

# 멀티레벨 인버터 구동 고압유도전동기에서 발생하는 과도과전압 저감을 위한 LCR필터의 효과분석

(Analysis on the Effect of LCR Filter to Mitigate Transient Overvoltage on the High Voltage Induction Motor Fed by Multi Level Inverter)

김재철\* · 권영목

(Jae-Chul Kim · Young-Mok Kwon)

## 요 약

본 논문에서는 H-bridge cascaded 7-level 인버터로 구동되는 고압 유도전동기에서 발생하는 과도과전압 저감을 위한 LCR 필터의 효과를 분석하였다. 인버터에서 발생하는 스위칭 서지 전압은 유도전동기 입력단자에서 과도과전압을 발생시킨다. 이 과도과전압은 고압 유도 전동기의 고정자 권선에 심각한 전압스트레스를 주어 전동기 절연사고를 발생시키는 주요원인이다. 과도과전압의 영향은 저압 유도 전동기 보다 고압 유도전동기에서 더욱더 심각하게 발생한다. 이러한 과도과전압을 저감하기 위한 방안으로 LCR 필터를 선택하였으며, 필터를 인버터 출력단자에 연결하여 과도과전압 스트레스와 링잉을 저감한 것을 전동기 단자에서 전압파형과 고조파 스펙트럼을 통하여 증명하였다. 시뮬레이션은 전자계과도해석 프로그램인 EMTP(Electromagnetic Transients Program)을 사용하였다.

## Abstract

In this paper, we analyze on the effect of LCR filter to mitigate transient overvoltage on the high voltage induction motor fed by H-bridge cascaded 7-level inverter. The switching surge voltage that it was occurred in inverter appears transient overvoltage at the motor input terminal. the transient overvoltage becomes the major cause to occur the insulation failure by serious voltage stress in the stator winding of high voltage induction motor. The effect of transient overvoltage appears more serious in high voltage induction motor than low voltage induction motor. We selected LCR filter for reduction of the transient overvoltage. Consequently, we demonstrated that the LCR filter connected to the inverter output terminals greatly reduces the transient voltage stress and ringing. The results of simulation show the suppression of transient overvoltage at the motor end of a long cable. using EMTP

Key Words : ASD, Cable, EMTP, High-voltage induction motor, PWM, Switching surge

\* 주저자 : 숭실대학교 전기공학과 교수  
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780  
E-mail : jckim@ssu.ac.kr  
접수일자 : 2005년 12월 29일  
1차심사 : 2006년 1월 3일  
심사완료 : 2006년 2월 1일

## 1. 서 론

산업의 발전으로 전동기의 수요가 늘어나며 제어

기술의 발전은 전동기 구동장치 기술의 발전으로 이어졌다. 이러한 전동기 구동장치의 발전은 유도전동기의 제어성과 효율을 향상시켰지만 부수적으로 전동기 구동장치 스위칭 서지에 의한 과도과전압이 발생하는 문제점이 나타났다.

전동기 입력단자에 나타나는 과도과전압은 높은  $dv/dt$ 의 인버터 출력전압과 전동기와 케이블간의 임피던스 부정합에 의해 발생한다. 이러한 과도과전압은 전동기 입력 단자 쪽 전동기 고정자 권선에 집중적으로 발생하고, 스위칭 속도가 빠를수록 또는 케이블 길이가 길어질수록 크게 발생한다. 스위칭이 매우 빠르게 주기적으로 반복되기 때문에 전동기 권선 절연에 심각한 문제를 초래하여, 전동기 권선 열화에 의한 고장이 발생하게 된다[1-4].

이 문제를 해결하기 위하여 인버터로 구동하는 유도전동기에서 과도과전압에 의한 권선사고에 대한 연구로는 대부분이 저압 유도전동기에 대해서 이루어 졌으며, 이를 예방하기 위한 과도과전압 저감 필터 설계도 저압에서 연구가 수행되었다[5-6].

그렇지만 산업의 발달과 가변속 구동시스템 제어 기술의 발전으로 산업용 유도전동기는 소용량에서 대용량으로 용량이 늘어나고 저압에서 고압으로 사용전압이 높아졌다. 이는 저압에서 효과적으로 과도과전압을 저감시키던 방법들이 고압에서는 미흡한 결과를 가져왔다. 고압 대용량이라는 환경의 변화로 인하여 발생하는 과도과전압은 더욱더 높아지고, 기본적인 전압이 매우 높아졌기 때문에 저압에서 사용하는 방법들을 적용하면 저감효과가 떨어져 고압 유도전동기 입력단자에는 과도과전압이 높게 나타나는 문제가 발생한다[7].

따라서 본 논문은 저압 소용량 유도전동기와 다른 환경의 고압 대용량 유도전동기에 적용 가능하도록 과도과전압 저감용 LCR필터를 EMTP를 이용하여 모델링 하였으며, H-Bridge cascaded 7-level 인버터로 구동하는 3.3[kV]고압 유도전동기 시스템을 모델로 시뮬레이션과 전압파형의 변화를 통하여 LCR필터의 과도과전압 저감 효과를 분석하였다.

## 2. 고압 유도전동기 구동시스템

본 논문에서는 가변속 구동장치로 운전하는 3.3[kV]고압 유도전동기에 LCR필터 설치 시 고압 유도전동기 단자에서 발생하는 과도과전압 저감효과를 분석 하였다. 이를 위하여 시스템 등가 모델을 H-bridge cascaded 7-level 인버터, 3.3[kV] CV 케이블 100[mm]그리고 3.3[kV] 1.5[MVA] 고압 유도전동기를 EMTP를 이용하여 모델링 하였다[7]. LCR 필터를 그림 1과 같이 전동기 입력단자에 적용하였다.

그림 1은 고압 유도전동기 구동을 위한 전체적인 시스템 모델이다.

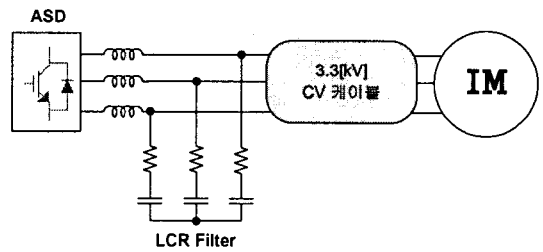


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

### 2.1 인버터 모델링

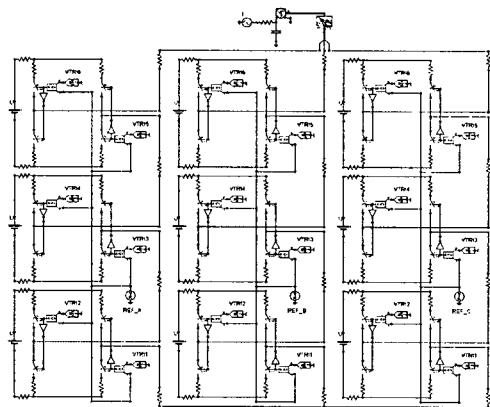


그림 2. EMTP ATPDraw를 이용한 H-bridge cascaded 7-level 인버터 모델  
Fig. 2. H-bridge cascaded 7-level inverter model using EMTP ATPDraw

인버터는 H-Bridge Cascaded 7-level inverter로 모델링 하였다. 그림 2는 H-Bridge Cascaded 7-Level 인버터를 EMTP의 ATPDraw를 이용하여 모델링 한 것이다. 이 인버터는 기존의 IGBT(1200~1700[V]급)와 모듈을 그대로 사용하여 인버터를 고압화 할 수 있으며, power stack 제작 및 제어측면에 있어서도 다른 Topology에 비해 상대적으로 간단하다는 장점이 있다.

### 2.2 3.3[kV] CV 케이블 모델링

ATPDraw의 LCC(Line/Cable Constants) 프로그램을 이용하여 케이블의 기하학적 구조와 물리적인 데이터를 기반으로 지정된 주파수에 대해 케이블 파라미터를 산출하여 적용하였다.

### 2.3 3.3[kV]고압 전동기의 모델링

EMTP에 있는 유도기, 동기기, 직류기등 12종류의 회전기를 모델링할 수 있는 UM(Universal Machine) Model을 이용하여 유도전동기를 모델링 하였다. 이 UM Model은 전기적인 회로는 d-q-0축으로 표현하고 기계적인 요소는 전기회로로 유사화 하여 표현한다. 본 논문에서 사용될 유도전동기의 사양은 표 1에 제시하였다.

표 1. 고압 유도전동기 사양  
Table 1. Parameter of high voltage induction motor

Rating	1500[kW], 3300[V], 6P, 60[Hz] Y-connected, squirrel cage	
Parameter	Stator resistance	0.341368[Ω]
	Rotor resistance	0.112588[Ω]
	Stator leakage Inductance	0.001543[H]
	Rotor leakage Inductance	0.001543[H]
	Mutual Inductance	0.029871[H]
Moment of Inertia	78.5[kg · m <sup>2</sup> ]	

### 2.4 LCR 필터 모델링

LCR 필터는 과도과전압의 원인 중에 하나인 인버터 출력전압 상승률을 억제하기 위한 저역통과 필터로서 인버터 출력단에 설치한다. LCR 필터는 인버터 출력측에 설치한다는 설치상의 이점과 한 대의 인버터로 다수의 전동기를 운전할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

그림 3은 LCR 필터의 구성도이다.

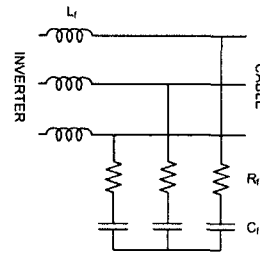


그림 3. LCR 필터의 구성도  
Fig. 3. Configuration of LCR filter

LCR 필터는 전동기 단자에서 반사되는 전압비율을 줄이기 위하여 전동기단자에 걸리는 최대전압을 계산하는 식 (1)을 이용하여 필터의 파라미터를 선정한다.

$$V_{peak, L-L} = \frac{3 \times I_c \times E \times \Gamma_L}{v \times t_r} + E \quad (1)$$

- $t_r$  : 입력 전압의 상승시간
- $\Gamma_L$  : 부하단에서의 반사계수
- E : 인버터의 출력전압 크기
- $I_c$  : 케이블의 길이
- $v$  : 전파 속도

필터의 파라미터를 구하기 위해서는 첫 번째로 차단주파수를 계산해야 한다. 감쇠비가 -3[dB]를 갖는 차단주파수의 선정방법은 다음과 같다.

차단 주파수는 입력전압의 상승시간을 이용하여 계산한다. 이는 상승시간에 따라 식 (2)처럼 과도전압의 크기가 달라지는 특성을 이용하기 때문이다.

식 (1)은 반사되는 전압비율을 구하는 식으로 정리하면 식 (2)와 같다

멀티레벨 인버터 구동 고압유도전동기에서 발생하는 과도과전압 저감을 위한 LCR필터의 요괴분석

$$\frac{V_{peak,L-L}}{E} = \frac{3 \times I_c \times \Gamma_L}{v \times t_r} + 1 \quad (2)$$

과도과전압의 비율을 5[%]이하로 하기 위한 입력 전압의 상승시간은 그림 4를 이용하면 100[m] 케이블에서 상승시간이 3.6[μs]보다 커야 하는 것을 볼 수 있다. 따라서 상승시간을 3.6[μs]로 선정한다.

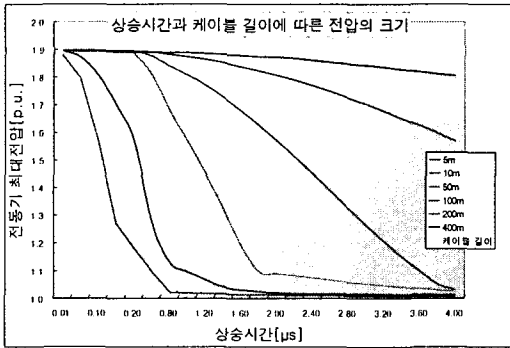


그림 4. 상승시간과 케이블 길이에 따른 전동기 단자 전압의 크기  
Fig. 4. Magnitude of motor terminal voltage by rise time and cable length

구형파의 경사는 높은 주파수 성분에 의해 결정된다. 따라서 구형파인 PWM 인버터 펄스의 주기  $T_c$ 는 상승시간의 2배 이상이어야 한다. 이를 이용하면

$$T_c = 2t_r \quad (3)$$

그리고 차단주파수  $f_c$ 는 식 (4)와 같다.

$$f_c = \frac{1}{2t_r} \quad (4)$$

식 (4)와 그림 4를 이용하여 케이블 길이가 100[m]일 때, 과도과전압을 5[%]이하로 제한하기 위한 차단주파수는 140[kHz]가 된다.

차단주파수를 이용하여 필터의 L, C 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

LCR 필터의 전달함수는 식 (5)와 같다.

$$H = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + j\omega R_f C_f}{1 - \omega^2 L_f C_f + j\omega R_f C_f} \quad (5)$$

감쇠비 A는 식 (6)과 같으며

$$A = 20 \log \left| \frac{1}{H} \right| \quad (6)$$

필터의 저항성분은 과제동회로에서 식 (7)과 같이 표현될 수 있다.

$$R_f \geq \sqrt{\frac{4L_f}{C_f}} \quad (7)$$

여기서 필터의 저항  $R_f$ 는 3.3[kV] CV 케이블의 100[m]의 특성임피던스와 같게 한다. 식 (5)~(7)의 관계를 이용하여 감쇠비 -3[dB]와 140[kHz]의 차단주파수를 갖는 필터의 파라미터를 계산하면  $L_f$ 는 0.0234[mH],  $C_f$ 는 1.37[μF]의 값을 갖는다.

표 2에서 LCR필터의 저항변화 없이 차단주파수의 변화에 의한 필터의 L과 C값의 변화는 선형적으로 변화되는 것을 볼 수 있다.

표 2. 차단주파수 변화에 따른 필터 파라미터  
Table 2. Parameter of filter by variation of cutoff frequency

차단주파수 [kHz]	0.1	1	10	100	1000
$R_f$ [Ω]	16.482	16.482	16.482	16.482	16.482
$L_f$ [mH]	32.72	3.272	0.327	0.033	0.003
$C_f$ [μF]	1637.9	163.79	16.38	1.638	0.164

### 3. 시뮬레이션

#### 3.1 LCR필터의 과도과전압 저감효과 분석

설계된 LCR필터의 과도과전압 저감효과를 분석하기 위하여 EMTP 시뮬레이션 결과에 의한 전압파형과 고조파 스펙트럼을 분석하였다.

시뮬레이션 조건은 H-Bridge cascaded 7-level 인버터의 스위칭 주파수는 1250[Hz], 케이블은 3.3[kV] CV 케이블 100[m] 100[m], 전동기의 운전주파수는 50[Hz], 전압의 측정 지점은 그림 5 전압의 측정지점에 표시된 인버터 출력 단자인 A지점과 전

동기 입력단자인 B지점에서 측정하였다.

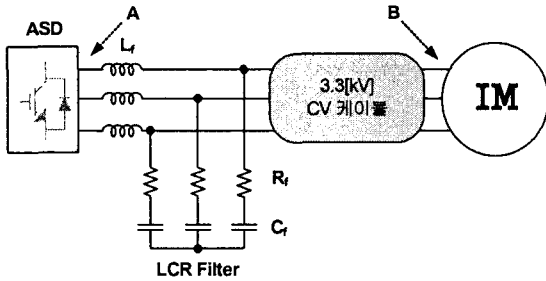


그림 5. 전압의 측정지점  
Fig. 5. Measure point of voltage

3.3[kV] CV 단심 케이블 100[mm] 100[m]케이블에

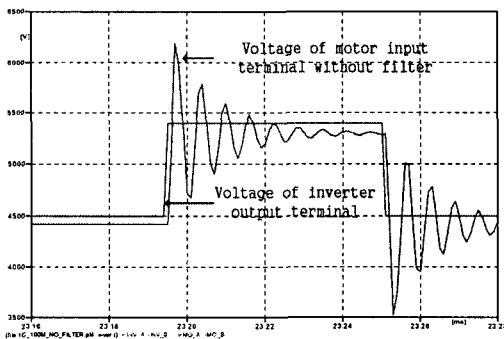


그림 6. LCR 필터 적용 전 전동기 단자 과도과전압  
Fig. 6. Transient overvoltage of motor terminal without LCR filter

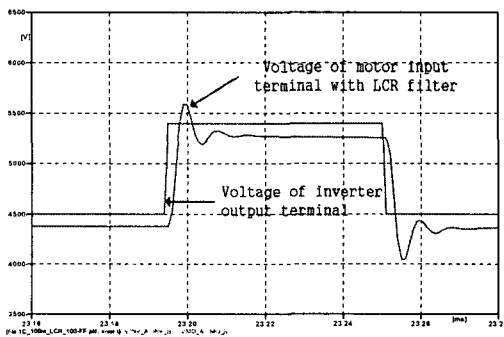


그림 8. LCR 필터 적용 후 전동기 단자 과도과전압  
Fig. 8. Transient overvoltage of motor terminal with LCR filter

대응하는 LCR필터 파라미터로  $R_f=20[\Omega]$ ,  $L_f$ 는  $0.03[mH]$ , 그리고  $C_f$ 는  $1.2[\mu F]$ 의 값을 갖는다.

그림 6과 그림 8은 LCR필터 적용 전·후의 전동기 입력단자의 전압파형으로 적용 전 전압의 크기는  $6,192[V]$ 에서 LCR필터를 적용 후 전압의 크기는  $5,596[V]$ 로  $596[V]$ 가 감소하였다. 그리고 필터 적용 전 고조파 스펙트럼을 확대한 그림 7과 적용 후 고조파 스펙트럼을 확대한 그림 9를 보면 LCR필터를 적용 후 높은 차수의 고조파가 감소하는 것을 볼 수 있다. 최저  $500[Hz]$ 에서 최고  $500[kHz]$ 까지 나타낸 고조파분석에서 차단주파수인  $140[kHz]$ 를 나타내는  $500[Hz]$ 의 280차수에서 고조파가 감소하는 것을 볼 수 있다.

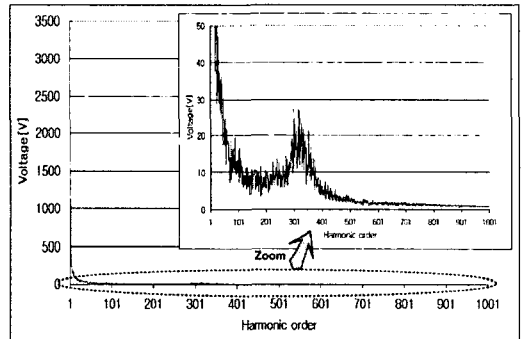


그림 7. LCR 필터 적용 전 전동기 단자전압 고조파 스펙트럼  
Fig. 7. Harmonic spectrum of motor terminal without LCR filter

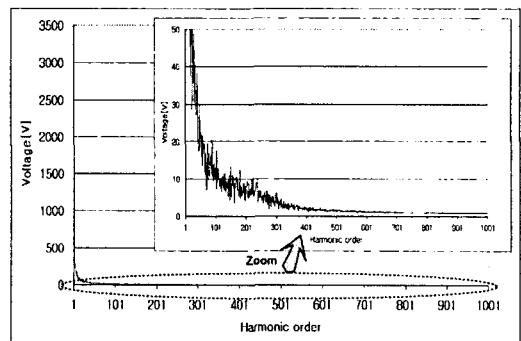


그림 9. LCR 필터 적용 후 전동기 단자전압 고조파 스펙트럼  
Fig. 9. Harmonic spectrum of motor terminal with LCR filter

### 3.2 케이블 길이 변화에 대한 필터의 효과분석

LCR필터의 과도과전압 저감효과에 영향을 줄 수 있는 케이블의 길이를 20[m], 50[m], 100[m], 200[m], 400[m]로 변화를 시키면서 EMTP로 시뮬레이션하였다. 이때 필터는 각각 케이블 길이에 적당한 필터 파라미터로 설계하였다. 이 필터 파라미터는 전동기 입력단자에서 발생하는 과도과전압이 인버터 최대 출력전압의 5[%] 이내로 저감하도록 하였다. 각각의 필터는 5가지 길이에 적용되었다.

#### 3.2.1 단심 케이블 길이 변화에 대한 LCR 필터 효과분석

그림 5에서 케이블을 단심케이블로 구성하여 시뮬레이션 하였다. 전압은 인버터 출력단자 지점인 A와 전동기 입력단자 지점인 B를 측정하였다.

표 3. 단심 케이블 길이에 따른 LCR필터 파라미터  
Table 3. Parameter of filter for length of single core cable

케이블 길이	20[m]	50[m]	100[m]	200[m]	400[m]
$R_f$ [ $\Omega$ ]	20	20	20	20	20
$L_f$ [mH]	0.009	0.02	0.03	0.05	0.08
$C_f$ [ $\mu$ F]	0.36	0.8	1.2	2.0	3.2

표 3은 단심 케이블의 길이 변화에 따른 LCR 필터 파라미터이다.

표 4는 3.3[kV] 단심 CV 케이블에 LCR필터 적용 시 인버터 출력전압에 대한 전동기 입력단자 전압의 크기와 A지점의 인버터 최대 출력전압 5,400[V]를 기준으로 B지점인 전동기 단자에서 나타나는 과도과전압을 비교하였다.

그림 10은 3.3[kV] 단심 CV 케이블에 LCR 필터 적용시 과도과전압 분포를 나타낸다. LCR 필터들은 저감하고자 하는 케이블 길이에 대해서 5[%]이내로 과도과전압을 저감하는 것을 볼 수 있다. 하지만 케이블이 길어지면 과도과전압을 원하는 크기로 저감하지 못하거나, 짧아질 경우 인버터 출력전압보다 전동기 단자 전압이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

표 4. LCR필터 적용 후 단심 케이블 길이에 대한 전동기 단자 선간전압(B/A)

Table 4. Line to line voltage of induction motor terminal by length of single core cable with LCR filter(B/A)

cable length LCR 필터종류	20[m]	50[m]	100[m]	200[m]	400[m]
	B/A	B/A	B/A	B/A	B/A
필터 설치 전	1.131	1.138	1.146	1.387	1.656
20[m]용 필터설치	1.032	1.125	1.130	1.153	1.280
50[m]용 필터설치	0.999	1.038	1.076	1.123	1.167
100[m]용 필터설치	0.997	0.993	1.037	1.098	1.102
200[m]용 필터설치	0.991	0.986	0.992	1.048	1.065
400[m]용 필터설치	0.983	0.978	0.969	0.992	1.025

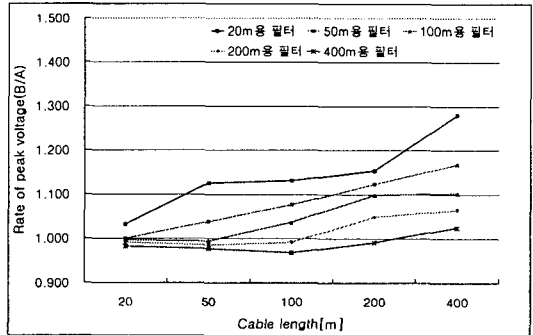


그림 10. 단심 케이블 길이 변동에 따른 전동기 단자 선간전압 변화

Fig. 10. Variation of line to line voltage of induction motor terminal as a function of length of single core cable

#### 3.2.2 3심 케이블 길이 변화에 LCR 필터 효과분석

그림 5에서 케이블을 3심 케이블로 구성하여 시뮬레이션 하였다. 전압은 인버터 출력단자 지점인 A와 전동기 입력단자 지점인 B를 측정하였다.

표 5. 3심 케이블 길이에 따른 LCR필터 파라미터  
Table 5. Parameter of filter for length of three core cable

케이블 길이	20[m]	50[m]	100[m]	200[m]	400[m]
$R_f$ [ $\Omega$ ]	45	45	45	45	45
$L_f$ [mH]	0.013	0.03	0.045	0.075	0.10
$C_f$ [ $\mu$ F]	0.1	0.25	0.35	0.60	0.80

표 5는 3심 케이블의 길이 변화에 따른 LCR 필터 파라미터이다.

표 6은 3.3[kV] 3심 CV 케이블에 LCR 필터를 적용시 인버터 출력전압에 대한 전동기 입력단자 전압의 크기와 A지점의 인버터 최대 출력전압 5,400[V]를 기준으로 B지점인 전동기 단자에서 나타나는 과도과전압을 비교하였다.

표 6. LCR필터 적용 후 3심 케이블 길이에 대한 전동기 단자 선간전압(B/A)

Table 6. Line to line voltage of induction motor terminal by length of three core cable with RC filter(B/A)

LCR 필터종류	cable length				
	20[m]	50[m]	100[m]	200[m]	400[m]
필터 설치 전	1.113	1.145	1.151	1.144	1.273
20[m]용 필터설치	1.050	1.117	1.123	1.147	1.250
50[m]용 필터설치	1.006	1.047	1.074	1.116	1.147
100[m]용 필터설치	0.995	1.020	1.052	1.090	1.099
200[m]용 필터설치	0.986	0.991	1.013	1.048	1.072
400[m]용 필터설치	0.980	0.978	0.993	1.022	1.048

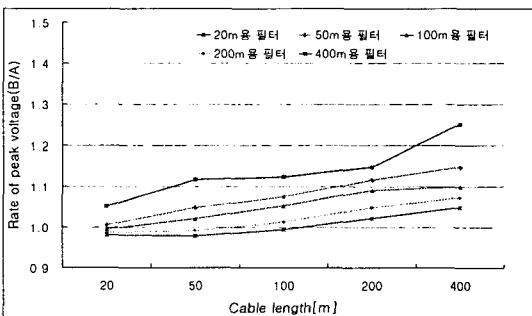


그림 11. 3심 케이블 길이 변동에 따른 전동기단자 선간전압 변화

Fig. 11. Variation of line to line voltage of induction motor terminal as a function of length of three core cable

그림 11은 3.3[kV] 3심 CV 케이블에 LCR 필터 적용시 과도과전압 분포를 나타낸다. 3심 CV 케이블에서도 LCR 필터들은 케이블이 길어지면 과도과전압을 원하는 크기로 저감하지 못하거나, 짧아질 경우 인버터 출력전압보다 전동기 단자 전압이 낮아지

는 것을 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

인버터로 구동하는 유도전동기는 스위칭 서지에 의한 과도과전압이 전동기 단자에 나타난다. 이것은 저압보다 고압에서 그 전압의 크기가 더 높게 나타나며 멀티레벨 인버터를 사용하여도 그 크기는 무시할 수 없는 높은 전압이다. 이 과도과전압을 저감하기 위한 추가적인 대책이 필요하다.

본 논문에서는 추가적인 대책으로 LCR필터를 적용하였다. EMTP를 이용하여 3.3[kV] 고압 유도전동기 구동 시스템을 모델링 하였으며, LCR필터를 적용하여 전체시스템에서 시뮬레이션 및 전압파형 변화를 통하여 필터의 과도과전압 저감효과를 분석하였다.

시스템에 적용된 LCR필터는 고압유도전동기 단자에서 발생하는 과도과전압을 효과적으로 저감시키는 것을 보였다. 케이블 길이에 따라 필터 파라미터는 변동되지만 일정한 필터 파라미터로 케이블 길이를 변화 시켰을 때 짧은 케이블 길이에 맞게 설계된 필터는 케이블 길이가 길어지면 과도과전압을 충분히 저감하지 못하는 것을 볼 수 있었으며, 긴 케이블에 맞게 설계된 필터는 케이블 길이가 짧아지면 과도과전압을 인버터 출력전압보다 낮추는 결과를 보였지만 그 변동폭은 상대적으로 적게 나타났다.

결론적으로 LCR필터는 고압유도전동기에서도 효과적으로 과도과전압을 저감시키나, 케이블 길이에 따라 저감효과가 변화된다. 따라서 필터 설치시 짧은 케이블에 맞게 설계하는 것보다 변동폭이 적은 긴 케이블에 맞게 설계하는 것이 좋은 것으로 판단된다.

본 논문은 에너지관리공단의 연구비 지원으로 진행되었습니다.

#### References

[1] Jong-Gyeum Kim, Jong-Ho Jeong, Eun-Woong Lee, "A Measurement of Switching Surge Voltage Using Inverter Devices" Transactions of KIEE P, Vol. 53P, No. 1. pp.

14-21. March 2004.

[2] Christopher J. Melhorn, Le Tang, "Transients effects of PWM Drives on induction motor", IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 4, pp.1065-1072, July/August 1997.

[3] Jong-Gyeum Kim "Analysis of Motor Winding Impact by Inverter Switching Voltage Waveforms" Journal of KIIE, Vol 13, No 1, pp. 94-101. February 1999.

[4] Don-Ha Hwang, Ki-Chang Lee, Jeong-Woo Jeon, Yong-Joo Kim, In-Woo Lee, Dong-Hee kim, "Analysis of Voltage Stress in Stator Windings of IGBT PWM Inverters Fed Induction Motors Systems", IEEE International Transactions on Electrical Machinery and Energy Conversion Systems, Vol. 5-B No. 1, pp43-49, 2005.

[5] von Jouanne, A; Haoran Zhang; Wallace, AK. "An evaluation of mitigation techniques for bearing currents, EMI and overvoltages in ASD applications" IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, Issue 5, pp. 1113 - 1122, September/October 1998.

[6] Walter Santiago "Inverter Output Filter Effect on PWM Motor Drives of a Flywheel Energy Storage System" American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004-5628.

[7] Young-Mok Kwon, Jae-Chul Kim, Young-Sung Kim, Yang-Jin·Lee, "Filtering Techniques to Reduce the

Transient Voltage of High Voltage Induction Motor on H-bridge cascaded 7-level Inverter" Proceedings of 2005 KIIE Annual Conference, pp.47-50. May 2005.

## ◇ 저자소개 ◇

### 김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학부 교수.

[주 관심분야] 배전계통 신뢰도, 배전계획 및 운영, 전력설비 진단, 전기철도, 전력IT, 분산전원, 고효율기기등  
E-mail : jckim@ssu.ac.kr

### 권영목 (權寧睦)

1976년 10월 29일생. 2004년 숭실대학교 전기제어시스템공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

[주 관심분야] 전력설비 진단, 스위칭 서지  
E-mail : mogiopa@ssu.ac.kr