



ประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนอะลูมิเนียมเคลือบด้วยแผ่นฟิล์มของอีพอกซี/น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อัลลอยด์ เสริมแรงด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

Efficiency of corrosion protection properties of epoxy resin/cashew nut shell liquid alloy reinforced with titanium dioxide

วิไลวรรณ ลุนพุด¹⁾ อภิโชค ตังตระการ²⁾ และ พรนภา เกษมศิริ*¹⁾

Wilaivan Loonpooh¹⁾, Apishok Tangtrakarn²⁾ and Pomnapa Kasemesiri*¹⁾

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 4002

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand, 40002.

²⁾ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen Thailand, 40002

Received December 2013

Accepted May 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการบ่มของอีพอกซีเรซินที่ผสมด้วยน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) และความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของแผ่นอะลูมิเนียมเคลือบด้วยอีพอกซีอัลลอยด์ที่เตรียมจากอีพอกซีเรซินผสมกับ CNSL ที่เสริมแรงด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ผลการศึกษาพฤติกรรมการบ่มด้วย FTIR พบว่า ที่สัดส่วน CNSL สามารถใช้เป็นสารบ่ม ในกระบวนการบ่มจะเกิดได้ เมื่อมี CNSL อย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองพบว่า CNSL ที่ใช้ในการบ่มอีพอกซีไม่ควรเกิน 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อไม่ให้หลงเหลือ CNSL ในปฏิกิริยาความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของอีพอกซีอัลลอยด์ฟิล์มที่เสริมแรงด้วย TiO₂ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของ TiO₂ โดยความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของ TiO₂ เท่ากับ 1.5

คำสำคัญ : อีพอกซี น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ไททาเนียมไดออกไซด์ การกัดกร่อน คอมพอลิฟิล์ม

Abstract

The cure behavior of epoxy resin containing cashew nut shell liquid (CNSL) and corrosion protective performance of epoxy alloy reinforced with titanium dioxide (TiO₂) have been investigated. According to FTIR spectra obtained from epoxy alloys, the CNSL can be employed as a curing agent. The curing process occurred when amount of CNSL was as low as 20%wt. It was found experimentally that the CNSL used for epoxy curing should not be higher than 40%wt. in order to minimize amount CNSL left after reaction. The corrosion

* Corresponding author. Tel.: 664-336-2240; fax: 664-4336-2142

Email address: pornkas@kku.ac.th

protective performance of epoxy alloy on aluminum sheets was carried out. The results revealed that the ability of corrosion resistance increased with the amount of TiO_2 introduced into the Epoxy/CNSL film investigated. In this work, the highest corrosion resistance value was found when the TiO_2 concentration of 1.5 %wt was reached.

Keywords : Epoxy, Cashew nut shell liquid, Titanium dioxide, Corrosion, Composite film

1. บทนำ

อีพอกซีเรซิน เป็นสารเคลือบผิวที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีในด้านการยึดติดผิว คุณสมบัติเชิงกล และเชิงความร้อน แต่อีพอกซีที่ใช้ตามท้องตลาดยังมีราคาสูง [1] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำสารที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันละหุ่งและน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาใช้ร่วมกับสารบ่มประเภทเอมีนในการบ่มอีพอกซีเรซิน โดยองค์ประกอบของ CNSL ซึ่งประกอบด้วยสารผสมกรดและอนุพันธ์ฟีนอลิก เช่น anacardic acid, cardanol และ cardol โดยทั่วไปแล้วอนุพันธ์ฟีนอลิก สามารถใช้เป็นสารบ่มให้กับอีพอกซีเรซินได้ [2] และเนื่องจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew Nut Shell Liquid, CNSL) เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ได้จากกระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต้นทุนการผลิตน้ำมันชนิดนี้จึงค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเลือกใช้สารบ่มจากธรรมชาติจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตและลดมลพิษจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกด้วย จากงานวิจัยที่ผ่านมา การเพิ่มประสิทธิภาพของพอลิเมอร์สำหรับการประยุกต์ใช้งานเคลือบด้วยอนุภาคขนาดเล็กก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากวัสดุเสริมแรงขนาดเล็กสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกลได้ดีขึ้น [3] ดังเช่นการเติม การเติม Al_2O_3 ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติความการยึดเกาะระหว่างอีพอกซีเรซินและแผ่นเหล็กได้ดีขึ้น [4] การเติม TiO_2 และสารยับยั้งการกัดกร่อน (inhibitor) ในอีพอกซีที่บ่มด้วยสารประกอบเอมีน สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกัดกร่อน โดย TiO_2 สามารถทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการกัดกร่อนของรูพรุนบนชั้นฟิล์มที่เกิดการกัดกร่อน [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบของสัดส่วนน้ำมันเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลต่อ

ระดับหรือขนาดของการเกิดการเชื่อมขวางของอีพอกซีเรซินและความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยอีพอกซีอัลลอยด์ที่เตรียมจากอีพอกซีเรซินผสมด้วย CNSL เสริมแรงด้วย TiO_2

2. วิธีการการวิจัย

2.1 วัสดุอุปกรณ์

อีพอกซีเรซิน เกรด EPON 828 จากบริษัท ดาว เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จากบริษัท มาบุญครองศิริชัย 25 จำกัด และไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิด Degussa P25 จากบริษัททีโอวินิค (ประเทศไทย) จำกัด คลอโรฟอร์ม (ร้อยละความบริสุทธิ์ 95) จากบริษัท RCI labscan

2.2 ศึกษาพฤติกรรมการบ่มของอีพอกซีเรซินที่ผสมด้วย CNSL

ส่วนผสมของอีพอกซีเรซินและ CNSL ที่ 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ร้อยละโดยน้ำหนักผสมให้เข้ากันโดยการปั่นจนเป็นเวลา 10 นาที เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความถี่สูง 10 นาที และอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่างอีพอกซีเรซินและ CNSL โดยใช้ FTIR, Bruker Tensor 27

2.3 ศึกษาการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์อัลลอยด์โดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

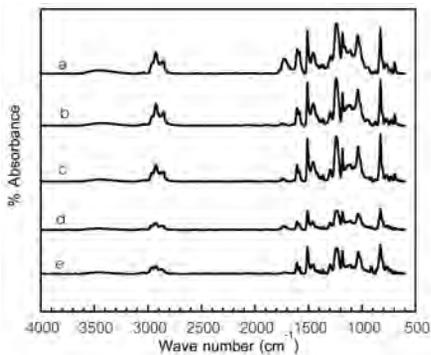
นำชิ้นงานตัวอย่างแช่ในคลอโรฟอร์มเป็นเวลา 15 วัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ การบวม และส่วนของพอลิเมอร์อัลลอยด์ที่ถูกสกัดออกมาใน คลอโรฟอร์ม

2.4 ศึกษาการกัดกร่อนของอีพอกซีเรซินอัลลอยด์กับน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เสริมแรงด้วยไททาเนียมไดออกไซด์

นำส่วนผสมของอีพอกซีอัลลอลอยด์กับน้ำมัน เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และไททาเนียมไดออกไซด์ อัตราส่วน 0-1.5 เปอร์เซ็นต์ เคลือบบนแผ่นอลูมิเนียม ขนาด 1x4 ตารางเซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ (NaCl 3.5%) 14 วัน วิเคราะห์คุณสมบัติการ กัดกร่อนด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี วิธี Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) แบบเปิดวงจร (open circuit) โดยมีคาโพลเป็นขั้วอ้างอิง และมี แผ่นแพททินัม เป็นขั้วแคโทด ความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วง 100 kHz ถึง 0.2 Hz ความต่างศักย์ 10 mV

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

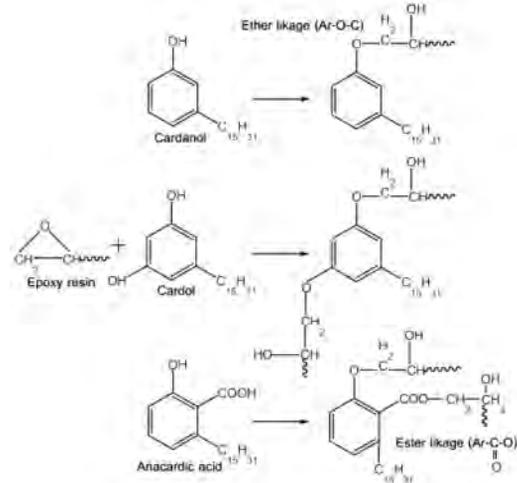
3.1 พฤติกรรมการบ่มระหว่างอีพอกซีเรซินและน้ำมัน เปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



รูปที่ 1 IR สเปกตรัมของ Epoxy/CNSL ที่สัดส่วน (a) 50/50 (b) 60/40 (c) 70/30 (d) 80/20 และ (e) 90/10

กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง อีพอกซี กับ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ IR สเปกตรัมที่บ่ง บอกคุณลักษณะของ CNSL จะปรากฏที่ตำแหน่งเลขคลื่น (wave number) 990 และ 912 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึง โครงสร้างของฟีนอล 1264, 1156 และ 1588 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงโครงสร้างของ C=C สำหรับที่ตำแหน่ง 1650 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงพันธะ C=O ของ ancardic ที่ตำแหน่ง 2852 และ 2922 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงโครงสร้างของ CH₃ และหมู่ฟังก์ชันของ OH จะปรากฏที่ตำแหน่ง 3320 เซนติเมตร⁻¹ [6-8] และตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา การเชื่อมขวางของอีพอกซีเรซิน เลขคลื่นที่ตำแหน่ง 913 เซนติเมตร⁻¹ จะแสดงถึงการเปิดวงอีพอกไซด์ ซึ่งจะเห็นได้ อย่างชัดเจนว่าหลังการบ่มอีพอกซีเรซิน ด้วย CNSL

พีคที่ตำแหน่ง 913 เซนติเมตร⁻¹ จะหายไป [9] และมีการ เกิดพีคใหม่ขึ้นมาที่ตำแหน่ง 1112 และ 1740 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงพันธะเอสเทอร์ และอีเทอร์ ดังแสดงพฤติกรรม การบ่มของ CNSL ในอัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.1(a-d) เป็นการยืนยันว่าปริมาณการเติม CNSL 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นสารบ่มอีพอกซีนั้นเพียงพอ ต่อการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง ในขณะที่รูป 1 (e) ยังปรากฏ พีคที่ตำแหน่ง 913 เซนติเมตร⁻¹ ใน IR สเปกตรัม หลังการบ่ม แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติม CNSL 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่เพียงพอต่อการเชื่อมขวาง ของอีพอกซีเรซิน กลไกการเกิดปฏิกิริยาของอีพอกซีกับ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ แสดงดังรูปที่ 2 องค์ประกอบหลักของ CNSL กล่าวคือ cardanol cardol และ anacardic acid จะทำหน้าที่เป็นสารบ่มโดยการเปิด วงอีพอกไซด์และเข้าทำปฏิกิริยาที่เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ และอีเทอร์กับอีพอกซีในลำดับต่อไป



รูปที่ 2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของอีพอกซีกับน้ำมันเปลือก เมล็ดมะม่วงหิมพานต์

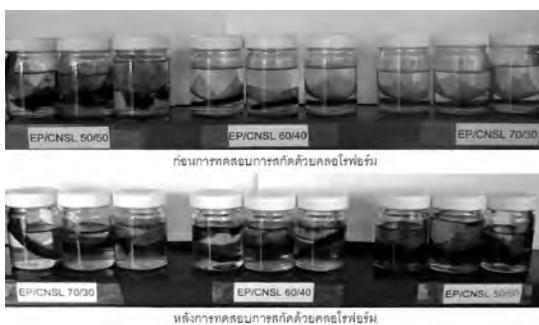
3.2 ศึกษาการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์อัลลอลอยด์โดยวิธีสกัด ด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีสารละลาย คลอโรฟอร์ม พบว่าที่สัดส่วนอีพอกซีเรซินอัลลอลอยด์กับ CNSL ที่ 50/50 และ 80/20 สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขณะที่สัดส่วน 60/40 และ 70/30 สีของสารละลาย คลอโรฟอร์มจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 3 จากการศึกษเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของโครงร่าง

ตาข่ายของอีพอกซีอัลลอยด์และการสกัดส่วนที่เชื่อมขวางของโครงร่างตาข่ายที่ไม่สมบูรณ์อยู่ในช่วง 0.57-2.62 และ 1.87-8.84 ตามลำดับ โดยพอลิเมอร์อัลลอยด์ด้วย CNSL ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ มีการบวมตัว และมีปริมาณของสารที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่ำสุดคือ 0.57 เปอร์เซ็นต์ และ 3.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนอีพอกซีเรซินอัลลอยด์กับ CNSL ที่ 60/40 มีการเชื่อมขวางที่สมบูรณ์ที่สุด สารละลายสามารถแทรกในโครงร่างตาข่ายได้เพียงเล็กน้อยและมีเพียงบางส่วนของอีพอกซี และ CNSL ที่เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ถูกละลายออกมาในคลอโรฟอร์มเหมาะสมนำไปใช้เป็นฟิล์มอัลลอยด์เสริมแรงด้วย TiO₂ ในการเคลือบผิวอะลูมิเนียมต่อไป

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวและการสกัดด้วยสารละลายของอีพอกซีอัลลอยด์

Composition (EP/CNSL)	% Swelling	% Solvent Extraction
80/20	2.62	7.00
70/30	1.07	3.18
60/40	0.57	1.87
50/50	2.33	8.84

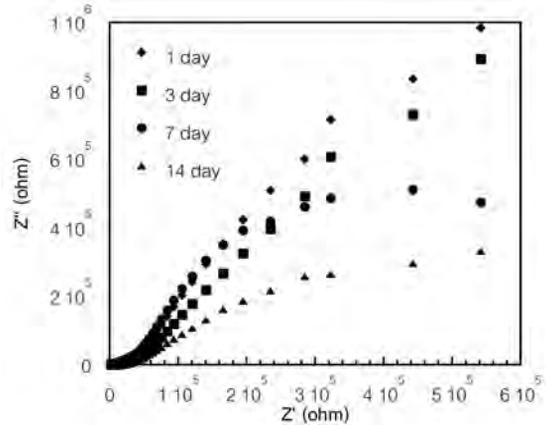


รูปที่ 3 การทดสอบการสกัดด้วยคลอโรฟอร์ม

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการต้านทานการกัดกร่อนพอลิเมอร์อัลลอยด์เสริมแรงด้วย TiO₂

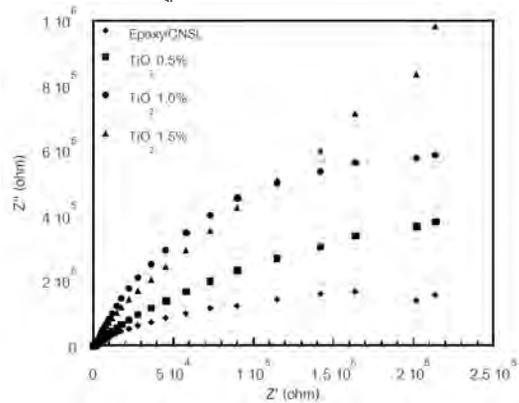
จากรูปที่ 4 การทดสอบ ความต้านทานของฟิล์มอีพอกซีอัลลอยด์ เสริมแรงด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ช่วง 3 วันแรก ฟิล์มปกป้อง

ชั่วคราวจากการถูกกัดกร่อนได้ดีเนื่องจากความต้านทานที่อินเทอร์เฟสระหว่างอีเล็กโตรไลต์และอีพอกซีมีค่าประมาณ 1x10⁶ โอห์ม และที่เวลามากกว่า 7 วัน แสดงให้เห็นว่าอีเล็กโตรไลต์เริ่มซึมผ่านฟิล์มเคลือบเข้าไปจนถึงขั้วไฟฟ้าได้ ความต้านทานของฟิล์มลดลงถึงประมาณ 2x10⁵ โอห์ม ที่เวลา 14 วัน



รูปที่ 4 โนควิสต์ของฟิล์มพอลิเมอร์อัลลอยด์เสริมแรงด้วย TiO₂ 0.5 % ที่ช่วงเวลา 14 วัน

รูปที่ 5 แสดงความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของพอลิเมอร์อัลลอยด์กับการเติม TiO₂ ที่อัตราส่วนต่างๆในช่วงเวลา 14 วัน พบว่า ความต้านทานการกัดกร่อนมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 1x10⁵ โอห์ม ถึง 1x10⁶ โอห์ม เมื่อเพิ่มปริมาณของไททาเนียมไดออกไซด์ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติม TiO₂ สามารถอุดรูบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน ของชั้นเคลือบ ซึ่งผลการทดลองนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการใช้ ZrO₂ เคลือบพื้นผิวอะลูมิเนียมด้วยวิธี ซิล-เจล[10]



รูปที่ 5 โนควิสต์ของฟิล์มพอลิเมอร์อัลลอยด์เสริมแรงด้วย TiO₂ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5% เวลา 14 วัน

4. สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติและพฤติกรรมการบ่มของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ กับอีพอกซีเรซินพบว่า ปริมาณ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถทำให้เกิดการบ่มได้ และเมื่อทดสอบคุณสมบัติการบวมตัวและพฤติกรรมการเชื่อมขวาง พบว่าปริมาณ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 40 เปอร์เซ็นต์ก่อให้เกิดประสิทธิภาพการเชื่อมขวางที่ดี และเมื่อนำไททาเนียมไดออกไซด์เป็นวัสดุเสริมแรงในการเคลือบอีพอกซีอัลลอยด์พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์มีผลทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนของอลูมิเนียมดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยจาก โครงการพัฒนานักวิจัยใหม่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2556 ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kroschwitz JI. High performance polymers and composites. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons 1991.
- [2] Mathew G, Rhee JM, Hwang BS. Cure behavior of epoxy resin containing castor oil and cashew nut shell liquid and its derivative, J Appl Polym Sci. 2007;106:178-84.
- [3] Hongwei S, Fuchun L, Characterization of protective performance of epoxy reinforced with nanometer-size TiO₂ and SiO₂. Prod Org Coat. 2008;62:359-68.
- [4] Zhai LL, Ling GP, Wang YW. Effect of nano-Al₂O₃ on adhesion strength of epoxy adhesive and steel. Int J Adhe Adhes. 2007;28:23-8.
- [5] Balaskas AC, Kartsonakis IA, Tziveleka LA, Kordas GC. Improvement of anti-corrosive properties of epoxy-coated AA 2024-T3 with TiO₂ nanocontainers loaded with 8-hydroxyquinoline. Prod Org Coat. 2012;74:418-26.
- [6] Sonza FG, Pinto JC, de Oliveira GE, Soares BG. Evaluation of electrical properties with DOP and CNSL using of SBS/Pani blends plasticized empirical statistical model. Polym Test. 2007;6:720-28.
- [7] Mwaikambo LY, Ansell MP. Hemp fibre reinforced cashew nut shell liquid composites. Compos Sci Technol. 2003;63:1297-305.
- [8] Chelikani R, Kim YH, Yoon DY, Kim DS, Enzymatic polymerization of natural anacardic acid and antibiofouling effects of polyanacardic acid coatings Appl Biochem Biotech. 2009;157:263-77.
- [9] Ishida H, Allen DJ. Mechanical characterization of copolymers based on benzoxazine and epoxy. Polymer. 1996;37:4487-95.
- [10] Serra MR, Montemor F, Salvado I, Ferreira M. Corrosion protective properties of nanostructured sol-gel hybrid coatings to AA2024-T3. Surf and Coat Technol. 2006;200:3084-94.