

การพัฒนาการขึ้นรูปชิ้นส่วนคอมโพสิตของล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ ที่ใช้ในการแข่งขันด้วยระบบอโตเคลฟ

Developing a composite Molding of a prototype electric vehicle wheel in competition using an autoclave system

วิทยา วงษ์กลาง¹ อนุรักษ์ ตรีเพชร² สมมาตร ทองคำ³ มณีนันท์ ชัยสกุลนิยม⁴

ประจวบ พิระพงษ์⁵ กริธา สุขทั้ง⁶ และ พรหมพักตร์ บุญรักษา^{7*}

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

^{3,4,5}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

^{6,7*}สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

E-mail: ¹wittaya_won@nstru.ac.th, ^{7*}promphak.dawan@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้เป็นพัฒนาการกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบอโตเคลฟ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและขึ้นรูปล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้วัสดุสังเคราะห์ โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin) โพลียูรีเทนโฟม (PU Foam) และเสริมความแข็งแรงด้วยผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) สำหรับการแข่งขันยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบประหยัดพลังงานด้วยระบบอโตเคลฟ โดยใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับความดันอากาศ ความร้อนและความแข็งแรงของวัสดุ เพื่อให้ชิ้นงานของล้อคาร์บอนไฟเบอร์ออกมาได้ตามรูปทรงของล้อตามที่กำหนดและศูนย์ถ่วงล้อออกมาได้ตามมาตรฐานการแข่งขัน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างล้อยานยนต์ไฟฟ้าขึ้น 3 ล้อ โดยกำหนดค่าแรงดันในการอบชิ้นงานตอนอบล้อที่ 1 อัตราแรงดัน +2 bar (15 psi) ล้อที่ 2 อัตราแรงดัน +1 bar (30 psi) และ ล้อที่ 3 ไม่ได้อัตราแรงดัน ทำการวิเคราะห์ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ ประสิทธิภาพของล้อคาร์บอนไฟเบอร์ที่ไม่ได้ทำการอบแรงดันจะเกิดการระเบิดเมื่ออัตราแรงดันลมที่ 65 psi ในขณะที่ล้อที่ผ่านการอบแรงดันสามารถอัตราแรงดันลมได้ที่ 75 psi ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่ากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบอโตเคลฟมีระยะคืนทุน 2 เดือน 10 วัน

คำสำคัญ: วัสดุคอมโพสิต, คาร์บอนไฟเบอร์, ระบบอโตเคลฟ, ระยะเวลาคืนทุน

* Corresponding author, e-mail: promphak.dawan@gmail.com

Abstract

This research is about developing a process for forming composite parts using an autoclave system. In this research, a prototype electric vehicle wheel was designed and formed using synthetic materials. Polyester resin (Polyester Resin), Polyurethane foam (PU Foam) and reinforced with carbon fiber fabric (Carbon Fiber) for the prototype energy-saving electric vehicle competition with the autoclave system. Using theories about air pressure, heat, and material strength. To make the carbon fiber wheel pieces come out according to the specified shape of the wheel and the wheel balance center to meet competition standards. In this research, three electric vehicle wheels were created by setting the pressure value for baking the workpiece when the first wheel was pressurized at +2 bar (15 psi), and the second wheel was pressurized at +1 bar (30 psi). and the third wheel is not pressurized. The research results were analyzed and divided into two topics: efficiency analysis and economic analysis. The research results can be summarized as follows. The performance of unpressurized carbon fiber wheels is that they explode when compressed with air at 65 psi, while pressurized wheels can be compressed at 75 psi. The economic analysis found that the process of forming composite parts with the autoclave system has a payback period of 2 months and ten days.

Keywords: Composite Materials, Carbon Fiber, Autoclave Systems, Payback Period

1. ที่มาและความสำคัญ

วัสดุผสม (Composites) มีบทบาทที่สำคัญในการผลิตชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมโดยใช้เพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานและทำให้มีน้ำหนักเบา เพื่อเพิ่มศักยภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมรถยนต์และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบินโดยสาร โดย 90% ได้ใช้วัสดุผสมมาสร้างเป็นโครงสร้างของเครื่องบินและรถยนต์ที่มีน้ำหนักเบาและความแข็งแรง [1-2] ในปัจจุบันนั้น วัสดุผสมได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบและนำมาเสริมความแข็งแรงในการขึ้นรูปโดยใช้กรรมวิธีการผลิตที่หลากหลายอาทิการขึ้นรูปด้วยมือ การขึ้นรูปโดยการปั๊ม การขึ้นรูปด้วยการสุญญากาศ และการขึ้นรูปด้วยแรงดันอากาศ [3-5]

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมการบินได้มีการพัฒนาด้านการออกแบบวิศวกรรมเครื่องกล โดยมีเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีเหมาะสมและเป็นประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรมของประเทศ โดยใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงนำมาสร้างโครงสร้างโดยใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรงทนต่อการเสียดสี และผ้าคาร์บอนไฟเบอร์เพราะวัสดุชนิดนี้เป็นวัสดุมีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรง โดยผลิตขึ้นแบบแซนวิชคอมโพสิต (Sandwich Composite Panel) ซึ่งในปัจจุบันใช้ทฤษฎี

เกี่ยวกับการเวกคัมโมลดิ้ง (Vacuum Molding) มาผลิตชิ้นงานโดยใช้การดูดอากาศออกจากชิ้นงานที่ทำการผลิตด้วยการขึ้นรูปด้วยมือจึงใช้เวลานานในการขึ้นรูปและประสิทธิภาพความแข็งแรงของชิ้นงานอาจไม่เพียงพอต่อการใช้งาน [6-10]

หม้อนึ่งความดันคอมโพสิตคาร์บอนไฟเบอร์ เป็นหม้อนึ่งที่มีทั้งระบบทำความร้อนและความดัน ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุโครงสร้างคอมโพสิต เช่น ปีกและหางของเครื่องบิน พื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ แผงแซนวิช ขายึดเชื่อมต่อผ่านดาวเทียม และแฟร้งจรวดของไม้เร็กเกิดดาวเทียมและแร่เคด ฝากระโปรงและท้ายรถ ไม่นเทนนิส สกีของอุปกรณ์ออกกำลังกาย ขาเทียม ซีทียอร์อุปกรณ์การแพทย์ และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใหม่อื่น ๆ เนื่องจากหม้อนึ่งความดันเป็นของภาชนะรับความดัน โครงสร้างทั่วไปคือทรงกระบอก โดยด้านหนึ่งมีอุปกรณ์ประตูเปิด อีกด้านสูญญากาศ ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิและความดันในการบดอัดขึ้นส่วนคอมโพสิตได้ ข้อดีหลักประการหนึ่งของหม้อนึ่งความดันคือเหมาะสำหรับการผลิตวัสดุหลากหลายประเภท สามารถควบคุมการบ่ม ความดันและอุณหภูมิอยู่ในขีดจำกัดของหม้อนึ่งความดัน วัสดุคอมโพสิตที่ต้องการผลิตได้ ดังนั้น เทคโนโลยีการขึ้นรูปด้วยหม้อนึ่งความดันจึงสามารถผลิตขึ้นส่วนคอมโพสิตที่มีรูปร่างแตกต่างกันได้ ตามการใช้งาน[11-15]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้มีแนวคิดเพื่อพัฒนาวัสดุที่ขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตประกอบด้วยโพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin) โพลียูรีเทนโฟม (PU Foam) และเสริมความแข็งแรงด้วยผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) ด้วยระบบอโตเคลฟโดยใช้ ทุขฐฐี เกี่ยวกับความดันอากาศ ความร้อน และความแข็งแรงของวัสดุ เพื่อให้ชิ้นงานของล้อยคาร์บอนไฟเบอร์ออกมาได้ตามรูปทรงของล้อที่กำหนดและศูนย์ล้อออกมาได้ตามมาตรฐานเทียบเคียงกับล้อขนาดเดียวกันที่ขายอยู่ในท้องตลาด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบกระบวนการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตให้มีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้อุตสาหกรรมรถยนต์ให้มากขึ้น
2. เพื่อคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนของผู้ประกอบการล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

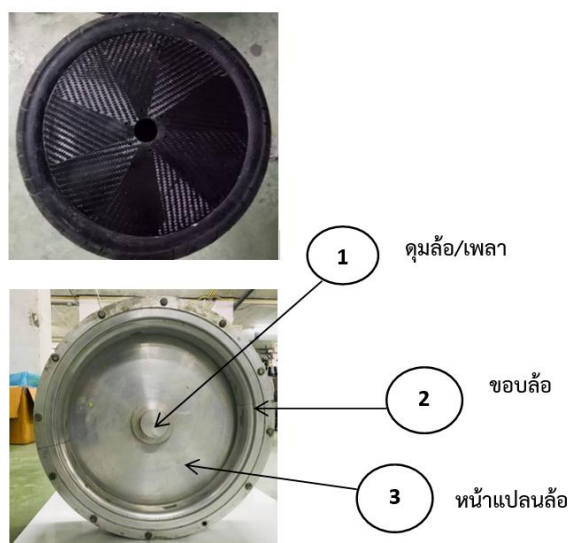
การพัฒนากระบวนการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบอโตเคลฟมีกระบวนการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการออกแบบกระบวนการสร้างขึ้นส่วนคอมโพสิต ขั้นตอนที่ 2 การสร้างขึ้นส่วนคอมโพสิต และ 3 คือ การหาประสิทธิภาพของขึ้นส่วนคอมโพสิตล้อยคาร์บอนไฟเบอร์ที่สร้างขึ้นโดยการประกอบใช้งานเป็นล้อรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแข่งขันกำหนดค่าระดับแรงดันลมค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของล้อที่สร้างขึ้น อีกทั้งการนำไปใช้งานจริงต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลาย ๆ ด้าน เช่น อุปกรณ์นำมาใช้งานจะต้องสมดุลกับโครงสร้างที่ออกแบบไว้สามารถแสดงให้เห็นได้ชัดเจนและมีความปลอดภัยขณะนำไปใช้งาน และการคำนวณ

ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประกอบการตัดสินใจให้ผู้ประกอบการผลิตล้อยานยนต์ไฟฟ้า แสดงรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างล้อคาร์บอนไฟเบอร์โดยการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบออตเคลฟ

3.1.1 การออกแบบล้อคาร์บอนไฟเบอร์โดยการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบออตเคลฟ

การออกแบบล้อคาร์บอนไฟเบอร์โดยการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบออตเคลฟโดยรายละเอียดของโครงสร้างและภาพไอโซเมตริกของชิ้นงานการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบออตเคลฟแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: การออกแบบโครงสร้างล้อคาร์บอนไฟเบอร์โดยการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบออตเคลฟ

3.1.2. การสร้างโมลล้อคาร์บอนไฟเบอร์ยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ

เริ่มจากการลงแฉกและขัดโมลล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบเมื่อลงแฉกที่โมลล้อเสร็จทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วนำผ้ามาขัดให้ครบ 4 ครั้ง เพื่อทำการลงผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ในขั้นตอนต่อไปแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2: การลงแฉกและขัดโมลล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ

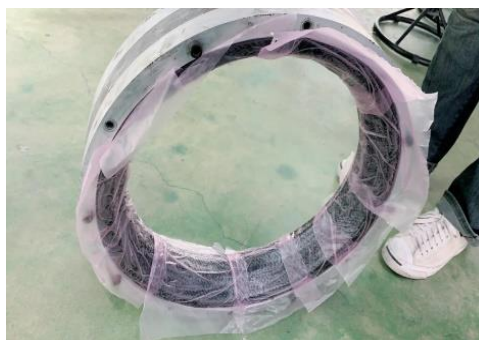
3.1.3 การตัดผ้าคาร์บอนไฟเบอร์

การตัดผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ ชนิดเคลือบเรซิน prepreg เบอร์ 220 (220 กรัมต่อตารางเมตร) จะต้องทำการตัดโดยให้ลายผ้าทำมุม 45 องศา เพื่อให้เป็นแนวเดียวกันตัดทั้ง 7 ชั้น ต่อ 1 ล้อคาร์บอนไฟเบอร์

3.1.4 การติดผ้าคาร์บอน

1) ทำการติดผ้าคาร์บอนทั้งหมด 7 ชั้น แต่ละชั้นให้ ปิดทับแผ่นแรกของผ้าคาร์บอน 2 เซนติเมตร โดยใช้ไขว้มือกดที่ผ้าคาร์บอนเพื่อให้เข้ารูปกับโมลล้อย่อยเพื่อทำการติดผ้าคาร์บอนในชั้นต่อไปจนถึงชั้นที่ 7 เมื่อติดเสร็จแล้วทำการตัดผ้าคาร์บอนส่วนที่เกินจากขอบโมลล้อย่อย

2) ทำการติดพลาสติกฟูกจากนั้นตัดพลาสติกฟูกเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้ง่ายในการติดพลาสติกฟูกเป็นทางเดินของน้ำยาเรซิน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3: การติดผ้าคาร์บอนไฟเบอร์

3) ตัดถุงพลาสติกให้ขนาดใหญ่กว่าโมลล้อย่อยเพื่อสะดวกในการติดซีแลง จากนั้นห่อโมลล้อย่อยคาร์บอนเพื่อไปทำการแร็คคัม

4) นำท่อแร็คคัมที่อยู่ในตู้อบแรงดันมาติดเข้ากับถุงห่อโมลล้อย่อยเพื่อทำการแร็คคัมสุญญากาศ จากนั้นเมื่อเปิดเครื่องแร็คคัมทำการจัดระเบียบถุงเพื่อให้ผิวล้อคาร์บอนไฟเบอร์ออกมาเรียบ นำเข้าตู้อบแรงดันและอบด้วยอุณหภูมิความร้อนและแรงดัน

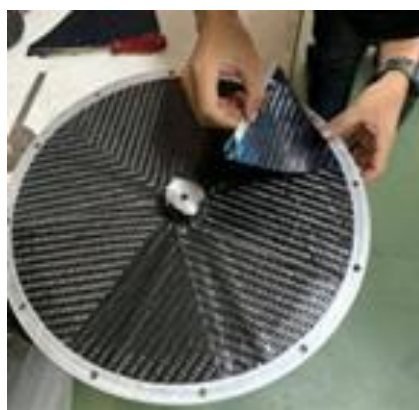
5) เมื่อนำล้อคาร์บอนไฟเบอร์เข้าตู้อบแรงดันแล้วปิดฝาตู้อบแรงดันให้สนิทดังรูปที่ 4 แล้วทำการเปิดเครื่องตู้อบแรงดันหลังจากนั้นเปิดอุณหภูมิไปที่ 180 องศาเซลเซียส ทำการอบทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำยาเรซินแข็งตัว



รูปที่ 4: การนำล้อคาร์บอนไฟเบอร์เข้าตู้อบแรงดัน

3.1.5) การขึ้นก้านและหน้าแปลนล้อคาร์บอนไฟเบอร์

- 1) ตัดผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ 32 ชั้น ตัดในแนว 45 องศา เพื่อนำไปติดหน้าแปลนล้อคาร์บอนไฟเบอร์
- 2) ชัดโฟม 2 ชั้น โดยทำการขัดกับเครื่อง CNC ให้เป็น 6 ก้าน ต่อ 1 ชั้น เพื่อมาขึ้นก้านในแปลนล้อคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อเสริมความแข็งแรงของล้อคาร์บอนไฟเบอร์
- 3) ใส่ตุ้มล้อ/เพลลา ติดผ้าคาร์บอนลงโมลหน้าแปลนล้อคาร์บอนไฟเบอร์ด้านนอกให้ติดตามแนวผ้าคาร์บอนที่ตัดไว้เริ่มติดจากแผ่นแรกจนถึงแผ่นสุดท้ายในละแผ่นให้วางผ้าคาร์บอนทับกัน 1 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5: ติดผ้าคาร์บอนลงโมลหน้าแปลนล้อคาร์บอนไฟเบอร์ด้านนอก

- 4) วางก้านที่ขัดเสร็จแล้วมาวางตั้งที่หน้าแปลนด้านในจากนั้นทำการติดผ้าคาร์บอนบนก้านเสร็จแล้วประกอบโมลล้อเข้ากลับตำแหน่งเดิมและทำการยึดน็อตให้แน่นทุกตัว (การขึ้นก้านล้อคาร์บอนไฟเบอร์) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6: การขึ้นก้านล้อคาร์บอนไฟเบอร์

- 5) ตัดผ้าพีทเทอร์(breather) เป็นชิ้นเล็กๆ ติดลงบนผ้าคาร์บอนเสร็จแล้วนำผ้ามาห่ออีก 1 ชั้น จากนั้นตัดถุงพลาสติกให้ขนาดใหญ่กว่าโมลล้อแล้วติดซีแลงให้รอบ เพื่อจะทำการห่อแล้วนำไปแช่คัมสุญญากาศ

6) นำท่อแฉีกั้มที่อยู่ในตู้อบแรงดันมาติดเข้ากับถุงห่อโมลล้อยเพื่อทำการแฉีกั้มสุญญากาศ จากนั้นเมื่อเปิดเครื่องแฉีกั้มทำการจัดระเบียบถุงเพื่อให้ผิวล้อคาร์บอนไฟเบอร์ออกมาเรียบ นำเข้าตู้อบที่สามารถควบคุมความร้อนและแรงดันอากาศได้

7) เมื่อนำล้อคาร์บอนไฟเบอร์เข้าตู้อบแล้วปิดฝาตู้อบให้สนิทเปิดเครื่องตู้อบหลังจากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิไปที่ 180 องศาเซลเซียส ทำการอบทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เพื่อให้หน้ายาเรซินแข็งตัว

3.1.6) เก็บรายละเอียดล้อคาร์บอนไฟเบอร์

1) ถอดโมลล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบออกจากนั้นนำล้อคาร์บอนไฟเบอร์ไปขัดเก็บรายละเอียดกับกระดาษทราย

2) ทำการเก็บขอบล้อคาร์บอนไฟเบอร์ 2 ล้อ ด้วยหินเจียรระโน จากนั้นลงกระดาษทรายละเอียดอีกครั้งแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7: ขัดขอบล้อคาร์บอนไฟเบอร์

3) เจาะรูยึดดุมล้อทั้ง 2 ล้อ จากนั้นประกอบจานดิสเบรกแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8: เจาะรูยึดดุมล้อคาร์บอนไฟเบอร์

3.2) วิธีการทดสอบประสิทธิภาพชิ้นงาน

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพชิ้นงานล้อคาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ล้อ ได้มีการทดลองทั้งล้อที่อัดแรงดันและล้อที่ไม่ได้อัดแรงดันในการอบโดยอบล้อที่ 1 อัดแรงดัน +2 bar (15 psi)

ล้อยี่ 2 อัดแรงดัน +1 bar (30 psi) และ ล้อยี่ 3 ไม่ได้อัดแรงดัน เพื่อจะหาค่าความแตกต่างของขนาดขอบล้อคาร์บอนก่อนเติมลมล้อและหลังเติมลม มีวิธีการทดลอง ดังนี้

1) ทดลองจากการวัดขนาดขอบล้อคาร์บอนที่อัดแรงดันก่อนเติมลมของล้อยี่ทั้ง 3 วง นำเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ มาวัดที่จุดตำแหน่งของวงล้อ 4 ตำแหน่ง เมื่อได้ค่าแล้วนำไปใส่ตารางผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9: หาค่าขอบล้อคาร์บอน ก่อนเติมลม

2) ทดลองจากการวัดขนาดขอบล้อคาร์บอนที่อัดแรงดันหลังเติมลมของล้อยี่ทั้ง 3 ด้วยแรงดันลม 35 psi 50 psi 65 psi 75 psi นำเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ มาวัดที่จุดตำแหน่งของวงล้อ 4 ตำแหน่ง เมื่อได้ค่าแล้วนำไปใส่ตารางผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10: หาค่าขอบล้อคาร์บอน หลังเติมลม 35 psi 50 psi 65 psi 75 psi

3.3) การความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำการวิเคราะห์เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนทางการเงินเพื่อให้ได้กำไรในการลงทุนผลิตชิ้นงาน และเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจลงทุนของผู้ประกอบการ ในงานวิจัยนี้ได้ทำวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ซึ่งทำการเปรียบเทียบการลงทุนการผลิตชิ้นงานในรูปแบบของโครงการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาที่กระแสเงินรับจากการลงทุนสามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มผลิตขึ้นงานพอดี เทคนิคนี้เป็นวิธีที่สามารถบอกความเสี่ยงของการผลิตได้ หากระยะเวลาคืนทุนสั้นจะมีสภาพคล่องสูงและความเสี่ยงต่ำ สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ได้ดังสมการที่ (1)

$$Payback = \frac{Total\ Investment}{Total\ return\ on\ investment} \quad (1)$$

เมื่อ Payback คือ ระยะเวลาคืนทุน (Total Investment) คือ เงินลงทุนในตอนต้น (Total return on investment) คือ ผลตอบแทนจากการลงทุน [16]

4. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

จากการดำเนินการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบบอโตเคลฟนี้ คณะวิจัยได้แบ่งหัวข้อผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพของล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบที่ผ่านกระบวนการผลิตโดยการนำไปทดสอบใช้งานจริง และการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 ผลการดำเนินงานทดลองประสิทธิภาพของขอบล้อคาร์บอนไฟเบอร์จากการอัดแรงดัน

จากการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบบอโตเคลฟ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการอบทดลองโดยใช้ความดันที่แตกต่างกันแต่ละครั้งตอนอบล้อที่ 1 อัดแรงดัน +2 bar (15 psi) ล้อที่ 2 อัดแรงดัน +1 bar (30 psi) และ ล้อที่ 3 ไม่ได้อัดแรงดัน ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1: ทดลองจากการวัดขนาดของขอบล้อคาร์บอนไฟเบอร์ 4 ตำแหน่ง ของล้อทั้ง 3 วง

ล้อวงที่ 1	ก่อนเติมลม	หลังเติมลม			
		35 psi	50 psi	65 psi	75 psi
ตำแหน่งที่ 1	88.0 mm.	88.9	89.5	90.0	90.5
ตำแหน่งที่ 2	88.3 mm.	89.0	89.4	89.8	90.0
ตำแหน่งที่ 3	89.3 mm.	90.0	90.9	91.0	91.9
ตำแหน่งที่ 4	89.0 mm.	89.9	90.4	91.0	91.9
ล้อวงที่ 2	ก่อนเติมลม	หลังเติมลม			
		35 psi	50 psi	65 psi	75 psi
ตำแหน่งที่ 1	88.1 mm	88.8	89	90.5	90.7
ตำแหน่งที่ 2	88.3 mm	89.1	89.5	89.9	90
ตำแหน่งที่ 3	89.2 mm	90.3	91	91.2	91.8
ตำแหน่งที่ 4	89.3 mm	89.9	90.6	91.4	91.8

ล้อยางที่ 3	ก่อนเติมลม	หลังเติมลม			
		35 psi	50 psi	65 psi	75 psi
ตำแหน่งที่ 1	88.4 mm	89.1	90.3	ระเบิด	-
ตำแหน่งที่ 2	88.5 mm	89.2	90.2	ระเบิด	-
ตำแหน่งที่ 3	88.2 mm	89	90	ระเบิด	-
ตำแหน่งที่ 4	87.8 mm	88.3	89	ระเบิด	-

จากการทดสอบพบว่าล้อคาร์บอนไฟเบอร์ล้อที่ 3 ที่ไม่ได้ทำการอบแรงดันจึงทำให้ล้อระเบิดที่ลมอัด 65 psi และในขณะเดียวกัน ล้อที่ 1 และล้อที่ 2 สามารถทนแรงอัดได้ถึง 75 psi

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบอัตโนมัติ นั้นเป็นการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ทางการเงิน แม้ว่าจะเป็นการลงทุนสูงในครั้งแรก แต่ค่าใช้จ่ายในด้านค่าแรงลดลงในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของล้อคาร์บอนไฟเบอร์ จะเปรียบเทียบระหว่างอบด้วยตู้อบแรงดันและอุณหภูมิความร้อนดีกว่าการปล่อยให้แห้งด้วยอุณหภูมิที่ปกติ โดยใช้เวลาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2: ราคาวัสดุ (ณ มีนาคม ปี พ.ศ. 2566)

ที่	วัสดุ	ขนาดวัสดุที่ใช้	ราคา(หน่วยละ/บาท)	ราคา (รวม/บาท)
1.	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์	3 ตารางเมตร	2400 บาท	7200 บาท
2.	แผ่นพลาสติกหุ้ม	3 ตารางเมตร	60 บาท	180 บาท
3.	กาวกันรั่ว	6 ตารางเมตร	102 บาท	612 บาท
4.	ฟิลพาย	1 ตารางเมตร	20 บาท	20 บาท
5.	แผ่นรีลีสฟิล์ม	1 เมตร	20 บาท	20 บาท
				7,382 บาท

การหาระยะเวลาคืนทุน จากตารางที่ 4.2 ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงถึงระยะเวลาที่มีผลประโยชน์จากการดำเนินงานเท่ากับค่าใช้จ่ายในครั้งแรกหรือต้นทุน เกณฑ์การพิจารณา คือ ระยะคืนทุนยิ่งสั้นยิ่งเป็นผลดีของล้อคาร์บอนไฟเบอร์ ราคารวมการผลิต 7,382 บาท ระยะคืนทุน 2 เดือน 10 วัน

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องนี้เป็นการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปขึ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบอัตโนมัติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและขึ้นรูปล้อยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้วัสดุสังเคราะห์ โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin) โพลียูรีเทนโฟม (PU Foam) และเสริมความแข็งแรงด้วยผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber)

ด้วยระบบอโตเคลฟ สำหรับการแข่งขันยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบประหยัดพลังงานอ้างอิงมาตรฐานตามกติการายการแข่งขันยานยนต์ไฟฟ้า Shell e-co marathon [17] โดยใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับความดันอากาศ ความร้อน และความแข็งแรงของวัสดุ เพื่อให้ชิ้นงานของล้อคาร์บอนไฟเบอร์ออกมาได้ตามรูปทรงของล้อตามที่กำหนด และศูนย์ถ่วงล้อออกมาได้ตามมาตรฐานการแข่งขัน ซึ่งผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ ประสิทธิภาพของล้อคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้ดูดซับแรงดันโดยใช้ความดันที่แตกต่างกันแต่ละครั้ง ตอนอบล้อที่ 1 อัดแรงดัน +2 bar (15 psi) ล้อที่ 2 อัดแรงดัน +1 bar (30 psi) และ ล้อที่ 3 ไม่ได้อัดแรงดัน จากการทดสอบพบว่าล้อคาร์บอนไฟเบอร์ล้อที่ 3 ที่ไม่ได้ทำการอบแรงดันจึงทำให้ล้อระเบิดที่ลมอัด 65 psi และในขณะเดียวกัน ล้อที่ 1 และล้อที่ 2 สามารถทนแรงอัดได้ถึง 75 psi การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนคอมโพสิตด้วยระบบอโตเคลฟ ระยะคืนทุน 2 เดือน 10 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้สนับสนุนงบประมาณการวิจัยและอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษาให้นักวิจัยได้ทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ นักตรีพงษ์, ศิวกร เกิดแก้ว และภานุวัฒน์ พรหมพิทักษ์. (2557). ทำการขึ้นรูปบอดี้รถประหยัดพลังงานด้วยคาร์บอนไฟเบอร์, สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช (ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก www2.nstru.ac.th (วันที่ค้นหาข้อมูล:8 เมษายน 2566)
- [2] เฮนรี วีเลอร์, สกอตต์ ฮังเกอร์, แฟรงค์ ดับบลิว (ม.ป.พ.) ได้ทำการทดลองหมอนึ่งภายใต้ความดันสุญญากาศการประมวลผลคอมโพสิต: สถาบันการศึกษาหลายหน่วยงานภาครัฐและอุตสาหกรรมคอมโพสิต (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://m.thai.aac-autolave.com> (วันที่ค้นหาข้อมูล:8 เมษายน 2566)
- [3] อมร พิมานมาศ (2557) นักวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร ม.ธรรมศาสตร์ใน โครงการที่มีชื่อว่า “โครงการเสริมกำลังเสาต้านทานแผ่นดินไหวด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.thaiseismc.com> (วันที่ค้นหาข้อมูล:9 เมษายน 2566)
- [4] โรเจอร์เบคอน (1958) สร้างเส้นใยคาร์บอน[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.mkresin.com> (วันที่ค้นหาข้อมูล 9 เมษายน 2566)
- [5] Francesco Rondina, Sara Taddia, Laura Mazzocchetti, Lorenzo Donati, Giangiacomo Minak, Philipp Rosenberg, Andrea Bedeschi, Enrico Dolcini, “Development of full carbon wheels for sport cars with high-volume technology,” *Composite Structures*, Volume 192, Pages 368-378, (2018). ISSN 0263-8223

- <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.02.083>(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822318301818>)
- [6] Alessandro Messina, Lorenzo Sisco, Alessandro Ferraris, Andrea Giancarlo Airale, Henrique de Carvalho Pinheiro, Pietro Sanfilippo and Massimiliana Carello. “From Design to Manufacture of a Carbon Fiber Monocoque for a Three-Wheeler Vehicle Prototype,” , “*Materials*”, Volume 12(3). Pages 332. (2019) DOI:10.3390/ma12030332
- [7] เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ [5] [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://riverolusblog.com/> 2011 (วันที่ค้นหาข้อมูล: 10 เมษายน 2566)
- [8] ฉนวนกันความร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.tiheater.ac.th>.(วันที่ค้นหาข้อมูล:11 พฤศจิกายน 2566)
- [9] ชุดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และโลกดาราศาสตร์ (ม.ป.พ.), ความร้อนและอุณหภูมิ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://portal.edu.Chula.ac.th> (วันที่ค้นหาข้อมูล:10 เมษายน 2566)
- [10] วริทธิ์ อังภากรร์ และชาญ ญัตถาน (2521), การออกแบบเครื่องจักรกล, กรุงเทพมหานคร ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด สุกิจนามพิชญ์. (2541). ความแข็งแรงของวัสดุ, ซีเอ็ดยูเคชั่น สุปริม [ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก <http://mte.kmutt.ac.th> (วันที่ค้นหาข้อมูล: 10 เมษายน 2566)
- [11] Alexander Air, Md Shamsuddoha, Ebrahim Oromiehie & B. Gangadhara Prusty. “Development of an automated fibre placement-based hybrid composite wheel for a solar-powered car,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. volume 125, pages 4083–4097 (2023)
- [12] Edited by Michelle M. Gauthier ASM DESK EDITIONS.BOOK CHAPTER Autoclave Molding DOI: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.emde.a0003041>Published: 1995 ASM
InternationalDOI: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.emde.9781627082006>ISBN
electronic: 978-1-62708-200-6
- [13] Yaoji Industrial Investment (Shenzhen) Co., Ltd. “Carbon Fiber Parts ASME Standard Composite Autoclave,” [ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก https://fj.china.com.cn/b2b/en/product/en_c_qiortwww.html. (วันที่ค้นหาข้อมูล:11 พฤศจิกายน 2566)
- [14] MANSORY. Composite Autoclave Production. [ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก <https://www.mansory.com/manufactory>. (วันที่ค้นหาข้อมูล:11 พฤศจิกายน 2566)
- [15] Takeshi Ashida. Autoclave molding method and autoclave molding apparatus. US8828309B2United States. *United States Patent*. Ashida.USOO88283 09B2(10) Patent No.: US 8,828,309 B2(45) Date of Patent: Sep. 9, 2014

- [16] พัชรินทร์ อินทมาศ มณีรัตน์ ชัยสกุลนิยม พเนตร์ สุขสิงห์ อีระพงษ์ บุญรักษา และ พรหมพักตร์ บุญรักษา “การวิเคราะห์เชิงเทคนิคและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาระดับครัวเรือน,” *Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST2022*, Volume 4 Issue 3: 47-56
- [17] Shell Eco-marathon Team, “Shell Eco-marathon 2018 Official Rules Chapter I” Shell Eco-marathon.