



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่



ฟิสิกส์

เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๕

๑๐๑.-



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๒ พ.ศ. ๒๕๖๖

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน ฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ ฉบับสิ่งพิมพ์ ที่จัดทำตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ทุกประการ เพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่าง ๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียน ฉบับ e-book นี้ ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่ โดยมีได้รับอนุญาต

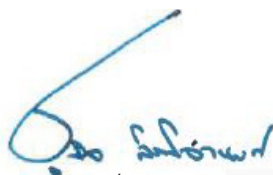
สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลต่าง ๆ ของ สสวท. ได้ที่ <http://www.ipst.ac.th/ebook-resource/>

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๔ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๒ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม ๔ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องเสียง ไฟฟ้าสถิต และไฟฟ้ากระแส ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ เล่ม ๔ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

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



ชวนคิด

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

คำถามที่เน้นให้นักเรียนตอบโดยการเขียนบรรยายแสดงความเข้าใจจนถึงการวิเคราะห์



ปัญหา

ปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยจนถึงปานกลาง เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคำนวณ และการแก้ปัญหา



ปัญหาท้าทาย

ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดระดับสูงในการคำนวณ และการแก้ปัญหา

สารบัญ	บทที่ 12-13	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
12	เสียง	
	12.1 ธรรมชาติของเสียง	3
	12.1.1 การเคลื่อนที่ของเสียง	4
	12.1.2 อัตราเร็วเสียง	9
	12.1.3 พฤติกรรมของเสียง	12
	12.2 การได้ยินเสียง	21
	12.2.1 ความเข้มเสียง	21
	12.2.2 ระดับเสียงและความถี่เสียงกับการเริ่มได้ยิน	23
	12.2.3 ระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียง	28
	12.2.4 มลพิษทางเสียงและการป้องกัน	31
	12.3 ปรากฏการณ์เกี่ยวกับเสียง	34
	12.3.1 คลื่นนิ่งของเสียง	35
	12.3.2 การสะท้อนของอากาศในท่อ	39
	12.3.3 บีต	47
	12.3.4 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	51
	12.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียง	59
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	65
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 12	67

13	ไฟฟ้าสถิต	
	13.1 ธรรมชาติของไฟฟ้าสถิต	78
	13.1.1 ประจุไฟฟ้าและกฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า	78
	13.1.2 การเหนี่ยวนำไฟฟ้าสถิต	84
	13.2 กฎของคูลอมบ์	92
	13.3 สนามไฟฟ้า	99
	13.3.1 ความหมายสนามไฟฟ้า	99
	13.3.2 สนามไฟฟ้าของจุดประจุ	100
	13.3.3 สนามไฟฟ้าของระบบประจุ	102

สารบัญ		บทที่ 13-14
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	13.3.4 เส้นสนามไฟฟ้า	106
	13.3.5 แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ ในสนามไฟฟ้า	111
13.4	ศักย์ไฟฟ้าและความต่างศักย์	115
	13.4.1 ความต่างศักย์เนื่องจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	117
	13.4.2 ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ	119
13.5	ตัวเก็บประจุ	129
	13.5.1 หลักการทำงานของตัวเก็บประจุ	129
	13.5.2 ความจุของตัวเก็บประจุ	131
	13.5.3 พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ	135
	13.5.4 การต่อตัวเก็บประจุ	136
13.6	การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์	141
	13.6.1 เครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์และเครื่องพิมพ์เลเซอร์	141
	13.6.2 การเคลือบสีฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต	142
	13.6.3 เครื่องฟอกอากาศ และเครื่องตกตะกอน ไฟฟ้าสถิต	143
	13.6.4 การอธิบายปรากฏการณ์ฟ้าผ่าและฟ้าแลบ	144
	13.6.5 การใช้สายรัดข้อมือของช่างอิเล็กทรอนิกส์	144
	13.6.6 การเติมน้ำมัน	145
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	147
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 13	150

14

ไฟฟ้ากระแส

14.1	กระแสไฟฟ้า	170
	14.1.1 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ	170
	14.1.2 กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ	175

สารบัญ	บทที่ 14-ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	14.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์	181
	14.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน	181
	14.2.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า	186
	14.2.3 ตัวต้านทาน	188
	14.2.4 การต่อตัวต้านทาน	192
	14.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	201
	14.3.1 พลังงานไฟฟ้าและความต่างศักย์	202
	14.3.2 พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ของเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง	210
	14.4 แบตเตอรี่และวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น	215
	14.4.1 การต่อแบตเตอรี่	215
	14.4.2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรง	226
	14.5 พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและเทคโนโลยี ด้านพลังงาน	234
	14.5.1 พลังงานทดแทน	235
	14.5.2 เทคโนโลยีด้านพลังงาน	242
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	247
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 14	250

ภาคผนวก	ภาคผนวก ก คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์	268
	ภาคผนวก ข ระบบหน่วยระหว่างชาติ	278
	ภาคผนวก ค ตารางฟังก์ชันตรีโกณมิติ	281
	ภาคผนวก ง ตารางเลขกำลังสอง รากที่สองและส่วนกลับ	282
	ภาคผนวก จ ตัวอย่างการบันทึกการทดลอง	283
	ภาคผนวก ฉ ลอกการพิมพ์	286

สารบัญ	ภาคผนวก	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
	คำศัพท์	289
	บรรณานุกรม	291
	ที่มาของรูป	292
	คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	294
	คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม	297

บทที่

เสียง



ipst.me/8891

12



เราคงเคยได้ยินเสียงจากเครื่องดนตรีในงานแสดงและกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เสียงกีตาร์ เสียงกลองจากงานแสดงดนตรีหรืองานพิธี เสียงจากเครื่องดนตรีเหล่านี้เกิดขึ้นมาได้อย่างไร มีรูปแบบอย่างไรทำให้เสียงของเครื่องดนตรีมีความแตกต่างกัน แม้จะเล่นโน้ตตัวเดียวกัน และเสียงเครื่องดนตรีมีความแตกต่างหรือเหมือนกันกับเสียงจากการพูดคุยหรือการร้องเพลง เสียงจากเครื่องยนต์ นอกจากนั้นเสียงจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ มีพฤติกรรมอะไรบ้าง ส่งผลต่อผู้ฟังอย่างไร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างไร เราจะศึกษาได้ในบทนี้



คำถามสำคัญ

- เสียงเดินทางมาถึงเราได้อย่างไร และแสดงพฤติกรรมอะไรบ้าง
- การได้ยินเสียงขึ้นกับปัจจัยอะไร ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับเสียง มีอะไรบ้าง



จุดประสงค์การเรียนรู้

12.1 ธรรมชาติของเสียง

1. อธิบายการเกิดเสียงและการเคลื่อนที่ของเสียง
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นการกระจัดของอนุภาคกับคลื่นความดันขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงในอากาศกับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอดของเสียง

12.2 การได้ยินเสียง

5. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับความเข้มเสียง
6. อธิบายระดับเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงกับความเข้มเสียง และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้อง
7. อธิบายระดับเสียงและความถี่ที่มีผลต่อการได้ยิน
8. อธิบายระดับสูงต่ำของเสียงและคุณภาพเสียง
9. อธิบายมลพิษทางเสียงที่มีต่อสุขภาพและการป้องกัน

12.3 ปรากฏการณ์เกี่ยวกับเสียง

10. ทดลองและอธิบายการเกิดคลื่นนิ่งของเสียง
11. อธิบายและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายปิดหนึ่งด้าน
12. ทดลองการสั่นพ้องของอากาศในท่อปลายปิดหนึ่งด้านและการวัดความยาวคลื่นของเสียงในอากาศ
13. ทดลองและอธิบายการเกิดบีต

14. อธิบายปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ และคลื่นกระแทกของเสียง

12.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องเสียง

15. นำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน



ความรู้ก่อนเรียน

การสั่น คลื่น การกระจัด ความดัน แอมพลิจูด ความยาวคลื่น ความถี่ อัตราเร็ว พลังงานคลื่น
กำลัง คลื่นนิ่ง การสะท้อน

ในชีวิตประจำวัน เราเกี่ยวข้องกับเสียงในหลายลักษณะ เสียงทำให้เกิดภาษาพูด ช่วยถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ ความคิด และอารมณ์สู่ผู้ฟัง เสียงจึงมีอิทธิพลอย่างมากต่อมนุษย์ แต่มนุษย์สามารถรับรู้เสียงในขอบเขตจำกัด สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ก็มีการรับรู้เสียงที่แตกต่างกันไป เสียงยังมีพฤติกรรมเหมือนคลื่นอื่น ๆ และทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางเสียงที่นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเราจะศึกษาได้ในบทนี้

12.1 ธรรมชาติของเสียง

คลื่นเสียง (sound wave) เป็นคลื่นกลชนิดหนึ่ง ซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ และเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปก็จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเช่นเดียวกับคลื่นทุกชนิด



ชวนคิด

การสั่นทุกชนิดทำให้เกิดเสียงที่มนุษย์ได้ยินหรือไม่

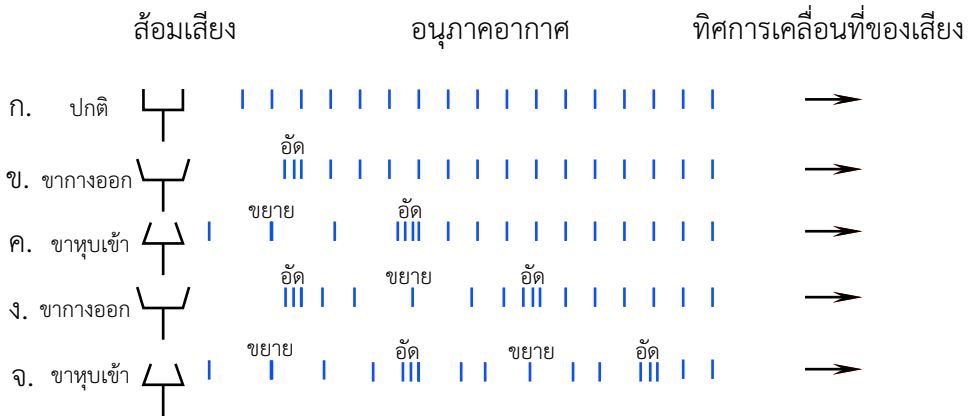
เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ แต่การสั่นของวัตถุทุกชนิดไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดเสียง เนื่องจากเมื่อเราพูดถึง “เสียง” เรามักเชื่อมโยงกับการได้ยินของมนุษย์ ซึ่งการได้ยินเสียงของมนุษย์ขึ้นกับปัจจัยหลายด้านซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป เช่น ความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้น แอมพลิจูดของคลื่น เป็นต้น วัตถุที่สั่นและมีการถ่ายโอนพลังงานไปยังตัวกลางที่ทำให้หูของมนุษย์ตอบสนองต่อการสั่นดังกล่าวได้ เราก็จะเรียกคลื่นที่เกิดจากการสั่นนั้นว่า **เสียง (sound)** อย่างไรก็ตาม นักฟิสิกส์ได้จำแนกชนิดของคลื่นเสียงตามความถี่ของคลื่นและความสามารถในการได้ยินของมนุษย์ ดังนี้

1. **คลื่นที่ได้ยิน หรือ เสียง (audible waves หรือ sounds)** เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่ที่อยู่ในช่วงที่มนุษย์ได้ยินคืออยู่ในช่วง 20 – 20000 เฮิรตซ์ โดยทั่วไปเมื่อเราพูดถึงเสียง เราจึงหมายถึงคลื่นเสียงในช่วงความถี่นี้
2. **คลื่นใต้เสียง (infrasonic waves หรือ infrasounds)** เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยิน คือ ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เช่น คลื่นเสียงความถี่ต่ำที่ช้างใช้ในการสื่อสารระหว่างกัน แต่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินคลื่นเสียงนั้น
3. **คลื่นเหนือเสียง (ultrasonic waves หรือ ultrasounds)** เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าช่วงความถี่ที่มนุษย์ได้ยิน คือ สูงกว่า 20000 เฮิรตซ์ เช่น สุนัขสามารถตอบสนองต่อเสียง (หรือได้ยิน) นกหวีดความถี่สูง ในขณะที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงนกหวีดดังกล่าว

12.1.1 การเคลื่อนที่ของเสียง

เสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง และถ่ายโอนพลังงานการสั่นไปยังอนุภาคของตัวกลางที่อยู่ติดกับแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่นและเกิดการถ่ายโอนพลังงานต่อไปยังอนุภาคที่อยู่ถัดกันไปเรื่อย ๆ จนถึงผู้ฟัง หากไม่มีตัวกลางเพื่อถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งกำเนิดเสียง เราจะไม่สามารถได้ยินเสียงได้ ขณะเกิดคลื่นเสียง อนุภาคของตัวกลางมีการเคลื่อนที่อย่างไร และเคลื่อนที่ไปกับคลื่นหรือไม่

พิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงที่เกิดจากการเคาะส้อมเสียงด้วยค้อนยาง ขาส้อมเสียงจะสั่นทางออกและหุบเข้า ทำให้ความหนาแน่นของอากาศบริเวณรอบส้อมเสียงเปลี่ยนไป กล่าวคือ ขณะที่ขาส้อมเสียงทางออก อนุภาคของอากาศที่อยู่ด้านที่คลื่นเสียงผ่านไป จะอยู่ชิดกันมากขึ้น ความดันอากาศจึงสูงกว่าปกติ เรียกว่า **ส่วนอัด (compression)** เมื่อขาส้อมเสียงหุบเข้า อนุภาคของอากาศด้านนั้น จะอยู่ห่างกันมาก ความดันอากาศจึงต่ำกว่าปกติ เรียกว่า **ส่วนขยาย (rarefaction)** ทำให้อากาศถูกอัดและขยายอย่างต่อเนื่อง ตามการสั่นของส้อมเสียง เกิดเป็นคลื่นเสียงเคลื่อนที่แผ่ออกไป ดังรูป 12.1 ก. ถึง จ.



รูป 12.1 อากาศบริเวณรอบส้อมเสียงถูกอัดและขยาย ตามการสั่นของส้อมเสียง



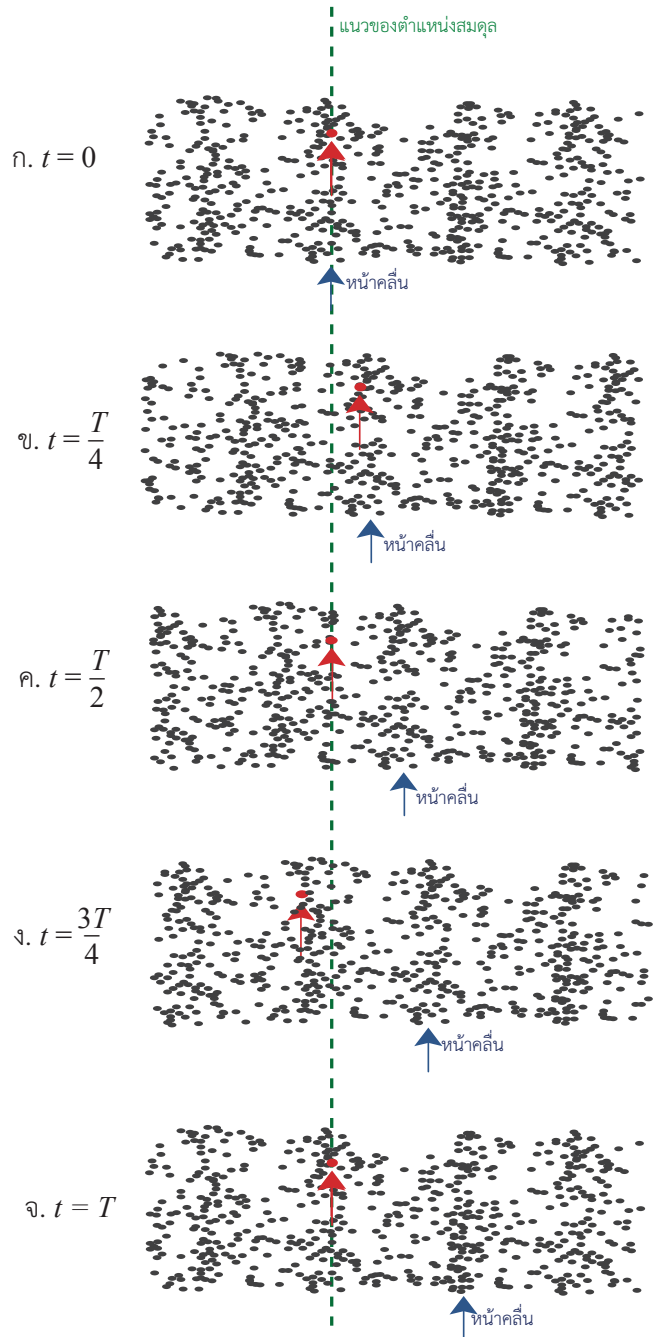
ความรู้เพิ่มเติม

ส้อมเสียง (tuning fork) เป็นแท่งโลหะรูปตัวยู (U) มีลักษณะคล้ายส้อม เมื่อเคาะขาส้อมเสียงจะทำให้เกิดคลื่นเสียง ความถี่ค่าหนึ่ง ๆ ค่านี้เป็นความถี่ธรรมชาติของส้อมเสียงนั้น โดยปกติส้อมเสียงแต่ละอันจะมีตัวเลขบอกความถี่เสียงระบุไว้เป็นเฮิรตซ์ (Hz) อุปกรณ์ชนิดนี้ถูกใช้ในการเทียบความถี่เสียงของเครื่องดนตรี



รูป ส้อมเสียง

เมื่อส้อมเสียงสั่น จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานไปยังอนุภาคของอากาศที่อยู่ข้างเคียง เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคที่อยู่ติดกัน ทำให้อนุภาคเหล่านั้นเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบตำแหน่งสมดุลในลักษณะเดียวกับการสั่นของแหล่งกำเนิด ซึ่งจุดสีแดงแทนอนุภาคของอากาศที่กำลังพิจารณาในช่วงเวลา 0 ถึง 1 คาบ (T) ดังรูป 12.2 ก.-จ. จะเห็นว่าที่เวลา $t=0$ (รูป 12.2 ก.) จุดสีแดงอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล ที่เวลา $t=\frac{T}{4}$ (รูป 12.2 ข.) จุดสีแดงมีการกระจัดในทิศทางหนึ่ง ที่เวลา $t=\frac{T}{2}$ (รูป 12.2 ค.) จุดสีแดงกลับมายู่ที่ตำแหน่งสมดุล ที่เวลา $t=\frac{3}{4}T$ (รูป 12.2 ง.) จุดสีแดงมีการกระจัดในทิศทางตรงข้าม และที่เวลา $t=T$ (รูป 12.2 จ.) จุดสีแดงกลับมายู่ที่ตำแหน่งสมดุลอีกครั้ง นั่นคือ อนุภาคของอากาศจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง โดยไม่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นเสียง ดังนั้น เสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว



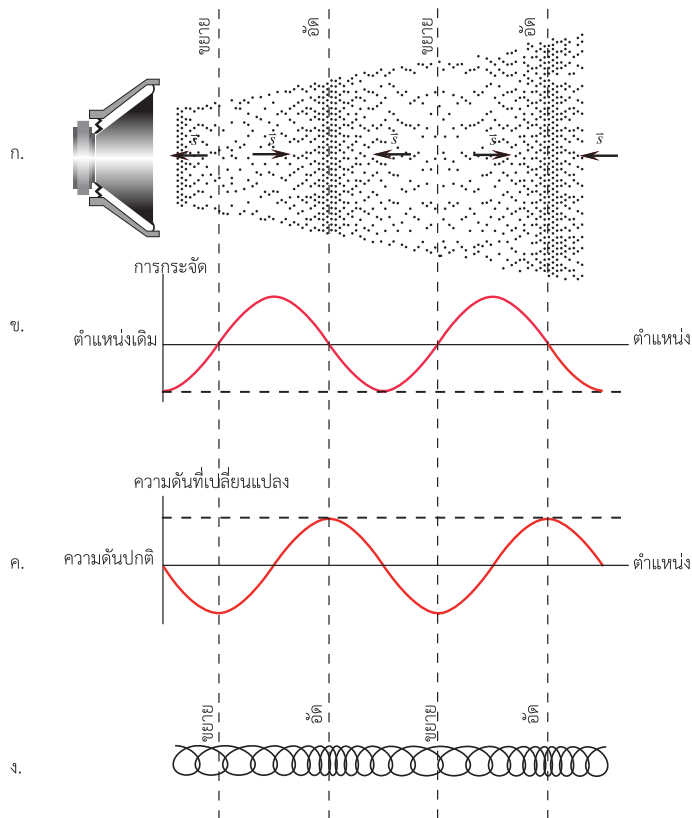
รูป 12.2 การเคลื่อนที่ของเสียงและการสั่นของอนุภาคของอากาศ



ชวนคิด

หลายคนคงเคยเห็นการสร้างคลื่นมนุษย์ในเทศกาลสงกรานต์ที่ถนนข้าวเหนียว ในจังหวัดขอนแก่น ประชาชนร่วมกันลุกขึ้นยืน-นั่ง-ย่นอย่างต่อเนื่องเป็นทางยาว ทำให้เกิดรูปคลื่นตามขวาง เป็นไปได้หรือไม่ที่จะสร้างคลื่นมนุษย์ที่เป็นคลื่นตามยาวเหมือนคลื่นเสียง

พิจารณารูป 12.3 ก. ซึ่งแสดงการกระจายตัวของอนุภาคของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไป ณ เวลาหนึ่ง เมื่อพิจารณาการจัดของอนุภาคอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ จะเห็นว่า อนุภาคของอากาศไม่มีการกระจัด ณ ตำแหน่งที่อากาศถูกอัดหรือขยายมากที่สุด และอนุภาคของอากาศจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งสมดุลมากที่สุดหรือมีการกระจัดสูงสุด ณ ตำแหน่งซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างส่วนที่อากาศถูกอัดและขยายมากที่สุด เมื่อเขียนกราฟระหว่างการกระจัดของอนุภาคอากาศกับตำแหน่งตามแนวที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ ดังรูป 12.3 ข.



รูป 12.3 การกระจายตัวของอนุภาคอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านไป ณ เวลาหนึ่งเปรียบเทียบกับคลื่นตามยาวในสปริง

เมื่อพิจารณาความดันอากาศที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูป 12.3 ค. พบว่า เมื่ออนุภาคอากาศอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่ากับตอนไม่มีคลื่นเสียง ความดันอากาศในบริเวณนั้นเท่ากับความดันบรรยากาศ หรือความดันที่เปลี่ยนไปเท่ากับศูนย์ แต่ในขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอนุภาคของอากาศ ระยะห่างระหว่างอนุภาคจะเปลี่ยนไป ความดันอากาศในบริเวณนั้นไม่เท่ากับความดันบรรยากาศ หรือความดันที่เปลี่ยนไปไม่เท่ากับศูนย์ โดยความดันอากาศที่เปลี่ยนไปมีค่าเป็นบวกในบริเวณที่อนุภาคอยู่ชิดกัน เนื่องจากมีความดันมากกว่าความดันบรรยากาศ และความดันอากาศที่เปลี่ยนไปมีค่าเป็นลบในบริเวณที่อนุภาคอยู่ห่างกัน เนื่องจากมีความดันน้อยกว่าความดันบรรยากาศ

ความดันที่เปลี่ยนไปของตัวกลางนี้เปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะหรือความถี่การสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจึงมีความถี่เดียวกันกับความถี่การสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั่นเอง

กราฟระหว่างความดันอากาศที่เปลี่ยนไปกับตำแหน่ง ดังรูป 12.3 ค. มีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ (sinusoidal wave) เช่นเดียวกับกราฟระหว่างการกระจัดของอนุภาคอากาศกับตำแหน่ง ดังรูป 12.3 ข. แต่มีเฟสต่างกัน 90 องศา โดยความดันอากาศที่เปลี่ยนไปมีค่าสูงสุดเมื่อการกระจัดของอนุภาคของอากาศมีค่าเป็นศูนย์ และความดันอากาศที่เปลี่ยนไปมีค่าเป็นศูนย์เมื่อการกระจัดของอนุภาคของอากาศมีค่าสูงสุด

ด้วยเหตุที่ขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ การกระจัดของอนุภาคอากาศและความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เทียบกับตำแหน่ง เป็นคลื่นรูปไซน์ บางครั้งเรียกการเปลี่ยนแปลงการกระจัดว่า คลื่นการกระจัด และเรียกการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศว่า คลื่นความดัน

การเคลื่อนที่ของเสียงในตัวกลาง อาจเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่ของอนุภาคของขดลวดสปริงที่ถูกดึงและดันตามแนวสปริง ดังรูป 12.3 ง.



ชวนคิด

ขณะที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร แสดงในรูปกราฟระหว่างความหนาแน่นกับตำแหน่ง

เราทราบแล้วว่า คลื่นน้ำซึ่งเป็นคลื่นกลชนิดหนึ่งมีอัตราเร็วต่างกันเมื่อเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีสมบัติต่างกัน เสียงซึ่งก็เป็นคลื่นกลอีกชนิดหนึ่งจะมีอัตราเร็วที่ต่างกันในตัวกลางที่มีสมบัติต่างกันหรือไม่ จะได้ศึกษาในหัวข้อต่อไป

12.1.2 อัตราเร็วเสียง

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง อัตราเร็วเสียงจึงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น λ และความถี่ของคลื่นเสียง f เช่นเดียวกับคลื่นต่อเนื่อง ดังสมการ

$$v = f\lambda$$

นอกจากนี้อัตราเร็วเสียง ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลางนั้น ๆ ได้แก่ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่นของตัวกลาง หรือกล่าวได้ว่า อัตราเร็วเสียงในตัวกลางแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน โดยทั่วไป อัตราเร็วเสียงในตัวกลางที่เป็นของแข็งมีค่ามากกว่าในของเหลว และอัตราเร็วเสียงในของเหลวมากกว่าในแก๊ส เนื่องจากอนุภาคในของแข็งอยู่ชิดกันมากกว่าในของเหลวและแก๊ส การถ่ายโอนพลังงานระหว่างอนุภาคจึงเกิดได้เร็วกว่า ดังตาราง 12.1

ตาราง 12.1 อัตราเร็วเสียงในตัวกลางชนิดต่าง ๆ

ตัวกลาง		อัตราเร็วเสียง (เมตรต่อวินาที)
แก๊ส	อากาศ (0° C)	331
	อากาศ (20° C)	343
	คาร์บอนไดออกไซด์ (0° C)	259
	ออกซิเจน (0° C)	316
	ฮีเลียม (0° C)	965
ของเหลว	คลอโรฟอร์ม (20° C)	1004
	เอทิลแอลกอฮอล์ (20° C)	1162
	ปรอท (20° C)	1450
	น้ำกลั่น (20° C)	1482
	น้ำทะเล (20° C)	1552
ของแข็ง	อะลูมิเนียม (20° C)	6420
	เหล็ก (20° C)	5941
	แกรนิต (20° C)	6000



ชวนคิด

1. คลื่นเสียงที่เดินทางได้ระยะทางเท่ากับสามเท่าของความยาวคลื่น ใช้เวลาเป็นกี่เท่าของคาบ
2. คลื่นที่ได้ยินมีความถี่ระหว่าง 20 เฮิรตซ์ ถึง 20000 เฮิรตซ์ ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นที่ได้ยิน ในอากาศอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณเท่าใด
3. เมื่อเคาะส้อมเสียงอันหนึ่งในอากาศ เกิดคลื่นเสียงที่มีความถี่ 225 เฮิรตซ์ ถ้าเคาะส้อมเสียงนั้นในแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความถี่ของคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนไปหรือไม่
4. อัตราเร็วของคลื่นดลของคลื่นเสียงสามารถหาได้อย่างไร

เนื่องจากทั้งสมบัติความยืดหยุ่นและความหนาแน่นของตัวกลางต่างก็ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้น อัตราเร็วเสียงในตัวกลางแต่ละชนิดจึงขึ้นกับอุณหภูมิเช่นกัน เมื่อพิจารณาคื่นเสียงในอากาศพบว่า อัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิ (ในหน่วยองศาเซลเซียส) ดังสมการ (12.1)

$$v = 331 + 0.6T_C \quad (12.1)$$

เมื่อ v เป็นอัตราเร็วเสียงในอากาศที่มีอุณหภูมิ T_C มีหน่วยเมตรต่อวินาที และ T_C เป็นอุณหภูมิของอากาศ มีหน่วยองศาเซลเซียส



ข้อสังเกต

จาก $v = 331 + 0.6T_C$ ตัวเลข 331 และ 0.6 เป็นค่าคงตัวที่มีหน่วย คือ 331 มีหน่วยเมตรต่อวินาที (331 m/s) ซึ่งเป็นอัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 0.6 มีหน่วยเมตรต่อวินาทีต่อองศาเซลเซียส (0.6 m/s°C) ซึ่งเป็นอัตราเร็วเสียงในอากาศที่เปลี่ยนไปทุก 1 องศาเซลเซียส แต่เพื่อความกระชับในการเขียนสมการ จึงละที่จะระบุหน่วย สมการนี้ใช้ได้ ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง -50 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิอยู่นอกช่วงนี้จะทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้นอีก

ตัวอย่าง 12.1 อัตราเร็วเสียงในอากาศในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าเท่าใด

แนวคิด แทนค่าอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสมการ (12.1)

วิธีทำ จาก
$$v = 331 + 0.6 T_C$$
$$= (331 \text{ m/s}) + (0.60 \text{ m/s } ^\circ\text{C})(25^\circ\text{C})$$
$$= 346 \text{ m/s}$$

ตอบ อัตราเร็วเสียงในอากาศในห้องที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า 346 เมตรต่อวินาที

ตัวอย่าง 12.2 จงหาความยาวคลื่นเสียงในตัวอย่าง 12.1 หากความถี่เสียงมีค่าเท่ากับ 256 เฮิรตซ์

แนวคิด ใช้สมการ $v = f\lambda$ เพื่อหาความยาวคลื่นเสียง

วิธีทำ จาก
$$v = f\lambda$$

จะได้
$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{346 \text{ m/s}}{256 \text{ Hz}}$$
$$= 1.35 \text{ m}$$

ตอบ ความยาวคลื่นของเสียงที่มีอัตราเร็ว 346 เมตรต่อวินาที และมีความถี่ 256 เฮิรตซ์ มีค่าเท่ากับ 1.35 เมตร



ข้อสังเกต

อัตราเร็วเสียงในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ เพื่อความสะดวกในบทนี้ จะใช้อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่า 346 เมตรต่อวินาที เว้นแต่จะมีการกำหนดเป็นค่าอื่น



ชวนคิด

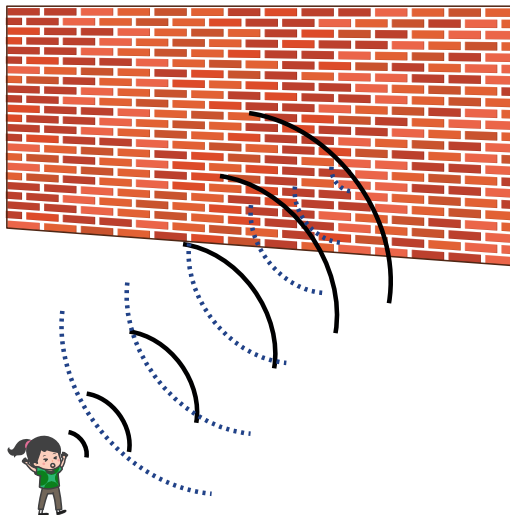
เมื่ออุณหภูมิในตัวกลางเปลี่ยน การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วเสียงในตัวกลางทำให้เกิดการเปลี่ยนความยาวคลื่นหรือความถี่ อย่างไร

12.1.3 พฤติกรรมของเสียง

เสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งจึงมีการสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด เช่นเดียวกับคลื่นทุกชนิด เราสามารถศึกษาพฤติกรรมของเสียงได้จากปรากฏการณ์ต่อไปนี้

การสะท้อนของเสียง

บางคนอาจเคยส่งเสียงตะโกนออกไปแล้วได้ยินเสียงที่ตัวเองตะโกนออกไปกลับเข้ามาที่หูอีกครั้งหนึ่ง เสียงที่ได้ยินครั้งหลังนี้เกิดจากการสะท้อนของเสียงที่ส่งออกไปครั้งแรกกับพื้นผิวขนาดใหญ่ เช่น ผนังตึก หรือหน้าผา โดยทั่วไปเสียงที่ส่งผ่านไปยังสมอจะยังคงค้างอยู่นาน 0.1 วินาที ถ้าเสียงที่เปล่งออกไปนั้นเกิดการสะท้อนกลับมาให้ได้ยินในช่วงเวลาที่มากกว่า 0.1 วินาที เราจะสามารถแยกเสียงสะท้อนกับเสียงที่เปล่งออกไปได้ เรียกเสียงสะท้อนในกรณีนี้ว่า **เสียงสะท้อนกลับ (echo)** ดังรูป 12.4 แต่ถ้าเราส่งเสียงในห้องที่แคบ เช่น ในห้องน้ำ เสียงสะท้อนที่เกิดขึ้นจะกลับเข้ามาที่หูในช่วงเวลาที่สั้นกว่า 0.1 วินาที ซึ่งเราไม่สามารถแยกเสียงที่เปล่งออกไปกับเสียงที่สะท้อนกลับมาออกจากกันได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **การก้องวาน (reverberation)**



รูป 12.4 การเกิดเสียงสะท้อนกลับจากผนังตึก



ชวนคิด

ขนาดของห้องที่ทำให้ไม่ได้ยินเสียงสะท้อนกลับ ควรมีขนาดความกว้างหรือความยาวอย่างมากประมาณเท่าใด และขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นใดได้บ้าง

การสะท้อนของเสียงขึ้นอยู่กับลักษณะผิวที่สะท้อน โดยพื้นผิวแข็งจะสะท้อนเสียงได้ดีกว่าผิวอ่อนนุ่ม เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น การสะท้อนของคลื่นเสียงจะเกิดได้ดีเมื่อความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าขนาดวัตถุที่คลื่นตกกระทบ เช่น ค้างคาวส่งคลื่นเหนือเสียงซึ่งมีความถี่สูงหรือมีความยาวคลื่นสั้นไปกระทบเหยื่อที่มีขนาดเล็ก แต่ใหญ่กว่าความยาวคลื่นที่ค้างคาวส่งไป ทำให้ค้างคาวรู้ตำแหน่งของเหยื่อได้

ตัวอย่าง 12.3 ชายคนหนึ่งอยู่ในบริเวณหุบเขา เขาตะโกนเข้าหาหน้าผาและได้ยินเสียงที่ตะโกนอีกครั้งในเวลา 1.4 วินาที เขาอยู่ห่างจากหน้าผาเป็นระยะทางเท่าใด กำหนดให้อัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นมีค่า 340 เมตรต่อวินาที

แนวคิด เนื่องจากเขาได้ยินเสียงตนเองสะท้อนกลับใช้เวลา 1.4 วินาที นั่นคือ เสียงเดินทางไปตกกระทบหน้าผาแล้วสะท้อนกลับมาถึงหูของเขา คิดเป็นระยะทางเท่ากับสองเท่าของระยะทางระหว่างชายคนนั้นกับหน้าผา

วิธีทำ ให้ชายคนนั้นอยู่ห่างจากหน้าผาเป็นระยะทาง d จะได้ว่า $2d = vt$

แทนค่า $v = 340 \text{ m/s}$ และ $t = 1.4 \text{ s}$ จะได้

$$\begin{aligned} d &= \frac{vt}{2} \\ &= \frac{(340 \text{ m/s})(1.4 \text{ s})}{2} \\ &= 238 \text{ m} \end{aligned}$$

ตอบ ชายคนนั้นยืนอยู่ห่างจากหน้าผา 238 เมตร