

차량용 배터리를 이용한 컨베이어 구동용 인버터 개발

민완기*, 김남오*, 김병철*, 전형석*, 김형곤*, 신석두*, 양인수**
 조선이공대학 전기과, (주)강진컨베이어**

Development of Conveyor Driven Inverter Using Car Battery

W. K Min*, N. O Kim*, B. C Kim*, H. S Jeon*, H. G Kim*, S. D Shin*, I. S Yang**
 Chosun College of Science & Technology, Kangjin Conveyor Company**

Abstract - A novel single-phase induction machine drive containing full bridge inverter is presented. The drive is intended for conveyor system or a similar type of application requiring variable-speed operation with a fan-type load characteristic. An experimental drive based on the proposed setup has been built to verify its practical viability. The paper presents the results obtained from an investigation and discusses the properties and characteristics of the drive for the entire speed range from 0 to 60Hz.

I. 서 론

산업화와 과학기술의 발달로 인간의 생활이 풍요로워짐에 따라 공업, 농·어업, 불류업, 군수업, 가정 등 일상생활에 이르기까지 전 산업분야에서 좀더 편리하고 능률적인 자동화설비가 필수적으로 요구되고 있다.

단상유도전동기는 대부분 출력 400W 이하인 소형기인데 가정용 전기기구인 선풍기·전기세탁기·우물펌프 등은 단상유도전동기를 내장하고 있다.[1] 단상유도 전동기의 가장 간단한 것은 고정축에 단상의 주권선을, 회전축에 농형으로 짜인 도체를 둔 것이지만, 이 구성으로는 시동 토크가 없어 실용할 수 없으므로, 시동 토크를 발생시키기 수가 없었다. 유도전동기의 기동방식으로 콘덴서기동형을 사용하고 있는데 콘덴서 전동기는 그 중의 하나인데 보조권선을 두고, 이것에 콘덴서를 직렬로 넣은 다음 주 권선과 병렬로 하여 전압을 가하는 방식이다. 콘덴서의 회로는 회전자가 가속된 후에는 없어도 되므로 속도가 빨라지면 원심력으로 작용하는 스위치를 사용하여 콘덴서의 회로를 끊는 것과, 운전 중에도 콘덴서를 넣어 둔 상태로 두는 것이 있다. 현재는 후자의 것이 널리 사용되는데, 가정용 세탁기·냉장고·환기팬 등은 대부분 콘덴서 전동기를 사용한 것들이다.[2],[3]

운송수단에 중요한 역할을 담당하는 트럭에 화물을 손쉽게 상·하차시키기 위해 단상유도 전동기를 컨베이어시스템에 사용할 경우 기계적인 시스템들의 단점을 보완할 수가 있다. 최근의 단상유도 전동기 드라브에 연구는 사용한 소자를 감소시켜서 경비를 저감하기 위한 시도들이 진행되어 왔다.[4-8]

본 연구는 컨베이어장치를 구동하기 위한 차량용 직류 전원을 교류전원으로 변환시켜주는 인버터의 목적으로 한다. 인버터를 사용하여 컨베이어 구동용 단상 유도전동기 디지털 제어알고리즘을 새롭게 구현한다. 그리고 DSP(digital Signal Processsor)의 사용하여 유도전동기 및 인버터의 제어를 설계하고 실험을 통하여 입증할 예정이다. 그리고 휴대가 가능한 컨베이어를 개발하여 노동력 절감 및 작업능률을 향상시키고자 한다.

3상이 대칭적인 유도전동기는 운전 하고있는 동안에 고정자의 상 1개를 계속해서 잃어버리는 것으로서, 근본적으로는 단상 유도 전동기이며 고정자의 상 1개는 다른 2개의 상에 연결된 맞은 편 상의 선간 전압에 남아있는 것이다. 아무튼, 유도 전동기를 단상으로 재 시동하기 위해서는 정지 중에 있는 전동기에 어떤 방법을 사용해서든지 회전자계를 공급을 하지 않으면 안 된다. 매우 작은 단상 유도전동기는 숨겨진 극(shaded-pole)을 이용해서 공급된 회전자계 성분으로 단상 전압에 의해 운전하게 된다. 숨겨진 극에서의 단락된 회로가 고정자 극의 숨겨진 부분을 통해 시간에 따라 변하는 자속 성분으로서 지연을 일으킨다. 따라서, 자속은 극의 숨겨진 부분에 속하기에 앞서서 보이는 극에 구속되어 있는 것이다.

분할된 상(Split-phase)을 가지는 단상유도전동기에 동일한 AC전원이 주 권선과 함께 보조 권선이 병렬로 결선 되었을 때는 보조 권선의 전류가 주 권선의 전류를 앞서게 된다. 어떻게든, 그림 1과 그림2 에서 보여 주는 것과 같이 조금 더 큰 단상 유도 전동기에 있어서의 콘덴서 기동전동기에서는 보조 권선과 직렬로 콘덴서를 연결함으로써 전류를 앞서게 할 수 있다. 고정자의 주 권선과 보조 권선의 축들은 서로 직각을 이루고 있으며, 살펴보는데 있어서도 간단하다. 또한 그림 3에서 보여 주는 것처럼 고정된 q-d축은 물리적인 권선 들의 직각 축으로 일치되어 있다. 만일에 주 권선과 보조 권선축의 코일이 동일한 슬롯에 있다는 해도 둘 사이에는 무시해도 좋은 만큼의 적은 량일 것이다.

콘덴서 기동전동기에서의 기동용 콘덴서는 회전자의 미리 정해진 절체 속도에 도달 할 때까지 연결되고, 그 콘덴서와 ds권선은 공급 전압으로부터 분리된다. 또한 최적으로 주어진 기동용 콘덴서는 시동 초기에 ds 권선의 전류가 qs권선의 전류를 앞서게된다. 그림 4에서와 같이 콘덴서는 기동용과 운전용의 2가지가 사용되는데, 소용량의 작은 운전용 콘덴서는 ds권선과 직렬로 회로상에 영원히 연결되어 있으며, 어떤 정상적인 운전 중에서 최적의 출력 토오크를 얻을 수 있다. 그리고, 기동 중에 운전용 콘덴서에 병렬로 연결된 큰 용량의 콘덴서는 시동시에 출력 토오크를 개선 하지만 회전자의 속도가 미리

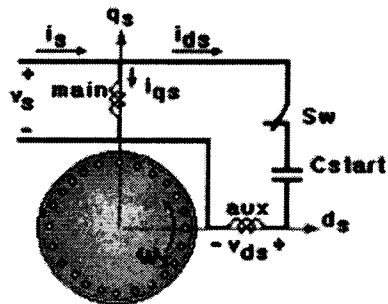


그림 1 콘덴서 기동 단상 유도전동기

II. 시스템 구성

1. 단상유도전동기의 모델링

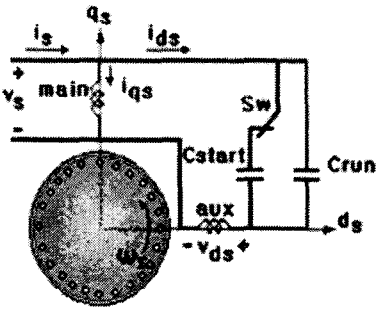


그림 2 콘덴서기동 및 운전 단상 유도전동기

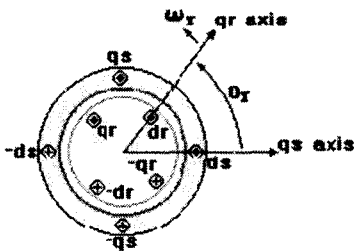


그림 3 단상 유도전동기의 이상적인회로 모델

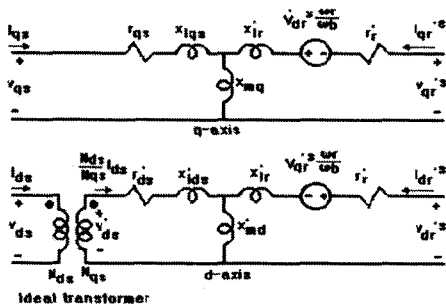


그림 4 단상 유도전동기의 등가 회로

정해놓은 절체속도에 도달하면 분리된다.

2. 단상 인버터의 구조

단상 인버터는 H 모양의 브릿지(Bridge)로 구성되어지며, 전력 소자를 간단하게 스위치로 표시하면 그림 3.1과 같이 나타낼 수 있다. 단상 인버터는 그림 5에 나타낸 것과 같이 4개의 Status를 가지고 운전하게 된다.

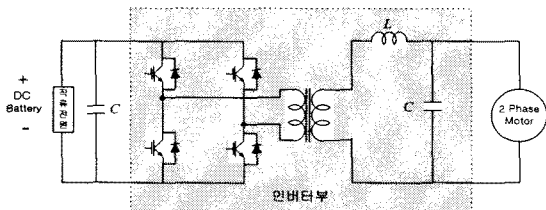


그림 5 단상 H-Bridge의 인버터의 구성도

그림 5에서 State 1과 State 3을 반복하게 되면 구형파 인버터가 되고 4개의 State를 모두 적용하게 되면 스텝 구형파로 나타나게 된다. 이렇게 부하(Load)에 인가되는 전압을 제어하여 부하에 인가되는 전력을 제어하게 되는

데 부하의 고조파 성분을 분석하여 비교하여 보면 스텝 구형파로 인가될 경우 보다 정현파에 가깝다고 볼 수 있고 보다 교류라고 할 수 있다.

그림 6은 PWM방식은 펄스의 폭을 변화시켜 출력전압의 크기를 변화시키는 방식으로 고조파성분을 감소시켜 파형이 정현파에 가깝게 출력 파형을 만들 수 있다. 단상 교류 전동기를 정상적으로 기동하고 구동시키기 위해 입력 전압과 부하의 변화에 대해서 펄스의 폭(on-off 시간비율 : Duty ratio 변조율)을 변화시킨다.

그림은 펄스 폭의 변화에 따른 출력전압의 기본파의 크기를 나타낸 것이다. 본 시스템에서는 6[kHz]의 스위칭 주파수를 사용하였다.

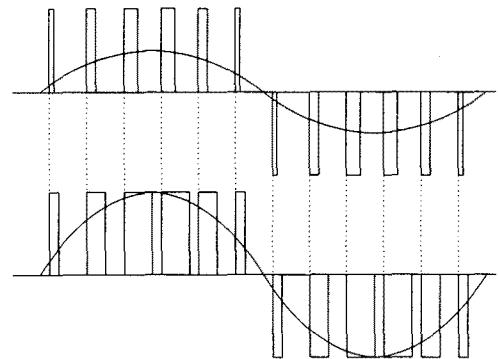


그림 6 펄스폭변조(PWM)

IGBT의 on/off는 기본적으로 기준 파형(reference wave)과 캐리어 파형(carrier wave)의 비교로서 결정된다. 기준 파형으로는 정현파(sin wave)가 사용되고, 캐리어 파형으로는 삼각파(triangular wave), 변형된 삼각파(modified triangular wave), 사다리꼴파(trapezoidal wave) 등이 사용된다.

그림 6은 정현파의 1주기에 대한 6주기의 삼각파의 비교 동작을 보인다. 이것은 가장 널리 쓰이는 PWM기법으로서, 캐리어 주파수를 높이면 정현파에 가까운 파형을 얻을 수 있으며 고조파도 줄일 수 있다. 정현파가 삼각파보다 큰 구간은 암의 위쪽 스위치인 U+가 ON(U-는 OFF), 삼각파가 정현파보다 큰 구간은 아래쪽 스위치인 U-가 ON(U+는 OFF)동작을 행한다. 본 시스템에 사용된 정현파 기준치는 60[Hz]를 사용하였다.

3. 제어기의 구성

단상 VVVF를 위한 제어기로서 32bit DSP인 TMS320C32를 사용하였다. 제어기는 크게 CPU 메인 보드와 인터페이스를 위한 보드, 그리고 D/A 출력보드로 나뉘어져 있다. 인터페이스 보드는 디지털 입출력 부분, 그리고 아날로그 입출력 부분으로 나눌 수 있다. 이 절에서는 제작된 제어기의 각 부분의 회로에 대하여 간략하게 설명하고 자세한 회로도에는 부록에 첨부하기로 한다.

그림 6은 제어기의 전체적인 구성을 보여준다. 그림에서와 같이 CPU 보드는 TMS320C32를 중심으로 부트로더용 EPROM, 2개의 64k 워드 x 16 Bit 고속 sram의 주기억장치등으로 이루어져 있다. 또한 인터페이스 보드는 전압, 전류 Feedback을 위한 8 Channel A/D 컨버터, 시스템의 상황을 확인하기 위한 LED 표시부분, 그리고 제어기로부터 Analog값을 출력하여 제어 변수등을 확인할 수 있도록 동시 8Channel의 전압 출력 D/A 컨버터로서 구성되어 있다. 또한 메모리 디코딩과 Gating signal의 생성, 그리고 각종 디지털 입력을 처리하는 로직회로를 구성하고 각종 보호장치를 위하여 FPGA인 Xilinx 사의 XCS40-PQ208을 사용하였다.

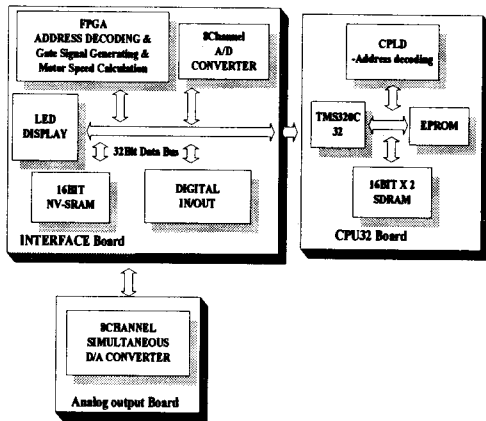


그림 6 제어기의 구성

(1) CPU 메인 보드

메인 보드는 CPU와 클럭발생, 리셋 회로, 그리고 주기억 장치인 SRAM으로 구성되어 있다. 또한 전체적인 회로의 어드레스 디코딩과 게이트 출력, 그리고 디지털 입력 등의 로직 회로를 위해 CPLD인 Xilinx 소자를 사용하였다. CPU에는 기본적으로 전압 감시 회로, 클럭발생부분, 그리고 에뮬레이터를 위한 콘넥터 연결 부분등이 있으며, 또한 32비트의 Data버스와 24비트의 어드레스 버스가 있다. 그 외에 외부 인터럽트 핀들과 ready 제어 핀, 그리고 외부 버스를 컨트롤하는 -STRB핀등이 있다. 이러한 CPU의 주변 구성 요소들은 하나하나가 제어보드에서 전체의 동작에 중요한 역할을 하므로 간단하지만 매우 중요하다.

III. 실험결과

입력전원으로 직류 24[V]를 입력받아 단상 교류 전동기를 구동시키기 위해서는 DC 전압을 단상 AC(교류)전압으로 변환시키는 회로가 필요하다. 이는 여러 가지 방법으로 가능할 수 있겠으나, 본 연구에서는 PWM제어를 통하여 교류전압으로 변환시키는 단상 VVVF 인버터를 구성하였다. 다음 표 1은 단상 VVVF 인버터의 사양을 나타낸다. 단상 VVVF 인버터의 부하는 단상 유도전동기로서 그 용량이 400[W]이므로 단상 VVVF 인버터의 용량도 400[VA]로 설계하였다. 표에서 알 수 있듯이 기본적인 사양으로 단상 VVVF 인버터는 DC 24[V]의 전압을 입력받아 교류 220[V]를 출력하여 단상 유도전동기를 구동하는 것이다. 그리고 베이어 구동용 유도전동기 제어를 위한 제어기로는 TMS320C32칩을 이용한 DSP 제어보드를 사용하였으며, 속도 센싱이나 전류 피드백을 위한 아날로그 및 디지털 입력 보드가 따로 구성되어 랙(Rack)타입으로 제어보드와 데이터를 입출력하도록 하였

표 1 단상 인버터의 사양

항 목	사 양
정격 용량	400 [VA]
입력 전압	24Vdc
냉각 방식	열전도 방식에 의한 강제냉각방식
주파수	60±1Hz
출력 상수	단상
정격 출력	교류출력 단상 220V
소 음	65dB 이하
주위 온도	-25℃ ~ +40℃
주위 습도	40% ~ 95%

표 2 단상유도전동기 사양

항 목	사 양
정격 용량	400 [W], 1/2HP
극 수	4극
전 압	110/220[V]
주파수	60Hz
전 류	9/4.5[A]
기동전류	45/25[A]
회전수	750[rpm]
효 율	59[%]
콘덴서용량	200[uF]

다. 표 2 실험에 사용된 단상유도전동기 사양이다 그림 7은 6kHz 스위칭시 인버터 출력전압과 전류 파형들로 기동시 V/F제어가 잘 되고 있음을 보여주고 있다. 그림 8은 6kHz 스위칭시 정상상태의 인버터 출력 전압, 출력전류, DC링크전압, DC입력전류를 보여주고 있다. 그림 9는 6kHz 스위칭시 인버터 출력전압과 전류파형을 보여주고 있고 그림 10은 6kHz 스위칭시 인버터 출력전압과 PWM출력 전압파형이다. 그림 11은 6kHz 스위칭시 인버터 출력전압과 전류의 고조파 스펙트럼으로 (a)는 인버터 출력전류THD가 4.8%, (b)는 인버터 출력전압 THD가 3.3%이다. 그림 6. 12는 컨베이어 구동용 인버터시스템 이고 그림 13은 실험에 사용된 컨베이어 시스템의 구성도이다.

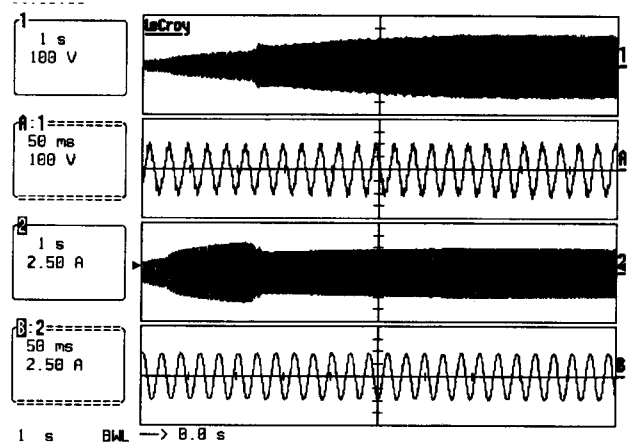


그림 7 인버터 출력전압과 전류(6kHz 스위칭) (1: 출력 전압, A: 출력전압 확대, 2: 출전류, B: 출력전류 확대)

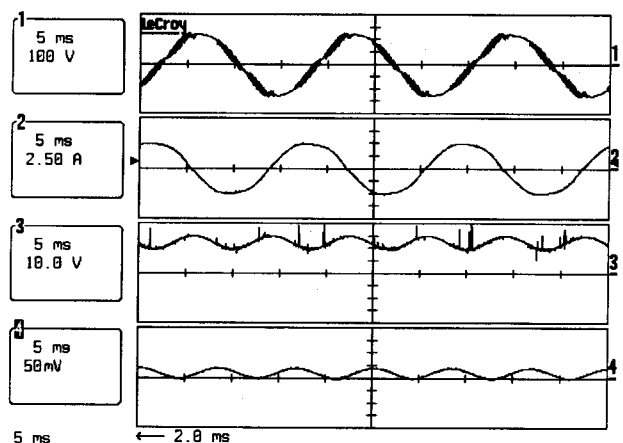


그림 8인버터 입출력 단의 파형(6kHz 스위칭) (1: 출력 전압, 2: 출력전류, 3: DC링크전압, 4: DC입력전류)

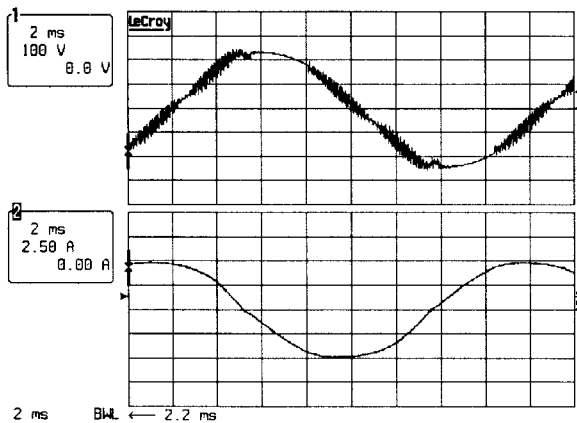


그림 9 인버터 출력전압과 전류파형(6kHz 스위칭)(1: 출력전압, 2: 출력전류)

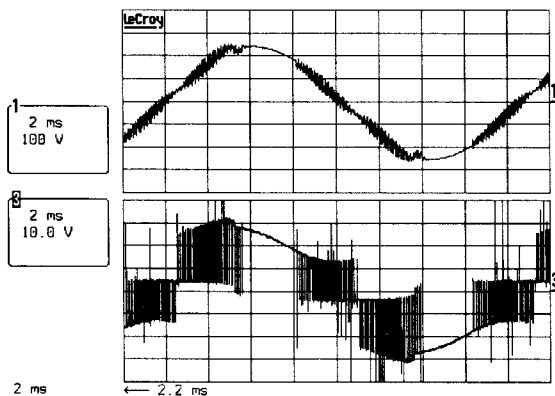


그림 10 인버터 출력전압과 PWM출력 전압파형(6kHz 스위칭) (1: 출력전압, 2: PWM출력 전압파형)

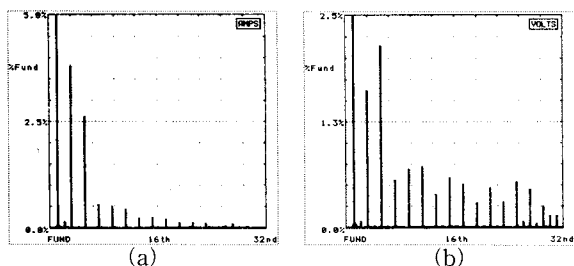


그림 11 인버터 출력전압과 전류의 고조파 스펙트럼 (6kHz 스위칭) (a) 인버터 출력전압 THD(4.8%) (b)인버터 출력전압 THD(3.3%)

IV. 결 론

본 연구는 컨베이어용 고효율 인버터 개발하여 차량 직류전원을 이용한 단상유도전동기를 사용한 컨베이어 구동이 가능하였다. 제안된 단상유도전동기 제어는 속도제어를 위한 V/F제어기법과 PWM제어는 TMS320C32을 이용하여 전 디지털로 구현하였으며 실증실험을 통하여 안정적인 제어에 의한 원활한 기동능력 및 기동특성을 확인할 수 있었다.본 연구를 통하여 단상유도전동기 모델링, 유도전동기에 대한 시뮬레이션, 출력전압 전류의 낮은 THD 등을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 개발된 인버터를 사용하여 상·하차용 컨베이어에 응용 및 사업화를 통하여 농어촌지역과 군부대 등 교류전원이 없는 지역에서 활용하여 노동력과 화물의 상·하차 시간을 절감함으로써 운송비 절감 할 수 있을 것으로 판단된다.

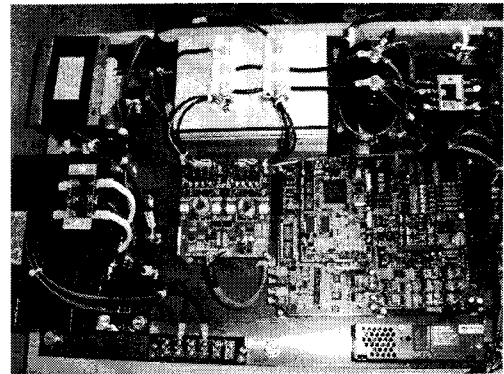


그림 12 컨베이어 구동용 인버터시스템



그림 13 실험에 사용된 컨베이어 시스템

REFERENCES

- [1] H. N. Hickok, "Adjustable speed-a tool for saving energy losses in pumps, fans, blowers, and compressors," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 21, pp. 124-136, Jan./Feb. 1985.
- [2] B. A. Welchko and T. A. Lipo, "A novel variable frequency three-phase induction motor drive system using only three controlled switches," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, 2000, pp. 1468-1473.
- [3] J. Klima, "Analytical model of induction motor fed from four-switch space vector PWM inverter. Time domain analysis," Acta Tech. CSAV, vol. 44, pp. 393-410, 1999.
- [4] D. G. Holnws and A. Kotsopoulos, "Variable speed control of single and two phase induction motors using a three phase voltage source inverter," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, 1993, pp. 613-620.
- [5] L. Julian, R. S. Wallace, and P. K. Sood, "Multi-speed control of single phase induction motors for blower applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 10, pp. 72-77, Jan. 1995.
- [6] N. P. van der Duijn Srhouten, B. M. Gordon, R. A. McMahon, and M. S. Boger, "Integrated drives as single-phase motor replacement," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, 1999, pp. 922-928.
- [7] M. B. R. Correa, C. B. Jacobina, A. M. N. Lima, and E. R. C. da Silva, "Single-phase induction motor drives systems," in Proc. IEEE APEC'99, vol. 1, 1999, pp. 403-409.
- [8] E. R. Benedict and T. A. Lipo, "Improved PWM modulation for a permanent-split capacitor motor," in Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, 2000, pp. 2004-2010.

본 연구는 2003년 중소기업 기술혁신과제의 연구비에 의해 수행되었음