

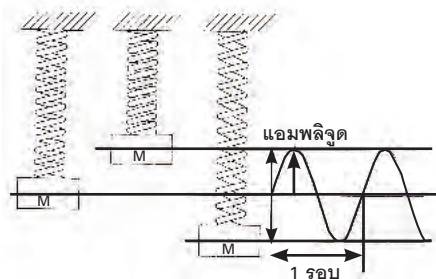
ยางกันสะเทือน (anti-vibration mounts)

อุษณีย์ กันทอง

การสั่นสะเทือนและเชือก

การสั่นสะเทือนเป็นการเคลื่อนที่ของพลังงานผ่านตัวกลางเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางอวัยวะรับรู้ความรู้สึก ถ้าพลังงานที่มนุษย์ได้รับอยู่ในรูปแบบและปริมาณที่เหมาะสมก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ แต่ถ้าได้รับมากเกินไปนอกจากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพแล้วยังก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ด้วย ตัวอย่างเช่น คนที่ได้รับผลกระทบจากความสั่นสะเทือนความถี่ต่ำระหว่าง 0.1-1 เฮิร์ตซ์ตามแนวดิ่ง เช่น ความสั่นสะเทือนจากคลื่นในทะเลหรือในรถที่วิ่งอยู่บนถนนขรุขระก็อาจมีอาการอ่อนเพลีย มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน และเบื่ออาหาร หรือคนขับรถบรรทุกที่ได้รับผลกระทบระหว่าง 3-10 เฮิร์ตซ์ ก็อาจมีอาการมึนงงเนื่องจากปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงสมองลดลง หรือคนที่ได้รับความสั่นสะเทือนในช่วงความถี่สูงตั้งแต่ 10 เฮิร์ตซ์ขึ้นไปเป็นระยะเวลานานก็อาจมีความเสี่ยงต่อความพิการของกระดูกสันหลังเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนดังกล่าวจะทำให้กล้ามเนื้อมีความเครียดและเกร็งตัวมากขึ้น

สำหรับในเชิงเทคนิคแล้ว การสั่นสะเทือน คือ การแกว่ง (oscillate) ไป-มาของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง แรง หรือความเร่งผ่านจุดอ้างอิง ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงสุดจากจุดอ้างอิงเรียกว่า “แอมพลิจูด” ของการสั่น ส่วนจำนวนรอบของการแกว่งไป-มาต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า “ความถี่” ตัวอย่างของการสั่นสะเทือนเชิงกลที่เห็นเด่นชัด คือ การทำให้สปริงที่ผูกติดกับวัตถุที่มีมวล M (ดังแสดงในรูปที่ 1) เคลื่อนที่อย่างอิสระ โดยออกแรงกดเล็กน้อยแล้วปล่อย สปริงก็จะเคลื่อนที่ขึ้นลง เมื่อนำการเคลื่อนที่ของสปริงมาพล็อตเป็นกราฟตามเวลาก็จะได้กราฟที่มีลักษณะคล้ายคลื่น



รูปที่ 1 การสั่นสะเทือนเชิงกลที่เกิดจากสปริง

นอกจากการสั่นสะเทือนของสปริงที่มักจะเกิดขึ้นที่มีความถี่สูงๆ แล้ว ยังมีการเคลื่อนที่อีกประเภทหนึ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความเร่งเรียกว่า “ช็อก (shock)” ซึ่งช็อกมักเกิดจากการกระตุ้นของพลังงานเพียงแค่ครั้งเดียวในช่วงระยะเวลาอันสั้นและมักจะมี ความเร่งที่สูง ตัวอย่างของการเกิดช็อก เช่น การตกของกล่องลงสู่พื้น หรือการใช้ค้อนตีวัตถุ รวมถึงการขับรถตกหลุม เป็นต้น โดยทั่วไป ขนาดของช็อกมักแสดงในรูปของค่า g ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที² (m/s²)

การแยกแรงสั่นสะเทือน (vibration isolation)

การสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์หรือมอเตอร์สามารถบรรเทาได้โดยใช้วิธีการแยกตัว (isolation) กล่าวคือ จะแยกตัวรับการสั่นสะเทือน (vibration receiver) ออกจากแหล่งของการสั่นสะเทือน (vibration source) โดยมีตัวแยกการสั่นสะเทือน (vibration isolator) เป็นตัวเชื่อมระหว่างตัวรับและแหล่งของการสั่นสะเทือน ตัวอย่างที่ชัดเจนของการลดแรงสั่นสะเทือนที่เราพบเห็นได้ทั่วไป คือ การแยกเครื่องยนต์ออกจากตัวถังรถ โดยใช้ยางรองแท่นเครื่องติดตั้งไว้คั่นกลางเพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการขับเครื่องยนต์ ในกรณีนี้เครื่องยนต์ถือเป็นแหล่งของการสั่นสะเทือน ตัวถังรถถือเป็นตัวรับการสั่นสะเทือน และยางรองแท่นเครื่องจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกการสั่นสะเทือน

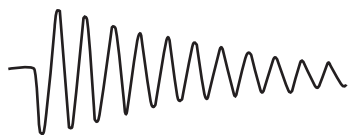
เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน เครื่องยนต์จะสั่นด้วยความถี่ที่ค่อนข้างสูง ทั้งนี้ระดับความถี่ของการสั่นขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องยนต์ หากติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับตัวถังรถโดยตรง แรงที่เกิดจากการสั่นก็จะถูกส่งเข้าหาตัวถังรถได้โดยตรง ส่งผลทำให้ผู้ขับขี่หรือผู้โดยสารรับรู้ถึงการสั่นสะเทือนได้อย่างชัดเจน การแยกตัวถังรถออกจากเครื่องยนต์โดยการนำยางรองแท่นเครื่องไปใช้เป็นตัวคั่นกลางจะช่วยลดระดับของการสั่นสะเทือนที่จะเข้ามาสู่ตัวถังรถได้ค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะยางจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ช่วยซึมซับแรงสั่นสะเทือนออกไป การลดแรงสั่นสะเทือนของยางเกิดได้เนื่องจากยางมีสมบัติวิสโคอีลาสติก คือ ประกอบไปด้วยส่วนที่ยืดหยุ่น (หรืออีลาสติก) และส่วนที่เป็นของเหลวหนืด ทั้งนี้ส่วนที่ยืดหยุ่นได้ของยาง (แสดงได้โดยใช้สปริง) จะเป็นองค์ประกอบที่ช่วยแยกการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ออกจากตัวถังรถ ส่วนองค์ประกอบส่วนที่เป็นของเหลวหนืดจะช่วยดูดซับพลังงานการสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกหรือการกระแทกซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

หากพิจารณาให้ส่วนที่ยึดหยุ่นได้ของยางเปรียบเสมือนสปริงในรูปที่ 1 และมีมวล M ผูกติดอยู่ เมื่อดึงหรือกดมวล M ลงไปเล็กน้อยแล้วปล่อยให้สปริงเกิดการเคลื่อนที่อย่างอิสระ สปริงก็จะสั่นขึ้นลงด้วยค่าความถี่ที่ค่าหนึ่ง เรียกค่าความถี่นี้ว่า ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency; f_n) ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติของยางจะขึ้นอยู่กับระดับของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสถิต (static deflection) หรือระดับของการดึงหรือกดมวล M ลงไปในครั้งแรกนั่นเอง โดยทั่วไปแล้วค่าความถี่ธรรมชาติของยางสามารถคำนวณแบบคร่าวๆ ได้โดยใช้สมการ

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{----- (1)}$$

โดยที่ k คือ ค่าความแข็งแรง (stiffness) ของยาง (นิวตันต่อเมตร; N/m)
M คือ มวลของระบบ (กิโลกรัม; kg)

จากสมการจะเห็นได้ว่า ความถี่ธรรมชาติแปรผันโดยตรงกับระดับความแข็งแรงของยางและแปรผกผันกับมวลของระบบ นั่นคือ หากยางมีค่าความแข็งแรงต่ำ (ซึ่งอาจเกิดจากการออกสูตรให้ยางมีค่าโมดูลัสต่ำหรือเกิดจากการออกแบบรูปร่างผลิตภัณฑ์ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงๆ เมื่อต้องรับน้ำหนักของเครื่องยนต์) ความถี่ในการแกว่งตามธรรมชาติของยางก็จะมีค่าต่ำตามไปด้วย ทั้งนี้หากปราศจากแรงเสียดทานใดๆ สปริงก็จะเคลื่อนที่ด้วยความถี่และแอมพลิจูดที่คงที่ตลอดไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากยางไม่ได้มีสมบัติยึดหยุ่นโดยสมบูรณ์เหมือนเช่นสปริง แต่ยางมีสมบัติวิสโคอีลาสติก คือ มีส่วนที่มีสมบัติเหมือนของเหลวหนืดปนอยู่ด้วย ซึ่งสมบัติประการหลังจะส่งผลทำให้ยางเคลื่อนที่ด้วยความถี่ที่คงที่เท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติแต่ระดับการเคลื่อนที่หรือแอมพลิจูดของยางจะลดลงไปเรื่อยๆ ตามเวลาที่ผ่านไปดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การลดลงของแอมพลิจูดตามเวลาที่เกิดเนื่องจากสมบัติส่วนที่เป็นของเหลวหนืด [1]

หากนำระบบในรูปที่ 1 ไปเปรียบเทียบกับระบบกันสะเทือนในรถยนต์ ตัวเครื่องยนต์ก็เปรียบเสมือนมวลที่ติดอยู่กับสปริง ยางรองแท่นเครื่องก็เปรียบเสมือนตัวสปริง ในขณะที่ตัวถังรถก็เปรียบเสมือนเพดานที่ยึดติดอยู่กับสปริง อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ตัวเครื่องยนต์เกิดการสั่นตลอดเวลาด้วยความถี่ที่แปรผันไปตาม

ความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องยนต์ การสั่นของเครื่องยนต์จะส่งผลทำให้ยางรองแท่นเครื่องสั่นด้วยเช่นกัน แต่ว่ายางก็ยังคงสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความถี่ธรรมชาติของยางจะขึ้นอยู่กับระดับของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง (โดยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและน้ำหนักของเครื่องยนต์ที่ยางรองแท่นเครื่องต้องรองรับ) แต่ไม่ขึ้นอยู่กับระดับความถี่การสั่นของเครื่องยนต์ ด้วยเหตุนี้ความถี่ธรรมชาติของยางจึงไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ ซึ่งความแตกต่างกันของความถี่ในการสั่นของยางและเครื่องยนต์จะส่งผลต่อค่าแรงสั่นสะเทือนที่จะถูกส่งผ่านไปยังตัวถังรถ โดยทั่วไปประสิทธิภาพการทำงานของยางรองแท่นเครื่องจะวัดในรูปของค่าการส่งผ่านการสั่นสะเทือน (transmissibility; T) ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงที่ถูกส่งผ่านไปยังตัวรับต่อแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งสั่นสะเทือนนั่นเอง โดยค่าการส่งผ่านพลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T^2 = \frac{1 + [\tan \delta(f)]^2}{[1 - (f/f_n)^2 G'(f_n)/G'(f)]^2 + [\tan \delta(f)]^2} \quad \text{----- (2)}$$

โดยที่ f_n คือ ความถี่ธรรมชาติของยาง (เฮิรตซ์, Hz)
 f คือ ความถี่การสั่นของเครื่องยนต์หรือของระบบ (เฮิรตซ์, Hz)
 $G'(f_n)$ คือ ค่าโมดูลัสเฉือนของยางที่ความถี่ธรรมชาติ (เมกะพาสคัล, MPa)
 $G'(f)$ คือ ค่าโมดูลัสเฉือนของยางที่ความถี่ f (เมกะพาสคัล, MPa)
 $\tan \delta(f)$ คือ ค่าแทนเดลต้าของยางที่ความถี่ f

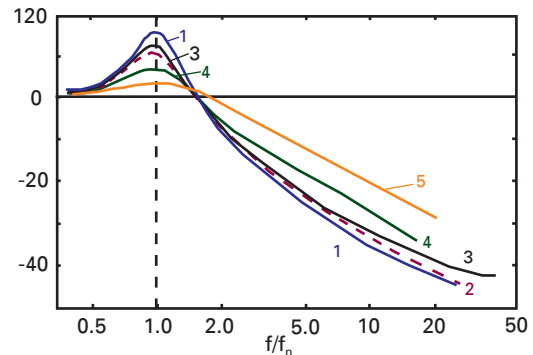
ถ้าหากว่าค่าความถี่ในการสั่นของเครื่องยนต์ (f) มีค่าสูงกว่าความถี่ธรรมชาติของยาง (f_n) ค่อนข้างมาก ($f/f_n \gg 1$) สมการที่ 2 ก็จะถูกลดรูปเป็น

$$T = (f/f_n)^2 [G'(f)/G'(f_n)] [1 + (\tan \delta(f))^2]^{-1/2} \quad \text{----- (3)}$$

จากสมการที่ 3 จะเห็นว่าถ้ายางมีค่าโมดูลัสเฉือนและค่าแทนเดลต้าที่ความถี่ f คงที่ การส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนของยางจากเครื่องยนต์เข้าสู่ตัวถังรถจะลดลงอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความถี่ของการสั่นสะเทือน ด้วยเหตุนี้ยางรองแท่นเครื่องจึงมักถูกออกแบบมาให้มีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำกว่าความถี่ของการสั่นของเครื่องยนต์ค่อนข้างมากเพื่อให้อัตราส่วนของความถี่ (f/f_n) มีค่าสูงๆ และยางที่ใช้ในการผลิตยางรองแท่นเครื่องก็ควรมีค่าโมดูลัสเฉือนและค่าแทนเดลต้าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในช่วงกว้าง

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนของยางและอัตราส่วนของความถี่ของยางที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมที่มีค่าแทนเดลต่ำต่างๆ จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อความถี่ของการสั่นของเครื่องยนต์มีค่าต่ำกว่าความถี่ธรรมชาติของยาง ($f/f_n < 1$) ค่าการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนมีค่าเป็นบวก นั่นหมายถึง แรงสั่นสะเทือนที่ยางส่งผ่านไปยังตัวถังรถจะมีค่าสูงกว่าแรงที่เกิดจากการสั่นของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนในช่วงความถี่นี้มีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความถี่การสั่นของเครื่องยนต์และจะมีค่าสูงสุดเมื่อความถี่ในการสั่นของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติของยาง ($f/f_n = 1$) เราเรียกความถี่ ณ จุดนี้ว่า “ความถี่เรโซแนนซ์ (resonance frequency)” เพราะเมื่อความถี่การสั่นของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติของยาง พลังงานในการสั่นสะเทือนของทั้งยางและเครื่องยนต์จะเสริมกันได้เต็มที่ส่งผลทำให้การส่งผ่านแรงหรือพลังงานมีค่าสูงสุด เมื่อความถี่ของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่าค่าความถี่ธรรมชาติของยาง ($f/f_n > 1$) ค่าการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนก็จะเริ่มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความถี่เครื่องยนต์จนมีค่าเท่ากับศูนย์ที่อัตราส่วนความถี่เท่ากับ $\sqrt{2}$ ณ จุดนี้แรงที่ถูกส่งผ่านไปยังตัวถังรถจะมีค่าเท่ากับแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ เมื่ออัตราส่วนความถี่มีค่ามากกว่า $\sqrt{2}$ ค่าการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนก็จะลดลงอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มของอัตราส่วนความถี่ (หรือตามการเพิ่มความถี่ของเครื่องยนต์) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนระหว่างยางแต่ละชนิด จะพบว่าในช่วงที่อัตราส่วนความถี่มีค่าต่ำกว่า $\sqrt{2}$ ยางชนิดที่มีค่าแทนเดลต่ำสูงจะทำให้แรงที่ถูกส่งผ่านไปยังตัวถังรถมีค่าต่ำกว่ายางชนิดที่มีค่าแทนเดลต่ำต่ำ แต่ว่าที่อัตราส่วนความถี่ที่สูงกว่า $\sqrt{2}$ กลับพบผลในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ยางที่มีค่าแทนเดลต่ำต่ำจะให้แรงที่ถูกส่งผ่านไปยังตัวถังรถมีค่าต่ำกว่ายางชนิดที่มีค่าแทนเดลต่ำสูงด้วยเหตุนี้ในการออกสูตรยางสำหรับผลิตรถยนต์ยางรถแข่ง ผู้ออกสูตรจึงจำเป็นต้องออกสูตรให้ยางนิ่ม (มีค่าความแข็งแรงต่ำ) เพื่อให้ได้ยางที่มีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำ เมื่อนำไปติดตั้งกับเครื่องยนต์ก็จะทำให้อัตราส่วนความถี่มีค่าสูง ยางรถแข่งยางนี้จะช่วยลดแรงสั่นสะเทือนที่จะส่งไปยังตัวถังรถได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นเอง อย่างไรก็ตามหากยางรถแข่งยางนี้มากเกินไปก็จะส่งผลทำให้ยางเกิดการเสียรูปมากเกินไปหากต้องรองรับน้ำหนักของตัวเครื่องยนต์และอาจเกิดการเสียรูปอันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการเลี้ยวหรือเกิดการโยกตัวมากเกินไปขณะเร่งหรือเหยียบเบรก ดังนั้นยางรถแข่งยางจึงไม่ควรแข็งหรือนิ่มมากเกินไป นอกจากนี้การออกสูตรให้ยางมีค่าแทนเดลต่ำต่ำที่ความถี่สูงๆ ก็จะช่วยทำให้การส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนลดลงด้วยแม้ว่าที่อัตราส่วนของความถี่สูงๆ นี้ ผลกระทบของค่าแทนเดลต่ำจะไม่สูงมากนักก็ตาม นอกจากนี้ยางแท่นเครื่องก็ควรจะมีค่าแทนเดลต่ำ ณ ความถี่เรโซแนนซ์ที่สูงเพื่อหลีกเลี่ยงการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนที่สูงมากเกินไปขณะที่เครื่องยนต์มีความถี่ของการสั่นสะเทือนเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติของยาง

การส่งผ่านแรงสั่นสะเทือน (dB)*

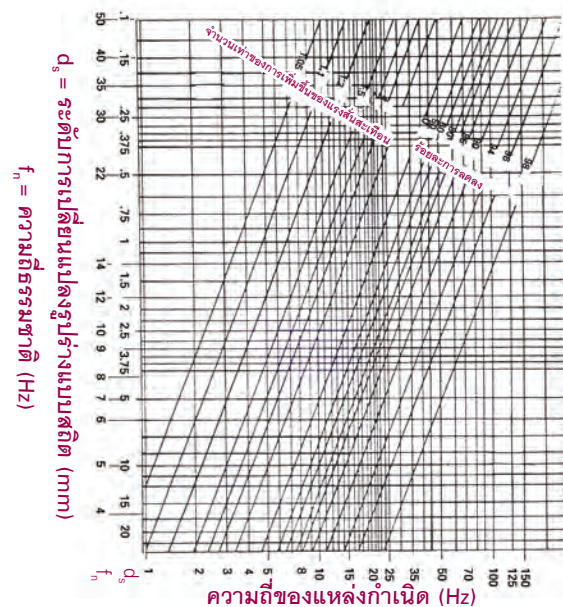


*dB = 10 log₁₀ (P₂/P₁) เมื่อ P₁ คือ พลังงานหรือแรงสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์

P₂ คือ พลังงานหรือแรงสั่นสะเทือนที่ถูกส่งผ่านไปยังตัวถัง

รูปที่ 3 การส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนที่อัตราส่วนความถี่ต่างๆ (1) ยางธรรมชาติ (ค่าแทนเดลต่ำต่ำสุด) (2) ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (3) ยางนีโอพรีน (4) ยางบิวโกล์ และ (5) ยางไนไทรล์ (ค่าแทนเดลต่ำสูงสุด) [2]

เนื่องจากความถี่ธรรมชาติของยางขึ้นอยู่กับขนาดของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงภายนอกที่เข้ามากระทำ ดังนั้นเมื่อทราบน้ำหนักของเครื่องยนต์และจำนวนของยางแท่นเครื่องที่ต้องใช้ ผู้ออกสูตรยางก็สามารถพัฒนาการรองรับแรงสั่นสะเทือนให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้เป็นไปตามที่ต้องการ (โดยการปรับค่าความแข็งแรงหรือปรับรูปทรงของยางรถแข่งแท่นเครื่อง) เพื่อให้ได้ค่าความถี่ธรรมชาติของยางเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ รูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงข้อมูลที่ได้ออกมาจากการทดลองที่ผู้ออกแบบสามารถนำไปใช้ในการเลือกยางรถแข่งให้เหมาะกับการใช้งาน

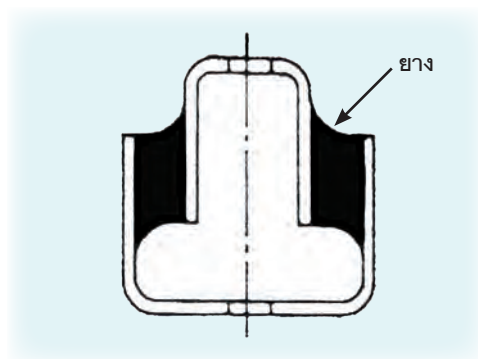


รูปที่ 4 กราฟแสดงข้อมูลที่ประกอบใช้ในการเลือกยางรถแข่งแท่นเครื่อง [3]

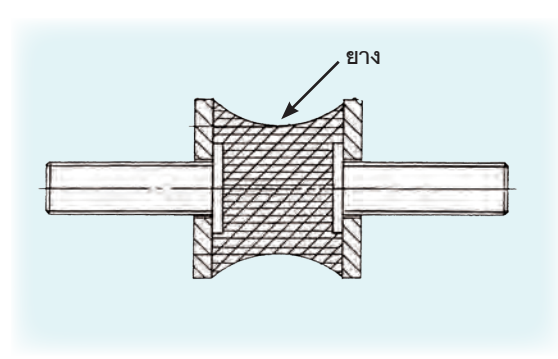
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ายางที่มีระดับของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงจะมีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำ และในทางกลับกันยางที่มีระดับของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่ำก็จะมีค่าความถี่ธรรมชาติสูง การใช้ยางที่มีความถี่ธรรมชาติต่ำจะช่วยแยกหรือดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องยนต์ซึ่งสั่นที่มีความถี่สูงๆ ได้ดี แต่ถ้าเครื่องยนต์สั่นสะเทือนที่มีความถี่ต่ำมากจนมีค่าใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของยาง นอกจากยางรองแท่นเครื่องจะไม่สามารถดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นได้แล้ว ยังอาจส่งผลทำให้ตัวถังรถได้รับแรงสั่นสะเทือนที่สูงขึ้นอีกด้วย ตารางที่ 1, 2 และ 3 แสดงตัวอย่างสูตรผสมเคมียางและสมบัติเชิงกลของยางรองแท่นเครื่องรูปตัวยู (U-type) รูปตัวโอ (O-type) และรูปถ้วย (cup-type) ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สูตรผสมเคมียางและสมบัติเชิงกลของยางรองแท่นเครื่องรูปตัวยู [3]

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ	100
ซิงก์ออกไซด์	5
กรดสเตียริก	1.5
ฟีนิล-เบตา-แนฟทิล เอมีน (PBNA)	0.8
ไอโซพรีนิลฟีนิล-พารา-ฟีนิลไดเอมีน (IPPD)	0.8
เซมาดำ (FEF)	20.0
น้ำมัน	5.0
ไซโคลเฮกซิล-2-เบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (CBS)	1.5
กำมะถัน	1.5
สมบัติเชิงกล	
ความแข็ง (Shore A)	50
300%โมดูลัส (MPa)	11.61
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	20.77
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	600



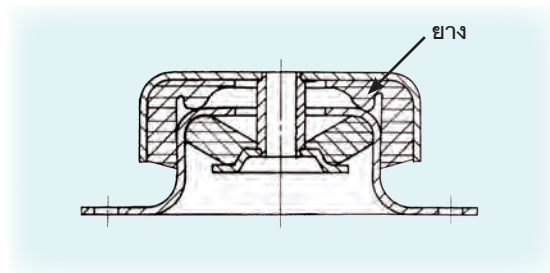
รูปที่ 5 ยางกันสะเทือนรูปตัวยู



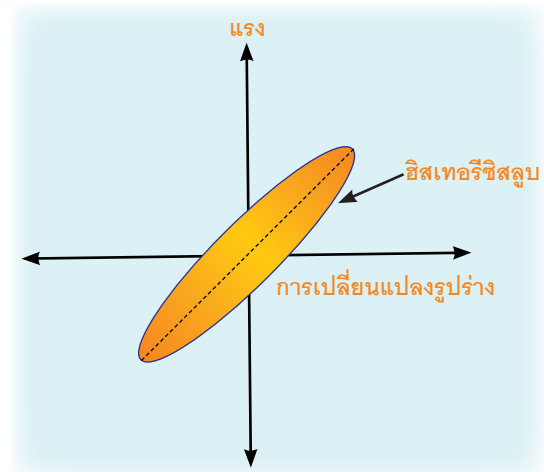
รูปที่ 6 ยางกันสะเทือนรูปตัวโอ

ตารางที่ 2 สูตรผสมเคมียางและสมบัติเชิงกลของยางรองแท่นเครื่องรูปตัวโอ [3]

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณ (phr)	
	ยางธรรมชาติ	ยางผสม
ยางธรรมชาติ	100	25
ยางโบรโมบิวไทล์	-	75
ซิงก์ออกไซด์	5	5.0
กรดสเตียริก	1.5	1.5
ฟีนิล-เบตา-แนพทิล เอมีน (PBNA)	1.0	1.0
ไอโซโพรพิลฟีนิล-พารา-ฟีนิลลีนไดเอมีน (IPPD)	1.0	1.0
เซม่าดำ (FEF)	5.0	5.0
ไพน์ทาร์ (pine tar)	10.0	10.0
แฟกทิสซีขาว	10.0	10.0
ไซโคลเฮกซิล-2-เบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (CBS)	1.5	1.5
กำมะถัน	1.5	1.5
เทตระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD)	0.2	0.2
สมบัติเชิงกล		
ความแข็ง (Shore A)	40-41	40
300%โมดูลัส (MPa)	4.92	5.0
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	14.43	12.74
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	650	670



รูปที่ 7 ยางกันสะเทือนรูปถ้วย



รูปที่ 8 ตัวอย่างออสเทอริซิสม์ของยาง

ตารางที่ 3 สูตรผสมเคมียางและสมบัติเชิงกลของยางรองแท่นเครื่องอุปถัมภ์ [3]

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณ (phr)	
	ยางธรรมชาติ	ยางผสม
ยางธรรมชาติ	100	25
ยางโบรโมบิวไทล์	-	75
รีนาซิโต-7 (Renacit-7)	0.2	-
ซิงก์ออกไซด์	5	5.0
กรดสเตียริก	1.5	1.5
ฟีนิล-เบตา-แนฟทิล เอมีน (PBNA)	1.0	1.0
ไอโซพรีนิลฟีนิล-พารา-ฟีนิลไดเอมีน (IPPD)	1.0	1.0
เขม่าดำ (FEF)	5.0	5.0
ไพน์ทาร์ (pine tar)	10.0	10.0
แฟกทิลสีขาว	20.0	20.0
ไซโคลเฮกซิล-2-เบนโซไทอะโซลซัลฟิโนไมด์ (CBS)	1.5	1.5
กำมะถัน	1.5	1.5
เทตระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD)	0.2	0.2
สมบัติเชิงกล		
ความแข็ง (Shore A)	35	34-35
300%โมดูลัส (MPa)	4.57	4.73
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	13.35	11.12
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	650	675
ค่าการขยายแรงสั่นสะเทือนที่ความถี่เรโซแนนซ์	8.5	3.5

เมื่อพิจารณาผลของชนิดของยางต่อประสิทธิภาพในการลดแรงสั่นสะเทือน ได้มีรายงานว่า ค่าการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนที่ความถี่เรโซแนนซ์สามารถจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ [3]

1. ยางธรรมชาติ/ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน
2. ยางคลอโรพรีน
3. ยางสไตรีนบิวทาไดอีน
4. ยางไนไตรล์
5. ยางบิวไทล์

แต่เมื่ออัตราส่วนความถี่มีค่าสูงขึ้นจนมีค่าสูงกว่า $\sqrt{2}$ ลำดับในการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนก็จะเป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ยางบิวไทล์จะส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนสูงที่สุดในขณะที่ยางธรรมชาติและยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนจะส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนได้น้อยที่สุด

การดูดซับช็อก (shock absorption)

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า กลไกในการลดแรงสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ (ซึ่งมีความถี่ในการสั่นสะเทือนสูง) เกิดจากการแยกตัวโดยใช้องค์ประกอบส่วนที่ยืดหยุ่นของยางในการลดแรงสั่นสะเทือนที่จะถูกส่งต่อไปยังตัวถังรถ แต่ในขณะที่ขับเคลื่อนที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์แรงสั่นสะเทือนอาจไม่ได้เกิดจากการสั่นของเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว แต่อาจเกิดจากการขับรถตกหลุม หรือถ้าเป็นกรณีของเรือที่แล่นอยู่ในทะเลเราก็จำเป็นต้องพิจารณาถึงการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทกของคลื่นในทะเลด้วย ซึ่งการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการตกหลุมหรือการกระแทกของคลื่นเหล่านี้เกิดขึ้นค่อนข้างแรงและเร็วแต่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนต่ำที่เราจึงเรียกว่า “ช็อก” ยางรองแท่นเรือที่ดีนอกจากจะต้องแยกการสั่นสะเทือนที่เกิดจากตัวเครื่องยนต์แล้วยังต้องสามารถดูดซับการสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกได้อีกด้วย โดยทั่วไปการระบายแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกเกิดผ่านกลไกที่เรียกว่า “แดมปีง (damping)” ซึ่งก็คือการเปลี่ยนพลังงานที่เข้ามากระแทกให้กลายเป็นพลังงานความร้อนและระบายออกผ่านพื้นผิวยางด้วยเหตุนี้การดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกจึงเกิดจากองค์ประกอบส่วนที่เป็นของเหลวหนืดในยางและประสิทธิภาพในการระบายหรือดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกซึ่งจะขึ้นโดยตรงกับสัดส่วนขององค์ประกอบส่วนที่แสดงสมบัติของเหลวหนืดในยางนั่นเอง สำหรับยางที่เกิดการสั่นในเชิงพลวัตนั้น ระดับของพลังงานกลที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนต่อ 1 รอบของการสั่นจะมีค่าเท่ากับพลังงานที่อยู่ภายใน “ฮิสเทอรีซิสลูป (hysteresis loop)” ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 8 ยางที่มีสัดส่วนของของเหลวหนืดสูงก็จะสามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้กลายเป็นพลังงานความร้อนได้มากจึงช่วยดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกได้ดี อย่างไรก็ตามเนื่องจากพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้ยางมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ยางที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ดูดซับแรงกระแทกจึงต้องมีรูปร่างที่สามารถระบายความร้อนออกไปได้ดี (หลีกเลี่ยงการออกแบบรูปร่างที่มีความหนาแน่นเกินไป) และยางที่นำมาใช้ในการผลิตก็ควรจะต้องมีความทนต่อความร้อนสูงในระดับที่น่าพอใจด้วยด้วยเหตุนี้สูตรเคมียางที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นระบบการวัลคาไนซ์แบบกึ่งประสิทธิภาพ (semi-efficient vulcanization; EV) เพื่อทำให้ยางมีสมบัติที่สมดุลระหว่างความทนต่อความร้อนและความต้านทานต่อการพับงอ (flex resistance)

สรุป

การสั่นสะเทือนของยานพาหนะ เช่น รถ และเรือ ไม่ได้เกิดจากการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์แต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเกิดจากช็อกที่อาจเกิดขึ้นจากการขับที่รถบนถนนที่ไม่เรียบหรือเกิดจากคลื่นที่เข้ามากระแทกกับเรือ วัสดุที่นำมาใช้ในการลดแรงสั่นสะเทือนจึงต้องมีประสิทธิภาพสูงทั้งในการลดแรงสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ซึ่งมีความถี่สูงและยังต้องดูดซับพลังงานการสั่นสะเทือนที่เกิดจากช็อกหรือช่วยลดการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นอย่างรุนแรงที่ความถี่เรโซแนนซ์ได้ด้วย ยางจึงถือเป็นวัสดุหลักที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับลดแรงสั่นสะเทือนในยานพาหนะดังกล่าว เพราะยางมีสมบัติเป็นวิสโคอิลาสติก คือ มีองค์ประกอบทั้งที่เป็นส่วนที่ยืดหยุ่นและส่วนที่เป็นของเหลวหนืด ทั้งนี้ส่วนที่ยืดหยุ่นของยางจะทำหน้าที่แยกการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ออกจากตัวถังรถ (เราสามารถถอดออกสูตรยางให้มีความแข็งแรงต่ำตามต้องการเพื่อลดความถี่ธรรมชาติของยางให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม) ทำให้ตัวถังรถเกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำในขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบในการหมุน (ความถี่) สูง ส่วนที่เป็นของเหลวหนืดในยางจะช่วยดูดซับพลังงานกระแทกอันเกิดจากช็อกหรือช่วยลดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงซึ่งอาจเกิดขึ้น ณ ความถี่ต่ำๆ โดยเฉพาะที่ความถี่เรโซแนนซ์ ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพในการดูดซับแรงสั่นสะเทือนหรือพลังงานกระแทกจึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนขององค์ประกอบส่วนที่ยืดหยุ่นและส่วนที่เป็นของเหลวหนืดในยาง

เอกสารอ้างอิง

1. Mark, J.E., Erman, B. and Eirich, F.R., “Science and Technology of Rubber”, 2nd edition, Academic Press, San diego, 238, 1994.
2. Payne, A.R. and Whittaker, R.E., “Low strain dynamic properties of filled rubber”, *Rubber Chem. Technol.*, **44(2)**, 440 (1971)
3. Dasgupta, S., “Vibration Isolators and Mounts” in “Rubber Products Manufacturing Technology” edited by Bhowmick, A.K., Hall, M.M. and Benarey, H.A., Marcel Dekker Inc., New York, 687-704, 1994.

บุษกร กับทอง

การศึกษา: ปริญญาตรี (เคบี) มหาวิทยาลัยมหิดล

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: ผู้ช่วยวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา

ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ