

# 電氣電擊防止對策

(上)

윤 여 덕

한양전공(주) 전무

## 1. 머리말

근간의 市場을 살펴 보면 電子機器의 소형화, 각종 기기의 전자화(Electronics化), 시스템 제어(System制御)방식의 광역화 및 대형화가 이루어져 半導體部品の 사용이 급증하고 있는 추세에 있다.

한편 이러한 반도체 부품류의 정상사용상태에 있어서의 信賴性은 대단히 높아지고 있지만 雷, 기타의 서지(Surge)에 의한 異常高電壓에 대하여는 종래의 부품에 대하여 여러모로 약점이 되고 있다고 하겠다.

종래의 회로에 있어서는 雷, 기타의 서지 전압에 의한 고장의 발생빈도는 적었고 또한 고장이 생겨도 그의 영향이 비교적 적었다고 생각할 수 있었으나, 반도체부품의 多用化, 시스템의 대형화에 따라서 사태는 크게 變化하게 되었다. 종래에 있어서는 이상 서지 전압에 대한 반도체 부품류의 보호라는 면에 있어서는 대단히 중요

한 문제로 대두되게 되었다.

또한 사회환경의 변화를 살펴보면,

- 女姓의 사회적 진출 및 주거환경이 아파트가 많아지다 보니까 부재중인 집이 점차 증가되고 있어 부재중인 때의 전기시설의 보안상의 문제가 점점 복잡하게 되었고,

- 電子機器의 광역보급으로 인하여 정전 또는 전기적인 충격이 없어야 한다는 욕구가 증대되고 있으며,

- 한편 電氣材料, 기술의 진보, 공사기술의 향상 등에 따라 설비의 안전성, 신뢰성이 현저히 증가되었고,

- 公共施設 등의 전기보안이 한층 중요하게 되었다.

電力系統에는 雷 서지, 개폐 서지 등의 여러 가지 過電壓이 발생하여 전기기기 및 절연물에 피해를 입히는 경우가 발생되어 이러한 서지, 즉 전기충격(Shock)에 대한 검토와 적절한 이의 대책이 요하게 되었다.

## 2. 서지 電壓

### 2.1 서지 電壓의 종류

일반적으로 서지 전압이라고 불리는 전압은 전기회로 또는 송배전 계통에 있어서 定常電壓을 초월하여 순간적으로 발생하는 전압을 말한다.

각종의 요인으로 발생하는 서지 전압은 電源線, 信號線을 減衰, 反射 등을 반복하여 전파하여 각종 전력기기, 반도체 제어기기에 침입한다. 이 서지전압은 기기의 절연을 파괴하거나 반도체를 파괴하여 기기의 기능을 정지시키는 일도 하지만, 비록 파괴에 이르지 않는 것이라도 서지 전압에 의하여 回路가 오동작하거나 열화시키는 일을 저지르게 된다.

이와 같은 有害한 서지 전압을 흡수하려면 우선 이러한 서지 전압의 성질을 파악하는 것이 제일 좋은 대책이 될 수 있다고 하지만, 서지 전압의 성질은 일정치가 않고 이의 발생요인도 크게 달리고 있다.

그림 2.1에 서지 전압을 발생요인별로 분류하였다.

서지 전압은 그림에서 보는 바와 같이 자연현상으로 일어나는 外雷 서지와 전기회로계통에 의한 過渡現象에 기인하는 內雷 서지로 크게 나눌 수 있다.

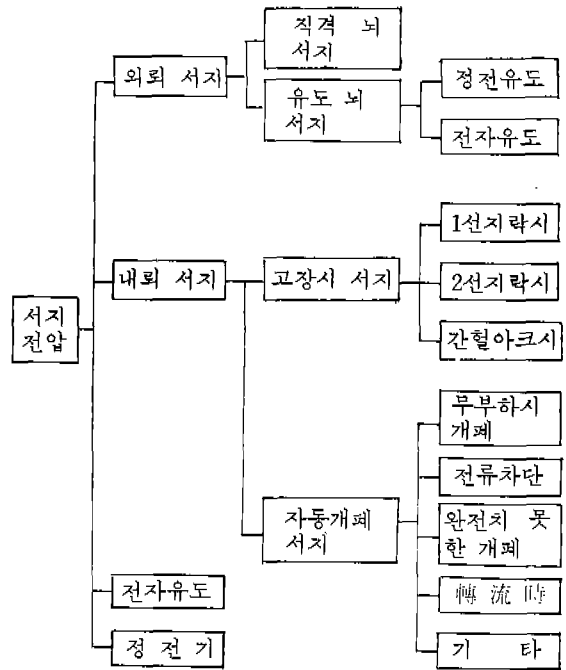
### 2.2 外雷 서지

외뢰 서지란, 雷雲의 放電(雷雲間, 大地 ~ 雷雲間)으로 기인하는 서지 전압으로서, 직접 전기설비에 雷雲을 주는 것을 직접 雷 서지라 하고, 간접적으로 주는 誘導體 서지가 있다.

#### 2.2.1 雷의 발생

일반적인 뇌 발생의 형태의 하나로서 熱雷라 부르는 것이 있다. 이것은 여름의 大地熱에 의해서 더워진 濕氣를 많이 함유한 공기가 上昇氣流를 이루어 雷雲을 형성한 것이다.

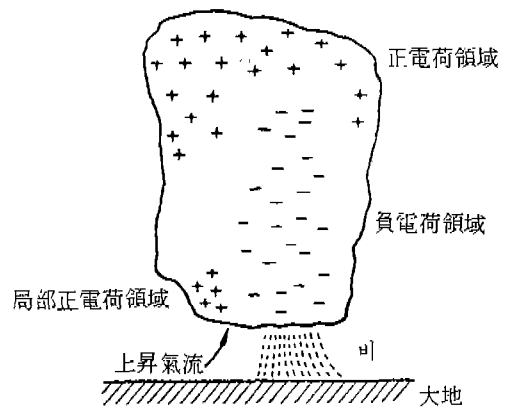
이때, 雷雲의 上部는 일반적으로 正電荷가 되



〈그림 2.1〉 서지 전압의 종류

고, 下部는 負電荷로 帶電케 된다. 하지만 雲底 부근에는 局部的으로 정전하의 분포가 있다고 한다.

雷雲中에 있어 正負電荷分離의 기구에 있어서는 降水說, 對流說 등이 있지만 定說은 아직 없다. 그림 2.2에 雷雲中の 電荷分布를 나타내었다.



〈그림 2.2〉 雷雲中の 전하분포

뇌운간 또는 대기~뇌운간의 大氣絶縁이 충분하므로 분리되어 있는 정부전하는 방전하는 일은 없지만, 대전의 상태 또는 地表의 조건에 따라 정부전하 사이의 電界限度가 현저하게 상승되어 大氣絶縁을 파괴, 즉 雷放電이 발생한다.

이 방전으로 雷雲中の 전하분포가 대기간 방전의 경우는 지표에 유도된 전하가 중화된다. 이때의 中和되는 電荷는 20쿨롱 정도가 많다.

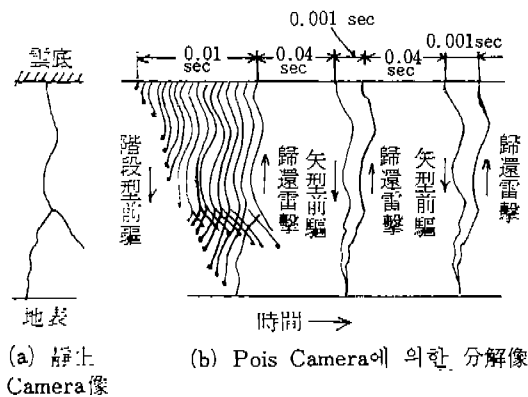
또 大地間 방전과 雷放電의 발생빈도의 비는 1:3 정도라 한다.

그림 2·3에 大地間 放電의 일반적인 기구를 나타내었다. 즉 雷雲底로부터 공기절연을 서서히 파괴하여 段階型前驅放電이 일어나고, 이것이 地表에 달함과 동시에 地表로부터 歸還放電(主放電)이 일어난다. 이때 처음으로 明確한 雷光과 雷鳴이 관측된다.

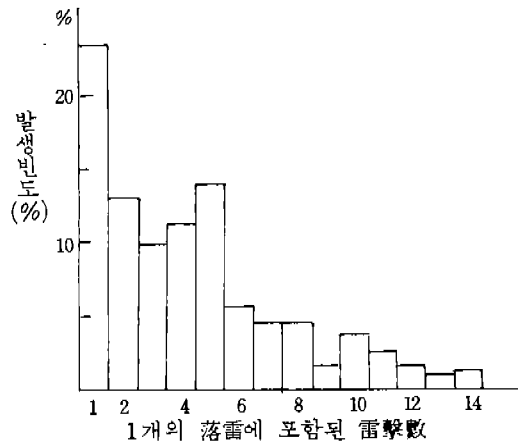
主放電은 1회에 국한되지 않고, 아주 짧은 시간(예를 들면 50ms) 내에 몇번 주방전을 반복하는 일이 있다. 이것을 多重雷라 한다. 이 통계를 그림 2·4에 나타냈는데, 통계에서 보듯이 대기간방전의 약 3/4이 다중이라는 것을 볼 수가 있다.

### 2·2·2 直擊雷

雲放電 또는 大地間放電의 방전경로에 전기설비가 있는 경우, 이 전기설비는 직격뢰를 받았



〈그림 2·3〉 大地放電機構



〈그림 2·4〉 1개의 大地放電에 있어서의 雷擊數의 통계

다고 할 수가 있다.

송배전선로에 이 직격뢰를 맞으면 이 아주 큰 雷 에너지에 의하여 애자 등의 절연물은 파괴 또는 플래시 오버를 일으킨다. 이 직격뢰의 에너지는 현재의 避雷器 등으로는 완전히 흡수할 수가 없다(단, 계통전압의 고압화에 따른 개폐 서지의 대책으로 직격뢰에서도 충분히 견디는 피뢰기도 있다). 그러므로 일반적으로 이의 대책으로 피뢰침을 설치하는데, 송배전선에 있어서는 架空支線을 설치하는 경우가 많다. 그렇지만 架空支線의 접지저항이 충분히 낮지 않으면, 이 방전전류에 기인하는 전압강하에 의해서 架空支線의 電位가 상승, 송배전선에 애자를 통하여 역으로 放電을 일으켜 역 플래시 오버가 발생, 外雷 서지의 요인이 될 수가 있다.

표 2·1에 뇌방전의 퍼래미터를 표시하였는데, 뇌격전류의 약 90%가 負極性이었다.

송배전선로에 방전된 에너지는 송배전선을 進行波的으로 전파, 減衰하면서 低電壓線路에 침입하여 각종 기기의 절연을 위태롭게 한다.

### 2·2·3 誘導雷

正負極으로 대전된 雷雲은 어느 정도 전하가 쌓이면 공기 절연을 깨고, 雲放電 또는 대기간

〈표 2·1〉 雷放電 파라미터

要素	代表值	範圍
電流波高值(I <sub>sm</sub> )* <sup>1</sup>	10~20kA	~110
電流峻度(di/dt)	10kA/μs	1~80
波頭長(Tf)	2 μs	1~30
波尾長(Tt)	40μs	10~250
放電電荷(連續放電을 除함)	2.5C	0.2~20
多重度* <sup>2</sup>	3~4	1~26
放電路	5 km	2~14

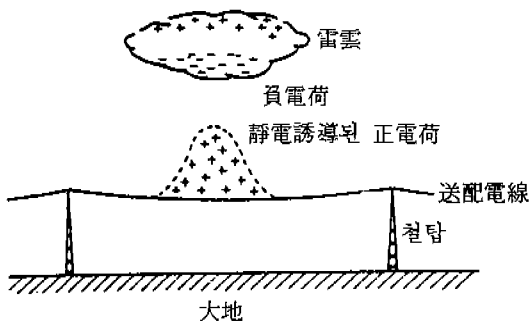
주\* 1. 일본의 50%値는 26kA, 최고 240kA.  
폴란드에서 세계 최고 515kA (S. Szpov :  
CIGRE 1964)

\* 2. 일본에서는 최대 11회, 평균 2.8회.  
다른 나라에서 42회라는 기록도 있다.

방전을 일으킨다. 이때, 그때까지 뇌운에 대전되었던 전하는 이 방전으로 순간적으로 중화되어 電荷를 잃는다. 이와 같은 전하의 급격한 소멸현상 또는 뇌격과의 電磁結合으로 송배전선, 통신선, 각종 制御信號線 등에 이상전압이 誘導되는데, 이 서지 전압이 유도되 서지로서 前者가 靜電誘導에 의한 것, 後者가 電磁誘導에 의한 것이다.

(1) 靜電誘導에 의한 서지 電壓

일반적 雷雲의 밑바닥은 2·2·1에서 언급한 바와 같이 負電荷가 대전되어 있다. 이때 雷雲이 송배전선과 같은 전기설비의 위에 놓이게 되



〈그림 2·5〉 정전유도에 의하여 유도된 線路上的의 正電荷

면 당연히 전기설비에는 정전유도현상에 의하여 正電荷가 유도되어 전기설비상의 負電荷는 애자 등을 거쳐서 大地로 빠져 나가게 된다.

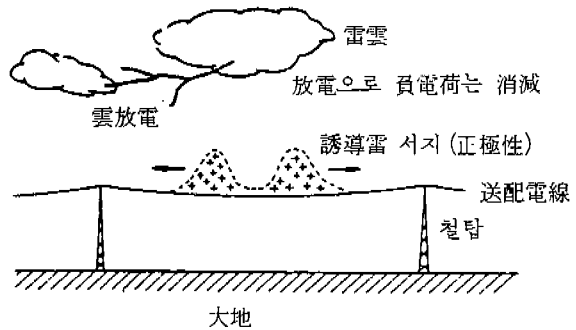
그렇게 되면, 전기설비상에는 正電荷만이 잔류하는 고전압이 된다. 이때 大地도 같은 유도현상을 일으키게 되기 때문에 電位差的으로는 큰 장해를 받지 않는다(그림 2·5 참조).

그렇지만 雷雲이 뇌방전 또는 대지간방전하면 그때까지 雷雲의 底部에 대전되어 있는 負電荷가 급격히 소멸한다. 이때, 뇌운의 부전하에 의하여 유도, 구속되어 있던 전기설비상의 정전하는 이 구속이 해제되어 그림 2·6과 같이 線路 양방향에 진행파적으로 전파한다. 이런 일은 정전하에 의한 서지 전압이 전파하는 일을 의미한다.

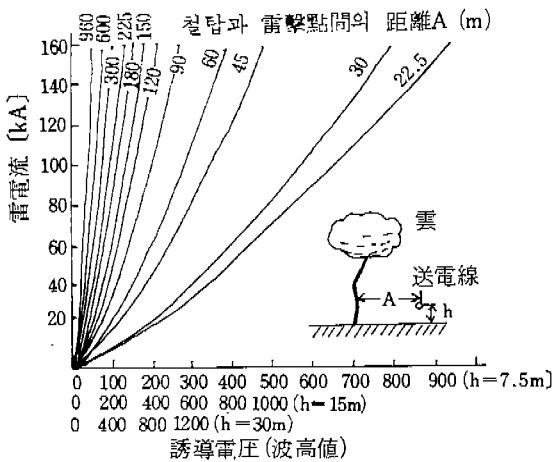
이와 같은 현상은 雷放電(雷光·雷鳴)이 발생할 때마다 서지 전압의 크기는 잘 알 수 없으나 반드시 발생은 한다. 이의 빈도는 상당히 많은 것으로 생각되며, 線路가 길다든가 높은 위치에 배선되었다는 것에 따라 서지 에너지는 크게 된다.

(2) 電磁誘導에 의한 서지 電壓

대지간 방전이 送配電線 등 전기설비의 매우 가까운 곳에서 발생하였을 경우, 뇌방전의 에너지가 전기설비와 전자적으로 결합하여 유도雷 서지가 발생할 경우가 있다. 그림 2·7에 송전선



〈그림 2·6〉 雷雲의 負電荷 消滅에 의한 誘導雷 서지



〈그림 2·7〉 송전선에 유기되는 전압 (파고치)의 계산치

에 유기되는 電壓值(波高值)를 나타내었다.

(3) 電位傾度の 變化에 의한 서지 電壓

대지간 방전이 雷雲에서 大地에 이르기까지의 뇌운과 대지간의 전위경도가 순간적으로 변화하는 경우에 전기설비에 유도되는 서지 전압이다.

2·2·4 外雷 서지의 성질

이제까지 기술한 외뢰 서지(직격雷 서지, 유도雷 서지)의 성질을 비교한 것을 표 2·2에 나타내었다.

즉, 피뢰기, 서지 흡수기의 주가 되는 대상은 誘導雷 서지라기 보다는 먼곳에서 발생된 直擊雷 서지이다.

2·3 内雷 서지

서지 전압의 발생원인에는 자연현상의 雷雲放電에 의한 것뿐이 아니라 전력계통에 있어서의 사고시 또는 回路의 개폐 등 조작시에도 서지 전압이 발생한다. 이와 같은 서지 전압을 内雷 서지라 하여 外雷 서지와 구별한다.

事故時의 서지 전압의 발생은 주로 3상 전압에 있어 地絡事故에 기인하는 것이다. 또 조작시의 서지 전압은 回路의 개폐시에 발생되므로 개폐 서지라 부르기도 한다. 이러한 内雷 서지, 특히, 眞空 스위치 등의 회로개폐에 따르는 서지 전압은 過電壓倍數的으로 크고, 또한 이의 조작회수도 많기 때문에 2·2·3에서 언급한바

〈표 2·2〉 外雷 서지의 성질

항 목	직 격뢰	유 도뢰
전압파고치	5,000kV 정도	50kV 이하
전류파고치	수만A를 초과	1,000A 이하
서지 전압 파 형	파두장: 1~7μs 파미장: 약 40μs 파두준도: 250kV/μs 정도 선로전파치: 감쇠한다.	1~30μs (20~30μs가 많다) 40~200μs 5kV/μs 정도 감쇠한다.
극 성	부극성(단일극성)이 일반적	정극성(단일극성)이 일반적
서지에너지	상당히 크다. 전기설비의 절연은 대부분 플래시 오버한다. 방호장치: 피뢰침, 가공지선(서지 흡수기로는 흡수 불능)	그렇게 크지는 않음. 플래시 오버를 일으키는 경우는 적다. 방호장치: 서지 흡수기(피뢰기)로 흡수 가능
빈 도	적다.	많다.
기 타	시기적으로 여름철이 많다(단, 겨울의 설 뇌도 있다). 근접설비에 큰 영향을 끼친다.	시기적으로는 여름철이 많다. (단, 겨울의 설뇌도 있다)

있는 誘導雷 서지와 같이 피뢰기, 서지 흡수기에 의하여 서지 전압 흡수의 대상으로서 커다란 Weight를 점한다.

### 2·3·1 故障時(地絡)의 서지 電壓

- (1) 1선지락사고 : 그림 2·8 참조
- (2) 2선지락사고
- (3) 간헐 아크 지락사고

### 2·3·2 回路開閉로 인한 서지 電壓

일반적으로 그림 2·9에 나타내듯이 순저항 부하, 정전용량부하 및 유도부하 등을 고려할 수 있다.

순저항부하는 에너지의 蓄積이 없으나 정전용량이 접속될 경우는 스위치에 의하여 개폐될 순간에 정전 에너지가  $1/2CV^2$ 의 형태로 남아있다가 이것이 서지 전압으로 부하 양단에 나타나는 경우가 있다.

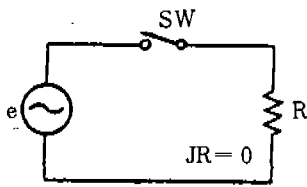
또한 誘導負荷의 경우에도 스위치에 의하여 개폐되는 순간 전자 에너지가  $1/2Li^2$ 의 형태로 남아 이 에너지는 안정된 상태로 保持되지 않고 서지 전압의 모양으로 부하 양단에 나타날 수 있다.

그러나 실제로는 3개의 부하가 복합적으로 조합하여 때로는 分布定數的으로 구성되어 복잡하게 나타난다.

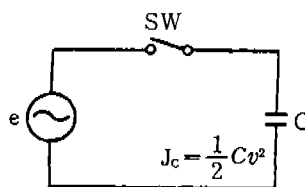
#### (1) 無負荷回路 개폐시에 발생하는 서지 電壓

##### (a) 容量性負荷 차단시의 再點弧에 의한 서지 전압

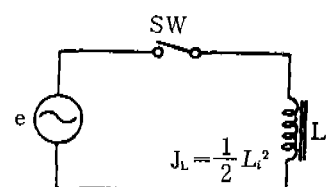
용량성 부하를 차단할 때의 재점호 현상에 의



(a) 抵抗負荷

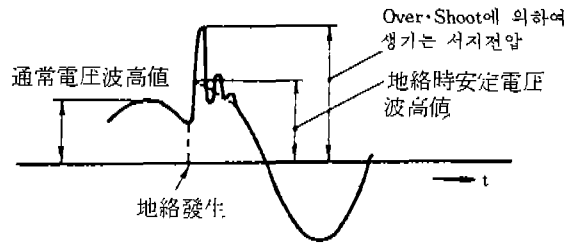


(b) 靜電容量負荷



(c) 誘導負荷

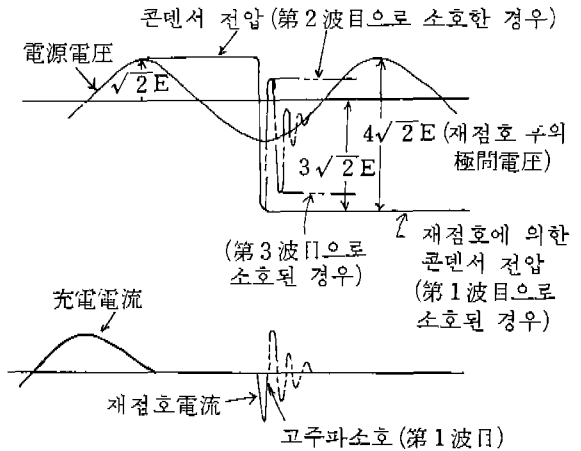
〈그림 2·9〉 各負荷開閉時에 負荷에 殘留하는 에너지



〈그림 2·8〉 1선지락시의 서지 전압

하여 발생하는 서지 電壓으로서 그림 2·10과 같다.

回路에 흐르는 電流는 전압보다  $\pi/2$  앞서 나가기 때문에 전류가 零의 값에서 차단된다 하여도 부하측 단자에는 전원전압의 파고치가 남게 된다. 그러므로 전원전압은 상용주파의 角周波數로 변화하기 때문에  $1/2$  Hz 후, 차단기 極間에



〈그림 2·10〉 再點弧로 인한 서지 전압 (高周波消弧)

는  $2\sqrt{2}E$ 의 전압이 가하여진다. 이 때 극간의 절연회복이 늦어지면 이 전압은 극간방전이 되고, 극간전압은  $2\sqrt{2}E$ 에서 零의 값으로 급변하는데, 회로정수로

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}}$$

의 고주파진동을 발생한다.

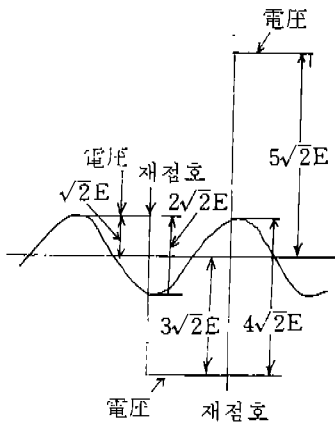
이때의 서지 전압은 진동 전류의 몇번째 파에 의하여 消弧하느냐에 따라서 부하측의 殘留電圧이 달라진다.

재점호 및 고주파소호를 半周期로 반복할 경우에는 부하측의 잔류전압은 그림 2·12에서 보는 바와 같이 누증하여 기기의 절연과피를 일으키는 서지 電圧이 된다. 그런데 실제적으로는 3 배정도 이하의 서지 電圧이 된다.

(b) 유도성부하 차단시(일반개폐 및 재단현상)의 서지 전압

誘導性的 소전류를 차단할 경우 소호력이 강하면 전류가 자연 零值가 되기 이전에 강제적으로 차단되는 일이 있다.

이것은 일종의 직류차단현상으로서, 무부하변압기의 여자전류나 리액터 (Reactor) 회로 등 유도성의 소전류를 차단하는 경우에 발생한다. 그림 2·12에 유도성 부하의 차단시에 있어서의 서지 전압 발생기구를 들었다.



〈그림 2·11〉 再點弧가 반복될 때의 서지 전압(無減衰의 경우)

이때, 부하에 축전된 에너지는

$$J = \frac{1}{2} Li^2 + \frac{1}{2} Cv^2$$

유도성부하에 발생하는 역기전력

$$V = -L \frac{di}{dt}$$

최대 서지 전압을  $V_{sm}$  이라 하면

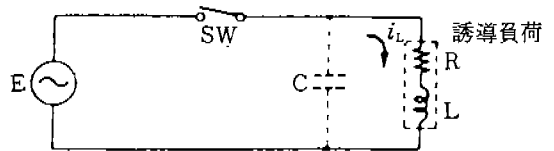
$$\frac{1}{2} Li^2 + \frac{1}{2} Cv^2 = \frac{1}{2} CV_{sm}^2$$

$$V_{sm} = \sqrt{\frac{L}{C} i^2 + v^2}$$

일반적으로  $\frac{L}{C} i^2 \gg v^2$ 이기 때문에

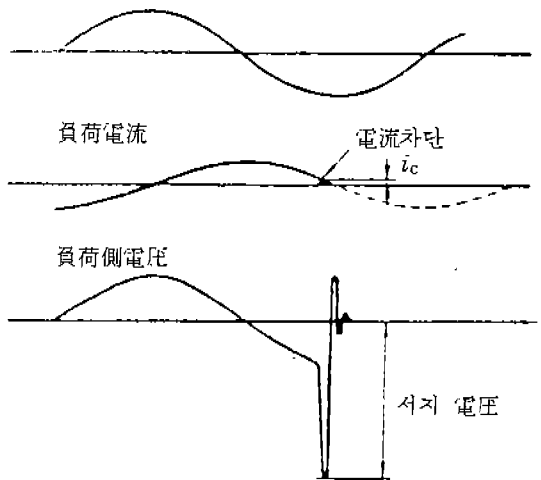
$$V_{sm} \approx i_c \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$\sqrt{L/C} = Z_s$ 라 놓으면,  $Z_s$ 는 서지 임피던스



- E : 負荷電源電圧
- R : 負荷의 直流抵抗
- L : 負荷의 임피던스
- C : 負荷에 함유된 浮遊容量
- $i_L$  : 負荷電流

電源側電圧



〈그림 2·12〉 유도성 부하 차단시의 서지 전압 발생기구

(Surge Impedance)라 부른다.

$$\text{즉, } V_{sm} = i_c Z_s$$

대전류를 급속히 차단할 경우 또는  $Z_s$ 의 커다란 회로에 있어서는 회로전압의 20배 정도의 서지 전압이 발생하는 경우도 있다.

서지 전압의 발생에 큰 영향을 주는 요인으로는,

- ① R의 크기
- ② 개폐기(SW)의 특성
- ③ 전원의 종류
- ④ 부하의 종류

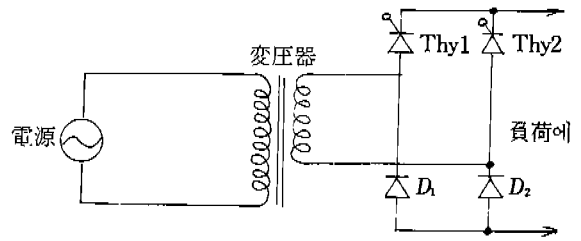
### (2) 계통조작시에 일어나는 서지 電壓

(a) 各相이 꼭 맞지 않게 개폐될 경우, 즉 투입개폐기의 접점의 하나가 먼저 투입되는 경우 또는 저압배전선의 單相3線式에서도 그와 같은 개폐가 있을 경우 불평형(Unbalance)으로 인해 기기에 위험한 전압이 발생하는 일이 있다(중성선의 늦은 投入).

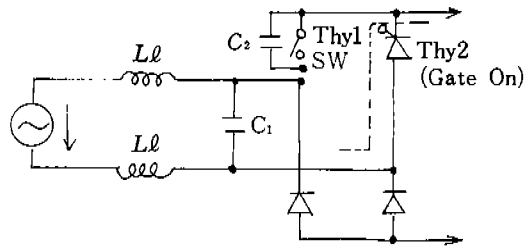
(b) 퓨즈 용단으로 인한 경우

퓨즈는 電氣回路의 필요한 부분에 있어 단락이 발생한 경우에 회로를 보호할 목적으로 하는 일종의 개폐기라고 생각할 수 있다. 그렇지만 통상의 開閉器와 커다란 차이점은 단락전류를 속히 차단한다는 점에서 단락시의 부하의 조건, 퓨즈의 용단특성 및 퓨즈의 아크 특성 등에 따라 서지 電壓의 크기는 달라진다.

특히 限流 퓨즈와 같은 특성을 갖은 퓨즈에서는 서지 전압이 발생하기 쉽다.



〈그림 2-13〉 單相 다이리스터 回路



$Ll$  : 變壓器의 Leakage Inductance

SW : 電流를 마친 素子를 等價的 Switch해 놓은 것

$C_1$  : 變壓器의 浮遊容量

$C_2$  : 素子の 병렬정전용량

〈그림 2-14〉 轉流時의 다이리스터 電壓

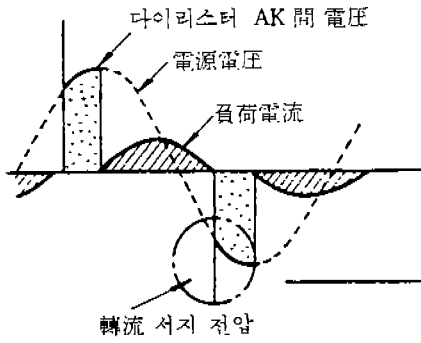
### (3) 다이리스터 轉流時에 있어서 서지 電壓

다이리스터 (Thyristor)를 사용하는 회로에 있어서 素子간에 유해한 서지 전압이 발생하여 다이리스터의 특성을 劣化시켜 저지 특성을 파괴시키게 된다.

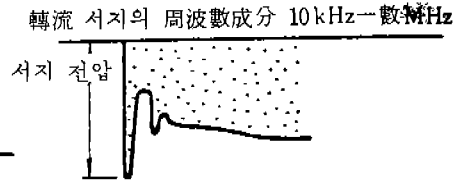
에너지 節約 365日

4 천만이 實踐하자

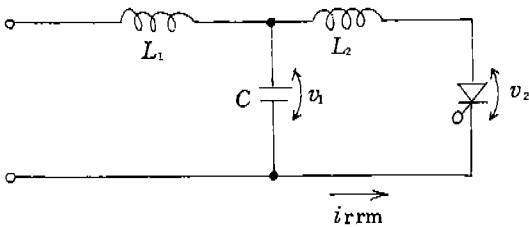




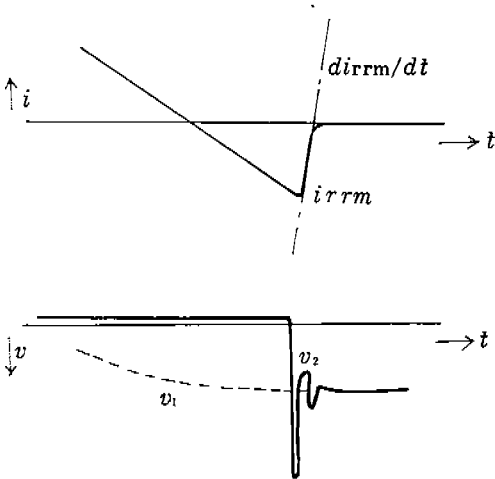
〈그림 2·15〉誘導負荷의 다이리스터 制御 電壓·電流波形



〈그림 2·16〉SW間的 轉流 서지



$L_1$  : 變壓器의 Leakage Inductance  
 $L_2$  : C와 素子와의 사이의 浮遊 Inductance  
 C : 서지 吸收回路의 靜電容量



〈그림 2·17〉캐리어 蓄積效果에 의한 서지 전압 發生機構

(a) 轉流(消弧)에서의 서지 전압

다이리스터 정류회로(그림 2·13)에서 轉流가 종료될 때 整流素子에 逆電壓이 인가된다.

이것은 그림 2·14의 스위치를 급격히 개방한 경우에 동가이기 때문에 변압기의 浮遊容量 또는 다이리스터 兩端의 정전용량과 변압기의 Leakage Inductance와의 사이에서 진동을 일으킨다. 이 전압은 전류가 종료된 때의 飛躍電壓의 최고 2배에 달하여 제어각 90°의 경우에는 비약전압이 다이리스터의 逆電壓이 되어 가장 높은 서지 전압이 된다.

그림 2·14에서 알 수 있는 바와 같이 회로에 있어서는 半 사이클마다 이와 같은 서지전압이 발생한다(그림 2·15 및 2·16 참조).

(b) 캐리어 蓄積效果에 의한 서지 電壓

다이리스터 素子에는 캐리어(Carrier) 축적效果가 있어 다이리스터에 흐르게 되는 부하전류가 영이 되어도 PNP 접합부에는 캐리어가 殘存하게 되어 사실상 導通상태가 된다.

그래서 逆方向전압을 인가하면 定常의 逆漏전류보다도 큰 逆방향의 전류가 흐르게 된다. 그 후 급격한 정상의 逆漏전류까지 減衰하여 電流 沮止能力이 회복된다. 이때  $di/dt$ 는 아주 크게 되어 서지 전압을 발생한다.

이의 발생기구를 나타낸 것이 그림 2·17이다.

캐리어 축적效果에 의한 서지 전압은 수  $\mu s$ ~ 수  $10\mu s$  정도의 진동 파형으로 에너지는 그렇게 크지는 않다. 일반적으로 CR 스넵퍼로 흡수하는 것이 가능하다.

〈다음號에 계속〉