

제조원가 절감을 위한 알루미늄 코일의 단상 AC 모터설계 및 성능평가

정대원, 김동환, 허봉현
호남대학교 전기공학과

AC Motor Design and Performance Evaluation of Aluminium Coils for Manufacturing Cost Reduction

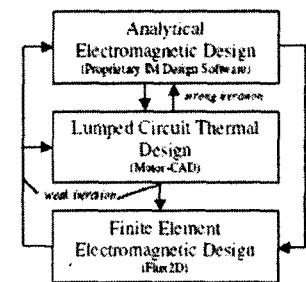
Chung Dae-Won, Kim Dong-Hwan, Hur Bong-Hyon
Honam University, Department of Electrical Engineering

Abstract - 최근에 모터제조 산업계에서는 국제시장에서 동 가격(Copper Cost)이 급격히 상승함에 따라 자연히 알루미늄 코일의 사용에 대하여 더 많은 관심을 갖게 하고 있다. 이는 알루미늄 도체 코일이 동선 코일에 비해 연성이 낮아 모테 권선작업 중에 자주 끊어져 제조상에 어려움은 있기는 하지만 모터 제조원가를 절감하려는 산업계의 피나는 노력에 비추어 볼 때 많은 관심을 불러일으키기기에 충분하다. 본 문장은 산학협력 프로그램의 일환으로 모터 설계 컴퓨터 도구를 이용하여 기존 동선 코일을 사용한 모터와 새로운 알루미늄 코일을 사용한 모터의 성능을 비교하여 교류 전동기에서 알루미늄 코일의 적용 가능성에 대하여 고찰한다.

1. 서 론

에어컨용 모터는 AC 모터, BLDC 모터 등 다양한 모터가 사용되고 있으나, 산업계에서 단상 AC 모터가 범용으로 사용되고 있어 본 연구에서 관심의 대상으로 한다. 그러므로 단상 AC 모터를 중심으로 기존 동선 코일을 대신하여 알루미늄 코일을 사용한 모터의 성능을 평가한다. 특히 에어컨은 사용목적상 하절기 전력부하의 피크 부하를 일으키는 중요한 관심 대상이 되는 부하이므로 무엇보다 효율과 역률이 저하되지 않도록 설계해야 한다. 또한, 부하토크의 저하로 인해 에어컨 실외기 팬의 구동의 실패 혹은 부하전류 증가를 가져오지 않도록 설계해야 함이 무엇보다 중요한 과제이다. 즉, 에어컨 모터의 선정에 있어 가장 중요한 요소는 효율, 역률, 토-크 특성 및 가격이라 할 수 있다. 여기서 요구되는 성능을 얻기 위해서는 AC 모터의 구동원리상 권선 코일의 자속특성 및 계자회로의 재질특성이 매우 중요하다. 일반적으로 알려진 바와 같이 알루미늄 코일은 동선 코일에 비해 도전율이 상대적으로 낮으며 연성이 낮아 제조를 위한 권선 작업이 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 가격이 동선에 비해 60~70% 선에서 구매가 가능하므로 제조단가를 낮추려는 제조업체의 피나는 노력에 대비해서 산업계에서는 많은 관심을 불러일으키기에 충분하다.

이러한 관점에서 출발하여 본 논문은 기존 구리 코일을 사용한 모터의 외형치수에서 알루미늄 코일을 사용할 경우 모터 성능을 우선 평가하고, 성능저하에 따른 문제점을 개선을 위해서 요구되는 설계요소를 재검토하는데 주안점을 둔다. 본 연구결과는 산업계의 많은 관심을 갖고 있는 점에 비추어 초기에 적용가능성을 타진하는데 매우 중요한 의미를 갖는다. 모터 설계 해석은 안소프트사의 RM-EXPERT 및 Maxwell 2D/3D의 CAD 툴을 사용하였으며, 설계에 필요한 자료는 기존 에어컨(세탁기용) 모터 설계 데이터를 활용하였다. 즉, 알루미늄 코일을 사용한 에어컨용 모터와 세탁기용 모터의 설계를 수행하고 그 성능 해석을 통하여 기존의 동선 코일 모터와 성능비교를 한다. 그림 1에서 CAD를 이용한 설계해석 수행 흐름도를 나타내고 있다. 설계해석과정은 우선 등가 회로법에 의한 RM_Expert 도구를 이용하여 정상상태 해석을 수행하고, 그 결과를 바탕으로 Maxwell 2D 도구를 이용하여 유한요소법(FEA)을 이용하여 전자기해석을 수행하였다.



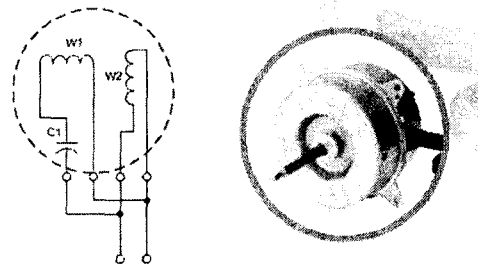
〈그림 1〉 모터 설계해석 흐름도

2. 단상 AC 모터 설계/해석

2.1 알루미늄 코일 AC 모터 기본설계

본 설계평가를 위한 알루미늄 코일 AC 전동기의 기본요건과 외형치수는 기존의 동선 코일 단상 교류모터를 활용한다. 즉, 이 모터는 단상모터로 콘

덴서 기동형 전동기로 주권선과 보조권선으로 구성되며, 주 권선은 모터의 회전력을 얻는 기능을 수행하며, 보조 권선은 단상 모터의 회전 방향과 연 속토크를 얻는 기능을 갖는다. 그림 2에서 단상 교류전동기의 모형과 고정자 권선을 나타내고 있으며, 표1에서는 기본 모터의 주요 설계 데이터를 나타낸다.



〈그림 2〉 콘덴서 기동형 단상유도 전동기 및 결선도

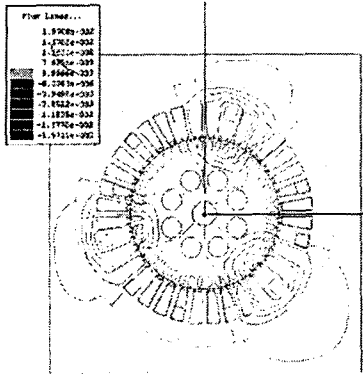
〈표 1〉 에어컨용 단상유도 전동기의 주요 설계 데이터

GENERAL DATA		MATERIAL DATA	
Rated Output Power (kW):	0.1571	Main Phase Resistance (ohm):	48.6599
Rated Voltage (V):	220	Aux. Phase Resistance (ohm):	42.791
Phase:	1	Main Leakage Reactance (ohm):	21.0404
Number of Poles:	6	Aux. Leakage Reactance (ohm):	18.0331
Frequency (Hz):	60	Rotor Resistance (ohm):	55.3132
Rated Speed (rpm):	882	Rotor Leakage Reactance (ohm):	41.974
Operating Temperature (C):	75	Magnetizing Reactance (ohm):	248.892
Operation mode: Capacitor-Run Mode			
STATOR DATA		OPERATION DATA	
Number of Stator Slots:	36	Efficiency (%):	71.786
Outer Diameter of Stator (mm):	140	Power Factor:	0.9915
Inner Diameter of Stator (mm):	80	Rated Slip:	0.1711
		Rated Shaft Speed (rpm):	994.68
ROTOR DATA			
Number of Rotor Slots:	48		
Air Gap (mm):	0.2		
Inner Diameter of Rotor (mm):	127		

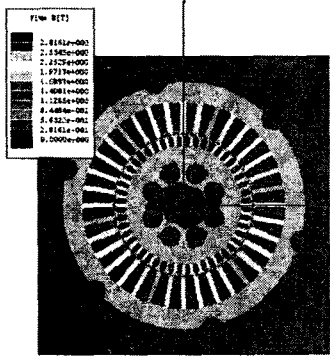
2.2 유한요소법(FEA) 해석

Maxwell 2D 소프트웨어는 모터 설계해석의 시뮬레이션을 위한 설계 도구로서 기본적으로 유한요소법을 이용하여 해석한다. 2D 설계해석을 위한 모터 외형 치수는 RM_Expert의 설계해석결과 얻어지는 모델을 주로 이용하며, 이 외형은 기존 동선 코일을 이용한 모터외형과 기본적으로 동일하다. 여기서 특별히 고려할 사항은 고정자 슬롯의 수와 회전자 슬롯의 수의 비가 반드시 분수가 되도록 선정해야 한다는 점이다. 그 이유는 이 두 개 슬롯은 회전자와 고정자 사이에서 상호 작용에 의해 일어나는 전자기 소음, 진동을 없애고 및 토크 맥류를 저감해야 하기 때문이다. 모터 권선에서 발생하는 열 분산 또한 중요한 관심사이다. 소음과 진동을 극소화하기 위하여 맥동 토크의 불균형성을 최소화해야 하고 공극에서의 자속분포가 정현파에 가깝도록 유지하기 위해 회전자 슬롯의 수는 자기장에서 되는 합과 조화를 위해서 고정자 슬롯의 수(N1)와 회전자 슬롯의 수(N2)의 비는 정수가 아닌 분수가 되도록 해야 한다. 또 하나는 유한요소법 해석을 위한 메쉬(Mesh)선정은 최적해를 구하는 중요한 요건이 되므로 합리적인 선에서 선정되도록 한다. 이밖에 주권선과 보조권선의 배치와 권선 수는 RM_Expert로 구한 결과치를 이용하여 원하는 토크를 얻을 수 있는 선에서 적절히 선택하여야 한다. 또한, 이 모터는 원동형 모터로써 입체적으로 원주와 z축에 대하여 완전한 대칭형이므로 3D설계 및 해석은 불필요하였다. 부하운전에서 일속도도 운전을 가정하였다. 그림 3과 4에서 유한요소법으로 구한 자속밀도와 자속분포도를 각각 나타낸다. 자속(Flux) 분포도는 고정자(Stator) 요크에서 출발하여 회전자(Rotor) 요크를 거쳐 6개 자극을 형성하고 있다. 또한, 유한요소법으로 구한 설계 데이터의 결과치를 표 2와 3에서 각각 나타낸다. Maxwell 2D/3D를 이용한 모터 설계해석의 중요한 특징 중에 하나가 유한요소법(FEA)에 의

해 전자장계를 해석한다는 점이다. 이 유한요소법은 기존의 등가회로법에 의한 모터 설계해석에 비해 정밀한 해석이 가능하여 설계의 정확성을 높이고 최적의 해를 찾을 수 있다는 점에서 대부분의 CAD 툴에서 채택되어 널리 활용되고 있다. 표 2, 3은 알루미늄 코일을 사용한 에어콘 단상 AC 모터의 전자계의 과도상태 해석을 통하여 얻어진 결과를 요약하여 나타내고 있다.



〈그림 3〉 6극 모터의 자속분포도



〈그림 4〉 자속밀도 분포

〈표 2〉 FEA 해석결과 설계 파라미터 값(I)

Speed [rpm]	Btooth [T]	Byoke [T]	Brotor [T]
790.86	1.88	1.55	1.82
790	1.89	1.55	1.82
789	1.90	1.55	1.82
788	1.90	1.55	1.82

〈표 3〉 FEA 해석결과 설계 파라미터 값(II)

Speed [rpm]	Slip	T [Nm]	I _{ms} [A]	P _i	P _{eff} [kW]
790.86	0.01143	8996	919	0.837	74.5
790	0.0125	9753	988	0.846	807
789	0.01375	10615	1069	0.852	877
788	0.015	11452	1150	0.857	945

2.3 성능해석 결과

아래 그림 5와 6에서 알루미늄 코일과 기존 구리 코일을 사용한 모터의 토크 특성을 비교하여 나타내고 있다. 예상한 바와 같이 알루미늄 코일을 사용한 모터의 토크 특성이 다소 떨어지는 점을 발견할 수 있다. 또한 그림 7에서 알루미늄 코일을 사용한 모터의 효율특성을 나타내고 있다. 효율은 전반적으로 큰 차이가 없으며, 문제는 토크 특성이 에어콘(혹은 세탁기)의 요구되는 부하특성에 적합하게 동작할 수 있는나에 관심이 있다. 에어콘(세탁기) 부하는 정속도 정부하 운전이 요구되는 부하로써 알루미늄 코일 모터의 특성이 다소 나쁘게 나타나고 있으나, 사용이 불가능한 성능이 결과는 아니다 것으로 분석되고 있다.

2.4 설계 결과 및 분석

설계해석 결과를 기초로 하여 기존의 동선 코일을 알루미늄 코일로 교체시 기존의 모터와 동일한 성능을 얻기 위해서 요구되는 특별히 고려해야 할 설계요소는 다음과 같다.

- (1) 알루미늄 코일의 권선수를 10%이상 높인다.
- (2) 알루미늄 코일의 도체 굵기가 구리에 비해 다소 크므로 고정자 슬롯의 사이즈를 적절히 조정해야 한다.

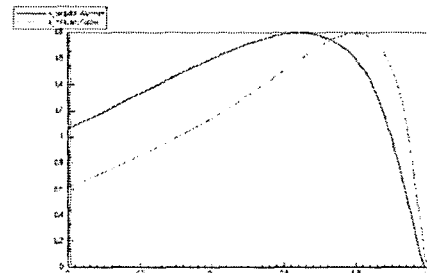
- (3) 고정자 철심의 폭은 5%이상 높인다.
그 외의 다른 요소는 특별히 고려할 사항으로 검토되지 않았다.

3. 결 론

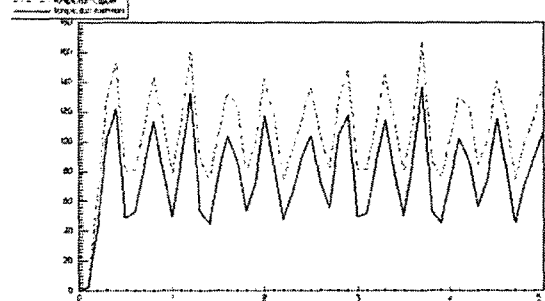
이상과 같이 알루미늄 코일을 기존 AC 전동기에 도입할 수 있을 가능성을 검토하기 위해 설계해석을 수행하였다. 그 결과에서 성능상에서 아주 치명적인 차이가 발생하지 않음을 확인하였으며 단지 코일의 권선수와 고정자 슬롯의 사이즈 및 고정자 요크의 사이즈 등이 기존에 비해 다소 크지는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 모터 제작을 위한 코일의 권선작업에서 발생하는 문제점은 여전히 상존하고 있다고 할 수 있다. 그러나 제조원가를 절감하라는 차원에서 관련 산업계에서는 많은 관심을 가질 것으로 기대한다.

〔참 고 문 헌〕

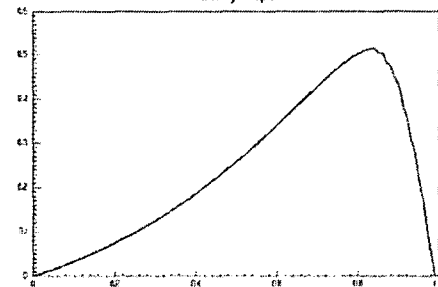
- [1] "Maxwell 2D/3D 및 RM-Expert 사용자 매뉴얼", Ansoft 사
- [2] 원종수 역, "전기설계학", 동일출판사, 1994
- [3] "에어콘(세탁기) AC 모터 설계자료" 출처미상



〈그림 5〉 토크-속도 특성 비교



〈그림 6〉 과도상태에서의 토크 응답특성비교



〈그림 7〉 모터 효율-속도 특성

〈표 4〉 알루미늄 코일 모터 설계 주요 데이터

STATOR DATA	
For Main Winding:	Number of Stator Slots: 36
Number of Turns: 1332	Outer Diameter of Stator (mm): 140
Parallel Branches: 1	Inner Diameter of Stator (mm): 80
Terminal Resistance (ohm): 48.6599	Type of Stator Slot: 3
End Leakage Inductance (H) 0.011904	Top Tooth Width (mm): 3.19412
	Bottom Tooth Width (mm): 3.18664
For Aux. Winding:	Type of Coils: 31(Main) 31(Aux)
Number of Turns: 1170	Coil Position: Top(Main) Bottom(Aux)
Parallel Branches: 1	Conductor Length Adjustment (mm): 100
Terminal Resistance (ohm): 42.791	Number of Parallel Branches: 11
End Leakage Inductance (H) 0.01092	Number of Wires per Conductor: 11
Capacitance (uF): 9.74318	Number of Conductors per Slot:
	slot # 1: 1480
	slot # 2: 74
	slot # 3: 0
	130
	Main-Phase Wire Diameter (mm): 0.35
	Aux.-Phase Wire Diameter (mm): 0.37
	Main-Phase Wire Wrap (mm): 0.026
	Aux. Phase Wire Wrap (mm): 0.027
	Slot Insulation Thickness (mm): 0.25
ROTOR DATA	
Number of Rotor Slots: 48	
Air Gap (mm): 0.2	
Inner Diameter of Rotor (mm): 12.7	
Type of Rotor Slot: 2	