렴의 여부를 결정하는 방식이다. 본

연구에서는 출구의 질량 유동율, 정압력을 목표치로 설정하여 수렴 조건을 제어하였다.

3. 실험 및 해석결과

3.1. 성능 실험 결과

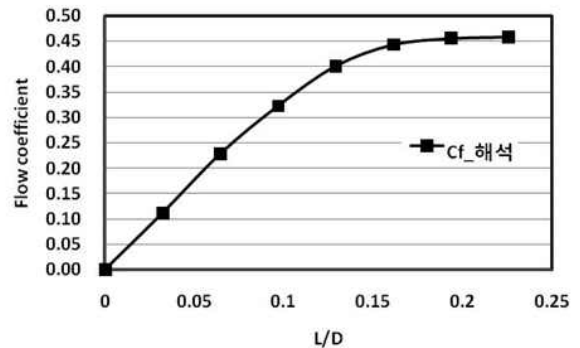
그림 6은 밸브 리프트의 상승에 따른 유량계수 증가를 그래프로 나타낸 것이다. 높은 리프트에서 유량계수의 증가량이 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 밸브 리프트 약 6mm부근 이상에서 최소목의 변경이 이루어져 흡기포트 러너 부근으로 최소목이 변경되었기 때문에 더 이상의 밸브 높이의 상승과 상관없이 유량계수가 일정하게 유지되는 것으로 판단된다.



[그림 6] 리프트별 유량계수

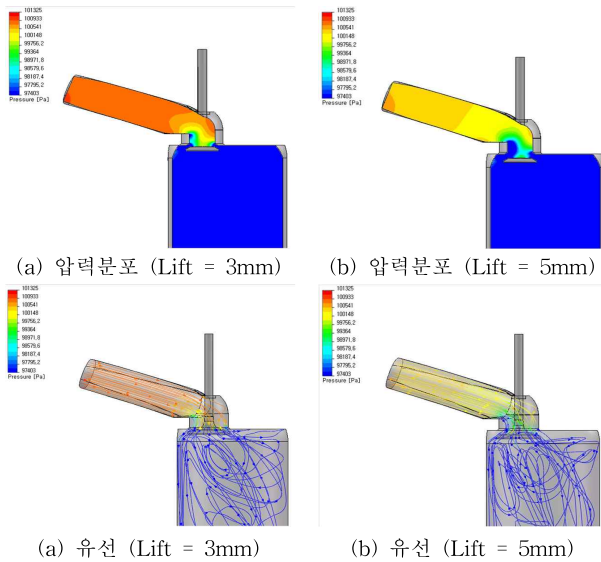
3.2. 유동해석 결과

그림 7은 FloWorks를 이용하여 해석한 소형 흡기포트의 밸브 리프트 상승에 의한 유량계수의 변화를 나타낸 그림이다. 밸브 리프트의 높이가 5mm이상 때부터 유량계수 값이 일정하게 유지되는 것으로 보아 리프트 5mm부터 최소목의 변경이 진행되었음을 확인할 수 있다.

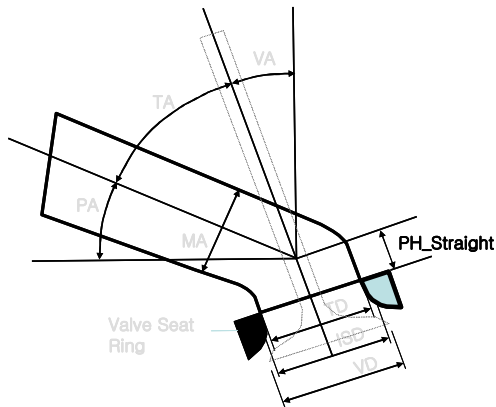


[그림 7] 해석 결과값

이것을 확인하기 위하여 그림 8에서는 밸브 리프트 3, 5mm일 때의 유선 및 정압력분포를 확인하였다. 밸브 리프트 3mm일 경우 최소목이 밸브의 시트 부근에서 결정되는 것을 알 수 있었고, 리프트 5mm 이상일 경우에는 급격한 정압의 변화가 PH_Straight 상부 부근(그림 9)에서 발생하는 것으로 보아 최소목이 PH_Straight 상부 부근 전단으로 변경된 것으로 판단된다.[5]



[그림 8] 유동해석 결과

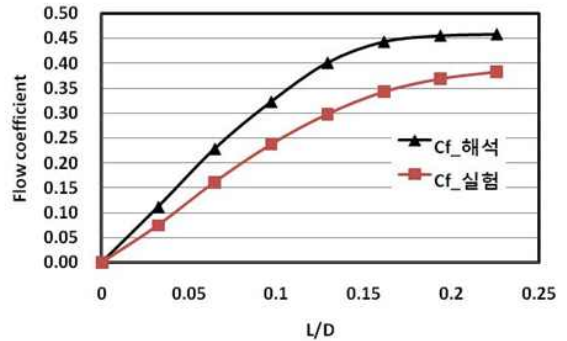


[그림 9] PH_Straight[5]

3.3. 실험 및 해석 결과 비교

실험과 해석의 비교를 위하여 각 유량계수를 그림 10에 도시·비교하였다. 전체적으로 비슷한 경향을 나타내었고, 상당한 차이를 보이는데 이것은 해석을 위해 실제 엔진의 포트설계 데이터만으로 3D모델링을 진행하였기 때문에 실제 엔진의 유량계수와 차이를 보이는 것으로 사료된다. 이러한 차이는 해석모델

을 수정하고, 실험 장치의 오차를 줄여서 개선할 필요성이 있다.



[그림 10] 유량계수 결과 비교

4. 결론

본 연구를 통하여 소형엔진 흡기포트의 성능실험 및 해석적 평가에 대한 절차를 제시하였다.

- (1) 엔진 성능과 출력을 결정짓는 중요요소인 흡기 유량계수에 대한 실험적 연구를 통하여 기존의 소형엔진 흡기포트 흡기성능을 파악하였다.
- (2) 해석적 접근을 통하여 얻은 소형엔진 흡기 유량계수를 실험과 비교 분석하였다. 일련의 과정을 통해 소형엔진 흡기 포트의 평가에 대한 기준을 제시하였고, 이는 소형엔진 흡기포트 설계 후 성능 평가를 위한 중요한 지표로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] W.A. Schuster, "Small Technology", Delmar Publishers, 1999.
- [2] Performance Trends Inc., "Port Flow Analyzer V3.0/V3.5 for Windows", 2008.
- [3] Performance Trends Inc., "SF-110/120FC Flow bench Operator's Manual", 2008.
- [4] NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007.
- [5] Jin-Wook Son, Sihun Lee, Bonghoon Han, Wootae Kim, "A Correlation between Re-Defined Design Parameters and Flow Coefficients of SI Engine Intake Ports", SAE Paper No. 2004-01-0998, 2004.