

EMTP를 이용한 3상 converter의 점호각 변화에 따른 실 계통 영향 분석

성노규*, 이명희***, 이유진*, 박건우**, 이상봉*, 김철환*
 성균관대학교*, KD Power**, Xelpower***

An EMTP Analysis of 3-Phase Converter Firing Angle Effects in KEPCO's Distribution System

No-Kyu Sung*, Myong-Hee Lee***, You-Jin Lee*, Keon-Woo Park**, Sang-Bong Rhee*, Chul-Hwan Kim*

Abstract - 최근 전력전자 기기의 사용 증가에 따른 고조파 발생으로 중성선 전류 증가, 보호기기 오동작, 노이즈 장애, 기기 과열 현상, 그리고 기기 수명단축 등 계통에 미치는 영향이 증가 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 고조파로 인한 계통 영향을 실 계통을 이용해 분석하였다. 실 계통 모델링 후 3상 싸이리스터 컨버터 부하 투입 및 점호각에 따른 계통영향을 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)를 이용해 분석하였다.

1. 서 론

전력전자 기기와 같은 비선형 부하의 계통 연계 시 투입점에서의 전압, 전류는 고조파가 포함되어 정현파가 왜곡된 왜형파를 발생시킨다. 이러한 왜곡을 발생시키는 비선형 부하에는 정지형 전력변환기, 변압기, 전동기, 용접기, 아크로, 전력전자 응용기기 등이 있다[1]. 전력 변환기중 가장 많이 사용되고 있는 3상 싸이리스터 컨버터는 싸이리스터 동작 시 자체 점호각에 따라 직류의 출력 값을 제어할 수 있다는 장점때문에 현재 광범위한 응용 분야를 갖고 있다[2]. 그러나 싸이리스터에 인가된 정현파 전압은 점호각에 따라 왜곡되어 고조파 성분을 많이 포함 하므로 전력계통 적용 시 고조파의 영향 분석이 우선시 되고 있다[3]. 또한, 이러한 싸이리스터 특성으로 실 계통에서의 고조파 분석을 위한 모델로 많은 연구가 수행되었다.

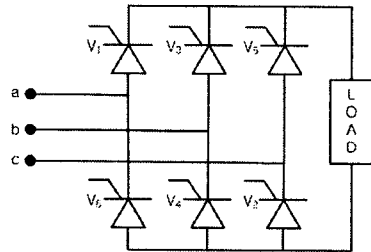
본 논문에서는 계통의 고조파 영향을 분석하고자 한전 실 계통인 X-Y, X-Z 구간 선로에 3상 싸이리스터 컨버터를 모델링 후 적용하여 모의시험 하였다. 실 계통은 상단, 하단으로 구성된 2단 장주 구간이 포함된 계통이며 2단 장주 구간에서는 중성선을 공유하고 있는 계통이다[4]. 3상 싸이리스터 컨버터는 EMTP/ATPDraw를 이용해 구성한 후 계통의 정확한 분석을 위해 싸이리스터 점호각에 따른 사례 연구별로 모의시험을 수행한 후 각 상에 흐르는 전류, 상단 중성선 전류, 하단 중성선 전류를 측정하여 고조파 부하에 의한 계통의 영향을 분석하였다.

2. 시험 계통 모델링

2.1 3상 싸이리스터 컨버터 모델링

3상 싸이리스터 컨버터는 6개의 싸이리스터 소자로 구성되며 다음 그림 1과 같이 모델링하였다. 싸이리스터 소자는 3단자 소자로서 애노드, 캐소드, 게이트로 구성된다. 애노드에 양의 전압이 인가되면, 무조건 동작하는 다이오드와 달리 게이트 단자로의 입력전압 조정으로 일정 점호각까지 동작을 지연 시킬 수 있는 특성을 갖고 있는 전력제어 소자이다. 이러한 스위칭 동작은 직류의 출력을 제어 할 수 있는 장점을 가진 반면, 점호각에 따른 스위칭으로 인하여 다이오드 소자를 사용하는 컨버터 보

다 상대적으로 고조파를 많이 발생시키는 단점을 갖고 있다[5]. 따라서 본 논문에서는 3상 싸이리스터 운용시 발생하는 고조파 저감을 위하여 실계통에서의 싸이리스터 점호각에 의한 고조파 영향을 분석하였다.

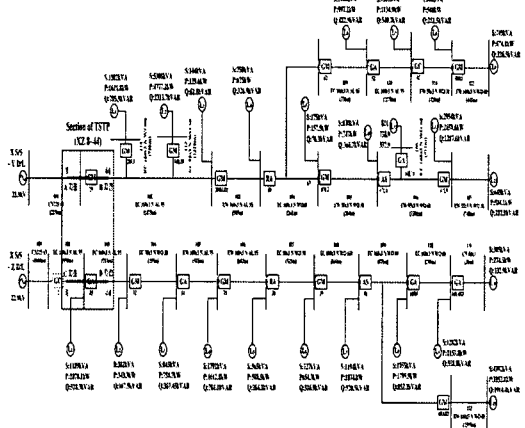


<그림 1> 싸이리스터 EMTP 모델링

2.2 실 계통 모델링

적용된 실 계통 모델은 다음 그림 2와 같으며 X-Y, X-Z 구간이며 시작 구간의 약 1.5[km] 길이의 2단 장주 구간으로 구성 되어 있고 이후 2단 장주 구간을 지난 후 분기되는 구성을 갖고 있다[4]. 변전소로부터 22.9[kV]를 공급 받아 각기 Y(상단) 13개소 부하, Z(하단) 11개소 부하에 전력을 공급하며 총 유효부하는 28.6[MW], 총 무효부하는 13.9[MVAR]이다.

고조파에 따른 중성선 전류 변화 해석을 위해 중성선이 물리적으로 구현되는 EMTP 내의 LCC(Line, Cable Constant) 소자를 이용해 선로를 모델링 하였다.



<그림 2> 실 계통 모델

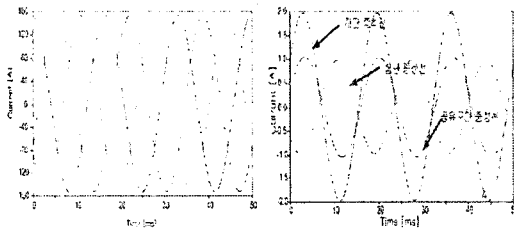
3. 사례연구

사례연구를 위해 계통에 투입할 3상 사이리스터 컨버터는 기존의 부하 중 임의로 선택하여 용량을 정하고 기존 부하 위치에 투입하여 모의 시험 하였다. 점호각 변화에 따라 고조파 차수, 크기 및 위상이 다른 고조파를 발생 하도록 하였으며 기존 실 계통의 역률 및 용량은 최대한 변화시키지 않도록 하고 단지, 고조파 부하로 인한 계통 영향을 분석하도록 모의하였다. 컨버터 투입 이전, 이후의 결과를 비교하여 고조파에 따른 계통의 영향을 분석하였다.

3.1 컨버터 투입이전의 전류 파형

컨버터 투입 이전에서의 상전류, 중성선 전류 파형은 다음 그림 3과 같다. 상전류 측정위치는 X s/s 이고 중성선 전류 측정의 경우 중성선 공유구간인 2단 장주 말단에서 측정하였다.

컨버터의 투입 이전의 경우 계통에 연결된 부하가 3상 평형 부하이기 때문에 상, 중성선 전류에서 파형의 왜곡이 존재하지 않음을 확인할 수 있었다. 평형부하의 경우 중성선 전류는 존재하지 않으나 연가를 실시하지 않은 LCC 모델을 사용하였기 때문에 모의시험 결과 작은 크기의 중성선 전류가 흐름을 알 수 있다. 파형의 경우에는 상, 중성선 전류 모두 정현적으로 나타났다.



(a) 투입이전 상전류 (b) 투입이전 중성선 전류
 <그림 3> 컨버터 투입이전 상전류 및 중성선 전류

3.2 사례연구 조건

고조파 부하는 전체 부하량의 약 20[%] 정도로 산정 하였으며 3상 사이리스터 컨버터 투입에 따른 상전류의 변화와 중성선 전류의 변화를 관찰하기 위해 세 가지 경우에서 점호각을 변화시켜 사례연구를 수행하였다. 사례 연구 별 산정된 컨버터 부하는 다음 표 1과 같다.

<표 1> 사례연구 조건

		Case 1	Case 2	Case 3
투입 컨버터 위치	상단	부하 (1, 4, 6, 7, 8, 9)	-	부하 (6, 7, 8)
	하단	-	부하 (6, 9, 10, 11)	부하 (1, 3, 7)
투입 컨버터 용량	상단	1,881 [kW]	-	890.7 [kW]
	하단	-	2,011 [kW]	967.8 [kW]
점호각	0, 30, 45, 60 도			

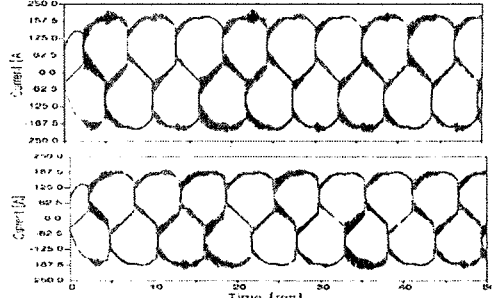
각 사례 별로 사이리스터 점호각은 0, 30, 45, 그리고 60도를 모의하였다.

4. 사례연구 결과

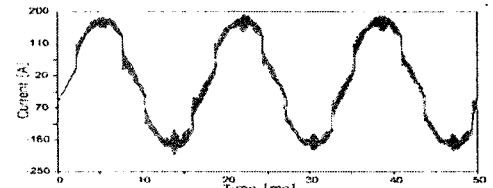
4.1 3상 컨버터 투입에 따른 상전류 변화

다음 그림 4는 Case 1, 2 에서의 점호각 30도인 경우의 상전류 파형 변화를 나타낸다. Case 1의 경우에는 A, B, C상 상전류의 피크치가 컨버터 투입전과 비교하여 약 40[%] 정도 증가하였고, Case 2에서는 약 30[%] 증가하였다.

다음 그림 5의 Case 3에서는 상, 하단 A상의 상전류 파형을 나타냈으며 상단의 경우 약 20[%], 하단 약 30[%] 정도 상전류가 증가함을 확인할 수 있었다.



<그림 4> 3상 상전류(Case 1, 2 점호각 30도)



<그림 5> A상 상, 하단 상전류(Case 3 점호각 30도)

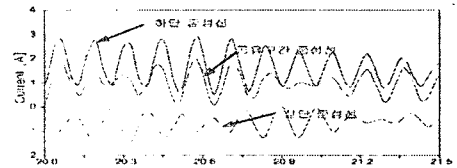
각 상에서 상전류가 동일하게 증가된 원인은 3상 컨버터에 의한 평형 부하 투입의 결과이며 단상 컨버터 투입의 경우에는 한 상에만 부하가 투입되는 경우와 같으므로 양상이 달라짐을 예측할 수 있다. 다음 표 2는 점호각에 따른 상전류 결과를 나타낸다.

<표 2> 점호각에 따른 상전류 결과

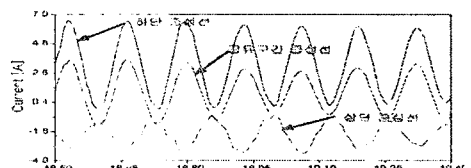
점호각 각단 전류 [A]	상전류 (A상 최대값)			
	0°	30°	45°	60°
Case 1	215	228	224	233
Case 2	197	191	206	214
Case 3 (상단)	187	190	191	199
Case 3 (하단)	175	191	177	184

4.2 3상 컨버터 투입에 따른 중성선 전류 변화

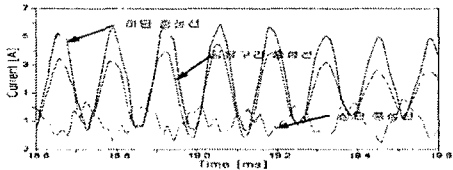
다음 그림 6은 컨버터 투입 후의 중성선 전류 크기 변화를 나타낸다. Case 1의 경우 약 2배, case 2의 경우 약 3배 이상 증가함을 알 수 있었다.



<그림 6> 중성선 전류 (Case 1 점호각 30도)



<그림 7> 중성선 전류 (Case 2 점호각 30도)



<그림 8> 중성선 전류 (Case 3 점화각 30도)

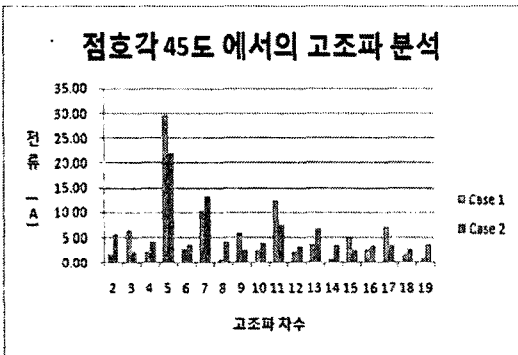
Case 3에서는 각 단에 흐르는 중성선의 전류 크기는 공유구간인 2단 장주 구간에서 컨버터 투입 전보다 약 5배 즉, 상단에서 3배, 하단에서 2.7배 정도 증가 하였다. 다음 표 3은 점화각에 따른 중성선 전류의 계산 결과이다.

<표 3> 점화각에 따른 중성선 전류 결과

점화각	각단 전류 [A]	중성선 전류			
		0°	30°	45°	60°
Case1	공유	1.92	2.39	2.94	3.64
	상단	1.24	2.26	2.44	1.7
	하단	3.52	3.58	3.9	4.75
Case2	공유	3.05	3.42	4.02	5.5
	상단	2.88	3.1	4.03	5.13
	하단	4.81	6	6.9	8.15
Case3	공유	2.06	4.91	6.09	6.49
	상단	1.59	2.99	4.27	4.13
	하단	3.43	5.54	8.9	8.9

4.3 고조파 분석

3상 컨버터 투입에 따른 고조파 영향은 점화각의 변화에 따라 즉, 0°, 30° 인 경우에는 $6n \pm 1$ 고조파가 뚜렷하게 나타나는 반면 점화각이 45°, 60° 일 때는 점화각 변화에 따른 고조파의 차수가 다양하게 나타났다. 전체 계통에서의 전류 왜곡율은 점화각이 45° 인 경우 대체적으로 가장 크게 나타났다. 다음 표 4는 각 사례연구별 왜형율을 나타내며 다음 그림 7은 case 1, 2의 점화각 45°인 경우에서의 기본파를 제외한 상전류의 각 차수별 고조파를 나타내었다.



<그림 9> 고조파분석 (Case 1, 2, 점화각 45도)

<표 4> 점화각에 따른 왜형률 비교

점화각	왜형률 (THD)			
THD [%]	0°	30°	45°	60°
Case 1	16.75	17.35	18.31	17.79
Case 2	15.32	15.90	16.12	14.63
Case 3 (상단)	10.1	10.19	9.7	9.5
Case 3 (하단)	11.1	10.9	11.2	10.4

5. 결 론

3상 싸이리스터 컨버터의 계통 투입은 중성선 및 상전류 상승을 야기함을 EMTP 모의 시험을 통해 확인 할 수 있었으며 이러한 결과로 통신선 유도 전압 상승, 계통 변압기 과열, 보호기기 오동작 등 부정적인 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 또한, 배전계통 운용 시 2단 장주의 중성선 공유로 인해 컨버터가 투입되지 않은 타 선로의 상전류, 중성선 전류 상승을 확인 할 수 있었다. 향후 연구에서는 본 연구를 바탕으로 단상 컨버터 등 다양한 고조파 발생원을 모델링하여 실 계통에 미치는 영향을 분석하여 고조파에 따른 계통 보호설비의 오동작 영향을 규명하고 이에 대한 대책연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-2-055)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회편, "최신 배전 시스템 공학", 북스틸, 2006.
- [2] 홍순찬, 전희중, 백형래, 원충연, "PSpice를 활용한 전력전자 공학", 도서출판 인터비전, 1999.
- [3] Enrique Acha, Manuel Madrigal, "Power Systems Harmonics", John Wiley & Sons. 2001.
- [4] 박건우, 서훈철, 김철환, 정창수, 유연표, 임용훈, 이원정, "한전 배전 계통을 이용한 2단장주의 불평형 부하에 따른 중성선 전류의 영향에 관한 연구", 전기 학회 논문지, 제 56 권 3호, pp.465-471, 2007.
- [5] Kuo-Hua Liu, Li Wang, "Probability analysis of harmonic currents produced by AC-to-DC converters with various firing angles" IASTED International conference Power And Energy Systems. Oct 24-26, 2005.