

CFD를 이용한 전동기 냉각성능 개선에 관한 연구

양판석[†]·이호준*·정원봉**

A Study on Improvement of Electric Motor Thermal Performance Using CFD

Panseok Yang, Hojun Lee and Wonbong Jung

Key Words: Cooling Performance(냉각 성능), Electric Motor(전동기), CFD(전산열유체), Thermal Design(냉각 설계)

Abstract

As motor performance enhancement by improving electric design has reached its limit and downsizing issue has risen, the importance of thermal design is increasing. In this study, the flow and temperature distribution were reviewed with the help of CFD analysis and this result was compared with the experimental results. Furthermore, parametric analysis with thermal design structure showed that axial duct width but fan capacity is a critical factor to lower the hot spot temperature in electric motor.

1. 서 론

현대 사회에 있어서 전동기는 가정의 에어컨 및 선풍기에서부터 제철소 압연공정의 MW급 전동기에 이르기까지 우리 생활 곳곳에서 다양한 용도로 사용되고 있으며, 한국전력 매전량의 약 50%이상을 차지하고 있다. 전동기는 회전력을 얻기 위하여 필히 자계와 전류가 공존해야 하며 강자성체로 구성된 철심을 자로로 하여 자계를 형성하고, 도체로 권선을 구성하여 전류를 형성한다. 이 과정에서 전동기에서는 손실이 발생하여 전동기의 내부 온도상승의 원인이 된다.

전동기 내부에서 발생한 열량은 열전달을 통하여 전동기 표면으로부터 방출되고 내부 발생열량과 표면의 방출열량이 서로 같을 때 기기의 온

도상승은 정지한다. 전동기 냉각에서 있어서 열전달 기구는 크게 전도 및 대류로 구분할 수 있으며, 복사는 무시할 만한 수준이다. 소형전동기에서는 손실 열량에 비하여 기기표면적이 넓어 자연냉각만으로도 해결이 되지만, 중대형 전동기에서는 강제 냉각장치를 갖고 있다. 더욱이 최근 시장 환경의 변화로 전동기의 제조원가 절감 요구가 커지고 있으며, 이에 중요한 이슈로 부각되고 있는 것이 전동기의 효과적인 냉각에 관한 것이다. 이를 위하여서는 1차적으로 전동기 주요부의 열해석이 우선되어야 한다.

전동기의 열전달은 전자장해석과 달리 기본적으로 3차원적 형태를 띄고 있다. 전통적으로 집중열량법을 이용한 열회로방법^{(1),(2)}이 많이 사용되었고, 최근 전산 열유체 해석방법⁽³⁾이 도입되고 있는 상황이다. 열회로방법은 전동기 열전달에 관한 DB가 구축되어있다면, 설계단계에서 쉽게 적용이 가능하며 설계수준에서 유용한 예측결과를 도출할 수 있으나, 신규 개발과정에서는 전산 열유체 해석방법이 더 설득력을 얻고 있다.

본 연구에서는 485kW 전동기를 3차원으로 모

† (주)효성 중공업연구소

E-mail : psyang@hyosung.com

TEL : (02)707-43634 FAX : (02)707-4399

* 상동

** (주)효성 기전PU

E-mail : lbong@hyosung.com

TEL : (055)268-9683 FAX : (055)268-9695

텔링하여 이를 상용코드 **Fluent**를 이용하여 해석하였고, 전동기를 제작 및 시험을 통해 수치 해석결과와 비교 검토하였다. 또한 냉각구조 변경 해석을 통해 냉각설계에서 변수가 되는 요소를 도출하였다.

제 2 장 전동기의 냉각 구조 및 모델링

연구 대상 전동기의 냉각구조는 Fig.1에 도시된 바와 같이 전동기 위에 열교환기가 설치되어있으며, 열교환기에서 외부 냉각공기와 내부 순환공기 간의 열교환이 발생한다. Fig.2와 Fig.3은 각각 회전자와 고정자의 3D 모델링 결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 소형전동기와 달리 코아 사이에 공기덕트가 있어서 코아의 냉각을 담당하고 있다.

제 3 장 전동기 온도 시험

3.1 시험장치의 구성

본 연구에서는 400F 485kW 6600V 60Hz 4P 전동기를 대상으로 하였다. Fig.4는 공랭식 전동기 주요부의 온도를 측정하기 위한 시험장치의 개략도이며, 전동기의 회전자, 고정자 주요부의 온도 및 유속을 측정하기 위해서 Fig.5에서 나타낸 바와 같이 권선온도용으로 3개의 RTD를 사용하였고, 나머지는 K-Type의 열전대를 사용하였다. Fig.5에서 원형은 권선 온도측정점, 삼각형은 코아 및 회전자 온도측정점, 화살표는 고정자 덕트 출구에서의 유속측정점을 표시한 것이다.

3.2 실험 방법

온도상승시험은 주위 온도 23.8℃에서 실부하를 사용하지 않고, 권선도법에 의한 온도시험을 실시하였다. 먼저, 고정자 덕트에서 유속을 측정하기 위해 열교환기를 제거한 후에 전원을 투입하여 유속을 측정하였고, 다시 열교환기를 조립하여 운전을 시작하여 권선 온도가 정상 상태에 이르기까지는 약 3시간 정도의 시간이 소요되었다. 측정 순서는 정상상태에 이른 고정자 코어, 권선, 프레임 표면, 반부하측 및 부하측 베어링 표면 온도를 측정하였으며, 운전을 정지시키고 회전자 코어 및 동바에 부착된 열전대를 레코더에 연결하여 온도를 측정하였다.

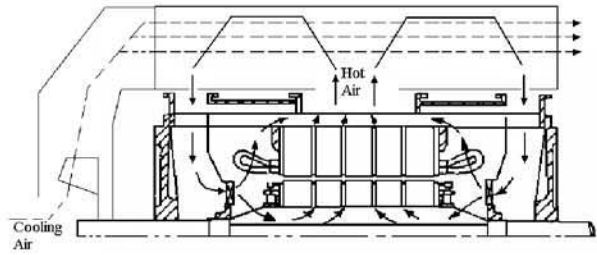


Fig.1 Cooling schematics of motor

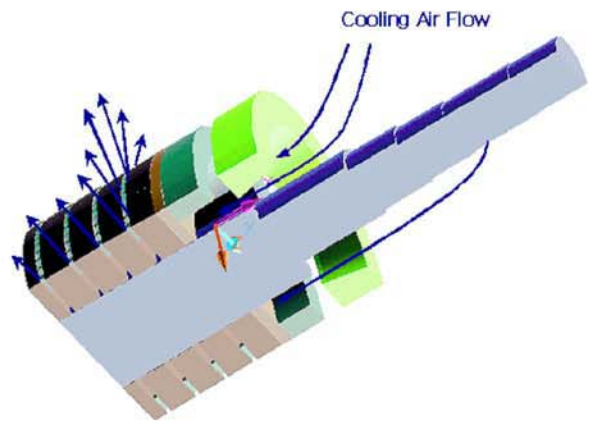


Fig.2 Configuration of Rotor

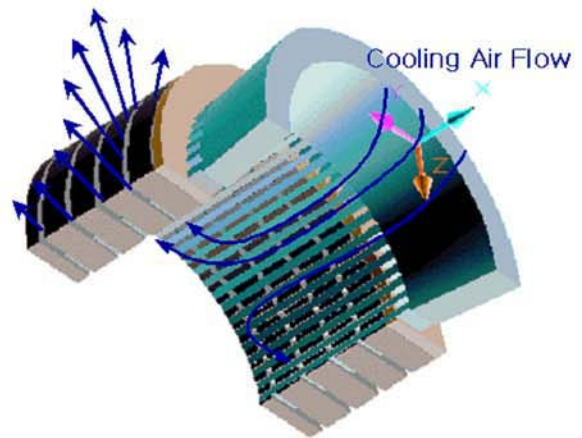


Fig.3 Configuration of Stator

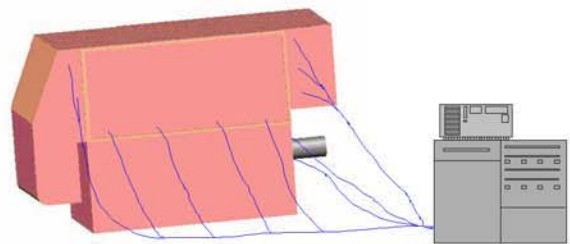


Fig.4 Configuration of Experiments

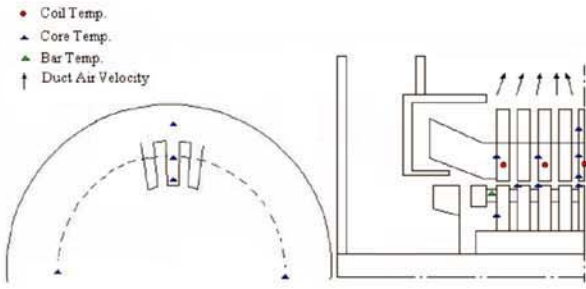


Fig.5 Measuring points of Experiments

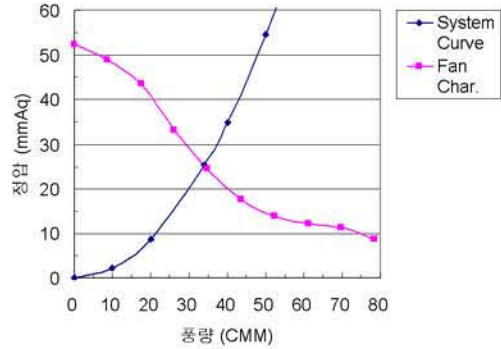


Fig.7 Operating point of internal fan

제 4 장 해석 결과 및 검증

4.1 해석 조건

해석을 수행함에 있어서 다음과 같은 가정을 하였다.

- ① 열교환기 내부의 압력강하는 전동기 내부 덕트에서의 압력강하에 비하여 무시할 만큼 작다.
- ② 재질 물성은 온도에 관계없이 일정하다.
- ③ 프레임 표면 열전달은 무시할 만큼 작다.
- ④ 기계적 손실을 포함한 전동기 손실의 100%는 열손실이다.
- ⑤ 회전자 덕트에 의한 유동은 내부팬에 의해 무시할 만큼 작다.
- ⑥ 전동기 내부 회전방향 온도 변화는 없다.
- ⑦ 전동기 부하측과 반부하측은 열적 대칭을 이룬다.

해석 대상 전동기 손실을 기계적 손실과 전기적 손실을 구분하면 각각 8000W, 15870W이다.

Fig.6은 해석 대상 전동기의 메쉬 결과를 나타내는 것으로 총 44만개의 격자가 사용되었다.

4.2 해석과 실험 결과의 비교 검토

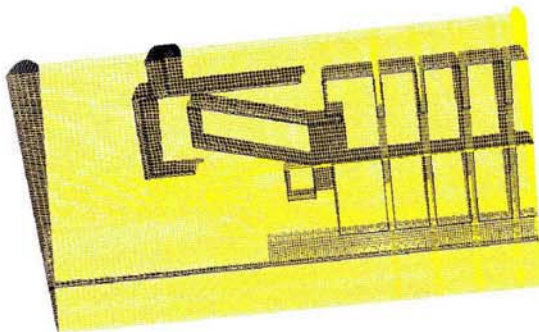


Fig.6 Gird Generation of domain

4.2.1 유량 분포

전동기 내부팬의 운전점을 결정하기 위하여 Fluent 팬 모델을 사용한 결과, 운전점 유량은 33cmm으로 계산되었으며, 이때 팬 정압은 25 mmAq이다. 팬에 의해 발생된 유동은 크게 에어 쉴드와 엔드 와인딩 사이로 흐르는 유동, 회전자 입구 덕트로 들어가는 유동, 그리고 에어 갭으로 유입되는 유동으로 나뉘어 질 수 있다. 에어 갭으로 흐르는 유량의 정량적인 값을 확인해 본 결과 회전자 입구 덕트로 들어가는 유량의 5%정도의 값을 나타내고, 실제 고속으로 회전시 에어 갭에서 발생하는 반경방향 속도에 의해 에어 갭으로 유입되는 유동은 무시할 하다고 판단되어, 이후 논의에서 에어 갭 회전축방향 유동은 무시하였다.

각 유동 경로로의 유량 분배는 냉각설계에 있어서 중요한 변수가 되므로, 그 정량적인 분포를 Fig. 8에 나타내었다. 해석이나 시험 모두 60%이상의 유량이 에어 쉴드로 흐르고 있음을 확인할 수 있다. 그리고, 고정자 덕트에서의 유량 분포는 거의 균일하다고 볼 수 있다. 참고로 대부분의 발열은 엔드와인딩보다 고정자 쪽에서 발생하므로 고정자로의 유량이 많이 흘러야한다.

Fig.5와 Fig.6와 같이 구성된 전동기 내부 냉각 구조에 있어서 Fig.8과 같은 결과를 기준으로 볼 때, 고정자 덕트 쪽으로 흐르는 유량을 증가시키려면 에어 쉴드의 단면적 등을 증가시킴으로써 고정자 쪽으로 유량을 늘려야 할 것이다. 그러나, 에어 쉴드 경로에서의 유동저항을 늘리면 방법으로 냉각구조를 변경하면서 해석해 본 결과 고정자 덕트로의 유량증가는 5%미만범위에서 증가함으로 확인하였다. 오히려, 전체적인 시스템 저항

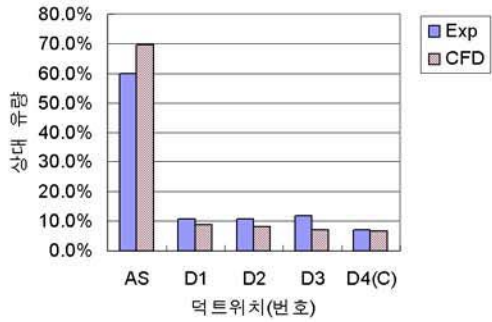


Fig.8 Flow distribution in duct outlet

의 증가로 운전 유량이 감소되어 고정자 코일의 온도가 증가됨을 확인하였다. 결국, 유로 덕트 형상에 있어서는 덕트 폭을 증가시키거나, 또는 팬의 성능 향상을 통하여서만 냉각성능 개선이 가능함을 확인할 수 있다. 이에 4.2.4절에서는 팬 풍량 증가에 따른 전동기 온도상승 변화를 검토하였다. 참고로, 덕트 폭 증가는 축 길이가 증가하므로 고려하지 않았다.

4.2.2 열원의 배치

유동 해석이 완료된 후 내부온도해석에 있어서 가장 큰 문제는 열원의 배치문제였다. 그 이유는 1차 동손과 기계손을 제외하고는 전기손실 계산 결과가 정확하지 않기 때문이다. 1·2차 동손, 철손, 표류손, 기계손의 배치를 온도해석결과를 기준으로 시행착오법을 통해 배분하였다.

4.2.3 고정자 부분 온도 분포

Fig.9는 고정자 코어온도 값을 나타낸 것으로서 SC1, SC2, SC3는 각각 고정자 중심에서 코어의 반경방향 온도를 비교한 것이고, SC4와 SC5는 축방향의 온도를 비교한 것이다. 전반적인 시험치와 해석치가 10%오차 내에서 일치하고 있다.

Fig.10에는 고정자 권선온도 값을 비교하였다. 코일의 온도는 축방향 분포를 비교한 것인데, 정량적인 면에서 잘 일치하고 있다.

4.2.4 회전자 부분 온도 분포

Fig.11에서 보듯이, 회전자의 코어온도의 경우 동바를 제외한 코어의 온도는 비교적 근소한 오차로 일치하고 있다.는 회전자 동바의 온도차가 발생하는 이유는 동바부근에서의 유동이 실제 보다 해석에 있어서 과도하게 추정되었기 때문이라

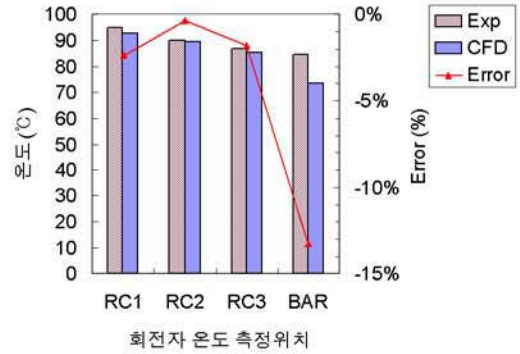


Fig.11 Temp. distribution in rotor

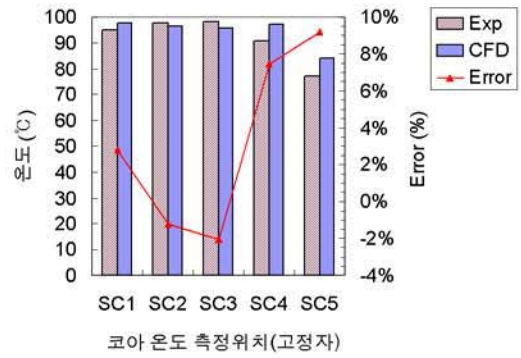


Fig.9 Temp. distribution in stator core

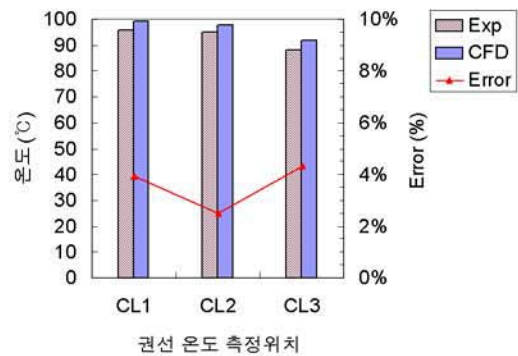


Fig.10 Temp. distribution in stator coil

고 판단된다.

4.2.4 팬 풍량 변화에 따른 온도변화

풍량에 따른 온도변화를 Fig.12에 도시하였다. 결과에 따르면, 풍량이 150%로 증가하면 온도 14℃ 감소하고, 200%로 증가하면 19℃감소함을 확인할 수 있었다. 고정자 코어의 중심점에서 최대 온도가 발생하였다.

Table 1 에는 동일한 외형으로 전기적인 사양만 변경할 경우, 팬 용량 증가로 냉각할 수 있는

최대 전동기 용량을 나타낸 것이다. 여기서, 전동

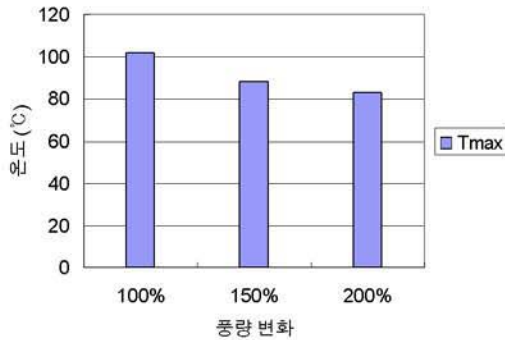


Fig.12 Max. Temp. variation by flow rate

기 효율은 95%이상, 내부 온도상승 17.7℃로 간주하였다. 표에 따르면, 풍량이 증가함에 따른 전

Table 1 Capacity increases by raising flow rate

용량 (kW)	풍량증가 (%)	손실 (kW)	최고온도 (°C)
485	100%	23.86	102
544	120%	28.62	102
680	150%	35.78	102
906	200%	47.70	102

동기 용량도 같이 비율로 증가하며, 전기 절연 및 자속밀도를 같이 고려하여 실제 설계에 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

제 5 장 결론

본 연구에서는 시험과 해석을 통해 냉각설계에 서 변수가 되는 요소를 발견하고자 하였다.

그 결과 온도상승을 예측할 수 있는 수치적 해석 절차를 수립하였으며, 냉각설계 파라미터에 있어서는 에어 쉘드의 형상 변경보다는 덕트 폭이나 팬의 변화가 더 지배적인 인자임을 발견할 수 있었다. 이상의 연구결과를 반영하여 설계를 한다면, 원가절감에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 2002~2005년도 산업자원부에서 지원하는 에너지자원 기술개발사업인 “1MW급 철강압연기용 고효율 유도전동기 개발” 사업의 일

환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 관계 제위께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이양수, 한송엽 “전동기의 열해석 기술”, 전기학회지, Vol. 48, No. 9, pp. 12-17, 1999
2. 장기찬, 방덕제, 강도현, “전동기 열해석 기술”, 전기학회지, Vol. 48, No. 9, pp. 25-31, 1999
3. 심대곤, 이정현, 조남효, “Calculation of Fluid Flow and Heat Transfer in an AC Traction Motor”, 대한기계학회 ‘98년도 유체공학부문 학술강연회 강연집, pp.145~157, 1998