

축전기형 전동기의 토오크에 대한 특성분석과 변동성분의 감소를 위한 연구

°고 홍석*, 김 광준**

(Identificaton of Torque Characteristics in Capacitor Type Electric Motors and Reduction of Fluctuation Component)

(Hong-Seok Ko, Kwang-Joon Kim)

1. 서론

일반적으로 구조물에 동적인 힘이 가해지면 구조물은 진동을 일으키고 결과적으로 소음을 유발하게된다. 이런 진동, 소음 문제를 해결하기 위한 근본적인 대책은 구조물에 전달되는 동적인 힘의 특성을 파악함과 동시에 이에 대한 원인의 규명을 필요로 한다. 가정용 세탁기의 경우 음압을 측정해보면 흔히 120Hz와 이의 정수배 성분들을 볼수 있는데, 이것은 세탁기에 사용되는 유도전동기의 변동토오크가 120Hz와 이의 정수배 성분들을 포함하고 있기 때문이다[1]. 이러한 전동기 토오크의 변동성분은 회전수에 관계없이 120Hz와 이의 정수배 성분에서 발생하고 비교적 저속인 세탁작업보다 고속인 탈수작업에 더욱 크게 나타났다. 이와같은 현상의 원인을 규명하기 위하여 전동기의 토오크 특성에 관한 식을 이론적으로 유도하고, 유도된 식으로 부터 토오크의 정성적, 정량적 성질을 파악하여 토오크의 변동성분을 줄이고자 하는 것이 본 논문의 주요 연구내용이다.

일반적으로 단상유도전동기의 운전특성은 다상유도전동기보다는 나쁘지만 다상교류전원을 쉽게 얻을 수 없는 가정 등에서는 널리 사용되고 있다. 단상유도전동기 중에는 시동 토오크(Starting Torque)를 발생시키기 위하여 부가장치로서 시동시 축전기를 사용하는 축전기동전동기(Capacitor Starting Motor)가 있다. 또한 축전기형 전동기중에는 기동시 외에 정상운전시도 축전기를 사용하여 부코일(Auxiliary Coil)의 전압을 주코일(Main Coil)의 전압보다 위상이 90도 앞서게 함으로써 2상전동기와 같은 효과를 내는 종류가 있으며, 이것은 1930년대 Seimetz에 의하여 제창된 후 많이 보급되었다(본 논문에서는 축전기형 전동기는 이 전동기를 의미한다).

만약 주코일과 부코일에 기자력의 크기가 같고 위상차가 정확히 90도인 2상전원이 공급되면, 회전속도가 일정하게

될때 토오크의 변동성분은 사라지고 일정하게 유지된다. 그러나 축전기형 전동기는 단상전원으로 부터 축전기를 사용하여 2상 전원을 얻기 때문에 주코일, 부코일의 위상차가 정확히 90도이면서 같은 크기의 2상전원을 공급하는데는 어려움이 따른다. 이런경우 토오크의 변동성분은 1차적으로 전동기 자체의 진동, 소음, 회전이상 등의 주요 원인의 하나가 되고, 접촉구조물에 가진력으로 작용하므로 2차적인 진동, 소음을 유발하게 된다.

과거 Kimball, Morrill, Chang 등[3]은 축전기형 전동기의 여러가지 이론식을 유도하였다. 본 연구에서는 2회전자계(Two Revolving Field)이론과, 고정기준좌표계(Stationary Reference Frame)이론을 이용하여 토오크 산출식을 유도하고 이 두식을 비교하였다. 또한 고정자(Stator)의 전압과 전류를 측정한 결과에 고정기준좌표계이론을 적용하여 토오크를 간접적으로 구하는 실험을 수행하여 변동토오크를 실험적으로 확인하도록 하였다. 또한 시뮬레이션(Simulation)을 통해 전동기설계 매개변수들이 토오크의 변동성분에 미치는 영향을 파악하고, 고정자 코일의 저항과 축전기의 영향은 실험을 통하여 확인 하였으며, 더불어 다구찌 방법을 이용하여 특정 목적 하에서 토오크의 변동성분을 줄이는 전동기설계 매개변수를 제시하였다.

2. 전동기 토오크에 대한 기본이론

축전기형 전동기의 토오크특성을 이론적으로 규명하기 위하여 전동기의 해석에 일반적으로 사용되는 2회전자계이론과 고정기준좌표계이론을 적용하여 축전기형 전동기의 전압방정식(Voltage Equation)및 진동발생의 원인이 되는 토오크 관계식을 유도 하였다.

2회전자계이론에 의해서는 일반적으로 일정한 회전속도 하에서의, 즉 정상운전상태에서의 전류, 전압과 토오크관계를 얻을 수 있고, 고정기준좌표계이론은 전동기의 과도응답(Transient Response)도 함께 구할 수 있다.

두 이론의 기본적인 가정으로는 고정자와 회전자의 기

* 금성알프스전자(주) 연구소

** 한국과학기술원 기계공학과 (정회원)

자력파는 공간적으로 정현파로 분포하고, 고정자와 회전자 사이의 공극(Air-gap)이 일정하다는 것, 자기포화(Saturation)현상을 무시하여 전동기의 선형성을 보장한 것 등을 들 수 있다.

2.1 2회전자계(Two Revolving Field)이론[2~4]

2회전자계이론은 단일 축상의 회전자계는 크기가 반이 되고 회전방향이 반대인 두개의 회전자계로 분리할 수 있다는 이론에 근거를 둔다. 이 두 자계를 정방향(Forward)회전자계, 역방향(Backward)회전자계라 하면 정방향, 역방향회전자계로 각각 분리하여 독립적으로 생각 할 수 있다. 그러나 이 이론은 3상전동기에서는 적용 할 수 없는 단점이 있다. 이것은 3상전동기의 경우 역방향 회전자계는 서로 상쇄되기 때문이다.

2회전자계이론을 적용하기 위해서는 주코일과 부코일을 분리하여 단상전동기처럼 생각하고 각 코일에 두개의 회전자계가 생성되는 것을 고려하여 전압강하를 구하고, 여기에 주코일, 부코일의 상호작용으로 생기는 전압강하를 고려하면 구할 수 있다. 결국 다음과 같은 전압방정식이 유도된다.

$$\begin{bmatrix} V_m \\ V_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_m + Z_f + Z_b & -jN(Z_f - Z_b) \\ jN(Z_f - Z_b) & Z_a + Z_b + N^2(Z_f + Z_b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_m \\ I_a \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Z_f = R_f + jX_f = \frac{j0.5x_M(r_r/s + jx_r)}{r_r/s + j(x_r + x_M)} \quad (2)$$

$$Z_b = R_b + jX_b = \frac{j0.5x_M(x_r/(2-s) + jx_r)}{r_r/(2-s) + j(x_r + x_M)} \quad (3)$$

$$Z_m = r_m + jx_m, \quad Z_a = r_a + jx_a, \quad Z_c = jx_c \quad (4)$$

위 (1)식으로 전류를 구해지면 이것을 이용하여 발생하는 토오르크를 구할 수 있다. 먼저 (1)식으로 부터 정방향 성분 전류(Forward Current) I_f 와 역방향 성분 전류(Backward Current) I_b 를 다음과 같이 정의하면,

$$I_f = I_m - jNI_a \quad (5)$$

$$I_b = I_m + jNI_a \quad (6)$$

이때 발생하는 토오르크는 T는 아래와 같게 된다.

$$T = \frac{1}{\omega_b} (|I_f|^2 R_f + |I_b|^2 R_b) \quad (7)$$

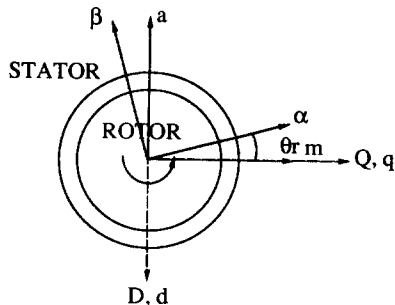


Fig. 1 Stationary reference frame

토오르크의 변동성분 T_v 는 전원 주파수 2배로 나타나며 그 크기는 다음과 같다.

$$T_v = \frac{1}{\omega_b} |I_d| |I_b| |Z_f - Z_b| \quad (8)$$

2.2 고정기준좌표계(Stationary Reference Frame)이론 [5-6]

고정기준좌표계이론은 단상, 2상 뿐만 아니라 3상이나 그이상에서도 적용가능하고 유도전동기(Induction Motor) 뿐만 아니라, 동기전동기(Synchronous Motor)에도 적용하여 과도응답을 구할 수 있다.

Fig. 1 에서 보여준 좌표계는 고정자에 m과 a축을 잡고 회전자에 α, β 축을 잡는다. α, β 축은 회전자와 동일한 속도로 회전하는 좌표계이다. 여기서 회전자는 2상을 가지는 등가코일로 표현 되었다. 이때 유도된 전압방정식을 좌표축 변환을 통하여 m,a축을 D, Q축으로 α, β 축을 d,q축으로 변환하는 좌표변환 방법이 고정기준좌표계이론이다. 결과적으로 얻어지는 전압방정식은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_D \\ V_Q \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_m + (x_m + x_M) \frac{p}{\omega_b} & 0 & x_M \frac{p}{\omega_b} & 0 \\ 0 & r_a + (x_a + x_M) \frac{p}{\omega_b} & 0 & x_M \frac{p}{\omega_b} \\ x_M \frac{p}{\omega_b} & -\frac{1}{N} x_M \frac{\omega_b}{\omega_b} p & r_r + (x_r + x_M) \frac{p}{\omega_b} & -\frac{1}{N} (x_r + x_M) \frac{\omega_b}{\omega_b} \\ N x_M \frac{\omega_b}{\omega_b} p & x_M \frac{p}{\omega_b} & N (x_r + x_M) \frac{\omega_b}{\omega_b} & r_r + (x_r + x_M) \frac{p}{\omega_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_Q \\ i_D \\ i_q \\ i_d \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$V_D = V - \frac{1}{C} \int_0^t i_D dt \quad (10)$$

또한, 토오르크를 구하면 다음과 같다.

$$T = \frac{P}{2} \frac{x_M}{\omega_b} (i_Q i_d - i_D i_q) \quad (11)$$

3. 전동기의 토오르크 특성규명

3.1 시뮬레이션

전동기의 토오르크 특성규명을 위하여 시뮬레이션을 수행하고 또한 실험을 수행하였다. 시뮬레이션을 수행하기 앞서 우선 전동기설계매개변수는 무부하실험(No Load Test)과 구속실험(Locked Test)을 통하여 구하였다.

구해진 매개변수를 가지고 회전자계 이론과 고정기준좌표계이론을 통하여 구해진 전압방정식 식(1)과 식(9)를 Runge-Kutta방법으로 각 전류를 구하고 이것을 이용하여 토오르크를 구할 수 있다.

3.2. 두 이론의 비교[7]

2회전자계 이론은 정상운전상태의 전류, 전압의 Phasor 만을 얻을 수 있으나 고정기준좌표계이론은 과도응답도 구할 수 있다. 즉, 회전자계이론은 토오르크의 변동성분에 의하여

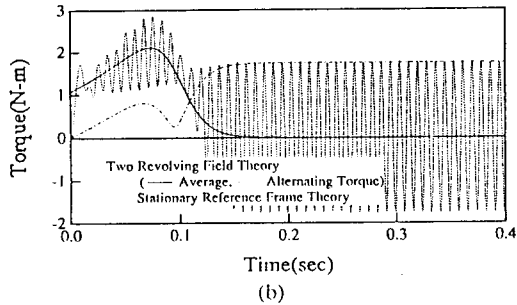
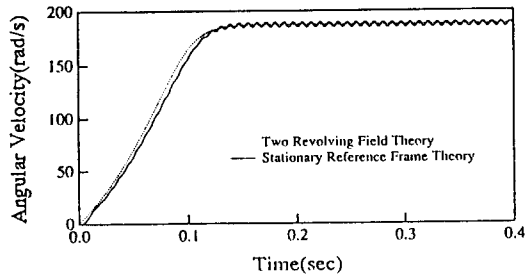


Fig. 2 The comparison of two theoretical results
(a) Angular Velocity (b) Torque ($1.023 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$)

생기는 회전속도의 변동성분을 무시하고 회전속도가 일정하다고 가정하게 된다. 이 이론을 회전속도의 변동성분을 고려한 고정기준좌표계이론과 비교함으로써 회전속도의 변동성분의 영향을 평가해보았다.

여기서 사용된 $r_m, r_a, X_m, X_a, r_r, X_r, X_M$ 은무부하실험과 구속실험을 통하여 구한 값들을 사용하였다.

회전자 자체 관성모멘트는 $1.023 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ 로 산출되었으며, 이 관성모멘트를 사용한 두 가지 방법에 의한 회전속도가 Fig. 2(a)에 나타나 있다. 고정기준좌표계이론을 이용한 회전속도는 120Hz의 변동성분을 가지고 있음을 볼 수 있다. 토크는 Fig. 2(b)에 나타나 있다. 두 가지 이론이 평균 토크 계산의 경우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 한편, 관성모멘트는 전동기 회전자 자체 관성모멘트뿐만 아니라 실제 system에서는 전동기 회전자 자체 관성모멘트보다 훨씬 커지게 됨에 유의하여야 한다. Fig. 3은 관성모멘트를 $2.5 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ 으로 놓고 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 이때의 관성모멘트는 실제 실험장치에서 전동기에서 풀리까지의 관성 모멘트이다. Fig. 2(a)과 Fig. 3(a)을 비교하여 보면 회전속도의 변동성분이 줄어들음을 알 수 있다. 토크 역시 잘 일치하고 있다.

3.3. 토크 측정실험[8-9]

일반적으로 Strain Gauge를 이용한 토크 센서는 고유의 진동수를 가지고 있다. 그러므로 이와같은 센서를 이용하여 토크의 변동성분을 측정하게되면 센서의 고유진동수와 전동기의 회전자, 축 등에 의하여 실제와 다른 값들을 얻을 수

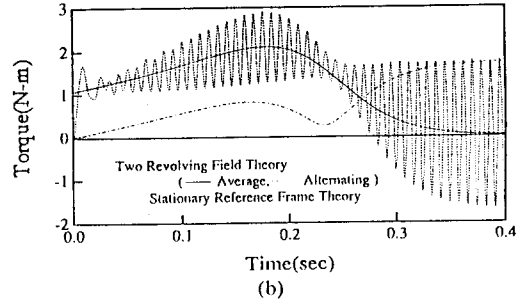
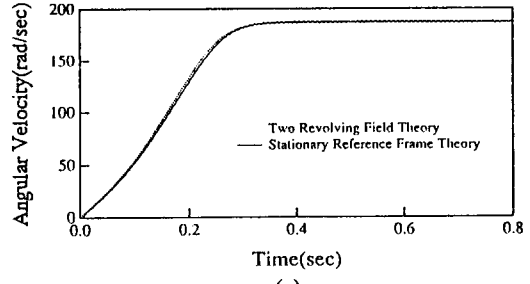


Fig. 3 The comparison of two theoretical results
(a) Angular Velocity (b) Torque ($2.5 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$)

있다. 즉 회전자와 축 등은 관성모멘트와 강성(Stiffness)과 감쇠(Damping)를 가지고 있기 때문에 Strain Gauge센서를 사용하게되면 전체 계의 고유진동수는 센서자체의 고유진동수보다 낮아진다. 그러므로 실제 공극에서 발생하는 고유진동수 이상의 토크의 변동성분은 측정할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같이 간접적으로 토크를 측정하였다.

만약 공극에서 발생하는 λ (Flux Linkage)와 고정자의 전류를 측정하게 되면 고정기준좌표계이론으로 유도된 식에 대입함으로써 공극에서 발생하는 토크를 측정할 수 있게 된다. 그런데 직접 λ 를 측정하기 위해서는 부가장치(Flux Coil 이나 Hall Probe)를 전동기에 장치하여야 한다. 그러므로 실험비용이 증가하게 되고 전동기에 부가장치를 설치할 수 없을 경우는 사용할 수가 없다. 본 논문에서는 다음에 제시하는 방법, 즉 각 코일의 전압과 전류를 측정함으로써 간접적으로 λ 를 계산하여 토크를 구하는 방법을 사용하였다.

Table 1 Input data

사용된 전동기의 모델 : AMWAS-250ZTEA

Applied Voltage	200 V	Line frequency	60 Hz
Number of poles	4	Maximum speed	1800 rpm
r_m	13.4 Ω	N	1
r_a	13.4 Ω	r_r	31.75 Ω
x_m	12.6215 Ω	x_a	12.6215 Ω
x_r	12.6215 Ω	x_M	168.8643 Ω
Capacitor	12 μ F		

고정기준좌표계이론에서 고정자 쪽의 전압방정식은,

$$V = r_m i_Q + \frac{d}{dt} \lambda_Q \quad (12)$$

$$V_D = r_a b + \frac{d}{dt} \lambda_D \quad (13)$$

식(12)과 식(13)를 이용하여 λ_Q 와 λ_D 를 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_Q = \int (V - r_m i_Q) dt \quad (14)$$

$$\lambda_D = \int (V_D - r_a b) dt \quad (15)$$

따라서 λ 는 전동기 주코일 부코일의 전압과 전류를 측정하여 식(14)과 식(15)에서 적분하게 되면 구해진다. 다음으로 이것을 이용하여 토오크를 구하기 위해서는 다음관계식(16), (17)을 이용하여 식(11)를 변화시키면 된다.

$$x_M i_q = \omega_b \lambda_Q - x_a i \quad (16)$$

$$x_M i_d = \omega_b \lambda_D - x_a i \quad (17)$$

즉, 앞에서 언급하였 듯이 권선비 $N=1$ 이고, $x_m = x_a$ 이므로 토오크는 아래와 같이 구해질 수 있다.

$$T = \frac{P}{2} (\lambda_D i_Q - \lambda_Q i_D) \quad (18)$$

실험시 Isolating Transformer를 사용하여 전원으로 부터 전동기를 분리시켜 코일로 부터 직접 전압을 측정하였다. 또한 전류를 측정하기 위하여 Hall 소자를 이용한 전류센서를 사용하였다. Fig. 4에서는 이 방법으로 5개 회전수에 대하여 식(18)로 계산된 결과와 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 이 간접적 측정방법의 단점으로는 전압과 전류의 크기와 위상의 정확한 측정이 이루어지지 않을 경우 오차가 누적될 수 있다는 문제, 구속실험과 무부하실험을 통하여서는 정확한 값을 구하기 어렵다는 점 등을 들 수 있다.

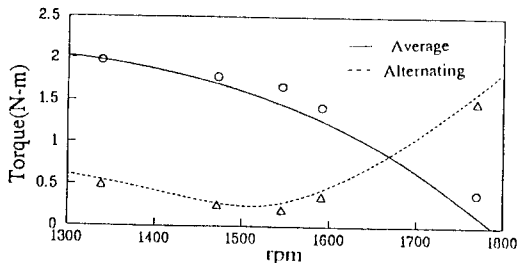


Fig. 4 Simulation and experiment result of developed torque

4 전동기설계매개변수가 토오크 변동성분에 미치는 영향

4.1 축전기의 영향

권선비가 1인 모터에 완전한 2상전원으로 구동된다면, 토오크의 120Hz성분은 발생하지 않게 된다. 그러나 축전기형 전동기는 단상전원으로 부터 축전기를 이용하여 위상과 크기를 변화시킨 전압을 부코일에 공급함으로써 2상전원과 같은 효과를 낸다. 다시말해서 축전기전압이 커지고 위상이 90도에서 벗어날 수록 토오크의 120Hz성분은 커지게된다. 그러므로 적절한 축전기의 선택이 필요하게 된다.

축정은 축전기용량을 10 μ F, 12 μ F, 14 μ F로 변화시키면서 수행하였다. 그결과는 Fig. 5에 나타나 있다. 실험에서도 알 수 있듯이, 축전기의 용량이 커지면, 토오크의 평균값은 커지게 되고, 변동성분은 약 1600rpm 이상에서는 증가하게 되나 그 이하에서는 오히려 감소하게 되는 것을 알 수 있다. 그러므로 운전속도는 콘덴서 선정에 중요한 변수가 된다.

축전기용량이 토오크의 변동성분에 미치는 영향이 크지만 축전기용량은 또한 토오크의 평균값에도 큰 영향을 미치므로 축전기용량을 조절하여 토오크의 변동성분을 줄이는데는 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

4.2 고정자 및 회전자 저항의 영향

고정자와 회전자 저항을 변경시키면서 고정자, 회전자 저항이 토오크의 변동성분에 미치는 영향을 평가해 보았다.

실험은 주코일 저항에 3 Ω , 5 Ω , 8 Ω 를 추가하여 실험을 수행하였다. Fig. 6은 이 결과를 보여주고 있다 Fig. 6을 보면 주코일저항의 변화는 토오크의 평균값이나 변동성분에 커다란 영향을 주지는 않는다. 주코일 저항을 증가시키면 토오크의 변동성분은 줄어들게 되는데, 저항을 증가시키면 동손이 증가하게되고 소비전력이 증가하게 되므로, 저항을 증가시키는데는 역시 한계가 있다.

부코일 저항을 증가시킬 경우에는 평균토오크나 토오크

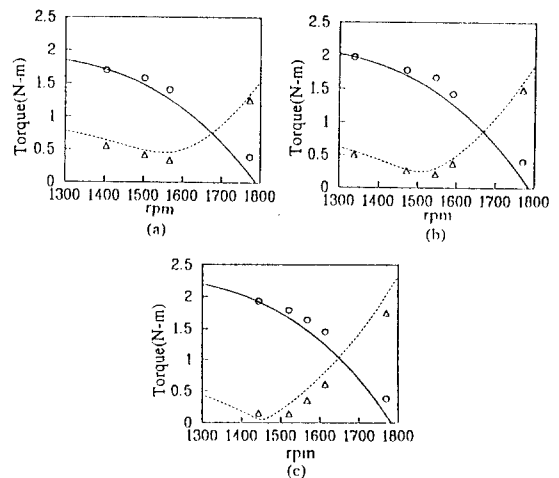


Fig. 5 The influence of torque in accordance with capacitor
(a) 10 μ F (b) 12 μ F (c) 14 μ F

의 변동성분에 그다지 영향을 미치지 못하는 못한다. 또한 회전자
의 저항을 변화시킬 경우에는 저항이 증가할 수록 평균토크오
크는 작아지지만 시동토크는 커지고 있다는 것을 볼 수 있
었다. 또한 저항이 증가하면 토크 변동성분의 극소점보다
고속이면 저항이 증가함에 따라 변동성분이 늘어나고 저속
인 경우 이와 반대의 현상이 일어난다. 그러므로 회전자의
저항을 선택시에는 축전기와 마찬가지로 회전속도를 고려하
여 적절한 저항을 선정하여야 한다.

4.3 리액턴스의 영향

여기서 고정자와 회전자의 리액턴스는 같다고 가정한다.
고정자, 회전자리액턴스가 증가하게 되면 평균토크오크가 전반
적으로 증가하게 된다. 또한 토크오크의 변동성분은 극소점 부
분에서 고정자, 회전자리액턴스들이 증가하게 되면 감소하는
추이를 보인다.

다음으로 여자리액턴스의 영향을 알아보면, 여자리액턴
스의 영향은 고정자, 회전자리액턴스와 비슷하다. 즉, 극소점
에서 여자리액턴스가 증가하게 되면 토크오크의 변동성분의
감소는 뚜렷하고 저속과 고속 구간에서는 오히려 이와 반대
의 현상이 일어난다.

4.4 다구찌 방법을 이용한 강건설계[10~11]

앞절에서 언급한 것처럼 토크오크의 변동성분을 줄이기
위해서는 전동기설계매개변수의 어떤 한 값을 변화시킴으로
써 원하는 성능을 발휘하면서 토크오크의 변동성분을 줄일 수
는 없다. 그리고 또한 각 전동기설계매개변수들은 서로 복잡
한 관계를 가지고 있으므로 원하는 성능을 발휘하면서 토크오
크의 변동성분을 줄이려고 한다면 각 변수를 모두 고려할
수 있는 다른 방법을 생각해야 한다.

이런 목적을 달성하기 위하여 다구찌방법을 이용한 강

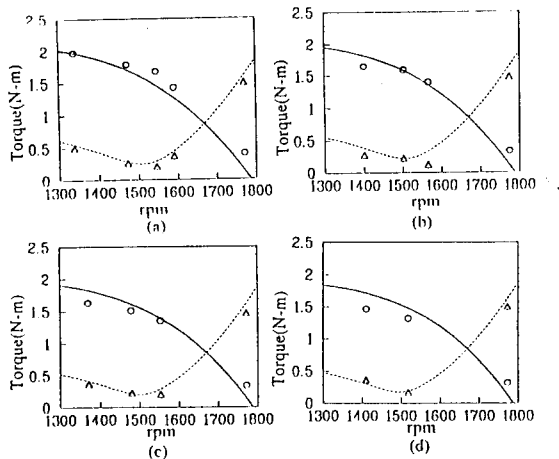


Fig. 6 The influence of torque in accordance with main winding resistance (a) 13.4Ω (b) 16.4Ω (c) 18.4Ω (d) 21.4Ω

건설계(Robust Design) 개념을 도입하였다. 즉 설계변수의 값
들이 임의로 결정될 경우 이 값으로 정확하게 전동기를 제작
하기는 어려운 것이고, 또한 주위환경등의 영향으로 설계변
수의 값들이 변하게 되면 토크오크의 변동성분 역시 변하게
되는데, 이런 점을 고려하여 설계변수값들이 변하여도 토크
오크의 변동성분에 미치는 영향이 작은 값들을 찾아야 할 것
이다.

예로써 슬립이 0.08일때 토크오크의 변동성분을 줄이고자
하는 설계를 수행하였다. 각 설계인자에 대한 변동을 고려하
여 축전기는 $\pm 5\%$, 나머지 변수는 $\pm 3\%$ 의 변동을 고려하
였다. Fig.8은 목적함수를 토크오크의 변동성분으로 놓고 제한
조건을 토크오크의 평균값을 0.927이상으로 설계한 경우이다.
Fig. 7(a)는 목적함수의 감소과정을 보여주고 있다. 그런데
Fig. 7(b)에서 보는 것처럼 토크오크의 변동성분은 0.782N-m에
서 0.00545N-m으로 줄었지만 시동토크 역시 1.064N-m에서
0.75N-m으로 줄었다. 또한 토크오크의 평균값이 0.927N-m에서
1.47N-m으로 커졌다. 그러므로 부하가 일정하다면 회전속도
는 증가하게 되고 토크오크의 변동성분 역시 증가하게 된다.
그러므로 부하가 일정하다고 하면 설계전의 회전속도로 회
전시키면서 토크오크의 변동성분을 줄이기 위한 재 설계가 필
요하다. 제한조건을 평균토크오크가 0.927N-m로하고 다시 설계
를 수행하였다. 더불어 시동토크를 1.0N-m이상으로 하는
제한조건을 추가하였다. 결과는 Fig 8에 나타나 있다.

여기서 시동토크는 1.14N-m이고 슬립 0.08에서 토크오
크의 변동성분 0.54N-m이고 평균값은 0.9868N-m이다. 이상에서
설계한 각변수의 설계값과 상한치 하한치는 Table 2에 나타
나있다.

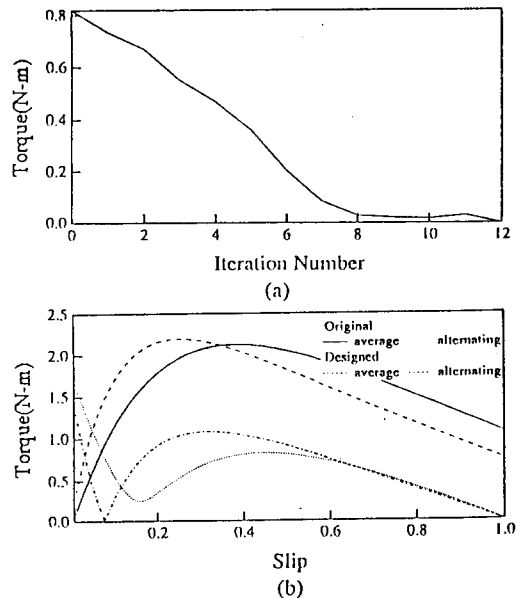


Fig. 7 Design motor using Taguchi method (case 1)
(a) Cost function(alternating torque) (b) Torque

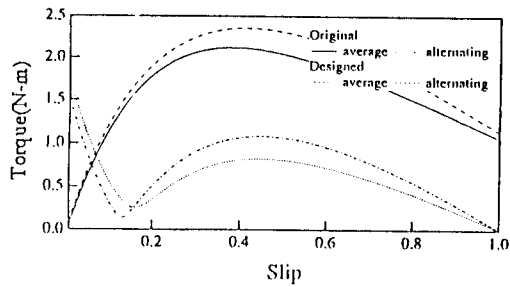


Fig 8. Design motor using Taguchi method (case 2)

Table 2 Design values of motor using Taguchi method

Object : Alternating Torque minimize ($s=0.08$)

Constraint : Case1 Average torque($s=0.08$) ≥ 0.927 N-m

Case 2 : i) Average torque($s=0.08$) = 0.927 N-m

ii) Starting torque ≥ 1.0 N-m.

Parameter	Lower limit(Ω)	Upper limit(Ω)	Case1(Ω)	Case2(Ω)
Stator resistance $r_m = r_s$	10	30	30	14.42
Stator reactance $x_m = x_s$	0	50	19.25	6.14
Rotor resistance r_r	0	60	44.21	33.24
rotor reactance x_r	0	50	9.13	23.67
Magnetizing reactance x_M	0	300	167.41	194.44
Capacitor reactance x_c	150	500	259.22	245.60

5 결론

회전자계이론과 고정기준좌표계이론을 축전기형 전동기에 적용하여 토오크의 변동성분을 규명하였고, 더불어 회전 속도의 변동성분을 무시한 회전자계 이론이 고정기준좌표계 이론과 일치함을 보였다. 실험을 수행함에 있어서 계의 고유 진동수의 영향을 받지않고 부가장치가 필요없는 방법을 도입하여 공극에서 발생하는 토오크를 간접적으로 측정하였다. 또한 실험과 시뮬레이션을 통하여 토오크의 변동성분에 미치는 전동기설계매개변수의 영향을 평가하였다. 그 결과 축전기용량과 회전자저항이 토오크의 변동성분에 중요한 영향을 미친다는 것을 알았으나, 전동기의 어느 한 값의 변화만으로 토오크의 변동성분을 효과적으로 줄일 수는 없었다. 그리하여 모든 변수를 고려하고 잡음의 영향에 둔감한 설계를 수행하기 위하여, 다구찌 방법을 도입하여 슬립이 0.08일때 설계를 수행하였다.

6 참고 문헌

- [1] 세탁기 설계를 위한 2차년도 연구, 한국과학기술원, 1992
- [2] Cyriil G. Veinott, 1977, "Performance Calculation on the Two-speed Shunted Capacitor Motor", IEEE Trans., PAS-96(4), pp1132~1136
- [3] Yokozuka T., 1971, "Alternating Torque Characteristics of The Condenser Motor", IEE J., Japan 91(3), pp 501-510
- [4] Leander W. Matsch, 1987, Electromagnetic and Electromechanical Machines, JOHN WILEY & SONS Inc., New York
- [5] Paul C. Krause, 1987, Analysis of Electric Machinery, McGRAW-HILL Co., New York
- [6] Paul C. Krause, 1965, "Simulation of Unsymmetrical 2-Phase Induction Machines", IEEE Ttans., PAS-84(11), pp1025~1037
- [7] Charle A. Gross, R. M. Nelms, 1991, "A Comparison of Two Analytical Methods of Determining the Starting Transients of a Single Phase Induction Machine", Electric Machines and Power System (19), pp705~712
- [8] J. S. Hsu, H. h. Woodson, W. F. weldon, 1992, "Possible Errors In Measurement Of Air-gap Torque Pulsations Of Induction Motors", IEEE Trans., EC-7(1), pp202~208
- [9] Thomas A. Lipo, Kwong C. Chawg, 1986, "A New Approach To Flux and Torque-sensing In Induction Machines", IEEE Trans., IA-22(4), pp731~737
- [10] 김 추호, 1993, "다구찌 방법을 이용한 컴퓨터 원용 강건 설계 기법의 개발", 한국과학기술원
- [11] 염 봉진, 서 순근, 1991, "실험계획 및 분석 : 다구찌 방법과 직교배열의 활용", 한국과학기술원
- [12] 고홍석 ,1993, "축전기형 전동기의 토오크에 대한 특성 분석과 변동성분의 감소를 위한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문