

### ตอนที่ 3 ฟิสิกส์พื้นฐาน

วิชาฟิสิกส์เป็นสาขาที่ใฝ่ปริศนาเกี่ยวกับเหตุการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งแยกได้เป็นสิ่งที่เกิดตามธรรมชาติและที่มนุษย์ผลิตขึ้น การอธิบายดังกล่าวแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนแรกเป็นคำอธิบายในภาษาที่บุคคลทั่วไปสามารถเข้าใจได้ อีกส่วนหนึ่งคือสมการคณิตศาสตร์ซึ่งแท้จริงแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า มีความถูกต้องและแม่นยำตามทฤษฎี และประการสำคัญคือสามารถทดลองหรือย้อนหาค่าได้ใหม่ โดยคงสภาพเดิมหรือแปรพารามิเตอร์บางค่า ซึ่งถ้าพิจารณาผิวเผินอาจคิดว่าเป็นเรื่องยากไม่น่าสนใจ ในบทที่ 8 มีรายละเอียดเกี่ยวกับสุขภาพและสาขาวิชาแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสี อุปกรณ์การแพทย์ที่น่าเสนอนั้นล้วนต้องอาศัยพื้นฐานของวิชาฟิสิกส์เป็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม การอธิบายฟิสิกส์ในหนังสือเล่มนี้จะค่อนข้างไปในเชิงประยุกต์ใช้หรืออธิบายเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน และเป็นที่ยกต่องานที่นักศึกษาคาดหวังว่านักศึกษาจะได้รับประโยชน์จากความรู้ที่ได้นำเสนอ สนใจ และเข้าใจวิชาฟิสิกส์มากขึ้น

## บทที่ 7 ไฟฟ้า

### เค้าโครงเรื่อง

- 7.1 ประจุไฟฟ้า
- 7.2 กฎคูลอมบ์
- 7.3 สนามไฟฟ้า
- 7.4 ศักย์ไฟฟ้า
- 7.5 ความต่างศักย์
- 7.6 ศักย์ไฟฟ้าของประจุที่เป็นจุด
- 7.7 ไฟฟ้ากระแสตรง
- 7.8 ความต้านทานไฟฟ้า
- 7.9 วงจรปิดและวงจรเปิด
- 7.10 ไฟฟ้ากระแสสลับ

### สาระสำคัญ

1. ไฟฟ้าเกิดจากอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ แบ่งชนิดของไฟฟ้าได้เป็น (1) ไฟฟ้าสถิตและ (2) ไฟฟ้ากระแส
2. กฎคูลอมบ์และกฎเคอร์ชอฟฟ์ ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณไฟฟ้าตลอดจนคำนวณค่าที่ต้องการทราบ
3. ฟิวส์และเบรกเกอร์ เป็นอุปกรณ์พื้นฐานเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน

### จุดประสงค์ของการเรียนรู้

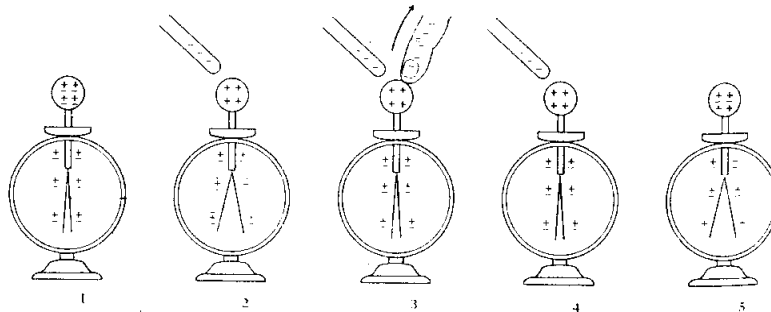
1. เพื่อให้ให้นักศึกษาเข้าใจรายละเอียดเกี่ยวกับไฟฟ้าตลอดจนการใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
2. เพื่อรู้จักกลไกการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป
3. เพื่อรู้จักสัญลักษณ์ไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไป

คำว่าไฟฟ้าเป็นที่คุ้นเคยทั่วไป อุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในรูปของแสง ความร้อน ความเย็น ฯลฯ ล้วนมีบทบาทสูงในชีวิตปัจจุบัน เช่น ดวงไฟ วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น กลไกการทำงานตลอดจนรายละเอียดอื่น ๆ ที่ซับซ้อนนั้นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานในสาขาฟิสิกส์ช่วยในการอธิบาย รายละเอียดในบทนี้เกี่ยวกับความรู้พื้นฐานของไฟฟ้า ซึ่งเริ่มจากประจุไฟฟ้าตลอดถึงการประยุกต์ความรู้ดังกล่าวกับชีวิตประจำวัน เช่น การคำนวณค่าไฟฟ้าโดยประมาณ เป็นต้น

## 7.1 ประจุไฟฟ้า

โดยทั่วไปแบ่งสารโดยอาศัยประจุไฟฟ้าเป็นสมบัติพื้นฐาน นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของกระแสไฟฟ้าซึ่งแบ่งตามอาการของประจุไฟฟ้า กล่าวคือ ประจุไฟฟ้าที่อยู่กับที่เรียกเป็นไฟฟ้าสถิต ในทางตรงข้าม ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่นั้นเรียกเป็นไฟฟ้ากระแส ในชีวิตประจำวันมักคุ้นเคยกับไฟฟ้ากระแสมากกว่าไฟฟ้าสถิตซึ่งสังเกตได้จากการหิวผมแห้งในฤดูหนาว(อากาศแห้งกว่าปกติ)อาจเกิดเสียงดังปริระขณะเมื่อหิวผมหรือทอลองดูไม้บรรทัดพลาสติกด้วยผ้าแห้งหรือสำลี จากนั้นนำไปจ่อใกล้ๆกับเศษกระดาษชิ้นเล็กๆผลคือเศษกระดาษจะติดขึ้นมากับไม้บรรทัดนั้น สำหรับการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตได้แก่ เครื่องถ่ายเอกสาร โต๊ะเขียนแบบสถาปนิก เป็นต้น การใช้ไฟฟ้ากำหนดสมบัติพื้นฐานของสารทั่วไปได้แก่การศึกษาลักษณะการประพุดิตนในการเป็นตัวนำหรือฉนวนไฟฟ้าซึ่งสติเฟน เกรย์(Stephen Gray) ได้ค้นพบการนำไฟฟ้าในคิกรี่ต่างๆจนสามารถแบ่งเป็นตัวนำ(conductor)และฉนวน( insulator )ใน ค.ศ.1731 โลหะทั่วไปเป็นตัวนำ ฉนวนได้แก่เส้นด้าย ไหม ยาง และพลาสติก และสมบัติพื้นฐานของประจุไฟฟ้าพบโดยชาลส์ ฟร็องซวส ดูเฟย์(Charles Francois du Fay) ในปี ค.ศ. 1733 สรุปได้ว่าประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกันจะผลักรัน ประจุต่างชนิดกันนั้นดูดกัน คำถามที่น่าสนใจคือวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าเมื่อถูกนำเข้าไปใกล้วัตถุที่เป็นกลางผลจะเป็นเช่นไร ก่อนอื่นต้องเข้าใจว่าโดยปกติที่วัตถุมีสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้ากล่าวคือปริมาณประจุลบเท่ากับของประจุบวก แต่จากการทดลองดูไม้บรรทัดดังกล่าวแล้วนั้น มีการดูดเศษกระดาษซึ่งถือว่ามีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า(เป็นคำตอบของคำถามแรก)ถึงที่น่าสนใจคือมีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าเกิดขึ้นในกรณีดังกล่าวใช่หรือไม่ คำตอบคือใช่แน่นอน และจากผลสรุปทั่วไปกล่าวว่ามีอิเล็กตรอนซึ่งเป็นพาหะประจุลบนั้นเคลื่อนที่ กลไกในการถ่ายเทประจุเป็นการสร้างสมดุลของปริมาณประจุ

ไฟฟ้าในวัตถุทั้งสองในทำนองเดียวกันเกี่ยวกับการรักษาระดับของน้ำ จากปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้นำไปสู่กฎการคงตัวของพลังงาน โมเมนตัม และโมเมนตัมเชิงมุม การตรวจสอบประจุไฟฟ้าสถิตของวัตถุใด ๆ นั้นทำโดยใช้อิเล็กโทรสโคป(electroscope)ซึ่งประกอบด้วยแท่งโลหะกลม ด้านล่างมีโลหะแผ่นบางๆ 2 แผ่นเชื่อมติดกันอยู่ อุปกรณ์ดังกล่าวทั้งหมดนี้ถูกบรรจุอยู่ในกรอบแก้วซึ่งมีสภาพเป็นฉนวน ดังแสดงในรูป 7-1



รูป 7-1 อิเล็กโทรสโคปและการทำงานโดยทั่วไป

การทำงานของอิเล็กโทรสโคปเป็นตามลำดับขั้น ดังนี้

1. ขณะที่ยังไม่ถูกป้อนประจุไฟฟ้าจะกล่าวได้ว่า อิเล็กโทรสโคปมีประจุบวกเท่ากับลบ
2. นำแท่งโลหะที่มีประจุลบเข้าใกล้อิเล็กโทรสโคปแต่ไม่แตะกัน ประจุลบจะถูกผลักลงสู่ด้านที่มีปริมาณต่ำกว่าคือด้านล่างนั่นเอง ดังนั้น บริเวณทรงกลมด้านบนจึงเปรียบเสมือนถูกชาร์จให้เป็นประจุบวก ประจุลบจะเคลื่อนลงสู่ใบโลหะทั้งสองซึ่งในเวลารวดเร็วแผ่นโลหะจะแยกจากกันเพราะมีประจุลบเช่นเดียวกัน
3. ใช้นิ้วแตะแท่งวัตถุ ประจุลบเคลื่อนที่ผ่านร่างกายเราลงสู่ดิน เรียกเป็นกราวด์ิง(grounding) คือการจัดสภาพให้ประจุลงดิน ใบโลหะทั้งสองอยู่ในสภาพถูกล้างประจุ
4. ค้างมือออกจากอุปกรณ์ ใบโลหะยังคงสภาพเดิมเหมือน 3.
5. นำแท่งโลหะที่มีประจุลบนั้นขอยกออกจากอิเล็กโทรสโคป ใบโลหะจะแยกออกจากกันอีกครั้งหนึ่ง เพราะต่างมีประจุบวกนั่นเอง

## 1.2 กฎคูลอมบ์( COULOMB ' LAW )

ชาลส์ คูลอมบ์(Charles Coulomb 1736-1806)ได้นำเสนอผลการคำนวณค่าของแรงดูดหรือผลักรังที่เกิดจากประจุไฟฟ้า จากการทดลองใช้ตุ๊กตกลมโลหะซึ่งมีประจุชนิดเดียวกันพบว่า แรง

ปฏิกิริยาที่เกิดจากประจุไฟฟ้าดังกล่าว ( $F_e$ ) เป็นสัดส่วนกลับของระยะห่าง ( $r$ ) ยกกำลังสอง และเป็นสัดส่วนตรงกับผลคูณของประจุทั้งสอง ( $q_1$  และ  $q_2$ ) ดังกล่าว ซึ่งเขียนความสัมพันธ์เป็น

$$F_e \propto (q_1 q_2) / r^2$$

ถ้ากำหนด  $k$  เป็นค่าคงที่ของสัดส่วนดังกล่าว

$$F_e = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$$

หน่วย SI กำหนดให้ ประจุเป็นคูลอมบ์ (coulomb, C) ระยะห่างเป็นเมตร (m) และ  $k$  มีค่าประมาณ  $8.988 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$  แรงประจุไฟฟ้าหน่วยเป็นนิวตัน (newton) และยังมีเครื่องหมายบวกหรือลบตามผลคูณของประจุทั้งสอง

- หมายเหตุ
1.  $k$  เป็นค่าคงที่ซึ่งถูกนำเสนอตามวิธีการคณิตศาสตร์ ความหมายแท้จริงคือสมบัติหรือสภาพเอื้อของตัวกลางที่ประจุไฟฟ้าอยู่
  2. ค่าประจุไฟฟ้าที่ถูกนิยามหน่วยเป็นคูลอมบ์นั้นไม่ได้อาศัยกฎคูลอมบ์เลย แต่เป็นการกำหนดปริมาณประจุที่ไหลผ่านตัวนำ ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวนี้ถูกนิยามเป็น แอมแปร์ (ampere)  $1 \text{ C} = 6.25 \times 10^{18}$  อิเล็กตรอน หรือ  $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
  3. ถ้าประจุมีมากกว่าสอง แรงที่ต้องการทราบค่าจะต้องคำนวณทีละคู่ จากนั้นหาค่าแรงลัพธ์ตามผลรวมเวกเตอร์
  4. สังเกต  $r^2$  ที่เป็นตัวหาร แสดงว่าแรงลดลงสองเท่าของระยะห่าง

มีการเสนอ ค่าของสภาพเอื้อของตัวกลางที่ประจุอยู่  $\epsilon_0$  โดยกำหนดค่า  $k = 1/4\pi\epsilon_0$  และแรงที่รู้จักดีคือแรงดึงดูดของโลก ซึ่งคำนวณเปรียบเทียบกับแรงระหว่างประจุไฟฟ้าดังนี้

แรงไฟฟ้าสถิต  $F_e = k q^2 / r^2$

แรงดึงดูดของโลก  $F_g = G m^2 / r^2$

$$F_e / F_g = (k / G) (q^2 / m^2)$$

แทนค่า  $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  และ  $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ดังนั้น

$$F_e / F_g = 4.2 \times 10^{42}$$

สรุปคือ  $F_g$  ส่งผลต่อประจุน้อยมากเมื่อเทียบกับ  $F_e$

ตาราง 7.1 ค่าประจุโดยประมาณของวัตถุต่างๆ

วัตถุ	ค่าประจุ
อิเล็กตรอน	$10^{-19}$
ละอองอากาศและหยดหมึกจากเครื่องพิมพ์แบบพ่นหมึก	$10^{-15}$
คนยืนบนพื้น(จนวน)	$10^{-6}$
ประจุถ่ายเทระหว่างเมฆและพื้นดิน( มีพายุ )	$10^2 - 10^4$

### 7.3 สนามไฟฟ้า

บริเวณโคจรของประจุไฟฟ้าจะมีสนามไฟฟ้าแผ่อยู่ ซึ่งสามารถใช้อธิบายสภาวะของบริเวณดังกล่าวได้ ขนาดของสนามไฟฟ้าหาค่าของแรงต่อหนึ่งหน่วยประจุ ณ บริเวณที่กำหนด ส่วนทิศทางเป็นเช่นเดียวกับกรณีของแรงที่เกิดบนประจุบวก ณ จุดนั้นๆ แนวหรือเส้นของสนามไฟฟ้า(ทำนองเดียวกับเส้นแรงแม่เหล็กนั่นเอง)ช่วยให้เห็นลักษณะของสนามไฟฟ้าได้ และยังบ่งบอกความเข้มของสนามไฟฟ้าอีกด้วย

ให้  $E$  แทนขนาดของสนามไฟฟ้า(ความเข้ม)ที่เกิดจากแรง  $F$  ต่อหน่วยประจุ  $q$  เขียนสมการความสัมพันธ์เป็น

$$E = F/q$$

และจาก

$$F = (k \cdot Qq) / r^2$$

$$\therefore E = \frac{kQq}{r^2 q} = \frac{kQ}{r^2}$$

ถ้า  $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  และ  $Q$  เป็นประจุบวก สนามไฟฟ้ามีทิศพุ่งออกจาก  $Q$

กรณีที่สนามไฟฟ้าประกอบด้วยประจุมากมาย  $E$  จะมีค่าเป็นผลรวมเวกเตอร์ของแต่ละหน่วยประจุ คือ

$$E = \sum \frac{kQ}{r^2}$$

จากแนวคิดเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าของบรรดาประจุไฟฟ้างกล่าว นำไปสู่การค้นพบตัวจุไฟฟ้า( capacitor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญและใช้ในวงจรไฟฟ้าทั่วไป

### 7.4 ศักย์ไฟฟ้า( Electrical Potential )

บริเวณผิวโลกทั่วไปมีสนามแรงดึงดูดของโลก การยกมวลใดๆ จำต้องอาศัยพลังงานทั้งสิ้น สิ่งที่น่าสนใจคือสมการของแรงคูลอมบ์( แรงประจุไฟฟ้า )มีรูปแบบเดียวกับสมการแรงดึงดูดของโลก และจัดเป็นค่าคงตัวเช่นเดียวกัน สมมุติให้ประจุใดๆหรืออาจเรียกเป็นประจุทดสอบ เคลื่อนสวนทิศทางกับอิทธิพลของสนามไฟฟ้า จะต้องป้อนพลังงานให้กับประจุดังกล่าว

พลังงานศักย์ของประจุไฟฟ้าเป็นแนวคิดทำนองเดียวกับลูกบอลกลิ้งตกลงจากเขาซึ่งพลังงานศักย์โน้มถ่วง (gravitational potential energy) แปรค่า เปรียบเทียบกับกรณีอิเล็กตรอนเคลื่อนเข้าสู่วัตถุที่มีประจุบวก ซึ่งข้อมต่อสนามไฟฟ้าที่เป็นบวกโดยรอบ ขณะเคลื่อนที่ในสนามบวกดังกล่าวนี้อิเล็กตรอนจะมีพลังงานศักย์ลดลงแต่พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น (เพราะความเร็วเพิ่ม) การศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้านั้นเริ่มจากการสร้างสนามไฟฟ้า จากนั้นให้ประจุทดสอบอยู่ในสนามดังกล่าว และสังเกตสิ่งที่สนใจ เช่น แรงที่เกิดจะแปรในลักษณะใด ส่งอิทธิพลต่อประจุทดสอบได้อย่างไรบ้าง เป็นต้น

ให้  $q_0$  เป็นประจุทดสอบ

ศักย์ไฟฟ้าเขียนได้ตามสมการ ดังนี้ :

$$\text{ศักย์ไฟฟ้า (V)} = \frac{\text{พลังงานศักย์ไฟฟ้า}}{\text{ประจุ}}$$

ตัวอย่าง 7.1 พิสูจน์ว่า  $1 \text{ N/C}$  มีค่าเท่ากับ  $1 \text{ V/m}$

$$\text{วิธี} \quad 1 \text{ N/C} = \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{C}}$$

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad 1 \text{ V/m} &= \frac{1 \text{ J/C}}{\text{m}} = \frac{1 \text{ N} \cdot \text{m/C}}{\text{m}} \\ &= 1 \text{ N/C} \\ &= 1 (\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2})/\text{C} \end{aligned}$$

แนวคิดลำดับต่อไปคือกรณีมีสนามไฟฟ้า  $E$  เลือกกำหนดตำแหน่งใดๆ 2 จุดโดยทั้งสองตำแหน่งดังกล่าวมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากันหรือไม่ก็ได้ ถ้าไม่เท่า ให้ความต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 2 จุดดังกล่าวเป็น  $\Delta V$  ขึ้นต่อไปใช้ประจุทดสอบ  $q_0$  ซึ่งเดิมอยู่นิ่ง ต่อมาได้รับแรง  $F$  ทำให้เคลื่อนในสนามไฟฟ้าสถิต  $E$  เป็นระยะทางค่าน้อยๆ  $\Delta s$  ดังนั้น พลังงานศักย์ไฟฟ้าต้องแปรค่าตามไปด้วย ให้ค่าที่แปรไปคือ  $(\Delta PE)_E$

พารามิเตอร์ที่น่าสนใจคือ  $KE$  จะมีค่าเท่าใด ถ้ากำหนดสถานะของเหตุการณ์ตัวอย่างนี้ให้  $q_0$  เดิมอยู่นิ่งแล้วจึงเคลื่อนไปเล็กน้อย และหยุดนิ่ง ณ ตำแหน่งสุดท้าย  $\Delta KE = 0$

$$\text{งาน ที่ทำเพื่อด้านสนามไฟฟ้าคือ} \quad \Delta W = F_{\parallel} \Delta s$$

โดย  $F_{\parallel}$  เป็นองค์ประกอบของแรง  $F$  ในแนวการเคลื่อนที่

ถ้า  $F$  และ  $\Delta s$  มีค่าเป็นบวก  $E$  เป็นลบ ดังนั้น

$$F = -qE_{\parallel}$$

แรง  $F$  ทำงานบนประจุได้เป็น

$$\Delta W = F_{\parallel} \Delta s = -q_0 E_{\parallel} \Delta s$$

งานปริมาณดังกล่าวนี้มีผลในการแปรค่าพลังงานศักย์ คือ

$$\Delta W = \Delta PE_E = -q_0 E_1 \Delta s$$

จากคำจำกัดความ การแปรค่าศักย์ไฟฟ้าคือ

$$\Delta V = \frac{\Delta PE_E}{q_0} = -E_1 \Delta s$$

ถ้าสนามไฟฟ้าแปรค่า แรงข้อมแปรค่าตาม เขียนสมการค่าของ V ใหม่เป็น

$$\Delta V = \sum_{A \rightarrow B} -E_1 \Delta s$$

### 7.5 ความต่างศักย์ ( Potential Difference )

ปริมาณ  $\Delta V$  หมายถึงค่าความต่างของศักย์ไฟฟ้า ซึ่งมักเรียกทับศัพท์ว่า potential difference

ถ้า  $V_A$  เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งเริ่มต้น A และ  $V_B$  เป็นค่าที่ตำแหน่งสุดท้ายคือ B ดังนั้น

$$\Delta V = -V_A - V_B$$

จากคำจำกัดความ ศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B มีค่าเท่ากับงานที่กระทำต่อสนามไฟฟ้า ในการเคลื่อนที่ประจุบวกหนึ่งหน่วยจากจุด A ไปยัง B โดยไม่มีความเร่ง

$$V_B - V_A = \frac{W(A \rightarrow B)}{q_0} \quad (7.4)$$

หรือเขียนเป็น  $W = \Delta V \cdot q_0$

สิ่งที่พึงสังเกตคือ พลังงานเป็นค่าสัมพัทธ์ และแนวการเคลื่อนที่ของประจุ นั้นไม่จำเป็นต้องขนานกับแนวแรงของสนามไฟฟ้า โดยทั่วไป ประจุ  $+q$  จะเคลื่อนสู่ย่านที่มีศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบ (หรือบวกน้อยลง) ถ้าเป็นการเคลื่อนที่โดยลดระดับสูงจะสรุปได้ว่าพลังงานศักย์ของประจุ  $+q$  ลดลง และขณะเดียวกันพลังงานจลน์เพิ่มค่า

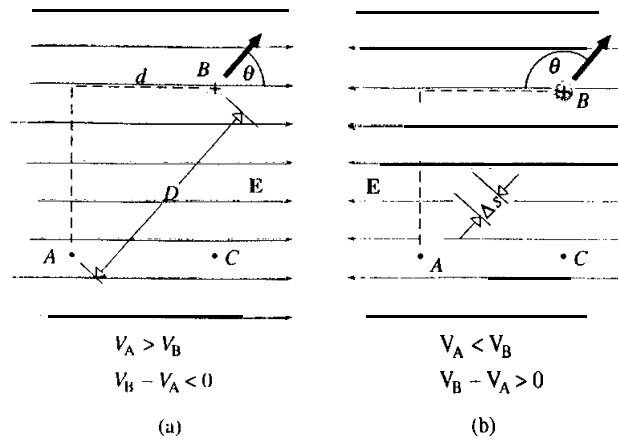
จากสมการ (7.4) ถ้า  $\Delta V < 0$  งานที่สนามไฟฟ้ากระทำต่อประจุบวก 1 หน่วย มีค่าเป็นลบ

#### ตาราง 7.2 ความต่างศักย์กรณีต่างๆ

ปฏิกิริยาเคมี	1 mv – 100 mv
ถ่านไฟฉายทั่วไป	1.5 v
แบตเตอรี่รถยนต์	12 v
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านในทวีปเอเชีย	240 – 250 v
ฟ้าผ่า	$10^8 v - 10^9 v$

ถ้าสนามไฟฟ้ามีความเร่งเท่ากันตลอด พิจารณาค่าตำแหน่ง A และ B ตามรูป 7.2 ซึ่งอยู่





รูป 7.2 แสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าและแนวแรงของสนามไฟฟ้า

ห่างกันเป็นระยะ D และแนว AB เฉียงทำมุม  $\theta$  กับแนวแรงของสนามไฟฟ้า แบ่งคิดค่าความต่างศักย์ตลอดระยะ D โดยแบ่งเป็นส่วนสั้นๆ  $\Delta s$  ดังนั้นความต่างศักย์มีค่าเป็น

$$\Delta V = -E_{11} \Delta s = -E \Delta s \cos \theta \quad (7.5)$$

โดย  $E_{11} = E \cos \theta$  และ  $\Delta V = \sum_{A \rightarrow B} -E_{11} \Delta s$

$$V_B - V_A = -E \cos \theta \sum_{A \rightarrow B} \Delta s$$

แต่  $\sum_{A \rightarrow B} \Delta s = D$  ดังนั้นถ้าแทนค่านี้จะได้สมการใหม่เป็น

$$V_B - V_A = -ED \cos \theta$$

และจากรูป 7.2  $\pm D \cos \theta = d$  ดังนั้น

$$V_B - V_A = \pm Ed \quad (7.6)$$

ถ้า C เป็นตำแหน่งที่อยู่ใต้จุด B ในแนวตั้งและอยู่ระดับเดียวกับ A ดังนั้น

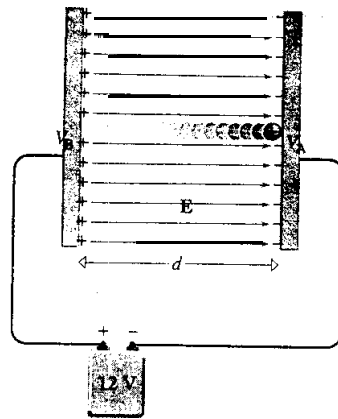
$$V_C - V_A = -Ed$$

และ  $V_B - V_A = V_C - V_A$

สรุปคือศักย์ไฟฟ้าที่ B เท่ากับที่ C และ แนว BC ตั้งฉากกับสนาม E ดังนั้น  $\Delta W = 0$  เพราะ

$F_{11} = 0$  เนื่องจาก  $E_{11} = 0$  ผลสรุปของกรณีนี้เป็นเช่นเดียวกับการเคลื่อนมวลในแนวนอน(บนผิวโลก) ซึ่งมีค่าแรงโน้มถ่วงเป็นศูนย์

ร่างภาพของกรณีดังกล่าวเสียใหม่ตามรูป 7.3 ซึ่งเริ่มต้นจากแผ่นคู่ขนานโลหะซึ่งห่างกัน  $d$  เมื่อต่อแบตเตอรี่ครบวงจร ย่อมก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าในช่วงห่างระหว่างแผ่นคู่ขนาน กรณีนี้  $\theta = 0$  หรือ  $180$  และ  $V_B - V_A = +Ed$  ส่วน  $V_A - V_B = -Ed$  ขั้วบวกของ



รูป 7.3 แผ่นโลหะคู่ขนาน วางห่างกัน  $d$  และต่อกับแบตเตอรี่ซึ่งสร้างสนาม  $E$

แบตเตอรี่ 12 v มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วลบและทำหน้าที่รักษาความต่างศักย์ระหว่างแผ่นคู่ขนานให้คงค่า 12 v รวมถึงการสร้างสนามในช่องระหว่างแผ่นคู่ขนานให้คงที่อยู่เสมอ

นอกจากแบตเตอรี่ตามตัวอย่างดังกล่าวแล้วยังมีอุปกรณ์อื่นที่ทำหน้าที่คล้ายกันคือ generators, fuel cells, solar cells, thermoelectric cells ฯลฯ

### 7.6 ศักย์ไฟฟ้าของประจุที่เป็นจุด

การเลือกศึกษาประจุเดี่ยวซึ่งเริ่มจากลักษณะของประจุเป็นจุดเพื่อนำไปสู่ความกระจ่างเกี่ยวกับแรง งาน สนามไฟฟ้า เป็นต้น เหตุผลคือง่ายในการทำความเข้าใจเบื้องต้น จากนั้นจึงศึกษาระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น

พิจารณาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากทรงกลมมีประจุ  $+Q$  ถ้าประจุ  $+q$  เคลื่อนอยู่ภายใต้อิทธิพลสนามดังกล่าว ให้เป็นจุด A และ B ซึ่งเป็นจุดใดๆในสนามไฟฟ้า ถ้า A อยู่สูงกว่า B และไม่อยู่ใน

แนวคิดซึ่งกันและกัน พลังงานศักย์ที่เกิดจากอาการของ +q ดังกล่าวคือ

$$\Delta PE = kqQ(1/r_B - 1/r_A)$$

หมายเหตุ เทียบกับกรณี gravitational-PE โดยมีมวลทรงกลม M ก่อสนามของแรงดึงดูดต่อมวล m ซึ่งแปรตำแหน่งจากระยะห่าง r เป็น R ดังนั้น

$$\Delta PE = GmM(1/R - 1/r)$$

จากคำจำกัดความ  $\Delta V = \Delta PE/q$

ดังนั้น  $V_B - V_A = kQ(1/r_B - 1/r_A)$  กรณีประจุเป็นจุด (7.7)

และการศึกษารายละเอียดต่อไปนั้นเริ่มพิจารณากรณีแรงดึงดูดโลกใหม่ ค่าพลังงานศักย์เป็นศูนย์ที่ระยะห่างอนันต์ (infinity) ดังนั้นใช้แนวคิดดังกล่าวนี้กับพลังงานศักย์ในเชิงไฟฟ้าบ้าง กล่าวคือ กำหนดให้  $r_A \rightarrow \infty$  ดังนั้น  $1/r_A \rightarrow 0$  เขียนสมการ (7.7) ใหม่เป็น

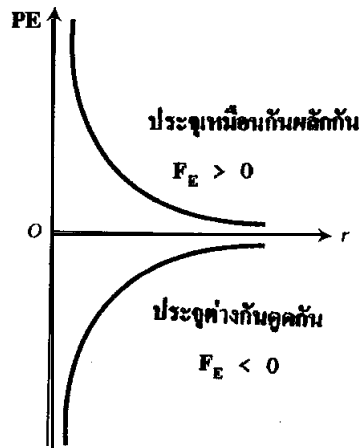
$$V_B - 0 = kQ(1/r_B - 0)$$

แต่มักเขียนในรูปทั่วไปเพื่อใช้บังคับค่าศักย์ไฟฟ้าในย่านของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากทรงกลมประจุบวก ณ ตำแหน่งใดๆคือ

$$V = kQ(1/r) \quad (7.8)$$

จากความสัมพันธ์  $W = \Delta V \cdot q$  หรือ  $W/q = \Delta V$  ถ้าใช้สมการ(7.8)อธิบายคือ ด้านขวาของสมการมีค่าเป็นงานต่อหน่วยประจุที่เกิดจากการเคลื่อนประจุ + q จากระยะอนันต์เข้าสู่ระยะห่าง R จากทรงกลมประจุบวก Q ซึ่งก่อสนามไฟฟ้า E

ในรูป 7.4 แสดงกราฟของพลังงานศักย์กรณีต่างๆเพื่อเข้าใจดีขึ้น



รูป 7.4 PE เทียบกับระยะห่าง r จากประจุเหมือนกัน(ผลักกัน)  $PE > 0$  และกรณีประจุต่างกัน  $PE < 0$

## 7.7 ไฟฟ้ากระแสตรง

กระแสไฟฟ้าที่ไหลตามลวดทองแดงนั้นแท้จริงแล้วเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจำนวนมากมายัง ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้านั่นเอง อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเช่น ตู้เย็น คอมพิวเตอร์ เครื่องทำน้ำอุ่น ฯลฯ ล้วนดึงพลังงานจากไฟฟ้าที่ไหลสู่อาคารบ้านเรือนตามสายไฟโดยผ่านทางปลั๊กไฟ นิยามของกระแสไฟฟ้าได้จากการกำหนดครณะนาบขึ้นมาซึ่งให้วางตั้งฉากกับกระแสของประจุบวก( เพื่อสะดวกในการเข้าใจควรรู้ถึงน้ำที่ไหลในสายขงทั่วไปซึ่งต่อกับก๊อกระปะปา) จากนั้นวัดปริมาณประจุ  $q$  ที่วิ่งผ่านระนาบดังกล่าวในเวลา  $\Delta t$  ถ้าให้ แทนกระแสไฟฟ้า ดังนี้

$$I = \Delta q / \Delta t \quad (7.9)$$

แต่กระแสไฟฟ้าไหลตลอดเวลา ดังนั้นจึงนิยามกำหนดขอบเขตของการวัดปริมาณ  $\Delta q$  ให้แคบลงอีก คือในช่วงเวลาสั้นๆหรือ  $\Delta t \rightarrow 0$  และเขียนสมการ(7.9)ใหม่เป็น

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta q / \Delta t) \quad (7.10)$$

หน่วยของกระแสไฟฟ้าคือแอมแปร์(ampere)หรือ amp เขียนย่อเป็น A โดยกระแส I amp นี้เป็นปริมาณประจุ I คูลอมบ์ที่ไหลใน 1 วินาที หรือ

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$

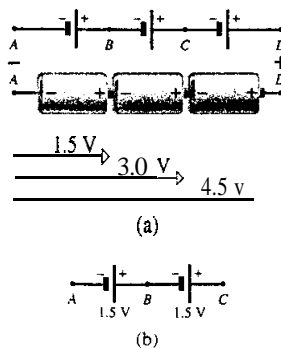
ในร่างกายมนุษย์ขณะออกกำลังกายจะมีกระแสไฟฟ้าประมาณหน่วยเป็น ไมโครแอมแปร์ ( $10^{-6} \text{ A} = 1 \mu\text{A}$ ) เกิดขึ้นในกระดูกและเนื้อเยื่อชนิดหนึ่งขงทั้งหลายและคาดว่าเป็นตัวการสำคัญที่รักษาสุขภาพของบรรดาอวัยวะดังกล่าว กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการอธิบายข้างต้นนั้นเกิดจากการไหล(หรือเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วไปในตัวนำ)ของอิเล็กตรอนจำนวนมากมายัง แท้จริงแล้วอิเล็กตรอนเป็นพาหะประจุชนิดหนึ่งที่มีประจุลบ พาหะประจุบวกเรียกว่า"โฮล"(hole) และกระแสไฟฟ้าในวงจรอาจเกิดจากพาหะประจุที่เป็นบวกหรือลบหรือทั้งสองชนิดก็ได้ ค่ากระแสไฟฟ้าจากมิเตอร์นั้นมีทิศทางเดียวกับประจุบวก(ซึ่งตรงข้ามกับของอิเล็กตรอน)

ขั้นต่อไปคือค้นหาเหตุที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะประจุ ย้อนพิจารณาน้ำในสายขงที่ต่อกับก๊อกรน้ำ ทันทีที่เปิดก๊อกร จากหลักของแรงดันน้ำจะทำให้น้ำประปะปาไหล เป็นไปในลักษณะเดียวกับการเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ซึ่งต้องอาศัยแหล่งขบให้พาหะประจุเคลื่อนที่ กรณีไฟฟ้ากระแสตรงนั้นแหล่งจ่ายไฟคือแบตเตอรี่ เซลล์ไฟฟ้า เป็นต้น เป็นที่ทราบกันดีว่าแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า เช่น ใช้หมุนมอเตอร์ก่อให้เกิดพลังงานกล กลไกการทำงานคือแบตเตอรี่แปลงพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ภายในให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ถ่านไฟฉายที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นเซลล์ไฟฟ้าเดี่ยว ถ่านนำหลายเซลล์ต่อกันจึงเรียกเป็นแบตเตอรี่ แต่ในชีวิตประจำวันมักเรียกแบตเตอรี่ว่าถ่าน เช่น ถ่านที่ใช้ในกล้องถ่ายรูป เป็นต้น การวัดโวลต์หรือแรงดันไฟฟ้านั้นต้องใช้มิเตอร์และถ่านเป็น"มัลติมิเตอร์"จะต้องเลือกว่าใช้วัดค่าอะไร กระแสตรงหรือกระแสลับ โดยทั่วไปถ่านขนาด AA,AAA ฯลฯ มักมีแถบทดสอบติดอยู่กับห่อบรรจุถ่าน สะดวกในการหาค่าโวลต์สำหรับผู้ใช้งานทั่วไป เซลล์ปรอท(

mercury cell ) มักใช้กับนาฬิกาและกล้องถ่ายรูปมีค่า 1.35 v แบตเตอรี่ของรถยนต์มีค่า 12 v ถ่านไฟประเภทชาร์จไฟได้คือนิกเกิลแคดเมียม( nickel cadmium ) หรือเรียกทั่วไปว่า “ นินแคด”( Nicad) มีค่า 1.2 v

ขั้วแบตเตอรี่ทั้งสองขั้วจะมีศักย์ไฟฟ้าค่าต่างกัน ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดแรงขับพาหะประจุให้เคลื่อนผ่านตัวกลางได้ดังอธิบายแล้ว เรียกแรงนี้ว่า “แรงเคลื่อนไฟฟ้า”( electromotive force ย่อเป็น emf) กล่าวได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขั้วทั้งสองของแหล่งจ่าย(ไฟตรง) กรณีที่ไม่มีการป้อนหรือดึงกระแสออกจากวงจรไฟฟ้า

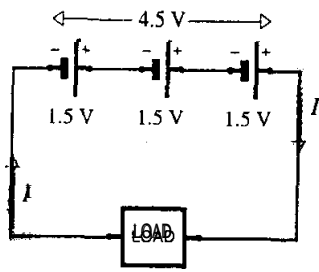
ถ้าต่อเซลล์หรือถ่านไฟฉายหลายๆก้อนด้วยกัน โดยขั้วบวกต่อกับขั้วลบเช่นเดียวกับกรณีไฟฉาย วิทยุ ฯลฯ ซึ่งต้องการแรงดันไฟฟ้าลัทธิเป็น 3 v, 4.5 v, 6 v, หรือ 9 v ดังแสดงในรูป 7.5 การต่อหลอดตัวนำระหว่างขั้วบวกและลบของเซลล์ใดๆครบรูปจะก่อไฟฟ้ากระแสตรงไหลในวงจรซึ่งมีปริมาณมากจนทำให้หลอดร้อนและอาจร้อนมากจนละลายได้ กำลังไฟฟ้าจากเซลล์ไม่ได้ถูกนำไปใช้ที่ไหน แต่ถ้าต่อโหลด(load) เช่น ดวงไฟ หรืออุปกรณ์อื่นๆจะสามารถใช้งานได้



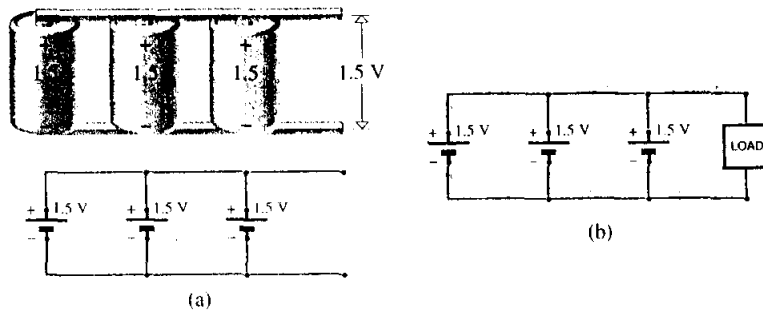
รูป 7.5 ต่อเซลล์อนุกรม ที่จุด D มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าที่ A 4.5 v

หมายเหตุ คำว่าไฟฟ้ากระแสตรง( direct current หรือ dc ) ได้จากการที่ประจุไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวตลอดเวลาใช้งาน

การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรมตามรูป 7.6 นั้นกระแสไฟฟ้าในวงจรซึ่งไหลผ่านแต่ละเซลล์มีค่าเท่ากัน สรุปได้ว่าการต่ออนุกรมจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าลัทธิเพิ่มมากขึ้นแต่กระแสคงเดิม ถ้าต่อเซลล์แบบขนานตามรูป 7.7 จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับค่าเดิมของแต่ละเซลล์ แต่กระแสเพิ่มมากขึ้นและค่าเท่ากับผลรวมของเอาท์พุทที่ได้จากแต่ละกิ่งย่อยของวงจร สรุปคือถ้าต้องการกระแสมากรแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำ ควรต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน ถ้าต้องการให้ทั้งกระแสและแรงดันมีค่ามากจะต้องต่อเซลล์แบบขนาน จากนั้นนำกลุ่มเซลล์ดังกล่าวต่ออนุกรมกัน



รูป 7.6 การต่อเซลล์แบบอนุกรม



รูป 7.7 การต่อเซลล์แบบขนาน

### 7.8 ความต้านทานไฟฟ้า

วัตถุทุกชนิดมีความต้านทานไฟฟ้า( electrical resistance ) เป็นสมบัติประจำอยู่แล้วตามธรรมชาติ ให้ R แทนความต้านทานไฟฟ้าและนิยามให้เป็นอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนวงจรและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

$$R = V / I \quad (7.11)$$

หน่วย ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม(ohm) แทนด้วยสัญลักษณ์  $\Omega$  โดยแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์และกระแสมีหน่วยเป็นแอมแปร์

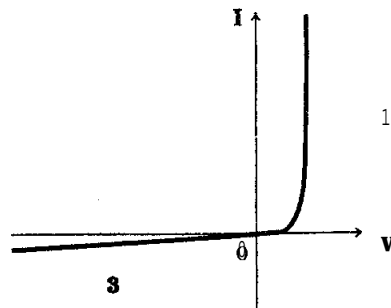
ค.ศ. 1827 จอร์จ ไชมอน โอห์ม( George Simon Ohm ) ได้เสนอออกมาว่า V และ I แปรผันเป็นสัดส่วน โดยตรงซึ่งกันและกัน

$$V \propto I$$

ให้ R เป็นค่าคงที่ของความสัมพันธ์ข้างต้น ดังนั้นเขียนเป็น

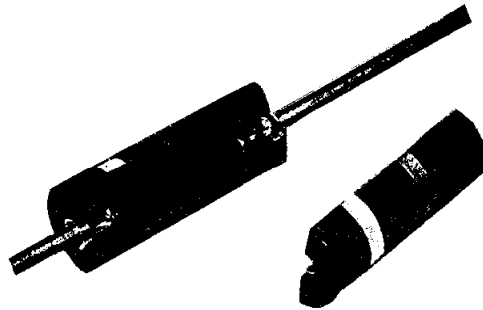
$$V = IR \quad \text{Ohm's law}$$

ถ้าคำนึงถึงกฎการคงตัว (conservative law) ของปริมาณต่างๆ ในสาขาฟิสิกส์ เช่น แรง พลังงาน โมเมนตัม เป็นต้น กรณีกฎของโอห์มจะเป็นไปตามนี้หรือไม่ ? คำตอบคือกฎของ โอห์มนั้นแตกต่างออกไป เช่น ไดโอดแบบสารกึ่งตัวนำมีความสัมพันธ์ของ  $V$  และ  $I$  ตามรูป 7.8 ซึ่งในควอแดรนต์ที่ 1 นั้นเมื่อป้อน  $V$  ในวงจรจะยังไม่มีกระแสใดๆ จน  $V$  ถึงค่าหนึ่งจึงเริ่ม มีกระแสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนควอแดรนต์ที่ 3 นั้นเปรียบเสมือนกระบอกเงาของควอแดรนต์ที่ 1 ข้อควรสังเกตคือกราฟดังกล่าวไม่เป็นเส้นตรง สรุปคือ กฎของการคงตัวใช้ไม่ได้กับการ ประพฤติตัวของปริมาณ  $V$  และ  $I$  ในไดโอด



รูป 7.8 กราฟแสดงลักษณะสมบัติของไดโอดกรณีได้รับไบแอสตรง(ควอแดรนต์ 1) และไบ แอสย้อนกลับ(ควอแดรนต์ 3)

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อทำหน้าที่ต้านปริมาณแรงดันไฟฟ้าเรียกเป็น ตัวต้านทาน (resistor) ใช้อักษรย่อเป็น  $R$  ตัวอย่างแสดงในรูป 7.9 เป็นตัวต้านทานซึ่งภายในบรรจุผงถ่าน ละเอียดและใช้อุปกรณ์ห่อหุ้มซึ่งมีลวดโลหะอยู่ทั้งสองปลายเพื่อต่อกับอุปกรณ์อื่น



รูป 7.9 แสดงส่วนประกอบหลักภายในตัวต้านทาน

กำลังและพลังงานไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์ที่สนใจเช่นกัน กำลังไฟฟ้า ( $P$ ) มีค่าเป็นผลคูณของ แรงดัน ไฟฟ้าและกระแส เขียนสมการเป็น

$$P = IV \quad (7.11)$$

หน่วย กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ ( watt , w )

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มองเห็นชัดเจนด้านทานชัดเจน เช่น เครื่องปิ้งขนมปัง เต้าไฟฟ้าแบบขดลวด เครื่องเป่าผม เป็นต้น ซึ่งพลังงานไฟฟ้าถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อน เพื่อเข้าใจและสามารถคำนวณพารามิเตอร์เกี่ยวกับกำลังไฟฟ้า ควรดูตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 7.1 เครื่องเป่าผมไฟฟ้าซึ่งใช้กับแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 v และใช้กำลังงาน 1500 w เครื่องเป่าผมนี้มีค่าความต้านทานเท่าใด

วิธี คำถามคือหาค่าความต้านทาน ต้องนึกถึงสมการความสัมพันธ์  $R = V / I$  แต่โจทย์ให้ค่า  $V = 220$  ,  $P = 1500$  w ดังนั้นต้องหาค่า I จาก

$$I = P / V = 1500 \text{ w} / 220 \text{ v} = 6.81 \text{ A}$$

$$\text{แทนค่า } R = 220 \text{ v} / 6.81 \text{ A} = 32.31 \text{ } \Omega$$

การใช้สมการอาจแปลงเพื่อใช้คำนวณค่าที่ต้องการ เช่น

$$P = IV = (V/R)V = V^2/R \quad (7.12)$$

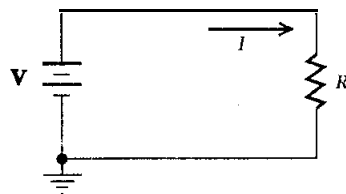
$$\text{หรือ } P = IV = I(IR) = I^2R \quad (7.13)$$

ทั้งสมการ ( 7.12 ) และ ( 7.13 ) ล้วนเป็นค่าของกำลังในรูปของ V และ R หรือ I และ R

กำลังไฟฟ้า หมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นจูล ( joule ) หรือ watt / second ซึ่งจะเป็นหน่วยเล็กมาก โดยทั่วไป ค่าที่เราต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้านครหลวงนั้นคิดเป็นปริมาณ กิโลวัตต์ - ชั่วโมง หรือเรียกทับศัพท์เป็น kilowatt - hour ( KWh ) โดย 1 KWh เป็นพลังงานที่ใช้ใน 1 ชั่วโมง ( =  $3.6 \times 10^3$  วัตินาที )

### 7.9 วงจรปิดและวงจรเปิด

คำว่าวงจรปิดหรือวงจรเปิดนั้นแตกต่างจากคำพูดทั่วไปเพื่อปิดหรือเปิดไฟ จากรูป 7.10 แสดงลักษณะวงจรไฟฟ้าที่ครบรูป(loop) แบตเตอรี่ v ส่งกระแส I ในวงจรซึ่งเคลื่อนที่ผ่านตัวต้านทาน R และเคลื่อนต่อไปที่ตำแหน่งกราวด์












รูป 7.10 ตัวอย่างวงจรครบรูปซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่ v และตัวต้านทาน R



กลไกที่ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรคือ แบตเตอรี่มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง จากรูปเห็นได้ว่าขั้วลบนั้นต่อกับกราวด์ ซึ่งหมายถึงดินหรือพื้นโลกนั่นเอง เนื่องจากการตกลงให้ ศิวโลกเป็นศักย์ไฟฟ้าที่อ้างอิงว่ามีค่าเป็นศูนย์ วงจรไฟฟ้านี้เป็นวงจรปิด และมีไฟฟ้ากระแสตรง ไหลในวงจร

วงจรเปิด หมายถึงมีบางส่วนหรือบางจุดของวงจรไม่สมบูรณ์ ดังนั้นข้อมไม่มีกระแสไฟฟ้า ในวงจรดังกล่าว

สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไป

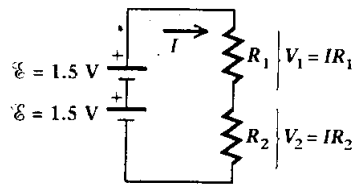
	ตัวจไฟฟ้า		ตัวต้านทาน
	แหล่งจ่ายสัญญาณกระแสสลับ		ไดโอด
	ตัวนำ		สวิตช์
	แบตเตอรี่		กราวด์
	ฟิวส์		

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าต้องอาศัยกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's law) ซึ่งเสนอไว้ 2 ข้อ ดังนี้

1. ผลรวมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าในวงจรปิดทั้งหมดมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งอาศัยหลักการคงตัวของพลังงาน กล่าวคืออนุภาคเคลื่อนออกจากจุดเริ่มต้นในวงจร จากนั้นย้อนกลับมาสู่จุดเดิมเมื่อเคลื่อนที่ครบรอบดังกล่าว จึงเรียกกฎนี้ว่า loop rule หรือ Kirchhoff's voltage rule
2. กระแสทั้งหมดที่เคลื่อนสู่จุดเชื่อมใดๆย่อมมีค่ารวมเป็นศูนย์ กฎนี้อาศัยหลักการคงตัวของประจุที่ตำแหน่งจุดเชื่อม ถ้าวงจรหนึ่งประกอบด้วยลูปเดียว ย่อมมีกระแสในวงจรค่าเดียวกันตลอด บางครั้งเรียกกฎนี้ว่า กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์หรือ junction rule

กฎทั้งสองนั้นใช้ประโยชน์ได้มากในการศึกษาความรู้พื้นฐานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสะดวกในการเข้าใจใช้รูป 7.11 อธิบายซึ่งแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อที่มีค่า emf ทำกันคือ 1.5 v และทิศทางเดียวกัน ดังนั้น ค่า emf ลัพธ์ = 1.5 + 1.5 = 3 v และตัวต้านทาน  $R_1$  ต่ออนุกรมกับ  $R_2$  จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ถ้าไม่คำนึงถึงการรั่วไหลใดๆในวงจร ถือได้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้วงจรย่อมเท่ากับ

ผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหนดในวงจรนั้น กำหนด  $v_1$  เป็นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม  $R_1$  และ  $v_2$  เป็นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม  $R_2$



รูป 7.11 แสดงวงจรปิดซึ่งแบตเตอรี่ 2 ตัวและความต้านทาน 2 ตัวล้วนต่อกันแบบอนุกรม

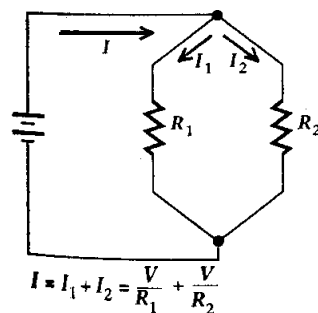
$$1.5v + 1.5v = v_1 + v_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$v = I(R_1 + R_2) \quad (7.14)$$

ด้านขวาของสมการ (7.14) แสดงว่ามีตัวต้านทานต่ออนุกรมกันอยู่ สรุปได้ว่าตัวต้านทานต่ออนุกรมกันผลรวมคือค่าความต้านทานแต่ละตัวรวมกัน

ถ้าต่อตัวต้านทานแบบขนานดังแสดงในรูป 7.12 เขียนสัญลักษณ์การที่  $R_1$  ต่อขนาน  $R_2$  เป็น  $R_1 // R_2$  จุดเชื่อมของความต้านทานทั้งสองคือ A และ B แบตเตอรี่  $v$  จ่ายกระแส  $I$  ในวงจร ซึ่งกระแสจะแยกไหลเมื่อเคลื่อนถึงจุด A ให้ไหลผ่าน  $R_1$  ด้วยค่า  $I_1$  และผ่าน  $R_2$  เป็น  $I_2$  เขียนสมการความสัมพันธ์เป็น

$$I = I_1 + I_2$$



รูป 7.12 วงจรอย่างง่าย ตัวต้านทานต่อแบบขนานกันสองตัว

วัตถุประสงค์คือต้องการหาค่าความต้านทานที่ต่อขนานกัน จาก

$$\begin{aligned}
 I &= V/R \\
 \text{ดังนั้น } V/R &= V/R_1 + V/R_2 \\
 1/R &= 1/R_1 + 1/R_2 \\
 \therefore R &= R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (7.15)
 \end{aligned}$$

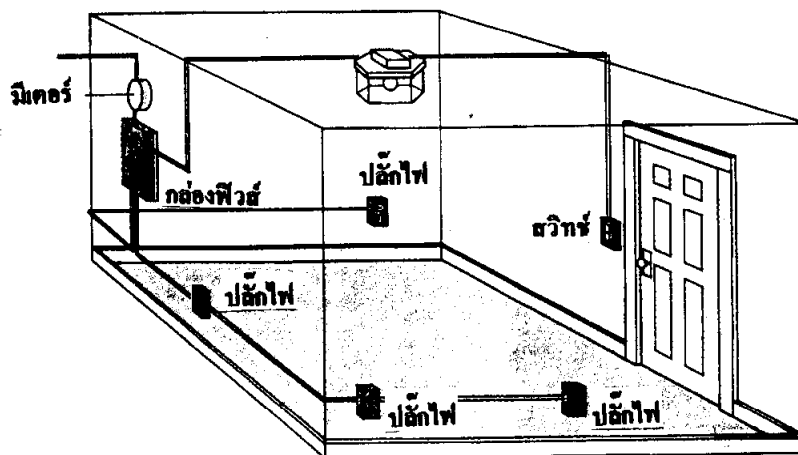
ถ้า R ทั้งสองมีค่าเท่ากัน ดังนั้นให้เป็น R

$$R = R/2$$

จากการคำนวณสรุปว่า ตัวต้านทานต่อขนานกัน ปริมาณแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน และถ้าตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน กระแสที่ไหลผ่านทุกตัวต้านทานมีค่าเท่ากัน

### 7.10 ไฟฟ้ากระแสสลับ

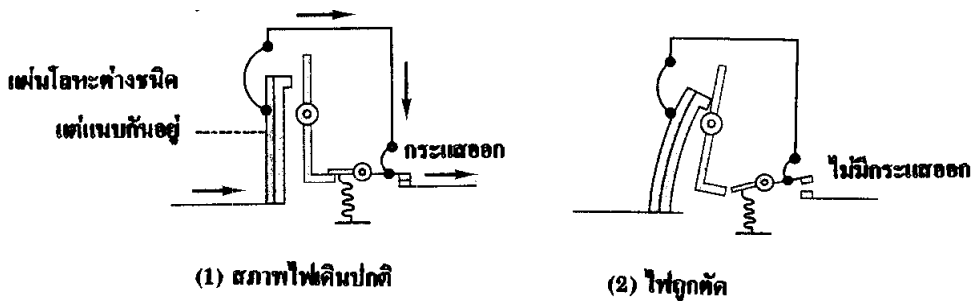
ตัวอย่างที่ได้อธิบายแล้วนั้นเป็นกรณีไฟฟ้ากระแสตรงหรือเรียกย่อเป็น dc (direct current) ไฟฟ้าในอาคารที่อยู่อาศัยทั่วไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรือเรียกย่อเป็น ac (alternated current) แหล่งจ่ายไฟฟ้าได้แก่บรรดาปลั๊กไฟ ตลอดจนดวงไฟนั้นล้วนต่อแบบขนานทั้งสิ้น อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องปิ้งขนมปัง เครื่องซักผ้า และดวงไฟ จัดเป็น โหลด(load) ไฟฟ้าทั้งสิ้น คำถามคือเพราะเหตุใดจึงไม่ต่อแบบอนุกรม ? เหตุผลคือการต่ออนุกรมนั้นถ้าเกิดอุปกรณ์หนึ่งในวงจรเสีย วงจรเปิด ไฟฟ้าไหลไม่ได้ สรุปคือบรรดาอุปกรณ์อื่นๆพลอยใช้ไม่ได้ไปด้วย แต่ถ้าต่อแบบขนาน กระแสไฟฟ้าสามารถแยกไหลสู่อุปกรณ์หนึ่งอย่างเอกเทศได้นั่นเอง ตัวอย่างการต่อสายไฟในบ้านแสดงในรูป 7.13



รูป 7.13 แผนภูมิแสดงแนวการต่อสายไฟฟ้าในบ้าน

สายไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านนั้นมีลวดทองแดง(เป็นตัวนำ)ร้อยอยู่ภายใน ที่เราจับถือนั้นเป็นฉนวนซึ่งปรากฏอักษรแสดงลักษณะสมบัติเฉพาะของสายไฟ เช่น สามารถทนไฟฟ้าได้ปริมาณสูงสุดเท่าใด เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิเท่าใด เป็นต้น ลวดทองแดงดังกล่าวจะถูกแรงค่าเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ขอมให้ผ่านได้และเหมาะสมกับฉนวนที่ใช้ห่อหุ้มสายลวดทองแดง เนื่องจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้านั้นก่อให้เกิดความร้อน ถ้ากระแสมากเกินไปกำหนดอาจเกิดไฟไหม้ได้ วิธีป้องกันวิธีหนึ่งคือติดตั้งอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อมีปริมาณมากเกินไปจนขีดกำหนด ง่ายสุดและนิยมใช้เพื่อป้องกันเบื้องต้นทั่วไปคือฟิวส์ หรืออาจเป็นวงจรตัดไฟ(มักเรียกทับศัพท์ว่า"เบรกเกอร์"(breaker)

ฟิวส์ที่ใช้มักเป็นลวดหรือแถบโลหะซึ่งละลายถ้าความร้อนเกิดมากๆ กรณีไฟฟ้าผ่านปกติ นั้นฟิวส์ทำหน้าที่เป็นตัวนำ แต่เมื่อละลายแล้วจะก่อช่องว่างเรียกว่า"แอร์แกป"(air gap) ในวงจรเรียกทั่วไปว่าเกิดฟิวส์ขาด วิธีแก้คือต้องเปลี่ยนฟิวส์ ปัจจุบันนิยมติดตั้งเบรกเกอร์ซึ่งแสดงตัวอย่างการทำงานอย่างง่ายในรูป 7.14

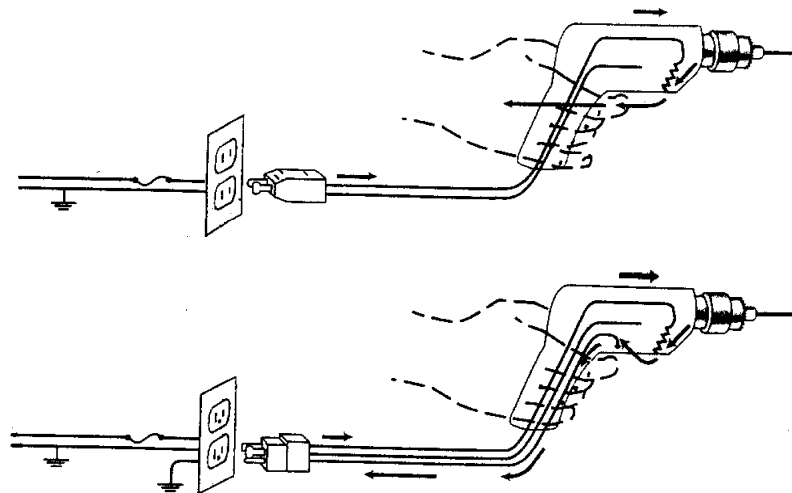


รูป 7.14 กลไกการตัดกระแสไฟฟ้าในเบรกเกอร์

อุปกรณ์ในรูปใช้หลักเทอร์มัลแมกเนติก (thermal magnetic) ภายในมีโลหะสองแผ่นซึ่งผลิตจากโลหะต่างชนิดกัน ถ้าความร้อนที่เกิดมากเกินไปจนเกินที่จะส่งผลให้โลหะขยายตัวไม่เท่ากัน ผลคือแผ่นโลหะดังกล่าวโค้งงอและดันขั้วไฟฟ้าให้แยกออกจากจุดเชื่อมในวงจร เกิดสภาพวงจรเปิดจึงไม่มีกระแสไหล และสภาพดังกล่าวนี้จะคงเป็นไปตลอดจนกว่าจะได้รับการแก้ไขเพื่อใช้งานใหม่อีกครั้ง โดยทั่วไปมักกำหนดให้เป็นการโยกหรือกดปุ่ม on สิ่งต่างจากฟิวส์คือสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่า ถ้าฟิวส์ขาดจะต้องเปลี่ยนทันที-ไม่สามารถใช้ฟิวส์เก่าได้ อย่างไรก็ตาม ทุกครั้งที่เกิดการตัดไฟควรตรวจสอบสาเหตุก่อนจะทำให้ไฟเดินเช่นเดิม เช่น เต้าไฟฟ้าเป็นสาเหตุ ควรถอดปลั๊กไฟก่อน เป็นต้น

มาตรฐานปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารทั่วไปมักมีขนาด 5A, 15A, 30A หมายถึงไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารดังกล่าวสามารถใช้ได้ในเวลาเดียวกันได้ 15, 45, 90 A ตามลำดับ ปริมาณแอมแปร์อ่านได้จากฉลากที่ติดอยู่หลังเครื่อง แต่บางเครื่องอาจบอกเป็นวัตต์ เช่น พัดลมตั้งพื้นขนาดใบพัด 12 นิ้ว ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220v กำลังไฟฟ้า 45 w กระแสไฟฟ้า 0.25 A เป็นต้น แต่หลอดไฟฟ้าทั่วไปมักแจ้งค่าเป็นกำลังไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ 60 w อยากรหาว่าใช้ไฟฟ้ากี่แอมแปร์ สามารถหาค่ากระแส I โดยใช้ความสัมพันธ์  $P = IV$  แทนค่า  $P = 60 \text{ w}$  และ  $V = 220 \text{ v}$  ดังนั้น  $I = 0.27 \text{ A}$  อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทใช้ไฟฟ้าไม่เท่ากันสำหรับงานที่แตกต่างกัน เช่น กระจกค้ำน้ำไฟฟ้า ขณะทำการค้ำใช้ไฟ 700 w ( คำนวณกระแสไฟได้ 3.18 A ) แต่ขณะรักษาอุณหภูมิหรือเรียกว่าอุ่นน้ำจะใช้ไฟ 30 w ( กระแสไฟ 0.14 A ) สิ่งที่ต้องคำนึงคือ ถ้าใช้น้ำร้อนค่อนข้างบ่อย ไม่ควรถอดปลั๊กไฟเพราะการค้ำใหม่แต่ละครั้งใช้ไฟฟ้ามากกว่า

เครื่องไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ามักมีปลั๊กสามขา ซึ่งขาที่สามเป็นกราวด์ คือต่อกับสายดิน สายตัวนำภายในที่เป็นกราวด์จะต่อกับแท่งทองแดงหรืออลูมิเนียม ( เรียกว่า ground rod ) ซึ่งถูกฝังลึกลงในดินประมาณ 1-2 เมตร ตัวอย่างแสดงในรูป 7.15 ถ้าเกิดกระแสรั่วและรูปบนไม่มีการต่อลงดิน กระแสที่รั่วจะไหลสู่ผู้ที่จับอุปกรณ์ไว้ ส่วนรูปล่างนั้นต่อลงดิน กระแสไฟที่รั่วจึงไหลสู่สายดินแทน ผู้ใช้จะปลอดภัยกว่า



รูป 7.15 ส่วนไฟฟ้าที่ไม่ต่อกราวด์(รูปบน)กับกรณีต่อกราวด์(ล่าง)

การถูกไฟฟ้าดูดอาจเกิดช็อคและมีอาการต่างๆออกไป ขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ตัวคนใช้ จากการติดตามผลเนื่องจากกระแสไฟฟ้าดูดสรุปได้ดังนี้

กระแสไฟฟ้า 0.5 A	เกิดการไหม้อย่างรุนแรง
0.1-0.2 A	ตาย
0.05-0.1A	หยุดหายใจ
0.02-0.05A	กล้ามเนื้อเกิดอัมพาต-ช็อคอย่างแรง
0.01-0.02A	ช็อค-เจ็บปวด
0.005-0.01A	รู้สึกเล็กน้อย
0.001-0.005A	ขีดต่ำสุดที่รู้สึกได้

ร่างกายมนุษย์มีความต้านต่อกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากันและไม่เป็นค่าตายตัว ขึ้นกับองค์ประกอบปลีกย่อย โดยทั่วไป ผิวหนังแห้งมีความต้านกระแสไฟฟ้าประมาณ 500 กิโลโห์ม แต่ผิวหนังเปียกจะมีความต้านประมาณ 500 โหห์มเท่านั้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับแนวทางการไหลของกระแสไฟฟ้าภายในร่างกาย เช่น จากนิ้วมือเข้าสู่แขน อาจรู้สึกแปลบปลาบเล็กน้อย แต่ถ้ากระแสปริมาณเดิมนี้เข้าสู่บริเวณหน้าอก อันตรายจะมากกว่าหลายเท่า ผลที่ร่างกายได้รับกระแสไฟฟ้านั้นแยกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. ส่งความร้อนมากจนถึงขั้นเกิดการไหม้
2. ระวังการทำงานของระบบประสาทและหัวใจ
3. อาจก่อให้เกิดกล้ามเนื้อกระตุกโดยไม่สามารถบังคับได้

กระแสไฟฟ้าต่ำๆประมาณ 20 mA อาจทำให้หายใจลำบาก ถ้า 75 mA อาจหยุดหายใจ ถ้าค่าประมาณ 100-200 mA จะทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจกระตุกซึ่งส่งผลให้โลหิตที่ถูกบีบออกจากหัวใจไม่เป็นจังหวะปกติ ถ้ายิ่งค่าสูงมากขึ้นๆอาจทำให้หัวใจหยุดเต้นได้โดยสมบูรณ์ วิธีการรักษาที่ดีที่สุดคือการป้องกัน ก่อนใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆควรอ่านรายละเอียดที่แนบมาให้ดีก่อนเสมอ ถ้าต้องการซ่อมเครื่องไฟฟ้าควรตัดไฟก่อนที่จะแตะหรือเปิดเครื่อง

### สรุป

1. แรงแปรค่าผกผันกับระยะห่างยกกำลังสองเสมอ
2. แรงแหวนประจุไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของโลกมากหลายเท่า
3. นิยามต่างๆที่ควรทราบคือ

$$I = \Delta q / \Delta t$$

$$W = qv$$

$$R = V / I$$

$$P = IV = V^2 / R = I^2 / R$$

ตัวต้านทานต่ออนุกรม  $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

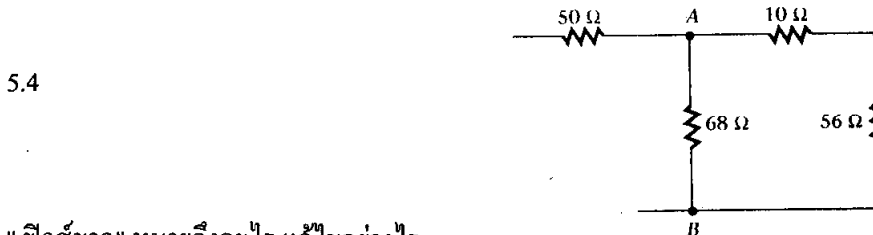
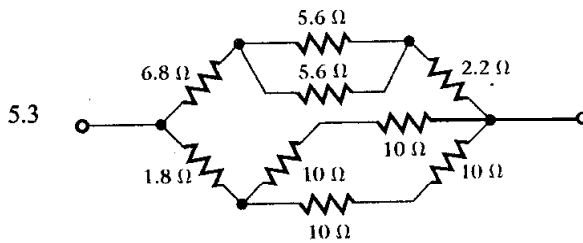
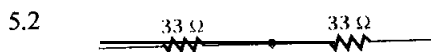
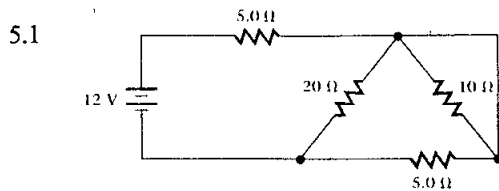
ตัวต้านทานต่อขนาน  $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$

ค่าที่ควรทราบความหมายคือ :

แบตเตอรี่	วงจรปิด
วงจรเปิด	แอมแปร์
ไฟกระแสตรง	โอห์ม
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	ความต้านทาน
กฎของโอห์ม	กฎของเคอร์ชอฟฟ์

แบบฝึกหัดบทที่ 7

1. อิเล็กโทรสโคปคืออะไร หลักการทำงานเป็นเช่นไร และใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
2. กฎของคูลอมบ์ถือว่าประจุไฟฟ้ามีลักษณะเป็นจุดเพราะเหตุใด
3.  $F$  แปรตาม  $1/r^2$  หมายความว่าอย่างไร
4. แรงระหว่างประจุเมื่อเทียบกับแรงดึงดูดของโลกจะมีค่าอย่างไร นักศึกษาคิดว่าเพราะเหตุใด
5. จงคำนวณความต้านทานลัพธ์ในวงจรต่อไปนี้



6. "ฟิวส์ขาด" หมายถึงอะไร แก้ไขอย่างไร

7. การต่อสายดินมีประโยชน์อย่างไร
8. เหตุใดผิวหนังเปียกจึงมีความต้านกระแสไฟฟ้าน้อยลง
9. การทราบค่าความนำหรือความต้านทานไฟฟ้านั้นมีประโยชน์อย่างไรกับเทคโนโลยียุคปัจจุบัน
10. จากความรู้เรื่องสนามไฟฟ้านั้นเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนกรณีใช้โทรศัพท์มือถืออย่างไร

#### เอกสารอ้างอิง

1. ละออทิพย์ ชนะชัย อีเล็กทรอนิกส์ 2 กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2541
2. Jones, Edwin R., and Richard L. Childers Contemporary College Physics Addison-Wesley Publishing Co. Inc. 1993