

# 1.4 L 급 가솔린 엔진용 흡기매니폴드의 성능에 관한 연구

박윤서\*, 박성영\*\*

\*공주대학교 기계공학과

\*\*공주대학교 공과대학 생산기술연구소

e-mail:sungyoung@kongju.ac.kr

## Study on the Performance of 1.4 ℓ Gasoline Engine Intake-Manifold

Yun-Seo Park\* and Sung-Young Park\*\*

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

\*\*Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

### 요 약

엔진 흡기시스템 중 흡기매니폴드는 가솔린엔진의 성능을 결정하는 매우 중요한 성능 인자이다. 본 연구에서는 1400cc급 가솔린 엔진용 흡기 매니폴드에 대한 유동해석과 리그 실험을 수행하였다. 압력차에 따른 유동 및 유량계수의 해석을 통하여 유동특성을 분석하였으며 실험적 평가를 통하여 공기유량계수의 결과치를 검증하였다. 해석과 실험 결과를 비교 분석하여, 해석값과 실험값의 오차를 확인하였다.

### 1. 서론

최근 자동차의 경우 엔진의 효율을 높이기 위해 여러 가지 연구가 진행되고 있다. 레저용 소형엔진에서부터 선박용 대형엔진에 이르기까지 우리 생활의 많은 부분에 엔진이 사용되고 있다. 하지만 환경오염의 주 원인중 하나로 엔진의 배기가스가 문제가 되고 이에 따른 배기가스규제가 해마다 심화되고 있다. 따라서 배기가스를 저감시키고 엔진의 효율을 높이기 위해서 많은 연구가 진행되고 있으며, 그 중 흡기다기관, 포트내 유동특성 등 흡기시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Champ-man[1]과 Tosa[2]는 매니폴드내의 유동을 2차원 비정상 상태로 가정하여 수치해석을 수행하였고 A.Chata[3]와 Y.Ishida[4]는 4기통 엔진에서의 동적 효과를 고려한 체적효율에 관한 연구를 수행하였다.[5] 따라서 흡기시스템은 엔진의 개발 시에 매우 중요한 개발 요소가 되고 그중 흡기 매니폴드의 유동특성에 따라 흡입되는 공기의 양은 엔진의 연소에 영향을 주어 엔진의 성능·출력 및 연비에 있어서 주요 인자로 작용하게 된다. 본 연구에서는 1400cc급 가솔린 엔진용 흡기 매니폴드의 형상을 3차원, 정상상태의 유동 모델로 가정하여 유동특성을 분석하였으며 실험적 평가를 통하여 공기유량계수의 결과치를 검증한 후 해석과

실험 결과의 비교 분석을 통해 흡기 매니폴드의 성능을 위한 성능인자를 도출하였다. 흡기 매니폴드내의 유동특성을 파악하기 위해 3차원 수치해석을 수행함과 동시에 소형흡기유동 측정장치인 Flowbench를 이용한 실험을 통해서 해석값과 실험값의 오차에 대한 경계조건 인자의 영향력을 파악하여 흡기 매니폴드의 설계 기초자료를 제시하고자 한다.

### 2. 수치 해석

#### 2.1. 해석모델

전산해석을 위한 모델의 계산격자 생성절차는 다음과 같다. 자동차 생산 관련 업체에서 흔히 사용하는 3차원 CAD 프로그램인 CATIA를 이용하여 3차원 설계 데이터를 생성한 후 이 데이터를 STAR-CD의 격자생성 프로그램을 적용하여 해석용 격자를 생성하였다. 유동해석을 위해 상용 소프트웨어인 STAR-CD를 적용하였고 해석 모델의 계산 격자수는 약 32만개를 사용하였다. 그림 1은 흡기 매니폴드의 해석모델에서 생성된 해석격자 형태를 보여 주고 있다.



[그림 1] 3-D 해석 모델 및 해석 격자

### 2.3. 지배방정식 및 경계조건

매니폴드 내부의 유동은 정상 상태의 비압축성 3차원 Navier-Stokes 방정식을 적용하였으며, 유동장의 점성흐름을 지배하는 연속 방정식과 운동량 방정식은 다음과 같다. 또한 난류모델은 RNG  $k-\epsilon$  난류모델을 채택하였다.

- 연속 방정식

$$\frac{\partial U_i k}{\partial X_i} = 0$$

- 운동량 방정식

$$\frac{\partial (U_i U_j + \overline{U'_i U'_j})}{\partial X_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X_i} + \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial X_j \partial X_j}$$

- 난류 운동 에너지

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k - (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j}) = \\ \mu_t (P + P_B) - \rho \epsilon - \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \end{aligned}$$

- 난류 운동 에너지 소산율

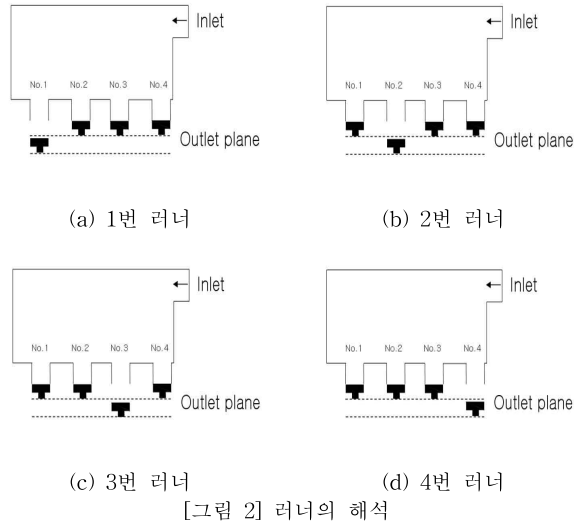
$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon - (\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) = \\ + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} [\mu_t P - \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}] + C_{\epsilon 3} \frac{\epsilon}{k} \mu_t P_B \\ - C_{\epsilon 3} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 4} \rho \epsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta \eta^3} \frac{\rho \epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

$$\text{where } \eta \equiv S \frac{k}{\epsilon}$$

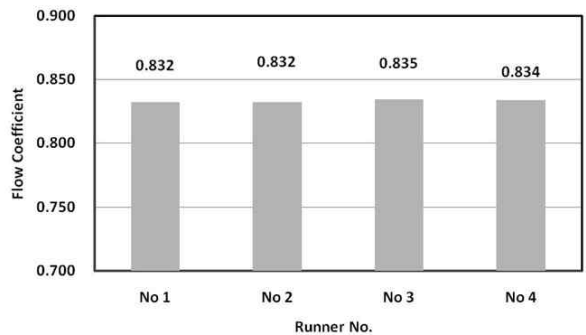
작동유체로는 상온의 공기를 적용하였으며, 수치해석을 위한 경계조건으로 입구부와 출구부의 압력차를 10 inH<sub>2</sub>O(2.5 kPa)로 입구 경계조건을 설정하였다.

### 3. 해석결과 분석 및 고찰

흡기 매니폴드의 각 러너별 공기유량을 파악하기 위하여, 그림 2와 같이 각각의 러너를 개별적으로 해석하였다.



흡기매니폴드의 러너 폭이 일정한 모델에서 3개의 러너에 격막을 장착하여 공기의 유동을 차단하고, 격막이 장착되지 않은 1개의 러너에서 유입되는 공기의 질량을 계산하였다. 그림 3에는 각 러너별 공기유량계수를 나타내었다. 3번 러너에서 가장 우수한 공기유량을 보이고 1번 러너에서 열세의 공기유량을 보이고 있으나, 그 차이가 미미하여 공기량의 편차는 매우 작은 것으로 판단된다.

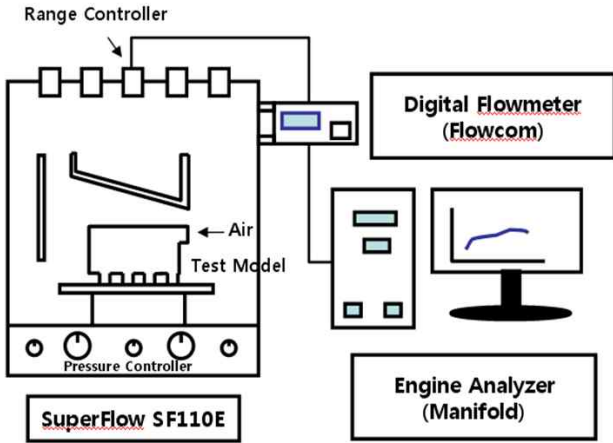


[그림 3] 러너별 해석 결과

### 4. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험장치는 소형흡기유동 측정장비인 Performance Trends, Inc의 SF-110E 모델이다. 이 측정장비를 이용, 흡기 매니폴드의 공기유량

계수를 구하여 흡기성능을 평가하였다. 그림4는 Flowbench의 개략도이며 Flowbench를 통해 수집된 데이터가 Digital Flowmeter를 통해 Engine Analyzer로 전송되어 데이터를 분석하는 절차를 거친다.[6]



[그림 4] SF-110E Flowbench 개략도

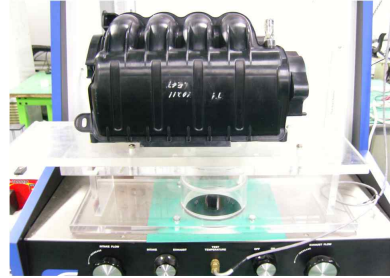
그림 5(a)는 흡기 매니폴드의 성능을 측정하기 위해 Flowbench에 장착한 모습이다. 매니폴드의 러너부분을 그림 5(b)와 같이 아크릴 보어위에 장착시키고 공기유량을 측정하게 된다. 매니폴드 장착 후 Flow Range Controller를 설정하고 그 변화에 따른 압력변화를 Analyzer를 통해 입구 경계조건인 10 inH<sub>2</sub>O의 압력을 동일하게 설정하였다. Range Controller의 조합을 통해 Range 1~9까지의 선택이 가능하다. 흡기 매니폴드의 유량측정을 위한 Flow Range 설정은 7번을 사용하였다. Range Setting의 기준은 표 1에 명시된 바와 같다. 이때 측정된 질량유량을 통해 유량계수(실제유량/이론유량)를 계산하였다[7]

[표 1] 흡기유량 설정 기준표

| Litter/sec       | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Intake Manifold  | 4.4 | 8.5 | 13.7 | 18.5 | 27.5 | 38.7 | 48.3 | 65.1 | 86.1 |
| Exhaust Manifold | 4.4 | 8.6 | 14.5 | 19.6 | 29.0 | 40.7 | 49.9 | 65.2 | 86.8 |



(a) 실험장치 (SF-110E Flowbench)

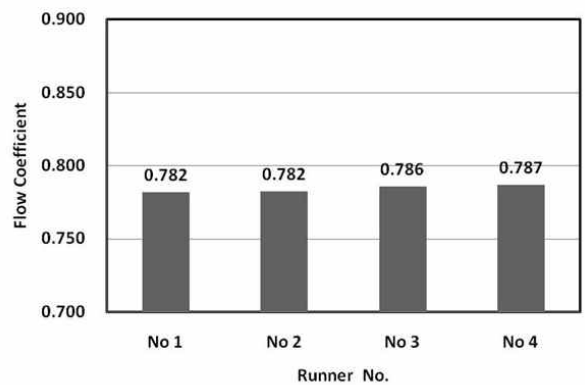


(b) 흡기 매니폴드 장착

[그림 5] 흡기 매니폴드의 유량계수 실험장치

### 5. 실험결과 및 고찰

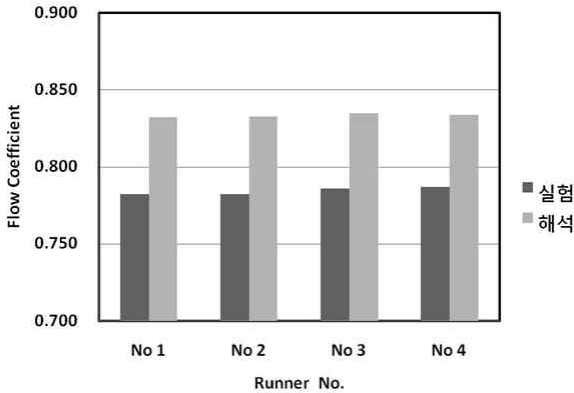
그림 6은 흡기 매니폴드의 러너별 공기유량계수를 도식한 것이다. 전체적으로 유동해석 결과보다 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 해석 모델과 실험 모델에서 오는 형상의 차이로 사료된다. 해석의 편의성을 위해 플레넘 챔버의 벽면에 장착된 강도 보강용 리플과 바닥면의 격자주름을 제거하고 해석을 진행하였기에 실험결과와 차이가 발생하는 것으로 판단된다.



[그림 6] 러너별 플로우벤치 실험 결과

그림 7은 해석결과와 실험결과를 비교한 것이다. 전체적으로 4개 러너의 흡기효율이 해석과 실험결과의 경향이 유사하였으며, 실험과 해석결과의 각 러너별 오차는 최소 5%에서 최대 6% 이내로 나타났다. 이는 해석의 편의를 위해 실모델의 형상을 일부 수

정하였기 때문에 사료된다.



[그림 7] 해석과 실험 결과 비교

### 6. 결론

본 연구에서는 흡기 매니폴드내의 각 러너별 공기 유량계수의 유동해석과 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 1400cc급에 적용되는 가솔린엔진의 흡기 매니폴드의 유동해석과 실험을 통하여 공기유량계수를 비교 분석하였으며, 공기유량계수의 절대적인 수치는 차이가 있지만 경향은 우수하게 예측되고 있는 것으로 판단된다.
- (2) 유동해석과 플로우벤치 실험을 통해 흡기 매니폴드의 공기유량계수를 획득한 결과, 실험 대비 유동해석이 5 ~ 6% 정도 초과 예측하는 결과를 얻었다.

이후 보다 정확한 성능 파악을 위해 실제와 가까운 해석모델의 도입과 난류모델의 변경을 통하여 해석과 실험결과의 오차폭을 줄일수 있는 방안을 확보할 예정이다.

### 참고문헌

[1] Champman, M., "Two-Dimensional Numerical Simulation of inlet Manifold Flow in a Four Cylinder Internal Combustion Engine," SAE paper No. 790244, 1979

[2] Tosa, Shimoda and Oikawa H., "Calculation of 2-Dimensional Unsteady Flows in Inlet Pip System," Flow in Internal Combustion Engine III Vol. 28, 1985.

[3] A. Chata and Y.Ishida, "Dynamic Inlet Prssure and Volumetric Efficiency of Four Cycle Four Cylinder Engine," SAE Paper No.920407, 1982.

[4] Performance Trends Inc., "Port Flow Analyzer V3.0/V3.5 for Windows", 2008.

[5] 정우인, "디젤엔진 흡기 매니폴드의 형상변경에 따른 유동특성과 엔진성능에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, 제7권, 제4호, pp. 85-96

[6] Performance Trends Inc., "Engine Analyzer for Windows", 2008.

[7] Performance Trends Inc., "SF-110/120FC Flow bench Operator's Manual", 2008.