

5ER-O27: การศึกษาแนวทางการทดลองการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน ในสายลึงของรถไฟฟ้า

A study of the experimental guidelines for the wear of carbon strips
of pantograph

มนทกานต์ วูดเลย์จูเนียร์¹ และ ชัชรินทร์ ศักดิ์กำปัง^{1*}

Monthakarn Woodleyjunior¹ and Chatcharin Sakkampung^{1*}

บทคัดย่อ

รถไฟฟ้ามีองค์ประกอบหลักเพื่อใช้รับกระแสไฟฟ้าคือสายลึงและสายลึงไฟฟ้า โดยมีหน้าที่สัมผัสกันทำให้เกิดการอาร์ค ซึ่งในส่วนนี้ของสายลึงจะมีแปรงถ่านคาร์บอนที่จะสัมผัสกับสายลึงไฟฟ้าโดยตรง ทั้งนี้จะทำให้เกิดการเสียดสีด้วยความเร็วของรถไฟฟ้า เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแรงสัมผัสแบบไดนามิก อย่างไรก็ตามสิ่งที่ทำให้เกิดผลกระทบอย่างมากต่อแปรงถ่านคาร์บอนและเป็นปัจจัยก่อให้เกิดการสึกหรอได้ ในบทความวิจัยนี้ได้รวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบและปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนและหาแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหา โดยการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนจะมีผลกระทบอย่างมากเนื่องจาก แรงเสียดทาน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า ค่าความถี่ การสั่นสะเทือนทางกล แรงกด ความเร็ว ระยะเวลา และค่าคุณสมบัติของวัสดุ จากการศึกษานี้สามารถนำผลลัพธ์เพื่อการพัฒนาคุณสมบัติของตัววัสดุหรือการทำนายระยะเวลาการทำงานของแปรงถ่านคาร์บอนและแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าในส่วนวางแผนการซ่อมบำรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: รถไฟฟ้า สายลึงไฟฟ้า การสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน แรงสัมผัสแบบไดนามิก

Abstract

Railway has major components to receive electricity is a pantograph and catenary. With the function of touching each other causing the arc pantograph part has carbon strip that are in direct contact with the catenary. This will cause friction with the speed of the railway. Also known as the dynamic force. However, this can have a large impact on the carbon strip and can cause wear and tear. In this research paper, reviews on the effects and factors that cause carbon brush wear and tear and find solutions for problem analysis. Carbon strip wear is greatly affected by friction, temperature, electric current, mechanical vibration, frequency, pressure, speed railway, duration, and material properties. From the experiments and research in this paper, the results can be used to improve material properties or to predict the working duration of carbon strip and to solve immediate problems in the maintenance planning section for a sustainable life extension.

Keywords: Railway, pantograph, catenary, carbon strip, can cause wear dynamic force

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, KhonKhan Campus

* Corresponding author. E-mail: chatcharin_pookie@hotmail.com

บทนำ

รถไฟจะรับกระแสไฟฟ้าจากสายล่ำเลียงไฟฟ้าที่อยู่เหนือศีรษะ(Overhead Contact Wire) โดยใช้สาลี่ (Pantograph) และส่งกระแสไฟฟ้าเข้าไปขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) ของหม้อแปลงลากจูง (Traction Transformer) ที่ติดตั้งไว้ในตัวรถไฟ ไฟฟ้าแรงแม่เหล็กที่ไหลในแกนเหล็กของหม้อแปลงจะเหนี่ยวนำให้มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง และส่งกำลังต่อไปยังมอเตอร์ลากจูง (Traction Motors) ผ่านชุดวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) และวงจรอินเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ลากจูงในระดับต่อไปในขณะที่รถไฟวิ่งบนรางด้วยความเร็วสูงนั้นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากสายล่ำเลียงไฟฟ้าเหนือศีรษะมายังขบวนรถไฟนั้นคือสาลี่ ซึ่งจะต้องออกแบบให้หน้าสัมผัสของสาลี่ (Collector Head) นั้นสามารถรับกระแสไฟฟ้าสูงประมาณ (150A) และแรงดันไฟฟ้าที่สูง (25kV) ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงโดยไม่เกิดการอาร์ค

สาลี่จะมีหน้าสัมผัสที่รับกระแสไฟฟ้าโดยเสียดสีกับสายล่ำเลียงไฟฟ้านั้นก็คือ แปรงถ่านคาร์บอน เป็นวัสดุที่หยาบและมีลักษณะความแข็งแรงเชิงกลสูงและความต้านทานต่ำส่วนใหญ่จะมีฟิล์มหล่อลื่นบนพื้นผิวเพื่อลดแรงเสียดทานและแปรงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์จะเป็นแปรงถ่านที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการรับแรงเสียดทานด้วยความเร็วได้ดีและมีคุณสมบัติต้านทานการสึกหรอและทำให้เกิดการอาร์คน้อยที่สุดซึ่งหน้าที่ที่แปรงถ่านคาร์บอนจะรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากแหล่งจ่าย และจ่ายผ่านไปยังเครื่องเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า (commutator) ทำให้ตัวแปรงถ่านนั้นเกิดการเสียดสีด้วยความเร็วของรถไฟการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนนั้นเนื่องจากแรงสัมผัสแบบไดนามิก การอาร์คซึ่งแรงจากการเสียดสีของแปรงถ่านคาร์บอนกับสายล่ำเลียงไฟฟ้าสัมผัสกันเพื่อรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าและอีกหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน เช่น การเสียดสีและการทอดแรงสัมผัสระหว่างวัสดุสองวัสดุซึ่งมีค่าคุณสมบัติที่ต่างกัน การคายความร้อนที่ต่างกันและหน้าที่ของวัสดุที่แตกต่างกัน จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการทดสอบเรื่องการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน

การแก้ไขปัญหาเพื่อยืดอายุการหรือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของแปรงถ่านคาร์บอนนั้นผู้วิจัยท่านได้ทดสอบด้วยการนำคาร์บอนผสมทองแดงในอัตราส่วนต่างหรือหยาบเคลือบผิวซึ่งมีคุณสมบัติลดแรงเสียดทานและแรงสัมผัสทางไดนามิก ทนความร้อนเนื่องจากการอาร์คของสองวัสดุคือแปรงถ่านคาร์บอนกับสายล่ำเลียงไฟฟ้า

2 ประเภทของวัสดุแปรงถ่านคาร์บอน

ประเภทของแปรงถ่านคาร์บอนที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอ

2.1 แปรงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์และสายล่ำเลียงไฟฟ้าซึ่งจะมีคุณสมบัติดังนี้

Table 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของแปรงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ จากบทความ: Y.Y. Zhang et al, (2018)

material	Density $kg.m^{-3}$	Elasticity Modulus GPa	Electrical Resistivity $\mu\Omega.m$	Bending strength MPa	Hardness
Pure carbon	1.68	98.7	< 40	> 25	65 HS

ซึ่งส่วนใหญ่จะมีคุณสมบัติทางเคมี (wt%) ส่วนใหญ่ ได้แก่ 91.9% C ,7.72% O และ 0.38% S

Table 2.2 องค์ประกอบทางเคมีและเศษส่วนมวลที่ผสมในสายล่ำเลียงไฟฟ้า QCr0.5 จากบทความ: Y.Y. Zhang et al, (2018)

Composition	Pb	Zn	Fe	Sn	S	Si	Ni	Cr	Cu
QCr0.5	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002	0.005	0.5	Bal.

2.2 แปรงถ่านคาร์บอนที่ผสมและสายล่ำเลียงไฟฟ้า

Table 2.3 คุณสมบัติทางเคมีของแปรงถ่านคาร์บอนและสายล่ำเลียงไฟฟ้า (wt%) จากบทความ: T. Ding et al (2011)

Frictional couple	Main element	Balance element
Pin sample	C 84.5%, O 10.2%	S
Disc sample	Cu 99.99%	O

คุณสมบัติของแปรงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์นั้นจะมี % C มากกว่า 90% และในส่วนของแปรงถ่านคาร์บอนผสมจะมี % C น้อยกว่า 90% วัสดุของสายล่ำเลียงไฟฟ้าที่นำมาทดสอบจะมีอยู่สองประเภทคือ QCr0.5 และ Cu 99 % ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับผู้วิจัยที่นำมาทดสอบ

3 การทดสอบการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน การสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยคือ

1. กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการอาร์ค
2. อุณหภูมิของแปรงถ่านที่เกิดการอาร์ค
3. แรงสัมผัสทางไดนามิก

ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมานี้ส่งผลให้แปรงถ่านคาร์บอนเกิดการสึกหรอทางกลเกิดและจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานได้ จึงได้ทำการสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอรวมไปถึงการทดสอบสัทธิภาพให้รูปแบบต่างๆ

การทดสอบการสึกหรอนั้น เครื่องทดสอบซึ่งจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแบบใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย 3.1 เครื่องทดสอบการสึกหรอโดยใช้ Pin-On-Disc

เครื่อง Pin-On-Disc จะมีเป็นแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นวัสดุและคุณสมบัติทางเคมีจะเหมือนสายล่อไฟฟ้าและจะติดตั้งกับตัวมอเตอร์โดยควบคุมความเร็วรอบที่ต้องการได้ และมีคลิปยึดแปรงถ่านคาร์บอนคาร์บอน ซึ่งจะติดตั้งด้วยตัวอุปกรณ์ตัวสร้างแรงกดหรือติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆให้เข้ากับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัยหลักการทำงานของเครื่อง Pin-On-Disc โดยให้สร้างแรงกดให้แปรงถ่านคาร์บอนที่ติดตั้งคลิปยึดไปเสียดกับตัวดิสก์ที่หมุนด้วยความเร็ว ที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้เป็นต้น

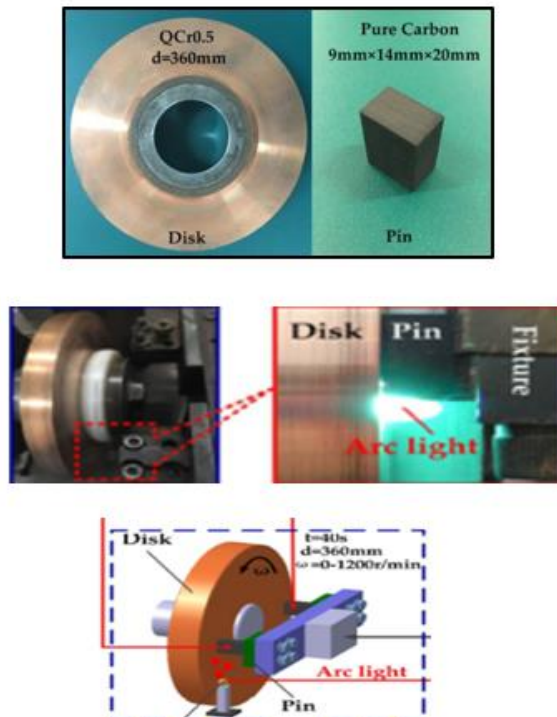


Figure 3.1 เครื่อง Pin-On-Disc T. Ding et al, (2011)

3.1.1 ตัวอย่างการทดสอบการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนโดยใช้เครื่องเครื่อง Pin-On-Disc

1. Yanyan Zhang et al, (2018) การปล่อยอาร์คของแปรงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ที่ได้รับผลกระทบจากแรงสัมผัสแบบไดนามิกในระหว่างการทำงาน ในการทดสอบของผู้วิจัยท่านนี้จะกล่าวถึง แรงที่สัมผัสโดยกำหนดแรงกดและความเร็วที่แผ่นดิสก์หมุนรวมไปถึงการกำหนดกระแสไฟฟ้าให้แก่ตัวแปรงถ่านคาร์บอน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าทำให้เกิดการอาร์ค ในงานวิจัยนี้จะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆเช่น แรงสัมผัสทางไดนามิกกับเวลา, ความเร็วกับร้อยละของการอาร์ค, ความถี่และวิธีการ SEM เพื่อดูการสึกหรอของพื้นผิวแปรงถ่านคาร์บอน

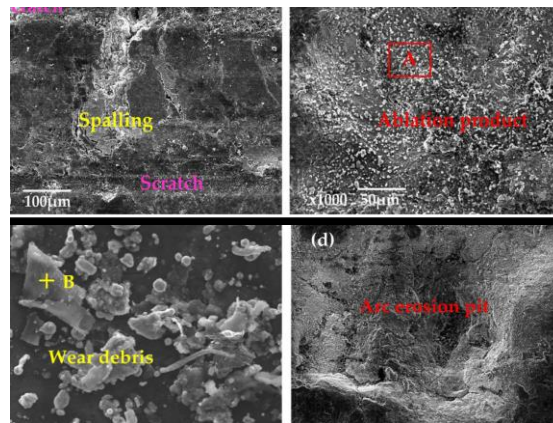


Figure 3.2 พื้นผิวที่สึกหรอของอิเล็กโทรดการเกิดรอยละการอาร์ค Yanyan Zhang et al, (2018)

SEM คือการใช้ลำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งถ่ายภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการการกระเด็นไปบนพื้นผิวของตัวแปรผ่านคาร์บอนเพื่อสังเกตความเสียหายเนื่องจากการอาร์ค จากการศึกษาพบว่า รอยละการอาร์คด้วยแรงสัมผัสทางไดนามิกยังมีความเร็วและแรงกดมากเท่าไรยิ่งเกิดการอาร์คมากเท่านั้นรวมไปถึงการสึกหรอและการรับกระแสไฟฟ้าลดลงซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติของแปรผ่านคาร์บอนนั้นลดลงตามไปด้วย จากรูปที่ 3.2 นั้นจะสังเกตว่าการอาร์คนั้นส่งผลอย่างไรต่อแปรผ่านคาร์บอน

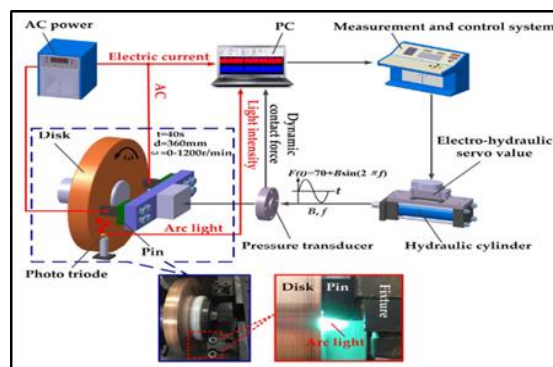


Figure 3.3 เครื่องทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆ T. Ding et al, (2011)

2. T. Ding et al, (2011) ผลของอุณหภูมิและการปล่อยอาร์คต่อความเสียหายและพฤติกรรมการสึกหรอของหน้าสัมผัสของแปรผ่านคาร์บอนของสาลีและสายล่อเสียงไฟฟ้า ในการทดสอบหัวข้อวิจัยนี้ หลักการทำงานคือสร้างแรงสัมผัสทางไดนามิก โดยกำหนดแรงกดและความเร็วเป็นพื้นฐานและกำหนดกระแสไฟฟ้าให้แก่ตัวแปรผ่านคาร์บอน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าทำให้เกิดการอาร์คโดยมีระยะทางมาเกี่ยวข้อง แต่ที่เพิ่มมาในระบบนี้มีวัดอุณหภูมิโดยให้อากาศผ่านแปรผ่านคาร์บอนระหว่างกับทำงาน เพื่อที่จะทดสอบว่าอุณหภูมิเป็นเช่นไรกับแปรผ่านคาร์บอนในขณะที่เกิดการอาร์ค ในงานวิจัยนี้จะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ เช่น เวลากับอุณหภูมิ, อุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้า, อุณหภูมิกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, อุณหภูมิกับการสึกหรอของแปรผ่านคาร์บอน, กระแสไฟฟ้ากับการสึกหรอของแปรผ่านคาร์บอน และ SEM เพื่อดูการสึกหรอของพื้นผิวแปรผ่านคาร์บอน

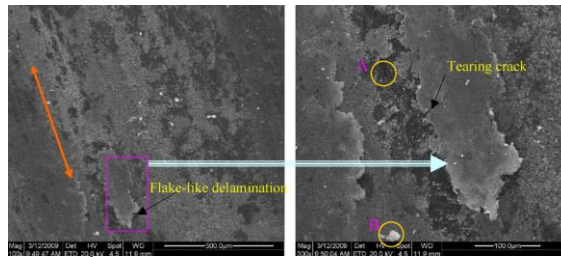


Figure 3.4a SEM พื้นผิวของแปรงถ่านคาร์บอนที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง

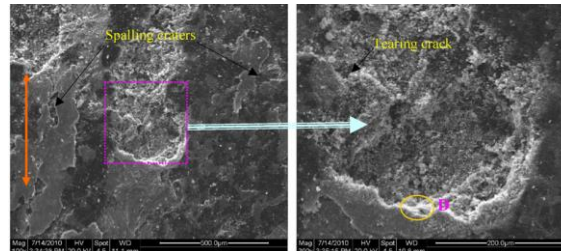


Figure 3.4b พื้นผิวของแปรงถ่านคาร์บอนที่มีกระแสไฟฟ้า 30 A และอุณหภูมิ 220 °C

การ SEM เพื่อสังเกตความเสียหายของแปรงถ่านคาร์บอน จะเห็นได้ว่าที่ รูป 3.4a แรงสัมผัสทางไดนามิกเพียงอย่างเดียวโดยที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าหรือการอาร์คจะพบว่าความเสียหายนั้นจะมีร่องรอยการการสึกหรอเป็นจำนวนมาก จะเห็นได้ชัดจนกว่ามีการหลุดลอกคล้ายลักษณะเกล็ดที่ฉีกขาดเป็นผลมาจากการยึดเกาะของวัสดุและการหลุดร่อนอย่างรุนแรงที่เกิดจากความร้อนเสียตทาน รูปที่ 3.2b จะพบได้ว่าการสึกหรออย่างรุนแรงที่ผิวของแปรงถ่านคาร์บอนลักษณะคล้ายๆ หลุมหลุมอุกกาบาตนั้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิและการอาร์คเมื่อวัสดุเริ่มหลอมละลายเข้าเป็นส่วนเดียวกันทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากการรวมตัวการระเหยของการอาร์คที่อุณหภูมิสูง

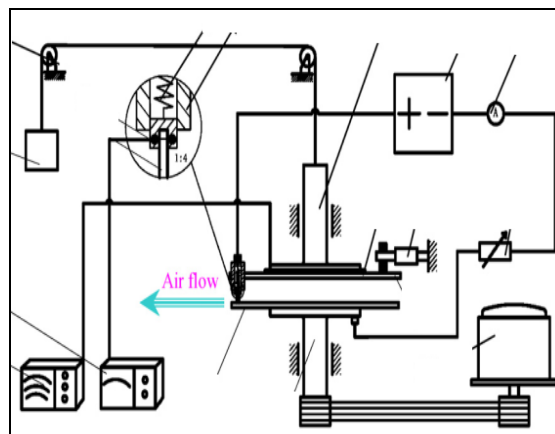


Figure 3.5 เครื่องทดสอบแรงเสียดทานและการสึกหรอภายใต้กระแสไฟฟ้า Y.Y. Zhang et al, (2018)

3. Y.Y. Zhang et al, (2018) คุณสมบัติไดรฟ์ของแปรงถ่านคาร์บอนบริสุทธิ์ที่ได้รับผลกระทบจากแรงสัมผัสทางไดนามิกระหว่างการทำงานที่มีกระแสไฟฟ้า เป็นการทดสอบแปรงถ่านคาร์บอนโดยศึกษาจากคุณสมบัติไดรฟ์ไดรฟ์ ไดรฟ์หมายถึงคุณสมบัติทางด้านแรงเสียดทาน ความหล่อลื่น และการสึกหรอของวัสดุ เพื่อการทดสอบคุณสมบัติของแปรงถ่านคาร์บอนนั้นทนต่อแรงเสียดเมื่อมีแรงสัมผัสทางไดนามิก วัสดุนั้นมีค่าการหล่อลื่นมากน้อยเพียงใดและวัสดุนั้นมีค่าทนการสึกหรอได้มากหรือน้อยโดยมีกระแสไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ในการทดสอบนี้ผู้วิจัย

ทดลองเพื่อหา แรงสัมผัสทางไดนามิกแต่การเคลื่อนที่, ค่าโวลต์ต่อการอาร์ค, ความเร็วต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, ค่าแอมพลิจูดต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และค่าความถี่ต่อสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ซึ่งจะมีการสังเกตพื้นผิวแบบ 3 มิติ เพื่อได้รู้การกระทำของแต่ละการทดสอบส่งผลอย่างไรต่อแปรงถ่านคาร์บอน

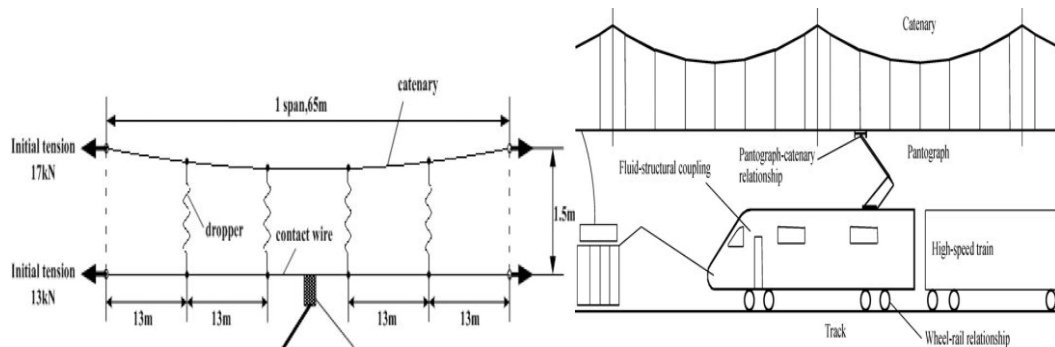


Figure 3.6 ลักษณะของสายลําเลียงไฟฟ้าและตำแหน่งของค่าแอมพลิจูด Y.Y. Zhang et al, (2010)

ค่าแอมพลิจูด หมายถึง ตำแหน่งสายลําเลียงไฟฟ้าเป็นลักษณะเส้นโค้งจุดที่เรียกว่าแอมพลิจูดนั้นจะติดตั้งที่สายหยอนลงมาเรียกว่า (dropper) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างสายลําเลียงไฟฟ้าและสายที่สัมผัสกับแปรงถ่านคาร์บอนที่ยึดติดอยู่กับสาลี่ ครอบเปอร้อยู่ในตำแหน่งไหนของสายไฟฟ้านั้นเรียกว่าตำแหน่งของแอมพลิจูดซึ่งค่าการหยอนโค้งของสายลําเลียงไฟฟ้า ยิ่งหยอนมากค่าแรงกดที่ตำแหน่งของแอมพลิจูดนั้นก็จะมีค่ามากเท่านั้น โดยมีหน่วยเป็น นิวตัน

3.1.2 ตัวอย่างการทดสอบการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนโดยใช้เครื่อง Ring-On-Block

เครื่อง Ring-On-Block หลักการทำงานจะคล้ายกับเครื่อง Pin-On-Disc แต่ส่วนที่ใช้แทนตัวดิสก์นั้นจะถูกออกแบบให้เป็นล้อวงแหวนโดยจุดที่กลสงของล้อจะมีวัสดุเป็นท่อกกลมม้วนอยู่ในล้อวงแหวนคุณสมบัติทางเคมีจะเหมือนสายลําเลียงไฟฟ้าและมีลียึดแปรงถ่านคาร์บอนคาร์บอน ซึ่งจะติดตั้งด้วยตัวอุปกรณ์ตัวสร้างแรงกด

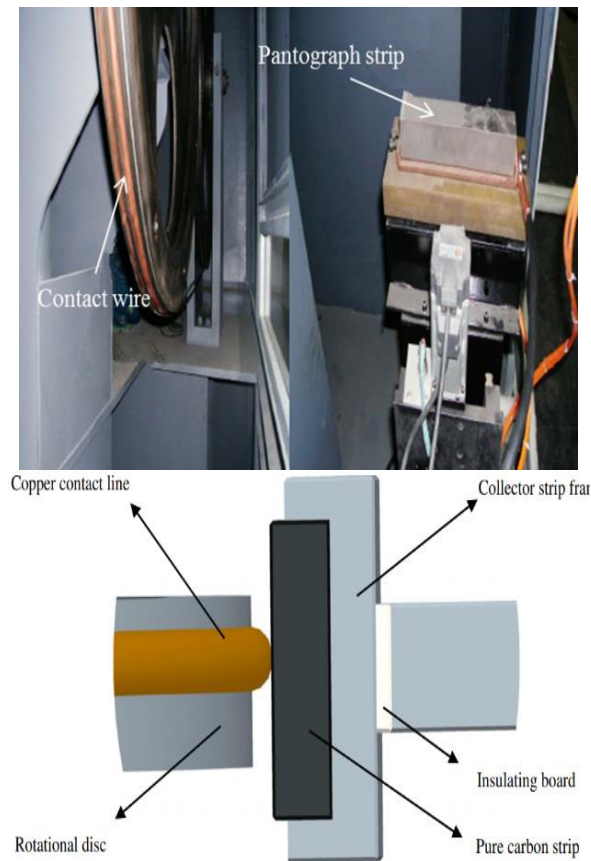


Figure 3.7 ลักษณะการทำงานของเครื่อง Ring-On-Block T. Ding al, (2011)

1. T. Ding al, (2011) แรงเสียดทานและพฤติกรรมของแปรงถ่านคาร์บอนที่หมุนด้วยความเร็วกับการสัมผัสโดยใช้กระแสไฟฟ้า AC เป็นการทดสอบด้วยการสัมผัสโดยการสร้างความเร็วในการหมุนของล้อวงแหวนซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนสายลำเลียงไฟฟ้าสัมผัสกับตัวแปรงถ่านคาร์บอน ในหัวข้อการวิจัยในหัวข้อนี้การศึกษาหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดกับแรงสัมผัสโดยมีกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการอาร์คเกิดขึ้น โดยจะสังเกตจากค่ากระแสไฟฟ้าส่งผลอย่างไรกับแรงเสียดทานและแรงเสียดทานทำให้แปรงถ่านคาร์บอนเกิดการสึกหรอน้อยเพียงใด

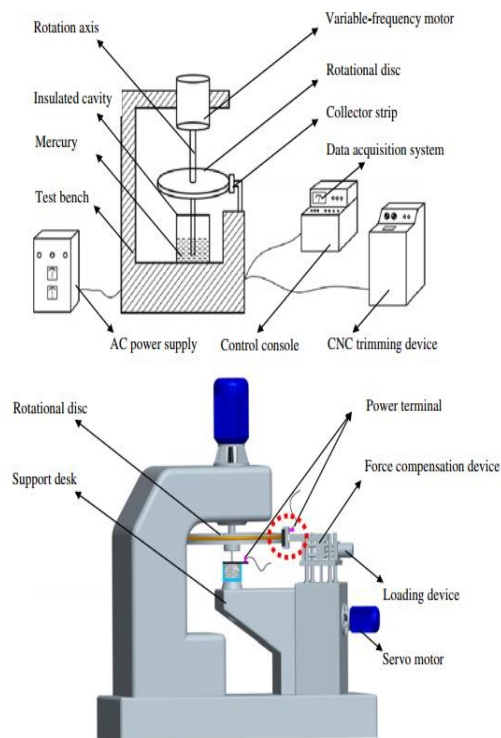


Figure 3.8 เครื่อง Ring-On-Block อุปกรณ์ต่างๆให้การทดสอบ T. Ding al, (2014)

2. T. Ding al, (2014) ลักษณะการอาร์คของแปรงถ่านคาร์บอนสีกร่อนเมื่อสัมผัสกับทองแดงในรถไฟฟ้ความเร็วสูง เป็นการทดสอบด้วยการสัมผัสของวัสดุทองแดงที่มีค่าคุณสมบัติเหมือนสายลําเลียงไฟฟ้กับแปรงถ่านคาร์บอนโดยมีการกำหนดของแรงกดที่คลิปปัดแปรงถ่านคาร์บอนให้กดที่ตัวลํอวางแหวนและวงแหวนที่จะหมุนด้วยความเร็ว เพื่อที่จะศึกษากระแสไฟฟ้และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นซึ่งทำให้ตัวแปรงถ่านคาร์บอนสีกร่อนลักษณะการทำงานสังเกตจากในรูปที่ 3.6

ผลการศึกษา

ในการสรุปผลการศึกษานี้จะกล่าวถึงการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนจะมีผลกระทบจาก แรงเสียดทาน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้ ค่าความถี่ การสั่นสะเทือนทางกล แรงกด ความเร็ว ระยะเวลา จะมีผลอย่างไรบ้าง โดยการยกตัวอย่างการทดสอบของ T. Ding et al, (2011) และ Y.Y. Zhang et al, (2018)

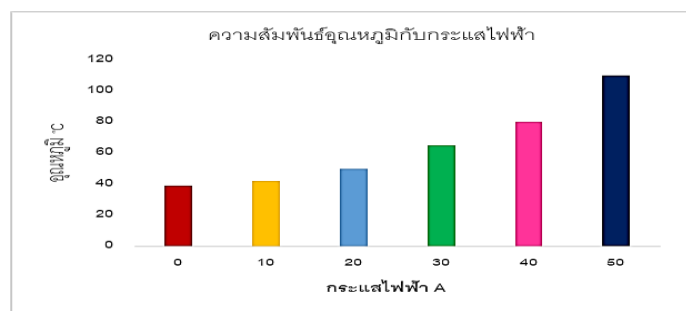


Figure 4.1 กราฟความสัมพันธ์อุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้ ผลการทดสอบ T. Ding et al, (2011)

ผลการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อการทำงานของแปรงถ่านคาร์บอนและสายลําเลียงไฟฟ้าโดยใช้เครื่องทดสอบเป็นการจำลองสถานการณ์จริง กระแสไฟฟ้าสูงทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้น

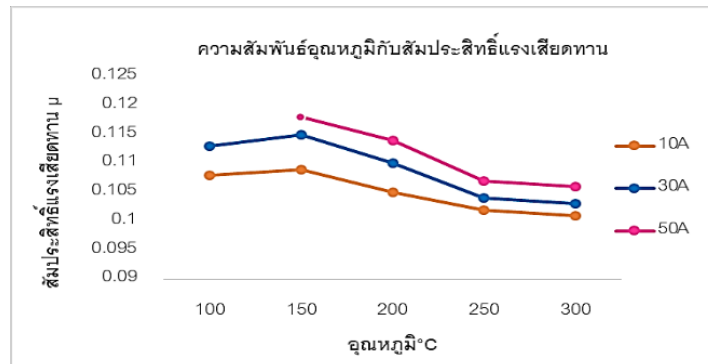


Figure 4.2 กราฟความสัมพันธ์อุณหภูมิกับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานผลการทดสอบ T. Ding et al, (2011)

แสดงว่าอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้านั้นส่งผลทำให้แปรงถ่านคาร์บอนนั้นสึกหรอเมื่อมีการแรงสัมผัสแบบไดนามิก สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานค่าน้อยลง ณ อุณหภูมิสูงขึ้นแสดงถึงการสึกหรอของการกัดกร่อนนั้นมีมากที่อุณหภูมิสูงการสึกหรอก็มีค่าที่สุดเช่นเดียวกัน เมื่อสังเกตที่รูป 4.1, 4.2 และที่มีของค่าแอมพลิจูดจะสังเกตได้จากรูปที่ 3.6

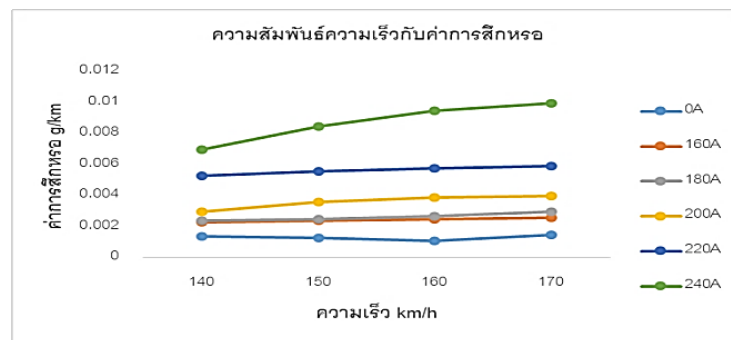


Figure 4.3 กราฟความสัมพันธ์ความเร็วกับค่าการสึกหรอ T. Ding et al, (2011)

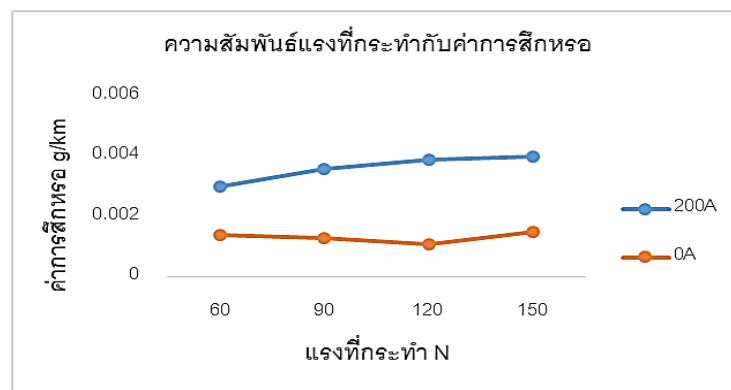


Figure 4.4 กราฟความสัมพันธ์แรงที่กระทำกับค่าการสึกหรอ T. Ding et al, (2011)

ผลการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่าความเร็วนั้นมีผลกระทบต่อแปรผันคาร์บอนและมีกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะทำให้การสึกหรอยิ่งเพิ่มขึ้นแรงที่กระทำยิ่งส่งผลให้การสึกกร่อนนั้นมีมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม่มีกระแสไฟฟ้า การสึกหรอก็จะน้อยลงอย่างไรก็ดี ทางผู้วิจัยได้ทดสอบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แตกต่างกันที่ มีกระแสไฟฟ้าและไม่มีกระแสไฟฟ้าการสึกหรอแตกต่างกันอย่างชัดเจนจะสังเกตดังรูปที่ 4.3, 4.4

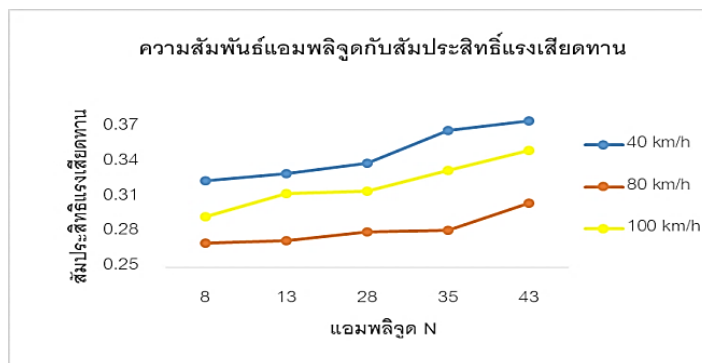


Figure 4.5 กราฟความสัมพันธ์แอมพลิจูดกับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน Y.Y. Zhang et al, (2018)

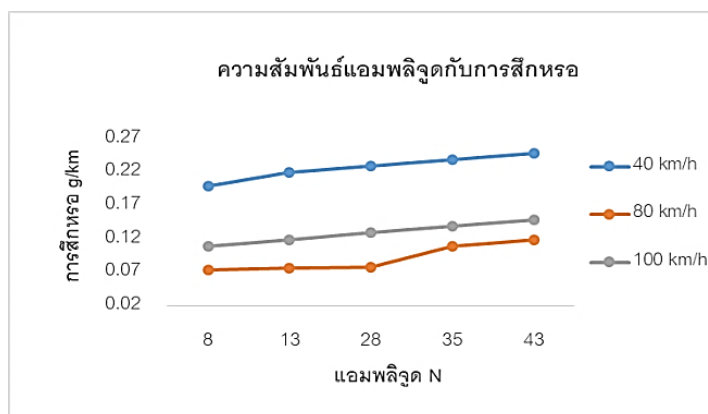


Figure 4.6 กราฟความสัมพันธ์แอมพลิจูดกับการสึกหรอ Y.Y. Zhang et al, (2018)

จะสังเกตได้ว่าค่าแอมพลิจูดจะมีค่าแรงกดหน่วยเป็นนิวตันและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำด้วยความเร็วของรถไฟฟ้านั้นมีค่ามากเมื่อความเร็วต่ำแต่จะมีค่าที่เหมาะสม ที่สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าการสึกหรอที่พอดีอยู่ที่ 100 km/h จะเห็นได้ว่าการสึกหรอของแปรผันนั้นอยู่ในค่าที่เพิ่มขึ้นอย่างเสถียรและเหมาะสม ถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนั้นจะมีค่าที่สูงแต่การสึกหรอนั้นค่าที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ละน้อยอย่างมั่นคง ซึ่งจะทำให้การสึกกร่อนหรือความเสียหายต่อแปรผันคาร์บอนมี %เกิดการแตกหักได้น้อย

จากผลการทดสอบของงานวิจัยที่ได้นำมาเป็นตัวอย่างนั้น ทุกงานวิจัยมีผลทดสอบของการสึกหรอของแปรผันคาร์บอน อยู่ในแนวโน้มเดียวกันซึ่งได้สรุปได้ว่าการสึกหรอของแปรผันคาร์บอนนั้น กระแสไฟฟ้ากับแรงสัมผัสทางไดนามิกนั้นมีค่าสูงจะทำให้แปรผันคาร์บอนอุณหภูมิสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานก็มากขึ้นตามลำดับ

สรุปผลการศึกษา

ได้รวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวกับผลกระทบและปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนและหาแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหา โดยการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนจะมีผลกระทบ เนื่องจากแรงเสียดทาน อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า ค่าความถี่แรงกด ความเร็ว ระยะเวลา และค่าคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งผลทดสอบของการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน อยู่ในแนวโน้มเดียวกันซึ่งได้สรุปได้ว่าการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนนั้น กระแสไฟฟ้ากับแรงสัมผัสทางไดนามิกนั้นมีค่าสูงจะทำให้แปรงถ่านคาร์บอนอุณหภูมิสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนั้นจะขึ้นขึ้นตามไปด้วย นั่นจึงเป็นผลให้การสึกหรอที่เกิดขึ้นมากค่าที่สูง จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสาลี่และสายล่ำเสียงกระแสไฟฟ้ารวมไปถึงการศึกษาการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนว่ามีพฤติกรรมอย่างไรที่ทำให้แปรงถ่านคาร์บอนนั้นเกิดความเสียหายและการทำนายระยะเวลาการทำงานของแปรงถ่านคาร์บอนและแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าในส่วนวางแผนการซ่อมบำรุงแปรงถ่านคาร์บอนได้

แนวทางการพัฒนา

จากการศึกษาและรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวกับผลกระทบและปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอน ผู้ศึกษาจากบทความนี้มีความคิดเห็นและวิเคราะห์แก้ไขปัญหาดังต่อไปนี้

1. ระบบลดแรงกระแทก (Suspension System) โดยการให้สาลี่นั้นสามารถปรับแรงยกซึ่งจะยกตัวนำแปรงถ่านคาร์บอนนั้นไปสัมผัสที่สายล่ำเสียงไฟฟ้าซึ่งสายล่ำเสียงไฟฟ้าที่ลักษณะเป็นเส้นโค้งจะมีค่าแอมพลิจูด (แรงกด) ที่ต่างกันสามารถปรับค่าการยกไปสัมผัสได้ โดยการควบคุมจากค่าแอมพลิจูดและระยะห่างที่เหมาะสมและจะทำให้ ร้อยละการอาร์คที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงส่งผล แต่สัมพันธ์กับความเร็วของรถไฟ

2. การปรับปรุงคุณสมบัติของแปรงถ่านคาร์บอน โดยการเคลือบสารที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและมีสารหล่อลื่นทนต่อแรงสัมผัสทางไดนามิกได้ดีมากยิ่งขึ้นเพื่อลดการสึกหรอของแปรงถ่านคาร์บอนและยืดอายุการใช้งานและทำงานได้ดี เท่ากับที่ยังไม่ได้เคลือบสาร

3. การสร้างแปรงถ่านคาร์บอนโดยเพิ่มประสิทธิภาพมีส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลทนต่อแรงเสียดทาน การหล่อลื่น และ การสึกหรอ ของพื้นประสิทธิภาพผิววัสดุที่มีการเคลื่อนทำให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยต้องคำนึงถึงการรับแรงดันกับไฟฟ้ากระแสไฟฟ้ายังมีเปอร์เซ็นต์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและใช้งานได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่นที่สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ และ ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Da Hai He, Rafael Manory., (2008) "A novel electrical contact material with improved Self-lubrication for railway current collectors." D.H. He, R. Manory / Wear 249 (2001) 626–636
- [2] Dongli Song, Yanan Jiang, and Weihua Zhang., (2018). "Dynamic performance of a Pantograph–catenary system with consideration of the contact surface." Rail and Rapid Transit, Vol. 232(1) 262–274
- [3] G. Auditeau, G. Bucca, A. Collina, E. Tanzi., (2011). "Experimental analysis of effect of plain carbon and impregnated carbon contact strips on contact wire wear," Challenge G = an even more competitive and cost-efficient railway

- [4] Giuseppe Bucca n, Andrea Collina., (2015). "Electromechanical interaction between carbon-based pantograph strip and copper contact wire: A heuristic wear model." *Tribology International*. 92 (2015) 47–56.
- [5] Guangning Wu, Wenfu Wei, Guoqiang GAO, Jie Wu, Yue Zhou., (2016). "Design of pantograph-catenary systems by simulation," *Challenge E: Bringing the*
- [6] Guangning Wu, Wenfu Wei, Guoqiang GAO, Jie Wu, Yue Zhou. (2016). "Evolution of the electrical contact of dynamic pantograph–catenary system," *J. Mod. Transport*. (2016) 24(2):132–138.
- [7] Hongjuan Yanga, Bo Hua, Yanhua Liua, Xiaolu Cuib, Gang Jianga. (2015) "Influence of reciprocating distance on the delamination wear of the carbon strip in pantograph–catenary system at high sliding-speed of 350 km/h with strong electrical current." *Engineering Failure Analysis* 104 (2019) 887–897.
- [8] Hongjuan Yang, Kai Wang, Yanhua Liu a, Lin Fu, Xiaolu Cui, Gang Jiang, Bo Hu., (2020) "The formation of the delamination wear of the pure carbon strip and its influence on the friction and wear properties of the pantograph and catenary system." *Contents lists available at Science Direct Wear* 454–455 (2020) 203343.
- [9] H.J. Yang, G.X. Chen, G.Q. GAO, G.N. Wu, W.H. Zhang., (2015). "Experimental research on the friction and wear properties of a contact strip of a pantograph–catenary system at the sliding speed of 350 km/h with electric current." *Wear* 332–333 (2015) 949–955.
- [10] Jiqin Wu., (2018) "Pantograph and Contact Line System." Southwest Jiao tong University, china 2020 Elsevier B.V. or its licensors or contributors. Science Direct is a registered trademark of Elsevier B.V.
- [11] Luca Pugi, and Fabio Bartolini., (2008) "Design and Experimental Results of an Active Suspension System for a High-Speed Pantograph." *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*, VOL. 13, NO. 5, OCTOBER 2008.
- [12] T. Ding, G.X. Chen, Y.M. Li, H.J. Yang, Q.D.He., (2014). "Arc erosive characteristics of a carbon strip sliding against a copper contact wire in a high-speed electrified railway." *Tribology International*. 79 (2014) 8–15.
- [13] T. Ding, G.X. Chen, X. Wang, M.H. Zhu, W.H. Zhang, W.X. Zhou (2011)., "Friction and wear behavior of pure carbon strip sliding against copper contact wire under AC passage at high speeds," *Tribol. Int.* 44 (2011) 437–444.
- [14] T. Ding, G.X. Chen, J. Bu, and W.H. Zhang., (2011). "Effect of temperature and arc discharge on friction and wear behaviors of Carbon strip/copper contact wire in pantograph–catenary systems," *Wear* 271 (2011) 1629– 1636.
- [15] Weihua ZHANG, Dong ZOU, Mengying TAN, Ning ZHOU, Ruiping LI, Guiming MEI., (2018) "Review of pantograph and catenary interaction." *Front. Mech. Eng.* 2018, 13 (2): 311–322
- [16] Wenfu Wei, Yijun Song and Zefeng Yang., (2019) "Investigation of the Impacts of Thermal Shock on Carbon Composite Materials." *Materials* 2019, 12, 43
- [17] Xianzhi Xiong, Chuanjun Tu, Ding Chen, Jianqi Zhang, Jianghua Chen., (2014). "Arc Erosion Wear Characteristics and Mechanisms of Pure Carbon Strip against Copper under Arcing Conditions." *Tribol Lett* (2014) 53:293–301
- [18] Y.Y. Zhang, Z. Zhang, S.M. Du, C.F. Song, Z.H. Yang, B. Shang guan., (2010). "Tribological properties of pure carbon strip affected by dynamic contact force during current-carrying sliding," *Tribology International* 123 (2018) 256–265
- [19] Yanyan Zhang, Yongzhen Zhang, and Chenfei Song., (2018). "Arc Discharges of a Pure Carbon Strip Affected by Dynamic Contact Force during Current-Carrying Sliding," *National United Engineering Laboratory for Advanced Bearing Tribology*, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China. (2018) (Y.Z.); cfsong@haust.edu.cn (C.S.).