



หนังสือเรียน

# รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## ฟิสิกส์

ชั้น

## มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๕

ISBN 978-616-576-370-7

จำนวน ๘๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน  
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนู วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

# คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้ หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน การศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี



(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

# คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๖ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้ หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๖ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ วิศวกร สถาปนิก นักอุตุนิยมวิทยา นักธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ เล่ม ๖ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้นี้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
กระทรวงศึกษาธิการ

## คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์ เล่ม ๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖

เวลา ๘๐ ชั่วโมง จำนวน ๒ หน่วยกิต

ศึกษาการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค เสถียรภาพของนิวเคลียส กัมมันตภาพรังสี ปฏิกิริยานิวเคลียร์ พลังงานนิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

## ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายการเกิดและลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงไม่โพลาไรส์ แสงโพลาไรส์เชิงเส้น และแผ่นโพลาไรซ์ รวมทั้งอธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้และ หลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
๒. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งผ่านสารสนเทศ และเปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล
๓. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๔. อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนและฟังก์ชันงานของโลหะ
๕. อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบายและคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอกลี
๖. อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรังสีแอลฟา บีตาและแกมมา
๗. อธิบายและคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้งทดลอง อธิบาย และคำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เหลือจากการสลายและครึ่งชีวิต
๘. อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียส และพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
๙. อธิบายปฏิกิริยานิวเคลียร์ ฟิชชัน และฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์
๑๐. อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์และรังสี รวมทั้งอันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ
๑๑. อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค แบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง

รวมทั้งหมด ๑๑ ผลการเรียนรู้

## ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- คำถามสำคัญ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- ความรู้ก่อนเรียน
- ข้อสังเกต
- ขวนคิด
- กิจกรรม
- คำถามท้ายกิจกรรม
- กิจกรรมลองทำดู
- ความรู้เพิ่มเติม
- รู้หรือไม่
- สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
- แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ
- แบบฝึกหัดท้ายบท



### คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว



### จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ



### ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความสั้น ๆ ที่เกี่ยวกับความรู้ที่นักเรียนควรมีสำหรับเป็นพื้นฐานของการศึกษาความรู้ใหม่ในแต่ละบท



### ข้อสังเกต

ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้นักเรียนเห็นแนวคิดสำคัญและความเชื่อมโยงของเนื้อหา



### ขวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา



### กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง



### คำถามท้ายกิจกรรม

คำถามที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนั้น ๆ ช่วยเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม



### กิจกรรมลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้



### ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล



### รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน



### สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายหัวข้อ

ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง



แบบฝึกหัด

แบบฝึกหัดระหว่างเรียนที่ช่วยฝึกทักษะการคิด การคำนวณ และการแก้ปัญหาเบื้องต้น โดยใช้ความรู้ในหัวข้อนั้น ๆ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหา และฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้



คำถาม

คำถามที่เน้นให้นักเรียนตอบโดยการเขียนบรรยายแสดงความเข้าใจ จนถึงการใช้วิเคราะห์



ปัญหา

ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยจนถึงปานกลาง เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคำนวณ และการแก้ปัญหา



ปัญหาท้าทาย

ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดระดับสูงในการคำนวณ และการแก้ปัญหา

| สารบัญ                                | บทที่ 18                                     |      |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|------|
| บทที่                                 | เนื้อหา                                      | หน้า |
| 18                                    | คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า                           |      |
|                                       | 18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า               | 3    |
|                                       | 18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า           | 12   |
|                                       | 18.2.1 คลื่นวิทยุ                            | 13   |
|                                       | 18.2.2 ไมโครเวฟ                              | 14   |
|                                       | 18.2.3 รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด         | 14   |
|                                       | 18.2.4 แสง                                   | 16   |
|                                       | 18.2.5 รังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต | 17   |
|                                       | 18.2.6 รังสีเอกซ์                            | 20   |
|                                       | 18.2.7 รังสีแกมมา                            | 21   |
|                                       | 18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า        | 23   |
|                                       | 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า        | 28   |
|                                       | 18.4.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์                  | 28   |
|                                       | 18.4.2 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์     | 31   |
|                                       | 18.4.3 เครื่องควบคุมระยะไกล                  | 33   |
|                                       | 18.4.4 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก           | 35   |
|                                       | 18.4.5 เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องของแม่เหล็ก  | 36   |
|                                       | 18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า    | 39   |
|                                       | 18.5.1 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุ          | 39   |
|                                       | 18.5.2 การสื่อสารโดยอาศัยไมโครเวฟ            | 43   |
| 18.5.3 การสื่อสารโดยอาศัยแสง          | 44                                           |      |
| 18.5.4 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล | 45                                           |      |
| สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน               | 47                                           |      |
| แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18                 | 49                                           |      |

| สารบัญ | บทที่ 19-20                                             |      |
|--------|---------------------------------------------------------|------|
| บทที่  | เนื้อหา                                                 | หน้า |
| 19     | ฟิสิกส์อะตอม                                            |      |
|        | 19.1 สมมติฐานของพลังค์และทฤษฎีอะตอมของโบร์              | 53   |
|        | 19.1.1 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุดำ               | 53   |
|        | 19.1.2 ทฤษฎีอะตอมของโบร์                                | 59   |
|        | 19.2 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก                           | 81   |
|        | 19.2.1 ควอนตัมของแสงและโฟตอน                            | 81   |
|        | 19.2.2 ฟังก์ชันงานและพลังงานจลน์สูงสุดของโฟโตอิเล็กตรอน | 83   |
|        | 19.3 ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค                           | 93   |
|        | 19.3.1 สมมติฐานของเดอบรอยล์                             | 93   |
|        | 19.3.2 กลศาสตร์ควอนตัมและการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์     | 97   |
|        | สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน                                 | 104  |
|        | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19                                   | 105  |

|    |                                              |     |
|----|----------------------------------------------|-----|
| 20 | ฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค            |     |
|    | 20.1 เสถียรภาพของนิวเคลียส                   | 114 |
|    | 20.1.1 แรงแม่เหล็กนิวเคลียร์                 | 114 |
|    | 20.1.2 พลังงานยึดเหนี่ยว                     | 119 |
|    | 20.2 กัมมันตภาพรังสี                         | 131 |
|    | 20.2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสี               | 131 |
|    | 20.2.2 รังสีจากธาตุและไอโซโทปกัมมันตรังสี    | 134 |
|    | 20.2.3 การสลายและสมการการสลาย                | 137 |
|    | 20.2.4 กัมมันตภาพ                            | 145 |
|    | 20.2.5 ครึ่งชีวิต                            | 150 |
|    | 20.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์และพลังงานนิวเคลียร์ | 161 |
|    | 20.3.1 ฟิชชัน                                | 163 |
|    | 20.3.2 ฟิวชัน                                | 170 |

| สารบัญ | บทที่ 20 - ภาคผนวก                                  |      |
|--------|-----------------------------------------------------|------|
| บทที่  | เนื้อหา                                             | หน้า |
|        | 20.4 ประโยชน์และการป้องกันอันตรายจากรังสี           | 177  |
|        | 20.4.1 การนำรังสีไปใช้ประโยชน์                      | 177  |
|        | 20.4.2 รังสีในธรรมชาติและ การป้องกันอันตรายจากรังสี | 181  |
|        | 20.5 ฟิสิกส์อนุภาค                                  | 186  |
|        | 20.5.1 อนุภาคมูลฐาน                                 | 186  |
|        | 20.5.2 แบบจำลองมาตรฐาน                              | 194  |
|        | 20.5.3 ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค  | 200  |
|        | สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน                             | 206  |
|        | แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20                               | 209  |

## ภาคผนวก

|                                                 |     |
|-------------------------------------------------|-----|
| ภาคผนวก ก ตารางธาตุ                             | 221 |
| ภาคผนวก ข คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์               | 222 |
| ภาคผนวก ค ระบบหน่วยระหว่างชาติ                  | 233 |
| ภาคผนวก ง ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ               | 236 |
| ภาคผนวก จ ตารางเลขกำลังสอง รากที่สองและส่วนกลับ | 237 |
| ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง           | 238 |
| ภาคผนวก ช ลอการิทึม                             | 241 |
| คำศัพท์                                         | 244 |
| บรรณานุกรม                                      | 247 |
| ที่มาของรูป                                     | 249 |
| คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน                     | 253 |

บทที่



ipst.me/11067

18

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



โลกในยุคโลกาภิวัตน์มีการใช้เทคโนโลยีในการส่งและรับข่าวสารต่าง ๆ การส่งเสริมทางด้านการศึกษา การทำธุรกรรมออนไลน์ อีกทั้งปัจจุบันยังสามารถควบคุมการทำงานเครื่องมือเครื่องใช้ภายในบ้านผ่านสมาร์ทโฟนได้ ที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (internet of things) กิจกรรมดังกล่าวเกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสิ้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร แต่ละชนิดมีลักษณะเป็นอย่างไร และนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้อย่างไร จะได้ศึกษาในบทนี้



### คำถามสำคัญ

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร มีลักษณะเฉพาะอย่างไร และนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร
- การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบดิจิทัล และระบบแอนะล็อกแตกต่างกันอย่างไร



### จุดประสงค์การเรียนรู้

#### 18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

1. อธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. อธิบายลักษณะเฉพาะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

#### 18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

3. บอกความหมายของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
4. อธิบายการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้

#### 18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

5. อธิบายโพลาริเซชันของแสง แสงไม่โพลาไรส์และแสงโพลาไรส์เชิงเส้น
6. สังเกตความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่น

#### 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

7. ยกตัวอย่างและอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์บางชนิดที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

#### 18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

8. สืบค้นและอธิบายการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
9. เปรียบเทียบการสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัล



### ความรู้ก่อนเรียน

สมบัติของคลื่น คลื่นกล ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ากระแส แม่เหล็กและไฟฟ้า

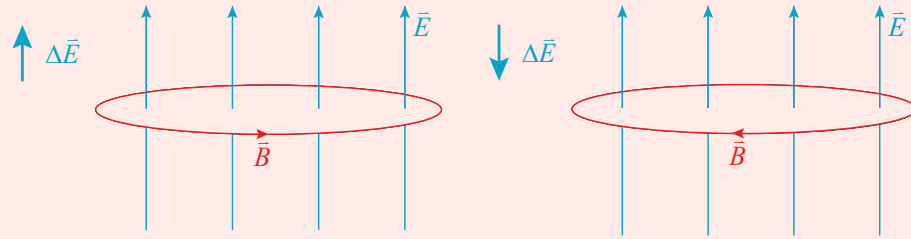
เราทราบมาแล้วว่า คลื่น เกิดจากการรบกวนสิ่งใดสิ่งหนึ่งแล้วมีการส่งผ่านพลังงานของการรบกวนนั้น จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง สำหรับคลื่นกล การส่งผ่านพลังงานดังกล่าวต้องอาศัยตัวกลางเท่านั้น เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ และ คลื่นเสียง ขณะคลื่นกลเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัดรอบจุดสมดุลของแต่ละอนุภาค และส่งผ่านพลังงานไปยังอนุภาคในบริเวณถัดไป ทำให้อนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัดต่อเนื่องกันไป สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถส่งผ่านพลังงานออกไปได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นได้อย่างไร และแผ่ออกจากแหล่งกำเนิดอย่างไร จะได้ศึกษาต่อไปนี้

#### 18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากการศึกษาเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก เราทราบแล้วว่าประจุไฟฟ้าทำให้เกิดสนามไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังทราบอีกว่า เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำในขดลวดตัวนำนั้น ในปี พ.ศ. 2407 เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) ได้รวบรวมแนวคิดเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก โดยนำเสนอในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ว่า สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามไฟฟ้า โดยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน แมกซ์เวลล์ได้ทำนายว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก โดยเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที ซึ่งเท่ากับอัตราเร็วของแสง จึงได้เสนอแนวคิดว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ช่วงหนึ่ง คำทำนายนี้ได้รับการยืนยันว่าเป็นจริงโดยการทดลองของเฮิร์ตซ์ ในปี พ.ศ. 2430

### ความรู้เพิ่มเติม

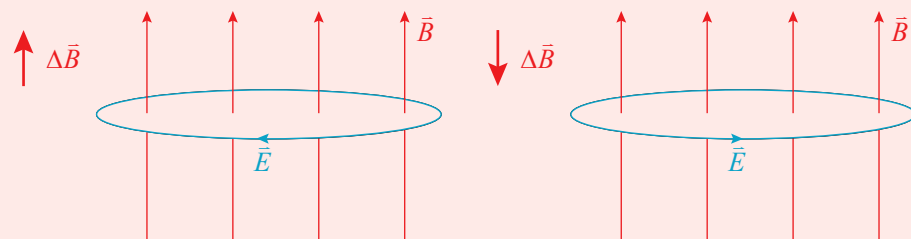
สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามไฟฟ้า สามารถเขียนภาพแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้



ก. เมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่ม

ข. เมื่อสนามไฟฟ้าลด

รูป การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็ก



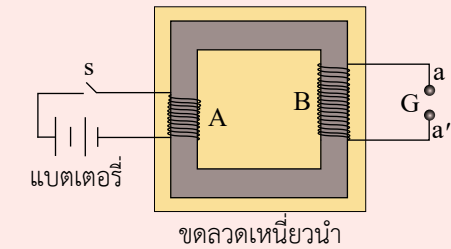
ก. เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่ม

ข. เมื่อสนามแม่เหล็กลด

รูป การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า

### ความรู้เพิ่มเติม

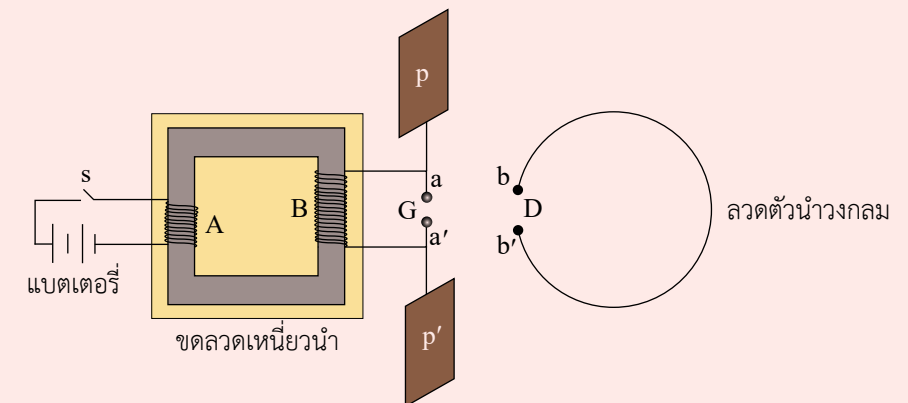
เฮิร์ตซ์ได้ทดลองพิสูจน์หาค่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามคำทำนายของแมกซ์เวลล์ โดยใช้ **ขดลวดเหนี่ยวนำ** (induction coil) ประกอบด้วยขดลวดเคลือบฉนวนสองขดพันรอบแกนเหล็ก ขดลวด A เป็นขดลวดปฐมภูมิ ขดลวด B เป็นขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งมีจำนวนรอบมากกว่าขดลวด A มากปลายของขดลวดทุติยภูมิทั้งสองข้างต่อกับตัวนำทรงกลม a และ a' อยู่ห่างกันเป็นช่องแคบ G ส่วนขดลวดปฐมภูมิต่อกับสวิตช์ S เป็นสวิตช์แบบสั่น ทำหน้าที่เปิดวงจรไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิซึ่งต่อกับแบตเตอรี่ มีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านขดลวดปฐมภูมิตามจังหวะการปิดเปิดของสวิตช์ ดังรูป



รูป แผนภาพอุปกรณ์การทดลองของเฮิร์ตซ์

เมื่อสวิตช์ปิดเปิดวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดปฐมภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจังหวะตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในแกนเหล็กของขดลวด เนื่องจากขดลวด B มีจำนวนรอบมากกว่า ดังนั้นสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดอีเอ็มเอฟที่สูงมากในช่วงเวลาสั้นๆ ที่ขดลวด B ส่งผลให้ตัวนำทรงกลมทั้งสองเกิดสนามไฟฟ้าภายในช่องแคบ G ที่มีค่ามากพอที่จะทำให้อากาศระหว่างช่องแคบแตกตัว เกิดเป็นประกายไฟขึ้น เพราะฉะนั้นทุกครั้งที่เราสวิตช์ปิดหรือเปิดวงจรจะเห็นประกายไฟที่ช่องแคบนี้

เฮิร์ตซ์ใช้แผ่นโลหะแบน p และ p' ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ ต่อเข้ากับตัวนำทรงกลม a และ a' ตามลำดับทำหน้าที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วใช้เส้นลวดตัวนำงอเป็นรูปร่างกลมต่อกับตัวนำทรงกลมเล็ก ๆ b และ b' โดยเหลือช่องแคบ D ไว้ แล้วนำมาไว้ห่างช่องแคบ G พอสมควรทำหน้าที่รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงการส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูป



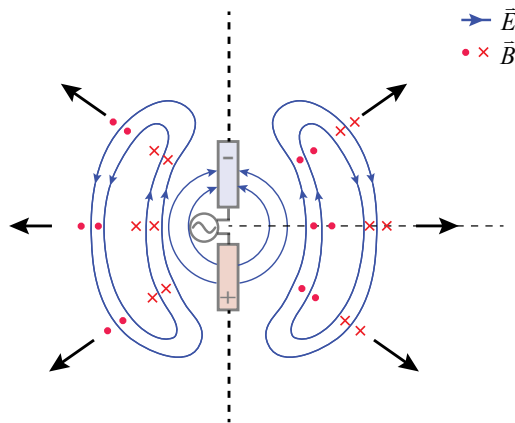
รูป การส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามการทดลองของเฮิร์ตซ์

การส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะสังเกตจากประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ G และช่องแคบ D ตามลำดับ เฮอร์ตซ์ยืนยันว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากช่องแคบ G ตามแนวคิดของแมกซ์เวลล์ โดยอธิบายการเกิดประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ D ดังนี้

ขณะที่เกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำสูงช่วงเวลาสั้น ๆ ในขดลวด B ความต่างศักย์ซึ่งมีความถี่สูงมาก จะเกิดระหว่างแผ่นโลหะแบนทั้งสองที่ต่อไว้ ความถี่นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด B ขนาดแผ่นโลหะแบนและระยะห่างช่อง G ในการทดลองทั่วไป ความถี่จะมีค่าประมาณ  $10^8$  เฮอร์ตซ์ ความต่างศักย์แปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นช่วงเวลาหนึ่งและมีความถี่สูง จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ G

การที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงและเกิดประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ G ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากช่องแคบ G เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำวงกลมในรูป โดยรัศมีของลวดตัวนำวงกลมและขนาดช่องแคบ D ที่เหมาะสม จะทำให้เกิดความต่างศักย์และสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง จึงเกิดประกายไฟฟ้าที่ช่องแคบ D มีความถี่ของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเท่ากับที่ช่องแคบ G

ตัวอย่างการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยพิจารณาการเปลี่ยนสนามไฟฟ้ากับเวลา ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมากพอที่ต่อเข้ากับสายอากาศ เช่น ท่อนโลหะของสายอากาศที่วางตัวอยู่ในแนวตั้ง จะมีอิเล็กตรอนในสายอากาศเคลื่อนที่กลับไปมาด้วยความเร่งในแนวตั้ง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย เกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกรอบสายอากาศทุกทิศทางในแนวรัศมี ยกเว้นในแนวตั้งซึ่งเป็นแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ ดังรูป 18.1



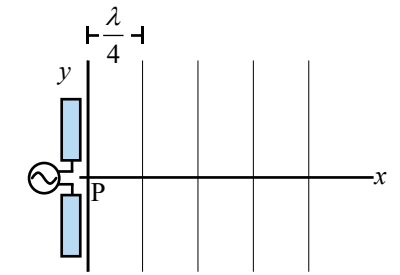
รูป 18.1 การแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศที่อยู่ในสุญญากาศ

จากรูป 18.1 พิจารณากรณีสายอากาศอยู่ในสุญญากาศ ประกอบด้วยท่อนโลหะ 2 ท่อน ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเปลี่ยนแปลงกับเวลาในรูปของฟังก์ชันแบบไซน์ ในที่นี้จะอธิบายการเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น  $\lambda$  แผ่ออกไปในแนวเส้นตรงที่ตั้งฉากกับสายอากาศได้ดังนี้

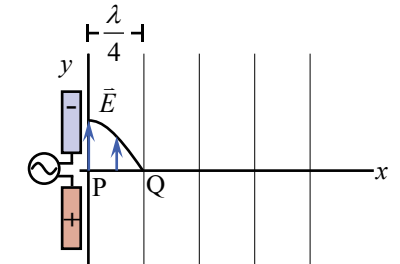
เมื่อพิจารณาตำแหน่ง P ใกล้สายอากาศ โดยเวลาที่เริ่มพิจารณา  $t = 0$  ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ณ ขณะนี้สนามไฟฟ้าที่จุด P จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังรูป 18.2 ก.

เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P จะมีค่าสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปที่ตำแหน่งอื่น ๆ โดยขณะที่  $t = \frac{T}{4}$  ( $T$  เป็นคาบการเคลื่อนที่ครบรอบของประจุไฟฟ้า) ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด โดยท่อนโลหะล่างมีประจุไฟฟ้าบวกมากที่สุด และท่อนโลหะบนมีประจุไฟฟ้าลบมากที่สุด ทำให้ตำแหน่ง P เกิดสนามไฟฟ้า  $E$  มีค่ามากที่สุดและมีทิศทางชี้ขึ้น ซึ่งขณะนั้นการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ไปถึงจุด Q ด้วยอัตราเร็วแสง ดังรูป 18.2 ข.

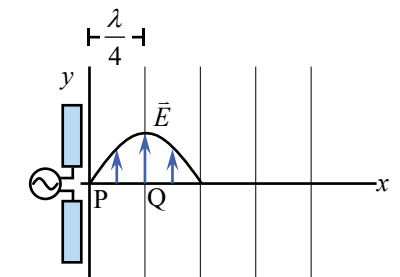
เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P จะมีค่าสนามไฟฟ้าลดลงและมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่  $t = \frac{T}{2}$  ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าอีก ณ ขณะนี้สนามไฟฟ้าที่จุด P จะลดลงเป็นศูนย์ การเหนี่ยวนำต่อเนื่องทำให้สนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง Q เพิ่มขึ้นสูงสุด ดังรูป 18.2 ค.



ก. สนามไฟฟ้าที่เวลา  $t = 0$

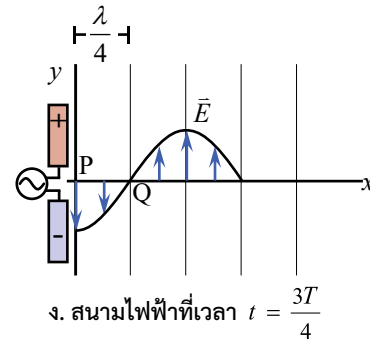


ข. สนามไฟฟ้าที่เวลา  $t = \frac{T}{4}$

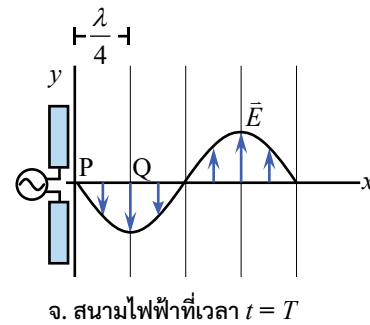


ค. สนามไฟฟ้าที่เวลา  $t = \frac{T}{2}$

เมื่อเวลาผ่านไปสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง P จะกลับทิศ มีขนาดเพิ่มขึ้นและมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่องให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่  $t = \frac{3T}{4}$  ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด แต่ครั้งนี้ท่อนโลหะบนมีประจุไฟฟ้าบวกมากที่สุด และท่อนโลหะล่างมีประจุไฟฟ้าลบมากที่สุด ทำให้สนามไฟฟ้าที่จุด P มีค่ามากที่สุดแต่ทิศทางซีก โดยมีการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป ดังรูป 18.2 ง.



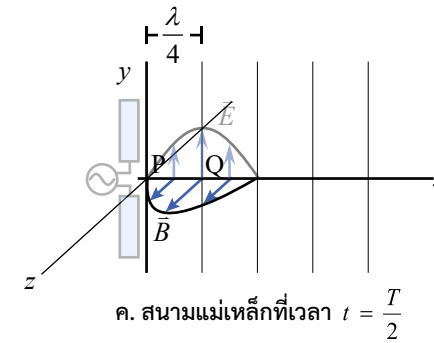
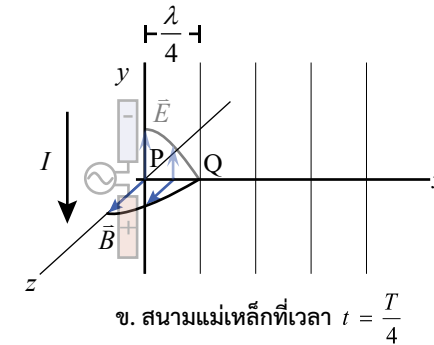
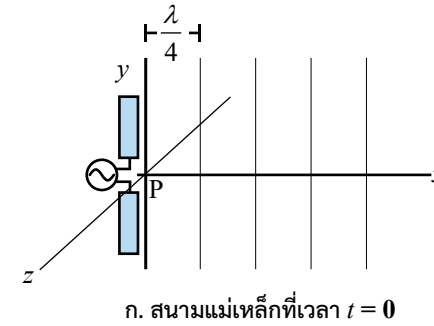
ทำนองเดียวกัน เมื่อเวลา  $t = T$  ประจุเคลื่อนที่กลับไปครบรอบ ความต่างศักย์ระหว่างท่อนโลหะทั้งสองเปลี่ยนกลับมาเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าอีกครั้ง ทำให้สนามไฟฟ้าที่จุด P เป็นศูนย์ การเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ให้เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังรูป 18.2 จ.



สนามไฟฟ้าที่เกิดการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องจากสายอากาศที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เกิดสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงและแผ่ออกไปจากสายอากาศ (คล้ายกับการแผ่ของคลื่นในเส้นเชือก)

รูป 18.2 แผนภาพการเกิดสนามไฟฟ้า  $E$  เนื่องจากประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่กลับไปมาในสายอากาศและเคลื่อนที่จากสายอากาศด้วยความเร็วแสง

สำหรับสนามแม่เหล็ก  $B$  เกิดจากการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง พร้อมกับการเกิดของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง พิจารณาลำกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากเส้นลวดตรงที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

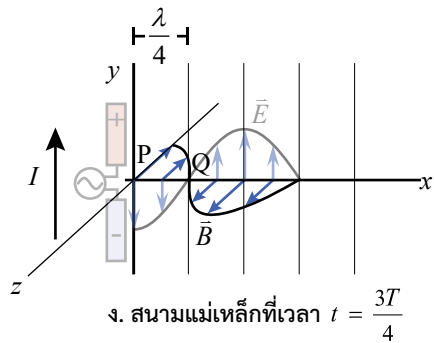


หากพิจารณาตำแหน่งใกล้สายอากาศ (จุด P) โดยเวลาที่เริ่มพิจารณา  $t = 0$  ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านสายอากาศจะเป็นศูนย์ ณ ขณะนี้สนามแม่เหล็กที่จุด P จะมีค่าเป็นศูนย์เช่นเดียวกับสนามไฟฟ้า ดังรูป 18.3 ก.

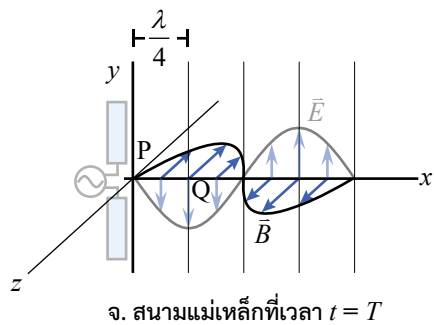
เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P มีการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง ให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงค่าและจะมีค่าเพิ่มขึ้น แผ่ออกไป โดยขณะที่  $t = \frac{T}{4}$  ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด โดยท่อนล่างมีประจุบวกมากที่สุด เสมือนมีกระแสไฟฟ้าในสายอากาศในทิศทางลงมีค่ามากที่สุดด้วย

ทิศทางของสนามแม่เหล็กจากสายอากาศ หาได้โดยใช้มือขวา นิ้วหัวแม่มือขวาชี้ตามทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านสายอากาศ ทิศทางการวนของนิ้วทั้งสี่จะแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงบนแกน  $x$  ที่ตำแหน่ง P จะมีทิศทางซีกออกไปทาง  $+z$  และมีค่ามากที่สุด ซึ่งขณะนี้นักการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงแผ่ไปถึงจุด Q ด้วยอัตราเร็วแสง  $c$  พร้อมๆกับสนามไฟฟ้า ดังรูป 18.3 ข.

เมื่อเวลาผ่านไป ตำแหน่ง P จะมีค่าสนามแม่เหล็กลดลงและการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่  $t = \frac{T}{2}$  ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ดังนั้น สนามแม่เหล็กที่จุด P จะลดลงเป็นศูนย์ ขณะเดียวกัน การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง จะแผ่ออกไปโดยการเหนี่ยวนำต่อเนื่อง ทำให้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่ง Q เพิ่มขึ้นสูงสุดพร้อมกัน ดังรูป 18.3 ค.



ง. สนามแม่เหล็กที่เวลา  $t = \frac{3T}{4}$



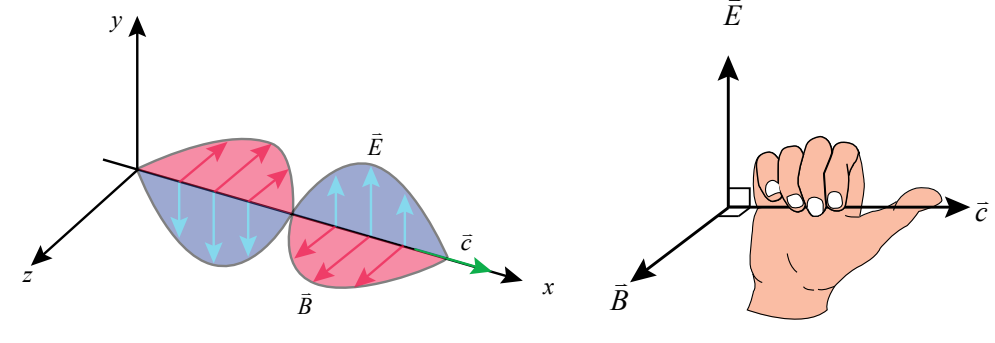
จ. สนามแม่เหล็กที่เวลา  $t = T$

รูป 18.3 แผนภาพการเกิดสนามแม่เหล็ก

การต่อสายอากาศกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับข้างต้น ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า เกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกจากสายอากาศ การเปลี่ยนแปลงสนามทั้งสองมีเฟสตรงกัน กล่าวคือมีค่าเป็นศูนย์พร้อมกัน และมีค่าสูงสุดพร้อมกัน โดยทิศทางสนามทั้งสองตั้งฉากกัน ดังรูป 18.4 ก. ทิศทางความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หาได้โดยใช้มือขวา ชี้นิ้วทั้งสี่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้า จากนั้นนิ้วทั้งสี่ชี้ไปหาทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศทางของความเร็ว  $\vec{c}$  ดังรูป 18.4 ข.

เมื่อเวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่ง P จะกลับทิศ มีขนาดเพิ่มขึ้นและการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องเกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไป โดยขณะที่  $t = \frac{3T}{4}$  ความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองมีค่าสูงสุด เสมือนมีกระแสไฟฟ้าในทิศทางชี้ขึ้นมีค่าสูงสุดอีกครั้ง สนามแม่เหล็กที่จุด P จึงมีค่ามากที่สุดและมีทิศทางชี้เข้าไปทาง  $-z$  โดยการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องเกิดสนามแม่เหล็กพร้อมทั้งสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังรูป 18.3 ง.

เมื่อเวลา  $t = T$  ประจุเคลื่อนที่กลับไปครอบรอบความต่างศักย์ระหว่างแท่งโลหะทั้งสองเป็นศูนย์ ท่อนโลหะจะมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้าอีกครั้ง ทำให้สนามแม่เหล็กที่จุด P เป็นศูนย์อีกครั้ง การเหนี่ยวนำต่อเนื่องเกิดสนามแม่เหล็กพร้อมทั้งสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแผ่ออกไปจากสายอากาศ ดังรูป 18.3 จ.



ก. ทิศทางของ  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$  และ  $\vec{c}$  ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

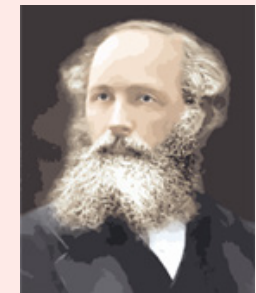
ข. การหาทิศทางความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

รูป 18.4 การแผ่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูป จะเห็นว่าทิศทางของสนามทั้งสองตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นคลื่นตามขวาง

### ความรู้เพิ่มเติม

**เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell ค.ศ. 1831 - 1879 หรือ พ.ศ. 2374 - 2422)** เป็นนักฟิสิกส์ที่อธิบายการมีอยู่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคนแรก ได้รวบรวมสมการเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แล้วนำเสนอสมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วแสง นำไปสู่ข้อสรุปว่าแสงเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูป แมกซ์เวลล์

**ไฮน์ริช แฮทซ์ (Heinrich Hertz ค.ศ. 1857 - 1894 หรือ พ.ศ. 2400 - 2437)** เป็นนักฟิสิกส์คนแรกที่สาธิตการทำให้เกิดและการตรวจจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในห้องทดลอง โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในห้องทดลองของเขานั้นเป็นคลื่นวิทยุ



รูป แฮทซ์



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.1

1. ขณะที่กระแสไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าที่ต่อระหว่างแบตเตอรี่กับหลอดไฟฟ้า จะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกมาจากสายไฟฟ้านั้นหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. ชายคนหนึ่งอยู่ที่เส้นศูนย์สูตรของโลก ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ขนานกับพื้นไปทางทิศเหนือ และตรวจพบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกไปนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กจะอยู่ในแนวใด
3. จงระบุความแตกต่างระหว่างคลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

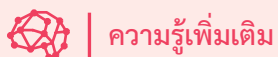
### 18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายชนิดขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ โดยแต่ละชนิดถูกเรียกชื่อแตกต่างกัน เช่น แสง คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดสามารถแผ่ออกไปได้ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็วประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที หากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีตัวกลางอยู่จะมีอัตราเร็วลดลง ขึ้นกับตัวกลางและชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลาง ( $v$ ) กับความถี่ ( $f$ ) และความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) มีความสัมพันธ์กันเช่นเดียวกับคลื่นกลที่ต่อเนื่อง ตามสมการ

$$v = f\lambda$$

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวกลางอื่น ๆ อัตราเร็วและความยาวคลื่นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป แต่ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลง

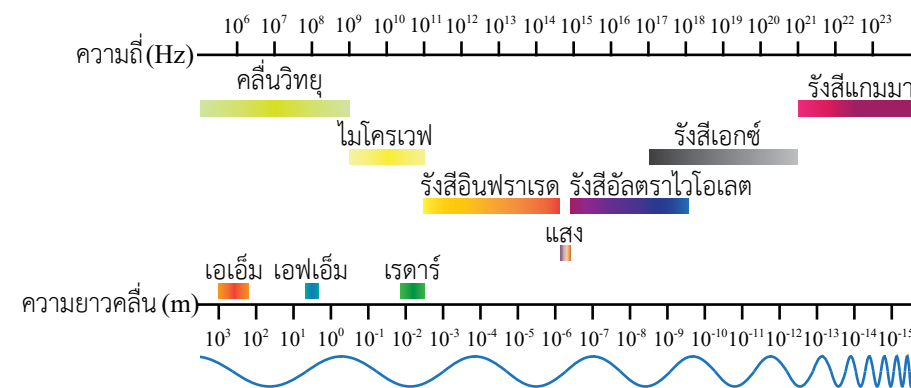


#### ความรู้เพิ่มเติม

อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศเป็นค่าคงตัวเท่ากับ 299 792 458 เมตรต่อวินาที\* ซึ่งถูกใช้ในการนิยามระยะทางมาตรฐาน 1 เมตร โดยระยะทางมาตรฐาน 1 เมตร มีค่าเท่ากับระยะที่แสงเดินทางในสุญญากาศในเวลา  $\frac{1}{299\,792\,458}$  วินาที

\* General Conference on Weights And Measures, 1983 Oct 21.

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาจนทราบว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่าง ๆ สัมพันธ์กับพลังงาน โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงจะมีพลังงานสูง และเป็นความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้าง เรียกรวมกันว่า **สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum)** ดังรูป 18.5



รูป 18.5 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า\*

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดที่มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เนื่องจากแหล่งกำเนิดและการนำไปใช้งาน เมื่อพิจารณาสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางชนิดมีความถี่บางช่วงคาบเกี่ยวกัน เช่น ไมโครเวฟกับรังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ตกับรังสีเอกซ์ หมายความว่ารังสีช่วงนี้ถ้าเกิดจากแหล่งกำเนิดต่างกันเรียกชื่อต่างกัน แต่มีความยาวคลื่นและความถี่เท่ากัน

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่หรือความยาวคลื่นต่างกัน ทั้งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในธรรมชาติและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้น จะถูกนำไปประยุกต์ใช้แตกต่างกัน ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป

#### 18.2.1 คลื่นวิทยุ

**คลื่นวิทยุ (radio waves)** เป็นคลื่นที่มีความถี่น้อยกว่า  $10^9$  เฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในระดับเซนติเมตรจนถึงกิโลเมตร คลื่นวิทยุสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุที่แตกต่างกันก็จะมี การนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกันด้วย

คลื่นวิทยุนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการส่งสารสนเทศจากตำแหน่งหนึ่ง (ผู้ส่ง) ไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง (ผู้รับ) โดยไม่ต้องมีสายส่งระหว่างสองตำแหน่งนั้น ในชีวิตประจำวัน สถานีวิทยุจะส่งสารสนเทศจากสถานีส่งไปยังผู้รับ โดยการผสมสัญญาณไฟฟ้าที่แปลงจากเสียงหรือภาพกับสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถผสมสัญญาณได้ 2 แบบ คือ แบบเอเอ็มและแบบเอฟเอ็ม แล้วส่งสัญญาณคลื่นผสมเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีส่งไปยังผู้รับ รายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ 18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

\* การแบ่งช่วงความถี่ของสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อาจแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของข้อมูล

### 18.2.2 ไมโครเวฟ

**ไมโครเวฟ (microwaves)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^9$  ถึง  $10^{11}$  เฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในระดับ มิลลิเมตร จนถึง เซนติเมตร มีสมบัติทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ดีกว่าคลื่นวิทยุ มีการนำไมโครเวฟมาใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น

- การทำให้อาหารร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ กล่าวคือ ไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนขึ้นได้ เนื่องจากทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นจนเกิดความร้อน เตาไมโครเวฟจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ประมาณ 2.45 จิกะเฮิรตซ์
- การส่งสัญญาณเสียงและภาพ โดยการส่งสัญญาณดังกล่าวเป็นการผสมสัญญาณแบบ เอฟเอ็ม และไมโครเวฟยังใช้ในการส่งสัญญาณระยะไกล โดยการส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังดาวเทียม จากนั้นดาวเทียมจะส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องรับที่อยู่ไกลออกไป
- เรดาร์ (RADAR หรือ radio detection and ranging) เป็นระบบที่นำไปใช้ระบุตำแหน่งและอัตราเร็วของวัตถุ เช่น พายุ เครื่องบิน หรือการตรวจจับความเร็วรถบนท้องถนนโดยตำรวจจราจร

นอกจากนี้ไมโครเวฟยังนำไปประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งบนพื้นโลก โดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อ 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### 18.2.3 รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด

**รังสีใต้แดงหรือรังสีอินฟราเรด (infrared)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{11}$  ถึง  $10^{14}$  เฮิรตซ์ หรือความยาวคลื่นในระดับไมโครเมตรจนถึงระดับมิลลิเมตร รังสีอินฟราเรดมีสมบัติผ่านชั้นบรรยากาศได้ดี และยังสามารถผ่านเมฆหมอกที่หนาทึบเกินกว่าที่แสงธรรมดาคะผ่านได้ ประสาทสัมผัสทางผิวหนังของมนุษย์ สามารถรับรู้รังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นบางช่วงได้ โดยปกติวัตถุต่าง ๆ จะแผ่รังสีอินฟราเรดตลอดเวลา จึงมีการพัฒนากล้องที่อาศัยรังสีอินฟราเรดในการถ่ายภาพ ซึ่งภาพที่ถ่ายได้จากกล้องนี้จะแสดงอุณหภูมิของวัตถุได้ ดังรูป 18.6



รูป 18.6 ตัวอย่างภาพถ่ายโดยใช้รังสีอินฟราเรด

นอกจากนี้รังสีอินฟราเรดยังถูกนำมาใช้ในการถ่ายภาพพื้นโลกจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อศึกษาการแปรสภาพของป่าไม้หรือการอพยพเคลื่อนย้ายของฝูงสัตว์ เนื่องจากรังสีอินฟราเรด สามารถทะลุผ่านเมฆหมอกได้ดีกว่าแสง

อุปกรณ์บางชนิดในชีวิตประจำวัน มีการนำรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เรียกว่า **รีโมทคอนโทรลเลอร์ (remote controller)** หรือ รีโมท เช่น รีโมทโทรทัศน์ รีโมทเครื่องปรับอากาศ โดยรายละเอียดหลักการประยุกต์จะกล่าวถึงในหัวข้อ 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### รู้หรือไม่

รังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งตามความยาวคลื่นโดยเทียบกับความยาวคลื่นของแสงที่ตามองเห็น ได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

1. **รังสีอินฟราเรดใกล้ (near infrared)** มีความยาวคลื่นในช่วง 0.7 ถึง 1.5 ไมโครเมตร เป็นรังสีอินฟราเรดช่วงที่มีพลังงานสูงที่สุด จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความร้อนสูงเช่น การอบสี การอบแห้งผลิตภัณฑ์
2. **รังสีอินฟราเรดปานกลาง (medium infrared)** มีความยาวคลื่นในช่วง 1.5 ถึง 4.0 ไมโครเมตร ซึ่งถูกนำไปใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง
3. **รังสีอินฟราเรดไกล (far infrared)** มีความยาวคลื่นในช่วง 4.0 ถึง 1000 ไมโครเมตร เป็นรังสีอินฟราเรดช่วงที่มีพลังงานต่ำที่สุด ซึ่งรังสีในช่วงความยาวคลื่นนี้ถูกนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์ให้ความร้อน เช่น ตู้อบขนาน้ำระบอบอินฟราเรด

### 18.2.4 แสง

**แสงหรือแสงที่ตามองเห็น (visible light)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามนุษย์มองเห็นได้ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต มีความถี่ในช่วงตั้งแต่  $4.3 \times 10^{14}$  ถึง  $7.5 \times 10^{14}$  เฮิรตซ์ หรือมีความยาวคลื่นของแสงในสุญญากาศอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร ประสาทตาของมนุษย์ไวต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงนี้มาก โดยความยาวคลื่นในช่วงนี้ ตารับรู้และสมองของเราแปลเป็นสีที่แตกต่างกัน โดยสีของแสงที่เราเห็นซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยที่สุดคือแสงสีม่วง และความยาวคลื่นมากที่สุดคือแสงสีแดง

การใช้ประโยชน์จากแสง เช่น ใช้แสงในการมองเห็น การผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง แหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปจะให้แสงหลายความถี่ แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องกำเนิดแสงความถี่เดียวที่มีความเข้มสูง เรียกว่า **เลเซอร์ (light amplification by stimulated emission of radiation : LASER)** ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น ด้านการสื่อสาร ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม

#### | ความรู้เพิ่มเติม

เลเซอร์ในปัจจุบันมีหลากหลายชนิด ซึ่งให้แสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงที่มองเห็น จนถึงรังสีอินฟราเรด เลเซอร์หลายชนิดปล่อยคลื่นได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบห้วง (pulse) ดังนั้นเลเซอร์จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ เช่น

1. กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้เลเซอร์ในการเชื่อม ตัด เจาะ สกัด
2. การแพทย์และศัลยกรรม เช่น การผ่าตัดเนื้ออกและมะเร็ง ศัลยกรรมตกแต่ง
3. การอ่านแถบรหัส (bar code) สินค้า ได้แก่ การใช้เลเซอร์อ่านแถบรหัสข้อมูลของสินค้า
4. การเก็บข้อมูลโดยใช้แสง (optical storage) การเก็บข้อมูลลงแผ่นดีวีดี หรือ แผ่นซีดี
5. ฮอโลกราฟี (holography) หรือวิธีถ่ายภาพสามมิติ

### 18.2.5 รังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต

**รังสีเหนือม่วงหรือรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วง  $10^{15}$  ถึง  $10^{18}$  เฮิรตซ์ ความยาวคลื่นอยู่ในระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร ในธรรมชาติการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตแผ่มาด้วย รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความถี่สูงกว่าแสงทำให้มีพลังงานสูงกว่าแสง แต่เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกรังสีอัลตราไวโอเล็ตบางส่วนจะถูกชั้นบรรยากาศดูดกลืนก่อนกระทบผิวโลก

รังสีอัลตราไวโอเล็ตเมื่อตกกระทบบนผิวหนังของมนุษย์ ทำให้ร่างกายสามารถสร้างวิตามินดี ซึ่งจำเป็นสำหรับความแข็งแรงของกระดูกและฟันด้วย แต่ถ้าได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้ผิวหนังระคายเคือง เกิดความเสียหายได้ และอาจนำไปสู่การเป็นมะเร็งผิวหนัง

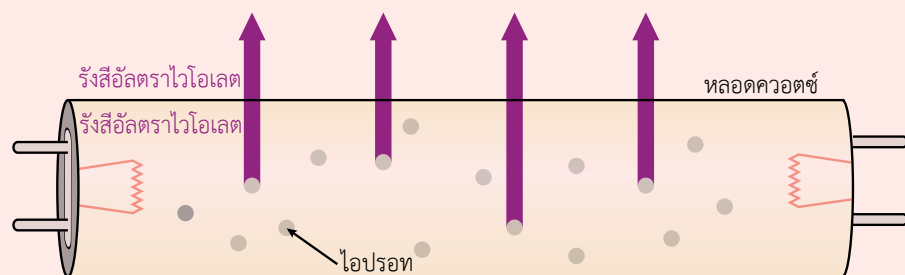
นอกจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้ว การเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าก็สามารถทำให้เกิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความเข้มสูงในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อนัยน์ตาและผิวหนัง จึงจำเป็นต้องสวมแว่นสำหรับป้องกันนัยน์ตา รวมทั้งสวมหมวกและเสื้อผ้าเพื่อป้องกันผิวหนัง

รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถนำไปฆ่าเชื้อแบคทีเรียในอาหาร และฆ่าเชื้อในเครื่องมือที่ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร นอกจากนี้รังสีอัลตราไวโอเล็ตยังถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคผิวหนังบางชนิด และยังสามารถทำให้สารบางชนิดเรืองแสงได้จึงนำมาใช้ในการตรวจสอบเอกสารหลักฐาน

#### | ความรู้เพิ่มเติม

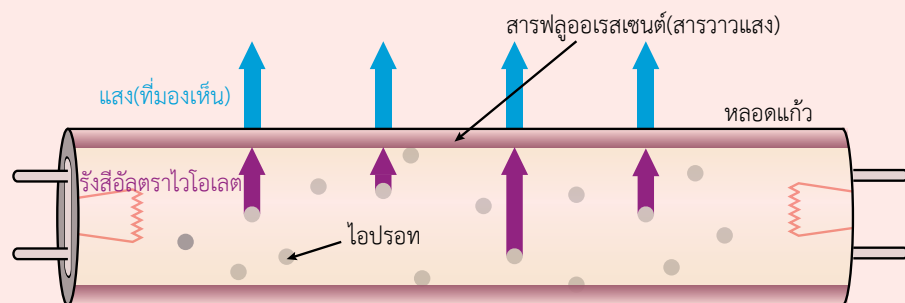
การผลิตรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าไปในหลอดที่บรรจุก๊าซ เช่น ไอปรอท โดยอะตอมปรอทในไอปรอทจะรับพลังงานจากอิเล็กตรอนในกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด แล้วปลดปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมาพร้อมกับให้แสงสีม่วงปนออกมาเล็กน้อย รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถทะลุผ่านแก้วได้บ้างเล็กน้อย แต่ผ่านควอตซ์ได้ดี ดังนั้นวัสดุที่นำมาสร้างหลอดผลิตรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นจะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

สำหรับหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตสำหรับใช้ฆ่าเชื้อโรค และหลอดแบล็คไลท์สำหรับทำให้สารบางชนิดเรืองแสง ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยตรง ตัวหลอดจะผลิตจากควอตซ์เพื่อให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตแผ่ออกมาภายนอกได้ ดังรูป



รูป หลอดแบล็คไลท์

แต่สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ตามบ้านเรือนเพื่อให้แสงสว่างนั้น ตัวหลอดจะผลิตจากแก้ว โดยจะเคลือบสารเรืองแสงไว้ภายใน เมื่อรังสีอัลตราไวโอเลตกระทบสารเรืองแสงนี้ สารเรืองแสงจะถูกกระตุ้นให้เปล่งแสงสว่าง สีขาวหรือแสงสีอื่น ๆ ขึ้นกับชนิดของสารเรืองแสง ส่วนรังสีอัลตราไวโอเลต จะถูกหลอดแก้วกั้นไม่ให้แผ่ออกมานอกหลอด ดังรูป



รูป หลอดฟลูออเรสเซนต์

## รู้หรือไม่

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization หรือ WHO) แบ่งรังสีอัลตราไวโอเลต ตามความยาวคลื่นได้ 3 ชนิดดังนี้

1. รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (ultraviolet A หรือ UV-A) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 315 ถึง 400 นาโนเมตร มีพลังงานน้อยที่สุด รังสีนี้ส่วนมากจะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศของโลกมายังพื้นผิวโลกได้ ซึ่งเมื่อกระทบผิวหนังจะทำให้เกิดผลเสียต่อผิวหนังในระยะยาว เช่น ทำให้เกิดการเหี่ยวย่น ผิวแก่ก่อนวัย แม้รังสี UV-A มีพลังงานน้อยไม่สามารถทำอันตรายต่อดีเอ็นเอของเซลล์ได้โดยตรง แต่ก็ยังเป็นปัจจัยส่งผลให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ รังสี UV-A มีอีกชื่อหนึ่งคือ แบล็คไลท์ ด้วยคุณสมบัติที่สามารถทำให้สารบางชนิดเกิดการเรืองแสง จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการสืบสวนสอบสวน เช่น การตรวจสอบธนบัตร การตรวจหารอยเลือด
2. รังสีอัลตราไวโอเลตบี (ultraviolet B หรือ UV-B) มีความยาวคลื่นในช่วง 280 ถึง 315 นาโนเมตร ส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนก่อนที่จะมาถึงผิวโลก รังสีนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผิวไหม้จากแสงแดด และทำให้มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งผิวหนัง
3. รังสีอัลตราไวโอเลตซี (ultraviolet C หรือ UV-C) มีความยาวคลื่นในช่วง 100 ถึง 280 นาโนเมตร มีพลังงานสูงที่สุด แต่รังสีนี้เกือบทั้งหมดจะถูกดูดกลืนในชั้นบรรยากาศของโลก จึงไม่สามารถผ่านมาถึงผิวโลกได้ รังสี UV-C ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อในอาหาร เช่น ในเครื่องกรองน้ำดื่ม

### 18.2.6 รังสีเอกซ์

**รังสีเอกซ์ (X-rays)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง  $10^{17}$  ถึง  $10^{21}$  เฮิรตซ์ ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงพิโกเมตร ถึง นาโนเมตร ในธรรมชาติรังสีเอกซ์ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ จะถูกชั้นบรรยากาศของโลกดูดกลืนก่อนกระทบผิวโลก รังสีเอกซ์สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางหนา ๆ และ จะถูกขวางกั้นโดยอะตอมของธาตุหนักได้ดีกว่าธาตุเบา จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านความปลอดภัยในท่าอากาศยานใช้ในการตรวจหาวัตถุอันตรายในกระเป๋าเดินทางโดยไม่ต้องเปิดกระเป๋า ดังรูป 18.7 ก. ด้านการแพทย์ใช้รังสีเอกซ์ผ่านร่างกายมนุษย์และสร้างภาพประกอบการวินิจฉัยความผิดปกติของอวัยวะ ดังรูป 18.7 ข.



ก. การตรวจหาวัตถุอันตรายในกระเป๋าเดินทางจากเครื่องฉายรังสีเอกซ์



ข. ภาพอวัยวะจากเครื่องเอกซเรย์

รูป 18.7 ตัวอย่างการนำรังสีเอกซ์ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ

สำหรับหลักการทำงานของตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยรังสีเอกซ์ เช่น เครื่องฉายรังสีเอกซ์ เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ จะได้ศึกษาในหัวข้อ 18.4

### 18.2.7 รังสีแกมมา

**รังสีแกมมา (gamma rays)** เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่มากกว่า หรือมีความยาวคลื่นน้อยกว่ารังสีเอกซ์ เป็นรังสีที่มีความถี่และพลังงานสูงที่สุด โดยรังสีแกมมาที่มาจากนอกโลก จะถูกชั้นบรรยากาศดูดกลืนก่อนกระทบผิวโลก นอกจากนี้รังสีแกมมายังพบได้จากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี เช่น สารโคบอลต์ 60 อีกด้วย รังสีแกมมาสามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น มีอำนาจทะลุผ่านสูง และอาจทำให้ตัวกลางที่รังสีแกมมาผ่านแตกตัวเป็นไอออนได้ นอกจากนี้หากรังสีแกมมาผ่านเนื้อเยื่อจะทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อ และอาจทำให้เกิดความผิดปกติต่อโครงสร้างของดีเอ็นเอได้ ด้วยเหตุนี้รังสีแกมมาจึงเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

แม้รังสีแกมมาจะมีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่ก็มีการนำรังสีแกมมามาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ในทางการแพทย์ใช้รังสีแกมมาในการทำลายเซลล์มะเร็ง ในทางอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ฆ่าเชื้อโรคในอาหาร และ การถนอมอาหาร นอกจากนี้นักดาราศาสตร์ยังใช้เครื่องมือตรวจจับรังสีแกมมาที่มาจากนอกโลกเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในอวกาศ เช่น การระเบิดรังสีแกมมา (gamma-ray bursts) ซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า

## รู้หรือไม่

เนื่องจากรังสีแกมมามีพลังงานและอำนาจทะลุผ่านสูง สามารถใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรค และลดปริมาณปรสิตได้ จึงถูกนำมาประยุกต์ในการถนอมอาหาร

“องค์การอนามัยโลก องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ร่วมกับทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ได้สรุปผลการทดสอบความปลอดภัยของอาหารฉายรังสี ในปี 2523 ว่า “อาหารใดๆ ก็ตาม ที่ผ่านการฉายรังสีในปริมาณเฉลี่ยไม่เกิน 10 กิโลเกรย์ ไม่ก่อให้เกิดพิษอันตราย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาพิเศษทางโภชนาการและจุลชีววิทยา และไม่จำเป็นต้องทดสอบความปลอดภัยอีกต่อไป””\*

ปริมาณ 1 เกรย์ (gray หรือ Gy) หมายถึง อาหารได้ดูดกลืนพลังงาน 1 จูล ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม โดยกระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศไว้ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 297) พ.ศ. 2549 เรื่องอาหารฉายรังสี ว่าอาหารที่ผ่านการฉายรังสี จะต้องแสดงข้อความว่า “ผ่านการฉายรังสี” และอาจแสดงเครื่องหมายการฉายรังสี ดังรูป



รูป เครื่องหมายการฉายรังสี



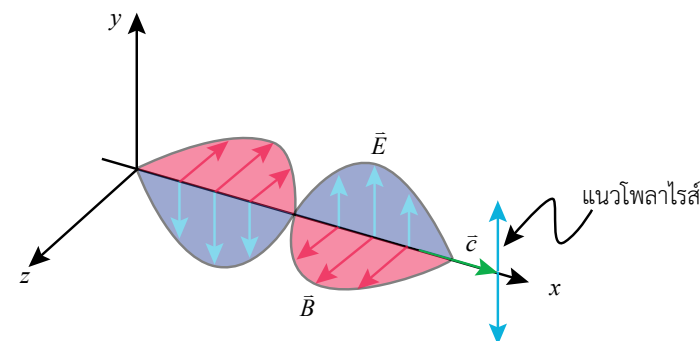
### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.2

1. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงใดที่ประสาทสัมผัสของมนุษย์รับรู้ได้
2. คลื่นไมโครเวฟใช้ปรุงอาหารให้สุกเมื่อนำมาใช้ในการสื่อสารระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ใช้หรือไม่ เพราะอะไร
3. จงยกตัวอย่างการใช้ประโยชน์และผลกระทบจากรังสีเหนือม่วงที่มีต่อมนุษย์
4. นอกจากการใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์แล้ว เรายังใช้ประโยชน์จากรังสีเอกซ์ในด้านใดได้บ้าง

\* สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ. 2553: ออนไลน์.

## 18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

พิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศที่เป็นท่อนโลหะสองท่อนในแนวตั้งที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูป 18.4 ก. มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกไป โดยสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางการกลับไปมาในแนวตั้งเพียงแนวเดียว ดังรูป 18.8



รูป 18.8 การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าในแนวตั้ง

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าข้างต้น มีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางการกลับไปมาในแนวแกน  $y$  แนวเดียว ขณะที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามแกน  $x$  จึงกล่าวได้ว่าสนามไฟฟ้า  $\vec{E}$  มีการเปลี่ยนแปลงกลับไปมาบนระนาบ  $xy$  เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในระนาบเดียวนี้ว่า **คลื่นโพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarized wave)** โดยพิจารณาแนวโพลาไรซ์ของคลื่นจากการวางตัวของทิศทางการสั่นของสนามไฟฟ้า เช่น สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางการกลับไปมาวางตัวอยู่ในแนวตั้ง เรียกว่า **โพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวตั้ง (vertically polarized)**

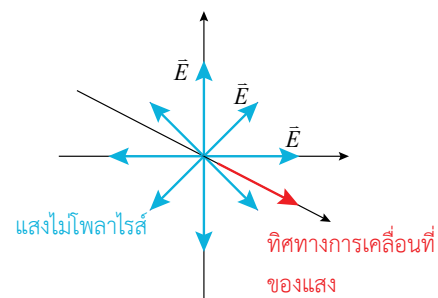


### ชวนคิด

กรณีสายอากาศอยู่ในแนวระดับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกไป จะเป็นคลื่นโพลาไรซ์เชิงเส้นในแนวใด

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากสายอากาศที่กล่าวมาข้างต้นเป็นคลื่นโพลาไรซ์ เพราะสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทิศทางการกลับไปมาในแนวเดียวกันเสมอ แสงก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงเป็นคลื่นโพลาไรซ์หรือไม่

แสงจากแหล่งกำเนิดทั่วไป เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ รวมทั้งแสงที่สะท้อนจากวัตถุรอบๆ ตัวเรา จะมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กวางตัวในแนวต่างๆ กัน ถ้าพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าของแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดในแนวต่างๆ ดังรูป 18.9 แสงจากแหล่งกำเนิดลักษณะนี้จึงเป็นแสงไม่โพลาไรส์ (unpolarized light)



รูป 18.9 สนามไฟฟ้าของแสงไม่โพลาไรส์

การทำให้แสงที่ไม่โพลาไรส์ เป็นแสงโพลาไรส์เชิงเส้น ศึกษาจากกิจกรรม 18.1



### กิจกรรม 18.1 ความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์

#### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์

#### วัสดุและอุปกรณ์

- |                     |           |
|---------------------|-----------|
| 1. แผ่นโพลาไรซ์     | 2 แผ่น    |
| 2. หม้อแปลงโวลต์ต่ำ | 1 เครื่อง |
| 3. สายไฟ            | 2 เส้น    |
| 4. กล้องแสง         | 1 กล้อง   |

#### วิธีทำกิจกรรม

1. ต่อกล่องแสงเข้ากับหม้อแปลงโวลต์ต่ำ โดยใช้ความต่างศักย์ 8 โวลต์ ดังรูป



รูป การต่ออุปกรณ์เพื่อศึกษาความสว่างของแสงเมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์

2. เปิดสวิตช์ สังเกตและเปรียบเทียบความสว่าง เมื่อมองหลอดไฟโดยตรงกับมองหลอดไฟผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น
3. หมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปจนครบ 1 รอบ สังเกตความสว่างของหลอดไฟที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์
4. นำแผ่นโพลาไรซ์อีกแผ่นหนึ่งมาประกบกับแผ่นแรก แล้วหมุนแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่สองอย่างช้า ๆ ไปจนครบ 1 รอบ สังเกตความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสอง ขณะหมุน บันทึกมุมที่หมุนไประหว่างตำแหน่งที่มีความสว่างเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ปิดสวิตช์



#### คำถามท้ายกิจกรรม

- ☐ ความสว่างของแสงซึ่งผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น ต่างจากความสว่างของแสงขณะไม่มีแผ่นโพลาไรซ์กั้นหรือไม่
- ☐ เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่นไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านออกมา แต่ละขณะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ☐ เมื่อหมุนโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 2 แผ่น แต่ละขณะ เปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
- ☐ มุมระหว่างตำแหน่งของแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ที่แสงมีความสว่างมากที่สุด กับแสงมีความสว่างน้อยที่สุด เป็นมุมเท่าใด

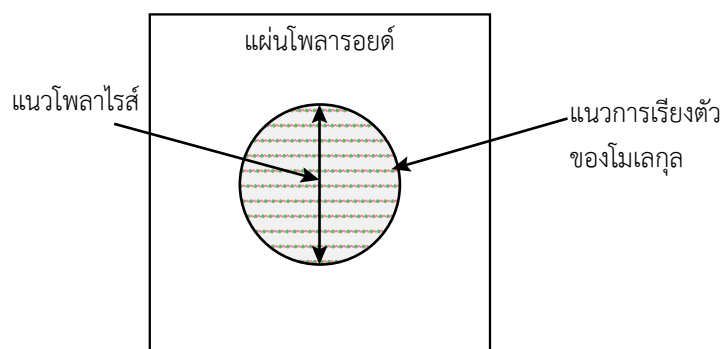
จากกิจกรรม 18.1 ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่น มีความสว่างลดลงเมื่อเทียบกับขณะไม่มีแผ่นโพลาไรซ์กัน เมื่อหมุนแผ่นโพลาไรซ์ไปตำแหน่งต่างๆ ความสว่างไม่เปลี่ยนแปลง

เมื่อนำแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 มาประกบแล้วหมุนแผ่นที่ 2 ไปจนครบ 1 รอบ พบว่าความสว่างมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างสว่างมากที่สุดกับสว่างน้อยที่สุด โดยตำแหน่งของแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่ 2 ที่แสงมีความสว่างมากที่สุดกับตำแหน่งที่แสงมีความสว่างน้อยที่สุด จะทำมุมต่างกัน 90 องศา

แผ่นโพลาไรซ์ดังรูป 18.10 ก. เป็นแผ่นพลาสติกที่มีโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) ฝังอยู่ในเนื้อพลาสติก และแผ่นพลาสติกถูกยืดให้โมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เรียงตัวในแนวขนานกัน เมื่อแสงผ่านแผ่นโพลาไรซ์ องค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวขนานกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล จะถูกโมเลกุลดูดกลืน ส่วนองค์ประกอบสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุล จะผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกไปได้ ต่อไปจะเรียกแนวที่ตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของโมเลกุลนี้ว่า แนวโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ ดังรูป 18.10 ข.



ก. ตัวอย่างของแผ่นโพลาไรซ์

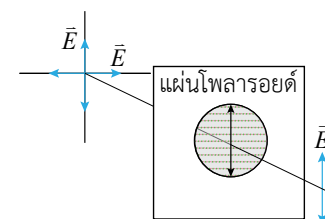


ข. แนวการเรียงตัวของโมเลกุลและแนวโพลาไรซ์

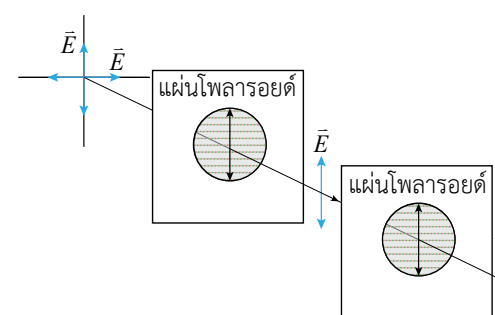
รูป 18.10 แผ่นโพลาไรซ์

ดังนั้นสรุปได้ว่า

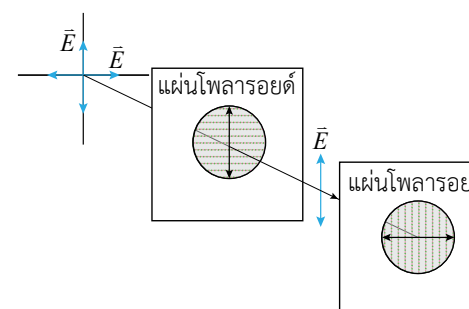
1. องค์ประกอบสนามไฟฟ้าของแสงในแนวขนานกับแนวโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ จะสามารถผ่านแผ่นโพลาไรซ์ได้
2. องค์ประกอบสนามไฟฟ้าของแสงในแนวตั้งฉากกับแนวโพลาไรซ์ จะถูกแผ่นโพลาไรซ์ดูดกลืน



ก. สนามไฟฟ้าของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์



ข. สนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นที่มีแนวโพลาไรซ์ขนานกัน



ค. สนามไฟฟ้าของแสงโพลาไรซ์ที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นที่มีแนวโพลาไรซ์ตั้งฉากกัน

รูป 18.11 แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์

เมื่อแสงไม่โพลาไรซ์ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ สนามไฟฟ้าของแสงไม่โพลาไรซ์ที่มีทิศตั้งฉากกับแนวโพลาไรซ์จะถูกดูดกลืน เหลือเพียงสนามไฟฟ้าที่มีทิศขนานกับแนวโพลาไรซ์ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกมา ดังรูป 18.11 ก. จะได้แสงโพลาไรซ์เชิงเส้น (linear polarized light)

นั่นคือ แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์แล้ว จะเป็นแสงที่มีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในระนาบเดียว และอยู่ในแนวโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ สมบัติของแสงลักษณะนี้เรียกว่า โพลาไรเซชัน (polarization)

เมื่อให้แสงไม่โพลาไรซ์ผ่านแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นที่นำมาประกบกัน ขณะหมุนแผ่นโพลาไรซ์แผ่นที่สอง ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองจะเปลี่ยนไป ความสว่างของแสงจะมากที่สุดเมื่อแนวโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองขนานกัน ดังรูป 18.11 ข. และความสว่างจะน้อยที่สุด เมื่อแนวโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสองตั้งฉากกัน ดังรูป 18.11 ค. (ถ้าแผ่นโพลาไรซ์มีคุณภาพดีมาก จะไม่มีแสงผ่านออกมา)



### ชวนคิด

แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ 1 แผ่นแล้ว มีสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวระดับ ยังมีสนามแม่เหล็กอยู่หรือไม่ และหากมีจะอยู่ในแนวใด



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.3

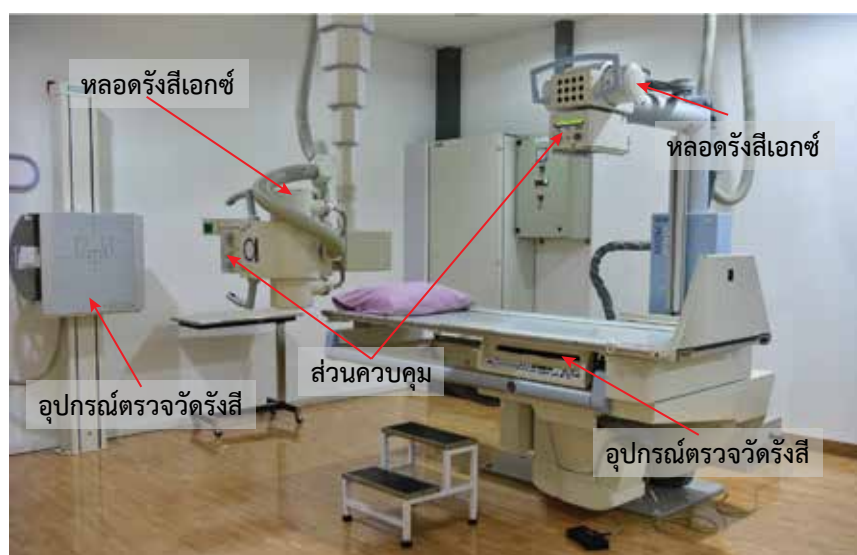
จากกิจกรรม 18.1 ในการส่องดูแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไม่โพลาไรส์ด้วยแผ่นโพลาไรซ์สองแผ่นซ้อนกัน หากเปลี่ยนเป็นหมุนแผ่นโพลาไรซ์แผ่นแรก ไปจนครบ 1 รอบ ความสว่างของแสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ทั้งสอง ออกมาจะมีการเปลี่ยนแปลง หรือไม่เพราะเหตุใด

## 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากหัวข้อที่ผ่านมาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งได้เป็นหลายชนิดตามความถี่ ซึ่งจะมีสมบัติที่แตกต่างกันตามชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการสื่อสาร ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ในหัวข้อนี้จะได้ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์บางชนิดที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

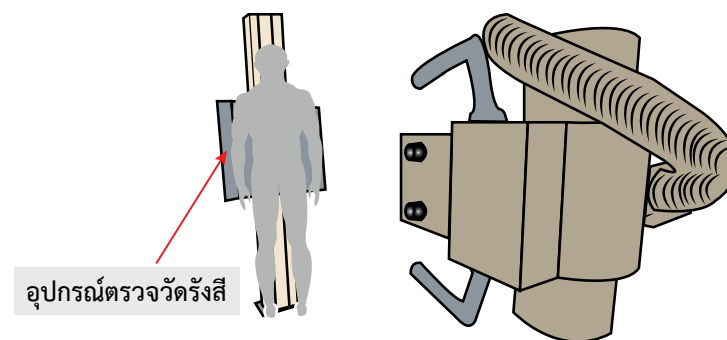
### 18.4.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์

**เครื่องฉายรังสีเอกซ์ (X-ray machine)** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสีเอกซ์ฉายผ่านร่างกายในบริเวณที่ต้องการวินิจฉัย ซึ่งจะได้ภาพเป็นภาพ 2 มิติ เครื่องฉายรังสีเอกซ์มีส่วนประกอบดังรูป 18.12



รูป 18.12 ส่วนประกอบของเครื่องฉายรังสีเอกซ์

**หลอดรังสีเอกซ์ (X-ray tube)** จะฉายรังสีเอกซ์ผ่านร่างกายในบริเวณอวัยวะที่ต้องการตรวจหาความผิดปกติ ไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดรังสี ดังรูป 18.13 โดยความเข้มของรังสีเอกซ์จะถูกปรับจากส่วนควบคุม



รูป 18.13 การฉายรังสีเอกซ์ผ่านร่างกายในบริเวณที่ต้องการตรวจสอบความผิดปกติ

อุปกรณ์ตรวจวัดรังสี มีสองแบบคือ แบบแผ่นฟิล์ม และแบบดิจิทัล รังสีเอกซ์ที่ฉายผ่านร่างกายจะถูกเนื้อเยื่อและกระดูกดูดกลืนในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อตกกระทบอุปกรณ์ตรวจวัดรังสี ทำให้เกิดเป็นภาพบนระนาบใน 2 มิติ ถ้าเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีแบบแผ่นฟิล์มจะได้ภาพดังรูป 18.14 ก. หากเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีแบบดิจิทัลจะได้ภาพแสดงบนจอแสดงผล ดังรูป 18.14 ข. ซึ่งแพทย์จะนำภาพนี้ไปประกอบการวินิจฉัยโรคต่อไป



ก. แบบแผ่นฟิล์ม



ข. แบบดิจิทัล

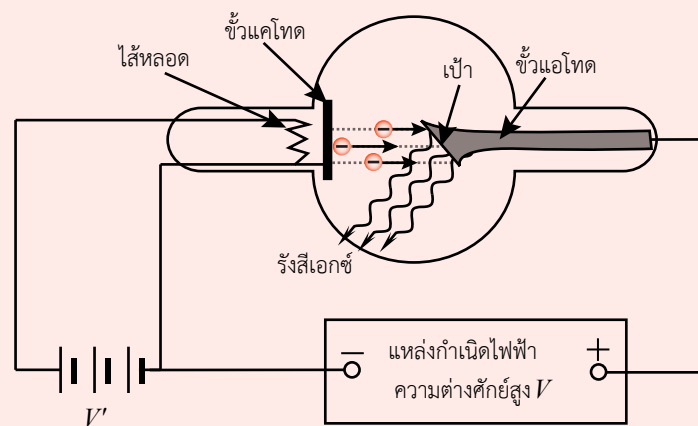
รูป 18.14 ภาพเอกซเรย์จากอุปกรณ์ตรวจวัดรังสี

ภาพเอกซเรย์ที่ได้จะเป็นภาพขาวดำ โดยในแต่ละตำแหน่งจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีเอกซ์ที่ผ่านร่างกาย แล้วไปตกกระทบอุปกรณ์ตรวจวัดรังสี เช่น กระจกมีแคลเซียมซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้มากที่สุด จึงทำให้มองเห็นภาพเอกซเรย์กระดูกเป็นสีขาว ส่วนเนื้อเยื่อและอวัยวะภายในมีคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนซึ่งดูดกลืนรังสีได้น้อยกว่า จึงมองเห็นภาพเป็นสีเทา ในขณะที่ปอดมีออกซิเจนซึ่งดูดกลืนรังสีได้น้อยที่สุดจึงมองเห็นเป็นสีดำ ดังรูป 18.14 สำหรับเนื้อเยื่อ ภาพที่เห็นจะไม่สามารถแยกเนื้อเยื่อแบบต่าง ๆ ออกจากกันได้ เนื่องจากความเข้มของรังสีที่อุปกรณ์ตรวจวัดรังสีวัดได้มีความแตกต่างกันน้อยมาก ทางแพทย์อาจแก้ปัญหานี้ได้ โดยการฉีดสารทึบแสง เช่น ไอโอดีนหรือแบเรียมเข้าไปในเนื้อเยื่อก่อนฉายรังสี

การสร้างภาพอวัยวะภายในร่างกายด้วยเครื่องฉายรังสีเอกซ์เพื่อใช้ประกอบวินิจฉัยทางการแพทย์ เป็นการใช้ประโยชน์ของรังสีเอกซ์ การได้รับรังสีเป็นระยะเวลานานหรือได้รับรังสีเป็นปริมาณมากอาจทำให้เกิดอันตราย เพื่อความปลอดภัยควรปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญ

### ความรู้เพิ่มเติม

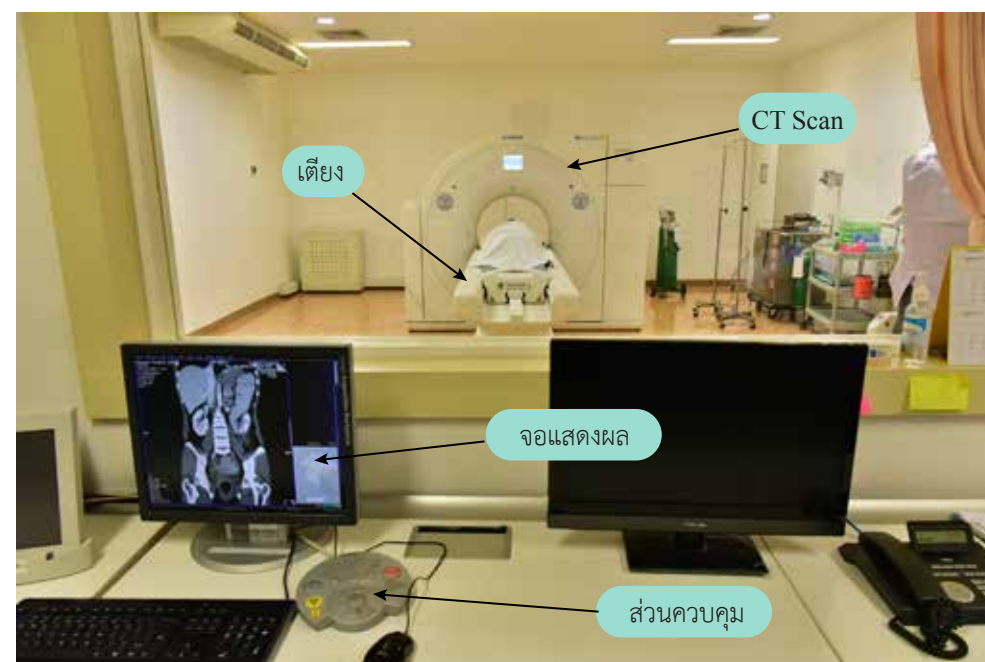
เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ หลอดรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นหลอดแก้วสุญญากาศ ภายในมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วลบ (แคโทด) หรือ **ไส้หลอด (filament)** และขั้วบวก (แอโนด) หรือ **เป้า (target)** ขั้วทั้ง 2 ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความต่างศักย์สูง เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในไส้หลอด แล้วจะเกิดความร้อนจนเพิ่มอุณหภูมิสูงประมาณ 2000 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากไส้หลอดมากเพียงพอ และถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูงไปกระทบกับเป้า จึงปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นรังสีเอกซ์ความถี่ต่าง ๆ ดังรูป



รูป ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

### 18.4.2 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

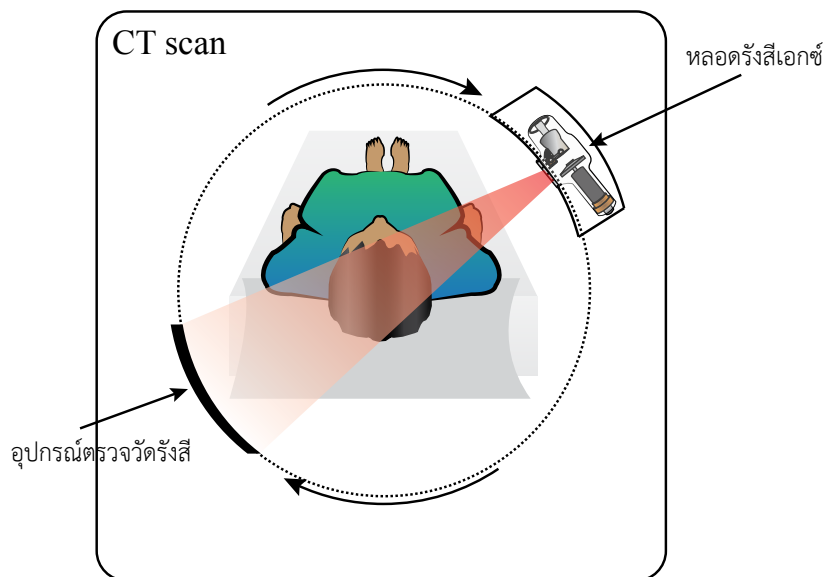
**เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (computed tomography scan หรือ CT Scan)** หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ซีทีสแกน เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสีเอกซ์ฉายกราด (scan) ผ่านตัวอวัยวะหรือร่างกาย และสร้างภาพที่เห็นรายละเอียดโครงสร้างของอวัยวะภายในร่างกาย โดยแพทย์จะใช้ภาพควบคู่กับการตรวจวินิจฉัยว่าอวัยวะนั้น ๆ มีความผิดปกติหรือไม่ ซีทีสแกนมีส่วนประกอบดังรูป 18.15



รูป 18.15 ส่วนประกอบของซีทีสแกน

ซีทีสแกนมีหลักการทำงาน ดังนี้

แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ จะหมุนรอบร่างกาย พร้อมกับฉายรังสีเอกซ์ผ่านร่างกายบริเวณอวัยวะที่ต้องการตรวจสอบความผิดปกติในแนวต่าง ๆ จนรอบอวัยวะนั้น ไปยังอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีที่อยู่ในทิศตรงกันข้าม ดังรูป 18.16



รูป 18.16 แผนภาพการทำงานของซีทีสแกน

ขณะที่รังสีเอกซ์ผ่านร่างกายในแนวต่าง ๆ โดยรอบ จะถูกดูดกลืนในปริมาณที่ต่างกัน ขึ้นกับความหนาแน่นส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย การดูดกลืนจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ กระดูก > เนื้อเยื่อ > ไขมัน > อากาศ

รังสีที่ผ่านร่างกายจะถูกตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดรังสี แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและถูกสร้างเป็นภาพภาคตัดขวางด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ผู้ป่วยจะถูกเลื่อนเข้าไปในเครื่องซีทีสแกน และสร้างภาพภาคตัดขวางต่อเนื่อง เมื่อนำภาพภาคตัดขวางมาวางต่อกันจะทำให้สามารถสร้างเป็นภาพ 3 มิติได้ ตัวอย่างภาพภาคตัดขวางจากซีทีสแกนแสดงดังรูป 18.17



รูป 18.17 ภาพภาคตัดขวางของลำตัวจากซีทีสแกน

ภาพภาคตัดขวางที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์เป็นภาพขาวดำ (gray scale) โดยสีของภาพแต่ละจุดจะแทนเนื้อเยื่อต่าง ๆ เช่น บริเวณที่มีสีขาวแทนกระดูก บริเวณสีเทาแทนเนื้อเยื่อในอวัยวะ บริเวณสีเทาเข้มแทนไขมัน บริเวณสีดำแทนอากาศ การทำซีทีสแกนในบางกรณีอาจมีการนำสารทึบแสงเข้าสู่ร่างกายเช่นเดียวกับเครื่องฉายรังสีเอกซ์ ก่อนทำซีทีสแกนเพื่อให้เนื้อเยื่อภายในอวัยวะดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้มากขึ้น

### 18.4.3 เครื่องควบคุมระยะไกล

เครื่องควบคุมระยะไกล หรือ รีโมทคอนโทรลเลอร์ หรือ เรียกสั้นๆ ว่า รีโมท เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสีอินฟราเรด สำหรับส่งผ่านข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม เช่น โทรทัศน์

โดยทั่วไป เครื่องควบคุมระยะไกลมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนได้แก่ ปุ่มคำสั่งต่าง ๆ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และ ส่วนส่งสัญญาณ ดังรูป 18.18 ก. และ รูป 18.18 ข. ตามลำดับ



ก. ปุ่มคำสั่งต่างๆ และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์



ข. ส่วนส่งสัญญาณ

รูป 18.18 เครื่องควบคุมระยะไกลของโทรทัศน์

เมื่อกดที่ปุ่มใดปุ่มหนึ่งบนเครื่องควบคุมระยะไกล แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในรีโมทจะทำหน้าที่ประมวลผลการกดปุ่มเป็นรหัสคำสั่ง จากนั้นรหัสคำสั่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังส่วนส่งสัญญาณ ซึ่งจะส่งรังสีอินฟราเรดที่มีสัญญาณคำสั่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้า แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของรีโมทดังรูป 18.19 ก.

เมื่อส่วนรับสัญญาณของโทรทัศน์ได้รับรังสีอินฟราเรดที่ส่งมา จะแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องเพื่อการทำงานตามคำสั่งที่ได้มาจากรีโมทต่อไป แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของส่วนรับสัญญาณ ดังรูป 18.19 ข.



ก. เครื่องควบคุมระยะไกลของโทรทัศน์

ข. ส่วนรับสัญญาณของโทรทัศน์

รูป 18.19 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องควบคุมระยะไกลและส่วนรับสัญญาณ

สำหรับเครื่องควบคุมระยะไกลของอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น คีย์บอร์ดไร้สาย (wireless keyboard) และเมาส์ไร้สาย (wireless mouse) ดังรูป 18.20 ก. เครื่องควบคุมระยะไกลของโดรนของเล่น ดังรูป 18.20 ข. มีขั้นตอนการทำงานหลักเหมือนกับรีโมทของโทรทัศน์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่คีย์บอร์ดไร้สาย เมาส์ไร้สายและเครื่องควบคุมโดรน อาจใช้อินฟราเรดหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่น ในการส่งและรับสัญญาณ



ก. คีย์บอร์ดและเมาส์ของคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย



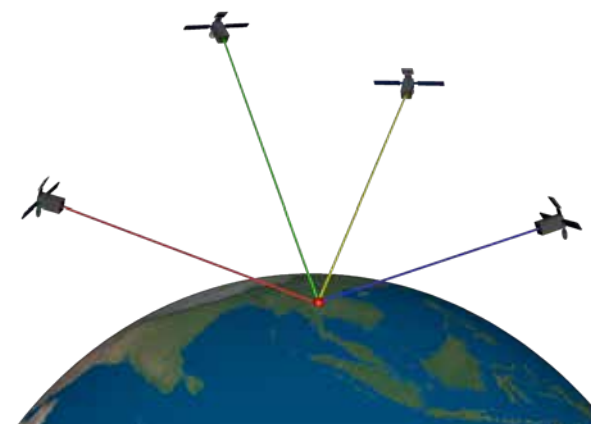
ข. เครื่องควบคุมโดรนแบบไร้สาย

รูป 18.20 ตัวอย่างเครื่องควบคุมระยะไกลของอุปกรณ์อื่น ๆ

#### 18.4.4 เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

การระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกหรือจีพีเอส (global positioning system หรือ GPS) ซึ่งจะประกอบไปด้วยศูนย์ควบคุมภาคพื้นดิน ดาวเทียมส่งสัญญาณ และเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก โดยมีหลักการทำงานดังนี้

ดาวเทียมส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลตำแหน่งและเวลาของดาวเทียมขณะส่งสัญญาณ โดยผสมสัญญาณเข้ากับไมโครเวฟ เมื่อเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับสัญญาณจากดาวเทียม จะคำนวณความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณกับเวลาส่งสัญญาณของดาวเทียมแต่ละดวง ทำให้สามารถหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมแต่ละดวงกับเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก แล้วนำมาประมวลผลเป็นตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกขณะนั้น เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งและเวลาของดาวเทียมในวงโคจรอาจมีการเปลี่ยนแปลงไป ศูนย์ควบคุมภาคพื้นดินทำหน้าที่ตรวจสอบ ปรับปรุงและดูแลการทำงานของดาวเทียมส่งสัญญาณ ให้ข้อมูลของดาวเทียมถูกต้องตลอดเวลา ในการระบุตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของดาวเทียมส่งสัญญาณอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อหาตำแหน่งบนพื้นโลก ณ เวลานั้น ๆ ดังรูป



รูป 18.21 การระบุตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยระบบจีพีเอส

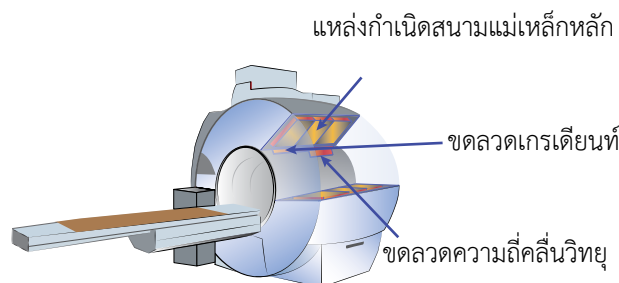
ในความเป็นจริงแล้วความแม่นยำของการระบุตำแหน่งยังมีปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ ความชื้น อุณหภูมิ การหักเหของคลื่นสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งนั้นลดลง

### ความรู้เพิ่มเติม

NAVSTAR (navigation satellite timing and ranging) เป็นเครือข่ายดาวเทียม GPS ของสหรัฐอเมริกา มีดาวเทียม 28 ดวง ใช้งานจริง 24 ดวง อีก 4 ดวง ไว้สำรอง โดยจะแบ่งเป็น 6 รอบวงโคจร แต่ละวงโคจรมีดาวเทียม 4 ดวง และดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง ซึ่งทำให้ทุกตำแหน่งบนโลกติดต่อกับดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงตลอดเวลาซึ่งประชาชนทั่วโลกสามารถใช้ข้อมูลจาก NAVSTAR ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ในระดับที่ไม่เป็นภัยต่อความมั่นคงของสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ยังมีเครือข่ายดาวเทียม GPS ประเทศอื่นอีกเช่น กลุ่มประเทศยุโรป รัสเซีย เรียกรวมกันว่า ระบบดาวเทียมนำร่องโลก (global navigation satellite system หรือ GNSS)

#### 18.4.5 เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก

เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก หรือเครื่องเอ็มอาร์ไอ (magnetic resonance imaging หรือ MRI) เป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้ประกอบการวินิจฉัยโรค ซึ่งสามารถแยกภาพฉายของเนื้อเยื่อต่างชนิดกันเป็นภาคตัดขวาง และภาพ 3 มิติได้ โดยอุปกรณ์นี้อาศัยสมบัติความเป็นแม่เหล็กของนิวเคลียสของไฮโดรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญภายในร่างกายมนุษย์เช่น โมเลกุลของน้ำ เครื่องถ่ายภาพสั่นพ้อง แม่เหล็กซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์ ดังรูป 18.22 มีส่วนประกอบสำคัญและหลักการทำงานดังนี้



รูป 18.22 ส่วนประกอบของเครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็ก

แหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กหลัก ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กความเข้มสูงประมาณ 1.5 - 3 เทสลา เพื่อจัดระเบียบนิวเคลียสของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อ **ขดลวดเกรเดียนท์** (gradient coils) ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มน้อยกว่าสนามแม่เหล็กหลัก ในทิศทางที่แตกต่างกันตามแนวแกน x, y และ z เพื่อให้ได้ข้อมูลในการสร้างภาพ 3 มิติ

**ขดลวดความถี่คลื่นวิทยุ** (radio frequency coils) ทำหน้าที่สร้างคลื่นวิทยุความถี่เหมาะสมกับความถี่สั่นพ้องของนิวเคลียสของไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อที่ต้องการถ่ายภาพ เพื่อให้พลังงานแก่นิวเคลียสของไฮโดรเจน เมื่อขดลวดความถี่คลื่นวิทยุหยุดสร้างคลื่นวิทยุ นิวเคลียสของไฮโดรเจนที่ได้รับพลังงาน จะปลดปล่อยพลังงานที่ได้รับกลับออกมาเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยขดลวดความถี่คลื่นวิทยุ จะรับสัญญาณที่ปลดปล่อยนี้ และส่งไปวิเคราะห์เพื่อสร้างภาพ ดังรูป 18.23



รูป 18.23 ตัวอย่างภาพถ่ายจากเครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็ก

เครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็กใช้คลื่นวิทยุในการทำงาน ซึ่งคลื่นวิทยุนี้ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ แตกต่างจากการตรวจด้วยการใช้รังสีเอกซ์ อีกทั้งสามารถตรวจสอบได้ทุกระบบของร่างกายและมีความแม่นยำสูง แต่การตรวจด้วยเครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็ก มีการใช้สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงค่าและความเข้มสูง ดังนั้นผู้เข้ารับการตรวจจะต้องไม่มีอุปกรณ์ที่เป็นโลหะ เช่น เครื่องประดับ เครื่องกระตุ้นหัวใจ แม้ว่าในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลว่า การตรวจด้วยเครื่องถ่ายภาพสั่นพ้องแม่เหล็กมีผลกระทบต่อทารกในครรภ์ สตรีมีครรภ์ควรปรึกษาแพทย์ก่อนเข้ารับการตรวจด้วยวิธีนี้

### ความรู้เพิ่มเติม

นักฟิสิกส์พบว่า นิวเคลียสมีสมบัติเชิงแม่เหล็ก เมื่อนิวเคลียสอยู่ในสนามแม่เหล็กและถูกกระตุ้นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่เหมาะสม นิวเคลียสจะเกิดการสั่นพ้องและมีพลังงานสูง เมื่อหยุดการรบกวน นิวเคลียสจะกลับสู่สภาวะเดิมและปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า การสั่นพ้องแม่เหล็กนิวเคลียร์หรือเอ็นเอ็มอาร์ (nuclear magnetic resonance หรือ NMR)

การประยุกต์ที่สำคัญของเอ็นเอ็มอาร์ก็คือการนำหลักการเอ็นเอ็มอาร์ร่วมกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ไปประดิษฐ์เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กหรือเครื่องเอ็มอาร์ไอ เพื่อใช้ในการถ่ายภาพภาคตัดขวางของร่างกายมนุษย์



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.4

1. ภาพที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แตกต่างจากภาพที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์ทั่วไปอย่างไร
2. เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดในการสร้างภาพของอวัยวะภายในร่างกาย และคลื่นนั้นมีผลกับร่างกายผู้ป่วยหรือไม่ อย่างไร
3. เพราะเหตุใด การถ่ายภาพด้วยเครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กจึงมีอันตรายน้อยกว่าการถ่ายภาพด้วยเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์
4. ปัจจัยใดบ้าง ที่มีผลต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

## 18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาใช้ส่งสัญญาณเพื่อการสื่อสารได้แก่ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ และแสงที่ตามองเห็น โดยสัญญาณที่ใช้มี 2 ชนิดได้แก่ สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล

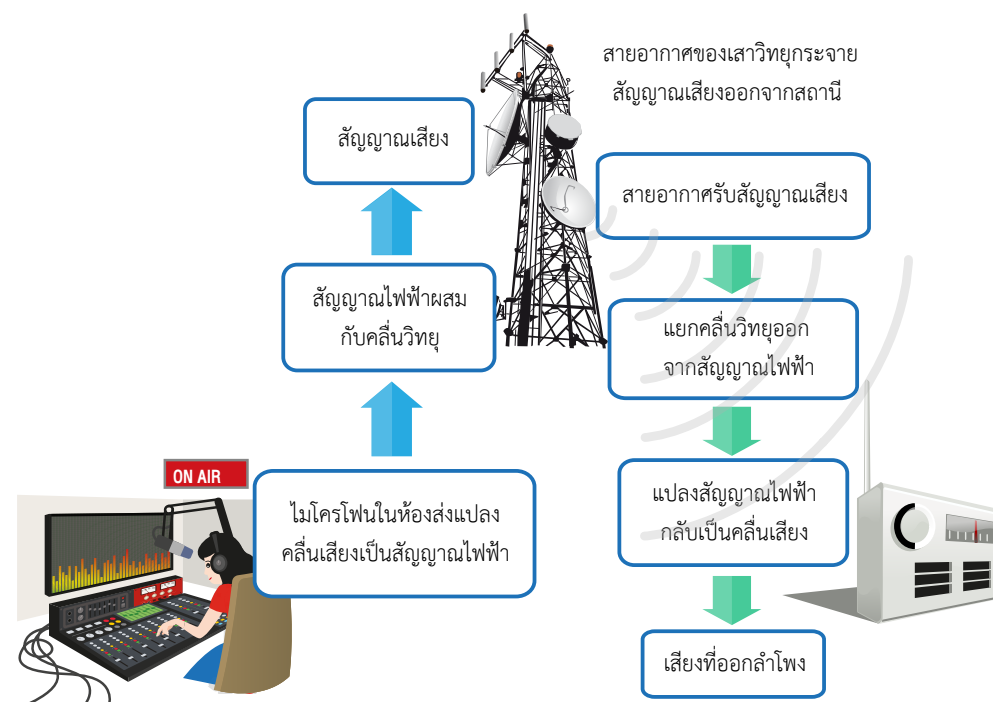
การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ และ แสงมีหลักการสำคัญอย่างไร และสัญญาณแอนะล็อกแตกต่างอย่างไรจากสัญญาณดิจิทัล ศึกษาได้ในหัวข้อต่อไป

### 18.5.1 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการสื่อสารมากที่สุด ซึ่งมีรูปแบบการใช้ที่หลากหลาย ในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้คลื่นวิทยุเพื่อการสื่อสาร 3 แบบ คือ การกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ การส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการส่งและรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย

#### การกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ

การกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุมีขั้นตอนหลักตามแผนภาพในรูป 18.24

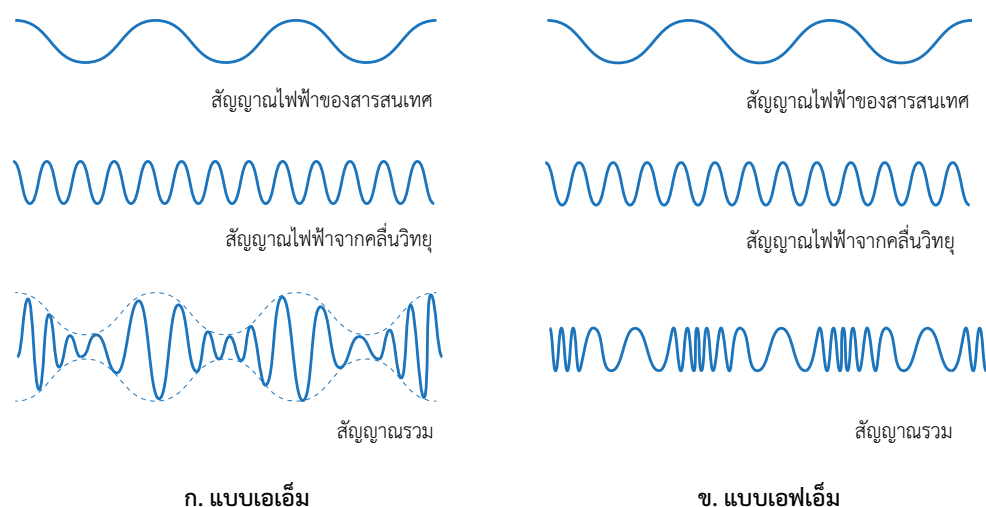


รูป 18.24 การส่งสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุและการรับสัญญาณเสียงของเครื่องรับวิทยุ

เริ่มจากคลื่นเสียงที่พูดผ่านไมโครโฟนได้รับการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำไปผสมกับคลื่นวิทยุ คลื่นที่ผสมแล้ว เรียกว่า สัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ ซึ่งจะถูกขยายให้มีความถี่สูงขึ้น แล้วส่งไปยังสายอากาศเพื่อกระจายออกจากสถานีวิทยุ และเมื่อสัญญาณเสียงเดินทางไปถึงเครื่องรับวิทยุ คลื่นวิทยุจะถูกแยกออกจากสัญญาณไฟฟ้า แล้วสัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงกลับไปเป็นเสียงที่เหมือนกับส่งมาจากสถานี

ในการผสมคลื่นวิทยุกับสัญญาณไฟฟ้า มีวิธีการผสม 2 แบบด้วยกันคือ แบบเอเอ็มและแบบเอฟเอ็ม ซึ่งระบบกระจายสัญญาณวิทยุที่ใช้การผสมแต่ละแบบเรียกว่า **ระบบวิทยุเอเอ็ม (AM radio)** และ **ระบบวิทยุเอฟเอ็ม (FM radio)** ตามลำดับ

การผสมแบบเอเอ็ม เป็นการผสมในลักษณะที่แอมพลิจูดของคลื่นวิทยุมีการปรับแต่งตามลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสม ในขณะที่ความถี่ของคลื่นวิทยุไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูป 18.25 ก. ส่วนการผสมแบบเอฟเอ็ม เป็นการผสมในลักษณะที่ความถี่ของคลื่นวิทยุมีการปรับแต่งตามสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสม ในขณะที่แอมพลิจูดของคลื่นวิทยุไม่เปลี่ยนแปลง ดังรูป 18.25 ข.

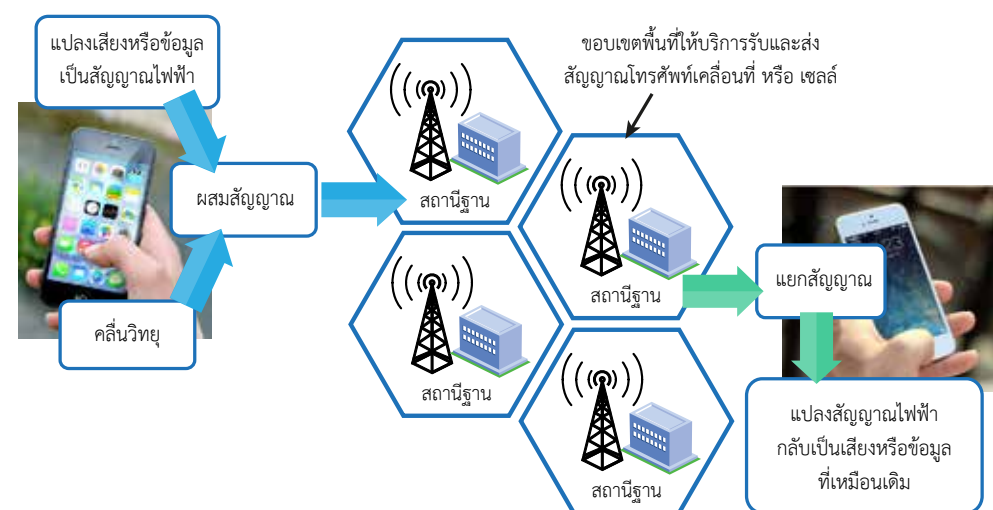


รูป 18.25 การผสมคลื่นวิทยุกับสัญญาณไฟฟ้า

หลายคนอาจเคยมีประสบการณ์ที่ได้ยินเสียงที่ขาดหายจากเครื่องรับวิทยุ เมื่อมีฝนตกฟ้าคะนอง ทั้งนี้ เพราะปรากฏการณ์ฟ้าแลบและฟ้าผ่าสามารถทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รบกวนสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีวิทยุ ถ้าการรับสัญญาณเสียงมาจากระบบเอเอ็ม จะพบว่า เสียงที่ได้ยินขาดหายและมีความไม่ชัดเจนมากกว่าสัญญาณเสียงที่มาจากระบบเอฟเอ็ม ทั้งนี้ เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มารบกวนส่วนใหญ่ไม่ส่งผลกับความถี่ของสัญญาณเสียง แต่จะส่งผลกับแอมพลิจูด ดังนั้น ระบบวิทยุเอฟเอ็มจึงเป็นที่นิยมมากกว่า อย่างไรก็ตาม ระบบวิทยุเอเอ็มยังมีข้อได้เปรียบในด้านขนาดพื้นที่ครอบคลุมของการส่งสัญญาณที่มากกว่า และสามารถส่งสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ดึกสูง หรือ ภูเขาใหญ่ ได้ดีกว่าระบบวิทยุเอฟเอ็ม

### การส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

การสื่อสารด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่มีขั้นตอนของการส่งและรับสัญญาณคล้ายกับการกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ แต่มีความแตกต่างที่การแบ่งขอบเขตพื้นที่การรับและส่งสัญญาณ หรือ **เซลล์ (cell)** ออกเป็นพื้นที่ไม่กว้างมาก โดยแต่ละเซลล์มี**สถานีฐาน (base station)** ที่ทำหน้าที่รับและส่งต่อสัญญาณระหว่างกัน ดังรูป 18.26



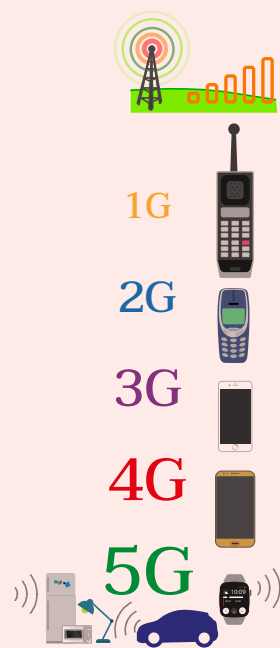
รูป 18.26 การรับและส่งสัญญาณของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

การสื่อสารโดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มจากการที่เสียงพูดหรือข้อมูลต่าง ๆ ถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะนำไปผสมกับคลื่นวิทยุกลายเป็นสัญญาณเสียงหรือสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งต่อไปยังสายอากาศขนาดเล็กของโทรศัพท์เพื่อการกระจายออกไปยังเสารับสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียง จากนั้นเสารับสัญญาณจะส่งสัญญาณต่อไปยังสถานีฐานที่มีขอบเขตพื้นที่ให้บริการครอบคลุมบริเวณที่ผู้ใช้โทรศัพท์อยู่ ลำดับต่อมา สถานีฐานจะทำหน้าที่รับแล้วส่งต่อสัญญาณเสียงหรือข้อมูลไปยังสถานีฐานอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงจนกระทั่งถึงสถานีฐานที่มีขอบเขตพื้นที่ให้บริการครอบคลุมบริเวณที่มีผู้รับปลายทางอยู่ เมื่อสัญญาณเสียงหรือข้อมูลไปถึงสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้รับ จะถูกแยกออกเป็นคลื่นวิทยุและสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าจะถูกแปลงกลับเป็นเสียงหรือข้อมูลที่เหมือนกับที่ส่งมาจากต้นทาง

## ความรู้เพิ่มเติม

วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกแบ่งเป็นยุค ๆ (generation) โดยยุคแรก (first generation) เรียกว่า ยุค 1G และยุคต่อไปมีชื่อเรียกตามลำดับตัวเลขที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยแต่ละยุคมีช่วงเวลาประมาณ 10 ปี ซึ่งในปัจจุบันอยู่ในช่วงของยุค 4G ที่ประเทศไทยได้เริ่มใช้งานในปี พ.ศ. 2556 และต่อไปจะเป็นช่วงของยุค 5G

การพัฒนาของระบบโทรศัพท์ในแต่ละยุค ได้นำไปสู่การขยายการรองรับปริมาณการใช้งานที่มากขึ้น ประสิทธิภาพการส่งสัญญาณที่ดีขึ้น รวมทั้งความสามารถในการส่งสัญญาณอื่น ๆ นอกจากสัญญาณเสียง โดยในยุค 4G ได้มีการพัฒนาให้การส่งและรับสัญญาณข้อมูลรวดเร็วขึ้นกว่าในยุค 3G ช่วยให้โทรศัพท์ที่ใช้ระบบ 4G สามารถใช้ชมคลิปวิดีโอแบบคมชัดสูง (high definition) ประชุมทางไกล (video conference) หรือเข้าชมเว็บไซต์ที่มีสื่อต่าง ๆ จำนวนมากได้อย่างชัดเจนและไม่ติดขัด

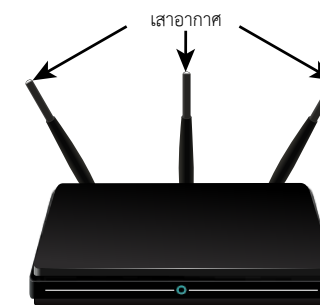


## การส่งและรับสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย

Wi-Fi เป็นชื่อเรียกของมาตรฐานของเทคโนโลยีเครือข่ายแบบไร้สายมาตรฐานหนึ่ง ซึ่งปัจจุบัน เป็นมาตรฐานที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการส่งและรับสัญญาณอินเทอร์เน็ต ดังจะเห็นป้ายระบุการให้บริการสัญญาณ Wi-Fi ในร้านค้าหรือในสถานที่สาธารณะ กระบวนการของการส่งและรับสัญญาณ Wi-Fi คล้ายกับการส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

แต่สัญญาณ Wi-Fi จะใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงยิ่ง\* ขนาด 2.4 GHz หรือ 5 GHz ที่แตกต่างจากความถี่ของคลื่นวิทยุจากเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อื่น ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ

ในการส่งและรับสัญญาณ Wi-Fi จะมีอุปกรณ์จัดเส้นทาง หรือ เราเตอร์ (router) เป็นตัวกลางที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงอุปกรณ์หลายชนิดที่ใช้ Wi-Fi เข้าด้วยกัน ดังรูป 18.27 และจัดเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการส่งและรับข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูป 18.27 อุปกรณ์จัดเส้นทาง หรือ เราเตอร์ของสัญญาณ Wi-Fi

\* หมายเหตุ: คลื่นวิทยุความถี่สูงยิ่ง มีขนาดความถี่อยู่ในช่วงของไมโครเวฟ ในบางกรณีจึงเรียกว่า ไมโครเวฟ

## 18.5.2 การสื่อสารโดยอาศัยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอีกช่วงความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร ทั้งในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบสัญญาณดาวเทียม โดยการส่งและรับสัญญาณมีกระบวนการคล้ายกับการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่เนื่องจากไมโครเวฟไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีเท่ากับคลื่นวิทยุ การใช้ไมโครเวฟในการสื่อสารจึงจำกัดเฉพาะในกรณีที่อุปกรณ์สำหรับส่งและรับสัญญาณไม่มีอาคาร ภูเขา หรือสิ่งใดมากีดขวางหรือบดบังเส้นทางการเคลื่อนที่ของสัญญาณ ยกตัวอย่าง เช่น การส่งและรับสัญญาณระหว่างดาวเทียมกับจานรับสัญญาณดาวเทียม หรือระหว่างเสาส่งและรับสัญญาณที่อยู่บนที่สูง ดังรูป 18.28



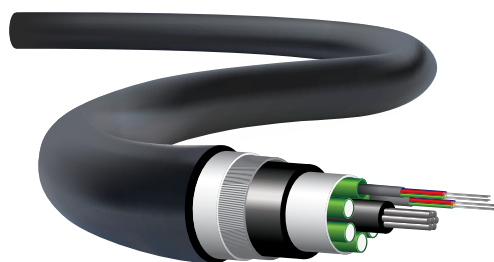
รูป 18.28 การส่งและรับสัญญาณดาวเทียมโดยใช้ไมโครเวฟ

### 18.5.3 การสื่อสารโดยอาศัยแสง

นอกจากคลื่นวิทยุและไมโครเวฟแล้ว แสงยังสามารถนำมาใช้ในการสื่อสารได้เช่นกัน แต่เนื่องจากแสงไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทึบแสงได้ และได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดลอมได้ง่าย จึงต้องมีการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างระบบส่งกับระบบรับสัญญาณโดยตรง โดยอุปกรณ์ที่ใช้อย่างแพร่หลายคือ **เส้นใยนำแสง (optical fiber)** ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก สามารถนำแสงให้เคลื่อนที่ไปตามสายที่โค้งงอได้และสามารถส่งข้อมูลได้จำนวนมากในระยะเวลาสั้น ๆ ดังรูป 18.29



ก. การนำแสงของเส้นใยนำแสง



ข. รูปจำลองเส้นใยนำแสงในสายเคเบิลที่ใช้ในการส่งสัญญาณ

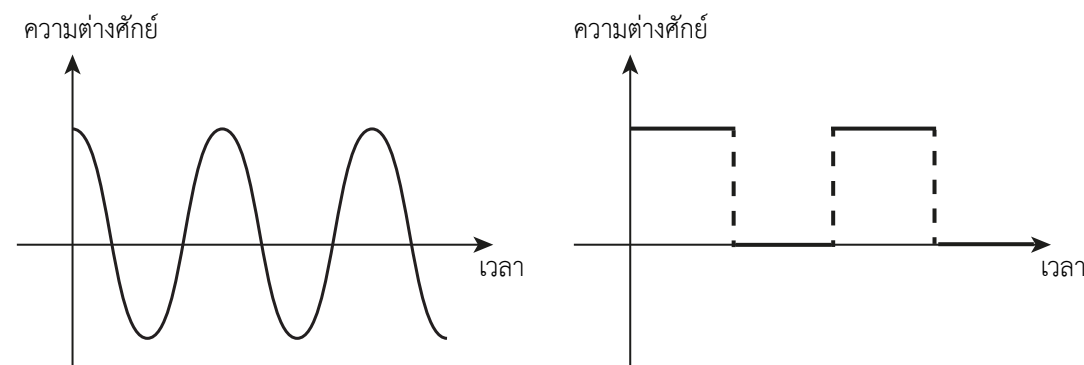
รูป 18.29 เส้นใยนำแสง

#### ความรู้เพิ่มเติม

การสื่อสารโดยอาศัยแสงผ่านเส้นใยนำแสงส่วนใหญ่เป็นการสื่อสารในระยะทางไกล ๆ ส่วนการสื่อสารระยะทางไกลผ่านเส้นใยนำแสงจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงรังสีอินฟราเรด เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสูญเสียพลังงานระหว่างการเดินทางภายในเส้นใยนำแสงน้อยกว่า จึงสามารถใช้สื่อสารในระยะทางไกลได้ดีกว่า

### 18.5.4 สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารมี 2 ชนิดคือ **สัญญาณแอนะล็อก (analog signal)** และ **สัญญาณดิจิทัล (digital signal)** โดยสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณที่มีค่าต่าง ๆ ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามเวลา ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ของสัญญาณแอนะล็อก ดังรูป 18.30 ก. ส่วนสัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณที่มีค่าต่าง ๆ ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงเพียงสองสถานะ เช่น มีหรือไม่มี เปิดหรือปิด ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ของสัญญาณดิจิทัล ดังรูป 18.30 ข.

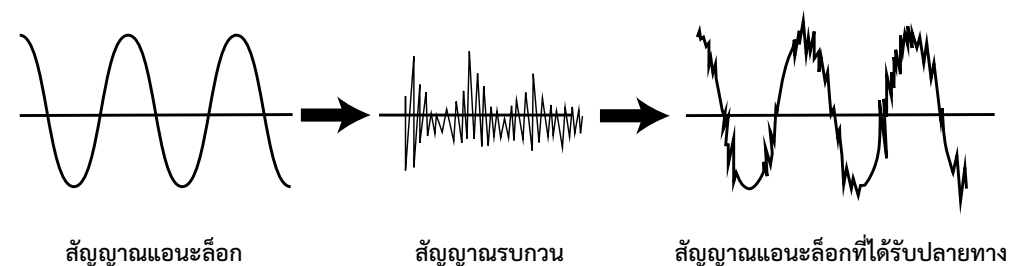


ก. สัญญาณแอนะล็อก

ข. สัญญาณดิจิทัล

รูป 18.30 กราฟระหว่างความต่างศักย์ของสัญญาณไฟฟ้ากับเวลา

ในอดีต ช่วงก่อนที่จะมีการแพร่หลายของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ การสื่อสารส่วนใหญ่เป็นการใช้สัญญาณแอนะล็อก ยกตัวอย่างเช่น การกระจายสัญญาณเสียงของสถานีวิทยุ หรือ การกระจายสัญญาณภาพและเสียงของสถานีโทรทัศน์ในอดีต ซึ่งสามารถใช้ในการสื่อสารได้ดีในระดับหนึ่ง แต่การสื่อสารด้วยสัญญาณแอนะล็อกมักประสบปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลหรือสารสนเทศที่ได้รับปลายทาง เมื่อเกิดการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม เช่น เมื่อมีฝนตกฟ้าคะนอง หรือ เมื่อมีเครื่องจักรทำงานในบริเวณใกล้เคียง ตัวอย่างของสัญญาณแอนะล็อกเมื่อมีสัญญาณรบกวนมีลักษณะดังรูป 18.31



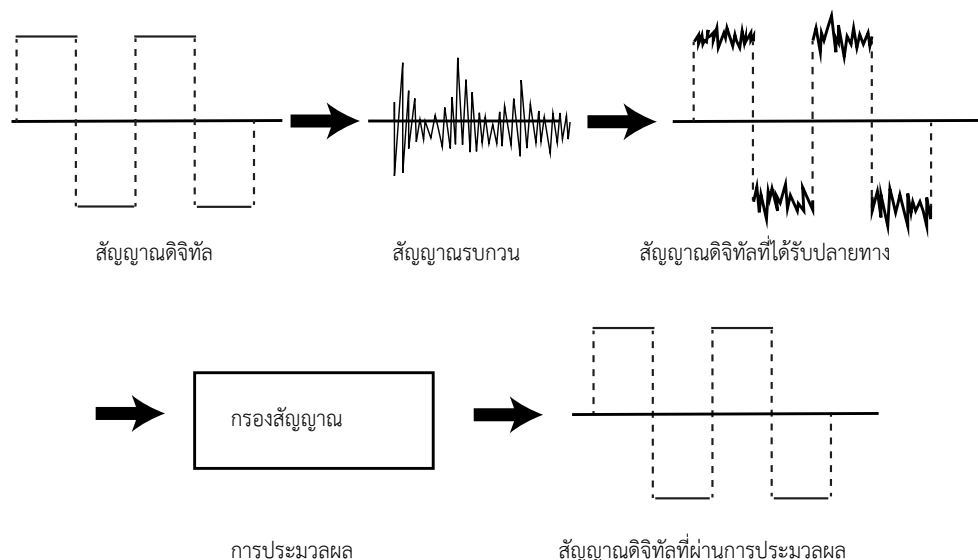
สัญญาณแอนะล็อก

สัญญาณรบกวน

สัญญาณแอนะล็อกที่ได้รับสัญญาณรบกวน

รูป 18.31 ตัวอย่างของลักษณะสัญญาณแอนะล็อกที่ได้รับสัญญาณรบกวน

เนื่องจาก สัญญาณดิจิทัลมีค่าเพียงสองค่าเท่านั้น ถึงแม้จะมีการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมบ้าง แต่การแปลงสัญญาณกลับมา จะสามารถแยกแยะสัญญาณดิจิทัลออกมาได้ง่าย ทำให้ข้อมูลหรือสารสนเทศที่ส่งมา เหมือนกับต้นฉบับ ตัวอย่างลักษณะของสัญญาณดิจิทัลที่ได้รับปลายทางเมื่อมีสัญญาณรบกวนแสดง ดังรูป 18.32



รูป 18.32 ตัวอย่างของลักษณะสัญญาณดิจิทัลที่ได้รับสัญญาณรบกวนและผ่านการประมวลผล

ด้วยสาเหตุนี้ โทรศัพท์ที่รับสัญญาณดิจิทัลจึงให้ภาพและเสียงที่มีความคมชัดมากกว่าโทรศัพท์ที่รับสัญญาณแอนะล็อก นอกจากนี้ การสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิทัลยังมีข้อได้เปรียบอีกหลายอย่าง เช่น ข้อมูลที่ได้จากสัญญาณดิจิทัลสามารถนำมาจัดเก็บได้อย่างสะดวก ง่ายต่อการเข้าถึง และสามารถนำไปประมวลผล ปรับปรุงแก้ไขได้ง่ายหลากหลายแนวทาง โดยที่ข้อมูลยังมีลักษณะเหมือนกับต้นฉบับที่ส่งมาจากต้นทาง

จากข้อได้เปรียบดังกล่าว การสื่อสารด้วยสัญญาณดิจิทัลจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทำให้ระบบ อุปกรณ์ และ แนวทางการดำเนินการต่าง ๆ ในปัจจุบันส่วนใหญ่ได้มีการเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ส่งผลกับวิถีการดำรงชีวิตของผู้นานอย่างมาก จนกระทั่งได้มีการเรียกช่วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงมาใช้เทคโนโลยีดิจิทัลดังกล่าวว่า การปฏิวัติดิจิทัล (digital revolution) ซึ่งได้รับการคาดการณ์ว่าจะส่งผลกระทบกับขับเคลื่อนเศรษฐกิจ สังคม การศึกษา และด้านอื่น ๆ อีกมากในอนาคต



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 18.5

1. ในการสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ก่อนที่สัญญาณไฟฟ้าของข้อมูลจะถูกส่งออกจากผู้ส่งไปยังผู้รับ จะต้องผ่านกระบวนการใดก่อน
2. การฝากสัญญาณเสียงไปกับคลื่นในระบบวิทยุแบบเอฟเอ็ม คลื่นวิทยุที่ได้จะมีลักษณะอย่างไร
3. สัญญาณดิจิทัลแตกต่างจากสัญญาณแอนะล็อกอย่างไร



### สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

#### 18.1 การเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยทั้งสองสนามตั้งฉากกันและตั้งฉากกับทิศของความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง สามารถแผ่ออกไปได้ในสุญญากาศ ด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสงหรือประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาทีและมีอัตราเร็วลดลงขึ้นกับตัวกลางและชนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับสายอากาศและทำให้ อิเล็กตรอนในสายอากาศจะเคลื่อนที่กลับไปมาด้วยความเร่ง ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกรอบสายอากาศทุกทิศทาง ยกเว้นในแนวเส้นตรงเดียวกับสายอากาศ

#### 18.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่าง ๆ มากมายต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างหลายช่วง เรียกรวมกันว่า สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายชนิด ได้แก่ คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรด แสง รังสีอัลตราไวโอเลต รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา ในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

### 18.3 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงกลับไปมาในระนาบเดียว เรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้ว่า คลื่นโพลาไรซ์เชิงเส้น
- แหล่งกำเนิดแสงทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น ดวงอาทิตย์ หลอดไฟ จะมีสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงกลับไปมาอยู่ในหลายระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้จึงเป็นแสงไม่โพลาไรซ์
- แสงไม่โพลาไรซ์ เมื่อผ่านแผ่นโพลาไรซ์ สนามไฟฟ้าจะมีทิศทางอยู่ในระนาบเดียวกับแนวโพลาไรซ์ของแผ่นโพลาไรซ์ แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรซ์ออกมาจึงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น สมบัติของแสงลักษณะนี้เรียกว่า โพลาริเซชัน

### 18.4 การประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ใช้รังสีเอกซ์ ในการสร้างภาพตัดขวางอวัยวะภายในร่างกาย
- เครื่องควบคุมระยะไกลใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นวิทยุ ในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
- เครื่องถ่ายภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กใช้คลื่นวิทยุในการสร้างภาพสามมิติอวัยวะภายในร่างกาย

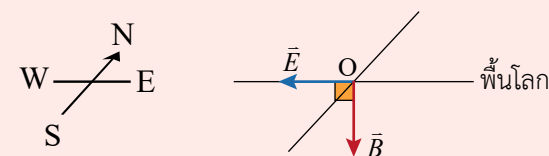
### 18.5 การสื่อสารโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- การกระจายเสียงของสถานีวิทยุ การส่งและรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งการส่งและรับสัญญาณ อาศัยคลื่นวิทยุ
- ไมโครเวฟและแสง ใช้สำหรับการส่งและรับสัญญาณดาวเทียม และการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงตามลำดับ
- สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารมีสองชนิดคือสัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล
- สัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องตามเวลา ส่วนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงสองสถานะ เช่น มีหรือไม่มี เปิดหรือปิด โดยไม่มีค่าระหว่างสถานะทั้งสอง
- การส่งผ่านสารสนเทศด้วยสัญญาณดิจิทัลสามารถส่งผ่านได้โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่าสัญญาณแอนะล็อก

### แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18

#### ?? | คำถาม

1. ใช้หลอดตัวนำต่อกับแบตเตอรี่และหลอดไฟจนครบวงจร ขณะกระแสไฟฟ้าสม่ำเสมอ หลอดตัวนำนี้ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
2. "คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมีอัตราเร็วเท่ากันในทุกตัวกลาง เท่ากับอัตราเร็วของแสง" คำกล่าวข้างต้นนี้ถูกต้องหรือไม่ จงอธิบาย
3. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขณะหนึ่ง ณ ตำแหน่ง O มีสนามไฟฟ้าขนานกับพื้นโลกชี้ไปทางทิศตะวันตก และสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นโลก ดังรูป



รูป ประกอบคำถามข้อ 3

แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้อยู่ทางทิศใดของตำแหน่ง O

4. การใช้ดาวเทียมสำรวจการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก ต้องใช้เซนเซอร์หรือตัวรับรู้ที่ตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงใด เพราะเหตุใด
5. ดาวฤกษ์สีน้ำเงินกับดาวฤกษ์สีเหลือง ดาวฤกษ์ดวงใดมีอุณหภูมิสูงกว่ากัน
6. ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดใดในการรับส่งสารสนเทศ เพราะเหตุใด

#### Ⓟ | ปัญหา

1. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง
  - ก. การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้า
  - ข. สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน 90 องศา
  - ค. สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย
  - ง. ในตัวกลางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากัน

2. แสงที่คนเรามองเห็นมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร จงหาช่วงความถี่ของแสงที่ตามองเห็น
3. ถ้าดวงจันทร์อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 384 000 กิโลเมตร จงหาระยะเวลาที่แสงเคลื่อนที่จากดวงจันทร์ถึงโลก
4. แสงเคลื่อนที่จากดาวซิริอุสถึงโลกใช้เวลา 8.61 ปี จงหาระยะทางจากดาวซิริอุสถึงโลกในหน่วยกิโลเมตร
5. จงเรียงลำดับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อไปนี้ รังสีเอกซ์ อินฟราเรด ไมโครเวฟ วิทยุ รังสีอัลตราไวโอเลตตามความถี่จากมากไปน้อย
6. รังสีเอกซ์กับรังสีแกมมามีข้อเหมือนกันและข้อที่ต่างกันอย่างไรบ้าง
7. เพราะเหตุใด โทรศัพท์ที่ใช้ระบบรับสัญญาณแบบดิจิทัล จึงให้ภาพและเสียงที่คมชัดกว่าโทรศัพท์ที่ใช้ระบบสัญญาณแอนะล็อก