
ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกโดยสารสกัดจากใบพญาอ
**Corrosion Inhibition of Steel in Sulfuric Acid by *Clinacanthus nutans* (Burm. f.)
Lindau Leave Extract**

สุธา สุทธิเรืองวงศ์* นิ่งหทัย คงอินทร์ อติตยา จันเสนา และ อัจฉราภรณ์ ใจปราณี
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Sutha Sutthiruangwong* Nunghatai Khong-In Atittaya Chansena and Atcharaporn Jaipranee
School of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสังคมได้ให้ความสำคัญต่อสภาพแวดล้อม และการเลือกใช้สารเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนจากสารเคมีธรรมชาติ โดยการสกัดจากพืชชนิดต่างๆ งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการแช่ให้เปื่อยยุ่ยในการสกัดสารจำพวก C-glycosyl flavones จากใบพญาอเพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 M ที่ 25 °C พฤติกรรมทางการกัดกร่อนของเหล็กกล้าถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชัน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดคาโลเมลล์เป็นตัวเป็นขั้วอ้างอิง และแผ่นแพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม พบว่าสารสกัดจากใบพญาอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน และให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 96% เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดมีค่า 3000 ppm นอกจากนี้สารสกัดจากใบพญาอยังมีสมบัติเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิก

คำสำคัญ : การกัดกร่อน การยับยั้งการกัดกร่อน สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิก เหล็กกล้า พญาอ

Abstract

At the present, the community gives more attention to the environmental issues and green chemistry. The process that reduces or eliminates the use of hazardous substances becomes more favorable. There are many researchers study the corrosion inhibition of natural chemicals by plant extraction. This research work applied maceration to extract C-glycosyl flavones from *Clinacanthus nutans* (Burm. f.) Lindau leaves for corrosion inhibition testing of AISI 1045 steel in 0.05 M sulfuric acid at 25 °C. The corrosion behavior of steel has been investigated using potentiodynamic polarization technique. Saturated calomel electrode was used as a reference electrode and a platinum plate was a counter electrode. It has been found that the extract from *Clinacanthus nutans* (Burm. f.) Lindau gave the inhibition efficiency as high as 96% when the concentration of the extract was 3000 ppm. Moreover, the extract also exhibited the property of anodic inhibitor.

Keywords : Corrosion, Corrosion inhibition, Anodic inhibitor, Steel, *Clinacanthus nutans* (Burm. f.) Lindau

Corresponding author. E-mail: kssutha@kmitl.ac.th

การกัดกร่อนหมายถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุและทำให้ความสามารถในการรับภาระของวัสดุเสียไป โลหะส่วนใหญ่ในธรรมชาติอยู่ในรูปของสารประกอบโลหะหรือที่เรียกว่าสินแร่ การถลุงโลหะจากสินแร่ต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่ง และพลังงานจำนวนนี้เองจะคายออกจากโลหะกลับสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อโลหะเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน ซึ่งมักจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เอง เช่น แร่เหล็กซึ่งอยู่ในรูปออกไซด์ของเหล็ก เมื่อนำมาถลุงจะได้เหล็กที่ปราศจากออกซิเจน และเมื่อใช้งานเหล็กดังกล่าวในสภาพบรรยากาศเหล็กจะถูกกัดกร่อน เกิดปฏิกิริยากลับไปเป็นสนิมเหล็กซึ่งก็คือสารประกอบออกไซด์ของเหล็กเช่นเดียวกับแร่เหล็กในตอนต้นนั่นเอง ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนนั้นส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ และความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพราะต้องมีค่าใช้จ่ายทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ค่าใช้จ่ายโดยตรงได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ได้วางแผนหรือคาดการณ์ไว้แล้ว และได้เตรียมการไว้เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ส่วนค่าใช้จ่ายโดยอ้อม ได้แก่ ความสูญเสียที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ก่อนและประเมินมูลค่าได้ยาก เช่น การสูญเสียรายได้จากการผลิตที่ต้องลดปริมาณการผลิตหรือหยุดการผลิตเมื่อเกิดปัญหาการกัดกร่อน หรือจากการที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงเพราะมีการปนเปื้อนจากการกัดกร่อน รวมถึงค่าใช้จ่ายของวัสดุที่ต้องใช้มากเกินไปจากความจำเป็นจากการออกแบบไว้รองรับมากกว่าความต้องการ และสุดท้ายไม่อาจประเมินค่าได้คือการสูญเสียชีวิตจากอุบัติเหตุที่มีสาเหตุมาจากการกัดกร่อน (Koch *et al.*, 2002; Spiric, 2001)

การยับยั้งการกัดกร่อนสามารถกระทำได้หลายวิธี ทั้งโดยการออกแบบอุปกรณ์ไม่ให้เอื้อต่อการกัดกร่อนบางประเภท เช่น หลีกเลี่ยงการเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดเข้าด้วยกันอันจะนำไปสู่การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion) หรือการลดปริมาณคลอไรด์ไอออนเพื่อป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) ในระบบที่มีเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นส่วนประกอบ หรือการเติมสารเคมีบางชนิดเข้าไปในระบบเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือแม้แต่การยับยั้งปฏิกิริยารีดักชัน ก็สามารถให้ผลในการลดการกัดกร่อนได้ไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน เพราะการกัดกร่อนในเชิงเคมีไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ถ้าสามารถลดปฏิกิริยารีดักชันได้แล้ว ปฏิกิริยาออกซิเดชันก็จะลดลงไปเช่นกัน การกัดกร่อนโดยรวมก็จะลดลง สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ลดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นเรียกว่าสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิก (Anodic inhibitor) ส่วนสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ลด

ปฏิกิริยารีดักชันนั้นเรียกว่าสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิก (Cathodic inhibitor) อย่างไรก็ตามมีสารบางประเภทที่สามารถลดปฏิกิริยาทั้งสองได้พร้อมกัน สารยับยั้งการกัดกร่อนดังกล่าวนี้เรียกว่าสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบผสม (Mixed inhibitor) (Garverick, 1994)

ในปัจจุบันสังคมได้ให้ความสำคัญต่อสภาพแวดล้อม และการเลือกใช้สารเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green chemistry) มากขึ้น มีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนจากสารเคมีธรรมชาติ โดยการสกัดจากพืชชนิดต่างๆ El-Etre (2007) ศึกษาการใช้สารสกัดจากโสมกะกอกแห้ง เพื่อยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จากการทดสอบการกัดกร่อนโดยวิธีโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชันพบว่าประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากโสมกะกอก Raja & Sethuraman (2008) ศึกษาการสกัดพริกไทยดำเพื่อยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนดำ ในกรดซัลฟิวริก 1 M จากผลจากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากพริกไทยดำเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีที่อุณหภูมิสูง กระบวนการยับยั้งเกิดจากการดูดซับซึ่งสามารถอธิบายได้ตามทฤษฎีการดูดซับของเทมคิน โดยที่โมเลกุลของสารยับยั้งจะถูกดูดซับบนผิวหน้าของเหล็กกล้า จึงทำให้กรดไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้โดยง่าย Valek & Martinez (2007) ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงด้วยสารสกัดจากโสมกะเดออินเดีย ในกรดซัลฟิวริก 0.5 M โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัด กับสารเคมีที่มีฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนคือ 1,2,3-benzotriazole ซึ่งพบว่าสะเดออินเดียมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงดีกว่า 1,2,3-benzotriazole อย่างไรก็ตาม 1,2,3-benzotriazole จะแสดงสมบัติการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีกว่าในด้านแอนโอดของกราฟโพลาริเซชัน มีการนำต้นเทียนกิ่งซึ่งพบมากในแอฟริกาและเอเชียตอนใต้มาทดลองใช้เป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า นิกเกิล และสังกะสี เพื่อลดการใช้สารเคมีราคาแพงและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในใบเทียนกิ่งมีสาร 2-hydroxy-1,4-naphthoquinone และ Tannin ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะดังกล่าวจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารสกัดจากใบเทียนกิ่งยังมีพฤติกรรมเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนแบบผสมอีกด้วย (El-Etre *et al.*, 2005) งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดในตอนต้นนี้เน้นการ

ประยุกต์ใช้สารสกัดทั้งหมดโดยตรงเพื่อยับยั้งการกัดกร่อน โดยไม่ทำการแยก หรือเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบใด องค์ประกอบหนึ่งเป็นการเฉพาะ ทั้งนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ ในการใช้สารสกัดจากธรรมชาติโดยไม่พึ่งพากระบวนการแยก ทางเคมีที่ซับซ้อน อันอาจนำไปสู่การใช้สารเคมีอันตรายอื่นที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

ประเทศไทยมีภูมิอากาศร้อนชื้น เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชหลากหลายชนิด ถือเป็นแหล่งกำเนิดและเพาะพันธุ์พืชสมุนไพรแหล่งสำคัญแห่งหนึ่งของโลก ด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่น ผสานกับวิทยาการสมัยใหม่ทำให้สามารถศึกษาและจำแนกกลุ่ม สารเคมีจากพืชชนิดต่างๆ ที่ออกฤทธิ์รักษาและบรรเทาโรคได้ ละเอียดมากยิ่งขึ้น ด้วยองค์ความรู้ที่มีอยู่แล้วส่วนหนึ่งนี้ การเลือก กลุ่มหรือชนิดของพืชสมุนไพรที่ได้มีการศึกษาองค์ประกอบ ทางเคมีอยู่แล้ว เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการกัดกร่อนจึง ความเป็นไปได้ สุภาณี และคณะ (2546) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูล อิศระของสารสกัดจากใบพญาขอ โดยตรวจวัดความสามารถของ สารสกัดในการยับยั้งอนุมูลอิสระ และความสามารถในการรีดิวส์ หรือความสามารถในการให้อิเล็กตรอนแก่ Fe^{3+} พบว่าสารสกัด จากใบพญาขอมีสมบัติดังกล่าวอย่างเด่นชัด ถึงแม้ว่าจะต้องใช้ สารสกัดในความเข้มข้นสูง Teshima *et al.*, (1997) ทำการสกัด สารจากใบพญาขอด้วยแอลกอฮอล์ และรายงานผลการศึกษา โครงสร้างของสารสกัดว่าประกอบด้วยสารจำพวก C-glycosyl flavones จำนวน 6 ชนิดคือ Vitexin Isovitexin Shaftoside Isomollupentin-7-O- β -glucopyranoside Orientin และ Isoorientin จากโครงสร้างของสารสกัดดังแสดงในภาพที่ 1 จะ เห็นได้ว่ามีอิเล็กตรอนคู่อิสระบริเวณอะตอมของออกซิเจนที่หมู่ คาร์บอนิล ซึ่งอิเล็กตรอนคู่อิสระนี้สามารถช่วยให้โมเลกุลของ สารสกัดถูกดูดซับบนผิวหน้าของโลหะได้ดี (Yashonath *et al.*, 1982) จึงมีความเป็นไปได้ที่สารสกัดจากใบพญาขอจะออกฤทธิ์ ยับยั้งการกัดกร่อนด้วยการดูดซับดังกล่าว

งานวิจัยนี้เลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง AISI 1045 ซึ่งมีการนำไปใช้งานพื้นฐานอย่างกว้างขวางหลายชนิด เป็นโลหะ อ่างอิงในการศึกษาพฤติกรรมการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัด จากใบพญาขอในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 M องค์ประกอบ ทางเคมีของเหล็กกล้าชนิดนี้แสดงดังตารางที่ 1 (Campos *et al.*, 2008)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมชิ้นโลหะ

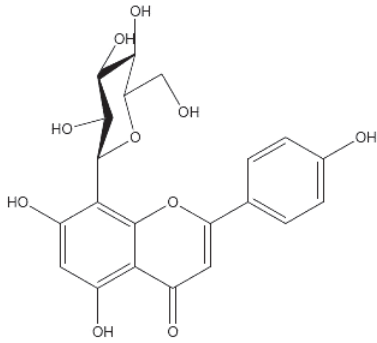
ตัดเหล็กกล้า AISI 1045 ให้มีขนาด 1.5 cm × 3.0 cm × 0.5 cm จากนั้นขัดชิ้นเหล็กกล้าด้วยกระดาษ ทรายขัดโลหะหมายเลข 400 โดยใช้น้ำร่วมในการขัด และ ขัดละเอียดสุดท้ายอีกครั้งด้วยกระดาษทรายขัดโลหะหมายเลข 1000 โดยใช้น้ำร่วมในการขัดเช่นกัน แล้วจึงวัดขนาดของ ชิ้นงานเพื่อคำนวณหาพื้นที่ผิวที่แท้จริง จากนั้นล้างชิ้นเหล็กกล้า ด้วยน้ำสะอาด และนำไปแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เพื่อไล่ ลงในอ่างล้างความถี่สูง 44 kHz เป็นเวลา 10 นาที สุดท้ายนำ ชิ้นเหล็กกล้าที่สะอาดแล้วมาเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน

2. การสกัด

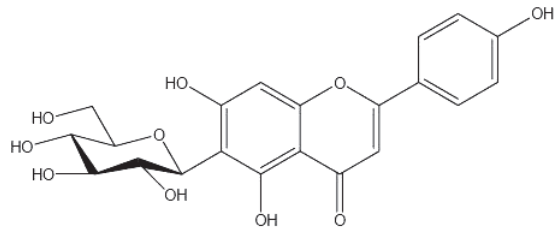
งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการแช่ให้เปื่อยยุ่ย (Maceration) ในการสกัด (รัตนานา 2547; Teshima *et al.*, 1997) ซึ่งจัดเป็น วิธีที่ใช้น้ำสกัดน้อย จึงประหยัด และเนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ใช้ ความร้อนจึงเหมาะกับการสกัดสารที่ไม่ทนต่อความร้อน การสกัด เริ่มต้นด้วยการนำใบพญาขอมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วตั้ง ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งใบพญาขอจำนวน 200 g ฉีกเป็นชิ้นเล็กใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำเอทิลแอลกอฮอล์เกรดวิเคราะห์ ปริมาณ 300 ml เขย่าเล็กน้อยให้เข้ากัน ปิดบีกเกอร์ด้วยแผ่น อะลูมิเนียมบาง ตั้งทิ้งไว้ 3 วัน หลังจากนั้นกรองของเหลวที่ได้ ออกแล้วเก็บไว้ในขวดสีชา และเติมน้ำเอทิลแอลกอฮอล์ลงในใบ พญาขอเดิมอีก 300 ml ตั้งทิ้งไว้ต่อไปอีก 3 วัน จากนั้นกรอง เอาของเหลวที่ได้ไปรวมกับของเหลวครั้งแรกในขวดสีชา สุดท้าย นำของเหลวในขวดสีชาทั้งหมดไประเหยไล่เอทิลแอลกอฮอล์ออก ด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน จะได้สารสกัดเข้มข้นเพื่อใช้ ในการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนต่อไป

3. การวัดทางเคมีไฟฟ้าด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic polarization)

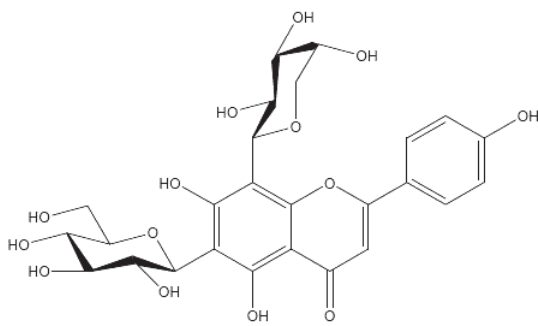
เครื่องโพเทนชิโอสแตทกัลวานอสแตท (Potentiostat/Galvanostat) ซึ่งควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ถูกนำมาต่อเข้ากับเซลล์ ทดสอบการกัดกร่อนชนิด 3 ขั้ว ประกอบไปด้วย ขั้วตรงข้าม (Counter electrode) ซึ่งเป็นแผ่นแพลทินัมผิวเรียบขนาด 1.5 cm × 5.0 cm × 0.1 cm ขั้วอ้างอิง (Reference electrode) จะเป็นขั้วไฟฟ้าชนิดคาลาเมลอิ่มตัว (Saturated calomel electrode) ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าทั้งหมดที่รายงานจะอ้างอิงกับขั้วไฟฟ้า ชนิดคาลาเมลอิ่มตัว และขั้วชิ้นงาน (Working electrode) คือ ชิ้นเหล็กกล้าที่ทำความสะอาดแล้ว นำสารสกัดที่ได้จากหัวข้อ 2 ละลายลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 M เพื่อให้ได้ความเข้มข้น ตามต้องการที่ 1000 2000 และ 3000 ppm และใช้ในการ ทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดจาก



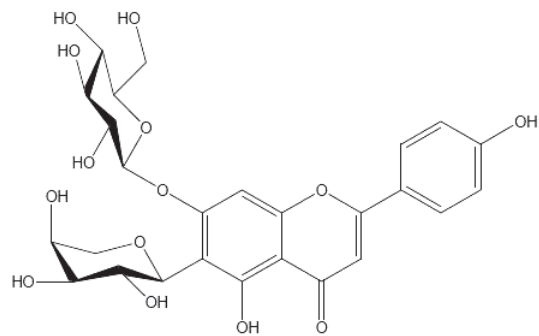
Vitexin



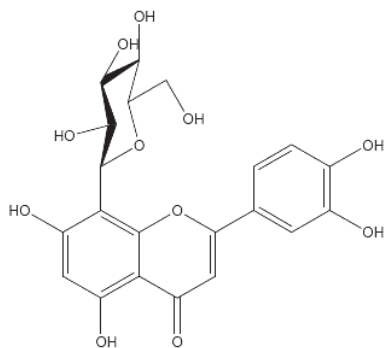
Isovitexin



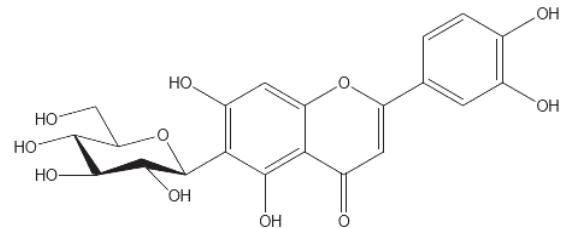
Shaftoside



Isomollupentin-7-O-β-glucopyranoside



Orientin



Isoorientin

ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของสารที่พบในสารสกัดจากใบพญายอ (Teshima *et al.*, 1997)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้า AISI 1045

ธาตุ	C	Mn	P	S	Fe
ร้อยละโดยมวล	0.43-0.50	0.60-0.90	ไม่เกิน 0.040	ไม่เกิน 0.050	ที่เหลือ

ไบพัญยาอ เซลล์ทดสอบการกัดกร่อนจะถูกเติมด้วยสารละลาย ดังกล่าว และควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C ซึ่งขั้วตรงข้ามและขั้ว ใช้งานจะจมอยู่ในสารละลายนี้ ส่วนขั้วอ้างอิงจะถูกเชื่อมต่อเข้าสู่ เซลล์ทดสอบการกัดกร่อนด้วยสะพานเกลือที่ทำจากผงอะการ์ (Agar) 0.1% และโซเดียมซัลเฟต 0.002% ในน้ำกลั่น โดย สะพานเกลือนี้จะถูกบรรจุลงในเครื่องแก้วที่มีปลายด้านหนึ่งเป็น ท่อขนาดเล็กของล็กกิน (Luggin capillary) ซึ่งเข้าหาชั้นเหล็กกล้า โดยมีระยะห่าง 2 mm อีกด้านหนึ่งเป็นกระเปาะบรรจุโพแทสเซียม คลอไรด์อิ่มตัวเพื่อใช้ใส่ขั้วอ้างอิง นอกจากนี้สารละลายในเซลล์ ทดสอบจะถูกทำให้อิ่มตัวด้วยออกซิเจน โดยใช้เครื่องอัดอากาศเพื่อ เติมนอกซิเจนลงไปในการละลายตลอดการวัดทางเคมีไฟฟ้า

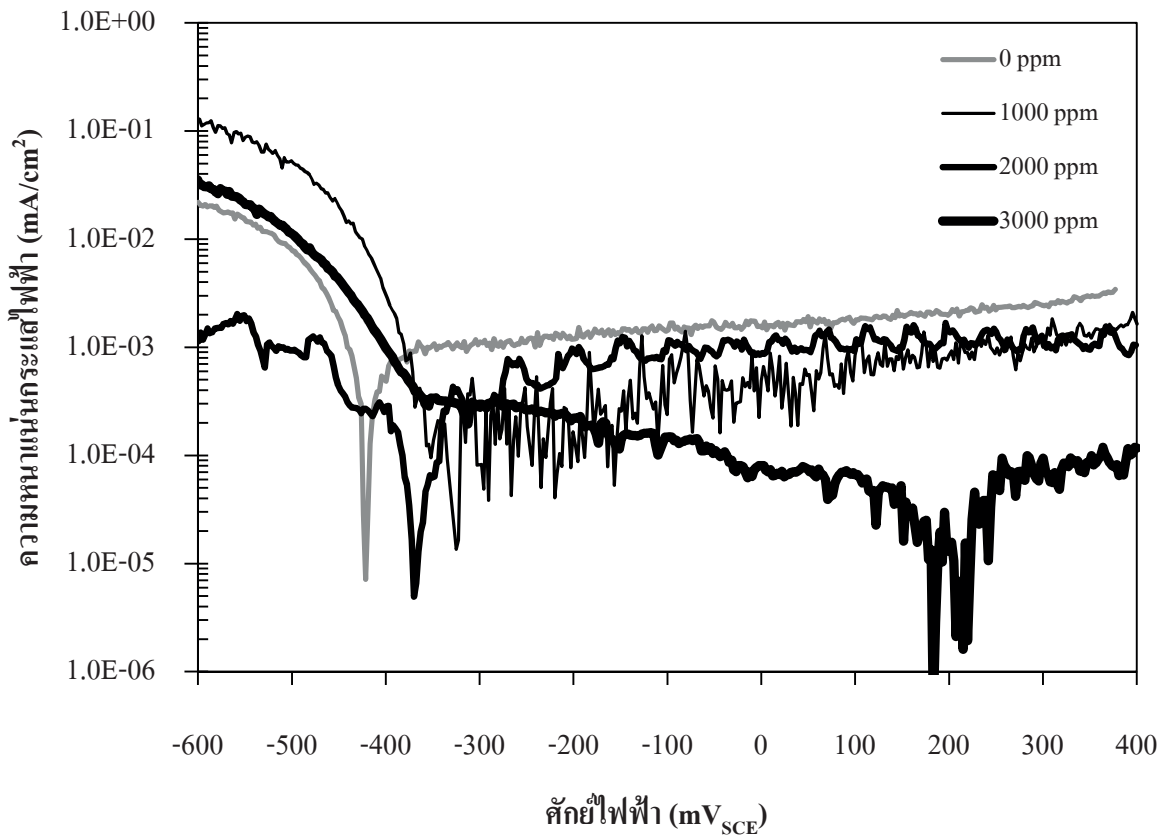
การเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าของชั้นเหล็กกล้าจะเริ่มต้น ทางด้านแคโทด โดยทันทีที่ชั้นเหล็กกล้าถูกจุ่มลงในสารละลาย ศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นของเหล็กกล้าจะถูกปรับให้มีค่าเท่ากับ -600 mV_{SCE} และเริ่มเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 1000 mV/hr จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 400 mV_{SCE} จึงยุติการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

โมเลกุลของสารสกัดที่แสดงในภาพที่ 1 นั้น สามารถแบ่ง พิจารณาได้เป็นสองส่วน คือส่วนที่เป็นน้ำตาลกลูโคส และส่วน ที่เป็น Flavone สำหรับส่วนที่เป็น Flavone นั้นมีอยู่ในสภาวะ ออกซิเดชันเนื่องจากกรดซัลฟิวริกสามารถเกิดปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (Sulfonation) ได้ที่บริเวณหมู่ฟีนอล ฟีนอลนั้นมีค่าคงที่การแตกตัว ของกรด (K_a) ประมาณ 10^{-10} ซึ่งอนุพันธ์ของฟีนอลก็ว่าจะ มีค่าคงที่การแตกตัวของกรดใกล้เคียงค่าดังกล่าวด้วย สำหรับ ส่วนที่เป็นน้ำตาลกลูโคส ที่ตำแหน่งของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (C6) สามารถถูกออกซิไดซ์ได้เป็นกรดคาร์บอกซิลิก และที่ตำแหน่งของ แอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (C2 C3 และ C4) สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ 2 ลักษณะ กล่าวคือที่ตำแหน่งของแอลกอฮอล์ทุติยภูมิปกติ อาจจะถูกออกซิไดซ์ได้เป็นคีโตน หรือถูกออกซิไดซ์คู่กันในรูปของ ไกลคอลและมีการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนและคาร์บอน ซึ่งจะได้อัลดีไฮด์และอาจจะถูกออกซิไดซ์ต่อเนื่องกลายเป็นกรด คาร์บอกซิลิก อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาดังกล่าวน่าจะมีอัตราเร็วในการ เกิดปฏิกิริยาดำเนิน เพราะสภาวะของการทดลองมีความเข้มข้น ของกรดซัลฟิวริกไม่สูงมากนัก และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง อยู่ที่ 25 °C ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่รุนแรง

ภาพที่ 2 แสดงกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของ เหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริก โดยที่ค่าความเข้มข้นของสารสกัดจาก ไบพัญยาอมีค่าต่างกัน ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน (Corrosion

potential, E_{corr}) จากการทดลองที่ไม่เติมสารสกัดจากไบพัญยาอ มีค่าเท่ากับ -421 mV_{SCE} และเมื่อเติมสารสกัดจากไบพัญยาอลงใน สารละลายที่ความเข้มข้น 1000 ppm พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้า กัดกร่อนจะเลื่อนไปทางบวกมากขึ้นเป็น -322 mV_{SCE} และเมื่อ เพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 2000 ppm ค่าศักย์ไฟฟ้าการ กัดกร่อนยังคงมากกว่าค่าที่ได้จากสารละลายที่ปราศจากสารสกัด แต่พบว่าค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าที่ได้จากสารละลายที่มีความเข้มข้น 1000 ppm เล็กน้อย คือมีค่าเท่ากับ -370 mV_{SCE} เมื่อเพิ่มความ เข้มข้นของสารสกัดไปจนถึง 3000 ppm พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้า กัดกร่อนจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 185 mV_{SCE} ซึ่งสูงกว่าค่าศักย์ไฟฟ้า กัดกร่อนจากสารละลายที่ปราศจากสารสกัดถึง 600 mV การเพิ่มขึ้น ของค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนนี้เป็นผลมาจากความสามารถในการ ออกซิไดซ์ (Oxidizing power) ของสารละลายที่เพิ่มมากขึ้น และถ้าพิจารณาองค์ประกอบของสารสกัดที่มีอยู่ในไบพัญยาอด้ง แสดงในภาพที่ 1 จะพบว่าสารสกัดดังกล่าวนี้มีอะตอมของ ออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ความสามารถ ในการออกซิไดซ์ของสารละลายโดยรวมเพิ่มขึ้นได้ แต่อย่างไร ก็ตามการพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นการพิจารณาในเชิงอุณหพล ศาสตร์ อันจะบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งในที่นี้คือปฏิกิริยาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริก อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนนั้นไม่จำเป็นจะต้อง แปรผันตามความสามารถในการออกซิไดซ์เสมอไป เช่น ในกรณี ของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เมื่อเราเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้า หรือเพิ่มความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลาย เหล็กกล้า ไร้สนิมซึ่งมีโครเมียมเจืออยู่ในปริมาณมากกว่า 12% จะเกิด ปฏิกิริยาที่ผิวได้ผลิตภัณฑ์เป็นชั้นของสารประกอบออกไซด์ของ เหล็กและโครเมียม ($FeO-Cr_2O_3$) ชั้นที่แน่นและเสถียรนี้จะทำ หน้าที่ป้องกันโลหะด้านในจากสารกัดกร่อนในตอนต้น และส่งผล ให้ปฏิกิริยาเกิดได้น้อยลงเมื่อชั้นออกไซด์มีความสมบูรณ์มากขึ้น (Lo et al., 2009) จะเห็นได้จากกรณีนี้ว่าอัตราเร็วในการเกิดการ กัดกร่อนจะมีค่าลดลงได้แม้ว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ของ สารละลายจะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม จากข้อมูลของค่าความหนาแน่น กระแสไฟฟ้ากัดกร่อน ซึ่งเป็นตัวแทนโดยตรงของอัตราเร็วในการ เกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนดังแสดงในตารางที่ 2 เห็นได้ว่าเมื่อเติม สารสกัดจากไบพัญยาอลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกให้มีความ เข้มข้นเท่ากับ 1000 ppm จะพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า กัดกร่อน (Corrosion current density, i_{corr}) ซึ่งสามารถหาได้จาก วิธีการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) มีค่าลดลงจาก 1.00×10^{-3} mA/cm² เป็น 2.96×10^{-4} mA/cm²



ภาพที่ 2 กราฟโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้า AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 M ที่ไม่มีและมีสารสกัดจากใบพญายอเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์ทางเคมีไฟฟ้าของเหล็กกล้า AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 M

ความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพญายอ (ppm)	ศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน E_{corr} (mV _{SCE})	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน i_{corr} (mA/cm ²)	ความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ R_p ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน (%)
0	-421	1.00×10^{-3}	4.32×10^6	-
1000	-322	2.96×10^{-4}	1.05×10^7	70
2000	-370	1.25×10^{-4}	4.22×10^7	88
3000	185	3.52×10^{-5}	1.39×10^8	96

และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดไปจนถึง 3000 ppm ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนจะมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ $3.52 \times 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$ หรือมีค่าน้อยกว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนที่วัดได้จากสารละลายซึ่งปราศจากสารสกัดประมาณ 30 เท่า

นอกจากนี้ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ (Polarization resistance, R_p) ยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพญาอ้อมมีค่ามากขึ้น ในกรณีของสารละลายที่ไม่มีสารสกัดจากใบพญาอ้อม ความต้านทานการถูกโพลาไรซ์มีค่าเท่ากับ $4.32 \times 10^6 \Omega\text{-cm}^2$ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 1000 2000 และ 3000 ppm พบว่าค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ มีค่าเป็น 1.05×10^7 , 4.22×10^7 และ $1.39 \times 10^8 \Omega\text{-cm}^2$ ตามลำดับ สารสกัดจากใบพญาอ้อมทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานต่อการเพิ่มขึ้นของศักย์พามากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง ถึงแม้ว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายจะเพิ่มมากขึ้น แต่อัตราการเพิ่มอัตราเร็วในการกัดกร่อนกลับมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับการอธิบายเรื่องค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนในตอนต้น

$$\%IE = (i - i_{\text{inhibit}}) / i \times 100 \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ

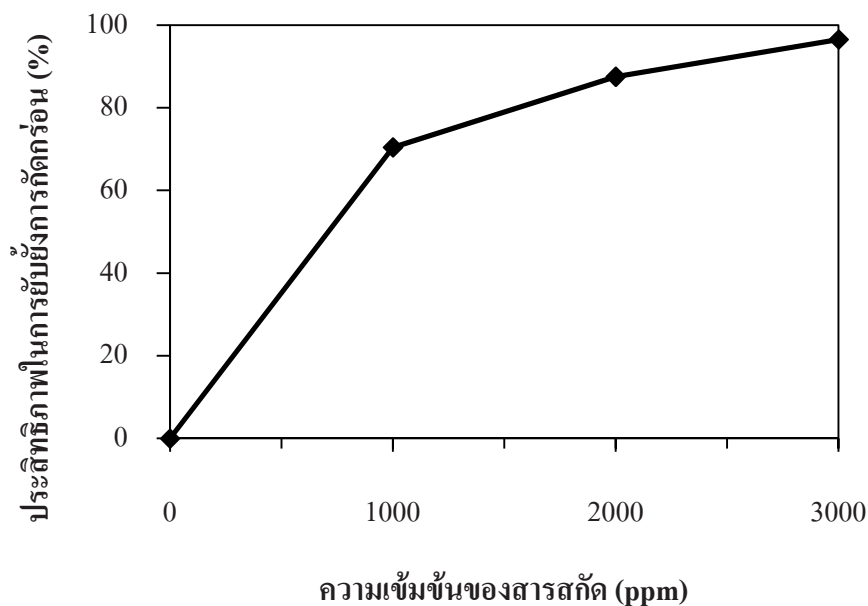
$\%IE$ = ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน

i = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอน

i_{inhibit} = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนเมื่อเติมสารยับยั้ง

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสามารถกระทำได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 1 ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 70% เป็น 88% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจาก 1000 เป็น 2000 ppm และเมื่อยังคงเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดขึ้นอีกเป็น 3000 ppm พบว่าค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 96% ดังแสดงในภาพที่ 3

ถึงแม้ว่าสารสกัดจากใบพญาอ้อมจะเพิ่มความสามารถในการออกซิไดซ์โดยรวมของสารละลาย แต่พบว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากัดกร่อนนั้นลดลง จากกราฟกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชันในภาพที่ 2 นั้น เป็นที่แน่ชัดว่าเหล็กกล้าไม่มีพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน (Passive layer) ดังที่สามารถเกิดขึ้นได้ในเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทางด้านแอโนดยังคงมีค่าสูงกว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนอยู่หลายเท่าตัว เพราะฉะนั้นการที่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักตรอนมีค่าลดลงหลังจากเติมสารสกัดจากใบพญาอ้อมลงไป จึงมีสาเหตุหลักมาจากสารสกัดเองโดยตรงจากสมมติฐานที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ สารสกัดจากใบพญาอ้อมนี้ประกอบด้วยสารจำพวก C-glycosyl flavones ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะมีอิเล็กตรอนคู่อิสระบริเวณอะตอมของออกซิเจน และ



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 M โดยสารสกัดจากใบพญาอ้อม

สามารถที่จะถูกดูดซับลงบนผิวหน้าของโลหะที่เปิดออกสู่สารละลายได้ และด้วยขนาดที่ใหญ่ของโมเลกุลของสารดังกล่าว จึงเป็นไปได้ว่าการดูดซับนี้จะทำให้เกิดการบดบังพื้นที่ผิวของโลหะ อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะซึ่งก็คือการกัดกร่อนของโลหะจึงมีค่าลดลง นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทางด้านแอโนดที่วัดได้จากสารละลายที่มีสารสกัดยังแสดงว่ามีสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ค่อนข้างสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผิวหน้าของเหล็กกล้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยเป็นผลเนื่องมาจากผิวของเหล็กกล้ามีการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตทั้งจากการดูดซับและการคายซับ การสังเกตเห็นสัญญาณรบกวนนี้จึงสนับสนุนสมมติฐานของการดูดซับดังกล่าวด้วย

ท้ายสุดพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทางด้านแอโนดของเหล็กกล้าจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด ซึ่งหมายความว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กกล้ามีค่าลดลงอย่างไรก็ตาม ไม่พบว่ามีกรลดลงอย่างเด่นชัดของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าทางด้านแคโทดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด จึงสามารถกล่าวเพิ่มเติมได้ว่าสารสกัดจากใบพญาอเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิกสำหรับเหล็กกล้าในสารละลายกรดซัลฟิวริก

สรุป

สารสกัดจากใบพญาอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 1045 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 M และให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 96% เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดมีค่า 3000 ppm นอกจากนี้สารสกัดจากใบพญาอยังมีสมบัติเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโลหะแพลงทินัม และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของสารสกัดในสารละลายกรดซัลฟิวริก

เอกสารอ้างอิง

รัตนา อินทรานุกกรณ์. (2547). การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพรร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุภาณี พิมพ์สมาน, วิไลลักษณ์ ชินะจิตร, ฉันทนา อารมย์ดี, สาธพรตระกูลพัฒน์, จริยา หาญจนวนวงศ์, พัชรวิทย์ บัณฑิตเพ็ชร, พิสมัย เหล่าภัทรเกษม. (2546). การศึกษาดัชนีภาพของพญาอเพื่อประโยชน์ทางการเกษตรและคลินิก. ในเอกสารการประชุมสัมมนาการเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านการพัฒนาสมุนไพร. (หน้า 71-82). กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

Campos, I., Rosas, R., Figueroa, U., VillaVelázquez, C., Meneses, A., Guevara, A. (2008). Fracture toughness evaluation using Palmqvist crack models on AISI 1045 borided steels. *Materials Science and Engineering A*, 488, 562-568.

El-Etre, A. Y. (2007). Inhibition of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves. *Journal of Colloid and Interface Science*, 314(2), 578-583.

El-Etre, A. Y., Abdallah, M., El-Tantawy, Z. E. (2005). Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract. *Corrosion Science*, 47(2), 385-395.

Garverick, L. (1994). *Corrosion in the Petrochemical Industry*. Ohio : ASM International.

Koch, G. H., Brongers, M. P. H., Thompson, N. G., Virmani, Y. P., Payer, J. H. (2002). *Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States*. Mclean : U.S. Department of Transportation.

Lo, K. H., Shek, C. H., Lai, J. K. L. (2009). Recent developments in stainless steels. *Materials Science and Engineering*, 65(4-6), 39-104.

Raja, P. B., Sethuraman, M. G. (2008). Inhibitive effect of black pepper extract on the sulphuric acid corrosion of mild steel. *Materials Letters*, 62(17-18), 2977-2979.

Teshima, K., Kaneto, T., Ohtani, K., Kasai, R., Lhieochai-phant, S., Picheasoonthon, C. and Yomasaki, K. (1997). C-glycosyl flavones from *Clinacanthus nutans*. *Natural Medicines*, 51, 557.

Valek, K., Martinez, S. (2007). Copper corrosion inhibition by *Azadirachta indica* leaves extract in 0.5 M sulphuric acid. *Materials Letters*, 61(1), 148-151.

- Spiric, Z. (2001). Innovative approach to the mercury control during natural gas processing. Proceedings of Engineering Technology Conference on Energy. (pp 1-7). Houston : ASME.
- Yashonath, S., Basu, P. K., Srinivasan, A., Hedge, M. S., Rao, C. N. R. (1982). Photoelectron spectroscopic studies of the adsorption of organic molecules with lone pair orbitals on transition metal surfaces. *Journal of Chemical Sciences*, 91(2), 101-128.