

매니폴드 재질에 따른 열 해석

조재웅*, 한문식#

Thermal Analysis According to Material of Manifold

Jae-Ung Cho*, Moon-Sik Han#

(Received 2 June 2009; received in revised form 1 September 2009; accepted 1 September 2009)

ABSTRACT

Manifold could apply stainless steel with light weight and durability to improve fuel efficiency at automotive industry. This study is analyzed and compared by heat transfer and deformation according to the materials of cast iron and stainless steel. The heat transfer at manifold of cast iron at the distribution of heat temperature is more than that of stainless steel. But the value of maximum heat deformation in case of stainless steel is 1.5 times as great as that in case of cast iron. The value of maximum heat equivalent stress in case of stainless steel is 2.7 times as great as that in case of cast iron. This maximum stress at manifold is shown at the part assembled with engine body.

Key Words : Heat Transfer(열전달), Convection(대류), Steady-State Thermal Analysis(정상 상태의 열전달 해석), Temperature(열온도), Heat deformation(열변형), Heat Equivalent Stress(열 등가응력)

1. 서 론

고유가 시대 발맞추어 자동차 산업에서 부품을 경량화 시키면서 연비효율 향상을 시킬 수 있는 재질에 대한 연구와 개발이 진행되고 있다(1-2). 특히 자동차 엔진의 경우 알루미늄 합금, 스테인리스, 티타늄합금 등 다양한 재질을 연구하여 엔진의 경량화에 대한 개발이 가장 활발히 진행되고 있다. 그중 배기매니폴드는 기존의 주물로 가공하여 가공성이 어려우며 내구성이 좋지 않은 주철 재질에서 가공성이 뛰어나고, 내구성이 좋으며 배기효율을 향상시킬

수 있고 무엇보다 부품의 경량화를 위하여 스테인리스(Stainless Steel) 재질로 바뀌는 추세이다. 또한 경량화에 따른 열 해석으로는 재질에 따라서 비교연구를 한 경우는 드물다. 이 같은 취지에 맞추어 배기매니폴드의 재질에 따른 열전달 해석 및 열 변형 해석을 하고자 한다. 배기매니폴드의 내부면의 온도에 800℃로 설정하고 외부의 면의 온도는 자연대류 조건을 적용해서 열전달 해석을 하였으며, 또 배기매니폴드가 엔진과 결합되는 부분에 Fixed Support로 고정을 시키고 열 변형 해석을 해보았다. 본 연구에서의 배기매니폴드의 모델링은 CATIA V5 프로그램을 사용하여 모델링을 하였으며, ANSYS 11.0을 이용하여 주철(Cast Iron)과 스테인리스에 대하여 열전달 해석 및 열 변형 해석을 수행하였다(3-9).

* 공주대학교 기계자동차공학부

교신저자 : 계명대학교 기계자동차공학부

E-mail : sheffhan@kmu.ac.kr

2. 모델 및 해석

2.1 연구 모델

본 연구는 배기매니폴드의 열전달 해석 및 열 변형 해석을 위한 연구로 배기 매니폴드 단품으로 구성되어 있다. Fig. 1은 배기매니폴드의 모델링이며, 각부 모델의 치수는 Fig. 2와 같다. Fig. 3와 같이 유한요소로 해석하기 위하여 많은 절점과 요소로 분리하였다. 본 연구 모델의 요소의 수와 절점의 수는 각각 7,547개 및 15,001개씩으로 하였다.

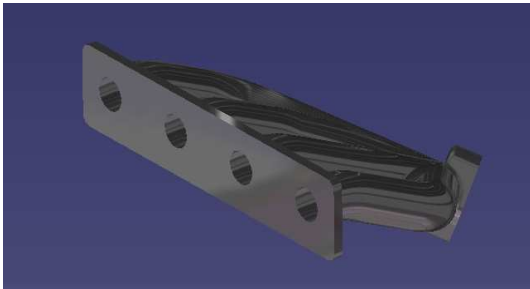


Fig. 1 Model of Manifold

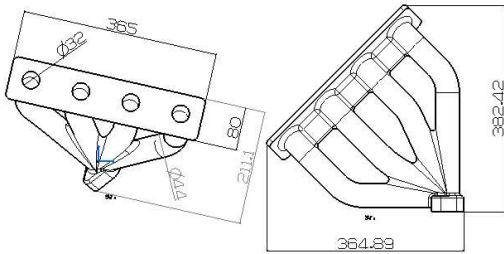


Fig. 2 Dimensions of Manifold(Unit:mm).

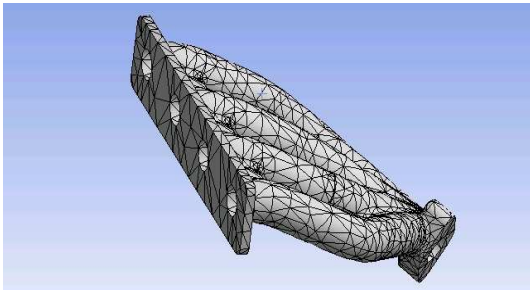


Fig. 3 Mesh of Manifold

Table 1. Material Property

| | Cast Iron | Stainless Steel |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Young's Modulus | 110000 MPa | 193000 MPa |
| Poisson's Ratio | 0.28 | 0.31 |
| Density | 0.0000072 Kg/mm ³ | 0.00000775 Kg/mm ³ |
| Thermal Expansion | 0.000011 1/°C | 0.000017 1/°C |
| Tensile Yield Strength | 0 MPa | 207 MPa |
| Compressive Yield Strength | 0 MPa | 207 MPa |
| Tensile Ultimate Strength | 240 MPa | 586 MPa |
| Compressive Ultimate Strength | 820 MPa | 0 MPa |
| Thermal Conductivity | 0.052 W/mm·°C | 0.0151 W/mm·°C |
| Specific Heat | 447 J/Kg·°C | 480 J/Kg·°C |

2.2 구속 조건

Table 1은 케이스의 주철과 스테인리스에 대한 재료 물성치이다^[7].

엔진의 배기가스온도는 300~800°C 정도이다. 본 연구는 배기가스가 800°C의 온도로 배출한다는 가정하의 Fig. 4와 같이 배기매니폴드 내부면 온도를 800°C로 설정하였으며, 배기매니폴드의 외부의 전체면의 온도는 자연대류 조건을 적용하여 외부 접촉온도로 22°C, 대류 열전달 계수로 $5 \times 10^{-6} w/mm^2°C$ 를 적용 하였다. Fig. 5는 열 변형에 해석대한 구속조건 으로서는 배기매니폴드와 엔진본체가 결합되는 매니폴드 윗부분에 Fixed Support로 고정시키고, Thermal Condition의 조건은 정상상태의 열전달해석(Steady-State Thermal Analysis)으로 설정하였다^[7].

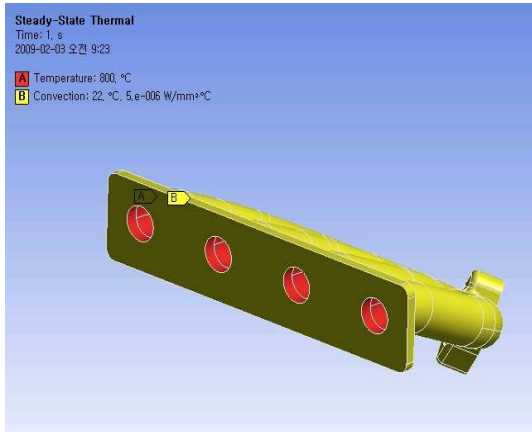


Fig. 4 Condition of Temperature & Convection

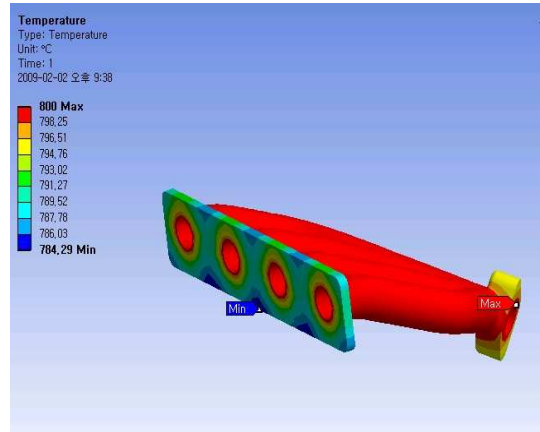


Fig. 6 Contour of Temperature at Cast Iron Manifold

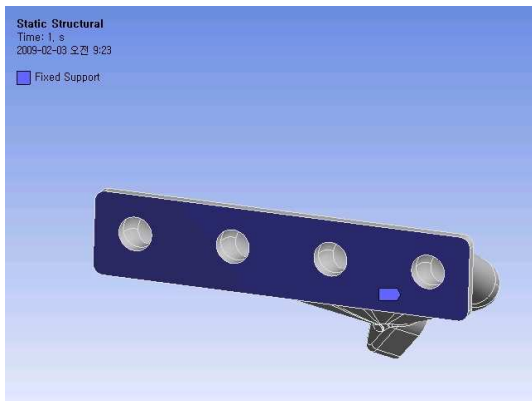


Fig. 5 Fixed Support & Thermal Condition

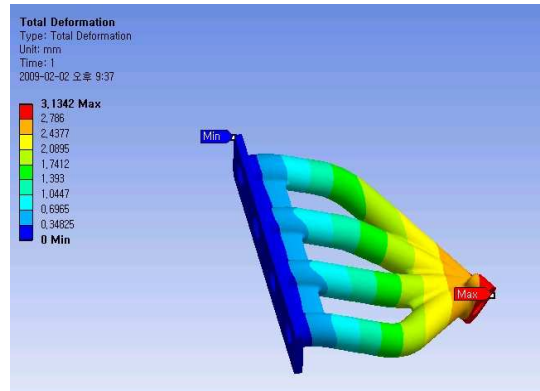


Fig. 7 Contour of Total Deformation at Cast Iron Manifold

2.3 해석 결과

Fig. 6부터 8까지는 주철로 된 배기매니폴드의 경우에 있어서의 열전달해석과 열변형 해석을 하였다. Fig. 6은 매니폴드의 온도분포에 대한 등고선 결과를 보인 것으로서 매니폴드의 온도분포가 784.29~800°C로 나타났다. Fig. 7은 최대 열변형량에 대한 등고선 결과로서 배기매니폴드의 아랫부분(촉매컨버터와 결합되는 부분)이 3.1342mm로 최대 변형량을 나타냈다. Fig. 8은 열응력에 대한 등고선 결과로서 최대응력이 엔진과 결합되는 부분에서 2266.4MPa로 최대응력이 나타났다.

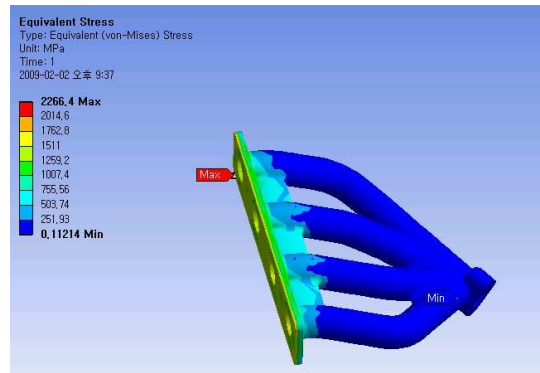


Fig. 8 Contour of Equivalent Stress at Cast Iron Manifold

Fig. 9부터 11까지는 스테인리스로 된 배기매니폴드의 경우에 있어서의 열전달해석과 열 변형 해석을 하였다. Fig. 9는 배기매니폴드의 온도분포를 나타내는 등고선 결과로서 온도분포는 747.88~800°C로 나타났다. 앞서 Fig. 6에서의 주철로 된 재질의 온도분포인 784.29~800°C를 비교하면 주철이 스테인리스보다 최저온도가 약 36.41°C 정도 높아서 열전달이 더 잘 됨을 알 수 있었다.

Fig. 10은 열변형량을 나타내는 등고선의 결과로서 배기매니폴드의 아랫부분(축매컨버터와 결합되는 부분)이 최대 변형량인 4.8491mm로 나타났으며, 이 결과는 Fig. 7에서의 주철의 최대 변형량인 3.1342mm보다 약 1.71mm정도의 큰 변형량을 나타내었다. 즉 스테인리스인 경우의 최대 변형량이 주철보다 약 58.5% 정도 더 변형하여 1.5배 정도가 되었다. Fig. 11은 열응력에 대한 등고선 결과로서 배기매니폴드가 엔진본체에 결합되는 부분에 최대응력이 6098.8MPa이 나타났으며, Fig. 8에서의 경우인 주철의 최대응력인 2266.4MPa보다 약 2.7배 정도의 응력이 더 나타났다. 열전달의 결과에서는 주철이 스테인리스보다 열전달이 더 잘되었음을 알 수 있으나 열변형량과 열응력의 결과에서는 내구성이 더 강한 스테인리스가 주철보다 변형량이 약 58.5%정도 더 변형되었으며, 열응력은 2.7배 더 받음을 알 수 있었다. 본 연구는 물성치 자체는 통계적인 자료를 기초로 하여 적용한 것으로 신뢰받을 수 있다. 따라서 이러한 물성치를 이용하여 열전달과 변형을 조건으로 해석한 결과는 실제 상황에 근접할 수 있다고 사료된다.

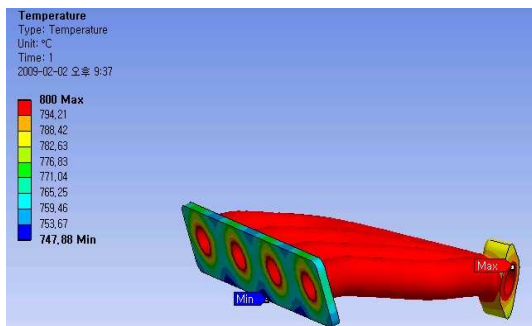


Fig. 9 Contour of Temperature at Stainless Steel Manifold

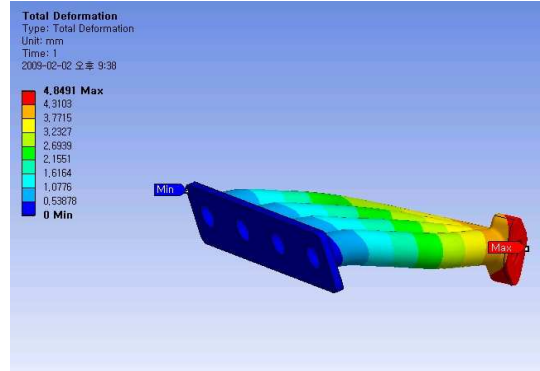


Fig. 10 Contour of Total Deformation at Stainless Steel Manifold

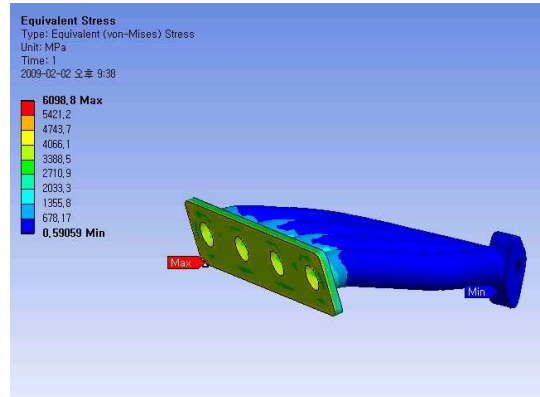


Fig. 11 Contour of Equivalent Stress at Stainless Steel Manifold

3. 결론

본 연구에서는 자동차 엔진의 배기매니폴드를 주철과 스테인리스 재질에 따른 열전달 및 변형 해석을 수행하여 다음과 같은 해석 결과를 보았다.

1. 주철이 스테인리스보다 열전달이 더 잘 됨을 알 수 있다.
2. 최대 열변형량을 비교해 보았을 때 스테인리스가 주철보다 약 58.5% 정도 더 변형하여 1.5배 정도가 되었다.

3. 최대 열응력을 비교해 보았을 때 스테인리스가 주철보다 2.7배의 열응력을 받고 있다.
4. 주철이 스테인리스보다 열전달이 더 잘되었으나, 내구성이 더 강한 스테인리스가 주철보다 변형량이나 열응력을 더 잘 받음을 알 수 있었다.
5. 6, No. 1, pp. 50-56, 2007.
9. Park, D. S., Kim C. S. and Jeong, D. C., "Heat-Structure Coupled Analysis of Exhaust Gas Receiver in Large Diesel Engine," Proceeding of the KOSME 2005 Second Conference, pp. 18-19, 2005.

참고문헌

1. Choi, B. L., "Leakage Analysis of the Exhaust Gas for the Engine Exhaust Manifold," Transactions of the KSAE, Vol. 15, No. 3, pp. 160-165, 2007.
2. Choi, B. L., "Thermal Fatigue Life Prediction of Engine Exhaust Manifold," Transactions of the KSAE, Vol. 15, No. 1, pp. 139-145, 2007.
3. Rhim, D. R., Lee, S. K., Kim, M. J., Lee, S. U., Kwak, S. S. and Seo, J. I., "Analyses of the Heat Transfer and Thermal Stress on a Diesel Engine Exhaust Manifold," 2007 Spring Conference Proceeding of KSAE, Vol I, pp. 174-179, 2007.
4. Choi, J. H. and Yoon, S. H., "Steady-State and Transient Thermal-Structural Analysis of Exhaust Manifold," 2004 Autumn Conference Proceeding of KSAE, Vol. II, pp. 734-739, 2004.
5. Kim, B. K., Lee, E. H. and Choi, B. L., "Thermal Deformation Analysis of Exhaust Manifold for Turbo Diesel Engine in Consideration of Flange Design," Trans. of the KSME(A), Vol. 31, No. 3, pp. 338-343, 2007.
6. Han, S. C., Lee, S. H. and Kim, Y. S., "A Study on the Flow Characteristics by Thermal and Flow Analysis of Exhaust Manifold in Diesel Engine," 2002 Symposium of KSAE, pp. 379-384, 2002.
7. Swanson, J., Ansys 11.0, Ansys. Inc., 2008.
8. Choi, B. L., "Theoretical Study of Design Parameters for the Thermal Stress in Engine Exhaust Manifold," Journal of the KSMPE, Vol.