

배전계통에서의 부하 용량 변화에 따른 불평형 영향 분석

오경록, 성노규, 여상민, 김철환  
성균관대학교

Analysis of the Unbalanced Effect for Various Load Capacity in Distribution System

Kyung-Rok Oh, No-Kyu Seong, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 전력계통은 끊임없는 외란에 의한 손실이 발생하며 이를 막기 위한 많은 보호설비 및 기술들이 개발되어왔다. 이러한 외란 중 부하 불평형은 중성선 전류를 증가시킬 수 있으며 이는 전력품질을 저하시키고 전력기기 등에 악영향을 미치게 된다. 따라서 부하 불평형이 배전계통에서 미치는 영향을 분석하고자 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 사용하여 배전계통의 부하 용량 변화에 따른 불평형을 모의하고 영향을 분석하였다. 각 상별 부하 용량 변화에 따른 전압과 전류 파형을 분석하고 그에 따른 계통 영향 및 불평형율을 계산하였다.

과 그에 따른 임피던스 값이 명시되어 있으며, 각 상의 용량은 평형 상태에서 변경률에 따라 임피던스 값을 변경하여 계산하였다.

$$Z_{load} = \frac{V_{LL}^2}{S^*} \tag{1}$$

2.3 전압 불평형율(VUF; Voltage Unbalanced Factor)

전압 불평형율은 구하는 식에는 여러 가지가 존재 하는데 각 상전압을 알고 있는 경우에 다음 식 (2)와 같이 각 상전압과 평균전압 사이의 차를 구한 후 그 중 최대값을 평균값으로 나누어 구한다[5].

$$VUF = \frac{\max[|V_a - V_{avg}|, |V_b - V_{avg}|, |V_c - V_{avg}|]}{V_{avg}} \times 100\% \tag{2}$$

식 (2)에서  $V_{avg}$ 은 다음과 같다.

$$V_{avg} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$$

1. 서 론

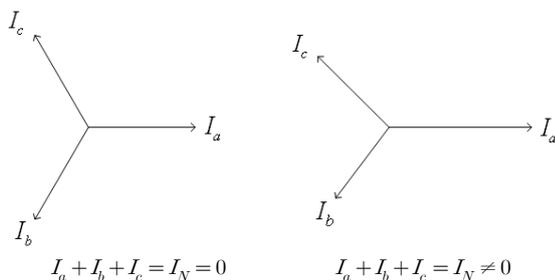
배전 계통은 발전단으로부터 공급된 3상 평형 전압 및 전류를 각 가정 및 공장 등에 공급하고 있다. 그러나 비선형 부하 사용의 증가 및 상업용 및 산업용 부하에 단상 또는 3상 불평형 부하가 포함 될 수 있기 때문에 전류 및 전압 파형에 불평형이 발생할 수 있다[1]. 배전계통에서 상불평형을 일으키는 요인에는 선로 임피던스에 의한 것과 부하에 의한 것이 있으며, 부하에 의해 발생된 불평형 전류가 선로 임피던스에 의해 발생하는 불평형 전류보다 계통 미치는 영향이 크다. 각 상 불평형으로 증가된 중성선 전류는 지락과전류계전기의 동작 및 중성선의 과열 및 화재로 이어질 수 있고, 각종 기기의 절연 파괴, 통신선 유도전압 등을 야기시킬 수 있으며, 계통내의 다른 설비에 악영향을 초래할 수 있다[2]. 이에 따라 부하 불평형 발생 시 계통에 미치는 영향을 분석한 연구가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 EMTP로 구현된 참고문헌 [2]의 실 배전계통을 이용하여 부하용량 변화에 따른 계통의 영향을 분석하고 분석 결과를 제시하였다.

2. 부하 불평형

2.1 부하 불평형

3상 전력계통에서는 전기적으로 평형을 이루고 있으나 계통의 발달에서 사용하는 단상 부하들에 의해 부하 불평형을 발생시킬 수 있다. 3상 회로에서 각상의 부하가 균등하지 않을 경우를 부하 불평형이라고 한다 [3]. 즉, 부하에서 각 상의 전압과 전류가 서로 다른 경우를 말한다. 다음 그림 1은 벡터를 이용하여 평형과 불평형 전류를 나타낸 것이다[4].



$I_a$ : a상 전류,  $I_b$ : b상 전류,  $I_c$ : c상 전류,  $I_N$ : 중성선 전류

<그림 1> 평형과 불평형 전류

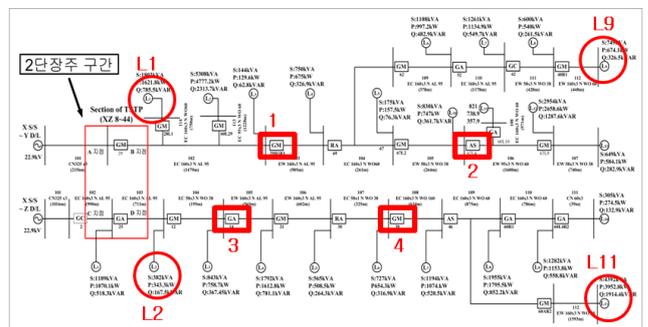
2.2 부하 임피던스와 용량

부하 임피던스는 다음 식 (1)과 같이 계산할 수 있다. 여기서  $V_{LL}$ 은 선간 전압,  $S^*$ 는 복소 전력을 나타낸다[2]. 주어진 계통에 부하의 용량

3. 부하 불평형 모의 및 영향 분석

3.1 계통 모델

본 논문에서는 참고문헌 [2]에서 모델링한 계통을 EMTP를 이용하여 모의하였으며 계통 모델은 다음 그림 2와 같다. 모의한 실 계통 모델은 시차 구간에 약1.5[km] 길이의 2단 장주로 구성되어 있고, 2단 장주 구간을 지난 후 각각 1단장주로 분기되는 형태이다. 상단의 13개소 부하와 하단의 11개소 부하가 있으며, 총 유효 부하는 28.6[MW], 총 무효부하는 13.9[MVAR]이다. 전체 선로길이는 병렬 연결된 선로를 제외한 직렬 연결된 선로로, 상단의 경우는 전원부터 끝까지 5.965km, 하단의 경우는 6.799km이다. 중성선의 물리적 구현을 위하여 ATPDraw의 LCC(Line Cable Constant) 소자를 이용하여 모델링하였다[6]. 그림의 1,2,3,4는 측정 지점을 나타내고 계통 상단의 L1, L9 부하와 하단의 L2, L11 부하에 불평형을 주었다.



<그림 2> 모델 계통

3.2 모의 조건

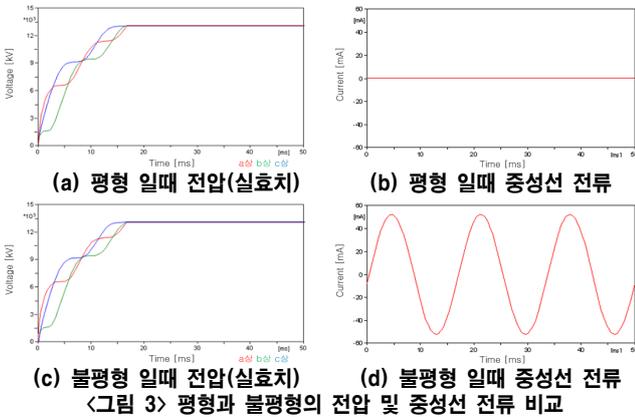
부하 용량에 따른 영향을 분석하기 위해서 상, 하단 각 2개의 부하(상단: L1, L11, 하단: L2, L13)를 선정하였다. 선정된 부하는 표 1에 제시된 모의 조건에 따라 부하용량을 변경시킨 후 계통에 미치는 영향을 분석하였고, 전압 및 전류값은 그림 2에 표시된 측정 지점에서 측정하였다. 비교의 용량은 상대적인 크기이며, 거리는 2단 장주 부근과의 가깝고 먼 정도를 나타낸다.

〈표 1〉 부하 용량에 따른 부하 불평형 조건

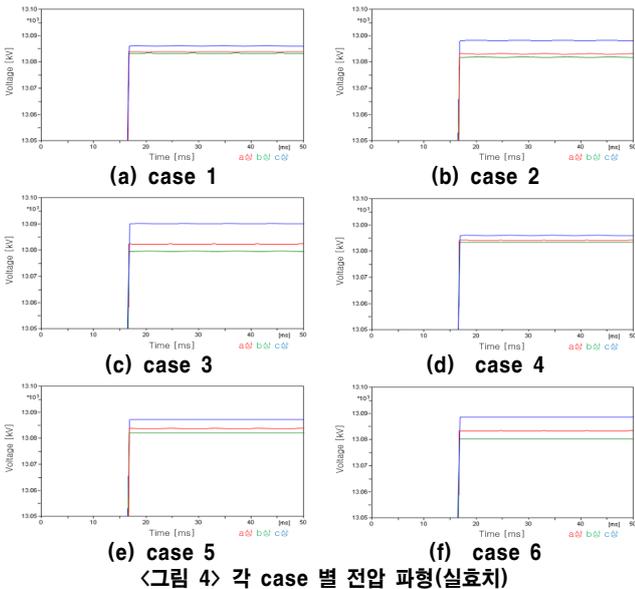
위치	부하	case	각 상의 용량 비율(a:b:c)	비고
상단	L1	case 1	1 : 1.1 : 0.9	용량 大 거리 近
		case 2	1 : 1.2 : 0.8	
		case 3	1 : 1.3 : 0.7	
	L9	case 4	1 : 1.1 : 0.9	용량 小 거리 遠
		case 5	1 : 1.2 : 0.8	
		case 6	1 : 1.3 : 0.7	
하단	L2	case 7	1 : 1.1 : 0.9	용량 小 거리 近
		case 8	1 : 1.2 : 0.8	
		case 9	1 : 1.3 : 0.7	
	L11	case 10	1 : 1.1 : 0.9	용량 大 거리 遠
		case 11	1 : 1.2 : 0.8	
		case 12	1 : 1.3 : 0.7	

3.3 모의 결과

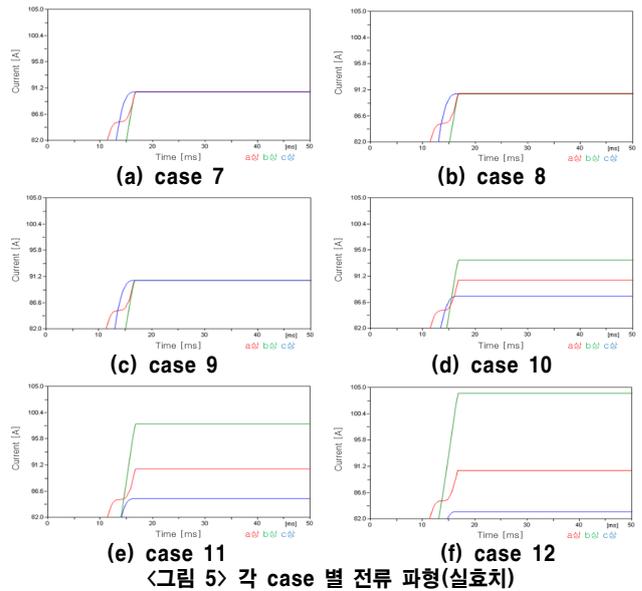
다음 그림 3은 평형 상태일 때와 불평형 부하가 존재할 때 전압의 실효치와 중성선에 흐르는 전류를 비교한 것이다. case 1 일때 지점 1에서 측정된 결과이다. 평형 상태일 때는 중성선에 전류가 흐르지 않지만 불평형 부하가 존재할 때 중성선에 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다.



다음 그림 4는 case 1~6의 지점 1에서 전압의 실효치를 나타낸 것이다. case 1~3에서 부하 변경율이 커질수록 각 상 전압의 차이가 커지는 것을 확인할 수 있다. case 3과 case 6을 비교해 보면 용량이 큰 부하에서 각 상 전압의 차이가 크게 나타난 것을 알 수 있다.



다음 그림 5는 case 7~12의 지점 3에서 전류의 실효치를 나타낸 것이다. 전압의 경우와 결과가 유사하며, case 7과 case 10을 비교해 보면 용량이 작은 부하에서는 각 상의 전류 차이가 미세하고 용량이 큰 부하에서는 각 상 전류의 차이가 크게 나타난 것을 알 수 있다.



각 상의 부하 용량 변화에 따른 전압 불평형율은 다음 표 2와 같다. 표의 조건에 대해 각 상의 전압을 측정 한후 식 (2)를 이용하여 전압 불평형율을 구하였다.

〈표 2〉 부하 용량 변화에 따른 각 상의 전압 불평형율(VUF)

측정 지점	case 1	case 2	case 3
1	0.0127 %	0.0280 %	0.0484 %
2	0.0128 %	0.0281 %	0.0486 %
3	0.0051 %	0.0051 %	0.0128 %
4	0.0051 %	0.0051 %	0.0128 %

분석 결과, 부하에서 각 상의 용량 비율차가 커질수록 전압 불평형율이 커지는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 EMTP를 이용하여 부하 용량 변화에 따른 부하 불평형의 영향을 확인하였다. 불평형 부하 존재시 중성선 전류가 흐르는 것을 확인하였고, 각 조건별 영향을 분석한 결과 불평형 부하의 용량이 클수록 각 상의 전압과 전류의 차이가 많은 영향을 주는 것을 확인하였으며, 모의 결과를 통하여 각 상의 부하 변경율이 클수록 불평형율이 증가하는 것을 확인 하였다.

향후 본 연구를 기반으로 계통에서 부하 불평형 발생 시 계통에 미치는 영향을 분석하고 대책을 개발함에 있어 활용도가 예상된다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

[1] 이유정, 김규호, 이상근, 유석구, “부하불평형 및 부하모형을 고려한 복합배전계통의 분산형전원의 연계 방안”, 전기학회논문지, v.53A, no.3, pp.266-274, 2004  
 [2] 박건우, 서훈철, 김철환, 정창수, 유연표, 임용훈, 이원정, “한전 배전계통을 이용한 2단장주의 불평형 부하에 따른 중성선 전류의 영향에 관한 연구”, 전기학회논문지, v.56, no.3, pp.465-471, 2007  
 [3] 한국전기공사협회 홈페이지, “전기용어사전”  
 [4] 대한전기학회, “최신 배전시스템 공학”, 북스힐, pp.345-348, 2006  
 [5] 김종겸, 박영진, 이은웅, “전압, 전류 및 부하 불평형율에 대한 비교 연구”, 전기학회 논문지, v.54, no.2, pp.88-93, 2005  
 [6] 임경섭, 성노규, 서훈철, 김철환, “한전 실 배전계통에서의 고장 시 순시전압강하 분석”, 대한전기학회 하계학술대회논문집, 2008