แท่งหล่อลื่นบังใบล้อแบบของแข็งสำหรับระบบราง
(Solid lubricant sticks)

นำเสนอโดย นายภาณุ เวทยนุกูล
ทีมวิจัยเทคโนโลยีกระบวนการผลิตวัสดุผง (PMPT)
กลุ่มวิจัยกระบวนการทางวัสดุและการผลิตอัตโนมัติ (MMA)
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ต้นแบบภายใต้โครงการการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนทดแทนสำหรับรถไฟ

นายภาณุ เวทยนุกูล

ดร. อัศสฎาวุฒิ ปาทาคำ

ดร.เรืองเดช ธงศรี (หัวหน้าโครงการ)

นายรุ่งทิพย์ กระต่ายทอง

นายมนภาส มรกฎจินดา

นางนาตยา ต่อแสงธรรม

นายพงษ์ศักดิ์ วิลา

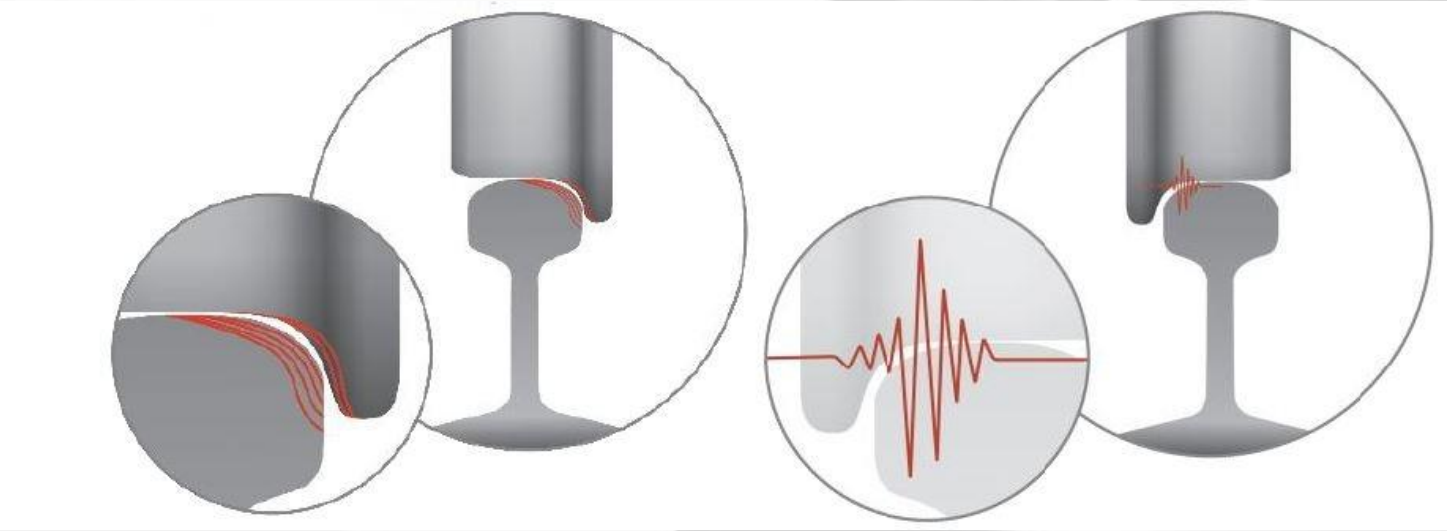
นายยศวัฒน์ เศรษฐกุลสิทธิ์

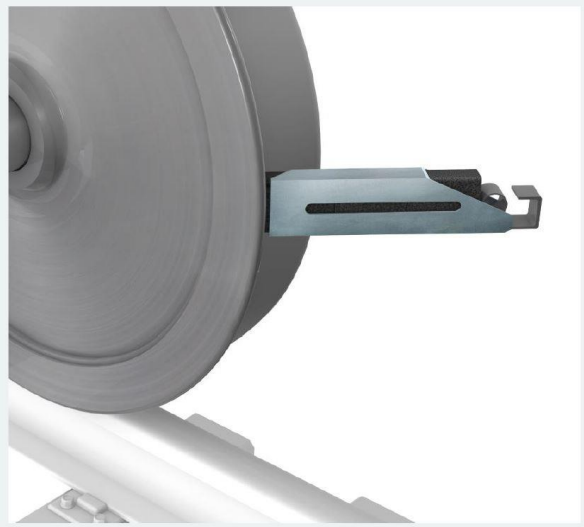
นางธัญพร ยอดแก้ว

Introduction

แท่งหล่อลื่นบังใบล้อเป็นชิ้นส่วนที่มีหน้าที่สำคัญในการหล่อลื่นจุดสัมผัสระหว่างล้อและราง ซึ่งจุดสัมผัสของล้อรถไฟในส่วนเว้าด้านในที่ถูกเรียกว่าบังใบ

บังใบจะเกิดการสัมผัสเสียดสีกับตัวรางด้วยน้ำหนักของตัวรถที่ส่งต่อลงมายังล้อและกดทับลงไปบนรางในขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงหรือในขณะวิ่งและมีการเข้าโค้ง จนก่อให้เกิดแรงเสียดทานและความร้อนที่จุดสัมผัสบริเวณโคนบังใบ ซึ่งแรงเสียดทานดังกล่าวส่งผลให้เกิผลเสียในหลายด้าน เช่น เกิดมลภาวะทางเสียงจากการเสียดสีอันก่อให้เกิดความรำคาญ (Noise) ทำให้ตัวรถต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการขับเคลื่อนมากขึ้น การสึกหรอของล้อและราง (Wheel/Rail Wear) ซึ่งอาจนำไปสู่ความเสียหายที่ส่งผลต่อการใช้งานของล้อและราง เช่น เกิดรอยร้าว และการแตกหักเสียหายขึ้นได้

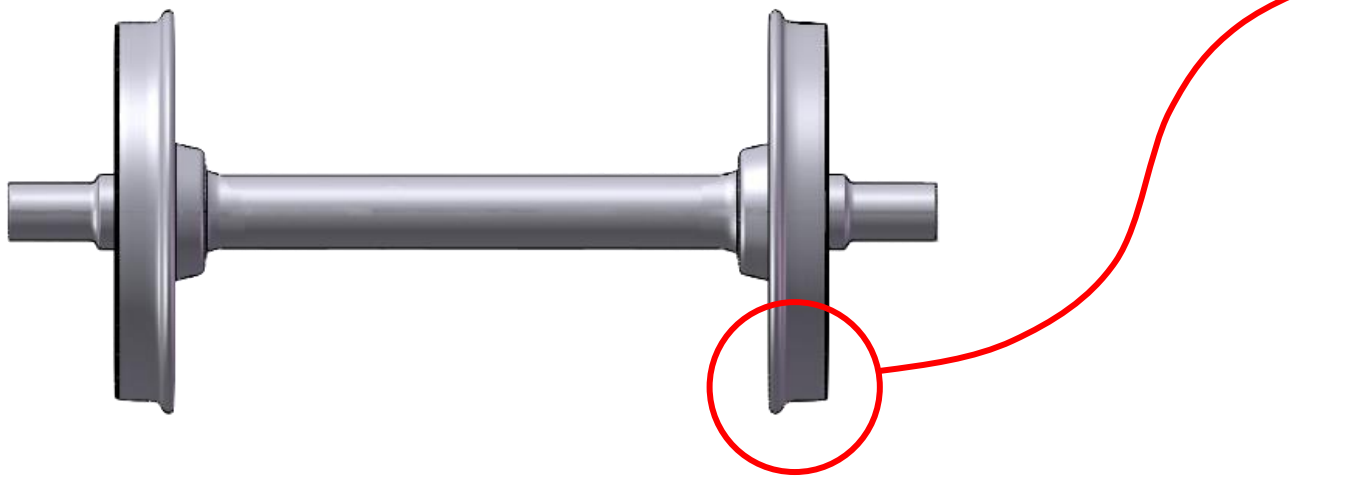


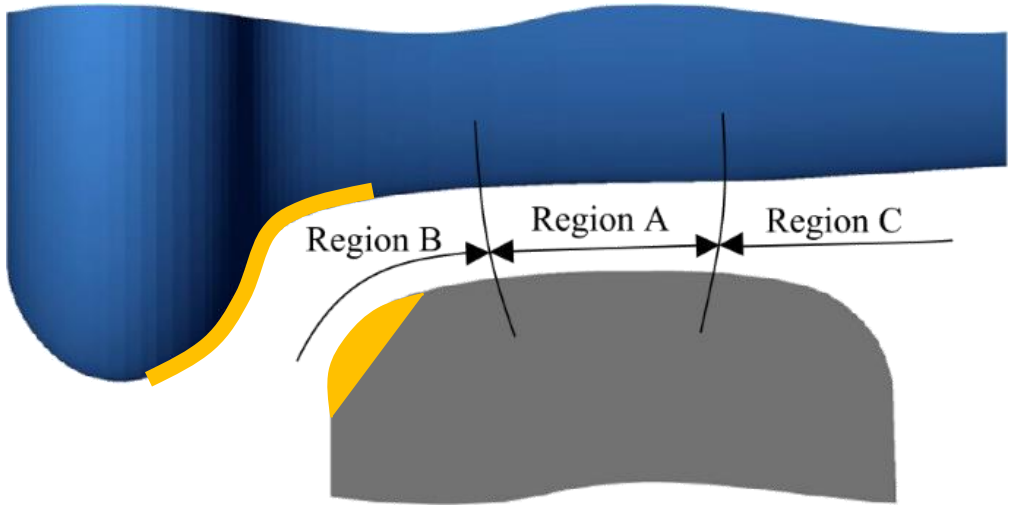


Noise

Wheel/Rail wear

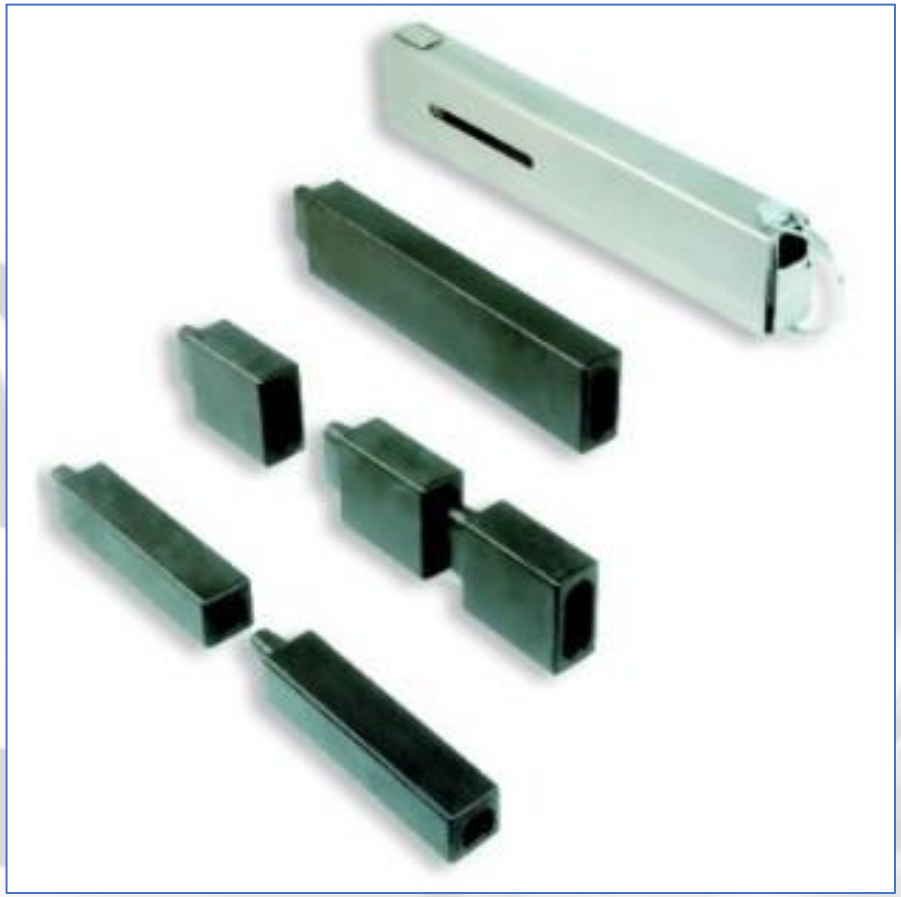
ตำแหน่งบังใบล้อ ซึ่งเกิดการเสียดสีจากแรงกดทับ
และแรงเฉือน โดยเฉพาะเมื่อมีการเข้าโค้ง





ความสำคัญของแท่งหล่อลื่น

- ช่วยหล่อลื่นลดการเสียดสีของล้อและราง
- ช่วยลดการสึกหรอของหน้าแปลน และบังใบล้อ
- ลดการเกิดเสียงขณะรถวิ่ง (noise)
- ลดความเสียหายอันเกิดจากความล้า ของล้อและราง
- ช่วยยืดอายุการใช้งานของล้อและราง



ปัญหาในปัจจุบัน

- เป็นวัสดุสิ้นเปลืองที่นำเข้าจากต่างประเทศ
- ตัวแท่งวัสดุมีปัญหาการเกิดคราบสนิม ทำให้การหล่อลื่น ประสิทธิภาพลดลง
- เมื่อการหล่อลื่นไม่ดีผลทำให้เกิดการสึกหรอของล้อและราง ตามมา
(Flange Wear Rate > 0.3 mm/1,000 km, COF > 0.2)

ลักษณะการสัมผัสบังใบล้อ ของแท่งหล่อลื่น

การติดตั้งขณะใช้งาน และลักษณะการสึกหรอของชิ้นงานแท่งหล่อลื่น

ข้อกำหนดคุณลักษณะ (Features) ของแท่งหล่อลื่น

1. มีสมบัติพื้นฐานของแท่งหล่อลื่นในกลุ่มของแข็งตามมาตรฐานการทดสอบ EN16028
2. มีสมบัติเชิงกลที่เสถียรและทนต่อการขัดสี
3. มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เสถียร (0.1-0.4)
4. เป็นของแข็ง ไม่มีส่วนผสมของน้ำมัน
5. เป็นวัสดุที่ผลิตจากผงวัสดุในกลุ่มหล่อลื่น
6. ไม่ก่อให้เกิดสารปนเปื้อนเข้าสู่ระบบต่างๆ หรือ โครงสร้างต่างๆ ของตัวรถ
7. เป็นวัสดุที่ไม่เกิดการลุกติดไฟ

แนวความคิดในการพัฒนาต้นแบบ
แท่งหล่อลื่นบังใบล้อจากผงแกรไฟต์

เนื่องจากผู้ผลิตในประเทศไทย มีศักยภาพในการผลิตชิ้นส่วนจากวัสดุกลุ่มคาร์บอนและแกรไฟต์ โดยเฉพาะกลุ่มชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ เช่น คาร์บอนบรัช ชิ้นส่วนโครงสร้างแกรไฟต์สำหรับวัสดุทนไฟ ซึ่งหากพิจารณาในเชิงองค์ความรู้ พบว่าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยมี ประสบการณ์และองค์ความรู้ด้านวัสดุและกระบวนการขึ้นรูปในระดับหนึ่งแล้ว ขาดเพียงการต่อยอดและพัฒนาให้ชิ้นงานที่ผลิตอยู่ใน สายการผลิตปัจจุบัน ให้มีสมบัติสอดคล้องกับการใช้งานเป็นวัสดุหล่อลื่น และมีสมบัติพื้นฐานของแท่งหล่อลื่นในกลุ่มของแข็งตามมาตรฐานการทดสอบ ในระดับสากลเทียบเท่าชิ้นงานที่นำเข้าจากต่างประเทศ

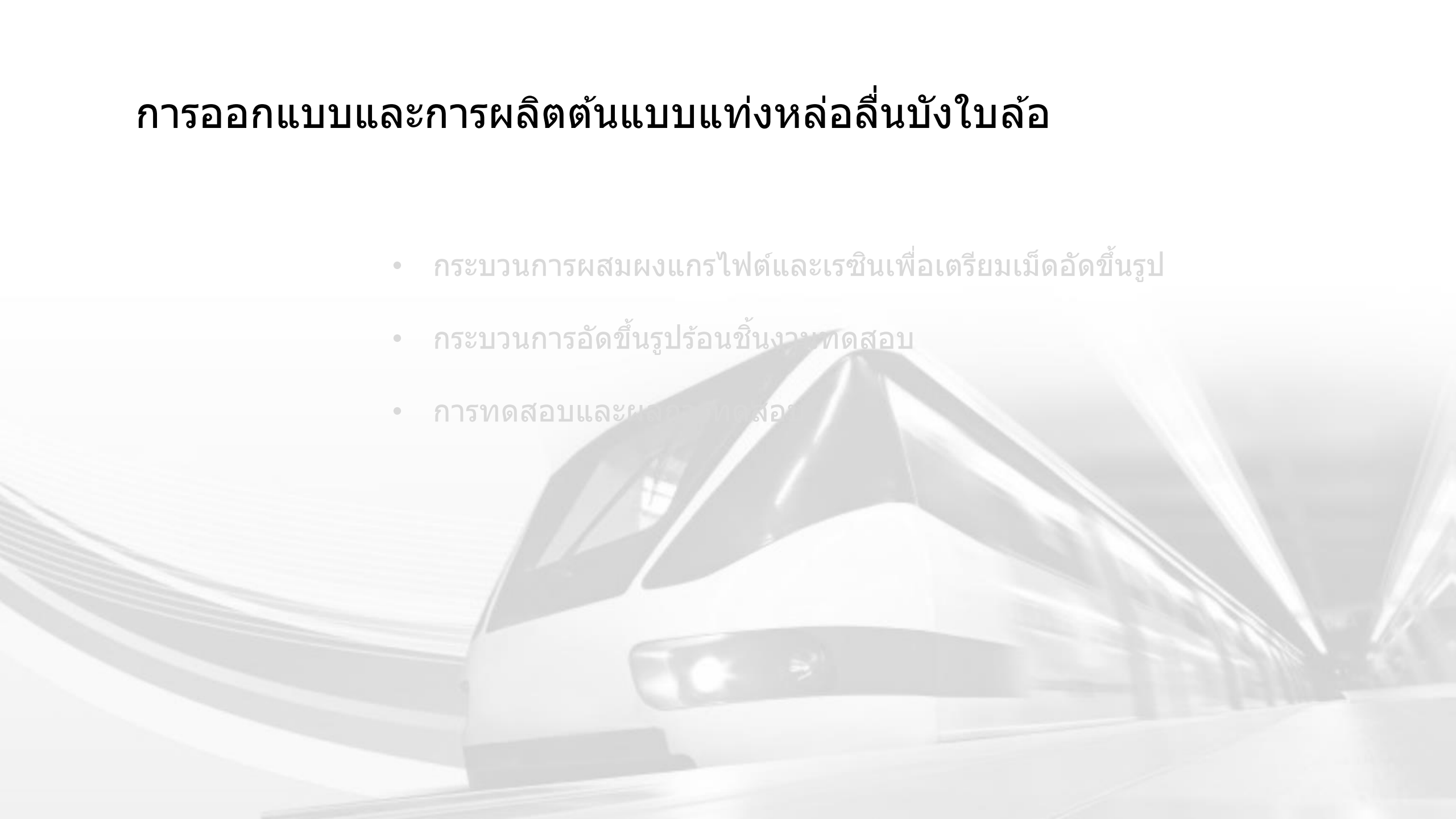
ซึ่งกระบวนการและวัสดุที่เหมาะสมต้องการการวิจัยและพัฒนา การพัฒนาต้นแบบนี้จึงศึกษาผลของปัจจัยการผลิตที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ ทางกล ไทรโบโลยี และ สมบัติอื่นๆตามลักษณะจำเพาะ ซึ่งจะทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ ชิ้นส่วนต้นแบบที่มีสมบัติสอดคล้องกับมาตรฐานสากล อันจะนำไปสู่การสร้างเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนทดแทนสำหรับรถไฟภายในประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

- เพื่อพัฒนาวัสดุแท่งหล่อลื่นแข็งโพลีเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตด้วยวัสดุกลุ่มแกรไฟต์ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน
- เพื่อศึกษาผลของปัจจัยการผลิตที่มีต่อสมบัติ[illegible] และ สมบัติอื่นๆตามลักษณะจำเพาะของแท่งหล่อลื่นบังใบล้อกลุ่มแกร[illegible]
- เพื่อออกแบบ ผลิต และ ทดสอบ ต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการแท่งหล่อลื่นบังใบล้อ จนได้สมบัติที่สอดคล้องกับมาตรฐาน[illegible]EN16028

การออกแบบและการผลิตต้นแบบแท่งหล่อลื่นบังใบล้อ

- กระบวนการผสมผงแกรไฟต์และเรซินเพื่อเตรียมเม็ดอัดขึ้นรูป
- กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนชิ้นงานทดสอบ
- การทดสอบและผลการทดสอบ



กระบวนการผสมผงแกรไฟต์และเรซินเพื่อเตรียมเม็ดอัดขึ้นรูป

ได้เลือกใช้เรซินในเกรดการค้าเป็นเรซินในกลุ่ม ฟีโนลิกอิพอกซีเรซินชนิดมาตรฐาน (Phenolic Epoxy Resin KB-3340H) และ แกรไฟต์ธรรมชาติเกรดการค้า

ในโครงการนี้ได้พัฒนากระบวนการผสมแบบเปียก
โดยใช้วิธีการละลายเรซินในตัวละลายเอทิลแอลกอลฮอล์ ในอัตราส่วน 50/50 โดยปริมาตร
ช่วยให้การผสมสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง และลดการฟุ้งกระจายของผงแกรไฟต์ซึ่งเป็นผงอนุภาคที่มีน้ำหนักเบา

ผสมส่วนผสมด้วยเครื่องผสมแบบใบกวน

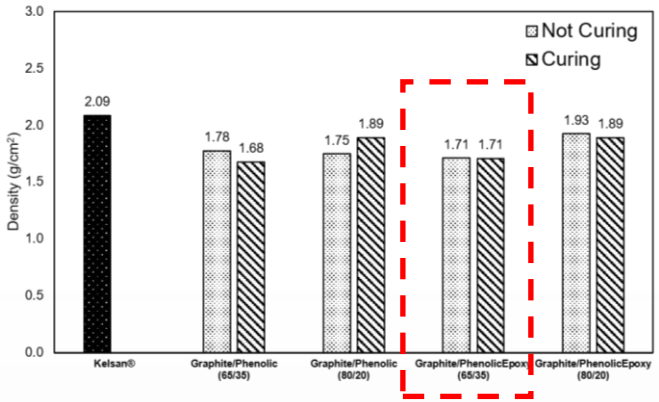
ผสมผงแกรไฟต์และสารปรุงแต่ง (30% โดยน้ำหนัก) กับสารละลายเรซิน ที่อัตราส่วนผง วัสดุต่อเรซิน (65/35) ที่อัตราส่วนต[illegible]ปอร์[illegible]ต์โดยน้ำหนัก ในเครื่องผสมแบบใบกวน ผสม ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จนส่[illegible]ข้า[illegible]อกัน

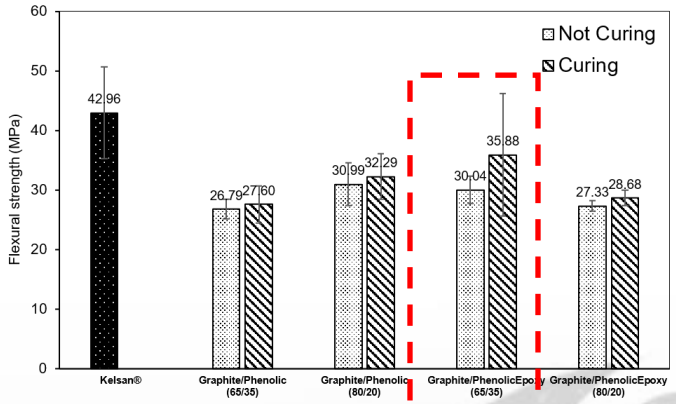
แยกเป็นชิ้นย่อยและอบร้อน

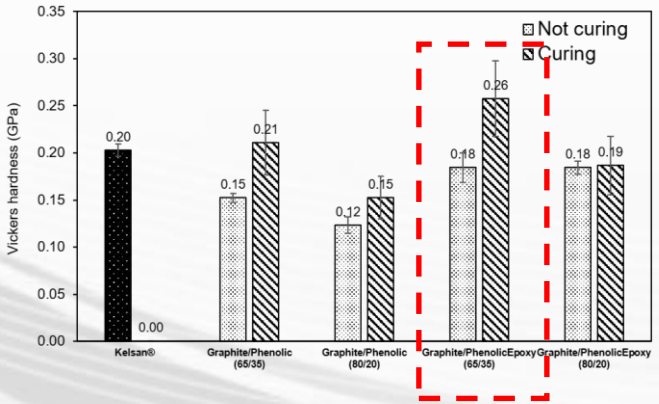
นำส่วนผสมออก[illegible]ชิ้นและ[illegible]และนำไปอบแห้งในตู้อบลม ร้อน จนส่วนผส[illegible]แห้งสนิท

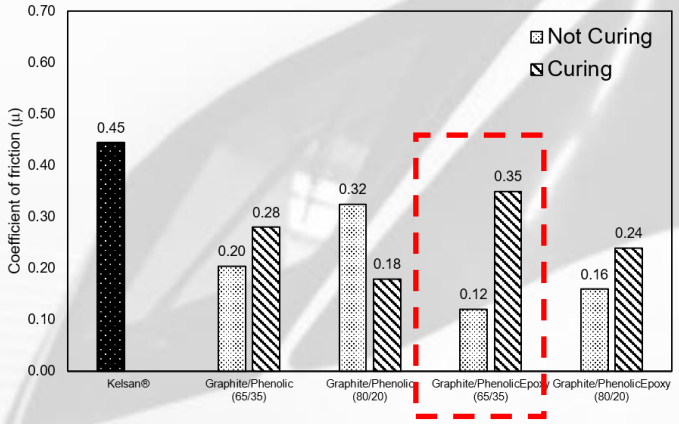
บดย่อยและคัดขนาด

นำส่วนผสม[illegible]ด้วยเครื่องบดอีกครั้งและ[illegible]ตะแกรง จนได้เป็น[illegible] ละเอียดขนาดประมาณ 100-300 ไมครอน เพื่อเตรียมนำมาใช้อัดขึ้นรูปร้อนในขั้นตอน ต่อไป









เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของส่วนผสม ร่วมกับการทดสอบสมบัติของชิ้นงาน พบว่าอัตราส่วน 65:35 ทั้งในแบบส่วนประกอบที่มี Phenolic Resin และ Phenolic Epoxy Resin มีความเหมาะสม

ดังนั้นในการเตรียมชิ้นงานทดสอบจึงเลือกใช้ส่วนผสมในสูตรอัตราส่วน Graphite : Phenolic Epoxy Resin 65:35 มาเป็นส่วนผสมหลักในการเตรียมต้นแบบ

กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนชิ้นงานทดสอบ

ชั่งส่วนผสมสำเร็จรูปที่เตรียมไว้ตามน้ำหนักที่ต้องการ

อัดขึ้นรูปร้อน

อัดส่วนผสมด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนขนาดเล็ก ด้วยแรงดัน 40 บาร์ อุณหภูมิแม่พิมพ์ 180 องศาเซลเซียส

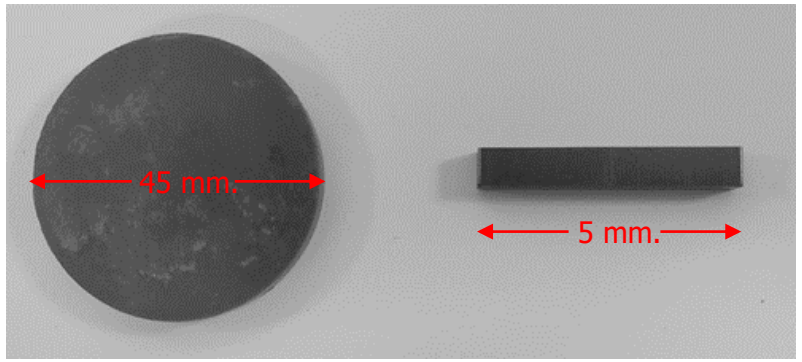
ให้แรงดันและผ่อนแรงเพื่อคลายแก๊ส

คงแรงดันเป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการลดแรงดันเพื่อให้ชิ้นงานคลายแก๊ส จากนั้นทำการอัดซ้ำต่ออีก 3 นาที ทำการปลดแรงดันให้ชิ้นงานคลายแก๊สเป็นครั้งที่ 2 และทำการอัดด้วยแรงดันเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

อบร้อน

นำชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปร้อนแล้วออกจากเครื่องอัดร้อน เพื่อให้เรซินเซ็ทตัว (Curing) โดยสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในเตาอบร้อนเป็นเวลา 30 นาที

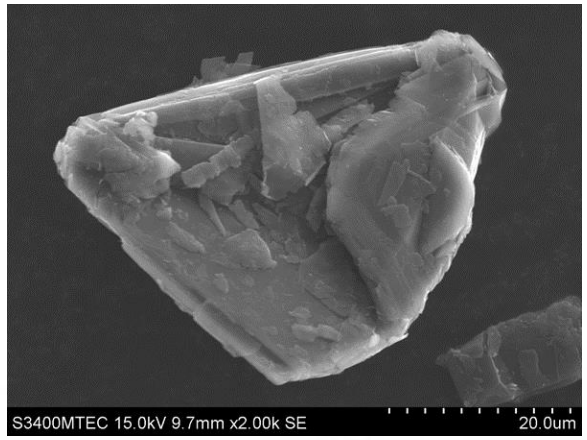
การทดสอบและผลการทดสอบ

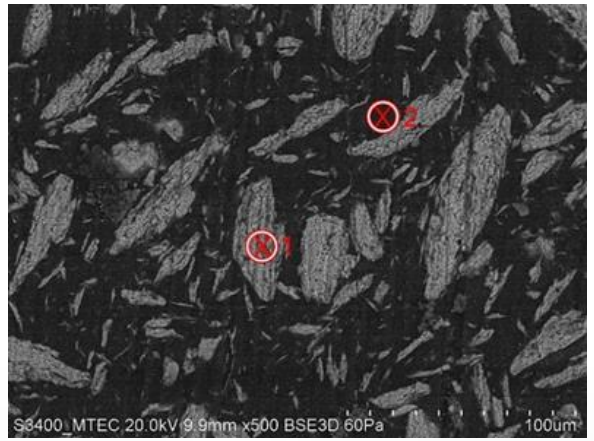


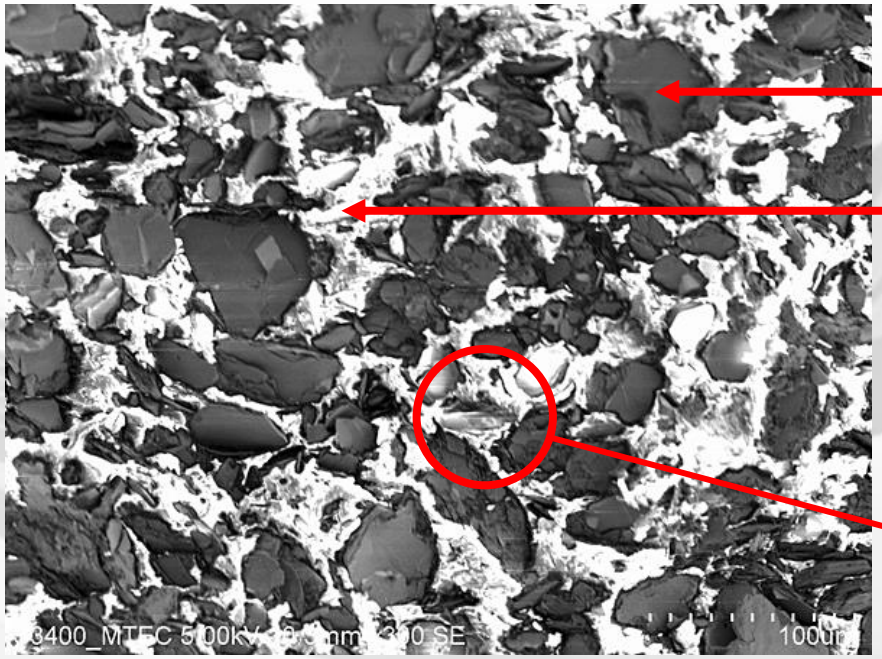
สมบัติของวัสดุแท่งหล่อลื่นที่นำเข้าจากต่างประเทศเทียบกับชิ้นงานต้นแบบกลุ่มแกรไฟต์

Properties	Molybdenum Base Lubricant	Graphite Base Lubricant G/PE (65/35)
Density (g/cm^3)	2.08	1.83
Flexural Strength (MPa)	43.00	43.83
Modulus of Elasticity (GPa)	4.40	5.95
Shore hardness (Shore D)	84.62	73.83
Coefficient of friction (μ)	0.44	0.20
Specific Wear Rate (mm^3/Nm)	0.00076	0.00090

โครงสร้างจุลภาคของเนื้อวัสดุเชิงประกอบ แสดงให้เห็นอนุภาคผงวัสดุหล่อลื่นกระจายในเนื้อเรซินหลังจากผ่านกระบวนขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปร้อน

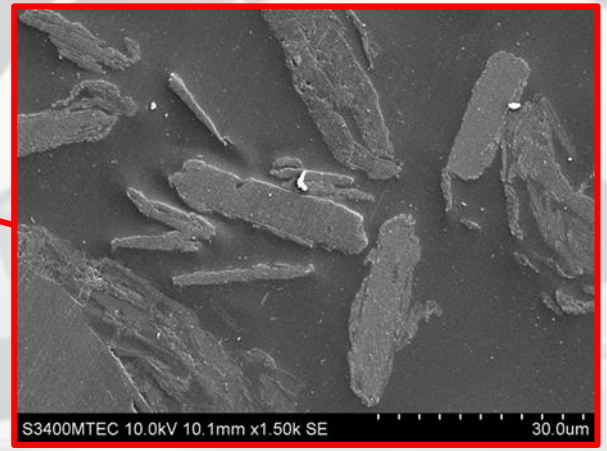




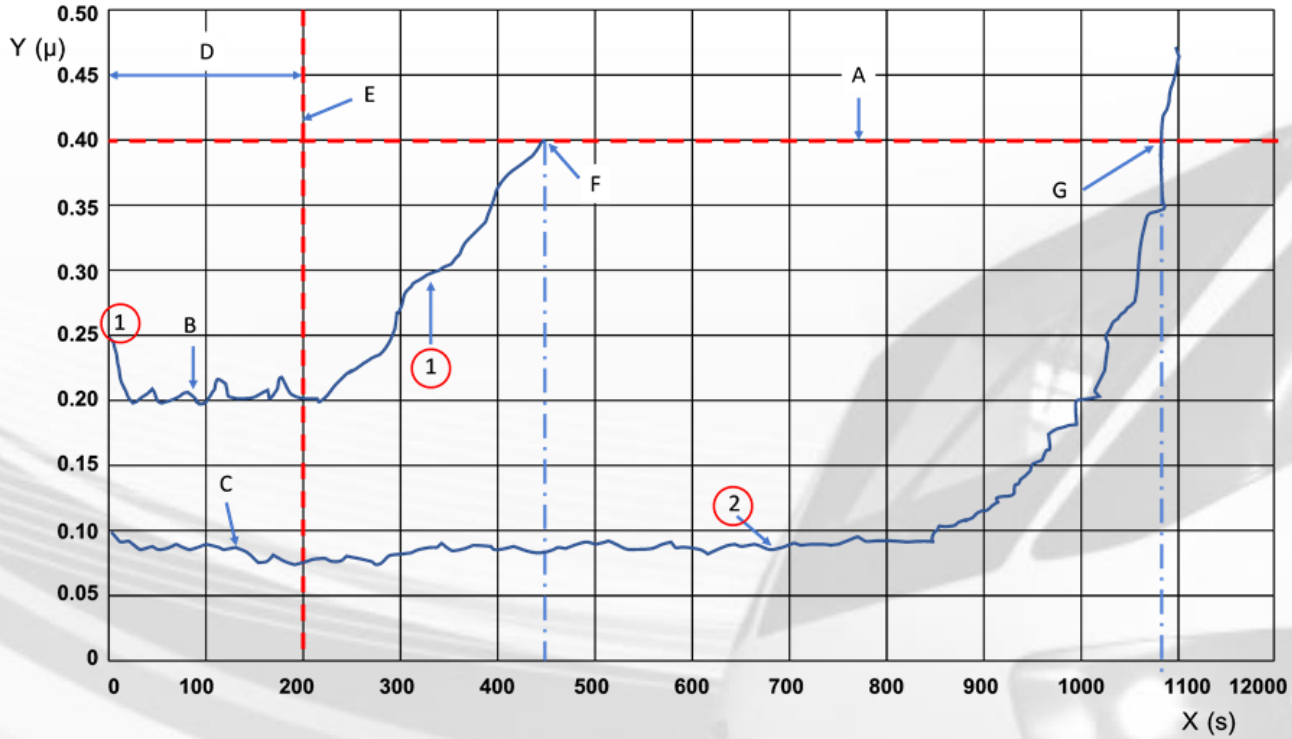


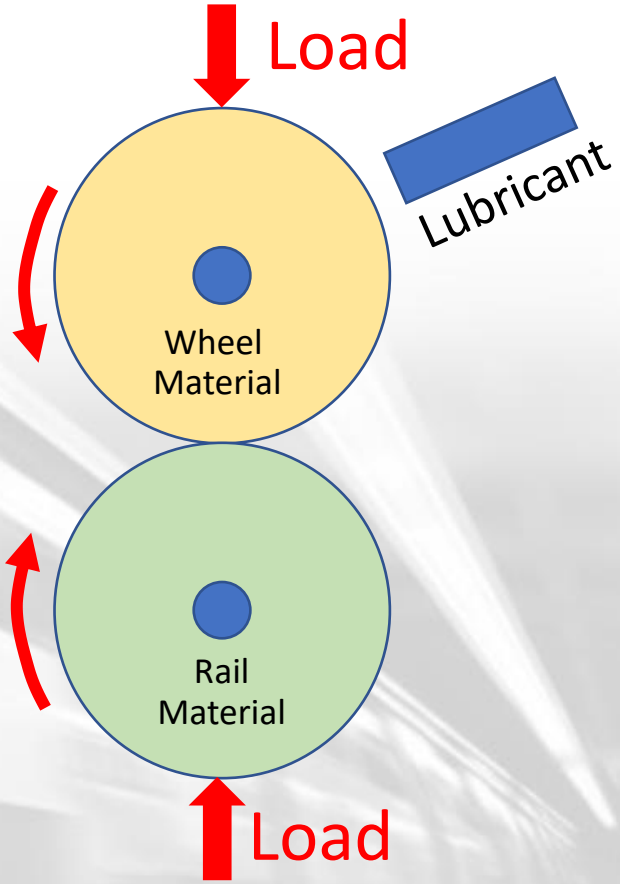
Natural Graphite Powder

Thermosetting Resin

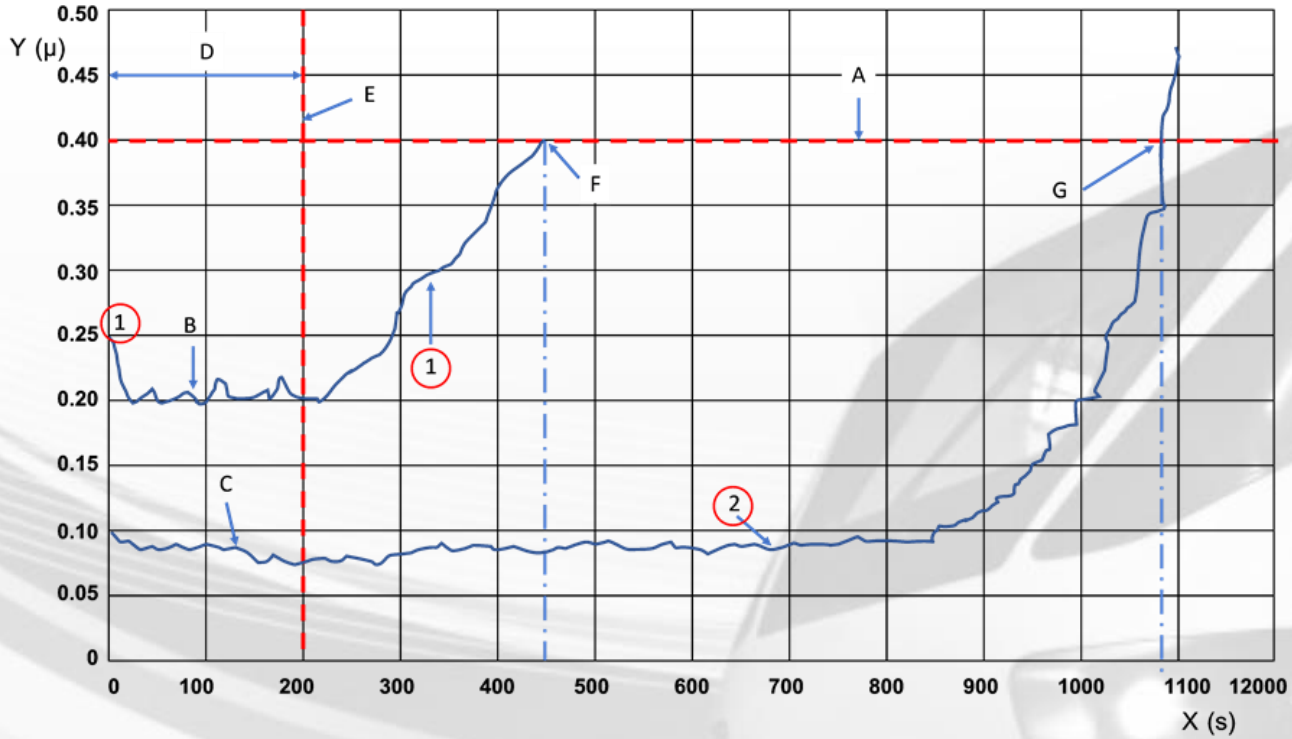


ประสิทธิภาพของแท่งหล่อลื่น ตามมาตรฐานการทดสอบ BS EN 16028:2012, EN 16028:2012 (E) บน twin-disc machine





ประสิทธิภาพของแท่งหล่อลื่น ตามมาตรฐาน BS EN 16028:2012, EN 16028:2012 (E) บน twin-disc machine



หลักการและประสิทธิภาพที่นำมาประกอบในการประเมินคุณภาพผลการทดสอบ

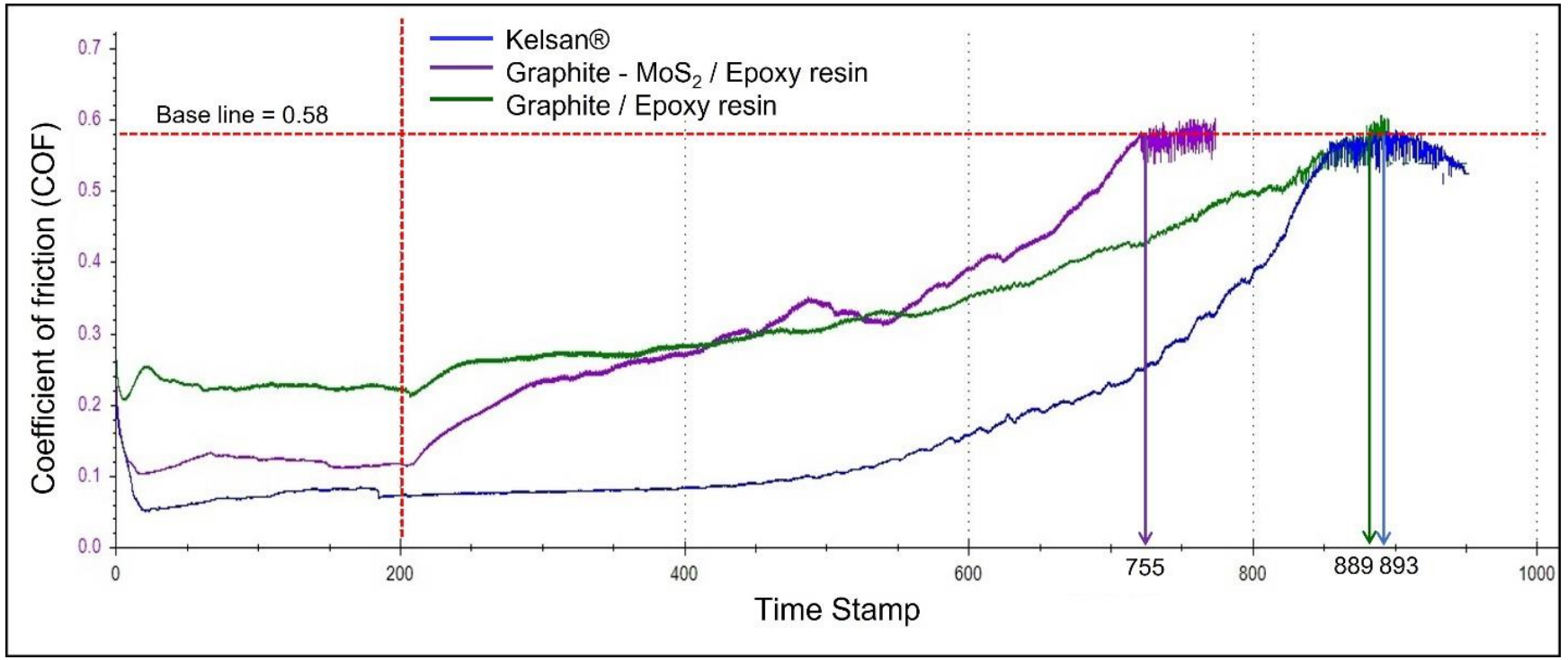
1. เวลาที่ใช้ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงจนถึงค่าคงที่ช้าหรือ เร็ว จะเป็นตัวบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการถ่ายโอนสารหล่อลื่นลงบนจานล้อของเครื่อง twin-disk

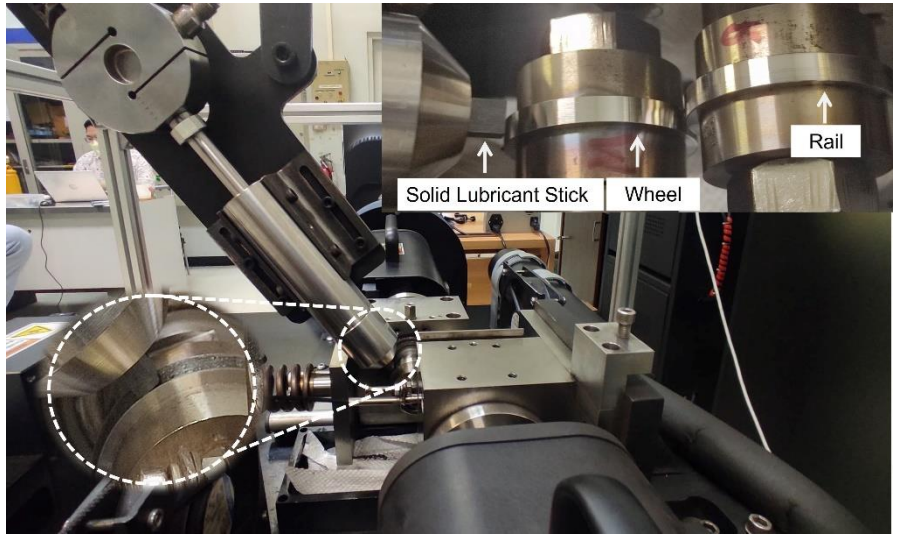
2. [illegible]ชแท่งหล่อลื่นอย่างต่อเนื่องค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน [illegible]ใด ตัวอย่างใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่า ถือ [illegible]นั้นมีประสิทธิภาพในการต้านทานการสึกหรอได้มากกว่า

[illegible]หล่อลื่นออกจาก[illegible]างตัวอย่าง คู่[illegible]สามารถคงความ[illegible]ะยะการหล่อ[illegible]ได้นานกว่า[illegible]สัมประสิทธิ์แรงเสียด[illegible]ต่ำกว่าเส้น baseline ของฟิล์ม[illegible]หล่อลื่นนั้นมีประสิทธิภาพการ[illegible]งานที่ดีกว่า ส่งผลให้ยืด[illegible]ใช้งานของล้อและรางได้ดี

[illegible]ใช้งานยังสามารถวัดได้จากอัตรา[illegible]อีกค่าหนึ่งด้วย

ในตัวอย่าง ในรูปตัวอย่าง B เส้นล่าง ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับตัวอย่าง A





	Molybdenum Base Lubricant (Kelsan)	Graphite Base Lubricant G/PE (65/35)
สัมประสิทธิแรงเสียดทานระหว่างล้อรถไฟกับรางรถไฟเมื่อหล่อลื่นด้วยแท่งหล่อลื่น	0.08	0.12
ระยะเวลาเข้าถึงเส้น **baseline CoF** หลังจากนำแท่งหล่อลื่นออก (วินาที)	893	889

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการหล่อลื่นของชิ้นงานแท่งหล่อลื่นด้วยเครื่อง Twin disk
ด้วยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน EN 16028:2012

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างคู่สัมผัส ล้อและราง เมื่อไม่มีวัสดุหล่อลื่น มีค่า 0.58 ในการทดสอบนี้ใช้เป็นค่า Baseline

ต้นแบบจากต่างประเทศให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของคู่สัมผัส 0.08 ในขณะที่ชิ้นงานต้นแบบแกรไฟต์ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของคู่สัมผัส 0.12 ซึ่งให้ผลด้านการหล่อลื่นที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

ต้นแบบจากต่างประเทศเข้าถึงเส้น baseline CoF ที่เวลาเฉลี่ย 893 วินาที ในขณะที่ชิ้นงานต้นแบบเข้าสู่ baseline CoF ที่เวลาเฉลี่ย 889 วินาที ซึ่งถือได้ว่ามีความสามารถในการสร้างฟิล์มหล่อลื่นใกล้เคียงกัน

จึงสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานต้นแบบมีความสามารถในการ[illegible]ระดับเดียวกัน โดยสร้างฟิล์มที่มีผิวลื่นช่วยลดการขัดสีของคู่สัมผัส ในขณะที่ความสามารถในการยึดเกาะของฟิล์ม[illegible]ต่างประเทศ

ข้อสรุปเกี่ยวกับสมรรถภาพของต้นแบบ

1. ต้นแบบแท่งหล่อลื่นบังใบล้อ สามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน ด้วยส่วนผสมผงแกรไฟต์เป็นเนื้อวัสดุหล่อลื่นหลัก ผงโมลิบดินัมไดซัลไฟด์เป็นวัสดุเสริมค่าความแข็ง และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และฟีโนลิกเรซินเป็นตัวประสานโพลิเมอร์ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเนื้อวัสดุ ในอัตราส่วน ผงวัสดุต่อเรซิน 65/35 เปอเซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. ชิ้นงานที่ต้นแบบมีความแข็งแรงในด้านการต้านทานการดัดงอ (Bending Strength) และความเหนียว (Modulus of Elasticity) ที่สูงกว่าชิ้นงานที่นำเข้าจากต่างประเทศ ในขณะที่มีความแข็งที่ผิว (Hardness) และอัตราการสึกหรอ (Wear Rate) ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

3. ชิ้นงานต้นแบบมีความสามารถในการหล่อลื่นที่ดี [illegible] ช่วยลดการขัดสีของคู่สัมผัสที่ดีกว่า ในขณะที่ความสามารถในการยึดเกาะของฟิล์มหล่อลื่น[illegible]จากต่างประเทศ

ทั้งนี้เมื่อสามารถพัฒนาสูตร[illegible]โดยก[illegible] กระบวนการขึ้นรูปและสูตรเนื้อวัสดุ ไป[illegible] แม่พิมพ์ และใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนที่[illegible] จริงโดยการติดตั้งเข้ากับบังใบล้อรถ[illegible] ผลเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพานิชย์ได้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการวิจัย

จากโปรแกรมเทคโนโลยีระบบขนส่งทางราง งานกระตุ้นการวิจัยและพัฒนาภาคเอกชน (RDI)

การสนับสนุนการวิจัยจากศูนย์วิจัยเทคโนโลยีระบบรางและการขนส่งสมัยใหม่
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
และการสนับสนุนข้อมูลและวัตถุดิบจากบริษัท ไทยคาร์บอนแอนด์กราไฟต์