

การเพิ่มสมบัติเชิงกลและการต้านทานรังสียูวีของวัสดุเชิงประกอบ
ยางธรรมชาติผสมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

ENHANCEMENT OF MECHANICAL AND UV PROTECTION PROPERTIES
OF NANO-TITANIUM DIOXIDE/NATURAL RUBBER COMPOSITES

พีรวัส คงสง¹ และ มาหามะสุไฮมี มะแซ²

¹อาจารย์, สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลอีสาน 744 ถ. สุรนารายณ์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000,
physics_psu@windowsslive.com

²อาจารย์, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
1 ถ. ราชดำเนินนอก ต. บ่อหย่าง อ. เมือง จ. สงขลา 90000, susumeme1983@yahoo.com

Peerawas Kongsong¹ and Mahamasuhaimi Masae²

¹Lecturer, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, 744, Suranarai Rd., Muang,
Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand,
physics_psu@windowsslive.com

²Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala
University of Technology University 1, Ratchadamnoennok Rd., Bo Yang, Muang
Songkhla, Songkhla, 90000 Thailand, susumeme1983@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติภายใต้รังสียูวี เตรียมวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติกับผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 phr ในเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ทดสอบความต้านทานแรงดึง และทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า จากการทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวที่ดี ส่งผลให้มีค่าสมบัติเชิงกลดีขึ้นตามปริมาณของการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงให้เห็นถึงลักษณะรอยแตกของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

และยางธรรมชาติที่ผ่านการฉายยูวีเป็นเวลา 30 วัน ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3, และ 4 phr แสดงให้เห็นถึงผิวรอยแตกของยางธรรมชาติที่เสียหายภายหลังการฉายรังสียูวี โดยพบว่ารอยแตกลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ, วัสดุเชิงประกอบ, นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์, ยูวี, การบ่มเร่ง

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the influence of adding titanium dioxide nanoparticles on the mechanical properties of natural rubber under UV radiation. The composite was prepared by mixing natural rubber with titanium dioxide nanoparticles at quantities 0, 1, 2, 3, and 4 phr in a two-roll rubber mill. The composites were molded using a compression molding machine, and tensile strength tests were conducted along with morphological studies. The morphological properties observed using a scanning electron microscope revealed that the titanium dioxide nanoparticles were well dispersed, leading to improved mechanical properties with increasing amounts of titanium dioxide nanoparticles. Optical microscope showed the crack patterns of the composite material between titanium dioxide nanoparticles and natural rubber after UV exposure for 30 days at 0, 1, 2, 3, and 4 phr. The results indicated that the cracks on the natural rubber surface decreased as the amount of titanium dioxide nanoparticles increased.

KEYWORDS: natural rubber, composite, nano-titanium dioxide, UV, aging

1. บทนำ

ยางธรรมชาติจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันมีการนำยางธรรมชาติไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย ยางธรรมชาติมีสมบัติที่เด่น ได้แก่ การทนต่อแรงดึง มีความยืดหยุ่นสูง ความร้อนภายในที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ นอกจากนั้นยังมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง แม้ว่ายางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย [1] แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความชื้น เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางธรรมชาติมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางจึงต้องมีการเติมสารเคมีในกลุ่มของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ

ของยาง (Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน และทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีขึ้นในด้านการป้องกันแสงแดด ซึ่งสารที่ใช้เติมให้ยางธรรมชาติมีสมบัติตามที่ต้องการตามข้างต้น ได้แก่ ไอโซโพรพิลฟีนิลฟีนิลลีนไดเอมีน (IPPD) ไทเมทิลไดไฮโดรควิโนลีน (TMQ) ไดบิวทิลครีโซล (BHT) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นต้น ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์เชิงประกอบหลายชนิด เนื่องจากสามารถช่วยให้พอลิเมอร์มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีอิทธิพลต่อการเสริมแรงและความคงตัวทางความร้อนของพอลิเมอร์เชิงประกอบ [2-4]

ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม ที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ปัจจุบันมีการนำผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์มากในรูปแบบรูไทล์ (Rutile) ซึ่งเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่าง ๆ ได้แก่ สีน้าสุขภาพ เครื่องสำอาง เสื้อผ้า และอุตสาหกรรมสี เนื่องจากรูไทล์สามารถดูดกลืนและหักเหแสงช่วงที่ตามองเห็นได้สูง อนุภาคขนาดเล็ก มีค่าดัชนีหักเหสูงสะท้อนแสงได้ดี [5] ส่วนชนิดอะนาเทส (Anatase) นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงขั้นสูง การนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่าง ๆ ได้แก่ ใช้สำหรับสารให้สี สารเคลือบผลิตภัณฑ์ สารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ด้านการบำบัดมลพิษ ฆ่าเชื้อโรคในน้ำและอากาศ สร้างพื้นผิวทำความสะอาดตัวเอง และใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง เพราะเฟสอะนาเทสให้ผลปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกที่ดีกว่าเฟสรูไทล์ และสามารถดูดซับรังสียูวีได้ดี แต่การนำทั้งสองเฟสมาผสมกันยังให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจากเฟสผสมถูกกระตุ้นด้วยแสงทำให้อิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์ของรูไทล์ถูกกระตุ้นได้ง่ายกว่าเนื่องจากมีแถบช่องว่างพลังงานเท่ากับ 3.02 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งน้อยกว่าอะนาเทสที่มีแถบช่องว่างพลังงานเท่ากับ 3.20 อิเล็กตรอนโวลต์ ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่มายังแถบการนำของรูไทล์และเกิดการหน่วงการกลับมารวมกันของอิเล็กตรอนและหลุมประจุบวก นอกจากนั้นรูไทล์จะทำหน้าที่เป็นตัวกักอิเล็กตรอนไว้ เมื่อเฟสผสมถูกกระตุ้นด้วยพลังงานอิเล็กตรอนในแถบเวเลนซ์ของรูไทล์จะถูกกระตุ้นได้ง่ายกว่า เนื่องจากมีช่องว่างแถบพลังงานน้อยกว่าอะนาเทส แต่อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปสู่แถบการนำแล้วกลับมารวมกับหลุมประจุบวกในแถบเวเลนซ์ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเมื่อมีอะนาเทสผสมอยู่ด้วย อะนาเทสจะทำหน้าที่กักอิเล็กตรอนไว้ และในที่สุดอิเล็กตรอนปรากฏผิวทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ โครงสร้างเฟสผสมนี้ เช่น ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ Degussa P25 ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเฟสอะนาเทสต่อรูไทล์เท่ากับ 85:15 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการนำผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางธรรมชาติ เพราะไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีสมบัติในการสะท้อน (Reflect) การกระเจิง (Scatter) และการดูดซับ (Absorb) รังสียูวีที่ดี [6-12] จากการศึกษาโดยการนำผงไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ขนาด 75 นาโนเมตร ผสมกับยางธรรมชาติพบว่า การเพิ่มปริมาณรูไทล์ส่งผลให้การเสื่อมสภาพของยางลดลงภายใต้การฉายรังสียูวี โดย

พื้นผิวของยางจะมีรอยแตกลดลง นอกจากนี้วัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติที่ผสมรูไทล์จะมีผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียอีกด้วย แต่ในงานวิจัยนี้ขนาดอนุภาครูไทล์ยังมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ Degussa P25 [13] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกไทเทเนียมไดออกไซด์ Degussa P25 ที่มีส่วนผสมของรูไทล์ที่มีสมบัติในการสะท้อนแสงที่ดีและอะนาเทสที่ดูดซับแสงยูวีได้ดี และยังมีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (20 นาโนเมตร) ซึ่งจะช่วยให้สมบัติเชิงกลให้ยาง โดยอนุภาคที่เล็กจะมีการกระจายตัวที่ดี ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มสมบัติเชิงกลโดยการเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ [14]

ดังนั้นคณะวิจัยจึงมีความน่าสนใจเกี่ยวกับการนำยางธรรมชาติมาผสมกับอนุภาคผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติให้มีความทนทานภายใต้การฉายรังสียูวี โดยศึกษาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสมที่สามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลและคงความแข็งแรงเมื่อผ่านการฉายรังสียูวี

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเตรียมยางคอมพาวด์

นำยาง STR 5L ปริมาณ 300 กรัม มาทำการบดผสมในเครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง (Two-roll mill ยี่ห้อ รุ่น ML-D6L12 INV) บดยางจนพ่นลูกกลิ้งและผิวเรียบสม่ำเสมอ ใช้เวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมสารเคมียางตามลำดับดังตารางที่ 1 เริ่มต้นเติมสารกระตุ้นกรดสเตียริก (Steric acid) 2 phr ในการผสมสารเคมียาง ผสมสารลำดับก่อนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนเติมสารเคมีชนิดอื่นตามลำดับ ตามด้วยสารกระตุ้นซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) 4 phr สารเร่งปฏิกิริยาเตตระเมทิลไทอูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulphide, TMTD) 3.5 phr และสารเร่งปฏิกิริยาไซโคลเฮกซิลเบนโซไทโอะโซลซัลฟิไนด์ (N-cyclohexyl-2- benzothiazole sulfonamide, CBS) 1 phr เติมสารทำให้ยางคงรูป กำมะถัน (Sulphur) 0.5 phr ในลำดับสุดท้ายเติมสารตัวเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (P25 TiO₂ Degussa Co, Germany (Titanium oxide, TiO₂, Degussa, Rutile: Anatase 85:15, 99.9%, 20 nm, 50 m²/g)) 0, 1, 2, 3 และ 4 phr และตั้งยางคอมพาวด์ทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง

2.2 การขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแม่พิมพ์อัด

ทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการอัดเข้าแม่พิมพ์ โดยเครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression molding, รุ่น PR2D-W300L350 PM-PCL-HMI ยี่ห้อ Chareon) โดยตั้งค่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 150 °C นำยางที่บดย่อยเสร็จแล้วไปใส่ในแม่พิมพ์จนเต็ม เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้แล้วให้นำแม่พิมพ์ไปใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้เวลารวม 20 นาที ให้ความร้อนก่อนการอัดเท่ากับ 10 นาที

เวลาในการอัด 10 นาที ความดัน 110 MPa เมื่อครบเวลานำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องขึ้นรูป แล้วนำชิ้นยางออกจากแม่พิมพ์และนำไปตัดตกแต่งให้สวยงามก่อนนำไปทดสอบ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของการผสมยางคอมพาวด์

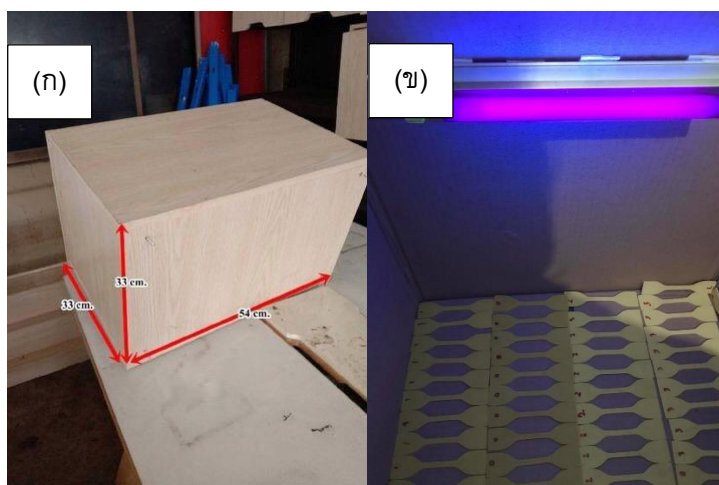
ส่วนผสม	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ STR 5L	100
สเตียริกแอซิด (Steric acid) (สารกระตุ้น)	2
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) (สารกระตุ้น)	4
เตตระเมทิลไทูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulphide, TMTD) (สารเร่งปฏิกิริยา)	3.5
ไซโคลเฮกซิลเบนโซโซลซัลไฟน์ไมด์ (N-cyclohexyl-2- benzothiazole sulfonamide, CBS) (สารเร่งปฏิกิริยา)	1
สารกำมะถัน (Sulphur) (สารทำให้ยางคงรูป)	0.5
ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO ₂) (สารตัวเติม)	0, 1, 2, 3 และ 4

2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลและการวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

2.3.1 นำชิ้นยางที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปมาตัดให้ได้ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ยาว 115 มิลลิเมตร ระยะห่างตัวรองรับตัวอย่าง (Gauge length) 33 มิลลิเมตร ความกว้างช่วง Gauge length 6 มิลลิเมตร ความเร็วการทดสอบ (Crosshead speed) 500 มิลลิเมตรต่อนาที การทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D412-06 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine, UTM รุ่น LR 10K ยี่ห้อ LLOYD) เพื่อวัดค่าความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และค่ายังส์มอดุลัส (Young's modulus)

2.3.2 ศึกษาลักษณะพื้นผิวของยางที่ผ่านการผสมและอัดขึ้นรูป โดยการนำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาฉายรังสียูวีในชุดทดสอบการป้องกันรังสียูวีของยางที่ออกแบบขึ้น แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งกล่องมีขนาด 54×33×33 เซนติเมตร (รูปที่ 1(ก)) มีพัดลมสำหรับลดอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบ โดยใช้หลอดไฟแบล็คไลท์ที่กำลัง 6 วัตต์ มีความยาวคลื่นในย่านยูวี (310–400 นาโนเมตร) โดยมีระยะห่างชิ้นงานกับหลอดไฟที่ 30 เซนติเมตร และใช้เวลาในการทดสอบเป็นเวลา 30 วัน เพื่อดูผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีของยาง การศึกษาสัณฐานวิทยาของผิวชิ้นงาน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope, OM ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M) ใช้กำลังขยายที่ 200 เท่า และศึกษาการกระจายตัวของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ในเนื้อชิ้นงาน โดยการตัดชิ้นงานให้มีขนาดที่เหมาะสมกับสัดับ ตัดชิ้นงานลงบนสัดับด้วยเทปคาร์บอน นำไปเคลือบ

ผิวด้วยเครื่องเคลือบทอง (รุ่น MP-19020NCTR ยี่ห้อ Neo coater) ทำการทดสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยเทคนิค EDS (Scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer, SEM-EDS รุ่น JSM-7800F ยี่ห้อ Jeol)



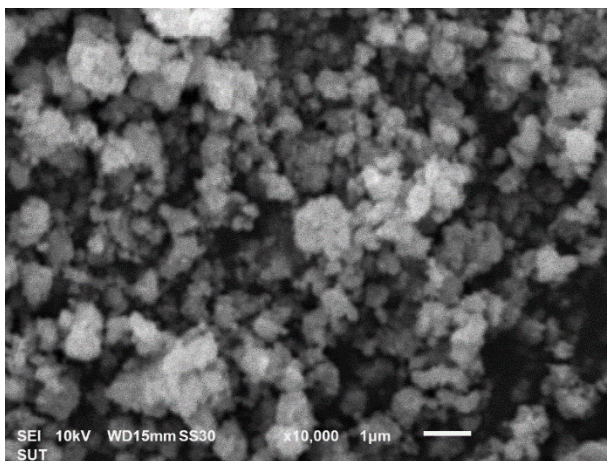
รูปที่ 1 ชุดทดสอบการป้องกันรังสียูวีของยาง (ก) กล่องจำลองรังสียูวี (ข) การฉายรังสียูวี โดยใช้หลอดไฟแบล็คไลท์ กำลัง 6 วัตต์

3 ผลการวิจัย

3.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและการกระจายตัวของธาตุ

จากผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และยางธรรมชาติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูลักษณะและการกระจายตัวของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ แสดงดังรูปที่ 2 และ 3 จากรูปที่ 2 เป็นภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนนำไปผสมในยางธรรมชาติ (ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า) พบว่า ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้นั้นมีลักษณะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม โดยมีขนาดเล็กในระดับนาโนและมีรูปร่างไม่แน่นอน เมื่อนำผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ไปผสมในยางธรรมชาติ และวิเคราะห์บริเวณพื้นผิวของภาคตัดขวางชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในเนื้อยางที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3, และ 4 phr (ดังแสดงในรูปที่ 3) พบว่า ผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวที่ดีในเนื้อยางและไม่จับตัวกันเป็นก้อน เมื่อเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้น พบปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์

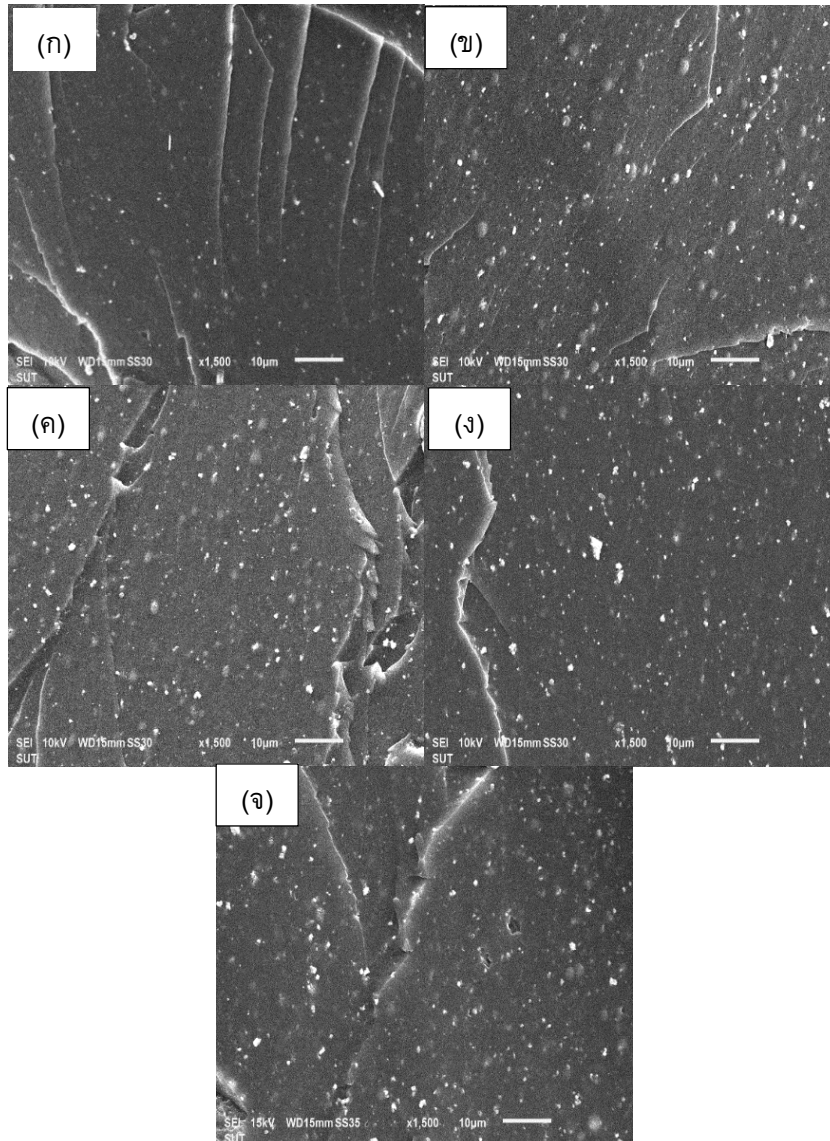
มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติม เมื่อนำชิ้นงานทดสอบที่มีการเติมปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 4 phr (รูปที่ 3 (จ)) ซึ่งเป็นสูตรที่มีการเติมปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มากที่สุดไปวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุและปริมาณธาตุด้วยเทคนิค EDS mapping (ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5) จากรูปที่ 4 ซึ่งเป็นผลการกระจายตัวของธาตุ พบว่า บนผิวชิ้นงานมีการกระจายตัวที่ดีของธาตุต่าง ๆ โดยมีธาตุ C, O, Zn และ Ti บนผิวชิ้นงาน เมื่อทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 5 บนผิวตัวอย่างมีธาตุ C, O, Zn และ Ti คิดเป็น 94.95, 1.50, 2.41 และ 1.14% ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเทคนิค EDS mapping ทำให้เห็นว่าผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวที่ดีในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ ซึ่งส่งผลที่ดีกับสมบัติเชิงกลของยาง [14]



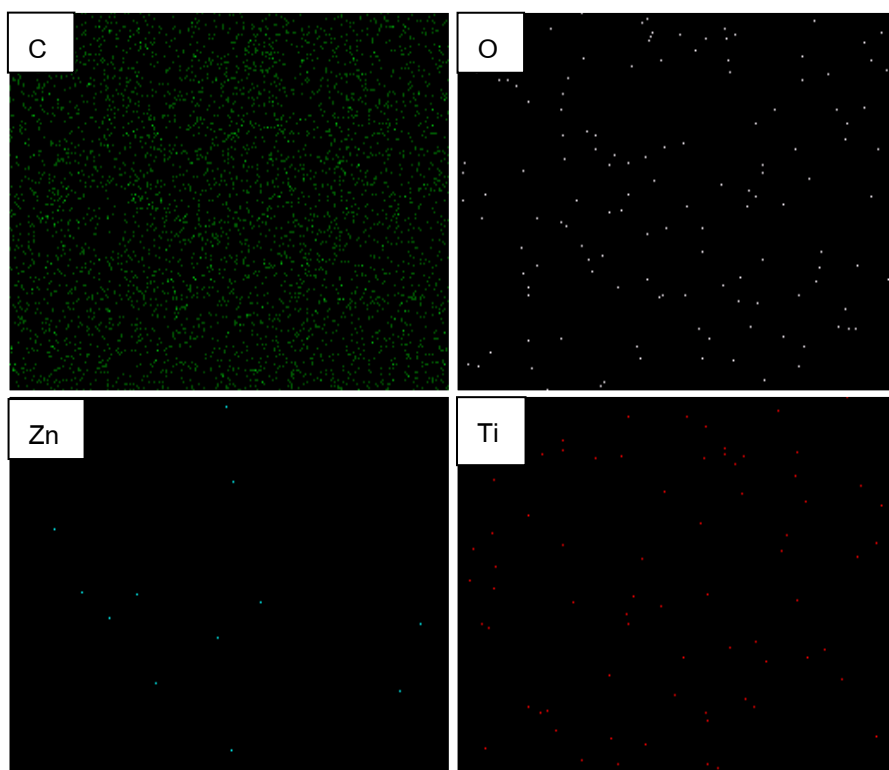
รูปที่ 2 ภาพถ่ายของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 10,000 เท่า

จากผลการตรวจสอบมาตรฐานวิทยาศาสตร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และยางธรรมชาติที่ปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 0, 1, 2, 3, และ 4 phr (กำลังขยาย 200 เท่า) เพื่อดูลักษณะความเสียหายของชิ้นงานที่ผ่านการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 30 วัน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 6 จากรูปแสดงให้เห็นถึงลักษณะรอยแตกของผิวชิ้นงาน ซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะการเสียหายภายหลังการฉายรังสียูวี เห็นได้ว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์พบรอยแตกบนผิวทั่วชิ้นงาน (รูปที่ 6 (ก)) สำหรับพื้นผิววัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติผสมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 1 phr พบรอยแตกเล็กน้อยดังวงกลมสีแดงในรูปที่ 6 (ข) เมื่อเพิ่มปริมาณผงนาโน

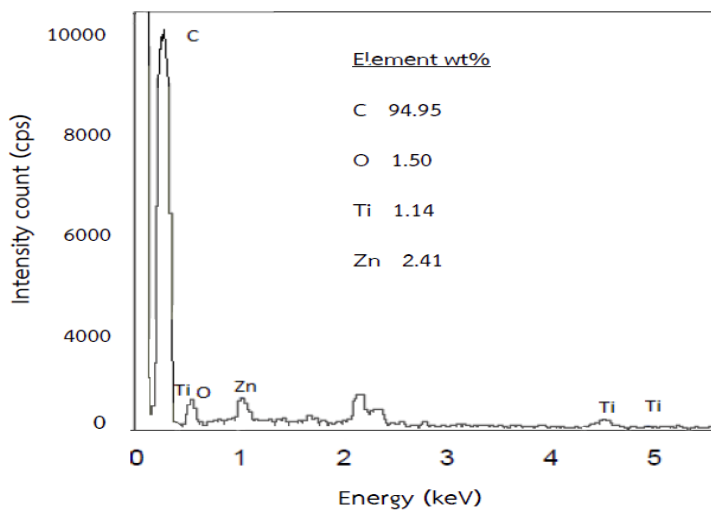
ไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น (2, 3, และ 4 phr) พบว่าไม่พบรอยแตก เนื่องจากการดูดซับและการสะท้อนแสงยูวีของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ส่งผลให้ยังมีการเสื่อมสภาพลดลง [12-13, 15]



รูปที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดบริเวณพื้นผิวของภาคตัดขวางชิ้นงานของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และยางธรรมชาติ ปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ก) 0 phr, (ข) 1 phr, (ค) 2 phr, (ง) 3 phr และ (จ) 4 phr กำลังขยาย 1,500 เท่า



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ EDS mapping ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียม ไดออกไซด์และยางธรรมชาติ ปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ 4 phr



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียม ไดออกไซด์ (4 phr) และยางธรรมชาติด้วยเทคนิค EDS



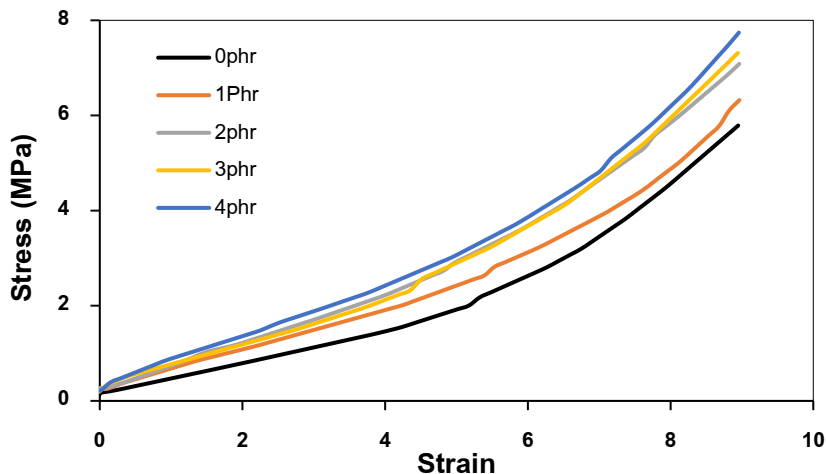
รูปที่ 6 ภาพถ่ายพื้นผิววัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติผสมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (ก) 0 phr, (ข) 1 phr, (ค) 2 phr, (ง) 3 phr และ (จ) 4 phr ที่ผ่านการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 30 วัน กำลังขยาย 200 เท่า

3.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง

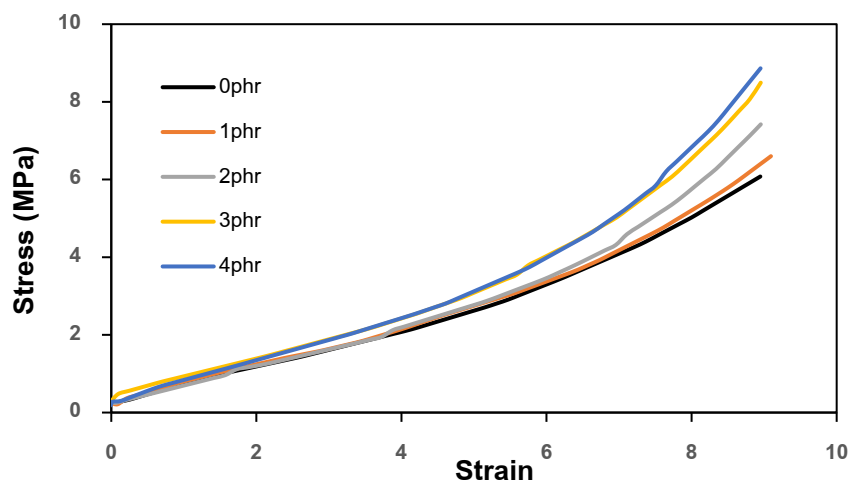
ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงของตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติที่ผสมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 phr พบว่า ชิ้นงานไม่ขาดในช่วงที่มีการทดสอบเนื่องจากวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติมีการยึดตัวที่ดี ซึ่งไม่สามารถคำนวณค่าความทนแรงดึง

สูงสุดและค่าการยืดตัวเมื่อขาดได้ จากรูปที่ 7 และ 8 แสดงค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้งก่อนและหลังการฉายรังสียูวี จากผลการศึกษา พบว่า การเพิ่มปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเค้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบอย่างธรรมชาติ [12] ส่งผลให้ค่าความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไป และผงไทเทเนียมไดออกไซด์มีการกระจายตัวที่ดี ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบความเค้นและความเครียดก่อนและหลังฉายรังสียูวี พบว่าวัสดุเชิงประกอบอย่างธรรมชาติหลังฉายรังสียูวีมีค่าความเค้นมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากการบ่มเร่งภายใต้แสงยูวีมีผลต่อความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink density) ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบอย่างธรรมชาติมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้แนวโน้มค่าความเค้นหลังฉายรังสียูวีมีแนวโน้มมากกว่าก่อนฉายรังสียูวี [12, 15] เมื่อนำกราฟความเค้นและความเครียดมาคำนวณค่ามอดุลัสแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสแรงดึง พบว่าค่ามอดุลัสแรงดึงมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มอัตราส่วนผสมของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ในขณะเดียวกันการเพิ่มอัตราส่วนผสมของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 4 phr มีค่ามอดุลัสแรงดึงที่สูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนผสมของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 3, 2, 1 phr ตามลำดับ และสูตรที่ไม่เติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีค่ามอดุลัสแรงดึงที่น้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เนื่องจากผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบอย่างธรรมชาติ [14] เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการฉายรังสียูวี พบว่า ค่ามอดุลัสแรงดึงมีค่าลดลง เนื่องจากการเสื่อมสภาพของยางที่เกิดจากแสงยูวี ส่งผลให้พื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบอย่างธรรมชาติมีรอยแตก ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อเพิ่มปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่า ค่ามอดุลัสแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มากขึ้นช่วยลดการสึกกร่อนและสะท้อนรังสียูวีได้มากขึ้น ซึ่งช่วยปกป้องวัสดุเชิงประกอบอย่างธรรมชาติจากการเสื่อมสภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ในช่วงความยาวคลื่น 275 ถึง 405 นาโนเมตร เพราะไทเทเนียมไดออกไซด์มีแถบพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการดูดกลืนรังสีในช่วงนี้ ซึ่งจะเกิดการสร้างคู่อิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole pairs) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ บนพื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ นอกจากนี้ไทเทเนียมไดออกไซด์ยังมีการสะท้อนรังสียูวีที่ดี เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีดัชนีหักเหสูง (High refractive index) ซึ่งทำให้สามารถสะท้อนรังสียูวีได้อย่างมีประสิทธิภาพ [16-17] การสะท้อนนี้ช่วยลดปริมาณรังสียูวีที่สามารถทะลุผ่านวัสดุเชิงประกอบได้ ดังนั้นการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ในยางธรรมชาติจึงช่วยเพิ่มความทนทานต่อรังสียูวีและลดการเสื่อมสภาพของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อค่ามอดุลัสแรงดึงที่สูงกว่าการไม่เติมหรือเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่า [12] และเมื่อเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น พบว่า

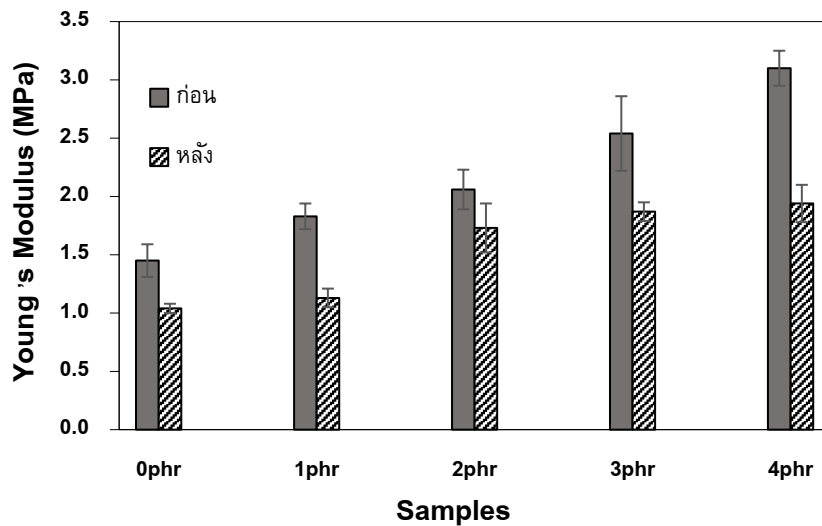
ไม่มีรอยแตกที่ผิวภายหลังการฉายรังสียูวี ซึ่งส่งผลให้ยางมีค้ำยังมอดุลัสแรงดึงที่ดีกว่าการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ 1 phr และ 0 phr



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 phr ที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ ก่อนฉายรังสียูวี



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3 และ 4 phr ที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ หลังฉายรังสียูวี เป็นเวลา 30 วัน



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยของค่ายังมอดุลัสแรงดึงของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณ 0, 1, 2, 3, และ 4 phr ที่ผสมในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ ก่อนและหลังฉายรังสียูวีเป็นเวลา 30 วัน

4. สรุปผลการวิจัย

การดำนรังสียูวีของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และยางธรรมชาติ โดยทำการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมียางและเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและทดสอบสมบัติเชิงกลก่อนและหลังการทดสอบภายใต้รังสียูวีเป็นระยะเวลา 30 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 จากผลการตรวจสอบสัณฐานวิทยาและการกระจายตัวของธาตุของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และยางธรรมชาติด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและ EDS พบว่า ผงนาโนไทเทเนียมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีขนาดเล็กในระดับนาโนและมีรูปร่างไม่แน่นอน มีการกระจายตัวที่ดีในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ

4.2 จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และยางธรรมชาติที่ผ่านการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 30 วัน พบว่า วัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติที่ไม่มีการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์พบรอยแตกที่ผิวทั่วชิ้นงาน จากนั้นรอยแตกลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มากขึ้น

4.3 การเพิ่มปริมาณผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ ส่งผลให้ค่าความเค้นและค่ามอดุลัสแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ เมื่อนำชิ้นงานไปฉายรังสียูวี พบว่าค่ามอดุลัสแรงดึงมีแนวโน้มลดลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการวิจัย ขอขอบคุณนางสาวสาวิตรี ดับทฤกษ์รัฐ ที่ช่วยดำเนินการและรวบรวมผลในการวิจัยครั้งนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

References

- [1] Rubbercenter and Technology Co., Ltd. Rubber [Internet]. [updated 2022 May 26; cited 2022 Jul 19]. Available from: <https://www.rubbercenter.co.th/content/27439>. (In Thai)
- [2] Findik F, Yilmaz Y, Köksal T. Investigation of mechanical and physical properties of several industrial rubbers. Materials and Design 2004;25(4):269-76.
- [3] Phoempoon P. Carbon nanotubes-rubber blend (natural rubber-styrenebutadiene rubber) composite [thesis]. Songkhla, Thailand: Prince of Songkla University; 2009. (In Thai)
- [4] Hayeemasae N, Surya I, Ismail H. Morphology and thermal stability of nano titanium dioxide filled natural rubber prepared by latex mixing method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018;309:012110. doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012110.
- [5] Aiemsard P. The modification of amorphous TiO_2 surface for the color retention of lake pigment [thesis]. Nakhon Pathom, Thailand: Silpakorn University; 2016. (In Thai)
- [6] Sikong L. Titanium dioxide photocatalyst. Songkhla: C.P. Printing; 2017. (In Thai)
- [7] Kongsong P, Phoempoon P, Masae M. Photocatalytic efficiency of potassium doped TiO_2 nanowire-nanoparticle hetero-structured films coated on glass substrate under visible light irradiation. Journal of Materials Science and Applied Energy 2018;7(2):300-6.
- [8] Masae M, Sririkun W, Kongsong P. Enhancement of band gap and electrical conductivity properties of TiO_2 nanowire by Ni with hydrothermal method. Journal of Materials Science and Applied Energy 2022;11(1):1-8.

- [9] Kongsong P, Jantaporn W, Masae M. Enhanced photocatalytic activity of Ni doped TiO₂ nanowire–nanoparticle hetero–structured films prepared by hydrothermal and sol–gel methods. *Surface and Interface Analysis* 2020;52(8):486-92.
- [10] Mehrnaz S, Kongsong P, Taleb A, Dokhane N, Sikong L. Large scale and facile synthesis of Sn doped TiO₂ aggregates using hydrothermal synthesis. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2019;189:254-62.
- [11] Kongsong P, Taleb A, Masae M, Jeenarong A, Hansud P, Khumruean S. Effect of nitrogen doping on the photocatalytic activity and hydrophobic property of rutile TiO₂ nanorods array. *Surface and Interface Analysis* 2018;50(12-13):1271-7.
- [12] Zhang H, Yang H, Shentu B, Chen S, Chen M. Effect of titanium dioxide on the UV-C ageing behavior of silicone rubber. *Journal of Applied Polymer Science* 2018;135(14):46099-106.
- [13] Seentrakoon B, Junhasavasdikul B, Chavasiri W. Enhanced UV-protection and antibacterial properties of natural rubber/rutile-TiO₂ nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability* 2013;98(2):566-78.
- [14] Thammachot N. *Engineering materials*. Bangkok, Thailand: SE-Education; 2015. (In Thai)
- [15] Zhang H, Yang H, Shentu B. Effect of surface modification of titanium dioxide on the UV-C aging behavior of silicone rubber. *Journal of Applied Polymer Science* 2019;136(10):47170-80.
- [16] Noman MT, Ashraf MA, Ali A. Synthesis and applications of nano-TiO₂. *Environmental Science and Pollution Research* 2019;26:3262-91.
- [17] Mhadhbi M, Abderazzak H, Avar B. Synthesis and properties of Titanium Dioxide nanoparticles [Internet]. *Updates on Titanium Dioxide*. IntechOpen; 2023. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.111577>.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.ดร.พีรวัส คงสง สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน เลขที่ 744 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 หมายเลขโทรศัพท์ 044-233-073 ต่อ 3352 โทรศัพท์มือถือ 085-7884988 โทรสาร 044-233074 E-Mail: physics_psu@windowlive.com

คุณวุฒิ: วศ.ด. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2558, วศ.ม. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2554, วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2551

งานที่สนใจ: Superhydrophobicity/Superhydrophilicity, Micro/Nano particles, Droplet, spray and sol-gel technologies, Photocatalytic materials, Nano-Materials, Self-Cleaning materials, Surface engineering, Composite materials



รศ.ดร.มาหามะสุโฮมี มะแซ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เลขที่ 1 ต. บ่อยาง อ. เมือง จ. สงขลา 90000 หมายเลขโทรศัพท์ 074-324246, 074-316260-3 ต่อ 1205 โทรศัพท์มือถือ 089-6540828, 088-3590728 โทรสาร 074-326492 E-Mail: susumeme1983@yahoo.com

คุณวุฒิ: วศ.ด. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2554, วศ.ม. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550, วศ.บ. วิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2549

งานที่สนใจ: Experimental diagnostics in micro/nanoscale systems, Multifunctional ceramic composite coatings, Nanoparticle colloidal suspensions, Conventional and advanced ceramic, Superhydrophobicity/ Superhydrophilicity, Micro/Nano particles, Droplet, spray and sol-gel technologies, Recycle material, Fluid/particle intercalation in molecular structure

Article History:

Received: May 1, 2024

Revised: October 3, 2024

Accepted: October 9, 2024