

22.9kV 배전선로에서의 고조파에 의한 인접 통신선 영향 분석

김현수\*, 이상봉\*, 김철환\*, 류승현\*\*  
 성균관대학교\*, 영동대학교\*\*

A Harmonic Effect Analysis on Telecommunication Line Adjacent to 22.9kV Distribution Lines

Hyoun-Su Kim\*, Sang-Bong Rhee\*, Chul-Hwan Kim\*, Seung-Heon Lyu\*\*  
 Sungkyunkwan University\*, Youngdong University\*\*

**Abstract** - Harmonic currents flowing on the distribution system or within an end-user facility can induce the harmful voltage to telecommunication lines. In this paper, the induced voltages on telecommunication lines in distribution systems from harmonic component are simulated and analyzed with EMTP (Electro-Magnetic Transient Program).

1. 서 론

최근 전력변환 응용 기기의 사용 증가로 비선형 부하에 의한 고조파가 상당히 발생하고 있으며, 고조파에 의한 영향이 심각한 수준에 이르고 있다. 고조파 발생의 원인 및 영향은 특정한 비선형 부하에 의해 고조파 전류가 발생되고 이는 계통의 선로 임피던스와 결합하여 또 다시 고조파 전압을 만들게 되어 많은 문제를 유발시킨다[1].

전력계통 내의 고조파로 인한 통신선로의 유도장해는 통신시설의 절연파괴나 운용방해를 유발하고 인체에 직, 간접으로 위험을 초래한다. 특히, 전력선의 강전류에 의한 전자유도 작용에 의한 인접 통신선의 전압 유도는 통신선에 이상전압 또는 전류를 흐르게 하여 통신선로에서 원치 않는 잡음을 유발하므로 통신장해의 중요한 원인 중의 하나가 된다[2].

본 논문에서는 부하의 불평형으로 발생하는 통신선로의 유도전압과 고조파에 의한 발생하는 유도전압을 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program)를 이용하여 모의한 후 결과를 분석하고 비교하였다.

2. 고조파로 인한 통신선의 유도전압 분석

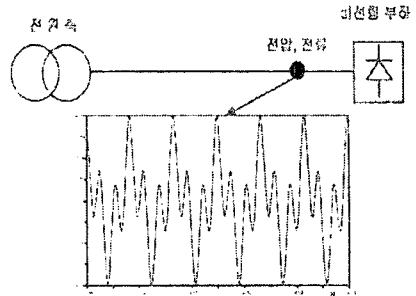
2.1 고조파의 발생과 유형

정현파의 전원에 부하를 연결하였을 때 부하로 흐르는 전류 역시 정현파라면 이러한 부하를 선형부하라 한다. 즉, 순수한 저항, 커패시터 및 인덕터 요소만으로 이루어진 회로는 선형부하가 된다. 반면에 그림 1과 같이 정현파 전원에 접속하여도 정현파가 아닌, 왜곡이 포함된 전류가 흐르는 부하를 비선형부하라고 한다. 여기서 비선형부하라는 명칭은 내부에 전압-전류 특성이 비선형적인 판게를 갖는 회로요소를 포함하고 있다는 것을 뜻한다.

비선형 회로 요소의 대표적인 예는 다이오드나 싸이리스터와 같은 반도체 소자들이다. 따라서 이러한 요소들로 이루어진 각종 정지형 전력 변환기들은 비선형부하에 속하며 전력계통 내에 고조파 전류가 흐르게 하는 주범이라 할 수 있다. 물론 이외에도 여러 가지 비선형부하가 있으나 고조파 장해의 측면에서 실제적으로 큰 비중을 차지하지는 않는다[3].

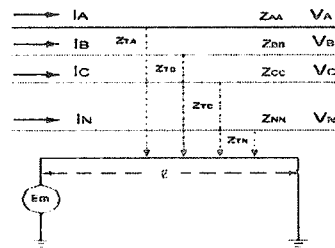
본 논문에서는 정지형 전력 변환기로 사용하고 있는 3상 전파 컨버터가 계통에 투입된 경우 고조파 발생에 따

른 통신선의 유도전압 변화를 분석하였다.



<그림 1> 비선형 부하에 의한 고조파

2.2 배전선로에서의 통신선 유도전압



<그림 2> 배전선로의 전자유도

통신선로 유도장해라 함은 강전류 전력선에 의하여 약전류 통신선에 이상전압 또는 전류를 흐르게 하여 통신시설에 장해를 일으키는 현상이다. 그림 2에서 전력선 및 중성선의 전류가 흐르고 있는 경우, 이와 병행해서 가설된 통신선의 유도 전압은 기유도선의 전류와 기유도선과 피유도선 상호간의 임피던스  $Z_m$ 에 의해서 통신선로에 전자유도가 발생되어 통신선로에 유도전압이 발생한다.

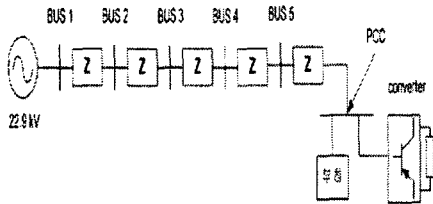
유도장해는 인근 통신선로에 미치는 영향이 지나쳐 통신시설의 절연파괴나 운용방해를 유발하고 인체에 직접 간접으로 위험을 초래하며 이상전압 또는 전류를 흐르게 하여 통신선로에서 원치 않는 잡음을 유발하므로 통신장해의 중요한 원인 중의 하나가 된다[4].

유도전압을 유발하는 설비로는 직렬접지, 다중접지, 저항접지, 소호리액터접지 등 방식의 전력선과 교류방식의 전기철도 등이 있다. 또한 최근에는 컨버터 등의 정지형 변환기기의 사용으로 고조파 발생에 따른 유도전압을 검토할 필요가 있다.

### 2.3 모의시험 배전계통

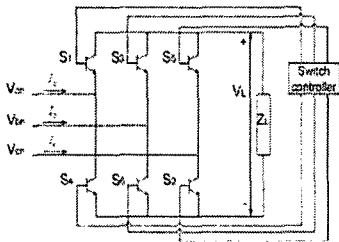
그림 3은 모의시험을 위한 배전계통도이다. 여기서 PCC(point of common coupling)는 공통 접속점이라 하는데 왜곡된 전류를 발생시키는 컨버터와 인근 기기가 같은 급전선로를 공유하고 있다면 공통접속점 상위의 선로에 흐르는 전류는 왜곡된 부하전류를 포함하게 되므로 인근 기기에 왜곡된 전압이 공급된다[5].

배전선로와 통신선로의 병행거리는 5[km]이고, BUS간의 이격거리는 1[km]으로 하였다. 주파수는 60[Hz], 대지 고유저항은 100[Ω·m]을 적용하였다.



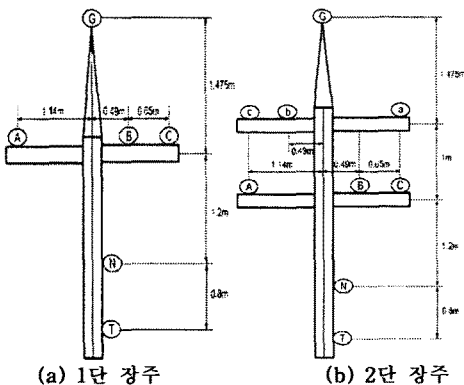
<그림 3> 모의시험 배전계통도

그림 3에서 계통에 투입된 3상 전파 컨버터의 모델링은 그림 4와 같으며 EMTF 내의 프로그래밍 언어인 MODELS를 이용해 6개의 TACS 스위치를 제어하도록 모델링하였다. 스위칭 소자의 점호각은 60°이며, DC측 부하는 배전선로의 상전류를 고려해서 500[Ω]을 적용하였다[6].



<그림 4> 3상 전파 컨버터 회로

그림 5는 가공배전선로의 1단 장주와 2단 장주이며, 모의시험에 적용한 장주이다. 여기서 선종의 제원은 표 1과 같다.



<그림 5> 가공배전선로 장주도

<표 1> 가공배전선로 선종의 제원

구분	선종	반경	저항
가공지선	ACSR 32 [mm <sup>2</sup> ]	0.39 [cm]	0.898 [Ω/km]
전력선	ACSR 160 [mm <sup>2</sup> ]	0.91 [cm]	0.182 [Ω/km]
중성선	ACSR 95 [mm <sup>2</sup> ]	0.675 [cm]	0.301 [Ω/km]
통신선	FS 22 [mm <sup>2</sup> ]	0.3 [cm]	4.8262 [Ω/km]

### 3. 사례연구

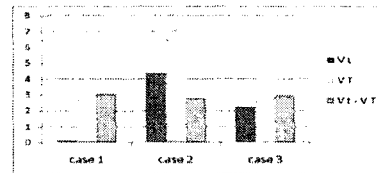
배전선로와 통신선로의 1[km]지점을 기준으로 EMTF에서 측정된 모의시험 결과이다. 여기서  $V_i$ 는 유도전압,  $V_T$ 는 고조파 투입 후의 유도전압,  $V_T - V_i$ 는 고조파 투입 전, 후의 차이 값이다.

#### 3.1 1단 장주 사례연구

1단 장주의 사례연구를 위해 표 2와 같이 case 1은 평형 부하, case 2는 1상 불평형(C상) 부하 그리고 case 3은 3상 불평형 부하를 적용해서 유도전압과 고조파 투입 후의 결과를 서로 비교하였다.

<표 2> 1단 장주 사례연구 결과

부하 [Ω]	case 1	case 2	case 3	
	$R_A$	1000	1000	1000
$R_B$	1000	1000	900	
$R_C$	1000	700	800	
전류 [A]	$I_A$	13.22∠0°		
	$I_b$	13.22∠-120°	13.22∠-120°	14.69∠-120°
	$I_c$	13.22∠120°	18.89∠120°	16.53∠120°
	$I_N$	0∠0°	5.67∠120°	2.87∠146.31°
$V_i$ [V] rms	0.0713	4.35	2.226	
$V_T$ [V] rms	3.1175	7.131	5.1313	
$V_T - V_i$ [V]	3.0462	2.781	2.9053	



<그림 6> 사례연구 결과 (case 1, 2, 3)

그림 6에서 case 1은 유도전압이 생기지 않지만 고조파 원인 컨버터 투입 후 유도전압이 발생하였다. case 2, 3을 비교하면 상시는 부하의 불평형으로 중성선 전류의 영향을 받아 유도전압이 생겼지만, 고조파 투입 후 상시보다 더 많이 발생했다. case 1, 2, 3을 비교하면 부하의 불평형으로 중성선 전류가 더 큰 case 2가 가장 큰 유도전압이 발생하였다.

#### 3.2 2단 장주 사례연구

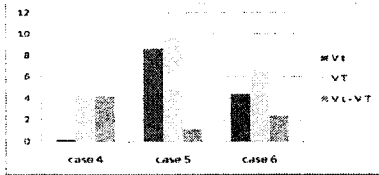
2단 장주의 유도전압 사례연구를 위하여 상, 하단의 부하를 표 3, 4, 5에 따라 case별로 부하를 적용해서 상시와 고조파 투입 후의 결과를 서로 비교하였다.

#### A. 상단과 하단 동일부하에 적용

표 3에서 case 4는 상, 하단 모두 평형 부하, case 5는 상, 하단 1상(C상) 불평형 부하 그리고 case 6은 상, 하단 모두 불평형 부하이다.

<표 3> A. 사례연구 결과

		case 4	case 5	case 6
부하 [ $\Omega$ ]	$R_a, R_b, R_c$	1000	1000	1000
	$R_a$	1000	1000	900
	$R_b, R_c$	1000	700	800
전류 [A]	$I_a, I_b$	13.22 $\angle$ 0°		
	$I_b, I_b$	13.22 $\angle$ -120°	13.22 $\angle$ -120°	14.69 $\angle$ -120°
	$I_c, I_c$	13.22 $\angle$ 120°	18.89 $\angle$ 120°	16.53 $\angle$ 120°
	$I_N$	0 $\angle$ 0°	11.34 $\angle$ 120°	5.74 $\angle$ 146.31°
$V_l$ [V] rms	0.1152	8.633	4.4045	
$V_T$ [V] rms	4.2982	9.7585	6.773	
$V_T - V_l$ [V]	4.183	1.1255	2.3685	



<그림 7> 사례연구 결과 (case 4, 5, 6)

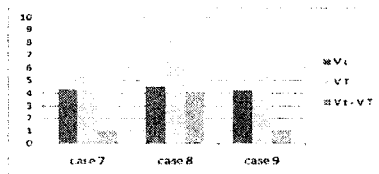
그림 7에서 1단 장주와 2단 장주는 동일조건의 부하를 적용하면 2단 장주에서 상시와 고조파 투입 후가 더 큰 유도전압이 발생하였다.

**B. 상단(평형 부하)과 하단(불평형 부하) 적용**

표 4에서 상단은 평형 부하를 적용하였다. 여기서 case 7의 하단은 1상(C상) 불평형 부하, case 8의 하단은 1상(B상) 불평형 부하, case 9의 하단은 1상(A상) 불평형 부하이다.

<표 4> B. 사례연구 결과

		case 7	case 8	case 9
부하 [ $\Omega$ ]	$R_a, R_b, R_c$	1000		
	$R_a$	1000	1000	700
	$R_b$	1000	700	1000
	$R_c$	700	1000	1000
전류 [A]	$I_a, I_b, I_c$	13.22 $\angle$ 0°, 13.22 $\angle$ -120°, 13.22 $\angle$ 120°		
	$I_a$	13.22 $\angle$ 0°	13.22 $\angle$ 0°	18.89 $\angle$ 0°
	$I_b$	13.22 $\angle$ -120°	18.89 $\angle$ -120°	13.22 $\angle$ -120°
	$I_c$	18.89 $\angle$ 120°	13.22 $\angle$ 120°	13.22 $\angle$ 120°
$I_N$	5.67 $\angle$ 120°	5.67 $\angle$ -120°	5.67 $\angle$ 0°	
$V_l$ [V] rms	4.3074	4.4979	4.2625	
$V_T$ [V] rms	5.2633	8.6244	5.271	
$V_T - V_l$ [V]	0.9559	4.1265	1.0085	



<그림 8> 사례연구 결과 (case 7, 8, 9)

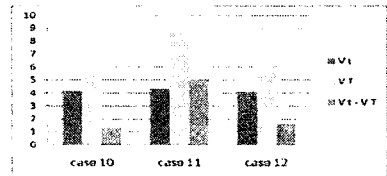
그림 8에서 case 7과 9에서는 상시와 고조파 투입 후 비슷하지만 case 8에서 통신선과 가까운 B상의 전류가 많아서 case 7, 9에 비해 유도전압이 크게 발생하였다.

**C. 상단(불평형 부하)과 하단(평형 부하) 적용**

표 5에서 하단은 평형 부하를 적용하였다. 여기서 case 10의 상단은 1상(C상) 불평형 부하, case 11의 상단은 1상(B상) 불평형 부하, case 12의 상단은 1상(A상) 불평형 부하이다.

<표 5> C. 사례연구 결과

		case 10	case 11	case 12
부하 [ $\Omega$ ]	$R_b$	1000	1000	700
	$R_b$	1000	700	1000
	$R_c$	700	1000	1000
전류 [A]	$R_a, R_b, R_c$	1000		
	$I_a$	13.22 $\angle$ 0°	13.22 $\angle$ 0°	18.89 $\angle$ 0°
	$I_b$	13.22 $\angle$ -120°	18.89 $\angle$ -120°	13.22 $\angle$ -120°
	$I_c$	18.89 $\angle$ 120°	13.22 $\angle$ 120°	13.22 $\angle$ 120°
$I_a, I_b, I_c$	13.22 $\angle$ 0°, 13.22 $\angle$ -120°, 13.22 $\angle$ 120°			
$I_N$	5.67 $\angle$ 120°	5.67 $\angle$ -120°	5.67 $\angle$ 0°	
$V_l$ [V] rms	4.1469	4.3102	4.1062	
$V_T$ [V] rms	5.4307	9.3002	5.6768	
$V_T - V_l$ [V]	1.2838	4.99	1.5706	



<그림 9> 사례연구 결과 (case 10, 11, 12)

그림 9에서 그림 8과 마찬가지로 case 8에서 유도전압이 가장 크게 발생했는데 이는 통신선과 가까운 B상의 전류가 case 10, 12에 비해 크기 때문인 것으로 분석된다.

4. 결 론

본 논문에서는 고조파로 인한 통신선 유도전압을 현재 배전 계통에서 사용하고 있는 1단 장주와 2단 장주의 부하에 따라 분석하기 위하여 EMTP로 모델링하였으며 모의시험 후 결과를 비교하였다. 컨버터와 같은 고조파원 투입 전과 비교하여 투입 후에는 고조파의 영향으로 인하여 상전류와 중성선 전류의 의해 통신선의 유도전압이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 1단 장주 보다는 2단 장주에서 유도전압이 더 많이 발생함을 확인할 수 있었고, 2단장주의 부하에 따른 상전류에 의해 유도전압이 차이가 있었다.

향후 고조파의 왜형률에 의한 통신선로의 유도전압과 고장 발생시 통신선의 유도전압 계산, 분석에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김정환, 강태은, 고영근, 김길영, 최홍규, "수동필터와 능동필터를 이용한 고조파 대책에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, 2001. 11. 1.
- [2] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", second edition, McGraw-Hill, 2002.
- [3] 정승기, "계통 고조파 현상의 원인 및 대책", 전력전자학회 지 제 5권 제1호, 2000. 2.
- [4] 한국전력공사, "배전설계(1)" 1992. 1.
- [5] IEEE std.519, "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", 1992.
- [6] 박준, 박건우, 김철환, "배전계통에서 수동필터를 이용한 고조파 저감에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2007. 7.