

# 직렬형 하이브리드시스템을 적용한 바이모달트램의 엔진룸 열유동해석 Thermal Flow Analysis of Engine Bay in Bimodal Tram with Series Hybrid system

\*#이강원<sup>1</sup>, 배창한<sup>1</sup>, 장세기<sup>1</sup>, 배종민<sup>2</sup>, 강환국<sup>3</sup>

\*#K. W. Lee(wklee@krii.re.kr)<sup>1</sup>, C. H. Bae<sup>1</sup>, S. K. Jang<sup>1</sup>, J. M. Bae<sup>2</sup>, H. K. Kang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원, <sup>2</sup> 한국화이바, <sup>3</sup> 동은ATS

Key words : Series Hybrid System, Bimodal Tram, Thermal Flow Analysis

## 1. 서론

바이모달 차량용 엔진(CNG)이 정상 운전하는 상태에서 팬에 의하여 외기에서 흡입된 냉각공기의 흐름을 따라 라디에이터, 발전기 냉각장치, 중간냉각기 등, 차량 운전 중 발생한 열을 제거하는 냉각장치에서 가열된 공기가 엔진룸 내부로 공급됨에 따라 엔진룸 내부의 공기 유동 및 온도 분포를 파악함으로써 엔진룸 내부의 열적 안정성을 파악하고자 하였다. 일반적으로 엔진룸 내부에는 엔진의 적정온도 유지를 위한 냉각, 과급장치에서 공기의 냉각 등 각종 발열체의 냉각과정에서 가열된 열을 제거할 목적으로 방열기를 설치하고 팬에 의한 강제대류 방법에 의하여 열을 대기로 소산하게 되며 이 때 각종 방열기는 공기 흡입구측에 설치되기 때문에 방열기에서 소산된 열은 엔진룸 내부로 유입되게 된다. 이 공기는 엔진룸 내부의 각종 부속장치의 외부를 통과한 후 배기되며 본 연구의 대상인 바이모달 차량용 엔진룸의 경우에 냉각공기는 머플러 등을 통과한 후 외기로 방출되도록 설계되어 있으며 일부 공기는 엔진룸과 그 하부에 설치된 배터리 모듈 함 외부로 유동하도록 되어 있다. 그런데 유동 구조는 배출구의 배치 구조에 따라 공기의 흐름이 달라지기 때문에 엔진룸 내부의 온도분포에 영향을 미치며 또한 엔진과 머플러 등을 통과하며 가열된 공기는 차체의 열적 영향, 배터리 함에 설치된 배터리 셀의 열적 안정성 및 기타 전장품에 과열에 의한 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 먼저 팬에 의하여 흡입된 공기가 엔진룸을 통과한 후 배출되는 배출구 위치에 따른 공기의 엔진룸 내부의 유동 특성을 전산 수치해석법으로 파악하였다. 또한 개발중인 실제의 엔진룸 및 그 하부 배터리 모듈 함을 포함하는 구조와 이를 포함하는 차량 외장을 해석영역으로 파악하고 전산 유동 및 열적 해석을 수행하여 엔진룸 및 배터리 모듈을 포함하는 그 하부에서의 유동 특성 및 온도 분포를 파악함으로써 엔진룸 및 관련 구성 요소의 열적 안정성을 예측하고자 하였다.

## 2. 본론

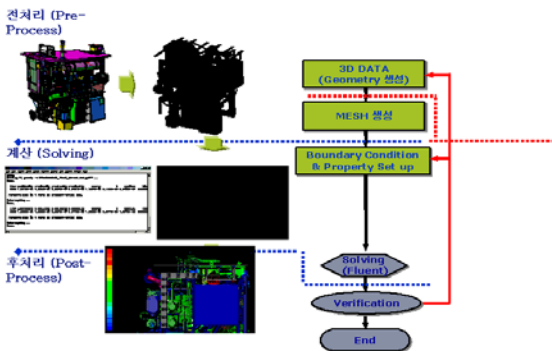


Fig. 1 FEM Analysis procedure

엔진룸과 그 하부 및 차량외장을 포함한 모든 구성 품을 그 해석대상으로 하고 그 내부의 유동 및 열적 특성을 수치해석적으로 연구하고자하였다. 이 과정에는 방열기 입구 및 두 가지 서로 다른 경우의 유출 구를 경계조건으로 한 후 해석이 포함되어 있다. 유입공기의 유량과 각 부의 열적 조건등 여러 경계조건은 엔진 냉각장치 설계 자료를 근거로 결정하였다. 그림 1은 해석을 위하여 수행된 모델링 과정을 보여준다.

Table 1. Boundary condition for Analysis of Engine Bay

| 요소                        | 조건           | 조건 값                                  | 경계조건               |
|---------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------------|
| 엔진 방열량 [kW]               | 1600 [RPM]   | 엔진냉각 : 70<br>발전기냉각 : 30<br>모터냉각 : 3.6 | 팬 출구 공기 일정 공기온도    |
| 공기 유량 [m <sup>3</sup> /s] | 입구           | 3.44 (6.7m/s)                         | 팬 출구에서 유량상당 균일유속조건 |
| 공기 [°C]                   | 출구           | 40                                    | 출구 공기온도 (엔진룸 입구온도) |
| 배관 [°C]                   | 엔진출구         | 90                                    | 일정 표면온도            |
|                           | 엔진입구         | 80                                    |                    |
| 엔진 표면 [°C]                |              | 90                                    | 일정 표면온도            |
| 배기 계통 [°C]                | 배기매니폴드-촉매 장치 | 600                                   | 일정 표면온도            |
|                           | 촉매장치-머플러     | 400                                   |                    |
|                           | 머플러 후단       | 200                                   |                    |
| 공기 입구 [°C]                | 외기           | 40                                    |                    |

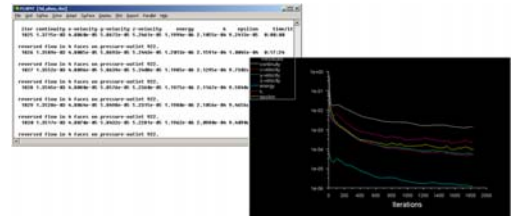


Fig. 2 Convergent process of numerical calculation

전처리 과정을 통하여 생성된 모델을 이용하여 수치 해석을 수행하였다. 수치해석에 사용된 tool은 열유체 범용 해석 프로그램인 Fluent 6.3이며 총 격자수는 8,671,082개(Tetra Mesh) 이었다.

표 1은 엔진룸 해석을 위한 유동 및 열적 경계조건을 보여준다. 풍량은 방열기 설계 자료를 근거로 3.44m<sup>3</sup>/s로 결정하였다. 따라서 엔진, 발전기, 중간냉각기 등의 방열기 압력강하 및 유동과정과 출구단의 압력강하에 따른 팬의 운전특성은 고려되어 있지 않다. 이러한 이유는 각 방열기의 유동 압력강하 특성자료와 팬의 운전 특성을 나타내는 특성곡선 등의 기초 자료가 제시되지 못했기 때문이다. 풍량을 연속방정식에 의하여 팬 단면 입구 속도로 환산하여 6.989 m/s로 팬 출구에서의 조건으로 결정하였다.

배터리가 엔진룸하단에 설치된 구조에서 외기로 유입된 공기가 여러 냉각장치를 거치며 가열된 공기가 엔진룸 내부를 유동하며 엔진룸 내부의 여러 발열체인 엔진과 배관 등에서 가열된 후 배출될 때 엔진룸 내부의 온도분포를 살펴보고자 하였다. 특히 엔진룸 및 배기매니폴드에서 가열된 공기에 의한 주변의 온도분포 및 배터리 함 주변의 온도분포에 대하여 중점적으로 해석을 실행하였다. 그림 3은 유동 및 온도 분포 파악과 고찰을 위하여 절단한 절단면의 위치를 보여준다. 그림 4는 앞의 그림 3에서 나타낸 단면에서의 온도 분포를 나타낸 그림이다.

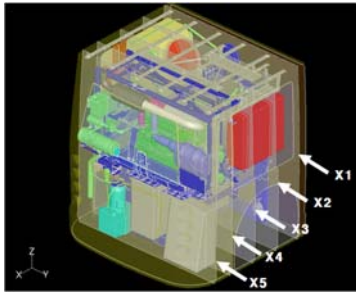


Fig. 3 Cutting faces for thermal flow analysis(X direction)

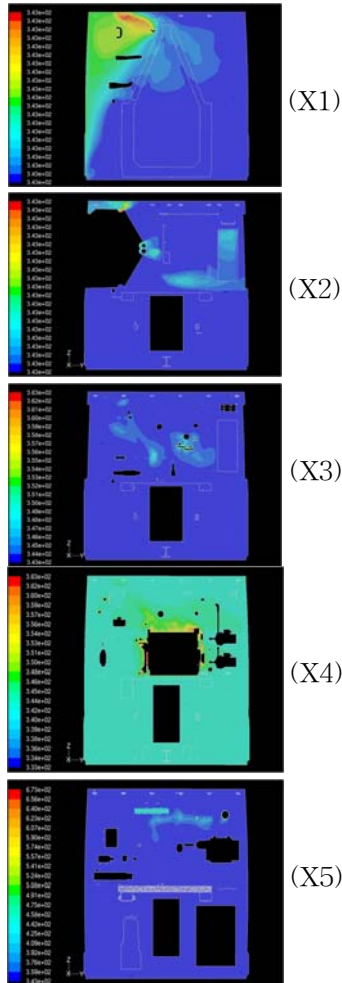


Fig. 4 Results of thermal flow analysis

머플러측 출구에서 바라볼 때 외함 벽면 사이의 단면과 팬 덕트를 절단하는 단면을 나타내는 X1, X2에서 공기 유동방향을 따라 팬 이후의 공간은 공기 유동공간으로써 별도의 발열체가 설치되어 있지 않음에 따라 온도는 70℃(343K)로 균일함을 알 수 있다. 이때의 엔진룸 공기온도는 40℃의 공기가 라디에이터, 발전기 냉각장치 등의 방열장치를 통과하며 앞절의 경계조건에서 파악한 것과 같이 엔진 운전 조건에서의 방열량과 공기 유동량에 의하여 결정된 값이다. 그림의 X1의 팬 후단 공간(그림의 좌측 상부)과 X2의 팬 상부 공간이 다소 온도가 높은 것으로 나타나 있으나 그 값은 유입공기에 비하여 1℃ 미만으로 상승한 온도로서 온도차는 매우 미소하며 앞절의 유동 형태에서 설명한 것과 같이 공간내부에서 순회 유동을 함에 따라 엔진 등에서 가열된 공기가 재순환 되어 팬 후단에서 유입되기 때문에 파악된다. 그러나 이 공기는 팬으로부터 유입되는 공기와 혼합되며 상대적으로 유량이 미소하기 때문에 유입 공기 온도에 미치는 영향은 매우 미소한 것으로 나타나고 있다. X3단면에서는 X3에서 나타내는 공간의 공기온도는 약 5℃ 상승한 결과를 보여주며 이 공간은 다음의 엔진에 의하여 가열

된 공기의 유동에 의한 것으로 판단된다. X4에서 엔진과 배관 등의 상대적으로 고온인 발열체로부터의 열전달에 의하여 주변, 특히 엔진 표면 근처는 약 엔진룸 표면온도인 90℃에 의하여 가열되어 표면 근처에서는 약 20℃, 그리고 그 상부 공간의 온도는 약 15℃ 상승한 결과를 보여주고 있으며 그 영역은 냉각펌프 상부 영역에 이르고 있다. X5의 머플러 주변공간의 경우에도 머플러 설정 온도인 200℃를 기준으로 주변의 온도가 상승되어 있음을 볼 수 있으나 그 영역은 넓지 않은 것을 확인할 수 있다. 한편 엔진룸 하부측, 배터리 함 공간은 모든 단면에서 유입공기 온도와 동일한 온도를 보임으로써 엔진룸과 기타 발열체 등 가열원으로부터 가열된 공기의 유입은 없을 것으로 예측하고 있으며 따라서 배터리 함 주변의 열적 조건은 유입 공기 온도로 파악하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 엔진룸 내부 유동공기의 유량은 엔진 냉각장치의 유량 설계조건을 적용하였으며 엔진, 배관 및 머플러 등의 열적 경계조건은 엔진이 정상운전하는 동안 엔진, 냉각수등 배관 머플러 등의 정상운전 조건에 의하여 예측되는 온도를 일정 표면 온도조건에 열전달로 가정하고 경계조건으로 설정하였다. 해석 결과 유입공기는 팬에서 약 7m/s 정도로 유입된 후 팬과 마주보는 전면부와 머플러가 설치된 측면 공간으로 배출됨에 따라 엔진룸 내부에는 순회유동이 발생한다. 일부 공기는 엔진룸과 외장 사이의 공간으로 유출하나 공기량은 미소하며 팬 전면 배출구의 유속은 상대적으로 머플러측 배출구에 비하여 크고 유속 분포도 불균일한 것으로 예측되며 머플러측 배출구는 약 2-3m/s 이내의 비교적 균일한 유속으로 배출될 것으로 파악된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 바이모달 차량용 엔진이 정상운전하는 상태에서 팬에 의하여 엔진룸 내부에 유입된 공기가 엔진룸 내부에서 엔진과 발전기 및 펌프 등 여러 관련 부품들을 통과한 후 배출되는 과정에서 엔진룸 내부의 공기 유동 및 온도 분포를 파악함으로써 엔진룸 내부의 열적 안정성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 엔진룸과 그 하부 배터리 함 공간 및 차량외장을 포함한 모든 구성품을 그 해석대상으로 하고 그 내부의 유동 및 열적 특성을 범용 전산해석용 프로그램을 이용하여 해석적으로 살펴보았다.

엔진룸 내부에는 엔진 등 구조물 주변에서의 비교적 복잡한 유동이 발생하며 그 주변에서는 유속이 감소하며 엔진룸 내부에서는 평균 1-2m/s 정도의 공기 유속이 발생할 것으로 파악된다. 엔진룸 하부 배터리 함 주변의 공기는 유입공기량이 상대적으로 적어 내부 공기유동은 1m/s 미만의 비교적 저속의 유동이 발생할 것으로 판단된다. 외기에서 유입된 공기가 라디에이터와 각종 발열장치에서 발생된 열을 냉각하며 가열된 열은 공기유동량을 고려할 때 외기에 비하여 약 30℃ 온도가 증가한 상태에서 엔진룸으로 유입되며 이 공기는 엔진과 머플러에서 가열된 후 배출구로 배기된다. 해석결과 엔진 등에서 공급된 열량은 미소함에 따라 엔진룸 내부의 발열체 근접부에서는 다소 온도가 상승하여 배기 매니폴드 근접부의 공기온도는 유입공기에 비하여 약 100℃ 정도 상승하여 최고 온도를 나타내나 그 공간은 비교적 좁을 것으로 판단된다. 배출구 온도는 유입공기에 비하여 대체적으로 2-3℃ 미만의 온도 상승을 나타낼 것으로 예측되며 머플러 후단에서는 비교적 좁은 영역이지만 약 30-40℃ 정도로 가열된 상태로 배출될 것으로 예측되었다. 그 외 대부분의 엔진룸 공간의 온도는 유입공기에 비하여 그 온도상승이 매우 미소하여 엔진룸 내부 발열체에 의한 온도 상승 및 이로 인한 부품에 미치는 영향은 미소할 것으로 판단된다. 엔진룸에서 그 하부 배터리 함 공간으로 유입된 공기에 의한 내부 공간으로의 열유입은 비교적 저속임을 고려하면 함 내부로의 유입열량은 적을 것으로 판단된다.

### 후기

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행하는 2009년도 교통체계효율화사업의 지원으로 이루어졌음에 감사드립니다.