



**전기품질은 세계최고라는데 정전사고는 왜?**

대형정전사고 하면 떠오르는 것이 2003년 8월 미국 뉴욕 및 캐나다지역의 대규모 정전사태, 2006년 4월 제주도 정전사태, 2007년 8월 삼성전자 기흥반도체공장, 2008년 5월 여수산단 정전사고일 것이다. 그밖에도 우리가 알지 못하는 수많은 정전사고가 주위에서 빈번하게 발생하고 있다. 각각의 정전사고 원인을 분석해보면 매우 다양하지만 대체적으로 전력공급설비의 취약성, 단일선 전력공급방식(예비전원 미확보), 전력설비의 노후화, 정전방지설비의 미비, 부적절한 유지보수, 전력설비의 오조작 등의 원인을 들 수 있다.

불시정전에 따른 피해규모는 상상을 초월할 정도로 엄청나게 크다. 설비규모에 따라 불시정전사고에 의한 피해규모는 다르겠지만 통상 수십억원에서 수백억원의 피해가 발생한다. 2007년 8월에 발생한 삼성전자 기흥반도체공장 정전사고의 경우

약 400억원의 손실이 발생한 것으로 자체 발표하였고 2008년 5월 여천NCC 여수산단의 정전사고도 1,000억원 이상의 손실이 발생했을 정도로 막대한 것이다.

**부실한 전력설비가 잦은 정전사고를 유발한다.**

우리나라에서는 1970, 80년대 신설된 플랜트들이 산업경기 활성화로 1990년대 이후 지속적인 공장 증설이 이루어졌다. 그런데 공장증설시 공사비 절감을 위해 설비투자, 특히 전력설비 투자에 매우 소극적이었으며 기존 설비의 노후화, 설비확장에 따른 전기계통 영향, 연계사항 검토 등을 포함한 전력계통 분석업무를 제대로 수행하지 않았다.

최근 산업플랜트내 전기설비의 운전수명이 다하면서 각종 오동작 발생으로 정전사고가 빈번히 발생하고 그에 따른 대규모 피해 발생 사실이 언론

Special Issues



등을 통해 알려지면서 일반 산업체의 최고경영진들은 전기설비의 중요성을 새롭게 인식하게 되었다. 이에 따라 정전사고 경험이 있는 산업체는 물론이려니와 정전사고 경험이 없는 산업체에서도 전력설비의 분석을 통하여 설비의 전면 개보수 계획을 수립하는 등 투자가 증가되는 추세이다.

### 미국, 캐나다 동부지역 정전사고의 원인

2003년 8월 미국 뉴욕주 및 캐나다 동부 7개주에서 발생한 정전사고의 원인은 다음과 같다.

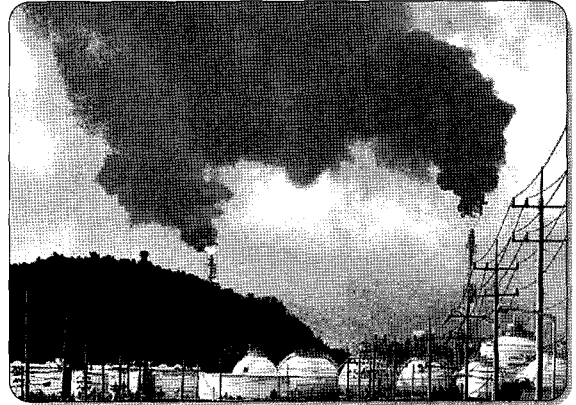
- 이리호 주변 송전선로 이상으로 일부 송전선로가 계통으로부터 분리됨
- 송전선로 탈락후 9초간 계통동요현상 발생으로 발전기 연쇄 탈락
- 정전사고 발생당시 해당 송전선로가 계통에서 분리되는 경우 계통운전이 매우 취약하여 선로보강을 검토하였으나 전력회사의 비용문제로 실행되지 않았음

### 제주지역 정전사고 개요 및 발생과정

2006년 4월1일 오전10시경 발생한 제주지역 정전사고는 제주-내륙간 연계되어 있는 해저의 고압 직류송전선로가 외부충격에 의해 표면이 손상되어 발생하였다. 그러나 사고당시 직류계통의 스위칭 제어협조가 실패하고 관련 제어설비 프로그램의 미비 등으로 예비선로로의 절체가 실패하면서 제

주지역 전체로 정전이 확대되었다.

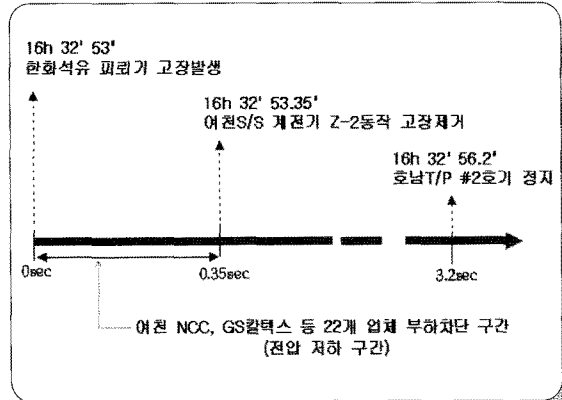
### 여수산단 정전사고



여수산단 정전사고는 2008년 5월3일 오후4시경, 한화석유화학 구내 154kV 모선 피뢰기 소손으로 154kV 전압이 순간 저전압이 발생하면서 비롯되었다. 주요 정전 발생과정은 다음과 같다.

- ① 한화석유화학 구내 모선(154kV) 피뢰기의 소손에 따른 순간 저전압 발생
- ② 한화석유화학의 154kV 모선 보호계전기의 미작동으로 저전압현상이 전력계통에 파급되어 여천 NCC1,3공장의 전체정전 및 GS칼텍스 등 여수산단내 18개업체 부분정전발생
- ③ 피뢰기 사고로부터 0.35초후 여천변전소 후비보호계전기가 작동하여 저전압이 지속되는 현상을 차단
- ④ 호남화력 2호기도 저전압현상으로 보일러에 석탄을 공급하는 급탕기 제어전원의 약화로 정지되어 3.2초후 발전 정지됨

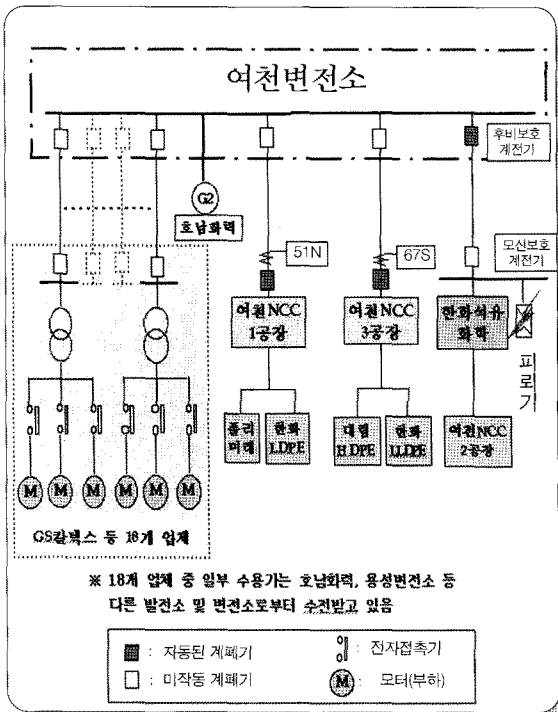
여수산단 정전사고의 원인은 사고피뢰기가 염분이 많은 해안지역에 위치하여 노후화를 촉진할 수 있는 환경에 있었고 장기간 사용(28년)으로 인해 피뢰기 내부에 금속산화 및 수분침투로 전기적 절연이 약화되어 정상상태의 전압에서 절연이 파괴된 것으로 분석되었다. 또한, 한화석유화학내의 모선보호계전기는 피뢰기 사고즉시 작동하여 저전압 현상을 방지해야 했으나, 모선보호계전기의 케이블 결선오류로 동작하지 않음으로써 사고가 확대되었다. 이로써, 여수산단 정전사고는 수용가 일부 전력설비의 노후화, 설비의 관리미흡 및 관련 기술 부족, 여수산단 전력공급체계의 취약성 등 문제점이 나타났으며 전체 전력설비에 대하여 특별점검이 필요한 것으로 분석되었다.



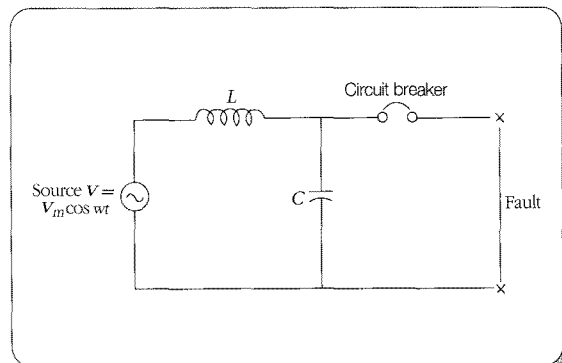
〈여수산단 정전발생 Time Chart〉

### 과도회복전압(Transient Recovery Voltage, TRV)으로 인한 정전사고

수 년전 국내 대형 플랜트에서 고압차단기의 TRV사고로 인하여 대규모 정전사고가 발생한 바 있다. 당시 국내 전문가 및 제작사 측에서 정전사고 원인분석에 대해 많은 기술검토를 하였으며 최종적으로 고압차단기의 TRV 및 RRRV 정격선정 오류에 의한 것으로 밝혀졌다. 이에, TRV 및 RRRV를 이해하기 위해 가장 기본적인 R-C회로를 분석해보기로 한다



〈여수산단 및 여천변전소 전력계통도〉





다음은 차단기 2차측에서 고장이 발생한 후 차단기가 개방될때 차단기 양단에 걸리는 전압을 분석한 것이다,

고장이전 정상상태에서 상기 R-C회로의 전압, 전류수식은 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$L \frac{dI}{dt} + V_c = V_m \cos \omega t, I = C \frac{dV_c}{dt}$$

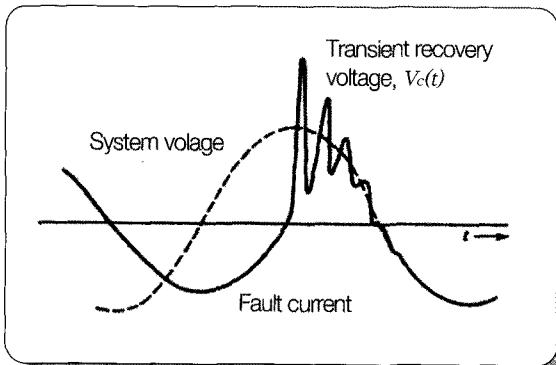
상기 두 수식을 단일수식으로 환산하면 아래와 같이 변환할 수 있다.

$$\frac{d^2 V_c}{dt^2} + \frac{V_c}{LC} = \frac{V_m}{LC} \cos \omega t$$

위 수식을 라플라스로 변환하여 차단기 양단의 전압( $V_c$ )을 풀면 아래와 같은 수식이 유도된다. (자세한 유도과정은 Allan Greenwood의 Electrical Transients in Power System, Ch.3.3을 참조한다.)

$$V_c(t) = V_m [1 - \cos \omega_0 t], \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

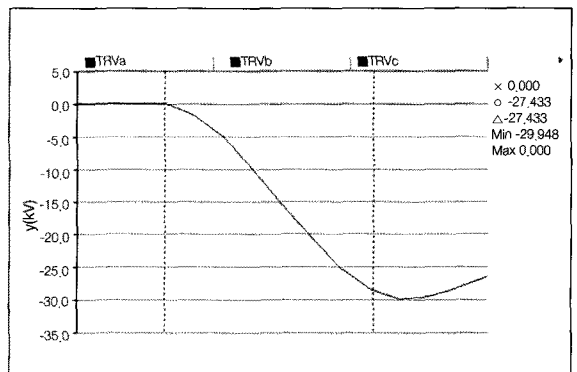
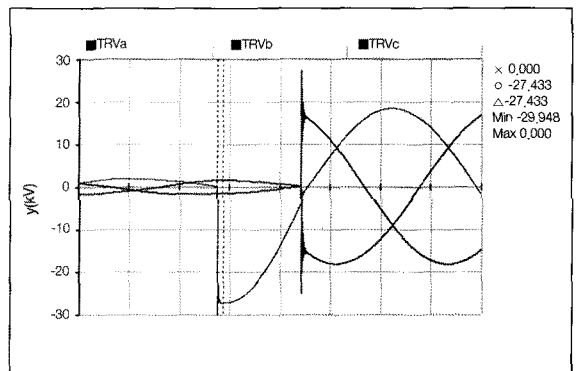
위 수식에서 보듯이, 차단기 양단에는 기본파형 이외에  $\omega_0$ 의 주파수를 갖는 전압성분이 중첩되어 있으며 그 파형은 아래 그림과 같다.



일반적으로 전력계통이 큰 경우 LC성분에 의한 TRV 주파수는 수백 kHz이며, TRV는 수 사이클 이내에 소멸되지만 차단기 제작에는 큰 영향을 미치게 된다. 또한 TRV의 첫 번째 파형의 상승률인 RRRV(Rate of Rise of the Recovery Voltage)은 차단기 적용에 매우 중요한 요소가 된다.

다음은 과도해석 분석프로그램인 PS-CAD를 통해 정전사고가 발생한 산업체의 전력계통을 분석한 결과이다.

〈분석결과〉



A산업체의 TRV 및 RRRV를 분석한 결과는 아래와 같다.

○ 22.9kV계통

검토항목	차단기 정격	분석결과	비고
TRV Peak전압 (Vpeak)	66kV	29,948kV	만족
RRRV(kV/μs)	1,38kV/μs	4,2kV/μs	불만족

○ 6.9kV계통

검토항목	차단기 정격	분석결과	비고
TRV Peak전압 (Vpeak)	13,2kV	12,1kV	만족
RRRV(kV/μs)	0,6kV/μs	0,92kV/μs	불만족

이 산업체의 경우 TRV값은 차단기 정격을 만족하였으나 RRRV값은 일부 차단기의 정격을 초과하는 것으로 분석되었다. 이는 전력용 변압기 2차측과 고압배전반 인입부 사이가 30미터 이하의 케이블로 연결되어 있는 고압배전반 차단기이며, 캐패시턴스값이 작아 TRV주파수가 높게 분석되었기 때문이다. 따라서, 이 산업체의 경우 IEC 62271-100 부록100의 특수차단기를 적용하거나 변압기 2차측과 고압배전반 사이에 적절한 크기의 캐패시턴스를 설치하여 TRV주파수를 낮추어 RRRV값을 작게하면 된다. 그러나 계통의 안전성 및 신뢰도 측면에서 특수 차단기로의 교체가 바람직하다.

**정전사고 방지를 위한 기본대책**

다음은 주요 정전사고 사례조사를 통해 알아본 정전사고 방지를 위한 기본대책이다.

○ 노후된 전력설비의 개선

- 환경조성 및 최고경영자의 의지 필요
- 경제성 분석을 통한 주기적 전력설비 개보수 추진

○ 관리능력 및 기술력 향상

- 관련업무 종사자들의 교육훈련
- 산업규격 및 기술기준의 충분한 이해와 임의해석 배제

정전사고 방지를 위해서는 무엇보다도 전력설비에 대해 과감한 투자가 선행되어야 하며 관련 업무 종사자들에 대한 교육훈련 실시 등 기술능력 향상을 위한 투자도 함께 이루어져야 한다. 그러기 위해서는 전기분야 종사자들은 최고경영자의 의식이 전환되도록 더욱 노력해야 할 것이다.