คู่มือการจัดกิจกรรมการทดลองเรื่องเสียง

ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี

จัดทำโดยสาขาฟิสิกส์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เกริ่นนำ

วิชาฟิสิกส์มักถูกมองโดยผู้เรียนว่าเป็นวิชาที่เข้าใจยาก มีการประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์ที่หลากหลาย และมีความเกี่ยวข้องกับการคำนวณผ่านสมการและตัวแปรจำนวนมาก สิ่งเหล่านี้อาจทำให้ผู้เรียนเกิดความเบื่อหน่าย และท้อถอยเสียตั้งแต่เริ่มเรียน ซึ่งสาเหตุประการหนึ่งก็คือ ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงเนื้อหาที่เรียนเข้ากับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้ แนวทางในแก้ไขแนวทางหนึ่งจึงมุ่งเน้นมาที่การปรับยุทธวิธีการจัดการเรียนรู้ นั่นคือ ในการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ฟิสิกส์นั้น ควรที่จะมีการสาธิตหรือลงมือปฏิบัติการทดลองประกอบด้วย ไม่ใช่เพียงแค่ใช้การบรรยายของผู้สอนที่หน้าชั้นเรียนเพียงอย่างเดียว เพื่อให้ผู้เรียนได้พบเห็น สร้างและเชื่อมโยงความรู้จากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในโลกแห่งความเป็นจริง สร้างองค์ความรู้จากการสังเกตและการลงมือทำการทดลอง หาทางอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยความรู้และสมการแบบพื้นฐานที่ได้เรียนรู้ไป เมื่อผู้เรียนสร้างความรู้ขึ้นมาเองแล้วเขาก็จะลืมได้ยาก และแม้ว่าเขาลืมก็สามารถสังเกต พิสูจน์ และสร้างความรู้ได้อีกครั้ง อาจเรียกได้ว่าผู้เรียนสามารถมีความเข้าใจจากการเรียนรู้ผ่านการสาธิตหรือลงมือปฏิบัติการทดลองได้ดีกว่าการเรียนรู้ผ่านการบรรยายเพียงอย่างเดียว

เสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของคลื่นกล (mechanical wave) เนื่องจากเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เสียงจึงมีสมบัติของคลื่น 4 ประการ คือ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด โดยปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของเสียงในชีวิตประจำวันมาจากการรวมกันของคลื่นเป็นหลัก ในสมัยก่อน การทดลองเรื่องเสียงนั้นต้องใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ในการสังเกตโดยการฟังผ่านหู จากนั้นก็ได้มีการสร้างเครื่องมือต่างๆ มากมายที่สามารถใช้วัดปรากฏการณ์ของเสียงแทนหูของ

มนุษย์ ซึ่งเครื่องมือที่ได้รับความนิยมเครื่องมือหนึ่งก็คือ ออสซิลโลสโคป แต่การใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อการเรียนรู้ในชั้นเรียนนั้นเป็นไปได้อยาก เนื่องจากเครื่องมือมีราคาแพง การดูแลรักษาที่ค่อนข้างยุ่งยาก และมีขั้นตอนการใช้งานที่ซับซ้อน สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จึงได้พัฒนาแอปพลิเคชันที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อใช้เป็นทั้งแหล่งกำเนิดเสียงและเครื่องมือวัดปริมาณต่างๆ ของเสียงได้ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนที่มีอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทำการทดลองและจัดกิจกรรมเกี่ยวกับเสียงได้ด้วยตนเอง อันจะส่งผลให้การเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ในเรื่องเสียงมีความน่าสนใจและสนุกสนานขึ้น

คู่มือกิจกรรมการทดลองผ่านแอปพลิเคชันเรื่องเสียงเล่มนี้ มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้มีแนวทางในการเรียนรู้เรื่องเสียงผ่านการทำกิจกรรมอย่างง่าย ๆ โดยใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี เป็นการเปิดโอกาสให้ทุกคนได้สัมผัสกับการลงมือปฏิบัติการทดลอง และการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของเสียง ที่เมื่อก่อนนั้นถูกมองว่าเป็นสิ่งที่ซับซ้อนและยุ่งยาก และหวังว่า ผู้ที่ได้เรียนรู้ผ่านกิจกรรมในคู่มือเล่มนี้จะมีความรู้ความเข้าใจเรื่องเสียงผ่านการลงมือปฏิบัติจริง อันจะทำให้องค์ความรู้นั้นติดตัวไปตลอดชีวิต การทำกิจกรรมผ่านคู่มือเล่มนี้จึงช่วยให้ผู้เรียนเห็นว่า การเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ไม่ใช่สิ่งที่ยาก ไม่ใช่เรื่องไกลตัว และไม่ใช่สิ่งที่น่ากลัวสำหรับผู้เรียนอีกต่อไป

สารบัญ

กิจกรรม	หน้า
แนะนำโปรแกรม	4
การแทรกสอดของเสียง	9
การสั่นพ้องในท่อปลายเปิด	14
การสั่นพ้องในท่อปลายปิด	22
การสร้างเสียงโดยการเป่าขวด	27
การสร้างเสียงจากแก้วแบบมีก้าน	34
คุณภาพของเสียงจากเครื่องดนตรีแบบต่าง ๆ	40
ระดับเสียงของโน้ตสากล	44
การเกิดบีตของเสียง	50
ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง	56
ส่งท้าย	61
คณะทำงาน	65

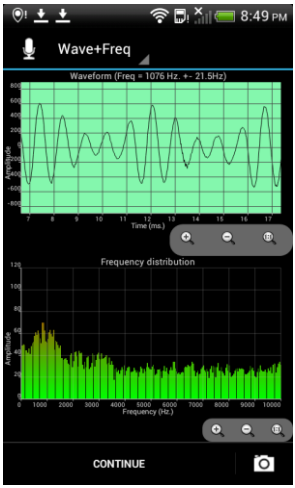
แนะนำโปรแกรม

รูปที่ 1 หน้าจอของแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง

แอปพลิเคชัน **การทดลองเรื่องเสียง (Sound Experiment)** เป็นแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยผู้ใช้สามารถเลือกให้ทำงานได้ใน 3 โปรแกรม คือ 1. เป็นเครื่องวัดความถี่เสียง 2. เป็นแหล่งกำเนิดเสียงเครื่องดนตรี และ 3. เป็นแหล่งกำเนิดเสียงตามความถี่ที่กำหนด โดยผู้ใช้สามารถใช้งานทั้งสามโปรแกรมได้อย่างยืดหยุ่นและสามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ สำหรับการตั้งค่าในแต่ละส่วนของการทำงานนั้นจะขอกล่าวในกิจกรรมตามความเหมาะสมต่อไป

1. หน้าที่ของโปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียง

หน้าที่ของโปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียงของแอพพลิเคชันนี้ ทำงานเสมือนการตรวจจับคลื่นเสียงผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปที่มีการวิเคราะห์ความถี่ โดยมีการทำงานดังนี้



รูปที่ 2 โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียง

การแสดงรูปคลื่น (wave form) พร้อมแสดงค่าความถี่สูงที่สุด (highest frequency) เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของเสียง และความถี่ของเสียง (สำหรับการประมวลค่าความถี่สูงที่สุดนั้น ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงความถี่สำหรับการประมวลผลได้โดยการกดปุ่ม Settings

การแสดงการกระจายความถี่ (frequency distribution) ใช้สำหรับการอ่านค่าความเข้มของคลื่นเสียงที่ความถี่ต่างๆ

การหยุดหน้าจอ (freeze) ใช้สำหรับหยุดการรับข้อมูลชั่วคราวเพื่อนำข้อมูลที่แสดงผลในปัจจุบันมาวิเคราะห์ข้อมูล

การถ่ายภาพ (camera) ใช้สำหรับการเก็บการแสดงผลเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลภายหลัง

การปรับขนาดการแสดงผล (resize) สามารถทำได้โดยการคลิกที่รูปแว่นขยาย หรือใช้นิ้วมือสองนิ้วเคลื่อนที่ขนานกันสำหรับโทรศัพท์แบบมัลติทัช (ขยายการแสดงผลโดยการเคลื่อนนิ้วมือแยกออกจากกัน, ย่อการ

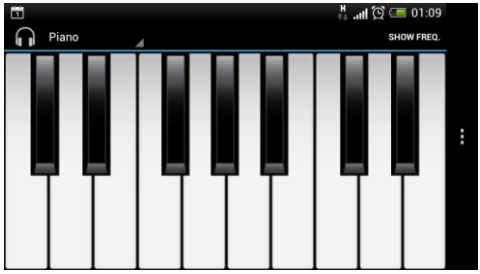
รูปที่ 3 การปรับช่วงการหาความถี่สูงสุด

แสดงผลโดยการเคลื่อนที่นิ้วมือเข้าหากัน)

การแสดงผลของโปรแกรมวัดความถี่เสียงได้ถูกออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเลือกการแสดงผลได้ 3 แบบ คือ 1. การแสดงรูปคลื่นเพียงอย่างเดียว 2. การแสดงการกระจายความถี่เพียงอย่างเดียว และ 3. การแสดงทั้งรูปคลื่นและการกระจายความถี่

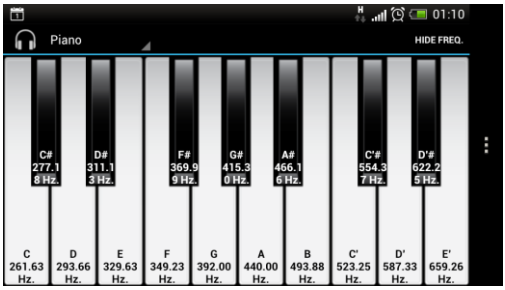
2. หน้าที่ของโปรแกรมเล่นเสียงเครื่องดนตรี

โปรแกรมเล่นเสียงเครื่องดนตรี ถูกออกแบบมาเพื่อผลิตคลื่นเสียงดนตรีจากเครื่องดนตรีหลากหลายชนิดตามตัวโน้ตดนตรีต่างๆ



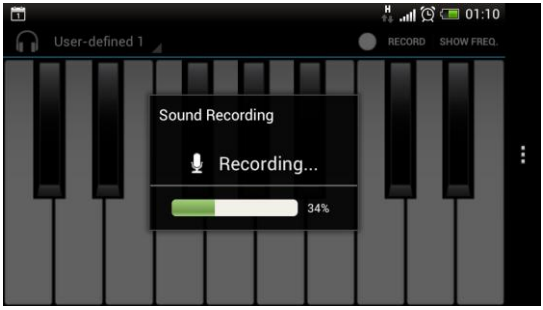
รูปที่ 4 โปรแกรมเล่นเสียงเครื่องดนตรี

การแสดงในโปรแกรมเล่นเสียงเครื่องดนตรีสามารถแสดงความถี่ของตัวโน้ตได้โดยการกดปุ่ม Show/Hide Freq.



รูปที่ 5 การแสดงความถี่ของโน้ตดนตรี

ผู้ใช้สามารถเลือกประเภทของเครื่องดนตรีได้ 5 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย Piano, Guitar, Saxophone, Organ, Bass นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถบันทึกเสียงเอง (User-defined) เพื่อนำมาศึกษาคลื่นเสียงเพิ่มได้อีก 3 ชนิดของแหล่งกำเนิดเสียง โดยตัวโปรแกรมจะบันทึกเสียงเป็นเสียง A แล้วทำการสร้างคลื่นเสียงเลียนแบบเสียงต้นฉบับที่ความถี่อื่นๆ อีก 16 ความถี่



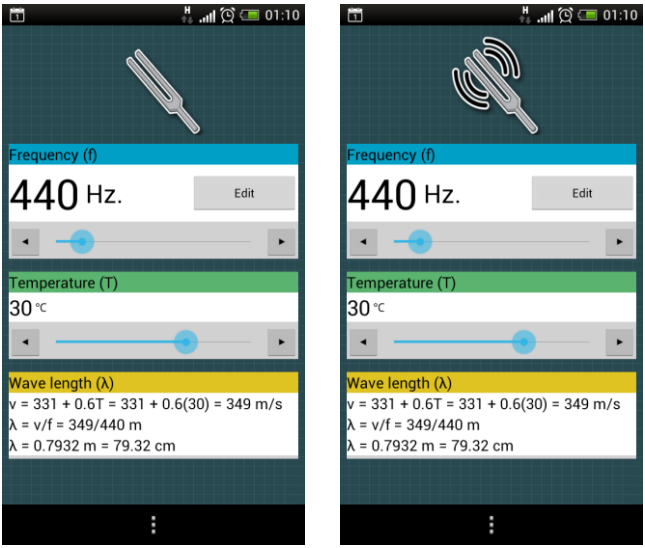
รูปที่ 6 การบันทึกเสียงเพื่อสร้างคลื่นเสียงเลียนแบบต้นฉบับ

3. หน้าที่ของโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่

โปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ถูกออกแบบมาให้ผลิตคลื่นเสียงรูปไซน์ (sine wave) ในลักษณะเดียวกับการคลื่นเสียงของส้อมเสียง โดยโปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ผลิตคลื่นเสียงรูปไซน์ตามความถี่ที่ผู้ใช้ต้องการ

การเลือกความถี่ที่ผลิตออกมาสามารถทำได้ 3 แบบคือ 1. การเลือกความถี่โดยใช้แถบปรับความถี่เสียง 2. การกดปุ่มเพิ่มลดที่บริเวณขอบทั้งสองข้างของแถบปรับความถี่เสียง และ 3. การใส่ตัวเลขความถี่ที่ต้องการด้วยตนเองที่ปุ่ม Edit

ผู้ใช้สามารถให้โปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่เริ่มการผลิตคลื่นเสียงได้โดยการกดไปที่รูปส้อมเสียง เมื่อส้อมเสียงทำงานจะมีรูปการสั่นของส้อมเสียงปรากฏขึ้น เมื่อกดอีกครั้งโปรแกรมก็จะหยุดการผลิตคลื่นเสียง



รูปที่ 7 โปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ขณะยังไม่ผลิตเสียง (ซ้าย) และกำลังผลิตคลื่นเสียง (ขวา)

เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความยาวคลื่นเสียงได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่จึงได้ออกแบบมาให้แสดงความยาวคลื่นของเสียงในอากาศในหน่วยเมตรและเซนติเมตร ซึ่งมาจากการคำนวณผ่านค่าความถี่เสียงและอุณหภูมิห้องที่ผู้ใช้ใส่ข้อมูลให้กับตัวโปรแกรม

กิจกรรมเรื่อง การแทรกสอดของเสียง

เมื่อคลื่นตั้งแต่สองขบวนขึ้นไปเดินทางมาพบกัน จะเกิดการรวมกันของคลื่น เรียกว่า **การซ้อนทับกัน (superposition)** และเมื่อเวลาผ่านไปคลื่นแต่ละขบวนก็จะกลับสู่สภาพเดิม การรวมกันของคลื่นทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น การแทรกสอดของคลื่น การเกิดคลื่นนิ่ง การเกิดบีตของเสียง เป็นต้น

ในกิจกรรมนี้ เราจะสังเกตการรวมกันของคลื่นเสียง จากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า **การแทรกสอดของเสียง (interference of sound waves)** ซึ่งเป็นการรวมกันของเสียงตามหลักการรวมกันของคลื่นแล้วทำให้เกิดเสียงที่มีความเข้มเสียงสูงหรือต่ำที่บริเวณต่างๆ ในตำแหน่งที่ตายตัว เมื่อเดินผ่านบริเวณนั้นจะได้ยินเสียงดัง-ค่อยเป็นจังหวะตามตำแหน่งของการแทรกสอดของเสียง

สาระสำคัญ

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียง 2 ขบวน ซึ่งอาจจะพิจารณาได้จากการรวมกันของคลื่นรูปไซน์ โดยคลื่นแต่ละขบวนเดินทางมารวมกันที่จุด ๆ หนึ่ง การกระจัดลัพธ์ที่เกิดจากการรวมกันนั้นก็จะขึ้นกับความต่างเฟสของคลื่นทั้งสองที่ตำแหน่งนั้นๆ กล่าวคือ ถ้าระยะทางที่คลื่นทั้งสองขบวนเดินทางมาถึงจุดนั้นห่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น($m\lambda$ เมื่อ m = 1, 2, 3, ···) เฟสของคลื่นทั้งสองที่จุดนั้นก็จะมีค่าตรงกัน เมื่อรวมกันแล้วก็จะมีแอมพลิจูดสูงกว่าบริเวณข้างเคียง ในกรณีของคลื่นเสียงก็จะทำให้เกิดเป็นเสียงที่ดังกว่าบริเวณข้างเคียง แต่ถ้าระยะทางที่คลื่นทั้งสองขบวนเดินทางมาถึงจุดนั้นห่างกันเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นรวมกับอีกครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($m\lambda+1/2$ เมื่อ m = 1, 2, 3, ···) เฟสของคลื่นทั้งสองที่จุด

นั้นก็จะมีค่าตรงกันข้าม เมื่อรวมกันแล้วก็จะมีแอมพลิจูดต่ำกว่าบริเวณข้างเคียง ในกรณีของเสียงก็จะทำให้เกิดเป็นเสียงค่อยกว่าบริเวณข้างเคียง

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียงจำนวน 1 เครื่องพร้อมลำโพงแบบสเตอริโอ หรือสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียงจำนวน 2 เครื่อง

กิจกรรม

ในกิจกรรมนี้ เราจะศึกษาปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นเสียง ที่ทำให้เกิดริ้วหรือรูปแบบของการแทรกสอด (interference pattern) ที่มีเสียงดัง-ค่อยสลับกัน ตลอดจนพิจารณาว่า ริ้วดังกล่าวมีลักษณะอย่างไร และระยะห่างของริ้วดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างไรกับความถี่หรือความยาวคลื่นของเสียง

ในการหาแหล่งกำเนิดเสียง 2 แหล่งที่ให้กำเนิดเสียงที่มีความถี่เท่ากันนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. ใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีเพียงเครื่องเดียว แล้วต่อกับลำโพงแบบสเตอริโอภายนอก ดังรูปที่ 8 โดยที่แหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองต้องวางอยู่ห่างกันพอประมาณ (หากลำโพงอยู่ใกล้กันมากเกินไปจะทำให้สังเกตการแทรกสอดของเสียงได้ไม่ชัดเจน) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีความสะดวกในการกำหนดและความคุมค่าความถี่ แต่อาจไม่สะดวกในกรณีที่ต้องการให้ลำโพงทั้งสองอยู่ห่างกันมาก ๆ

รูปที่ 8 การวางสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีจำนวน 1 เครื่องต่อกับลำโพงสเตอริโอ

2. ใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีจำนวน 2 เครื่อง โดยทั้งอุปกรณ์กำเนิดเสียงทั้งสองทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่เท่ากัน แล้วนำโทรศัพท์ไปวางในตำแหน่งที่ต้องการ ดังรูปที่ 9 วิธีการนี้เป็นวิธีการที่มียืดหยุ่นกว่าเพราะสามารถปรับระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองได้ง่าย แต่แหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองควรเป็นสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีรุ่นเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เพื่อให้ได้เสียงที่เหมือนกันมากที่สุด

รูปที่ 9 แสดงการวางเครื่องมือ โดยใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีจำนวน 2 เครื่อง

ในการทำการทดลองทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้ทำการทดลองควรกำหนดให้แหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองวางอยู่ห่างจากกำแพงพอประมาณ ไม่เช่นนั้นอาจทำให้เกิดการรบกวนจากเสียงที่สะท้อนจากกำแพงได้ ซึ่งจะส่งผลให้รูปแบบของการแทรกสอดมีความซับซ้อนมากขึ้นไปด้วย นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสอง ควรมีค่ามากกว่าความยาวคลื่นพอประมาณ ไม่เช่นนั้นอาจสังเกตตำแหน่งที่เกิดการแทรกสอดเป็นเสียงที่มีแอมพลิจูดต่ำหรือเสียงค่อยได้ยาก

เมื่อจัดวางลำโพงและโทรศัพท์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ทดลองยืนห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสองพอประมาณ แล้วสังเกตเสียงที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ แหล่งกำเนิดว่ามีความดัง-ค่อย เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อาจวาดภาพสเก็ตช์ลงบนกระดาษเพื่อดูรูปแบบของการแทรกสอดของเสียงโดยคร่าวๆ เพื่อเปรียบเทียบกับการจำลองแบบทางทฤษฎี อย่างไรก็ตาม การสังเกตการแทรกสอดของเสียงผ่านหูมนุษย์อาจไม่แม่นยำมากนัก เนื่องจากหูของมนุษย์ทั้งสองข้างอยู่ห่างกัน (ประมาณ 20 เซนติเมตร) ทำให้การได้ยินเสียงอาจเกิดการรบกวนขึ้นได้ เพื่อให้แม่นยำมากขึ้น อาจแก้ปัญหาโดยการใช้วิธีอุดหูข้างหนึ่ง แล้วใช้หูข้างที่เหลือในการรับฟังเสียงเพื่อสังเกตการแทรกสอดของเสียง

ในการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของริ้วของการแทรกสอดกับความถี่หรือความยาวคลื่นของเสียง สามารถทำได้โดยการวัดระยะทางจากจุดที่เสียงค่อยที่สุดจุดหนึ่งไปยังจุดที่เสียงค่อยที่สุดที่จุดถัดไป จากนั้นเปลี่ยนความถี่ให้มีค่าที่แตกต่างออกไปประมาณสักครึ่งหนึ่งของความถี่เดิม เช่น จาก 1,000 เฮิรตซ์ ไปเป็น 1,500 เฮิรตซ์ แล้ววัดระยะระหว่างตำแหน่งของที่เสียงค่อยที่สุดอีกครั้ง เปลี่ยนค่าความถี่ให้มากขึ้นหรือน้อยลงอีก 2-3 ค่า แล้วนำค่าระยะทางที่วัดได้มาเปรียบเทียบกัน

สำหรับผู้ที่ต้องการความแม่นยำในการวัดสัญญาณคลื่นเสียง อาจใช้โทรศัพท์อีกเครื่องหนึ่งเป็นตัววัดเสียงผ่านโปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียงแทนการใช้หูฟัง ซึ่ง

สามารถหาตำแหน่งที่เสียงที่ดังที่สุดและเสียงที่ค่อยที่สุดได้โดยการดูสัญญาณคลื่นเสียงที่ปรากฏบนหน้าจอของสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี โดยที่การหาตำแหน่งที่มีเสียงค่อยที่สุดทำได้จากการเลื่อนหาตำแหน่งที่มีความสูงของสัญญาณเสียงน้อยที่สุด ส่วนการหาตำแหน่งที่มีเสียงดังที่สุดทำได้จากการเลื่อนหาตำแหน่งที่มีความสูงของสัญญาณเสียงมากที่สุด

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

ในระหว่างการทำกิจกรรมการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นเสียง ผู้ทำการทดลองอาจมีข้อสงสัยหรือเกิดคำถามดังต่อไปนี้

- *ทำไมจึงให้สังเกตตำแหน่งที่ค่อยที่สุด ไม่ใช้ตำแหน่งที่ดังที่สุด*

ตอบ เนื่องจากการรับรู้ของมนุษย์ไม่สามารถบอกความแตกต่างของสัญญาณเสียงที่ดัง ๆ ได้ดี กล่าวคือ มนุษย์สามารถแยกแยะเสียงดังได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น แต่เมื่อเกินระดับนั้นแล้ว จะไม่สามารถแยะแยะความแตกต่างได้ดีนัก ดังนั้นการสังเกตการแทรกสอดของเสียงโดยการฟังเสียงที่เสียงค่อยที่สุดจะสามารถทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำกว่า

- *ทำไมตำแหน่งที่เสียงค่อยจึงไม่เงียบสนิท*

ตอบ ทฤษฎีมักกล่าวว่า ตำแหน่งของการแทรกสอดที่เกิดกันหักล้างกันของคลื่นที่มีเฟสตรงข้ามกันหรือเฟสต่างกัน 180 องศา จะมีคลื่นลัพธ์เป็นศูนย์ ซึ่งเป็นจริงเฉพาะกรณีที่แอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองเท่ากันเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติแอมพลิจูดของคลื่นเสียงมีค่าลดลงตามระยะทางอย่างรวดเร็ว ทำให้เมื่อรวมกันแล้วยากที่จะหักล้างกันได้หมด อีกทั้งแหล่งกำเนิดเสียงส่วนใหญ่ไม่ใช่แหล่งกำเนิดเสียงชนิดจุดเหมือนในทางทฤษฎี แม้ว่าระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงมีค่ามากกว่าขนาดของ

แหล่งกำเนิดเสียงมากจนประมาณได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดเสียงชนิดจุดก็ตาม แต่ปัจจัยนี้ก็อาจทำให้ผลการสังเกตมีความคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีได้พอสมควร

- *ในกรณีที่ใช้โทรศัพท์สองเครื่องเป็นแหล่งกำเนิดเสียง ทำไมบางครั้งรู้สึกว่าเสียงมีการขาดเป็นห้วง ๆ*

ตอบ เนื่องจากวิธีในการสร้างเสียงจากโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ ได้ถูกออกแบบให้สร้างเสียงโดยการปล่อยคลื่นเสียงที่กำหนดไว้ออกมาเป็นชุด ๆ ต่อเนื่องกัน ดังนั้น สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีจำนวน 2 เครื่องที่ต่างรุ่นกัน อาจมีการปล่อยคลื่นเสียงแต่ละชุดไม่พร้อมกัน ช่วงความแตกต่างนี้นี่เองที่ทำให้ผู้ฟังได้ยินเหมือนเสียงกระตุกซึ่งอาจเป็นเสียงที่ดังขึ้นหรือค่อยลงอย่างฉับพลันก็ได้ หากพบเหตุการณ์เช่นนี้แล้วต้องการผลการทดลองที่แม่นยำชัดเจนขึ้น ควรใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีจำนวน 1 เครื่องมาต่อกับลำโพงสเตอริโอแทน แต่อย่างไรก็ตามปัญหานี้เกิดขึ้นน้อยมากหากใช้โทรศัพท์รุ่นเดียวกัน

ผลการทดลองที่ได้จากการจัดกิจกรรมนี้อาจเป็นไปได้หลากหลายรูปแบบมาก เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพของสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ และความถี่ที่เลือกใช้ ดังนั้น รูปแบบของการแทรกสอดที่ได้อาจถือว่าเป็นเอกลักษณ์เฉพาะขึ้นกับปัจจัยดังที่กล่าวมา แต่อย่างไรก็ดี ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดเสียงค่อยที่สุดก็ยังคงเป็นไปในทำนองเดียวกัน

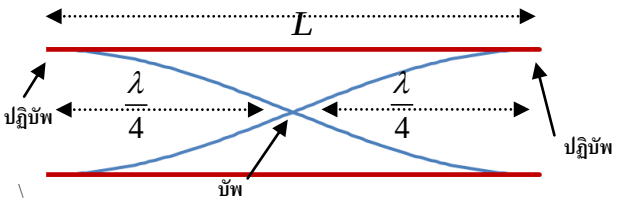
อนึ่ง ควรเข้าใจว่า ลำโพงภายในของโทรศัพท์ทั่วไปนั้นมักมีขนาดเล็ก และมักตอบสนองได้ดีต่อการผลิตเสียงความถี่สูง ๆ ในขณะที่ตอบสนองได้ไม่ดีต่อการผลิตเสียงความถี่ต่ำๆ นอกจากนั้น ในขณะที่ลำโพงผลิตเสียงความถี่ต่ำๆ ตัวลำโพงเองก็ผลิตความถี่สูงบางส่วนปนออกมาเองด้วย ทำให้ได้เสียงที่มีความถี่หลายค่า ซึ่งอาจส่งผลให้การหาจุดที่เสียงค่อยที่สุดเป็นไปได้ยากขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในการทดลองการแทรกสอดของคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำๆ จึงเหมาะสมกับการใช้ลำโพงภายนอกมากกว่า

กิจกรรมเรื่อง การสั่นพ้องในท่อปลายเปิด

การสั่นพ้อง (Resonance) เป็นปรากฏการณ์ที่ระบบได้รับแรงกระทำจากภายนอกด้วยความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของระบบพอดี ส่งผลให้ระบบมีการสั่นอย่างรุนแรง จนบางครั้งอาจเกิดความเสียหายขึ้นได้ ตัวอย่างของการสั่นพ้องเช่น การดีดหรือการเคาะวัตถุให้เกิดเสียงขึ้น และการสั่นพ้องของคลื่นเสียงในท่อปลายเปิด

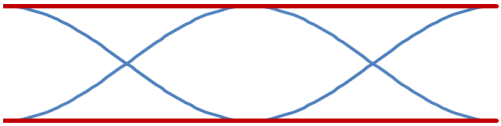
สาระสำคัญ

ท่อปลายเปิดเป็นท่อทรงกระบอกที่ปลายทั้งสองของท่อมีลักษณะเปิดให้เสียงเคลื่อนที่เข้าและออกได้จากปลายท่อทั้งสองด้าน การสั่นพ้องภายในท่อปลายเปิดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อคลื่นเสียงที่เข้ามาจะต้องมีความยาวคลื่นที่เหมาะสม โดยเงื่อนไขที่เป็นตัวคัดเลือกคือ ที่บริเวณปลายท่อซึ่งเป็นบริเวณที่โมเลกุลของอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เกิดการแทรกสอดเป็นปฏิบัพ (antinode) เท่านั้น ดังนั้นความยาวคลื่นเสียงที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องได้ต้องมีขนาดเป็นสองเท่าของความยาวของท่อปลายเปิด หรือ $\lambda_0 = 2L$ ดังรูปที่ 10 ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น v สามารถหาความถี่ของคลื่นเสียงนี้ได้จาก $f_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{v}{2L}$



รูปที่ 10 ภาพการหาความถี่ต่ำสุดที่สามารถเกิดได้ในท่อปลายเปิด

ความถี่ต่ำสุดที่เกิดการสั่นพ้องได้นี้เรียกว่า **ความถี่มูลฐาน (fundamental frequency)** และเมื่อพิจารณาการเกิดคลื่นนิ่งของเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นอันถัดไป (อาจเรียกว่า ฮาร์มอนิกถัดไป) ทำให้ได้เสียงที่ตรงตามเงื่อนไขดังรูป



รูปที่ 11 ภาพการหาความถี่ที่สูงขึ้นที่เกิดการสั่นพ้องในท่อปลายเปิด

ซึ่งสามารถหาความยาวคลื่นของคลื่นขบวนนี้ได้เป็น $\lambda_1 = L$ และความถี่เสียงเป็น $f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{L} = 2f_0$ หรืออาจกล่าวได้ว่า การเกิดการสั่นพ้องของเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นอันถัดไปมีความถี่สูงขึ้นเป็น 2 เท่าของความถี่มูลฐาน

โดยการวิเคราะห์เช่นนี้ อาจหาความถี่ที่สามารถเกิดการสั่นพ้องในท่อปลายเปิดนี้ได้เป็น $f_2 = 3f_0$, $f_3 = 4f_0$, $\cdots$ หรือเขียนความสัมพันธ์แบบทั่วไปได้ว่า $f_n = (n+1)f_0$ เมื่อ $n = 1, 2, 3, \cdots$

ในกิจกรรมนี้ เราจะได้สังเกตปรากฏการณ์สั่นพ้องในท่อปลายเปิด โดยใช้แอปพลิเคชันเป็นตัวสร้างเสียงตามความถี่ที่ต้องการ เพื่อมาทำให้เกิดการสั่นพ้องในท่อปลายเปิด จากนั้นจึงสังเกตการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นโดยการฟังหรือใช้โทรศัพท์อีกเครื่องหนึ่งในการวัดความดังของเสียง

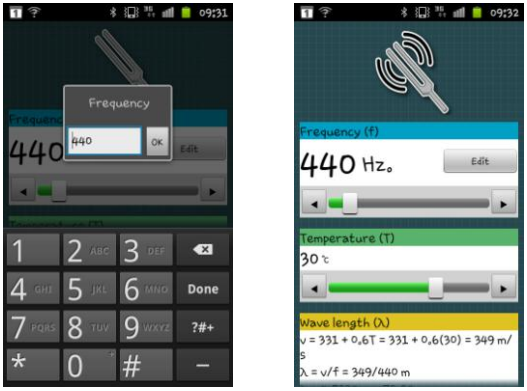
อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง

2. ท่อปลายเปิด อาจใช้ท่อหรือกระบอกใส่ของที่มีขนาดใหญ่พอสมควร เช่น กระบอกใส่ลูกขนไก่ กระบอกใส่กระดาษเขียนแบบ หรือใช้กระดาษแผ่นใหญ่ ๆ เช่นหนังสือพิมพ์ หรือกระดาษวาดเขียน ม้วนเป็นทรงกระบอกแล้วใช้หนังยางรัดไว้ก็ได้

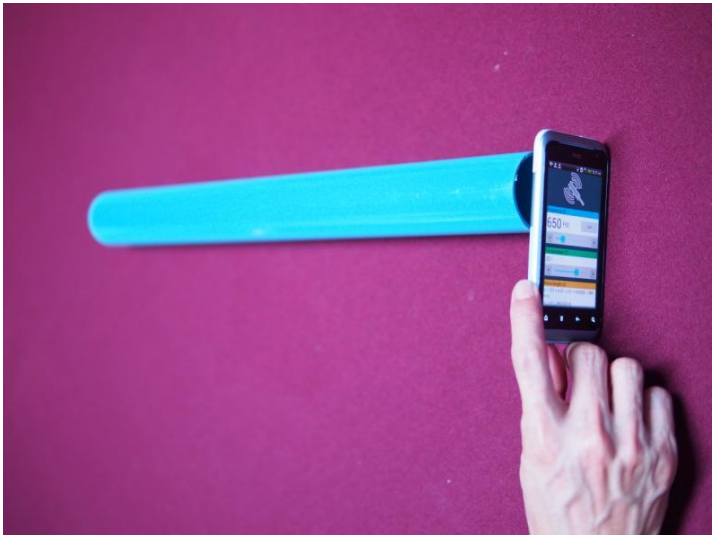
กิจกรรม

วางท่อปลายเปิดไว้บนพื้นราบ โดยระวังอย่าให้มีสิ่งใดมาอุดปลายท่อ เปิดโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ แล้วนำสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีไปวางบริเวณปลายท่อด้านหนึ่ง โดยหันลำโพงเข้าหาท่อ แต่ระวังอย่าให้อุดปลายท่อ (ถ้าใช้ลำโพงภายนอกจะมีความสะดวกในการปรับความถี่บนตัวโปรแกรม) ตั้งค่าความถี่ที่ต่ำ ๆ เช่น 100 เฮิรตซ์ แล้วแตะที่รูปส้อมเสียงเพื่อเริ่มผลิตคลื่นเสียง จากนั้นค่อย ๆ เลื่อนแถบความถี่ไปทางขวามือเพื่อเป็นการเพิ่มความถี่ โดยทั่วไปแล้วผู้ทำการทดลองเริ่มได้ยินเสียงเบา ๆ ในตอนเริ่มต้น



รูปที่ 12 การปรับความถี่โดยการเลื่อนแถบควบคุมและป้อนค่าโดยตรง

เนื่องจากเสียงที่ได้ยินในช่วงความถี่ต่ำนี้อาจคล้ายกับเสียงรบกวนจากสิ่งแวดล้อม ผู้ทำการทดลองจึงจำเป็นต้องพิสูจน์ให้แน่ใจว่าเป็นเสียงจากสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีจริงหรือไม่ โดยสังเกตจากการเปิด-ปิดแหล่งกำเนิดเสียงแล้วฟังเสียง เมื่อแน่ใจแล้วว่าเสียงที่ได้ยินมาจากสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี จึงเริ่มเพิ่มความถี่ของเสียงขึ้นทีละน้อย โดยการแตะที่ลูกศรด้านขวา ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าความถี่ขึ้นทีละ 1 เฮิรตซ์ เมื่อเปลี่ยนค่าไปแล้วให้รอสักระยะหนึ่ง เพื่อให้เครื่องเปลี่ยนความถี่ให้ตามต้องการ เมื่อเพิ่มไปแล้วให้ทดลองฟังเสียงที่เกิดขึ้น ว่าเสียงดังขึ้นแบบผิดปกติหรือไม่



รูปที่ 13 แสดงการวางเครื่องมือ โดยใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีวางที่ปากท่อ

ในช่วงแรก ๆ ที่ความถี่ยังต่ำกว่า 200 เฮิรตซ์นั้น หูของมนุษย์อาจยังตอบสนองได้ไม่ดีนัก ผู้ทดลองจึงอาจรู้สึกว่าได้ยินเสียงค่อยมาก และรู้สึกว่าเสียงเริ่มดังขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ในกรณีเช่นนี้ไม่ใช่การเกิดการสั่นพ้อง แต่เป็นเหตุจากการ

ตอบสนองของหูดีขึ้น ทำให้สามารถได้ยินเสียงชัดขึ้นเท่านั้นเอง สำหรับการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นสังเกตได้จากเสียงดังขึ้นอย่างผิดปกติ และเสียงจะค่อยลงเมื่อผ่านจุดที่เป็นการสั่นพ้องไป ดังนั้นจึงถือว่าเกิดการสั่นพ้องเกิดขึ้นเมื่อเสียงที่เกิดในท่อปลายเปิดมีความดังมากกว่าความถี่รอบข้างอย่างชัดเจน

ในช่วงแรก อาจปรับความถี่ครั้งละ 5 หรือ 10 เฮิรตซ์ก็ได้เพื่อให้พบช่วงความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องได้เร็วขึ้น เมื่อพบช่วงที่เกิดการสั่นพ้องแล้วจึงค่อยปรับค่าความถี่อย่างละเอียดอีกครั้งนึ่ง ตำแหน่งที่สังเกตพบการสั่นพ้องนี้อาจกว้างได้หลายเฮิรตซ์ ทั้งนี้เพราะหูของมนุษย์ไม่สามารถแยกความดังในบริเวณนั้นได้ดีนัก

เมื่อบันทึกค่าความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องครั้งแรกได้แล้ว จึงเพิ่มความถี่ขึ้น เพื่อหาความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องครั้งต่อไป โดยหาความถี่ดังกล่าวสัก 2-3 ค่า แล้วนำค่าความถี่ดังกล่าวมาวิเคราะห์

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

เมื่อนำความถี่ที่เกิดการสั่นพ้อง 2-3 ครั้งแรกมาวิเคราะห์ โดยเทียบกับความสัมพันธ์ $f_n = (n+1) f_0$ โดยที่ต้องคิดเสมอว่า ความถี่แรกที่พบ อาจไม่ใช่ความถี่มูลฐานเสมอไป เพราะดังที่ได้กล่าวไปในตอนต้นว่า ในช่วงที่ความถี่ต่ำ ๆ นั้น หูของมนุษย์ยังไม่สามารถตอบสนองต่อเสียงได้ดีนัก จึงมีความเป็นไปได้ที่การรับฟังเสียงอาจพลาดที่พบความถี่มูลฐานจริงๆ ได้ นอกจากนี้ความถี่ถัดไปที่เกิดการสั่นพ้อง อาจไม่ใช่ฮาร์มอนิกถัดไปจริงๆ ก็ได้เช่นกัน ดังนั้น สิ่งที่ควรทำคือ หาสัดส่วนโดยประมาณของความถี่ที่เกิดการสั่นพ้อง แล้วแทนค่า n ที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อได้ค่า n ที่คิดว่าเหมาะสมกับทุกค่าความถี่แล้ว อาจนำมาวาดกราฟ หรือใช้วิธีทางสถิติเพื่อหาค่าความถี่มูลฐานที่ได้จากการทดลองและเมื่อได้ความถี่มูลฐานแล้วก็คำนวณหาค่าอัตราเร็วของเสียงออกมาจากความสัมพันธ์ $v = f\lambda$ เพื่อประมาณ

ความผิดพลาดของกิจกรรมนี้ เนื่องจากในแอปพลิเคชันนี้ได้คำนวณค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไว้ให้แล้ว จึงสามารถใช้เปรียบเทียบกันเพื่อทดสอบความถูกต้องได้

ตัวอย่างแบบบันทึกผลกิจกรรม

ความยาวของท่อ (L) ..... เมตร

อุณหภูมิของอากาศ ..... องศาเซลเซียส

อัตราเร็วของเสียงในอากาศจากการคำนวณ ..... เมตรต่อวินาที

($v_t = 331 + 0.6\,t$ เมตรต่อวินาที)

การสั่นพ้องครั้งที่	ความถี่ที่เกิดการสั่นพ้อง (เฮิรตซ์)				อัตราส่วนระหว่างความถี่ที่เกิดการสั่นพ้องต่อความถี่ต่ำที่สุด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1					
2					
3					
4					
5					

ความถี่มูลฐานที่ควรเป็นคือ ..... เฮิรตซ์

ความยาวคลื่นที่ความถี่มูลฐาน

- ในกรณีของท่อปลายปิด ($\lambda_0 = 2L$) ..... เมตร
- ในกรณีของท่อปลายปิด ($\lambda_0 = 2L$) ..... เมตร

อัตราเร็วของเสียง ($v = f_1\lambda_1$) ..... เมตรต่อวินาที

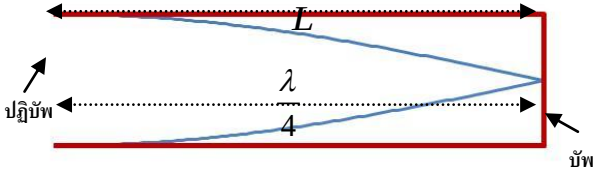
กิจกรรมเรื่อง การสั่นพ้องในท่อปลายปิด

ในกิจกรรมที่ผ่านมา เราได้ศึกษาปรากฏการณ์สั่นพ้องในท่อปลายเปิดไปแล้ว สำหรับกิจกรรมต่อไปจะเป็นการศึกษาการสั่นพ้องในท่อปลายปิดหนึ่งด้าน โดยในที่นี้ ท่อปลายปิด คือ ท่อที่มีปลายข้างหนึ่งปิดและอีกข้างหนึ่งเปิด เสียงจึงเคลื่อนที่เข้าและออกได้จากปลายท่อด้านที่เปิดเท่านั้น ในกิจกรรมนี้ เราจะศึกษาว่า ความถี่ของเสียงที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องในท่อปลายปิดมีความสัมพันธ์กับความยาวของท่อปลายปิดอย่างไร

สาระสำคัญ

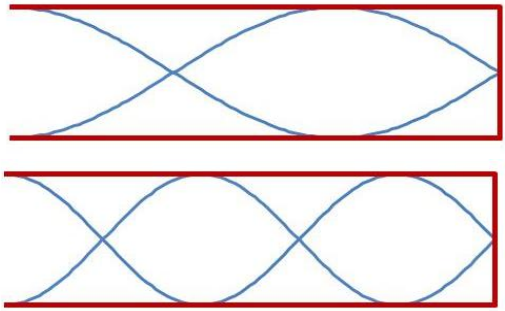
การเกิดการสั่นพ้องภายในท่อปลายปิดมีเงื่อนไขที่แตกต่างจากท่อปลายเปิด เนื่องจากในบริวณที่ปลายท่อที่ถูกปิด โมเลกุลของอากาศจะถูกกดติดกับผนังที่ปิดอยู่ บริเวณปากท่อทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ การแทรกสอดที่เกิดขึ้นบริเวณนี้จึงต้องเป็นบัพ (node) เท่านั้น ดังนั้นความยาวคลื่นเสียงที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องได้ต้องมีขนาดเป็นสี่เท่าของความยาวของท่อปลายเปิด หรือ $\lambda_0 = 4L$ ดังรูปที่ 9 ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น v สามารถหาความถี่ของคลื่นเสียงนี้ได้จาก

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4L}$$



รูปที่ 14 ภาพการหาความถี่ต่ำสุดที่สามารถเกิดได้ในท่อปลายปิด

สำหรับความถี่ที่สูงขึ้นลำดับต่อไป เห็นได้ว่า ยังคงต้องรักษาเงื่อนไขของการแทรกสอดของคลื่นเช่นเดิม ส่งผลให้ความยาวคลื่นเป็น $\lambda_1 = \frac{4}{3}L$ ส่งผลให้ความถี่เสียงที่เกิดคลื่นนิ่งในลำดับถัดไปเป็น $f_1 = \frac{v}{\frac{4}{3}L} = 3\frac{v}{4L} = 3f_0$ และในทำนองเดียวกัน สามารถหาค่าความถี่ลำดับถัด ๆ ไปได้เป็น $f_2 = 5f_0, f_3 = 7f_0, \cdots$ ดังนี้เรื่อยไป หรืออาจสรุปเป็นความสัมพันธ์ง่าย ๆ คือ ฮาร์มอนิกลำดับที่ n จะมีความถี่ $f_n = (2n+1)f_0$ เมื่อ $n = 1, 2, 3, \cdots$



รูปที่ 15 การหาความถี่ที่สูงขึ้นที่เกิดการสั่นพ้องในท่อปลายปิด

ในกิจกรรมนี้ เราจะได้ทดลองวัดความถี่ของเสียงดังกล่าวโดยใช้อุปกรณ์ง่าย ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมที่แล้ว

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง
2. ท่อทรงกระบอกปลายปิดหนึ่งข้าง เช่น กระบอกใส่เครื่องเล่นกีฬาต่าง ๆ ที่มีฝาปิดข้างหนึ่ง หรือปิดด้วยกระดาษแข็งที่ตัดเป็นวงกลมให้พอดีกับท่อแล้วหุ้มด้วยกระดาษชำระเพื่อให้ปิดปากกระบอกได้สนิท ในกรณีที่ใช้ท่อพลาสติกที่ป้องกันการเปียกจากน้ำได้ อาจใช้การจุ่มน้ำแทน และปรับความยาวท่อโดยการปรับระดับความสูงของท่อที่อยู่เหนือน้ำ

กิจกรรม

ในกิจกรรมนี้ เราสามารถเลือกแนวทางในการทำการทดลองได้ 2 แบบ ขึ้นอยู่กับท่อปลายปิดที่ใช้สำหรับการทดลอง คือ 1. กิจกรรมสำหรับท่อปลายปิดที่มีขนาดคงที่หรือปรับความยาวไม่ได้ และ 2. ท่อปลายปิดที่สามารถปรับความยาวได้

แนวทางที่ 1 ท่อปลายปิดที่ปรับความยาวไม่ได้

สำหรับท่อปลายปิดที่ปรับความยาวไม่ได้ ให้ทำกิจกรรมเช่นเดียวกับการทดลองการสั่นพ้องในท่อปลายเปิด โดยหาความถี่ต่ำสุดที่เกิดการสั่นพ้อง และความถี่ที่สูงขึ้นมาอีก 2-3 ค่า แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าความถี่มูลฐาน ยกเว้นสมการที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของความถี่ โดยเปลี่ยนเป็น $f_n = (2n+1) f_0$

แนวทางที่ 2 ท่อปลายปิดที่สามารถปรับความยาวได้

สำหรับแนวทางนี้ การทดลองจะตรงกันข้ามกับวิธีที่กล่าวมาข้างต้น จากเดิมโดยใช้วิธีการเปลี่ยนความถี่ไปจนพบการสั่นพ้อง แต่ในกรณีนี้ จะใช้วิธีการเปลี่ยนความยาวของท่อไปจนพบการสั่นพ้องแทน

เริ่มทำกิจกรรมโดยเปิดโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ และกำหนดค่าความถี่ไว้ค่าหนึ่งที่คิดว่าสามารถรับฟังได้ชัดเจน เช่น 1,000 เฮิรตซ์ แล้วนำไปวางไว้บริเวณปลายเปิดของท่อ ค่อย ๆ ปรับความยาวของท่อ ดังรูปที่ 16 จนพบความยาวของท่อที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องที่ดังที่สุด (ในกรณีที่ใช้ชุดทดลองท่อปลายปิดของ สสวท. สามารถใช้การเลื่อนลูกสูบเข้าหรือออกเพื่อเป็นการปรับความยาวของท่อปลายปิดได้ แต่ถ้าใช้ท่อจุ่มน้ำจะสามารถปรับความยาวของท่อที่อยู่เหนือน้ำได้โดยการเลื่อนท่อขึ้นหรือลง) บันทึกค่าความยาวดังกล่าว

จากนั้นค่อย ๆ ปรับความยาวของท่อให้สั้นลง สังเกตได้ว่า เสียงจะเบาลงอย่างชัดเจน ค่อย ๆ ปรับลดความยาวลงอย่างต่อเนื่องจนพบการสั่นพ้องอีกครั้งหนึ่ง บันทึกความยาวของท่อ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดความยาวของท่อ

รูปที่ 16 การทดลองการสั่นพ้องของท่อปลายปิดที่สามารถปรับความยาวได้

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

สำหรับกิจกรรมในแนวทางแรกนั้น การทำการทดลองและการวิเคราะห์ผลจะเหมือนกับการการทดลองการสั่นพ้องในท่อปลายเปิดทุกประการ จึงไม่ขอกล่าวซ้ำเพียงแต่ตอนที่คำนวณและวิเคราะห์ผลจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนความสัมพันธ์ให้เหมาะสมเท่านั้น

ส่วนกิจกรรมในแนวทางที่ 2 อาจกล่าวได้ว่า ความยาวของท่อที่สั้นที่สุดที่สามารถพบการสั่นพ้องได้นั้น เป็นความยาวที่สอดคล้องกับความถี่มูลฐานได้เลย ทั้งนี้เพราะความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้เป็นความถี่ที่หูของมนุษย์ได้ยินชัดเจนอยู่แล้ว สิ่งที่ควรสังเกตคือ ความยาวลำดับถัดไปที่เกิดการสั่นพ้องได้ต้องมีจำนวนเท่าของความยาวต่ำสุดเป็นเลขคี่เท่านั้น ตามความสัมพันธ์ $f_n = (2n+1) f_0$ นั่นคือ ความยาวลำดับถัดไปมีค่าเป็น $3, 5, 7, \cdots$ เท่าของความยาวต่ำสุด

จากค่าความถี่มูลฐานและความยาวที่สอดคล้องกับความถี่มูลฐานนี้ ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราเร็วของเสียงออกมาได้เช่นกัน และสามารถใช้ในการประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลองนี้ได้

ตัวอย่างแบบบันทึกผลกิจกรรมการสั่นพ้องในท่อปลายปิดที่สามารถปรับความยาวได้

ความถี่ที่เลือกใช้ (f) ..... เฮิรตซ์

อุณหภูมิของอากาศ ..... องศาเซลเซียส

อัตราเร็วของเสียงในอากาศจากการคำนวณ ..... เมตรต่อวินาที

($v_t = 331 + 0.6\,t$ เมตรต่อวินาที)

การสั่นพ้อง ครั้งที่	ความยาวของท่อปลายปิด (เมตร)	อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เกิดการสั่นพ้องต่อความยาวที่สั้นที่สุด
1		
2		
3		
4		
5		

ความยาวท่อที่สั้นที่สุดที่ควรเป็นคือ (L_1) ..... เฮิรตซ์

ความยาวคลื่นที่ความถี่มูลฐาน ($\lambda = 4L_1$) ..... เมตร

อัตราเร็วของเสียง ($v = f\lambda$) ..... เมตรต่อวินาที

กิจกรรมเรื่อง การสร้างเสียงโดยการเป่าขวด

การสร้างเสียงโดยการเป่าขวดเป็นการสร้างเสียงแบบง่าย ๆ ที่หลายคนอาจเคยเล่นกันมาบ้างแล้ว ซึ่งพบว่า เสียงที่ออกมาจากขวดนั้นจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นกับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ขนาดและรูปร่างของขวด ระดับน้ำที่อยู่ในขวด แรงลมที่ใช้ในการเป่าขวด เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ อาจทำให้เสียงที่เกิดขึ้นมีระดับสูง-ต่ำต่างกันไป

สาระสำคัญ

การสร้างเสียงจากขวดอาศัยหลักการเดียวกับการสร้างเสียงจากเครื่องดนตรีชนิดเป่า กล่าวคือ เมื่อเป่าลมผ่านปากขวด ก็จะทำให้อากาศที่วิ่งผ่านปากขวดเกิดการหมุนวนขึ้น การหมุนวนนี้จะมีลักษณะแบบปั่นป่วน ส่งผลให้เกิดความถี่ต่าง ๆ จำนวนมากมาย เสียงแบบนี้ไม่มีรูปแบบเฉพาะ จึงมีลักษณะเหมือนเสียงรบกวนทั่วไป แต่ที่ได้ยินเสียงดังขึ้นจากขวดเป็นเพราะขวดได้คัดเลือกเสียงที่เหมาะสมกับรูปร่างของขวดมาทำให้เกิดการสั่นพ้องภายในขวดขึ้น ส่งผลให้เสียงความถี่ดังกล่าวมีเสียงดังโดดเด่นกว่าเสียงความถี่อื่น ๆ ความถี่ของเสียงที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องดังกล่าวก็คือความถี่ธรรมชาติของขวดนั่นเอง และนี่เองที่ทำให้เสียงจากการเป่าขวดในสภาพต่าง ๆ มีรูปแบบเฉพาะตัว

ลักษณะการคัดเลือกความถี่ข้างต้น เป็นกระบวนการที่คล้ายกับการสั่นพ้องของเสียงในท่อปลายปิด แต่เป็นการเกิดคลื่นนิ่งด้วยรูปทรงแบบสามมิติ และมีความซับซ้อนกว่ามากเพราะขึ้นกับรูปทรงของขวดที่ใช้ ทำให้ไม่สามารถทำนายด้วยสมการที่ง่าย ๆ แบบท่อปลายปิดได้

ในกิจกรรมนี้ เราจะได้ทดลองวิเคราะห์เสียงที่ได้จากการเป่าขวด และจะได้หาว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อเสียงที่เกิดขึ้นจากการเป่าขวด

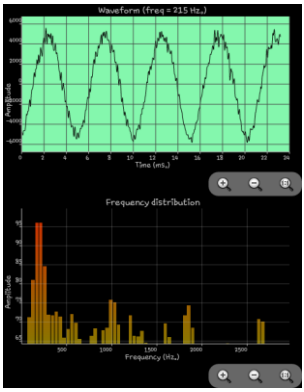
อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง
2. ขวดน้ำรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน ขวดน้ำดังกล่าวควรมีปากขวดที่ไม่ใหญ่เกินไปนัก สำหรับขวดน้ำดื่มที่เป็นพลาสติกทั่วไปก็สามารถนำมาใช้ได้

กิจกรรม

นำปากขวดวางบริเวณใต้ริมฝีปากล่าง แล้วเป่าลมผ่านปากขวดออกไป โดยให้ลมที่ออกไปผ่านบริเวณปากขวด โดยไม่เข้าไปในขวดโดยตรง การเป่าในลักษณะนี้จะทำให้เกิดการหมุนวน (turbulence) ของอากาศขึ้นที่บริเวณปากขวด และส่งผลให้เกิดเสียงความถี่ต่าง ๆ จำนวนมากที่บริเวณปากขวด ผู้ทำการทดลองอาจต้องฝึกเป่าให้ได้ความแรงและระยะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการสั่นพ้องที่ดังชัดเจน

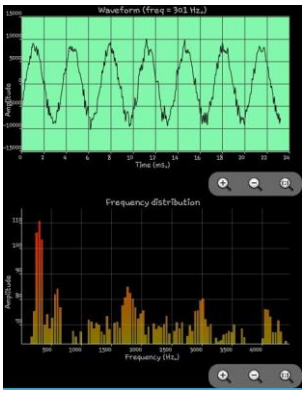
เมื่อสามารถเป่าขวดจนได้เสียงดังชัดเจนแล้ว ก็ใช้โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียง บันทึกสัญญาณเสียงที่ได้ และบันทึกภาพหน้าจอไว้ ซึ่งจะได้ผลการทดลองคล้ายกับตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 17 การวัดเสียงจากการเป่าขวดเปล่า ได้ความถี่ประมาณ 215 เฮิรตซ์

ศึกษารายละเอียดของเสียงที่ได้โดยการปรับย่อขยายสัญญาณ จะเห็นได้ว่าเสียงนี้ประกอบด้วยความถี่ต่าง ๆ มากมาย อันเนื่องมาจากการหมุนวนของอากาศและรูปทรงของขวดก็เป็นตัวคัดเลือกให้บางความถี่เด่นออกมา และนั่นคือเอกลักษณ์ของเสียงจากขวดใบที่ใช้ในการทำการทดลอง

จากนั้น ทำการทดลองซ้ำ โดยค่อย ๆ เติมน้ำให้มีระดับสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเติมน้ำเข้าไปประมาณ 1 ใน 3 ของขวด ทำให้ได้ผลการทดลองคล้ายกับตัวอย่างดังรูป



รูปที่ 18 การวัดเสียงเมื่อมีน้ำประมาณ 1 ใน 3 ของขวด ได้ความถี่ประมาณ 301 เฮิรตซ์

ทำการทดลองซ้ำโดยเติมน้ำเข้าไปหลาย ๆ ระดับ บันทึกภาพพร้อมค่าความถี่และวัดความสูงของระดับน้ำด้วย นำตัวแปรต่าง ๆ นำมาวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น

หากมีขวดรูปทรงอื่น ๆ ก็สามารถทำการทดลองซ้ำได้ โดยสังเกตว่าเสียงจากขวดรูปทรงต่าง ๆ แตกต่างกันหรือไม่ และสามารถอธิบายหรือหาความสัมพันธ์ได้อย่างไร

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

สิ่งที่สามารถสังเกตได้จากกิจกรรมนี้คือ เมื่อระดับน้ำในขวดสูงขึ้น เสียงที่ได้ยินก็จะมีความถี่สูงขึ้น (เสียงแหลมขึ้น) ทั้งนี้สามารถอธิบายได้โดยการคัดเลือกความถี่ในลักษณะเดียวกับท่อปลายปิดในกิจกรรมที่แล้วนั่นเอง เพราะถ้าพิจารณาว่าขวดคือท่อปลายปิดที่มีผนังที่ปิดคือผิวน้ำ และด้านที่เปิดคือปากขวด ก็พบว่า คลื่นนิ่งที่สามารถเกิดการสั่นพ้องได้ก็ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของท่อปลายปิดนั่นเอง กล่าวคือ เมื่อระดับน้ำสูงขึ้น ท่อจะสั้นลง และทำให้คลื่นที่สามารถเกิดการสั่นพ้องได้มีความยาวคลื่นสั้นลงหรือความถี่สูงขึ้นไปด้วย

ถ้าการเกิดเสียงจากการเป่าขวดมีลักษณะเดียวกับการสั่นพ้องแล้ว เหตุใดขวดที่รูปทรงแตกต่างกันจึงมีเสียงแตกต่างกันด้วย ทำไมเสียงที่ได้ยินจึงไม่ขึ้นกับระดับความสูงของน้ำเพียงอย่างเดียว สำหรับคำถามนี้อธิบายได้ว่า การเกิดการสั่นพ้องในขวดน้ำนั้นไม่ได้เกิดเพียงแนวเดียว กล่าวคือไม่ได้มีเกิดการสั่นพ้องแค่ในแกนตั้ง แต่ยังคงมีการสั่นพ้องที่เกิดในแกนอื่น ๆ ด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงของขวดนั่นเอง (แต่บริเวณผิวขวดต้องเป็นบัพเสมอ เพราะอากาศบริเวณนี้เคลื่อนที่ไม่ได้) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่เกิดการสั่นพ้องจำนวนมากมายขึ้นในขวด และสัดส่วนของความถี่ต่าง ๆ ก็จะเปลี่ยนไปตามแต่รูปทรงของขวดด้วย ทำให้เสียงจากขวดแต่ละรูปทรงมีเอกลักษณ์เป็นของตนเอง

จากการอธิบายข้างต้น สังเกตได้ว่า เมื่อมีระดับน้ำจากปากขวดเท่ากัน การเป่าขวดที่มีลักษณะอ้วนป้อมจะให้เสียงทุ้มกว่าการเป่าขวดที่มีลักษณะผอมสูง เช่น การเป่าขวดน้ำอัดลมขนาด 2 ลิตร มีเสียงทุ้มกว่าการเป่าขวดน้ำดื่ม 500 มิลลิลิตร ซึ่งเสียงที่ออกมาจากขวดทั้งสองนี้อาจจะมีความถี่หลักเท่ากันก็ได้ แต่ความถี่ที่เป็นองค์ประกอบอื่น ๆ ของขวดอ้วนป้อมจะมีสัดส่วนของความถี่ต่ำมากกว่าขวดที่ผอมสูง ทำให้ได้ยินเสียงทุ้มกว่า

การสร้างเสียงโดยการเป่าขวดนี้ คล้ายกับการสร้างเสียงพูดของมนุษย์ เพราะในกรณีของมนุษย์ อวัยวะที่ใช้สร้างเสียงที่มีความถี่ต่างๆ ที่เรียกว่า **เส้นเสียง (vocal chord)** ซึ่งเป็นแผ่นเยื่อบาง ๆ ขวางหลอดลมอยู่บริเวณลูกกระเดือก หากเอามือแตะบริเวณนี้และส่งเสียงพูดออกมาจะรู้สึกได้ถึงการสั่น เมื่อส่งเสียงก็จะบังคับลมให้วิ่งผ่านเส้นเสียงนี้ และทำให้เกิดการสั่นขึ้นและผลิตเสียงความถี่ต่าง ๆ ออกมามากมาย และเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องต่อไป โดยที่กลไกการคัดเลือกความถี่เสียงของมนุษย์มีความซับซ้อนมาก สรีระของผู้พูดส่งผลอย่างมากต่อเสียงที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นลำคอ ช่องปาก ริมฝีปาก โพรงจมูก ลิ้นและฟัน ที่มีการปรับเปลี่ยนรูปร่างตลอดเวลา เสียงพูดของแต่ละคนจึงเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว

อาจสังเกตได้ว่า ผู้พูดที่มีร่างกายเล็ก มักจะมีเสียงแหลมสูง ส่วนผู้ที่มีร่างกายใหญ่ จะมีเสียงทุ้มต่ำ นี่ก็เป็นผลจากสรีระที่มีต่อการคัดเลือกเสียงเช่นเดียวกับรูปร่างของขวดส่งผลต่อเสียงที่ได้ยินนั่นเอง

หลักการดังกล่าวนี้ทำให้สามารถนำไปพิสูจน์เสียงพูดได้ โดยการแยกองค์ประกอบของเสียง หรือหา **คุณภาพของเสียง (sound quality)** จากการพูดในคำพูดหนึ่ง ๆ โดยที่คน ๆ เดียวกัน เมื่อพูดคำๆ เดียวกัน จะมีองค์ประกอบเหมือนกัน แต่หากเป็นคนละคน องค์ประกอบนี้แตกต่างกันไปเนื่องจากสรีระของผู้พูด และไม่

สามารถเปลี่ยนแปลงได้แม้พยายามดัดเสียงก็ตาม ปัจจุบันกระบวนการพิสูจน์เสียงดังกล่าวเริ่มเป็นที่ยอมรับและมีผลบังคับใช้ในทางกฎหมาย

- คำถามชวนคิด: *ถ้าสามารถย่อขนาดช้างให้ลดลงเหลือตัวเท่าหนูได้ ช้างนั้นจะส่งเสียงร้องเป็นอย่างไร*

กิจกรรมเรื่อง การสร้างเสียงจากแก้วแบบมีก้าน

หลายคนคงเคยเห็นแก้วแบบมีก้านที่มักจะเรียกกันว่า แก้วไวน์ กันมาบ้างแล้ว หลายคนอาจเคยสร้างเสียงจากแก้วแบบนี้ ทั้งโดยการเคาะ และการเอานิ้วถูที่ปากแก้วจนเกิดเสียง ซึ่งสามารถปรับเสียงที่เกิดขึ้นได้โดยการเติมน้ำลงไปที่ระดับต่าง ๆ กัน และถ้ามีการปรับเสียงให้เหมาะสมอาจสร้างเป็นตัวโน้ตต่าง ๆ เพื่อบรรเลงเป็นเพลงได้ ในกิจกรรมนี้ เราจะได้ลองทำการทดลองกับแก้วน้ำดังกล่าวเพื่อหาเงื่อนไขและปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดเสียงที่แตกต่างกันจากแก้วไวน์หรือแก้วแบบมีก้าน

สาระสำคัญ

สำหรับการสร้างเสียงจากแก้ว ไม่ว่าจะเป็นการเคาะ หรือเอานิ้วหมุนวนที่ปากแก้วก็ตาม จะมีหลักการในการสร้างเสียงแบบเดียวกับเครื่องดนตรีทั่วไป กล่าวคือ มีการผลิตความถี่ต่าง ๆ มากมายขึ้นมา (เช่น การเคาะ ดีด หรือถู) และมีการคัดเลือกเสียงบางความถี่ที่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขของแก้วในขณะนั้น ซึ่งก็จะเป็นปรากฏการณ์การสั่นพ้องนั่นเอง การสั่นพ้องดังกล่าวทำให้เสียงที่มีความถี่ที่เหมาะสมเกิดเป็นเสียงดังขึ้นกว่าความถี่อื่นๆ และเอกลักษณ์เฉพาะตัวของแก้วแต่ละใบ ก็ทำให้เสียงที่ได้มีความแตกต่างกัน ทำให้กิจกรรมนี้มีความน่าสนใจ เพราะไม่สามารถเดาได้ว่าเสียงที่ได้ยินจากแก้วแต่ละรูปทรงมีลักษณะเป็นอย่างไรนั่นเอง

การสร้างเสียงโดยการเคาะนั้นไม่ยากนัก เพราะใคร ๆ ก็สามารถสร้างได้ ในช่วงแรกของการเคาะ จะเป็นการสร้างเสียงหลากหลายความถี่ออกมาพร้อมกัน ทำให้เสียง “เคาะ” ในช่วงนี้ จะมีเสียงความถี่มากมายหลากหลายและอาจคล้ายกันแม้ว่าจะเป็นแก้วต่างใบ ต่างรูปทรงกัน แต่เมื่อผ่านพ้นช่วงนี้ไปแล้ว จะเหลือเสียงที่มีความถี่

เหมาะสมเท่านั้นที่สามารถคงการสั่นอยู่ได้ ในช่วงนี้เป็นเสียงเฉพาะตัวของแก้วแต่ละใบนั่นเอง

สำหรับการสร้างเสียงโดยการใช้นิ้วถูบริเวณปากแก้ว สามารถทำได้โดยใช้นิ้วมือที่สะอาด ไม่มีคราบไขมัน แตะน้ำให้เปียกเล็กน้อยแล้วถูไปบนขอบปากแก้ว ออกแรงกดเล็กน้อยจนรู้สึกฝืด เมื่อเกิดเสียงดังก็ให้รักษาแรงกดดังกล่าวไว้ตลอด กลไกการสร้างเสียงในลักษณะนี้เป็นแบบเดียวกับการสีซอหรือไวโอลิน โดยที่นิ้วมีความฝืดหรือแรงเสียดทานที่พยายามยึดเกาะกับปากแก้วไว้ แต่เนื่องจากแรงถูมีมากกว่าแรงเสียดทานดังกล่าว ก็จะเกิดการลื่น หรือหลุดจากปากแก้วไปเป็นระยะหนึ่งจากนั้นก็จะเกิดแรงเสียดทานขึ้นอีกครั้งที่ตำแหน่งถัดไปแล้วก็ลื่นหลุดอีก เป็นดังนี้ไปเรื่อย ๆ การจับและลื่นหลุดนี้ทำให้เกิดการสั่นขึ้นในโมเลกุลของน้ำและแก้วและทำให้เกิดเสียงความถี่ต่าง ๆ มากมายขึ้นมา ซึ่งจะถูกคัดเลือกด้วยรูปทรงของแก้วต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง
2. แก้วที่มีก้าน อาจเป็นแก้วไวน์หรือแก้วคอนยัคก็ได้

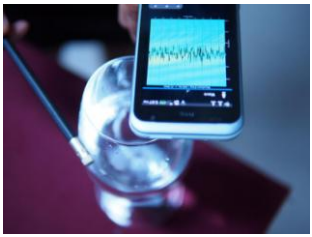
กิจกรรม

สำหรับกิจกรรมในตอนแรก จะเป็นการสร้างเสียงด้วยวิธีที่ง่าย ๆ โดยการเคาะ แล้ววัดเสียงที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียง โดยตั้งให้เป็น คือให้แสดงทั้งรูปคลื่นและจำแนกความถี่ (Wave+Freq) ในกิจกรรมนี้จำเป็นจะต้องใช้ความไวพอสมควร เนื่องจากเสียงที่เกิดจากการเคาะจะหายไปเร็วมาก และเสียงที่

ต้องการจะเป็นช่วงกลาง ๆ ของเสียงทั้งหมดเท่านั้น อาจต้องทำการเคาะหลายครั้งกว่าจะได้ผลตามต้องการ

เมื่อได้รูปคลื่นและความถี่จากการเคาะแล้ว ก็ใช้นิ้วที่สะอาดและเปียกเล็กน้อย ถูไปบนปากแก้วจนได้ยินเสียง สังเกตเสียงดังกล่าวเทียบกับการเคาะแก้วในตอนแรก แล้ววัดเสียงที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียง บันทึกรูปคลื่นและจำแนกความถี่เอาไว้

เติมน้ำลงไปในแก้วทีละน้อย ๆ จากนั้นทำการทดลองซ้ำ ทั้งการเคาะ และถูปากแก้ว สังเกตเสียงที่ได้ยิน อาจต้องทดลองซ้ำหลายครั้งเพื่อความแม่นยำใจการบันทึกรูปคลื่นและความถี่ของเสียง

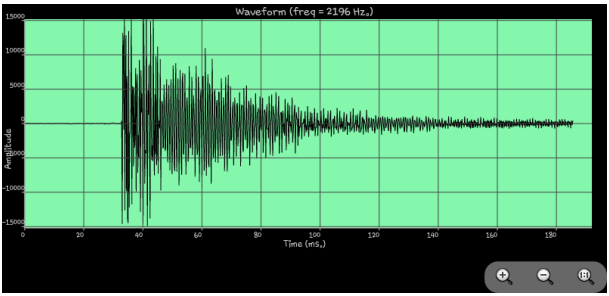


รูปที่ 19 การสร้างเสียงจากแก้วมีก้านด้วยการเคาะ (ซ้าย) และการถูปากแก้ว (ขวา)

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

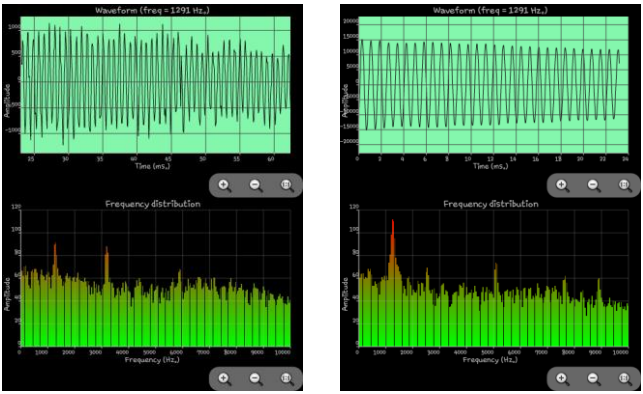
สำหรับการเคาะแก้วนั้น เสียงที่ได้ยินอาจแบ่งได้เป็น 2 ช่วงใหญ่ ๆ คือ ช่วงแรกเป็นเสียงที่เกิดจากการเคาะซึ่งมีเสียงความถี่ต่างๆ มากมาย ในช่วงนี้จะเกิดเสียงที่คล้ายกัน ไม่ว่าแก้วน้ำจะมีรูปทรงอย่างไร และมีน้ำบรรจุอยู่สูงเพียงใดก็ตาม โดยเสียงในช่วงนี้จะเกิดเป็นเพียงเวลาสั้น ๆ หลังจากนั้น สิ่งแวดล้อม คือรูปทรงของแก้วและปัจจัยอื่นๆ ก็จะทำหน้าที่คัดเลือกเฉพาะบางความถี่ให้คงอยู่ได้ นั่นคือ ความถี่ที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของแก้วน้ำนั้น ในช่วงนี้มีเวลานาน ซึ่งจะนานเพียงใดก็ขึ้นอยู่

กับความสามารถในการหน่วงของแก้วนั้นๆ ถ้าเป็นแก้วเปล่าที่มีโครงสร้างสมบูรณ์ ก็จะสามารถสั่นได้นาน และเกิดเป็นเสียงก้องกังวาน แค่ถ้าเป็นแก้วที่มีน้ำ หรือมีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ก็จะมีการสูญเสียพลังงานของการสั่นไปได้ง่าย ทำให้เสียงเบาลงอย่างรวดเร็ว การเคาะแก้วนี้จึงใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าแก้วใบใดมีความสมบูรณ์ในโครงสร้างได้วิธีหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วแก้วที่มีราคาแพงจะมีความสมบูรณ์สูง ส่วนแก้วที่มีราคาถูกกว่าก็จะมีความสมบูรณ์รองลงมา ตามลำดับ



รูปที่ 20 คลื่นเสียงจากการเคาะแก้วในช่วงแรก

จากการทำกิจกรรม อาจสังเกตได้ว่า เสียงจากการเคาะแก้ว และเสียงจากการถูปากแก้วนั้นเป็นเสียงเดียวกัน ดังรูปที่ 21 เสียงทั้งสองต่างกันแค่เพียงองค์ประกอบของเสียง ถ้าเป็นเครื่องดนตรีก็อาจกล่าวได้ว่ามีโน้ตเดียวกันนั่นเอง ทั้งนี้เป็นเพราะเสียงที่เกิดขึ้นทั้งสองมีความถี่ธรรมชาติเท่ากัน แต่เนื่องจากตัวสร้างเสียงตั้งต้นแตกต่างกัน จึงทำให้องค์ประกอบของเสียงที่ได้ตอนท้ายแตกต่างกันเท่านั้นเอง ปัญหาที่ควรขบคิดคือ อะไรที่เป็นตัวที่สั่นด้วยความถี่ธรรมชาติดังกล่าว อาจจะเป็นเพราะช่องอากาศที่อยู่ภายในแก้ว น้ำภายในแก้ว หรือเป็นเนื้อแก้ว



รูปที่ 21 คลื่นเสียงและสเปกตรัมจากการเคาะแก้ว (ซ้าย) และถูปากแก้ว (ขวา) เห็นว่าได้ความถี่หลักเท่ากัน คือ 1,291 เฮิรตซ์

ปัญหานี้อาจตอบได้จากการพิจารณาผลของกิจกรรมที่วัดความถี่ของแก้วที่มีระดับน้ำต่างกัน อาจสังเกตได้ว่าเมื่อเติมน้ำลงไปในแก้ว ยิ่งน้ำในแก้วมีระดับสูงขึ้น เสียงที่ได้จากแก้วมีความถี่ต่ำลง ผลของกิจกรรมนี้จะตรงกันข้ามกับเมื่อตอนที่เป่าขวด กล่าวคือตอนที่เป่าขวดนั้นยิ่งระดับน้ำสูงขึ้น ความถี่ก็ยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย ดังที่ได้อธิบายไว้ว่าเกิดการการสร้างคลื่นนิ่งในช่องอากาศด้านบนขวด แต่ในกรณีของแก้วแบบมีก้านนี้ ผลกลับตรงกันข้าม ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า การเกิดการสั่นพ้องในช่องอากาศเหนือผิวน้ำของแก้วแบบมีก้านนั้นส่งผลน้อยกว่าปัจจัยอื่นๆ

ในการอธิบายการเกิดเสียงของแก้วแบบมีก้าน อาจต้องพิจารณาเรื่องของการสั่นของวัตถุ ทั้งนี้สังเกตได้ว่าความถี่ของการสั่นใด ๆ เป็นผลมาจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ แรงคืนตัว และ ความเฉื่อย ของระบบนั้นๆ

แรงคืนตัว (restoring force) เป็นแรงที่ดึงให้ระบบกลับสู่สภาพเดิม เช่นเดียวกับการที่สปริงพยายามดึงให้ปลายของสปริงกลับมาสู่จุดสมดุลเสมอ ในกรณีของแก้วก็เช่นเดียวกัน จะมีการดึงตัวของแก้วให้กลับมาสู่รูปร่างเดิม หากไม่มีแรงคืนตัว

นี้แล้ว แก้วย่อมไม่เกิดการสั่นขึ้น และอาจสังเกตได้ว่า ยิ่งแรงคืนตัวมีค่ามาก ก็จะมีแรงดึงกลับมาก เกิดการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความถี่ของการสั่นมีค่าสูง

ความเฉื่อย (inertia) เป็นสภาพต้านการเคลื่อนที่ของระบบ เช่นในกรณีของมวลที่ผูกอยู่ที่ปลายสปริง เมื่อมีแรงจากสปริงพยายามดึงให้มวลเกิดการเคลื่อนที่ มวลก็ตอบสนองโดยการเกิดการต่อต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ ทำให้มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งค่าหนึ่ง เห็นว่า ยิ่งมวลมีค่ามากขึ้น ความเฉื่อยมีค่ามากขึ้น ความเร่งในการเคลื่อนที่ก็จะน้อย ส่งผลให้ความถี่ของการสั่นที่มีค่าน้อย

จากการพิจารณาปัจจัยทั้งสองข้างต้น พบว่า เมื่อเติมน้ำลงไปในแก้ว เป็นการเพิ่มมวลโดยรวมของระบบ ทำให้ความเฉื่อยของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่แรงคืนตัวยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากเป็นแรงดึงภายในเนื้อแก้ว เปรียบเสมือนการเพิ่มมวลที่ผูกปลายสปริงตัวเดิม ความถี่ธรรมชาติของการสั่นนี้จึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของกิจกรรมที่สังเกตได้

นอกจากนั้น การอธิบายกลไกการเกิดเสียงข้างต้น ยังสามารถอธิบายได้ว่าเพราะเหตุใด ในการเปลี่ยนแปลงระดับของน้ำในแก้วขณะที่ปริมาณน้ำในแก้วมีค่าน้อยๆ การสั่นพ้องของเสียงที่เกิดขึ้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณน้ำในแก้วยังมีไม่มากพอที่จะส่งผลต่อความเฉื่อยของระบบ ทำให้แก้วยังคงสั่นด้วยความถี่ค่าเดิม หรือมีการเปลี่ยนแปลงความถี่น้อยมาก

กิจกรรมเรื่อง คุณภาพของเสียงจากเครื่องดนตรีแบบต่าง ๆ

ทุกคนคงเคยได้ยินเสียงดนตรีกันมาแล้ว บางคนอาจได้ฝึกเล่นดนตรีบางประเภท บางคนอาจเคยนึกสงสัยว่าเครื่องดนตรีชนิดต่าง ๆ สร้างเสียงดนตรีขึ้นมาอย่างไร และเหตุใดมนุษย์จึงสามารถจำแนกเครื่องดนตรีต่าง ๆ ที่เล่นตัวโน้ตเดียวกันได้โดยง่ายเพียงแค่การฟังเสียงเท่านั้น

สาระสำคัญ

การสร้างเสียงของเครื่องดนตรี อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกเป็นการสร้างความถี่ต่าง ๆ ขึ้นมา และการคัดเลือกความถี่ ส่วนที่เป็นการสร้างความถี่นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการผลิตเสียง คลื่นเสียงที่ได้อาจมีความถี่เฉพาะโดดเด่นหรือไม่ก็ได้ ส่วนที่สองเป็นการคัดเลือกความถี่ ส่วนนี้เองถือว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้เครื่องดนตรีมีเสียงเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว นี่คือ สาเหตุที่มนุษย์ได้ยินและรับรู้ว่าเครื่องดนตรีต่างประเภทกันมีเสียงที่แตกต่างกันแม้จะเล่นตัวโน้ตเดียวกัน เช่น กีตาร์โฟล์ค กีตาร์คลาสสิค และอูคูเลเล่ มีเสียงที่เป็นแบบฉบับเฉพาะตัวของตนเอง ทั้ง ๆ ที่มีหลักการสร้างเสียงเหมือนกัน

การคัดเลือกความถี่ของเครื่องดนตรีจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและขนาดของเครื่องดนตรีนั้น ๆ โดยเกิดขึ้นจากการที่เสียงความถี่ต่างๆ ที่เกิดขึ้น เกิดการสั่นพ้องภายในเครื่องดนตรีนั้นๆ ทำให้เสียงในช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการสั่นพ้องนั้นมีความโดดเด่นกว่าเสียงความถี่อื่น ๆ ที่ผลิตขึ้นมาพร้อมกัน ทำให้องค์ประกอบของความถี่ที่ได้ยินมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของเครื่องดนตรี องค์ประกอบของความถี่ในเสียงนี้เองที่เรียกว่า **คุณภาพของเสียง (sound quality)**

คำว่า คุณภาพเสียง อาจทำให้เข้าใจว่าเป็นการบอกความไพเราะของเสียง แต่ในทางฟิสิกส์แล้ว คุณภาพเสียง หมายถึง องค์ประกอบของความถี่ต่าง ๆ ที่อยู่ในเสียงว่ามีความถี่ใดบ้าง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเครื่องดนตรีชนิดใดชนิดหนึ่งจะสร้างเสียงที่มีความถี่โดดเด่นออกมา เรียกได้ว่าเป็นความถี่หลัก หรือ **ความถี่มูลฐาน (fundamental frequency)** และยังมีความถี่อื่น ๆ ประกอบร่วมมาด้วย เรียกว่า **ฮาร์มอนิก (harmonic)** ตัวความถี่พื้นฐานจะเป็นตัวกำหนดโน้ตของเสียงดนตรี ส่วนฮาร์มอนิกที่ประกอบจะเป็นตัวทำให้เครื่องดนตรีชิ้นนั้น ๆ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว เนื่องจากคำว่าคุณภาพเสียงอาจทำให้คนฟังทั่วไปเข้าใจผิดว่าเป็นความไพเราะของเสียง บางครั้งในทางดนตรีจึงเรียกคุณภาพเสียงว่า **ทิมเบอร์ (timbre)** ซึ่งมีความหมายเดียวกัน

ในการจำแนกความถี่ของเสียงทางทฤษฎีนั้น จะพิจารณาอยู่บนพื้นฐานว่าเสียงทุกเสียงประกอบด้วยคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ต่าง ๆ มาซ้อนทับกัน การจำแนกความถี่ต่าง ๆ ออกจากกันนี้สามารถทำได้โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า **การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform)** ซึ่งใช้ความสามารถการแปลงฟูเรียร์ที่อยู่ในโปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียงเพื่อจำแนกและแสดงองค์ประกอบของเสียงดนตรีที่ต้องการศึกษา

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง
2. เครื่องดนตรี 2-3 ชนิด ควรเป็นเครื่องดนตรีที่ใช้หลักการสร้างเสียงคนละแบบ เช่น เครื่องดีดกับเครื่องเป่า เครื่องดีดกับเครื่องสี เป็นต้น (ในกรณีที่ไม่สามารถหาเครื่องดนตรีได้ สามารถใช้โปรแกรม เล่นเสียงเครื่องดนตรี แทนได้)

กิจกรรม

ในกิจกรรมนี้ เราจะใช้โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียง โดยตั้งให้แสดงผลทั้งรูปคลื่นและการจำแนกความถี่ (Wave+Freq) และบันทึกเสียงของเครื่องดนตรีชนิดต่าง ๆ ที่เล่นโน้ตตัวเดียวกัน

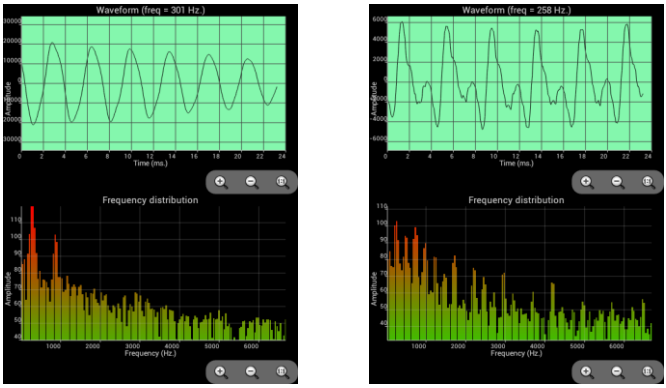
เมื่อวัดเสียงและจำแนกความถี่แล้ว สามารถพิจารณาองค์ประกอบของเสียงได้ว่ามีความถี่ต่าง ๆ มากน้อยเพียงใด โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องดนตรีหลาย ๆ ชนิด

เมื่อได้เปรียบเทียบระหว่างเครื่องดนตรีต่างชนิดกันไปแล้ว ก็ใช้เครื่องดนตรีเครื่องเดียวแต่เล่นโน้ตที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการสร้างความถี่ที่ไม่เท่ากันออกมา จากนั้นใช้โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียงในการจำแนกความถี่ และเปรียบเทียบผลที่ได้

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

จากกิจกรรมนี้ เห็นได้ว่า เครื่องดนตรีแต่ละชนิดมีเอกลักษณ์ของเสียงเฉพาะตัว ทำให้หูของมนุษย์สามารถแยกแยะได้โดยง่าย ซึ่งเป็นเพราะองค์ประกอบของความถี่ของเครื่องดนตรีแต่ละชนิดไม่เหมือนกันนั่นเอง

แต่ถ้าเป็นเครื่องดนตรีชนิดเดียวกันที่เล่นเสียงคนละตัวโน้ต พบว่า แม้ว่าความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้นไม่เท่ากัน แต่ลักษณะการกระจายของความถี่มีความคล้ายคลึงกัน เป็นเพียงแค่การเลื่อนไปตามแกนความถี่ด้วยอัตราส่วนเดียวกันเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เครื่องดนตรีแต่ละชนิดมีเสียงเป็นเอกลักษณ์ของตนเองไม่ว่าจะเล่นโน้ตตัวใดก็ตาม



รูปที่ 22 คุณภาพเสียงที่ได้จากขลุ่ย (ซ้าย) และกีตาร์ (ขวา)

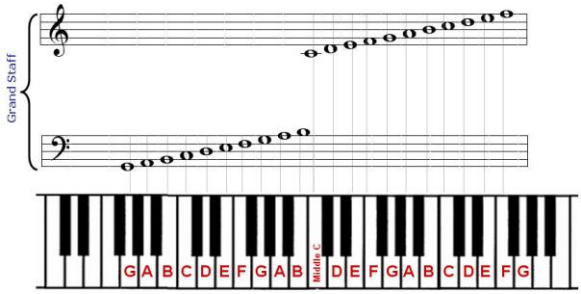
จากกิจกรรมนี้อาจสังเกตได้ว่าการแจกแจงความถี่ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งและกระจายออกไป ไม่คมชัดดังที่ควรจะเป็นเหมือนในทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนวิธีที่ใช้ในการจำแนกความถี่ของโปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียงได้รับการปรับแต่งเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเร็วและเหมาะสมกับการใช้งานบนเครื่องสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี จึงมีการเลือกใช้ความถี่ที่มาทดสอบเพียงไม่กี่ค่า และนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพียงไม่กี่จุด ทำให้เมื่อจำแนกความถี่แล้วเกิดการเฉลี่ยไปยังความถี่ข้างเคียงบ้าง ภาพการกระจายความถี่จึงไม่คมชัด และยังส่งผลให้ค่าความถี่ที่คำนวณได้และแสดงผลบนหน้าจออาจมีความคลาดเคลื่อน โดยอาจมีความผิดพลาดเล็กน้อย ดังจะได้ศึกษาในกิจกรรมถัดไป

กิจกรรมเรื่อง ระดับเสียงของโน้ตสากล

การเล่นดนตรีจะมีระบบของเสียง ที่เรียกว่า ระบบโน้ตดนตรี ที่เรียงลำดับเสียงสูงต่ำเป็นขั้น ๆ ไว้ เพื่อให้ง่ายต่อผู้สร้างสรรค์ผลงานทางดนตรีทั้งในการสร้างทำนองเพลงและผลิตเสียงดนตรี เคยนึกสงสัยไหมว่าระบบการเรียงความถี่เสียงของโน้ตต่าง ๆ เป็นอย่างไร

สาระสำคัญ

ระบบโน้ตสากลเป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลาย โดยทั่วไปจะเข้าใจกันว่ามีโน้ตอยู่ 7 ตัว คือ โด เร มี ฟา ซอล ลา ที (โดยทั่วไปจะใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษ คือ C D E F G A B ตามลำดับ) แต่ในความเป็นจริงแล้วมีเสียงถึง 12 ระดับ กล่าวคือ จะมีโน้ตอยู่ระหว่างโน้ตบางคู่ ดังแสดงในรูปที่ 23 ซึ่งเป็นแถบสีดำที่อยู่ระหว่าง โด กับ เร ระหว่าง เร กับ มี ระหว่าง ฟา กับ ซอล ระหว่าง ซอล กับ ลา และระหว่าง ลา กับ ที เมื่อรวมกันแล้วจะเป็นโน้ตทั้งหมด 12 ระดับนั่นเอง และเรียกระดับที่ต่างกันนี้ว่า **ครึ่งเสียง** (semitone)

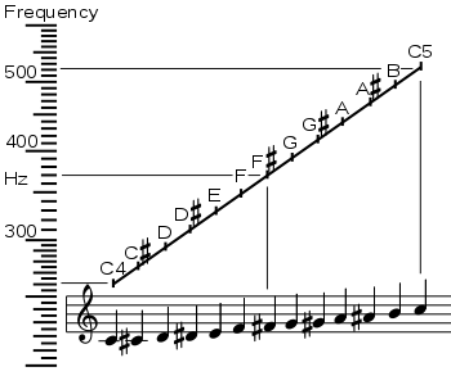


รูปที่ 23 โน้ตสากล และระบบบันไดห้าเส้น ด้านบนสำหรับมือขวา ด้านล่างสำหรับมือซ้าย

การเล่นดนตรีโดยมีโน้ตหลายระดับนั้น ไม่สำคัญว่าจะต้องเล่นด้วยโน้ตตัวเดิมเสมอไป แต่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนระดับโน้ตนั้นมากกว่า เช่น การเล่นโน้ต “โด” “เร” “มี” จะมีทำนองเดียวกันกับการเล่นโน้ต “ฟา” “ซอล” “ลา” ซึ่งถ้าเล่นโน้ตสองชุดนี้แยกจากกันอาจไม่สังเกตถึงความแตกต่างเลย เหมือนเป็นการไล่โน้ตชุดเดียวกัน นี่เป็นการแสดงให้เห็นว่า การรับรู้ระดับโน้ตของหูมนุษย์ไม่ได้วัดจากค่าความถี่ แต่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างโน้ตแต่ละตัว นักดนตรีก็อาศัยหลักการนี้ในการปรับโน้ตให้เข้ากับเสียงคนร้อง เรียกว่า **การปรับคีย์ (transposition)**

เงื่อนไขสองประการที่ใช้ในการหาค่าความถี่ของโน้ตต่าง ๆ นั้น คือโน้ตสองตัวที่อยู่ติดกัน หรือที่เรียกว่าห่างกันครึ่งเสียง จะมีสัดส่วนของความถี่เท่ากันเสมอ และความถี่ของโน้ตตัวเดียวกันที่อยู่ห่างกันไป 1 คู่แปด (octave) เช่น จากโดหนึ่งไปอีกโดหนึ่งที่มีความถี่สูงกว่า จะมีความถี่ต่างกันเป็นจำนวนสองเท่า จากเงื่อนไขทั้งสองนี้ จะสามารถหาได้ว่าสัดส่วนความถี่ของโน้ตที่ห่างกันครึ่งเสียงเป็นเท่าไร และทำให้สามารถคำนวณความถี่ของเสียงโน้ตต่าง ๆ ออกมาได้นั่นเอง

สมมติว่า ความถี่ของโน้ต โด (C1) มีค่าเท่ากับ f_{C1} ดังนั้น ความถี่ของโน้ต โดที่สูงขึ้นในคู่แปดถัดไป (C2) จะมีค่าเป็นสองเท่า หรือ $f_{C2} = 2 \cdot f_{C1}$ และถ้าสมมติว่า ความถี่ของโน้ตที่ห่างกันไปครึ่งเสียง มีสัดส่วนความถี่เป็น k กล่าวคือ $f_{C1\#} = k \cdot f_{C1}$ และถ้านับตัวโน้ตที่ห่างกันไประหว่างโดหนึ่ง ไปอีกโดหนึ่งจะมี 12 ตัว นั่นคือ $f_{C2} = k^{12} \cdot f_{C1}$ แต่จากการพิจารณาแบบคู่แปด จะได้ว่า $k^{12} = 2$ สามารถหาค่า *k* ได้ เท่ากับ $\sqrt[12]{2}$ (รากที่ 12 ของ 2 ซึ่งมีค่าประมาณ 1.059)



รูปที่ 24 กราฟแสดงความถี่ต่าง ๆ ของตัวโน้ตในระบบโน้ตสากล

จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Note

มาตรฐานดนตรีสากล จะกำหนดโน้ตมาตรฐาน คือโน้ต ลา (standard A หรือ A4) โดยกำหนดให้มีค่าความถี่ 440 เฮิรตซ์พอดี และเสียงของโน้ตตัวอื่นก็สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ข้างต้น

ในกิจกรรมนี้ เราจะลองมาดูความถี่ของโน้ตต่าง ๆ และลองเทียบกับทฤษฎีระดับเสียงดนตรีข้างต้นกัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง
2. เครื่องดนตรีสากล 1 ชนิด ที่สามารถเล่นได้อย่างน้อย 1 คู่แปด (ในกรณีที่ไม่สามารถหาเครื่องดนตรีได้ สามารถใช้โปรแกรม เล่นเสียงเครื่องดนตรี แทนได้)

กิจกรรม

ในกิจกรรมนี้ เราจะเล่นโน้ตต่าง ๆ จากเครื่องดนตรีในช่วง 1 คู่แปด และวัดความความถี่เสียงโดยใช้โปรแกรมเครื่องมือวัดความถี่เสียงที่ตั้งค่าให้แสดงผลทั้งรูปคลื่นและการจำแนกความถี่ (Wave+Freq) โดยจะบันทึกค่าความถี่มูลฐานของโน้ตและหาสัดส่วนของความถี่ เพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีโน้ตสากลที่กล่าวไปข้างต้น

สำหรับเครื่องดนตรีประเภทคีย์บอร์ด เช่นเปียโน หรือออร์แกน สามารถเลือกช่วงของโน้ตที่ต้องการวัดได้เลย แต่ไม่ควรเลือกเสียงที่ต่ำนัก เพราะอุปกรณ์ตรวจจับเสียงในสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี ไม่สามารถจำแนกเสียงความถี่ต่ำ ๆ ได้ดีนัก แต่สำหรับเครื่องดนตรีแบบดีดคงต้องพิจารณาตำแหน่งที่จะเล่นเป็นกรณีไป เช่น กรณีของกีตาร์ หากดีดสาย 2 โดยไม่กดสายที่ใดเลย ก็จะเป็นโน้ตโด (C) และเมื่อกดที่ช่องแรกก็จะเป็น เร-แฟลต (Db) ดังนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกดที่กลางสายพอดี หรือช่องที่ 12 ก็จะเป็นเสียงโดในคู่แปดถัดไปนั่นเอง

สำหรับการทดลองนั้นให้วัดความถี่มูลฐานของโน้ตที่ห่างกัน 1 คู่แปด เช่น C และ C’ ที่เสียงสูงขึ้นถัดไป จากนั้นก็วัดความถี่มูลฐานของโน้ตแต่ละตัวในคู่แปดนั้น โดยไล่ไปทีละครึ่งเสียง บันทึกค่าความถี่ที่ได้ลงในตาราง และคำนวณค่าสัดส่วนความถี่ของแต่ละตัว

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

จากการวัดความถี่ของเสียงดนตรีที่ตัวโน้ตต่างๆ สามารถทดสอบทฤษฎีโน้ตสากลได้ 2 ประการดังนี้

ประการแรก โน้ตที่ห่างกัน 1 คู่แปด จะมีความถี่เป็น 2 เท่า ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากการวัดโดยตรง ทั้งนี้ นอกจากจะเปรียบเทียบความถี่ของเสียง โด (C) กับคู่แปดของเสียงโด (C) แล้ว ยังสามารถทดสอบด้วยโน้ตเสียงอื่น ๆ ก็จะได้ผลเช่นเดียวกัน

ประการที่ 2 สัดส่วนของความถี่ของโน้ตที่ห่างกันครึ่งเสียง จะมีค่าคงที่ ซึ่งค่าคงที่นั้นมีค่า $\sqrt[12]{2}$ หรือประมาณ 1.059 ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการทำการทดลองแล้วบันทึกผลลงในตาราง

ในการทำการทดลองจริง อาจไม่ได้ผลที่เป็นไปตามทฤษฎีอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้อาจเป็นด้วยเหตุหลายประการ อาจเป็นเพราะเครื่องดนตรีที่ใช้ไม่ได้มีการปรับแต่งอย่างถูกต้อง และอาจเป็นเพราะข้อจำกัดของแอปพลิเคชันในการจำแนกความถี่ดังที่เคยอธิบายไว้ในกิจกรรมเรื่องคุณภาพของเสียงดนตรีแบบต่าง ๆ

ตัวอย่างแบบบันทึกผลกิจกรรม

เครื่องดนตรี .....

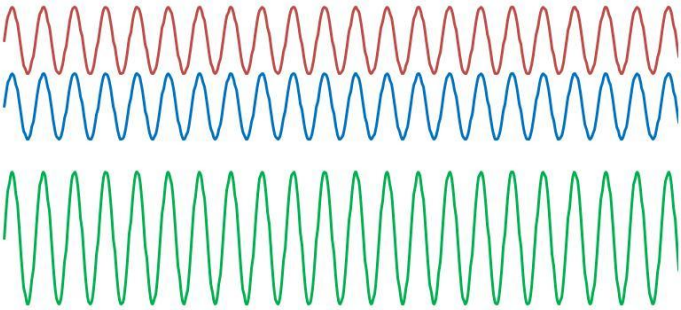
โน้ต	ความถี่ที่อ่านได้ (เฮิรตซ์)	สัดส่วนความถี่กับโน้ตก่อนหน้า	สัดส่วนความถี่กับโดตัวแรก
C			
Db			
D			
Eb			
E			
F			
Gb			
G			
Ab			
A			
Bb			
B			
C’			

กิจกรรมเรื่อง การเกิดบีตของเสียง

เมื่อมีคลื่นเสียงสองขบวนเดินทางมาพบกัน จะเกิดการรวมกันแบบซ้อนทับ ถ้าความถี่ของคลื่นทั้งสองขบวนเท่ากัน ก็จะเกิดคลื่นนิ่ง หรือเกิดการแทรกสอดเป็นริ้วที่ตำแหน่งคงที่ ดังที่เคยศึกษาไปแล้ว แต่ถ้าความถี่ของคลื่นทั้งสองขบวนต่างกันเล็กน้อย ก็จะเกิดปรากฏการณ์ที่เสียงรวมกันแล้วเกิดเป็นเสียงดัง-ค่อย เป็นช่วง ๆ ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เรียกว่า บีต (beat) ซึ่งได้ใช้ปรากฏการณ์นี้ในการเปรียบเทียบเสียงว่ามีความถี่ใกล้กันหรือไม่ ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ กิจกรรมนี้จะทำให้เราได้รู้จักกับปรากฏการณ์การบีตของเสียงมากยิ่งขึ้น

สาระสำคัญ

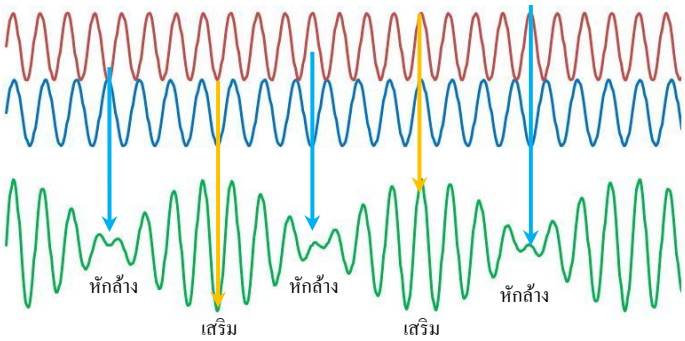
เป็นที่ทราบกันแล้วว่า เมื่อคลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่มาเจอกันจะเกิดการรวมกันแบบซ้อนทับกันของระยะการกระจัดของตัวกลาง บางครั้งอาจทำระยะการกระจัดลัพธ์เป็นศูนย์เนื่องจากเกิดการรวมกันแบบหักล้าง และบางครั้งอาจทำให้ระยะการกระจัดลัพธ์มีค่าสูงเนื่องจากเกิดการรวมกันแบบเสริม ถ้าพิจารณาคลื่นที่มีความถี่เท่ากัน ในกรณีที่มีเฟสตรงกัน ก็จะได้คลื่นลัพธ์ที่มีลักษณะดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 แบบจำลองการรวมกันของคลื่นสองขบวนที่มีความถี่เท่ากัน

อนึ่ง แกนนอนของกราฟในรูปที่ 25 นั้นเป็นเวลาหรือระยะทางก็ได้ ถ้าเป็นเวลาก็จะถือว่าเป็นการคำนวณที่ตำแหน่งคงที่ และหากแกนนอนเป็นระยะทางก็จะเป็นการคำนวณที่เวลาเดียวกัน

แต่ถ้าคลื่นทั้งสองมีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อย ดังรูปที่ 26 สังเกตได้ว่า บางตำแหน่งที่คลื่นมีลักษณะเสริมกัน (สันคลื่นตรงกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นตรงกับท้องคลื่น) บริเวณนั้นคลื่นลัพธ์ก็จะมีการกระจัดสูงสุด ส่วนบริเวณที่มีลักษณะหักล้างกัน (สันคลื่นตรงกับท้องคลื่นของอีกขบวนหนึ่ง) บริเวณนั้นก็จะหักล้างกันทำให้การกระจัดมีค่าเป็นศูนย์ ในส่วนอื่นๆ ก็จะเกิดการรวมกันแบบเสริมหรือหักล้างที่ทำให้การกระจัดมีค่าแตกต่างกันไป



รูปที่ 26 แบบจำลองการรวมกันของคลื่นสองขบวนที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย

สำหรับช่วงห่างของการเกิดการกระจัดมาก-น้อยดังกล่าว จะขึ้นกับผลต่างของความถี่ทั้งสอง โดยที่ หากความถี่ทั้งสองมีความถี่ใกล้กันมาก ช่วงห่างก็จะยืดยาวออก และถ้าความถี่ต่างกันมากขึ้น ช่วงห่างก็จะสั้นลง เรียกการรวมกันของคลื่นเสียงในลักษณะนี้ว่า **บีต (beat)** และเรียกจำนวนครั้งที่ได้ยินเสียงดัง-ค่อย ในหนึ่งวินาทีว่า **ความถี่บีต (beat frequency)** ซึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่ของคลื่นทั้งสองขบวน ($f_{beat} = |f_1 - f_2|$) นั่นเอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่มีแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง จำนวน 2 เครื่อง
2. นาฬิกาจับเวลา

กิจกรรม

ในกิจกรรมนี้ เราจะใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี 2 เครื่อง เป็นแหล่งกำเนิดเสียงความถี่ต่างๆ ผ่านโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ โดยให้ตั้งค่าความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองให้มีความแตกต่างกันเล็กน้อย เพื่อให้คลื่นทั้งสองมารวมกันแล้วสังเกตปรากฏการณ์บีตด้วยการฟัง ทั้งนี้ ในการทำกิจกรรมนี้ ควรใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีสองเครื่องที่เป็นรุ่นเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากความแตกต่างของโครงสร้างสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี ดังที่เคยกล่าวไปแล้วในกิจกรรมเรื่องการแทรกสอดของเสียง

เมื่อตั้งค่าความถี่จากสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีทั้งสองเครื่องให้แตกต่างกันเล็กน้อย เช่น 440 เฮิรตซ์ และ 441 เฮิรตซ์ ปรับความดังให้ใกล้เคียงกัน จะได้ยินเสียงดัง-ค่อยเป็นจังหวะสม่ำเสมอ

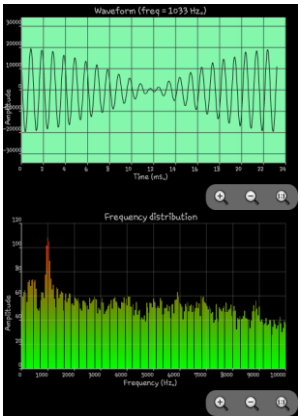
ใช้นาฬิกาจับเวลา (นาฬิกาข้อมือก็ใช้ได้) จับเวลาเพื่อวัดจำนวนครั้งในการเกิดเสียงดัง-ค่อย สลับกันไปมาหลาย ๆ รอบ โดยเริ่มจับเวลาเมื่อเสียงค่อยที่สุดครั้งหนึ่ง แล้วนับเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดเสียงค่อยครั้งถัดไป การนับเช่นถือเป็นการเกิดบีต 1 รอบ โดยให้นับจำนวนรอบมากพอสมควร เช่น 10 รอบหรือมากกว่า เพื่อลดความผิดพลาดในการจับเวลา จากนั้นหาเวลาเฉลี่ยต่อ 1 รอบ ค่าที่ได้นี้เรียกว่า คาบของการบีต (T_{beat}) ส่วนกลับของคาบของการบีตนี้เรียกว่า ความถี่บีต (f_{beat}) ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้นนั่นเอง

ทดลองเปลี่ยนค่าความถี่ของเสียงเป็นค่าอื่น ๆ เช่น ให้ผลต่างของความถี่มากขึ้น หรือเปลี่ยนความถี่ให้สูงขึ้นแต่ผลต่างของความถี่มีค่าเท่าเดิม (เช่น จาก 440/441 เฮิรตซ์ ไปเป็น 1000/1001 เฮิรตซ์ เป็นต้น) แล้วลองหาค่าคาบของการบีตและความถี่บีตดูเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

จากกิจกรรมนี้ พบว่า ความถี่บีตที่หาได้นั้นไม่ได้ขึ้นกับความถี่ของเสียงเลย แต่จะขึ้นกับผลต่างของความถี่เสียงทั้งสองนั้น กล่าวคือ การที่ตั้งค่าความถี่ 440/441 เฮิรตซ์ และ 1,000/1,001 เฮิรตซ์ ก็จะได้ความถี่บีตเป็น 1 เฮิรตซ์ทั้งคู่ ซึ่งสอดคล้องเป็นอย่างดีกับทฤษฎีข้างต้น

โดยทั่วไปแล้ว ถ้าใช้หูในการสังเกต พบว่า สามารถสังเกตปรากฏการณ์บีตนี้ได้อย่างจำกัด กล่าวคือ ในกรณีที่ความถี่ของสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีทั้งสองต่างกันมาก ๆ เช่นต่างกันเกิน 10 เฮิรตซ์แล้ว บางคนอาจไม่สามารถบอกได้ว่าเสียงมีการดัง-ค่อยสลับกัน โดยอาจได้ยินเหมือนเสียงที่เกือบคงที่ ทั้งนี้เป็นข้อจำกัดของประสาทรับฟังเสียงของหูมนุษย์นั่นเองที่ไม่สามารถแยกแยะได้ จึงไม่ใช่ความผิดปกติแต่อย่างใด แต่ถ้าใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีอีกเครื่องหนึ่งเป็นตัววัดเสียง โดยการตั้งให้ทำหน้าที่เครื่องมือวัดความถี่เสียง พบว่า สามารถสังเกตปรากฏการณ์บีตจากเสียงที่มีความถี่ต่างกันไปมาก ๆ ได้ ดังรูป



รูปที่ 27 แสดงการวัดปรากฏการณ์บีตจากความถี่ที่แตกต่างกัน 40 เฮิรตซ์

สำหรับสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีบางเครื่อง อาจไม่ได้ภาพที่ต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 27 ทั้งนี้เป็นเพราะสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีแต่ละเครื่อง แต่ละรุ่น จะมีโครงสร้างของลำโพงที่ใช้ปล่อยเสียงไม่เหมือนกัน ลำโพงบางตัวจะมีการตอบสนองต่อความถี่ (frequency response) ที่ไม่เหมือนกันและส่งผลให้คลื่นเสียงที่ส่งออกมาจากลำโพงไม่เป็นรูปไซน์ที่สมบูรณ์ (ภาพด้านบนได้จากลำโพงภายนอกที่มีขนาดใหญ่กว่าลำโพงภายในสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีมาก) ส่งผลให้เมื่อเกิดปรากฏการณ์บีตแล้วมีความถี่มากมายผสมกัน โดยที่หูอาจสังเกตไม่ได้ในกรณีที่ความถี่แตกต่างกันไม่มาก แต่สามารถวัดได้จากโปรแกรมวัดความถี่เสียงนั่นเอง

จากสมบัติของปรากฏการณ์บีตของเสียงทำให้เราสามารถเปรียบเทียบความถี่ของเสียงสองแหล่งได้โดยง่ายและแม่นยำ (ยิ่งความถี่ใกล้กันยิ่งสังเกตได้ชัดเจน) และทำให้เราสามารถใช้ปรากฏการณ์บีตของเสียงนี้ในการปรับเทียบเสียงจากแหล่งต่าง ๆ ได้ เช่น การตั้งสายเปียโน หรือการตั้งสายกีตาร์ แม้การตั้งเสียงจากเครื่องดนตรีต่างชนิดกันก็สามารถเปรียบเทียบความถี่มูลฐานซึ่งกันและกันได้ง่าย

กิจกรรมเรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง

ในชีวิตประจำวัน คงเคยพบเหตุการณ์ที่ได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ เช่น เสียงแตรจากรถที่เคลื่อนที่ หรือมีการเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากแหล่งกำเนิดเสียง สังเกตได้ว่า ความถี่ของเสียงที่สังเกตได้จะมีค่าแตกต่างกันไปทั้ง 3 กรณี คือ 1. แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาตัวเรา 2. ออกจากตัวเรา และ 3. หยุดนิ่งอยู่กับที่ ปรากฏการณ์ที่ผู้ได้ยินเสียงที่มีความถี่เปลี่ยนไปจากแหล่งกำเนิดเสียงเรียกว่า **ปรากฏการดอปเพลอร์ (Doppler effect)** ซึ่งในกิจกรรมนี้ เราจะได้ทำการทดลองเกี่ยวกับกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียง

สาระสำคัญ

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์คือ ปรากฏการณ์ที่แหล่งกำเนิดเสียงและผู้สังเกตมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน ซึ่งอาจเกิดได้ 3 กรณี คือ 1. ผู้สังเกตอยู่นิ่งแต่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ 2. แหล่งกำเนิดอยู่นิ่งแต่ผู้สังเกตเคลื่อนที่ หรือ 3. มีการเคลื่อนที่ทั้งคู่ก็ได้ ทั้งนี้ อาจสรุปเป็นความสัมพันธ์ง่าย ๆ ได้สมการ

$$f' = \left(\frac{v \pm v_O}{v \mp v_S} \right) f$$

โดยที่ f' เป็นความถี่ที่ผู้สังเกตสังเกตได้

f เป็นความถี่จากแหล่งกำเนิด

v เป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศ

v_O เป็นความเร็วของผู้สังเกต

v_S เป็นความเร็วของแหล่งกำเนิด

เครื่องหมาย $\pm$ (ด้านบน) ในความสัมพันธ์นี้ หมายความว่า หากผู้สังเกตเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดจะใช้เครื่องหมายบวก แต่หากเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดจะใช้เครื่องหมายลบ ในทางกลับกัน เครื่องหมาย $\mp$ (ด้านล่าง) หมายความว่า หากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต ก็จะใช้เครื่องหมายลบ และหากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกตก็จะใช้เครื่องหมายบวก

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เห็นได้ว่า หากผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงเคลื่อนที่เข้าหากัน ผู้สังเกตก็จะได้ยินคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงขึ้น และในทางกลับกัน หากผู้สังเกตและแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากกัน ผู้สังเกตก็จะได้ยินคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำลง

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงจะเกิดขึ้นได้จากการที่แหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากเรา เช่น รถบีบแตรแล้ววิ่งเข้ามาหาเรา เราจะได้ยินว่าเสียงแตรมีความถี่สูงขึ้น และเมื่อรถเคลื่อนที่ผ่านเราไปแล้ววิ่งออกจากเรา ก็จะได้ยินว่าเสียงแตรจะมีความถี่ต่ำลง แต่ปรากฏการณ์นี้อาจสังเกตได้ไม่ง่ายนักในชีวิตประจำวัน เนื่องจากโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวมีน้อย

ในกิจกรรมนี้ เราจะศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของเสียงในกรณีที่แหล่งกำเนิดเสียงมีการเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากผู้สังเกตเท่านั้น เพราะการจัดการให้ผู้สังเกตเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงอย่างรวดเร็วอาจก่อให้เกิดอันตรายกับผู้สังเกตได้ง่าย

อุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรม

1. สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีหรือแท็บเล็ต โดยมีเคสที่แข็งแรงและสามารถยึดสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีได้โดยไม่หลุดง่ายๆ อาจใช้ถุงผ้าที่เหนียวและแข็งแรงแทนก็ได้

2. เชือกที่เหนียว ไม่ลื่นหลุดและไม่ขาดง่าย ยาวประมาณ 1 ถึง 1.5 เมตร หรืออาจใช้ลำโพงขนาดเล็ก ที่มีวงจรขยายเสียง และสายต่อลำโพงที่มีความยาวไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร

กิจกรรม

หลักการของกิจกรรมนี้คือ การให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีเกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับผู้สังเกตในขณะที่ปล่อยเสียงความถี่คงที่ออกมา และให้ผู้สังเกตที่อยู่นิ่งที่อยู่ห่างออกไปสังเกตความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยหู แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติคงไม่สามารถทำให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกล ๆ ได้ จึงเปลี่ยนมาเป็นการแกว่งให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมแทน เนื่องจากในขณะที่สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีเป็นวงกลมนั้น จะมีชั่วขณะหนึ่งที่สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต และอีกชั่วขณะหนึ่งที่เคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต ดังนั้น ผู้สังเกตสามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่เปลี่ยนไปมาอยู่ตลอด ทำให้ได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงและต่ำสลับกันไป เนื่องจากต้องแกว่งให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีเป็นวงกลมโดยใช้เชือกเป็นตัวยึด ดังนั้นต้องหาทางแกว่งสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีให้ปลอดภัยและไม่เลื่อนหลุดในขณะทดลอง

การเตรียมเครื่องมือก่อนทดลอง

ก่อนอื่นต้องพิจารณาสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีที่ใช้ทำการทดลอง ว่าลำโพงที่ปล่อยเสียงอยู่ที่บริเวณใด ถ้ามีเคสที่แข็งแรงก็ต้องพิจารณาว่าเสียงสามารถปล่อยออกมาจากเคสได้โดยไม่ถูกบัง เนื่องจากจะต้องแกว่งให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีด้วยความเร็วสูงพอประมาณ หาตำแหน่งที่จะใช้เชือกผูกที่เคสให้เหมาะสมโดยต้องไม่บังช่องลำโพงของสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี หรือถ้าไม่มั่นใจว่าเคสจะแข็งแรงพอ

หรือไม่ ควรใช้วิธีผูกเชือกล้อมรอบสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีให้แน่นหนาแทน ทั้งนี้ ควรทดลองดึงให้มั่นใจว่าสามารถรับแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นได้โดยไม่หลุดหรือขาดเสียก่อน หากสามารถหาถุงผ้าโปร่ง ๆ ที่มีความแข็งแรงก็สามารถเลือกใช้ได้ แต่ควรพิจารณาถุงที่โปร่ง ไม่เก็บเสียง มีความเหนียวและแข็งแรงพอสมควร

สำหรับกรณีที่ไม่อยากเสี่ยงกับความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นกับสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี ทางเลือกที่เหมาะสมกว่าคือใช้ลำโพงขนาดเล็กภายนอก และใช้สายต่อแทน สำหรับการใช้ลำโพงภายนอกนั้น ยังจำเป็นต้องใช้เชือกผูกเพื่อใช้ในการแกว่งอยู่ดี ซึ่งการทำการทดลองนี้ห้ามใช้สายสัญญาณของลำโพงเป็นตัวรับแรงเป็นอันขาด เนื่องจากสายลำโพงดังกล่าวมักไม่ค่อยแข็งแรงและมีการต่อกับตัวลำโพงไม่แน่นหนาที่เพียงพอต่อการแกว่ง และเพื่อกันไม่ให้สายสัญญาณของลำโพงต้องรับแรงหนีศูนย์กลางจากการหมุน จึงควรผูกเชือกกับสายสัญญาณเป็นระยะ ๆ โดยให้สายสัญญาณหย่อนเล็กน้อยตลอดทั้งเส้น ดังนั้นเมื่อมีแรงหนีศูนย์กลางเกิดขึ้น ก็จะเกิดบนเชือกจนตึงก่อนที่จะส่งไปให้สายสัญญาณของลำโพง

การตั้งค่าแอปพลิเคชัน

ในกิจกรรมนี้ เราจะใช้โปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่เป็นโปรแกรมในการควบคุมการผลิตเสียงของสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซี โดยตั้งค่าความถี่ที่ได้ยินได้ชัดเจนที่สุดที่ประมาณ 1,000 เฮิรตซ์ เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่หูของมนุษย์มีความไวมากที่สุด จากนั้นตั้งระดับความดังให้ดังที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยระวังอย่าให้เสียงแตก

การทดลอง

ในตอนเริ่มต้น เราจะให้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีหรือลำโพงอยู่นิ่ง และสร้างเสียงโดยโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ แล้วลองฟังความถี่ที่ได้ยิน จากนั้น ค่อย ๆ

แกว่งสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีให้หมุนเป็นวงกลมโดยจับเชือกไว้ให้มั่นคง โดยหมุนให้ได้อัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่ง ลองสังเกตเสียงที่ได้ยินว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ลองให้ผู้สังเกตเปลี่ยนตำแหน่งไปทิศทางอื่น และเปรียบเทียบเสียงที่ได้ยิน

เมื่อรู้สึกว่าคุ้นเคยกับเสียงที่ได้ยินแล้ว ให้ลองหมุนด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้น และลองสังเกตว่าเสียงที่ได้ยินมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร คงไม่สามารถวัดความถี่ขณะใดขณะหนึ่งได้อย่างแม่นยำ แม้ว่าจะมีสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตพีซีอีกเครื่องและใช้เป็นเครื่องวัดเสียง เราก็สามารถดูรูปคลื่นที่เกิดได้แบบคร่าว ๆ เท่านั้น

เกร็ดความรู้ในการทำกิจกรรม

เมื่อทดลองฟังเสียงที่เกิดขึ้นแล้ว อาจเปรียบเทียบได้กับการได้ยินเสียงไซเรน กล่าวคือเป็นเสียงที่มีความถี่ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา สูงและต่ำสลับกัน ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนตำแหน่งของผู้สังเกตไปอยู่ในทิศทางต่าง ๆ ก็ยังได้ยินเสียงในลักษณะเดียวกัน ทั้งนี้เพราะการเคลื่อนที่เป็นวงกลมนั้นมีลักษณะสมมาตร จึงมีช่วงเวลาหนึ่งที่แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกตโดยตรง ในช่วงเวลานั้นผู้สังเกตก็จะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงที่สุด และอีกช่วงเวลาหนึ่งที่แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกตโดยตรง ในช่วงเวลานั้นผู้สังเกตก็จะได้ยินเสียงที่มีความถี่ต่ำที่สุด และเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงเป็นวงกลมจึงมีการเคลื่อนที่ซ้ำรอบเดิม และเกิดเป็นวัฏจักรของเสียงสูงต่ำไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นเสียงที่เหมือนไซเรน (ซึ่งอันที่จริงแล้วเสียงไซเรนก็เกิดจากการหมุนลำโพงหรือแหล่งกำเนิดเสียงไปรอบ ๆ เช่นกัน)

นอกจากนั้น พบว่า ไม่ว่าจะใช้เสียงความถี่เท่าใด ยังคงสามารถสังเกตปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ได้ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะสิ่งที่สังเกตเป็นการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่มีอัตราส่วนเดียวกัน ไม่ว่าความถี่ตั้งต้นจะเป็นเท่าไร เปรียบเสมือนการเล่นเสียงโน้ตสองตัวที่คนละคู่แปดนั่นเอง

เมื่อหมุนแหล่งกำเนิดเสียงด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้น สังเกตได้ว่า ความถี่ของเสียงจะเปลี่ยนไปมากขึ้น ทั้งในส่วนที่มีความถี่สูงขึ้นและส่วนที่มีความถี่ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎีเป็นอย่างดี

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เกิดขึ้นได้กับคลื่นทุกชนิด แม้กระทั่งแสง ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า blue-shift หรือ red-shift อันเป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นแสงมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปเมื่อแหล่งกำเนิดและผู้สังเกตมีความเร็วสัมพัทธ์กัน สำหรับการประยุกต์ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ใช้ในปัจจุบันก็มีมากมาย เช่น การวัดความเร็วของอากาศยานหรือยานพาหนะโดยการสะท้อนคลื่นวิทยุ ที่เรียกว่าเรดาร์ตรวจจับความเร็ว ซึ่งเมื่อนำไปใช้ร่วมกับปรากฏการณ์บีตของคลื่นวิทยุ ก็จะสามารถหาค่าความเร็วได้อย่างแม่นยำ

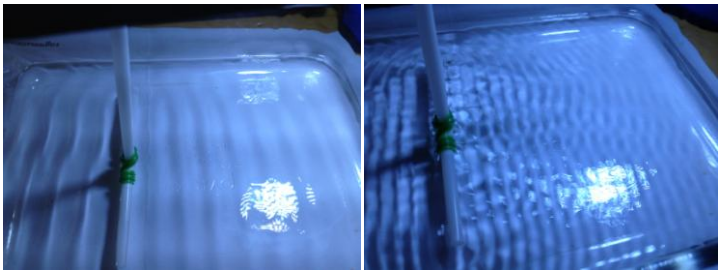
ส่งท้าย

กิจกรรมการทดลองทั้งหลายที่กล่าวถึงในคู่มือฉบับนี้ เป็นกิจกรรมที่ช่วยเสริมการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ในเรื่อง เสียง ผ่านการใช้แอพพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง (Sound Experiment) ที่ออกแบบโดยสาขาฟิสิกส์ สสวท. เพื่อเป็นการทำให้การทดลองต่าง ๆ สามารถกระทำได้ง่ายมากยิ่งขึ้นและสะดวกมากยิ่งขึ้น อันจะเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนมีความต้องการที่จะลงมือการทำการทดลองเพื่อหาคำตอบที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้มากยิ่งขึ้น สำหรับครูและอาจารย์ก็สามารถนำแอปพลิเคชันนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับนักเรียนได้เช่นกัน ไม่ว่าจะใช้ประกอบการสาธิตหรือการจัดปฏิบัติการทดลอง ซึ่งแอปพลิเคชันเรื่องเสียงนี้สามารถนำไปใช้ทดแทนเครื่องมือราคาแพงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อผู้เรียนได้สัมผัสและเรียนรู้ในการทำการทดลองผ่านประสบการณ์ตรง เขาจะสามารถเชื่อมโยงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติกับทฤษฎีที่นักเรียนได้เรียนในห้องเรียนได้โดยง่าย ก่อร่างเป็นองค์ความรู้ในวิชาฟิสิกส์ที่ถูกต้อง และจะติดตัวเขาไปในอนาคตโดยยากแก่การลืมเลือน

แอพพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียงนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ในกิจกรรมอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เรื่องเสียงโดยตรงได้อีก เช่น การดัดแปลงลำโพงภายนอกเพื่อสร้างคลื่นน้ำเพื่อสังเกตปรากฏการณ์ของคลื่นต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำหลอดดูดน้ำพลาสติกมาติดกาวแล้วยึดเข้ากับลำโพงภายนอก แล้วนำไปจุ่มลงในน้ำเพื่อสร้างคลื่นน้ำที่เกิดจากการสั่นของลำโพง ซึ่งสามารถควบคุมความถี่ของคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นได้ผ่านทางการปรับโปรแกรมเล่นเสียงตามความถี่ ดังรูปที่ 28

รูปที่ 28 การดัดแปลงติดหลอดพลาสติกเข้ากับลำโพงเพื่อสร้างคลื่นน้ำ

ในกรณีนี้ ผู้ทำการทดลองอาจใช้ถาดคลื่นที่เป็นถาดสีขาวที่มีน้ำอยู่ระดับหนึ่งที่เพียงพอในการสังเกตปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของคลื่น ไม่ว่าจะเป็นการสังเกตสันคลื่นและท้องคลื่น การวัดความยาวคลื่น การหาอัตราเร็วคลื่น และยังอาจสร้างคลื่นที่เป็นแนวขนานได้โดยการใช้หลอดพลาสติกติดเป็นรูปตัว T เป็นตัวสั่นน้ำแทนก็ได้ ดังรูป



รูปที่ 29 คลื่นที่ได้จากหลอดรูปตัว T ที่ความถี่ 30 Hz (ซ้าย) และ 45 Hz (ขวา)

จากถาดคลื่นแบบง่าย ๆ นี้ อาจนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์ของคลื่นน้ำแบบต่าง ๆ ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด ซึ่งสามารถใช้ในการสาธิตหน้าชั้นเรียนได้เป็นอย่างดี การนำแอพลิเคชันไปประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สะดวก ง่าย และใช้งบประมาณไม่มากในการจัดการเรียนรู้ เพียงแต่ต้องเพิ่มความคิดสร้างสรรค์ของคุณครูและนักเรียนลงไปเพื่อให้แนวทางการจัดกิจกรรมทดลองมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ขอให้ทุกท่านที่มีโอกาสใช้แอพพลิเคชันนี้ ได้เรียนรู้เรื่องเสียงอย่างสนุก สร้างองค์ความรู้ที่มีความครบถ้วน ถูกต้อง สมบูรณ์ และนำแอพพลิเคชันนี้ไปทดลองดัดแปลง ค้นคว้าหาเทคนิควิธีการใช้งานใหม่ ๆ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์เพื่อส่งเสริมให้มีผู้เรียนมีความสามารถในการคิด วิเคราะห์และแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ อีกทั้งยังมีความสนุกและรักที่จะเรียนรู้วิชาฟิสิกส์สืบต่อไป

คณะทำงาน

พัฒนาแอปพลิเคชันการทดลองเรื่องเสียง

1. นายราม ติวารี สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. นายกวิน เชื่อมกลาง สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. นางสาวณัฐธิดา พรหมยอด สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. นายพงษ์ ทรงพงษ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย