

# 전기 기본이론 (Basic Theories of Electrical Engineering) - I

## 1. 전류

### 연재목록

1. 전류
2. 전기와 자기
3. 임피던스
4. 발전기
5. 전동기
6. 변압기
7. 전력
8. 접지
9. 전기안전
10. 노이즈
11. 무정전 전원설비

현대문명은 전기가 있음으로써 유지된다고 말할 수 있다. 만일 어떤 원인으로 지구상에서 전기가 완전히 없어진다면 21세기 인류문명은 하루 아침에 원시시대로 돌아가게 될 것이다. 전기공학은 눈에 보이지 않는 학문이다. 그래서 전기공학을 공부한 사람들도 대부분 전기공학의 근본 원리와 이론에 대해 “뜬 구름 잡기 식” 또는 “수박 겉 핥기 식”의 개념만 가지고 있는 것이 현실이다. 또한 우리나라가 지난 반세기 동안 급격한 경제성장을 해 오는 과정에서 기초학문 보다는 당장 활용할 수 있는 공학의 결과에만 집착해온 것도 사실이다. 학문을 공부하고 연구함에 있어 기초와 기본을 소홀히 하는 것은 마치 “뿌리 없는 나무”를 키우려는 것과 같아서 그 학문 분야에서 수준 높은 경지에는 절대로 올라갈 수가 없다.

필자는 이러한 안타까운 현실을 조금이라도 개선하기 위해 본고에서 전기공학의 근본 이론을 최대한 이해하기 쉽게 설명하고, 나아가 실생활에 필요한 전기지식에 대해서도 설명하고자 한다.

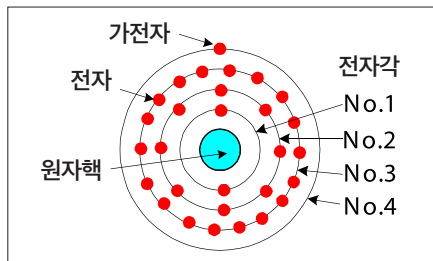
### 원자구조와 가전자

구리(Cu)의 원자번호는 29이다. 이는 구리원자가 29개의 전자를 가지고 있고 동시에 원자핵 안에 29개의 양자를 가지고 있다는 것을 의미한다. 전자는 (-) 전하를 가지고 있고 양자는 (+) 전하를 가지고 있으며, 양자와 전자 하나가 가지고 있는 전하량은 서로 같기 때문에 구리 원자는 전기적으로 중성이다.

29개의 전자는 하나의 궤도(전자각)에 있는 것이 아니고 여러 개의 전자각에 나뉘어 있다. 이때 하나의 전자각에 들어갈 수 있는 전자수는  $2n^2$ 개 이다. 즉 1각

에는  $2 \times 1^2 = 2$ 개, 2각에는  $2 \times 2^2 = 8$ 개, 3각에는  $2 \times 3^2 = 18$ 개의 전자가 들어가고, 나머지 1개의 전자는 외롭게 **최외각**에 홀로 있다.

이와 같이 최외각에 있는 전자를 **가전자**라고 한다. 가전자라고 해서 “가짜 전자”라는 뜻이 아니라 원자의 가치를 결정하는 전자, 즉 **원자가전자(原子價電子)**를 줄여서 가전자라고 하는 것이다. 모든 원소의 화학적 특성은 원자가전자에 의해 결정된다.



### 전자의 이동

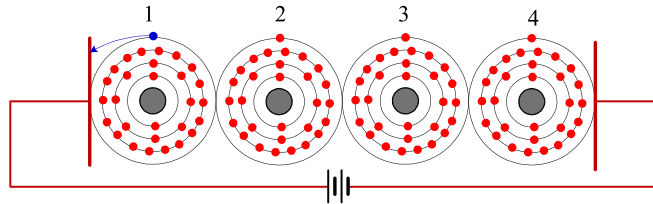
**전류**는 전하가 이동하는 것이다. 전하가 이동한다기 보다는 전하를 가지고 있는 **전자**가 이동한다고 말하는 것이 더 정확한 표현이다. 구리원자에 29개의 전자가 있다고 해서 전류가 흐를 때 모든 전자가 이동하는 것이 아니라 최외각에 있는 가전자 하나만 이동하는데 이렇게 이동할 수 있는 전자를 **자유전자**라고 한다. 따라서 자유전자는 구리원자 1개에 하나씩이다. 구리원자의 원자량은 63.54g이다. 이것을 1 [mol]이라고 한다. 모든 물질 1 [mol]에는 **아보가드로의 수**에 의해  $6.022 \times 10^{23}$  개의 원자를 가지고 있다. 따라서 구리 63.54g 속에는  $6.022 \times 10^{23}$  개의 원자가 있다. 엄청나게 많은 숫자이다.

구리도체에서 전자의 이동을 간단히 설명하기 위해 다음과 같이 원자 4개가 1열로 배치된 경우를 생각한다.

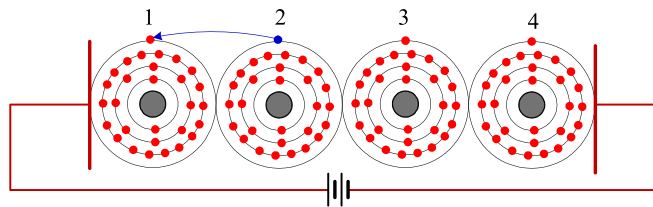
여기에 그림에서와 같이 전압이 가해지면 제일먼저 1번 원자의 자유전자가 (+)극에 끌려들어간다. 즉 1번 원자에는 전자가 있던 자리에 빈자리가 하나 생긴다. 이렇게 생긴 빈자리를 **정공(Electron Hole)**이라고 한다.

이때 1번 원자는 양자수는 그대로 29개인데 전자는 28개로 감소해서 전기적으로 (+)가 된다. 원자가 전기적으로 (+)가 되었다는 것은 그 원자도 전자를 끌어당기는 힘을 가졌다는 것을 의미한다.

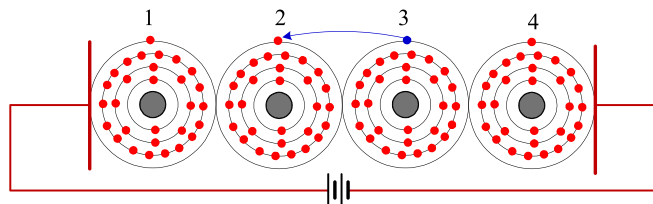
그래서 1번 원자에서 다른 전자가 또 끌려나가는 것이 아니라 2번 원자의 가전자를 끌어당긴다.



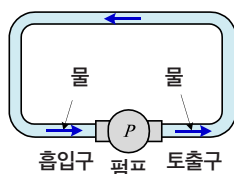
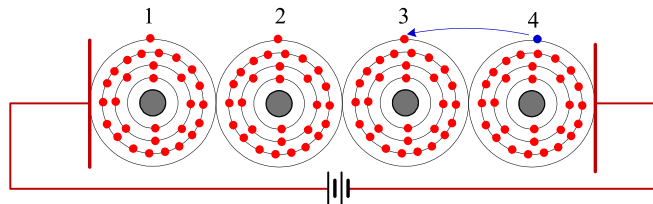
다음에는 2번 원자의 자유전자가 1번 원자의 정공으로 끌려오고, 1번 원자의 정공은 2번 원자로 이동한다



다음에는 3번 원자의 자유전자가 2번 원자의 정공으로 끌려오고, 2번 원자의 정공은 3번 원자로 이동한다



다음에는 4번 원자의 자유전자가 3번 원자의 정공으로 끌려오고, 3번 원자의 정공은 4번 원자로 이동한다



전원을 접속하는 전선도 구리도체이므로 그 내부에서도 동일한 현상이 일어나서 제일 처음에 1번 원자에서 (+)극으로 끌려들어가던 전자는 기전력을 거쳐 4번 원자로 간다. 기전력 또는 전압은 (+)극에서 전자를 끌어당겨 내부에 저장하는 것이 아니라 (-)극으로 밀어낸다. 이는 마치 펌프가 수압으로 펌프의 흡입구로 물을 빨아들여서 토출구로 밀어내는 것과 같다.

## 전류의 방향과 크기

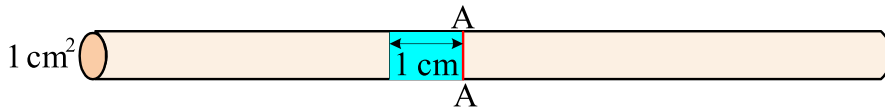
이상에서 본 바와 같이 전자가 이동하는 방향은 전압의 (-)극 → (+)극 방향이지만 **정공의 이동방향**은 전압의 (+)극 → (-)극 방향이다. 따라서 전류의 방향은 전자의 이동방향을 기준으로 한 것이 아니라 정공의 이동방향을 기준으로 한 것이라고 생각하면 된다. 전류는 이러한 **전자의 이동**이고, 전자는 음극(-극)에서 양극(+극)으로 이동한다. 그러나 전류는 **정공의 이동방향**을 기준으로 해서 양극에서 음극으로 흐르는 것으로 정의했다.

도체 속에 전류가 흐르는 것은 수도관 속에 물이 흐르는 것과 매우 유사한 성질을 가지고 있다. 같은 굵기의 수도관이라도 수압이 세면 물이 많이 흐르고 수압이 약하면 조금 흐르는 것과 같이, 전류의 경우에도 같은 굵기의 전선이라도 전압이 높으면 큰 전류가 흐르고 전압이 낮으면 작은 전류가 흐르게 된다.

전자는 (-)전기를 띠고 있는데 이를 **전하**라고 한다. 전자 한 개가 가지는 **전하량**은  $-1.602 \times 10^{-19}$ [C: 쿨롱]이다. 따라서 1쿨롱(C)은  $1/(1.602 \times 10^{-19}) = 6.25 \times 10^{18}$ 개의 전자가 가지는 전하량이다. 전류의 크기는 A(Ampere 암페어)로 표시하는데 이는 “1초 동안에 1쿨롱의 전하가 이동하는 것”으로 프랑스 공학자 앙페르(Ampere)가 정의한 것이다. 즉  $1[A] = 1[C/s]$  이다.

## 도체 내부에서 전자의 이동속도

예를들어 다음 그림과 같이 단면적  $1[cm^2]$ 의 구리도체 중간에 길이  $1[cm]$ 의 길이에 해당하는 도체의 체적은  $1[cm^3]$ 가 된다. 구리의 밀도는  $8.96[g/cm^3]$ 이므로 그림에서 파란색 부분의 무게는  $8.96[g]$  이다.



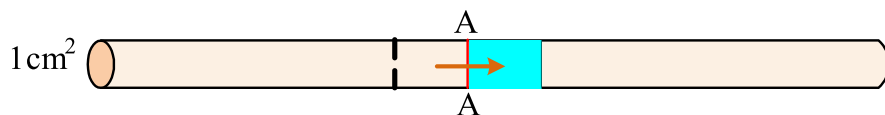
구리의 원자량은  $63.54[g]$  이므로  $8.96[g]$  은  $8.96 / 63.54[mol]$ 이 된다. 아보가드로의 수에 의해서 모든 물질  $1[mol]$  중에는  $6.022 \times 10^{23}$  [개/mol]의 원자를 가지고 있으므로  $8.96 / 63.54[mol]$ 의 구리 속에는

$$\frac{8.96}{63.54} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ [개]}$$

의 구리원자가 있고 구리원자 한 개에는 각각 1개씩의 자유전자가 있으므로 구리  $1cm^3$  안에 들어있는 자유전자의 수는 그 속에 들어있는 구리원자의 수와 같다. 다음 그림과 같이 단면 A-A원쪽에 있던 자유전자들이 1초 동안에 모두 단면 A-A의 오른쪽으로  $1[cm]$ 를 이동했다면 이때 단면 A-A를 통해서 이동한 전자들의 전하량은 다음과 같이 계산된다

$$\frac{8.96}{63.54} \times 6.022 \times 10^{23} \times 1.602 \times 10^{-19} = 13,604 \text{ [C/sec]}$$

즉, 단면 A-A를 통해서 1초 동안  $13,604[A]$ 의 전류가 흘렀다는 말이 된다.



이때 전자가 이동한 속도는 1초 동안에  $1[cm]$ 를 갔으니  $10[mm/s]$  가 된다. 만일 같은 조건에서  $1[mm/s]$ 의 속도로 이동한다면 단면 A-A를 통해 흐르는 전류는  $13,604/10=1,360[A]$ 가 될 것이다. 결국 전자의 이동속도는 도체단면적, 도체에 흐르는 전류의 크기, 도체의 종류 등에 따라서 달라지게 된다. 그래서 일반적으로는 다음식을 사용한다.

$$I = envA \rightarrow v = \frac{I}{enA}$$

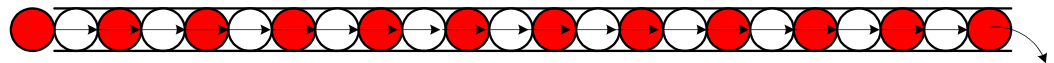
식에서 I =전류[C/s], e =  $1.602 \times 10^{-19}$ [C], n =자유전자의 수, v =전자의 속도[cm/s], A =도체단면적[cm<sup>2</sup>]이다.

$$v = \frac{I}{enA} = \frac{1360[C/s]}{1.602 \times 10^{-19}[C/개] \times \frac{8.96}{63.54} \times 6.022 \times 10^{23}[개/cm^3] \times 1[cm^2]} \\ = 0.1[cm/s] = 1[mm/s]$$

예를들어 단면적 1[cm<sup>2</sup>]의 도체에 **1,360[A]**의 전류가 흐를 때 전자의 속도를 계산해 보면  
결국 도체에 전류가 흐를 때 도체 내부에서 전자의 이동속도는 수[mm/sec]밖에 안된다.

### 전자의 이동속도와 전기의 속도

전자 하나 하나의 이동속도는 느리지만 전기의 속도는 광속에 가깝다. 어떻게 그렇게 되는가를 생각해본다. 예를 들어 직경이 당구공의 직경과 같고, 길이가 1000[m]인 파이프 속에 그림과 같이 당구공을 가득 채워 넣어 놓았을 때, 당구공이 완전 비탄성체라고 가정하면, 그 파이프의 한쪽 끝에서 당구공 하나를 더 밀어 넣을 때 다른 쪽 끝에서는 거의 같은 순간에 당구공 하나가 파이프로부터 나올 것이다.



이 경우에 파이프 속에 있는 하나하나의 당구공이 이동한 거리는 당구공의 직경만큼 밖에 안된다.

그러나 외관상으로 볼 때는 한쪽에서 당구공 하나가 들어가는 순간에 1000[m] 거리에 있는 다른 끝에서는 당구공이 하나가 나왔으니 당구공이 들어간 쪽과 나온 쪽만을 생각하면 당구공은 1000[m] 거리를 거의 순간적으로 간 것처럼 보인다.

도체 속에서 전자의 이동도 당구공의 이동과 그 원리가 같다. 수백[km]의 긴 전선의 한쪽에서 전자가 들어가면 전자들은 모두 (-) 전하를 가지고 있어서 서로 밀기 때문에, 또한 전자의 질량은  $9.1 \times 10^{-31}$ [kg]으로 거의 0[g]에 가깝기 때문에 다른 쪽에서는 그와 동시에 들어간 만큼의 전자가 나와야 한다. 그러니까 들어간 쪽과 나온 쪽만을 생각하면 전자가 거의 순간적으로 수백[km]를 이동한 것처럼 보인다.

이런 이유로 가공전선에서 전기 진행파의 속도는 거의 광속에 가깝게 된다. 그러나 전자의 실제이동 속도는 도체의 종류, 도전율, 양단에 가해진 전압의 크기 등에 따라서 달라지기 때문에 한마디로 몇[m/sec] 또는 몇[mm/sec]라고 말하기는 어려우나 보통 수 [mm/sec] 정도로 보고 있다.

당구공의 경우는 파이프 속에서 당구공이 최소한 당구공의 직경만큼 이동해야 다른 쪽에서 당구공이 한 개 나오겠지만, 전자의 크기는 거의 0[mm]에 가까우므로 도체 내부에서 전자가 아무리 느린 속도로 이동한다고 해도 한쪽 끝에서 전자가 들어가면 다른 끝에서는 같은 순간에 들어간 개수 만큼의 전자가 나와야 한다. 그러므로 전기의 속도는 도체 내부에서 전자의 실제로 이동하는 속도와는 무관하게 광속( $3 \times 10^8$ [m/sec])에 가깝게 된다. 그렇다면 왜 하필 광속인가?



$3 \times 10^8$ [m/sec]는 **우주의 속도제한(Speed Limit in this Universe)**이다. 빛이나 전파 또는 전기의 속도는 무한대에 이를 수도 있다고 생각할 수 있으나, 우리가 존재하는 이 우주공간에서의 속도제한이  $3 \times 10^8$  [m/sec] 이기 때문에 그 이상은 될 수가 없다. ☞