

การประลัยของผลิตภัณฑ์ยาง (rubber product failure)

อุทัย อินทวสุสน

บทนำ

ผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ เช่น ยางล้อรถ สายพาน ก่ออย่างถนนความดัน ยางกันชน หรือยางรองโครงสร้าง ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์วิศวกรรม กล่าวคือ ใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องมีการรับแรงสูงไม่ว่าจะเป็นแรงแบบสถิตหรือแบบพลวัต ฉะนั้นอายุการใช้งานที่ยาวนานจึงเป็นเรื่องสำคัญ นอกจากนี้การใช้งานผลิตภัณฑ์ยางยังต้องรับแรงชนิดต่างๆ อาจจะมีพร้อมๆ กัน และใช้ในสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการสัมผัสกับของเหลวหรือน้ำมัน ออกซิเจน โอโซน และบ่อยครั้งที่อุณหภูมิสูงด้วย ดังนั้นความรู้เรื่องการประลัย (failure) ของผลิตภัณฑ์ยางจึงเป็นเรื่องสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประลัยก่อนเวลาอันสมควร ความสามารถในการวิเคราะห์สาเหตุการประลัยของผลิตภัณฑ์ยางจะช่วยให้ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางได้เรียนรู้ความผิดพลาดที่เคยเกิดขึ้นเพื่อจะได้หาทางป้องกันหรือแก้ไขไม่ให้อุบัติพลาตเดิมเกิดขึ้นซ้ำอีก และมีความสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางอีกด้วย บทความนี้จะเป็นการให้ความรู้เกี่ยวกับการประลัยของผลิตภัณฑ์ยางในด้านต่างๆ

สาเหตุการประลัย

การประลัยของผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่เกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้ [1]

1. ความผิดพลาดจากการออกแบบ

ความผิดพลาดที่เกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เกิดจากผู้ออกแบบขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องของสภาวะการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ หรือในบางครั้งก็อาจจะคาดคะเนระดับความเค้นหรือความเครียดที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานที่ต่ำมากเกินไป รวมถึงการขาดความรู้ทางด้านทฤษฎีการกระจายตัวของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน ปัจจุบันนักออกแบบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ได้นำโปรแกรมการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element analysis; FEA)” มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบ อย่างไรก็ตามการใช้โปรแกรมดังกล่าวอาจยังไม่เป็นที่แพร่หลายสำหรับผู้ประกอบการในประเทศไทยเพราะโปรแกรมการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มีราคาที่สูงและต้องอาศัยวิศวกรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการใช้และวิเคราะห์ผล

2. การใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม

การเลือกใช้วัสดุในการผลิตที่ไม่เหมาะสมถือเป็นอีกหนึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการประลัยก่อนเวลาอันสมควร ตัวอย่างที่เห็นได้เด่นชัด เช่น การนำยางธรรมชาติซึ่งเป็นยางที่ไม่ทนน้ำมันและไม่ทนต่อความร้อนไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน (เช่น โอริง) หรือสัมผัสกับอุณหภูมิสูง (เช่น ท่อหม้อน้ำ) เป็นต้น นอกจากนี้ชนิดของยางแล้ว เกรดของยางก็มีความสำคัญต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางด้วยเช่นกัน เพราะยางชนิดเดียวกันแต่ต่างเกรดกันก็จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ยางไนไตรล์เกรดที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรล์สูงก็จะมีความทนต่อน้ำมันสูงในขณะที่มีความยืดหยุ่นต่ำกว่ายางไนไตรล์เกรดที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรล์ต่ำ การเลือกใช้ชนิดและเกรดของยางให้เหมาะสมกับการใช้งานถือเป็นเรื่องที่สำคัญมากที่สุดในการออกสูตรเคมียาง เพราะหากเลือกชนิดหรือเกรดของยางไม่เหมาะสม การออกสูตรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตรงตามความต้องการของผู้ผลิตก็จะเป็นไปได้โดยยาก นอกจากการเลือกชนิดและเกรดของยางให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์แล้ว การออกสูตรเคมียางที่ดีก็มีส่วนช่วยทำให้ยางมีคุณภาพสูงตรงตามความต้องการของผู้ผลิตได้เช่นกัน

3. ความผิดพลาดจากการผลิต

ความผิดพลาดจากการผลิต หมายถึง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผสม การขึ้นรูป และการวัลคาไนซ์ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการขาดระบบการควบคุมคุณภาพที่ดีเพียงพอ จึงส่งผลทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่มีตำหนิถูกส่งออกไปจำหน่ายในท้องตลาด ทั้งนี้ความผิดพลาดที่เกิดจากการออกแบบหรือเกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิต แต่ความผิดพลาดที่เกิดจากการผลิต อาจเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวซึ่งจะส่งผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เกิดความแปรปรวนเป็นบางครั้ง

4. การติดตั้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกต้อง

แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพดีเพียงใด แต่ถ้าผู้ใช้ติดตั้งผลิตภัณฑ์ไม่ถูกต้อง ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ก็อาจเกิดการประลัยได้เร็วกว่าเวลาอันควรได้ด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้เมื่อผลิตภัณฑ์เกิดการประลัยอย่างรวดเร็วระหว่างการใช้งาน ผู้ผลิตต้องตั้งคำถามไว้ก่อนว่าผู้ใช้ติดตั้งผลิตภัณฑ์ถูกต้องหรือไม่ก่อนที่จะวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการประลัยต่อไป

5. สภาวะการใช้งานที่ไม่คาดคิดและการใช้งานผิดวัตถุประสงค์

สภาวะการใช้งานที่รุนแรงหรือไม่คาดคิดอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการประลัยเร็วกว่าเวลาอันควร ตัวอย่างเช่น ยางล้อรถยนต์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกแบบมาให้วิ่งอยู่บนท้องถนนที่ปราศจากน้ำมัน ด้วยเหตุนี้ยางล้อรถยนต์ส่วนใหญ่จึงผลิตจากยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนและ/หรือยางสไตรีนบิวทาอีนซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นยางที่ไม่ทนน้ำมัน แต่ถ้าผู้ใช้ขับรถเข้าไปในบริเวณที่มีน้ำมันหกอยู่บนท้องถนน ยางล้อรถยนต์ก็อาจเกิดการประลัยได้เร็วกว่าเวลาอันควร ส่วนการประลัยที่เกิดจากการใช้งานผลิตภัณฑ์ผิดวัตถุประสงค์นั้นก็พบเห็นได้บ่อยครั้ง เช่น ในกรณีที่ผู้ใช้ขับรถบรรทุกที่บรรทุกของหนักเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดซึ่งจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของรถ เช่น ยางบุขีปนาก รวมถึงยางล้อต้องรองรับน้ำหนักที่สูงเกินกว่าค่าที่ถูกออกแบบไว้ซึ่งก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเหล่านี้เกิดการประลัยได้เร็วยิ่งขึ้น

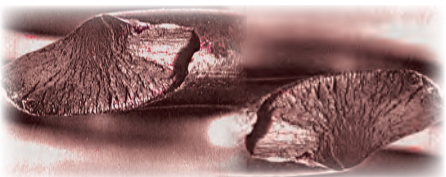
เมื่อผลิตภัณฑ์เกิดการประลัยก่อนเวลาอันสมควร การวิเคราะห์ว่าการประลัยเกิดจากสาเหตุใดนั้นถือเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากเพราะต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การสอบถาม อีกทั้งผู้วิเคราะห์ยังต้องมีความรู้ทางด้านสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามได้มีการรายงานว่าสาเหตุของการประลัยส่วนใหญ่มักเกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมหรือวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตมีสมบัติต่ำกว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (หรือเกิดจากการตั้งข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำเกินไป) ตามมาด้วยการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสมและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการประลัย

โดยทั่วไปอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย แต่นักเทคโนโลยีบางส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของยาง ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ได้ถูกนำมาแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของยาง

ตัวแปร	ชนิดของการเสื่อมสภาพหรือผลกระทบ
อุณหภูมิ	เกิดออกซิเดชันเนื่องจากความร้อน การเคลื่อนที่ของสารเคมี การเชื่อมโยงหรือการตัดขาดสายโซ่โมเลกุล
แสง	เกิดออกซิเดชันเนื่องจากแสง
รังสี	เกิดออกซิเดชันเนื่องจากรังสี เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล
ความชื้น	เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
ของเหลวและก๊าซ	การเสื่อมสภาพทางเคมี การบวมพอง การสกัดสารเคมี การแตกของพื้นผิว
จุลินทรีย์	การสลายตัว การเสื่อมสภาพของสมบัติเชิงกล
ความเค้นเชิงกล	ความล้า (fatigue) การคืบ (creep) การคลายตัวของความเค้น (stress relaxation) การเสียรูปถาวร (set) การสึกกร่อน (wear)



ระหว่างการใช้งาน ผลิตภัณฑ์ยางจะต้องได้รับผลกระทบจากตัวแปรต่างๆ ข้างต้นแม้จะไม่ทั้งหมด ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพและทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางลดลง ส่วนการวิเคราะห์ว่าการเสื่อมสภาพของยางเกิดจากตัวแปรใดนั้นก็ทำได้ยากเพราะว่าผลที่เกิดขึ้นกับยางซึ่งเกิดจากตัวแปรเหล่านี้มักมีความสัมพันธ์กัน ตัวอย่างเช่น การเสื่อมสภาพของยางรองแท่นเครื่อง (พิจารณาจากการลดลงของค่าความทนต่อแรงดึงตามเวลา) อาจเกิดจากความเค้นเชิงกลร่วมกับอุณหภูมิและแสงแดด เหล่านี้เป็นต้นบ่อยครั้งที่พบว่าตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ทำงานเสริมกันทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วยิ่งขึ้น

แม้ว่าสมบัติต่างๆ ของยางจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของตัวแปรต่างๆ ข้างต้น แต่สมบัติของยางเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น

- ความต้านทานต่อความล้ามักจะสูญเสียไปได้เร็วกว่าความทนต่อแรงดึง
- ความแข็งและโมดูลัสของยางสังเคราะห์หลายๆ ชนิดอาจสูงขึ้นในขณะที่ค่าความทนต่อแรงดึงอาจจะไม่เปลี่ยนแปลง
- ของเหลวอาจส่งผลทำให้ยางเกิดการบวมตัวเพียงเล็กน้อย แต่ว่ามันอาจสกัดเอาสารป้องกันการเสื่อมสภาพออกจากยางหรืออาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับยางทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น

การวิเคราะห์ว่าตัวแปรใดจะเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการประลัยของผลิตภัณฑ์ยาง ให้พิจารณาที่ลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เป็นหลัก เช่น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานภายใต้ความเค้นปานกลางและที่อุณหภูมิห้อง ผลของโอโซนอาจถือเป็นปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง การเสื่อมสภาพเนื่องมาจากความร้อนอาจเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ หรือในกรณีผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้สำหรับอุณหภูมิต่างๆ จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบของทั้งของเหลวและอุณหภูมิต่อการคลายตัวของความเค้นของยางเป็นหลัก

1. อุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ยางจะแข็งมากขึ้นและเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนถึงจุดๆ หนึ่ง ยางก็อาจจะแข็งจนเปราะและสูญเสียสมบัติความยืดหยุ่นซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดการประลัยได้เช่นกัน ด้วยเหตุนี้การนำยางไปใช้ในบางประเทศที่มีอุณหภูมิต่ำมากๆ ในช่วงฤดูหนาวจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ยางที่มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature; Tg) ที่ต่ำ เพื่อให้ยางยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้หากจำเป็นต้องนำผลิตภัณฑ์ยางไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน อาจจำเป็นต้องพิจารณาผลของการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) ที่อาจเกิดขึ้นได้ในบางชนิดเช่นยางธรรมชาติด้วย เพราะเมื่อยางธรรมชาติอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C เป็นเวลานาน ยางธรรมชาติสามารถเกิดการตกผลึกได้ ทำให้สมบัติความยืดหยุ่นของยางสูญเสียไป อย่างไรก็ตามการตกผลึกของยางที่อุณหภูมิต่ำเป็นปรากฏการณ์ที่ผันกลับได้ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลึกที่เกิดขึ้นจะหลอมไป ทำให้ยางกลับมามีความยืดหยุ่นได้เช่นเดิม

การขยายตัวและการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยาง แต่การขยายตัวหรือหดตัวดังกล่าวถือเป็นผลระยะสั้นและสามารถผันกลับได้ กล่าวคือ เมื่อยางได้รับอุณหภูมิสูง ยางก็จะเกิดการขยายตัว แต่เมื่อลดอุณหภูมิลง ยางก็จะหดตัวกลับลงมาเหมือนเดิม การหดตัวและการขยายตัวของยางถือเป็นปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการใช้งานสำหรับผลิตภัณฑ์บางประเภทที่ขนาดของผลิตภัณฑ์มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการใช้งาน เช่น แผ่นยางปูพื้น

การเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันถือเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดจากอุณหภูมิ โดยทั่วไปปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้กับผลิตภัณฑ์ยางทุกชนิด แต่ปฏิกิริยานี้จะเกิดช้าที่อุณหภูมิต่ำและจะเกิดได้เร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ตารางที่ 2 แสดงอุณหภูมิสูงสุดที่ยางสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในอากาศเป็นเวลา 100,000 ชั่วโมง (11.4 ปี) โดยที่ใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพเพียงเล็กน้อย

เนื่องจากออกซิเจนเป็นตัวแปรหลักที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยานอกจากจะขึ้นกับอุณหภูมิแล้วยังขึ้นกับปริมาณของออกซิเจนที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาอีกด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ยางที่หนามากๆ จึงมีระดับของการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พื้นผิวและที่เนื้อยางบริเวณด้านในที่แตกต่างกันมาก ทำให้เกิดความซับซ้อนมากขึ้นในการทำนายอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น ยางรองคอกสะพานขนาดใหญ่ที่ทำจากยางธรรมชาติสามารถมีอายุการใช้งานได้นานหลายสิบปี เพราะการเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นมากเฉพาะที่บริเวณพื้นผิวด้านนอกเท่านั้น ในขณะที่ถ้านำยางชนิดเดียวกันนี้ไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เล็กและบาง ผลิตภัณฑ์นี้อาจมีอายุการใช้งานเพียงแค่ 2-3 ปีหรืออาจจะน้อยกว่า

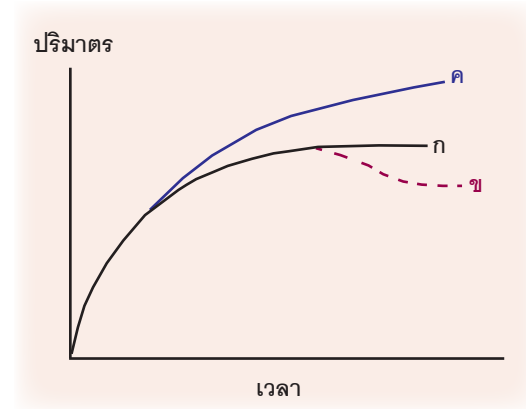
ตารางที่ 2 อุณหภูมิสูงสุดที่ยางชนิดต่างๆ สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในอากาศเป็นเวลา 100,000 ชั่วโมง [3]

ชนิดของยาง	อุณหภูมิ (°C)
ยางบิวทาไดอีน (BR)	60
ยางไอโซพรีน (IR)	60
ยางธรรมชาติ (NR)	60
ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR)	70
ยางยูรีเทน (AU, EU)	75
ยางอีโบนด์	80
ยางคลอโรพรีน (CR)	90
ยางไนไตรล์ผสมโพลีไวนิลคลอไรด์ (NBR/PVC blend)	90
ยางบิวไทล์ (IIR)	100
ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVM)	110
ยางไนไตรล์ (NBR, ACN < 20%)	110
ยางคาร์บอกซีเลตไนไตรล์ (XNBR)	110
ยางไนไตรล์ (NBR, ACN > 20%)	120
ยางโบรโมบิวไทล์ (BIIR)	120
ยางคลอโรบิวไทล์ (CIIR)	120
ยางโพลีเอทิลีนคลอริเนต (CPE)	120
ยางโพลีเอทิลีนคลอโรไซลไฟเนต (CSM)	120
ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน (EPDM)	120
ยางบิวไทล์ที่วัลคาไนซ์ด้วยเรซิน (IIR)	130
ยางอีพิกลอโรไฮดริน (CO)	130
ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนที่วัลคาไนซ์ด้วยเรซิน (EPDM)	150
ยางอะคริลิก (ACM)	150
ยางไฮโดรจิเนตไนไตรล์ (HNBR)	150
ยางฟลูออโรอีทิลีน (FVMO)	200
ยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ (FKM)	210
ยางเพอร์ฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ (FFKM)	260

2. ผลของของเหลวและก๊าซ

ระหว่างการใช้งาน ผลิตภัณฑ์ยางอาจสัมผัสกับของเหลวหรือก๊าซบางชนิดที่อาจส่งผลเสียอย่างรุนแรงต่อประสิทธิภาพการใช้งาน เมื่อต้องสัมผัสกับของเหลวบางชนิด ยางอาจจะดูดซึมของเหลวเข้าไปแล้วเกิดการบวมพองหรือของเหลวที่เข้าไปอยู่ในยางอาจจะสกัดเอาสารเคมีบางชนิดออกจากเนื้อยาง ส่งผลทำให้สมบัติบางอย่างของยางเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ของเหลวบางชนิดยังอาจเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางหรือทำปฏิกิริยาเคมีกับโมเลกุลยางทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้นอีกด้วย

การวัดความทนต่อของเหลวนิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า “การทดสอบการบวมตัว (swelling test)” ซึ่งส่วนใหญ่จะทดสอบด้วยการแช่ยางลงไปในของเหลวและวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรหรือน้ำหนัก (รวมถึงสมบัติเชิงกลในบางกรณี) การบวมตัวที่สูงบ่งชี้ว่ายางชนิดนั้นๆ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับของเหลวที่ทดสอบระหว่างการใช้งาน สำหรับกรณีของยางอุดรอยรั่วนั้น การสกัดเอาสารเคมีออกจากยางก็อาจส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการใช้งานได้พอๆ กันกับการบวมตัว รูปที่ 1 แสดงพฤติกรรมของการบวมตัวของวัสดุ 3 ชนิด เมื่อถูกนำไปแช่ไว้ในของเหลว



รูปที่ 1 การบวมตัวของวัสดุ (a) เข้าสู่จุดสมดุล (b) มีการสกัดสารเคมีออกจากยาง และ (c) เกิดอย่างต่อเนื่องไม่มีจุดสมดุล [2]

ตารางที่ 3 ความต้านทานต่อไอโซนของยางชนิดต่างๆ [2]

ระดับความต้านทานไอโซน	ชนิดของยาง
ต่ำ	ยางไดอีน เช่น ยางธรรมชาติ ยางสไตรีนบิวทาไดอีน ยางบิวทาไดอีน และยางไนไตรล์
ปานกลาง	ยางบิวไทล์ ยางไฮโดรจีเนตไนไตรล์ ยางคลอโรพรีน
สูง	ยางอะคริลิก ยางโพลีเอทิลีนคลอโรอิลฟิเนต ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน ยางฟลูออโรคาร์บอน และยางซิลิโคน

3. ผลของสภาพอากาศ

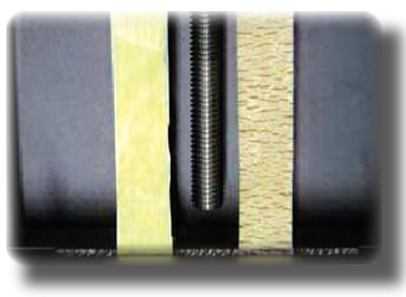
การเสื่อมสภาพจากสภาพอากาศ หมายถึง การเสื่อมสภาพที่เกิดจากผลรวมของแสงแดด ความชื้น อุณหภูมิ ก๊าซไอโซน และมลภาวะต่างๆ ที่มาสัมผัสกับยางระหว่างการใช้งาน อย่างไรก็ตาม การทดสอบความต้านทานต่อสภาพอากาศในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จะเน้นไปที่ผลของแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นหลัก

เนื่องจากความเข้มและการกระจายตัวของสเปกตรัมของแสงแดดขึ้นอยู่กับตัวแปรมากมาย เช่น ตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ช่วงเวลาของปี มุมที่ทำกับดวงอาทิตย์ รวมถึงความแปรปรวนของสภาพอากาศ ด้วยเหตุนี้การทำนายอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์จากผลการทดสอบความต้านทานต่อสภาพอากาศในห้องปฏิบัติการจึงมีโอกาสที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดสูง นอกจากนี้หลอดไฟซีนอน (xenon lamp) ที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการยังอาจมีสเปกตรัมที่ไม่ตรงกับแสงอาทิตย์ทั้งหมด ทำให้โอกาสความผิดพลาดที่เกิดจากการทำนายยังสูงขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตามผลการทดสอบที่ได้ก็สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบความต้านทานต่อสภาพอากาศของยางแต่ละสูตรได้

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เข้ามาสู่พื้นผิวโลกมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 290-400 นาโนเมตร (nm) ซึ่งมีค่าพลังงานในระดับเดียวกับพลังงานพันธะของสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 72-99 กิโลแคลอรีต่อโมล (kcal/mol) ด้วยเหตุนี้พลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงสามารถทำให้โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันบางหมู่เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ เพราะเมื่อโมเลกุลเหล่านี้ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต หมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลจะดูดกลืนพลังงานเข้าไปทำให้พันธะแตกออกเกิดเป็นสารประกอบที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (active species) ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพ หากปราศจากออกซิเจน ปฏิกิริยาต่อเนื่องก็จะไม่เกิดขึ้น ส่งผลทำให้การเสื่อมสภาพจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในระดับที่ต่ำมาก แต่ถ้ามีออกซิเจนอยู่ในระบบ ออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่เกิดขึ้นจาก

โดยทั่วไปยางส่วนใหญ่จะมีระดับการบวมตัวในของเหลวอินทรีย์ (เช่น น้ำมันหรือตัวทำละลาย) ค่อนข้างสูง เพราะของเหลวเหล่านี้มีค่าตัวแปรการละลาย (solubility parameter) ที่ใกล้เคียงกับยางของเหลวเหล่านี้จึงแพร่เข้าสู่เนื้อยางได้อย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีของน้ำซึ่งจัดเป็นของเหลวที่มีความเป็นขั้วสูงมาก การแพร่ของน้ำเข้าไปในยางจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก (ต้องใช้เวลานานกว่าที่น้ำจะแพร่เข้าสู่ยางจนถึงระดับที่เกิดความสมดุล) อย่างไรก็ตามก็มีความชื้นเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ยางบางประเภทเกิดการเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ในกรณีของยางโพลียูรีเทนที่ความชื้นสามารถก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและแสงอัลตราไวโอเล็ตก็อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเร่งทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นได้เร็วยิ่งขึ้น

ก๊าซไอโซนเป็นสาเหตุสำคัญอีกสาเหตุหนึ่งที่สามารถส่งผลต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางแม้ว่าจะมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมากในบรรยากาศปกติ (1-3 pphm*) ปริมาณก๊าซไอโซนเพียงแค่ 1 pphm ก็สามารถทำให้ยางที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัวเสื่อมสภาพได้ที่อุณหภูมิห้องหากถูกใช้งานในสภาพที่มีความเครียด ก๊าซไอโซนจะส่งผลทำให้เกิดรอยแตกที่พื้นผิวของผลิตภัณฑ์ยางและรอยแตกที่เกิดขึ้นจะเรียงตัวในทิศทางตรงข้ามกับทิศของการเกิดความเครียดดังแสดงในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตามการเสื่อมสภาพเนื่องจากไอโซนจะเกิดขึ้นเฉพาะในยางที่ได้รับความเครียดสูงกว่าค่าๆ หนึ่งเท่านั้น เรียกค่าระดับความเครียดนี้ว่าระดับความเครียดขั้นต่ำ (threshold strain) ทั้งนี้ค่าความเครียดขั้นต่ำจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพจากไอโซนจะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง โดยยางที่มีพันธะคู่มากก็จะมีค่าความเครียดขั้นต่ำที่ต่ำกว่ายางที่มีพันธะคู่น้อย โดยทั่วไปหากยางได้รับความเครียดต่ำกว่าค่าความเครียดต่ำสุด ยางก็จะไม่เกิดการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากไอโซน แต่เมื่อยางได้รับความเครียดสูงกว่าค่าความเครียดขั้นต่ำเล็กน้อย ผลของไอโซนจะทำให้เกิดรอยแตกบนพื้นผิวจำนวนน้อยแต่เป็นรอยแตกที่มีขนาดใหญ่ แต่ถ้ายางได้รับความเครียดสูงกว่าค่าความเครียดขั้นต่ำค่อนข้างมาก ไอโซนจะทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ รอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากเหล่านี้ก็จะรวมตัวกันเกิดเป็นรอยแตกขนาดใหญ่ได้เช่นกัน ตารางที่ 3 แสดงสมบัติความต้านทานต่อไอโซนของยางชนิดต่างๆ



รูปที่ 2 รอยแตกที่เกิดจากไอโซน

*pphm: ส่วนในร้อยล้านส่วน

การแตกตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาต่อ ส่งผลทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วยิ่งขึ้น

โดยทั่วไปแสงแดดส่งผลกระทบต่ออาการเสื่อมสภาพของยางค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับพลาสติก โดยเฉพาะในยางที่มีสีดำเพราะเขม่าดำที่มีอยู่ในยางจะช่วยดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ด้วยเหตุนี้กลไกการเสื่อมสภาพของยางที่มีสีดำจึงเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม แสงแดดก็ยังส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีอื่น ๆ นอกจากนี้สีดำ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “crazing หรือ chalking”¹ รวมถึงการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ เพราะแสงแดดอาจส่งผลทำให้เม็ดสีที่มีอยู่ในยางเกิดการเสื่อมสภาพและซีดจางได้ โดยเฉพาะในกรณีที่เป็นสีอินทรีย์ซึ่งมีความทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนและแสงแดดต่ำกว่าสีอนินทรีย์

แม้ว่าผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะไม่ส่งผลเสียที่รุนแรงต่อยางมากนัก แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากการได้รับแสงแดดนานๆ อาจส่งผลเสียอย่างรุนแรงต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อผลิตภัณฑ์ยางได้รับแสงแดดที่อุณหภูมิห้องประมาณ 26°C เป็นระยะเวลาสั้น ยางที่มีสีดำอาจมีอุณหภูมิเพิ่มสูงถึง 50°C ได้ ในขณะที่ยางที่มีสีขาวอาจมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย (ประมาณ 33°C) แต่ถ้ามหาทางด้านล่างของยางเป็นแผ่นฉนวนอุณหภูมิของยางที่มีสีดำอาจเพิ่มสูงถึง 80°C ได้เช่นกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังกล่าวอาจส่งผลเสียอย่างรุนแรงต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยาง

4. ผลของรังสี

รังสีในที่นี้จะหมายถึงรังสีแกมมา รวมถึงอิเล็กตรอนหรือนิวตรอนที่มีความเร็วสูงๆ ทั้งนี้เนื่องจากที่พื้นผิวโลกมีรังสีเหล่านี้ในปริมาณน้อยมากเกินกว่าที่จะก่อให้เกิดอันตรายใดๆ กับยาง ดังนั้นการสัมผัสกับรังสีของยางจึงมักจะเกิดขึ้นเฉพาะในผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้งานในโรงงานนิวเคลียร์หรือในโรงงานที่มีการใช้รังสีในการเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinking) หรือสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์

รังสีแอลฟามีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ ดังนั้นผลของมันจึงเกิดขึ้นเฉพาะที่บริเวณพื้นผิวด้านนอกเท่านั้น ส่วนรังสีเบตามีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงขึ้น (ประมาณ 1-2 เซนติเมตร) ในขณะที่รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และนิวตรอน มีอำนาจในการทะลุทะลวงค่อนข้างสูง ตารางที่ 4 แสดงความต้านทานต่อรังสีแกมมาของยางชนิดต่างๆ

เมื่อยางได้รับรังสีที่มีพลังงานสูง โมเลกุลยางจะเกิดการแตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (free radicals) ที่สามารถทำปฏิกิริยาต่อซึ่งอาจส่งผลทำให้เกิดการตัดขาดสายโซ่หรือการเชื่อมโยงโมเลกุลพร้อมทั้งมีการปลดปล่อยก๊าซออกมา ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน การทำปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการเชื่อมโยง

ตารางที่ 4 ความต้านทานต่อรังสีแกมมาของยาง [2]

ชนิดของยาง	ปริมาณรังสีสูงสุดที่ยางทนได้ (Gy)
ยางบิวไทล์	10,000
ยางอะคริลิก	100,000
ยางซิลิโคน	100,000
ยางโพลีเอทิลีนคลอไรด์ไฟเนต	100,000
ยางไนไตรล์	100,000
ยางฟลูออโรคาร์บอน	100,000
ยางโพลีคลอโรพรีน	100,000
ยางสไตรีนบิวทาไดอีน	500,000
ยางเอทิลีนโพรพิลีน	500,000
ยางโพลียูรีเทน	500,000

โมเลกุลในยางส่วนใหญ่ ยกเว้นยางบิวไทล์และยางฟลูออโรคาร์บอนที่มักเกิดการตัดขาดของสายโซ่แทน อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน อนุมูลอิสระจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องมากมาย ซึ่งกรณีนี้มักจะส่งผลทำให้เกิดการตัดขาดของสายโซ่มากกว่าการเชื่อมโยงโมเลกุล มีผลให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลง ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางลดลงด้วย

5. ผลของจุลินทรีย์

แม้ว่ายางส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งถือเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ แต่การเสื่อมสภาพของยางอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์นั้นมีน้อยมาก และการเสื่อมสภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ก็อาจต้องใช้เวลาที่ยาวนาน ด้วยเหตุนี้เวลาที่เรากำลังต้องการให้จุลินทรีย์ย่อยสลายขยะที่เกิดจากยางจึงต้องใช้เวลาที่นานนับสิบหรือร้อยปี

6. ผลของความล้า

การประลัยของผลิตภัณฑ์ยางที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วผิดปกติหลังการใช้งานนั้น ส่วนใหญ่มักเกิดจากความผิดพลาดจากการออกแบบ การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพต่ำ ความผิดพลาดที่เกิดจากกระบวนการผลิต รวมถึงความผิดพลาดที่เกิดจากการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานผิดวิธีหรือผิดวัตถุประสงค์ แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ยางที่การประลัยเกิดขึ้นหลังการใช้งานเป็นระยะเวลานาน สาเหตุหลักของการประลัยมักเกิดจากการเสื่อมสภาพเนื่องจากตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ แต่สำหรับผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ถูกใช้งานในเชิงพลวัต (คือ ได้รับแรงกระทำเป็นรอบๆ อย่างต่อเนื่อง) การประลัยนอกจากจะเกิดจากการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเกิดจากความเค้นเชิงกลที่ส่งผลทำให้ความแข็งแรงและความแข็งแรงเชิงกลของยางเสียไปอีกด้วย การประลัยใน

¹ crazing คือ ลักษณะการเสื่อมสภาพของยางที่ทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กต่อเนื่องกันตลอดพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ แต่รอยแตกเหล่านี้ไม่มีทิศทางที่แน่นอน ในภาพรวมแล้วจะมีลักษณะคล้ายผิวสัมผัสที่หยาบหรือผิวหนึ่งข้าง ถ้ายางได้รับแสงแดดนานๆ อาจทำให้พื้นผิวแข็งมากขึ้นและปริทำให้สารตัวเติมที่อยู่ด้านในไหลออกมาเรียกว่า chalking

ลักษณะนี้เกิดจากผลของความล้าตนเอง กลไกที่ก่อให้เกิดการประลัยในลักษณะนี้จะเกิดผ่านการเสื่อมสภาพทางความร้อนและจากก๊าซไอโซน รวมถึงการขยายตัวของรอยแตกที่เกิดจากการซีกขาดอันเนื่องมาจากแรงเชิงกลที่เข้ามากระทำเป็นรอบๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งผลของความล้าต่อผลิตภัณฑ์ยางได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในเชิงพลวัตแล้วก่อให้เกิดความร้อน ซึ่งความร้อนนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลา หากความร้อนไม่สามารถระบายออกได้ทัน จะเกิดเป็น “ความร้อนสะสม (heat build up)” หากความร้อนเพิ่มสูงขึ้นมากก็จะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเกิดการประลัย ซึ่งกรณีนี้จะพบมากในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางล้อรถยนต์

2. กรณีที่มีรอยแตกเกิดขึ้นและรอยแตกเกิดการขยายตัว โดยที่ไม่ก่อให้เกิดความร้อนที่สูงมากนัก กรณีนี้เรียกว่า “การแตกที่เกิดจากการพับงอ (flex cracking) หรือการขยายตัวของรอยแตก (cut growth)” ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดขึ้นได้ทั่วไปสำหรับผลิตภัณฑ์ยางที่ได้รับความเค้นเป็นรอบๆ อย่างต่อเนื่อง รอยแตกอาจเกิดจากตำหนิตั้งต้นของผลิตภัณฑ์หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาของไอโซน อัตราการขยายตัวของรอยแตกจะขึ้นอยู่กับระดับของความเครียดที่ผลิตภัณฑ์ได้รับ ด้วยเหตุนี้ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ยางจึงต้องออกแบบรูปร่างผลิตภัณฑ์เพื่อลดการกระจุกตัวของความเครียดหรือความเค้น (strain or stress concentration) ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ระดับความเครียดสูงสุดที่ต้องพิจารณาแล้ว ระดับความเครียดต่ำสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลิตภัณฑ์ในแต่ละรอบก็ต้องนำมาพิจารณาด้วย เพราะผลิตภัณฑ์ยางที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบผ่านจุดที่มีความเครียดเท่ากับศูนย์จะมีอัตราเร็วของการขยายตัวของรอยแตกที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ยางที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบไม่ผ่านจุดที่มีความเครียดเท่ากับศูนย์

7. การคลายตัวของความเค้นและการคืบ

สำหรับผลิตภัณฑ์ยางบางประเภท เช่น โอริงหรือปะเก็นสมบัติที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานหรือประสิทธิภาพการอุดรอยรั่วก็คือ การคลายตัวของความเค้น (การลดลงของความเค้นภายใต้ความเครียดคงที่) โดยทั่วไปยางจะมีประสิทธิภาพในการอุดรอยรั่วได้ดีก็ต่อเมื่อยางชนิดนั้นจะต้องมีระดับการคลายตัวของความเค้นต่ำหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือยางต้องมีความสามารถในการรักษาความยืดหยุ่นได้ดีนั่นเอง แม้ว่าประสิทธิภาพในการอุดรอยรั่วของผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะขึ้นโดยตรงกับค่าการคลายตัวของความเค้น แต่ในทางปฏิบัติแล้ว นิยมใช้สมบัติการเสีรูปถาวรหลังกด (compression set) เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการอุดรอยรั่วมากกว่าสมบัติการคลายตัวของความเค้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการวัดค่าการเสีรูปถาวรหลังกดทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่านั่นเอง

การประลัยของผลิตภัณฑ์อุดรูรั่วส่วนใหญ่มักเกิดจากการสูญเสียแรงอุด (sealing force) และ/หรือการมีระดับการเสีรูป

ถาวรที่สูงมากเกินไป การสูญเสียสมบัติเชิงกลไม่ถึงเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์เหล่านี้

เนื่องจากทั้งอุณหภูมิและของเหลวต่างก็ส่งผลต่อระดับของการคลายตัวของความเค้นหรือการเสีรูปถาวรหลังกด อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์เหล่านี้จึงขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่สัมผัส บ่อยครั้งที่พบว่าปัญหาการประลัยที่เกิดขึ้นก่อนเวลาอันควรมักเกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพไม่ดีเพียงพอหรือไม่เหมาะสมกับการใช้งานภายใต้สภาวะนั้นๆ

การคืบ (creep) คือ การเพิ่มขึ้นของความเครียดในขณะที่ยางได้รับความเค้นคงที่ แม้ว่าการคืบจะสัมพันธ์โดยตรงกับการเสีรูปถาวรและการคลายตัวของความเค้น แต่ว่ามีผลิตภัณฑ์ยางน้อยมากที่ประสิทธิภาพการทำงานจะขึ้นอยู่กับสมบัติการคืบ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ยางที่สมบัติการประลัยขึ้นอยู่กับการคืบ เช่น ยางรองแท่นเครื่องและยางรองคอคสะพาน เพราะผลิตภัณฑ์เหล่านี้ต้องรองรับน้ำหนักที่ค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จึงควรมีการคืบอยู่ในระดับต่ำ

8. การสึกกร่อน

การสึกกร่อนเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการประลัยของผลิตภัณฑ์ยางบางชนิด เช่น ยางพื้นรองเท้า แผ่นยางปูพื้น สายพานลำเลียง รวมถึงดอกยางรถยนต์ กลไกของการสึกกร่อนเป็นเรื่องที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามการสึกกร่อนส่วนใหญ่เกิดจากผลของการหลุดออก (cutting) และผลของความล้า (fatigue) การสึกกร่อนยังแบ่งย่อยออกเป็นหลายแบบ เช่น การสึกกร่อนแบบขัดถู (abrasive wear) ซึ่งเป็นการสึกกร่อนที่เกิดจากขอบรอยตัดที่คม แข็ง และต้องมีความเสียดทานระหว่างวัสดุที่สูง ส่วนการสึกกร่อนแบบล้าตัว (fatigue wear) เกิดขึ้นได้กับพื้นผิวที่หยาบ ไม่แหลมคม และไม่จำเป็นต้องมีแรงเสียดทานที่สูง ในทางปฏิบัติการสึกกร่อนของยางอาจเกิดจากกลไกใดกลไกหนึ่งหรือหลายกลไกก็ได้ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ มากมาย เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของการสัมผัส และความดันของการสัมผัส เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Brown, R.P., “Rubber Product Failure”, Rapra Review Reports, 2002.
2. Brown, R.P., “Practical Guide to the Assessment of the Useful Life of Rubbers”, Rapra Technology Ltd., 156, 2001.
3. Wright, D., “Failure of Plastic and Rubber Products-Causes, Effects and Case Studies Involving Degradation”, Rapra Technology Ltd., 400, 2001.

อุทัย อินทสุวรรณ
การศึกษา: ปริญญาตรี (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน: ฟู่อัยวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา
 ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ