

단상유도전동기의 효율 개선을 위한 강화코일 개발에 관한 실험적 연구

(A experimental Study on the Reinforced Coil Development for the Efficiency Improvement of a Single Phase Induction Motor)

이종명* · 김남호**

(Jong-Myong Lee · Nam-Ho Kim)

요 약

단상유도전동기의 효율을 높이기 위한 강화 코일형(RC형)을 개발하여 기존의 코일과 비교하였을 때, 코일의 길이, 굵기, 종류 등이 같은 동일조건에서 전류를 흘려 자속을 발생시키는 코일은 (1) 전체자속발생량이 증가하고, (2) 자속의 공간분포가 정현파에 가깝고, (3) 자속흐름이 고유방향성을 유지할 때, 코일을 내장한 시스템의 성능이 개선된다. 강화코일(RC: Reinforced Coil)은 코일의 원래영역을 갖는 바깥코일(OC: Outer Coil)과 중앙부위 자속을 강화하기 위한 안쪽코일(IC: Inner Coil)을 매턴마다 양방향으로 원점대칭이 되도록 결합함으로써 정현근접성은 물론 영역친근성을 높여 고유방향성을 동시에 구현할 수 있다. 따라서 강화코일형(RC형)은 코일 좌우의 자속량과 중앙부위의 자속량이 정현파에 가깝도록 순수 바깥코일(OC)과 강화코일(RC)의 적정 턴수를 직렬 연결함으로써 얻어진다. 강화코일을 단상유도전동기에 적용하여 효율을 높일 수 있는 유용성에 대한 것을 실험을 통하여 확인하였다.

Abstract

The efficiency of system with a built-in coil is improved as (1) the total coil flux increases, (2) the space distribution of coil flux is closer to the sinusoidal wave and (3) the direction of coil flux flow becomes more inherent with the original direction at the same condition. Every turn RC(Reinforced Coil) is composed of OC having original region and two IC's strengthening bidirectionally the inner part flux in order to maintain the symmetry with origin. This way we will realize the inherent flux direction and the sinusoidal closeness as well. Accordingly RC type is obtained by connecting the pure OC's and RC's in just turns to be closer to sinusoidal flux wave. We proved experimentally the usefulness of reinforced coil to improve the efficiency of SPIM.

Key Words : Coil, Flux Flow, Symmetry, Sinusoidal Closeness, Direction, SPIM

* 주저자 : 강원대학교 대학원 박사과정

** 교신저자 : 강원대학교 전기전자공학부 교수

Tel : 010-3500-8901, Fax : 033-260-7663, E-mail : lsej11@hanmail.net

접수일자 : 2009년 6월 18일, 1차심사 : 2009년 6월 19일, 2차심사 : 2009년 9월 1일, 심사완료 : 2009년 10월 16일

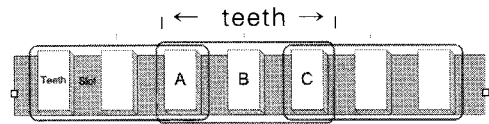
1. 서 론

단상유도전동기(SPIM: Single Phase Induction Motor)는 사용이 간편할 뿐만 아니라 저가이고 구조적으로 비교적 간단하기 때문에 제작이 간편하며 견고함 때문에 팬, 펌프, 송풍기 등에 전 세계적으로 널리 사용되고 있다. 그러나 효율은 60~70[%] 정도로 좋지 않으므로 이에 대한 개선은 끊임없이 요구되어 왔다. 고효율 전동기와 같이 고정자나 회전자 소재에 대한 개선으로 효율을 좋게 하려는 노력은 있었지만 코일의 권선법을 달리하여 효율을 개선하려는 연구는 미미한 수준이었다. 최근의 연구동향을 살펴보면 새로운 권선법에 의한 유도전동기의 기동특성 개선이나 최대효율의 제어, 속도제어, 특성해석, 절연물의 열화특성 등의 연구에 한정되고 있다.

단상유도전동기는 기동토크를 얻기 위해서 주 코일과 보조코일을 연결하여 기동하는 방법을 사용하고 있다. 두 권선 회로의 임피던스는 서로 다르므로 각 권선 전류의 크기와 위상은 다르게 나타나게 된다. 본 연구에서는 단상유도전동기의 효율을 개선하기 위하여 주 코일과 보조코일의 형태를 달리하는 새로운 권선 방법을 고안하였으며 기존의 단상유도전동기와 새로 고안한 코일(강화코일 RC)로 권선한 단상 유도전동기를 제작하여 상호 특성을 비교 실험을 통하여 기존의 단상 유도전동기에 비하여 개선된 결과를 얻었으며 이를 적용하기 위한 분야에 대한 제시를 하고자 한다.

2. 본 론

일반적으로 단상유도전동기의 고정자에는 주 코일과 보조코일이 공간적으로 90[°]의 전기각을 이루면서 그림 1과 같이 감겨있다. 4극 16슬롯의 단상유도전동기의 경우 하나의 주 코일과 보조코일 내부에는 자성체인 3개의 고정자 치(Stator teeth) A, B, C가 있고 그 사이에 도체가 위치할 슬롯(Slot)이 존재하게 된다.



보조코일 주 코일 보조코일
S : 슬롯(Slot), A, B, C : 고정자 치(Stator Teeth)

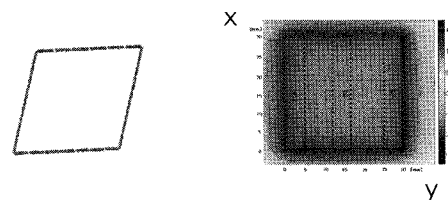
그림 1. 단상유도전동기의 주, 보조코일 전개도
Fig. 1. Development figure of SPIM Main and Auxiliary Coil

본 연구에서는 단상 4극 콘덴서런 유도 전동기(8428 type) 기존의 권선 방법을 OC(Outer Coil type)형이라고 하고 권선의 방법에 따라 집중형 IC(Inner Concentration type), 단방향 분포형인 OC/IC 그리고 RC(Reinforced Coil)형이라고 구분하여 실험을 진행하였다.

2.1 SPIM의 권선 방법

2.1.1 OC형(OC type)

OC형(Outer Coil type)은 일반적으로 사용되고 있는 코일로서 전체 치(Tooth)를 둘러싸고 있는 바깥코일(OC) 만으로 이루어진 코일로서 그림 2 (a)는 OC 1턴을 편의상 사각화한 것이고 그림 2 (b)는 자계의 세기를 색깔로 표시한 것이며 점선은 치가 3개인 경우 치가 차지할 영역이다. 공기 중의 자속분포는 중앙부위가 약간 낮고 코일 변에 가까울수록 커지는 구형과 형상이며, 자속흐름의 진행 형태는 코일중심부에서는 직선방향이나 코일 변에 가까울수록 자속이 코일을 통과하면서 바깥방향으로 휘게 되는 코일 고유의 방향성을 지니고 있어 좌우 혹은 상하 대칭성을 나타낸다.



(a) OC 1턴의 구조 (b) OC 1턴의 H-Field

그림 2. OC형 1턴의 기하구조와 자계의 세기
Fig. 2. Geometric Structure and Field Intensity of 1 turn OC type

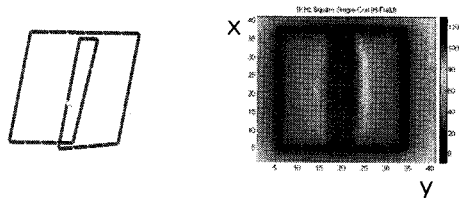
E-Field는 전계의 세기이므로 접어두고, H-Field에서 좌로부터 100[KHz]-10[KHz]-1[KHz]순이며, 60 [Hz]에 가까운 1[KHz]에 대한 것을 취하였다.

Circular Double-Coil은 원형코일 형태의 RC로서, 세로와 가로는 길이를 나타내고, 색깔은 코일 내의 각 부위의 자계의 세기를 색깔 나타낸다. 그림 2에 표시된 것과 같이 빨주노초파남보 순서로 자계의 세기가 표시된다.

2.1.2 집중형(IC: Inner Concentration type)

전체 발생자속을 증가시키면서 정현성을 높이기 위하여 중앙부위를 강화시켜야 하는데, 현재 사용되고 있는 방법은 구형과 자속분포를 갖는 바깥코일 OC와 중앙부위 자속을 강화하기 위한 안쪽코일 IC(Inner Coil)를 각각 적절한 턴수로 감은 다음, 두 코일을 직렬 연결하는 IC집중형으로 되어 있다. 이는 동일한 코일길이의 OC형에 비하여 전체자속이 증가하고, 정현성도 높아 코일성능이 개선되지만 각각 독립적인 영역을 갖는 OC와 IC의 단순 중첩으로 고유방향성이 떨어진다.

그림 3 (a)는 OC/IC 1턴의 사각코일형상으로서 한쪽 방향으로만 IC를 감는 단방향 분포형이며, 그림 3 (b)는 이 경우의 공기 중 자속분포를 색깔로 보여주고 있다.



(a) OC/IC 1턴의 구조 (b) OC 1턴의 H-Field

그림 3. IC 1턴의 기하구조와 자계의 세기
Fig. 3. Geometric Structure and Field Intensity of 1 turn IC type

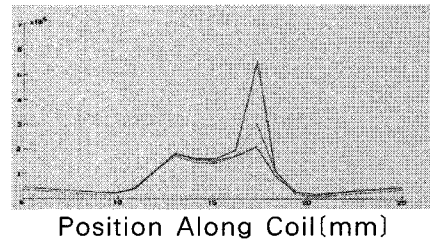
2.1.3 단방향 분포형(OC/IC type)

새로운 형태의 코일로서 단방향 분포형은 구형과 자속분포를 갖는 OC와 매 턴마다 OC와 IC 각 1회로 이루어지는 OC/IC를 적절한 턴수로 감은 다음 직렬연결

한 것이다. 1턴의 기하구조와 자계의 세기는 가운데 코일의 형태가 집중형과 같게 되어 그림 3과 같은 결과가 나타나게 된다.

OC/IC는 집중형과는 달리 영역이 다른 OC와 IC를 매 턴마다 하나로 묶어 영역 공유성을 높임으로써 중앙치 자속발생량의 증가는 물론 자속흐름의 고유방향성을 개선시키게 된다. 그러나 자계해석에 의하면 그림 4에서 보듯이 중앙치에서 코일을 좌우로 가로지르는 중앙선과 위아래선의 자속분포형상이 원점에 대하여 비대칭이다. 즉 OC영역에서 IC영역으로 진입하는 영역변환 부위에서 자계의 세기가 강하게 나타남으로써 대칭성을 잃게 된다. 이러한 현상은 공기 중에서는 IC턴수가 많아질수록 비대칭이 심해져 성능을 저하시키게 된다.

Magnetic Field(A/m)



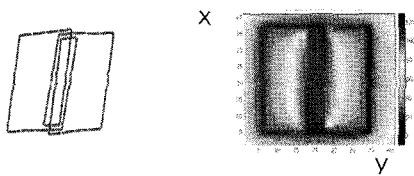
g=0.01m
g=0.02m
g=0.03m

그림 4. OC/IC 1턴의 중앙부위 자속변화도
Fig. 4. Flux Variation of 1 turn OC/IC around the Center

2.2 RC형(양방향 분포형)의 기하적 구조와 대칭성

본 논문에서 제시한 RC형은 구형과 자속을 갖는 OC와 매 턴마다 OC 1회와 IC 2회로 이루어지는 강화코일 (RC : Reinforced Coil)를 적절한 턴수로 감은 다음 직렬연결 한 것이다. 그림 5 (a)는 RC 1턴의 기하적 구조로서 매 턴마다 양방향으로 OC와 IC를 결합하여 영역친근성을 높임으로써 IC에 의한 자속흐름 방향이 고유방향에 가깝도록 직선 방향에 더욱 근접하게 되고 또한 자계의 세기를 원점에 대하여 대칭이 되

도록 하기 위하여 좌에서 우(시계방향)로 권선을 시작한다면 중심부인 B영역에서 IC를 시계방향으로 감고, 다시 우에서 좌로 돌아올 때 역시 B영역에서 IC를 시계방향으로 감는 양방향 분포형으로 한다. 즉 코일을 감는 진행방향이 바뀔 때 중앙부위를 같은 방향으로 감는 것으로서 코일내부의 치의 개수가 많아져도 항상 적용할 수 있다. 그림 5 (b)는 공기매체에서 RC 1턴의 자속분포를 색깔로 표시한 것이다.



(a) OC 1턴의 구조 (b) OC 1턴의 H-Field

그림 5. RC 1턴의 기하구조와 자계의 세기
Fig. 5. Geometric Structure and Field Intensity of 1 turn RC type

그림 6에서 보듯이 RC1턴은 중앙치에서 코일을 가로지르는 중앙선($x=0.00m$)과 위아래선($x=\pm 0.01m$)의 자속분포형상이 단방향 분포형과는 달리 원점대칭성이 강함을 보여준다. 즉 상하의 영역변환부위에서 자계의 세기가 강하게 나타남으로써 좌우 및 상하의 대칭성이 확보됨을 알 수 있다.

Magnetic Field(A/m)

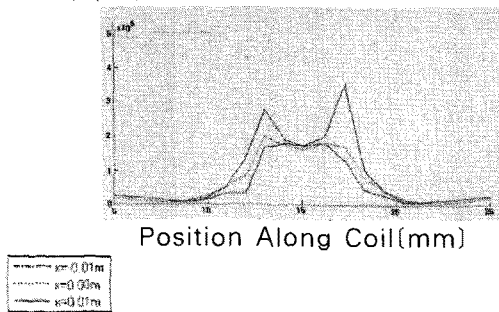


그림 6. RC 1턴의 중앙부위 자속변화도
Fig. 6. Flux Variation of 1 turn RC around the Center

RC형은 그림 7에서와 같이 적정 턴수의 OC와 RC를 갖는 병행구조로 이루어진다. RC형의 자속분포를 알아보기 위하여 RC 1턴을 분해하면 OC 1턴과, IC 2턴이 직렬로 연결된 분포/집중권의 혼합 형태로 볼 수 있으며, RC형은 원래코일 OC형과 비교해서 RC 내부의 IC에 사용된 코일분량만큼 OC에 의한 자속의 양은 다소 줄어들지만 기하적 평균반경이 짧은 IC에 의한 발생자속 양은 크게 늘어나 전체 발생 자속량은 증가하게 된다. 이때 자속증가량은 슬롯의 공간적 여유와 철심의 자속밀도가 만족되는 범위 내에서 RC의 턴수에 따라 증가하게 되나 정현파에 가깝게 하기 위해서는 최대 RC턴수가 좌우치 발생 자속량에 따라 제한을 받게 된다. 한편 RC형은 형상이 다른 두 개의 루프로 이루어지므로, OC와 RC를 골고루 균등 분포시킴으로써 전체코일에 대하여 균일한 결합도를 유지하는 것이 바람직하다.



(a) OC형 (b) 집중형(IC)
(c) 단방향 분포형(OC/IC) (d) 양방향 분포형(RC)

그림 7. OC, 집중형, 단방향 분포형 RC형의 실물구조
Fig. 7. Actual Structure of OC, IC, OC/IC, RC type

그림 8은 단방향 분포형과 양방향 분포형으로 양방향 분포형의 가운데 부분은 단방향 분포형의 2배가 된다.



(a) 단방향 분포형 (b) 양방향 분포형(RC)

그림 8. 단방향 분포형과 RC형의 실물구조
Fig. 8. Actual Structure of OC/IC, RC type

2.3 성능비교(Performance Comparison)

2.3.1 OC에 대한 IC의 자계 세기비율

그림 8은 동일한 길이의 코일을 사용했을 때, RC형과 OC형에 대한 자속분포 비교도로서 OC형 자속값을 1로 정규화하였다. OC와 RC로 이루어진 RC형 내의 자속값 a와 b는 자계의 세기가 코일의 기하평균 반경값에 반비례하며, 턴수에 비례한다는 사실에 근거하여 계산하였다.

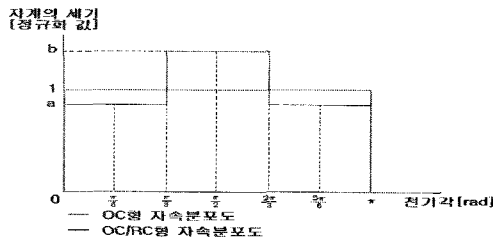


그림 9. OC형과 OC/RC형의 자속분포 비교
Fig. 9. Comparison of Flux Distribution for OC type and OC/RC type

그림 9는 4극, 16슬롯의 단상유도전동기 고정자의 일부로서 슬롯의 가로길이는 치의 가로길이의 2배로서, 1개의 치(Tooth) 만을 포함하는 IC의 가로길이 $l_{w,IC}$ 를 1로 보았을 때, 3개의 치를 포함하는 OC의 가로길이 $l_{w,OC}$ 는 7이며, OC와 IC의 세로길이 $l_{h,OC}$, $l_{h,IC}$ 는 같다. OC와 IC의 기하평균반경(Geometric Mean Radius) $r_{GM,OC}$ 와 $r_{GM,IC}$ 는 다음과 같다.

$$r_{GM,OC} = \sqrt{l_{h,OC} \cdot l_{w,OC}} = \sqrt{1 \cdot 7}$$

$$r_{GM,IC} = \sqrt{l_{h,IC} \cdot l_{w,IC}} = \sqrt{1 \cdot 1}$$

따라서 OC에 대한 IC의 기하평균반경비율 r_r 은

$$r_r = \frac{IC의 기하평균반경}{OC의 기하평균반경} = \frac{r_{GM,IC}}{r_{GM,OC}} = \frac{\sqrt{1 \cdot 1}}{\sqrt{1 \cdot 7}} = 0.38$$

한편 자계의 세기는 반경에 반비례하므로 OC에 대

한 IC의 자계의 세기 비율 H_r 은

$$H_r = \frac{1}{r_r} = 2.65$$

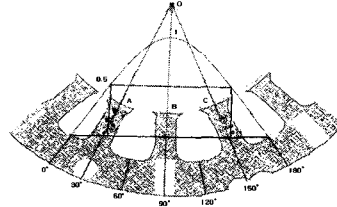


그림 10. 4극, 16슬롯 단상유도전동기의 고정자
Fig. 10. Stator of SPIM, 4 poles, 16 slots

2.3.2 코일내의 자속분포

RC형10과 RC형15는 각각 RC턴수를 OC형 코일턴수의 10[%], 15[%]를 취하고 나머지 코일 길이는 OC로 감은 경우이다. 640턴, 굵기 $\phi 0.19$ 인 OC형과 동일한 길이의 코일을 사용할 경우, RC형 10은 RC내에 OC 64턴, IC 128턴 및 순수OC 490턴으로 이루어지므로 코일 내의 자속분포 및 좌우치와 중앙치에서 자속값 a, b는 표 1과 같다.

표 1. RC형10의 자속분포
Table 1. Flux Distribution of Rtype 10

	좌측치	중앙치	우측치
RC내의 OC에 의한 자계의 세기	1×64/640	1×64/640	1×64/40
RC내의 IC에 의한 자계의 세기	0	2.65×128/640	0
순수 OC에 의한 자계의 세기	490/640	490/640	490/640
합(a, b의 값)	a=0.8656	b=1.3956	a=0.8656

표 2는 각 경우에 대한 푸리에 계수값 들로서 RC가 차지하는 비율이 커질수록 어느 한계값까지는 OC형에 비하여 각 고조파의 크기는 현격히 줄어드는 반면,

기본파의 크기는 각각 13[%], 20[%] 증가함을 알 수 있다. 여기서 RC형15는 중앙치의 자속양이 좌우치의 2배인 경우로서 만약 RC턴수가 15[%]를 초과하면 중앙치자속이 좌우치 자속의 2배를 넘어 오히려 정현성이 떨어지게 된다.

표 2. 푸리에 계수값
Table 2. Fourier Coefficients

푸리에 계수 Type e	b1	b3	b5	b7	b9	기본파 (%)	비고
OC	1.2732	0.4244	0.2547	0.1819	0.1415	100	a=b=1
RC형 10	1.4383	0.1433	0.1989	0.1421	0.0478	113	a=0.8656 b=1.3956
RC형 15	1.5228	0.0034	0.2032	0.1451	0.0011	120	a=0.8 b=1.592

2.3.3 실험적 비교(Expremental Comparison)

고안품인 RC형의 성능을 확인하기 위하여 소형 컴프레셔용으로 많이 사용하고 있는 단상, 4극, 16슬롯, 8428의 캐패시터 운전형 단상유도전동기에 적용하여 실험 측정하였다. 한편 집중형10은 RC 1턴에는 IC턴이 2회이므로 RC형10의 IC턴수의 2배를 집중형에 적용한 것이다. 표 3은 무부하특성 비교표로서 RC형은 OC형에 비하여 자화리액턴스가 크므로 입력전력은 적어지며, 역률값은 근소한 차이를 보이거나 대동소이한 결과를 보이고 있다.

표 3. 무부하특성 비교
Table 3. Comparison of No Load Characteristics

Type	회전수 (rpm)	입력(W)	전압(V)	전류(A)	역률(PF)
OC형	1769	35.56	220	0.163	0.9922
집중형10	1774	33.00	220	0.150	0.9942
RC형10	1779	32.69	220	0.150	0.9905
RC형11.25	1776	32.96	220	0.151	0.9911

표 4는 정격속도 1,650[rpm]에서의 부하특성비교표로서 RC형10과 RC형11.25는 동일 길이를 사용한 OC

형에 비하여 Watt당 토크값[gfcm/W]이 각각 14.3[%]와 16.1[%]로 증가하였다.(집중형10과 집중형11.25는 Watt당 토크값[gfcm/W]은 OC형에 비하여 9.3[%]에서 6.9[%]로 성능은 감소하였다.)

RC형의 중앙치에서는 자속이 증가하게 되므로 철심의 자속밀도가 만족되어야 한다. 그러나 단상전동기의 경우 한 코일의 좌우치는 주코일과 보조코일이 겹친 영역 내에 위치하게 되므로 자속밀도가 높고, 중앙치는 주코일, 혹은 보조코일 중 어느 하나의 코일자속만이 존재하게 되므로 자속밀도가 낮다. 따라서 중앙치의 자속을 강화할 수 있는 여유가 있게 된다. 물론 철심의 자속밀도가 충분치 못한 경우라면 강화코일로서의 효과는 저하된다.

표 4. 1,650(rpm)에서의 부하특성비교
Table 4. Comparison of Load Characteristics at 1,650(rpm)

Type	rpm	V	P	I	PF	토크 (gfcm)	Watt당 토크 (gfcm/W)	증가율 (%)
OC형	1,650	220	46.05	0.210	0.9957	180	3.9088	-
집중형 10	1,650	220	44.47	0.203	0.9966	190	4.2725	9.3
집중형 11.25	1,650	220	44.74	0.205	0.9922	186	4.1798	6.9
RC형 10	1,650	220	45.22	0.206	0.9963	202	4.4671	14.3
RC형 11.25	1,650	220	46.05	0.210	0.9956	209	4.5386	16.1

3. 결 론

단상유도전동기의 효율을 높이기 위하여 코일의 원래영역을 갖는 바깥코일(OC)과 중앙부위 자속을 강화하기 위한 안쪽코일(IC)을 매턴마다 원점대칭이 되도록 양방향으로 결합함으로써 정현근접성은 물론 영역 친근성을 높여 고유방향성을 동시에 구현할 수 있는 강화코일(RC)을 개발하였으며, 성능을 확인하기 위하여 단상유도전동기에 적용하여 무부하특성은 물론 부하시 Watt당 토크값[gfcm/W]이 증가하여 효율이 개

선됨을 실험을 통하여 확인하였다.

강화코일은 권선(코일)작업이 가능한 모든 코일에 적용될 수 있으며, 특히 한 코일 내에 자성체(치 : teeth)가 여러 개로 분리된 경우에 더욱 적합하다. 따라서 전기기기 중에 주권선과 보조권선이 있어 두 권선 사이에 공간적으로 일정각을 유지해야 하는 단상 유도전동기, 릴럭턴스전동기 혹은 히스테리시스전동기와 같은 단상동기전동기에 적용할 수 있다. 이 외에도 자성체가 하나인 경우라도(1 unit) 여러 개의 치로 분리하여 적용할 수도 있다.

RC형(RC type)이 기존코일에 비하여 권선작업과 삽입작업이 복잡하여 작업비용이 커지나 코일의 성능 개선으로 인한 에너지절약 효과를 고려하면 RC형 자동권선기와 삽입작업을 위한 로봇시스템의 교체로 즉시 생산기술로 전환될 수 있다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 자원인력양성사업의 연구결과입니다.
This work is the outcome of a Manpower Development Program for Energy & Resources supported by the Ministry of Knowledge and Economy (MKE)

References

- [1] Paresh. C. Sen, "Principles of Electric Machines and Power Electronics". pp373-419, 1996.
- [2] Syed A. Nasar, "Electric Machines and Power Systems", pp185-198, 1995.
- [3] 국기순, 이돈희. "전기기기실기", 동일출판사, 2003.
- [4] 김영길, 김용주, 원충연, 박복기 "전기기계", 동일출판사, pp421-432, 1998.
- [5] 이영희, 이찬우, 권혁목. "전기기기", pp393-403, 2004.
- [6] 최종현, 박성택. "전기기기", pp326-340, 2006.

◇ 저자소개 ◇

이종명 (李鍾明)

1954년 7월 8일생. 1996년 2월 강원대학교 졸업(석사). 2005년 8월 강원대학교 일반대학원 박사과정 수료. 현재 한국폴리텍Ⅲ대학 춘천캠퍼스 전기과 교수. 주요연구분야 : 단상유도전동기 효율 및 특성개선

김남호 (金南豪)

1952년 3월 31일생. 1993년 8월 서울대학교 졸업(박사). 현재 강원대학교 IT대학 전기전자공학전공 교수. 강원대학교 IT특성화대학 학장 역임. 주요연구분야 : 전기기기