

고조파 전류의 유입에 따른 유도전동기의 전기적 특성변화 분석

이재봉, 송일근, 이병성, 김상준, 오재형, 구활분*
한전전력연구원, *전남대

An Analysis of Electrical Characteristics of Induction Motor by Harmonic Current Flow

J.B. Lee, I.K. Song, B.S. Lee, S.J. Kim, J.H. Oh, H.B. Gu*
KEPRI, *Chonnam Univ.

Abstract - 최근 전력계통의 전기품질에 대한 관심이 증가되고 있으며, 특히 배전계통에서의 고조파 발생은 사용자의 전기기기에 영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 고조파 전류에 의한 유도전동기의 전기적 특성과 전기품질에 대한 영향을 분석하였으며, 리액터 설치에 의한 고조파전류의 흐름을 측정하였고, 전기품질을 개선하기 위한 리액터 및 고조파 필터의 설치효과를 비교하였다.

고조파전류가 유도전동기에 유입되면 회전수, 토크, 슬립의 변동폭이 증가하였으며, 고조파 저감을 위하여 전원측에 리액터를 설치하면 파형왜곡은 개선되었으나, 전압강하가 발생하였다. 고조파 필터를 설치한 경우에는 전압강하 및 파형왜곡이 크게 개선되는 효과가 있었으며, 유효전력이 약간 상승하였다.

1. 서 론

전력품질은 전력회사가 해결해야 할 문제중의 하나이다. 최종 고객장치들은 공급전력 및 고객 내의 장치들에 의한 외란에 더욱 민감하게 반응하고 있다. 그리고 이러한 장치들은 네트워크로 연결되어 공정을 처리하고 있어 그 파급효과가 더 심각하다. 전기품질의 저하현상은 오늘날의 경제·사회활동에 막대한 지장을 초래하므로 수년 전부터 선진국들은 이를 극복하기 위하여 첨단 전력기기 개발과 더불어 이를 배전계통에 도입하여 신뢰성이 높은 전력공급체제를 구축하고 고품질의 전력을 고객에게 공급하기 위한 노력을 기울이고 있다.

이에 본 연구에서는 고조파가 전기기에 미치는 영향을 파악하기 위하여 먼저 유도전동기에 고조파 전류가 유입된 경우 유도전동기의 성능을 측정하고, 고조파 전류의 흐름 분석 및 고조파 저감장치의 효과를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 시험회로 및 시험방법

고조파 전류가 유도전동기의 성능에 미치는 영향을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 회로를 구성하였다. 고조파의 발생을 위하여 7.5kW(10HP)급 유도전동기에 인버터를 설치하였고, 전원측에 리액터를 설치하여 전원측의 임피던스를 증가시킴으로써 고조파가 3.7kW(5HP)급 유도전동기 쪽으로 유입되도록 하였다. 고조파의 유입으로 유도전동기의 성능에 어떤 변화를 초래하는지 검토하기 위하여 유도전동기의 회전수, 토크, 슬립 등을 동력계로 측정하였다.

전원측에 리액터를 설치하지 않은 경우와 설치한 경우를 비교하여 인버터에서 발생한 고조파가 5HP 유도전동기에 유입되는지 전원측으로 흐르는지 고조파의 흐름을 전력분석기(BMI-3030A)로 측정하였다.

마지막으로 전원측에 고조파에 대한 대책으로 리액터를 설치한 경우와 고조파 필터를 설치한 경우의 전력 품질을 측정하여 상호 비교하였다.

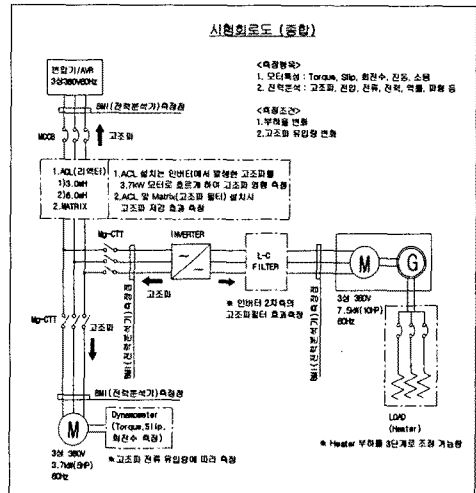


그림 1 시험회로도 및 시험방법

2.2 고조파 유입에 의한 유도전동기 특성 측정

2.2.1 고조파의 유입에 따른 모터특성 측정

3mH 리액터를 전원측에 설치하고 인버터의 부하율을 2.1kW, 4.5kW, 6.5kW, 3단계로 조정하면서 5HP 유도전동기의 부하율이 75%(2.0T)일 때 전기적 특성 및 기계적 특성 변화를 측정하였다. (표1 참조)

고조파의 유입으로 인하여 전압, 전류의 왜형율이 단계적으로 크게 증가하고, 불평형율도 증가하며, 전압이 14% 정도 크게 저하되었다. 한편 유도전동기의 회전수, 토크, 슬립의 변동폭이 2~5배로 크게 증가함으로써 성능에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 고조파 전류가 기본파의 자계와 상호작용 일으킴으로써 토크에 진동이 발생하는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾

전원측에 6mH 리액터를 설치한 경우에는 3mH 리액터 설치시보다 더 악화되는 결과가 나왔다. 이것은 리액터의 임피던스가 증가함으로써 전원측 임피던스가 더욱 상승하고 따라서 고조파전류가 5HP 전동기측으로 더 많이 흐름으로써 전동기의 성능이 더 낮아진 것으로 추정된다.

3mH 리액터 설치후 인버터의 부하율이 변할 때 5HP 유도전동기 입력단에서의 전력 파형을 그림 2에 나타냈다. 인버터의 부하율이 증가할수록 파형이 더 많이 찌그러짐을 볼 수 있다.

2.2.2 전압강하 보상 전후의 모터특성 비교

유도전동기의 성능저하가 전원에 포함된 고조파성분 때문이 아니라 리액터 설치에 의한 전압강하에 기인한 것인지를 파악하기 위하여 전압강하를 보상하고 전동기

의 성능을 측정하였다.

인버터의 부하를 3단계(6.5kW)에서 전압이 362.8V에서 312.2V로 전압강하가 발생되는데 전원측에 AVR을 설치하여 전압강하를 보상하고 모터의 입력전력을 측정할 결과를 표 2에 나타냈다.

전압보상을 하면, 전압왜형율이 18.1%에서 14.7%로 개선되지만, 전류왜형율은 21.0%에서 20.3%로 거의 개선이 이루어지지 않는다. 또한 유도전동기의 회전수, 토크, 슬립의 변동폭도 거의 개선되지 않고 있음을 보여주고 있다. 결국 유도전동기의 성능 저하는 고조파에 의한 것임을 유추할 수 있다.

표 1 3mH 리액터 설치후 5HP 모터의 전력특성

구분	측정항목	인버터 부하율 조정			
		기준 5HP, 2T	1단계 2.1kW	2단계 4.5kW	3단계 6.5kW
3상평균	전압 V	362.8	344.5	327.6	312.2
	전류 A	5.71	5.59	6.09	5.77
	전력 kW	2.825	2.629	2.814	2.495
	PF	0.79	0.79	0.81	0.80
불평형율	전압 %	0.7	0.9	1.1	1.3
	전류 %	4.4	5.1	4.3	6.0
종합 왜형율	V _{thd} %	1.1	8.1	13.5	18.1
	I _{thd} %	1.2	11.8	14.8	21.0
회전수	변동폭 rpm	2	4	5	7
	min	1,754	1,751	1,739	1,729
Torque	max	1,756	1,755	1,744	1,736
	변동폭 Nm	0.20	0.68	0.98	0.88
슬립	min	13.19	11.92	12.70	12.51
	max	13.39	12.60	13.68	13.39
회전수	변동폭 %	0.353	1.736	1.796	1.875
	min	2.337	3.838	3.814	4.483
슬립	max	2.690	5.574	5.610	6.358

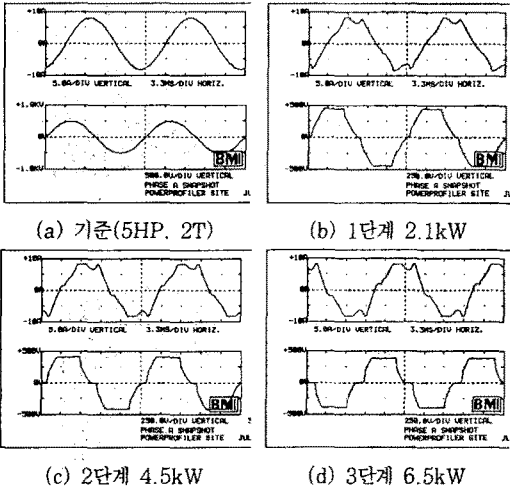


그림 2 3mH 리액터 설치후 5HP 모터의 전력파형

2.3 고조파 전류의 흐름 측정

고조파 전류가 흐르는 경로를 분석하기 위하여 인버터의 부하율을 3단계(6.5kW)로 고정된 상태에서 전원단의 변압기 2차, 인버터 1차, 5HP 모터의 입력측 등 3개 측정점의 전력특성을 측정하였다.

전원측에 리액터를 설치하기 전에는 인버터 1차측에서 발생한 고조파 전류(78.8%)는 대부분 임피던스가 상대적으로 낮은 전원측(변압기 2차)으로(70.3%) 흐르고 있음을 보여주고 있다.

전원측에 3mH 리액터를 설치한 후에는 고조파전류의 발생량이 크게 감소하며, 전원측의 임피던스가 증가하여 전원측(20.0%)과 모터측(22.2%)으로 고조파전류가 거의 비슷하게 흐른다.

한편, 5HP 유도전동기에 대해서는 전원측에 3mH 리액터를 설치하기 전 고조파의 유입량이 9.3%이던 것이 설치 후 22.2%로 크게 증가하였다.

표 2 전압강하 보상전후의 5HP 모터의 전력특성

구분	측정항목	인버터 부하율 3단계 6.5kW		
		기준 5HP, 2T	전압보상전	전압보상후
3상평균	전압 V	362.8	312.2	362.9
	전류 A	5.71	5.77	5.73
	전력 kW	2.825	2.495	2.754
	PF	0.79	0.80	0.76
불평형율	전압 %	0.7	1.3	1.0
	전류 %	4.4	6.0	5.9
종합 왜형율	V _{thd} %	1.1	18.1	14.7
	I _{thd} %	1.2	21.0	20.3
회전수	변동폭 rpm	2	7	4
	min	1,754	1,729	1,750
Torque	max	1,756	1,736	1,754
	변동폭 Nm	0.20	0.88	0.98
슬립	min	13.19	12.51	12.41
	max	13.39	13.39	13.39
회전수	변동폭 %	0.35	1.87	1.57
	min	2.337	4.483	3.526
슬립	max	2.690	6.358	5.095

표 3 3mH 리액터 설치전 측정위치별 전력특성

구분	측정항목	5HP 모터 (기준)	측정위치		
			변압기 2차	인버터 1차	5HP 모터
3상평균	전압 V	370.5	363.8	364.1	364.8
	전류 A	3.23	14.20	13.68	3.18
	전력 kW	0.220	6.676	6.626	0.186
	PF	0.11	0.74	0.77	0.09
불평형율	전압 %	0.8	0.7	0.6	0.7
	전류 %	4.3	4.0	6.8	3.0
종합 왜형율	V _{thd} %	1.2	4.3	4.4	4.3
	I _{thd} %	5.2	70.3	78.8	9.3
고조파 전류 함유량	3차 %	2.9	7.5	6.8	2.0
	5차 %	2.2	58.3	65.7	6.9
	7차 %	1.2	36.8	40.8	4.2
	11차 %	0.2	1.9	2.0	0.4

표 4 3mH 리액터 설치후 측정위치별 전력특성

구분	측정항목	5HP 모터 (기준)	측정위치		
			변압기 2차	인버터 1차	5HP 모터
3상평균	전압 V	370.5	361.2	349.7	347.9
	전류 A	3.23	12.76	11.78	2.94
	전력 kW	0.220	6.760	6.615	0.177
	PF	0.11	0.85	0.93	0.10
불평형율	전압 %	0.8	0.8	0.4	0.4
	전류 %	4.3	3.4	3.2	5.5
종합 왜형율	V _{thd} %	1.2	1.6	13.2	13.4
	I _{thd} %	5.2	20.0	27.6	22.2
고조파 전류 함유량	3차 %	2.9	2.4	2.7	2.9
	5차 %	2.2	18.3	25.5	20.4
	7차 %	1.2	6.3	7.9	5.2
	11차 %	0.2	0.4	0.6	0.7

전원측에 리액터를 설치함으로써 고조파의 발생량 및 전압 강하에 유입되는 고조파 전류를 크게 저감할 수 있으나, 고조파 저감장치가 없는 다른 전기기기에서는 고조파 전류가 오히려 크게 증가함으로써 기기의 성능을 저하시킬 수 있음을 알 수 있으며, 리액터의 설치만으로는 고조파에 대한 대책으로 유용하지 않을 수도 있음을 알 수 있다.

2.4 고조파 저감장치의 효과 측정

변압기 2차측에 리액터, 고조파 필터 등 고조파 저감장치를 설치하여 고조파 저감장치의 성능을 비교하였다. (표 5)

먼저 리액터를 설치할 경우의 효과를 보면, L값이 클수록 전류왜형을 저감효과가 크고, 전압왜형을 감소, 역률 개선, 불평형을 감소 등의 효과가 있으나 전압강하가 발생함을 보여준다.

따라서 고조파 저감을 위하여 리액터를 설치할 경우 전압보상을 위한 대책이 병행되어야 할 것이다.

고조파 필터를 설치할 경우, 리액터 설치시 발생하는 전압강하가 없으며, 전류왜형율이 가장 많이 개선되어 고조파 저감효과가 가장 크게 나타나고 있다. 그러나 유효전력은 약간 증가하였다.

표 5 고조파 저감장치의 효과 비교

구분	측정항목	저감장치 없음	고조파 저감장치		
			리액터 3mH	리액터 6mH	고조파 필터
3상평균	전압 V	376.4	363.5	366.9	376.0
	전류 A	13.05	11.20	11.49	11.89
	전력 kW	6.593	6.500	6.546	6.776
	PF	0.77	0.92	0.90	0.88
불평형율	전압 %	0.6	0.9	0.7	1.0
	전류 %	4.4	3.5	2.7	1.3
종합 왜형율	V _{thd} %	4.4	1.7	1.5	1.5
	I _{thd} %	76.9	25.7	18.6	10.3
고조파 전류 함유량	3차 %	5.8	2.6	2.3	2.6
	5차 %	64.6	23.4	16.5	8.0
	7차 %	39.4	8.4	7.3	4.6
	11차 %	2.4	0.6	0.8	0.2

3. 결 론

고조파가 유입된 유도전동기의 성능을 분석한 결과 회전수, 토크, 슬립의 변동폭이 증가하였으며, 고조파전류의 흐름을 분석한 결과 전원측에 리액터를 설치하지 않은 경우 전원측으로 흐름을 확인하였으며, 전원측에 리액터를 설치하면 고조파 저감효과가 나타나지만, 다른 부하에서는 오히려 고조파가 크게 증가하는 것으로 나타났다.

고조파를 제거하기 위한 방법으로 리액터를 설치할 때와 고조파 필터를 사용한 경우를 비교한 결과 리액터를 설치한 경우 전압강하 현상이 발생하였고, 고조파 필터를 사용한 경우는 유효전력이 약간 상승하는 결과가 나왔다. 고조파 제거효과는 고조파 필터가 더 우수하였다.

본 연구에서는 고조파에 의하여 전력기기가 받는 영향을 분석하고 그에 대한 대책을 제시하기 위한 첫걸음으로 유도전동기에 대한 특성을 분석하였다.

향후 전력회사에서는 고조파가 수용가의 전기기기 및 전력계통의 전력기기에 어떠한 영향을 미치는 지 구체적으로 분석하고 고조파에 대한 대책마련을 추진해야 할 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems" IEEE Std 519-1992 p.35-36
- [2] 한전 수요관리실, "대용량인버터 적용타당성 조사연구", p.215-249, 2000
- [3] 전영환 외, "전력시장 체제 하에서의 플리커 및 고조파 규제방안과 현황", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, p.47-49, 2002
- [4] 한전 전력연구원, "배전계통의 고조파 관리기준에 관한 연구", 1996
- [5] 한전 전력연구원, "배전선로 고조파 영향 분석", 1999
- [6] 한국전기안전공사, "전기사용장소의 고조파 장해분석 연구", 1997