

## บทที่ 2

# ไฟฟ้าเบื้องต้น

### วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาจบบทนี้แล้ว นักศึกษา

1. สามารถอธิบายความหมายของประจุไฟฟ้า ไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า
2. บอกหน่วยปริมาณต่าง ๆ ทางไฟฟ้าได้ถูกต้อง
3. ทราบวิธีหาพลังงาน กำลังไฟฟ้า และบอกหน่วยของพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าได้
4. เข้าใจความต้านทาน กฎของโอห์ม และกฎของเกอ์ชอฟ ตลอดจนสามารถนำมาใช้ทำแบบฝึกหัดได้

### 2.1 ประจุไฟฟ้าและไฟฟ้าสถิต

ประจุไฟฟ้า เป็นคุณสมบัติมูลฐานของอนุภาคที่ประกอบกันเป็นสสาร เนื่องจากสสารทุกชนิดประกอบขึ้นด้วยอนุภาคเล็ก ๆ 3 ชนิด ด้วยกัน คือ โปรตอน (proton) นิวตรอน (neutron) และอิเล็กตรอน (electron) อนุภาค 2 ชนิดที่มีประจุ คือ โปรตอนมีประจุบวก และอิเล็กตรอนมีประจุลบ ซึ่งประจุลบของอิเล็กตรอนมีขนาดเท่ากับประจุบวกของโปรตอน ส่วนนิวตรอนไม่มีประจุหรือมีประจุเป็นศูนย์ จึงเป็นกลางทางไฟฟ้า แรงแม่เหล็กประจุช่วยยึดอะตอมหรือโมเลกุลเข้าด้วยกันเป็นสสาร และแรงนี้ยังเป็นตัวบอกคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของสสารด้วย การที่สสารก้อนหนึ่งหรือชิ้นหนึ่งยังไม่แสดงอำนาจไฟฟ้า เพราะสสารก้อนนั้นหรือชิ้นนั้นมีปริมาณประจุบวกและลบเท่ากัน การกล่าวถึงประจุของก้อนวัตถุ จึงหมายถึงประจุสุทธิ (net charge) หรือปริมาณประจุที่มากกว่าประจุตรงข้าม (excess charge) เช่น ถ้าประจุที่มากกว่าเป็นโปรตอน วัตถุนั้นมีประจุบวก ถ้าประจุที่มากกว่าเป็นอิเล็กตรอน วัตถุนั้นก็มีประจุลบ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนประจุ คือ  $q$  หรือ  $Q$  ในระบบเอสไอ ประจุมิหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

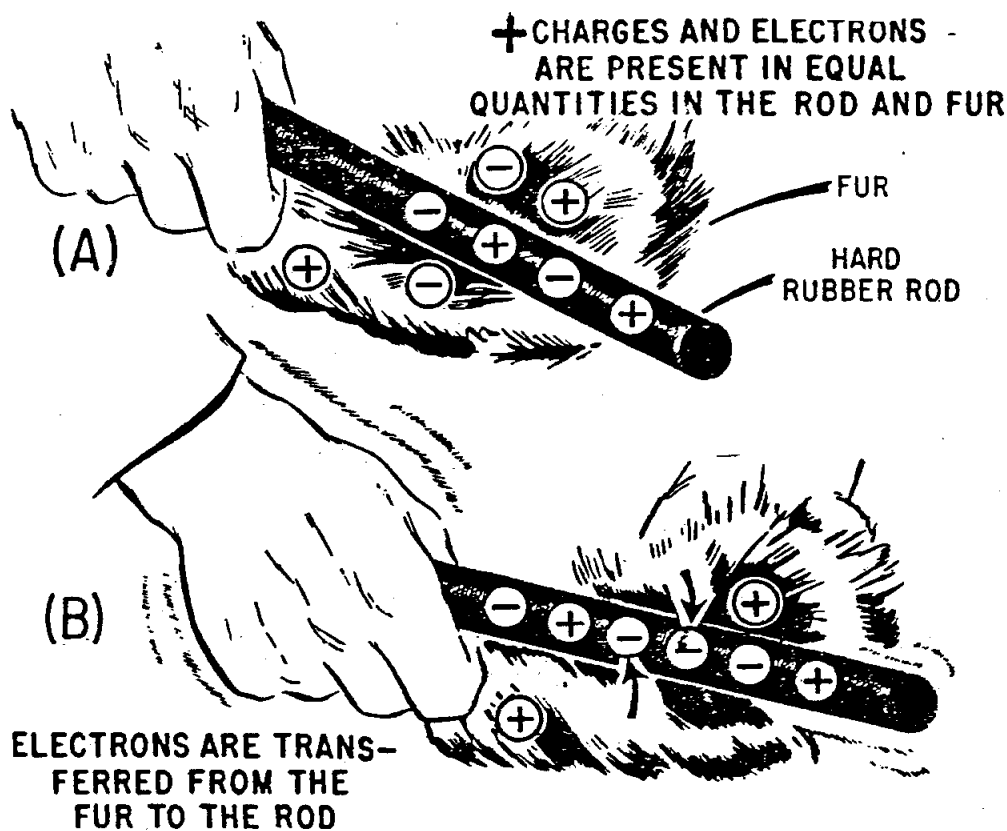
ประจุบนอิเล็กตรอนและโปรตอน เรียกว่า **ประจุไฟฟ้าสถิต** (electrostatic charge) เส้นแรงของประจุก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าสถิต

เมื่อสสาร 2 ชนิดมีประจุไม่เท่ากัน และอยู่ใกล้กัน แรงไฟฟ้าจะออกมาระหว่างสสารทั้งสอง เพราะว่ามีประจุไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากไม่แตะกัน ประจุทั้ง 2 สสารจึงไม่สามารถเท่ากัน แรงไฟฟ้าที่ออกมาเช่นนี้ในเมื่อกระแสไม่สามารถไหลได้ จึงกล่าวได้ว่าเป็น **ไฟฟ้าสถิต** (static electricity)

คำว่า "static" หมายถึง "ไม่เคลื่อนที่" ดังนั้นจึงเรียกว่า แรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force)

วิธีง่าย ๆ ที่จะรู้ว่ามีประจุไฟฟ้าสถิตอยู่ ก็คือ วิธีเสียดสีโดยใช้วัตถุ 2 ชนิดถูกัน อิเล็กตรอนจะวิ่งออกจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง แต่ถ้าวัตถุหนึ่ง ๆ เป็นตัวนำที่ดี ก็เป็นการยากที่จะวัดประจุบนทั้งสองวัตถุนั้น เหตุผลก็คือ กระแสที่เท่ากันจะไหลเข้าไปอย่างง่ายดายในระหว่างตัวนำทั้งสอง กระแสเหล่านี้จะทำให้ประจุเท่ากันได้เร็ว

ประจุไฟฟ้าสถิตจะเกิดขึ้นง่ายโดยการถูวัตถุที่ไม่เป็นตัวนำ (แข็ง ๆ) กับวัตถุที่อ่อนนุ่มไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะวิ่งออกจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ดังรูปที่ 2.1

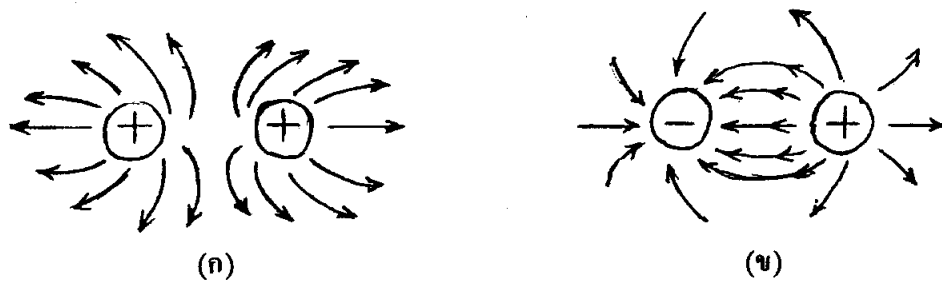


รูปที่ 2.1 การเกิดไฟฟ้าสถิตโดยการถูกัน

เมื่อเอาแท่งยางถูกับขนสัตว์ แท่งยางจะสะสมอิเล็กตรอน เนื่องจากทั้งขนสัตว์และยางเป็นตัวนำที่เลว กระแสที่สมดุลเพียงเล็กน้อยสามารถไหลได้ ก็จะสร้างประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น เมื่อประจุมามากพอ กระแสสมดุลจะไหลแม้ว่าจะเป็นตัวนำที่เลวก็ตาม กระแสเหล่านี้จะทำให้เกิดประกายเห็นได้ง่าย ถ้าดูในที่มืดและจะมีเสียงแตกดังเปรี้ยะ

## 2.2 สนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า

บริเวณระหว่างและรอบ ๆ ตัวประจุ จะมีแรงซึ่งเรียกว่า แรงแห่งสนามไฟฟ้า (electric field of force) สนามของแรงจะแผ่ไปทั่วรอบ ๆ จุดเริ่มต้น และโดยหลักทั่ว ๆ ไป จะลดลงเป็นสัดส่วนกำลังสองของระยะทางจากวัตถุ 2 อัน



รูปที่ 2.2 เส้นแรงไฟฟ้าสถิต

สนามเกี่ยวกับตัวประจุโดยทั่วไปใช้เส้นต่าง ๆ แทนเส้นแรงไฟฟ้าสถิต เส้นเหล่านี้เป็นเส้นสมมติขึ้นใช้แทนทิศทางและความแรงของสนาม เพื่อให้สับสนเส้นของแรงที่พุ่งออกมาจากประจุบวก จะแสดงเป็นลูกศรชี้ออกจากประจุ และสำหรับประจุลบจะแสดงด้วยลูกศรชี้เข้า รูปที่ 2.2 แสดงภาพการใช้เส้นเพื่อแทนสนามเกี่ยวกับตัวประจุ รูปที่ 2.2 (ก) แทนการผลักรของตัวประจุที่เหมือนกันและอยู่ในสนามร่วมกัน ส่วนรูปที่ 2.2 (ข) แสดงถึงแรงดูดระหว่างตัวประจุที่ต่างกันเ็นสนามร่วม

สนามไฟฟ้า (electric field) เป็นสนามเวกเตอร์ที่มีนิยามว่า สนามไฟฟ้า คือ แรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ

$$\vec{E}_q = \frac{\vec{F}_q}{q} \quad \text{—————} \quad 2.1$$

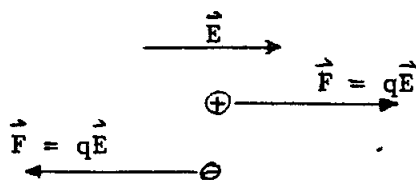
เมื่อ  $\vec{E}_q$  คือ สนามไฟฟ้าที่จุด  $q$   $\vec{F}_q$  คือแรงที่กระทำบนประจุ  $q$  ดังนั้นสนามไฟฟ้าจึงมีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์

$$\vec{E}_q = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{1}{q} \vec{F}_q \quad \text{2.2}$$

เพื่อจะเน้นให้เห็นว่า สนามไฟฟ้า  $\vec{E}$  ในสมการ (2.1) ไม่ขึ้นกับ  $q$  บางคนจึงได้ให้นิยามของสนามไฟฟ้า  $\vec{E}$  โดยต้องมีข้อกำหนดว่า  $q$  ต้องเป็นประจุที่มีค่าน้อยมาก (infinitesimal) ดังสมการ(2.2) จากนิยามนี้เพื่อที่จะกำจัดผลกระทบกระเทือนที่อาจมีขึ้นต่อค่าสนามไฟฟ้า  $\vec{E}$  ถ้า  $q$  มีขนาดใหญ่ ดังเช่น ถ้าต้องการหาสนามไฟฟ้า เนื่องจากประจุที่กระจายบนผิวของตัวนำอันหนึ่ง เราทราบว่าประจุบนผิวตัวนำสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก เมื่อนำประจุทดสอบ (test charge) ที่มีขนาดใหญ่วางใกล้ตัวนำนี้ แรงแห่งไฟฟ้าเนื่องจากประจุทดสอบจะเหนี่ยวนำทำให้การกระจายของประจุบนผิวตัวนำนั้นเปลี่ยนแปลง ในกรณีนี้ค่าสนามไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับขนาดของประจุทดสอบ  $q$  ด้วย ซึ่งขัดกับนิยามดังกล่าว ด้วยเหตุนี้  $q$  จึงต้องมีค่าน้อย ๆ

ความเข้มของสนามไฟฟ้า (intensity of the electric field) ที่จุดหนึ่งจุดใด มีค่าเท่ากับ แรงต่อหนึ่งประจุที่จุดนั้น ใช้สัญลักษณ์  $E$  เช่นเดียวกับสนามไฟฟ้า ความเข้มของสนามไฟฟ้า มีหน่วยเดียวกับสนามไฟฟ้า คือนิวตันต่อคูลอมบ์ นั่นเอง

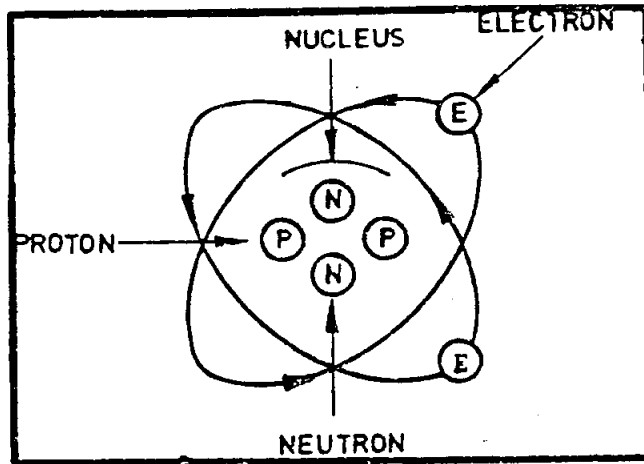
ลองสังเกตดูว่า ตามนิยามในสมการ (2.1) นั้น ถ้าประจุ  $q$  เป็นบวก แรง  $\vec{F}$  ที่กระทำต่อประจุจะมีทิศทางเดียวกับสนาม  $\vec{E}$  ถ้าประจุ  $q$  เป็นลบ แรง  $\vec{F}$  จะมีทิศตรงข้ามกับ  $\vec{E}$  ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของแรงไฟฟ้าบนประจุบวกและลบที่วางในสนามไฟฟ้า

### 2.3 แรงดันและกระแสไฟฟ้า

เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงเรื่องแรงดันและกระแสไฟฟ้า เราจะต้องมองเข้าไปถึงอะตอม เราทราบแล้วว่าวัตถุทุกอย่างประกอบด้วยอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อะตอมของวัตถุบางชนิด

อะตอมมีนิวเคลียส 1 อันอยู่ตรงกลาง นิวเคลียสนี้ประกอบด้วยอนุภาคชิ้นเล็ก ๆ คือ โปรตอนกับนิวตรอน และอีกอย่างหนึ่งเรียกว่าอิเล็กตรอน หมุนเป็นวงโคจรรอบนิวเคลียส อะตอมทุกตัวจะมีโครงสร้างเหมือนกันดังรูปบนนี้ แต่จำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนในแต่ละอะตอมจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของวัตถุ

ในอะตอมแต่ละอะตอมมีเพียงอนุภาคสองชนิดเท่านั้นที่ทำอาการต่อกัน คือ โปรตอนกับอิเล็กตรอน ส่วนนิวตรอนนั้นเป็นกลาง โปรตอนและอิเล็กตรอนมีประจุตรงข้ามกัน โดยโปรตอนมีประจุบวก อิเล็กตรอนมีประจุลบ ทั้งสองอย่างเป็นประจุไฟฟ้า

มีสิ่งสำคัญ 3 อย่างที่ต้องจำเกี่ยวกับประจุไฟฟ้า คือ

1. ประจุต่างกัน คือ บวกกับลบ จำนวนเท่ากัน จะหักล้างกันจนเป็นกลาง
2. ประจุเหมือนกัน คือ บวกกับบวก หรือลบกับลบ จะผลักรัน
3. ประจุต่างกัน คือ บวกกับลบจะดึงดูดเข้าหากัน

ดังนั้นเราจะเห็นว่าในอะตอมใด ๆ โปรตอนกับอิเล็กตรอนจะดึงดูดกัน แต่โปรตอนเหมือนกันหรืออิเล็กตรอนเหมือนกันจะผลักรัน อาการภายในอะตอมนี้เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติและอะตอมจะพยายามรักษาแรงผลักรันและแรงดูดนี้ให้สมดุลเสมอ นั่นก็คือ จำนวนโปรตอน และอิเล็กตรอนจะต้องเท่ากันในอะตอม หากเราเอาพลังงานอื่นมาผลักให้อิเล็กตรอนกระเด็นออกไปจากวงโคจรของอะตอมหนึ่ง อิเล็กตรอนของอะตอมอันอื่นจะเคลื่อนเข้ามา

แทนที่ การเคลื่อนที่หรือการไหลของอิเล็กตรอนนี้ เราเรียกว่า กระแสไฟฟ้า (Electric Current) กระแสจะไหลได้จะต้องประกอบไปด้วย 2 เงื่อนไขด้วยกัน คือ

1. จะต้องมีความแรงผลักดันให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่
2. จะต้องมีความที่บรรจบครบสมบูรณ์เป็นวงจรให้มัน

แรงที่ผลักดันให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ เราเรียกว่า แรงเคลื่อนหรือแรงดันหรือโวลเตจ (Voltage) และทางที่บรรจบให้เป็นวงจรเพื่อให้อิเล็กตรอนไหล เราเรียกว่าวงจรไฟฟ้า (Electrical circuit) ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

วัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเราถือว่าวัตถุนั้นมีศักดาไฟฟ้า (Electrical Potential) ทั้งนี้เพราะอิเล็กตรอนตัวที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ครบวงจรจะต้องมีประจุไฟฟ้า 2 ชนิด คือ บวก และลบ จึงเกิดความต่างศักดาไฟฟ้าขึ้นระหว่างประจุทั้งสอง ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force) ขั้วที่มีประจุลบถือว่ามีความศักดาไฟฟ้าต่ำ และขั้วที่มีประจุบวกถือว่ามีความศักดาไฟฟ้าสูง

เมื่อประจุ 2 ประจุมีความศักดาไฟฟ้าต่างกัน จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น หน่วยที่ใช้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักดาไฟฟ้า เรียกว่า โวลต์ (Volt)

1 โวลต์ คือ ความต่างศักดาไฟฟ้า (Potential difference) ที่ทำให้ประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ทำงานได้เท่ากับ 1 จูล

ตามปกติ แรงเคลื่อนไฟฟ้า จะใช้กับแบตเตอรี่เท่านั้น ส่วนความต่างศักดาไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ หมายถึง ความแตกต่างระหว่างศักดาไฟฟ้าของจุด 2 จุด โดยทั่วไปเรานิยมเรียก ความต่างศักดาไฟฟ้าว่า แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

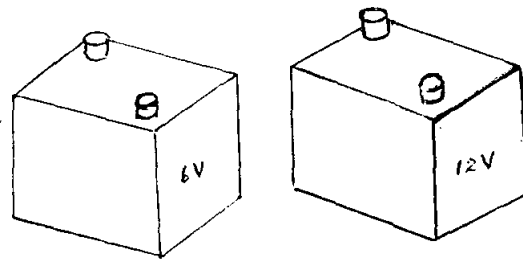
แรงดันไฟฟ้าหรือ voltage มีอักษรย่อว่า "V" เราจะเห็นเสมอๆ บนป้ายชื่อของอุปกรณ์ไฟฟ้า ขนาดของแรงดันไฟฟ้าอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ถ่านไฟฉายจะมีแรงดันไฟฟ้าเป็น 1.5 โวลต์ แบตเตอรี่รถยนต์มีแรงดันไฟฟ้าเป็น 12 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือนเป็น 220 โวลต์

แรงดันไฟฟ้าที่ระบุในอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วๆ ไปมี 2 ชนิด

ชนิดแรก คือ แรงดันที่ให้หรือแรงดันจากแหล่งจ่าย (applied voltage หรือ source voltage) ซึ่งได้มาจากแหล่งจ่ายแรงดัน (voltage source) เช่น แรงดันจากแบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือจากการไฟฟ้านครหลวง

**ชนิดที่สอง** ขนาดแรงดัน (voltage rating) ซึ่งบอกให้รู้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าชิ้นนั้นต้องการ เช่น แบตเตอรี่ 12 V หมายความว่าแบตเตอรี่สามารถให้หรือจ่ายแรงดันได้ 12 V ส่วนหลอดไฟ 12 V หมายความว่าหลอดไฟนำไปต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน 12 V แต่ไม่ควรมากกว่า 12 V เพราะใส่หลอดอาจจะขาดได้

ขนาดของแรงดันไฟฟ้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดภายนอกของแหล่งจ่ายแรงดัน เช่น แบตเตอรี่รถยนต์มีขนาดเท่ากันทุกประการ แต่ลูกหนึ่งมี ขนาดแรงดัน 6 V อีกลูกหนึ่งมีแรงดัน 12 V ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบตเตอรี่รถยนต์ขนาดเท่ากันทั้ง 2 ลูก แต่ขนาดแรงดันไม่เท่ากัน

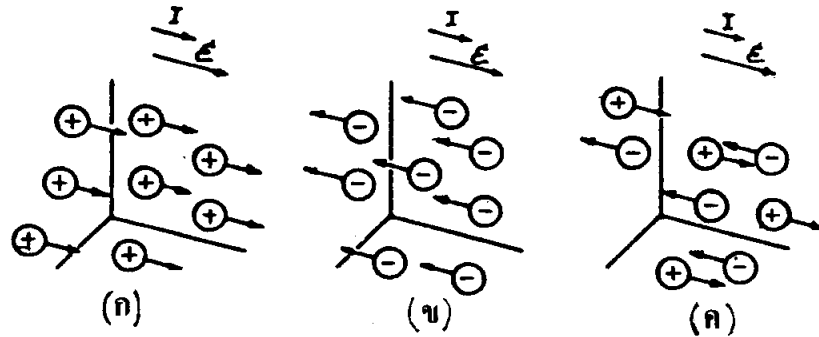
เราได้กล่าวถึงไฟฟ้าสถิตซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าที่อยู่กับที่ โดยปกติแล้วประจุไฟฟ้าสถิตไม่สามารถทำให้เกิดการทำงานที่เป็นประโยชน์ได้ ดังนั้นการที่จะนำเอาพลังงานไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ ก็ต้องทำให้การไหลของไฟฟ้าเกิดขึ้น หมายถึงว่าต้องทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า (electric current) ขึ้น การทำให้เกิดกระแสไฟฟ้านั้น จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่ออิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากถูกทำให้เคลื่อนที่ในสายไฟตัวนำในทิศทางเดียวกัน การไหลของอิเล็กตรอนผ่านลวดตัวนำไฟฟ้า เรียกว่ากระแสไฟฟ้าหรือการไหลของอิเล็กตรอน ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากบริเวณที่มีศักย์เป็นลบไปยังบริเวณที่เป็นศักย์ลบน้อยกว่าหรือบริเวณที่มีศักย์บวกมากกว่า หรือพูดง่าย ๆ ก็คือ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากศักย์ลบไปยังศักย์บวก

การที่ประจุเคลื่อนที่ทำให้เกิด “กระแสไฟฟ้า” ซึ่งนิยมใช้สัญลักษณ์แทนกระแสด้วย  $I$  และให้นิยามไว้ว่า

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \text{2.3}$$

เมื่อ  $Q = Q(t)$  เป็นประจุสุทธิ (net charge) เคลื่อนที่ในเวลา  $t$  หน่วยของกระแสในระบบเอสไอคือ คูลอมบ์ต่อวินาที ซึ่งเรียกว่า แอมแปร์ (Ampere) เขียนย่อว่า Amp หรือ A เพื่อเป็นเกียรติ

แก่นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ชื่อ อังเดร เอ็ม แอมแปร์ (André M. Ampere) ทิศทางของกระแส คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุบวก ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าที่ใช้หรือในทิศของศักดา สูงไปหาศักดาต่ำที่ทำให้อนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.6 (ก) ถ้ากระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุลบ เช่น อิเล็กตรอน ทิศของกระแสตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่จริงของ อิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.6 (ข)



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและลบในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ คือ ปริมาณการเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมบ์ ผ่านจุด ใดๆ หนึ่งภายใน 1 วินาที หรือ

1 แอมแปร์ หมายถึงการไหลของอิเล็กตรอนจำนวน  $6.25 \times 10^{18}$  อิเล็กตรอนต่อวินาทีที่ผ่านตัวนำที่เหมาะสม

ปริมาณ 1 หน่วยไฟฟ้าที่ผ่านในวงจรไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ผ่านเป็นเวลา 1 วินาที หน่วยนี้มีค่าเท่ากับ  $6.25 \times 10^{18}$  อิเล็กตรอน เรียกว่า 1 **คูลอมบ์ (Coulomb)**

คูลอมบ์เป็นหน่วยของกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับแกลอนเป็นหน่วยของน้ำ สัญลักษณ์ของคูลอมบ์ คือ Q อัตราการไหลของกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และปริมาณไฟฟ้าเคลื่อนผ่านวงจรสัมพันธ์กันโดยแฟกเตอร์ร่วมของเวลา ด้วยเหตุนี้ปริมาณของประจุไฟฟ้าเป็นคูลอมบ์เคลื่อนที่ผ่านวงจรจะเท่ากับ ผลของกระแสเป็นแอมแปร์ และระยะเวลาการไหลเป็นวินาที ดังสมการ

$$Q = It$$

—2.4

ตัวอย่าง ถ้ากระแส 2 แอมแปร์ไหลผ่านวงจรเป็นเวลา 10 วินาที จะได้ปริมาณไฟฟ้าไหลผ่านวงจร เท่ากับ  $2 \times 10$  หรือ 20 คูลอมบ์ ในทางกลับกัน การไหลของกระแสอาจจะออกมาเป็นเทอมของคูลอมบ์และเวลาเป็นวินาที ด้วยเหตุนี้ ถ้า 20 คูลอมบ์เคลื่อนที่ผ่านวงจรในเวลา



10 วินาที การไหลของกระแสโดยเฉลี่ยจะเป็น  $\frac{20}{10}$  หรือ 2 แอมแปร์ แสดงว่าการไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นแอมแปร์ เท่ากับอัตราการไหลของ 2 คูลอมบ์ต่อวินาที

ในการใช้ทางภาคปฏิบัติ แอมแปร์เป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไป ดังนั้นจึงใช้หน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (milliampere) เขียนย่อว่า mA

เครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าเรียกว่า แอมมิเตอร์ (Ammeter)

กระแสไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ กระแสไฟตรง และกระแสไฟสลับ

## 2.4 พลังงานและกำลังไฟฟ้า

พลังงาน (energy) คือความสามารถในการทำงาน พลังงานจะถูกใช้ไปเมื่อทำงาน เนื่องจากเอาพลังงานมาเป็นแรง เมื่อแรงกระทำเป็นระยะไกล พลังงานที่ได้จากงานจำนวนหนึ่งที่แน่นอนจะเท่ากับแรงที่ทำงานคูณด้วยระยะทางซึ่งแรงทำให้งานเคลื่อนที่ นี่เป็นค่านิยามทางเชิงกล

ส่วนทางไฟฟ้า พลังงานทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ อัตราซึ่งทำงานคูณด้วยระยะเวลา

พลังงาน W จึงเท่ากับ กำลัง P คูณด้วยเวลา t จะได้

$$W = Pt \quad -2.5$$

กำลัง (Power) ไม่ว่าจะทางไฟฟ้าหรือทางกล กำลังจะออกมาเป็นอัตรา ซึ่งงานนั้นได้ถูกกระทำ การทำงานก็คือ การกระทำซึ่งทำให้แรงหนึ่งเคลื่อนที่

ถ้าแรงกลแรงหนึ่งใช้ในการยกหรือเคลื่อนที่น้ำหนักอันหนึ่ง งานก็ถูกกระทำขึ้น อย่างไรก็ตามแรงเกิดขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เช่น แรงของสปริงที่อัดระหว่างวัตถุที่อยู่กับที่ 2 อัน ซึ่งไม่เรียกว่า งาน

ในสมัยก่อนแสดงค่าโวลเตจเป็นแรงดันไฟฟ้า และโวลเตจจะทำให้กระแสไหลในวงจรปิด อย่างไรก็ตามเมื่อโวลเตจซึ่งกระทำระหว่างจุด 2 จุด แต่กระแสไม่ไหลก็ไม่มีการเกิดขึ้น ซึ่งก็เหมือนกับสปริงที่มีแรงดึงแต่ไม่มีการเคลื่อนไหว เมื่อแรงดันไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ งานก็ถูกกระทำขึ้น อัตรา (rate) ซึ่งงานถูกกระทำเราเรียกว่า อัตรากำลังไฟฟ้า (electric power rate) วัดค่าออกมาเป็น วัตต์ (watt)

กำลังไฟฟ้า คือ ความสามารถใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ หรือแรงเทียน 1 กิโลวัตต์ คือ 1,000 วัตต์ หรือ 1,000 แรงเทียน

1 หน่วย หรือ 1 ยูนิท หรือ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คือ หน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

หน่วยพื้นฐานของกำลัง คือ วัตต์ ซึ่งเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่วงจรคูณด้วยกระแสที่ผ่าน  
วงจร ดังสมการ

$$P = V \times I \quad \text{---2.6}$$

โดย P คือ กำลังไฟฟ้า V เป็นแรงดันไฟฟ้า และ I เป็นกระแสที่ผ่านวงจร เราหาหน่วยของกำลังไฟฟ้า  
ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{โวลต์} \times \text{แอมแปร์} &= \frac{\text{จูล}}{\text{คูลอมป์}} \times \frac{\text{คูลอมป์}}{\text{วินาที}} \\ &= \frac{\text{จูล}}{\text{วินาที}} \\ &= \text{วัตต์} \end{aligned}$$

โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า สูตรของกำลังไฟฟ้าจากสมการ  
(2.6) จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} P &= V \times \frac{V}{R} \\ &= \frac{V^2}{R} \end{aligned} \quad \text{--- 2.7}$$

เมื่อ  $I = \frac{V}{R}$

$$\begin{aligned} \text{หรือ } P &= (IR) \times I \\ &= I^2 R \end{aligned} \quad \text{--- 2.8}$$

ดังนั้น เราจะได้สมการของกำลังไฟฟ้า ดังนี้

$$P = VI$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$P = I^2 R$$

ถ้าเราแทนค่า P จากทั้งสามสมการดังกล่าวลงไปในสมการ (2.5) จะได้พลังงาน  
W ดังต่อไปนี้

$$W = VIt \quad \text{--- 2.9}$$

$$W = \frac{V^2}{R} t \quad \text{--- 2.10}$$

และ  $W = I^2 R t \quad \text{--- 2.11}$

ซึ่งสมการ (2.9) และ (2.10) V เป็นโวลต์ I เป็นแอมแปร์ ถ้า t เป็นชั่วโมง W จะเป็น วัตต์-ชั่วโมง

ถ้า  $t$  เป็นวินาที  $W$  จะเป็นวัตต์-วินาที หรือจูล (1 จูลเท่ากับ 1 วัตต์-วินาที)  
จากสมการ (2.4) เราได้ว่า

$$Q = It$$

ซึ่ง  $Q$  เป็นคูลอมบ์  $I$  เป็นแอมแปร์ และ  $t$  เป็นวินาที ดังนั้นจากสมการ (2.9) เราแทนค่า  $Q = It$   
จะได้  $W$  ดังนี้

$$W = QV \quad -2.12$$

เมื่อ  $W$  เป็นพลังงาน มีหน่วยเป็นจูล หรือ วัตต์-วินาที

$Q$  เป็นปริมาณ มีหน่วยเป็นคูลอมบ์

$V$  เป็นโวลต์

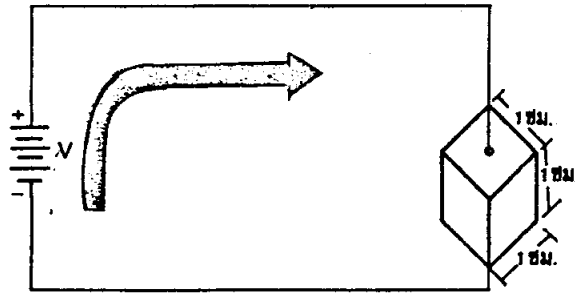
พลังงานไฟฟ้าซื้อขายเป็นหน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง ( $3,600 \times 10^3$  จูลส์) และที่สถานี  
ผลิตใหญ่จะเป็น เมกะวัตต์-ชั่วโมง ( $3,600 \times 10^6$  จูลส์)

## 2.5 ความต้านทาน กฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟ

ความต้านทาน (resistance) วัตถุทุกชนิดมีความต้านทานทั้งนั้น ตัวนำที่ดี เช่น  
ทองแดง เงิน และอะลูมิเนียม จะมีความต้านทานน้อยมาก ตัวนำไฟฟ้าที่เลวหรือฉนวน เช่น  
กระจก ไม้ กระดาษ จะให้ความต้านทานสูงต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า

เราใช้ค่า ความนำไฟฟ้า (conductance) บอกคุณสมบัติของสารว่า ยอมให้กระแส  
ไหลผ่านได้ดีเพียงใด สารที่มีความนำไฟฟ้าสูงจะมีคุณสมบัติยอมให้กระแสผ่านได้ง่าย ในทำ-  
นองเดียวกันสารที่มีความนำไฟฟ้าต่ำ จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ยาก หรือจะมองในอีกแง่  
หนึ่งของความนำไฟฟ้าต่ำว่า พยายามต้านทานไม่ให้กระแสไหล สารบางชนิดมีค่าความนำต่ำ  
มาก ก็ยอมให้กระแสไหลผ่านยาก นั่นก็คือมีความต้านทาน ต่อกระแสไฟฟ้าสูงกว่าสารอื่น

เนื่องจากโลหะต่างชนิดมีความนำไม่เท่ากัน ดังนั้นคุณสมบัติของความต้านทานจึง  
ไม่เท่ากันด้วย คุณสมบัติของความต้านทานของสารอาจวัดได้โดยวิธีการทดลองโดยวัดความ  
ต้านทานของโลหะแต่ละชนิดด้วยขนาดมาตรฐานเดียวกัน ถ้าตัดโลหะออกเป็นชิ้นขนาด  
มาตรฐานเดียวกันแล้วต่อเป็นวงจรไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ จะพบว่าในแต่ละครั้งจะมีกระแสไฟฟ้า  
ไหลผ่านตัวมันไม่เท่ากัน โลหะแต่ละชนิดจะมีความต้านทานต่อการไหลของอิเล็กตรอนไม่เท่า  
กัน



รูปที่ 2.7 มาตรฐานที่ใช้วัดความต้านทาน

ขนาดมาตรฐานที่ใช้วัดตรวจสอบความต้านทาน คือ รูปลูกบาศก์ 1 ตารางเซนติเมตร เงินเป็นตัวนำที่ดีกว่าทองแดง เพราะว่ามีค่าความต้านทานน้อยกว่า นิโครมมีความต้านทานสูงกว่าทองแดงถึง 60 เท่า หมายความว่า จะมีกระแสไหลในลวดทองแดงมากเป็น 60 เท่าของลวดนิโครม ถ้าใช้ลวดทั้งสองต่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่อันเดียวกัน

ในวงจรไฟฟ้า ลวดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าจะมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ความต้านทานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ (1) ความยาวของขดลวด (2) เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดและ (3) วัสดุของลวด

อุณหภูมิก็มีผลต่อความต้านทานของลวดตัวนำไฟฟ้าด้วย ลวดตัวนำเส้นใหญ่ เช่น ทองแดง อะลูมิเนียม เหล็ก ฯลฯ ความต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ยกเว้นแท่งถ่านในถ่าน ความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โลหะผสมบางชนิด (แมงกานีสและคอนสแตนตัน) มีความต้านทานที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเห็นได้ชัดด้วยอุณหภูมิ

ความต้านทานสัมพัทธ์ของลวดตัวนำหลายชนิดที่มีความยาวและพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ถือว่าเงินมีความต้านทานมาตรฐานเป็น 1 และโลหะที่เหลือจัดเรียงไปตามความต้านทานที่เพิ่มขึ้น ดังรายการต่อไปนี้

เงิน.....	1.0
ทองแดง.....	1.08
ทอง.....	1.4
อะลูมิเนียม.....	1.8
แพลตตินัม.....	7.0
ตะกั่ว.....	13.5

ประมาณต้นปี ค.ศ. 1800 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ ยอร์ช ซิมอน โอห์ม (George Simon Ohm) ได้ทำการทดลองเรื่องที่น่าสนใจเกี่ยวกับไฟฟ้าไว้เป็นจำนวนมาก และได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานซึ่งหน่วยของความต้านทานที่เราใช้ทุกวันนี้ ก็คือ โอห์ม นั่นเอง

ความต้านทานในวงจรไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ว่า R ชิ้นส่วนของวงจรที่ผลิตขึ้นประกอบด้วยจำนวนที่แน่นอนของความต้านทาน เรียกว่า ตัวต้านทาน (resistor) ความต้านทานวัดออกมาเป็นโอห์ม (Ohm) โดยกำหนดว่า 1 โอห์ม คือความต้านทานของวงจรที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าจำนวน 1 แอมแปร์ (1 คูลอมบ์ต่อวินาที) ไหลผ่าน เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 โวลต์ เข้าไปในวงจร

กฎของโอห์ม (Ohm's law) กล่าวว่า “กระแสในวงจรเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อแรงดันที่ให้ และเป็นสัดส่วนผกผันกับความต้านทานของวงจร” ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = \frac{V}{R} \quad -2.13$$

เมื่อ I = กระแส เป็นแอมแปร์

R = ความต้านทาน เป็นโอห์ม

V = แรงดัน เป็นโวลต์

กฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's rules)

วงจรไฟฟ้ามีตั้งแต่แบบง่าย ๆ ไปจนถึงแบบยาก ๆ ที่มีแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ความต้านทานหลายตัว และมีหลายวงจรหลายสาขาที่จะแก้ปัญหาก็ไม่ได้ง่าย ๆ โดยใช้กฎของโอห์ม ดังนั้นในปี ค.ศ. 1847 เคอร์ชอฟได้นำกฎของโอห์มมาวิวัฒนาการเพื่อใช้แก้ปัญหามันกรณีที่มีวงจรซับซ้อน ซึ่งเรียกว่า กฎของเคอร์ชอฟ แบ่งเป็น 2 ข้อ ด้วยกันคือ

1. ที่จุดร่วม (junction) ใด ๆ ในวงจรไฟฟ้า ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าสู่จุดร่วมต้องเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจากจุดร่วม เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\sum I_{in} = \sum I_{out} \quad -2.14$$

ซึ่ง  $\Sigma$  ในสมการ (2.14) เป็นการบวกแบบพีชคณิต คือ เอาเครื่องหมายมาคิดด้วย เช่น ให้กระแสเข้าเป็นบวก กระแสออกเป็นลบ หรือกระแสเข้าเป็นลบ กระแสออกเป็นบวก

บางทีเราเรียกกฎข้อ 1 ว่า กฎจุดร่วม (junction rule) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากหลักการคงตัวของประจุโดยพิจารณาที่จุดซึ่งมีวงจรมากกว่า 2 สาขามาบรรจบกัน ซึ่งเรียกจุดนั้นว่า จุดร่วม

๒. ในวงจรปิดใด ๆ ผลรวมแบบพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ ผลรวมแบบพีชคณิตของความต่างศักย์ไฟฟ้า เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\sum_i E_i = \sum_i \Delta V_i \quad \text{_____ 2.15}$$

สมการ (2.15) จะไปตรงกับกฎของโอห์ม สำหรับวงจรไฟฟ้าแบบง่าย ๆ คือวงจรที่มีวงเดียว ถ้าเราคิดว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าก็คือค่าความต่างศักย์ ( $E = \Delta V$ ) ดังนั้นเราอาจจะเขียนกฎข้อ 2 ของเคอร์ชอฟฟ์ได้ใหม่ว่า

$$\sum_i \Delta V_i = 0 \quad \text{_____ 2.16}$$

กฎข้อ 2 บางทีเรียกว่า “Loop rule” มีพื้นฐานมาจาก หลักการคงตัวของพลังงาน การรวมในสมการ (2.16) เป็นการบวกแบบพีชคณิต และ  $\Delta V$  รวมโดยเอาแรงเคลื่อนไฟฟ้าไว้ด้วย

เพื่อให้เข้าใจและใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์ในการแก้ปัญหาได้ง่ายขึ้น ควรปฏิบัติดังนี้

1. กำหนดทิศทางของกระแสในวงจรต่าง ๆ โดยไม่ต้องกังวลถึงความเป็นจริง เพราะเมื่อทิศทางของกระแสที่เรากำหนดให้ผิดไปจากความเป็นจริงแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นลบ

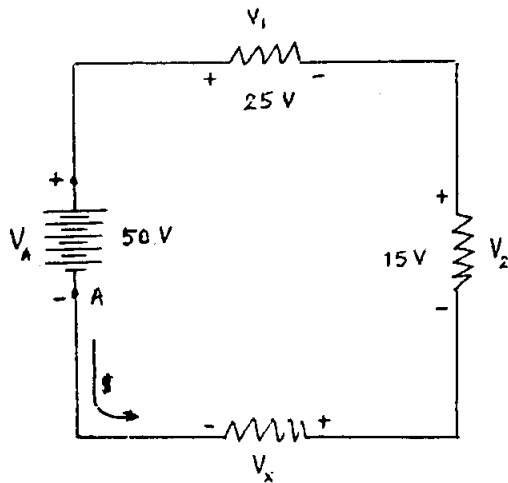
2. ใส่เครื่องหมายบวกและลบที่เหมาะสมที่แหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานทุกตัวในวงจร โดยจำไว้ว่าขั้วบวกของแบตเตอรี่หรือเซลล์ไฟฟ้าให้แทนด้วยขีดยาว ส่วนขั้วลบใช้แทนขั้วลบ และที่ความต้านทานกระแสมีทิศทางบวกไปหาลบ นั่นคือ การกำหนดทิศทางของกระแสในข้อ 1 จะเป็นตัวกำหนดเครื่องหมายที่ปลายของความต้านทานทุกตัวในวงจรด้วย

3. ใช้กฎข้อ 1 ของเคอร์ชอฟฟ์ โดยต้องจำได้ว่าแต่ละสมการของจุดร่วมต้องมีกระแสใหม่อย่างน้อยหนึ่งกระแสนี้ยังไม่มีในสมการก่อน ๆ (ใช้สมการ 2.14)

4. ใช้กฎข้อ 2 ของเคอร์ชอฟฟ์จนแน่ใจว่ากระแสแต่ละกระแสในวงจรต้องมีอยู่ในสมการใดสมการหนึ่ง และจำไว้ว่าเมื่อประจุบวกเคลื่อนที่ผ่านส่วนต่าง ๆ ของวงจรถ้าเคลื่อนที่จากลบไปบวกมันจะมีพลังงานศักย์มากขึ้น จึงต้องใช้เครื่องหมาย บวก สำหรับค่าความต่างศักย์ที่คร่อมส่วนนี้ ถ้าเคลื่อนที่จากบวกไปลบมันจะเสียพลังงานศักย์จึงต้องใช้เครื่องหมาย ลบ สำหรับความต่างศักย์ที่คร่อมส่วนนี้ (ใช้สมการ 2.16)

5. แก้สมการหาตัวไม่ทราบค่า ใช้สมการที่ได้จากข้อ 3 และข้อ 4.

**ตัวอย่าง** มีตัวต้านทาน 3 ตัว ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 50 โวลต์ แรงดันที่ผ่านตัวต้านทานตัวที่ 3 จะเป็นเท่าใด ถ้าแรงดันที่ตกในตัวต้านทานตัวที่หนึ่งและสองเป็น 25 และ 15 โวลต์ตามลำดับ



เริ่มต้นที่จุด A แรงดันเหล่านี้จะเป็น

$$V_x + V_2 + V_1 + (-V_A) = 0$$

$$V_x + 15 + 25 - 50 = 0$$

$$V_x - 10 = 0$$

$$\therefore V_x = 10 \text{ V}$$

แรงดันที่ต้องการมีค่า 10 โวลต์

### สรุป

ประจุไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ประจุไฟฟ้ามีทั้งประจุบวกและประจุลบ ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกันและประจุต่างชนิดจะดูดกัน เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นการเคลื่อนที่สุทธิ (net movement) ของประจุ ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าหรือทิศทางของกระแสไฟฟ้า เรานิยามว่าเป็นทิศทางที่ตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุลบ แรงผลักดันที่ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ เรียกว่า แรงดันไฟฟ้า อัตราการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า คือกำลังไฟฟ้าซึ่งโดยปกติแล้วจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ กฎของโอห์ม อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานซึ่งในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะแปรโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้า และแปรผกผันกับความต้านทาน กฎของเคอร์ชอฟทั้งสองข้อได้แก่กฎเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าและกฎเกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า

## แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. ในนิวเคลียสของอะตอม ไม่มีอนุภาคอะไรอยู่
  1. โปรตอน
  2. นิวตรอน
  3. อิเล็กตรอน
2. อะตอมของธาตุต่าง ๆ ประกอบด้วยอนุภาคเท่าใด
  1. เท่ากัน
  2. ไม่เท่ากัน
  3. น้อย
  4. มาก
3. ถ้านำแท่งแก้วถูกับผ้าแพร จะได้อะไรเกิดขึ้น
  1. ประจุไฟฟ้า
  2. ไฟฟ้าสถิต
  3. ไฟฟ้ากระแส
4. วัตถุที่มีประจุลบ เส้นแรงของสนามไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีทิศทางพุ่งเข้าหาวัตถุทุกทิศทาง ข้อความนี้ถูกหรือไม่
  1. ถูก
  2. ผิด
5. กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ คือ ปริมาณเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมป์ผ่านจุดหนึ่งภายในเวลา 1 นาติ ข้อความนี้ถูกหรือไม่
  1. ถูก
  2. ผิด
6. เมื่อประจุสองประจุมีศักดาไฟฟ้าต่างกัน จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น ใช่หรือไม่
  1. ใช่
  2. ไม่ใช่
7. หน่วยที่ใช้วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า เรียกว่าอะไร
  1. โอห์ม
  2. แอมแปร์
  3. โวลต์
  4. วัตต์
8. ตัวนำที่ดี ต้องมีความต้านทานต่ำ ถูกหรือไม่
  1. ผิด
  2. ถูก
9. อัตรากำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นอะไร
  1. คูลอมป์
  2. โวลต์
  3. จูล
  4. วัตต์
  5. โอห์ม