

การยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรดโดยใช้ กรดดี, แอล-แลกติกเป็นตัวยับยั้งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Corrosion Protection of Zinc Sheet in Acidic Media Using D,L-Lactic Acid as Green Corrosion Inhibitor

วาณิช หลิมวานิช* และ ชินานาฏ วิทยาประภากร

Wanich Limwanich* and Chinanat Witthayaprapakorn

สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่

Science Branch, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai

Received : 9 June 2016

Accepted : 24 November 2016

Published online : 2 December 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพและพฤติกรรมของกรดดี, แอล-แลกติก (DLLA) ในการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 M ณ อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C คณะผู้วิจัยได้ติดตามปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีโดยใช้เทคนิคการวัดปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น จากผลการศึกษาทางจลนพลศาสตร์พบว่าอัตราการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสี (r_{corr}) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่การปกคลุมพื้นผิวลดลง ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน (%) ของ DLLA ลดลงจาก 40.0% เป็น 4.1 และ 3.2% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 40 และ 50 °C ตามลำดับ ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีและแผ่นสังกะสีที่มี DLLA เท่ากับ 54.9 และ 71.7 kJ/mol ตามลำดับ นอกจากนี้ DLLA ถูกดูดซับบนพื้นผิวของแผ่นสังกะสีและมีค่าความร้อนจากการดูดซับ (Q_{ads}) เท่ากับ -117.8 kJ/mol แสดงว่าเกิดการดูดซับของ DLLA บนพื้นผิวของแผ่นสังกะสีเนื่องจากเป็นกระบวนการคายความร้อน

คำสำคัญ: การดูดซับ การยับยั้งการกัดกร่อน กรดดี, แอล-แลกติก จลนพลศาสตร์ สังกะสี

Abstract

This work focused on the inhibition efficiency and behavior of D,L-lactic acid (DLLA) in the corrosion of zinc-sheet in 1.0 M hydrochloric solution at 30, 40 and 50 °C. The corrosion reaction was followed by the hydrogen evolution technique. From kinetic results, the corrosion rate (r_{corr}) of zinc sheet increased with increasing temperatures but surface coverage (θ) decreased. The inhibition efficiency (%) of DLLA dramatically decreased from 40.0 to 4.1 and 3.2% when temperature increased from 30 to 40 and 50 °C, respectively. The corrosion activation energies (E_a) for zinc sheet and zinc sheet with DLLA were 54.9 and 71.7 kJ/mol, respectively. Furthermore, DLLA was adsorbed on zinc sheet surface with heat of adsorption (Q_{ads}) of -117.8 kJ/mol. The obtained Q_{ads} value indicated that the adsorption of DLLA on zinc-sheet surface was exothermic.

Keywords: adsorption corrosion inhibition D,L-Lactic acid kinetics zinc

*Corresponding author. E-mail : wanich.lim@rmutl.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาการกักก่อก่อนของโลหะในสารละลายกรดยังคงเป็นที่สนใจของนักวิจัยทั่วโลก โลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถเกิดการกักก่อก่อนจากสารละลายกรดได้ในกระบวนการทำความสะอาดพื้นผิว หรือ pickling process (El-Etre, 2006) การกักก่อก่อนของโลหะสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างและต้องใช้งบประมาณในการดูแลซ่อมแซมค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นการเติมตัวยับยั้ง (Inhibitor) ในสารละลายกรดจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการกักก่อก่อนของโลหะได้ อย่างไรก็ตามตัวยับยั้งที่นิยมใช้มีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างมากเนื่องจากสารประกอบเหล่านี้มักจะมีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น Cr Pb และ As (Rudresh *et al.*, 1980; Armstrong *et al.*, 1994) สิ่งนี้ จึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะค้นหาตัวยับยั้งปฏิกิริยาการกักก่อก่อนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้มีการนำสารประกอบอินทรีย์มาใช้เป็นตัวยับยั้งการกักก่อก่อนของโลหะในสิ่งแวดล้อมแบบต่างๆ โดยสารประกอบเหล่านี้ไม่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดอะมิโน (Sorkhabi *et al.*, 2006) เอมีน (Vashi *et al.*, 2010) และ สารสกัดจากพืช (Abiola *et al.*, 2010) เป็นต้น สารเหล่านี้ประกอบไปด้วยเฮเทอโรอะตอม (Heteroatom) เช่น O N และ S ซึ่งสามารถที่จะดูดซับที่ผิวของโลหะเพื่อลดอัตราการกักก่อก่อนได้ (Ebenso *et al.*, 1999)

โดยทั่วไปการติดตามปฏิกิริยาการกักก่อก่อนของโลหะในสารละลายกรดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น เทคนิคการวัดปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น (Hydrogen evolution technique) (Oguzie, 2007) การวัดน้ำหนักที่หายไป (Weight loss measurement) (Vashi *et al.*, 2010; Abiola *et al.*, 2010) ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical technique) (Sorkhabi *et al.*, 2006) และเทคนิคการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) (Tang *et al.*, 2010) เป็นต้น Sorkhabi และคณะ (Sorkhabi *et al.*, 2006) ศึกษาการยับยั้งการกักก่อก่อนของอะลูมิเนียมในสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 M และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 M โดยใช้กรดอะมิโนหลายชนิด ได้แก่ อะลานีน ลิวซีน วาลีน โพรลีน เมไทโอนีน และทริปโตเฟน เป็นต้น โดยติดตามปฏิกิริยาการกักก่อก่อนด้วยเทคนิคการวัดน้ำหนักที่หายไป ไฟฟ้าเคมี และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรดอะมิโนและลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระบบที่ใช้ทริปโตเฟนให้ประสิทธิภาพการยับยั้งมากกว่า 90% ที่ความเข้มข้น 0.1 M ณ อุณหภูมิ 25 °C Vashi และคณะ (Vashi *et al.*, 2010) รายงานเกี่ยวกับการยับยั้งการกักก่อก่อนของสังกะสีในสารละลายกรดผสมของกรดไนตริก และ กรดซัลฟิวริก โดยใช้เอทานอลามีน ผู้วิจัยติดตามปฏิกิริยาการกักก่อก่อน โดยการวัดน้ำหนักที่หายไป และไฟฟ้าเคมี จากการทดลองพบว่าระบบที่ใช้เอทานอลามีนให้ประสิทธิภาพการยับยั้งสูงถึง 99.9% ที่ความเข้มข้น 0.1 N ณ อุณหภูมิ 28 °C Abiola และคณะ (Abiola *et al.*, 2010) ศึกษาการยับยั้งการกักก่อก่อนของสังกะสีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 M โดยใช้สารสกัดจากว่านหางจระเข้และติดตามปฏิกิริยาโดยเทคนิคการวัดน้ำหนักที่หายไป พวกเขาพบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดแต่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการยับยั้งการกักก่อก่อนของสังกะสีมีค่า 67.1% ที่ความเข้มข้นของสารสกัด 10 % โดยปริมาตร ณ อุณหภูมิ 30 °C และจากการคำนวณค่าความร้อนของการดูดซับ (Heat of adsorption, Q_{ads}) พบว่ามีค่าติดลบแสดงว่าการดูดซับของสารสกัดว่านหางจระเข้บนพื้นผิวสังกะสีเป็นกระบวนการคายความร้อน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าสารประกอบอินทรีย์ให้ประสิทธิภาพการยับยั้งการกักก่อก่อนที่สูง และมีความปลอดภัยในการใช้งาน ทางคณะผู้วิจัยให้ความสนใจต่อสารประกอบจำพวกกรดอินทรีย์ (Organic acids) ได้แก่ กรดแลคติก (α -Hydroxy acid) เนื่องจากมีราคาถูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปลอดภัยต่อมนุษย์ และผลิตจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่

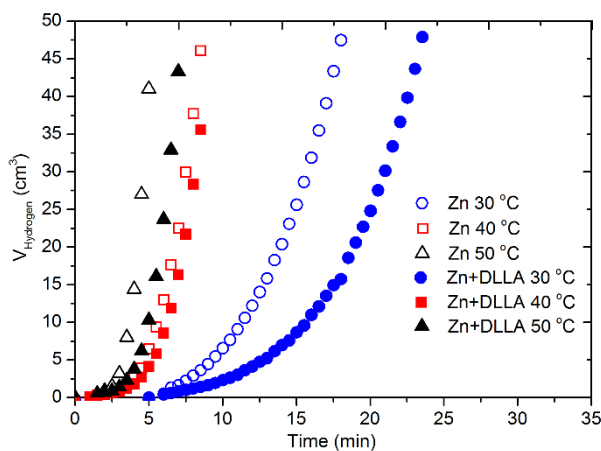
สามารถสร้างเสริมขึ้นมาใหม่ได้ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้การกัดกร่อนของโลหะได้ จากการทบทวนวรรณกรรมคณะวิจัยพบว่ายังไม่มีการรายงานเกี่ยวกับการยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะโดยใช้สารประกอบประเภทนี้มาก่อน ดังนั้นคณะวิจัยจะทำการศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้กรดดี, แอล-แลคติก (D,L-lactic acid, DLLA) เป็นตัวบ่งชี้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและติดตามปฏิกิริยาโดยเทคนิคการวัดปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นและศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการกัดกร่อน เปรียบเทียบ และอภิปรายถึงค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ที่ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

กรดดี, แอล-แลคติก (D,L-Lactic acid (DLLA), SIGMA-ALDRICH, 99.0%) ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ปฏิกิริยาการกัดกร่อนและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 M เตรียมจากการเจือจางสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Hydrochloric (HCl), RCI Labscan, 37.0%) การศึกษาปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีสามารถทำได้โดยเริ่มจากการเตรียมแผ่นสังกะสีให้มีขนาด $2 \times 2 \times 0.027 \text{ cm}^3$ และขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 และ 1200 ตามลำดับ จากนั้นทำความสะอาดแผ่นสังกะสีที่เตรียมไว้ด้วยน้ำกลั่นและอะซิโตน ตามลำดับ จากนั้นทำการเติมกรด HCl 50 ml ลงในขวดก้นกลมขนาด 100 ml นำแผ่นสังกะสีที่เตรียมไว้ใส่ลงไปแล้วปิดด้วยจุดแก้วที่เชื่อมต่อกับท่อ นำแก๊สจากนั้นนำขวดก้นกลมจุ่มลงไปในห้องควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่ 30 40 และ 50 °C ปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีจะถูกตรวจวัดโดยการวัดปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากการแทนที่น้ำในบิวเรตที่เวลาต่างๆ โดยแต่ละสภาวะทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ประสิทธิภาพของ DLLA ในการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรดสามารถหาได้จากการลดลงของบริเวณพื้นผิวอิสระของแผ่นสังกะสีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้ โดยทั่วไปปฏิกิริยาการกัดกร่อนของโลหะในสารละลายกรดมักจะเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวอิสระโดยจะไม่พิจารณาถึงพื้นผิวที่ถูกปกคลุม ปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลาย 1.0 M HCl ที่มีและปราศจาก 0.1 M DLLA ถูกตรวจวัดโดยเทคนิคการวัดปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนและเวลาสำหรับปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลาย 1.0 M HCl ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1



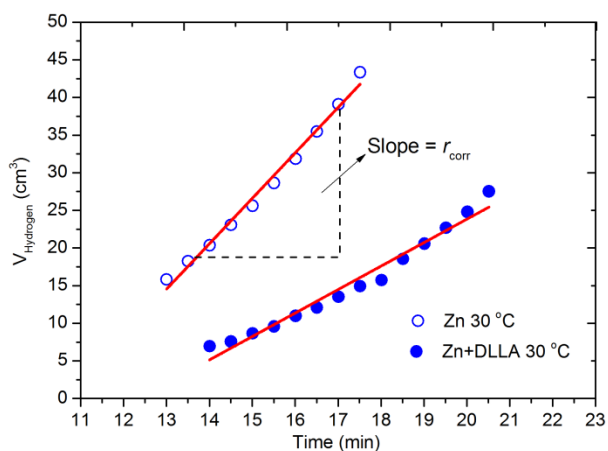
ภาพที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนกับเวลา สำหรับปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลาย 1.0 M HCl ที่มีและปราศจาก DLLA ณ อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในทุกๆระบบ นอกจากนี้ ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีที่มีและปราศจาก DLLA ที่อุณหภูมิ 50 °C มีค่ามากกว่า 40 และ 30 °C ตามลำดับ การเติม 0.1 M DLLA ลงไปในสารละลาย HCl ทำให้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสี ลดลงแสดงให้เห็นว่า DLLA สามารถลดอัตราการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรดได้ ซึ่งจะทำให้การยืนยันด้วยค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ภายหลัง จากผลการทดลองในภาพที่ 1 สามารถหาค่าอัตราการกัดกร่อน (r_{corr}) ได้จากความชันของกราฟ ซึ่งคณะวิจัยได้แสดงการหาค่า r_{corr} ไว้ในภาพที่ 2 จากค่า r_{corr} ที่ได้สามารถนำไปสู่การคำนวณหาค่า ดีกรีของการปกคลุมพื้นผิว (Degree of surface coverage, θ) และประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibition efficiency, %) ได้โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) (Oguzie, 2007)

$$\theta = 1 - \frac{r_{inh}}{r_{free}} \quad (1)$$

$$\%I = \left(1 - \frac{r_{inh}}{r_{free}} \right) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ r_{inh} และ r_{free} คือ อัตราการกัดกร่อนที่มีและปราศจากตัวยับยั้งตามลำดับซึ่งสามารถหาได้จากกราฟในภาพที่ 1 ค่าของ r_{corr} , θ และ %I ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1



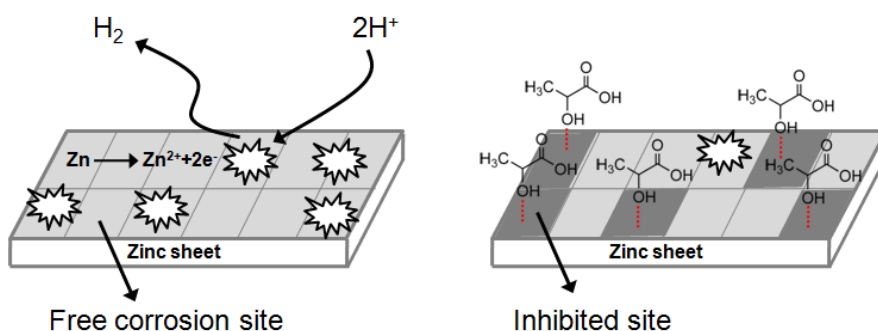
ภาพที่ 2 กราฟแสดงการหาค่า r_{corr} จากปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลาย 1.0 M HCl ที่มีและปราศจาก DLLA ณ อุณหภูมิ 30 °C

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าค่า r_{corr} เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ค่า θ และ %I ลดลง นอกจากนี้การเติม 0.1 M DLLA ลงไปใน 1.0 M HCl สามารถลดอัตราการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีได้ การลดอัตราการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสี

โดย DLLA เกิดจากการดูดซับของ DLLA บนพื้นผิวของแผ่นสังกะสีผ่านออกซิเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้เกิดชั้นบางๆ ของ DLLA ทำให้บริเวณนั้นเกิดปฏิกิริยากัดกร่อนไม่ได้ (El-Sayed *et al.*, 2010) และยังทำให้ H^+ จากกรด HCl ไม่สามารถมา รับอิเล็กตรอนจากบริเวณพื้นที่นั้นๆ เพื่อเกิดปฏิกิริยากัดกร่อน จากการพิจารณาที่อุณหภูมิ 40 และ 50 °C พบว่าประสิทธิภาพ การยับยั้งการกัดกร่อนของ DLLA มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าเกิดการ desorption ของ DLLA จากพื้นผิวของสังกะสี จึงทำให้ ประสิทธิภาพการยับยั้งไม่แตกต่างกันมากนัก ทางคณะวิจัยได้ทำแผนภาพอย่างง่ายเพื่ออธิบายถึงการยับยั้งการกัดกร่อนของ แผ่นสังกะสีโดย DLLA ดังแสดงในภาพที่ 3

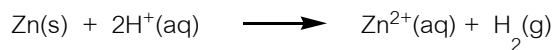
ตารางที่ 1 ค่าของ r_{corr} , θ และ %I จากปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรด 1.0 M HCl ที่มีและปราศจาก 0.1 M DLLA ณ อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	r_{corr} (cm ³ /min)	R^2	θ	%I
Zn sheet	30.0	4.923	0.98	-	-
	40.0	11.210	0.97	-	-
	50.0	17.150	0.95	-	-
Zn sheet+DLLA	30.0	2.969	0.98	0.397	39.7
	40.0	10.750	0.98	0.041	4.1
	50.0	16.600	0.99	0.032	3.2



ภาพที่ 3 แผนภาพอย่างง่ายแสดงการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรด HCl ที่มีและปราศจากตัวยับยั้ง DLLA

จากค่าของ r_{corr} ที่คำนวณได้ที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถนำไปสู่การคำนวณค่าของพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy, E_a) ของปฏิกิริยากัดกร่อนได้โดยใช้สมการของ Arrhenius ดังสมการที่ (3) และ (4)



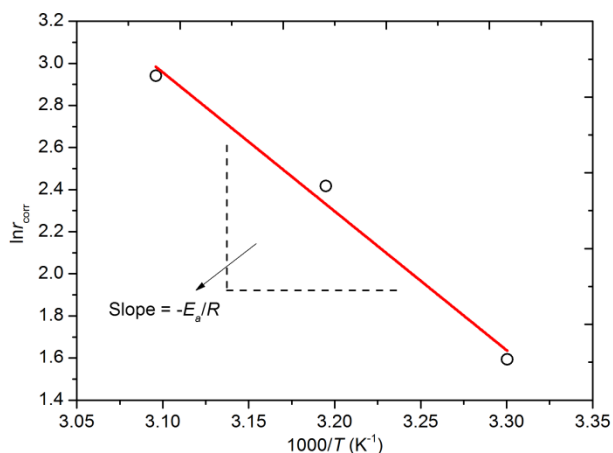
$$r_{corr} = k[*][\text{H}^+]_0 = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) [*][\text{H}^+]_0 \quad (3)$$

$$\ln r_{corr} = \ln(A[*][\text{H}^+]_0) - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่อัตราการกัดกร่อน $[*]$ คือความเข้มข้นของพื้นผิวอิสระที่สามารถเกิดปฏิกิริยากัดกร่อน $[\text{H}^+]_0$ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของกรด HCl A คือ ค่าคงที่การชน T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ และ R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส เมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln r_{corr}$ กับ $1/T$ จะสามารถหาค่า E_a ได้จากความชันของกราฟดังแสดงในภาพที่ 4 นอกจากนี้ค่าของความร้อนของการดูดซับ (Heat of adsorption, Q_{ads}) สามารถคำนวณได้จากค่าการปกคลุมพื้นผิวดังสมการที่ (5) (Bhajiwal et al., 2001)

$$Q_{ads} = 2.303R \left[\log \left(\frac{\theta_2}{1-\theta_2} \right) - \log \left(\frac{\theta_1}{1-\theta_1} \right) \times \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right] \quad (5)$$

โดยที่ค่าของ θ_1 และ θ_2 คือ ค่าการปกคลุมพื้นผิวที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 ตามลำดับ ค่าของ E_a และ Q_{ads} ของปฏิกิริยากัดกร่อนของแผ่นสังกะสีที่มีและปราศจาก 0.1 M DLLA ในสารละลาย 1.0 M HCl ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln r_{corr}$ กับ $1000/T$ สำหรับปฏิกิริยากัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลาย 1.0 M HCl ที่ปราศจาก DLLA

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการกัดกร่อนของระบบที่มี DLLA เป็นตัวยับยั้งมีค่าต่ำกว่าระบบที่ปราศจาก DLLA ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของ E_a ที่แสดงในตารางที่ 2 ค่า E_a ของระบบที่ปราศจาก DLLA มีค่าสูงกว่าระบบที่ปราศจาก DLLA นอกจากนี้การดูดซับของโมเลกุล DLLA บนพื้นผิวของสังกะสีเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic process) เนื่องจากค่า Q_{ads} ที่ได้มีค่าติดลบ แสดงว่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนและการดูดซับของ DLLA บนพื้นผิวสังกะสีลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vashi และคณะ (Vashi *et al.*, 2010) ซึ่งรายงานเกี่ยวกับการยับยั้งการกัดกร่อนของสังกะสีในสารละลายกรดผสมระหว่างกรดไนตริก และ กรดซัลฟิวริก โดยใช้เอทานอลามีน พวกเขาได้ทำการคำนวณค่า Q_{ads} ของการดูดซับของเอทานอลามีนบนพื้นผิวของสังกะสีและมีค่าอยู่ในช่วง -19 ถึง -97 kJ/mol Abiola และคณะ (Abiola *et al.*, 2010) ได้ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของสังกะสีในสารละลายกรด HCl โดยใช้สารสกัดจากว่านหางจระเข้ พวกเขาพบว่าค่า Q_{ads} มีค่า -7 ถึง -23 kJ/mol และพบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่าการดูดซับของสารสกัดนั้นบนพื้นผิวของสังกะสีเป็นแบบ physisorption (Oguzie, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับการดูดซับของ DLLA บนพื้นผิวของสังกะสีจากงานวิจัยนี้ จากผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ คณะวิจัยจะทำการยืนยันเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตโดยใช้เทคนิคอื่นๆ เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่สำคัญในการสนับสนุนพฤติกรรมกร่อนการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรด HCl โดย DLLA

ตารางที่ 2 ค่าของ E_a และ Q_{ads} สำหรับปฏิกิริยาการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีที่มีและปราศจาก 0.1 M DLLA ในสารละลาย 1.0 M HCl

ตัวอย่าง	E_a (kJ/mol)	Q_{ads} (kJ/mol)
Zn sheet	54.9	-
Zn sheet + DLLA	71.7	-117.8

สรุปผลการวิจัย

คณะวิจัยประสบความสำเร็จในการตรวจวัดประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลายกรด HCl 1.0 M โดย DLLA คณะวิจัยพบว่า DLLA เป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่น่าสนใจเพราะปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ จากการศึกษาจลนพลศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการเติม DLLA ลงไปใน 1.0 M HCl สามารถลดอัตราการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีได้ ตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ เช่น r_{corr} และ E_a สามารถใช้ในการอธิบายพฤติกรรมกร่อนการยับยั้งการกัดกร่อนของ DLLA ได้ ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน และ ค่าการปกคลุมพื้นผิวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในอนาคตทางคณะวิจัยจะทำการตรวจสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของแผ่นสังกะสีในสารละลาย 1.0 M HCl โดย DLLA โดยใช้เทคนิคอื่นๆเพิ่มเติม และผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Abiola, O.K. and James, A.O. (2010). The effects of *Aloe vera* extract on corrosion and kinetics of corrosion process of zinc in HCl solution, *Corrosion Science*, 52, 661-664.
- Armstrong R.D. and Peggs, L. (1994). The behaviour of lead silicate as a corrosion inhibitor for iron and zinc, *Corrosion Science*, 36, 749-757.
- Bhajiwala, H.M. and Vashi, R.T. (2001). Ethanolamine, Diethanolamine and Triethanolamine as Corrosion Inhibitors for Zinc in Binary Acid Mixture ($\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$), *Bulletin of Electrochemistry*, 17, 441-448.
- Ebenso, E.E., Ekpe, U.J., Ita, B.I., Offiong, E.O. and Ibok, U.J. (1999). Effect of molecular structure on the efficiency of amides and thiosemicarbazones used for corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid, *Materials Chemistry and Physics*, 60, 79-90.
- El-Etre, A.Y. (2006). Khillah extract as inhibitor for acid corrosion of SX 316 steel, *Applied Surface Science*, 252, 8521-8525.
- El-Sayed, A.R. (2010). Corrosion inhibition of tin, indium and tin-indium alloys by adenine or adenosine in hydrochloric acid solution, *Corrosion Science*, 52, 72-81.
- Oguzie, E.E. (2007). Corrosion inhibition of aluminum in acidic and alkaline media by *Sansevieria trifasciata* extract, *Corrosion Science*, 49, 1527-1539.
- Rudresh, H.B. and Mayanna, S.M. (1980). Tertiary arsines as corrosion inhibitors for zinc in acid solution, *Materials and Corrosion*, 31, 286-290.
- Sorkhabi, H.A., Ghasemi, Z. and Seifzadeh, D. (2006). The inhibition effect of some amino acids towards the corrosion of aluminum in 1 M HCl + 1 M H_2SO_4 solution, *Applied Surface Science*, 249, 408-418.
- Tang, Y., Tang, X., Yang, W., Wan, R., Chen, Y. and Yin, Z. (2010). A preliminary investigation of corrosion inhibition of mild steel in 0.5 M H_2SO_4 by 2-amino-5-(n-pyridyl)-1,3,4-thiadiazole: polarization, EIS and molecular dynamics simulations, *Corrosion Science*, 52, 1801-1808.
- Vashi, R.T., Bhajiwala, H.M. and Desai, S.A. (2010). Ethanolamines as corrosion inhibitors for zinc in ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$) binary acid mixtures, *E-Journal of Chemistry*, 7, 665-668.