

วิธีตรวจหาการกัดกร่อนบนโพลทิพ

Detection Method for Corrosion on the Pole Tip

สมเจตน์ บุญชื่น, อัยฎางค์ บุญศรี, ไพศาล มุณีสว่าง และ สุชาติ เข้มมน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000 E-mail: sucharty@nu.ac.th

บทคัดย่อ – ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญคือการตรวจหาการกัดกร่อนของโพลทิพซึ่งทำหน้าที่เป็นหัวอ่านและเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นจึงต้องมีการทำงานที่มีความแม่นยำสูง โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะใช้สายตาของมนุษย์ในการตรวจหาการกัดกร่อนซึ่งมักเกิดความผิดพลาดได้เพราะว่าความเมื่อยล้า งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจหาการกัดกร่อนบนโพลทิพแบบอัตโนมัติภายในทอปชีลด์กับการกัดกร่อนตามแนวขอบล่างทอปชีลด์โดยใช้ตัวจำแนก 3 ลักษณะเด่น คือ คุณลักษณะเด่น 1 ที่ใช้จำแนกพื้นที่กัดกร่อนภายในทอปชีลด์ คุณลักษณะเด่น 2 ที่ใช้จำแนกตำแหน่งกัดกร่อนขอบล่างทอปชีลด์ และคุณลักษณะเด่นแบบผสมผสานระหว่างคุณลักษณะเด่น 1 และ 2 ที่ใช้จำแนกการกัดกร่อนบริเวณทอปชีลด์ จากผลการทดลองกับกลุ่มข้อมูลจำนวน 647 รูป พบว่า คุณลักษณะเด่นแบบผสมผสานซึ่งมีค่าความถูกต้องร้อยละ 96.75 ให้ค่าประสิทธิภาพในการจำแนกการกัดกร่อนมากกว่าคุณลักษณะเด่น 1 และ 2 ซึ่งมีค่าความถูกต้องร้อยละ 69.86 และ 93.51 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การตรวจหาการกัดกร่อน ทอปชีลด์ โพลทิพ

Abstract - In hard disk drive manufacturing, one of important steps is corrosion detection on the pole tip that serves as both reading and writing heads of the hard disk drives. Thus, it must be worked with high accuracy. In general, the corrosion detection is performed by the human eyes, which can often fail to do because of the fatigue. This research presents automatic corrosion inspection methods. The inspected corrosion is within the top shield and along the bottom edge of the top shield by using three

classification features: the first one is used for classifying corrosion area within the top shield, the second one is used for classifying corrosion position along the bottom edge of the top shield, and the last one which is a combination of the 1st and 2nd features is used for classifying the corrosion of the top shield. From experiment results with 647 pole tip images, it was found that the integrated feature with an accuracy of 96.75 provided higher efficiency of corrosion detection than both 1st and 2nd features with accuracies of 69.86 and 93.51, respectively.

Keywords : corrosion detection, the top shield, the pole tip

1. บทนำ

นับตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมา ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกและเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ 1 ใน 10 อันดับแรกของประเทศทุกปี ในการขบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงต้องทำการตรวจสอบคุณภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทุกขั้นตอนการผลิตก่อนที่จะส่งออกไปจำหน่าย ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างขั้นตอนการผลิตจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากถ้าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ผลิตไม่มีคุณภาพตามลักษณะที่กำหนดจะส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าที่ใช้ผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้น ถ้ามีปัญหาใดๆ เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต บริษัทผู้ผลิตจะให้ความสำคัญเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

โดยทั่วไป หนึ่งในกระบวนการตรวจสอบของคุณภาพฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างการผลิตของบริษัทผู้ผลิต คือ การตรวจสอบการกัดกร่อนโพลทิพของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่เกิดจากการกัดกร่อนของโลหะผสม $Co-Fe$ ที่ใช้เป็นวัสดุในการทำหน้าที่

เป็นหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เมื่อวัสดุนั้นไปสัมผัสกับสารเคมี และสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิต ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรม การผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทำการตรวจสอบการกัดกร่อนโดยการ ใช้สายตาของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบจากภาพโพลิทอปผ่านหน้า จอมอนิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมพีอีเอสเอส เมื่อหลายปีมานี้ความ จุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีค่าน้อยกว่า 320 จิกะไบต์ จึงสามารถ ตรวจหาการกัดกร่อนของโพลิทอปจากเครื่องโอเอสซิสได้ แต่ใน ปัจจุบันความจุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีค่าจนถึง 2 เทราไบต์ และ จะมีความจุเพิ่มมากขึ้นอีกในอนาคต ส่งผลให้โพลิทอปมีขนาด เล็กกลงและไม่สามารถตรวจสอบด้วยเครื่องโอเอสซิสได้ ทาง อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จึงทำการตรวจสอบการ กัดกร่อนของโพลิทอปเฉพาะบริเวณที่ออปซิลด์แทน โดยจะ ตรวจสอบเฉพาะการกัดกร่อนภายในของบริเวณที่ออปซิลด์และ แนวขอบล่างของบริเวณที่ออปซิลด์ด้วยการใช้สายตาของ เจ้าหน้าที่มองผ่านทางหน้าจอจอมอนิเตอร์ ในแต่ละวันเจ้าหน้าที่ ต้องมองภาพโพลิทอปผ่านทางจอจอมอนิเตอร์จำนวนมาก ทำให้เกิด ความเหนื่อยล้าของสายตา ส่งผลให้การตรวจสอบการกัดกร่อน นี้เกิดความผิดพลาดอยู่บ่อยครั้ง และทำให้คุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ลดลงอันส่งผลให้ลูกค้าขาดความเชื่อมั่นในบริษัทได้ ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตจึงมีความต้องการปรับปรุงวิธีการตรวจสอบ การกัดกร่อนให้เป็นแบบอัตโนมัติที่มีความรวดเร็วและความ เทียงตรงสูงแทนวิธีการตรวจสอบแบบดั้งเดิมเพื่อลดความ ผิดพลาดดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการ ตรวจหาความผิดปกติหรือความบกพร่องชิ้นงานแบบอัตโนมัติ หลายหัวข้อแต่ยังไม่มียานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาการกัด กร่อนบนภาพโพลิทอป ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจหา ความผิดปกติ มีดังต่อไปนี้ ฐุมาร์ [1] นำเสนอการตรวจหา จุดบกพร่องบนลายผ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิค 3 ประเภทคือ เทคนิคการเก็บสถิติของลายผ้าแต่ละชนิดโดยใช้การประมวลผล ภาพด้วยรูปร่างและ โครงร่างของภาพชนิดต่างๆ เทคนิคการ ตรวจสอบสเปกตรัมโดยอาศัยวิธีการแปลงชนิดต่างๆ และเทคนิค การสร้างโมเดล ส่วนชู้ยและคณะ [2] นำเสนอการตรวจสอบ ขีอบกพร่องบนผ้าโดยแบ่งภาพออกเป็นส่วนเล็กๆ แล้วใช้ เทคนิคอัสตัสสัมพันธ์ และใช้ Fisher classification .ในการคัด แยกสิ่งแปลกปลอมของผ้า นอกจากนี้หลินและคณะ [3] นำเสนอการตรวจสอบหาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนทางรถไฟ

โดยใช้เทคนิคทางสถิติจากค่าฮิสโตแกรมและการกำหนดค่าขีด แบ่งแบบปรับตัวได้ ทำนี้สุเมธ และคณะ [4] นำเสนอวิธีการ ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมบน ABS โดยใช้การประมวลผลภาพ ด้วยรูปร่างและ โครงร่างของภาพแบบต่างๆ เทคนิคการคัดแยก ขนาดของสิ่งแปลกปลอมกับขอบ และฟังก์ชันกรองแบบเกาส์ เขียนแบบเฉลี่ยกึ่งกลาง

ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการผสมผสาน คุณลักษณะคำาณการกัดกร่อนภายในของบริเวณที่ออปซิลด์ที่ ได้รับจากเทคนิคการตัดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันของบารักอีเมียน [5] ร่วมกับคุณลักษณะคำาณการกัดกร่อนแนวขอบ ล

ขั้นตอนวิธีการที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจหาการกัดกร่อนบริเวณที่ขอบเขตของภาพโพลาทิฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1 การจัดเตรียมข้อมูลภาพ

ผู้เชี่ยวชาญของบริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์ทางแสงด้วยวีชนาคาลังขยาย 1200 เท่าเพื่อถ่ายภาพส่วนโพลาทิฟที่มีขนาด 2048 x 2048 พิกเซล จำนวน 647 รูป ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มภาพส่วนปกติจำนวน 289 รูปและกลุ่มภาพส่วนกัดกร่อนจำนวน 358 รูป จากนั้นผู้เชี่ยวชาญนำกลุ่มภาพส่วนปกติมาคัดเลือกและสร้างเป็นภาพแม่แบบต้นฉบับเฉพาะบริเวณที่ขอบเขตที่มีโอกาสเกิดการกัดกร่อน ขนาด 150 x 1250 พิกเซล โดยกำหนดให้ $w[m,n]$ ซึ่งมีดัชนีตามแนวนอน $m \in \{0,1,2,\dots,149\}$ และมีดัชนีตามแนวหลัก $n \in \{0,1,2,\dots,1249\}$ เป็นค่าระดับเทาของภาพแม่แบบต้นฉบับ

2.2 การเลือกบริเวณที่ขอบเขต

การเลือกบริเวณที่ขอบเขตประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ หาค่าสหสัมพันธ์ ระบุตำแหน่งบริเวณที่ขอบเขตของภาพโพลาทิฟที่ใช้ทดสอบ และแปลงภาพที่ขอบเขตทดสอบเป็นภาพขาวดำ

ในการหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation) [6, 7] เริ่มกำหนด $f[m,n]$ เป็นค่าระดับเทาของภาพโพลาทิฟที่ใช้ทดสอบขนาด 2048 x 2048 พิกเซล ผู้วิจัยสามารถหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างภาพแม่แบบต้นฉบับ $\{w[m,n]\}$ กับภาพโพลาทิฟที่ใช้ทดสอบ $f[m,n]$ ได้ว่า

$$r_{fw}[m,n] = \sum_{s=0}^{149} \sum_{t=0}^{1249} f[s,t]w[m+s,n+t] \quad (1)$$

โดยที่ m และ n เป็นเลขดัชนีที่ระบุตำแหน่งตามแนวนอนและแนวหลัก ตามลำดับและ $m,n \in \{0,1,2,\dots,2047\}$

เมื่อได้รับค่าสหสัมพันธ์ของแต่ละภาพที่ใช้ทดสอบกับภาพแม่แบบต้นฉบับแล้ว เราสามารถใช้กำหนดขอบเขตบริเวณที่ขอบเขตของภาพโพลาทิฟที่ใช้ทดสอบด้วยวิธีการหาค่าพิกัด ณ ตำแหน่งซึ่งทำให้ได้ค่าสหสัมพันธ์สูงสุดตามปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมดังนี้

$$\max_{m,n \in U} r_{fw}[m,n] = r_{fw}[m_0,n_0] \quad (2)$$

ต่อมาหาพิกัด $[m_0,n_0]$ มาใช้สร้างภาพบริเวณที่ขอบเขตที่ใช้ทดสอบกล่าวคือ $\{f[m_0+m,n_0+n]\}$ สำหรับดัชนี $m \in \{0,1,2,\dots,199\}$ และดัชนี

เป็นหลุมดำภายในที่อปซิด์และเกิดการบิ่นเว้าตามแนวขอบล่างของที่อปซิด์ จากลักษณะดังกล่าว ทำให้ได้ลักษณะเด่นของภาพโพลทิพในส่วนที่ดีและส่วนที่มีการกักร่อนออกมา 2 ลักษณะเด่น คือการแสดงภาพการกักร่อนที่กล่าวถึง

1) ปริมาณพื้นที่การกักร่อนเกิดขึ้นภายในบริเวณที่อปซิด์ซึ่งเรียกว่าคุณลักษณะเด่น 1

2) ปริมาณจำนวนตำแหน่งกักร่อนแนวขอบล่างที่อปซิด์ซึ่งเรียกว่าคุณลักษณะเด่น 2

ลักษณะเด่นทั้งสองกลุ่มมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก จึงเลือกนำมาใช้เป็นคุณลักษณะเด่นแบบผสมผสานเพื่อนำไปจำแนกกลุ่มภาพโพลทิพส่วนที่ดีและส่วนที่กักร่อนด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยมีรายละเอียดลำดับขั้นตอนการสร้างคุณลักษณะเด่นดังนี้

การสร้างคุณลักษณะเด่น 1

เริ่มต้นด้วยการแปลงค่าระดับของภาพสองระดับที่ได้รับจากส่วนที่ 2.2 โดยเปลี่ยนค่าระดับจาก 1 เป็น 0 และเปลี่ยนค่าระดับจาก 0 เป็น 1 ทำให้ได้รับค่าระดับของภาพสองระดับเท่ากับ

$$b_{inv}[m,n] = 1 - b[m,n] \quad (6)$$

จะเห็นได้ว่าภาพสองระดับ $\{b_{inv}[m,n]\}$ มีพื้นที่บริเวณเหนือขอบบนและใต้ขอบล่างของที่อปซิด์เป็นสีขาว ถ้ามีการกักร่อนเกิดขึ้นภายในบริเวณที่อปซิด์แล้วจะมีลักษณะเป็นหลุมสีขาวภายในบริเวณดังกล่าว

ต่อมานำภาพสองระดับ $\{b_{inv}[m,n]\}$ มาหาพื้นที่กักร่อนภายในบริเวณที่อปซิด์ด้วยวิธีการตัดป้ายส่วนประกอบที่เชื่อมต่อกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1000 พิกเซล [5] ทำให้ได้รับผลลัพธ์เป็นภาพสองระดับ $\{b_{obj}[m,n]\}$ ที่ใช้จำแนกการกักร่อนเกิดขึ้นภายในบริเวณที่อปซิด์ในรูปแบบปริมาณพื้นที่กักร่อนซึ่งมีนิยามว่า

$$Area = \sum_0^{199} \sum_0^{1199} b_{obj}[m,n] \quad (7)$$

จะเห็นได้ว่า ถ้าค่าของ $Area = 0$ แล้วภาพโพลทิพที่นำมาทดสอบจะไม่มีลักษณะการกักร่อนภายในบริเวณที่อปซิด์ และ ถ้าค่าของ $Area > 0$ แล้วภาพโพลทิพที่นำมาทดสอบจะมีลักษณะการกักร่อนภายในบริเวณที่อปซิด์

การสร้างคุณลักษณะเด่น 2

เริ่มต้นด้วยการหาผลต่างของภาพสองระดับ $\{b_{inv}[m,n]\}$ จากสมการ (6) กับภาพสองระดับ $\{b_{obj}[m,n]\}$ ที่ได้รับหลังจากการตัดป้ายส่วนประกอบเชื่อมต่อกันในส่วนการสร้างคุณลักษณะเด่น 1 ทำให้ได้รับค่าระดับของภาพสองระดับใหม่เป็น

$$b_{dif}[m,n] = b_{inv}[m,n] - b_{obj}[m,n] \quad (8)$$

ต่อมานำภาพสองระดับ $\{b_{dif}[m,n]\}$ ไปผ่านการหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่ [9] ทำให้ได้รับภาพผลลัพธ์ $\{b_{edg}[m,n]\}$ หลังจากได้รูปที่แสดงขอบล่างและขอบบนบริเวณที่อปซิด์ได้ ทำการกักรองส่วนเฉพาะขอบล่างบริเวณที่อปซิด์โดยคัดส่วนขอบบนออกด้วยวิธีการเลือกเฉพาะพื้นที่ครึ่งภาพล่าง จากนั้นนำภาพส่วนขอบล่างนี้ไปผ่านการแปลงภาพให้เป็นลำดับพิกัดแนวหลักของตำแหน่งขอบล่างซึ่งนิยามว่า $\{x[n]\}$ สำหรับ $n \in \{0,1,2,\dots,1199\}$ ต่อมานำลำดับข้อมูลนี้ไปผ่านการดำเนินการสเกลทางเวลาด้วยสอง จึงทำให้ได้รับลำดับข้อมูลใหม่เป็น $\{x[2n]\}$ สำหรับ $n \in D = \{0,1,2,\dots,599\}$ และหาค่าสมมาตรของผลต่างของข้อมูลนี้ได้ว่า

$$d[n] = |x[2n] - x[2n+2]| \quad (9)$$

หลังจากนั้นนำลำดับข้อมูล $\{d[n]\}$ สำหรับ $n \in D$ ไปหาจำนวนตำแหน่งการกักร่อนขอบล่างบริเวณที่อปซิด์โดยตำแหน่งที่เกิดการกักร่อนคือดัชนี n ที่ทำให้ $d[n] > 1$ กำหนดให้ P คือเซตของดัชนี n ที่ทำให้ค่าของ $d[n]$ มีคุณสมบัติว่า $d[n] > 1$ กล่าวคือ

$$P = \{n \in D \mid \text{if } d[n] > 1\} \quad (10)$$

ดังนั้น ถ้าเซต P เป็นเซตว่าง แล้วภาพโพลทิฟที่นำมาทดสอบ จะไม่มีลักษณะการกักร่อนตามขอบล่างบริเวณที่อปซิลด์ และ ถ้าเซต P ไม่เป็นเซตว่าง แล้วภาพโพลทิฟที่นำมาทดสอบจะมี ลักษณะการกักร่อนตามขอบล่างบริเวณที่อปซิลด์

การสร้างคุณลักษณะเด่นแบบผสมผสาน

เพื่อให้การจำแนกการกักร่อนครอบคลุมทั้งภายในและ ขอบล่างบริเวณที่อปซิลด์ จึงต้องสร้างคุณลักษณะเด่นแบบ ผสมผสานซึ่งเป็นการนำคุณลักษณะเด่น 1 และ 2 มาทำสัญญา กร “หรือ” ดังนี้

$$AP = (Area > 0) \vee (n(P) > 0) \quad (11)$$

$n(P)$ ในความสัมพันธ์ (11) คือจำนวนสมาชิกภายในเซต P และ “ $\vee$ ” คือสัญญากร “หรือ” ดังนั้นสรุปได้ว่า ถ้า AP มีค่า ความจริงเป็น “เท็จ” แล้วภาพโพลทิฟที่นำมาทดสอบจะไม่มี ลักษณะการกักร่อนบริเวณที่อปซิลด์ และ ถ้า AP มีค่าความ จริงเป็น “จริง” แล้วภาพโพลทิฟที่นำมาทดสอบจะมีการกั กร่อนบริเวณที่อปซิลด์

3. การวัดประสิทธิภาพการจำแนก

ในการตรวจสอบความถูกต้องการจำแนกของระบบที่ พัฒนาขึ้นมาใช้ตรวจหาการกักร่อนบริเวณที่อปซิลด์บนภาพ โพลทิฟนั้น จะนับเมื่อระบบสามารถตรวจพบการกักร่อนบริเวณที่ อปซิลด์ที่ผู้เชี่ยวชาญกำหนดว่ามีการกักร่อน ในส่วนการนับว่า ไม่ถูกต้องนั้นมี 2 แบบด้วยกัน คือ ภาพโพลทิฟที่ผู้เชี่ยวชาญระบุ ว่าไม่มีการกักร่อนแต่ระบบตรวจพบว่ามีกักร่อน เรียกว่า ความผิดพลาดทางบวก (False Positive: FP) อีกแบบหนึ่ง คือ ภาพ โพลทิฟที่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่ามีการกักร่อนแต่ระบบตรวจพบว่ามี การกักร่อน เรียกว่า ความผิดพลาดทางลบ (False Negative: FN) ในส่วนความผิดพลาดนี้จะมีผลมากกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ออกไปสู่ ผู้บริโภคเพราะอาจทำให้ความเชื่อมั่นต่อผลิตภัณฑ์ลดลงได้

การวัดประสิทธิภาพการจำแนกการกักร่อนของภาพ โพลทิฟจะใช้ผลรวมค่าความถูกต้องการจำแนกในหน่วยร้อยละซึ่งมี นิยามว่า

$$\text{ผลรวมค่าความถูกต้องการจำแนก} = \frac{R \times 100}{N} \quad (12)$$

โดยที่ R คือผลรวมของจำนวนภาพโพลทิฟที่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่า ไม่มีการกักร่อนและระบบตรวจพบว่าไม่มีการกักร่อน กับ จำนวนภาพโพลทิฟที่ผู้เชี่ยวชาญระบุว่ามีการกักร่อนและระบบ ตรวจพบว่ามีกักร่อน ส่วน N คือจำนวนภาพโพลทิฟที่ นำมาทดสอบทั้งหมด ถ้าระบบที่พัฒนาขึ้นตรวจสอบการกั กร่อยของภาพโพลทิฟมีประสิทธิภาพการจำแนกสูงแล้วระบบนี้ ต้องได้รับค่าความถูกต้องการจำแนกร้อยละ 100

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการตรวจหาการกักร่อนบนโพลทิฟ เริ่มจากการ เรียนรู้ลักษณะเด่นที่ได้จากส่วนปกติและผิดปกติของการกั กร่อนบนภาพถ่ายโพลทิฟบริเวณที่อปซิลด์จำนวน 647 รูป โดย แบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลส่วนปกติจำนวน 289 รูปและกลุ่มข้อมูล ส่วนผิดปกติจำนวน 358 รูป ผู้เชี่ยวชาญนำกลุ่มข้อมูลส่วนปกติ มาคัดเลือกและสร้างเป็นภาพแม่แบบต้นฉบับเฉพาะบริเวณที่อป ซิลด์ที่มีโอกาสเกิดการกักร่อน ขนาด 150 x 1250 พิกเซล ดัง แสดงในรูปที่ 2 เพื่อใช้เป็นภาพอ้างอิงในการเลือกบริเวณที่ สนใจของภาพทดสอบด้วยวิธีการสหสัมพันธ์

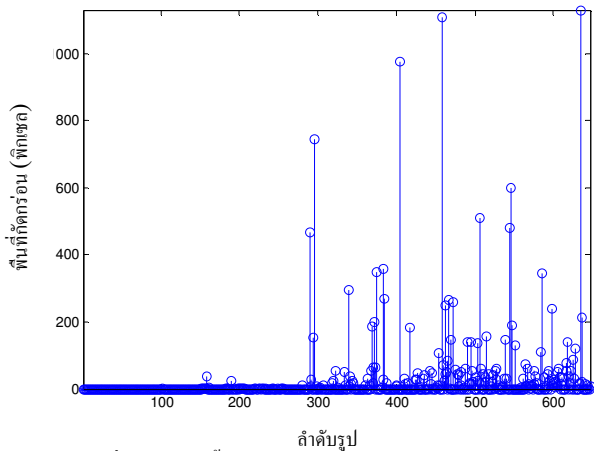


รูปที่ 2 ภาพแม่แบบต้นฉบับบริเวณที่อปซิลด์

จากนั้นผู้วิจัยนำภาพทดสอบจำนวน 647 รูปมาทดลอง ใช้การจำแนกกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการจำแนกของคุณลักษณะเด่น 1 (ปริมาณพื้นที่การกักร่อนภายในที่อปซิลด์) คุณลักษณะเด่น 2 (ปริมาณจำนวนตำแหน่งกักร่อนขอบล่างที่อปซิลด์) และ คุณลักษณะเด่นแบบผสมผสาน (ปริมาณพื้นที่การกักร่อน ภายในที่อปซิลด์หรือปริมาณจำนวนตำแหน่งกักร่อนขอบ ล่างที่อปซิลด์) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกของ วิธีการดังกล่าวดังละเอียดที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2 และหัวข้อที่ 3

จากผลการทดลองสำหรับวิธีการจำแนกของคุณลักษณะ เด่น 1 กับกลุ่มข้อมูลจำนวน 647 รูป ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า สามารถจำแนกกลุ่มข้อมูลส่วนกักร่อนจำนวน 283 รูป และ

จำนวนกลุ่มข้อมูลส่วนปกติจำนวน 169 รูป ให้ค่าความผิดพลาดเป็นร้อยละ 30.14

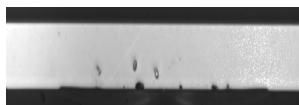


รูปที่ 3 ปริมาณพื้นที่ที่ถักกร่อนภายในบริเวณที่อปซิดส์ของแต่ละรูป

ตัวอย่างผลลัพธ์แต่ละลำดับขั้นตอนในการสร้างตัวจำแนกคุณลักษณะเด่น 1 ซึ่งเป็นปริมาณพื้นที่การถักกร่อนภายในบริเวณที่อปซิดส์ของภาพโพลิทิก ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4



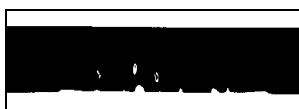
(ก) ตัวอย่างภาพโพลิทิกที่ใช้ทดสอบ



(ข) ตัวอย่างภาพหลังผ่านการหาค่าสหสัมพันธ์และระบุตำแหน่งบริเวณที่อปซิดส์



(ค) ตัวอย่างภาพหลังการแปลงค่าระดับเทาเป็นค่าสองระดับ (1 และ 0)



(ง) ตัวอย่างภาพหลังการแปลงค่าระดับจาก 1 เป็น 0 และจาก 0 เป็น 1

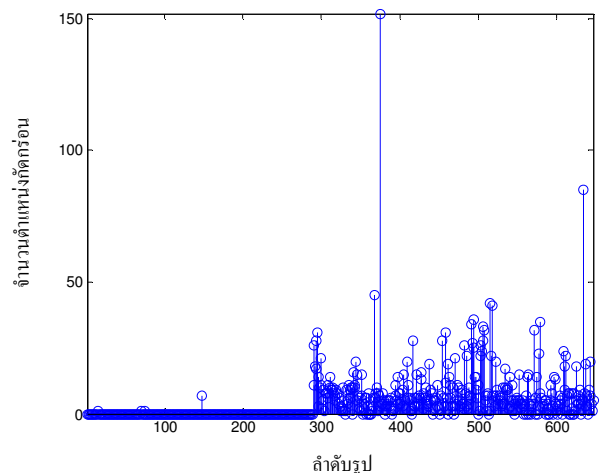


(จ) ตัวอย่างภาพที่แสดงบริเวณถักกร่อนภายในที่อปซิดส์

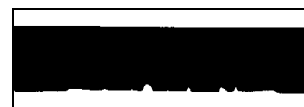
รูปที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์ในการสร้างคุณลักษณะเด่น 1

จากผลการทดลองสำหรับวิธีการจำแนกของคุณลักษณะเด่น 2 กับกลุ่มข้อมูลภาพโพลิทิกจำนวน 647 รูป ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า สามารถจำแนกกลุ่มข้อมูลส่วนถักกร่อนจำนวน 285 รูป และจำนวนกลุ่มข้อมูลส่วนปกติจำนวน 320 รูป ให้ค่าความผิดพลาดเป็นร้อยละ 6.49

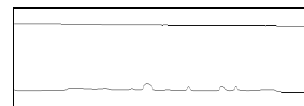
ตัวอย่างผลลัพธ์แต่ละลำดับขั้นตอนในการสร้างตัวจำแนกคุณลักษณะเด่น 2 ซึ่งเป็นปริมาณจำนวนตำแหน่งถักกร่อนขอบล่างบริเวณที่อปซิดส์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6



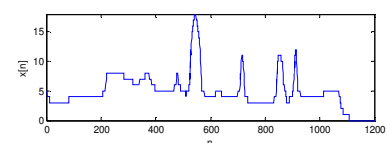
รูปที่ 5 จำนวนตำแหน่งถักกร่อนขอบล่างที่อปซิดส์ของแต่ละรูป



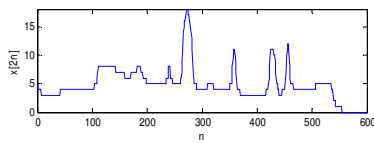
(ก) ตัวอย่างภาพหลังผ่านการหาผลต่างของภาพ



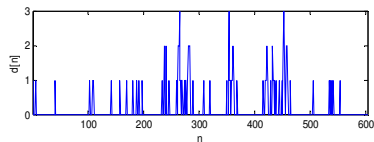
(ข) ตัวอย่างภาพหลังการหาขอบภาพด้วยวิธีแคนนี่



(ค) ตัวอย่างลำดับข้อมูลหลังผ่านการแปลงภาพเป็นลำดับข้อมูลพิกัดแนวหลัก



(ง) ตัวอย่างลำดับข้อมูลหลังผ่านการสเกลทางเวลาด้วยสอง



(จ) ตัวอย่างภาพหลังผ่านการหาผลต่างลำดับข้อมูล

รูปที่ 6 ตัวอย่างผลลัพธ์ในการสร้างคุณลักษณะเด่น 2

จากผลการทดลองสำหรับวิธีการจำแนกของคุณลักษณะเด่น แบบผสมผสานกับกลุ่มข้อมูลจำนวน 647 รูป พบว่าสามารถจำแนกกลุ่มข้อมูลส่วนกักร่อนจำนวน 281 รูป และจำนวนกลุ่มข้อมูลส่วนปกติจำนวน 345 รูป ให้ค่าความผิดพลาดเป็นร้อยละ 3.25

ตารางที่ 1 แสดงผลรวมค่าความถูกต้องในการจำแนกการกักร่อนบริเวณโพลทิพของแต่ละวิธีและได้ผลสรุปดังต่อไปนี้ วิธีการแบบผสมผสานที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความถูกต้องการจำแนกสูงสุดและได้ถูกเลือกเป็นตัวจำแนกสำหรับการตรวจหาการกักร่อนในบริเวณที่อปซิลด์ของภาพโพลทิพสำหรับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ผลการทดลองการตรวจหาการกักร่อนบนโพลทิพในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ยังมีรูปที่กักร่อนแต่ถูกเลือกจากระบบว่าปกติจำนวน 13 รูปและมีรูปที่ปกติแต่ถูกเลือกจากระบบว่ากักร่อนจำนวน 8 รูป ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากตามแนวขอบล่างที่อปซิลด์มีค่าความชันของเส้นโค้งการยอบน้ำน้อยมาก

ตารางที่ 1 ผลรวมค่าความถูกต้องในการจำแนกแต่ละวิธีการ

วิธีการ	กลุ่มข้อมูลปกติ (289 รูป)		กลุ่มข้อมูลผิดปกติ (358 รูป)		ผลรวมค่าความถูกต้องการจำแนก (ร้อยละ)
	ถูกต้อง	ผิดพลาด	ถูกต้อง	ผิดพลาด	
แบบผสมผสาน	281	8	345	13	96.75
คุณลักษณะเด่น 1	283	6	169	189	69.86
คุณลักษณะเด่น 2	285	4	320	38	93.51

5. สรุปผลการ

- [3] Lin, J., Luo, S., Li, Q., Zhang, H., & Ren, S. (2009, 5-8 July 2009). *Real-time rail head surface defect detection: A geometrical approach*. Paper presented at the Industrial Electronics, 2009. ISIE 2009. IEEE International Symposium on.
- [4] สุเมธ นัฐสถาพร และคณะ. (2553). วิธีตรวจหาสิ่งแปลกปลอมบนภาพถ่ายของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33, 1249-1252.
- [5] Baraghimian, G. A. (1989, 20-22 Sep 1989). *Connected component labeling using self-organizing feature maps*. Paper presented at the Computer Software and Applications Conference, 1989. COMPSAC 89., Proceedings of the 13th Annual International.
- [6] Gonzalez, R. C., & Wintz, P. A. (1987). *Digital image processing*, Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- [7] Liang, P., Zhiwei, X., & Jiguang, D. (22-24 Oct. 2010). *Fast normalized cross-correlation image matching based on multiscale edge information*. Paper presented at the Computer Application and System Modeling (ICCSM), 2010 International Conference on.
- [8] Otsu, N., (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 9(1), 62-66.
- [9] Bing, W., & ShaoSheng, F. (2009, 28-30 Oct. 2009). *An Improved CANNY Edge Detection Algorithm*. Paper presented at the Computer Science and Engineering, 2009. WCSE '09. Second International Workshop on.

8. ประวัติผู้เขียนบทความ

นายสมเจตน์ บุญขึ้น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.ไฟฟ้า) ในปี พ.ศ. 2552 จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท (วศ.ม.ไฟฟ้า) ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายอัษฎางค์ บุญศรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.ไฟฟ้า) ในปี พ.ศ. 2552 จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท (วศ.ม.ไฟฟ้า) ที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.โทรคมนาคม) ในปี พ.ศ. 2539 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาสตรมหาบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2542 จากมหาวิทยาลัยนิวเซาท์เวลส์ และ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก ในปี พ.ศ. 2545 จากมหาวิทยาลัยซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.ไฟฟ้า, เกียรตินิยม) ในปี พ.ศ. 2531 จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ในปี พ.ศ. 2541 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกในปี พ.ศ. 2544 จากมหาวิทยาลัยเวอเดอร์บิลท์ รัฐเทนเนสซี ประเทศสหรัฐอเมริกา