

A Measurement of Switching Surge Voltage Using Inverter devices

金宗謙* · 鄭鍾浩** · 李殷雄***

(Jong-Gyeum Kim · Jong-Ho Jeong · Eun-Woong Lee)

Abstract - Most adjustable-speed drives (ASDs) designed to operate low voltage induction motors incorporate voltage-source inverters (VSIs), which create motor voltages at high switching frequencies. The motor leads used to connect an ASD to a motor can behave like transmission lines for voltage pulses, which can be reflected at the motor terminals. The resulting oscillatory transient, known as the long-lead effect, can stress and consequently degrade the stator insulation system of a motor. This paper describes the results of tests to 1) determine the correlation between peak motor voltage and the length of motor leads and 2) determine the correlation between peak motor voltage and the switching frequency of the ASD

Insulation failures like this usually are caused by voltage surges. Voltage surges are often the result of switching power circuits, lightning strikes, capacitor discharges and solid-state power devices.

Key Words : Overvoltage, PWM, Inverter, Ringing, Switching Surge, ASD

1. 서 론

전력전자 스위칭 소자의 개발은 높은 주파수의 스위칭 동작을 가능하게 하였고, PWM 인버터의 동작 개선으로 자체 손실 저감은 물론 유도전동기의 원활한 속도제어로 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 되었다. 인버터에 사용되는 소자는 BJT, GTO나 MOSFET의 수십[㎐]의 스위칭 주파수를 가진 IGBT와 같은 소자의 도입이 보편화되었으며 수백[kW]까지 사용 가능한 소자도 개발되고 있다.

중소형 유도전동기의 가변속 제어장치는 IGBT를 채용한 PWM 전압형 인버터를 주로 채용하고 있다. 빠른 스위칭 동작의 소자를 채용한 인버터의 출력측에서 발생한 급준도의 펄스파형이 전동기 단자에 그대로 전달될 경우 급준도의 스위칭서지 전압스트레스에 의한 권선 절연고장이 발생할 수 있다[1-6].

높은 스위칭 속도와 재료 스위칭 동작기법은 PWM 인버터의 특성을 향상시키지만, 0.1[μs]이하의 높은 전압상승비율 (dv/dt)은 케이블 길이가 긴 가변속 전동기 제어 설비에서 왜형된 전압파형을 발생시켜 전동기 절연손상과 베어링에 부작용을 일으키는 등 시스템에 나쁜 결과를 낳을 수 있다.

인버터 스위칭 동작에 의한 전동기 단자에 나타나는 피크

과전압은 케이블 길이의 증가나 파형의 준도가 클 경우 직류 버스전압의 거의 2배가 나타날 수 있지만, 대부분의 엔지니어는 전동기 권선에 미치는 스위칭 과전압의 실제 위험성에 대해 크게 인식하지 못하고 있다.

전동기의 권선 절연에 영향을 주요한 요소는 전압의 크기 뿐만 아니라 인버터 스위칭 동작에 의한 반복성의 급준과 전압성분이다. 이 급준과 전압의 크기는 사용하는 인버터의 스위칭 소자의 종류와 운전 및 설치조건에 따라 부하측 단자에 다르게 나타날 수 있기 때문에 정확한 해석과 측정을 통해 영향을 최소화하여 권선의 절연수명을 높이는 것이 시스템의 신뢰도 증진을 위해 매우 중요하다.

본 논문에서는 저압설비의 유도전동기용 가변속 제어에 적용되고 있는 전압형 PWM 인버터의 스위칭에 의해 전동기 입구단에 나타나는 전압의 크기를 스위칭 동작주파수, 운전주파수 및 케이블 길이 변화에 따른 서지전압의 크기를 측정 분석하였다.

2. 전압반사 이론과 영향

2.1 전압반사 이론

전동기 속도제어를 위해 사용되는 인버터용 전력변환소자의 스위칭속도가 빠를 경우 높은 급준도 전압(dv/dt)을 발생한다. 빠른 스위칭주파수를 가진 소자가 인버터에 적용될 경우 인버터 출력측에 발생한 펄스전압이 케이블과 전동기 임피던스와 결합으로 전동기 단자에서 전압 오버슈트를 발생한다. 이 오버슈트는 반복성이고, 연속적인 것으로서 전동

* 正 會 員 : 國 立 原 州 大 學 電 氣 科 副 教 授 工 博
 ** 正 會 員 : 忠 南 大 工 大 電 氣 工 學 科 博 士 科 程 修 了
 *** 正 會 員 : 忠 南 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博
 接 受 日 字 : 2003 年 12 月 15 日
 最 終 完 了 : 2004 年 2 月 26 日

기의 고정자에 전압스트레스로 작용하여 결국에는 권선 수명을 단축할 수 있다.

인버터에서 발생한 펄스 파형이 케이블을 통해 전동기에 전달될 경우 거울의 반사와 같이 케이블과 전동기의 서지 임피던스에 의한 반사계수의 영향으로 펄스 파형이 계속 진행하게되므로 전송선의 진행과로 해석한다[1,2,4].

인버터의 출력측에서 발생한 전압 E_i 가 케이블을 거쳐 전동기 단자에 전달될 경우 임피던스 부정합에 의해 반사되는 전압 E_r 은 식 (1)과 같다.

$$E_r = \tau_L \times E_i \quad (1)$$

식 (1)에서 반사계수 τ_L 는 식 (2)와 같이 전동기 임피던스와 케이블 인덕턴스 및 커패시턴스에 의해 결정된다. 실제 반사계수는 10마력 이하 소형 전동기의 경우 대개 0.9~1.0 이지만, 중대형의 경우 0.8 이하이다.

$$\tau_L = \frac{Z_m - Z_c}{Z_m + Z_c} \quad (2)$$

여기서 Z_m 와 Z_c 는 각각 전동기와 케이블의 서지 임피던스로 식 (3)과 같다.

$$Z = \sqrt{L/C} \quad (3)$$

케이블과 전동기의 임피던스 부정합에 의해 인버터의 출력단에서 발생한 전압이 입사와 반사를 반복하여 최종적으로 전동기 단자에 나타나는 전압 E_t 은 식 (4)가 된다.

$$E_t = \frac{2 \times Z_m}{Z_m + Z_c} \times E_i \quad (4)$$

전동기의 임피던스가 케이블의 임피던스에 비해 매우 크며, 특히 소형전동기의 경우는 매우 높은 값을 나타내므로 임피던스 값을 무한대 또는 개방으로 해석할 경우 전동기 단자에 나타나는 전압은 인버터에서 발생한 전압의 거의 두배가 된다[1,4]. 전동기에 비해 케이블의 임피던스는 상대적으로 낮기 때문에 식 (2)에서와 같이 반사계수가 높아지므로 인버터 출력단의 파형 준도가 높을 경우 전동기에 나타나는 전압의 크기는 상대적으로 높다. 인버터와 부하측에 연결되는 케이블측에 필터 등의 설치로 임피던스 값을 높일 경우 인버터에 나타나는 전압의 크기를 줄일 수 있다.

인버터 출력단에서 전동기 단자로 전파되는 파형의 지속시간 (t_t)은 식 (5)와 같이 사용 케이블의 비유전율 ϵ_r 및 빛의 전파속도 c 로 전개되므로 케이블의 길이 (l_c) 증가는 파형의 지속시간 증가로 이어져 전압스트레스의 영향은 커진다[4].

$$t_t = \frac{\sqrt{\epsilon_r} \times l_c}{c} \text{ [ns]} \quad (5)$$

3상 전파 정류회로에 의해 인버터 출력단에 나타나는 전압(E_i)은 직류버스전압 V_{DC} 과 같으며 식 (6)이 된다. 따라서 3상 220[V]의 실효치 전압(V_{eff})인 경우 297[V]로서 1[pu]가 된다.

$$V_{DC} = 3 \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{eff} \quad (6)$$

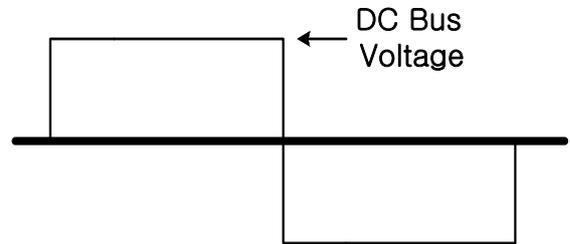
인버터 출력단 전압이 케이블의 비유전율, 길이에 의한 전파시간 및 임피던스등의 영향에 의해 전동기 단자에 나타내는 피크전압의 크기는 식 (7)과 같다.

$$V_{peak} = (\tau_L + 1) \times V_{DC} \quad (7)$$

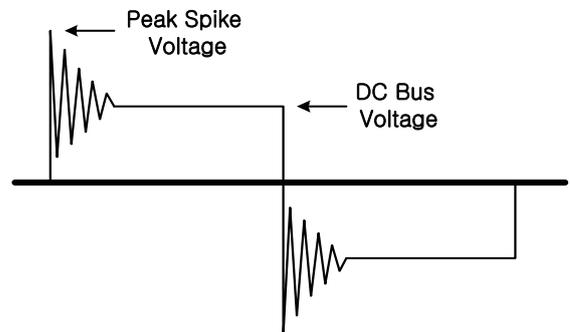
2.2 스위칭전압의 영향

전동기에 60[Hz] 정현파 전압을 인가할 때 베어링 절연열화전압은 0.4~0.7[V] 이지만, PWM 인버터의 빠른 스위칭 동작에 의한 에지(edge)는 8~15[V]로 매우 높아 그리스 절연내력을 초과할 수 있다[5,7]. 이와 같은 높은 절연열화전압은 높은 베어링 flashover 전류를 발생시켜 짧은 시간에 베어링의 손상을 증가시킬 수 있다. 또한 공통 모드 노이즈(누설전류)는 저압 제어신호를 방해하고 차단회로를 오동작 시킬 수도 있다[7].

그림 1은 PWM 인버터로 운전하는 가변속 드라이브의 인버터 출구측 및 전동기 단자에서의 전압 파형을 나타낸 것이다. 인버터 출구측에서의 전압은 그림 1(a)와 같이 거의 구형파에 가깝지만, 전동기 입구단에서의 전압 파형은 그림 1(b)와 같이 직류버스 전압보다 매우 높은 전압의 발생으로 전동기 절연에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 이 전압은 링잉(ringing)현상으로 부하의 운전동안 지속적으로 발생하며, 케이블 길이 증가나 파형의 준도가 빨라짐에 따라 전압의 크기도 높다.



(a) 인버터 출구 전압



(b) 전동기 단자 전압

그림 1 PWM 인버터 운전시 전압 파형
Fig. 1 Voltage Waveform at PWM Inverter Operation

그림 1(b)와 같이 인버터 출력 펄스에서 빠른 상승시간과 인버터와 전동기 사이의 케이블 길이가 긴 경우는 직류 버스 전압의 거의 두 배 또는 그 이상에 상당하는 과전압 반사를 일으킬 수 있다. 그림 1(b)에서 알 수 있듯이 펄스의 시작부분에서 높은 스파이크가 발생하는 이유는 인버터와 전동기 사이에 존재하는 전송선의 전압과 반사 때문이다. 또한 스파이크의 높이에 영향을 주는 변수로서는 케이블과 전동기의 서지 임피던스, 인버터에서 전류가 온·오프될 때의 전압 상승시간 및 케이블 길이의 함수인 라인 임피던스 등이 있다.

2.3 전동기 권선절연

인버터에 의해 발생하는 서지 전압의 크기를 줄이는 것도 중요하지만, 그 영향을 받는 권선 절연문제에 대한 대비도 중요하다.

저압 유도전동기의 권선은 그림 2와 같이 난권(random wound) 또는 코일삽입(coil inserted)법을 사용하고 있는데 이것은 형권(form wound) 또는 슬롯내 권선(in-slot wound)법과는 달리 코일의 첫 번째 턴과 마지막 턴이 서로 매우 가까울 확률이 높아 높은 급준도 서지 전압의 전달될 경우 가장 큰 영향을 받는다[3-5]. 따라서 전동기의 권선 작업시 높은 전압에 의한 영향이 최소가 되도록 해야 한다.

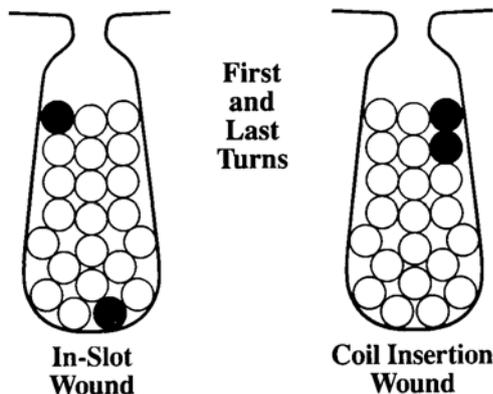


그림 2 저압 전동기의 권선법
Fig. 2 Winding of low voltage motor

인버터 출력단에서 발생한 급준도 전압에 의한 전동기 권선절연 고장은 대지절연 고장, 상절연 고장 및 코일 또는 코일그룹 절연 고장중의 하나 또는 중복으로 발생한다. 전동기 권선에서 코일의 첫 번째와 마지막 턴사이 가장 큰 전위차가 존재하기 때문에 급준도가 도래했을 경우에는 턴간 절연이 가장 큰 영향을 받을 수 있다[2-5,7].

인버터에 의한 운전되는 저압 전동기의 전압스파이크는 1.6[kV/μs]로 NEMA 규정에 명시되어 있으나 인버터 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 현재 보완하는 중이다.

3. 스위칭서지전압 측정 및 결과분석

산업용 가변속 제어장치에는 전압형과 전류형이 있지만, 중소형은 전압형이 주류를 이루고 있다.

그림 3은 유도전동기를 가변속 제어하는 전압형 PWM 인버터 계통도이다. 컨버터부는 다이오드를 채용한 정류회로부, 평활용 링크부 및 인버터부는 IGBT를 채용한 PWM 방식으로 구성되어 있다.

팬 부하 구동용 220[V] 3마력 유도전동기용 PWM 인버터를 사용하여 전동기 단자에 나타나는 전압 파형을 측정하였다. 측정에 사용한 계측기는 150[MHz] 디지털 오실로스코프로서 전압프로브는 100:1인 것을 사용하였다. 또한 저압 케이블은 600[V] CV 3.5[mm]×3C를 채택하였다.

인버터 스위칭에 의해 전동기 단자에 나타나는 전압의 크기 및 준도에 영향을 줄 수 있는 요소로서는 전력변환 소자의 스위칭 주파수, 케이블 길이 및 운전 주파수 등이 있다.

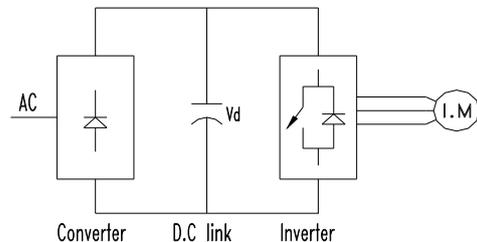


그림 3 PWM 인버터 시스템
Fig. 3 PWM Inverter System

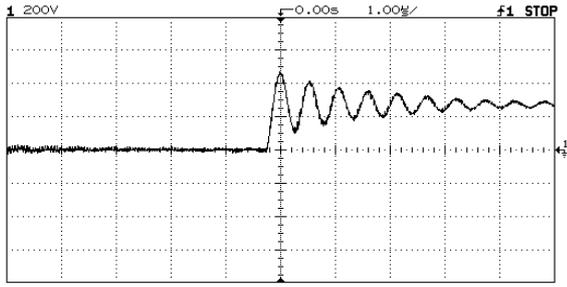
3.1 케이블 길이의 영향

급준도 스위칭 서지전압은 인버터의 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 높아지며 전동기 권선에 미치는 영향도 지속적이기 때문에 인버터에서 전동기까지의 거리는 가능한 짧도록 권장한다. 그러나 현장 설치여건에 따라 인버터 출력단에서 부하까지의 거리는 수[m]에서 수십[m]에 이르는 경우가 많으므로 케이블의 서지 임피던스 값도 달라지게 된다.

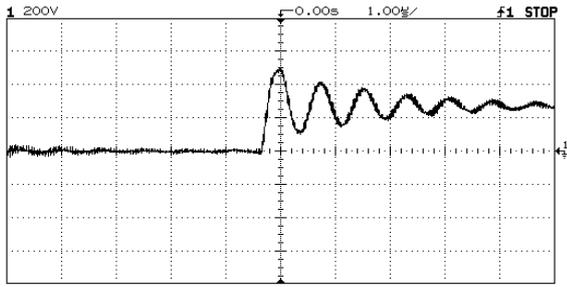
전동기의 서지 임피던스는 용량에 따라 달라지는 것으로서 소형이 중·대형보다 높은 값을 나타낸다[4].

따라서 인버터 출력단에서 발생한 급준도 전압이 서지임피던스에 의한 전과함수에 따라 크기가 다르므로 부하에 연결되는 거리의 변화시 전압 파형의 크기를 알아보는 것이 매우 중요하다.

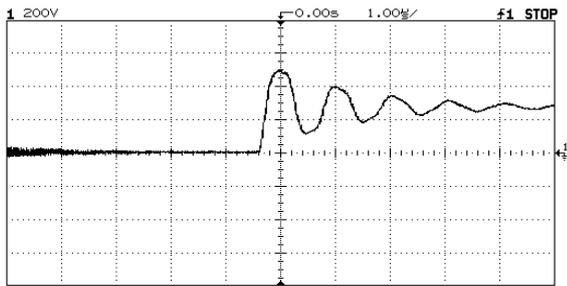
그래서 본 연구에서는 팬 부하용 3상 220[V] 3마력 유도전동기에 스위칭 주파수를 10[kHz]로 고정된 전용 PWM 인버터로 운전주파수는 50[Hz]로 운전할 경우 케이블 길이에 따라 전동기 단자에서의 전압을 측정하였다. 펄스의 변화비율과 크기를 정확하게 비교 분석하기 위해 시간축의 간격은 1[μs]로 전압축은 200[V/div]로 정하였다.



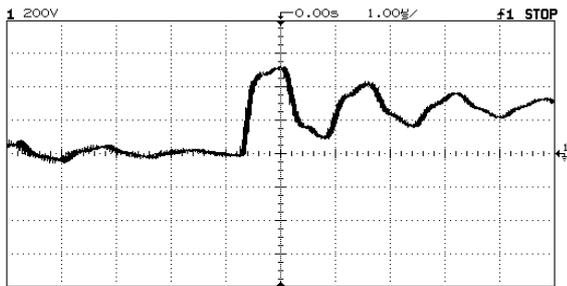
(a) 10[m] 10kHz



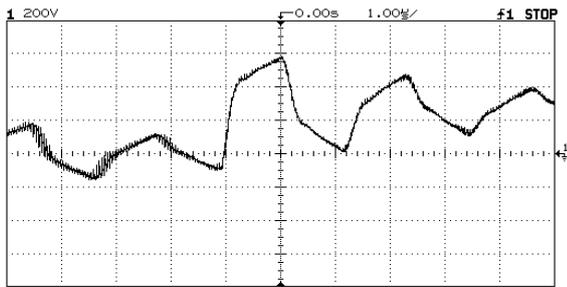
(b) 20m 10kHz



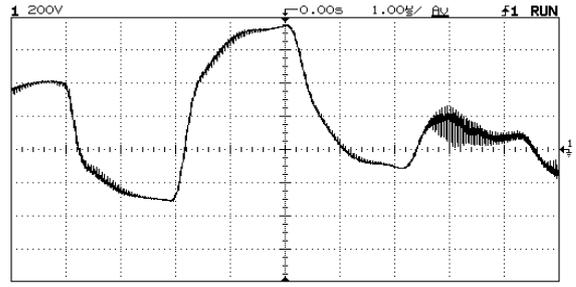
(c) 30m 10kHz



(d) 50m 10kHz



(e) 100[m] 10kHz



(f) 200[m] 10[kHz]

그림 4 케이블 길이에 따른 부하 측 전압 파형
Fig. 4 Load side Voltage due to Cable Length

그림 4에서 알 수 있듯이 스위칭 주파수를 고정하고 케이블 길이를 변화시킬 경우 펄스 하강 및 상승 에지(edge)부분에서 매우 빠른 전압 변화를 나타내는 링잉(ringing)현상은 케이블 길이가 짧을수록 많이 나타남을 알 수 있다. 케이블 길이를 증가시킬 경우 링잉 횟수는 줄어들고, 50[m]에서 전압은 인버터 출력측 크기인 1.68[pu]지만, 100[m]에서는 거의 2[pu]에 가깝고, 케이블 길이를 200[m]로 증가한 경우에 전동기 입구단에 나타나는 전압의 크기는 750[V]로 2.52[pu]로 증가하였다. 또한 케이블 길이를 50[m] 이상 증가시 전압의 피크대 피크 전압의 크기가 매우 커져 전동기의 절연에 큰 손상을 줄 수 있다.

인버터에서 부하까지의 길이에 따라 부하측에 나타나는 전압크기의 변화가 뚜렷함을 알 수 있다. 따라서 인버터와 전동기 사이 케이블 길이를 선정할 경우에는 스위칭 서지전압의 크기에 대한 대책이 마련이 필요함을 알 수 있다.

3.2 스위칭 주파수에 의한 영향

가변속 구동용 PWM 인버터의 경우 전동기를 부드럽게 운전 및 제어시키면서 효율을 높이기 위해서 스위칭 주파수가 높은 전력전자 소자를 사용하고 있다. 인버터의 스위칭 주파수의 증가에 의한 빠른 전압변화(dv/dt)는 전송선 이론에서 케이블과 전동기의 임피던스 차에 의한 반사계수의 크기에 따라 전동기 단자에 전압오버슈트를 일으킬 수 있고, 전동기 권선절연 손상으로 이어져 전동기 수명을 단축시킬 수 있다.

부하측에 전달되는 스위칭 서지전압의 영향을 파악하기 위해 케이블 길이 변화시 부하측에 높은 전압 피크를 발생한 케이블 길이 100[m]와 운전주파수를 60[Hz]로 정하고서 스위칭 주파수를 10, 12 및 14[kHz]로 변화시키면서 전동기 입구단에서의 전압을 측정하였다.

급준파의 준도를 구분하기 위해 1펄스 파형만을 비교하였다. 그러나 전압 파형의 측정에서 스위칭 주파수에 따라 부하측에 나타나는 피크전압의 경우 순시 요소부의 성분을 지니고 있어 크기를 포착하는데 어려움이 있었다.

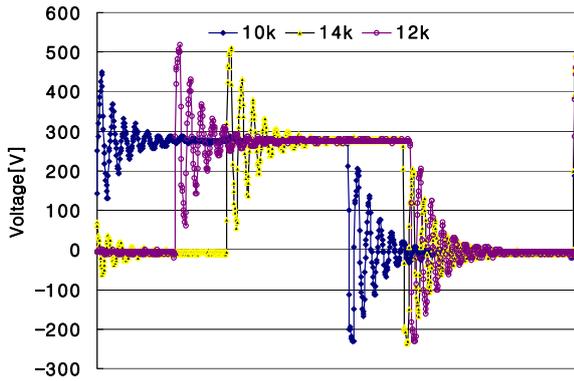


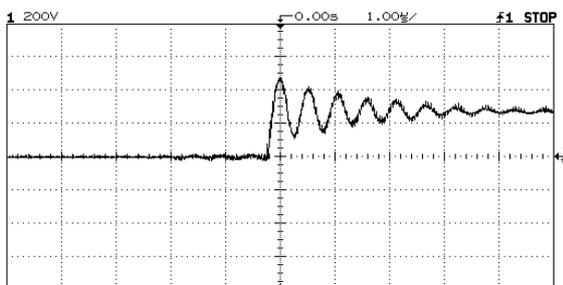
그림 5 스위칭 주파수에 따른 전압파형
Fig. 5 Voltage waveform due to switching frequency

그림 5에서 알 수 있듯이 스위칭 주파수를 증가할 경우 전압의 크기는 변화가 없으나, 같은 시간에 발생하는 펄스가 증가하기 때문에 전동기 권선에 미치는 전압스트레스의 영향은 커진다. 즉, 이것은 스위칭 주파수가 높은 전력변환 소자의 도입시 전압상승 변화 비율이 펄스가 전동기 단자에는 바로 전달되므로 전동기 권선 절연에 나쁜 요소로 작용한다.

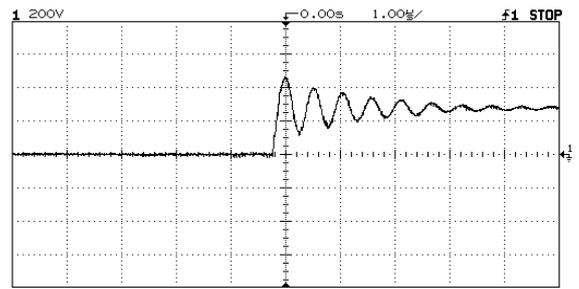
스위칭 주파수의 변화는 전동기의 운전음, 노이즈 및 누설전류에 영향을 미친다. 본 실험을 진행하는 동안 스위칭 주파수를 권장치 보다 낮추어 운전한 경우 전동기의 소음이 점차 증가함을 알 수 있었다.

3.3 운전주파수에 따른 영향

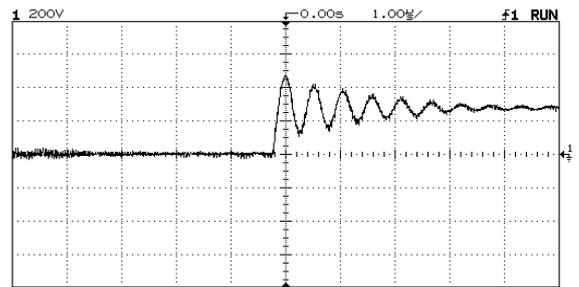
인버터 제어장치는 부하의 속도제어를 통해 전력에너지를 효율적으로 운전하는데 사용된다. 부하에 따라 인버터로 속도 조절하는 경우에 전동기 단자에 나타나는 스위칭 전압의 크기를 파악하는 것은 전동기 절연에 중요한 해석자료가 될 것이다.



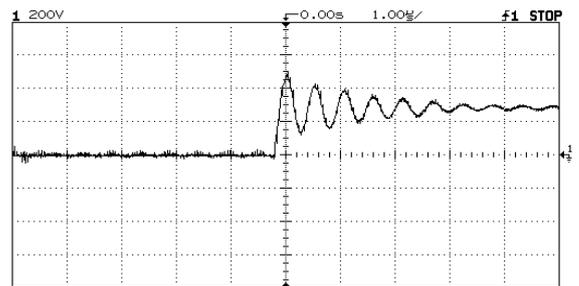
(a) 30[Hz]



(b) 40[Hz]



(c) 50[Hz]



(d) 60[Hz]

그림 6 운전주파수에 따른 부하측 전압 파형
Fig. 6 Load side voltage due to operating frequency

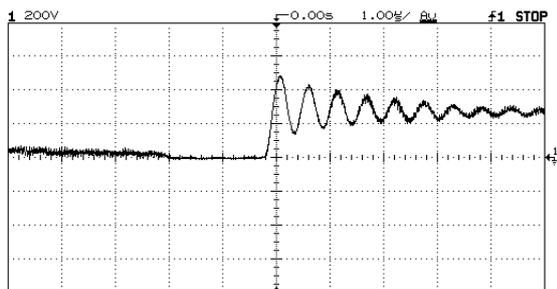
그림 6은 케이블 길이는 10[m]로 하고, 스위칭 주파수는 12[kHz]로 하였을 경우 운전주파수를 30, 40, 50 및 60[Hz]로 한 경우 전동기 단자에 나타나는 전압 파형이다.

인버터 스위칭주파수를 12[kHz]로 고정하고서 부하의 가변속 운전주파수 변화시 부하측 단자에 나타나는 전압의 크기는 전동기 권선절연에 영향을 줄 수 있는 변화가 없었다. 또한 케이블 길이를 고정하고서 스위칭주파수의 증감에 따른 운전주파수 변화시 전압의 크기도 같은 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

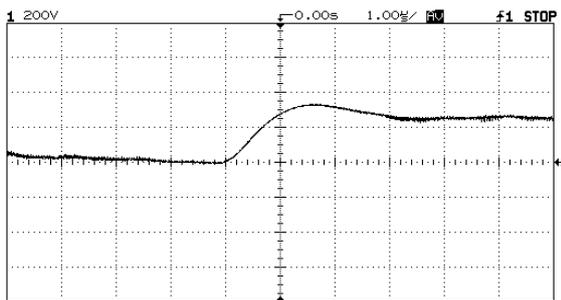
따라서 운전주파수의 변화에 대해 전동기의 권선 절연에는 별다른 대책이 필요하지 않음을 확인하였다.

3.4 필터의 사용에 따른 영향

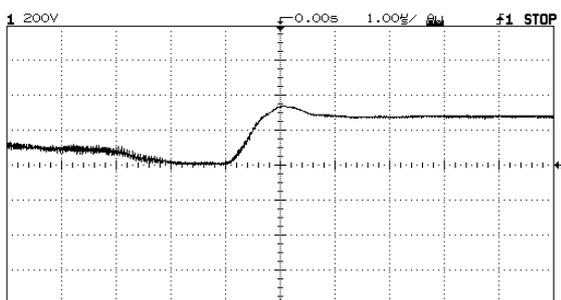
케이블 서지 임피던스는 전동기에 비해 매우 낮기 때문에 반사계수가 높아 인버터 스위칭 동작에 의한 급준파의 전파는 전동기 입구단에서의 높은 전압을 낳는다. 인버터 출력측 리액터를 설치할 경우 케이블의 서지 임피던스를 추가적으로 높여 반사계수의 저감으로 파두장의 크기와 전압펄스의 고주파 성분을 줄이는 기능을 가지고 있으므로 전동기 단자 가까운 곳에 설치할 경우 인버터에서 발생한 펄스의 형상은 각 펄스의 상승 에지 부분의 빠른 변화를 완화시켜 전압의 크기를 낮출 수 있다.



(a) no filter



(b) with filter at inverter terminal



(c) with filter at motor terminal

그림 7 필터의 부착에 따라 부하측 전압 파형(1)

Fig. 7 Voltage Waveform of Load side due to Filter(1)

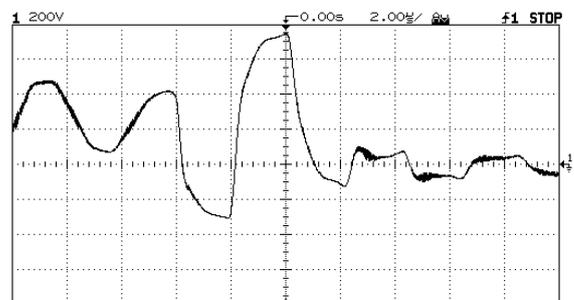
과수의 변화시 전동기 단자에 나타나는 전압의 크기는 전동기 권선 절연에 거의 영향을 주지 않았다. 그러나 케이블 길이에 따라서는 전압의 크기에 큰 영향을 나타내었다. 따라서 인버터의 스위칭 주파수는 일정값으로 고정하고서 케이블 길이에 따라 전동기 단자에 나타나는 전압의 크기를 완화하기 위해 필터의 효과를 확인하는 것이 매우 중요하다.

스위칭 주파수가 10[kHz]일 때 링잉현상이 매우 크게 작용한 케이블 길이 10[m]와 운전주파수를 60[Hz]로 한 경우 인버터의 출력측 및 전동기 단자에 각각 0.56[mH]의 필터용 리액터의 설치전후에 대한 전동기 입구단의 전압 파형은 그림 7과 같다.

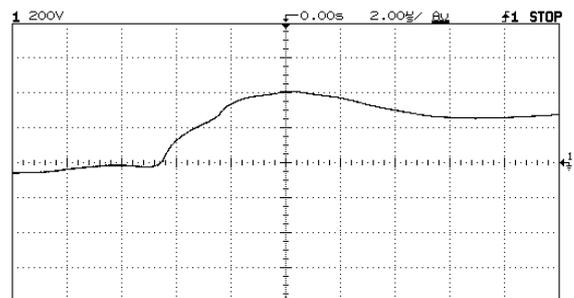
그림 7(a)에서와 같이 필터를 사용하지 않은 경우 부하측 단자에서의 전압파형은 피크치는 높지 않지만, 링잉현상이 나타남을 알 수 있다. 그림 7(b), (c)에서 알 수 있듯이 인버터 출력측 및 전동기 단자에 필터를 부착할 경우 급준파의 서지전압의 급준도는 매우 완화되고, 링잉현상은 거의 해소되는 동시에 전압의 크기도 줄어들음을 알 수 있다. 단지 인버터 출력측에 필터를 설치하는 경우 전압피크에 도달하는 상승시간에 차이가 날뿐이다.

인버터에 의한 급준도의 서지전압이 전동기에 전달될 경우 케이블 길이의 증가시 링잉현상은 줄어들지만, 전압의 크기는 증가하므로 필터의 부착시 전동기 단자 전압크기를 줄이는 것이 매우 중요하다.

그림 8은 스위칭 주파수를 10[kHz]로 고정하고서 케이블 길이를 200[m]로 60[Hz]로 운전하는 경우에 0.56[mH] 리액터를 부착 여부에 대해 부하측 단자의 전압 파형 측정결과다.

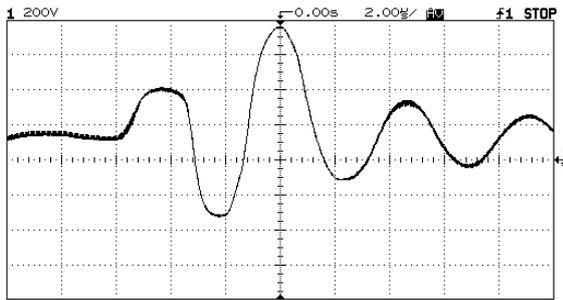


(a) no filter



(b) with filter at inverter terminal

앞서 측정된 결과에서 인버터의 스위칭 주파수나 운전주



(c) with filter at motor terminal

그림 8 필터의 부착에 따라 부하측 전압 파형(II)

Fig. 8 Voltage Waveform of Load side due to Filter(II)

그림 8(a)에서와 같이 필터를 사용하지 않고 운전하는 경우 전동기 단자에 나타나는 전압의 크기는 750[V]로서 직류 링크부 전압의 2.52[pu]에 상당하는 높은 전압이 발생한다. 그림 8(b)의 경우는 인버터 출구측에 리액터를 설치하고서 전동기 단자에서의 전압파형을 측정하는 것으로서 파형의 링잉현상이 줄어들어 드는 동시에 피크전압의 크기도 거의 절반수준으로 줄어들었지만, 그림 8(c)와 같이 전동기 입구단에 필터를 설치하고서 같은 조건으로 운전한 경우 전동기 입구단에서 측정하는 파형에서는 오히려 필터를 설치하지 않은 경우와 같은 결과를 초래하였다.

4. 결 론

본 연구는 산업현장에서 전동력에너지를 효율적으로 운영하기 위해 사용되는 PWM 전압형 인버터의 스위칭 전압에 대한 영향을 측정 분석한 것이다.

전동기의 원활한 속도제어와 인버터의 효율을 높이기 위해 스위칭 주파수가 높은 전력반도체 소자를 사용할 경우 인버터의 출력측에서 발생한 급준한 전압이 케이블을 통해 전동기 단자에 도달할 경우에는 전동기 절연에 큰 영향을 미칠 수 있다.

측정결과 전동기 권선 절연에 영향을 주는 요소로서는 운전주파수에 대해서는 거의 영향이 나타나지 않지만, 스위칭 주파수가 높은 경우 링잉현상의 발생확률이 높았으며, 스위칭 주파수의 고정시 케이블 길이가 증가함에 따라 전압의 변화비율보다는 크기에 많은 영향을 받음을 확인하였다. 또한 인버터의 부하측 및 전동기 단자에 교류 필터를 연결하여 운전할 경우 케이블 길이 증가에 따라 발생한 링잉현상의 제거와 전압크기의 감소로 인버터에 의한 전압스트레스 문제가 해소될 수 있음을 확인하였지만, 케이블 길이가 매우 긴 경우에는 필터를 전동기 입구단에 설치하는 경우보다는 인버터 입구측에 설치할 경우가 전압스트레스의 효과가 높다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 과학재단의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김종겸, 이은용, “진행파법에 의한 스위칭 써지전압 해석”, 대한전기학회 논문지, 43권 8호, pp.1252-1258, 1994
- [2] E. Persson, “Transient effects in application of PWM inverters to induction motors”, IEEE Trans on IAS, vol.28, pp.1095-1101, Sep/Oct. 1992
- [3] 김종겸, “인버터 스위칭전압 파형에 의한 전동기 권선 영향 해석”, 조명전기설비학회 논문지, 제13권 1호, pp.94-101, 1999.2
- [4] 김종겸의 4인, “인버터 스위칭에 의한 전동기 권선의 전압 스트레스 해석”, 대한전기학회 논문지, 46권 6호, pp.869-874, 1997
- [5] A. H. Bonnett, “Analysis of the impact of pulse-width modulated inverter voltage waveforms on AC induction motors”, IEEE Trans on IAS, vol.32, pp.386-392, Mar/Apr. 1996
- [6] NEMA, “Application Guide for AC Adjustable Speed Drive Systems”
- [7] 김종겸, 이은용, “PWM 인버터의 스위칭에 따른 서지전압측정”, 대한전기학회 하계학술대회 전문대학 교육위원회 발표논문집, 2001. 7. pp.12-14

저 자 소 개



김종겸 (金宗謙)

1961년 10월 3일생. 1991년 충남대학교 대학원 졸업. 1996.2 동대학원 졸업 공학박사 1996년~현재 국립원주대학 전기과 부교수. 현재 당학회 B부문 및 본부 편집위원

Tel : 033-760-8423

E-mail : jgkim@sky.wonju.ac.kr



정 중 호 (鄭 鍾 浩)

1969년 6월 20일생. 1993년 충남대학교 공과대학 전기공학교육과 졸업. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 현재 경기기계공업고등학교 공동실습소

교사

Tel : 02-970-8922

E-mail : jeong-jh@hanmail.net



이 은 응 (李 殷 雄)

1944년 8월 14일생. 1971년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1982년~83년, 1984년~85년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987년~현재 당학회 평위원. 1995년 당학회 편집위원장 및 전기기연구회 간사

장. 1995년~1997년 충남대 공대 학장, 산업대학원장('96~97), 1997년~2000년 당학회 부회장. 2004년 현재 당학회 회장, 현재 충남대 전기공학과 교수

Tel : 042-821-5652

E-mail : ewlee@cnu.ac.kr