

การประดิษฐ์สารหน่วงการกัดกร่อนแบบดูดซับความชื้น Fabrication of Water Absorption Inhibitor

ณรงค์ ผังวิวัฒน์* และ อภิชน เสาวรส**

บทคัดย่อ

สิ่งที่แวดล้อมโลหะมีผลกระทบต่ออัตราการกัดกร่อน โดยเฉพาะความชื้นในอากาศ น้ำธรรมชาติ น้ำบริสุทธิ์ น้ำกลั่น น้ำที่มีไอออนต่างๆ หรือน้ำทะเล เป็นต้น ซึ่งสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ เป็นสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนได้ทั้งนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะนำวัสดุไปใช้งานในสภาวะใด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุผสมที่มีสมบัติในการดูดซับความชื้น เพื่อนำไปใช้งานด้านการหน่วงการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน โดยใช้ แร่ดินขาว (Kaolinite) กราฟท์กับแป้งมัน และอะครายลาไมด์ (Acrylamide) แล้วนำมาผสมกับส่วนของ Cr(III)-thiourea-polyacrylamide ซึ่งมีสมบัติในการดูดซับความชื้นเช่นเดียวกัน จากนั้นนำวัสดุผสมที่ได้ไปเคลือบบนผิวของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SK5 เพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นและการหน่วงการกัดกร่อนที่จะเกิดขึ้นกับเหล็กกล้าคาร์บอน ภายใต้สภาวะความชื้นที่สูง ($85\% \pm 5\%$) เมื่อดูผลจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ของวัสดุผสม เช่น โพตัสเซียมไดโครเมต โปตัสเซียมไดโครเมต และตัวริเริ่มปฏิกิริยาการกราฟท์ (ซีริกแอมโมเนียมไนเตรต) ที่มีต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นและการหน่วงการกัดกร่อน พบว่า ปริมาณของโพตัสเซียมไดโครเมต โปตัสเซียมไดโครเมต และตัวริเริ่มปฏิกิริยาการกราฟท์ ที่เหมาะสมที่สุด คือ 1.76%, 3.53% และ 1.93% ตามลำดับ โดยมีการทดสอบหาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนที่เคลือบวัสดุผสมหลังจากที่ตั้งทิ้งไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสูงและเป็นเวลานาน โดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิก พบว่าเหล็กกล้าคาร์บอนที่เคลือบวัสดุผสมมีอัตราการกัดกร่อนลดลง โดยเหล็กกล้าคาร์บอนมีอัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น 32.20% ในขณะที่เหล็กกล้าคาร์บอนที่เคลือบวัสดุผสมมีอัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นเพียง 8.00%

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการทดสอบการกัดกร่อนที่ยาวนานขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วัสดุผสมมีส่วนช่วยในการหน่วงการกัดกร่อนในสภาวะที่ทดสอบได้

Abstract

Environments around metal have influence on corrosion of the metal especially humidity, natural water, pure water, distilled water, aqueous ionic solution or sea water. These environments can cause corrosion which depends on the stage of application.

This research aimed to study composite material which has moisture absorption property for the advantage of inhibition of steel corrosion. (composed of kaolinite grafting with starch and acrylamide mixed with a mixture of Cr(III)-thiourea-polyacrylamide) the composite also has property of moisture absorption. After coating the composite on carbon steel grade SK5, moisture absorption and corrosion inhibition of the steel were investigated. Under high relative humidity ($85\% \pm 5\%$) it was found that varied amount of some components of the composite such as polyacrylamide, potassium dichromate and grafting initiator (i.e., ceric ammonium nitrate) had effects on moisture absorption and corrosion inhibition. The optimum amounts of polyacrylamide, potassium dichromate and grafting initiator were 1.76%, 3.53% and 1.93%, respectively. Evaluation of corrosion rate of bare carbon steels compared with composite coated carbon steels after keeping these specimens under high relative humidity for a period of time indicated potentiodynamically that composite coated carbon steels showed greatly

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** นักศึกษา ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

reduction of the corrosion rates. While bare carbon steel had increasing corrosion rate up to 32.20%, composite coated carbon steel corrosion rate increased only 8.00% after keeping these samples to a longer period of time which is suggested that the composite plays an important role in corrosion inhibition under testing condition.

1. บทนำ

ในประเทศไทยซึ่งมีความชื้นสูง วิธีการป้องกันการกัดกร่อนอย่างหนึ่งที่ทำได้ง่ายๆ ก็คือ การเคลือบด้วยสารบางชนิดหรือการทาสี เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศชื้นสัมผัสกับผิวโลหะแล้วก่อให้เกิดการกัดกร่อน ในทางกลับกัน ถ้าสามารถทำให้สารเคลือบดูดซับความชื้นได้บ้าง แต่สามารถสร้างฟิล์มออกไซด์ขึ้นมาปกป้องผิวก็จะช่วยให้เกิดการป้องกันการกัดกร่อนได้เช่นเดียวกัน ผิวเหล็กดังกล่าวอาจจำเป็นต้องมีองค์ประกอบของโครเมียม เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าออกไซด์ของโครเมียมนั้นสามารถสร้างเครือข่ายที่เป็นร่างแหเพื่อปกปิดผิวโลหะและป้องกันการกัดกร่อนได้ อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ ได้ใช้เหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งไม่มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบ แต่มีการผสมโครเมียม(III) ลงในวัสดุเคลือบ โดยคาดหวังว่าโครเมียมที่วัสดุเคลือบ เมื่อสัมผัสกับเหล็กกล้าคาร์บอน อาจสร้างโครงตาข่ายของออกไซด์ขึ้นเพื่อปกป้องผิวเหล็กได้ ดังนั้นวัสดุเคลือบที่ใช้จึงทดลองใช้เป็นวัสดุที่สามารถดูดซับความชื้นได้อย่างดีดินขาวและโพลีอะครายลาไมด์ เพื่อให้เห็นผลว่าการหน่วงการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้หรือไม่ในสภาวะการเช่นนี้ในการวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทำให้เกิด Cr(III) โดยการผสมโปตัสเซียมไดโครเมตกับไทโอยูเรีย เพื่อให้ไทโอยูเรียทำการรีดิวซ์โปตัสเซียมไดโครเมตซึ่งมีเลขออกซิเดชัน +6 เป็นโครเมียม +3 ส่วนดินขาวที่ทำการกราฟท์กับอะครายลาไมด์และแป้งมันนั้น เพื่อให้เกิดการดูดซับความชื้น แต่การยึดเกาะกับผิวเหล็กกล้าจะไม่ดีในการผสมกับโปตัสเซียมไดโครเมตและไทโอยูเรีย จึงต้องมีการผสมโพลีอะครายลาไมด์ลงไปด้วย เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดยึดติดกับผิวเหล็กกล้าได้เป็นเวลานาน ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะศึกษาผลของปริมาณโพลีอะครายลาไมด์ ปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตและปริมาณตัวริเริ่มเพื่อให้เกิดการกราฟท์ของดินขาว แป้งมัน และอะครายลาไมด์เข้าด้วยกัน

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้ทดสอบ

จากผลการทดสอบด้วยเทคนิคอิมมูนิสชันสเปคโตรสโกปี พบว่าองค์ประกอบทางเคมีและอัตราส่วนขององค์ประกอบเป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่งตรงกับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SK5 จากมาตรฐาน JIS

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเหล็กที่ใช้ทดสอบ

Carbon	Silicon	Manganese	Phosphorus	Sulphur
0.8554 % wt	0.2233 % wt	0.3687 % wt	0.0068 % wt	0.0051 % wt

2.2 การทำให้ดินขาวมีความบริสุทธิ์ [1]

โดยการนำดินขาวมาผสมกับกรดออกซาลิก (0.15 M) ในอัตราส่วน 20.00 กรัม: 100.00 มิลลิลิตร กวนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (27 °C) เป็นระยะเวลา 2-3 วัน นำไปกรองแบบลดความดัน เพื่อเก็บส่วนที่เป็นตะกอนดินขาวที่อยู่ส่วนบนของกรวยกรองนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.3 ขั้นตอนการกราฟท์ดินขาว - แป้งมันกับอะครายลาไมด์ [2]

ในขั้นตอนนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

2.3.1 ส่วนที่ 1 นำแร่ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์แล้วมา 2.00 กรัม อะครายลาไมด์โมโนเมอร์ 20.00 กรัม ตัวเชื่อมปฏิกิริยา (crosslinker คือ N,N/- Methylene-bis-acrylamide) 0.09 กรัม และน้ำกลั่น 40.00 มิลลิลิตร เทใส่ลงในขวด 4 คอ ที่ต่อเชื่อมอยู่กับเครื่องกวน (Mechanical Stirrer) คอนเดนเซอร์ เทอร์มิเตอร์ และท่อก๊าซไนโตรเจน สำหรับไล่ออกซิเจน กวนเป็นเวลา 20 นาที

2.3.2 ส่วนที่ 2 นำแป้งมัน 3.00 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 70.00 มิลลิลิตร ที่ 80 °C พร้อมกับกวนตลอด เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมตัวริเริ่ม (Initiator คือ Ceric ammonium nitrate) 0.2 M 5.00 มิลลิลิตรลงไป และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นระยะเวลา 10 นาที จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีส้มเป็นสีเหลือง จากนั้นนำส่วนที่ 2 เติมน้ำในส่วนที่ 1 อย่างช้าๆ และกวนสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการกราฟท์ (Graft copolymerization) เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งขั้นตอนนี้จะต้องมีการพ่นก๊าซไนโตรเจน

ตลอดเวลา จากนั้นเติมสารละลาย 1M NaOH 300.00 มิลลิลิตรลงไป เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Saponification แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 °C ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

2.4 การสังเคราะห์โพลีอะครายลาไมด์ [3]

ละลายอะครายลาไมด์โมโนเมอร์ 2.50 กรัม และ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต 0.17 กรัม ในน้ำกลั่น ปริมาตร เป็น 50.00 มิลลิลิตร จากนั้นเทสารละลายทั้งหมดลงใน ขวด 3 คอที่แช่อยู่ในอ่างน้ำแข็ง กำจัดก๊าซออกซิเจนออก (Degas) โดยการพ่นก๊าซไนโตรเจนในสารละลายนาน 3 นาที จากนั้นปิดก๊าซไนโตรเจน แล้วเปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศที่ 50 มิลลิบาร์ ประมาณ 10 นาที ทำการกำจัดก๊าซออกซิเจน ซ้ำ 3 ครั้ง ทิ้งให้อุณหภูมิของขวด 3 ขวด เพิ่มขึ้นจนถึง อุณหภูมิห้อง นำไปแช่ลงในอ่างน้ำมันที่ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้หยดลงในเมทานอล จะเกิดเป็นตะกอนสีขาว ทำการกรองตะกอนดังกล่าว จะได้โพลีอะครายลาไมด์

2.5 การเตรียม Cr(III)-thiourea-polyacrylamide [4]

ละลายโพลีอะครายลาไมด์ 0.50 กรัม ในน้ำกลั่น 10.00 มิลลิลิตร เติมไทโอยูเรีย 1.20 กรัม กรดฟอร์มิก 20.00 มิลลิลิตรและโปตัสเซียมไดโครเมต 1.00 กรัม ตั้งทิ้งไว้ที่ อุณหภูมิห้องนาน 100 ชั่วโมง

2.6 การผสมดินขาวส่วนที่กราฟท์กับสารละลาย Cr(III) - thiourea-polyacrylamide

โดยการนำผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนที่ 2.5 ใส่ลงในขวด 4 คอของขั้นตอนที่ 2.3 ทำการกวนและพ่นก๊าซไนโตรเจน ตลอดเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปรับสภาพด้วยการเติม 3M NaOH เพื่อลดความเป็นกรด ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จากนั้นนำไปกรองแบบลดความดัน ส่วนที่อยู่บนกระดาษ กรอง คือวัสดุผสมที่จะนำไปทดสอบความสามารถในการ ดูดซับความชื้นและความสามารถในการหน่วงการกักต่อน โดยการนำไปเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่เป็นแผ่นเหล็กต่อไป (การคติน้ำหนักร้อยละของสารต่างๆ คัดจากสารเริ่มต้น ที่เป็นของแข็งทั้งหมด จากขั้นตอน 2.3-2.5) จากนั้นนำ วัสดุผสมที่ได้ซึ่งมีความเหนียวพอประมาณ มาบดให้เป็น เนื้อเดียวกันโดยใช้โกร่งและหินบด เมื่อบดให้เข้ากันได้แล้ว จึงนำไปเคลือบบนแผ่นเหล็กที่ได้เตรียมไว้โดยการปาดให้ทั่ว จากนั้นทำการเป่าด้วยลมร้อนให้แห้งทำการชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดที่อ่านทศนิยมได้ 4 ตำแหน่ง

ซึ่งจนวน้ำหนักจะคงที่ จดบันทึกน้ำหนักแล้วนำไปแขวน ในกล่องที่มีการควบคุมความชื้นและอยู่ในสภาวะปิดต่อไป

2.7 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นของ วัสดุผสมที่เคลือบบนแผ่นเหล็ก

นำชิ้นงานที่เคลือบผิวเรียบร้อยแล้ว มาแขวนไว้ใน กล่องที่อยู่ในสภาวะปิดและมีการควบคุมความชื้น ให้มี ความชื้นสัมพัทธ์ 85%±5% ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกวัน เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่เกิดขึ้น ทำการศึกษา ผลของปริมาณโพลีอะครายลาไมด์โปตัสเซียมไดโครเมต และปริมาณตัวรีรีม (ซีริก แอมโมเนียมไนเตรต) ต่อน้ำหนัก ที่เปลี่ยนไป

2.8 การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนด้วย วิธีเคมีไฟฟ้า (Electrochemical tests)

ทำการทดสอบชิ้นงานด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าโดยใช้ flat cell โดยให้ชิ้นงานเหล็กที่เคลือบเป็นขั้ว WE (Working electrode) และใช้อิเล็กโทรด Ag / AgCl เป็นขั้วอ้างอิง (Reference electrode) ขั้วช่วย (Counter Electrode) เป็น แพลตตินัม และใช้ 0.1 M NaCl เป็น อิเล็กโทรไลต์ ทำการ ทดสอบโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอดนามิก ตั้งค่า Scan Rate เป็น 1.6 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยเริ่มจากค่าศักย์ไฟฟ้า -1.0 โวลต์ ไปสิ้นสุดที่ศักย์ไฟฟ้า +1.0 โวลต์

2.9 การตรวจดูพื้นผิวเหล็กกล้าที่ผ่านการทดสอบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการดูดซับความชื้น มาล้างและขัดเบาๆ ด้วยฟองน้ำเพื่อเอาผิวเคลือบที่เป็น วัสดุผสมออก (เนื่องจากผิวเคลือบเกาะติดแผ่นชิ้นงานได้ดี) แล้วตรวจดูสภาพผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

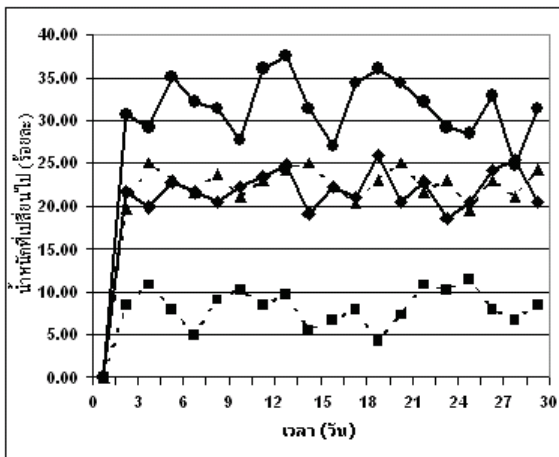
3.1 ผลการทดสอบความสามารถการดูดซับความชื้น ของวัสดุผสมที่ใช้เป็นสารเคลือบ

3.1.1 ผลของโพลีอะครายลาไมด์ต่อความสามารถ ในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสม จากผลการทดสอบ พบว่าเหล็กที่เคลือบด้วยวัสดุผสมที่มีดินขาว-แป้งมัน อะครายลาไมด์ (ตามข้อ 2.3) และโพลีอะครายลาไมด์ (ตามข้อ 2.5) จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุผสมที่มีแต่ ดินขาวที่กราฟท์แล้วเพียงอย่างเดียว (ไม่มีโพลีอะคราย ลาไมด์ผสมอยู่) เพราะว่าโพลีอะครายลาไมด์ช่วยเพิ่ม

ความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสมได้ แต่จากการสังเกตผิวเคลือบพบว่า ผิวเคลือบของวัสดุผสมที่มีโพลีอะครายลาไมด์ผสมอยู่ มีการเปลี่ยนแปลงของสีเกิดขึ้น กล่าวคือมีสีเป็นสีน้ำตาลแดงค่อนข้างดำ ในขณะที่วัสดุผสมที่ไม่มีการเติมส่วนผสมโพลีอะครายลาไมด์ (ข้อ 2.5) ลงไป สียังคงเป็นสีน้ำตาลนวลอยู่ ซึ่งสาเหตุอาจเป็นเพราะว่า ในขั้นตอนการเตรียม Cr(III)-thiourea-polyacrylamide จะต้องมีการละลายโปตัสเซียมไดโครเมตไทโอยูเรีย และโพลีอะครายลาไมด์ที่สังเคราะห์ได้ในกรดฟอริก ทำให้สีของโพลีอะครายลาไมด์ที่มีโปตัสเซียมไดโครเมตเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีน้ำเงินเข้มของ Cr(III) ซึ่งเมื่อผสมกับดินขาวที่กราฟท์ แล้วไปเคลือบบนผิวเหล็กทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีเป็นค่อนข้างดำได้

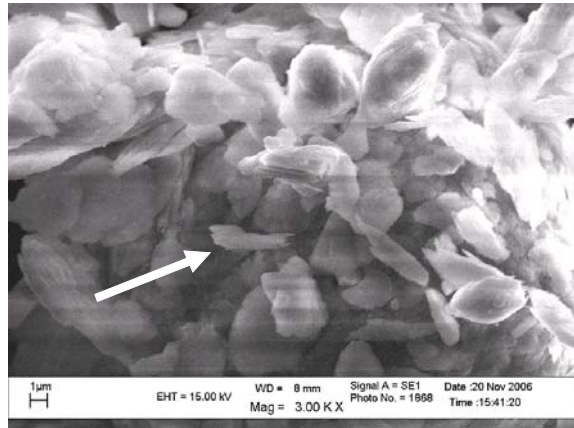
3.1.2 จากรูปที่ 1 เหล็กที่เคลือบด้วยวัสดุผสมที่มีโพลีอะครายลาไมด์ 0.50 กรัม (1.76%) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุผสมที่มีโพลีอะครายลาไมด์ในปริมาณที่ต่างไปจากนี้เพราะว่าโพลีอะครายลาไมด์มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ แต่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างด้วย

ถ้าโพลีเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง มีโครงสร้างที่หนาแน่น หรือมีปริมาณที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นมีประสิทธิภาพต่ำลง เช่นถ้าปริมาณของโพลีอะครายลาไมด์มีมากเกินไป จะทำให้เกิดการปิดกั้นช่องว่างในเนื้อดินขาว ทำให้โมเลกุล

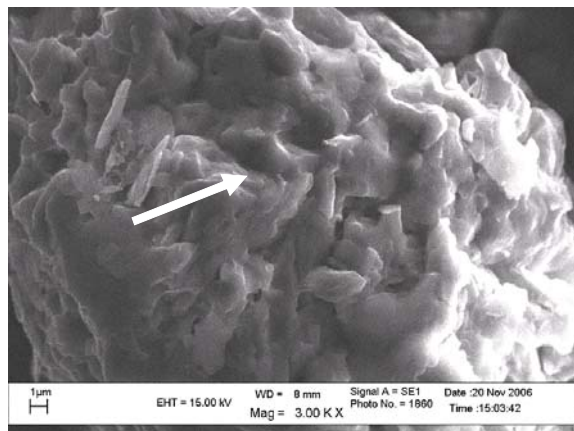


รูปที่ 1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ) ของวัสดุผสมสำหรับเคลือบผิวเหล็กที่มีปริมาณโพลีอะครายลาไมด์ ในปริมาณที่ต่างกัน

รูปที่ 1 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ) ของวัสดุผสมสำหรับเคลือบผิวเหล็กที่มีปริมาณโพลีอะครายลาไมด์ ในปริมาณที่ต่างกัน



(ก) ผงดินขาว (kaolinite)



(ข) ผงดินขาวที่มีโพลีอะครายลาไมด์ผสมอยู่ 1.50 กรัม (5.11%)

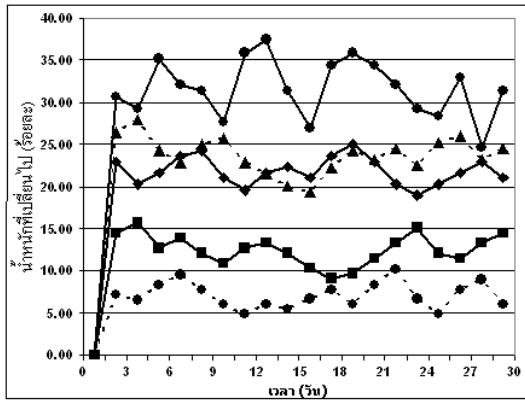
รูปที่ 2 ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (กำลังขยาย 3,000 เท่า)

ของน้ำแทรกซึมผ่านเข้าไปในโครงร่าง ตาข่าย (Network) ได้ยาก เนื่องจากมีช่องว่างน้อยลง โดยดูได้จากภาพถ่ายที่ได้จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 3,000 เท่า ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 2 (ก) และ (ข)

ในทางตรงข้ามปริมาณของโพลีอะครายลาไมด์น้อยจึงส่งผลทำให้มีการช่วยดูด ความชื้นในโครงร่างตาข่ายได้ ทำให้โมเลกุลของน้ำที่จะถูกดูดมีปริมาณสูงขึ้น

3.1.3 ผลของปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมต ต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสม พบว่าเหล็กที่เคลือบด้วยวัสดุผสมที่มีโปตัสเซียมไดโครเมต 1.00 กรัม (3.53%) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุผสมที่มีโปตัสเซียมไดโครเมตในปริมาณที่ต่างไปจากนี้

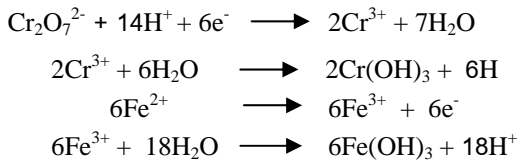
เนื่องจากโปตัสเซียมไดโครเมต มีผลต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสมเช่นกัน อย่างไรก็ตาม



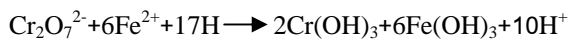
+ ไปต์สเซียมไดโครเมต 0.00 กรัม(0.00%) + ไปต์สเซียมไดโครเมต 0.25 กรัม(0.91%)
 * ไปต์สเซียมไดโครเมต 0.50 กรัม(1.80%) + ไปต์สเซียมไดโครเมต 1.00 กรัม(3.53%)
 * ไปต์สเซียมไดโครเมต 1.50 กรัม(5.20%)

รูปที่ 3 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ) ของวัสดุผสมสำหรับเคลือบผิวเหล็กที่มีปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมต ในปริมาณที่ต่างกัน

เมื่อทำเปรียบเทียบ โปตัสเซียมไดโครเมตที่มีปริมาณมาก จะส่งผลทำให้ดูดซับความชื้นได้ดี เนื่องจากโปตัสเซียมไดโครเมตมีสมบัติทำให้ค่า pH ลดลง จากปฏิกิริยา Hydrolysis ของ Fe^{3+} และ Cr^{3+} ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยา Oxido-Reducing ระหว่าง $Cr_2O_7^{2-}$ และ Fe^{2+} ions [5]

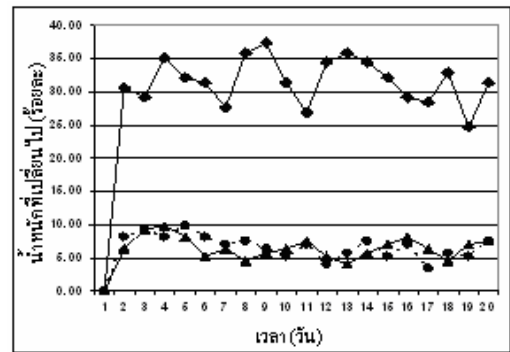


ปฏิกิริยารวมคือ



จากผลลัพท์ข้างบน จะเห็นได้ว่า ค่า pH จะลดลงอันเป็นผลของการเกิด H^+ ส่งผลให้เกิดการเร่งการแตกตัวของโครเมตไอออนที่อยู่ในวัสดุผสม ซึ่งจะทำให้วัสดุผสมนี้มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก กล่าวคือ เป็นไอออนหรือสารที่มีแนวโน้มสูงในการรวมตัวกับน้ำ [6]

3.1.4 ผลของปริมาณตัวริเริ่มต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสม โดย ตัวริเริ่มที่ใช้ในการกราฟท์ คือ ซีริกแอมโมเนียมไนเตรต พบว่า ปริมาณของตัวริเริ่มมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการกราฟท์โคโพลีเมอไรเซชัน [7] ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสม กล่าวคือ ถ้าปริมาณของตัวริเริ่มมี



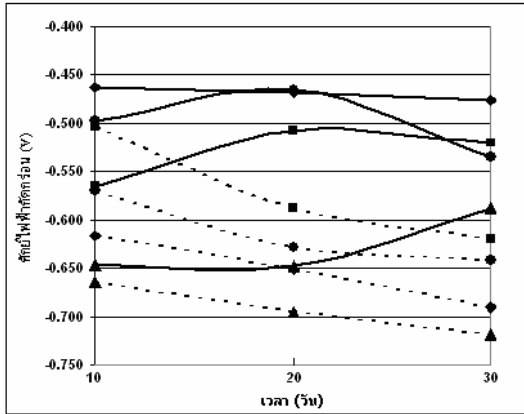
* ตัวริเริ่มปฏิกิริยา 0.45 กรัม(1.59) + ตัวริเริ่มปฏิกิริยา 0.55 กรัม(1.93)
 + ตัวริเริ่มปฏิกิริยา 0.65 กรัม(2.29)

รูปที่ 4 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ) ของวัสดุผสมสำหรับเคลือบผิวเหล็กที่มีปริมาณตัวริเริ่มปฏิกิริยาการกราฟท์ในปริมาณที่ต่างกัน

น้อยปฏิกิริยาการกราฟท์ โคโพลีเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้โครงร่างตาข่ายของวัสดุผสมนั้นเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสมมีค่าต่ำตามไปด้วย ในทางกลับกัน ถ้าปริมาณของตัวริเริ่ม มีมาก ปฏิกิริยาการกราฟท์โคโพลีเมอไรเซชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว [8] ซึ่งไม่เป็นผลดี กล่าวคือ ทำให้ช่องว่างของโครงร่างตาข่ายของวัสดุผสมมีขนาดเล็กตามไปด้วย เป็นการยากที่จะให้โมเลกุลของน้ำแทรกซึมผ่านเข้าไปได้ ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสมจึงมีค่าต่ำลง ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าเหล็กที่เคลือบด้วยวัสดุผสมที่มีปริมาณตัวริเริ่ม 0.55 กรัม (1.93%) มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณตัวริเริ่มมากกว่าหรือน้อยกว่านี้ (ดูรูปที่ 4 ประกอบ)

3.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กที่เคลือบด้วยวัสดุผสม

จากรูปที่ 5 และ รูปที่ 7 จะเห็นว่า แผ่นเหล็กที่ไม่ได้เคลือบสารใดเลย มีค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนเกือบคงที่ แม้ว่าเวลาจะเปลี่ยนไป แสดงว่าความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กเป็นไปตามปกติ (ดูจากค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน) แต่อัตราการกัดกร่อนของเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยดูได้จากรูปที่ 6 นอกจากนี้เมื่อเคลือบผิวเหล็กด้วยดินขาวที่กราฟท์กับแป้งมันและอะครายลาไมด์ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนลดลงจากค่าศักย์ไฟฟ้า กัดกร่อนของเหล็กที่ไม่

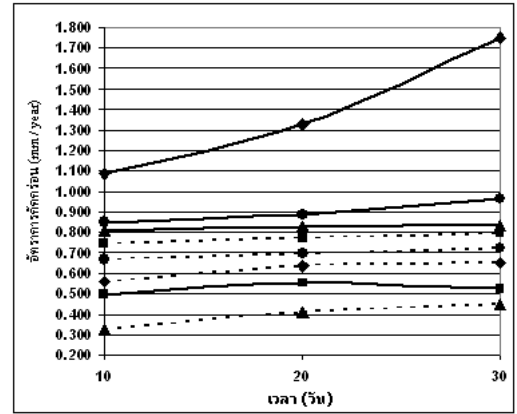


- ◆ เหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีการเคลือบ
- เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 0.00% และ (PA) 0.00%
- เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 0.00% และ (PA) 1.76%
- ◆ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 0.91% และ (PA) 1.76%
- ◆ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 1.80% และ (PA) 1.76%
- ◆ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 3.53% และ (PA) 1.76%
- ▲ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 3.53% และ (PA) 3.47%
- เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 3.53% และ (PA) 5.11%

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากักร่อนกับเวลาของเหล็กเปล่าและเหล็กเคลือบวัสดุผสม โดยมีปริมาณโพลิอะครายลาไมด์(PA)1.76% แต่เปลี่ยนแปลง ปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ (เส้นประ) และเหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มีปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 3.53% แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณโพลิอะครายลาไมด์ (PA) (เส้นเต็ม)

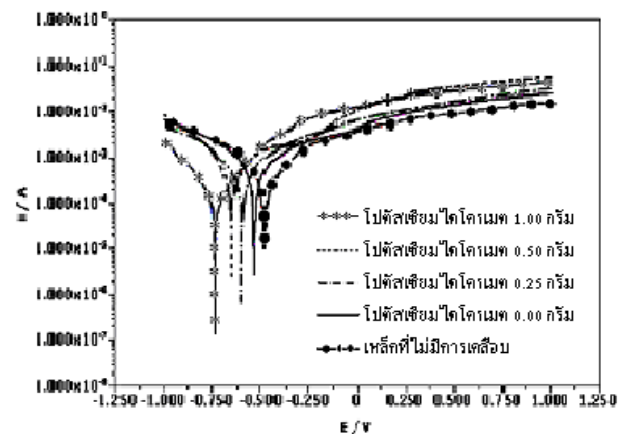
มีการเคลือบ แสดงว่าดินขาวที่กราฟที่กับแป้งมันและอะครายลาไมด์ช่วยดูดซับความชื้น และทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กลดลงในสภาวะที่ผิวเคลือบมีการดูดซับความชื้นไว้ อย่างไรก็ตาม การดูดซับความชื้นนี้ไม่ทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไปมากนัก เมื่อให้เวลา นานขึ้น รวมทั้งอัตราการกัดกร่อนก็ไม่เพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าผิวเคลือบนี้ช่วยทำให้เกิดการปกป้องผิวหน้าของเหล็ก ทำให้อัตราการกัดกร่อนน้อยกว่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกือบครึ่งต่อครึ่งในเวลาที่เท่ากัน ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลจากการกัดกร่อนของเหล็กในระยะแรก ทำให้เกิดออกไซด์หรือกลไกที่ช่วยหน่วงการกัดกร่อนของเหล็กได้

จากผลของโปตัสเซียมไดโครเมตในวัสดุผสมที่เคลือบผิว จะเห็นว่าปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตที่



- ◆ เหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีการเคลือบ
- เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 0.00% และ (PA) 0.00%
- เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 0.00% และ (PA) 1.76%
- ◆ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 0.91% และ (PA) 1.76%
- ◆ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 1.80% และ (PA) 1.76%
- ◆ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 3.53% และ (PA) 1.76%
- ▲ เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 3.53% และ (PA) 3.47%
- เหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มี Chromate 3.53% และ (PA) 5.11%

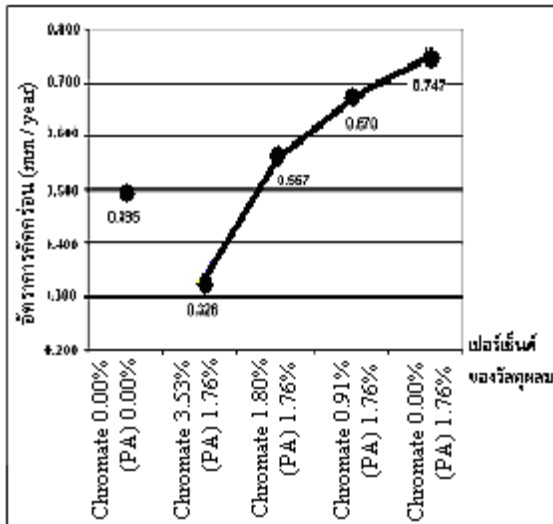
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับเวลาของเหล็กเปล่าและเหล็กเคลือบวัสดุผสม โดยมีปริมาณโพลิอะครายลาไมด์(PA) 1.76% แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ (เส้นประ) และเหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มีปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ 3.53% แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณ โพลิอะครายลาไมด์ (PA) (เส้นเต็ม)



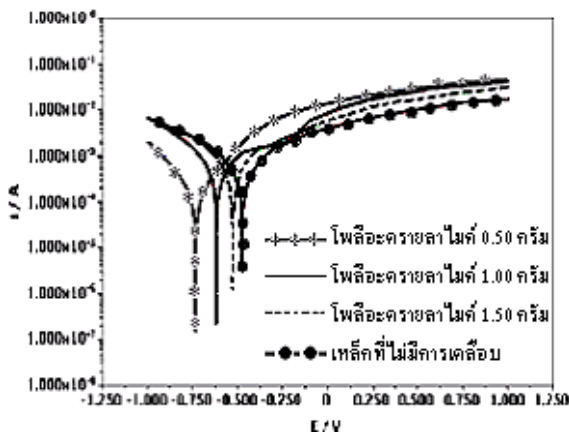
รูปที่ 7 กราฟโพลาริเซชันของเหล็กเปล่าและแผ่นเหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มีปริมาณโปตัสเซียมไดโครเมตต่างๆ กัน

เพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กลดลง (รูปที่ 7)

เนื่องจากศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่าลดลง อันเป็นผลมาจาก การที่โปตัสเซียมไดโครเมตเป็นสารหน่วงการกัดกร่อนชนิดแคโทดิก (Cathodic inhibitor) [9] ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อนของโลหะลดลง (ดูรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ประกอบ) เมื่อทิ้งชิ้นงานไว้นอกจากนี้จะเห็นว่า วัสดุผสมที่มีโปตัสเซียมไดโครเมต 1.00 กรัม (3.53) มีค่าอัตราการกัดกร่อนต่ำกว่าผิวเคลือบที่เป็นดินขาวกราฟท์กับแป้งมันและอะครายลาไมด์ (เทียบจุดที่ 2 กับจุดที่ 1 ในรูปที่ 8)



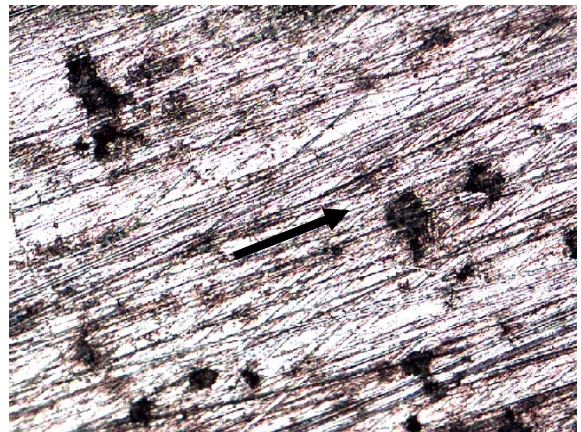
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับวัสดุผสมที่มีปริมาณ $K_2Cr_2O_7$ ต่างกัน



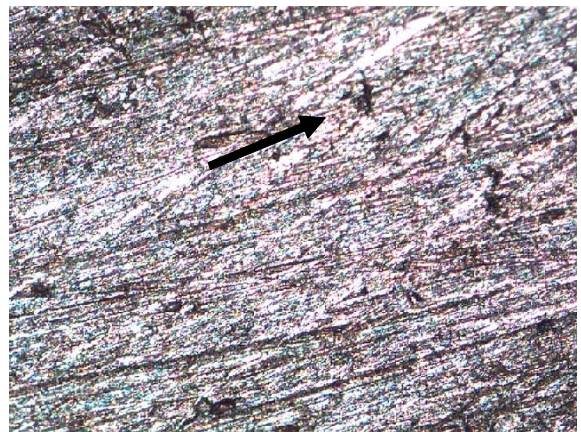
รูปที่ 9 กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กเปล้าและแผ่นเหล็กเคลือบวัสดุผสมที่มีโพลีอะครายลาไมด์ในปริมาณต่างๆ กัน



(ก) ผิวเหล็กที่ไม่มีการเคลือบ



(ข) ผิวเหล็กที่เคลือบเฉพาะ ดินขาวที่กราฟท์ได้



(ค) ผิวเหล็กที่เคลือบวัสดุผสมที่สังเคราะห์โดยมีโพลีอะครายลาไมด์ 1.76% โปตัสเซียมไดโครเมต 3.53%
รูปที่ 10 ผิวเหล็กเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า หลังจากทิ้งไว้ที่ความชื้น 85% เป็นเวลา 50 วัน

เมื่อศึกษาผลของโพลีอะครายลาไมด์ในวัสดุผสมที่เคลือบผิว จะพบว่า ศักย์ไฟฟ้ากัฏกร่อนลดลง เมื่อลดปริมาณโพลีอะครายลาไมด์ (จากรูปที่ 5 และ รูปที่ 9) ซึ่งชี้ว่าความต้านทานการกัฏกร่อนของชิ้นงานลดลงไป เมื่อโพลีอะครายลาไมด์ลดต่ำลง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองการดูดซับความชื้นที่ว่า ยิ่งมีการเติมโพลีอะครายลาไมด์มาก การดูดซับความชื้นของวัสดุผสมก็มีน้อยลง แสดงว่าการดูดซับความชื้นได้ดีของโพลีอะครายลาไมด์ช่วยให้เกิดการกัฏกร่อนได้ดี แต่เมื่อเกิดการกัฏกร่อนขึ้นแล้ว อัตราการกัฏกร่อนของผิวเหล็กที่ถูกเคลือบไว้มีค่าน้อย (ดูรูปที่ 6 ประกอบ) สำหรับชิ้นงานที่ดูดซับความชื้นได้ดี หรือมีปริมาณโพลีอะครายลาไมด์น้อย น่าจะทำให้โพลีอะครายลาไมด์แสดงอิทธิพลต่อการกัฏกร่อนได้ดี

3.3 ผลการตรวจผิวเหล็กหลังการทดสอบด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกแล้วล้างผิวเคลือบออก

จากรูปที่ 10 (ก) เป็นพื้นผิวของเหล็กเปล่าที่ไม่มีการเคลือบ จะเห็นว่ามีส่วนเกิดขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการกัฏกร่อนโดยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกส์ และรูปที่ 10 (ข) เป็นผิวเหล็กที่ผ่านการเคลือบดินขาวที่กราฟท์กับแป้งมันและ อะครายลาไมด์ โดยที่ผิวเคลือบสามารถดูดซับความชื้นได้ระดับหนึ่ง จึงมีผลให้เกิดการกัฏกร่อนในชั้นเริ่มต้น แล้วเกิดการปกป้องขึ้น ทำให้การกัฏกร่อนมีค่าน้อยกว่าการกัฏกร่อนของเหล็กเปล่า และเมื่อมีการเติมโพลีอะครายลาไมด์ โปดัสเซียมไดโครเมต และตัวริเริ่มปฏิกิริยาการกราฟท์โคโพลีเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสม แล้วสภาพการกัฏกร่อนก็จะลดลงได้อีก ดังรูปที่ 10 (ค)

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 ปริมาณของโพลีอะครายลาไมด์ โปดัสเซียมไดโครเมต ตัวริเริ่ม (ซีริกแอมโมเนียมไนเตรต) มีผลต่อความสามารถในการดูดซับความชื้น ความต้านทานการกัฏกร่อน และอัตราการกัฏกร่อนของเหล็ก

4.2 วัสดุผสมที่มีปริมาณโพลีอะครายลาไมด์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีค่าศักย์ไฟฟ้ากัฏกร่อนสูง ขณะที่อัตราการกัฏกร่อนของเหล็กที่เคลือบวัสดุผสมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมที่มีปริมาณโพลีอะครายลาไมด์น้อย ซึ่งมีค่าอัตราการกัฏกร่อนที่ต่ำกว่า แสดงว่าการกัฏกร่อนได้ดีกว่า แม้ว่าจะมีค่าความต้านทานการ

กัฏกร่อนน้อยกว่า ก็ตามโดยปริมาณของโพลีอะครายลาไมด์ ที่ทำให้วัสดุผสมมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.50 กรัม (คิดเป็น 1.76%)

4.3 วัสดุผสมที่มีปริมาณโปดัสเซียมไดโครเมตเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีค่าศักย์ไฟฟ้ากัฏกร่อนต่ำ ซึ่งเป็นพฤติกรรมของโปดัสเซียมไดโครเมต ในขณะที่อัตราการกัฏกร่อนของเหล็กที่เคลือบวัสดุผสมมีแนวโน้มที่ต่ำลง และมีความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ดี ทำให้มีความสามารถในการกัฏกร่อนได้ดี (เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมที่มีปริมาณโปดัสเซียมไดโครเมตต่ำ ซึ่งมีค่าความต้านทานการกัฏกร่อนสูง แต่ความสามารถในการกัฏกร่อนต่ำ) โดยปริมาณของโปดัสเซียมไดโครเมต ที่ทำให้วัสดุผสม มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 100 กรัม (คิดเป็น 3.53%)

4.4 เมื่อวัสดุผสมมีปริมาณตัวริเริ่มที่เหมาะสม จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับความชื้นของวัสดุผสมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้มีความสามารถในการกัฏกร่อนของวัสดุผสมได้ โดยปริมาณของตัวริเริ่มที่เหมาะสม ที่ทำให้วัสดุผสมมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.55 กรัม (คิดเป็น 1.93%) เพราะจะทำให้มีความสามารถในการกัฏกร่อนได้ดีที่สุด ซึ่งถ้าตัวริเริ่มมีปริมาณที่มากกว่าหรือน้อยกว่านี้ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของวัสดุผสมในการกัฏกร่อน ลดต่ำลง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สภาวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานงบประมาณ ที่สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Ambikadevi, V.R. and Lalithambika, M. "Effect of organic acids on ferric iron removal from iron-stained kaolinite." *Applied Clay Science*. 16 (2000): 133-145.
2. Jihuai Wu, Yueling Wei, Jianming Lin. and Songbai Lin. "Study on starch-graft-acrylamide/acrylamide/mineral powder superabsorbent composite." *Polymer International*. 44 (2003) : 6513 - 6520.
3. Caulfield M. J., Xiaojuan Hao, Qiao G. G. and Solomon D.H. *Journal of Polymer*. 44 (2003) : 1331 - 1337.
4. Maxcy T.A., Willhite G.P., Green D.W. and Kristin

- Bowman-James. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 19 (1998) : 253 - 263.
5. Zhao J.M., and Zuo Y. "The effects of molybdate and dichromate anions on pit propagation of mild steel in bicarbonate solution containing Cl⁻." *Corrosion Science*. 44 (2002) : 2119 - 2130.
 6. Zin I.M. and Lyon S.B. "The mode of action of chromate inhibitor in epoxy primer on galvanized steel." *Progress in Organic Coatings*. 33 (1998) : 203 - 210.
 7. McCormic C.L. and Park L.S. *J. Polym. Sci : Polym Chem. Ed*. 19 (1981) : 2229.
 8. Oz Nesrin and Ahmet Akar. "Aminomethylene phosphonic acid-ceric ion redox systems for aqueous polymerization of vinyl monomers." *European Polymer Journal*. 36 (2000) : 193 - 199.
 9. James D.A. *Principles and Prevention of Corrosion*. 2nd ed. Prentice Hall, 1996.