วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

บทความวิจัย

การจำแนกชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยเทคนิคทดสอบประกายไฟโดยวิธีจำแนกคุณลักษณะของแมชชีนเลิร์นนิ่งด้วยภาพถ่าย

ธีรวัฒน์ เบ็ญจวิไลกุล[1] และ ทศพร แก้ววิจิตร[2*]

[1] โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ ไทย-เยอรมัน, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: thossaporn.k@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 14 มกราคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 30 มีนาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 18 เมษายน 2565
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 16 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ: การทดสอบเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้านั้นสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในวิธีการทดสอบเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคือ การทดสอบผ่านเครื่องอีมิสชั่นสเปคโตรมิเตอร์ (Emission Spectrometer) การทดสอบด้วยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดคือ ใช้ระยะเวลาในการเตรียมชิ้นงานทดสอบและมีค่าใช้จ่ายที่สูง การทดสอบเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้านั้นยังมีอีกหนึ่งวิธีที่สามารถจำแนกได้ นั่นคือการทดสอบประกายไฟ (Spark Test) แต่การทดสอบวิธีนี้ยังคงต้องใช้ความรู้ ความชำนาญและทักษะของผู้ทดสอบจึงยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก ข้อดีของวิธีการทดสอบด้วยวิธีนี้คือ ขั้นตอนการทดสอบไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการทดสอบไม่นานและทำได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยเทคนิคทดสอบประกายไฟมาใช้โดยจำแนกคุณลักษณะของแมชชีนเลิร์นนิ่ง (Machine Learning) ด้วยภาพถ่ายตามมาตรฐาน JIS G 0566 ในการทดลองพบว่าสามารถจำแนกเหล็กกล้ากลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำได้ความแม่นยำ 100% สามารถจำแนกเหล็กกล้ากลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางได้แม่นยำ 95% และสามารถจำแนกเหล็กกล้ากลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนสูงได้แม่นยำ 90%

คำสำคัญ: การทดสอบประกายไฟ; JIS G 0566; การประมวลผลด้วยภาพ; แมชชีนเลิร์นนิ่ง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

บทความวิจัย

Classification of Carbon Steels by Automated Spark Test Technique Using Feature Extraction Based on Machine Learning Image Processing

Teerawat Benjawilaikul [1] and Thossaporn Kaewwichit[2*]

[1] Thai-German Pre-Engineering School, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*] Corresponding author, E-mail: thossaporn.k@cit.kmutnb.ac.th

Received: 14 January 2022; Revised: 30 March 2022; Accepted: 18 April 2022
Online Published: 16 August 2022

Abstract: There are several methods of steel classification testing. The test through an emission spectrometer is one of the test methods for classifying steel. However, there are limitations involved in terms of time-consumption and cost-effectiveness in this method. The spark test is another method to classify steel, but this method still requires the knowledge and proficiency skills of the tester. Hence, this method is not very popular. The advantage of this analysis is that the testing process is not complicated and easy to do. However, the spark test requires high proficiency skills in classifying metals. This research applied the principle of steel classification to analyze the spark characteristics by categorizing metal groups using the machine learning characteristics according to JIS G 0566 standard. The results showed that low carbon steel was classified with an accuracy of 100%, medium carbon steel was classified with an accuracy of 95%, and high carbon steel was classified with an accuracy of 90%.

Keywords: Spark Testing; JIS G 0566; Image Processing; Machine Learning

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

1. บทนำ

การนำเหล็กกล้าไปใช้งานต่างๆ มีความจำเป็นที่จะต้องทราบคุณสมบัติของเหล็กกล้าชนิดนั้น เพื่อนำไปใช้ให้ถูกกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การทดสอบเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้ามีวิธีที่สามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าได้นั่นคือ วิธีการทดสอบประกายไฟ เนื่องจากการทดสอบด้วยวิธีนี้นั้นเป็นการทดสอบที่ง่ายรวดเร็วและยังสามารถทดสอบในภาคสนามหรือนอกสถานที่ได้ แต่ข้อจำกัดของการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบประกายไฟก็คือ ยังจำเป็นที่ผู้ปฏิบัติการทดสอบต้องมีความชำนาญและมีประสบการณ์ในการทดสอบค่อนข้างสูงเพื่อให้ได้ผลการจำแนกที่แม่นยำและถูกต้อง และด้วยความที่ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทราบส่วนผสมทั้งหมด เพียงต้องการที่จะทราบว่าเหล็กกล้าชนิดนั้นจัดอยู่ในกลุ่มของเหล็กกล้าชนิดใดเพื่อพิจารณาเพื่อตัดสินใจในการใช้งานได้เหมาะสม ด้วยเหตุนี้การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าด้วยการทดสอบประกายไฟ จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีการทดสอบที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าด้วยการทดสอบประกายไฟ ทำได้โดยนำชิ้นงานทดสอบไปเจียระไนเพื่อให้เกิดประกายไฟ จากนั้นสังเกตลักษณะต่างๆ ของประกายไฟ ไม่ว่าจะเป็นความยาวประกายไฟ สีของประกายไฟและรูปทรงประกายไฟ จากนั้นนำไปเปรียบเทียบลักษณะของประกายไฟตามข้อมูลมาตรฐาน JIS G 0566 [1] ก็จะทำให้ทราบได้ว่าเหล็กกล้าที่นำมาทดสอบนั้นเป็นเหล็กกล้าชนิดใด จากขั้นตอนวิธีการทดสอบดังที่กล่าวมานั้น พบว่าการทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้าเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ซับซ้อนและยังได้ผลที่รวดเร็วอีกด้วย แต่อย่างไรก็ดีการทดสอบเหล็กกล้าด้วยวิธีนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องที่จะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ค่อนข้างสูงในการทดสอบจึงจะสามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง

เพื่อความแม่นยำและให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดเหล็กกล้า ทำได้โดยการนำภาพถ่ายของประกายไฟมาพิจารณาตามข้อมูลมาตรฐาน JIS G 0566 แทนการมองประกายไฟโดยตรง ทั้งนี้เทคโนโลยีในปัจจุบันการถ่ายภาพจะได้ภาพที่คมชัดมาก เมื่อนำภาพถ่ายประกายไฟที่มีคุณภาพสูงมาประยุกต์ใช้กับเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) ร่วมกับวิธีการจำแนกคุณลักษณะ (Feature Extraction) ของแมชชีนเลิร์นนิ่ง เพื่อลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะของประกายไฟและยังทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว แม่นยำ น่าเชื่อถือ ราคาของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีราคาไม่สูงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้า โดยไม่ต้องส่งชิ้นงานตัวอย่างไปห้องปฏิบัติการ และยังเหมาะสำหรับการใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้าในสถานการศึกษาได้เช่นกัน

การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าด้วยการทดสอบประกายไฟมีการพัฒนางานวิจัยในปี พ.ศ. 2550 [2] การทดสอบของงานวิจัยนี้จะใช้กล้องถ่ายภาพระบบดิจิตอลบันทึกภาพถ่ายประกายไฟ โดยอาศัยการปรับค่าความเร็วชัตเตอร์ของกล้อง เพื่อให้ได้ภาพประกายไฟที่คมชัดที่สุดในการนำมาวิเคราะห์ สำหรับตัวแปรต่างๆ ที่คณะผู้วิจัยเลือกนำมาทดสอบในโปรแกรมการวิเคราะห์ของงานวิจัยฉบับนี้จะประกอบไปด้วยความยาว สีและรูปทรงประกายไฟ ซึ่งโปรแกรม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

วิเคราะห์นี้ยังคงต้องใช้ทักษะและความชำนาญของผู้ทดสอบในการป้อนข้อมูล เมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดแล้วโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายประกายไฟและแสดงให้ทราบว่าเหล็กกล้าที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นเหล็กกล้าชนิดใด ผลของการทดสอบพบว่าสามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ มีแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 80 ลำดับถัดมาได้มีการพัฒนาโปรแกรมการทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้าเพื่อให้มีความอัตโนมัติมากขึ้นด้วยการพัฒนาการใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาประมวลผลภาพถ่ายประกายไฟ ในปี พ.ศ. 2551 [3] โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ประมวลผลในโครงข่ายประสาทเทียมของงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยค่าความยาว ค่ามุม ค่าเฉดสี ค่าความบริสุทธิ์ของสีและค่าความสว่างแสงของประกายไฟ ผลการทดสอบของงานวิจัยนี้พบว่าสามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าได้เพียง 5 ชนิดจากการทดสอบเหล็กกล้าทั้งหมด 27 ชนิดคิดเป็นเพียงร้อยละ 18.5 จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแปรในการจำแนกชนิดของเหล็กกล้านั้นยังไม่เพียงพอ การทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2556 [4] ได้ทำการบันทึกภาพถ่ายประกายไฟแบบเคลื่อนไหวด้วยกล้องเว็บแคม (Web Camera) ขณะทำการเจียระไนชิ้นงานทดสอบของเหล็กกล้าแต่ละชนิดเป็นเวลา 15 วินาทีด้วยระบบภาพ 15 เฟรมต่อวินาที จากนั้นแปลงไฟล์ภาพเคลื่อนไหวให้เป็นภาพนิ่งแล้วเลือกภาพที่มีความสมบูรณ์และเหมาะสมที่สุด เพื่อนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่นำมาประมวลผลประกอบไปด้วยความยาว มุม สี และลักษณะของประกายไฟ แต่อย่างไรก็ดีการจำแนกชนิดของเหล็กกล้าด้วยประกายไฟที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้นี้ยังคงต้องอาศัยทักษะและความชำนาญของผู้ทดสอบเป็นผู้ป้อนข้อมูลต่างๆ จากภาพประกายไฟลงในโปรแกรม ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่ามีความแม่นยำในการจำแนกชนิดของเหล็กกล้าอยู่ที่ร้อยละ 90 โดยคิดจากผู้ทดสอบทั้งหมด 20 คน และมีผู้ทดสอบ 18 คนสามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าได้ถูกต้อง สำหรับงานวิจัยในต่างประเทศนั้นการทดสอบประกายไฟแบบระบบอัตโนมัติได้มีการพัฒนาขึ้นด้วยเช่นเดียวกันในปี พ.ศ. 2556 [5] ซึ่งเป็นการหาปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็กกล้าด้วยการทดสอบประกายไฟ การทดสอบในงานวิจัยนี้จะนำภาพถ่ายประกายไฟมาประมวลผลด้วยเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ เป็นการประมวลผลภาพถ่ายประกายไฟจากจำนวนประกายไฟและเส้นลำแสงประกายไฟทั้งหมดจากการเจียระไนให้เกิดประกายไฟเป็นเวลานาน 1 วินาที หลังจากนั้นคำนวณอัตราส่วนระหว่างการแตกตัวของประกายไฟกับปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็ก จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่ามีค่าความผิดพลาดในการประมวลผลปริมาณของคาร์บอนที่ผสมในเนื้อเหล็กกล้าอยู่ที่ร้อยละ 0.05 ต่อมาในปี พ.ศ. 2556 [6] การทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้า มีการทดลองเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเป็นฐานข้อมูลในนำไปจำแนกชนิดของเหล็กกล้า งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยนำแผ่นกระดาษสีขาวมารองรับประกายไฟของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ขณะทำการเจียระไนให้เกิดประกายไฟ จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่าเหล็กกล้าที่มีความแข็งมากกว่าจะมีความหนาแน่นของรอยประกายไฟบนแผ่นกระดาษมากกว่าเหล็กที่มีความแข็งน้อยกว่า

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

นอกจากนี้ ในปี พ.ศ. 2560 [7] คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสร้างวิธีการดำเนินงานการทดสอบประกายไฟจากเหล็กกล้าคาร์บอน 6 ชนิดที่เป็นที่นิยมสำหรับงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นข้อแนะนำให้สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆในการเกิดประกายไฟให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและยังเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ข้อมูลของประกายไฟที่นำมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้าจะประกอบไปด้วย ความยาว มุม สีและรูปทรงของประกายไฟ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ทดสอบจะต้องมีประสบการณ์และความชำนาญอย่างสูงในการวิเคราะห์ให้ถูกต้องและแม่นยำ การจำแนกชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยเทคนิคการทดสอบประกายไฟโดยวิธีจำแนกคุณลักษณะของแมชชีนเลิร์นนิ่งด้วยภาพถ่ายจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่คณะผู้วิจัยนำมาใช้ ในการวิจัยนี้

การประยุกต์วิธีการประมวลผลด้วยภาพมาใช้วิเคราะห์ภาพถ่ายประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ นั้นจะใช้วิธีการเรียนรู้แบบแมชชีนเลิร์นนิ่ง นั่นก็คือการทำให้ระบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยปราศจากการป้อนคำสั่งเพิ่มเติมของผู้พัฒนาโปรแกรม โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเรียนรู้ข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออกว่าเกี่ยวข้องกันอย่างไร อัลกอริทึม(Algorithm) จะถูกปรับให้เข้ากับข้อมูลที่ได้รับเข้ามาใหม่เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการประมวลผลให้แม่นยำขึ้นในเวลาต่อมา โดยวิธีนี้ผู้พัฒนาโปรแกรมไม่จำเป็นต้องเขียนกฎใหม่ทุกครั้งที่มีข้อมูลใหม่ถูกป้อนเข้ามา ปัจจุบันเทคนิคการจำแนกภาพด้วยคุณลักษณะทางสถิติ (Statistical Feature Extraction) ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงอีกด้วย [8-10] นอกจากนี้เพื่อเป็นการลดภาระในการทำงานของผู้ทดสอบและยังสามารถเพิ่มประสบการณ์ ความชำนาญและการตัดสินใจต่างๆ ของผู้ทดสอบได้อีกเช่นเดียวกัน การศึกษาอัลกอริทึมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ปรับปรุงโดยอัตโนมัติผ่านประสบการณ์กระบวนกระเรียนรู้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์หรือแมชชีนเลิร์นนิ่งได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และตัดสินใจต่างๆ [11] ตัวอย่างในปี พ.ศ. 2564 [12] ที่คณะผู้วิจัยได้ทำการนำหลักการแมชชีนเลิร์นนิ่งมาใช้ในการตัดสินใจผลของภาพฟิล์มเอกซเรย์ (X-Ray) ระหว่างผู้ป่วยที่สุขภาพดีกับผู้ป่วยโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ซึ่งผลการทดสอบให้ผลที่มีความแม่นยำมากถึงร้อยละ 98.8 หรือในปี พ.ศ. 2564 [13] คณะผู้วิจัยได้นำหลักการแมชชีนเลิร์นนิ่งไปประยุกต์ในการทำนายแรงอัดและแรงดัดงอของ คอนกรีตเสริมเหล็กไฟเบอร์ (Steel Fiber-Reinforced Concrete) โดยผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าให้ผลดีเป็นที่น่าพอใจในการทำวิเคราะห์ข้อมูล

ในการดำเนินงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon) ด้วยการทดสอบประกายไฟตามมาตรฐาน JIS G 0566 โดยการประยุกต์วิธีจำแนกคุณลักษณะของแมชชีนเลิร์นนิ่งด้วยภาพถ่ายเพื่อใช้ระบบอัลกอริทึมคอมพิวเตอร์ที่ปรับปรุงโดยอัตโนมัติผ่านประสบการณ์กระบวนการเรียนรู้ด้วยระบบแมชชีนเลิร์นนิ่งในการทดแทนผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบประกายไฟเพื่อจำแนกชนิดของเหล็กกล้า

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

2. การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถแจกแจงได้คือ ชิ้นงานทดสอบสำหรับงานวิจัย ชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบเพื่อถ่ายภาพประกายไฟ การถ่ายภาพประกายไฟ การเตรียมข้อมูลภาพเพื่อนำเข้าสู่การคำนวณ การคำนวณคุณลักษณะสำหรับการแยกภาพและการวัดประสิทธิภาพเชิงสถิติ

2.1 ชิ้นงานทดสอบสำหรับงานวิจัย

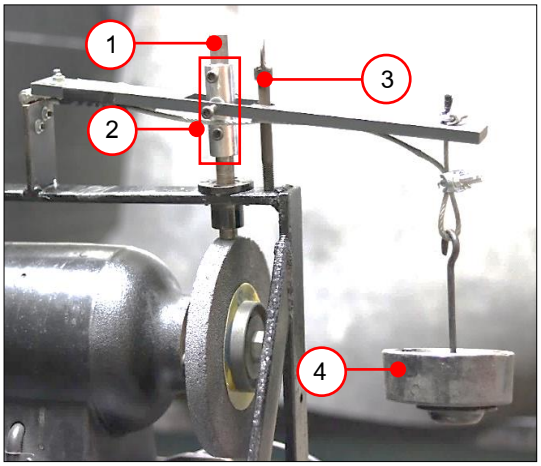
ชิ้นงานในการทดสอบในงานวิจัยนี้คือเหล็กกล้าคาร์บอน 3 กลุ่มประกอบด้วย (1) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 (2) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C และ (3) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง SUJ2 ขนาดชิ้นงานทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ความยาว 150 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบเมื่อนำไปทดสอบประกายไฟจะถูกนำไปติดตั้งบนชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบสำหรับถ่ายภาพประกายไฟ

2.2 ชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบสำหรับถ่ายภาพประกายไฟ

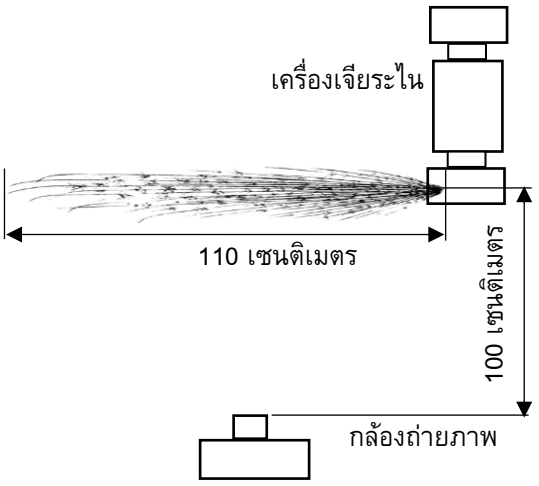
การทดสอบประกายไฟจำเป็นต้องใช้ชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบสำหรับถ่ายภาพประกายไฟ เพื่อรักษาสภาวะแรงกดให้ได้แรงกดที่ชิ้นงานทดสอบให้เท่ากันทุกครั้ง ซึ่งมีส่วนประกอบของชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 1 โดยหมายเลข 1 คือ ชิ้นงานสำหรับการทดสอบประกายไฟ หมายเลข 2 คือ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทดสอบเพื่อให้ชิ้นงานทดสอบสวมลงไปในรูของลิเนียร์แบริ่ง (Linear Bearing) หมายเลข 3 คือ แผ่นคานรับแรงกดเพื่อป้องกันการดีดตัวของชิ้นงานทดสอบเพื่อป้องกันอันตรายกับผู้ทดสอบและยังช่วยลดการสั่นสะเทือนของชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบและหมายเลข 4 คือ ตุ้มถ่วงน้ำหนักขนาด 1.5 กิโลกรัม

2.3 การถ่ายภาพประกายไฟ

การถ่ายประกายไฟทำโดยติดตั้งกล้องสำหรับถ่ายภาพ ดังรูปที่ 2 โดยกำหนดระยะห่างจากตัวกล้องถ่ายภาพถึงชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบประกายไฟอยู่ที่ 100 เซนติเมตร ซึ่งสามารถถ่ายภาพความยาวประกายไฟได้ 110 เซนติเมตร



รูปที่ 1 ชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบประกายไฟ



รูปที่ 2 ระยะการถ่ายภาพประกายไฟ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

ภาพถ่ายประกายไฟจากชิ้นงานทดสอบแบ่งเป็นภาพถ่ายประกายไฟเพื่อนำไปสร้างข้อมูลขั้นตอนการเรียนรู้ข้อมูล (Training Dataset) และขั้นตอนของการทดสอบ (Test Dataset) โดยภาพถ่ายประกายไฟสำหรับสร้างขั้นตอนการเรียนรู้ข้อมูลจะใช้ภาพถ่ายประกายไฟชนิดละ 30 ภาพรวมทั้งหมด 90 ภาพ และภาพถ่ายประกายไฟสำหรับนำไปใช้ในขั้นตอนการทดสอบชนิดละ 20 ภาพรวมทั้งหมด 60 ภาพ

2.4 การเตรียมข้อมูลภาพเพื่อนำเข้าสู่การคำนวณ

ภาพถ่ายประกายไฟของเหล็กกล้าชนิดต่างๆ จะจัดกลุ่มด้วยการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JIS G 0566 โดยจัดกลุ่มไว้ดังนี้คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางและเหล็กกล้าคาร์บอนสูง โดยทำการประมวลผลผ่านโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ (MATLAB R2021a, Image processing Toolbox) ภาพถ่ายสีที่ได้ (ภาพนำเข้าทดสอบ) จากกล้องถ่ายภาพ (I) จะถูกนำมาตัด (Crop) ให้มีขนาด 1028 X 573 พิกเซล (Pixel) เลือกทำการตัดภาพเฉพาะส่วนของปลายประกายไฟที่เกิดแฉกชัดเจน จากนั้นภาพประกายไฟจะถูกนำมาประมวลผลให้เป็นภาพเฉดเทา (Grayscale) หรือเรียกชื่อในตัวแปร I_G ด้วยกระบวนการกระจายน้ำหนักสีจากสีแดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ดังสมการที่ (1) [14]

จากนั้นภาพเฉดเทา I_G จะถูกนำมาแปลงค่าเป็นภาพขาวดำ I_{BW} โดยใช้ค่าน้ำหนักร้อยละ 40 (ค่า 0.4 ในระบบจำนวนเต็ม 1 ของภาพเฉดเทา) เนื่องด้วยเป็นค่าที่ให้ความแตกต่างของประกายไฟกับพื้นหลังได้ชัดเจนด้วยสมการที่ (2)

$$I_G = 0.2998R + 0.5870G + 0.1140B \quad (1)$$

$$I_{BW} = \begin{cases} 1, if\ I_G \geq 0.4 \\ 0, otherwise \end{cases} \quad (2)$$

2.5 การคำนวณคุณลักษณะทางสถิติ (Statistical Feature) สำหรับการแยกภาพ

ในส่วนของการสร้างแบบจำลองการทดสอบภาพถ่ายประกายไฟเพื่อจำแนกเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดต่างๆ จะนำวิธีการอิมเมจโปรเซสซิ่งแบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ โดยนำภาพ I_{BW} มาทำการคำนวณหาคุณลักษณะทางสถิติ (Statistical Feature) ด้วยค่าเฉลี่ย $\overline{X_P}$ ของค่าพิกเซล P ที่ตำแหน่งพิเซล n ดังในสมการที่ 3 และค่าคุณลักษณะทางสถิติด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_P) เมื่อ n คือจำนวนพิกเซลทั้งหมด ดังสมการที่ 4 [9]

$$\overline{X_P} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} P(n) \quad (3)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(P(n) - \overline{X_P})^2} \quad (4)$$

ในการสร้างขั้นตอนการเรียนรู้ข้อมูลให้กับแมชชีนเลิร์นนิ่ง จะเริ่มทำการเรียนรู้ข้อมูลด้วยการนำภาพที่ได้จากชิ้นงานกลุ่ม เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูง ที่ถูกจัดกลุ่มไว้แล้วเข้าสู่การประมวลผลเพื่อเรียนรู้ข้อมูลคุณลักษณะของภาพชนิดต่างๆ และบันทึกในรูปแบบตัวแปร $\overline{X_P}$ และ σ_P เพื่อเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับขั้นตอนของการทดสอบ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

ภาพถ่ายสำหรับขั้นตอนการทดสอบจะถูกนำเข้าทดสอบและจะแสดงผลทดสอบหลังการประมวลผลเสร็จสิ้น ผลการประมวลผลนี้จะถูกนำไปคำนวณประสิทธิภาพเพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดความแม่นยำของของข้อมูลโดยคิดเป็นค่าร้อยละ (%) ดังสมการต่อไปนี้

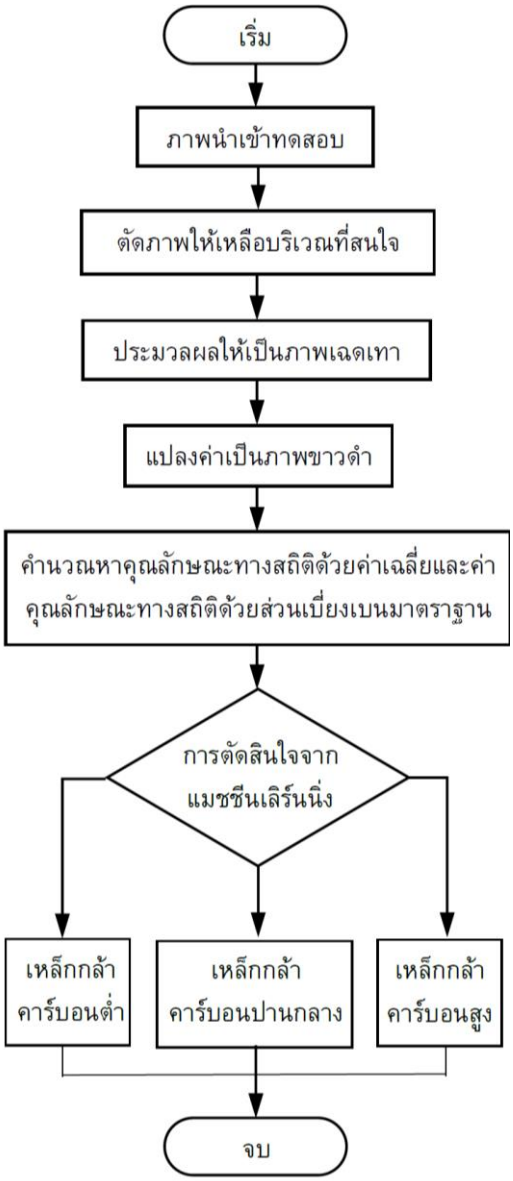
$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{TP}{AP} x\ 100 \qquad (5)$$

โดย TP คือ จำนวนภาพที่ประมวลผลถูกต้องและ AP คือ จำนวนภาพที่ถูกประมวลผลทั้งหมด

รูปที่ 3 เป็นแผนภูมิการทำงานและการตัดสินใจของงานวิจัยนี้ โดยเริ่มจากการนำภาพเข้าทดสอบ จากนั้นตัดภาพให้เหลือบริเวณที่สนใจ (Region of Interested: ROI) ประมวลผลให้เป็นภาพเฉดเทา (ดังสมการที่ 1) แปลงค่าเป็นภาพขาวดำ (ดังสมการที่ 3) คำนวณหาคุณลักษณะทางสถิติด้วยค่าเฉลี่ย (ดังสมการที่ 4) จากนั้นทำการตัดสินใจจากด้วยแมชชีนเลิร์นนิ่ง และจบการทำงาน

3. ผลการวิจัย

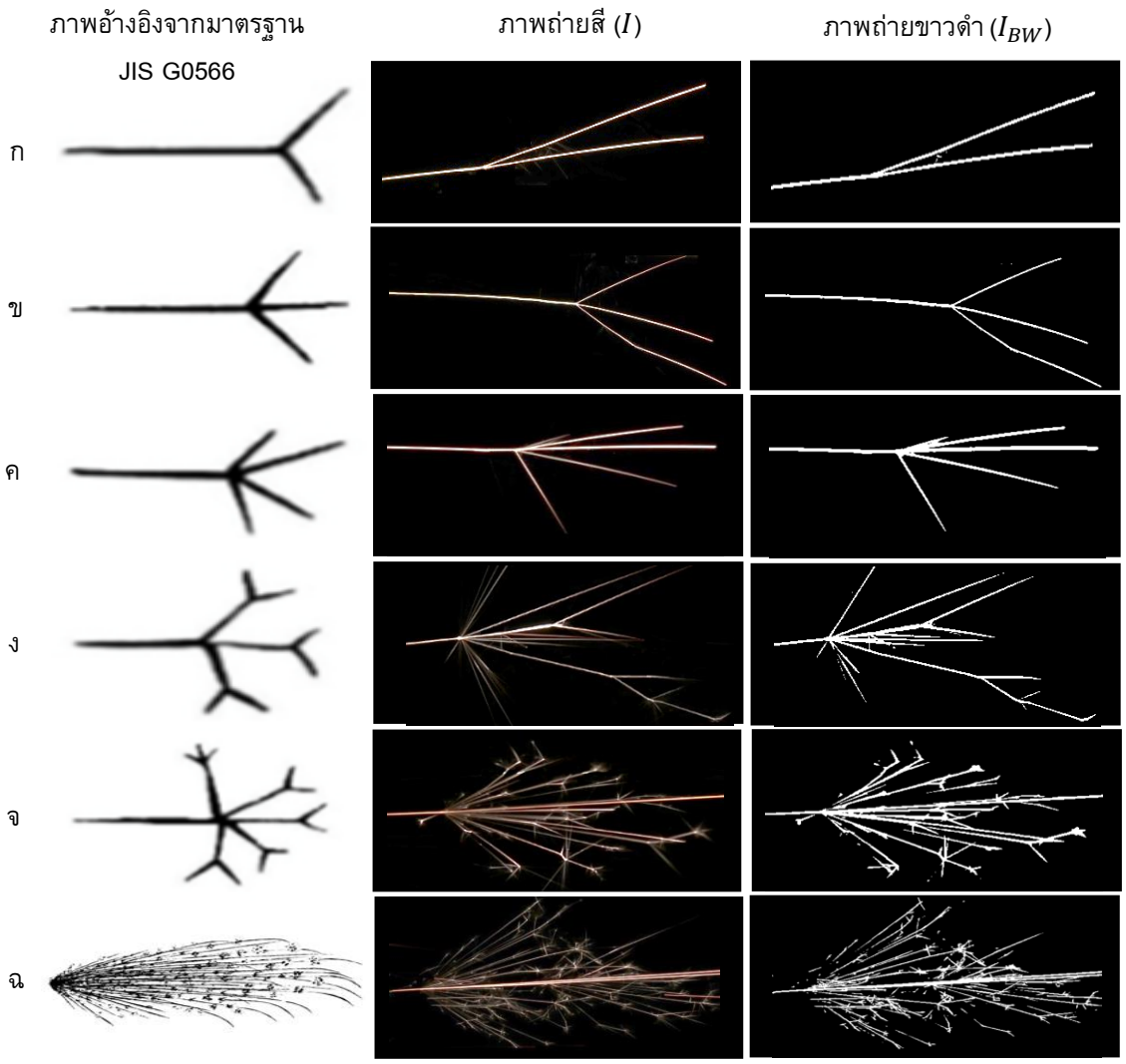
ภาพถ่ายประกายไฟที่ใช้สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ข้อมูลจะใช้ภาพถ่ายประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดละ 30 ภาพรวม 90 ภาพ และสำหรับขั้นตอนการทดสอบจะใช้ภาพถ่ายประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดละ 20 ภาพ รวม 60 ภาพ ขั้นตอนการทดสอบจะนำภาพถ่ายของประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดต่างๆ มาทดสอบแบบสุ่ม ภาพตัวอย่างประกายไฟตามมาตรฐาน JIS G 0566 ภาพถ่ายประกายไฟในรูปแบบของภาพสีและภาพถ่ายที่ผ่านการประมวลผลทางกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพเพื่อนำเข้าสู่การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผล ดังแสดงในรูปที่ 4 โดย



รูปที่ 3 แผนภูมิการทำงานและการตัดสินใจของงานวิจัย

รูปที่ 4 ก-ค แสดงภาพเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ รูปที่ 4 ง-จ แสดงภาพเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง และรูปที่ 4 ฉ แสดงเหล็กกล้าคาร์บอนสูง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005



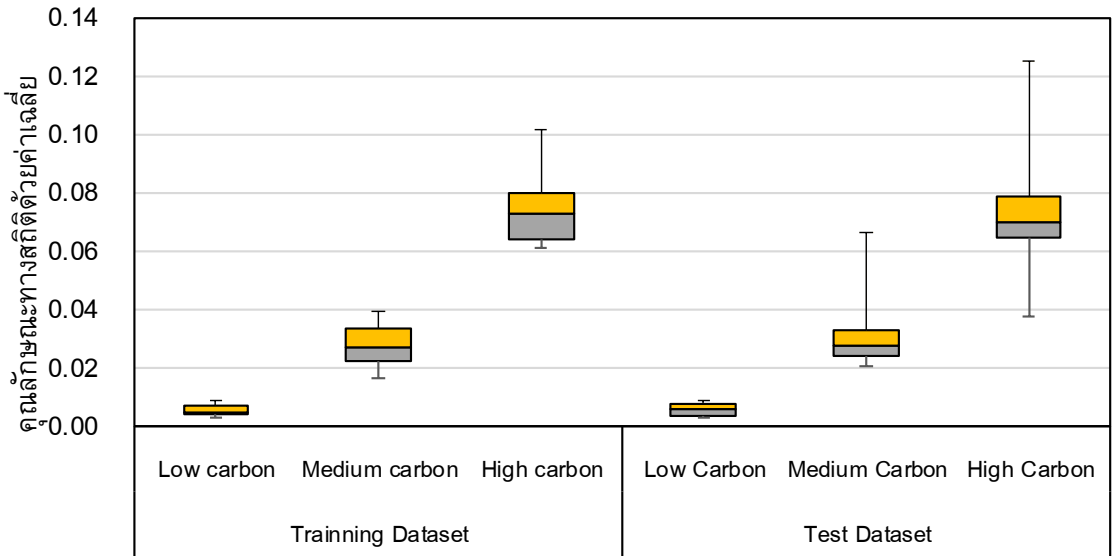
รูปที่ 4 ตัวอย่างประกายไฟตามมาตรฐาน JIS G 0566 ภาพถ่ายประกายไฟในรูปแบบของภาพสี (I) และภาพถ่ายที่ผ่านการประมวลผลทางกระบวนการเตรียมข้อมูลภาพเพื่อนำเข้าสู่การคำนวณ (ภาพถ่ายขาวดำ (I_{BW}))

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

การประมวลผลของชุดเรียนรู้ข้อมูลจากตารางที่ 1 เป็นค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะทางสถิติ (Mean of $\overline{X_P}$) ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูงอยู่ที่ 0.0056, 0.0265 และ 0.0728 ตามลำดับและเมื่อทำการพิจารณาประกอบกับช่วงข้อมูลรวมที่ได้จากแผนภาพกล่อง (Box Plot) ดังแสดงในรูปที่ 5 (กลุ่มการเรียนรู้ข้อมูล) แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลลักษณะทางสถิติด้วยค่าเฉลี่ยของเหล็กกล้าคาร์บอนแต่ละชนิดไม่ซ้อนทับกัน ทำให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถใช้สำหรับจำแนกประเภทเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 3 ชนิดได้

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะทางสถิติ (Mean of $\overline{X_P}$) พร้อมทั้งค่าสูงสุดและต่ำสุด ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูงค่าคุณลักษณะทางสถิติด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_P)

Results	Training Dataset			Test Dataset		
	Carbon Content			Carbon Content		
	Low	Medium	High	Low	Medium	High
Mean of $\overline{X_P}$	0.0056	0.0265	0.0728	0.0057	0.0301	0.0723
Min of σ_P	0.0078	0.0189	0.0272	0.0032	0.0206	0.0374
Max of σ_P	0.0442	0.0532	0.0818	0.0086	0.0666	0.1253



รูปที่ 5 แผนภาพกล่อง (Box Plot) ของชุดข้อมูลที่สอดคล้องกับตารางที่ 1

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

ผลการประมวลผลของชุดทดสอบ จากตารางที่ 1 คือค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะทางสถิติของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูงอยู่ที่ 0.0057, 0.0301 และ 0.0723 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าคุณลักษณะทางสถิติของชุดเรียนรู้ข้อมูล พบว่าให้ค่าความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูงอยู่ที่ร้อยละ 1.75, 13.58 และ 0.68 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาประกอบกับช่วงข้อมูลรวมที่ได้จากแผนภาพกล่อง ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเปรียบเทียบชุดเรียนรู้ข้อมูลกับภาพถ่ายประกายไฟสำหรับการทดสอบในเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดเดียวกันให้ผลข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาข้อมูลประมวลผลสุดท้ายด้วยค่าความแม่นยำของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูงอยู่ที่ร้อยละ 100, 95 และ 90 ตามลำดับ

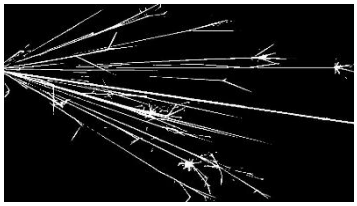
ผลการประมวลภาพถ่ายประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่คำนวณผิดพลาดจำนวน 1 ภาพ พบว่าค่าคุณลักษณะทางสถิติอยู่ที่ 0.0666 (รูปที่ 6 ข.) ซึ่งจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่มีค่าคุณลักษณะทางสถิติเฉลี่ยของชุดการเรียนรู้ข้อมูลอยู่ที่ 0.0728 โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพชุดการเรียนรู้ข้อมูลกลุ่มคาร์บอนสูงที่มีค่าคุณลักษณะทางสถิติที่มีค่าใกล้เคียงกัน ในที่นี้เลือกภาพที่มีค่า $\overline{X_P}$ = 0.0669 (รูปที่ 6 ก.) พบกว่าภาพประกายไฟมีลักษณะคล้ายกัน ในส่วนของผลการประมวลภาพถ่ายประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่ผิดพลาดจำนวน 2 ภาพ พบว่าค่าคุณลักษณะทางสถิติอยู่ที่ 0.0374 (รูปที่ 6 ง.) และ 0.0379 (รูปที่ 6 ฉ.) ซึ่งจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางที่มีค่าคุณลักษณะทางสถิติเฉลี่ยของชุดการเรียนรู้ข้อมูลอยู่ที่ 0.0265 โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับภาพชุดการเรียนรู้ข้อมูลกลุ่มคาร์บอนปานกลางที่มีค่าคุณลักษณะทางสถิติใกล้เคียงกัน โดยในที่นี้เลือกภาพที่มีค่า $\overline{X_P}$ = 0.0375 และ 0.0381 (รูปที่ 6 ค. และ จ.) พบว่าภาพถ่ายประกายไฟทั้ง 2 ภาพมีลักษณะคล้ายกันเช่นกัน จึงทำให้สามารถเรียบเรียงได้ว่าในค่าคุณลักษณะทางสถิติที่มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของภาพถ่ายประกายไฟก็มีความใกล้เคียงกันด้วย ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผล อย่างไรก็ดีความผิดพลาดในการวิเคราะห์ภาพถ่ายประกายไฟของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางและสูงนั้นอาจจะเกิดจากที่เหล็กกล้าทั้ง 2 ชนิดนี้มีส่วนผสมของสารเจืออื่นๆ จำพวก ซิลิกอน (Si) และแมงกานีส (Mn) โดยเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีส่วนผสมของซิลิกอนร้อยละ 0.23 และแมงกานีสร้อยละ 0.43 และในส่วนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีส่วนผสมของซิลิกอนร้อยละ 0.17 และแมงกานีสร้อยละ 0.30 ซึ่งอาจจะเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ประกายไฟของเหล็กกล้าทั้งสองกลุ่มมีลักษณะใกล้เคียงกัน

เมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลของงานวิจัยที่ผ่านมา[2,4] พบว่าสามารถลดขั้นตอนในการตัดสินใจในการป้อนข้อมูลลักษณะของประกายไฟของผู้ปฏิบัติการทดสอบได้และยังให้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยในปี 2551 [3] ที่ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาประมวลผลก็พบว่าผลของการวิจัยฉบับนี้ให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นมาก ในการพัฒนางานวิจัยในอนาคตนั้นหากสามารถเพิ่มพารามิเตอร์ในชุดข้อมูลการเรียนรู้ข้อมูลในส่วนเฉดสีต่างๆ ของประกายไฟ อาจจะทำให้ได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นและมีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้นด้วย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

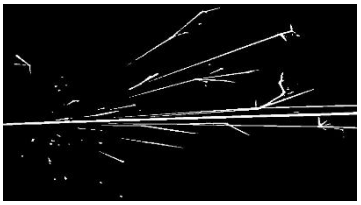
ชุดการเรียนรู้ข้อมูล

ก.



กลุ่มคาร์บอนสูง $\overline{X_P}$ = 0.0669

ค.



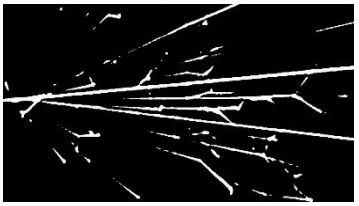
กลุ่มคาร์บอนปานกลาง $\overline{X_P}$ = 0.0375

จ.

กลุ่มคาร์บอนปานกลาง $\overline{X_P}$ = 0.0381

ภาพที่คำนวณให้ผลผิดพลาด

ข.

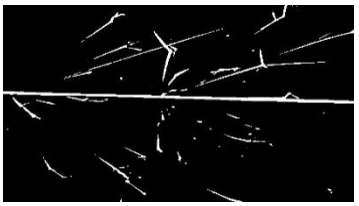


เมื่อคำนวณให้ผลเป็นคาร์บอนสูง $\overline{X_P}$ = 0.0666
(ภาพจริงคือกลุ่มคาร์บอนปานกลาง)

ง.

เมื่อคำนวณให้ผลเป็นคาร์บอนปานกลาง $\overline{X_P}$ = 0.0374
(ภาพจริงคือกลุ่มคาร์บอนสูง)

ฉ.



เมื่อคำนวณให้ผลเป็นคาร์บอนปานกลาง $\overline{X_P}$= 0.0379
(ภาพจริงคือกลุ่มคาร์บอนสูง)

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์รายภาพของชุดการเรียนรู้ข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบภาพที่คำนวณให้ผลผิดพลาด

อย่างไรก็ดี จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ทำให้ทราบได้ว่า ระบบการเรียนรู้ข้อมูลสำหรับการจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยการทดสอบประกายไฟที่สร้างขึ้นด้วยวิธีแมชชีนเลิร์นนิ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถพัฒนาชุดโปรแกรมจากงานวิจัยนี้ให้ใช้งานได้ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนต่างๆ ในอนาคต เพื่อให้สามารถนำมาใช้บอกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนเพื่อพิจารณาในการใช้งานตามคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดนั้น และยังสามารถประยุกต์วิธีอื่นๆ เช่น ระบบการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) หรือระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) เพื่อให้ได้ผลการเรียนรู้ที่แม่นยำมากขึ้น

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์การจำแนกชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยเทคนิคการทดสอบประกายไฟโดยวิธีจำแนกคุณลักษณะของแมชชชีนเลิร์นนิ่งด้วยภาพถ่าย การพัฒนาข้อมูลขั้นตอนการเรียนรู้ข้อมูลเพื่อการจำแนกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ปานกลางและสูง ดำเนินการโดยเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายลักษณะประกายไฟตามมาตรฐาน JIS G 0566 ผลของงานวิจัยนี้พบว่า สามารถจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 100 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 95 และเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ 90

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-NEW-60-13 และขอขอบคุณ คุณชัยยศ ชูชาติเจริญพร คุณอธิวัฒน์ สมสุข และคุณอศิวา ขันเดช ในการอนุเคราะห์ภาพถ่ายประกายไฟต่างๆ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] JIS G 0566, Method of Spark Test for Steels, 1980.

[2] S. Wongsa-ad, S. Wattanasriyakul and P. Jenkittiyon, The development of spark testing for steel identify by digital photographing, Industrial Engineering Network Conference 2007, Proceeding, 2007, 1364-1369. (In Thai)

[3] J. La-or and S. Wattanasriyakul, The feasibility study steels identification with spark test image analysis by image processing technique and neural network, Industrial Engineering Network Conference 2008, Proceeding, 2008, 870-875. (in Thai)

[4] P. Rienpradub, S. Wattanasriyakul and P. Jenkittiyon, Application of web camera technique for steel identification using spark test, The Journal of Industrial Technology, 2013, 9(1), 49-58. (in Thai)

[5] T. Nakata, Development of automated spark testing technique by image processing to measure carbon content in steel materials, Automation in the Mining, Mineral and Metal Industries 2013, Proceeding, 2013, 118-119.

[6] T. Dalke, J. Brink and M. Weller, Material determination using spark observation, Global Journal of Engineering Education, 2013, 15(3), 165-170.

[7] K.H. Rawani, S.V. Painjane, A.P. Salunkhe, S.S. Patil, S.S. Dharmarao, and P. Deshpande, Experimental analysis and determination of various plain carbon steel by using spark test, International Journal of Research Publications in Engineering and Technology, 2017, 3(4), 123-128.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (Print): 1686-9869, ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2022.08.005

[8] R.W. Picard, E. Vyzas and J. Healey, Toward machine emotional intelligence: Analysis of affective physiological state, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(10), 1175-1191.

[9] T.F. Bastos-Filho, A. Ferreira, A.C. Atencio, S. Arjunan and D. Kumar, Evaluation of feature extraction techniques in emotional state recognition, The 4th International Conference on Intelligent Human Computer Interaction (IHCI), Proceeding, 2012, 1-6.

[10] B. Bataineh, S.N.H.S. Abdullah, K. Omar, A novel Statistical Feature Extraction Method for Textual Images: Optical Font Recognition, Expert System with Applications, 2012, 39(5), 5470-5477.

[11] N. Elavarasan and K. Mani, A survey on feature extraction techniques, International Journal of Innovation Research in Computer and Communication Engineering, 2015, 3, 52-55.

[12] M.A. Mohammed, K.H. Abdulkareem, B. Garcia-Zapirain, S.A. Mostafa, M.S. Maashi, A.S. Al-Waisy, M.A. Subhi, A.A. Mutlag and D. Le, A comprehensive investigation of machine learning feature extraction and classification methods for automated diagnosis of COVID-19 based on x-ray images, Computers, Materials and Continua, 2021, 66(3), 3289-3310.

[13] M. AlQuraishi, Machine learning in protein structure prediction, Current Opinion in Chemical Biology, 2021, 65, 1-8.

[14] www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html. (Accessed on 29 December 2021)