

ภาพรวมของการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนในอุตสาหกรรม

ปริญญา บุญสา¹ ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ^{1,2,3} และ อภิชาติ โรจนโรวรรณ^{1*}

บทคัดย่อ

สารยับยั้งการกัดกร่อนเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจเพื่อใช้ลดอัตราการกัดกร่อนของวัสดุโดยเฉพาะในโลหะและโลหะผสม เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน มีสารยับยั้งหลายประเภท (สารยับยั้งอินทรีย์แบบผสม และสารยับยั้งอินทรีย์) รวมถึงราคาและประสิทธิภาพของสารยับยั้งการกัดกร่อน กระบวนการต่างๆ ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน ระบบการส่งและระบบการกระจายน้ำ คอนกรีต หม้อต้มน้ำและยานยนต์ เป็นต้น ได้นำสารยับยั้งไปใช้ในระบบเพื่อป้องกันปัญหาการกัดกร่อน

คำสำคัญ: สารยับยั้งการกัดกร่อน, ประเภทของสารยับยั้งการกัดกร่อน, การคำนวณประสิทธิภาพของสารยับยั้งการกัดกร่อน, การใช้งานสารยับยั้งการกัดกร่อนในอุตสาหกรรม

¹ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

³ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมเครื่องกลและการตรวจสอบทางโลหะวิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: fengacriv@ku.ac.th รับเมื่อ 27 พฤษภาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 21 พฤศจิกายน 2559

An overview of corrosion inhibitors using in industries

Parinya Boonsa¹, Trinet Yingsamphancharuen^{1,2,3} and Aphichart Rodchanarowan^{1*}

Abstract

Corrosion inhibitors are commonly used to reduce corrosion rate of metal and alloy materials because they are convenient for application. There are several types of inhibitors (inorganic inhibitors, organic inhibitors and mixed inhibitor) including their price and performance. In many industries such as oil, transportation, water distribution system, boiler, concrete and automotive sector have used inhibitors to the system in order to prevent corrosion problems.

Keywords : Corrosion inhibitors, A type of corrosion inhibitors, Inhibitors performance calculation, Corrosion inhibitor using in industry

¹ Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, 50 Nagamwongwan Road Chatuchak Bangkok Thailand 10900

² Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat 1 Road Wongsawang Bangsue Bangkok 10800

³ Welding Engineering and Metallurgical Inspection, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat 1 Road Wongsawang Bangsue Bangkok 10800

* Corresponding author, E-mail: fengacrw@ku.ac.th Received 27 May 2016, Accepted 21 November 2016

1. บทนำ

เมื่อก้าวถึงการกัดกร่อนโดยทั่วไปจะนึกถึงภาพคราบสีน้ำตาลที่ติดอยู่ตามบริเวณต่างๆของเหล็กหรือที่เรียกว่า “สนิม” ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินที่มีค่าและเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาเป็นอย่างยิ่ง การกัดกร่อนจึงเป็นปัญหาที่ต้องดำเนินการแก้ไข ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาการกัดกร่อนขึ้นหรือที่เรียกว่า Corrosion Cost ซึ่งหลายประเทศได้มีการประเมินต้นทุนการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในประเทศขึ้น ในประเทศสหรัฐอเมริกา (USA) ได้มีรายงานการศึกษาต้นทุนในการจัดการปัญหาการกัดกร่อนของโลหะโดยมีการศึกษาในปี ค.ศ. 1999-2001 ซึ่งดำเนินการศึกษาโดยห้องปฏิบัติการของบริษัท ซีซี เทคโนโลยี (CC Technologies, Inc.) ด้วยการสนับสนุนจากแผนกงานทางหลวง (Federal Highway Administration: FHWA) ของสหรัฐอเมริกาและสมาคมวิศวกรรมการกัดกร่อนแห่งชาติ (National Association of Corrosion Engineers: NACE) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าต้นทุนรวมโดยประมาณในการบริหารจัดการปัญหาการกัดกร่อนทางตรงรวมต่อปีในประเทศสหรัฐอเมริกาคือ 276 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา หรือประมาณร้อยละ 3.1 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ของปี ค.ศ. 1998 [1] โดยเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ของประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 2014 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 17,348 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา [2] แสดงว่าต้นทุนรวมโดยประมาณในการบริหารจัดการปัญหาการกัดกร่อนทางตรงรวมของปี 2014 ในประเทศสหรัฐอเมริกามีค่าสูงถึง 538 พันล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา สำหรับประเทศไทยได้มีรายงาน

การศึกษาต้นทุนในการจัดการปัญหาการกัดกร่อนของโลหะโดยมีการศึกษาในปี ค.ศ. 2009-2011 โดยดำเนินการศึกษาโดยห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุและเทคโนโลยีพื้นผิว (Failure Analysis and Surface Technology Laboratory) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center: MTEC) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าต้นทุนรวมโดยประมาณในการบริหารจัดการปัญหาการกัดกร่อนทางตรงรวมต่อปีในประเทศไทยคือ 131,996 ล้านบาท หรือประมาณร้อยละ 1.45 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ [3] และเมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ของประเทศไทยในปี 2014 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13,132,234 ล้านบาท [4] แสดงว่าต้นทุนรวมโดยประมาณในการบริหารจัดการปัญหาการกัดกร่อนของปี 2014 ในประเทศไทยจะมีค่าสูงถึง 190,655 ล้านบาท ในปี 2014

ดังนั้นจึงมีการค้นหาและใช้วิธีการหลากหลายประเภทในการป้องกันสนิมไม่ให้สร้างความเสียหาย เช่น การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก (Cathodic Protection) การป้องกันการกัดกร่อนแบบแอโนดิก (Anodic Protection) และการเคลือบผิว (Surface Coating) เป็นต้น การใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนก็เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ เนื่องจากสะดวกในการนำไปใช้ป้องกันการกัดกร่อนของวัสดุด้วยสารยับยั้งการกัดกร่อนอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับวิธีป้องกันแบบอื่น เช่น การเคลือบสีป้องกันการกัดกร่อน เป็นต้น นอกจากนี้สารยับยั้งการกัดกร่อนได้ถูกพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานตามความต้องการเฉพาะเป็นจำนวนมาก จึงทำให้สารยับยั้งการกัดกร่อนถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย

2. ความหมายของสารยับยั้งการกัดกร่อน

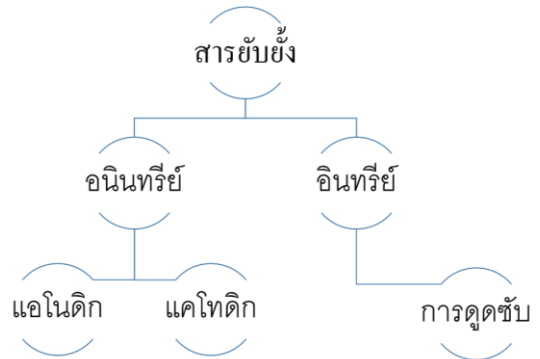
สมาคมวิศวกรการกัดกร่อนแห่งชาติ (National Association of Corrosion Engineers: NACE) ได้ให้ความหมายของสารยับยั้งการกัดกร่อนว่าคือ “สารชนิดหนึ่งที่มีความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการกัดกร่อนเมื่อเข้ามาอยู่สภาพแวดล้อมหนึ่ง” [5] และอีกความหมายหนึ่งตามสมาคมอเมริกาสำหรับการทดสอบและวัสดุ (American Society for Testing and Materials: ASTM) คือ “สารเคมีหรือการรวมกันของสารที่เมื่ออยู่ใน ความเข้มข้นและรูปแบบที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมจะป้องกันหรือช่วยลดการกัดกร่อนได้” [6]

3. ประเภทของสารยับยั้งการกัดกร่อน

สารยับยั้งการกัดกร่อนสามารถเป็นได้ทั้งสารเคมี สารสังเคราะห์หรือสารจากธรรมชาติโดยสามารถจำแนกตาม

- ลักษณะทางเคมีเป็นอินทรีย์ (Organic) หรืออนินทรีย์ (Inorganic)
- กลไกของการทำงานเป็นแอโนดิก (Anodic) แคโทดิก (Cathodic) หรือผสมทั้งแอโนดิก – แคโทดิก โดยการทำหน้าที่การดูดซับ (Adsorption action)
- เป็นสารที่ทำให้สารอื่นรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidants) หรือไม่เป็นสารที่ทำให้สารอื่นรวมตัวกับออกซิเจน (Not Oxidants) [7]

โดยทั่วไปสารยับยั้งอนินทรีย์จะมีความทำงานเป็นแคโทดิกหรือแอโนดิก สารยับยั้งอินทรีย์จะมีความทำงานเป็นทั้งแบบแคโทดิกและแอโนดิกซึ่งป้องกันโดยการดูดซับ (Adsorption) บนพื้นผิวโลหะ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งประเภทของสารยับยั้งที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การจำแนกประเภทของสารยับยั้ง [7]

4. การทำงานของสารยับยั้งการกัดกร่อน

สารยับยั้งเป็นสสารหรือสารผสมที่ความเข้มข้นต่ำ และยับยั้ง ป้องกัน หรือลดการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงได้ โดยทั่วไปกลไกการยับยั้งจะมีหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งในสามกลไกดังนี้

- 1) สารยับยั้งจะดูดซับสารเคมีบนพื้นผิวของโลหะ และสร้าง พิล์มบางป้องกันกับสารยับยั้ง หรือ โดยการรวมกันระหว่าง ไอออนของสารยับยั้งกับพื้นผิวโลหะ
- 2) สารยับยั้งนำไปสู่การก่อตัวของชั้นฟิล์มโดยการป้องกัน ออกไซด์ของโลหะ
- 3) สารยับยั้งทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ที่มีศักยภาพอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวและผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กัน [7]

การทำงานของสารยับยั้งแต่ละประเภท

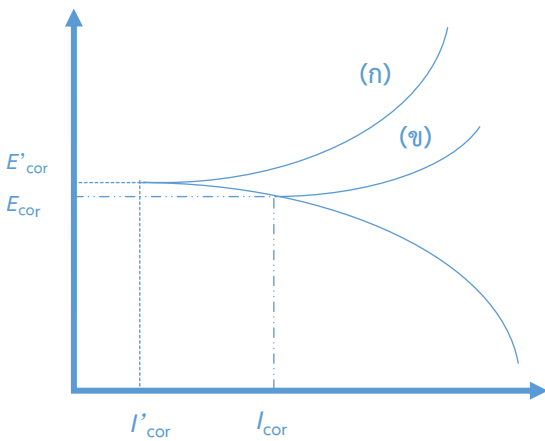
4.1 สารยับยั้งอนินทรีย์ (Inorganic inhibitors)

4.1.1 สารยับยั้งแบบแอโนดิก (Anodic inhibitors)

สารยับยั้งแบบแอโนดิก (หรือที่เรียกว่าสารยับยั้งแบบสร้างฟิล์มปกป้อง) จะขัดขวางการทำปฏิกิริยาแอโนด (Anode reaction) และสนับสนุนปฏิกิริยาตาม

ธรรมชาติของพื้นผิวโลหะในการสร้างชั้นฟิล์มปกป้อง เนื่องจากการสร้างฟิล์มจะต้องเกิดการดูดซับบนโลหะ โดยทั่วไปสารยับยั้งจะทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ที่กัดกร่อน เริ่มสร้างการเกิดชั้นฟิล์มยึดติดและไม่ละลายน้ำบนพื้นผิวโลหะ [2]

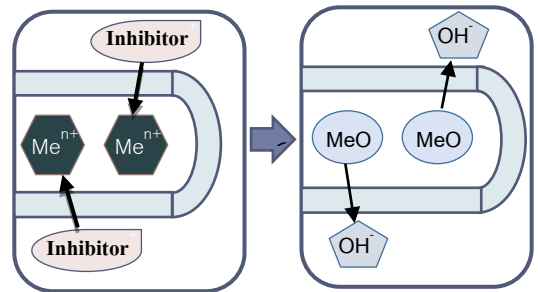
รูปที่ 2 แสดงแผนภาพโพเทนชิโอสแตติก โพลารีเซชัน (Potentiostatic polarization) ของสารละลายกับพฤติกรรมของสารยับยั้งแบบแอนโนดิก ปฏิกิริยาแอนโนดิกจะได้รับผลกระทบจากสารยับยั้งการกัดกร่อน และศักย์การกัดกร่อนของโลหะที่จะถูกเลื่อนไปเป็นค่าบวกมากขึ้น รวมทั้งค่าของกระแสในเส้นโค้งลดลง พร้อมกับสารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีอยู่ด้วย



รูปที่ 2 แผนภาพโพเทนชิโอสแตติก โพลารีเซชันแสดงพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีของโลหะในสารละลายที่มีสารยับยั้งแอนโนดิก (ก) เทียบกับการไม่มีสารยับยั้ง (ข) [7]

สารยับยั้งแอนโนดิกทำปฏิกิริยากับไอออน โลหะ Me^{n+} สร้างขึ้นบนแอนโนด การเปลี่ยนรูปโดยทั่วไปจะเป็นไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งจะถูกวางลงบนพื้นผิวโลหะเหมือนเป็นชั้นฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ และไม่

สามารถซึมผ่านไอออนโลหะได้ จากการที่โมเลกุลของน้ำเข้าทำปฏิกิริยาสลายโมเลกุล (ไฮโดรไลซิส หรือ Hydrolysis) ของสารยับยั้งทำให้เกิดไอออน OH^- ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นผลของการยับยั้งแบบแอนโนดิก



รูปที่ 3 ผลยับยั้งอนินทรีย์แอนโนดิก และการทำงานของสารยับยั้ง

เมื่อความเข้มข้นของสารยับยั้งการกัดกร่อนสูงมากพอที่ทำให้ความหนาแน่นกระแสคาโทดิกที่ศักย์ไฟฟ้าของชั้นฟิล์มโลหะสูงกว่าความหนาแน่นกระแสแอนโนดิก ส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าของชั้นฟิล์มโลหะมีค่าสูงขึ้น ทำให้โลหะสร้างชั้นฟิล์ม [8]

ถ้าสำหรับผลของสารยับยั้งแอนโนดิกดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ สิ่งที่สำคัญมากคือความเข้มข้นของสารยับยั้งควรสูงพอในสารละลาย สัดส่วนความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสมของสารยับยั้งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของชั้นฟิล์มป้องกัน เพราะฟิล์มจะไม่ครอบคลุมโลหะอย่างสมบูรณ์ หลุดออกจากของโลหะ ทำให้ผิวโลหะเปิดออกสัมผัสกับสภาพแวดล้อมจนก่อให้เกิดการกัดกร่อน

ความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่าวิกฤตเป็นผลร้ายยิ่งกว่าไม่มีสารยับยั้งเสียอีก โดยทั่วไปสามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูพรุน (Pitting) เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ที่บริเวณแอโนดซึ่งสัมพันธ์กับแคโทดิก หรือสามารถเร่งการกัดกร่อนเหมือนการกัดกร่อนทั่วไป เนื่องจากการสลายของชั้นฟิล์มของโลหะ

ตัวอย่างของสารยับยั้งอนินทรีย์แบบแอโนดิก เช่น ไนเตรต (Nitrate) โมลิบเดต (Molybdates) โซเดียมโครเมต (Sodium chromates) ฟอสเฟต (Phosphates) ไฮดรอกไซด์ (Hydroxides) และซิลิเกต (Silicates)

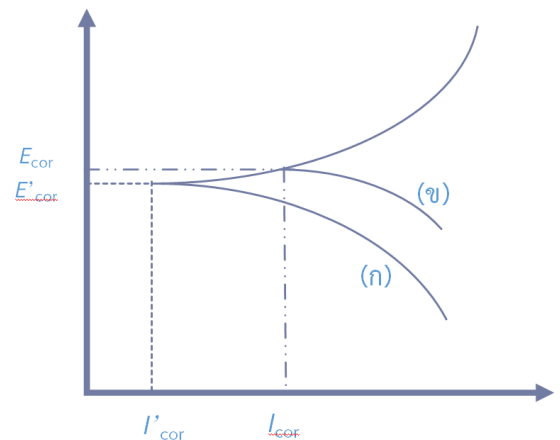
4.1.2 สารยับยั้งแบบคาโทดิก (Cathodic inhibitors)

ในระหว่างกระบวนการกัดกร่อน สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบคาโทดิกจะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคาโทดิกของโลหะ สารยับยั้งเหล่านี้มีไอออนของโลหะที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาคาโทดิกเนื่องจากความเป็นด่าง (Alkalinity) ดังนั้นจึงผลิตสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะตกตะกอนด้านคาโทดิกรวมกันแน่นติดอยู่เหนือฟิล์มโลหะ และจำกัดการแพร่กระจายของสิ่งต่างๆ ให้อยู่ในพื้นที่บริเวณนี้ ดังนั้นการเพิ่มความต้านทานของพื้นผิวและการจำกัดการแพร่กระจายของสิ่งต่างๆ ทำให้การแพร่กระจายออกซิเจนและอิเล็กตรอนจะมีการเหนี่ยวนำอยู่ในพื้นที่บริเวณนี้ สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สารยับยั้งเกิดการยับยั้งแคโทดิกที่สูง [9]

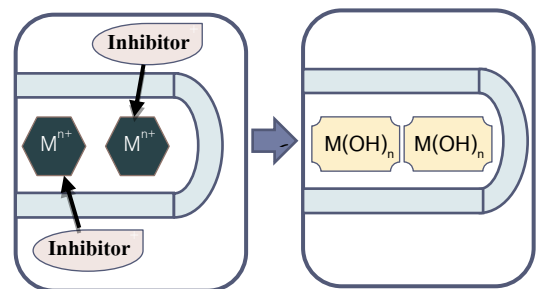
รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งการโพลาริเซชันของโลหะ ในสารละลายที่มีสารยับยั้งคาโทดิก เมื่อปฏิกิริยาคาโทดิกมีผลกระทบต่อศักย์การกัดกร่อน ทำให้ค่าจะเลื่อนไปเป็นค่าลบมากขึ้น

สารยับยั้งคาโทดิกจะสร้างตะกอนที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นอุปสรรคบนโลหะ ครอบคลุมไว้ ดังนั้นจึงเป็นการ

จำกัดการสัมผัสของโลหะกับสภาพแวดล้อม ถึงแม้ว่าโลหะจะถูกแช่ไว้ในสารละลายทั้งชิ้นงานก็สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้ เนื่องจากสารยับยั้งคาโทดิกไม่ได้มีสัมพันธ์กับความเข้มข้น ทำให้เกิดความมั่นใจสำหรับการนำไปใช้งานมากกว่าสารยับยั้งแอโนดิก รูปที่ 5 แสดงให้เห็นภาพของกลไกการทำงานของสารยับยั้งคาโทดิกเพื่อยับยั้งกระบวนการกัดกร่อน [7]



รูปที่ 4 แผนภาพโพเทนชิโอสแตติก โพลาริเซชัน พฤติกรรมไฟฟ้าเคมีของโลหะในสารละลายที่มีสารยับยั้งคาโทดิก (ก) เทียบกับสารละลายเดียวกันที่ไม่มีสารยับยั้ง (ข) [7]



รูปที่ 5 แสดงกลไกการทำงานของสารยับยั้งคาโทดิก

ตัวอย่างของสารยับยั้งอินทรีย์แบบคาโทดิก เช่น ไอออนของแมกนีเซียม (Magnesium) สังกะสี (Zinc) และนิกเกิล (Nickel) ที่ทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ของน้ำ เกิดการสร้างรูปเป็นไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ เช่น Mg(OH)₂, Zn(OH)₂, Ni(OH)₂ ซึ่งจะไปอยู่บนด้านคาโทดิกของพื้นผิวโลหะที่ปกป้อง [7]

นอกจากนี้ยังสามารถใช้โพลีฟอสเฟต (Polyphosphates) ฟอสโฟเนต (Phosphonates) แทนนิน (Tannins) ลิกนิน (Lignins) และเกลือแคลเซียม (Calcium salts) เป็นสารยับยั้งที่ทำให้เกิดกลไกปฏิกิริยาเดียวกันกับที่กล่าวมาได้

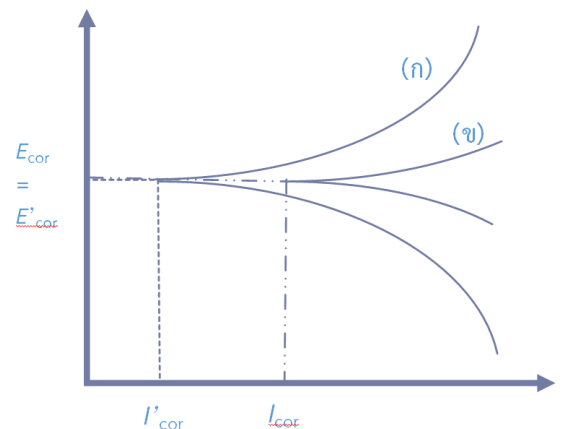
กลไกการยับยั้งแบบนี้เห็นได้ในน้ำกระด้างเนื่องจากผลของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต เมื่อน้ำไหลผ่านโลหะอย่างรุนแรงในช่วงขณะหนึ่งจะสามารถช่วยในการเกิดนิเวศของคาร์บอเนต ทำให้เกิดปฏิกิริยาใกล้กับจุดสมดุลและสร้างตะกอนบนพื้นผิวโลหะ ตะกอนเหล่านี้ เช่น CaCO₃ ครอบคลุมพื้นที่คาโทดิกเพื่อปกป้องโลหะ ดังนั้นสารยับยั้งคาโทดิกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ ไม่ได้เกิดจากองค์ประกอบของโลหะ ทำให้สารยับยั้งชนิดนี้สามารถใช้ได้กับโลหะทุกชนิด [7]

4.2 สารยับยั้งอินทรีย์ (Organic inhibitors)

สารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารยับยั้ง บางครั้งจะทำหน้าที่เป็นคาโทดิก แอโนดิกหรือร่วมกัน เป็นสารยับยั้งคาโทดิก-แอโนดิก แต่ยังคงเป็นไปหลักทั่วไปโดยมีกระบวนการของการดูดซับพื้นผิว การสร้างฟิล์มปกป้อง ตามธรรมชาติการเกิดขึ้นของโมเลกุลจะมีการ

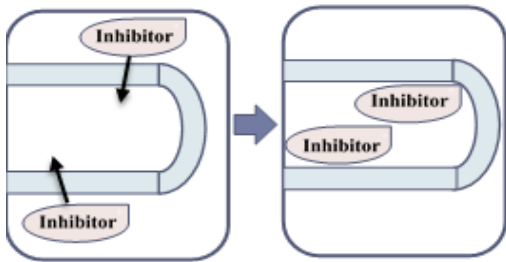
ปฏิสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งกับพื้นผิวโลหะ เพื่อแสดงประสิทธิภาพการยับยั้งที่ดีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [10] สารยับยั้งเหล่านี้จะสร้างฟิล์มไฮโดรโฟบิกปกป้อง (Protective hydrophobic film) ดูดซับโมเลกุลบนพื้นผิวโลหะ ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการ สลายตัวของโลหะในอิเล็กโทรไลต์ สารยับยั้งนี้จะต้อง ละลายน้ำหรือกระจายในตัวกลางที่อยู่รอบโลหะได้ [2]

ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นเส้นโค้ง ทีโอริก โปเทนชิโอสแตติก โพลาริเซชัน (Theoric potentiostatic polarization curve) ให้เห็นผลกระทบของสารละลายที่มีสารยับยั้งอินทรีย์บนโลหะที่มีพฤติกรรมเป็นแบบแอโนดิกและคาโทดิก หลังจากที่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน สักการกัดกร่อนยังคงเหมือนเดิม แต่ค่ากระแสการกัดกร่อนลดลงจาก I_{cor}' ไปเป็น I_{cor}



รูปที่ 6 แผนภาพตามทฤษฎีโพเทนติโอสแตติก โพลาริเซชัน พฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีของโลหะในสารละลายที่มีสารยับยั้งคาโทดิกและแอโนดิก (ก) เทียบกับสารละลายเดียวกันที่ไม่มีสารยับยั้ง (ข) [7]

ที่แสดงในรูปที่ 7 เป็นกลไกการทำงานของสารยับยั้งอินทรีย์เมื่อถูกดูดซับไปยังพื้นผิวโลหะและสร้างฟิล์ม ป้องกันบนผิวโลหะ



รูปที่ 7 แสดงกลไกการทำงานของสารยับยั้งอินทรีย์เมื่อสารยับยั้งถูกดูดซับไปยังพื้นผิวโลหะ โดย Inhibitor หมายถึง โมเลกุลของสารยับยั้ง

ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของสารยับยั้งอินทรีย์

ขึ้นอยู่กับ

- โครงสร้างทางเคมี เช่น ขนาดของ โมเลกุลของสารอินทรีย์
- พันธะอะโรมาติก (Aromaticity) และ/หรือการเรียงสลับระหว่างพันธะ (Conjugated Bonding) ของความยาวสายโซ่คาร์บอน
- ชนิดและจำนวนของอะตอมหรือกลุ่มพันธะในโมเลกุล (ไม่ π ก็ σ)
- ธรรมชาติและการรับได้ของพื้นผิวโลหะในการดูดซับซึ่งเปรียบเหมือนความแข็งแรงพันธะที่พื้นผิวโลหะ

- ความสามารถในการชั้นที่มีการเรียงตัวแน่นหรือเป็นร่างแห
- ความสามารถในการสร้างความซับซ้อนกับอะตอมที่เป็นของแข็งภายในผลึกโลหะมีลักษณะโครงสร้างแบบจุดเล็กๆ อยู่ติดต่อกัน (Metal lattice)
- ชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังเช่น การละลายได้ที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อม [16]

ประสิทธิภาพของสารยับยั้งการกัดกร่อนอินทรีย์เหล่านี้มีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มฟังก์ชันแบบมีขั้ว กับอะตอม S O และ N ในโมเลกุลสารประกอบเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic) และ ไพออิเล็กทรอนิกส์ (Pi electrons) ทั่วไปจะสามารถแตกไอออนได้ในส่วนที่มีไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) หรือ ไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ฟังก์ชันที่มีขั้วมักจะเป็นศูนย์กลางปฏิกิริยาสำหรับดำเนินการกระบวนการดูดซับ [10]

สารยับยั้งกรดอินทรีย์ที่มีออกซิเจน ไนโตรเจนหรือกำมะถันจะถูกดูดซับบนพื้นผิวโลหะ เพื่อการปิดกั้นไม่ให้เกิดการกัดกร่อน แม้ว่าสารยับยั้งอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่มีประสิทธิภาพเป็นสารประกอบที่มีพันธะ π ซึ่งเป็นพิษทางชีวภาพและมีคุณลักษณะที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน [11]

เนื่องจากพื้นผิวโลหะที่ครอบคลุมเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารยับยั้ง ดังนั้นความเข้มข้นของสารยับยั้งในสื่อตัวกลางจึงเป็นสิ่งสำคัญ [12]

ตัวอย่างสารยับยั้งแบบนี้ คือ เอมีน (Amines) ยูเรีย (Urea) Mercaptobenzothiazole (MBT) Benzotriazole toliotriazol Aldehydes สารประกอบไนโตรเจน-เฮเทโรไซคลิก (Heterocyclic nitrogen compounds) สารประกอบที่มีกำมะถัน (Sulfur) และอะเซไทลินิก (Acetylenic) และกรดอัสโคบิก (Ascorbic acid) กรดซักซินิก (Succinic) ไทรพ์ตามีน (Tryptamine) คาเฟอีน (Caffeine) และสารสกัดจากสารธรรมชาติ [10] ยังมีสารยับยั้งบางอย่างที่ทำหน้าที่ในขณะที่อยู่รูปของไอ (Volatile corrosion inhibitor) ตัวอย่างเช่น Dicicloexilamônio benzoate Diisopropylammonium nitrite หรือ benzoate Ethanolamine benzoate หรือ carbonate และการรวมกันของยูเรียและโซเดียมไนไตรท์ [13]

5. ภาพรวมการใช้งานสารยับยั้งการกัดกร่อนในอุตสาหกรรม

โดยจำแนกตามอุตสาหกรรมหรือการใช้งานได้ดังนี้

5.1 อุตสาหกรรมน้ำมัน

โซเดียมคาร์บอเนตหรือเอมีนอินทรีย์เชิงซ้อนสามารถนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบฤทธิ์กัดกร่อนของ CO₂ H₂S และกรดอินทรีย์ ที่ช่วยให้ได้ใช้วัสดุที่มีราคาถูกมากขึ้นและทนต่อการกัดกร่อนในหลุมสกัดน้ำมันดิบ ท่อน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าดและน้ำมันที่ถูกนำมาใช้กับ ซัลโฟเนตออย โซเดียมไนไตรท์ หลุมน้ำมัน (Oil well) จะใช้ไขมันเอมีน กรดไขมัน Imidazolines และ Quaternary ammonium salts การกัดกร่อนภายใน

ที่จะเกิดขึ้นในการขนส่งก๊าซเปียก เนื่องจากการรวมตัวของน้ำที่บรรจุในการละลายก๊าซที่มีฤทธิ์กัดกร่อน การกัดกร่อนที่เกิดจากการสลายตัวของก๊าซที่มีฤทธิ์กัดกร่อน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่นเดียวกับการรวมตัวของไอระเหยของกรด [14]

5.2 ระบบการส่งและระบบการกระจายน้ำ

มีการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนร่วมกับตัวปรับค่า pH และการควบคุมความเป็นด่างเพื่อการป้องกันที่มีประสิทธิภาพ สารยับยั้งพบมากที่สุดคือฟอสเฟตสารระเหยเอมีน (Cyclohexylamine, Morphine) [7]

5.3 คอนกรีต

เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริมใน โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากมีปริมาณคลอไรด์ไอออนสูง มีการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนผสมในคอนกรีต ทาที่ผิวคอนกรีตหรือทาที่ผิวเหล็กเสริม ตัวอย่างเช่น โซเดียมไนไตร แคลเซียมไนไตร และ ไอออนฟอสเฟต [15]

5.4 หม้อต้มน้ำ

เทอร์โมอิเล็กทริกโดยทั่วไปจะใช้แอมโมเนีย Cyclohexylamine Alkanol และ Morpholine เป็นสารยับยั้งในหม้อไอน้ำในกระบวนการต่างๆ สารยับยั้งได้ถูกนำมาใช้กับกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้สำหรับการละลายคราบหินปูนเพื่อป้องกันการโจมตีจากคราบหินปูนภายในท่อ

5.5 ยานยนต์

สารยับยั้งที่ใช้ในรถยนต์ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ (1) เพื่อลดการกัดกร่อนของระบบของเหลว (สนิมภายใน) และ (2) เพื่อปกป้องพื้นผิวโลหะสัมผัสกับบรรยากาศ (กัดกร่อนภายนอก) การกัดกร่อนภายในได้รับอิทธิพลจากสารหล่อเย็น การไหลของอากาศ อุณหภูมิ ความดัน สิ่งสกปรกในน้ำและผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน สภาพการใช้งานและการบำรุงรักษาระบบ สารยับยั้งที่ใช้ละลายในสารป้องกันการแข็งตัว คือ ไนไตรท์ ไนเตรต ฟอสเฟต ซิลิเกต อาร์เซนิต และ โครเมต ซึ่งเป็นพวกสารยับยั้งแอนโอดิก เอมีน Benzoates Mercaptans และฟอสเฟตอินทรีย์ เป็นพวกสารยับยั้งแบบผสม (แอนโอดิกและคาโทดิก) และน้ำมันที่มีขี้ผึ้ง หรือ Emulsifiable จะใช้สารยับยั้งที่สร้างชั้นฟิล์มปกป้อง [16]

5.6 การกัดกร่อนภายในของท่อเหล็ก

ระบอบการไหลของของเหลวในท่อมีผลต่ออัตรา การกัดกร่อน ที่อัตราการไหลสูงจะเกิดการกัดกร่อนจากการไหลที่เกิดขึ้นและการกัดเซาะ-การกัดกร่อน อาจเกิดขึ้นในขณะที่อัตราการไหลต่ำ การเกิดการกัดกร่อนแบบรูพรุน (Pitting Corrosion) ถือเป็น เรื่องปกติ

การกัดกร่อนจะเกี่ยวข้องกับจำนวนและลักษณะของ ตะกอน การไหลที่ความเร็วสูงมีแนวโน้มที่จะกวาด ตะกอนออกจากท่อในขณะที่ความเร็วต่ำจะทำให้ ตะกอนค้างที่ด้านล่างทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูพรุน

การกัดกร่อนภายในของท่อจะถูกควบคุมโดยการทำให้ ความสะอาดท่อ (Pigging) และโดยการเพิ่มสารยับยั้ง โดยสารยับยั้งที่ใช้สามารถอ้างอิงได้จากอุตสาหกรรม น้ำมันและระบบการส่งและระบบการกระจายน้ำ [14]

6. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและราคาของ สารยับยั้ง

การเปรียบเทียบได้กำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนน ประสิทธิภาพ (%) และ ราคา (บาท) ตามตารางที่ 1 และ ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพและราคาของสารยับยั้ง ตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนประสิทธิภาพและ ราคาของสารยับยั้ง

คะแนน	ประสิทธิภาพ	ราคา (บาท)
1	น้อยกว่า 11	มากกว่า 500
2	20-11	500-301
3	40-21	300-201
4	60-41	200-101
5	80-61	100-51
6	100-81	50-41
7	150-101	40-31
8	300-151	30-21
9	500-301	20-11
10	มากกว่า 500	น้อยกว่า 11

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพและราคาของสารยับยั้ง

สารยับยั้ง	ความเข้มข้น	วัสดุ	ตัวกลาง	ประสิทธิภาพ (%) [*]	ราคา (บาท) ^{**}	คะแนนรวม ^{***}
CeCl ₃	500 ppm	AA5083	3.5% NaCl	297 [17]	242/1กรัม	24
LaCl ₃	500 ppm	AA5083	3.5% NaCl	113 [17]	32/1กรัม	49
Hexa-ammonium heptamolybdate tetra hydrate	1mM	AISI 304	0.5 M HCl	91.2 [18]	13.4/1กรัม	54
Hydroxyethyl cellulose	0.5mM	AISI 1018	3.5% NaCl	96.7 [19]	10.7/1กรัม	60
Imidazole	50 ppm	AISI 316	3.0% NaCl	96 [20]	17.1/1กรัม	54
Imidazole	50 ppm	AISI 1010	3.0% NaCl	73 [20]	17.1/1กรัม	45
Pectin from apple	1000 ppm	X60	0.5 M HCl	77.1 [21]	15/1กรัม	45
Schiff base	70 ppm	AISI 1018	3.5% NaCl	77.1 [22]	132/1กรัม	20
Ciprofloxacin	1800 ppb	AISI 304	1.5% NaCl	93.99 [23]	312/1กรัม	12
Norfloxacin	1800 ppb	AISI 304	1.5% NaCl	94.97 [23]	413/1กรัม	12

* ประสิทธิภาพ เป็นประสิทธิภาพของสารยับยั้ง หน่วยเปอร์เซ็นต์

** ราคา (บาท) เป็นราคาหน่วยบาทต่อสารยับยั้ง 1 กรัม (g.) หรือ 1 มิลลิลิตร (ml.) ซึ่งได้ข้อมูลมาจากเว็บไซต์ของ

- Sigma Aldrich : <http://www.sigmaaldrich.com>
- MP Bio : <http://www.mpbio.com>
- Santa Cruz Biotechnology : <http://www.scbt.com>

ราคา ณ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 โดยใช้ราคาต่ำสุดที่ได้มาจากทั้ง 3 แหล่ง มาแปลงเป็นเงินบาทซึ่งอัตราแลกเปลี่ยนที่ใช้คำนวณ คือ THB/SGD = 25.29 และ THB/USD = 35.63

*** คะแนนรวม เป็น คะแนนความคุ้มค่าของสารยับยั้ง ซึ่งมีคะแนนเต็ม 100 คะแนน โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

คะแนนรวม = คะแนนประสิทธิภาพ x คะแนนราคา

7. สรุปผล

การใช้สารยับยั้งเป็นวิธีการที่ดีในการป้องกันการกัดกร่อนและง่ายต่อการใช้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งมีแหล่งข้อมูล ความรู้เกี่ยวกับวิธีการใช้งาน การเลือกใช้สารยับยั้งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอยู่มากมายเพื่อลดความเสี่ยงในการผิดพลาดหรือผลข้างเคียงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งในปัจจุบันมีการค้นหาและเลือกใช้สารยับยั้งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้เกิดผลดีทั้งทางเศรษฐกิจที่สามารถลดการสูญเสียจากการกัดกร่อนและไม่ส่งผลเสียต่อสังคม ชุมชน และสภาพแวดล้อมอีกด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.P. Virmani, “Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States”, Lanham, MD: Federal Highway Administration [FHWA], 2002.
- [2] US BEA, “Current-Dollar and "Real" Gross Domestic Product.”, Available: <https://www.bea.gov/national/xls/gdplev.xls>, 11 May 2016.
- [3] S. Nivitchanyong, “Aspects of Corrosion Cost in Thailand”, Available: http://www.mtec.or.th/TCPC2015/files/Siriluck_Aspects_of_Corrosion_Cost_in_Thailand.pdf, 11 May 2016.
- [4] Thailand NESDB, “Thailand Gross Domestic Product at Current Market Prices”, Available: www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=5174, 11 May 2016.
- [5] C.C. Nathan, “Corrosion inhibitors”, National Association of Corrosion Engineers (NACE), 1973, pp. 279.
- [6] ASTM G15 - 99b, Standard Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing, 1999, pp. 1-5.
- [7] C.G. Dariva and A.F. Galio, “Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications”, Available: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/46243-.pdf>, 19 Nov. 2016.
- [8] E. Bardal, “Corrosion and Protection”, Springer, London. 2004.
- [9] D. Talbot and J. Talbot, “Corrosion Science and Technology”, CRC Press, Florida. 2000.
- [10] A.S. Yaro, A.A. Khadom and R.K. Wael, “Apricot Juice as Green Corrosion”, Alexandria Engineering 52, 2013, pp. 129-135.
- [11] M.N. El-Haddad, “Chitosan as a Green Inhibitor for Copper Corrosion in Acidic Medium”, International Journal of Biological Macromolecules 55, 2013, pp. 142-149.
- [12] E.S. Sherif, “Effects of 2-Amino-5-(Ethylthio)-1,3,4-Thiadiazole on Copper Corrosion as a Corrosion Inhibitor in 3% NaCl Solutions”, Applied Surface Science 252, 2016, pp. 8615-8623.
- [13] P.R. Roberge, “Handbook of Corrosion Engineering”, Mc Graw Hill Handbook, New York. 1999.
- [14] NACE International, “Corrosion Protection of Steel Offshore Pile in a LNG Terminal”, Available: <http://mp.epubxp.com/i/105569-feb-2013>, 11 May 2016.

- [15] L. Yohai, M. Vázquez and M.B. Valcarce, “Phosphate Ions as Corrosion Inhibitors for Reinforcement Steel in Chloride-rich Environments”, *Electrochimica Acta* 102, 2013, pp. 88-96.
- [16] S. Papavinasam, “Corrosion Inhibitors”, In: R. W. Revie, “*Uhlig's Corrosion Handbook* (2nd Eds.)”, CANMET Materials Technology Laboratory, Canada, 1999.
- [17] A. Aballe, M. Bethencourt, F.J. Botana, M. Marcos, “ CeCl_3 and LaCl_3 Binary Solutions as Environment-Friendly Corrosion Inhibitors of AA5083 Al-Mg Alloy in NaCl Solutions”, *Alloys and Compounds* 323, 2001, pp. 855-858.
- [18] Y.A. Albrimi, A.A. Addi, J. Douch, R.M. Souto and M. Hamdani, “Inhibition of the Pitting Corrosion of 304 Stainless Steel in 0.5 M Hydrochloric Acid Solution by Heptamolybdate Ions”, *Corrosion Science* 90, 2015, pp. 522-528.
- [19] M.N. EL-Haddad, “Hydroxyethylcellulose Used as an Eco-Friendly Inhibitor for 1018c-Steel Corrosion in 3.5% NaCl Solution”, *Carbohydrate Polymers* 112, 2014, pp. 595–602.
- [20] R.R. Moreira, T.F. Soares and J. Ribeiro, “Electrochemical Investigation of Corrosion on AISI 316 Stainless Steel and AISI 1010 Carbon Steel: Study of the Behaviour of Imidazole and Benzimidazole as Corrosion Inhibitors”, *Advances in Chemical Engineering and Science* 4, 2014, pp. 503-514.
- [21] S.A. Umoren, I.B. Obot, A. Madhankumar and Z. M. Gasem, “Performance Evaluation of Pectin as Ecofriendly Corrosion Inhibitor for X60 Pipeline Steel in Acid Medium: Experimental and Theoretical Approaches”, *Carbohydrate Polymers* 124, 2015, pp. 280–291.
- [22] M. Abdullahi, M. Farzam and A. Irannejad, “A Schiff Base Compound as Effective Corrosion Inhibitor for Carbon Steel AISI 1018 in NaCl, 3.5% Media”, *Researcher* 6(10), 2014, pp. 71-77.
- [23] R.S. Dubey and Y. Potdar, “Corrosion Inhibition of 304 Stainless Steel in Sodium Chloride by Ciprofloxacin and Norfloxacin”, *Indian Journal of Chemical Technology* 16, 2009, pp. 334-338.