



### 3. RPWM의 구현

실험에서 사용된 RPWM 기법은 Offset을 이용한 전압 변조 방식의 SVPWM[5]기법에 적용하였으며, 각 상의 지령치는 PWM 신호를 발생하기 위하여 PWM 값으로 환산되어 EPLD에 보내지게 된다.

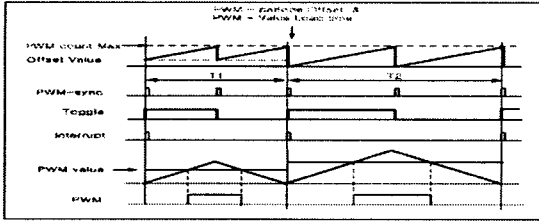


그림 2 주파수 가변 RPWM을 구현하기 위한 EPLD Fig 2. EPLD of RFPWM

그림 2는 주파수 가변 RPWM을 구현하기 위해 8bit 카운트의 초기값에 Offset값을 임의로 Load 하여 RPWM을 구현하는 것을 보여 준다. T1 주기는 Offset 값을 임의의 값으로 준 경우이고 T2 주기는 Offset을 0으로 준 경우이다.

T1 주기가 T2 주기보다 Offset 값만큼 줄어드는 것을 볼 수 있으며, 본 실험에서는 14.7kHz ~ 16kHz 사이에서 스위칭이 되도록 하였다.

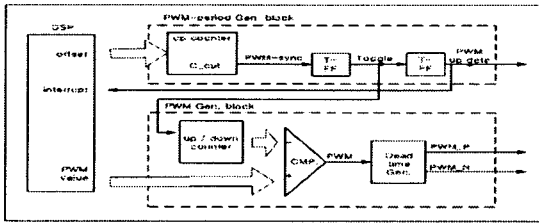


그림 3 PWM 발생 블록도 Fig 3 PWM generation block

그림 3은 PWM 발생 블록도이다. 일반적인 전압지령치의 PWM 카운트 값은 식(1)과 같이 정해진다.

$$V^*_{-cnt} = V^* * \frac{PWM\_CNT\_MAX}{Vdc/2} \quad (1)$$

그러나, RPWM의 전압 지령치의 PWM 카운트 값은 식(2)와 같이 최대 PWM 카운트 값에서 Offset 값만큼 줄어든 값이 8bit 카운터에 LOAD 된다.

$$V^*_{-cnt} = V^* * \frac{PWM\_CNT\_MAX - Offset\ Value}{Vdc/2} \quad (2)$$

그림 4는 PWM 랜덤 주기 발생 회로 부분이고, 그림 5에서는 PWM 주기가 가변되고 있음을 보여주는 시뮬레이션 결과이다.

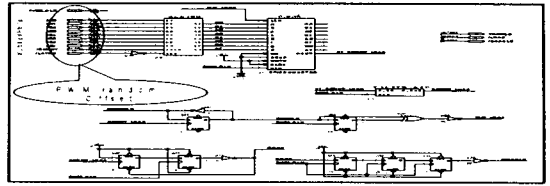


그림 4 PWM random Offset 값에 의한 스위칭 주파수가변 PWM 회로도

Fig 4. Random Frequency PWM simulation Block by random offset

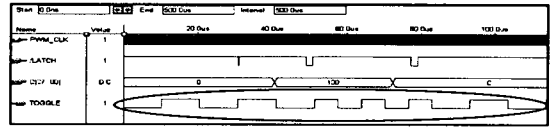


그림 5 PWM 주기 가변 시뮬레이션 결과 Fig 5. Output waveform of RPWM

표 1은 풀 브리지 인버터의 파라미터이다. 제어부 구성은 PI제어기를 이용하였다.

표 1. 인버터 파라미터 Table 3. Inverter parameters

파라미터	값
용량	760 [W]
입력 전압	380 [Vdc]
출력 전압	220 [Vac]
스위칭 주파수	16 [kHz]
출력 인덕턴스(L)	900 [uH]
출력 커패시턴스(C)	20 [uF]

### 4. 시뮬레이션 결과

그림 6은 RPWM 구현을 위한 3상 전압형-인버터 구동 유도 전동기 시스템의 회로도이다. 삼각파 주파수의 변경은 DLL 블록을 이용한 C-언어로 구현하였다.

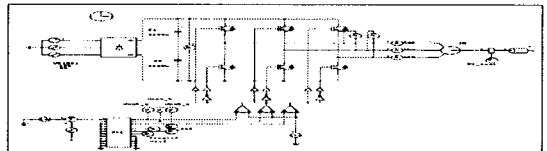


그림 6 RPWM 구현을 위한 3상 전압형-인버터 구동 유도 전동기 시스템 Fig 6. Block of 3-phase voltage fed inverter system for operating RPWM

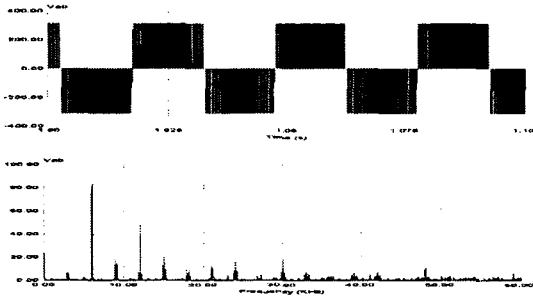


그림 7 V/f 운전의 선간전압 및 FFT 분석  
 Fig 7. FFT analysis of line to line voltage on v/f mode  
 위[200V/div], x축[ 10kHz/div], y축[ 20V/div]

그림 7은 V/f 운전의 Offset을 이용한 SVPWM 기법에서의 선간 전압 및 FFT 분석 결과이다. FFT 분석 결과를 보면 스위칭 주파수의 정수배 주파수에서 집중적으로 고조파 성분이 발생되고 있음을 알 수 있다.

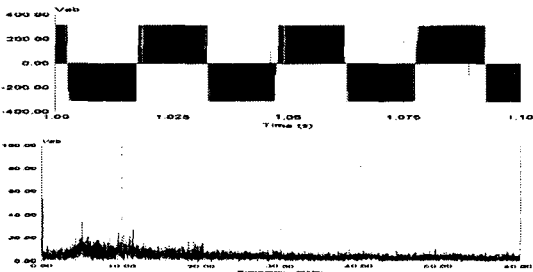


그림 8 V/f 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석  
 Fig 8. FFT analysis of line to line voltage on RPWM and v/f mode  
 위[200V/div],x축[ 10kHz/div], y축[ 20V/div]

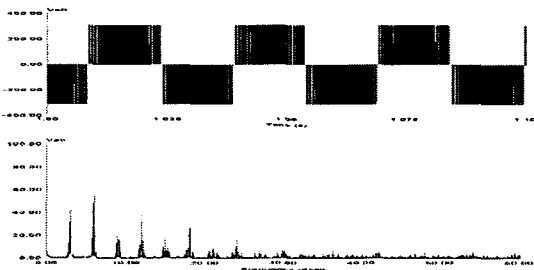


그림 9 슬립 주파수 운전의 선간전압 및 FFT 분석  
 Fig 9. FFT analysis of line to line voltage on slip control mode  
 위[200V/div], x축[ 10kHz/div], y축[ 20V/div]

그림 8은 V/f 운전에 RPWM 기법을 적용했을 때의 FFT 분석이다.

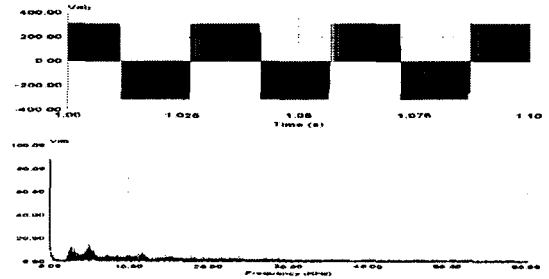


그림 10 슬립 주파수 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석  
 Fig 10. FFT analysis of line to line voltage on slip control mode and RPWM  
 위[200V/div] x축[ 10kHz/div], y축[ 20V/div]

일반적인 PWM 기법에서 스위칭 주파수에 집중된 고조파 성분이 광대역 주파수 영역으로 고르게 분포되었음을 볼 수 있다.

그림 9는 속도 제어가 가능한 슬립 주파수 운전에서의 RPWM의 영향을 보기 위한 선간 전압의 FFT 분석 파형이다.

V/f 운전과 동일한 조건에서 슬립주파수 운전의 RPWM시 선간전압을 FFT 분석한 파형이다.

그림 10은 슬립 주파수 제어에 RPWM 스위칭 기법을 적용하였을 때의 선간 전압과 FFT 분석한 파형이다. 슬립 주파수 운전에서도 V/f 구동 시와 같이 고조파 성분이 광대역 주파수로 분산되었음을 확인 할 수 있다.

그림 11은 인버터의 출력 전압 전류 시뮬레이션 파형이다.

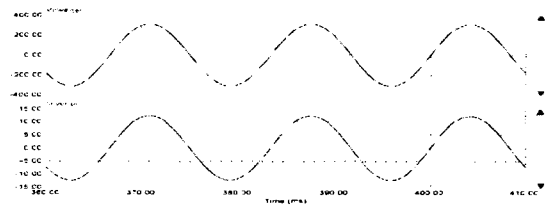


그림 11 인버터 출력 전압 전류  
 Fig 11. Inverter output voltage & current

## 5 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 구현한 RPWM 기법의 타당성을 입증하기 위하여 모토로라 DSP56F803 과 750W 3상 유도전동기로 실험 세트를 구성하였다.

### 5.1 선간 전압의 FFT 분석

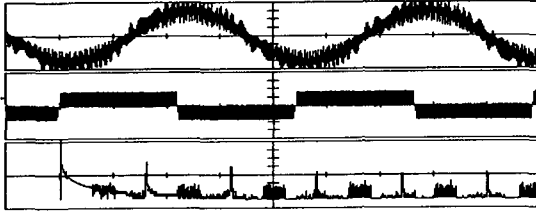


그림 12 V/f 운전시 선간전류 및 전압, FFT 분석  
 Fig 12. FFT analysis of line to line voltage on v/f mode  
 위 [1A/div], [200V/div]x축 [5kHz/div], y축 [9.2dBm/div]

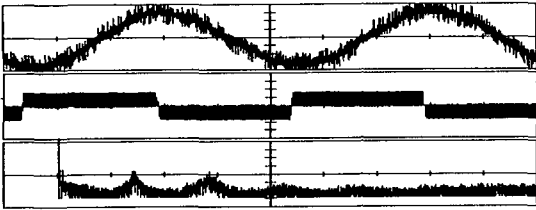


그림 13 V/f 운전의 RPWM시 선간전압 FFT 분석  
 Fig 13. FFT analysis of line to line voltage on v/f mode and RPWM  
 위 [1A/div], [200V/div], x축 [5kHz/div], y축 [9.2dBm/div]  
 그림 12는 V/f 운전의 선간전류 및 전압 그리고 전압의 FFT 분석결과이다. 시뮬레이션과 동일하게 실험

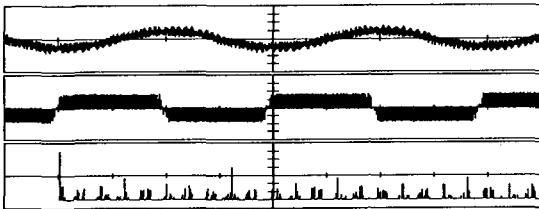


그림 14 Slip 제어의 선간전압 및 전류, FFT 분석  
 Fig 14. Line to line current and voltage, FFT analysis on slip control.  
 위 [1A/div], [200V/div], x축 [5kHz/div], y축 [9.2dBm/div]

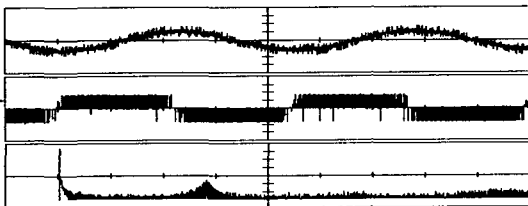


그림 15 Slip 주파수 운전의 RPWM시 선간전압 및 FFT 분석  
 Fig 15. Line to line current, voltage and FFT analysis  
 위 [200V/div] x축 [5kHz/div], y축 [50V/div]

결과에서도 스위칭 주파수의 정수배에 고조파 성분이 집중되어 있음을 알 수 있다.

그림 13은 V/f 운전의 RPWM시 선간전류 및 전압

그리고 전압의 FFT 분석결과이다. 기존의 PWM 스위칭시 집중된 고조파 성분이 광대역으로 분산, 분포되었음을 확인 할 수 있다.

그림 14는 슬립 주파수 운전의 선간전류 및 전압 그리고 전압의 FFT 분석 파형이고, 그림 15는 슬립 주파수 운전의 RPWM시 선간전류 및 전압 그리고 전압의 FFT 분석 파형이다.

RPWM을 적용했을때 집중된 고조파 성분이 광대역으로 분포되고 있음을 볼 수 있다.

## 5.2 스위칭 소음 측정

소음 및 진동 측정은 프랑스 OROS사의 OR25 PC-Pack II장비를 사용하였고 A-가중치 1/3 옥타브 분석을 행하였다.

표 2 실험 대상 시스템 정격

Input voltage	1 Ø 220	V
Switching frequency	16	kHz
DC-link voltage	311	V
Main controller	DSP	DSP56F803
Rated voltage	220/380	V
Rated current	3.4/1.9	A
Rated power	750	W
Rotated speed	3600	rpm
Pair pole number	2	

그림 19와 20은 V/f 운전(5680rpm)에서 RPWM을 적용하지 않을 때와 적용했을 때의 스위칭 소음 측정 결과이다. 소음 측정 결과 가장 높은 옥타브 부분이 약 3kHz 부분인데 약 8[dBA]정도의 저감 효과를 보였다.

전체 스위칭 소음은 65.13[dBA]에서 61.79[dBA]로 약 3.34[dBA]만큼 감소하였다.

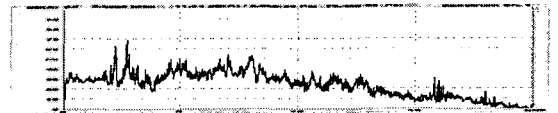


그림 19 V/f 운전의 스위칭 소음 측정 결과

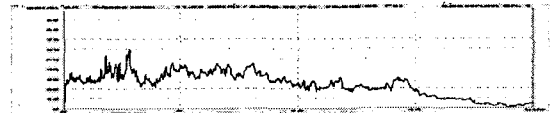


그림 20 V/f 운전의 RPWM시 스위칭 소음 측정 결과  
 Fig 20. Measurement of acoustic noise on v/f and RPWM mode

그림 21과 22는 슬립 주파수 제어(765rpm)에서 RPWM을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 파형이다. V/f 운전때와 마찬가지로 약 6kHz에서의 소음 감소가 현저하게 나타났으며 전체 스위칭 소음은

66.44[dBA]에서 64.43[dBA]로 약 2.01[dBA]만큼 감소하였다.

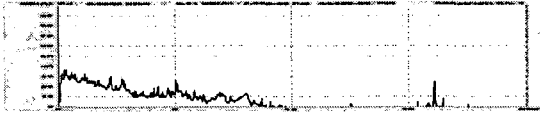


그림 21 슬립 주파수 운전의 스위칭 소음 측정결과  
Fig 21. Measurement of acoustic noise on slip mode [10dBA/div]

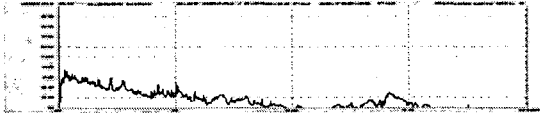


그림 22 슬립 주파수 운전의 RPWM시 스위칭 소음 측정결과  
Fig 22. Measurement of acoustic noise on slip and RPWM mode [10dBA/div]

### 5.2.1 기계적 진동 측정

그림 23과 24는 V/f 운전(5680rpm)에서 RPWM을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 기계적 진동을 측정 한 결과이다.

진동 측정 결과 RPWM 적용시 전체 진동 크기가 감소하였음을 알 수 있다.

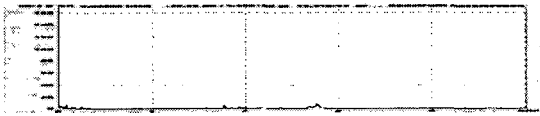


그림 24 V/f 운전의 RPWM시 기계적 진동 측정 결과  
Fig 24. Measurement of vibration on v/f and RPWM control [0.05g/div]

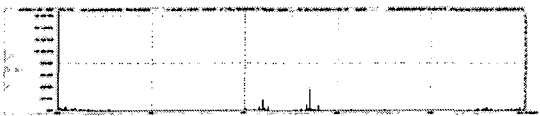


그림 23 V/f 운전의 RPWM시 기계적 진동 측정 결과  
Fig 23. Measurement of vibration on v/f and RPWM control [0.05g/div]

그림 25와 26은 슬립 주파수 운전(765rpm)에서 RPWM을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 기계적 진동을 측정 한 결과이다.

보시는 바와 같이 세탁모드에서는 진동이 거의 없음을 볼 수 있다.

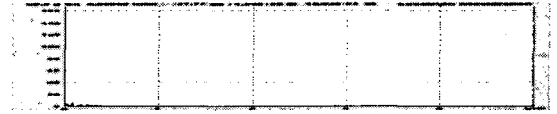


그림 26 슬립 주파수 운전의 RPWM시 기계적 진동  
Fig 26. Measurement of vibration on slip and RPWM control [0.05g/div]

## 6. 결 론

본 논문에서는 PWM 인버터 유도 전동기 구동시스템에서 전도노이즈와 스위칭 소음 및 기계적 진동을 저감하는 새로운 RPWM 기법을 제안하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 제안된 RPWM 기법을 적용하여 드럼세탁기 세탁모드시 소음 진동의 저감효과를 얻었다. 즉, 모터 구동시 발생하는 스위칭 소음 및 기계적 진동이 감소되는 것을 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다.

2) 제안된 RPWM을 소프트웨어적인 방법인 EPLD 로직으로 설계 구현하여 인버터 성능의 신뢰성 및 편리성을 확보하였다.

향후 계획으로 새로운 RPWM 기법 및 단일 마이크를 이용하여 세트실험을 할 예정이다.

본 기술내용은 삼성 미래가전센터의 연구비지원(2003-0656-800)에 의하여 연구되었음.(2003.09~2004.08)

## 참 고 문 헌

- [1] J. Erdman, R. J. Kerkman, D. W. Schlegel, and G. L. Skibinski, "Effect of PWM Inverters on AC Motor Bearing Currents and Shaft Voltages," IEEE Trans. Ind. Applicat. vol. 32, pp. 250-259, Mar/Apr. 1996.
- [2] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "새로운 2상 랜덤 펄스위치 PWM기법", 전력전자학회 논문지 제 7권. 제6호, pp.194~204, 2002.
- [3] 위석오, 정영국, 나석환, 임영철, "모터 구동 장치의 가청 스위칭 소음 저감을 위한 2상 및 3상 랜덤 펄스 위치 PWM기법의 성능 비교", 전력전자학회 논문지 제 7 권, 제 3호, pp.224~236, 2002.
- [4] 이현동, "PWM 기법을 이용한 인버터 구동 교류 전동기 시스템에서의 커먼 모드 전압 저감", 서울대 박사학위 논문 pp. 121~124. 1999.
- [5] 설승기, "전기기기제어론," 브레인 코리아. pp.246~268.
- [6] Hwan-Kyun Yun, Lee-Hun Kim, Jun-Ho Kim, Chung-Yuen Won, Gi-Su Choi, Joung-Hwan Bae, "A switching Technique for Common Moden Voltage Reduction of 2-Level Inverter", ICPE 2001, PP. 438-442, Oct, 2001.