

## 단상유도전동기의 특성해석 및 효율향상 설계

류호길, 남 혁, 정승규, 홍정표  
 창원대학교 전기공학과

### Analysis of the Characteristics of Single-Phase Induction motors and Improved Efficiency Design.

Ho-Gil Ryu, Hyuk Nam, Seung-Kyu Jeong, Jung-Pyo Hong  
 Chang-Won National Univ.

**Abstract** - This paper deals with the characteristic analysis of capacitor-run single phase induction motor by equivalent circuit. The unbalanced elliptic rotating magnetic field of the motor was analysed by the symmetrical coordinate method. And this paper check the reliability of characteristic analysis by equivalent circuit in comparison with experimental results and analyse the characteristics of single phase induction motors by changing circuit parameters. Finally, this paper shows the improved efficiency design motor by using that result.

#### 1. 서 론

단상유도전동기는 일반 가정의 상용화된 전원을 변환 장치 없이 직접 사용할 수 있다는 장점으로 인해 가전(家電)의 전 분야에 걸쳐 동력원으로 적용되고 있다.

특히, 콘덴서 구동형 단상유도전동기는 다른 단상유도전동기에 비해 효율이 높고 기동 특성이 우수하다는 장점으로 인해 많이 활용되고 있다. 그러나 현재 세계적인 추세가 에너지 절약 및 효율적인 측면을 강조하며 그에 따른 국제규제 또한 강화됨에 따라 가전기의 구동원인 전동기의 효율향상은 필수적이게 되었다. 일반적으로 전동기의 효율향상은 회로정수의 산정과 특성 해석, 그리고 기계적 치수 및 구조적 형상뿐만 아니라 재질에 의해서도 특성이 민감하게 변화한다. 따라서, 본 논문에서는 특성해석을 위해 회로정수를 집중정수로 고려하여 산정하고 등가회로법을 이용하여 특성해석을 수행하였다 [1],[2]. 단상유도 전동기에서 나타나는 불평형 자계는 회전자계설의 이론을 바탕으로 불평형 상태를 대칭 성분으로 분해하여 해석하는 대칭좌표계법(symmetrical coordinate method)을 이용하였다.[1] 또한 특성해석에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 실제 제작된 전동기의 실험결과와 특성해석결과를 비교, 분석하였다. 이상과 같은 방식으로 검증된 해석 기법을 토대로 효율향상을 위하여 전동기 재질 및 회전자 형상, 고정자형상, 권선수변화 등의 설계변수를 다양하게 변화시켜가며 특성해석을 하였고 이에 따른 특성분석을 통하여 단상유도전동기의 효율개선을 위한 설계를 수행하였다. 설계변수결정의 기준은 기존모델의 최대토크와 기동토크는 만족하면서 효율을 상승시키는 것에 기준을 두고 설계변수를 결정하였으며 그 결과에 따라 효율개선을 위한 설계를 수행하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 해석 이론

본 논문에서 제시하고 있는 단상유도 전동기는 콘덴서

구동형 단상유도전동기로서 고정자 및 회전자의 슬롯이 각각 24,34개이고 회전자는 농형으로써 브리지의 폭이 0.25(mm)인 폐슬롯을 가진다. 고정자에는 동심원으로 권선이 시행되어 있다. 콘덴서 구동형 단상유도 전동기의 등가회로는 기본적으로 집중정수로 고려한 회로정수를 이용하여 등가회로를 구성하였으며, 주권선과 보조권선의 기차력 차에 의한 자기적인 불평형 상태를 해석하기 위해 회전자계설을 바탕으로 하여 불평형 자계를 대칭 성분으로 분해해서 해석하는 대칭좌표계법을 이용하였다. 그림 1은 대칭좌표계법에 의한 주권선과 보조권선 전압을 나타낸 것이며 식 (1),(2)는 그림 1로부터 주권선과 보조권선 전압을 각각 대칭성분으로 표현한 것이다 [1]. 등가회로의 회로정수 산정시 등가회로 해석의 신뢰성에 큰 영향을 미치는 여자리액턴스의 포화계수는 각 슬롯에 대해 반복 계산을 통하여 수렴시키는 방법으로 산정하였다. 그림 2는 슬롯에 따라 포화계수를 고려하는 단상유도전동기 등가회로 해석 방법에 대한 흐름선도이다 [1],[2].

$$\vec{V}_M = \vec{V}_P + \vec{V}_N \quad (1)$$

$$\vec{V}_A' = j \vec{V}_P - j \vec{V}_N \quad (2)$$

여기서,  $\vec{V}_M$ 은 주권선 전압,  $\vec{V}_A'$ 은 주권선에 치환된 보조권선 전압,  $\vec{V}_P, \vec{V}_N$ 은 각각 정방향, 역방향 전압을 나타낸다.

##### 2.2 해석 결과

해석모델에 대한 제원은 표 1과 같으며, 2차측은 알루미늄도체바를 사용하였다. 해석방법의 신뢰성검증을 위해서 표 2에서는 정격부하시 해석적인 방법을 통해 구해진 결과와 실험에 의한 결과를 비교하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 실험값과 해석값에 큰 차이가 없음을 확인하여 신뢰성을 검증하였다.

##### 2.3 효율향상 설계

타당성이 검증된 해석기법에 따라 기존 모델의 효율향상 설계를 위해 회로정수변화에 따른 최대토크, 기동토크, 효율의 양상을 살펴봄으로써 효율향상 설계를 위한 회로정수를 결정하였다. 이 때, 기존 전동기의 크기는 크게 변화시키지 않으면서 실제 전동기보다 높은 효율을 만족시켜야 한다. 그리고, 기본특성은 비슷한 범위에서 회로정수를 변화시켜 회로정수의 값을 결정하여야 한다.

##### 2.3.1 회로정수변화에 따른 특성

회로정수는 1차측과 2차측의 권선수, 권선두께, 재질 등에 따라 달라지므로 이들을 고려하여 적절한 회로정수를 결정하고 그 값을 통하여 효율향상 설계를 한다. 따라서 각각의 저항과 리액턴스성분의 변화를 통한 토크와 효율의 변화 양상을 그림 3의 (a)~(f)와 같이 살펴 보았다. 이 때, 각각의 회로정수 변화시 다른 회로정수의 값들은 고정된 값으로 두고 해석하였다.

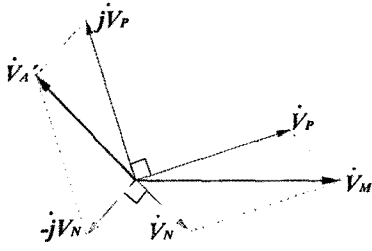


그림 1. 대칭좌표계에 의한 주권선과 보조권선의 전압

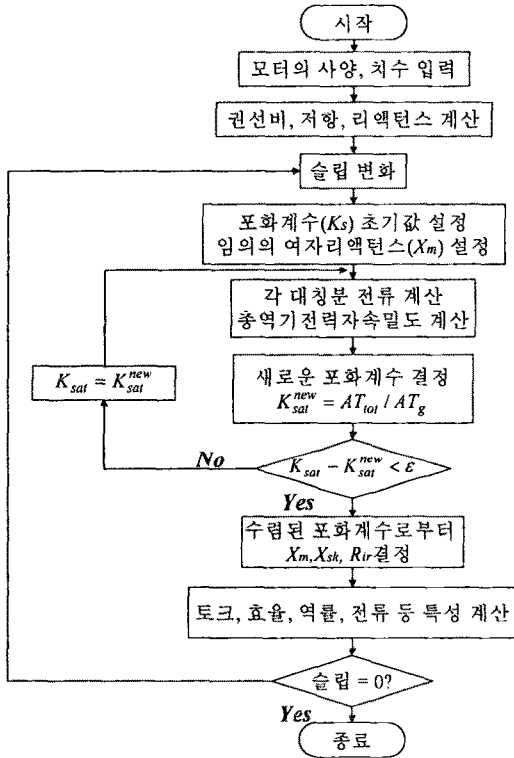
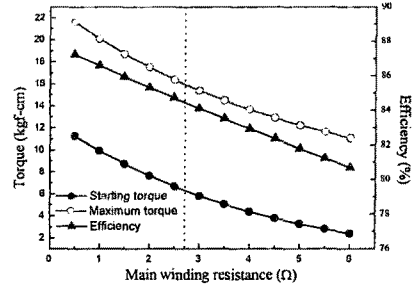


그림 2. 등가회로에 의한 특성해석 흐름선도  
표 1 해석모델에 대한 제원

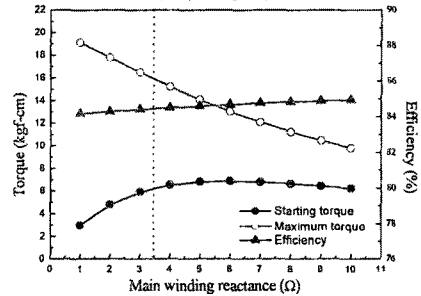
세부항목	치수	단위
인가전압	115	V
극수	2	
주 파 수	60	Hz
커패시터 용량	12	$\mu F$
고정자/회전자 슬롯수	24/34	
공극의 길이	0.3	mm
회전자 외경	60	mm
고정자 적층길이	48	mm

표 2 정격부하시 특성 비교

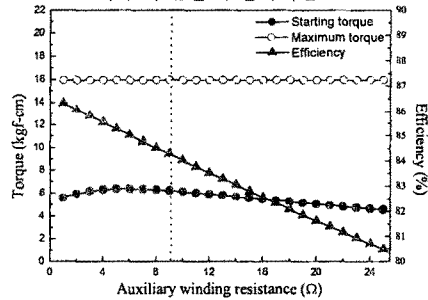
구분	해석치	실험치
토크(kgf-cm)	4.44	4.43
효율 (%)	85.4	84.3
입력 (W)	190.1	193.3
선전류(A)	1.76	1.77
역률	0.93	0.96
기동토크(kgf-cm)	6.29	6.16
최대토크(kgf-cm)	15.22	15.21



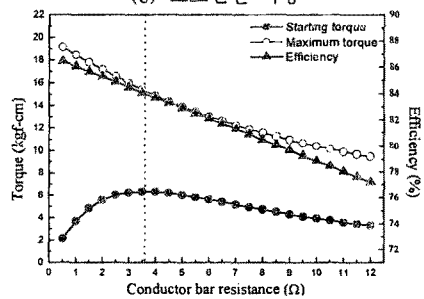
(a) 주권선 저항



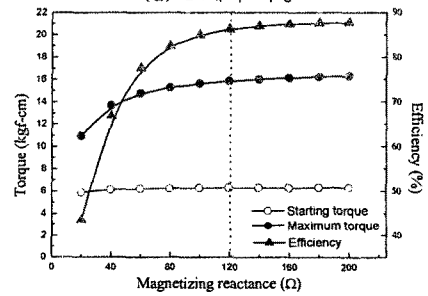
(b) 주권선 누설리액턴스



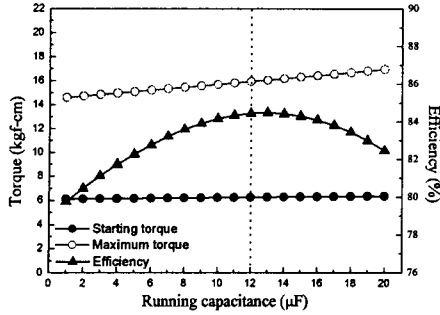
(c) 보조권선 저항



(d) 도체바 저항



(e) 여자리액턴스



(f) 구동커패시턴스 변화  
 그림 3. 회로정수 변화에 따른 토크와 효율양상

표 3 전동기의 1차측 권선

	기존 모델		개선 모델	
	주 권선	보조 권선	주 권선	보조 권선
도체 직경	1.0	6.0	1.05	0.65
전체 권선수	162	174	170	185

표 4 회로정수 비교

회로 정수	기존 모델	개선 모델
1차측 주권선저항 ( $\Omega$ )	2.71	2.61
1차측 보조권선 저항( $\Omega$ )	8.30	7.58
2차측 도체바저항 ( $\Omega$ )	3.56	3.41
철손 저항 ( $\Omega$ )	2180.11	3220.14
여자 리액턴스 ( $\Omega$ )	121.44	129.46
커패시터 ( $\mu F$ )	12	13.5
재 질	S23	S18

표 5 손실분석 비교

손 실	기존 모델	개선 모델
1차측 주권선	6.86	4.81
1차측 보조권선	4.72	5.63
2차측 도체바	4.98	4.10
철손 및 기타 손실	10.71	7.34
총 손실	27.27	21.89

표 6 고 조 파 분석 결과

고조파 차수	기존 모델		개선 모델	
	주 권선	보조 권선	주 권선	보조 권선
1	100	100	100	100
3	3.73	5.45	3.64	5.45
5	-0.66	-2.01	-1.25	-2.08
7	0.31	1.41	0.56	1.30
9	-1.37	-0.69	-1.22	-0.76

표 7 효율개선 결과값

구 분	기존 모델	개선 모델
입 력	187.19	181.68
출 력	159.92	159.88
토크	4.44	4.43
효 율	85.4	88.0
역률	0.92	0.97
선 전류	1.76	1.64
주 권선전류	1.59	1.36
보조 권선전류	0.75	0.86
최대 토크	15.22	15.33
기동 토크	6.29	6.36
회전 속도	3507.84	3513.96

그림 3(a)에서, 주권선의 저항이 증가함에 따라 기동 토크, 최대토크 및 효율이 감소하였다. 그림 3(b)에서 주권선의 누설리액턴스가 증가함에 따라 효율은 거의 변하지 않는 반면, 최대토크는 감소하였다. 여기서, 기동 토크는 누설 리액턴스값이 증가함에 따라 증가하였다가 감소하는데, 이것은 단상유도전동기의 불평형자계에 의해 발생하는 역상분 토크의 변화에 따른 것이다. 그림 3(c)에서 보조권선의 저항은 효율에만 큰 변화를 발생시키는데, 이것은 커패시터의 임피던스가 크기 때문에 보조권선의 저항이 증가함에 따라 전류 성분은 거의 변하지 않으므로, 기동 및 최대토크는 일정한 반면, 효율은 저항의 증가에 따른 손실 증가로 인하여 감소하게 된다. 그림 3(d)에서는 주권선의 변화와는 달리 도체바의 저항이 증가함에 따라 기동토크가 변곡점을 나타내는데 그 이유는 유도전동기의 비례추이에 의한 현상 때문이다. 그림 3(e)에서는 여자리액턴스 변화가 일정 턴수에 대한 공극 또는 철심재질의 변화를 의미하는 해석 결과이고, 여자리액턴스가 증가함에 따라 효율 및 최대토크가 증가하는 것은 동일전류를 대해 더 많은 자속량을 확보할 수 있기 때문이다. 그림 (f)의 구동커패시턴스 변화에 따른 효율곡선은 임피던스 매칭 의해 결정되며, 본 논문에서의 해석모델은 구동커패시터가 12~14( $\mu F$ )에서 최적의 효율을 나타내었다. 본 논문에서는 기존의 전동기와 동일한 기동 및 최대토크를 확보하면서, 효율향상을 위해서 회로정수의 변화에 따른 특성 변화 결과를 이용하여 권선 및 자기회로 설계를 수행하였다.

### 2.3.2 효율향상설계 결과

본 논문에서는 회로정수변화에 따른 결과에 따라 효율 향상설계를 위해 저항성분을 변화시키는 것에 중점을 두어 해석을 수행하였다. 표 3~표 7에서는 기존모델과 개선모델의 제원 및 특성을 비교하여 나타내었다. 표 3에서는 기존모델과 개선모델의 권선에 대해 비교하였으며 단상유도전동기의 형상변화에 따른 등가회로법을 이용하여 구한 회로정수를 표 4에서 비교하였다. 표 5에서는 이 회로정수의 결과값에 따른 각각의 손실분석을 하였고, 불평형에 의한 고조파의 영향을 고려한 것을 표 6에서 나타내었다. [3] 이들에 따른 효율개선결과를 표 7과 같이 정리하였다. 이 때, 고정자의 외경은 기존전동기에서 가로폭은 동일하며, 세로폭이 약 0.3%증가하였다. 재질이 동일할 경우 효율은 약 86.75%로 기존모델에 비해 효율이 약 1.4%정도 상승함을 알 수 있고, 재질변경시의 효율은 약 88%로 기존전동기에 비해 약 2.6%정도 상승함을 알 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 대칭표계법을 이용한 등가회로법을 통해서 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 회로정수 산정 및 특성해석을 통해서 기존모델에 대해 실험결과와 비교하여 해석방법에 대한 타당성을 검증하였다. 이 해석기법을 이용하여 회로정수변화에 따른 기동토크, 최대토크 및 정격에서의 효율 특성을 분석하였으며 그 결과를 효율향상 설계에 반영하였다. 전동기의 권선 및 자기회로 설계 결과, 정격에서의 효율이 약 88%로서 기존전동기에 비해 약 2.6%정도 향상되었다.

### [참 고 문 헌]

- (1) 홍정표 외, "유한요소법과 등가회로 해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 특성해석," 대한전기학회 하계학술대회논문집, B, pp.837-839, 2000
- (2) 남혁 외, "고조파를 고려한 극변환(2/4극)콘덴서 구동형 단상유도전동기 특성해석," 대한전기학회 하계학술대회논문집, B, pp.907-909, 2001
- (3) C. G. Veinott, *Theory and Design of Small Ind Motors*, McGRAW-HILL, 1959