

인버터 승강기 시스템의 고조파 실태 분석

(An Analysis of Harmonics on Inverter Elevator Systems)

金正泰* · 李起弘** · 洪圭壯**

(Jeong-Tae Kim · Ki-Hong Lee · Gyu-Jang Hong)

요 약

국내에서 제작된 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생량을 분석하고 타 전기설비에 미치는 영향을 알아보기 위하여 고층 아파트와 빌딩에 설치된 인버터 승강기를 대상으로 고조파 전압·전류를 측정하였다. 그 결과 인버터 승강기 시스템의 총고조파 전압 왜형율은 작게 나타났으나, 총고조파 전류 왜형율은 상당히 큰 것으로 밝혀졌다. 공동주택의 전기설비에 미치는 영향으로는, 역률 개선용 콘덴서에는 큰 문제가 되지 않으나 비상발전기를 고려하여 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생량을 줄일 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한, 비상발전기의 허용 %등가역상전류와 본 연구의 실측값을 고려하여 인버터 승강기 시스템의 고조파 전류 규제값을 총고조파 전류 왜형율 40% 이하가 되도록 권장값을 제안하였다.

Abstract

In order to analyze harmonics generated from inverter elevator systems which were made in Korea and to find out their effects on other electric facilities, harmonic voltages and harmonic currents were measured for the inverter elevators installed in apartment complex and buildings. As a result, total harmonic voltage distortion factors were appeared to be small, however, total harmonic current distortion factors were found to be very large. In regard to the effects of harmonics on electric facilities in the apartment complex, harmonics from the inverter elevators have no influence on condensers used for power factor improvement, however, they need to be reduced in consideration of the electric generator. Also, it is proposed that total current harmonic distortion factors may not be more than 40% as a advising harmonic current limit for the inverter elevator systems in considering the permissible percent equivalent reverse-phase current of the electric generator and measured values of this study.

1. 서 론

*正會員: 대한주택공사 연구소 선임연구원

**正會員: 대한주택공사 연구소 연구원

接受日字: 1994年 3月 28日

최근 산업분야 뿐만 아니라 가전제품에 이르기까지 광범위한 분야에서 반도체 응용기기의 보급이 확산되고 있고, 이에 따라 고조파 전류에 의

한 계통에 전압 왜형율이 점점 증가하면서 역률 개선용 콘덴서나 비상 발전기 등 일부기기의 장애가 현저하게 나타나고 있다.¹⁾ 이러한 고조파 발생 증가추세는 빌딩이나 공동주택설비에 있어서도 마찬가지이며, 특히 현재 많이 도입되고 있는 중앙감시 및 제어장치들은 약전류신호를 다루는 설비이므로 고조파로 인해 치명적인 오동작을 일으킬 우려가 있다.²⁾ 따라서, 선견적인 안목으로 고조파 대책을 철저히 마련하여야 한다.

한편, 인버터 승강기는 종래의 교류계환제어(DB제어: Dynamic Breaking제어)방식의 승강기에 비해 승차감이 좋고 에너지 절감 효과가 뛰어나기 때문에 최근 고층 아파트와 빌딩에 많이 설치되고 있다.^{3), 4)} 그러나, 인버터 승강기 시스템은 인버터 제어방식으로 인해 고조파 전압 및 고조파 전류가 많이 발생하며, 발생한 고조파로 인하여 수변전설비, 비상발전설비, 통신설비와 중앙감시·제어설비 등에 장애를 일으킬 수 있기 때문에 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파를 측정하고 분석하여, 고조파 방지대책의 수립 및 고조파 발생 허용한도의 기준을 정립할 필요가 있다.

본 연구에서는 이러한 관점으로부터 국내에서 제작된 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파 전압 및 고조파 전류를 측정하고, 공동주택에 설치되는 전기설비를 중심으로 분석하여 고조파 대책을 강구하고 인버터 승강기 시스템의 고조파 제한값을 제안하고자 한다.

2. 인버터 승강기 시스템에서의 고조파 측정방법

측정 대상으로는 속도 60 m/min 및 90 m/min의 인버터 승강기에 대해 각각 8인승, 11인승, 13인승, 15인승, 17인승으로 전체 10가지 형태의 승강기에 대해 국내 유수의 승강기 제작업체 4개사를 대상으로 하였으며, 고층 아파트 및 빌딩에 설치되어 가동중인 인버터 승강기에 대해 측정하였다.

인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파 전압 및 고조파 전류를 측정하는 데에는 디지털 전

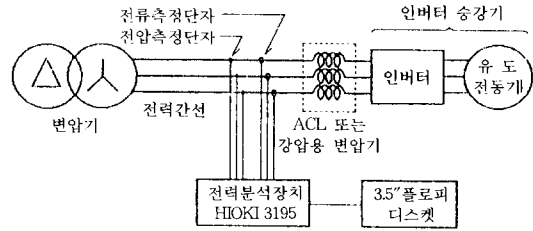


그림 1. 측정장치 개략도
Fig. 1. Skeleton Diagram of Measurements

력분석장치(Hioki, Digital Power Analyzer 3195)와 전류측정용 클램프프로브를 사용하였다. 본 연구의 측정장치 개략도를 그림 1에 나타내었다.

한편 승강기는 전부하의 조건에서 운행시켰으며, 가속시 최대전류가 나타날 때와 정속으로 주행할 때의 총고조파 전압 왜형률 및 전류 왜형률을 구하였다. 이 때, 총고조파 전압 왜형률 및 전류 왜형률은 3상 중 최대의 것을 택하였으며, 각 차수별 고조파 전압 및 전류값을 알기 위해 49차까지 분석하였다.

3. 고조파 실측결과

총고조파 전압 왜형률 및 전류 왜형률

각 승강기 업체의 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파 전압 및 고조파 전류를 승강기의 탑승인원별로 측정하여, 총고조파 전압 왜형률(% V) 및 전류 왜형률(% A)을 표 1에 나타내었다. 여기서, 총고조파 왜형률은 2차에서 49차까지의 고조파에 대해 계산된 결과이다. 승강기 업체에 따라 인버터 제어방식과 사용하는 스위칭 소자가 다르고, 측정 대상인 고층 아파트와 빌딩 등의 전원 임피던스가 다르기 때문에 고조파 발생량은 다르게 나타났다. 특히 스위칭 소자로는 보통 200[V]급 파워 트랜지스터를 많이 사용하여 인버터 입력단(전원측)에 강압용 변압기(380[V]→200[V])를 설치한 경우가 많았고, 400[V]급 파워 트랜지스터를 사용한 경우에는 전원측에 직렬리액터(ACL)를 설치하고 있었다.

표 1에 나타난 바와 같이 ACL을 설치한 경우에는 설치하지 않은 경우에 비해 고조파 발생량이 현저하게 작았다. 또한, 총고조파 전압 왜형률

은 정속시 보다는 가속시가 크게 나타나고, 총고조파 전류 왜형율은 정속일 때가 크게 나타났다. 이러한 이유는 가속시에는 정속일 때에 비해 큰 전류가 흐르므로 전압강하가 더 일어나 총고조파 전압 왜형율이 크게 나타나며, 총고조파 전류 왜형율의 경우에는 전류가 커짐에 따라 전류 파형에서 단속구간이 좁아짐으로써 정현파에 좀 더 근사한 파형이 되므로 고조파 성분이 작게 되기 때문이다.

$$\begin{aligned} \text{단, \% V(총고조파 전압 왜형율)} \\ &= \frac{\sqrt{V_2^2+V_3^2+V_4^2+V_5^2+\dots}}{V_1} \times 100\% \\ \text{\% A(총고조파 전류 왜형율)} \\ &= \frac{\sqrt{I_2^2+I_3^2+I_4^2+I_5^2+\dots}}{I_1} \times 100\% \end{aligned}$$

여기서, V_1 : 기본파 전압,
 V_2, V_3, V_4, \dots : 각 조파의 전압

I_1 : 기본파 전류,
 I_2, I_3, I_4, \dots : 각 조파의 전류

한편, 표 1에서 보면 가속시에 비해 정속시가 오히려 역률이 좋지 않은데, 이것은 본 연구에서 계산한 역률이 고조파를 고려한 종합역률이며, 가속시 보다는 정속시가 총고조파 전류 왜형율이 더 나쁘므로 종합역률 또한 나쁘게 된다고 볼 수 있다. 그리고, ACL이 있는 경우의 역률은 ACL이 없는 경우의 역률에 비해 상당히 개선된 것을 볼 수 있는데 이 역시 ACL설치로 인해 고조파 발생량이 저감됨에 따라 종합역률도 개선된 것으로 생각된다.

각 차수별 고조파 전압, 고조파 전류

상기한 표 1에서 보면, 총고조파 전압 왜형율은 저압 계통에서 일반적으로 허용해 주고 있는 5% 정도¹⁾ 보다 작게 나타났으나, 정속시의 총고

표 1. 인버터 승강기 시스템의 총고조파 왜형율 및 역률

Table 1. Total Harmonic Distortion Factors and Power Factors of Various Inverter Elevator Systems

① ACL이 없는 경우

기 종	왜형율, 역률	가 속 시			정 속 시		
		% V [%]	% A [%]	역률	% V [%]	% A [%]	역률
60 m/min	8 인	14.~2.2	54.3~58.7	0.884	1.3~2.2	61.6~73.4	0.832
	11 인	1.5~1.9	65.7~72.6	0.830	1.4~1.5	77.8~80.3	0.788
	13 인	2.0~2.9	49.0~57.7	0.882	1.8~2.7	68.6~70.3	0.820
	15 인	2.0~2.6	47.4~64.8	0.874	1.6~2.1	66.8~77.3	0.827
	17 인	2.3~3.3	46.3~67.3	0.872	2.1~2.2	73.2~74.0	0.829
90 m/min	8 인	1.5~2.7	68.7~71.1	0.813	1.3~2.6	73.5~78.3	0.797
	11 인	2.2~2.8	44.8~67.8	0.887	2.0~2.6	53.2~76.7	0.807
	13 인	3.0~3.1	55.6~66.0	0.852	2.5~3.0	70.1~71.6	0.834
	15 인	2.5~3.1	46.8~60.3	0.883	2.4~3.7	57.8~68.1	0.847
	17 인	2.8~2.9	39.4~57.0	0.886	2.2~2.6	60.1~71.3	0.835

② ACL이 있는 경우

기 종	왜형율, 역률	가 속 시			정 속 시		
		% V [%]	% A [%]	역률	% V [%]	% A [%]	역률
60 m/min	8 인	1.5	41.3	0.907	1.3	55.2	0.869
	13 인	4.4	50.7	0.897	4.0	66.5	0.844
	15 인	1.9	36.1	0.922	1.8	45.2	0.908
	17 인	2.2	30.1	0.920	1.9	38.0	0.910
90 m/min	15 인	1.4	39.3	0.906	1.3	48.5	0.884
	17 인	1.7	38.8	0.908	1.6	45.0	0.893

조파 전류 왜형율은 ACL이 없는 경우에는 53.2~80.3%, ACL이 있는 경우에도 38.0~66.5% 정도로 상당히 크게 나타났으므로, 각 사별로 총고조파 전류 왜형율이 가장 큰 인승에 대해 각 고조파 차수별로 나타내면 표 2와 같다. 이 때, 인버터 승강기 시스템은 PWM방식으로 다이오드를 이용하여 3상 브리지 정류를 하기 때문에 고조파 차수는 주로 (6n±1)차, 즉, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, ...차가 크게 나타나므로, 이 들 차수에 대해서만 값을 나타내었다. 또한, 41차 이상은 상당히 미약하게 나타났기 때문에 37차까지

만 나타내었다. 참고로 표 3에 각 사별로 인버터 승강기의 제어방식 등에 대해 나타내었다.

한편, 국내의 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 각 차수별 최대 고조파 전류 발생량을 알아보기 위하여, 측정 데이터 전체에서 2차 ~ 49차의 각 차수별 고조파 전류 발생량 중 최대인 것들을 취해 기본파에 대한 비율(%)을 구하고 이들 중에서 표 2에 나타낸 차수에 대해 표 4에 나타내었다. 이 때, 2차에서 49차까지에 대한 총고조파 전류 왜형율도 계산하여 같이 나타내었다.

표 2. 각 차수별 고조파 전압, 고조파 전류 측정값
Table 2. Measured Values of Each Harmonic Voltage and Current

① ACL이 없는 경우

업체, 전압, 전류	차 수	기본파	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31	35	37	비 고 (왜형율) [%]
			차	차	차	차	차	차	차	차	차	차	차	차	
A사	전압[V]	379.3	5.2	2.6	0.8	0.8	0.7	0.4	0.5	0.3	0.7	0.7	0.6	0.2	1.9%
	전류[B]	14.5	8.0	5.2	1.0	0.9	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	80.3%
B사	전압[V]	373.6	2.7	3.5	1.0	1.5	0.5	0.5	0.7	0.3	0.5	0.4	0.4	0.2	1.3%
	전류[A]	17.0	10.9	7.3	1.4	1.1	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	78.3%
C사	전압[V]	360.9	4.8	1.1	0.3	0.6	1.1	1.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	1.5%
	전류[A]	12.9	8.2	5.5	1.1	0.8	0.6	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	77.8%

② ACL이 있는 경우

업체, 전압, 전류	차 수	기본파	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31	35	37	비 고 (왜형율) [%]
			차	차	차	차	차	차	차	차	차	차	차	차	
D사	전압[V]	400.3	14.9	4.3	0.4	1.1	0.6	0.8	0.4	0.1	0.8	0.3	0.1	0.4	4.4%
	전류[A]	10.7	5.2	1.4	1.0	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	1.0	66.5%

표 3. 각 사별 인버터 승강기 제어방식
Table 3. Control Methods of Inverter Elevators for Various Manufacturers

업체	구분	인버터 입력 단 전원 공급 방식	제 어 방 식	스 위 칭 차 소 차	강 압 용 기 변 압 용 기	리 액 터 유 터
A, B, C사		다이오우드 사용 3상 전파정류	PWM, 벡터제어	200 V 급 Power TR	사 용	무
D사		"	"	400 V 급 IGBT	미사용	유

표 4. 각 차수별 최대 고조파 전류[%]
Table 4. Each Maximum Harmonic Currents

차 수	기본파	5	7	11	13	17	19	23	25	29	31	35	37	단위 [%]
전류 [%]	100%	60.9	36.0	7.1	6.7	3.7	3.0	1.9	1.5	1.5	1.1	1.1	0.7	82.5%

4. 결과분석

앞에서 나타난 측정 결과를 토대로 고조파 전압 및 고조파 전류를 분석하면 다음과 같다.

고조파 전압 : 국내 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 총고조파 전압 왜형율은 4% 이하로 나타나, 일반적으로 저압 배전계통에서 적용하고 있는 5%의 규제값¹⁾이내에 해당되므로 문제없는 것으로 나타났다.

고조파 전류 : 총고조파 전류 왜형율은 상당히 큰 값으로 ACL이 없는 경우에는 53.2%~80.3%가 발생되었다. 물론 종래의 교류계환제어(DB제어)방식에서도 싸이리스터를 이용한 위상제어방식을 채택하기 때문에 상당한 양의 고조파가 발생되어 고조파 문제가 없었던 것은 아니지만, 최근 전자기기의 사용 및 CVCF와 같은 고조파 발생부하의 증가 추세에 따라 고조파 장애에 대한 문제점이 점점 크게 부각되고 있다.

이와 같이 고조파 전류는 문제의 소지가 있으나, 고조파 전류에 대한 규제는 아직 국제적으로도 제시되지 않고 있다. 이러한 관점에서부터 본 연구에서는 공동주택의 전기설비에 고조파 전류

가 어떠한 영향을 미칠 수 있는지에 대해 다음 두 가지 측면에서 검토하였다.

역률 개선용 콘덴서에 미치는 영향

역률 개선용 콘덴서에 과도한 고조파 전류가 흐르면 콘덴서의 과열 및 파괴를 초래할 수 있다. 이것은 전동기와 진상 콘덴서에 직렬 연결된 리액터의 유도성 임피던스와 콘덴서의 용량성 임피던스가 어느 주파수에서 공진을 일으킬 때, 그 주파수에 해당하는 고조파 전류가 과도하게 흐르면 콘덴서는 파괴에 이르게 된다. 따라서, 직렬 리액터의 용량산정시에는 콘덴서와의 공진상태에서 벗어나도록 주의하여야 하며, 콘덴서에 흐르는 각 차수별 고조파 전류를 어느 정도의 값 이하로 제한하여야 한다. 이에 대해 콘덴서의 각 고조파 차수별 연속 허용한도와 단시간 허용한도를 표 5에 나타내었다. 일반적으로 공동주택이나 일반 빌딩에 주로 설치되는 유도 전동기의 진상용 콘덴서 용량은, 1~100[HP] (0.75~75[kW])인 유도 전동기의 경우 380[V]정격일 때 10~400[μ F], (0.6~24[kVA])정도이므로 대체로 표 5의 범주에 들어간다.

앞서 언급한 표 4의 각 차수별 최대 고조파

표 5. 진상용 콘덴서의 고조파 전류 허용 한도 (기본파 전류 100%의 경우)

Table 5. Permissible Limits of Harmonic Current for Condensers (in terms of Fundamental Wave 100%)

① 고조파 전류 연속 허용 한도

[단위 %]

전 류	콘덴서 정격		고 조 파 차 수							
	정격 전압	정격 용량	1	5	7	11	17	23	31	39
기본파 전류 100%의 경우	3.3-6.6kV	10-100kVA	100	91	91	91	91	91	91	91
	400V 급	10-50 kVA	100	83	83	83	83	83	83	83
	200V 급	50-500 μ F	100	83	83	83	83	83	83	83

② 고조파 전류 단시간 허용 한도

[단위 %]

시 간	콘덴서 정격		고 조 파 차 수							
	정격 전압	정격 용량	1	5	7	11	17	23	31	39
0.1초	3.3-6.6kV/10-100kVA 400V 급/10-50kVA 200V 급/50-500 μ F		100	400	560	880	880	880	880	880
2초			100	250	350	550	550	550	550	550
1분			100	150	210	330	330	330	330	330
30 분	3.3-6.6kV/10-100kVA 400V 급 /10-50kVA 200V 급/50-500 μ F		100	91	91	91	91	91	91	91
			100	83	83	83	83	83	83	83
			100	83	83	83	83	83	83	83

전류값[%]과 표 5의 고조파 전류 허용한도값 [%]을 비교하여 볼 때, 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파 전류는 콘덴서의 차수별 고조파 전류 허용한도[%]이내에 있는 것을 쉽게 알 수 있으며, 승강기가 여러 대 병렬로 연결되어 고조파 발생량이 증첩되더라도 각 차수별 고조파 발생비율[%]은 최대가 표 4의 값 이하일 것이므로 허용한도 이내가 된다. 따라서, 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파 전류에 의한 콘덴서 장애는 현 수준으로도 큰 문제가 없다.

단, 콘덴서 용량 환산식

$$Q[\text{kVA}] = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot V^2 \cdot 10^{-9}[\text{kVA}]$$

(f: 기본파 주파수 [Hz], C: 콘덴서 용량 [μF] V: 정격전압[V])

비상 발전기에 미치는 영향

비상 발전기에서는 고조파 전류로 인해 고정자 권선 손실 및 고정자 철심 손실 그리고 회전자 표면에 설치된 댐퍼 권선 손실의 증가와, 그 결과로서 부분적인 국부온도 상승을 가져오며, 이와 동시에 전압 파형을 왜곡시킨다. 따라서, 발전기에서는 고조파 문제에 대해 등가역상전류 I_{2eq} 를 기준으로 고조파 전류를 규제하고 있다.²⁾ 즉, 등가역상전류 I_{2eq} 는

$$I_{2eq} = \sqrt{\sum_k [\sqrt{3k/2} \cdot (I_{3k-1} + I_{3k+1})]^2}$$

(단, I_{3k} : $3k$ 차 고조파 전류 [A], $k=1, 2, 3, \dots$)

이며, 발전기에서 허용되는 역상전류의 값에 대해서 발전기는 15%의 역상전류(발전기 정격 전류의 15%)에 견뎌야 하는 규정이 있으므로⁶⁾, 발전기에서의 고조파 전류 규제값도 % 등가역상전류 15%로 제한된다.²⁾

인버터 승강기 시스템의 %등가역상전류에 대해 표 3에 나타난 각 차수별 고조파 전류와 상기한 등가역상전류 계산식을 이용하고, 공동주택의 경우 비상 발전기에 걸리는 전체 부하 중에서 승강기 부하의 비율을 25%로 보면⁷⁾, %등가역상전류는 다음과 같이 계산할 수 있다.

표 4로부터 기본파를 100[A]로 보고 상기식을 이용하여 등가역상전류를 계산하면

$$I_{2eq} = 130.17[\text{A}]$$

이다. 한편, 발전기 정격전류는 발전기 출력에 따

라 다르므로, 여기서는 발전기에 흐르는 전체 전류를 이용한다. 즉, 표 4에 나타난 총고조파 전류 왜형률 82.5%를 이용하여 전체 전류 I를 계산한다. 총고조파 전류 왜형률 A는

$$A = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1} = 0.825$$

이므로,

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots} = I_1 \cdot \sqrt{1 + A^2}$$

이고, 승강기 부하는 발전기에 걸리는 전체 부하의 25%라 보면, %등가역상 전류는

$$\begin{aligned} \%I_{2eq} &= \frac{I_{2eq}}{I} \cdot 100(\%) \cdot 0.25 \\ &= \frac{I_{2eq}}{I_1 \cdot \sqrt{1 + A^2}} \cdot 25(\%) = 25.1(\%) \end{aligned}$$

로 계산된다.

결국 측정값을 이용하여 구한 인버터 승강기 시스템의 %등가허용전류는 발전기 정격 전류의 25.1%로 되어 발전기에서의 제한값인 15%를 훨씬 상회하게 된다. 따라서, 현재 국내에 설치된 인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파는 비상 발전기에 문제를 초래할 수 있으므로, 적정한 수준으로 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생량을 규제할 필요가 있다.

인버터 승강기 시스템과 같은 전력전자장치에서 발생하는 고조파 전류의 규제값에 대해서는 아직 국제적으로 공인된 규제값이 없으며, 이러한 규제값 결정에 있어서는 관계자의 이해 관계가 반드시 일치하지는 않으므로 규제값 설정은 상당히 어려운 문제이다. 본 연구에서는 일단 공동주택의 경우 비상 발전기의 허용등가역상전류를 중심으로 고조파 전류 규제 권장값에 대해 다음과 같이 고려해 보았다.

앞에서 언급한 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생량에 대한 발전기의 %등가 역상전류 $\%I_{2eq}$ 는 결국 총고조파 전류 왜형률이 82.5%일 때 25.1%이므로, 역으로 %등가역상전류가 15%일 때의 총고조파 전류 왜형률 %A를 구하면 된다. 즉,

$\%I_{2eqa}(=25.1\%)$ 에서 $\%I_{2eqb}(=15\%)$ 로 줄었다면, $A_a(=0.825)$ 일 때 A_b 는 얼마로 줄었는지를 구한다.

총고조파 전류 왜형률 A가 A_a 에서 A_b 로 줄었

다면, 기본파를 제외한 각 차수별 조파들도 I_{am} 에서 I_{bm} 으로 줄었을 것이다. 이 때,

$$I_{am} = x \cdot I_{bm}$$

으로 x 의 비율로 되었다면, A_b 는

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{\sqrt{I_{b2}^2 + I_{b3}^2 + I_{b4}^2 + \dots}}{I_1} \\ &= \frac{\sqrt{x^2 \cdot I_{a2}^2 + x^2 \cdot I_{a3}^2 + x^2 \cdot I_{a4}^2 + \dots}}{I_1} \\ &= x \cdot \frac{\sqrt{I_{a2}^2 + I_{a3}^2 + I_{a4}^2 + \dots}}{I_1} \\ &= x \cdot A_a \end{aligned}$$

가 된다. 또한, I_{2eq} 도 I_{2eqa} 에서 I_{2eqb} 로 되었다면,

$$\begin{aligned} I_{2eqb} &= \sqrt{\sum_k [\sqrt{3k/2} \cdot (I_{b_{3k-1}} + I_{b_{3k+1}})^2]} \\ &= \sqrt{\sum_k [\sqrt{3k/2} \cdot (x \cdot I_{a_{3k-1}} + x \cdot I_{a_{3k+1}})^2]} \\ &= x \cdot \sqrt{\sum_k [\sqrt{3k/2} \cdot (I_{a_{3k-1}} + I_{a_{3k+1}})^2]} \\ &= x \cdot I_{2eqa} \end{aligned}$$

로 된다. 결국 각 차수별 조파와 왜형율, 등가역상전류[A]는 같은 비율로 줄게 된다.

이제 %등가역상전류에 대해 고려하면,

$$\begin{aligned} \%I_{2eqb} &= \frac{I_{2eqb}}{I_1 \cdot \sqrt{1 + A_b^2}} \cdot 25(\%) \\ &= \frac{x \cdot I_{2eqa}}{I_1 \cdot \sqrt{1 + x^2 \cdot A_a^2}} \cdot 25(\%) \\ &= \%I_{2eqa} \cdot \frac{\sqrt{1 + A_a^2}}{\sqrt{(1/x)^2 + A_a^2}} \end{aligned}$$

로 되고, 결국 x 는

$$x = \sqrt{\frac{(\%I_{2eqb}/\%I_{2eqa})^2}{1 + [1 - (\%I_{2eqb}/\%I_{2eqa})^2] \cdot A_a^2}} \text{ 가 되어,}$$

$\%I_{2eqa} = 25.1\%$, $\%I_{2eqb} = 15\%$, $A_a = 0.825$ 를 적용하면 $x = 0.5$ 이다.

따라서,

$$A_b = x \cdot A_a = 0.413$$

즉, 발전기의 허용 %등가역상전류 15%를 기준으로 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생 규제값에 대해 고려하면, 현재 최대 82.5%인 총고조파 전류 왜형율을 41.3%, 대략 40% 수준까지 낮춰야 한다는 결론에 도달하게 된다.

그러나, 이것은 승강기 시스템에서만 고조파가 발생된다고 가정할 때이고, 실제로는 발전기의

출력전압 자체로도 어느 정도의 고조파를 함유하고 있으며⁶⁾ 승강기 이외의 타 부하에서도 고조파가 발생되므로, 상기한 인버터 승강기 시스템에서 허용할 수 있는 총고조파 전류 왜형율 40% 보다는 작은 값으로 택해야 한다.

한편, 일본 내연력발전설비협회에서 제시한 비상발전기의 출력산출방식(NEGA C 201 방식)에서는 많은 시험과 조사를 통하여 인버터 승강기 시스템에서의 고조파 발생량(총고조파 전류 왜형율)을 교류계환제어(DB제어)승강기에서와 같이 35%로 상정하고 있다.⁸⁾ 즉, 이 값은 발전기 출력 산정시 인버터 승강기 시스템에서 이 정도의 고조파가 발생할 수 있다고 인정하는 값이므로, 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생한도로서 하나의 기준으로 생각할 수도 있다. 그러나, 이와 동시에 고조파로 인해 발전기 용량이 커지는 경우에는 특별한 발전기를 선정하도록 권장하고 있어, 이 값이 곧 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생 규제기준이라고는 볼 수 없다.

고조파는 작게 발생되면 될수록 좋은 것이므로 가능한한 작게 되도록 하여야겠으나, 인버터 제어방식에는 어쩔 수 없이 고조파가 발생되고, 줄이는 것도 기술적, 경제적인 문제와 직결되므로 적정한 선에서의 규제가 필요하다. 본 연구에서 측정된 결과를 보면 표 1에 나타난 바와 같이 ACL이 있는 경우에는 없는 경우에 비해 총고조파 전류 왜형율이 상당히 저감되었으므로 이를 토대로 하고, 또한 앞에서 언급한 비상발전기에서의 허용 %등가역상전류를 고려하여, 일단 총고조파 전류 왜형율이 40% 이하가 되도록 관련 업체를 유도하는 것이 좋겠다. 그리고, 향후 고조파 문제에 대해 국내업체에서도 충분한 관심을 갖게 되고 제반 규정에도 고조파 규제값을 정할 때에는 국제적으로 인정되는 규제값과 국내의 실정 등을 감안하여 보다 적합한 규제값을 설정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 국내에서 제작되는 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생량을 측정하고 분석하여

다음과 같은 결론을 얻었다.

인버터 승강기 시스템에서 발생하는 고조파를 고조파 전압과 고조파 전류로 나누어 검토한 결과 총고조파 전압 왜형율은 4%이내로 나타나 문제없는 것으로 나타났으나, 총고조파 전류 왜형율은 ACL이 없는 경우에는 53.2~80.3%, ACL이 있는 경우에도 38.0~66.5%정도로 상당히 크게 발생되었다. 이에 대해, 각 차수별로 고조파 전류를 분석한 결과, 역률 개선용 콘덴서에는 큰 문제가 되지 않으나 비상 발전기에서는 허용등가역상전류 제한값인 15%보다 큰 25.1%로 나타나 인버터 승강기 시스템의 고조파 발생량을 줄일 필요가 있는 것으로 나타났다.

인버터 승강기 시스템에 대한 고조파 전류의 규제값 결정은 상당히 어려운 문제로서 아직 국제적으로 공인된 규제값은 없으나, 비상 발전기의 허용 %등가역상전류와 ACL이 있는 경우의 실측값을 고려하여 국내 업체를 유도하고자하는 측면에서 일단 인버터 승강기 시스템의 고조파

전류 규제값을 총고조파 전류 왜형율 40%이하가 되도록 권장값을 제시하였다.

참 고 문 헌

- 1) 日本 高調波對策專門委員會, “電力系統における 高調波とその對策”, 電氣協同研究, 1990
- 2) 日本 電設工業, “高調波と 障害對策”, 1983년 5월호, pp.1-71
- 3) 日本 電設工業, “特輯 インバータ”, 1989년 2월호, pp.1-85
- 4) 坂井吉男, “インバータ 制御 エレベータの 電源容量 と配線”, 電設工業, 1986년 9월호, pp.81-89
- 5) 三 電氣(株), “インバータ應用 マニュアル”, 電氣書院, 1985
- 6) 한국 전기공업협동조합, “디젤엔진 구동 육상용 동기발전기”, KEMC 1111, 1989
- 7) 대한주택공사, “인버터승강기의 동력설비 용량산정 및 고조파 해석에 관한 연구”, 1993
- 8) 日本 電設工業, “ツリーズ解説 最近の 消防法 および同政令 規則に 關する 通知(その1)”, 1989년 3월호, pp.110-128

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 정 태(金正泰)
1960年 1月 1日生. 1982年 漢陽大工大 電氣工學科 卒. 1992年 漢陽大大學院 電氣工學科(工博). 現在 大韓住宅公社 先任研究員.



홍 규 장(洪圭壯)
1960年 1月 24日生. 1987年 崇實大 電氣工學科 卒. 1989年 崇實大 大學院 電氣工學科(碩士). 現在 大韓住宅公社 住宅研究所 研究員.



이 기 홍(李起弘)
1962年 11月 17日生. 1988年 忠南大工大 電氣工學科 卒. 1990年 忠南大大學院 電氣工學科(碩士) 卒. 現在 大韓住宅公社 研究所 研究員.