

회전기기에 미치는 고조파 전류의 전기적 특성 연구

박양범·김성철*·이종호*·김두현*

청주기능대학 전기과·*충북대학교 안전공학과

1. 서론

전력전자 기술의 급속한 발전에 따라 반도체소자의 스위칭을 이용한 제어 응용기기가 눈부시게 보급되고 있으며 가정용과 업무용에서 산업용에 이르기까지 폭 넓게 이용되고 있다. 그러나 이들 기기에서 발생하는 고조파 전류에 의해 전원계통의 전압변형에 따른 전력의 품질저하와 이로인해 막대한 손실을 입고 있다. 이와 같이 비선형 부하의 하나인 정지형 전력변환장치(inverter) 사용 증가로 인하여 고조파 발생률이 급속히 늘어가고 있는 추세이다. 인버터는 삼상 유도전동기의 속도를 제어하는 장치로서 공장자동화에 있어 핵심제품이라 할 수 있으며 각종 플랜트 설비 및 공조설비등에도 다양하게 적용되고 있다¹⁻²⁾. 논문에 사용된 인버터는 상용전원으로부터 공급된 교류(AC)전압을 입력 받아 이전압을 정류하여 평활(DC)한 다음 직류성분을 다시 교류(AC)로 변환하는 전력변환장치이다. 본 연구에서는 전력변환장치에서 발생하는 고조파 전류로 인하여 유도전동기에 미치는 전기적 특성을 분석하였으며, 전원측에 전원협조용 리액터(reactor) 3[mH]와 6[mH]를 각각 설치하여 전원측으로 흐르는 고조파 전류를 전동기 부하측으로 유도하여 평균전력 및 고조파 총왜형률등을 비교 분석 하였다.

2. 고조파 이론

전력변환소자, 인버터, OA기기 등 반도체 응용기기와 같이 비선형 특성을 갖는 부하에 정현파 전압을 인가하면 흐르는 전류는 일반적으로 고조파 함유율이 있는 왜형파의 형태가 된다. 이 전류를 분해하면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다³⁾.

$$I = \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t + \phi_1) + \sum_{k=2}^{\infty} I_k \sin(k\omega t + \phi_k) \quad (1)$$

식(1)에서, $k : 2, 3, 4 \dots \infty$, I_1 : 기본파 전류, I_k : k 차 고조파를 나타내며, I 는 상용주파수 성분(I_1)과 그 정수배의 주파수 성분(I_k)과 합성된 파형으로 나타난다. 즉 왜형파 전류는 각 고조파 성분의 중첩으로서 표현할 수 있다. 또한 고조파 레벨의 수준을 평가하고 관리하기 위해서는 고조파의 특성을 적절히 반영할 수 있는 지수가 필요하다⁴⁾. 이러한 지수는 측정을 통하여 결정될 수 있으며, 간단하면서도 실용적인 지수가 고조파 총왜형률(THD: Total Harmonic Distortion)이다. 기본파에 대한 고조파 함유율의 비율로 표현되는 총왜형률은 전압과 전류성분에 모두 적용할 수 있는데 식(2)는 전압성분

을 억제하기 위하여 리액터 3[mH]20[A], 6[mH]20[A]를 각각 설치한 상태에서 리액터 용량별 전동기측의 전기적 특성 및 고조파 총왜형률을 측정하여 리액터 설치 전·후를 비교하여 실험하였다. 그리고 인버터 2차측 전동발전기는 삼상전원을 단상전원으로 변환하기 위한 전동발전기로서 전압은 단상220[V]이며 히터부하 전원을 위하여 적용한 M-G set이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전력변환장치 설치에 따른 전동기 특성

전력변환장치를 전원과 병렬로 연결하고 히터부하량을 가변한 상태에서 실험한 부하측 3.7[kW] 전동기의 전기적 특성은 Table 1. 과 같다. 평균전압과 전류는 감소한 것을 알 수 있고, 불평형율과 전력은 거의 변화가 없었다. 그러나 전압, 전류 총왜형율은 히터부하량 증가에 따라 전압 총왜형률은 3.3[%]에서 5.8[%]로 증가하였고, 전류 총왜형률 5.8[%]에서 9.8[%]로 증가함을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 2는 이때의 전압, 전류총왜형률을 나타낸 것이다.

Table 1. Measurement of electrical characteristics of the induction motor with the power conversion equipment

구분	측정 항목	5[%] 부하	히터부하[kW]				
			2.5	3.5	4.5	5.5	6.5
3상 평균	전압[V]	371.4	368.6	367.9	367.2	366.7	365.8
	전류[A]	3.12	3.08	3.08	3.06	3.06	3.04
불평형율	전압[%]	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
	전류[%]	7.4	5.2	5.2	5.3	5.4	5.4
3상 평균	전력[kW]	0.210	0.207	0.198	0.196	0.193	0.189
	PF	0.51	0.1	0.1	0.1	0.1	0.09
총 왜형률	V _{THD} [%]	0.8	3.3	3.1	3.9	4.7	5.8
	I _{THD} [%]	1.0	5.8	7.6	8.1	8.6	9.8

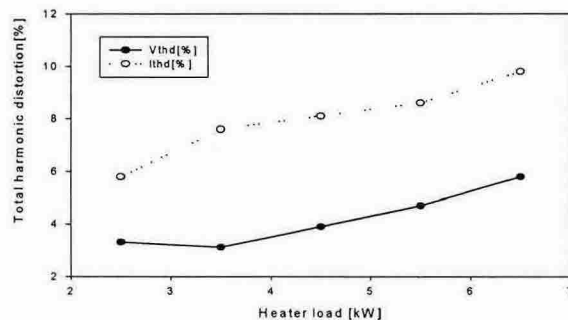


Fig. 2. Plots of total harmonic distortion versus heater load of power conversion equipment

4.2 전력변환장치와 리액터 설치후 전동기 특성

고조파가 유입된 유도전동기의 전기적 특성을 비교, 분석하기 위하여 전력변환장치와 리액터를 설치하여 실험한 결과 Table 2와 같았다. 전원측에 리액터를 3[mH]와 6[mH]를 각각 설치하였을 때 전압총왜형률은 18.9[%]에서 23.2[%], 전류총왜형률은 31.0[%]에서 38.2[%]로 증가하였음을 나타내고 있다. 이와 같은 실험결과는 전원측에 리액터 설치시 전력변환장치에서 발생하는 고조파가 부하측 전동기로 유입되었음을 나타낸 것이다. 또한 고조파 증가에 따라 평균전력도 0.210[kW]에서 리액터 용량에 따라 0.189, 0.158[kW]로 각각 감소하였다. 이와 같은 결과를 토대로 분석하여 보면 전원측 고조파 유출량이 리액터 설치로 인하여 부하측 유도전동기로 이동 하였음을 알 수 있고, 전동기측의 고조파 유입량 증가로 인하여 평균전력 감소에 따른 출력의 감소가 있음을 알 수 있다.

Table 2. Measurement of electrical characteristics of induction motor with power conversion equipment and variable reactor

구분	측정 항목	5[%] 부하	리액터 3[mH] 20[A]					리액터 6[mH] 20[A]				
			2.5 [kW]	3.5 [kW]	4.5 [kW]	5.5 [kW]	6.5 [kW]	2.5 [kW]	3.5 [kW]	4.5 [kW]	5.5 [kW]	6.5 [kW]
3상 평균	전압[V]	371.4	362.3	354.6	343.1	335.8	331.2	338.2	330.1	324.3	312.5	302.1
	전류[A]	3.12	2.89	2.86	2.83	2.75	2.70	2.71	2.64	2.60	2.56	2.45
불평형율	전압[%]	0.5	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	0.7	0.9	1.2	1.2	1.3
	전류[%]	7.4	6.5	7.1	7.9	8.3	9.1	5.2	7.4	8.8	10.7	12.2
3상 평균	전력[kW]	0.210	0.205	0.201	0.196	0.189	0.183	0.191	0.184	0.178	0.162	0.158
	PF	0.51	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
총 왜형률	V _{THD} [%]	0.8	9.2	12.5	14.2	16.5	18.9	11.1	13.9	17.6	19.8	23.2
	I _{THD} [%]	1.0	15.2	19.6	24.2	28.7	31.0	19.4	23.8	28.5	32.7	38.2

Fig. 3과 4는 전력변환장치 2차측의 히터부하를 설치하여 전원측에 3[mH]20[A], 6[mH]20[A]리액터를 설치하였을 때 히터부하 가변에 대한 유도전동기의 평균전압, 전류 변화를 나타낸 것이다. 3[mH] 설치시 보다는 6[mH]를 설치했을 때 전압강하가 크게 나타났으며, 동시에 전류감소가 일어나는 것으로 보아 전동기의 출력 감소가 있음을 알 수 있다.

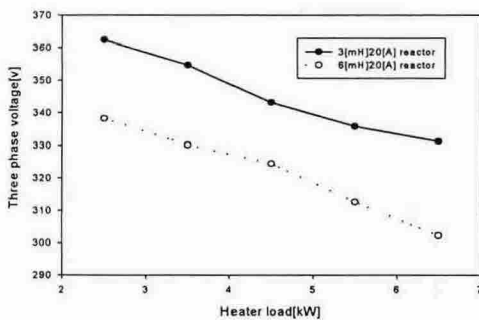


Fig. 3. Plots of voltage versus heater load according to reactor capacity

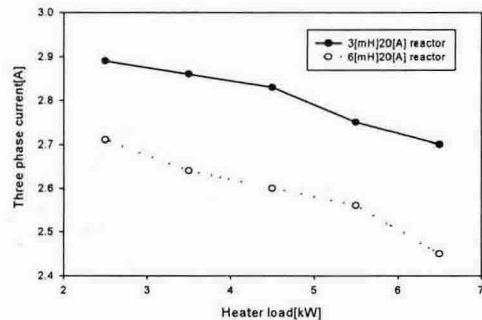


Fig. 4. Plots of current versus heater load according to reactor capacity

또한 Fig. 5는 이때의 평균전력으로 히터부하의 증가에 따라 전력의 감소를 나타내고 있다. Fig. 6은 히터부하 변화에 대한 리액터 용량별 전압, 전류 총왜형률을 나타낸 것으로, 리액터 용량이 클수록 고조파 총왜형률은 높아짐을 그림으로 확인할 수 있었다.

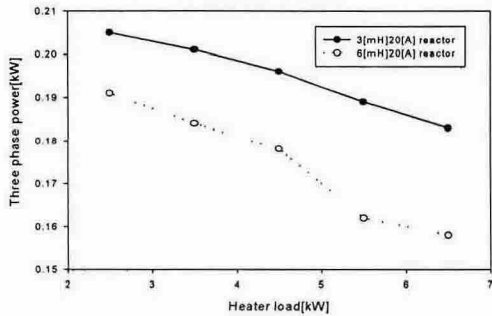


Fig. 5. Plots of three phase power versus heater load according to reactor capacity

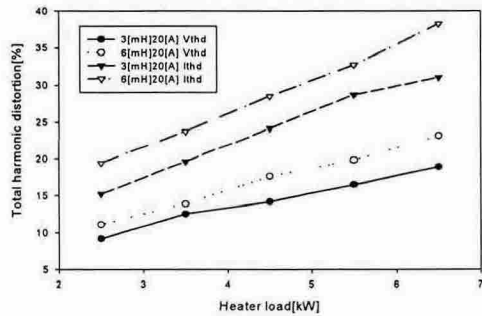


Fig. 6. Plots of total harmonic distortion versus heater load according to reactor capacity

5. 결론

본 논문은 전력변환장치에서 발생하는 고조파로 인한 삼상유도전동기의 전기적 특성과 고조파 총왜형률을 측정하고 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 5[%]의 부하율을 기준으로 5단계 히터부하량 가변시 유도전동기 3.7[kW]에 유입되는 고조파 총왜형률을 측정하고 비교, 분석한 결과 고조파 발생원인 전력변환장치에 의하여 총왜형률은 히터부하량 증가에 따라 비례하여 증가함을 확인할 수 있었다.

2) 전원측 리액터를 용량별로 설치하여 분석한 결과 3[mH]일때 전압 총왜형률은 최고 18.9[%], 전류 총왜형률은 31.0[%]였으나, 6[mH]리액터 설치시에는 전압 총왜형률 23.2[%], 전류 총왜형률 38.2[%]로 대단히 높게 나타나는 것으로 리액터의 증가에 따라 전원으로의 고조파 유입차단 효과가 높게 나타남을 알 수 있다.

3) 전력변환장치 2차측 히터부하를 가변하여 6.5[kw]로 설정후 3[mH] 리액터를 설치했을때 전동기 평균전력은 0.183[kW]이었으며, 6[mH] 리액터를 설치한 경우에는 0.158[kW]로 전력이 감소하는 것으로 보아 전동기 출력의 감소가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 김은식 외 1, 전력계통의 고조파 장애 분석, 한국전기안전공사, pp. 91~146.

- 2) 강창원 외 4명, “전력계통에서의 고조파 개선 사례 연구”,
대한전기학회 2000년 하계학술대회 논문집 pp.224~227.
- 3) G.T. Heydt, Electric Power Quality, second Edition, Stars in a Circle
Publications, Scottsdale(A/Z),U.S.A, 1994
- 4) Mark McGranaghan "Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits
on Power Systems" IEEE P519A Draft6, 1996
- 5) "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control
in Electrical Power Systems" IEEE Std. 519~1992.