

## 300cc급 소형엔진 흡기시스템의 성능 해석

김창수<sup>1</sup>, 염경민<sup>1</sup>, 박성영<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 일반대학원 기계공학부, <sup>2</sup>공주대학교 기계자동차공학부

### Performance Simulation of 300cc Small Engine Intake System

Chang-Su Kim<sup>1</sup>, Kyoung-Min Yeom<sup>1</sup> and Sung-Young Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University

<sup>2</sup>Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University

**요 약** 소형엔진은 매우 열악한 환경에서 작동하기 때문에 엔진으로 흡입되는 공기를 정화하는 흡기시스템은 매우 중요한 설계인자이다. 크랭크 실로부터 유입되는 블로바이 가스의 오일입자를 포집하기위하여 장착되는 그리드는 제작과 장착이 어렵고 오일입자의 포집효율이 열악한 문제점이 있다. 본 연구는 이러한 소형엔진에 적용되는 흡기시스템을 개선하기위하여 신규 모델을 해석적인 방법으로 개발하였다. 신규로 제안된 모델은 그리드를 삭제하고 블로바이 흡의 위치를 변경하였다. 신규 모델의 오일입자 포집효율은 기존 대비 약 5배 향상되었으며, 그리드 삭제로 인하여 소형엔진 흡기시스템 제작 원가의 약 10%를 절감하였다.

**Abstract** Because of operating environment, the intake system of the small engine needs a serious design consideration. To capture oil particles from the blow-by gas, a grid of the intake system had been applied, but it has very low capturing efficiency and high manufacturing cost. To improve system performance, a new intake system has been developed using computational technique. The grid has been removed and the location of the blow-by hall has been re-designed. Total efficiency capturing oil particles has been improved about 5 times compared with that of previous model with the grid. By removing the grid, approximately 10% of the total manufacturing cost has been reduced.

**Key Words** : Intake System, Small Engine, Engine Performance, Air Filter

### 1. 서론

최근 들어 레저 및 이동의 편의성으로 인한 소형엔진의 사용이 보편화되고 있다. 소형엔진은 휴대 및 이동이 용이하도록 소형화 및 경량화가 주된 기술을 이루고 있으며, 저가의 기존기술을 사용하여 일상생활에 널리 보급되어 있다[1]. 공사 현장이나 실생활에서 널리 활용되는 소형엔진은 엔진이 운전되는 장소에서 먼지와 같은 이물질을 포함한 공기를 필수적으로 사용하게 된다. 따라서 엔진의 구동 및 운전 조건의 측면에서는 매우 열악한 환경에서 엔진이 작동되어야 한다. 이러한 소형엔진의 주 운전 조건을 고려해 볼 때 엔진으로 유입되는 흡입공기를 정화하는 흡기시스템은 엔진의 설계에서부터 고려되

어야할 매우 중요한 설계인자이다[2]. 엔진의 흡기시스템은 연료의 연소를 위하여 엔진의 연소실에 공기를 공급하는 장치이다. 특히 소형엔진의 흡기시스템은 그 구조적인 단순화로 인하여 흡기필터를 포함한 흡기구가 엔진 흡기계의 대표적인 역할을 담당하고 있다. 소형엔진의 흡기 시스템은 공기의 흡입량에 직접적으로 관계되며, 흡입되는 공기는 연료의 분무성능에 영향을 미치게 된다.

소형엔진의 흡기계 시스템은 케이스, 커버, 필터류 등으로 구성되며, 이들의 성능은 필터의 효율과 흡입되는 공기량에 따라 결정된다.

또한 흡기시스템에는 크랭크실로부터 유입되는 블로바이 가스에서 오일입자를 제거하는 장치가 설계되어 있다. 이것은 그리드 또는 충돌판으로 구성되어 있다. 소형

\*교신저자 : 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

접수일 09년 06월 24일

수정일 (1차 09년 10월 07일, 2차 09년 11월 04일)

게재확정일 09년 11월 12일

엔진의 피스톤이 연료 폭발에 의해서 하강하면 크랭크실의 압력이 상승하게 된다. 이때, 크랭크실은 고온의 엔진 오일이 비산되고 피스톤 링으로부터 유출된 미연가스가 혼재하는 공간이다. 다수의 오일입자를 함유한 블로바이 가스는 블로바이 홀로 유입되고, 오일 그리드나 충돌판을 거쳐 큰 오일입자를 제거한 후 엔진 흡기를 통하여 연소실로 유입되어 연소된다. 이러한 번거롭고 복잡한 과정을 거치는 것은 미연가스와 오일입자를 포함한 블로바이 가스가 대기중으로 방출되지 못하도록 규제되기 때문이다. 이때 가능한 많은 오일입자를 포집하여 크랭크 실의 오일 선포로 오일을 회수하여야 오일 소모량을 줄이고 엔진 효율을 증대시킬 수 있다.

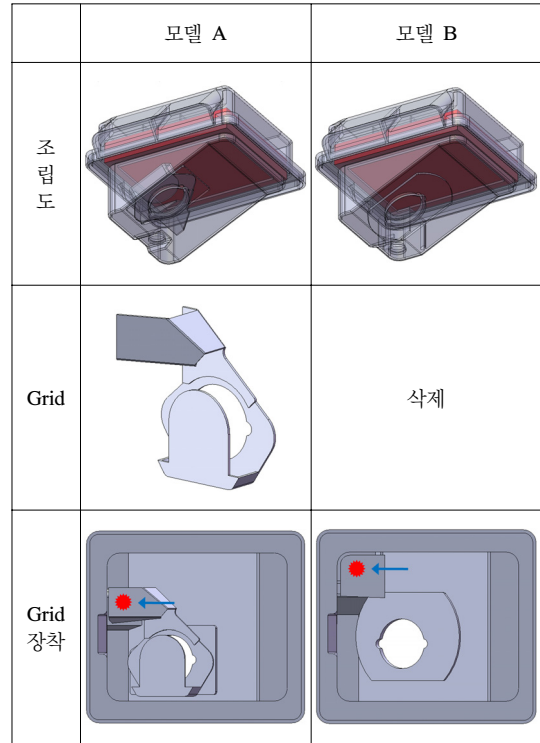
이러한 이유로 엔진 개발 시 흡기시스템은 엔진의 매우 중요한 개발 요소가 되지만, 국내 업체의 경우 자체 설계 및 개발 능력이 부족하고, 시험 및 해석을 할 수 있는 개발 장비가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 오일입자 포집효율을 향상시키고 제작원가를 절감할 수 있는 300cc급 소형엔진[3] 흡기모형을 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 해석 모델

본 연구의 유동 해석을 위하여 유동해석 소프트웨어가 내장된 상용 3-D 모델링 툴(SolidWorks)을 사용하였다 [4]. 2가지의 기본 모델링을 수행하였으며, 필터로는 종이 재질의 필터를 사용하였다. 구조적인 변경으로는 엔진 흡기구에 장착되는 그리드와 블로바이 홀의 위치 및 구조를 변경하였다.

그림 1의 모델 A는 기존에 생산되던 모델로 블로바이 홀로부터 엔진오일 미스트의 분리를 위하여 그리드가 장착된 것이다. 이러한 복잡한 모양의 그리드는 제작원가가 상승하고 장착시 어려움이 있다. 모델 B는 모델 A에서 그리드를 삭제하고, 블로바이 홀의 위치를 출구측과 가장 먼 곳에 배치한 모델로서 블로바이 홀의 디플렉터가 오일 미스트의 분리기능을 포함하도록 설계하였다.



[그림 1] 모델별 3-D 모델 및 설계 변경부 (\* : 블로바이 홀의 위치)

### 2.2 지배방정식 및 경계조건

흡기 부품 내부의 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 본 연구에서 사용된 상용 소프트웨어에서 적용된 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지 방정식은 식 (1)~(3)과 같다. 또한 난류운동에너지방정식과 난류운동에너지 소산방정식은 식(4) 및 (5)로 표현된다. 난류 모델로서 표준 k-ε 모델을 사용하였다.

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

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

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

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

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

where  $u$  fluid velocity [m/s]  
 $\rho$  fluid density [kg/m<sup>3</sup>]  
 $S_i$  mass-distributed external force per unit mass [kg/m<sup>2</sup>s<sup>2</sup>]  
 $h$  thermal enthalpy [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]  
 $Q_H$  heat source or sink [W/m<sup>3</sup>]  
 $\tau$  stress tensor [N/m<sup>2</sup>]  
 $q_i$  diffusive heat flux [W/m<sup>2</sup>]  
 $k$  turbulent kinetic energy [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]  
 $\epsilon$  turbulent dissipation [m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]

입구 경계조건으로는 300cc급 엔진의 충전효율을 100%로 가정하여 유량을 계산하고 그에 상응하는 공기의 속도를 입구 경계조건으로 설정하였다. 수렴 조건은 FloWorks[4]에서 제공되는 자동 목표치 수렴방식을 사용하였다. 이는 일정 수렴기간동안 목표치의 최대값과 최소값의 차로서 정의되는 분산값을 계산하여 수렴의 여부를 결정하는 방식이다. 본 연구에서는 출구의 질량 유동율, 정압력, 온도를 목표치로 설정하여 수렴 조건을 제어하였다.

블로바이 홀로부터 유입되는 오일입자의 포집효율을 계산하기 위하여 상용 소프트웨어인 Star-CD를 사용하였다. 일반적으로 10 $\mu$ m이하의 오일입자를 함유한 블로바이 가스는 저밀도 다상유체이기 때문에 가스의 유동과 입자 유동을 분리(uncoupled)하여 계산하였다[5]. 각 오일입자 크기별로 10,000개의 입자를 투입하여 포집효율을 계산하였다. 블로바이 홀로 유입되는 오일입자의 분포는 일반적으로 입자직径의 분포(R)로 표기된다[6]. 각 입자크기에 대한 포집효율( $\eta_F$ )을 다음과 같이 적분하면 시스템의 총 포집효율을 구할 수 있다.

$$\eta_0 = \int \eta_F \cdot \left( \frac{\partial R}{\partial D} \right) dD \quad (6)$$

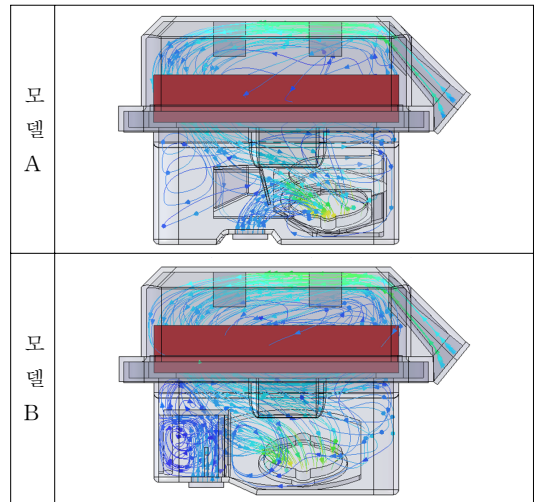
여기서 D는 오일입자의 크기( $\mu$ m)를 의미한다. 또한 본 연구에서 사용된 오일입자 포집모델은 Bai-Gossmann과 Satoh의 spread-rebound 모델을 산술평균하여 사용하였다[5].

### 3. 해석 결과 및 고찰

흡기 부품의 3-D 모델링을 완료하고, 이의 통기성에 관한 해석을 수행하였다. 흡기계는 양산 업체에서 요구하는 필터링 성능을 만족하면서 최소한의 압력강하가 이루어져야 한다. 이는 엔진으로 유입되는 공기량의 극대화를

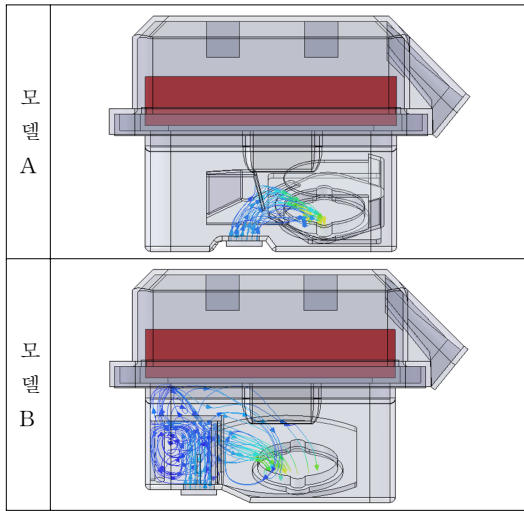
위한 것으로 공기량이 증대되면 엔진의 출력과 토크가 상승하는 효과를 가지고 있다.

그림 2는 유동해석 결과를 나타낸 것으로 공기의 유동 흐름을 확인할 수 있다. 모델A의 경우 복잡한 그리드 형상을 가진 모델로서 그리드에 의해 필터 쪽으로의 유동 흐름이 원활하지 못한 것을 확인할 수 있다. 그리드를 삭제한 모델 B의 경우 유동 저항이 완화된 것을 확인할 수 있다.



[그림 2] 유동해석 결과

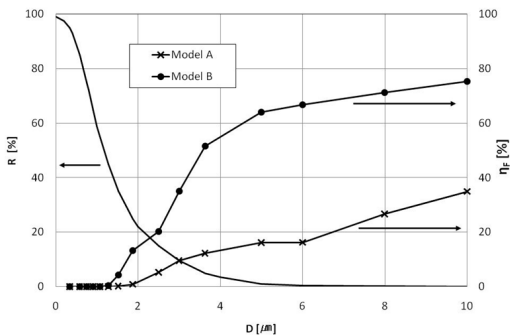
하지만 두 모델의 가장 큰 차이점은 블로바이 홀에서 유입되는 유동이다. 그림 3은 블로바이 가스가 출구로 배출되는 유동특성을 유선을 통하여 보여주고 있다. 모델 A의 경우, 기대하였던 바와 다르게 그리드가 블로바이 가스의 유동저항으로 작용하지 않는다. 이는 블로바이 홀과 출구가 너무 근접해 있기 때문이다. 이와 같이 블로바이 가스가 출구로 직접 배출되면 블로바이 가스에 함유된 오일입자들은 분리되지 못하고 엔진으로 직접 유입되어 연소가스성분을 악화시키게 된다. 모델 B의 경우는 블로바이 가스가 충돌판에 충돌하는 효과와 좁은 공간에 블로바이 가스를 격리시키는 두가지 효과를 보이고 있다. 이러한 블로바이 가스유동의 저항은 오일입자의 포집효율을 증가시키는 방향으로 작용하게 된다. 이러한 특성들은 그림 4의 오일입자 포집해석 결과를 보면 확연히 알 수 있다.



[그림 3] 블로바이 가스의 유동

그림 4의 R은 본 연구에서 사용한 블로바이 가스의 오일입자 분포이다[6]. 예로 입자크기가  $2.5\mu\text{m}$ 이면 R은 약 15%이다. 이는 블로바이 가스에서 지름  $2.5\mu\text{m}$  이상의 오일입자가 전체 오일입자 질량의 15%임을 의미한다. 지름  $2.5\mu\text{m}$  입자의 포집효율( $\eta_p$ )은 모델 A에서 5.2%였으며, 모델 B에서는 20.4%였다. 즉, 오일입자의 크기가  $2.5\mu\text{m}$ 일 경우 모델 B의 포집효율이 모델 A 대비 약 4배 정도 향상되었음을 의미한다.

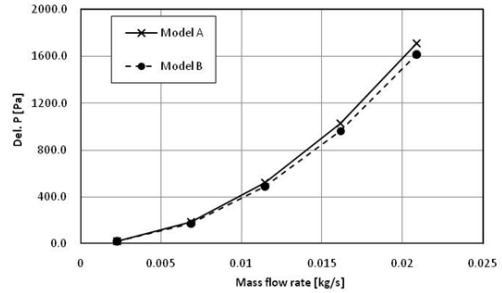
식 (6)을 사용하여 총 오일입자 포집효율을 계산하면, 모델 A의 평균 오일입자 포집 효율은 1.88%로 극미한 수준이나, 모델 B의 효율은 9.0%로서 약 5배의 포집효율 향상 효과가 있음을 알 수 있다.



[그림 4] 오일입자의 분포와 포집효율 해석 결과

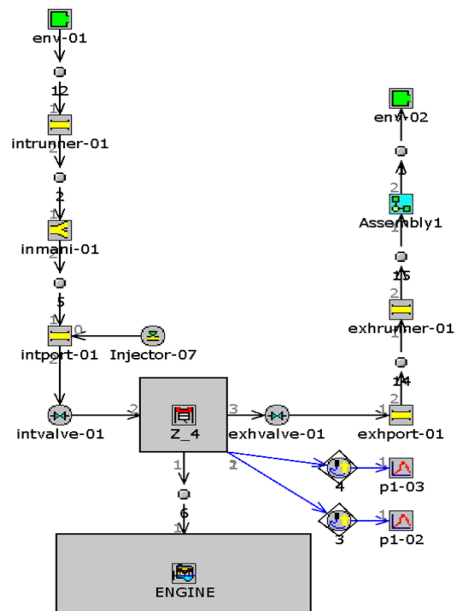
그림 5는 흡입되는 공기량에 따른 압력 강하량의 계산 결과를 도시화한 것이다. 모델 B가 모델 A대비 미소하나 마 압력 강하량이 개선되었음을 알 수 있다. 이는 그리드

의 유동저항이 삭제되었기 때문이다.



[그림 5] 유량에 따른 압력강하 해석 결과

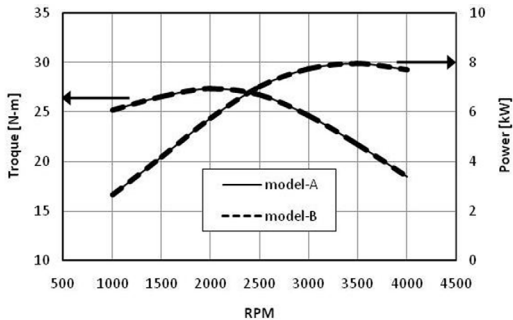
본 연구에서 개발한 흡기시스템을 장착하였을 때의 엔진성능을 예측하기 위하여 상용소프트웨어인 Gamma Technology 사의 GT-Power를 사용하여 엔진의 모델링과 해석을 수행하였다[7]. 그림 6은 성능해석을 위한 모델링을 도시화한 그림이다.



[그림 6] 엔진 성능해석을 위한 모델링

해석 결과는 일반적인 단기통 소형엔진의 특성을 잘 묘사하고 있으며, 그림 7은 엔진의 토크와 출력 결과를 보이고 있다. 엔진의 회전수 2000rpm 부근에서 최대 토크성능을 나타내며, 3500rpm 부근에서 최대 출력치를 나타내고 있다. 여기서 모델 B의 압력강하량 개선에 기인

한 토크와 출력의 상승 효과는 모델 A 대비, 미미한 수준이다.



[그림 7] 엔진 성능해석 결과

이상과 같은 해석결과를 바탕으로 그림 8에서 보이는 바와 같이 제작비와 성능면에서 가장 유리한 모델 B를 시제품으로 제작하였다.



케이스                  커버                  필터류

[그림 8] 제작된 시제품 (모델 B)

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 300cc급 소형엔진에 적용되는 흡기 시스템을 해석적으로 개발하였다. 기존의 흡기시스템 대비 오일입자 제거 성능이 획기적으로 향상되고, 원가 측면에서 우수한 흡기계 모델을 제시하고 시제품을 제작하였다.

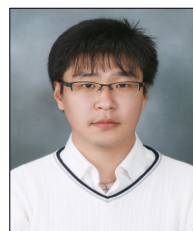
- 1) 기존 흡기모델의 오일입자 포집효율은 1.88%였으며, 개선된 신규 흡기모델의 오일 입자 포집효율은 9.0%로 효율이 약 5배 향상되었다.
- 2) 형상이 복잡한 그리드를 삭제하여 소형엔진 흡기시스템 제작 원가의 약 10%를 절감하였다.
- 3) 기존 흡기모델 대비 신규모델의 압력강하량은 미소하게 저감되었으나 엔진 토크 및 출력 성능은 동등하였다.

#### 참고문헌

- [1] 이완수, 김창수, 이상인, 염경민, 최두석, 박성영, "소형엔진 머플러의 내부 열 및 유동 특성 연구", 한국자동차공학회 대전총회지부 2007년도 추계학술대회 논문집 pp.42-48, 2007.
- [2] 김창수, 염경민, 박성영, "소형엔진 흡기시스템의 성능에 대한 연구", 한국산학기술학회 춘계학술대회 논문집 pp.143-146, 2009.
- [3] Mitsubishi Heavy Industries. Ltd., "Mitsubishi MEIKI Engine type GM Series Workshop Manual", 2002.
- [4] NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007.
- [5] 김규섭, "블로바이 가스에 포함된 윤활유 입자분리해석", 한국자동차공학회 2006년도 추계학술대회 논문집 pp.612-617, 2006.
- [6] Franz Koch, Frank G. Haubner, Kolja Orłowski, "Lubrication and Ventilation System of Modern Engines-Measurements, Calculations and Analysis", SAE Paper, 2002-01-1315, 2002.
- [7] Gamma Technology, "GT-Power User's Manual Version 6.2", 2006.

김 창 수(Chang-Su Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 졸업
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동, 기관 성능

**염 경 민**(Kyoung-Min Yeom)

[정회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 졸업
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동, 기관 성능

---

**박 성 영**(Sung-Young Park)

[정회원]



- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학 박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 조교수

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 기관 성능개발