

# — 현장 계전기 기술 ③ —

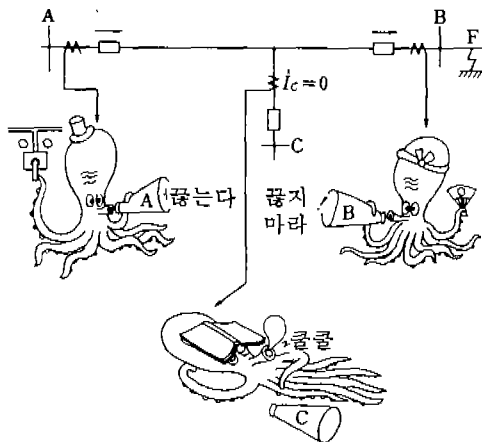
역·박 한 중(협회 교육홍보위원)

## 12. 방향비교에 의한 사고 구간의 검출

송전선 보호는 보호 구간 송전선 각 단자의 전류 방향에 의해 종합 판단하여 사고 구간을 검출하는데, 방향비교 계전방식이라고 부른다. 각 단자의 방향계전기 또는 보호계전기가 사고전류가 흐르는 방향에 따라 응답하며, 이 응답에 대응한 신호를 다른 단자에 전송하여 내부 사고인가의 여부를 판단한다.

그림 12·1은 방향비교의 원리로서, 보호 구간의 어느 단자로부터 사고전류가 유입했을 때 어느 단자로부터도 사고전류가 유출하지 않으면 내부사고로 판단한다.

내부전류가 어느 단자로부터 유출하는 경우나 사고전류가 유입하는 단자가 없을 때는 내부사고로 판단하지 않는다. 내부사고인가 아닌가의 판단을 위해서는 특별한 한시(限時)의 추가가 필요없고 고속도



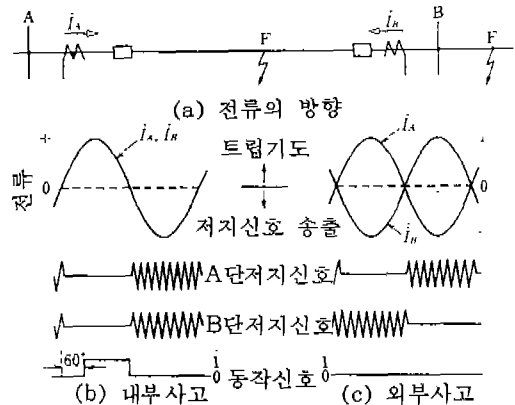
(그림 12·1) 방향비교(저지식)의 원리

의 보호가 가능하다.

방향 비교에는 여러가지 변형이 있으며, 그림의 원리에 의한 것이라도 신호 전송방식에 따라 내부 사고시에 보호구간 전체 단자를 차단하는 것이나 사고전류가 유입한 단자만을 차단하는 것 등이 있다. 또, 거리계전기 1단이 동작했을 때는 반드시 그 송전선의 내부사고이므로 동일 송전선의 다른 단자에 신호를 보내어 차단(전송차단:轉送遮斷)하기도 한다. 이들 신호 전송에는 전력선 반송 또는 마이크로파가 사용된다.

## 13. 위상 비교에 의한 사고 구간의 검출

전류위상비교 계전방식은 보호 구간 각 단자의 전류 위상에 의해 종합 판단하여 내부사고인가 아닌가를 검출한다. 그림 13·1은 이 방식의 원리로서, 전류 방향을 그림 (a)와 같이 각 단자로부터 보호 구간



(그림 13·1) 위상 비교방식의 원리

유입하는 방향으로 하면 각 단자의 전류는 내부사고 시 그림 (b)와 같이 동위상, 외부사고시 그림 (c)와 같이 역위상이 된다.

각 단자에서 예를 들면 전류의 순시치가 부(負)일 때 트립 저지신호를 송출하게 하고 자체 단자가 저지신호를 송출하지 않는 반파(半波)에 다른 단자도 저지신호를 송출하지 않으면 내부사고로 판단한다. 내부사고시는 양 단이 동시에 전지신호를 정지하며, 이 기간이 60°정도 이상 있으면 동작한다. 외부사고시는 양 단이 교호로 저지신호를 송출하므로 부동작이 된다.

전류위상비교 계전방식은 주로 송전선 보호에 사용되므로 전술한 저지신호를 원방단자에 전송할 필요가 있다. 이 신호 전송에는 주로 마이크로파가 사용되고 또 전력선 반송도 사용된다. 소요 대역은 1신호당  $\pm 1\text{kHz}$  정도이다.

## 14. 재폐로

가공 송배전선의 사고의 대부분은 뇌해 등으로 인한 플래시 오버이다. 이와 같은 사고시는 사고 구간을 차단하여 사고점의 전류를 없앤 후에 아크 이온이 없어지는 것을 기다렸다가 차단기를 재투입하면 절연이 회복하여 원래대로 송전할 수 있는 경우가 많다. 그러므로 계전기에 의해 차단을 한 후 어느 시간을 두고 자동적으로 차단기를 투입하는 방식이 취해지고 있으며, 재폐로(再閉路)라고 한다.

재폐로는 재폐로하기까지의 시간이나 차단상 등에 따라 다음과 같이 분류된다.

- (1) 고속도 재폐로 : 0.5~1초 정도의 무전압 시간 후에 재폐로 한다.
- (2) 저속도 재폐로 : 1분정도 이상의 무전압 시간 후에 재폐로 한다.
- (3) 중속도 재폐로 : 재폐로 시간이 고속도와 중속도의 중간인 것.
- (4) 단상 재폐로 : 1상지락 사고시에 사고상만을 차단하고 재폐로 한다.
- (5) 3상 재폐로 : 사고상에 관계없이 3상을 전부 차단하고 재폐로 한다.
- (6) 단3상 재폐로 : 1상지락 사고시는 단상 재폐

로를 하고 기타 사고시는 3상 재폐로를 한다.

- (7) 다상 재폐로 : 어떠한 사고시에든 사고상만을 차단하고 재폐로 한다.

배전선에는 저속도 3상 재폐로가 사용되고, 송전선에는 고속도 다상·단3상 또는 3상 재폐로나 중속도 3상 재폐로가 주로 사용된다.

차단을 하여도 절연이 회복하지 않는 경우에는 재폐로와 동시에 사고가 재발한다. 이와 같은 재발사고를 차단한 경우는 통상 재폐로를 하지 않고, 단상 또는 다상 재폐로시에든 3상 차단으로 한다. 다만 배전선에서는 2~3회의 재폐로를 하는 경우도 많다. 차단기에는 차단을 1회한 후에는 어느 정도의 시간 후에 다음 차단을 할 수 있는가의 제한시간이 있으며, 재폐로 시간은 이 제한시간 보다 짧게 할 수는 없다.

송전선의 경우는 보호 구간 양측에 전원이 있는 경우가 많다. 이와 같은 경우 양 전원의 동기가 유지되고 있지 않으면 재폐로와 동시에 탈조(脫調)가 발생하여 계통에 상당한 나쁜 영향을 준다. 이를 피하기 위해 송전선 재폐로에서는 여러가지 동기확인 수단이 취해진다.

이 방법으로는 이웃 회선에 부하전류가 흐르고 있는 것이나 자회선 또는 이웃 회선을 포함해서 상이한 2상에 부하전류가 흐르고 있는 것을 검출하는 등과 같은 방법이 많이 이용된다. 극단적인 중부하 운전시를 제외하고 2상 이상의 연계가 있으면 단시간내에 동기 이탈이 되는 일은 없다. 또한 1단자를 선행 재폐로 시키고 다른 단자로 모선측과 선로측 전압의 동기를 동기계전기로 검출하여 재폐로 하기도 한다. 이 경우의 재폐로 시간은 통상 중속도가 된다.

## 15. 보호계전기 구조의 역사

보호계전기 구조의 실용화 역사를 보면 표 15·1과 같다. 플랜저형 계전기가 등장한 시대는 계전기라고 하는 것은 전류에 의해 생긴 자속으로 철심을 흡인하여 이 동작으로 점점을 개폐하는 것으로서, 이와같은 가동철심형 구조중 보호에 가장 사용하기 쉬운 플랜저형 구조를 사용해서 세계 최초의 보호계전기

<표 15·1> 보호계전기의 구조 실용화 역사

구 조	연 도
플랜저형 계전기	1901
전류력계형 계전기	1910
유도원판형 계전기	1914
밸런스빔형 계전기	1929
유도원통형 계전기	1937
전자관형 계전기	1944
트랜지스터형 계전기	1959

가 만들어졌다.

처음에는 과전류계전기만으로 되었지만 후에 전류의 방향을 알 필요가 생겨 전류력계형 방향계전기가 사용되기 시작하였다. 전류력계형은 현재의 지시 전력계와 동일한 구조이다.

플랜저형은 정밀도가 그리 좋지 않고, 전류력계형은 구조가 너무 델리케이트한 등과 같은 결점이 있어 이 대책으로서 유도원판형이 사용되기 시작하였다. 이것은 동작시간이 늦은 결점은 있지만 가격이 저렴하고 또 안정된 응답이 얻어지는 이점이 있어 현재도 저속도 용도에는 널리 사용되고 있다.

고속도 동작의 계전기가 필요해지자 우선 가동철심형의 1종인 밸런스빔형이 사용되기 시작하였다. 그러나 이것도 플랜저형과 동일하게 가동철심형 특유의 사용의 어려움이 있어 유도원통형으로 바뀌었다. 유도원통형은 가동부가 있는 고속도 동작의 것에서는 가장 안정된 응답을 하는 것으로, 현재 가장 널리 사용되고 있다.

전자관을 사용한 계전기는 가동형 계전기를 사용할 수 없는 전류위상 비교계전기만이 실용화되었다. 트랜지스터가 널리 사용되게 되자 가동형 계전기로는 실현시킬 수 없던 고성능의 각종 계전기를 제작할 수 있게 되어 널리 사용되게 되었다.

### 16. 가동철심형 계전기의 구조

가동철심형은 전자흡인력으로 가동철심을 움직이는 것의 총칭으로서, 교류에도 직류에도 사용된다. 구조에 따라 플랜저형, 힌지형, 밸런스빔형 및 유극형 등으로 분류된다. 그림 16·1은 이것들의 원리로서, 각각 철심이 화살표 방향으로 이동하여 접점을

개폐한다.

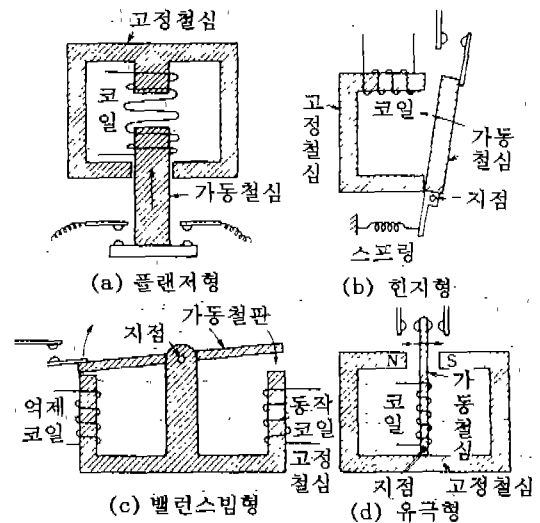
플랜저형은 코일 내측에 있는 공극에 작용하는 자력으로 봉형상 또는 통형상의 가동철심(플랜저)이 흡인되는 것이다. 힌지형 및 밸런스빔형은 지점을 중심으로 회전하는 가동 철편이 고정 철심에 흡인되어 동작한다.

플랜저형 및 힌지형은 간단한 용도의 과전류 계전기에 사용되는 외에 보조 계전기로서 상당히 많이 사용된다. 밸런스빔형은 거리계전기 등에 많이 사용되고 있었으나 최근에는 거의 사용되지 않게 되었다.

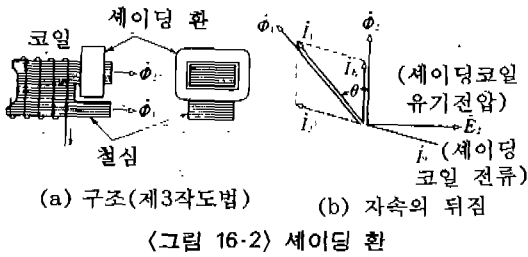
유극형은 다른 형과 달리 코일에 의해 생기는 자속 외에 영구자속에 의한 자속이 공극에 작용한다. 이 작용 때문에 유극형은 조정이 틀리기 쉬운 결점은 있지만 다음과 같은 특징이 있다.

(1) 감도가 상당히 좋다, (2) 전류의 방향에 따라 구동력의 방향이 바뀐다, (3) 가동부가 동작한 후에 전류를 끊어도 복귀하지 않고 역방향의 전류를 흘리면 비로서 복귀하는 조정으로 할 수가 있다.

가동철심형은 가동부에 작용하는 흡인력이 공극에 생기는 자속의 2승에 비례한다. 철심이 흡인되어 공극의 길이가 짧아지면 코일 전류가 같아도 자속이 증가하여 흡인력이 증가한다. 따라서 코일 전류가 동작치에 달하여 철심이 흡인된 후에는 전류치가 이 동작치보다 훨씬 작은 값이 되어 비로소 철심이 복귀



(그림 16·1) 가동철심형의 분류



한다.

이와 같이 동작치와 복귀치의 차가 비교적 크다고 하는 성질이 있다. 교류를 입력으로 하는 계전기는 전류의 순시치 변화에 따라 흡인력의 순시치도 변화한다. 이 때문에 가동부가 진동하기 쉽다는 경향이 있다. 이러한 점 때문에 고정밀도가 필요한 용도에는 부적합하다.

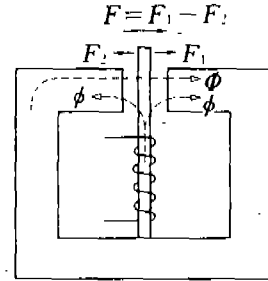
교류계전기의 진동 대책으로서 그림 16-2의 세이딩 환을 사용하는 경우가 있다. 이것은 철심의 극부분을 2분할하여 그 한 쪽에 세이딩 환과 동환(銅環)을 감은 것이다. 그림 (a)에서 세이딩 환이 감겨져 있는 자속  $\dot{\phi}_2$ 의 위상은 감겨져 있지 않은 부분의 자속  $\dot{\phi}_1$ 의 위상보다 뒤진다. 이 때문에  $\dot{\phi}_2$ 에 의한 흡인력과  $\dot{\phi}_1$ 에 의한 흡인력이 상호 보완하여 전체 흡인력의 순시치 변화가 감소, 진동이 어려워진다.

그림 (b)는 세이딩 환으로 자속이 뒤진 위상이 되는 원리를 나타내는 것으로, 변압기 전압전류의 벡터도와 동일한 그림이다.

자속  $\dot{\phi}_2$ 를 그림의 벡터로 하면 이 자속을 발생하기 위한 코일의 여자전류는  $\dot{i}_2$ ,  $\dot{\phi}_2$ 에 의해 세이딩 환에 생기는 2차 유기전압은  $\dot{E}_2$ 가 된다.

전압  $\dot{E}_2$ 에 의해 세이딩 환에는 2차 단락전류  $\dot{i}_2$ 가 흘러 이것과 역위상의 전류  $-\dot{i}_2$ 가 코일에 흐른다.  $-\dot{i}_2$ 와  $\dot{i}_2$ 의 합인 전류  $\dot{i}_1$ 이 자속  $\dot{\phi}_2$ 를 발생하는 관계의 전류로서 코일에 흐르고 있으며  $\dot{\phi}_2$ 는  $\dot{i}_1$ 에 비해서  $\theta$ 만큼 뒤진다. 자속  $\dot{\phi}_1$ 에서는  $\dot{i}_2$ 와 같은 2차 전류가 흐르지 않기 때문에  $\dot{\phi}_1$ 의 위상은 코일의 전류와 거의 동위상으로 그림과 같은 위상이 된다.

유극형의 구동력은 그림 16-3과 같이 영구자석에 의한 자속  $\phi$ , 코일에 의한 자속을  $\phi$ 라고 하면 두 공극에서 작용하는 흡인력  $F_1$  및  $F_2$ 가 상반하는 방향이며 다음과 같이  $\phi$ 와  $\phi$ 의 적에 비례한다.



〈그림 16-3〉 유극형의 구동력

$$F = F_1 - F_2$$

$$= K [(\phi + \phi) - (\phi - \phi)^2]$$

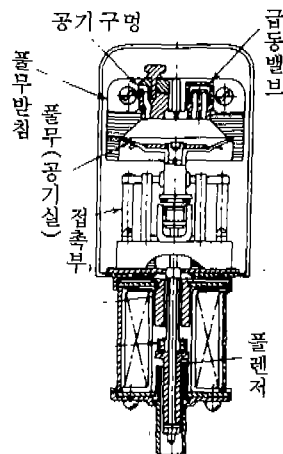
$$= 2K\phi\phi$$

단,  $K$ 는 정수

$\phi$ 를 충분히 크게 하여 두면  $\phi$ 가 작아도 충분한 구동력을 얻을 수가 있고 코일의 입력으로는 상당히 고감도가 얻어진다.

그리고  $\phi$  및  $\phi$ 의 한 쪽 방향이 반대, 즉 1개의 코일 전류의 방향이 반대가 되면 구동력의 방향이 반대가 된다.

가동철심형은 보호계전기의 요람시대에는 보호의 주력으로서 군림하고 있었다. 플랜저형 과전류 계전기는 약 20년간 주력 계전기로서 애용되어 왔으나 현재는 박물관 신세가 될 단계에 있는 계전기지만 참고적으로 그림 16-4에 구조를 든다.



〈그림 16-4〉 플랜저형 계전기의 구조

전류가 일정치를 넘으면 플랜저가 흡상된다. 플랜저 상부에는 캐거루 가죽으로 만들어진 풀무가 있는데, 그 안의 공기가 공기구멍에서 서서히 나가기 때문에 한시동작이 된다. 동작시간은 구멍의 크기를 바꾸어 조정되고 복귀시키는 급귀(急歸) 밸브가 열리기 때문에 고속 복귀가 된다. 유도형이 아직 나오지 않았던 시대에 본래 고속도 동작의 계전기를 힘들게 한시동작으로 하여 사용하고 있었던 것이다.

17. 유도형의 원리

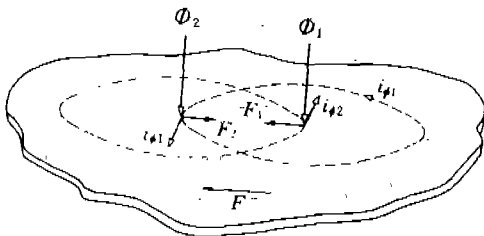
유도형 계전기는 교류 전용의 계전기로서, 전류계 전기, 전압계전기, 방향계전기, 거리계전기 등 여러 가지 용도에 널리 사용되고 있다. 원리상 직류에는 사용되지 않는다. 동작 원리는 유도형 전동기와 동일하며, 위상이 다른 둘 이상의 교번 자계와 이것에 의해 비자성 도전체의 회전자(원판 또는 원통 형상)에 흐르는 와전류와의 상호작용에 의해 회전력을 발생시키는 것이다.

그림 17·1은 유도형의 구동력 발생원리를 나타내는 그림이다. 두 교번 자속  $\phi_1$ 과  $\phi_2$ 가 하나의 도체에 작용하고 있고 각 변수는 양 자속이 함께 아래 쪽을 향하여 그 크기를 증가시키고 있을 때의 순시치를 나타내고 있다. 각 자속에 의해 전압이 유기되어 이 전압에 의해 전류  $i_{\phi 1}$ 과  $i_{\phi 2}$ 가 흐른다. 한 쪽 자속에 의해 발생한 전류가 다른 쪽 자속과 상호 작용하여  $F_1$ 과  $F_2$ 의 구동력(토크)을 발생한다. 각 토크의 방향은 프레밍의 원손의 법칙으로 표시된다.

그림 17·1에서  $\phi_2$ 와  $\phi_1$ 을 정현파형으로 하고  $\phi_2$ 가  $\phi_1$ 보다 뒤지는 각도를  $\theta$ 라고 하면

$$\phi_1 = \phi_1 \sin \omega t \dots\dots\dots (4)$$

$$\phi_2 = \phi_2 \sin(\omega t - \theta) \dots\dots\dots (5)$$



(그림 17·1) 유도형의 토크

가 된다. 단  $\phi_1, \phi_2$ 는  $\phi_1, \phi_2$ 의 파고치이다.

전류  $i_{\phi 1}$ 과  $i_{\phi 2}$ 가 흐르는 전류의 인덕턴스는 무시할 수 있으므로 전류는 자속에 의해 도체에 유기하는 전압, 즉 자속의 미분에 비례하며 다음과 관계가 얻어진다.

$$i_{\phi 1} = K_1 \frac{d\phi_1}{dt} = K_1 \phi_1 \cos \omega t \dots\dots\dots (6)$$

$$i_{\phi 2} = K_2 \frac{d\phi_2}{dt} = K_2 \phi_2 \cos(\omega t - \theta) \dots\dots\dots (7)$$

단,  $K_1, K_2$ 는 정(正)의 정수(定數)이다.

각 구동력은 자속과 이것에 교차하는 전류의 적이므로

$$F_1 = K_3 \phi_1 i_{\phi 2} = K_2 K_3 \phi_1 \phi_2 \sin \omega t \cos(\omega t - \theta) \dots\dots (8)$$

$$F_2 = K_4 \phi_2 i_{\phi 1} = K_1 K_4 \phi_1 \phi_2 \sin(\omega t - \theta) \cos \omega t \dots\dots (9)$$

단,  $K_3, K_4$ 는 정의 비례정수이다.

(8), (9)식은  $\sin \alpha \cos \beta = \{\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)\}/2$ 의 관계에서

$$F_1 = K_2 K_3 \phi_1 \phi_2 \{\sin(2\omega t - \theta) + \sin \theta\}/2 \dots (10)$$

$$F_2 = K_1 K_4 \phi_1 \phi_2 \{\sin(2\omega t - \theta) - \sin \theta\}/2 \dots (11)$$

가 된다.

여기서  $K_1 = K_2, K_3 = K_4$ 라고 하면 전체 구동력  $F$ 는

$$F = F_1 - F_2 = K_1 K_3 \phi_1 \phi_2 \sin \theta \dots\dots\dots (12)$$

가 되어 양 자속의 크기와 위상차  $\theta$ 의 정현에 비례하고 또한 순시치가 변화하지 않는다.

자속이 정현파이며 또한 설계가 적절하고 전술한  $K_1 = K_2, K_3 = K_4$ 의 관계가 성립하는 한 전체 구동력의 순시치는 일정하다. 이와 같은 힘에 의해 계전기는 확실하게 동작하고 또 진동의 우려가 없다.

토크의 방향은 앞선 위상의 자속이 작용하는 점에서 뒤진 위상의 자속이 작용하는 점을 향하여 마치 이동 자속에 끌리고 있는 것같이 회전자가 구동된다. 토크 발생에는 적어도 2개의 위상이 상이한 교번 자속을 필요로 하고 위상차가  $90^\circ$ 일 때에 토크가 최대가 된다.

토크의 방향은 어느 자속이 다른 자속보다 앞선 위상인가에 따라 정해진다. 또 가동부가 움직여도 자기회로의 상태는 변화하지 않고 토크가 변화하지 않는다. 이 때문에 동작치와 복귀치의 차가 대폭 상이해지는 일은 없다.

이상과 같이 유도형 계전기는 가동형 계전기로서는 안정된 응답이 얻어지기 쉬운 것이다. 이 때문에 다시 더 보석축승(軸承)을 사용하여 마찰을 감소시키는 등으로 정밀도 향상에 노력하고 있다. 다만 접점은 그만큼 섬세해지고 또 접촉 압력도 작으므로 사용방법에 대한 배려가 필요해진다.

그리고 유도형은 전술한 바와 같이 진동이 생기기 어려운 것이지만 전무라고 할 수는 없다. 이것은

(10), (11)식의  $K_1=K_2$ ,  $K_3=K_4$ 가 완전하게는 성립하지 않기 때문과 입력 파형의 왜곡 및 자기회로의 포화 등으로 인한 것이다. 2개의 자속  $\phi_1$  또는  $\phi_2$ 의 한 쪽만이 특별히 클 때 또는 쌍방이 크더라도 위상차가 작고 자속의 크기에 비교하여 회전력이 작을 때는 진동이 비교적 생기기 쉽다.

(다음호에 계속...)

## 에너지상식

# 전기는 어떻게 만들까

전기는 어떻게 만들까. 전기를 만드는 방법에는 여러가지가 있으나 비교적 간단한 세가지 방법만 소개해 본다.

첫째, 가장 손쉬운 방법의 하나인 마찰로 전기를 일으키는 방법이다.

유리막대를 명주 헝겊으로 문지르면 유리막대는  $\oplus$ 로 대전하고 에보나이트막대를 모피로 문지르면 에보나이트막대는  $\ominus$ 로 대전해서 정전기를 만들 수 있다.

는 원리로서 건전지나 납축전지 등의 화학전지 역시 이러한 화학작용을 이용한 것이다.

또 10원짜리 동전과 1백원짜리 동전사이에 물에 젖은 종이를 끼워도 0.4볼트 정도의 전압이 나오는데 이러한 전지를 여러 조 연결시키면 상당히 높은 전압도 만들 수 있다.

셋째로는 코일과 자석으로 전기를 만드는 방법이다.

에나멜선을 여러번 감아서 만든 코일에 검류

## 레몬서 電氣만든다

### 마찰이용, 코일·자석으로

이런 원리를 이용해 전기를 일으키는 기계에 마찰기 전기라는 것이 있다.

둘째는 레몬에서 전기를 만드는 이른바 화학적인 방법에 의한 것이다.

레몬에 동판과 아연판을 적당한 간격으로 꽂은 다음, 테스터로 체크해 보면 전압이 발생하고 있는 것을 알 수 있는데 이때 동판은  $\oplus$ 극, 아연판은  $\ominus$ 극이 되어 1볼트 정도의 전압이 나온다.

아연과 동이 레몬의 산(酸)속에서 화학작용을 일으켜 두 금속판 사이에 전압을 발생시키

계(檢流計)나 테스터의 검류전류계를 접속하고, 코일에 자석을 넣었다 뺐다하면 검류계의 바늘이 흔들린다. 이때 자석을 넣을 때와 뺄 때의 전류방향은 반대가 된다.

이 경우 코일을 많이 감을수록, 또 자석이 강할수록, 자석을 빨리 움직일수록 흐르는 전류가 커진다는 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 지금으로부터 약 1백50년전에 영국의 과학자 패러디가 발견해 낸 사실로서 저 유명한 패러디 전자유도의 법칙으로 규명되었다.