



การวิเคราะห์การสึกหรอของ PEEK ภายใต้ภาระแรงดันสัมผัสแบบแปรผันในระบบ RPF ด้วย ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

Wear analysis of PEEK under variable contact pressure distribution in RPF systems using FEM simulation

บารมี ปัทมพรหม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ติดต่อ: E-mail baramee.p@eng.kmutnb.ac.th, โทร 0-2555-2000 ต่อ 8315, โทรสาร 0-2586-9541

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การสึกหรอของพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (PEEK) ซึ่งทำหน้าที่เป็นซีลระหว่างห้องความดันในระบบ Rotary pressure filter (RPF) ที่มีค่าแรงดันแตกต่างกันในแต่ละห้องความดันย่อย การหมุนอย่างต่อเนื่องของถังกรองด้านในระบบ RPF ทำให้ซีลเสียดสีกับผนังห้องความดันตลอดเวลาเป็นผลให้เกิดการสึกหรออย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการประมาณอายุการใช้งานของซีลเพื่อการออกแบบแผนการซ่อมบำรุงจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาค่าอัตราการสึกหรอ แต่อย่างไรก็ตามการสร้างแบบจำลองของทั้งระบบเพื่อวิเคราะห์การสึกหรอของซีลนั้นทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องเสนอสมมุติฐานต่างๆ เพื่อให้รูปแบบของปัญหาย่อยขึ้น และทำการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในบริเวณที่เกิดการสึกหรอสูง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการพยากรณ์การสึกหรอของ PEEK โดยใช้โมเดลการสึกหรอของอาร์เชิร์ด (Archard model) จากการศึกษาพบว่าค่าอัตราการสึกหรอที่ได้จากโมเดลการสึกหรอ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ตามสมมุติฐานที่ได้สร้างขึ้นนั้นให้ค่าที่สอดคล้องกับผลที่ได้จากค่าที่วัดได้จากการใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน, ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์, การวิเคราะห์การสึกหรอ

Abstract

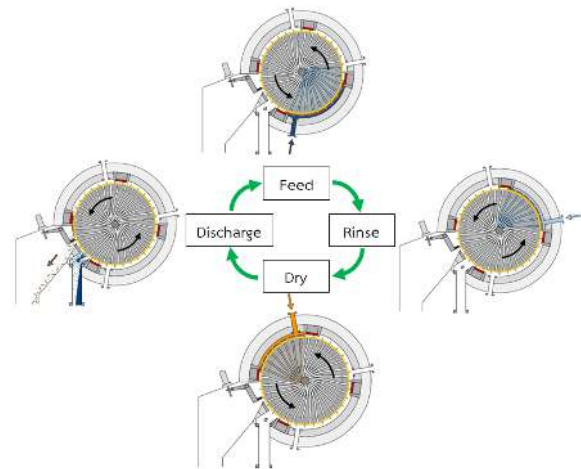
This article presents the wear analysis of Polyetheretherketone (PEEK) functioning as a seal for pressurized multi-compartments in Rotary Pressure Filter (RPF) system in which the pressure is variable for each compartment. The continuous rotation of the RPF inner drum induces an abrasive between seals and pressurized compartment's walls and leads to the continuous wear of the seals. Therefore, the wear rate of the seals needs to be analyzed in order to estimate a lifetime of the seals for the maintenance planning. However, to simulate the complete system for the wear analysis is very complicated and requires a lot of numerical resources. Some assumptions need to be stated to simplify the problem and then the FEM simulations are performed on the high wear zones in order to

determine required parameters for the Archard wear model. The wear rate estimated from this study shows a good agreement with the on-sited inspection's records.

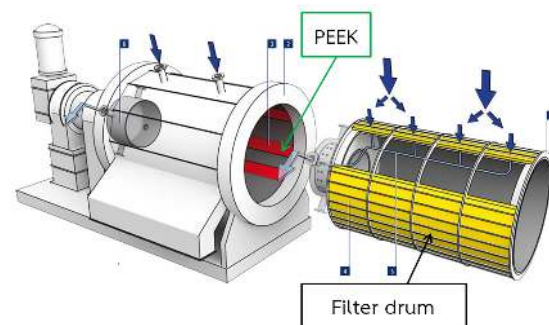
Keywords: PEEK, FEM simulation, wear analysis

1. บทนำ

ระบบ rotary pressure filter (RPF) คือ ระบบกรองสารภายใต้ความดันแบบหมุนแกนเดียว ใช้สำหรับเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับ สารผลิตภัณฑ์ ที่มีลักษณะเป็นฝุ่นผง หรือ ตะกอน มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตเคมีภัณฑ์ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ และพลาสติก อุตสาหกรรมยา และอาหาร การแยกสกัดผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ เช่น สมุนไพร หรือพืชอื่นๆ หลักการกรองสารของ RPF เป็นแบบหลายขั้นตอนผ่านการหมุนของถังกรองเพียงหนึ่งรอบ (รูปที่ 1) โดยสารตะกอน หรือสารละลายชั้น ด้วยการไหลป้อนเข้าสู่ถังกรองแบบหมุน (Feed) และมีแผ่นฟิลเตอร์รองรับ สารล้าง ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นน้ำบริสุทธิ์ หรือเป็นสารละลายอื่นๆ ซึ่งจะถูกป้อนเข้าสู่ ระบบ RPF เป็นลำดับถัดไป (Rinse) สำหรับนำพาสารแปลกปลอม ที่ปนเปื้อนกับสารผลิตภัณฑ์ จากนั้นสารผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้แห้งก่อนจะถูกระบายออก (Dry) เมื่อสิ้นสุดรอบการกรองสารผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองจะถูกระบายออกภายใต้ความดันบรรยากาศ (Discharge) ทุกขั้นตอน ยกเว้นการระบายสารผลิตภัณฑ์ กระทำภายใต้ความดัน ซึ่งถูกสร้างขึ้นภายในถังกรองด้วยซิลความดัน โดยซิลความดันซึ่งถูกอัดติดกับถังกรองด้วยระบบนิวแมติกจะก่อให้เกิดห้องปิดผนึกย่อยภายใต้ความดัน ซึ่งทำให้ซิลเกิดการเสียดสีกับถังหมุนตลอดเวลาเกิดเป็นการสึกหรออย่างต่อเนื่อง ดังนั้นซิลความดันจึงต้องทำมาจากพลาสติกทนการกัดกร่อนคุณภาพสูงเช่น PEEK (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ RPF [1]



รูปที่ 2 ส่วนประกอบหลักของระบบ RPF [1]

พอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (PEEK) คือ พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกในตระกูลพอลิอะคริเลเทอร์คีโตน (PAEK) เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทสารประกอบกึ่งผลึก (semi-crystalline) ที่มีสมบัติทางกลและคงทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีที่ดีเยี่ยมแม้ในสภาวะอุณหภูมิสูง ในสภาวะของแข็ง PEEK นิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนพลาสติกคุณภาพสูงที่ใช้งานภายใต้สภาวะอุณหภูมิและการกัดกร่อนระดับสูงในอุตสาหกรรมการผลิตเคมีภัณฑ์

ยานยนต์ และการบิน-อวกาศ จัดว่าเป็นชิ้นส่วนพอลิเมอร์ คุณภาพสูงและมีราคาแพง การประมาณอายุการใช้งานของวัสดุซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับอัตราการสึกหรอ สำหรับการออกแบบแผนการซ่อมบำรุงจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อการใช้งานซีล PEEK ให้คุ้มค่ามากที่สุด

2. ทฤษฎีการสึกหรอ

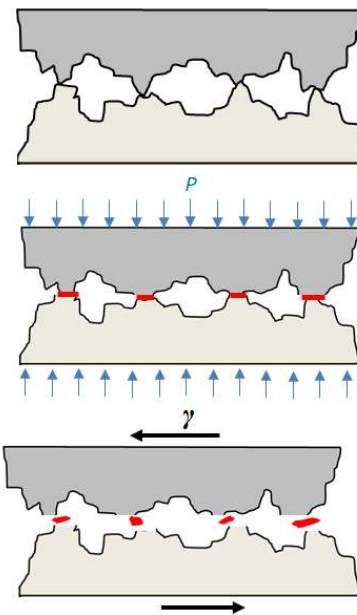
ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้โมเดลการสึกหรอของอาร์เชิร์ด (Archard model) (1) [2] ซึ่งเป็นโมเดลที่ไม่ซับซ้อนและถือได้ว่าเป็นโมเดลอ้างอิงหลักสำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณหาอัตราการสึกหรอของระบบการเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถล (sliding) โดยโมเดลสรุปความสัมพันธ์เชิงกายภาพได้ว่าปริมาณของเศษที่หลุดร่อนเป็นอัตราส่วนเชิงเส้นกับงานที่กระทำโดยแรงเสียดทาน

$$\dot{q} = \frac{k}{H} PA\dot{\gamma} \quad (1)$$

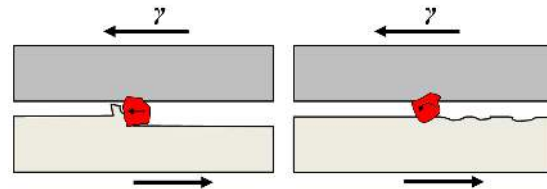
โดย $\dot{q}$ คือ อัตราการสูญเสียปริมาตรของวัสดุ
 k คือ สัมประสิทธิ์การสึกหรอของวัสดุ
 H คือ ค่าความแข็งของวัสดุ
 P คือ แรงดันตั้งฉากผิวสัมผัสระหว่างวัสดุ
 A คือ พื้นที่ผิวสัมผัส
 $\dot{\gamma}$ คือ อัตราการไถลของผิวสัมผัส

โมเดลการสึกหรอนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการสัมผัสของพื้นผิวหยาบหรือขรุขระ (asperity contact) กล่าวคือ เมื่อพิจารณาผิวสัมผัสของวัสดุในระดับจุลภาคนาโน หรือกระทั่งในระดับอะตอม จะพบได้ว่าผิวของวัสดุปรากฏเป็นยอดแหลมขนาดเล็ก (asperities) ทั้งทั้งพื้นผิว เมื่อมีแรงดันกดวัสดุเข้าหากัน ทำให้ยอดแหลมเกิดการหลอมรวมเข้าด้วยกัน (cold welding) การเคลื่อนที่แบบเลื่อนไถลส่งผลให้ส่วนยอดของวัสดุที่ติดกันนี้หลุดร่อนออกจากผิววัสดุ เกิดเป็นการสึกหรอ เรียกว่าการสึกหรอแบบยึดติด (adhesive wear) (รูปที่ 3) เศษ

ของวัสดุที่หลุดร่อนสามารถที่จะแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นผิวสัมผัสและทำให้เกิดการสึกหรอตามมาอันเนื่องมาจากเศษวัสดุแปลกปลอมนี้ได้ เรียกว่าการสึกหรอแบบขัดสี (abrasive wear) (รูปที่ 4) [3-4] ในการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาในระดับที่สังเกตเห็นยอดแหลม (asperity level) ค้นพบการมีอยู่ของระยะวิกฤติ (critical length) ของยอดแหลม ที่ควบคุมการเกิดเศษหลุดร่อน โดยเมื่อการหลอมรวมของยอดแหลมมีขนาดมากกว่าระยะวิกฤติจะทำให้เกิดเศษหลุดร่อน แต่ถ้าน้อยกว่าระยะวิกฤติจะเกิดการเสียรูปแบบพลาสติกและไม่เกิดเศษหลุดร่อน [5]



รูปที่ 3 การสึกหรอแบบยึดติด



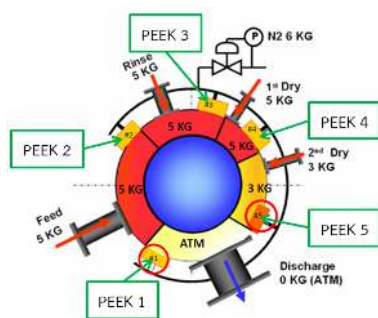
รูปที่ 4 การสึกหรอแบบขัดสี (แบบ 3 วัตถุ)

โมเดลการสึกหรอของอาร์เชิร์ดได้ถูกนำไปพัฒนาเพิ่มเติมอย่างแพร่หลายในการศึกษาการสึกหรอของวัสดุ ความสัมพันธ์เชิงเส้นในโมเดลของอาร์เชิร์ดได้มาจากการตั้งสมมติฐานบางประการเป็นแบบคงที่ จึงมีการ

ประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางด้านสถิติและสโตแคสติกเพื่อพัฒนาโมเดล โดยหลักใหญ่แล้วจะแบ่งเป็นการพัฒนาในส่วนของความหยาบกระด้างของผิวสัมผัส ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับรูปร่างและระดับความสูงของยอดแหลม (asperities) [6-7] และพัฒนาในส่วนของการสัมผัสการสึกหรอวัสดุให้สัมพันธ์กับทั้งขนาด รูปร่าง และการเคลื่อนที่ของเศษหลุดร่อนจากการสึกหรอ (debris) [8-9] นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงโมเดลโดยพิจารณาถึงคุณสมบัติวัสดุทางอื่นๆ นอกจากค่าความแข็งวัสดุ [10]

3. ข้อมูลการทำงานของระบบ RPF และการตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์

ข้อมูลการทำงานของระบบ RPF ถูกส่งมาโดยบริษัทอีโคซิล โดยระบุว่าถึงกรวดด้านในหมุนด้วยความเร็วประมาณ 53-54 rph รวมทั้งระดับแรงดันภายในแต่ละห้องความดันย่อย ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยในระบบ RPF ประกอบไปด้วยซิล PEEK จำนวน 5 ตัว (เพิ่มการอบแห้งเป็น 2 ขั้นตอน) และมีแรงดันนิวแมติกกระทำเท่ากันที่ระดับ 6 kg/cm^2 (0.59 MPa) โดยความดันในห้องย่อยของระบบจะเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องสัมพันธ์กับการหมุนของถังกรวด ซึ่งมีอุณหภูมิภายในประมาณ 147°C



รูปที่ 5 ความดันในแต่ละส่วนของระบบ RPF

ในการวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการเสนอสมมติฐานเพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา โดยมีสมมติฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. เนื่องจากความเร็วในการหมุนอยู่ในระดับต่ำ จึงประมาณปัญหาเป็นแบบสถิตย์ศาสตร์

2. ไม่คิดผลกระทบของอุณหภูมิ เนื่องจากวัสดุ PEEK มีความทนทานต่อการใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง สามารถคงสมบัติทางกลไว้ได้ภายใต้สภาวะดังกล่าว

3. แรงดันลิฟท์ที่กระทำต่อซิลแต่ละตัว กระทำในลักษณะคงที่ (รูปที่ 6) โดยเป็นความแตกต่างของความดันในห้องย่อยกับความดันนิวแมติกที่กดซิลให้ติดกับถังกรวด กล่าวคือ

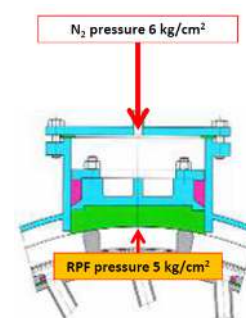
- ซิล PEEK 1 รับแรงดันลิฟท์ระดับ 6 kg/cm^2

- ซิล PEEK 2, 3 และ 4 รับแรงดันลิฟท์ระดับ 1 kg/cm^2

- ซิล PEEK 5 รับแรงดันลิฟท์ระดับ 3 kg/cm^2

ด้วยภาระกรรมที่ประเมินไว้ ซิล PEEK 1 และ 5 จัดว่ามีภาระกรรมสูงและควรจะสึกหรอมากกว่าซิลตัวอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบชิ้นซิลที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมของบริษัทอีโคซิล

4. ประมาณให้ซิลถูกติดตั้งแบบสมมาตร เนื่องมาจากบริษัทรายงานว่าซิลที่ใช้งานจริง ไม่สามารถควบคุมความสมมาตรในการติดตั้งให้ถูกต้อง 100% ได้ แต่การคิดผลกระทบจากความไม่สมมาตรในแบบจำลองไม่สามารถกระทำได้ง่าย จึงจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานให้เป็นแบบสมมาตรก่อนในขั้นต้น

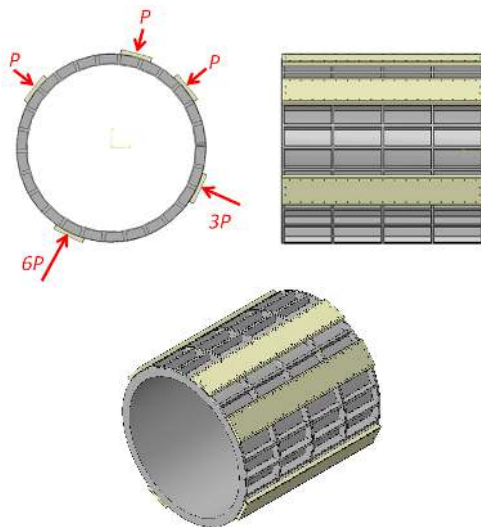


รูปที่ 6 แรงดันที่กระทำบนซิล PEEK 5

4. แบบจำลองโครงสร้างสำหรับการคำนวณด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ขนาดและมิติของซิล PEEK ได้รับการสนับสนุนจากบริษัทอีโคซิล จากนั้นจึงทำการประมาณขนาดและมิติ

ของถังกรอง แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งขนาดแรงดันลัฟท์บนซิลที่ได้จากสมมติฐาน ถูกแสดงในรูปที่ 7



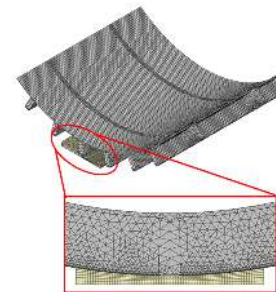
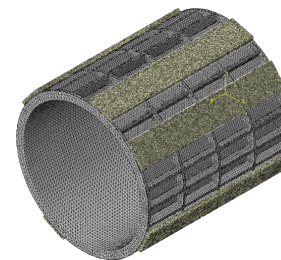
รูปที่ 7 แบบจำลองโครงสร้างของซิลPEEK และถังกรอง

การคำนวณในลักษณะของโครงสร้างเต็ม ต้องการเอลิเมนต์จำนวนมาก เพื่อให้ได้ผลการคำนวณที่ละเอียดและน่าเชื่อถือ นำมาซึ่งความต้องการทรัพยากรในการคำนวณที่สูงมาก ประกอบกับการวิเคราะห์ปัญหาที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้แล้ว พบว่าซิลที่เสี่ยงต่อการสึกหรอสูงคือ ซิล PEEK 1 และ PEEK 5 จึงไม่มีความจำเป็นต้องคำนวณในลักษณะของโครงสร้างเต็ม ดังนั้นในการคำนวณ จึงทำการตัดโครงสร้างเป็นส่วนย่อยมาวิเคราะห์ดังรูปที่ 8 โดยตั้งสมมติฐานว่าการสึกหรอของซิลแต่ละตัวไม่ส่งผลต่อกัน การตัดมาคำนวณเพียงตัวเดียวจึงเพียงพอต่อการวิเคราะห์ ระดับความดันที่ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับว่าคำนวณซิลตัวใด เงื่อนไขขอบและการใส่โหลดแรงดันลัฟท์สรุปไว้ใน รูปที่ 9 โดยแบ่งขั้นตอนการคำนวณออกเป็น ขั้นตอนการใส่แรงดัน และต่อเนื่องด้วยหมุนของถังกรองเพื่อจำลองภาระกรรมที่เกิดขึ้นจริงในระบบ RPF

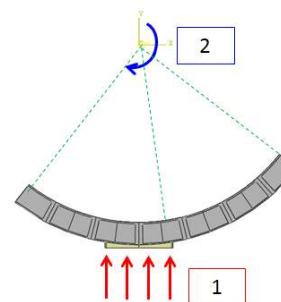
คุณสมบัติของวัสดุ PEEK ที่ใช้ในการคำนวณจัดทำโดยบริษัทโอโคซิล เป็นค่าการทดลองภายใต้มาตรฐาน ASTM และ QTM ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ PEEK

มอดูลัสแรงดึง	4.34 GPa	ASTM D638
มอดูลัสแรงกด	3.45 GPa	ASTM D695
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	0.4	QTM55007 (แบบแห้งทดสอบกับเหล็ก)
สัมประสิทธิ์อัตราการสึกหรอจำเพาะ	7.55×10^{-6} mm ³ /Nm	QTM55010
ความแข็งวัสดุ Shore D	85	ASTM D2240



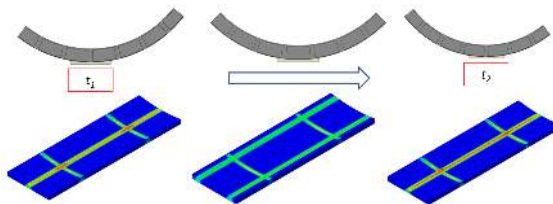
รูปที่ 8 โครงสร้างที่ใช้สำหรับการคำนวณด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์



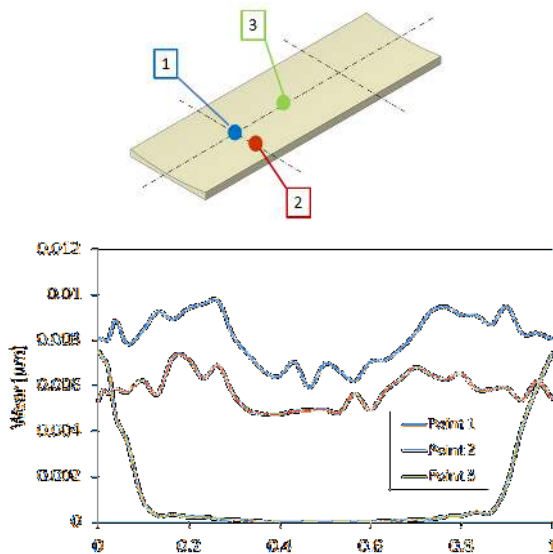
รูปที่ 9 ขั้นตอนการใส่โหลดสำหรับการคำนวณด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

5. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์ผล

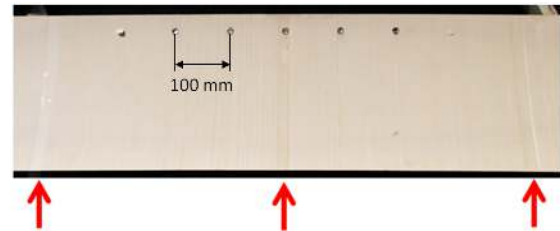
ผลการคำนวณแสดงถึงการกระจายตัวของแรงดันผิวสัมผัสแบบไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับการสัมผัสของซิลกับถังกรอง ดังแสดงในรูปที่ 10 เมื่อวิเคราะห์ลงไปถึงการสึกหรอเฉพาะจุด (จุดที่ 1, 2 และ 3 ในรูปที่ 11) พบได้ว่าการสึกหรอเกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของแรงดันซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ถังกรองหมุน โดยค่อนข้างสม่ำเสมอที่จุด 1 และ 2 เนื่องจากมีการสัมผัสกับถังกรองตลอดเวลา (รูปที่ 11) ผลการคำนวณและวิเคราะห์นั้นสอดคล้องกับการสึกหรอที่เกิดขึ้นจริง (สรุปในรูปที่ 12)



รูปที่ 10 การกระจายตัวของแรงดันผิวสัมผัสที่ขึ้นอยู่กับ
การหมุนของถังกรอง



รูปที่ 11 รูปการสึกหรอในแต่ละจุดสัมพันธ์กับการหมุนถัง
กรอง



รูปที่ 12 ผิวการสึกหรอจริงของซิล PEEK

การสึกหรอจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเกิดมากในโซนที่สัมผัสกับถังหมุนตลอดเวลา (จุดที่ 1 และ 2) อย่างไรก็ดี รูปแบบการสึกหรอลักษณะนี้ไม่สามารถดำเนินไปได้ตลอด แต่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพผิวสัมผัสของ PEEK ส่งผลต่อการกระจายแรงดันบนผิวสัมผัสและความเค้นเฉพาะจุด ทำให้ลักษณะและรูปแบบการสึกหรอเปลี่ยนแปลงไป การคิดผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้จำเป็นต้องใช้เอลิเมนต์ชนิดพิเศษที่สามารถลด หรือปรับเปลี่ยนขนาดสัมพันธ์กับการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้

อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตและพิจารณาการสึกหรอบนผิวของซิล PEEK สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าเมื่อผิวสัมผัสเกิดการเปลี่ยนแปลง จะก่อให้เกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นแทนในบริเวณอื่นๆที่ไม่ได้สัมผัสกับถังหมุนตลอดเวลา เป็นผลให้เกิดผิวสึกหรอในลักษณะค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 13 ด้วยเหตุนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนของการคำนวณจากการใช้เอลิเมนต์ชนิดพิเศษ การประมาณค่าการสึกหรอในระยะยาว จึงเสนอใช้ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาประมาณอัตราการสึกหรอของวัสดุ PEEK (2)

$$P_{av} = \frac{1}{n \cdot V_t} \sum_{i=1}^n P_i V_i \quad (2)$$

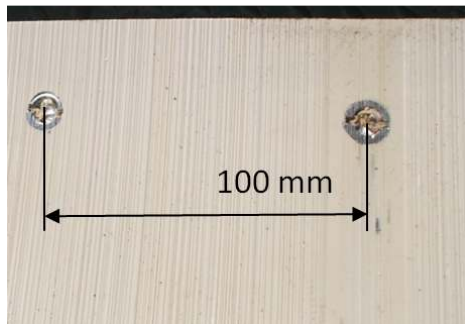
โดย P_{av} คือ แรงดันตั้งฉากผิวสัมผัสเฉลี่ย

V_t คือ ปริมาตรรวมของเอลิเมนต์ที่ผิวสัมผัส

P_i คือ แรงดันตั้งฉากผิวสัมผัสของเอลิเมนต์

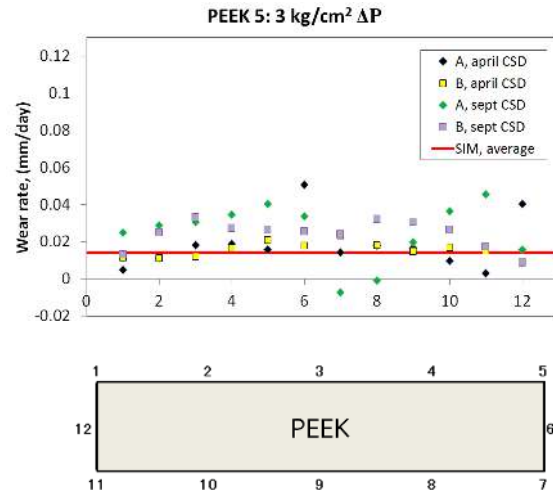
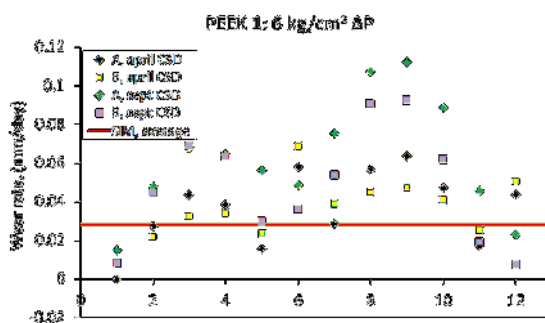
V_i คือ ปริมาตรของเอลิเมนต์

n คือ จำนวนเอลิเมนต์



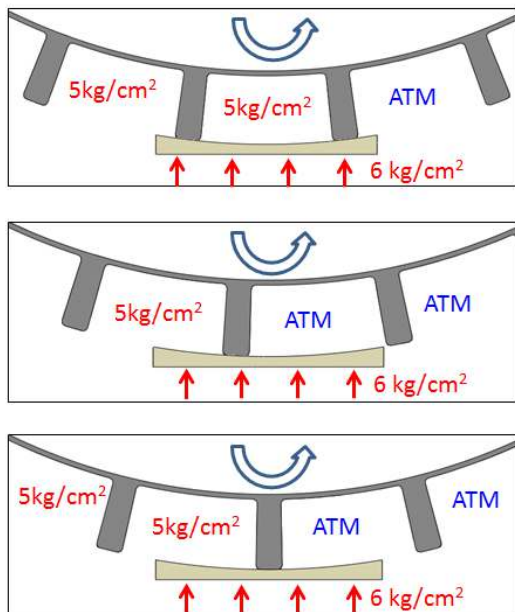
รูปที่ 13 ผิวการสึกหรอจริงในระยะใกล้ของซิล PEEK

จากผลการคำนวณ สามารถประมาณอัตราการสึกหรอเฉลี่ยที่ระดับ 0.0284 mm/day สำหรับซิล PEEK 1 และ 0.0142 mm/day สำหรับซิล PEEK 5 ที่อัตราการหมุนถึงรอบ 54 rpm เมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบซิลที่ได้จากการใช้งานจริงจากบริษัทโอโคซิล (รูปที่ 14) พบว่าผลการประมาณอัตราการสึกหรอที่ได้บนพื้นฐานของสมมติฐานที่ตั้งไว้ (แถบสีแดง) อยู่ในระดับดีสำหรับซิล PEEK 1 และดีมากสำหรับซิล PEEK 5 โดยจะพบได้ว่าอัตราการสึกหรอที่ได้จากการใช้งานจริงมีลักษณะไม่สม่ำเสมอสูง อันเนื่องมาจากความไม่สมมาตรในการติดตั้งที่ไม่ได้นำมาคิดผลกระทบในการคำนวณนี้ตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น



รูปที่ 14 อัตราการสึกหรอเฉลี่ยจากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการวัดจริง

เมื่อพิจารณาโดยละเอียดถึงความดันสัมผัสที่ผิวสัมผัสระหว่างซิลและถึงกรอง พบว่าซิล PEEK 1 และ 5 แท้จริงแล้วเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงความดันผิวสัมผัสที่ซับซ้อนดังแสดงในรูปที่ 15 การคิดผลกระทบที่เกิดขึ้นนี้ ต้องการแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ซับซ้อนมากขึ้น นอกจากนี้เนื่องจากความดันในห้องย่อยของ PEEK 1 สูงกว่า PEEK 5 (5 kg/cm² เทียบกับ 3 kg/cm²) ผลกระทบนี้จึงเด่นชัดมากกว่าที่ PEEK 1 จึงอธิบายได้ว่าทำไมผลการประมาณของ PEEK 1 จึงใกล้เคียงค่าที่วัดได้จริงน้อยกว่า PEEK 5



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงแรงดันผิวสัมผัสแท้จริงที่สัมพันธ์กับการหมุนของถังกรอง

6. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาอัตราการสึกหรอของซีลพอลิอีเทอร์อีเทอร์คีโตน (PEEK) ภายใต้สมมติฐานสำคัญคือเป็นการวิเคราะห์ในขอบเขตสถิตยศาสตร์ ไม่คิดผลกระทบของอุณหภูมิ และ ผลต่างความดันบนซีลแต่ละตัววงที่ตลอดการหมุนของถังกรอง ค่าเฉลี่ยของการสึกหรอเฉพาะจุดถูกนำมาใช้คำนวณอัตราการสึกหรอเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดที่ได้จากวัสดุจริง ผลการทำนายมีความแม่นยำในระดับดีสำหรับซีลตัวที่ 1 และดีมากสำหรับซีลตัวที่ 5

การปรับปรุงผลการประมาณอัตราการสึกหรอมุ่งหวังพัฒนาในสามส่วนหลัก กล่าวคือ คัดผลกระทบของการสึกหรอต่อเนื่องระหว่างการใช้ของถังกรองโดยใช้เอลิเมนต์พิเศษที่สามารถเสียหายได้ ในส่วนที่สอง ปรับปรุงการกำหนดผลต่างแรงดันที่ผิวสัมผัสให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น โดยเพิ่มเติมในส่วนขั้นตอนการคำนวณและในส่วนสุดท้าย ทดลองใช้หรือพัฒนาโมเดลการสึก

หรอที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามวัสดุ PEEK จำเป็นต้องถูกศึกษาวิจัยโดยละเอียด รวมถึงการประลองบนชิ้นทดสอบจริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของโมเดลซับซ้อนที่นำมาประยุกต์ใช้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท อีโคซีล จำกัด ประเทศไทย (ECOSEAL CO.,LTD.) ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติวัสดุ และข้อมูลการสึกหรอที่เกิดขึ้นจริงของซีล PEEK

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] BHS Sonthofen, *RPF Rotary Pressure Filter: High process versatility in filtration technology* URL: <http://www.bhs-sonthofen.de/en/products/filtration-technology/rotary-pressure-filter.html> access on 10/04/2017
- [2] Archard, J.F. (1953). Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*, vol. 24, pp. 981–8.
- [3] Klaus, F. and Alois, K.S. (2008). *Tribology of polymeric nanocomposites*, Elsevier, Amsterdam
- [4] Kenneth, G.B. (2011). Adhesive transfer to abrasive particles in abrasion testing, *Wear*, vol. 271, pp. 1258–1263.
- [5] Aghababaei, R., Warner D.H. and Molinari J.F. (2016). Critical length scale controls adhesive wear mechanisms, *Nature Communications*, vol. 7, article n° 11816.
- [6] Myshkin, N.K., Grigoriev, A.Y., Chizhik, S.A., Choi K.Y. and Petrokovets, M.I. (2003) Surface roughness and texture analysis in microscale, *Wear*, vol. 254, pp. 1001–9.



- [7] Ajay, K.W. and Prasanta S. (2015) Adhesive friction at the contact between rough surfaces using n-point asperity model, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 18, pp. 463-474.
- [8] Chevalier, L., Cloupet, S. and Soize, C. (2005) Probabilistic model for random uncertainties in steady state rolling contact, *Wear*, vol. 258, pp. 1543–54.
- [9] Claudio, R., Avila de silva, Jr. and Giuseppe P. (2007). Uncertainty analysis on the wear coefficient of Archard model, *Tribology International*, vol. 41, pp. 473–481.
- [10] Rong, L. and D.Y. Li. (2001) Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials, *Wear*, vol. 251, pp. 956-964.