

국내 부하특성 및 전력품질 실태 분석

• 추진부, 곽노홍, 전영수, 장병훈, 김수열, 윤종수, 박상호 / 한전 전력연구원

서 론

정보화시대를 맞이하여 수용가측의 전력품질에 대한 관심이 나날이 높아지고 있고, 특히 공장자동화 및 컴퓨터의 보급 확산으로 배전계통에 비선형 부하의 사용이 늘어나고 있다. 공장제어기 및 인버터 마이크로 프로세서와 같은 기기들은 전력품질에 매우 민감하므로, 이들 기기를 보호하기 위해 전력품질 보상기기인 DVR, D-STATCOM과 같은 전력품질 향상기기가 개발되어 사용되고 있다. 이들 기기의 정확한 적용효과 분석 및 용량, 위치 선정 등을 위해서는 설치 개소의 부하 특성 및 전력품질이 반영되어야 한다. 본 고에서는 국내의 계절별, 지역별, 용도별 부하구성비를 살펴보고, 실계통에 계측기를 설치하여 취득된 전압변동 데이터를 분석하였다.

본 론

가. 국내 부하특성

1) 전력부하 모델

부하특성은 전력계통의 안정성에 영향을 미치며, 실제 부하의 구성은 수많은 조명기구, 전열기, 모터, 아크로 등이 복합되어 이루어지므로 부하 모델링도 복잡하게 된다. 1960년대에는 전력계통의 부하를 단순히 정임피던스(Constant Impedance) 형태의 부하로 가정하여 계통 해석을 하였으나 부하의 종류가 다양해지

고 계통 연계가 확대됨에 따라 정임피던스만으로 구현된 부하모델을 이용해서 정확하게 계통의 과도현상을 해석하기는 어렵게 되었다. 이에 따라 다양한 부하특성을 나타낼 수 있는 부하모델링이 필요하게 되었으며, 계통의 부하 특성을 정확하게 표현하기 위해 ZIP 모델이 제안되었다. ZIP 모델은 계통의 부하가 정임피던스 형태의 부하와 정전류(Constant Current) 부하, 정전력(Constant Power) 부하로 구성되어 있다고 가정하였다. 이들 부하를 수식으로 표현하면 아래와 같으며, a, b, c는 상수이다.

- 정임피던스(CZ)모델 : $P = aV^2$
- 정전류(CI)모델 : $P = bV$
- 정전력(CP)모델 : $P = c$
- 복합(ZIP)모델 : $P = aV^2 + bV + c$

ZIP모델을 구성하는 정임피던스 부하와 정전류 부하, 정전력 부하는 전압이 변화됨에 따라 전류는 그림

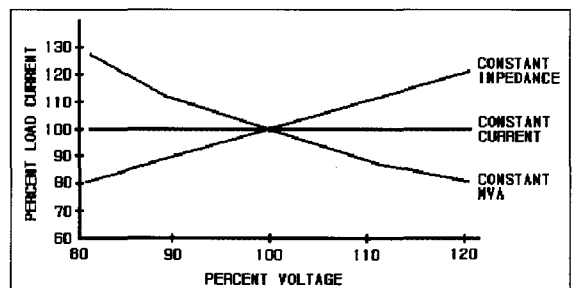


그림 1 ZIP모델의 전압-부하전류의 관계

1과 같이 변동된다. 전압이 상승됨에 따라 정임피던스 부하의 전류는 증가하며, 정전력 부하는 전류가 감소하며, 정전류 부하는 전압의 변동과 무관하다

또한 ZIP 모델과 전압-전력의 관계는 그림 2와 같이 전압이 상승됨에 따라 정전류 부하의 전력은 증가하고, 정임피던스 부하의 전력은 정전류부하 증가율보다 크게 증가되며, 정전력부하의 전력은 전압 변동과 무관하다.

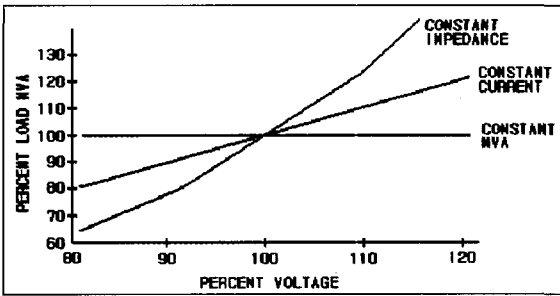


그림 2 ZIP모델의 전압-전력(MVA) 관계

정임피던스 부하는 ZIP 모델 성분 중 전압의 제곱 (V^2)에 비례하는 항으로 계통의 전압진동을 감소시키는 경향을 가지며 저항기, 전열기, 조명, 리액터, 역률 보상 축전기, 소용량 전동기 등이 해당된다. 정전류 부하는 전압(V)에 비례하는 항으로 모든 전압 조건에 대하여 일정한 전류를 유지한다. 또한 정전력 부하는 전압에 관계없이 일정한 전력을 소비하는 부하로서 계통의 전압진동을 증가시키는 경향이 있으며 유도형 모터, 단위 역률 동기전동기 등이 해당된다. 상기와 같이 정임피던스 부하, 정전류 부하, 정전력 부하는 전압이 변화됨에 따라 각각 전류, 전력의 변동이 상이하므로 전력품질 분석을 위해 부하 특성이 정확히 반영되어야 한다.

2) 국내 부하 구성비

전국 154kV급 모선별 용도별 판매전력량에 의한 계절별, 지역별, 용도별 부하구성비는 다음과 같다.

가) 전국 계절별 부하구성비

산출된 모선별 용도별 판매전력량을 모두 합산하여

전국의 계절별 부하 구성비는 다음과 같다.

표 1 전국 계절별 부하구성비

용도	봄[%]	여름[%]	가을[%]	겨울[%]
주거용	16.2	16.4	16.1	17.7
상업용	28.3	32.7	29.0	28.4
산업용	55.4	50.9	54.9	53.9

표1에서 보는 바와 같이 계절에 따라 부하의 계절별 구성비 변화를 관찰 할 수 있다. 즉 여름의 경우에는 냉방부하의 급격한 사용으로 상업용 부하의 구성비가 증가되며, 이에 반해 산업용부하는 하계휴가의 영향으로 사용전력량이 감소하여, 계절의 변화가 부하구성비에 다소 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

나) 지역별 부하구성비

다음은 각 변전소가 소속되어 있는 지역별 부하구성비이다

표 2 지역별, 용도별 부하구성비

구 분	주거용[%]	상업용[%]	산업용[%]
서울	30.6	46.2	23.2
남서울	25.2	56.3	18.5
수원	12.1	29.8	58.1
대전	17	23.1	60.0
대구	17.5	21.9	60.6
광주	16.0	18.1	65.9
부산	12.5	16.6	70.9
창원	16.1	19.6	64.3
창원	18.9	21.3	59.7
제주	4.6	62.7	32.6
전국	17.7	28.4	53.9

지역별 용도별 부하구성비 산정 결과를 보면, 일반적으로 서울지역은 주거용 및 상업용의 비율이 타지역에 비해 높으며, 공단이 밀집된 지역에서는 산업용의 비율이 상당히 높은 것을 알 수 있다. 특히 제주지역은 관광단지가 밀집되어 있어 상업용의 비율이 전국평균에 비해 월등히 높은 것을 확인할 수 있다.

다) 용도별 부하구성비

국내계통에서 대표적인 주거용, 상업용, 산업용부하를 선정하여 각각의 유효전력과 무효전력에 대한 정임피던스 부하와 정전류 부하, 정전력 부하의 구성비는 표 3, 4, 5와 같다. 향후 전력품질 향상기기 적용 등으

로 전력품질에 따라 전력요금을 차등 적용하려면 전력품질 향상기기 설치 지역의 부하 특성을 반영하여 설치 개소에 적합한 기기 종류, 기기 용량 등을 사전 검토가 필요하다.

① 주거용(신월변전소)의 부하 특성

주거용부하의 대표 변전소인 신월변전소에서의 계절별, 시간대별 (04시, 15시, 19시)에 대하여 유효전력과 무효전력 성분에 대한 정임피던스 부하, 정전류 부하, 정전력 부하의 구성비는 표 3과 같다. 주거용 부하의 경우 정전류 임피던스 성분이 가장 크며, 계절별 시간대별로 부하 구성 점유율도 변동된다.

② 상업용(홍인변전소)의 부하 특성

상업용부하의 대표 변전소인 홍인변전소에서의 계절별, 시간대별 유효전력과 무효전력 성분에 대한 정임피던스 부하, 정전류 부하, 정전력 부하의 구성비는 표 4와 같으며, 정전력 부하 성분이 가장 크다.

③ 산업용(목내변전소)의 부하 특성

산업용부하의 대표 변전소인 목내변전소에서의 계절별, 시간대별 유효전

표 3 신월변전소 부하특성

구분	04시			15시			19시			
	정전력	정전류	정임피던스	정전력	정전류	정임피던스	정전력	정전류	정임피던스	
봄	P	1.4	74.4	24.2	19.3	61.1	19.6	19.5	57.1	23.5
	Q	15.1	43.3	41.6	8.4	41.3	50.3	23.7	25.8	50.5
여름	P	15.1	83.0	1.9	41.9	28.7	29.4	36.5	33.4	30.1
	Q	7.5	44.6	47.9	8.9	40.3	50.7	11.4	38.2	50.4
가을	P	1.1	71.2	27.6	30.4	38.3	31.3	23.0	47.5	29.5
	Q	12.1	44.6	43.3	11.8	37.1	51.1	33.1	13.3	53.6
겨울	P	1.1	71.2	27.6	18.4	49.2	32.4	11.6	56.2	32.2
	Q	12.1	44.6	43.3	17.9	28.5	53.6	22.0	54.0	24.0

표 4 홍인변전소 부하특성

구분	04시			15시			19시			
	정전력	정전류	정임피던스	정전력	정전류	정임피던스	정전력	정전류	정임피던스	
봄	P	39.6	22.4	38.0	51.1	32.7	16.3	17.4	71.3	11.3
	Q	5.0	41.0	53.9	7.1	44.3	48.6	13.8	37.5	48.7
여름	P	59.9	11.9	28.2	57.2	13.0	29.8	60.4	10.7	28.9
	Q	15.7	33.0	51.4	17.6	30.1	52.2	8.9	40.4	50.8
가을	P	59.3	21.9	18.9	41.3	55.7	3.0	56.9	20.1	23.0
	Q	7.4	45.1	47.5	12.0	38.3	49.6	16.5	33.2	50.2
겨울	P	59.3	21.9	18.9	51.7	26.3	21.9	32.4	62.0	5.6
	Q	7.4	45.1	47.5	29.1	18.1	52.9	6.4	45.0	48.6

표 5 목내변전소 부하특성

구분	04시			15시			19시			
	정전력	정전류	정임피던스	정전력	정전류	정임피던스	정전력	정전류	정임피던스	
봄	P	56.9	10.6	32.5	55.2	11.6	33.2	55.9	11.7	32.4
	Q	40.8	32.1	27.1	40.1	29.6	30.3	41.2	29.7	29.1
여름	P	56.5	9.6	33.9	55.4	12.8	31.8	55.5	12.6	31.8
	Q	29.6	42.8	27.6	34.6	40.5	25.0	35.9	39.7	24.4
가을	P	56.9	9.8	33.3	55.9	11.8	32.3	55.7	11.4	32.8
	Q	38.7	34.7	26.6	40.6	30.8	28.6	39.7	31.6	28.7
겨울	P	56.9	9.8	33.3	51.8	4.4	43.8	50.2	3.5	46.2
	Q	38.7	34.7	26.6	4.5	39.8	55.7	4.5	39.7	55.8

력과 무효전력 성분에 대한 정임피던스 부하, 정전류 부하, 정전력 부하의 구성비는 표 5와 같다. 주거용 부하의 경우 정전류 임피던스 성분이 가장 크며, 계절별

시간대별로 부하 구성 점유율이 변경됨을 알 수 있다.

이상과 같이 산업용, 상업용, 주거용 부하로 구분된 부하모델의 구성비에서 동일 형태의 부하라도 계절별,

시간대별로 정임피던스 부하, 정전류 부하, 정전력 부하의 구성비는 변화됨을 알 수 있다.

나. 전력품질실태 분석
국내전력계통 전력품질을 분석하기 위해 2002년 2월부터 2003년 9월까지 전력품질측정기기를 청주, 광주, 의성, 강진, 제주에 설치하여 SAG 및 순간정전 데이터를 취득하였다. 단상지락사고에 의해 SAG 발생시 취득한 의성

변전소의 전력품질측정기 데이터에 대한 분석에는 다음과 같다. 그림 3은 의성변전소에서 D/L의 지락사고 발생시 순시전압, 순시전류의 변화로서 이 지락이 발생한 상의 전압은 강하되고, 전류는 크기는 고장전류에 의해 증대되었다.

순시전압, 순시전류의 변동은 그림 4와 같으며 전력품질측정기에 내장된 소프트웨어를 이용하여 전압변동부분을 그림 5와 같이 전압, 전류파형의 일부를 확대할 수 있다. 즉 SAG 발생부분을 확대하여 SAG의 크기와 지속시간을 분석할 수 있다.

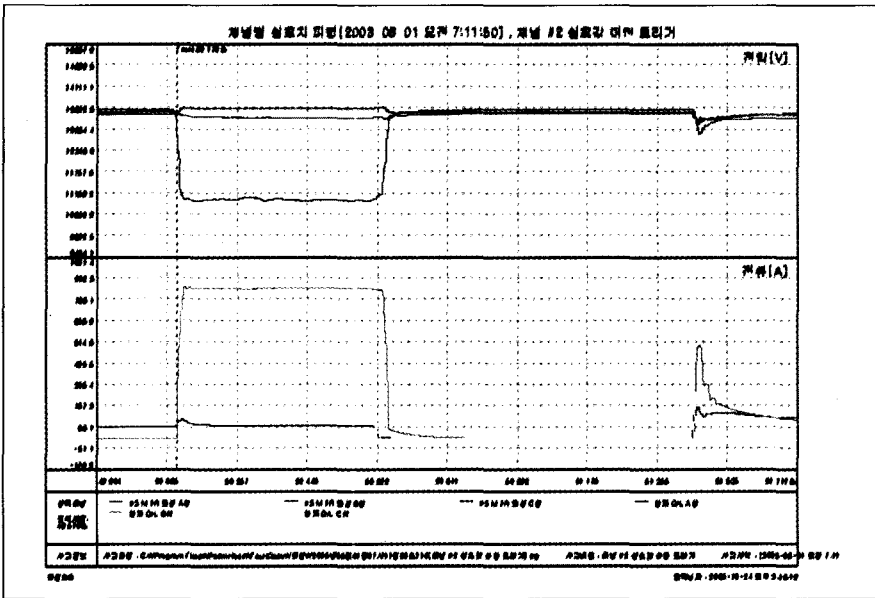


그림 3 단상지락사고시 실효전압

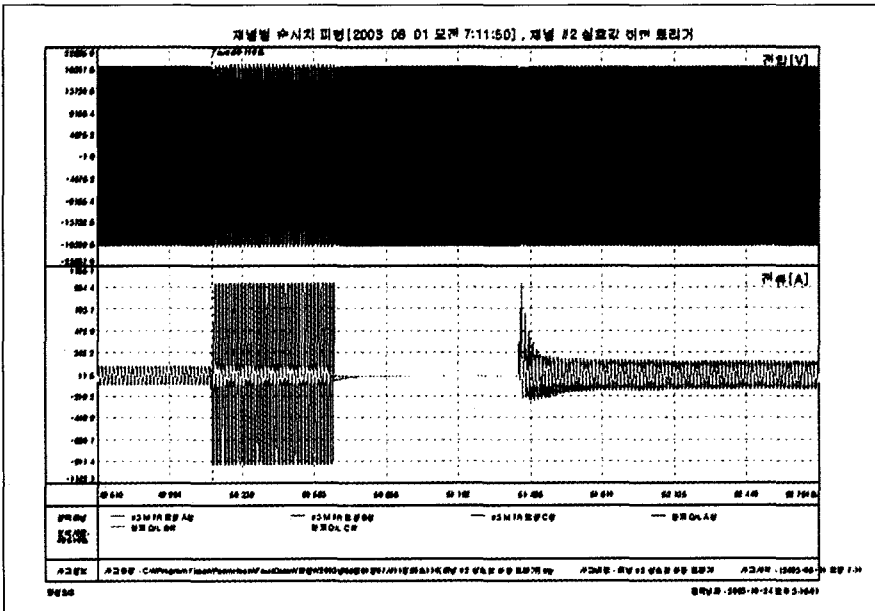


그림 4 단상지락사고시 순시전압

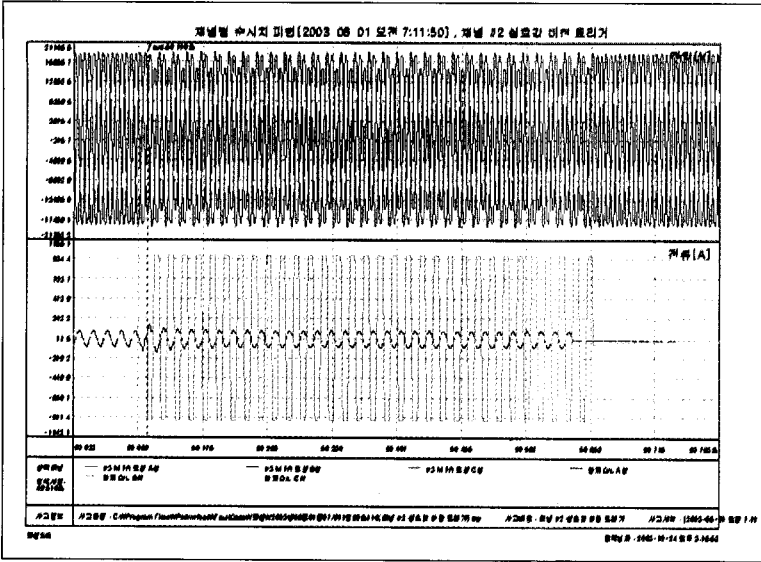


그림 5 단상지락사고시 순시전압 부분 확대

위의 분석 사례와 같이 전력품질측정기기를 이용하여 설치 장소별로 취득된 SAG 및 순간정전 데이터를 다음과 같이 기준 전압과 Sag 전압 그리고 Sag 지속시간의 항목으로 분석하였다.

가. Sag 지속시간별 분류

표 6은 취득된 전압강하 데이터를 사고 당 지속시간에 따라 분류한 것이다. 표에서와 같이 50 ~ 100ms의 지속시간을 갖는 전압강하가 가장 많고 300ms 이상의 오랜 기간동안의 전압강하도 5건 취득되었는데 취득된 데이터 중 전압강하 지속시간이 가

표 6 지속시간별 Sag 분류

	50ms이하	50~100ms (순간정전)	100~200ms (순간정전)	200~300ms	300ms이상 (순간정전)
Sag 발생회수	4	48(3)	4(1)	1	5(2)

표 7 발생크기별 Sag 분류

	20% 이하	20~30%	30~40%	40~50%	50%이상
Sag 발생회수	29	28	8	6	16

표 8 발생 유형별 Sag 분류

	1상 Sag	2상 Sag	3상 Sag	순간정전
Sag 발생회수	41	16	5	6

장 긴 데이터는 1,690ms이다.

나. Sag 발생크기별 구분

표 7은 취득된 전압강하 데이터를 발생크기의 비로써 분류한 것이다. 일반적으로 알려진 바와 같이 전압강하의 정도가 20%이내가 29건으로 가장 많았으며, 20~30%가 28건으로 이 두 가지 경우가 전체의 65%정도로 되는 것을 알 수 있다.

다. Sag 발생 유형별 구분

표 8은 취득된 전압강하 데이터를 사고 발생 유형에 따라 분류한 것이다. 표에서와 같이 1상 전압강하가 전체전압 강하의 약 60%정도를 차지하

는 것을 알 수 있다.

결론

한국전력공사 전력연구원은 LG산전, 충북대와 공동으로 “국내전력계통 특성을 고려한 전력품질 향상기기 실증시험 기술개발” 과제를 수행하고 있다. 현재 고장에 전력품질 향상기기 실증시험장을 구축 중에 있으며, 이를 이용한 DVR, D-STATCOM, SSTS와 같은 전력품질 향상기기의 성능 평가와 EMTDC프로그램을 이용한 전력품질 향상기기 적용효과 분석기술을 개발하고 있다. 본고에서는 전력품질 향상기기 실증시험기기를 설치할 경우 기기의 최적용량 산정 및 설치효과 검토를 위한 국내의 부하특성을 살펴보고 있으며, 실제통에 계측기를 설치하여 취득된 전압변동데이터를 분석하였다. 이러한 부하특성을 고려한 전력품질 향상기기 운영기술과 실증시험장을 이용한 전력품질 향상기기 실증기술이 개발됨으로서, 효과적인 전력품질 향상기기 운용에 기여할 것으로 보인다.