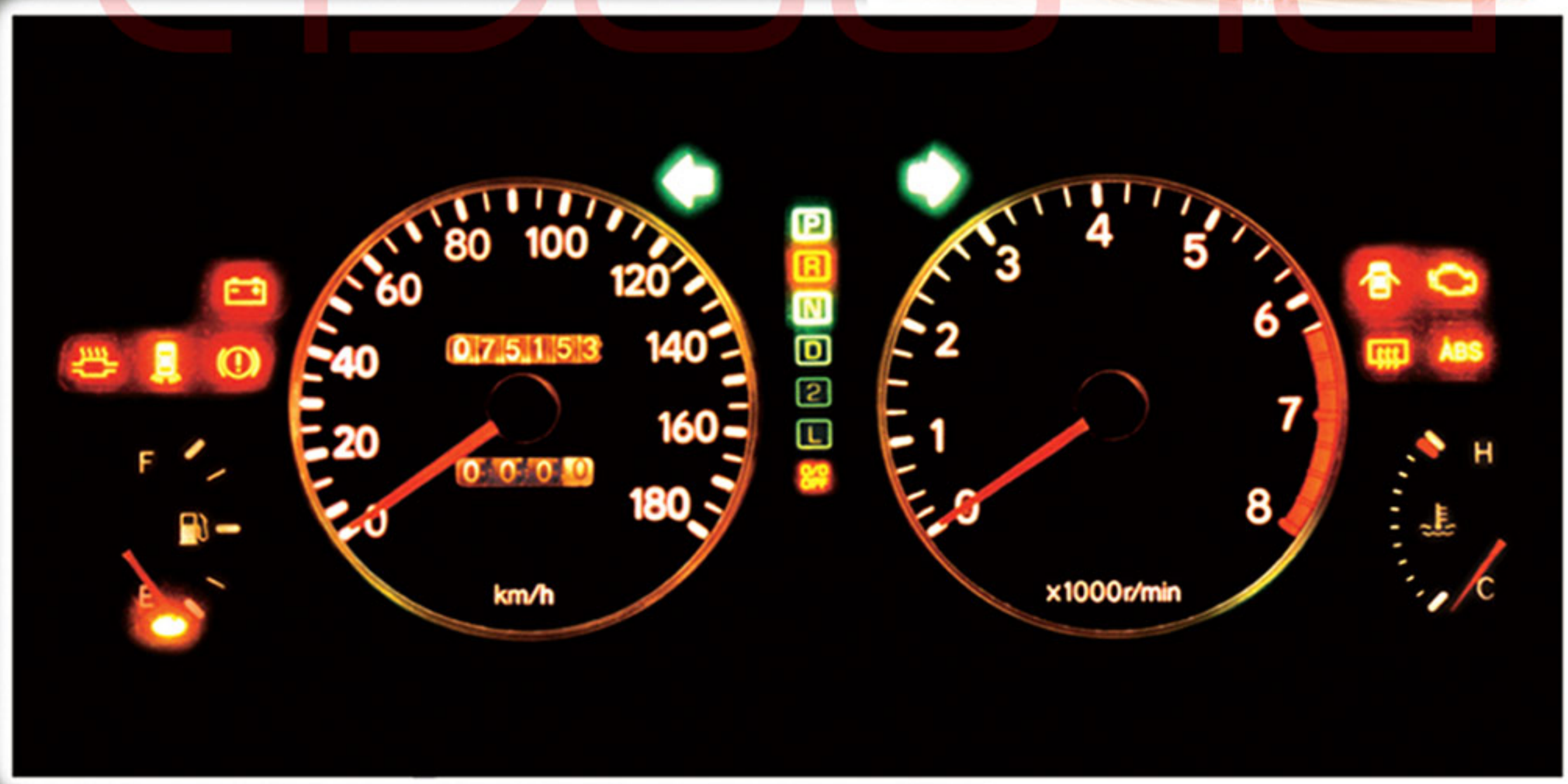
ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ 1

ตรงตามหลักสูตร
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
พ.ศ. 2545 กรมอาชีวศึกษา



โดย... นพดล เวชวิฐาน

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

S-Unit, ไฟฟ้าในรถยนต์ 1

โดย

นพดล เวชวิฐาน

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

140.-

ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ 1

โดย นพดล เวชวิฐาน

ราคา 140 บาท

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤษภาคม 2545
พิมพ์ครั้งที่ 2 เมษายน 2546
พิมพ์ครั้งที่ 3 พฤศจิกายน 2546
พิมพ์ครั้งที่ 4 เมษายน 2548
พิมพ์ครั้งที่ 5 พฤษภาคม 2552
พิมพ์ครั้งที่ 6 กรกฎาคม 2553

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

นพดล เวชวิฐาน.
ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ 1. - - กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
184 หน้า.
1. รถยนต์ - - เครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้า. I. ชื่อเรื่อง.

629.254
ISBN 974-8329-65-8

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดย สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
ห้ามลอกเลียนไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

5-7 ซอยสุขุมวิท 29 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทร. 0-2258-0320 (6 เลขหมายอัตโนมัติ), 0-2259-9160 (10 เลขหมายอัตโนมัติ)
เสนองานเขียน • งานแปลได้ที่ www.tpa.or.th/publisher/new
ติดต่อสั่งซื้อหนังสือได้ที่ www.tpabookcentre.com

พิมพ์ด้วยระบบ Digital Printing โดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์

"ถ้าหนังสือมีข้อผิดพลาดเนื่องจากการพิมพ์ ให้นำมาแลกเปลี่ยนได้ที่สมาคมฯ" โทร. 0-2258-0320, 0-2259-9160 ต่อ 1560, 1570

■ **บรรณาธิการบริหาร** ทวิยา วัณณะวิโรจน์ **หัวหน้ากองบรรณาธิการ** แทนพร เลิศวุฒิภัทร **บรรณาธิการ** สุนีนุช อร่ามพจมาน, รินดา คันธวร, พรรณพิมล กิจไพฑูรย์, อังคณา อรรถพงศ์ธร **ออกแบบปก** ภาณุพันธ์ โนวยุทธ **ออกแบบรูปเล่ม** อรุณศรี ศุขจิตต์, ประเทือง คชเสนีย์, รัชชนก ศุภศรี

คำนำนายกสมาคม

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 ด้วยความร่วมมือร่วมใจของกลุ่มบุคคลที่ได้ผ่านการศึกษาระดับต่าง ๆ จากประเทศญี่ปุ่น โดยได้รับความร่วมมือทางด้านทุนทรัพย์บางส่วนจาก The Japan-Thailand Economic Cooperation Society (JTECS) เพื่อใช้จ่ายในการดำเนินงานกิจกรรมของสมาคมฯ ซึ่งประกอบด้วย ฝ่ายธุรกิจสิ่งพิมพ์ ส.ส.ท. ฝ่ายโรงเรียนภาษาและวัฒนธรรม ฝ่ายพัฒนาธุรกิจการศึกษาและสิ่งพิมพ์ ฝ่ายการศึกษาและฝึกอบรม ฝ่ายพัฒนาและส่งเสริมอุตสาหกรรม ฝ่ายพัฒนาและจัดการความรู้ ฝ่ายบริการสอบเทียบและวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม ฝ่ายวินิจฉัยและให้คำปรึกษาสถานประกอบการ และฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งแต่ละฝ่ายจัดดำเนินการโดยสมาชิกของสมาคมฯ ทำหน้าที่เป็นคณะที่ปรึกษารับผิดชอบบริหารงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย

สำหรับฝ่ายธุรกิจสิ่งพิมพ์ ส.ส.ท. โดยแผนกตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม มีนโยบายพื้นฐานคือ การส่งเสริมและเร่งรัดให้มีการจัดพิมพ์หนังสือตำราทางเทคโนโลยีทุกประเภท รวมถึงหนังสือทางด้านการบริหารจัดการธุรกิจ อุตสาหกรรม ทั้งที่เป็นงานแปลโดยตรง งานแปลเรียบเรียง งานถอดความ งานรวบรวม งานแต่ง และงานสำรวจวิจัยทางด้านอุตสาหกรรม โดยที่สมาคมฯ มีความเห็นว่าหนังสือตำราภาษาไทย โดยเฉพาะในระดับอาชีวศึกษาแขนงวิชาเทคโนโลยีต่าง ๆ ยังมีอยู่ในปริมาณจำกัด ไม่พอเพียง ถ้าส่งเสริมให้มีหนังสือเช่นนี้เพิ่มขึ้น ย่อมมีส่วนช่วยยกระดับมาตรฐานการศึกษาทางเทคโนโลยีให้สูงขึ้นและแพร่หลายขึ้นโดยปริยาย อีกทั้งยังช่วยสร้างสรรค์ปัญญา ความคิดริเริ่ม และความรู้ความเข้าใจอันถูกต้อง ซึ่งจะเป็นการปูรากฐานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยเป็นประโยชน์แก่สังคมอุตสาหกรรมโดยส่วนรวม

ปัจจุบัน สมาคมฯ ยังคงมีเจตนารมณ์อันแน่วแน่ที่จะขยายงานทุก ๆ ฝ่ายต่อไปอย่างไม่หยุดยั้ง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าด้วยเจตนาอันบริสุทธิ์ของสมาคมฯ ในการดำเนินกิจการที่มิใช่การแสวงหาผลกำไร หากมุ่งมั่นที่จะให้นักศึกษาและประชาชนได้มีโอกาสซื้อหาหนังสือตำราในราคาย่อมเยาเช่นนี้คงเกิดประโยชน์แก่สังคมส่วนรวมทั้งในทางตรงและทางอ้อม และหากสถาบันการศึกษาใดต้องการใช้ส่วนหนึ่งส่วนใดเพื่อใช้ประกอบการศึกษา ทางสมาคมฯ ก็มิได้ขัดข้อง แต่ใคร่ขอให้ทำเรื่องขออนุญาตต่อทางสมาคมฯ ก่อน

อนึ่ง สมาคมฯ ใคร่ขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อผู้เขียนและคณะผู้จัดทำที่ได้พากเพียรจนทำให้ตำราชุดนี้สำเร็จขึ้นมาได้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

(ศ.กิตติคุณ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

นายกสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

คำแถลงของสำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. โดยแผนกตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม วิวัฒนาการมาจากโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม ซึ่งแต่เดิมใช้ชื่อว่า โครงการตำรา ซึ่งจัดตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2516 พร้อม ๆ กับการก่อตั้งสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) โดยมุ่งหวังที่จะให้มีตำราทางด้านวิทยาการต่าง ๆ ทั้งในระดับอาชีวศึกษาและประชาชนทั่วไป เพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางด้านช่างที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้

ในระยะแรกนั้น ตำราที่ผลิตโดยโครงการตำรา ส่วนใหญ่จะเป็นหนังสือแปลจากต้นฉบับภาษาญี่ปุ่น ต่อมาจึงได้ขยายขอบข่ายของการจัดพิมพ์ครอบคลุมไปถึงงานแปลและเรียบเรียงจากต้นฉบับภาษาอื่น งานเรียบเรียง-เขียนตำราจากประสบการณ์ของผู้ชำนาญในแต่ละสาขา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาจารย์จากสถาบันการศึกษา

ต่อมาในระยะ 4-5 ปี หลังจากการก่อตั้งสมาคมฯ โครงการตำราได้วิวัฒนาการเป็นโครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม และเป็นส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2539 พร้อม ๆ กับการขยายขอบข่ายหนังสือที่จัดพิมพ์เพิ่มเติม ได้แก่ หนังสือทางด้านการบริหารจัดการธุรกิจ การบริหารจัดการคุณภาพ และอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การดำเนินงาน

โดยที่หนังสือที่จัดพิมพ์โดยสมาคมฯ ได้รับการต้อนรับเป็นอย่างดีจากนักศึกษาและประชาชนทั่วไป ทางสมาคมฯ จึงใคร่ขอเชิญชวนให้ผู้เชี่ยวชาญในวงการอุตสาหกรรม และสถาบันการศึกษาได้ช่วยกันเขียน-เรียบเรียงหนังสือทางด้านเทคนิคอุตสาหกรรมและอื่น ๆ ให้แพร่หลายยิ่งขึ้น โดยสมาคมฯ ยินดีให้การสนับสนุนในด้านการจัดพิมพ์

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. ขอขอบคุณท่านผู้เขียน-เรียบเรียงและเจ้าหน้าที่ของสมาคมฯ ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการจัดพิมพ์หนังสือเล่มนี้ และหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ และหากท่านผู้อ่านมีข้อชี้แนะประการใดขอได้โปรดแจ้งให้ทางสำนักพิมพ์ทราบด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

คำนำ

ตำรา “ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ 1” เล่มนี้ เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนภาคทฤษฎีวิชา *งานไฟฟ้ารถยนต์* ของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) หรือผู้อ่านที่มีความสนใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในรถยนต์ ภายในจะประกอบด้วยเนื้อหาเรื่องต่าง ๆ คือ

เนื้อหาในบทที่ 1 เป็นหลักการเกี่ยวกับไฟฟ้าเบื้องต้นที่ควรทราบเพื่อใช้เป็นพื้นฐานก่อนการเรียนรู้เรื่องระบบไฟฟ้าในรถยนต์ หากผู้อ่านหรือผู้เรียนมีความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าเบื้องต้นดีแล้วก็สามารถข้ามไปศึกษาในบทต่อไปได้เลย

เนื้อหาในบทที่ 3 - 10 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ หลักการทำงาน และวงจรควบคุมของระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เป็นระบบไฟฟ้าพื้นฐานในรถยนต์ ตั้งแต่ แบตเตอรี่ ฟิวส์ รีเลย์ ระบบประจุไฟ ระบบสตาร์ต ระบบจุดระเบิด ระบบไฟแสงสว่าง ระบบไฟเลี้ยวและไฟฉุกเฉิน ระบบปัดน้ำฝน และระบบไฟฟ้ามาตรวัดต่าง ๆ

เนื้อหาที่เขียนในตำรานี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่มีอยู่ในรถยนต์ ที่ผู้เขียนเห็นว่า มีปริมาณของเนื้อหาเหมาะสมกับนักศึกษาระดับ ปวช. ยังมีระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง เช่น ระบบควบคุมกระจกหน้าต่างไฟฟ้า ระบบควบคุมการล็อกประตู ระบบควบคุมกระจกมองข้าง ระบบไล่ฝ้ากระจกหลัง ระบบจุดระเบิดควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ระบบประจุไฟแบบใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ ฯลฯ เนื่องจากมีเนื้อหาค่อนข้างมาก และบางส่วนเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งอาจยากไปสำหรับนักศึกษาช่างยนต์ ระดับ ปวช. ที่ยังไม่เคยเรียนมาก่อน ผู้เขียนจึงแยกเนื้อหาระบบไฟฟ้าต่าง ๆ เหล่านี้ไว้ในตำราอีกเล่มหนึ่ง นักศึกษาหรือผู้อ่านสามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้ในตำรา ***“ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ 2”***

ตำราเล่มนี้ ผู้เขียนหวังว่าคงจะช่วยให้นักศึกษาหรือผู้อ่านมีความเข้าใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในรถยนต์ได้ดีขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพได้บ้างในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามคงต้องมีการฝึกปฏิบัติควบคู่ไปด้วย

นพดล เวชวิฐาน

สารบัญ

บทที่ 1 หลักการไฟฟ้าเบื้องต้น **1**

1.1 ทฤษฎีอิเล็กตรอน 1
1.2 ตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า 3
1.3 ชนิดของไฟฟ้า 3
1.4 ชนิดของไฟฟ้ากระแส 4
1.5 แม่เหล็ก 6
1.6 การเหนี่ยวนำไฟฟ้า 12
1.7 ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ 13
1.8 หลักการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ 15
1.9 ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 21
1.10 หลักการกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 22
1.11 การเหนี่ยวนำตัวเองและการเหนี่ยวนำร่วม 29
1.12 หลักการมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 31
1.13 หน่วยวัดทางไฟฟ้า 37
1.14 กฎของโอห์ม 37

บทที่ 2 ระบบไฟฟ้าในรถยนต์ **39**

บทที่ 3 แหล่งจ่ายพลังงาน **53**

3.1 แบตเตอรี่ 53
3.2 สวิตช์จุดระเบิด 63
3.3 รีเลย์ 64

3.4 ฟิวส์ 67
3.5 เซอร์กิตเบรกเกอร์ 68
3.6 กล่องรีเลย์และฟิวส์ 68
3.7 วงจรจ่ายพลังงาน 70

บทที่ 4 ระบบประจุไฟ 71

4.1 ส่วนประกอบของระบบประจุไฟ 71
4.2 อัลเทอร์เนเตอร์ 72
4.3 เรกูเลเตอร์ 78

บทที่ 5 ระบบสตาร์ต 87

5.1 มอเตอร์สตาร์ต 88
5.2 การทำงานของระบบสตาร์ต 92
5.3 รีเลย์สตาร์ต 94

บทที่ 6 ระบบจุดระเบิด 97

6.1 ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาหรือแบบใช้หน้าทองขาว 97
6.2 คอยล์จุดระเบิด 98
6.3 จานจ่าย 100
6.4 หลักการทำงานของระบบจุดระเบิดแบบใช้หน้าทองขาว 101
6.5 ระบบจุดระเบิดแบบใช้หน้าทองขาว (แบบใช้คอยล์ที่มีตัวต้านทานต่อร่วม) 103

บทที่ 7 ระบบไฟแสงสว่าง 107

7.1 ไฟหน้า ไฟท้าย และไฟหรี่ 107
7.2 ไฟส่องสว่างในห้องผู้โดยสาร 113

บทที่ 8 ระบบไฟสัญญาณ **117**

8.1 ไฟเลี้ยวและไฟฉุกเฉิน 117
8.2 ไฟเบรก 124
8.3 ไฟถอยหลัง 127
8.4 แตร 129

บทที่ 9 ระบบปัดน้ำฝนและฉีดน้ำล้างกระจก **133**

9.1 มอเตอร์ปัดน้ำฝน 134
9.2 สวิตช์ควบคุมตำแหน่งการหยุดของใบปัดน้ำฝน 138
9.3 สวิตช์ควบคุมมอเตอร์ปัดน้ำฝนและฉีดน้ำล้างกระจก 139
9.4 ปั๊มน้ำฉีดกระจก 143
9.5 วงจรควบคุมมอเตอร์ปัดน้ำฝนและปั๊มน้ำฉีดกระจก 144

บทที่ 10 ระบบไฟฟ้ามาตรวัด **149**

10.1 มิเตอร์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 150
10.2 มิเตอร์วัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 153
10.3 หลอดไฟเตือนระดับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 157
10.4 มิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 159
10.5 หลอดไฟเตือนน้ำมันเครื่อง 162
10.6 มิเตอร์วัดความดันน้ำมันเครื่อง 164
10.7 หลอดไฟเตือนเบรกมือทำงานและน้ำมันเบรกต่ำ 168
10.8 หลอดไฟบอกตำแหน่งเกียร์อัตโนมัติ 171
10.9 วงจรไฟฟ้าแผงมิเตอร์รวม 173

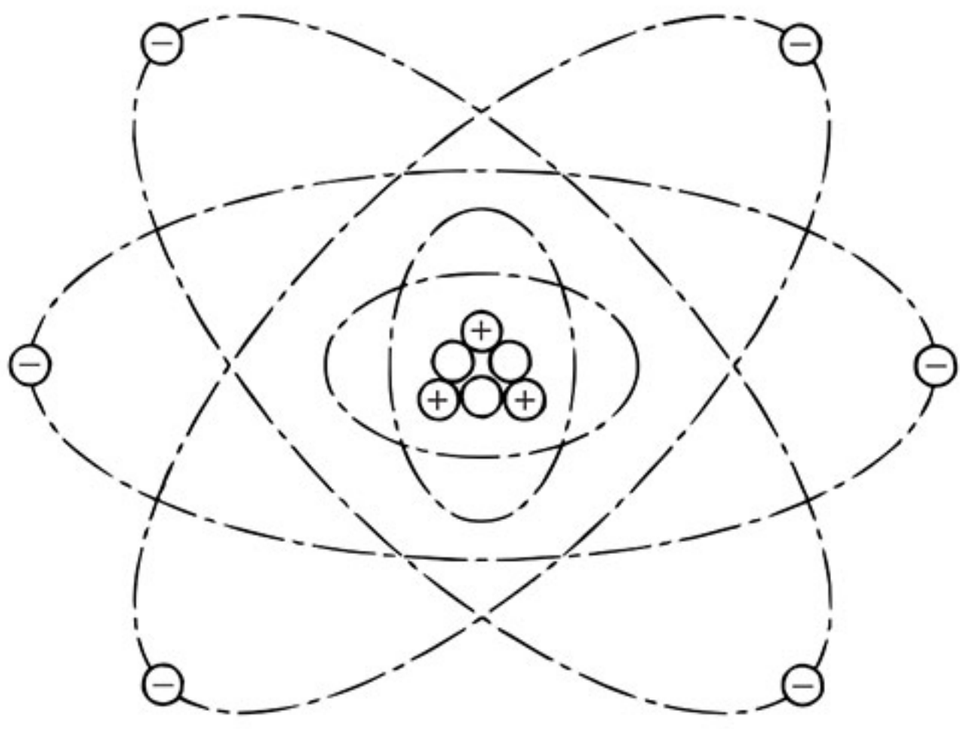
บรรณานุกรม **174**

หลักการไฟฟ้าเบื้องต้น

เนื่องจากในรถยนต์ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น แบตเตอรี่ มอเตอร์สตาร์ต ไดชาร์จ มอเตอร์เครื่องปัดน้ำฝน ฯลฯ ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าในรถยนต์สามารถทำได้ง่าย และเข้าใจได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น ควรต้องทราบถึงหลักการเบื้องต้นทางไฟฟ้าก่อน ดังนี้

1.1 ทฤษฎีอิเล็กตรอน

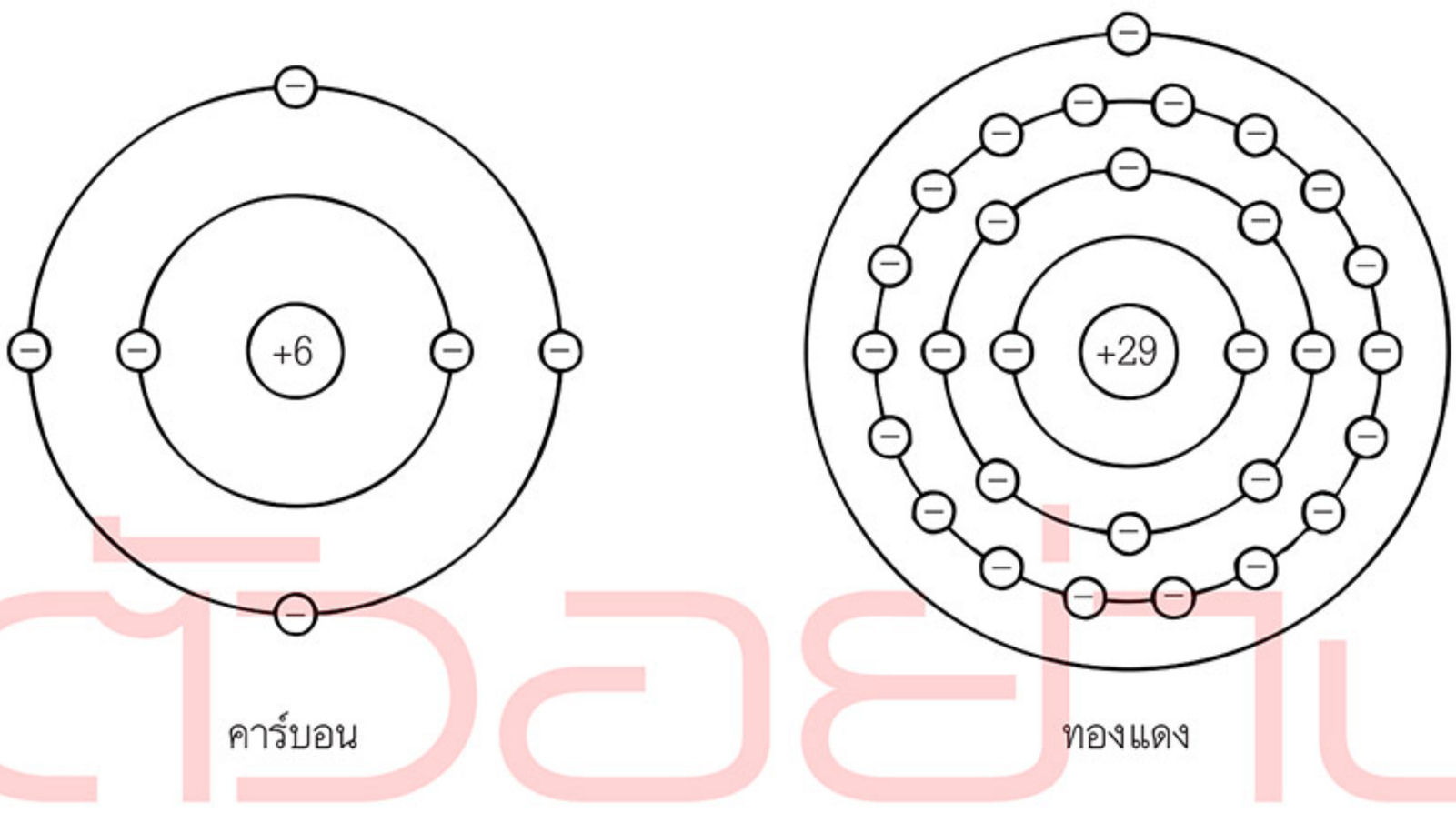
หากนำสสารมาแบ่งย่อยให้มีขนาดเล็กลงไปเรื่อย ๆ สสารจะประกอบไปด้วยโมเลกุลจำนวนมาก รวมตัวกัน และโมเลกุลก็จะประกอบด้วยอะตอม (atom) ซึ่งเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของสสารรวมตัวกัน โครงสร้างของอะตอม ในหนึ่งอะตอมจะประกอบด้วยประจุไฟฟ้า 2 ชนิด คือ ประจุไฟฟ้าลบ ที่เรียกว่า **อิเล็กตรอน (electrons)** และประจุไฟฟ้าบวก ที่เรียกว่า **โปรตอน (protons)** จำนวนของประจุไฟฟ้าอิเล็กตรอนและโปรตอนจะเท่ากัน ประจุไฟฟ้าลบหรืออิเล็กตรอนจะหมุนโคจรรอบประจุไฟฟ้าบวกหรือโปรตอน ซึ่งอยู่ตรงแกนกลาง ที่เรียกว่า **นิวเคลียส (nucleus)** ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และที่นิวเคลียสจะมีนิวตรอน (neutrons) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกลาง (ไม่มีประจุ) รวมอยู่กับโปรตอน



EA1-01

รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอะตอม

ในหนึ่งอะตอมของสสารแต่ละชนิด จะมีจำนวนของอิเล็กตรอนและโปรตอนไม่เท่ากัน เช่น ไฮโดรเจนมีอิเล็กตรอน 1 ตัว คาร์บอนมี 6 ตัว และ ทองแดงมี 29 ตัว เป็นต้น อิเล็กตรอนจะโคจรไปรอบ ๆ โปรตอนและนิวตรอน เป็นชั้น ๆ เป็นวงโคจรดังแสดงในรูปที่ 1.2 ในแต่ละชั้นของวงโคจรจะมีจำนวนของอิเล็กตรอนตามรูปแบบ คือ ชั้นในสุดจะมีอิเล็กตรอน 2 ตัว และชั้นถัดออกไปจะมีอิเล็กตรอน 8, 18, 32, 50, 72, 98 ตัว ตามลำดับ และวงนอกสุดจะมีอิเล็กตรอนได้ไม่เกิน 8 ตัว



คาร์บอน ทองแดง

EA1-01

รูปที่ 1.2 วงโคจรของอิเล็กตรอนของคาร์บอนและทองแดง

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่า คาร์บอนมีวงโคจรของอิเล็กตรอน 2 ชั้น ชั้นในสุดมีอิเล็กตรอน 2 ตัว ชั้นถัดมามีอิเล็กตรอนอีก 4 ตัว รวมเป็น 6 ตัว ส่วนในอะตอมของทองแดงมีวงโคจร 4 ชั้น ในแต่ละชั้นมีจำนวนอิเล็กตรอน 2, 8, 18 ตามลำดับ และชั้นนอกสุดมีอิเล็กตรอน 1 ตัว รวมเป็น 29 ตัว อิเล็กตรอนในแต่ละชั้นจะส่งแรงดึงดูดซึ่งกันและกันกับโปรตอน ชั้นที่อยู่ใกล้กับนิวเคลียสจะมีแรงดึงดูดมากกว่าชั้นที่อยู่ห่างออกไป อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกสุดซึ่งมีแรงดึงดูดน้อย จะเรียกว่า **วาเลนซ์-อิเล็กตรอน** (valence electrons)

จากวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมของทองแดง ชั้นนอกสุดจะมีอิเล็กตรอนเพียง 1 ตัวเท่านั้น อิเล็กตรอนชั้นนอกสุดนี้ มักจะเรียกว่า **อิเล็กตรอนอิสระ** (free electron) เนื่องจากมีแรงดึงดูดกับโปรตอนน้อยมาก ดังนั้นจึงมีโอกาสหลุดออกจากวงโคจรได้ง่าย เมื่อมีเหตุภายนอกมากระทำ เช่น แรงกด ความร้อน แสงสว่าง เส้นแรงแม่เหล็ก เป็นต้น

โดยปกติแล้ว แรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนและโปรตอนจะสมดุลกับแรงหนีศูนย์กลางในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนรอบโปรตอน ในกรณีที่มีแรงภายนอกมากระทำให้อิเล็กตรอนอิสระหลุดจากวงโคจร จะทำให้โครงสร้างของอะตอมไม่สมดุล คือจะมีโปรตอนมากกว่าอิเล็กตรอน อะตอมที่เสีย

อิเล็กตรอนอิสระไป จะดึงอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงเข้ามาแทนที่ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเป็นการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าลบ ซึ่งจะเป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า ส่วนแรงที่มากระทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเรียกว่า **แรงดันหรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า**

1.2 ตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า

ตัวนำไฟฟ้า (conductor) คือ สสารที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านตัวมันได้ง่าย สสารที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะเป็นสสารที่มีจำนวนของอิเล็กตรอนและโปรตอนในหนึ่งอะตอมมาก และมีวาเลนซ์-อิเล็กตรอนระหว่าง 1-3 ตัว ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระหลุดออกจากวงโคจรได้ง่าย สสารนี้มักจะเป็นโลหะ เช่น ทองคำ เงิน ทองแดง ทองเหลือง เหล็ก ตะกั่ว อะลูมิเนียม ดีบุก เป็นต้น

ฉนวนไฟฟ้า (insulator) คือ สสารที่ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจะเป็นสสารที่มีจำนวนของอิเล็กตรอนและโปรตอนในหนึ่งอะตอมน้อย และมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนระหว่าง 5-7 ตัว ซึ่งมีโอกาสทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระหลุดออกจากวงโคจรได้ยาก เช่น ยาง ไฟเบอร์ แก้ว เบกาไลต์ พลาสติก เป็นต้น

1.3 ชนิดของไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาแล้วว่า การไหลของกระแสไฟฟ้า คือ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมหนึ่งของสสาร ดังนั้นการเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ก็คือ การกำเนิดไฟฟ้า

การกำเนิดไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้จากเหตุต่าง ๆ ทั้งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ หรือมนุษย์เป็นผู้ผลิตขึ้นมา เช่น เกิดจากการเสียดสี ความร้อน แสงสว่าง แรงกดหรือแรงสั่นสะเทือน ปฏิกิริยาเคมี หรือการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก เป็นต้น ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. **ไฟฟ้าสถิต** (static electricity) คือ ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เช่น การเกิดฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ซึ่งเกิดจากการสะสมของประจุไฟฟ้าบนก้อนเมฆในท้องฟ้า แล้วเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้ากัน หรืออาจเกิดจากการเสียดสีของวัตถุบางชนิด เช่น การนำเอาแท่งอำพันมาถูกับผ้าขนสัตว์ ทำให้แท่งอำพันมีความสามารถดูดวัตถุเล็ก ๆ ได้ หรือ เมื่อหวีผมในฤดูหนาว จะทำให้หวีสามารถดูดเศษกระดาษเล็ก ๆ ได้ เป็นต้น

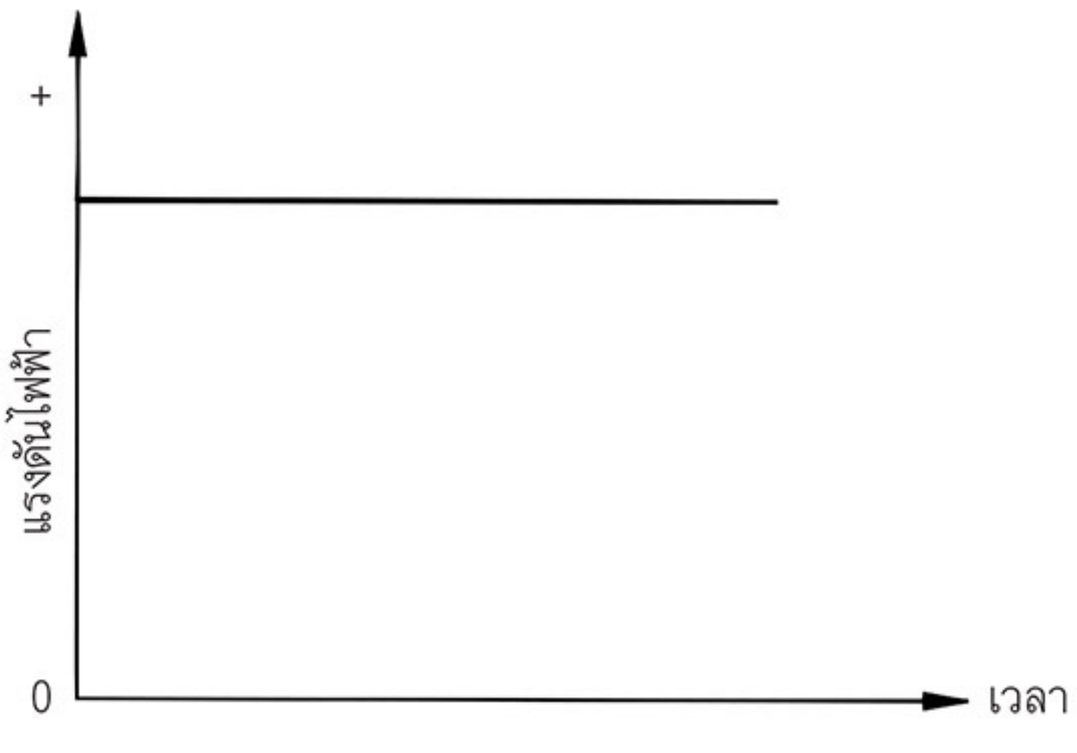
2. **ไฟฟ้ากระแส** (current electricity) คือ ไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้นมาใช้งาน ไฟฟ้ากระแสเกิดขึ้นได้จากหลายวิธีด้วยกัน คือ

- เกิดจากปฏิกิริยาเคมี เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ ถ่านไฟฉาย เป็นต้น
- เกิดจากแสงสว่าง เช่น แผงโซลาเซลล์ ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องคิดเลข อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน หรือดาวเทียม เป็นต้น
- เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กกับขดลวดตัวนำ เช่น อัลเทอร์เนเตอร์หรือไดชาร์จในรถยนต์ ไดนาโมหรือเจเนอเรเตอร์ผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

1.4 ชนิดของไฟฟ้ากระแส

ไฟฟ้ากระแสที่ใช้งานมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1. **ไฟฟ้ากระแสตรง** (direct current) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า **ไฟดีซี** (DC) ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสที่ไหลทิศทางเดียว โดยมีขั้วบวกหรือลบคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ตัวอย่างการใช้งานของไฟฟ้ากระแสตรง คือ ใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ และอุปกรณ์ไฟฟ้าในรถยนต์



EA1-02

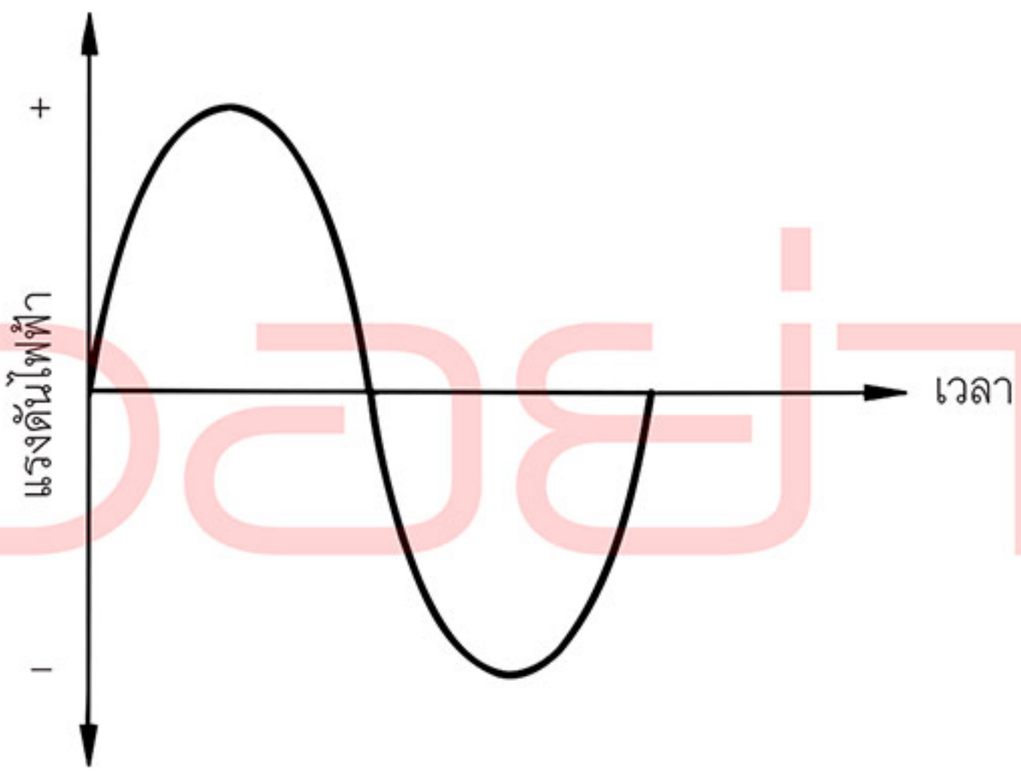
รูปที่ 1.3 ลักษณะของไฟฟ้ากระแสตรง

การกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ที่พบเห็นโดยทั่วไป จะเกิดจาก

- ปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ในแบตเตอรี่รถยนต์ ถ่านไฟฉาย
- การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กกับขดลวด เช่น ในดีซีเจเนอเรเตอร์ที่ใช้ในรถยนต์รุ่นเก่า ๆ

- เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ในแผงโซลาเซลล์ (solar cell) ที่ใช้กับเครื่องคิดเลข
- เกิดจากวงจรแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง ที่เรียกว่า วงจรเรกติไฟเออร์ (rectifier) ซึ่งใช้ร่วมกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

2. **ไฟฟ้ากระแสสลับ** (alternating current) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า **ไฟเอซี** (AC) ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลกลับทิศทางตลอดเวลา กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแหล่งกำเนิดจะสลับขั้วระหว่างขั้วบวกและขั้วลบตลอดเวลา เช่น มีการสลับขั้วบวกและลบ 50 ครั้งต่อวินาที ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (sine wave) ดังแสดงในรูปที่ 1.4



EA1-02

รูปที่ 1.4 ลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 1.4 เป็นลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เรียกว่า **ไดนาโม** หรือ **เจเนอเรเตอร์** (generator) ที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กกับขดลวดตัวนำ เส้นกราฟในแนวตั้งจะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ส่วนบนของเส้นกราฟจะมีค่าเป็นบวก ส่วนล่างจะมีค่าเป็นลบ สำหรับเส้นกราฟในแนวนอนจะเป็นเวลา ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแหล่งกำเนิดจะเป็นรูปคลื่นไซน์ คือ ช่วงแรกค่าแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์เป็นบวกจนถึงค่าสูงสุด แล้วลดลงสู่ค่าศูนย์ จากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเป็นค่าลบจนถึงจุดต่ำสุด แล้วเพิ่มกลับมาสู่ค่าศูนย์อีกครั้ง รูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับจะกลับไปกลับมาอย่างนี้ตลอดเวลา

หมายเหตุ *รายละเอียดเกี่ยวกับการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและรูปคลื่นไฟฟ้า จะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 1.8*

1.5 แม่เหล็ก

แม่เหล็ก (magnet) คือ เหล็กที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถดึงดูดธาตุบางชนิดได้ เช่น เหล็ก โครเมียม แมงกานีส นิกเกิล เป็นต้น แม่เหล็กจะมีโครงสร้างของโมเลกุลวางตัวเรียงกันเป็นระเบียบ ซึ่งมีความแตกต่างจากเหล็กธรรมดาที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ

แม่เหล็กแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1. แม่เหล็กธรรมชาติ เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แม่เหล็กชนิดนี้มักพบในแถบขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้

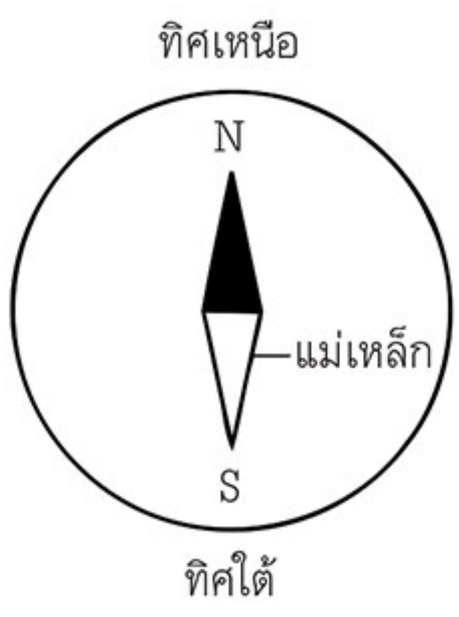
2. แม่เหล็กประดิษฐ์ เป็นแม่เหล็กที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อนำไปใช้งาน แม่เหล็กประดิษฐ์นี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามคุณสมบัติของการเป็นแม่เหล็ก คือ

(1) แม่เหล็กถาวร (permanent magnet) คือ แม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กตลอดไป

(2) แม่เหล็กไฟฟ้า (electro magnet) หรือแม่เหล็กชั่วคราว คือ แม่เหล็กที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ชั่วคราว แม่เหล็กประเภทนี้จะได้มาจากการใช้ขดลวดพันรอบแท่งเหล็กอ่อน เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวด เหล็กอ่อนจะมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก แต่เมื่อตัดกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดออก แท่งเหล็กอ่อนก็จะกลับมาเป็นเหล็กธรรรมดา คือไม่สามารถดูดเหล็กได้

1.5.1 ขั้วแม่เหล็ก

แม่เหล็กได้ถูกกำหนดให้มีขั้ว 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือ หรือขั้ว N และขั้วใต้ หรือขั้ว S โดยกำหนดจากคุณสมบัติของตัวมัน กล่าวคือ เมื่อเรานำแม่เหล็กชิ้นหนึ่งไปแขวนลอยไว้อย่างอิสระอย่างเช่น เข็มทิศ ที่ทำจากแม่เหล็ก ปลายทั้งสองด้านของแม่เหล็กจะชี้ในแนวทิศเหนือและใต้ ปลายที่ชี้ทางทิศเหนือ เรียกว่า ขั้วเหนือ (N) และปลายที่ชี้ทางทิศใต้ เรียกว่า ขั้วใต้ (S) ดังแสดงในรูปที่ 1.5

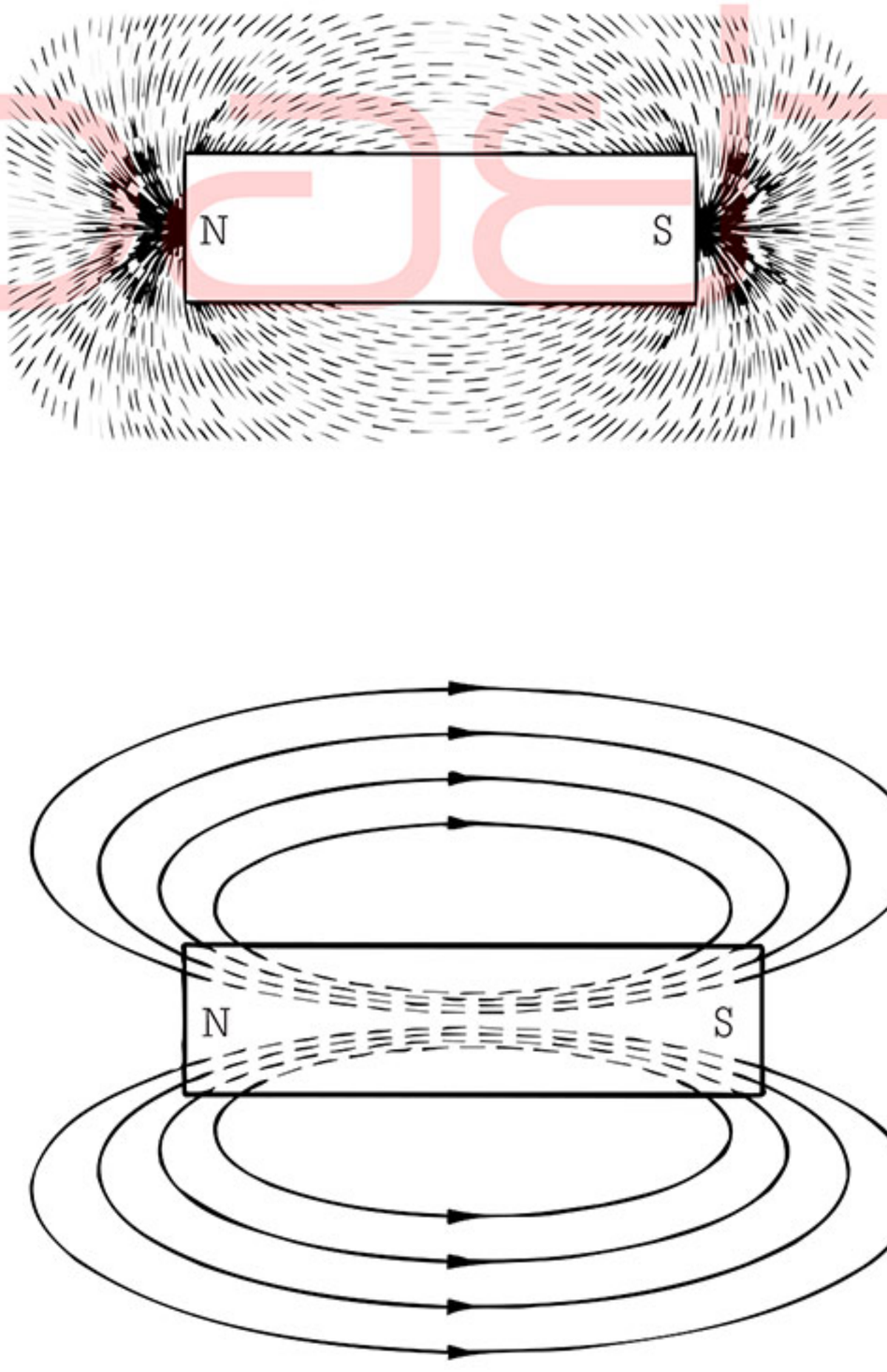


EA1-03

รูปที่ 1.5 ขั้วของแม่เหล็ก

1.5.2 เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

ถ้านำแผ่นกระจกบาง ๆ วางทับบนแท่งแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 1.6 (บน) แล้วโรยผงเหล็ก (ผงที่ได้จากการตะไบ) ลงบนแผ่นกระจกในตำแหน่งที่แท่งแม่เหล็กวางอยู่ จากนั้นเคาะที่แผ่นกระจกเบา ๆ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของผงเหล็กบนแผ่นกระจก คือ ผงเหล็กจะเรียงตัวเป็นวงโดยรอบระหว่างปลายทั้งสองด้านของแม่เหล็ก แนวการเรียงของผงเหล็กเป็นเส้น ๆ ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็กจะเรียกว่า **เส้นแรงแม่เหล็ก** (magnetic line of force) และบริเวณที่เส้นแรงแม่เหล็กแผ่ไปถึงจะเรียกว่า **สนามแม่เหล็ก** (magnetic field) เมื่อนำเอาเข็มทิศไปวางไว้ในสนามเหล็ก ขั้ว N ของเข็มทิศจะชี้แสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ และถ้าทำการเขียนรูปแทนแนวการเรียงตัวของผงเหล็กและทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก จะได้ไดอะแกรมของสนามแม่เหล็กรอบแท่งแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 1.6 (ล่าง)



EA1-03

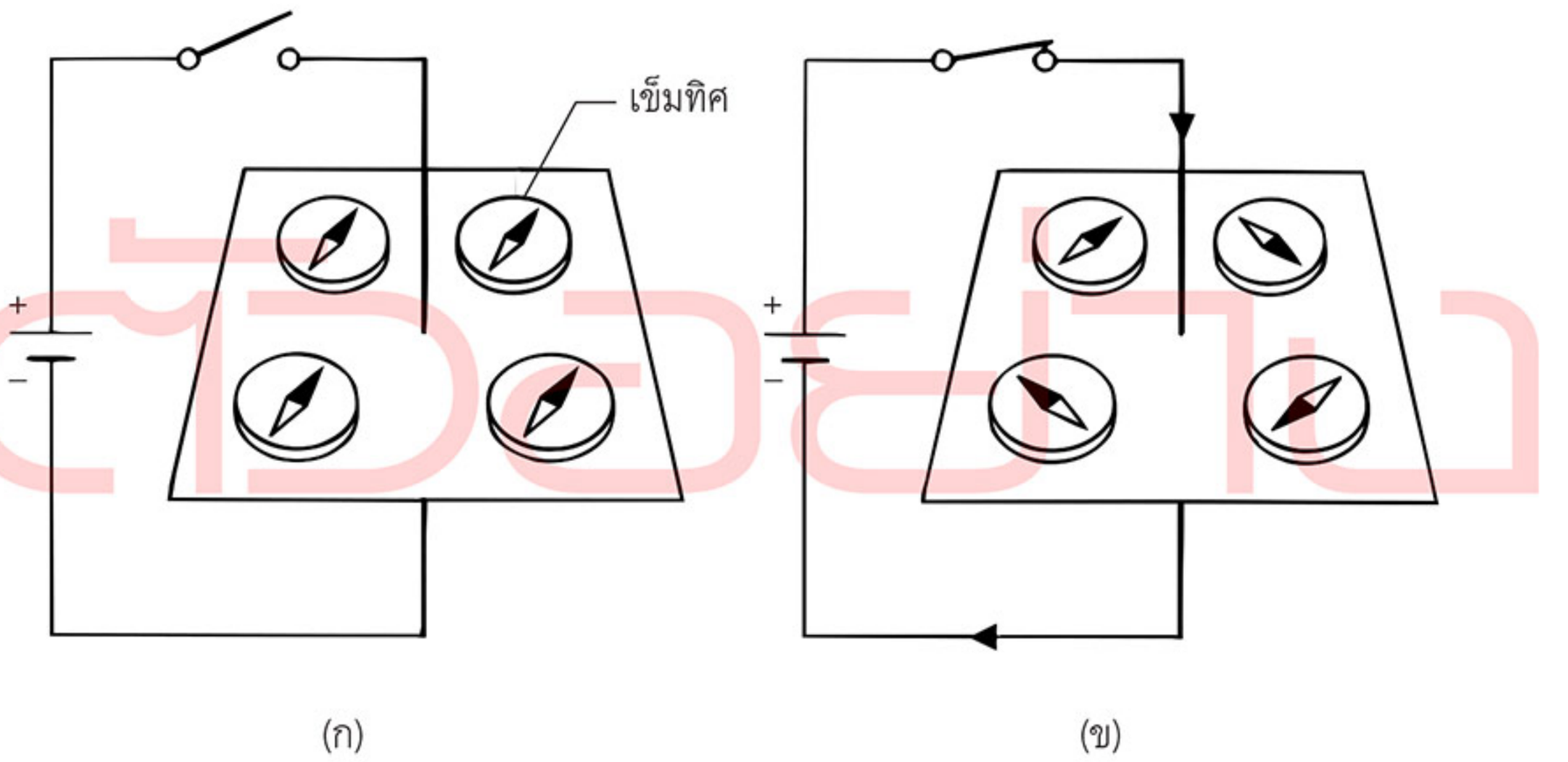
รูปที่ 1.6 เส้นแรงแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

1.5.3 คุณสมบัติของแม่เหล็ก

แม่เหล็กจะส่งแรงดึงดูดจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ และจะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากที่บริเวณปลายทั้งสองของแม่เหล็ก แม่เหล็กจะมีคุณสมบัติดูดกันเมื่อมีขั้วเหมือนกัน และจะผลักกันเมื่อมีขั้วต่างกัน

1.5.4 การเกิดสนามแม่เหล็กรอบตัวนำ

เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำ จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นโดยรอบตัวนำ ดังการทดลองที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 1.7

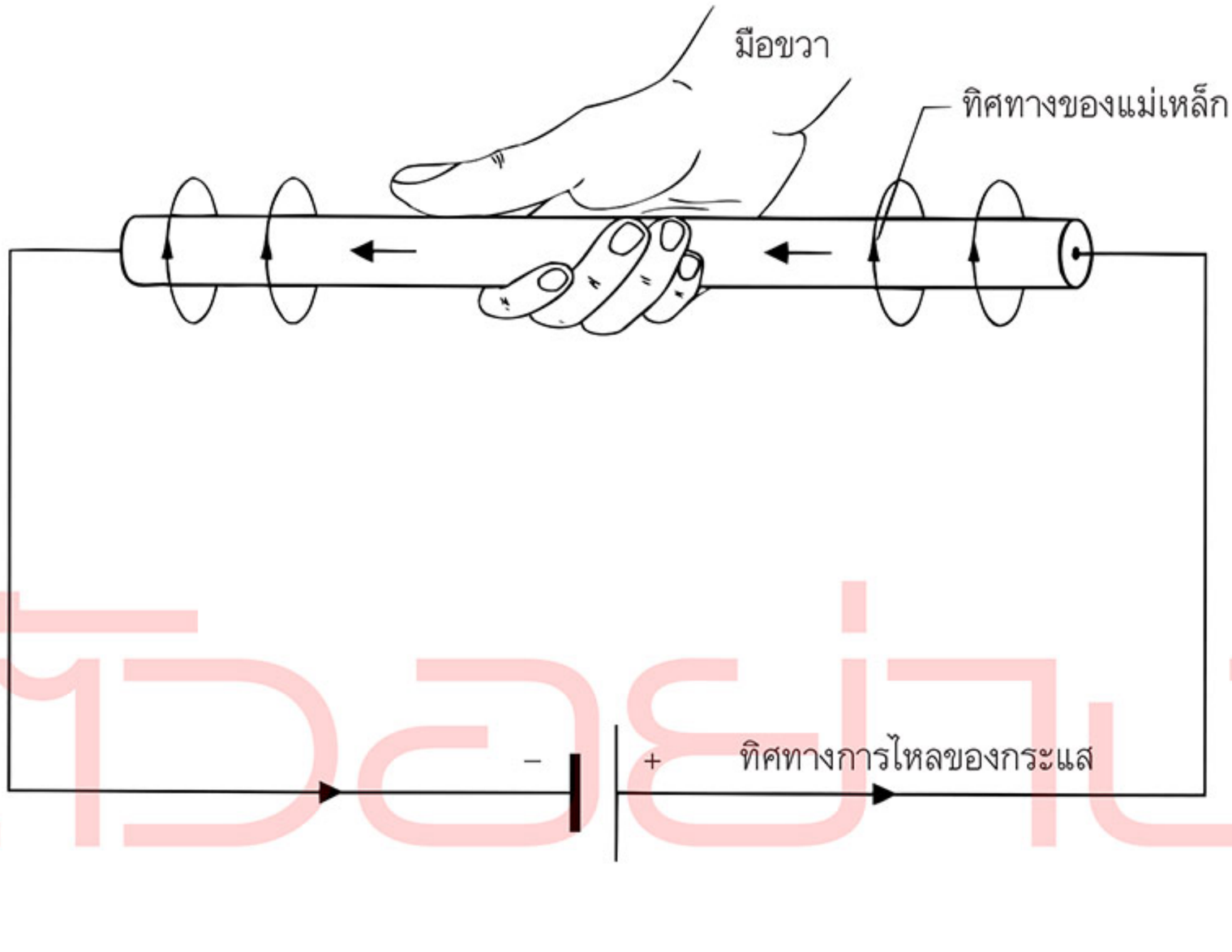


รูปที่ 1.7 การแสดงการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ

จากรูปที่ 1.7 เป็นการทดลองป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ รูปซ้ายมือ เป็นสภาวะที่ยังไม่ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าตัวนำ เข็มทิศ 4 ตัวที่วางไว้รอบตัวนำจะชี้ในทิศทางเหนือใต้ตามปกติ ส่วนรูปขวามือ เป็นสภาวะที่มีการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำ จากรูปจะเห็นว่าเข็มทิศ 4 ตัวมีการหมุนเบี่ยงเบนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งแสดงว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบตัวนำ และจากหลักการนี้ ได้นำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้งาน

1.5.5 กฎมือขวา (right - hand rule)

กฎมือขวา เป็นกฎเกณฑ์ที่ใช้สำหรับพิจารณาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน



EA1-05

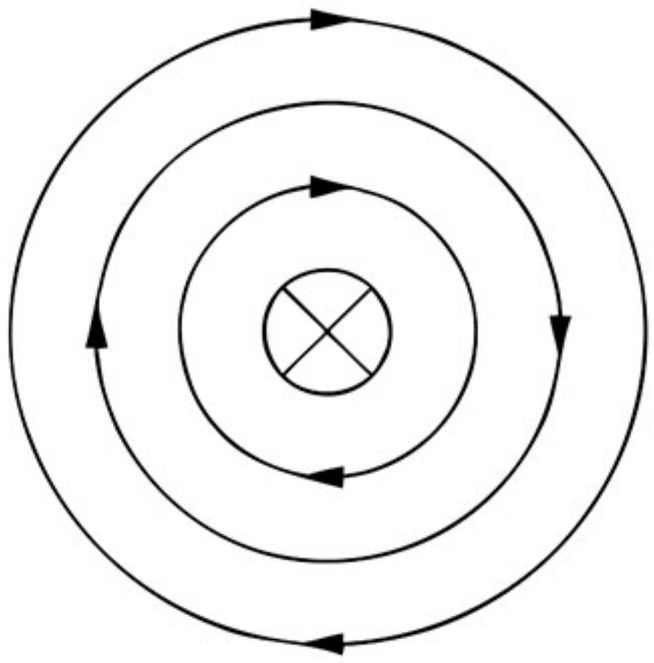
รูปที่ 1.8 หลักการของกฎมือขวา (right - hand rule)

จากรูปที่ 1.8 เมื่อใช้มือขวากำรอบตัวนำ ให้นิ้วหัวแม่มือแทนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำ ซึ่งไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนนิ้วมือที่เหลือทั้ง 4 ที่กำรอบตัวนำ จะแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น (ตามทิศทางของปลายนิ้ว)

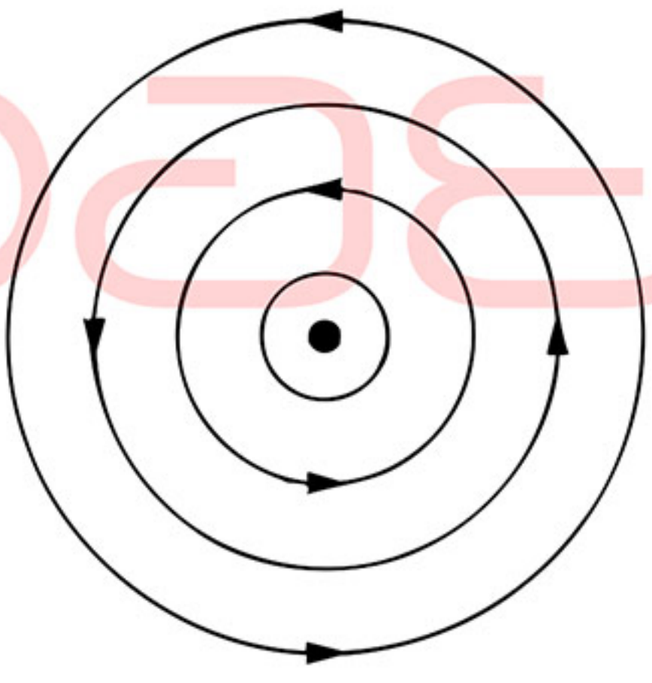
หมายเหตุ
- *กระแสไฟฟ้าถูกกำหนดให้ไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เป็นกระแสสมมุติ หรือกระแสนิยม*
- *การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก*

1.5.6 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำ

จากกฎมือขวา เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำจะได้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 1.9



กระแสไฟฟ้าพุ่งเข้าตัวนำ



กระแสไฟฟ้าพุ่งออกจากตัวนำ

EA1-06

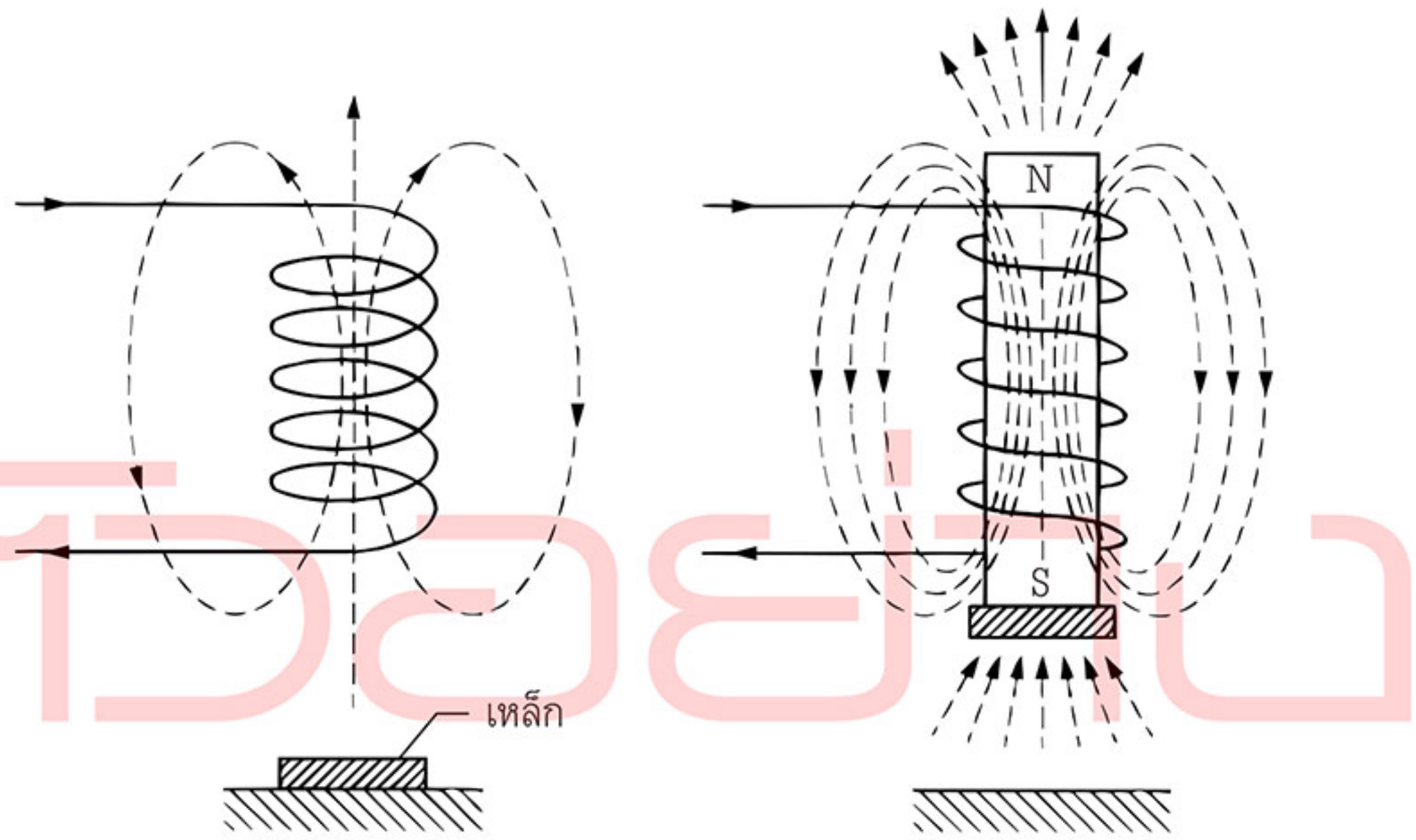
รูปที่ 1.9 ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ

รูปบน เป็นการแสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าตัวนำ เครื่องหมายวงกลมที่มีเครื่องหมายกากบาทอยู่ตรงกลาง แสดงทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่พุ่งเข้าตัวนำ ส่วนเส้นวงกลมรอบ ๆ 3 วง ที่มีลูกศรในทิศทางตามเข็มนาฬิกา แสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

สำหรับรูปล่าง เครื่องหมายวงกลมที่มีจุดอยู่ตรงกลาง แสดงทิศทางของกระแสไฟฟ้าพุ่งออกจากตัวนำ และวงกลมล้อมรอบที่มีลูกศรในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น

1.5.7 แม่เหล็กไฟฟ้า

จากผลของการป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ ดังในรูปที่ 1.7 จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบตัวนำ แต่เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีความเข้มน้อยมาก ดังนั้นหากเรานำเส้นลวดตัวนำมาพันซ้อนกันเป็นขดหลาย ๆ ชั้น เพื่อให้ได้ความยาวของเส้นลวดมากขึ้น ก็จะทำให้ได้เส้นแรงแม่เหล็กรวมกันมีความเข้มมากขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางไปตามความยาวของขดลวดที่พัน ดังแสดงในรูปที่ 1.10



EA1-07

รูปที่ 1.10 เส้นแรงแม่เหล็กเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดตัวนำ

จากผลการรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ หากนำเอาแกนเหล็กอ่อน ซึ่งเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านได้ดีกว่าอากาศ มาใส่ไว้ตรงกลางของขดลวด ก็จะทำให้เหล็กอ่อนกลายเป็นแม่เหล็กสามารถดูดเหล็กได้ และเมื่อตัดกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดออก เส้นแรงแม่เหล็กก็จะหายไป แม่เหล็กที่ได้จากกรรมวิธีแบบนี้จะเรียกว่า **แม่เหล็กไฟฟ้า** (electromagnetic)