

위상각제어에 의한 단상유도전동기의 속도제어

(Speed Control for Single Phase Induction Motor Using Phase Angle)

任永徹* · 金堯憲** · 崔燦鶴*** · 羅碩煥* · 鄭榮國* · 張永學** · 張學忠***
 (Y.C.-Lim K.H.-Kim · C.H.-Choi · S.H.-Na · Y.G.-Jung · Y.H.-Chang · H.C.-Chang)

요 약

단상유도전동기를 사용하고 있는 응용기기는 점차 연속적인 가변속성능이 요구되고 있어 고도의 토크 제어능력이 절실히 요망된다. 일반적으로 단상유도전동기의 속도제어는 탭변환, 극수변환 또는 기어들의 사용에 의한 비효율적이고 복잡한 방법들이 이용되고 있다.

본 연구에서는 단상유도전동기의 속도제어를 위해 단상유도전동기의 보조권선 전압위상각을 제어하여 토크를 연속적이고 정확하게 조절할 수 있는 토크제어기를 제안하였다. 본 제어기의 실현을 위해 보조 권선의 전압위상각과 발생토크 사이의 관계를 고찰하고 컴퓨터를 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 전압위상각제어에 의한 토크제어기를 설계 제작하여 실험을 통해 제어기의 가변토크성능을 조사하였다.

Abstract

Single-phase induction motors are widely used in many light duty applications, especially in home and office. Many applications which use these motors require adjustable speed control continuously. In general, the speed control of single-phase induction motor is accomplished at a few discrete speeds by using tapped-windings, pole switching or gear. These techniques are inefficient and complicated.

In this paper, Torque controller which adjusts a generating torque using phase difference between main winding voltage and auxiliary winding voltage is proposed. The analysis includes the determination of the relationship between the auxiliary winding voltage phase angle and torque. Simulation results of the torque-speed characteristics using the controlled auxiliary winding supply are shown and discussed. and the drive is tested experimentally to verify the results of the theory by using a dynamometer.

*正會員 : 전남대 전기공학과 교수
 **正會員 : 전남대 전기공학과 조교수
 ***正會員 : 한영공전 전기과 전임장사
 接受日字 : 1995年 4月 6日

*正會員 : 전남대 전기공학과 박사과정
 **正會員 : 목포대 전기공학과 조교수
 ***正會員 : 대우모터(주)과장

1. 서론

가정이나 사무실에는 단상전원이 공급되고 있으므로 가정용, 사무용 전기응용기기에는 구조가 간단하고 저렴한 단상유도전동기가 널리 사용되고 있다. 단상유도전동기는 전동기 자체로는 회전자속을 발생하지 못하므로 기동토크를 발생시키기 위한 별도의 외부장치를 필요로 한다. 또한 단상유도전동기는 속도에 대한 토크 특성이 비선형이기 때문에, 단상유도전동기의 속도제어는 기어등을 사용하는 기계적인 방법과 탭변환, 극수 변환등의 전기적인 방법을 사용하고 있다. 그리고 대부분의 경우 전동기를 정격속도로 동작시킨 상태에서 벨브나 스위치의 개폐에 의한 속도제어 방법을 사용하고 있다. 이러한 속도제어방법들은 속도제어가 불연속적이고 비효율적이며 제어 성능이 낮고 제작이 복잡하며 제어기의 부피가 커지는 문제점들이 있다. 근래 소비자들의 고급화 추세에 따라 단상유도전동기를 사용하는 응용기기들에 연속적인 가변속성능이 요망되고 있다. 단상유도전동기의 속도제어방법에 대한 연구로는 전동기와 제어기 사이에 접속된 트라이액이나 싸이리스터의 도통위상각을 조절하여 전동기의 입력전압을 제어하는 방법이 제안되었으나 이 방식은 출력전압의 고조파성분이 크므로 운전중에 진동, 소음이 크게 발생한다. ¹⁾ E.R.Collins 등에 의해 연구되어진 가변주파수 속도제어방법은 주파수 변환에 의해 연속적인 속도조절은 가능하나 기동토크가 적고 정역전 절환시 외부스위치가 필요하며, 기동을 위한 콘덴서나 원심력스위치 등을 필요로 한다. ²⁾

따라서 본 논문에서는 연속적인 속도조절이 가능한 단상유도전동기의 토크제어기 개발을 위해 다음과 같은 사항들을 고려하여 제어기를 설계하였다. ①저가로 제작이 가능하다. ②고정부하 및 가변부하 토크에 대해 속도조절이 가능하다. ③기동토크발생을 위한 외부장치를 필요로 하지 않는다. ④정역전이 용이하다. ⑤기준에 설치된 전동기에 설치가 간단하다. 이상의 사항들을 고려하여 설계된 토크제어기는 주권선은 상용전원에 직접연결하고, 보조권선에 주권선공급전압과 위

상차를 갖는 전압을 소용량의 PWM인버터를 이용하여 공급함으로써 보조권선의 전압위상차에 의해 발생토크가 가변될 수 있도록 하였다. 본 제어기의 실현을 위해 전압위상각과 발생토크와의 관계를 고찰하였고 컴퓨터를 통해 시뮬레이션을 수행하였으며, 제어기를 설계 제작하여 실험을 통해 제어기의 가변토크성능과 속도제어가능성을 조사하였다.

2. 전압위상각에 의한 토크

그림 1은 단상유도전동기의 보조권선과 주권선의 등가회로이다.

그림 1에서 정방향 저항 R_f , 정방향 리액턴스 X_f , 역방향 저항 R_b , 및 역방향 리액턴스 X_b 는 다음과 같다. ³⁾ ⁴⁾

$$R_f = \left(\frac{R_2 X_m^2}{2s} \right) \frac{1}{(R_2/s)^2 + (X_2 + X_m)^2} \quad (1)$$

$$R_b = \left(\frac{R_2 X_m^2}{2(2-s)} \right) \frac{1}{[R_2/(2-s)]^2 + (X_2 + X_m)^2} \quad (2)$$

$$X_f = \left(\frac{X_m}{2} \right) \left[\frac{(R_2/s)^2 + X_2(X_2 + X_m)}{(R_2/s)^2 + (X_2 + X_m)^2} \right] \quad (3)$$

$$X_b = \left(\frac{X_m}{2} \right) \left[\frac{(R_2/(s-2))^2 + X_2(X_2 + X_m)}{(R_2/(2-s))^2 + (X_2 + X_m)^2} \right] \quad (4)$$

여기서, R_2 및 X_2 는 2차측 권선의 저항 및 리액턴스, X_m 은 상호 리액턴스, s 는 슬립이다. 이때의 전압방정식은 다음과 같다.

$$\vec{V}_m = \vec{I}_m \vec{Z}_1 + \vec{I}_a \vec{Z}_2 \quad (5)$$

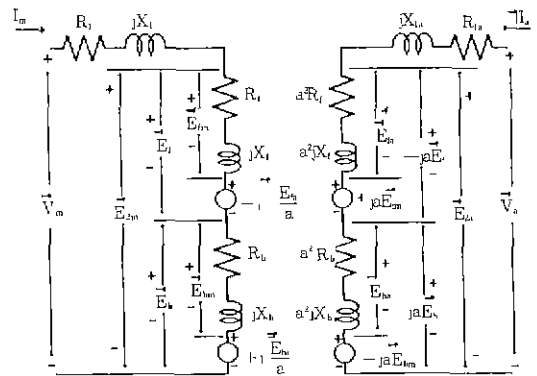


그림 1 단상유도전동기의 보조권선과 주권선의 등가회로
Fig. 1 Equivalent circuits of an induction motor with main and auxiliary windings

$$\vec{V}_a = \vec{I}_m \vec{Z}_4 + \vec{I}_a \vec{Z}_a \quad (6)$$

$$\vec{V}_m = I_m \angle \theta_m \quad (7)$$

$$\vec{V}_a = V_a \angle \theta_{av} \quad (8)$$

여기서,

$$\vec{Z}_1 = R_{1m} + R_r + R_b + j(X_{1m} + X_r + X_b) \quad (9)$$

$$\vec{Z}_2 = -ja[(R_r - R_b) + j(X_r - X_b)] \quad (10)$$

$$\vec{Z}_3 = [R_{1a} + a^2(R_r + R_b)] + j[X_{1a} + a^2(X_r + X_b)] \quad (11)$$

$$\vec{Z}_4 = ja[(R_r - R_b) + j(X_r - X_b)] \quad (12)$$

전압방정식을 전류에 관하여 풀면 다음과 같다.

$$\vec{I}_m = (\vec{V}_m \vec{Z}_3 - \vec{V}_a \vec{Z}_2) / \vec{Z}_a \quad (13)$$

$$\vec{I}_a = (\vec{V}_a \vec{Z}_1 - \vec{V}_m \vec{Z}_4) / \vec{Z}_a \quad (14)$$

$$\vec{I}_m = I_m \angle \theta_m \quad (15)$$

$$\vec{I}_a = I_a \angle \theta_a \quad (16)$$

여기서, $\vec{Z}_4 = \vec{Z}_1 \vec{Z}_3 - \vec{Z}_2 \vec{Z}_4$ 이다.

그림 1에 의하여 양방향 회전자계에 의한 출력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{gr} - P_{gb} = \text{Re}[(\vec{E}_r - \vec{E}_b) \vec{I}_m^* + j(\vec{E}_r - \vec{E}_b) a \vec{I}_a^*] \quad (17)$$

식 (17)은 다음과 같이 다시 표현될 수 있다.

$$P_{gr} - P_{gb} = (R_r - R_b)[I_m^2 + (aI_a)^2] + \text{Re}(-j \frac{\vec{E}_{ra}}{a} - j \frac{\vec{E}_{ba}}{a}) \vec{I}_m^* + \text{Re}(ja \vec{E}_{rm} + ja \vec{E}_{bm}) I_a^* \quad (18)$$

식 (18)의 오른쪽 두번째항과 세번째항은 다음 과정에 의해 결합되어질 수 있다.

$$\frac{-j}{a} (\vec{E}_{ra} + \vec{E}_{ba}) \vec{I}_m^* = -ja(R_r + R_b + j(X_r + X_b)) \vec{I}_a \vec{I}_m^* = [(X_r + X_b) - j(R_r + R_b)] a \vec{I}_a \vec{I}_m^* \quad (19)$$

$$ja(\vec{E}_{rm} + \vec{E}_{bm}) \vec{I}_a^* = ja[R_r + R_b + j(X_r + X_b)] \vec{I}_a \vec{I}_m^* = -[(X_r + X_b) - j(R_r + R_b)] a \vec{I}_a \vec{I}_m^* \quad (20)$$

폐이서 합의 실수값은 폐이서 실수값들의 합과 같다. 그리고 식 (19)과 식 (20)의 합은 다음과 같다.

$$\frac{-j}{a} (\vec{E}_{ra} + \vec{E}_{ba}) \vec{I}_m^* + ja(\vec{E}_{rm} + \vec{E}_{bm}) \vec{I}_a^* = [(X_r + X_b) - j(R_r + R_b)] a (\vec{I}_a \vec{I}_m^* - \vec{I}_a \vec{I}_m^*) \quad (21)$$

만약 $\vec{I}_a = I_a \epsilon^{j\theta_a}$ 이고 $\vec{I}_m = I_m \epsilon^{j\theta_m}$ 이라면

$$\vec{I}_a \vec{I}_m^* - \vec{I}_a \vec{I}_m^* = \vec{I}_a \vec{I}_m^* (\epsilon^{j(\theta_a - \theta_m)} - \epsilon^{-j(\theta_a - \theta_m)})$$

$$= j2I_a I_m \sin(\theta_a - \theta_m) \quad (22)$$

그러므로, 식 (18)에서 아래와 같은 항은

$$\text{Re}(-j \frac{\vec{E}_{ra}}{a} - j \frac{\vec{E}_{ba}}{a}) \vec{I}_m^* + \text{Re}(ja \vec{E}_{rm} + ja \vec{E}_{bm}) \vec{I}_a^*$$

다음식과 같이 표현되고

$$2aI_a I_m (R_r + R_b) \sin(\theta_a - \theta_m) \quad (23)$$

식 (20)은 다음과 같이 다시 표현될 수 있다.

$$P_{gr} - P_{gb} = [I_m^2 + (aI_a)^2] (R_r - R_b) + 2aI_a I_m (R_r + R_b) \sin(\theta_a - \theta_m) \quad (24)$$

따라서, 발생되는 토크 T_{em} 은 다음과 같다.

$$T_{em} = \frac{1}{\omega_s} [I_m^2 + (aI_a)^2] (R_r - R_b) + 2aI_a I_m (R_r + R_b) \sin(\theta_a - \theta_m) \quad (25)$$

$$T_{em} = f(\theta_{av} - \theta_{mv}) \quad (26)$$

식 (25)에서 발생토크는 주권선과 보조권선의 전류위상각에 의해 가변될 수 있음을 알 수 있다. 그러나 전류위상각은 식(13)과 식(14)에서 전압 위상각의 함수이므로, 식(26)과 같이 발생토크는 전압위상각에 의해 제어될 수 있음을 알 수 있다.

3. 시뮬레이션

주권선과 보조권선의 공급전압 위상각에 의한 토크제어의 타당성을 검증하기 위해 컴퓨터를 통한 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용한 단상유도전동기의 파라미터로써 대우 모터에서 생산하고 있는 세탁기용 모터, 모델 WMOS16의 파라미터이다.

식 (13)과 식(14)의 주권선과 보조권선의 전압크기와 위상각에 의해 식(26)의 발생토크식으로부터 속도변화에 따른 토크특성을 시뮬레이션하였다. 그림 2는 전압위상각을 0° 부터 90° 까지 15° 간격으로 0rpm에서부터 1800rpm까지의 토크특성곡선이다.

표 1 시뮬레이션에 사용한 단상유도전동기의 파라미터

Parameters	Values
고정자 주권선저항(R_{1m})	15[Ohm]
고정자 보조권선저항(R_{1a})	30[Ohm]
고정자 주권선리액턴스(X_{1m})	2.8[Ohm]
고정자 보조권선리액턴스(X_{1a})	2.8[Ohm]
회전자 저항(R_2)	70[Ohm]
회전자 리액턴스(X_2)	2.1[Ohm]
상호 리액턴스(X_m)	66.5[Ohm]

그림 3은 보조권선의 전압위상각에 의한 정역 전시의 토크특성이다.

보조권선의 전압위상각 가변에 의한 발생토크의 시뮬레이션 결과로부터 보조권선의 전압위상각에 의해 토크제어가 가능함을 알 수 있었으며, 콘덴서나 원심력스위치를 사용하지 않고도 높은 기동토크가 발생됨을 알 수 있었다. 그리고 전압위상각의 부호변환에 의해 정역전운전이 가능하며 가속토크제어가 가능함을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

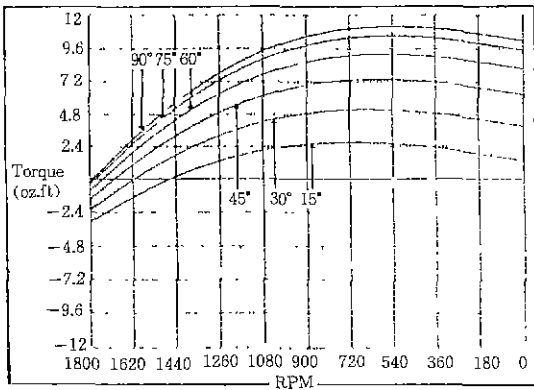


그림 2. 보조권선 전압위상각이 90° 75° 60° 45° 30° 15°일때 토크-스피드 특성곡선(시뮬레이션)
Fig. 2 Torque-speed curves for the auxiliary voltage phase angle 90° 75° 60° 45° 30° 15° (simulated)

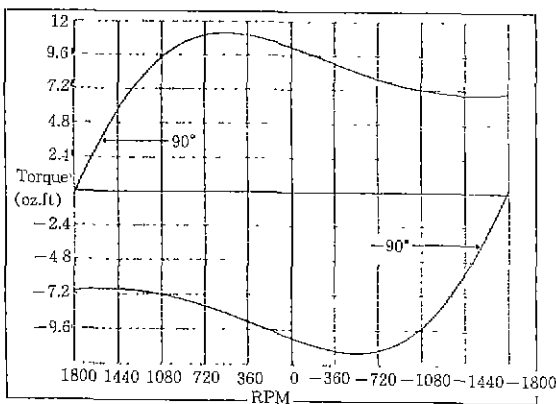


그림 3. 보조권선 전압위상각이 90° -90°일때 토크-스피드 특성곡선(시뮬레이션)
Fig. 3. Torque-speed curves for the auxiliary voltage phase angle 90° -90° (simulated)

4. 토크제어기 설계

단상유도전동기의 주권선은 상용라인에 직접 연결하고 보조권선은 상용라인으로 부터 인버터를 거쳐 원하는 위상각차를 갖는 전압을 보조권선에 공급함으로써 발생토크를 제어하는 토크제어기를 설계하였다. 그림 4는 토크제어기의 전체 구성도이다.

보조권선에 전압을 공급하는 인버터는 다이오드 정류기, 직류콘덴서, 풀브리지 인버터로 구성되어 있다. 여기서 인버터의 스위칭소자는 파워 MOSFET IRF840을 사용하였으며, 제어회로로부터 정현파와 심각파의 비교에 의한 가변위상각 PWM스위칭 패턴에 의해 인버터의 스위칭소자를 구동하도록 하였다. 인버터로 부터 보조권선에 공급되는 전압의 실효치는 100V로 고정하였다. 그림 5는 주권선과 원하는 위상각의 PWM 스위칭 패턴을 발생하는 제어회로의 블럭선도이다.

5. 실험 및 결과

보조권선의 전압위상각에 의해 토크를 가변하는 토크제어기를 제작하여, 전압위상각변화에 따른 발생토크특성을 조사하였다. 실험에 사용한 단상유도전동기는 대우모터에서 제작한 세탁기용 콘덴서운전형 유도전동기 모델 WMOS16을 사용하였다. WMOS16은 110V, 4극, 소비전력

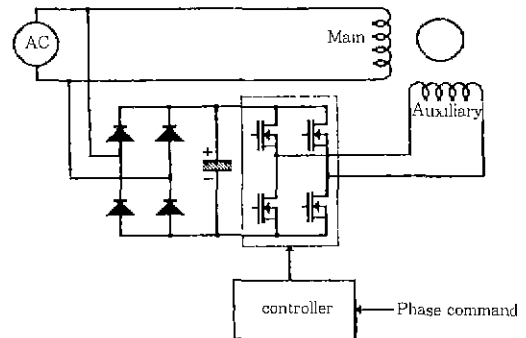


그림 4 보조권선 위상각제어를 위한 토크제어기
Fig. 4 Basic auxiliary winding power circuit

125W이다. 토크측정을 위한 측정기는 ZTEST (Computerized Test System JSL.Corp. in U.S. A)를 사용하였다.

그림 6은 전체 실험장치의 구성도이고 그림 7은 실제 실험장치의 사진이다. 그림 6에서 측정하고자 하는 단상유도전동기를 ZTEST의 다이내모미터에 연결하고 토크제어기로부터 주어진 위

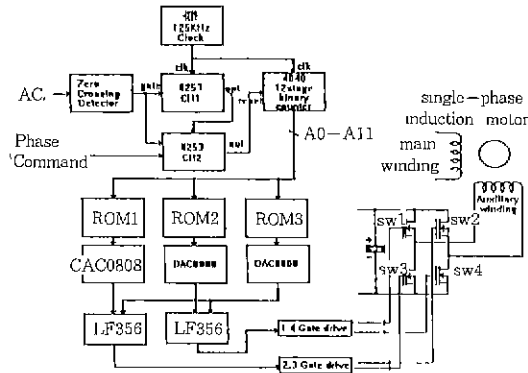


그림 5. 보조권선 제어회로의 블럭선도
Fig. 5 Functional block diagram of the auxiliary winding control circuit

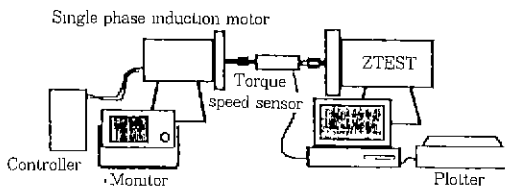


그림 6 실험장치 구성
Fig. 1 Experimental set

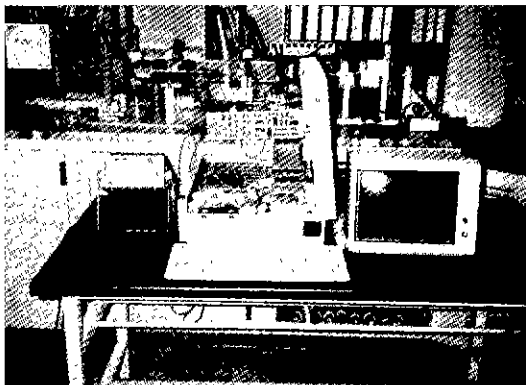


그림 7 제작된 제어기와 실험장치 사진
Fig. 7. Experimental set

상각신호에 의한 보조권선의 전압이 전동기에 공급되면 전동기가 회전하고, 이때 다이내모미터와 전동기 사이에 장치된 토크-스피드 센서로부터 신호가 ZTEST컴퓨터 시스템에서 분석되어 플로터를 통해 출력된다. 실제 주권선과 보조권선의 전압위상각차는 오실로스코프를 통해 모니터링하도록 하였다. 그림 8은 오실로스코프상에 나타난 주권선과 보조권선의 전압위상각을 보여주고 있다.

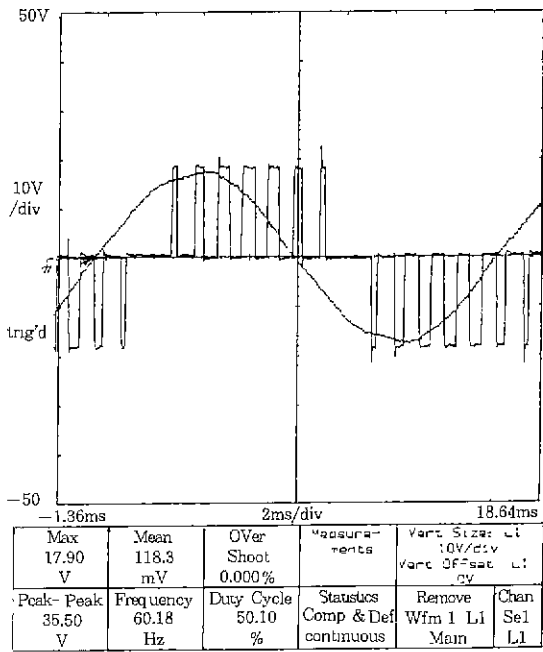
실험은 먼저 전압위상각차를 0° 부터 90° 까지 15° 간격으로 토크제어기에 입력하여 발생하는 토크특성을 ZTEST의 플로터로 출력하였고, 토크제어기를 제거하고 단상유도전동기에 콘덴서를 부착한 상태에서 토크특성을 플로터로 출력하였다. 그림 9는 전압위상각에 의한 각각의 발생 토크곡선이고 그림 10은 전압위상각차 90°에서의 토크곡선과 콘덴서운전시 토크곡선을 비교하여 나타내었다. 그림 11은 ZTEST의 플로터 출력 데이터이다. 표 2는 각각의 토크특성 결과를 표로 나타내었다.

이상의 실험으로부터 보조권선의 전압위상각을 조절하여 발생토크가 가변됨을 알 수 있었고 따라서 단상유도전동기를 사용하는 응용기기들의 속도제어에 적용이 가능함을 알 수 있었다. 또한 전압위상각의 조절에 의해 최대 토크가 가변됨으로써, 부하의 가속비가 쉽게 제어될 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 표 2로부터 전압위상각 90°에서의 토크특성과 콘덴서운전시 토크특성 비교시 전압위상각제어에 의한 기동토크가 콘덴서운전형에 비해 98.5%가 향상되었고 최대토크는 22.6% 향상되었음을 알 수 있었다. 또한

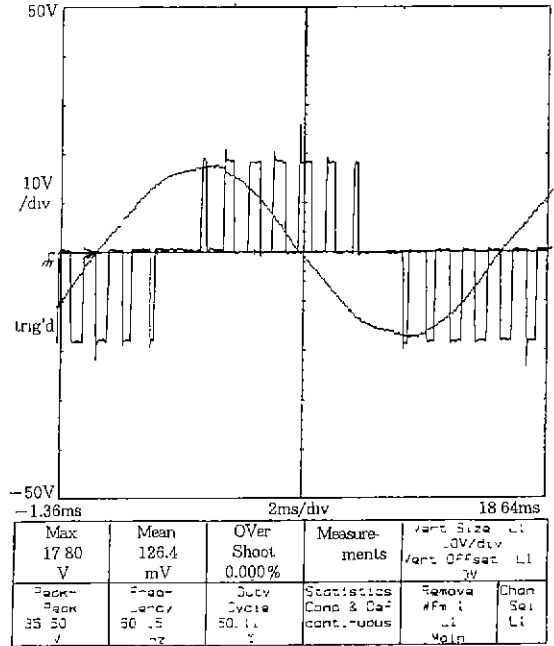
표 2 콘덴서운전형과 가변위상각과의 토크비교 실험결과

Table 2 Torque characteristics of WMOS16 induction motor experimented with aux winding voltage phase angle controller and running condenser

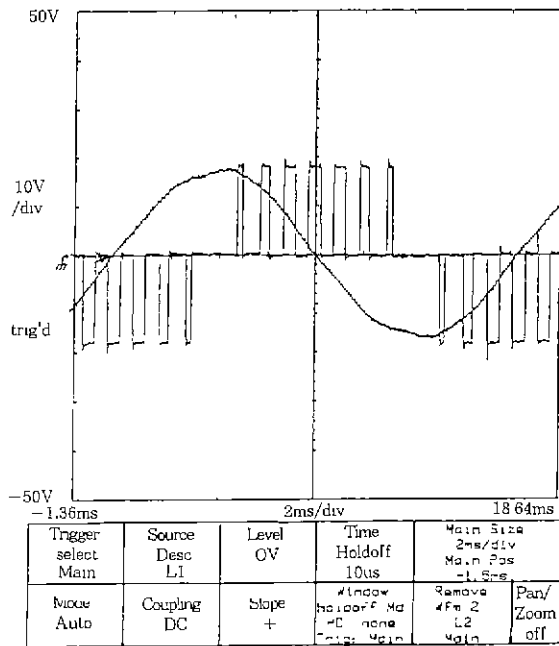
검사항목	단위	가변위상각 실험결과 (90)	콘덴서운전형 실험결과 (20.8 μF)	증감
기동토크	oz.ft	12.21	6.15	↑ 98.5%
최대토크	oz.ft	12.33	10.05	↑ 22.6%



8-(a)



8-(b)



8-(c)

그림 8. 오실로스코프상의 주권선과 보조권선의 전압위상각 (a)30° (b)60° (c)90°
 Fig 8 Voltage phase angle between main winding and aux winding, (a)30° (b)60° (c)90°

효율비교결과 전압위상각 90°에서 효율특성이 콘덴서운전시 효율특성보다 전체 rpm대에서 비교적 높게 나타남을 알 수 있다.

6. 결 론

단상유도전동기의 보조권선 위상각제어에 의

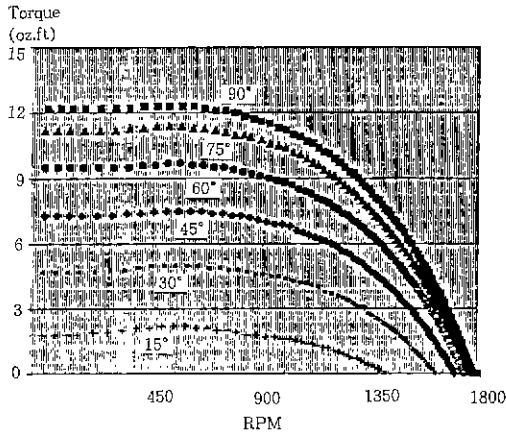


그림 9 전압위상각 15° 30° 45° 60° 75° 90°에서 각각의 토크특성곡선
Fig 9 Torque-speed curves for the auxiliary voltage phase angle 15° 30° 45° 60° 75° 90°

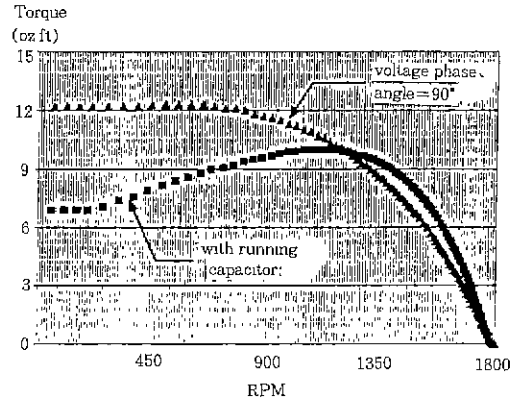
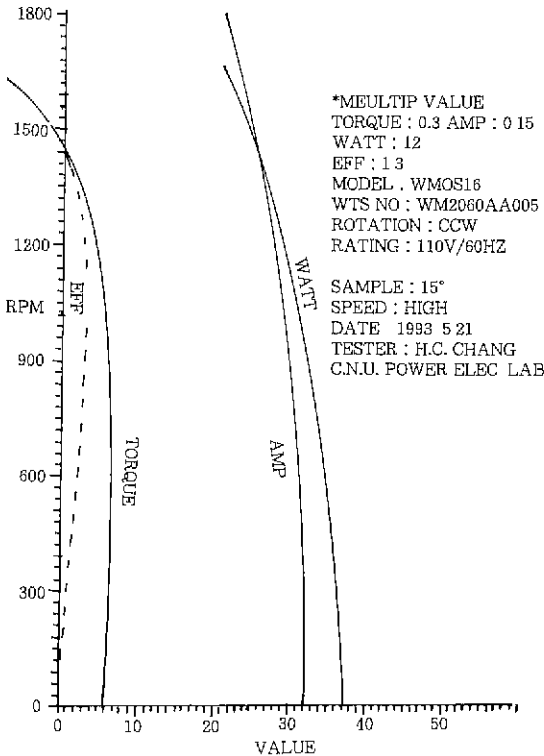
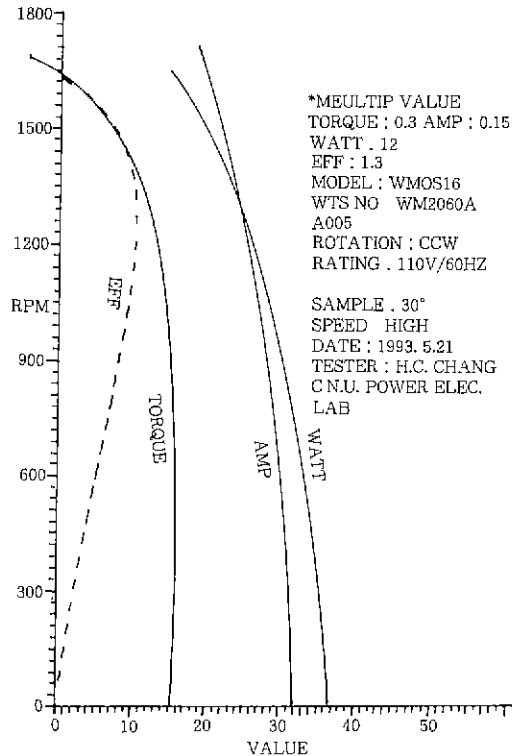


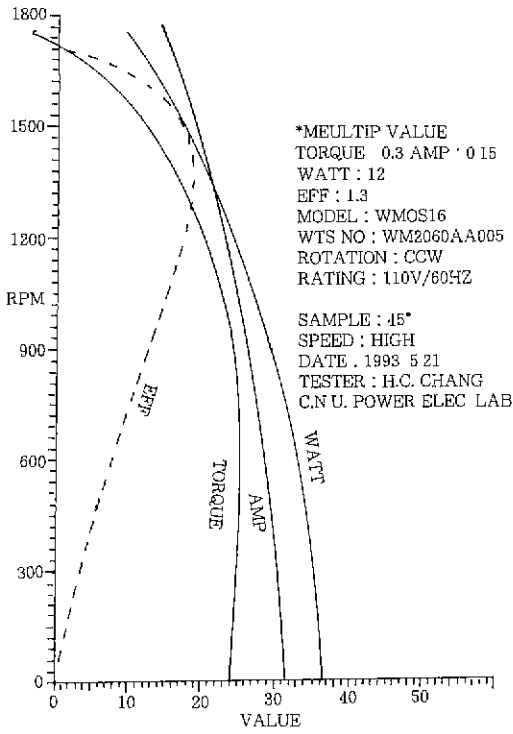
그림 10. 전압위상각차 90°의 콘덴서운전시 토크특성곡선
Fig. 10 Torque-speed curves for the auxiliary voltage phase angle 90° and running condenser



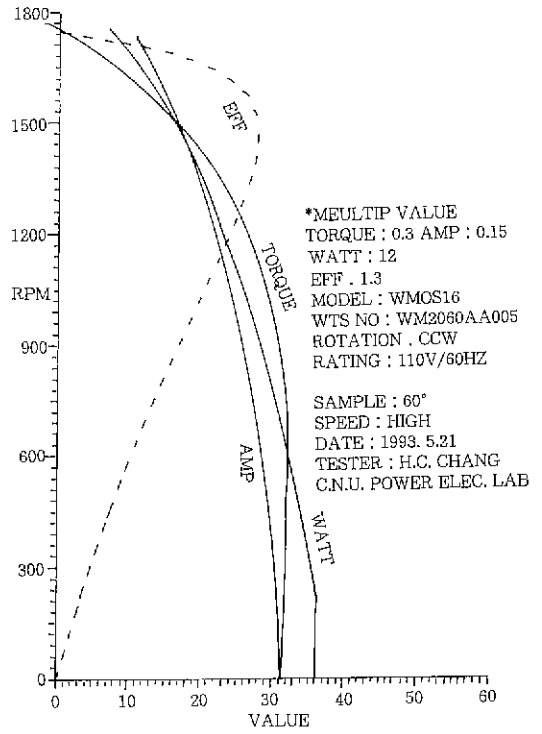
11-(a): 15°



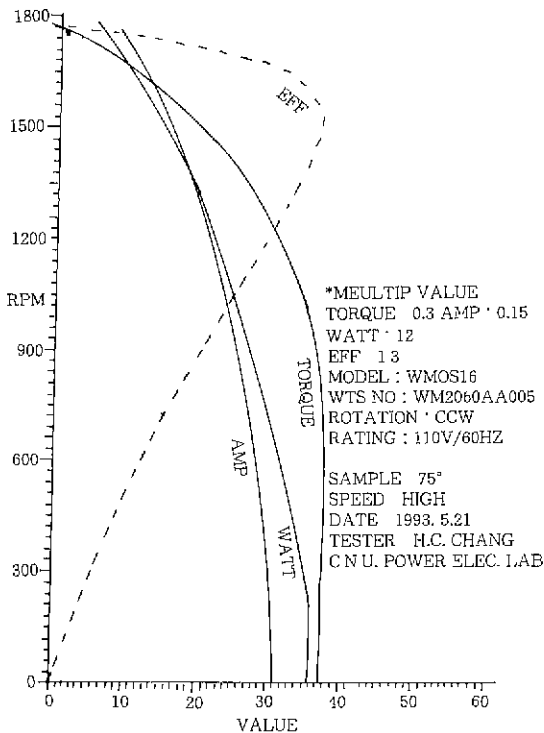
11-(b): 30°



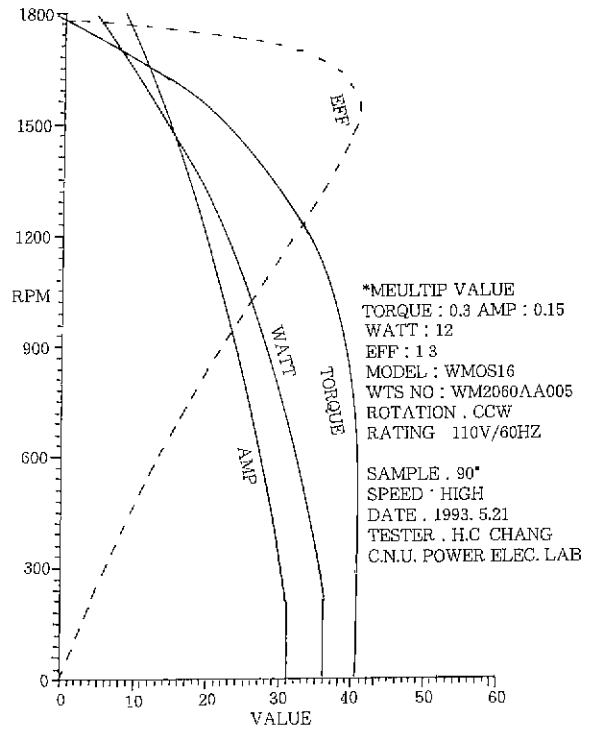
11-(c) : 45°



11-(d) : 60°



11-(e) · 75°



11-(f) : 90°

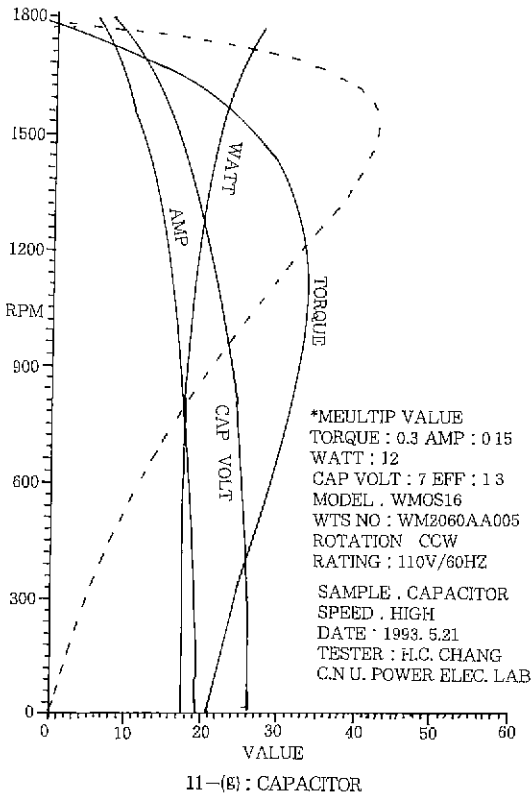


그림 11. 전압위상각 15° 30° 45° 60° 75° 90°와 콘덴서 운전시의 토크스피드 특성곡선의 플로터출력
 Fig 11. Plotter output data of Torque-speed curves for the auxiliary voltage phase angle 15° 30° 45° 60° 75° 90° and running condenser.

한 속도-토크제어에 대한 연구 결과 소용량의 인버터를 이용하여 보조권선의 전압위상각을 가변함으로써 고정부하 및 가변부하에 대해 속도제어가 가능함을 확인하였다. 그리고 표준형 콘덴서운전형에 비해 기동토크가 약 100% 향상되었

으며 표준형 콘덴서운전형에 비해 최대토크가 약 20% 향상되었고 효율부면에서 차이는 거의 없었다. 외부의 방향절환 스위치 없이 위상각제어에 의해 용이하게 정역전이 가능함을 알 수 있었고 위상각의 역전에 의해 제동토크 발생이 가능함을 알 수 있었다. 또한 외부콘덴서나 원심력스위치 등의 부품열화에 의한 신뢰성 저하의 문제점을 개선시킬 수 있고 이들 부품제거에 따라 전동기부피도 감소시킬 수 있으며 실험 편의상 제어기로 사용한 IBM PC 대신에 Z80등의 범용마이크로프로세서를 사용함으로써 적은 제작단가로 토크제어기의 제작이 가능하다. 그러나 저속 운전시 효율이 크게 감소하고 전체적으로 역률이 낮게 나타나는 경향이 있었다. 향후, 이러한 단점을 보완하기 위한 연구가 필요하리라고 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) S.Williamson, D.Peason and A.M.Rugege, "Acoustic noise and pulsating torques in a triac-controlled permanent-split-capacitor fan motor", IEE Proc, vol 128, No 4, pp 201~206, 1981.
- 2) E R Collins, "Operating Characteristics of Single-Phase Capacitor Motors Driven from Variable Frequency Supplies", IAS '91, pp.52~57, 1991
- 3) Leander W Matsch, "Electromagnetic and Electromechanical Machines", John Wiley & Sons, 1987, pp 229~304.
- 4) P S Bimbhra, "Generalised circuit theory Electrical Machines", Khanna Publishers, 1975, pp 351~356.
- 5) B S Gurn, "Revolving-field analysis of capacitor motors with nonquadrature windings", Elec.Mach and Electromechanics, Vol 3, no1m pp 11~20, 1978

◇ 著 者 紹 介 ◇



임 영 철 (任永徹)
 1953년 4월 23일생. 1975년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1977년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전남대 공대 전기공학과 교수



김 광 헌 (金光憲)
 1960년 12월 27일생. 1983년 전남대 공대 계측제어공학과 졸업. 1992년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 전남대 공대 전기공학과 조교수.



최 찬 학(崔燦鶴)

1962년 9월 18일생. 1991년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전남대 대학원 전기공학과 박사 과정.



나 석 환(羅碩煥)

1963년 4월 3일생. 1991년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전남대 대학원 전기공학과 박사 과정.



정 영 국(鄭榮國)

1963년 11월 10일생. 1986년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 전남대 대학원 전기공학과 박사 과정.



장 영 학(張永學)

1960년 3월 1일생. 1981년 전남대 공대 계측제어공학과 졸업. 1984년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 현재 목포대 공대 전기공학과 조교수.



장 학 충(張學忠)

1962년 2월 20일생. 1988년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 대우모터공업주식회사 과장.