การกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด

Corrosion-Erosion of Carbon Steel in Acidic Conditions Slurry

เสรี หนูหลง[1*], ธนะรัตน์ รัตนกูล[2] และกันต์ธมน สุขกระจ่าง[3]

Seree Nulong[1*], Tanarat Rattnakool[2] and Kantamon Sukkrajang[3]

[1,2,3] อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

[1,2,3] Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University.

[*] **Corresponding author, E-mail:** Tanarat.r@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมที่มีพฤติกรรมคล้ายดินเปรี้ยว เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าคาร์บอนที่นำมาทดลองมี 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low-carbon steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High-carbon steel) โดยทำการศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสเลอร์รี ของกรดซัลฟิวริก ที่ pH4 และทรายซึ่งเสมือนหนึ่งเป็นดินเปรี้ยวสังเคราะห์ โดยการจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ด้วยชุดทดสอบ ที่เรียกว่า โรเทตติ่งไซลินเดอร์อิเล็กโทรด (Rotating cylinder electrode) การทดสอบเริ่มต้นด้วยการทดสอบการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รี ของน้ำและทรายซึ่งมีความเข้มข้นของทรายร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ pH4 ที่ไม่มีทราย และสุดท้ายจะเป็นการศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสเลอร์รีของสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ pH4 โดยมีทรายร้อยละ 20 โดยน้ำหนักผสมอยู่ด้วย นอกจากนั้นในการทดลองได้ศึกษาผลของความเร็วของการหมุนชิ้นงาน ต่ออัตราการสึกกร่อน อัตราการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาอัตราการกัดกร่อน คือ เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกส์ จากผลการทดลองทั้ง 3 วิธี พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน กล่าว คือ อัตราการสึกกร่อน อัตราการกัดกร่อน และอัตราการสึกกร่อน-กัดกร่อน เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง อัตราการต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นอกจากนี้ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกกร่อน อัตรากัดกร่อน และอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: กัดกร่อน-สึกกร่อน เหล็กกล้าคาร์บอน

Abstract

This research aims at studying corrosion resistance of steels. The steels used in this study was low-carbon steel and high-carbon steel. They were used to determine corrosion-erosion behavior in slurry of sulfuric acid solution (pH4) and sand in the amount of 20 w/w. The slurry is to be used as wet synthetic sour soil. To simulate the movement of these steels, Rotating cylinder electrode test rig was used. The test started from erosion test of these steels in slurry of pure water and sand (20% w/w) followed by erosion test in sulfuric acid solution (pH4). Finally, corrosion-erosion test was conducted in slurry of sulfuric acid solution (pH4) and sand (20% w/w).

Effect of rotating velocity on erosion rate, corrosion rate and corrosion-erosion rate was also evaluated. Potentiodynamic technique was used to determine corrosion rate in both sulfuric acid solution and slurry of sulfuric acid and sand. It can be pointed out that for all studies high-carbon steel had highest corrosion resistance with lowest rate of carrion followed by low-carbon steel. Increasing velocity of all specimen resulted in increase of erosion rate, corrosion rate and corrosion-erosion rate respectively.

Keyword: Corrosion-Erosion Carbon steel

บทนำ

ปัจจุบันการเกษตรหรืองานอุตสาหกรรมนั้น มีความจำเป็นในการใช้เหล็ก เนื่องจากเหล็กนั้นมีสมบัติที่แข็งและมีราคาถูก จึงนิยมใช้เหล็กกันอย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากเหล็กทั่วไปนั้นสามารถเกิดสนิมได้ง่ายจึงไม่เหมาะกับการใช้งานเหล็กในบางสภาวะเช่นในสถานที่ที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูง

เหล็กประกอบด้วยสมบัติต่าง ๆ มากมายที่เป็นประโยชน์ต่องานทางด้านวิศวกรรม เหล็กมีความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้เหล็กมีประโยชน์อย่างมากทางด้านอุตสาหกรรม และทางด้านคมนาคม นอกจากนี้เหล็กยังมีความสามารถในด้านการทนต่อการกัดกร่อนในทุกสภาวะแวดล้อมได้ดี เนื่องจากที่ผิวของเหล็กมักเกิดเป็นฟิล์มของออกไซด์ขึ้น แม้ว่าเหล็กบริสุทธิ์มีความแข็งแรงต่ำ แต่สามารถทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นได้โดยการเติมคาร์บอนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น และช่วงคุณสมบัติในการให้งานกว้างโดยขึ้นกับปริมาณคาร์บอนในเหล็กและชนิดของธาตุที่เติมลงไป การใช้งานเหล็กกล้าคาร์บอนมีหลายลักษณะ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมมีการนำเหล็กกล้าคาร์บอนมาทำเป็นถังเก็บสารละลาย (Tank) ท่อลำเลียงสาร (Pipeline) หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่ฝังไว้ใต้ดิน รวมไปถึงพวกอุปกรณ์ทางการเกษตรที่ใช้ในการปรับสภาพหน้าดินให้มีความเหมาะสมกับการเพาะปลูก ซึ่งอาจทำให้พบกับปัญหาจากสภาวะต่าง ๆ ของดิน เมื่อนำอุปกรณ์ที่มีเหล็กกล้าคาร์บอนงานไปใช้ โดยเฉพาะดินเปรี้ยว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2557) หรือดินกรดซึ่งเป็นดินที่ปัญหาทางการเกษตรเนื่องจากสมบัติที่เป็นกรดซึ่งมีผลต่อกระบวนการเจริญเติบโตของ

พืชแล้วส่งผลต่อปริมาณผลิตผลทางการเกษตร ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่เกิดจากตะกอนของน้ำกร่อย (brackish water alluvium) และตะกอนน้ำทะเล (sea water alluvium) ซึ่งมีสารประกอบซัลไฟด์ในรูปของแร่ไพไรท์ สารนี้เมื่อถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดสารประกอบสีเหลืองฟางข้าวที่เรียกว่าจาโรไซท์ (jarosite) ในชั้นหน้าตัดของดิน และมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก pH ของดินมีค่า 4.5-3.0 หรือต่ำกว่าดังนั้นอุปกรณ์ทางการเกษตรทั้งหลายเช่น รถไถที่ต้องอาศัยเหล็กในการใช้งานเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตจำเป็นที่ต้องเจอสภาวะที่เป็นกรดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อวัสดุที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์ที่จำมาใช้ในการเกษตร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด
2. เพื่อศึกษาอัตราสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด
3. เพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

อัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งนำมาประกอบการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ อันได้แก่

1) **เหล็กกล้าคาร์บอน**

แบ่งออกได้โดยพิจารณาจากปริมาณคาร์บอนที่เติม (วีรพันธ์ สิทธิพงศ์, 2533) ดังต่อไปนี้

(1) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low-carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ร้อยละ 0.05 ถึง 0.3 โดยน้ำหนัก เหล็กกล้าในกลุ่มนี้ค่อนข้างเหนียวและอ่อนตัวทำให้ง่ายต่อการขึ้นรูปและการเชื่อมมีโครงสร้างประกอบด้วย เฟอร์ไรต์และเพิร์ไลต์

(2) เหล็กผสมคาร์บอนปานกลาง (Medium-carbon steel) ที่คาร์บอนผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3 ถึง 0.45 โดยน้ำหนักเนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เหล็กกล้าชนิดนี้มรความแข็งสูงขึ้น การนำไปใช้งานและการนำไปเชื่อมจึงทำได้ยากกว่ากรณีของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยในการเชื่อมจะต้องใช้วัสดุชนิดพิเศษและยังต้องปกป้องแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นด้วย มีโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรต์และเพิร์ไลต์

(3) เหล็กกล้าคาร์บอนสูงถึงสูงมาก (High and very high-carbon steel) ในกรณีที่มีคาร์บอนผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.45 ถึง 0.75 จัดว่าอยู่ในกลุ่มของพวกมีคาร์บอนสูงแต่ถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.75 ถึง 1.70 อยู่ในกลุ่มเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูงมาก มีโครงสร้างแบ่งได้ 3 แบบคือ

ก) ถ้าปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.55 ถึง 0.83 มีโครงสร้างประกอบด้วยเฟอร์ไรต์ และเพิร์ไลต์

ข) ถ้าปริมาณคาร์บอน0.83 มีโครงสร้างประกอบด้วยเพิร์ไลต์เพียงอย่างเดียว

ค) ถ้าปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.83 ถึง 2.00 มีโครงสร้างประกอบด้วยเพิร์ไลต์และซีเมนไทต์ (Secondary cementite)

2) การใช้งานเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมต่ำ

ทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีราคาถูกและช่วงคุณสมบัติในการให้งานกว้าง โดยขึ้นกับปริมาณคาร์บอนในเหล็กและชนิดของธาตุที่เติมลงไป มีการใช้งานเหล็กกล้าคาร์บอนในหลาย ๆ ลักษณะด้วยกัน เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างจะมีการนำเหล็กกล้าคาร์บอนมาทำเป็นถังเก็บสารละลาย (Tank) ท่อลำเลียงสาร (Pipeline) หรือโครงสร้างอื่น ๆ ที่ฝังไว้ใต้ดิน รวมไปถึงพวกอุปกรณ์ทางการเกษตร

ในกรณีเหล็กกล้าผสมมีการใช้งานคล้ายคลึงกับเหล็กกล้าคาร์บอนเช่นกันแต่การเติมธาตุบางตัว เช่น Ni, Cu, Si, และ Cr สามารถช่วยเพิ่มความสามรถการต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะการใช้งานทั่วไปได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการเคลือบผิววัสดุหรือทำการป้องกันแบบแคโทดิกก็ได้ถ้าในสภาวะผิววัสดุสามารถสามารถแห้งได้เร็วด้วยแสงแดด แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีร่มเงาหรือที่เปียกชื้นเพราะจะทำให้เกิดการกัดกร่อนบริเวณรอยแยก (Crevice corrosion) ขึ้นส่งผลให้วัสดุเกิดการบิดเบี้ยวและเสียคุณลักษณะในการใช้งานได้

3) เทคนิค Rotating cylinder electrode (RCE)

เป็นเทคนิคที่นิยมใช้โดยชิ้นงานทดสอบอยู่ในรูปทรงกระบอกติดอยู่กับแกนหมุนโดยรอบเรียกว่า Working electrode ชิ้นงานทดสอบถูกหมุนโดยแกนหมุนดังกล่าวในภาชนะที่บรรจุของเหลวที่สนใจ แกนหมุนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-3 เซนติเมตร ความเร็วรอบที่เกิดขึ้นจากการหมุนแกนจะทำให้ชิ้นงานมีความเร็วเกิดขึ้น ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชิ้นงานทดสอบกับของเหลวจะแปรผันโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุน โดยความเร็วจะคงที่ทุกจุดบนผิวชิ้นงานทดสอบ และสามารถหาความเร็วเชิงเส้นของชิ้นงานที่อยู่ที่แกนหมุนได้จาก (ชินวัฒน์ ทองชัช, 2546)

$$V\ (m/s) = di / 60\ (rpm) \qquad (1\text{-}5)$$

เมื่อ di คือเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของแกนอิเล็กโทรด

Rotating cylinder electrode เป็นเทคนิคที่ใช้กันแพร่หลาย เช่น การศึกษาผลทางกายภาพและปัจจัยทางเคมีไฟฟ้าในการสึกกร่อน-กัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน A 1045 (H.X.Guo & B.T.Lu, 2005) ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน-สึกกร่อนของ Al-Si Alloy (S. Das. et al, 2006) และการศึกษาผลกระทบของขนาดของอนุภาพในการกัดกร่อนและสึกกร่อน ต่อเหล็กที่มีสวนผสมของโครเมียมในสารละลาย NaOH (M.M. Stack. et al, 2004) เป็นต้น ในการศึกษาการกัดกร่อน (Corrosion) ของของไหลหรือมีอัตราการไหล มีการควบคุมการถ่ายเทมวล (Mass transfer) และมีการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ (Turbulant) ซึ่งเป็นการจำลองแบบการกัดกร่อนที่เกิดจากการไหลทั่ว ๆ ไปในสิ่งแวดล้อม หรือใช้

สำหรับศึกษาการไหลในท่อ ผลการศึกษาแบบนี้สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับจลศาสตร์ของไหล (Hydrodynamics) ความแตกต่างของเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลหรือการถ่ายเทแบบอื่น ๆ ได้ดี แต่เทคนิคนี้ไม่สามารถใช้กับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผิวหน้าโลหะตัวอย่างหรือการเกิดฟิล์มที่ผิวหน้าได้

นอกจากนั้นแล้วยังสามารถใช้ศึกษาการสึกกร่อน (Erosion) ของโลหะตัวอย่างในสารละลายที่มีของแข็งร่วมด้วย (Slurry) ได้ ทำให้สามารถหาการสึกกร่อนร่วมกับการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสภาพการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ได้ การสึกกร่อนมีผลต่อค่าการกัดกร่อนเพราะทำให้ค่าของการกัดกร่อนเปลี่ยนแปลงไป โดยอาจเกิดการแตกของฟิล์มที่ทำให้การป้องกันการกัดกร่อนที่ผิวโลหะ (Passive film) อันเป็นผลเนื่องมาจากการกระทำของอนุภาคได้ เช่น ใช้ศึกษาการกัดกร่อนของการไหลของ Slurry ภายในท่อ (Pipeline) ภายใต้สภาวะที่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคและมีอากาศหรือออกซิเจน ซึ่งมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น

4) การสึกกร่อน-กัดกร่อน (Erosion-corrosion)

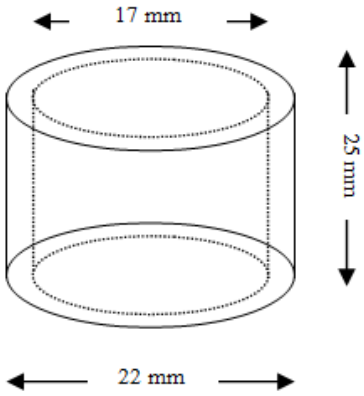
ความเสียหายอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนมีได้หลายรูปแบบ การสึกกร่อน-กัดกร่อน (ณรงค์ ผังวิวัฒน์, 2547) จัดเป็นรูปแบบของการกัดกร่อน โดยเกิดจากผลร่วมกันระหว่างสารละลายที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนกับความเร็วของสารละลายที่วิ่งผ่านวัสดุ ที่ความเร็วต่ำ ๆ การกัดกร่อนจะเกิดได้น้อยแต่เมื่อความเร็วของสารละลายเพิ่มสูงเร็วขึ้นจะก่อให้เกิดการสึกกร่อน และอาจเกิดการหลุดของฟิล์มที่ให้การป้องกันการกัดกร่อนจากผิววัสดุ ทำให้สารละลายสัมผัสกับเนื้อโลหะมากขึ้นอัตราการกัดกร่อนจึงเพิ่มสูงขึ้น ในกรณีที่สารละลายที่ทรายหรืออนุภาคของของแข็งปนเปื้อนอยู่จะทำให้เกิดการสึกกร่อนเพิ่มสูงขึ้นและเพิ่มความรุนแรงในการเกิดการสึกกร่อน-กัดกร่อน

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด โดยเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ชนิด AISI 1018 และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ชนิด AISI 1060 มีรายละเอียดการศึกษา ดังนี้

1) การศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน โดยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิค

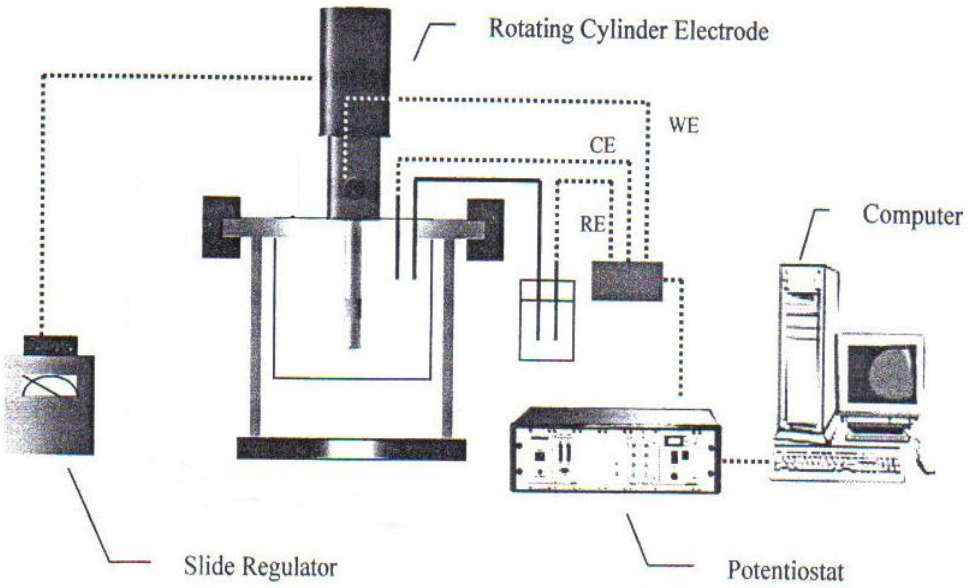
1.1) การเตรียมผิวชิ้นงาน นำชิ้นงานที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว ดังภาพประกอบที่ 1 มาขัดผิวด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 600 บนเครื่องขัดชิ้นงานทดสอบโดยใช้ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาทีจนได้ผิวชิ้นงานที่เรียบปราศจากสนิมจึงทำการล้างผิวชิ้นงานด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดเช็ดผิวชิ้นงานด้วยอะซิโตนอีกครั้ง นำไปเป่าให้แห้งด้วยเครื่องพ่นลมร้อนจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นรอการนำไปทดสอบต่อไป



ภาพประกอบที่ 1 แสดงแบบจำลองของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนตัวอย่าง

1.2) การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ ตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างขั้วต่าง ๆ โดยขั้ว WE (Working Electrode) เชื่อมต่อกับแปลงถ่านขั้ว RE (Reference Electrode) เชื่อมต่อกับ Ag/AgCl Electrode ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายอิ่มตัว KCl โดยมี Luggin Probe เชื่อมจากสารละลายอิ่มตัว KCl สู่ภาชนะทดสอบอีกทีหนึ่งและขั้ว CE (Counter Electrode) เชื่อมต่อกับ Pt Electrode สวมชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเตรียมผิวเรียบร้อยแล้วเข้ากับแท่งเทฟลอนโดยให้ชิ้นงานทดสอบสัมผัสกับจุดรับสัญญาณไฟฟ้าที่แท่งเทฟลอนจากนั้นจึงนำสารละลายตัวอย่างที่ปรับค่า pH เรียบร้อยแล้วมาใส่ในภาชนะทดสอบ นำภาชนะทดสอบประกอบเข้ากับชุดทดสอบ Rotating Cylinder Electrode ด้วยอุปกรณ์จับยึดภาชนะกับฝาปิด ในการทดสอบทางเคมีไฟฟ้า ใช้เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิค โดยตั้งค่า Scan Rate เป็น 1mV/s ช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ทดสอบตั้งแต่ -1.0 ถึง +1.0 ใช้เวลาทดสอบทั้งสิ้น 30 นาทีต่อ 1 ชิ้นงาน การปรับความเร็วรอบของชิ้นงานทดสอบทำได้โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกับมอเตอร์โดยตรงและตรวจสอบความเร็วรอบของชิ้นงานได้จากเครื่องวัดความเร็วรอบซึ่งติดตั้งอยู่ที่บริเวณด้านบนของมอเตอร์ ดังภาพประกอบที่ 2 ในแต่ละสภาวะที่ทำการทดสอบจะต้องทำซ้ำอีก2ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

1.3) การศึกษาผลของค่า pH ในสารละลายกรดซัลฟูริกต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมชนิดต่าง ๆ ค่า pH ที่สนใจในการทดสอบคือ pH4 โดยนำน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตรนำมาปรับค่า pH ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก โดยวัดค่า pH ที่ได้จากเครื่องวัด pH ให้ได้ค่า pH เป็น4 จากนั้นจึงนำไปทดสอบกับชิ้นงานทดสอบ คือ เหล็ก



ภาพประกอบที่ 2 แสดงองค์ประกอบทั้งหมดของระบบ Rotating cylinder electrode ที่ใช้ทดสอบและโพเทนชิโอสแตท จาก *ชินวัฒน์ ทองชัช (2546)*

1.4) การศึกษาผลของความเร็วรอบของการหมุนชิ้นงานในสารละลายสภาวะต่าง ๆ ต่ออัตราการสึกกร่อนและกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมชนิดต่าง ๆ ความเร็วเชิงเส้น (Linear Velocity) ใช้ได้แก่ 2, 4 และ 6m/s แต่ในการทดลองเราใช้การหมุนชิ้นงานทดสอบแทนการให้สารละลายไหล

2) การศึกษาการสึกกร่อนของเหล็กคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการหาน้ำหนักที่สูญหายไป

โดยการบันทึกน้ำหนักชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ประกอบชิ้นงานทั้งสองเข้ากับแกนแท่งเทฟลอน นำน้ำกลั่นที่เตรียมไว้มาใส่ลงไปในภาชนะที่ทดสอบและเติมทรายขนาดประมาณ 100 ไมครอน ลงไปในปริมาณร้อยละ 50 ของปริมาณสารละลาย ประกอบภาชนะทดสอบเข้ากับชุดทดสอบ Rotating cylinder Electrode ในการทดสอบหาน้ำหนักที่สูญหายไปเป็นผลเนื่องมาจากการสึกกร่อนเท่านั้น (Pure erosion) ในการทดสอบกับเหล็กกล้าผสม 2 ชนิด ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ตามลำดับความเร็วรอบของชิ้นงานเป็น 1800 3600 และ 4500 rpm ตามลำดับ หลังการทดสอบนำชิ้นงานตัวอย่างมาล้างน้ำให้สะอาด เป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าความร้อน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าที่ได้แล้วนำมาเปรียบเทียบผล

3) การศึกษาการสึกกร่อน – กัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนชนิดต่าง ๆ

3.1) การศึกษาการสึกกร่อนของเหล็กกล้าผสมชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกในขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานและการจัดเตรียมอุปกรณ์ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนการศึกษา การกัดกร่อนของ

เหล็กกล้าคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิก แต่มีการเติมทรายลงในสารละลายที่ใช้ทดสอบในอัตราส่วนร้อยละ 20 ของปริมาตรสารละลาย

3.2) การศึกษาการสึกกร่อน – กัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมชนิดต่าง ๆ โดยเทคนิคน้ำหนักที่สูญหายไป ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบก่อนการทดสอบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และบันทึกค่า โดยใช้ทรายและสารละลายในอัตราส่วนตามข้อ 2) เมื่อเสร็จแล้วนำชิ้นงานทดสอบไปล้างเอาตะกอนที่เกดขึ้นที่ผิวชิ้นงานออก เป่าให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อน ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และบันทึกค่า

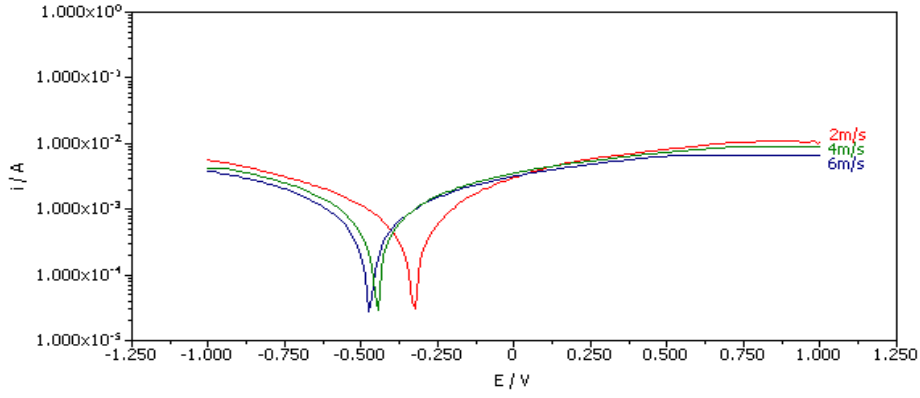
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรด ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1) ผลของการกัดกร่อน แสดงดังตารางที่ 2,3 และภาพประกอบที่ 3,4 แสดงอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s

ตารางที่ 2 แสดงตารางการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ในกรดซัลฟูริกเมื่อไม่มีทรายร่วมด้วย ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ

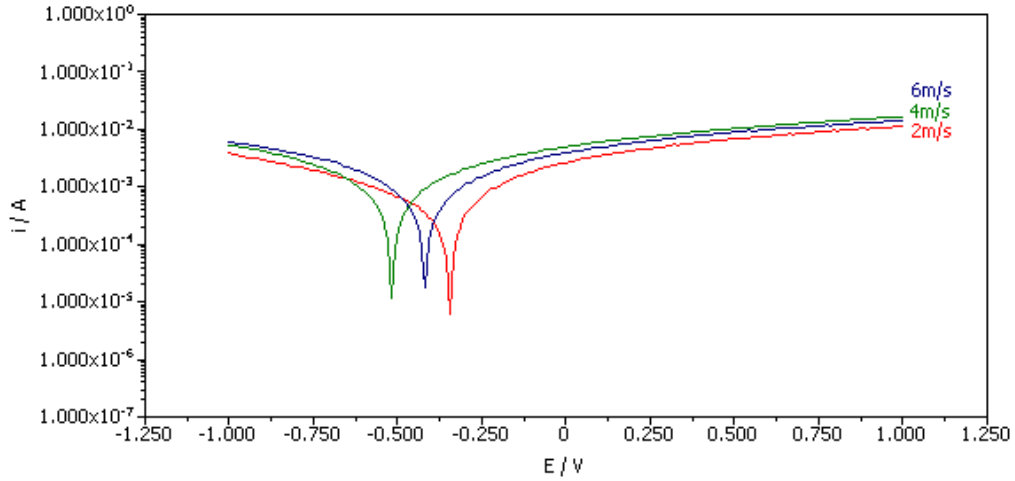
ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ		
	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโลหะที่หายไป (%)	อัตราการกัดกร่อน (mm/year)	ศักย์การกัดกร่อน (V)
2	0.0016	$2.5x10^{-2}$	-0.450
4	0.0027	$4.2x10^{-2}$	-0.473
6	0.0035	$5.4x10^{-2}$	-0.480



ภาพประกอบที่ 3 กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กคาร์บอนต่ำในสารละลายกรดซัลฟูริก pH4 ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ เมื่อไม่มีทรายร่วมด้วย

ตารางที่ 3 แสดงตารางการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ในกรดซัลฟูริกเมื่อไม่มีทรายร่วมด้วย ที่ความเร็วเชิงเส้น2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ

ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)	เหล็กกล้าคาร์บอนสูง		
	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโลหะที่หายไป(%)	อัตราการกัดกร่อน (mm/year)	ศักย์การกัดกร่อน (V)
2	0.0010	$2.3x10^{-2}$	-0.347
4	0.0016	$3.6x10^{-2}$	-0.418
6	0.0020	$4.5x10^{-2}$	-0.515



ภาพประกอบที่ 4 กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กคาร์บอนสูงผสมในสารละลายกรดซัลฟูริกpH4ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ เมื่อไม่มีทรายร่วมด้วย

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดพบว่าที่ความเร็วเชิงเส้น 2 m/s เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนสูง ส่วนที่ความเร็วเชิงเส้น 4 m/s พบว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนสูง และที่ความเร็วเชิงเส้น 6m/s พบว่า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่า เหล็กกล้าคาร์บอนสูง

2) ผลของการสึกกร่อน แสดงดังตารางที่ 4 แสดงการสึกกร่อนของเหล็กกล้า เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s

ตารางที่ 4 แสดงตารางการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ทั้ง 2 ชนิดในน้ำกลั่นทราย ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ

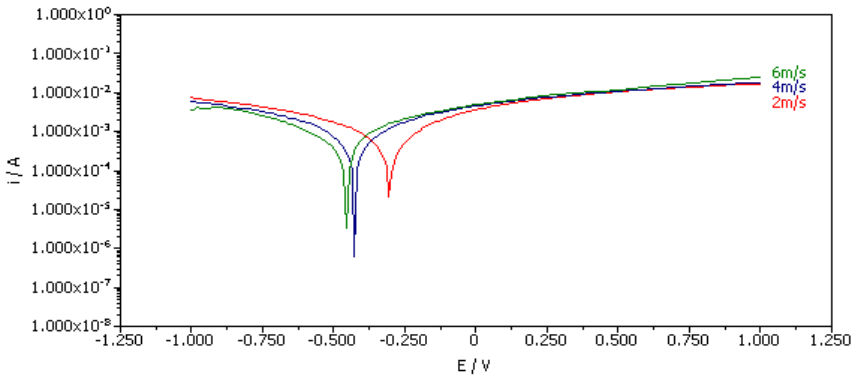
ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโลหะที่หายไป (%)	
	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	เหล็กกล้าคาร์บอนสูง
2	0.068	0.045
4	0.098	0.064
6	0.115	0.069

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของอัตราการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดพบว่าในกรณีเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการสึกกร่อนมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนสูงในทุก ๆ ความเร็วเชิงเส้น

3) ผลของการกัดกร่อนและสึกกร่อน แสดงดังตารางที่ 5,6 และภาพประกอบที่ 5,6 แสดงอัตราการกัดกร่อนและสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s

ตารางที่ 5 แสดงตารางการกัดกร่อนสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในกรดซัลฟูริกเมื่อมีทรายร่วมด้วย ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ

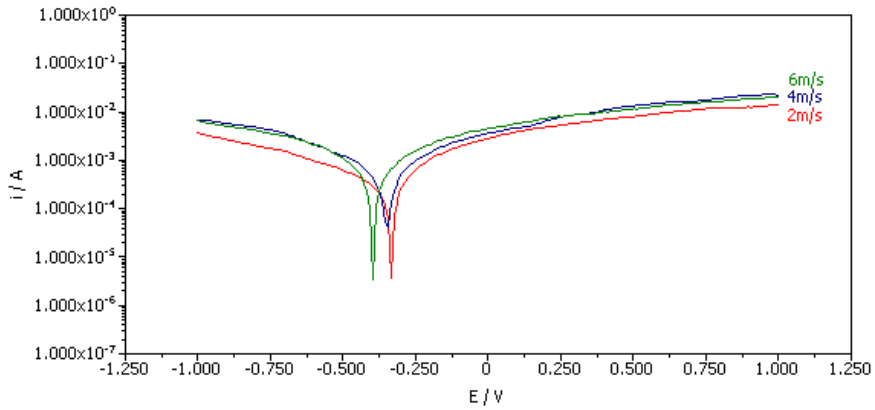
ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ		
	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโลหะที่หายไป(%)	อัตราการกัดกร่อน (mm/year)	ศักย์การกัดกร่อน (V)
2	0.128	3.9×10^{-2}	-0.400
4	0.145	5.2×10^{-2}	-0.413
6	0.168	6.9×10^{-2}	-0.490



ภาพประกอบที่ 5 กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กคาร์บอนต่ำในสารละลายกรดซัลฟูริก pH4 ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ เมื่อมีทรายร่วมด้วย

ตารางที่ 6 แสดงตารางการกัดกร่อนสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ในกรดซัลฟูริกเมื่อมีทรายร่วมด้วยที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ6 m/s ตามลำดับ

ความเร็วเชิงเส้น (เมตรต่อวินาที)	เหล็กกล้าคาร์บอนสูง		
	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโลหะที่หายไป(%)	อัตราการกัดกร่อน (mm/year)	ศักย์การกัดกร่อน (V)
2	0.065	$3.5x10^{-2}$	-0.336
4	0.086	$4.5x10^{-2}$	-0.350
6	0.093	$6.5x10^{-2}$	-0.388



ภาพประกอบที่ 6 กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กคาร์บอนสูงผสมในสารละลายกรดซัลฟูริก pH4 ที่ความเร็วเชิงเส้น 2, 4 และ 6 m/s ตามลำดับ เมื่อมีทรายร่วมด้วย

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน ของเหล็กกล้าคาร์บอน ทั้ง 2 ชนิด พบว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนสูงที่ความเร็วเชิงเส้น 2 m/s ,4 m/s และ 6m/s

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีสภาวะเป็นกรดเริ่มจากการศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนโดยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิค เพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อน ผลที่ได้พบว่า อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าคาร์บอน ชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการกัดกร่อนที่สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ส่วนการศึกษาอัตราการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยเทคนิคการหาน้ำหนักที่สูญหายไปพบว่าอัตราการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีอัตราการสึกกร่อนมากกว่าชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนสูง และการศึกษาการสึกกร่อน – กัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ผลการศึกษาพบว่าอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน

ชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่ความเร็วเชิงเส้น 2 m/s น้ำหนักโลหะที่หายไป 0.128 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกัดกร่อน $3.9x10^{-2}$ mm/year ที่ความเร็วเชิงเส้น 4 m/s น้ำหนักโลหะที่หายไป 0.145 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกัดกร่อน $5.2x10^{-2}$ mm/year และที่ความเร็วเชิงเส้น 6m/s น้ำหนักโลหะที่หายไป 0.168 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกัดกร่อน $6.9x10^{-2}$ mm/year ส่วนผลการศึกษาอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ที่ความเร็วเชิงเส้น 2 m/s น้ำหนักโลหะที่หายไป 0.065 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกัดกร่อน $3.5x10^{-2}$ mm/year ที่ความเร็วเชิงเส้น 4 m/s น้ำหนักโลหะที่หายไป 0.086 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกัดกร่อน $4.5x10^{-2}$ mm/year และที่ความเร็วเชิงเส้น 6m/s น้ำหนักโลหะที่หายไป 0.093 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการกัดกร่อน $6.5x10^{-2}$ mm/year จากผลการศึกษาดังกล่าวว่าเหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีความค่าความต้านทานการกัดกร่อน-สึกกร่อน สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในทุกความเร็วเชิงเส้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ H.X.Guo และ B.T.Lu H.X.Guo & B.T.Lu, 2005) ทำการศึกษาถึงผลทางกายภาพและปัจจัยทางเคมีไฟฟ้าในการสึกกร่อน-กัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน A 1045 ใน สเลอร์รี ที่มี Na_2SO_4 1 M เป็นสารละลายร่วมกับทราย โดยใช้เทคนิคโรเทตติ่งไซลินเดอร์อิเล็กโทรดเช่นเดียวกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเหล็กกล้าคาร์บอนเกิดความสูญเสียในกระบวนการกัดกร่อน ส่วนผลของการกระแทกของเม็ดทรายมีผลทำให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุเกิดสูญเสียมวลได้ถ้ามีความเร็วในการหมุนที่สูงพอ ผลของการสูญเสียมวลของวัสดุเป็นลักษณะการกัดกร่อนจะไปเพิ่มปริมาณการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Y. Yang และ Y.F. Cheng (Y. Yang & Y.F. Cheng, 2012) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกกร่อน-กัดกร่อน ของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอร์รีที่มีส่วนผสมระหว่างน้ำมันและทราย ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของปริมาณทรายและความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการกัดกร่อนและสึกกร่อนที่มีผลต่อการสูญเสียมวลของเหล็กกล้าคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่การกัดกร่อนจะมีผลทำให้เพิ่มการสึกกร่อนเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน .(13 กุมภาพันธ์ 2557). *ดินเปรี้ยวจัด*. สืบค้นจาก http://oss101.ldd.go.th/web_soils_for_youth/s_problem2.htm.

ชินวัฒน์ ทองชัช. (2546). *การสึกกร่อน-กัดกร่อนของเหล็กกล้าอัลลอยด์ชนิดต่าง ๆ ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่มีซัลไฟด์.* ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(สาขาเคมีอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ณรงค์ ผังวิวัฒน์. (2547). *การกัดกร่อนและการเลือกใช้วัสดุ*. กรุงเทพฯ : หจก. จิรรัชการพิมพ์.

H.X. Guo, B.T. Lu, J.L. Luo. (2005). Ineraction of mechanical and electrochemical factor in erosion-corrosion of carbon steel. *Electrochimica Acta*, (51), 315-323.

M.M. Stack, J.S. Jame, Q. Lu. (2004). Erosion-corrosion of chromium steel in rotating cylinder electrode system: some comments on particle size effect. *Wear, 256*, 557-564.

S. Das , Y. L. Saraswathi and D. P. Mondal. (2006). Erosive-Corrosive wear of aluminum alloy composites: Influence of slurry composition and speed. *Wear, 261*,180-190.

Y. Yang, Y.F. Cheng. (2012) . Parametric effects on the erosion–corrosion rate and mechanism of carbon steel pipes in oil sands slurry. *Wear, 276– 277,* 141– 148.