

전압변동이 산업체 수용가에 미치는 영향에 대한 분석에 관한 연구

김병목, 정장묵, 윤삼희, 노대석
한국기술교육대학교
e-mail: dsrho@kut.ac.kr

A Study on the Analysis for the Effect of Industrial Customers by Voltage Variations

Byeongmok Kim, Jangmuk Jeong, Samhee Yoon, Daeseok Rho
Korea University of Technology and Education

요 약

본 연구에서는 국내의 전압실태를 파악하고 산업체에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 전압측정과 설문조사를 병행하였다. 먼저 전압측정을 위하여 수도권과 비수도권의 중규모 도시를 대상으로 측정지점과 대상선로를 선정하였다. 여기에서는 공장지역을 공급하는 4개의 배전용변전소의 주 변압기(M.Tr)와 5개의 고압선로(D/L)를 선정하여, 주 변압기의 직하전압(송출전압)과 말단의 수용가 단자전압을 5분간 평균치로 설정하여 측정하였다. 한편 설문조사 대전, 충남지역을 대상으로 산업체별로 전화와 설문지를 가지고 방문조사를 수행하여 분석하였다. 본 연구에서는 전압실태의 평가를 엄격하게 하기 위하여, 장거리의 고압선로이거나 부하변동이 심한 최악의 조건을 가지는 고압선로를 대상선로로 선정하였으며, 또한 선로전압조정장치(SVR)가 포함된 선로를 선정하여 고압선로 상에서의 전압조정에 대한 영향도 평가하도록 하였다.

1. 서 론

산업체에 미치는 전압변동의 영향을 분석하기 위하여, 본 연구에서는 총 874,230분 동안 공장부하 특성을 가진 고압선로를 대상으로 총 26개소의 수용가 단자전압을 측정하여, 174,886개의 5분간 평균전압을 분석하였다. 또한, 전압변동에 의한 수용가의 피해사례를 조사하기 위하여, 설문항목과 방문계획을 수립하여 방문조사를 수행하였고 전화로 직접 조사를 수행하였다. 다음에 샘플로 선택한 산업체에서 계절별로 측정된 전압치와 분석된 전압치를 비교·분석하고 종합하여 대표선로에 대한 수용가 전체의 전압공급 실태를 작성하였다. 그리고, 이들로부터 국내 전압실태가 산업체에 미치는 영향과 문제점을 분석하고, 문제점에 대한 원인과 대책을 제시하였다. 또한, 산업체의 방문조사와 전압측정에 의해 수집된 자료로부터 영향의 종류와 그 원인, 피해액 등을 분석하여 차후 한전의 전압품질향상 및 관리정책에 반영할 수 있는 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

2. 전압유지율 정의

전기사업법에서 규정된 전압 유지율은 대상 개소(배전용변전소직하, 5% 탭 변경 점, 말단 수용가 등)에 대하여 하계 피크부하시를 기준으로 24시간 동안 30분 평균전압을 측정하여, 단 한번이라도 규정전압($220V \pm 6\%$)을 벗어나면 부적정한 개소로 평가하여, 총 측정개소에 대한 적정개소의 비율로 산정하도록 정의되어 있다. 그러나 기존의 전압 유지율을 기준으로 전압변동이 각종 기기에 미치는 영향을 평가하게 되면, 부적정한 개소인 경우에 24시간 동안 뿐만 아니라 연간을 통하여 항상 부적정한 전압이 공급된다는 불합리한 분석결과를 초래할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 상기의 불합리성을 피하고, 전압변동이 가전기기 및 산업체에 미치는 영향을 정확하게 평가하기 위하여, 5분 평균전압을 기준으로 측정 및 분석 작업을 수행하였다. 이것은 30분 평균전압 변동보다 5분 평균전압 변동이 보다 합리적이고 정확한 분석데이터를 제공해 주기 때문이다.

또한, 기존의 30분 평균전압 적정율과는 달리, 총 측정 도수(샘플링 수)에 대한 규정전압 유지 도수에 대한 비율을 5분 평균전압 유지율로 정의하여, 각 시간대별로 규정전압을 초과한 전압이 가전기구나 산업체에 미치는 영향을 정확하게 평가하도록 하였다.

$$\text{5분평균전압유지율(\%)} = \frac{\text{규정전압유지도수}}{\text{총측정도수}} \times 100\%$$

2. 수용가 전압측정 대상 및 특성 분석

2.1 전압 측정에 의한 전압영향 분석

가. 전압측정 대상 및 조건

1년 중 하계, 추계, 동계의 3계절에 걸쳐, 3개의 배전용변전소 송출전압과 5개 D/L의 말단수용가 공급전압을 전압측정계기에 의해 측정된 5분간 평균전압 중에서 공장지역의 데이터만을 대상으로 하여 계절별로 분석·평가였다. 이는 산업체에 미치는 영향 평가와 밀접한 관계가 있는 것이 공장지역의 전압측정치이기 때문이며, 대체적으로 공장전기설비의 정격범위가 ±10%로 되어 있기 때문이다. 또한, 1년 중 하계, 추계, 동계의 3계절 특정시간의 측정치를 기준으로 한 것은, 기존의 특정계절(하계)만의 전압 측정치를 기준으로 분석하면 다른 계절의 특성을 고려할 수 없기 때문이다. 한편, 각 계절의 특정시간을 선정한 것은 전체기간에 대한 측정치보다 부하변동(격차)이 커서 전압변동에 큰 영향을 미치는 각 계절의 피크시간대를 선정하여 측정하는 것이 최악 조건으로 상정할 수 있기 때문이다. 그리고 평가를 위한 전압측정 대상 샘플링도 그 정확도를 기하기 위하여, 기존 한전의 적정전압유지 기준인 30분 평균치보다도 더 가혹한 5분 평균치를 활용하였다.

나. 산업체에 미치는 영향분석 결과

표 1은 총 874,230분 동안 공장부하 특성을 가진 고압선로를 대상으로 총 26개소의 수용가 단자전압을 측정하여 174,886개의 5분간 평균전압을 분석한 것으로, 540개만이 5분간 평균전압의 ±10%의 범위를 벗어난 것을 의미한다. 한편, 5분간 평균전압 유지율을 현재 사용하고 있는 30분 평균전압 유지율(99.71%)과 비교한 결과, 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 즉, 0.3%가 기준전압 ±10%를 벗어나서 공급되었다는 결론이다. 이것은 전압변동으로 인하여

영향을 받은 경험이 있는 산업체 수용가가 거의 없는 것으로 나타난 설문조사의 결과를 어느 정도 뒷받침하고 있는 것으로 판단된다.

[표 1] 산업체 수용가 대상측정개수별 전압적정률 (±10% 기준)

내역 계절	총 측정시간 (분)	총 측정 개수 (a)	부적정 개수 (b)	전압유 지율 (%)	비 고 (대상지점 수)
하계	378,630 (262.9일)	75,726	381	99.5	6
추/춘계	202,215 (140.6일)	40,483	159	99.6	10
동계	293,385 (203.7일)	58,677	0	100.0	10
합계 (연간)	874,230 (568.8일)	174,886	540	99.7	26

(주) 전압유지율은 [(a-b)/a]×100(%)를 나타내며, 적정범위는 ±10%를 기준으로 하였음.

2.2 설문조사결과의 전압영향 분석

여기서는 5분간 평균전압을 상시전압변동으로, 그 이하의 짧은 시간인 경우에는 순시전압변동으로 규정하여 수용가에게 설문지와 전화를 통하여 분석하였다. 대상 수용가는 주로 충남, 대전지역을 중심으로 산업별로 분석하였다.

가. 상시전압변동

5분간 평균전압에 대하여 설문결과를 분석한 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 계약전력 1,000kW 이상의 경우 모두 전기안전관리자가 상주하여 전압변동 및 순간정전 등의 발생시 신속하게 대처하는 형태를 취하고 있었다. 특히, 전압에 민감한 수용가의 경우는 상주자가 항상 대기하여 이상 발생시 신속하게 대처하고 있었다. 부족전압계전기의 경우는 대부분이 부착되어 있었으며, 비상용발전기, UPS 및 자동전압조정장치 등은 40-50%정도 설치되어 있는 경우가 있었다. 그러나, 이들의 설치용량은 계약용량에 비하여 상당히 작은 정도이며, 특히, UPS의 경우는 자동화설비의 제어전원 백업용 정도의 소 용량이 거의 대부분이었다.

(2) 산업체가 가지고 있는 부하설비의 구성을 보면, 대체적으로 가변속제어장치가 있는 모터부하가 전체부하의 50-90%정도, PLC 등의 프로세스 자동화설비가 10-20%정도, 간혹 히터부하가 전체부하의 50-80%를 차지하는 경우도 있었다. 전압의 불규칙

한 변동이 있다면 제품생산에 영향을 미치지만, 지금까지 전압변동이 일어나 제품생산에 영향을 받은 적이 거의 없다고 하였으며, 2-3개소 정도가 선로의 말단에 있어 전압변동이 심한 경우가 있었다고 했으나, 최근에 모두 해소가 되었다고 하였다.

(3) 전기안전관리자가 상주하고 있는 1,000kW이상의 산업체수용가에서는 전압변동과 순간정전을 확실히 구분하였으며, 특히, 전압변동으로 인한 피해는 거의 없었으나, 순간정전으로 인한 피해가 간혹 있었다는 고객이 일부 있었고, 순간정전의 경우 대부분 여름철 우기에 집중되고 있다고 하였다.

(4) 산업체의 경우 전압변동에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타난 것은 산업기기가 대부분 정격전압의 ±10% 범위로 제작되는 데 비하여 우리나라의 경우 22.9kV선로 및 154kV선로의 전압유지가 대부분 기준전압의 ±5% 범위내에서 실제적으로 운전되고 있는 결과에 의한 것으로 볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 상기의 점을 고려할 때 상시적인 전압변동으로 산업체에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 잠정적인 결론을 도출 할 수 있었다.

나. 순시전압변동(순간정전 포함)

순시전압변동(순간정전 포함)에 대하여, 충남, 대전지역의 대상산업별 피해 사례에 대한 수용가의 설문응답 결과는 표 2와 같고, 결과를 분석한 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 대부분 산업체의 수전설비 및 자동화전기설비에는 저전압계전기(UVR), 제어용 Magnetic switch 및 모터제어용 인버터 등이 있기 때문에 공급전압이 정격기준 ±10%를 벗어나게 되면 설비보호를 위하여 자동적으로 Trip하도록 설정되어 있어 생산라인이 정지하게 된다. 이것은 순간정전과 똑같은 영향을 받는 것이라고 할 수 있다. 따라서, 산업체에 전압변동이 미치는 영향분석은 순간정전으로 인한 산업체 수용가당 연간 피해액으로부터 산출하는 것이 타당하다고 판단된다. 이것은 순간정전과 관련된 것으로서 본 연구의 범위를 초과하는 성질이므로 차후 이에 대한 조사연구가 수행되어야 할 필요가 있다.

[표 2] 설문응답 수용가의 대상산업별 피해 사례 분석(충남/대전 지역)

업체 유형	수용가 규모	업체	피해 현황
석유·화학업종 (가스, 정유, 플라스틱, 고무, 도금 등)	10MW 이상	현대정유 (95,000kW)	순간정전 1회당 피해액: 수천만원 복구시간 : 수시간~5일정도, 순간 정전 횟수: 2~3회
	5M~10MW	삼진화학 (6,400kW)	순간정전 1회당 피해액: 3~4백만원 순간 정전 횟수: 10회 이상
	5MW 이하	강남산업 (2,000kW)	복구시간: 1시간 순간 정전 횟수: 6회
기계·금속업종 (자동차, 철강금속, 비철금속, 조립금속, 시멘트, 철구조물 등)	5MW 이하	로버트보쉬 (2,650kW)	순간정전 1회당 피해액: 3~400만원 복구시간 : 30분~수시간, 순간 정전 횟수: 3~4회
전기·전자·반도체업종 (전선, 전자 부품, 가전 제품, 기판, LCD, 실리콘, 컴퓨터, 전자 등)	10MW 이상	삼성전자 (80,000kW)	순간정전 1회당 피해액: 수억원 순간 정전 횟수: 4~5회, (LCD제조)
	5M~10MW	아큐텍반도체 (5,000kW)	복구시간 : 수시간 순간 정전 횟수: 10회이상
	5MW 이하	미라이공업 (950kW)	순간정전 1회당 피해액: 4~5백만원 순간 정전 횟수: 2~3회
요업업종 (도자기, 유리 등)	10MW 이상	코리아오토글라스(40,000kW)	순간정전 1회당 피해액: 1~2천만원 순간 정전 횟수: 3~4회(전기로, 안전유리)
	5M~10MW		
	5MW 이하	금비온양 (3,400kW)	복구시간 : 30분 순간 정전 횟수: 25회정도(유리제조)
제지업종 (제지, 화장지, 벽지, 골판지, 지폐용지, 유지 등)	10MW 이상	한솔제지 (10,000kW)	순간정전 1회당 피해액: 3~4000만원 복구시간: 1~2시간, 순간 정전 횟수: 5~6회
	5M~10MW		
	5MW 이하	피엠텍 (2500kW)	순간정전 1회당 피해액: 300~400만원 순간 정전 횟수: 3~5회, 복구시간: 1시간
섬유업종 (섬유, 방직, 봉제, 합성/인조 등)	5MW 이하	범양산업 (3,875kW)	순간정전 1회당 피해액: 1백만원 순간 정전 횟수: 3~5회, 복구시간 30분~2시간
식품·의료업종 (식품, 제과, 약, 담배, 병과, 사료, 도계 등)	5MW 이하	제오빌더 1800kW	순간정전 1회당 피해액: 수백만원, 복구시간: 2시간 순간 정전 횟수: 10회이상 (약품제조)
기타 (채석장, 벽돌 등)	5MW 이하	대도산업 (2,500kW)	순간정전 1회당 피해액: 수백만원~1천만원 복구시간 : 2시간 순간 정전 횟수: 3~4회 (벽돌제조, 가마이용)

(2) 순간정전으로 인한 피해는 제품생산 감소 및 중단, 제품품질 저하, 기기 손상에 의한 기기보수 및 대체, 공정중의 원료 손상과 이의 제거작업 순으로 나타났다.

(3) 순간정전의 경우 대부분 대책의 필요성을 느끼고 있으나, 별도의 대책을 강구하고 있지 않는 경우가 많았음. 이유는 그 대책의 대부분이 UPS 설치임을 알고 있으나, 생산라인을 커버할 정도의 대용량 UPS 가격이 고가인 것에 있었다. 또한 전압변동이나 순간정전에는 피해가 거의 발생하지 않는 수용의 경우에도 UVR이나 MS(Magnetic Switch)에 의하여 순간정전이 영구정전으로 발전되어 피해가 발생하는 경우가 있었다. 이러한 경우 UVR의 정정치를 조정하거나 MS를 사용함으로써 순간정전 피해를 대부분 예방할 수 있으나 이러한 정보를 모르고 있는 수용이 많았으므로 수용특성에 맞는 전력기술정보의 제공이 필요함을 느꼈다. 순간정전과 같은 전압품질문제 발생시 원인규명 및 대책수립 방안을 신속하게 알려 주었으면 하는 고객이 많았다.

3. 산업체 전압변동에 대한 원인 및 대책

가. 상시전압변동

산업체에 대한 전압변동 피해실태를 조사한 결과 지금까지 전압변동으로 인하여 제품생산에 영향을 받거나 피해를 입은 적은 거의 없는 것으로 조사되었다. 단, 2-3개소 정도가 선로의 말단에 있어 전압변동이 심한 경우가 있었으나, 최근에 모두 해소가 된 것으로 조사되었다. 따라서, 기본적으로 산업체에 대한 전압변동의 문제는 거의 없는 것으로 판단된다. 이는 산업기기가 대부분 정격전압의 $\pm 10\%$ 범위로 제작되는 데 비하여 우리나라의 경우 22.9kV선로 및 154kV선로의 전압유지 범위가 기준전압의 $\pm 5\%$ 범위내에서 실제적으로 운전되고 있고, 2000년도 국정감사시 전압적정률의 신뢰성 문제가 대두되면서 한전에서 2001년부터 전압관리 적정도를 내부평가항목으로 선정하여 운영하였고, 표준전압 측정방법에 있어서도 종전의 선로별 지정된 장소에만 측정하던 것을 지정된 장소와 임의 표본(Random Sampling) 방식을 혼합한 방법으로 개선하였고, 배전용 변전소의 송출전압 운영기준도 종전의 $-1\% \sim +4\%$ 에서 최근에는 배전선로 부하형태상 필요한 변전소는 $\pm 2.5\%$ 범위로 기준을 변경하여 변전소 부근 고객에 대한 과전압 발생요인을 해소하는 등 규정전압 유지율 향상을 위하여 많은 노력을 기울인 결과로 보인다.

나. 순시전압변동(순간정전 포함)

본 연구를 수행하면서 순시전압변동(순간정전)으로 인한 피해 사례가 심각하여, 이에 대하여 간략히

분석해보면, 이는 산업체의 수전설비 및 자동화전기 설비에는 저전압계전기(UVR), 제어용 Magnetic switch 및 모터제어용 인버터 등이 있어 공급전압이 정격기준 $\pm 10\%$ 를 벗어나게 되면 설비보호를 위하여 자동적으로 생산라인이 정지하게 된다는 점에 기인한다. 순간정전으로 인한 피해는 제품생산 감소 및 중단, 제품품질저하, 기기 손상에 의한 기기보수 및 대체, 공정중의 원료손상과 이의 제거작업 순으로 나타났다. 전압변동이 문제가 되는 경우, 문제가 되는 지역에 변전소 신설과 D/L변경, SVR 도입 등의 대책이 고려될 수 있다. 순간정전의 경우는 천재지변에 의한 것이 그 주된 원인으로서 각 지역마다 이의 발생빈도 및 전압품질정도를 파악하여 그 표준품질에 대한 정보를 제공할 수 있는 종합연구대책이 필요할 것으로 사료된다. 산업체수용가에 대한 고객감동서비스팀을 구성하여 수용가의 생산라인의 특성과 순간정전을 포함한 전력품질과의 영향관계를 진단하여 줄 수 있는 전문 컨설팅을 실시할 필요가 있다.

4. 결 론

상기의 전압측정 및 분석데이터에 근거하여, 5분간 평균전압유지율을 평가하면 99.7% 정도로 분석되어 상당히 양호한 평균전압 유지율을 보이고 있었다. 따라서 상시적인 전압변동으로 산업체에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 잠정적인 결론을 도출할 수 있었다. 한편 순시전압변동으로 산업체에 심각한 영향을 끼치고 있음을 확인하였고 이에 대한 대책이 시급함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 노 대석 : “배전계통에 있어서 전압변동이 일반 수용가에 미치는 영향에 대한 분석”, 한국산학기술학회, 춘계학술회 논문집, 2008. 11.
- [2] G. Kjolle and Kjell Sand, ‘RELRAD - An Analytical Approach for Distribution System Reliability Assessment,’ IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 809-814.
- [3] R. Brown, S. Gupta, S.S Venkata, R.D. Christie, and R.Fletcher, ‘Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markov Modeling,’ IEEE PES Winter Meeting, altimore, MD, January, 2006.