

# 진공청소기 모터 하우징 내부 온도상승 개선을 위한 연구

김 주 신, 김 성 근\*, 이 응 호\*\*, 주 보 경\*\*\*

LG전자 디지털어플라이언스 사업본부 DAC 연구소

\*LG전자 디지털어플라이언스 사업본부 C&C 사업부, \*\*세스트 주식회사

## A Study for the Improvement of Temperature Distribution in the Motor Housing of Vacuum Cleaner

Joo-Shin Kim, Sung-Guen Kim\*, Eung-Ho Lee\*\*, Bo-Gyoung Chu\*\*\*

Research Laboratory C4 Group, LG Electronics, Changwon 641-711, Korea

\*Engineering Design Department C&C Division, LG Electronics, Changwon 641-711, Korea

\*\*Department of Consulting, SEST Co., Ltd., Seoul 153-786, Korea

(Received ; revision received )

**ABSTRACT:** The present study has been conducted to improve temperature distribution in the motor housing of vacuum cleaner and reduce the development period by CFD analysis. CFD analysis is performed to investigate the thermal flow pattern in the motor housing and validated by experiments. The validation of CFD analysis is conducted by comparing the temperature distribution on motor housing cover. Through the present study the CFD analysis procedure in the motor housing of vacuum cleaner is established and various experimental materials are obtained. These analysis results can be used effectively as design factors of vacuum cleaner.

**Key words:** motor housing(모터 하우징), vacuum cleaner(진공청소기), CFD(전산유체역학), thermal flow pattern(열유동 경향)

### 1. 서 론

진공청소기 운전 중 온도 상승에 따른 내구성 시험 시 모터에서 발생하는 열로 인한 모터 하우징 내부 부품의 열 변형 등의 문제는 제품 시험 및 개발 기간의 지연을 초래하게 된다.

이러한 개발 지연의 문제점을 해결하기 위해, 본 연구는 모터 하우징 내부 열유동 해석을 통해

그 특성을 이해하고 모터 하우징 내부 온도 상승 저감을 위한 개선안 마련을 목적으로 한다.

모터 하우징 내부 열유동의 거동 특성을 면밀히 분석하기 위해 최초 베이스(base) 모델에 대해 CFD 해석을 수행하였으며, 해석결과에 대한 검증을 위해 모터 하우징 커버(motor housing cover) 표면의 온도 분포에 대한 실험 결과를 CFD 해석 결과와 비교 분석하였다.

본 연구에서 수행된 CFD 해석은 모터 단품만을 대상으로 하여 해석을 수행한 경우와 모터를 포함한 모터 하우징부터 청소기 출구 단까지의 영역을 해석한 두 경우로 나누어진다.

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2026-0240; fax: +82-2-2026-0250

E-mail address: bgjoo@sest.co.kr

모터는 임펠러(impeller), 디퓨저(diffuser), 리턴 채널(return channel), 회전자 및 고정자 등에 의해 복잡한 내부 형상으로 구성되어 있고 임펠러 및 회전자는 40,000 rpm이 넘는 고속으로 회전하고 있으므로, 모터 단품에 대한 열유동 해석 결과를 임펠러 입구 영역의 진공도를 실험 결과와 비교하여 해석의 정확도를 확보한다. 모터 단품의 해석 정확도가 모터 하우징 온도 분포에 미치는 영향이 크므로 모터 단품의 CFD 해석 결과의 검증은 중요하다 할 수 있다.<sup>(1,2)</sup>

모터 단품 해석 모델링(modeling)의 타당성을 실험 결과와의 비교를 통해 확보한 후 모터 하우징 해석을 수행하였으며, 진공청소기 베이스 모델의 유동장의 특성을 분석하여 개선안 도출을 위한 자료로 활용한다.

해석 결과와 실험 결과와의 비교를 통해 각 해석의 타당성에 대한 검증을 실시하였으며, 이와 같은 과정을 통해 검증된 CFD 해석 기법은 개선 및 차기 모델 개발 시 해석 기간의 단축과 동시에 개발 비용의 절감 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

Fig. 1은 모터 하우징 해석 영역을 나타내고 있다.

## 2. 수치해석

본 연구의 CFD 격자 생성은 Hypermesh 및 T-Grid를 사용하고, CFD 해석은 FLUENT V6.3을 사용하여 수행하였다.

임펠러 및 회전자의 회전은 MRF(Multiple Rotating Frame) 해석기법<sup>(2,3)</sup>을 적용하고, HEPA 필터(HEPA filter) 및 스폰지(sponge)는 포러스 미디어(porous media) 해석 기법<sup>(3)</sup>을 적용하였다.

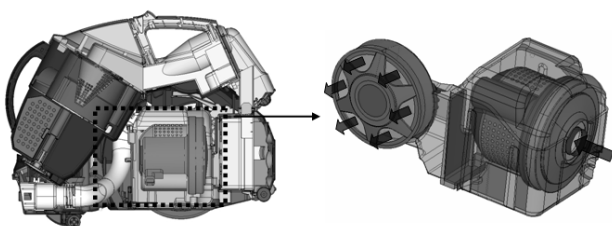


Fig. 1 Computational domain of motor housing CFD analysis

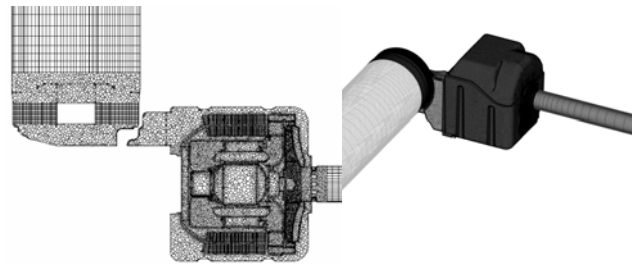


Fig. 2 Computational mesh of motor housing CFD analysis

해석은 정상상태 비압축성 이상기체라 가정하였으며, SIMPLE 알고리즘과  $k-\epsilon$  난류 모델을 적용하였다.

### 2.1 계산 격자

본 연구에서는 해의 수렴성을 고려하여 Fig. 2와 같이 정확도가 비교적 우수한 polyhedral mesh<sup>(4)</sup>를 사용하였으며, 격자생성은 T-Grid에서 생성된 Tetrahedral mesh 및 Prism mesh를 FLUENT V6.3에서 Polyhedral mesh로 변환하였다. 계산에 사용된 격자 개수는 약 4,200,000 개 정도이며, 공액열전달(conjugate heat transfer) 문제를 풀기 위해 유체 영역과 고체 영역을 동시에 모델링하였다.

### 2.2 경계 조건 및 계산

유동이 유입되는 임펠러 입구단은 입구 경계조건을, 출구단은 대기압으로 가정하여 압력 경계조건을 적용하였다. 임펠러 회전 속도는 42,400 RPM이며, 포러스 미디어로 모델링되는 스폰지와 필터의 풍량 대비 압력 손실 데이터<sup>(5)</sup>, 청소기 각 부품에 대한 재질 및 물성치와 각 경계 조건에 활용되는 입력 값들은 LG전자 C&C 사업부를 통해 구한 값들을 활용하였다.<sup>(6)</sup>

계산은 Xeon 2.33 GHz 4CPU LINUX Cluster machine을 활용하였으며, 계산 시간은 평균 10시간 정도 소요되었다.

## 2. 실험 장치 및 방법

본 연구에서 수행된 CFD 해석 결과를 검증하기 위해 모터 하우징 커버의 온도를 측정하여 비교하였다.

## 2.1 실험 장치

청소기로 유입되는 유입 온도 변화에 따른 영향을 최소화하기 위해 항온실에서 실험을 진행하였으며, 온도 측정 열전대는 k-type을 사용하였다. 열전대는 Fig. 3과 같이 모터 하우징 커버 측정 위치에 구멍을 뚫고 안쪽으로 삽입시킨 후 바깥 면을 테이핑하여 밀봉 및 고정하였다.

## 2.2 실험 방법

온도 측정은 실험장치 가동 후 30분 이상 연속적으로 온도 데이터를 기록하고, 온도 변화가 거의 없는 데이터들의 시간평균값을 채택하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 모터 단품 해석 결과 및 검증

모터 단품 실험은 Fig. 5와 같이 모터를 써지 탱크(surge tank)에 연결 후 오리피스(orifice)를 통해 유량을 조절하며 실험을 수행한다. 이와 같은 실험을 통해 모터 입구 단에서의 압력 값을 구해내고 열유동 해석 결과와의 비교를 통해 해석의 타당성을 검증하였다.

모터 입구단 압력의 해석 결과는  $-3,221\text{mmH}_2\text{O}$ 이며 이러한 결과를 실제 측정치와 비교해 볼 때 오차가 1% 미만으로 잘 일치함을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과를 통해 입구 유량과 임펠러 회전속도 조건 및 각 발열 부품들에 대한 온도 조건 적용 타당성을 확인하였다.

### 3.2 모터 하우징 해석 및 검증

모터 하우징 열유동 해석을 통하여 각 부품의 온도 값을 실험 측정치와 비교함으로써 해석 방법의 타당성을 검증하였다.



Fig. 3 Experimental rig and temperature measuring point

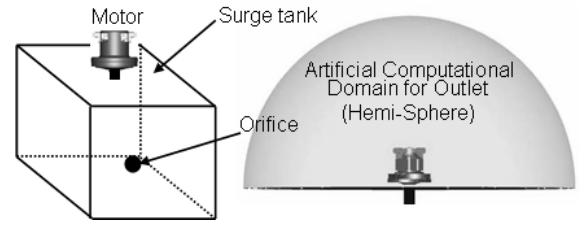


Fig. 4 Experimental test schematic drawing and computational domain of motor only CFD analysis

Fig. 6은 모터 하우징 커버에서의 온도 분포를 나타내는 그림이며, Fig. 7에서 보는 바와 같이 해석결과와 실험결과는 유사한 경향을 보임을 확인할 수 있다.

Fig. 8의 유선을 살펴보면, 모터 출구로부터 나온 고온의 공기는 모터 커버 어셈블리(motor cover assembly)의 스펀지 및 구멍들을 통과하여 47.1%가 배출되고 모터 커버 어셈블리의 상단과 모터 사이의 공간을 통해 52.9%가 배출되어, 출구부로 향하면서 모터 하우징 커버의 중앙부부터 출구부를 향하여 고온부를 형성하게 된다.

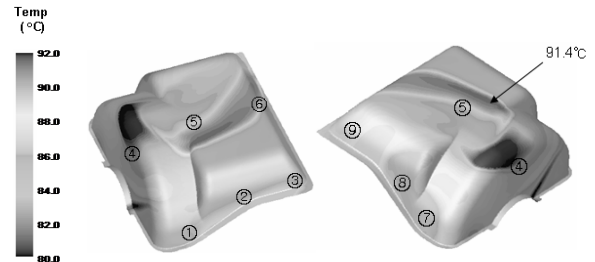


Fig. 6 Temperature distribution on motor housing cover

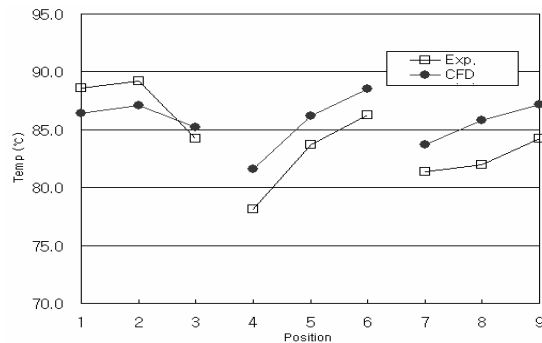


Fig. 7 Comparison of temperature on motor housing cover between experiments and CFD

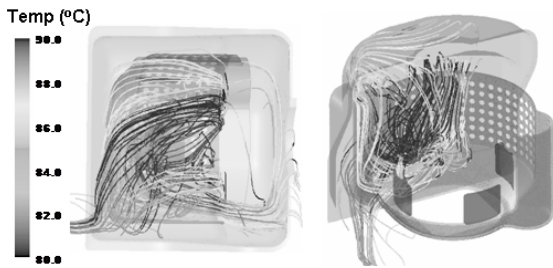


Fig. 8 Streamlines from an outlet of motor

Fig. 9는 청소기 중심 단면의 속도분포를 나타내는 그림으로써, 임펠러 하우징으로부터 나온 유동은 모터 커버 어셈블리 상부 공간과 스폰지로 둘러싸인 모터 커버 어셈블리의 구멍들을 통하여 빠져나가게 되며, 이 유동은 헤파 필터 전단의 좁은 목을 지나면서 가속되었다가 필터를 지나는 동안 균일한 분포를 보인다. 청소기 출구 필터 케이스의 공간을 통하면서 다시 가속되어 배출된다.

Fig. 10은 유체 영역과 고체영역의 청소기 중심 단면의 온도 분포를 나타내는 그림이다. 유체영역에서는 대류 열전달에 따라 공기 온도가 혼합되는 현상을 볼 수 있고, 고체 영역에서는 모터 축 중심의 열원으로부터의 전도에 의해 고체면이 가열되고, 모터 입구로부터 유입되는 저온의 공기에 의해 임펠러 디퓨저, 리터 채널 부가 냉각되어 지는 것을 볼 수 있다. 전체적인 온도 분포 및 냉각 정도는 모터 입구로부터 유입되는 공기의 온도와 유량에 지배적인 영향을 받게 된다.

Fig. 11은 각 부품별 온도분포를 나타내는 그림으로써, 임펠러 하단의 열원으로부터 모터 축을 통해 전도되는 열량이 모터 입구에서의 저온 공기의 유입으로 인해 임펠러가 냉각되어 지며, 임펠러 중심부는 열원으로부터의 열전도로 인해 임펠러 외곽보다 고온의 분포를 보인다. 디퓨저 상단 부위에는 저온의 공기 유입이 적어 중심부에서 온도가 상승함을 알 수 있고, 그 외에는 낮

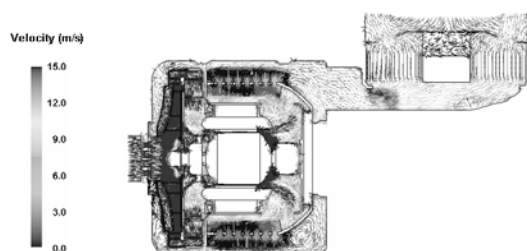


Fig. 9 Velocity vectors at a z-section

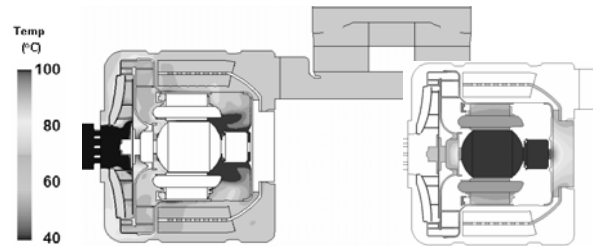


Fig. 10 Temperature contour of fluid and solid at a z-section

은 온도를 유지하며 이러한 저온부는 리턴 채널까지 유지됨을 알 수 있다. 이는 임펠러 하우징 커버의 온도가 상대적으로 낮은 요인이기도 하다.

스테이터(stator)의 코일(coil) 부분은 주요 열원 중 하나로써, 스테이터와 임펠러 하우징이 서로 맞닿는 부분이 존재하여 이 부분에서 온도가 상승하게 되며, 이는 모터 하우징 커버에 까지 영향을 미치게 된다. 또한 리턴 채널을 지난 공기의 온도가 상승하면서 임펠러 하우징 커버의 온도와 임펠러 하우징 간의 온도차를 크게 한다.

모터 커버 어셈블리의 표면온도는 거의 대칭적으로 나타나며, 모터와 하우징 하단을 연결하는 리버(rubber)와 접하는 사각 형상의 하면 부분에서 고온부가 형성됨을 알 수 있다.

Fig. 12는 모터 하우징 각 단면에서의 속도와 온도분포를 나타내는 그림으로써 “Section 1”의 경우, 유동의 재순환 영역에서 고온부가 형성됨을 확인할 수 있으며 재순환 영역을 해소할 수 있는 설계가 필요하다. “Section 2”의 경우, 속도가 비교적 낮은 영역에서 고온부가 형성되며 스테이터와 맞닿아 있는 임펠러 하우징 고온부의 온도가 모터 하우징 어셈블리의 벽면까지 열전달되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 영역에서

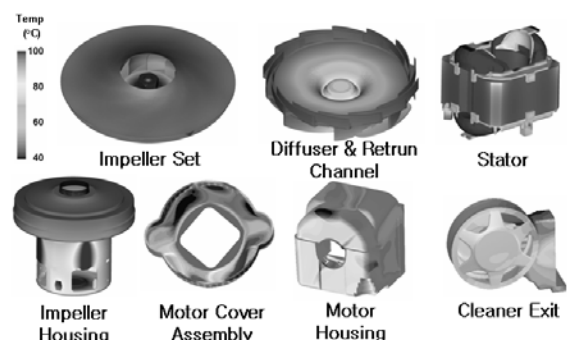


Fig. 11 Temperature contour of solid parts

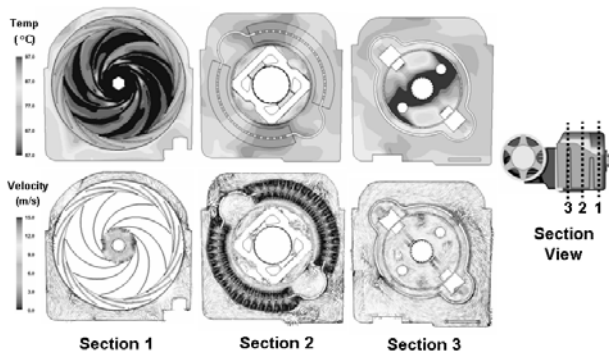


Fig. 12 Temperature and velocity contours at various x-sections of motor housing

는 고온의 공기와 저온의 공기가 혼합할 수 있는 공간을 확보할 수 있는 설계가 필요하다.

“Section 3”의 경우, 모터 커버 어셈블리 하단은 스폰지가 장착되어 있지 않은 구간으로 모터와 모터 커버 어셈블리 간의 간격이 커서 비교적 균일한 속도 및 온도분포를 보인다.

본 연구를 통하여 진공청소기 모터 하우징 내부 열유동의 거동 특성을 이해할 수 있었으며, 모터 하우징 내부 온도 상승 저감을 위한 개선안으로 활용될 수 있다.

#### 4. 결론

모터 하우징부 온도 상승 조기 해결을 위한 본 논문의 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 진공 청소기 모터 하우징 부 열유동 해석 기법을 확립하였다.

(2) 모터 단품 해석을 통하여 모터 입구단 압력 값을 시험 측정치와 비교함으로써 해석 기법의 타당성을 검증하였다.

(3) 모터 하우징부 열유동 해석을 통하여 각 부품의 온도 값을 시험치와 비교함으로써 해석 기법의 타당성을 검증하였다.

(4) 본 연구에서 확립된 해석 기법을 이용하여 모터 하우징 온도 분포의 정확한 예측을 위해서는 각 부품의 물성치 및 모터 내부 열원등의 온도 시험값 등의 제공이 중요하며 본 연구를 통해 확보된 물성치 및 온도 시험값은 향후 청소기 모터 하우징 열유동 해석에 유용한 자료로 사용될 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 (주)LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소의 연구비 지원 하에 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Hillewaert, K. Van den Braembussche, R.A.,1999, “Impeller-Volute Interaction in Centrifugal Compressor,” *Journal of Turbomachinery*, Vol. 121, pp. 603-608.
2. 허남건, 전완호, 이기춘, 김창준, 2003, “진공청소기용 저소음 터보팬 내부 유동 해석,” *유체기계저널*, 제6권, 제4호, pp. 14-20.
3. Fluent Manual.
4. Franklyn J. Kelecy, 2006, “Using Polyhedral Cells in Fluent 6.3,” *Fluent User Group Meeting*.
5. 한국바이린 (실험값), 2007.
6. LG 전자 C&C 사업부(실험값), 2007.