

플라이휠을 장착한 농형/권선형 전동기를 이용한 두 고조파 보상 시스템의 비교

김 윤호¹ 이 경훈² 양 성혁² 박경수²

Comparison of Harmonic Compensation Based on Wound/Squirrel-Cage Rotor Type Induction Motors With Flywheel

Yoon-Ho Kim Kyoung-Hun Lee Seong-Hyuk Yang Kyoung-soo Park

ABSTRACT

This paper describes two different systems which can compensate harmonic currents generated in the power system. As non-linear loads increase gradually in industry fields, harmonic current generated in the electric power network system also increases. Harmonic current makes a power network current distorted and generates heat, vibration, noise in the power machinery. Many approaches have been applied to compensate harmonic currents generated in the power network system. Among various approaches, in this paper, two kinds of approaches are compared and evaluated. They are flywheel compensator based on secondary excitation of wounded rotor induction motor(WRIM) and primary excitation of squirrel cage induction motor(SCIM). Both systems have a common structure. They use a flywheel as a energy storage device and use PWM inverters.

Key Words : WRIM(wound rotor induction motor), SCIM(squirrel cage induction motor), flywheel active filter

1. 서론

본 논문에서 제안하는 플라이휠 고조파 보상 시스템은 기존의 인버터를 이용한 능동전력필터와 비슷한 원리를 가지고 있다. 하지만 기존의 능동전력필터는 고전력의 전원측과 인버터가 바로 직결되어 있어서 인버터의 용량이 높다. 그러나 전동기를 이용한 고조파 보상 시스템은 전동기 1차측이 전원측과 직결되어 있으나 권선형 유도전동기 경우에는 인버터가 2차측에 연결되어 용량이 낮으며 또한 유도전동기가 플라이휠을 통하여 에너지를 저장하는 기능도 가지게 되어 연구가

점점 활발해지고 있다. 일반적인 능동전력 필터에서는 고조파 발생 부하의 고조파 전류분을 계산하여 직접 보상하게 된다. 권선형 전동기를 이용한 시스템에서는 전원측과 물려있는 전동기의 1차측에 원하는 보상전류가 흐를 수 있도록 전동기의 2차측을 인버터로 여자시키는 제어를 하게 된다. 이는 권선형 전동기를 이용한 고조파 보상 시스템의 경우는 기존의 능동전력 필터보다 인버터의 용량과 크기를 크게 줄일 수 있다는 것을 의미한다. [1~3]

2차 여자전류를 제어하기 위해서는 히스테리시스 전류 제어기법을 사용한다. 이 히스테리시스 전류제어 기법은 원하는 전류 기준 값을 직접적으로 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있으며 제어블록의 출력 파라미터가 전류 기준 값으로 나오기 때문에 제어방식을 비교적 간단하게 디자인 할 수 있다.

1 중앙대학교 전자전기공학부 교수

2 중앙대학교 대학원

플라이휠을 장착한 농형/권선형 전동기를 이용한 두 고조파 보상 시스템의 비교

또한 전류가 출력 파라미터가 되므로 기존의 전압 제어 방식에서 사용하는 전류를 전압의 기준 값으로 바꾸기 위하여 사용되어 왔던 PI 제어기 등을 사용할 필요가 없다. [4],[5]

권선형 전동기에 비하여, 농형 전동기는 컨버터의 크기 면에서는 단점을 가지고 있으나 다른 몇 가지면에서 장점을 가지고 있다. 본 논문은 이러한 두 시스템의 차이점을 비교하고, 각각 장점과 단점을 분석한다.

또한 시스템을 구성 실험하여 실험결과를 검토하였다.

2. 시스템의 구성

두 시스템은 유사한 구조를 지니고 있다. 3상 다이오드 정류기는 계통측에 고조파를 발생시키는 부하로 사용되었다. 그리고 3상 전원은 dc 전압을 생성하는 컨버터에 연결되어 있다.

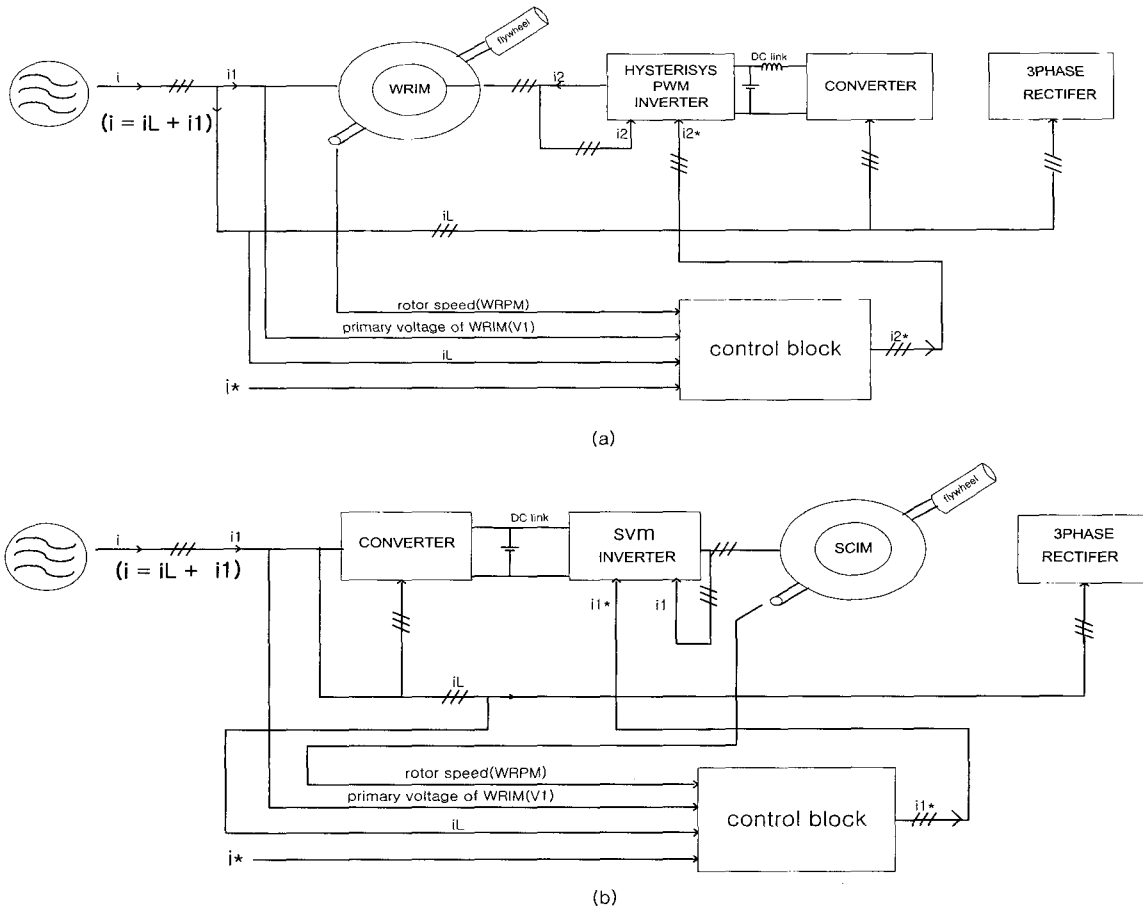


그림 1. 두 시스템의 구조

(a) 권선형 전동기를 사용한 경우

(b) 농형 전동기를 사용한 경우

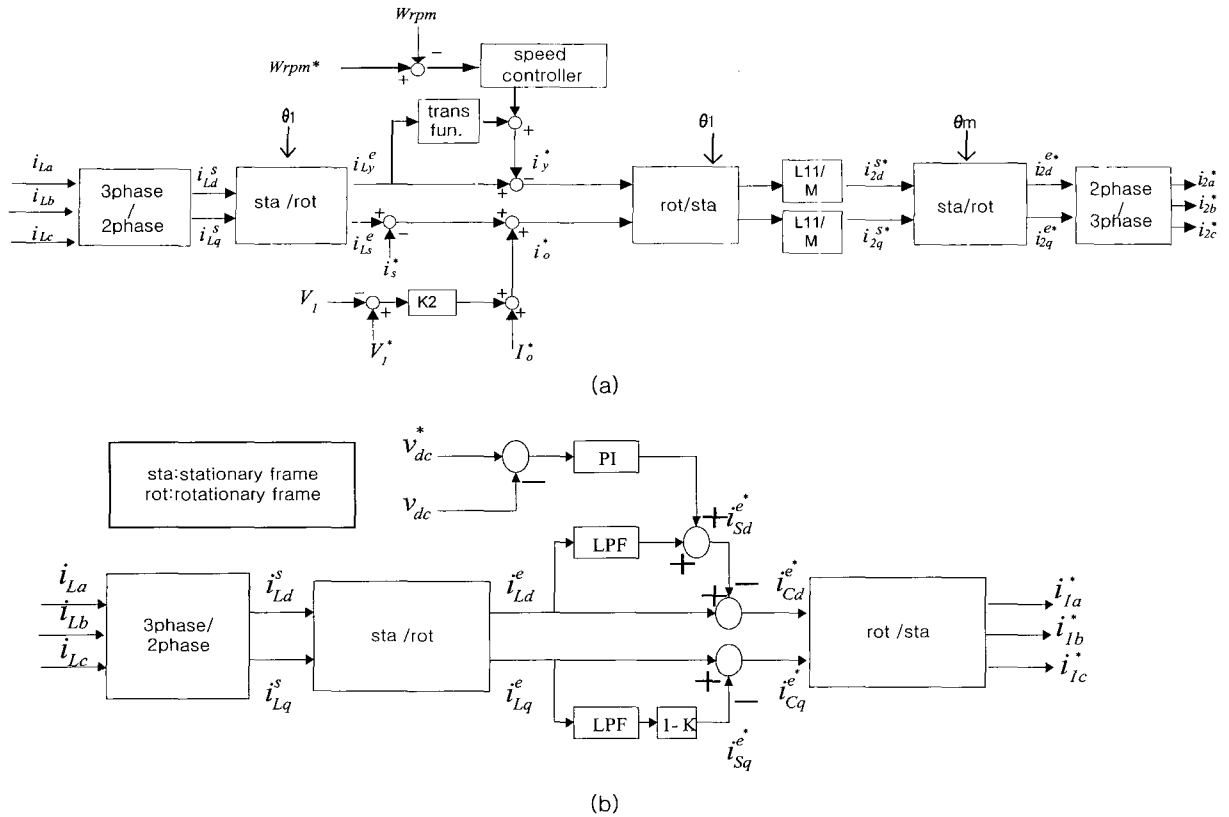


그림 2 두 시스템의 제어블록
 (a) 권선형 전동기를 이용한 경우
 (b) 농형 전동기를 이용한 경우

이 dc 전압은 인버터의 전압원으로 사용되게 된다. 권선형 전동기를 이용한 시스템의 경우, 1차측 즉 고정자 측은 2차측 즉 회전자 측의 여자를 통하여 제어된다. 그러나 농형 전동기를 이용한 시스템의 경우는 2차측이 단락 되어 있으며 1차를 직접 제어하여 보상 전류분을 생성하게 된다. 플라이휠은 에너지원으로 사용될 수 있다. 이 원리는 전동기 모드시에 높은 관성에너지를 저장하였다가 고정자측에 물려있는 전원측이 차단되거나 정전되었을 시에 발전기 모드로 전환하여 관성에너지가 전기에너지로 변환되어 회전자의 1차측에 전압을 유기시키고 이로서 부하에 전원공급을 계속 할 수 있도록 하는 것이다.

권선형을 이용한 시스템의 경우에는 히스테리시스 PWM 인버터가 1차측 전류제어를 위하여 2차측에 연결되어 있다. 반면에 농형을 이용한 경우에는 인버터가 전동기의 1차측에 연결되어 있다. 두 시스템에서

입력 기준 값은 전원측의 전류이다. 그리고 제어된 1차측의 전류는 전원측의 기준 전류 즉 정현파의 단위 역률이 되는 전류가 흐를 수 있도록 하는 보상전류가 된다. 두 시스템이 전체적인 구조는 그림 1에 나타내었다.

3. 시스템의 제어 원리

그림2의 제어블록 다이어그램에서는 고조파 발생과 역률 저하를 가져오는 부하전류를 각각 i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc} 로 하고 벡터제어를 하기 위하여 유효분 전류(i_{Ld})와 무효분 전류(i_{Lq})로 분리하여 제어하였고 전원의 유효/무효 전류 기준값은 각각 i_y^*, i_s^* 로 표기하였다. 그리고 정지/동기, 혹은 동기/정지 등의 좌표 변환시 이용되는 θ_1 , 과 θ_m 은 각각 전원측의 위상각과 회전자의

회전 위상각을 나타낸다. 전원측 위상각은 3상의 전원측 전압을 센싱 하여 유, 무효 전압성분으로 나누어 구해지며, 회전자회전 위상각은 전동기의 2차측전압과 전류로부터 자속을 계산하고 각각 유, 무효 자속 성분으로 나눈 후 이를 이용하여 계산되어진다.

1) 권선형 전동기를 이용한 경우

비선형 부하에 의하여 발생된 고조파 전류분이 계산되어진다. 그리고 이를 상쇄시킬 수 있는 보상전류분이 계산되어진다. 이 보상전류가 1차측에 흐를 수 있도록 전동기의 2차전류분을 제어블록에서 최종 출력 기준 값으로 정하게된다. 그림 2. (a)에서 보는바와 같이 전원측의 고조파 전류는 1차측에 이를 보상시키는 고조파 전류에 의하여 제거되는 원리를 이용하였다. 부하의 급격한 변동에 따른 역률저하로인한 무효전력의 변동은 계통상에서 고려해야 하는 중요한 요소이다. 이를 적절히 보상해 주므로써 전력계통의 운용효율을 증대시킬 수 있으며 양질의 전력송전이 가능해진다. 역률제어를 위하여 그림2 (a)의 제어부에 나타난 것과 같이 계통상의 무효전류 기준 값인 i_s^* 를 '0'으로 설정하므로써 가능하다. 그 이유는 무효전력은 무효전류만의 영향을 받기 때문에 전원계통측의 무효전류·지령벡터값을 '0'으로 설정하면 전원측의 전류의 크기는 변하지 않으면서 그 위상이 변하게 된다. 즉 그 지령치가 '0'일 경우에는 전압과 동상이 되므로 무효전류가 발생하지 않으며 역률은 1로 된다. 그리고 계통상의 무효전력이 감소 되었을시 이를 적절히 보상하기 위해서는 반대로 i_s^* 를 적당한 값으로 선정하면 된다.

2) 농형 전동기를 이용한 경우

이 경우에는 권선형 전동기를 이용한 시스템의 경우에서처럼 비선형 부하에 의하여 발생하는 전원측의 고조파 전류분을 계산하고 dc 링크 전압을 고려하여 전동기 1차측의 유효전류 기준을 정한다. 그림 1 (b)에서 처럼 두 개의 분리된 컨버터가 능동전력 필터 역할을 하기 위하여 설치되어 있으므로 앞단의 컨버터의 dc 전압을 고려하여야 한다. 역률제어를 위해서는 전원측의 무효전류분을 제어하여 전류의 위상을 제어한다. 정류기 부하에 의하여 발생된 전류의 q축 전류 기본값을 '0'으로 되도록 1차측 전류의 q축 전류를 제어한다.

4. 모의실험결과 및 시스템 특성 비교

4.1 모의실험 결과

본 논문에서 비교하고자 하는 시스템과 제어방식은 ACSL로 모델링 하였으며 시스템에 사용되어진 권선형 유도 전동기와 농형 유도 전동기의 파라미터는 다음 표1 과 같다. 여기서 농형인 경우는 2차측을 단락한 것으로 하였다.

표1. 전동기 파라메터

정격	22 Kw	L_s	43.75 mH
정격 속도	1800 rpm	L_r	44.09 mH
정격 토크	120Nm	L_m	42.10 mH
R_s	0.1150 Ω	J_m	0.1618 kgm ²
R_r	0.0821 Ω	P	4

모의실험은 3가지 경우에 대하여 시행하였다. 그림 3은 고조파 보상을 하지 않은 경우의 전원측의 전압과 전류 그리고 회전기 1차전류 그리고 부하전류를 나타낸다. 비보상시에는 회전기 1차전류가 정현파이므로 부하전류의 고조파 성분으로 인해 전원측 전류가 고조파를 포함한 전류이다. 그림 4는 회전기 1차 전류가 제어되어 보상전류로서 부하전류의 고조파성분을 상쇄시킨다. 따라서 그림 4의 전원측의 전류는 고조파 개선효과가 분명한 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 역률을 보정한 경우이다. 보상전류의 모양이 그림 4와는 다르며 이로 인하여 전원측의 전류위상이 전압과 동상이 되었음을 확인할 수 있다. 그림3. 4. 5에서 Vas는 전원측의 상전압이며 Ia는 전원측의 상전류, ILa는 부하전류 그리고 Ias는 전동기 1차측 전류를 각각 의미한다.

4.2 시스템특성 비교

두 시스템 각각 구조적인 면과 제어기법에서 장점과 단점을 지니고 있다. 두 시스템의 장점과 단점을 비교하면 다음과 같다.

먼저 권선형 전동기를 사용한 경우의 장점은

- 1) 2차의 낮은 전력으로 1차측의 전력을 보상 할 수 있으므로 전력 사용 면에서 농형의 경우보다 이점이 있다. 이때 유도기는 변압기와 같은 원리로 동작한다.

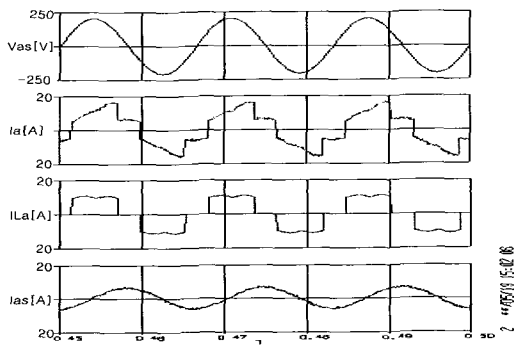


그림 3. 고조파 전류 보상전

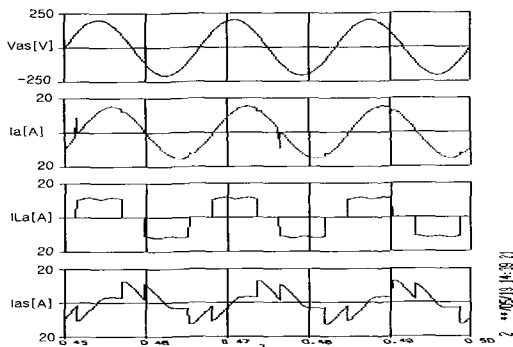


그림 4. 고조파 전류를 보상하는 경우

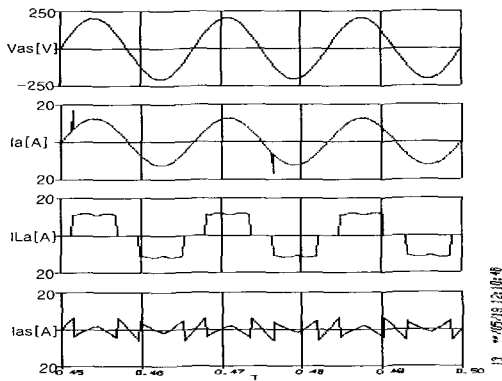


그림 5. 역률 보상한 경우

2) 유효, 무효 전력의 연속적인 동시 제어를 히스테리시스 인버터를 이용하여 고속으로 제어하는 것이 가능하다.

4) 플라이 휠 에너지 저장 장치에 의해서 별도의 에너지 저장장치가 필요 없이 무정전 전원 공급 장치의 실현이 가능하다.

5) 종래의 인버터를 이용한 정지형 무효 전력 보상 장

치나 능동 필터와 비교해서, 그 변환기 용량을 크게 저감하는 것이 가능하다.

권선형 전동기를 사용한 경우의 단점은

1) 전동기의 1차측과 2차측의 전압, 전류 관계를 고려하여야 하므로 제어 알고리즘이 복잡해질 수 있다.

2) 농형전동기의 경우보다 전동기의 유지보수 비용이 높다.

농형 전동기를 사용한 경우의 장점은

1) 인버터가 전동기의 1차측에 직접 연결되어있으므로 제어 기법이 상대적으로 간단해지게 된다.

2) 플라이휠 에너지 저장 장치에 의해서 별도의 에너지 저장장치가 필요 없이 무정전 전원 공급 장치의 실현이 가능하다.

3) 권선형 전동기의 경우보다 전동기의 정비가 용이하다.

농형 전동기를 사용한 경우의 단점은

1) 인버터가 전원측과 직접 연결되어 있기 때문에 인버터의 정격이 커지는 단점이 있다.

2) 인버터는 전동기 모드와 발전기 모드 시에 양방향 전력 흐름이 가능해야 한다. 따라서 이를 제어하기 위해서는 권선형 전동기를 이용한 시스템의 경우에 비하여 컨버터의 제어알고리즘이 복잡해진다.

5. 실험 결과

두 가지 시스템을 비교 및 분석한 결과 권선형 유도 전동기를 이용한 시스템이 정비 보수만을 제외하고는 장점이 높다고 분석된다. 따라서 본 논문에서는 권선형 전동기를 이용한 플라이휠 시스템에 대해서 시스템을 설계하고 실험하였다.

실험에 사용된 전동기의 파라미터는 모의시험의 경우와 동일하고 시스템의 제어 알고리즘은 소프트웨어적으로 디지털 제어를 하였으며 실험시스템은 그림6과 같이 구성하였다. 고성능 제어를 위하여 TMS320C31 DSP를 사용하였고 인버터 스위치 소자는 IGBT를 사용하였다. 실제 속도 센싱은 600[pulse/rev]용 인크리멘탈 엔코더를 이용하였고 PT와 CT를 사용하여 각각 전압, 전류를 센싱하였다. 그리고 전류제어루프의 샘플링 주기는 100 μ sec 로 하였다.

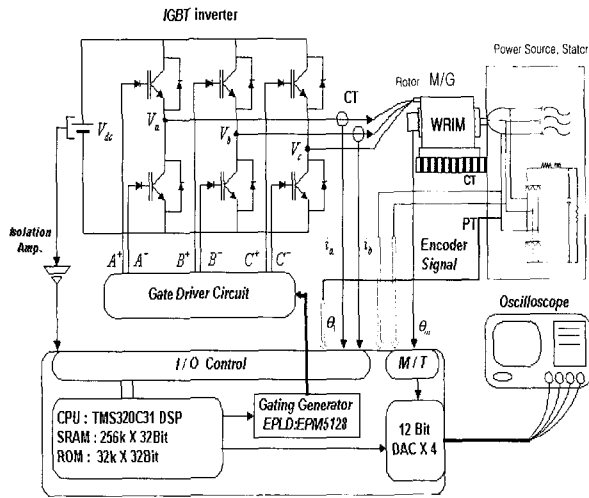


그림 6. 실험 시스템

그림7은 고조파 비보상시 실험결과이며 전원측의 전류가 부하전류로 인하여 왜곡되었음을 확인할 수 있다. 그림8은 고조파 보상시 실험결과로 전동기의 1차측 보상전류를 통하여 전원측 전류가 정현파가 되었음을 확인할 수 있다. 그림9는 역률 보상시 실험결과이며 전동기의 1차측 보상전류를 통하여 전원측의 전류가 전압과 동상인 정현파 전류임을 확인할 수 있다. 그리고 그림 10은 전원측 전류의 고조파 성분을 보상 전후에 대하여 고조파 분석결과를 비교한 것이다.

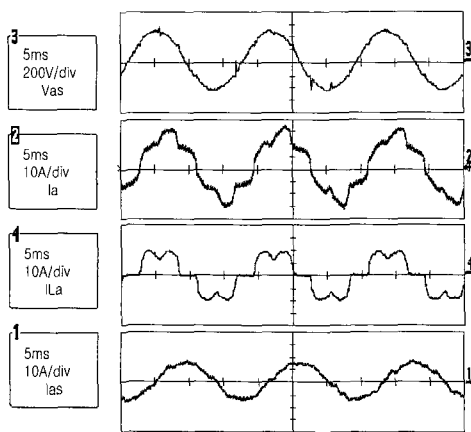


그림 7. 고조파 비 보상시 파형

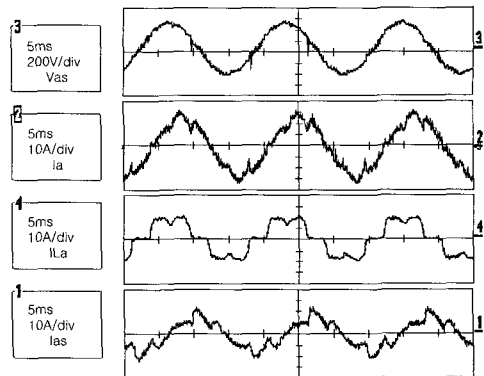


그림 8. 고조파 보상시 파형

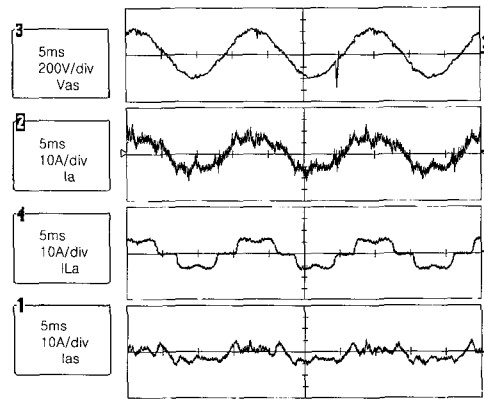


그림 9. 역률 보상시 파형

그림 11은 그림 10의 고조파 보상 전후의 고조파 분석 결과를 토대로 전원측의 고조파 보상 전후에 대하여 고조파 성분의 감소 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 제 5고조파 성분은 약 50%정도 감소하였으며 제7고조파와 11고조파 성분은 각각 40%,45% 정도 감소되었다.

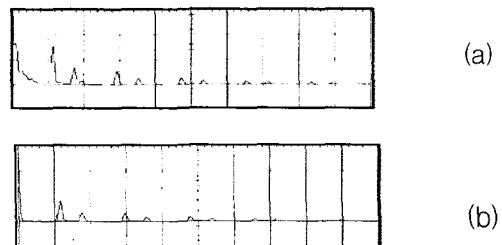


그림 10. 전원측 전류의 고조파 분석결과

(a) 보상전 (b)보상후

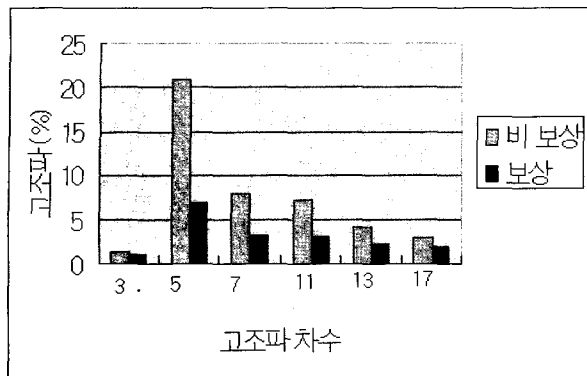


그림 11. 고조파 분석 결과 그래프

6. 결론

본 논문에서는, 두 개의 서로 다른 고조파 및 역률 보상시스템에 대해서 각각의 제어알고리즘과 장단점을 비교 분석하였다. 그리고 모의실험과 실험을 통하여 이들 시스템의 성능과 동작을 검증하였다.

기본적으로 두 시스템은 사용된 전동기를 제외하고는 비슷한 구조를 가지고 있다.

먼저 두 시스템의 공통점은 두 시스템 모두 고조파 보상능력을 가지며 유/무효 전력보상기의 역할을 수행할 수 있다는 점이나 인버터의 크기와 정격에서 권선형 전동기를 사용한 시스템이 농형 전동기를 사용한 시스템 보다 더 큰 장점을 갖는 다는 점이다.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (과제번호:98-0101-08-01-3)지원으로 수행되었음.

References

- [1] Hirotaka Chikaraishi, Minoru Arimitu, Yi Wang "Fast response power stabilizer using ac - excited generator", T-IEE, Vol.113-D, No.11, pp 1254-1261, 1993
- [2] Hirofumi Akagi, "Control strategy and dynamic performance of a double -fed flywheel generator/motor" T-IEE, Vol.118-D, No.11, 1998
- [3] M. Hombu, "Harmonic analysis on a slip -power recovery system fed by a DC link GTO converter" EPE 95, pp 3-239-3-244, 1995
- [4] T. Taniguchi, "Variable speed storage fed by large scale

cycloconverter" EPE 91, pp 2,237-2,242, 1991

[5] Power & Industrial system R&D Division, "Control characteristic of an adjustable speed generation system with a flywheel excited by a dc link converter" Hitachi, EPE 97, pp 2.695-2.700, 1997

[6] A. M. Trazynalowski, "The field orientation principle in control of induction motor" Kluwer Academic Publishers, chap1, pp 20-58, 1994

[7] B. K. Bose, "Power electronics and ac drives" Prentice Hall, 1986

[8] D. W. Novotny and T. A. Lipo, "Vector control and Dynamics of AC drives." oxford, chap4-8, 1996