

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

วัสดุคอมโพสิตหรือวัสดุเชิงซ้อน (Composite material) คือ วัสดุที่เกิดจากการนำวัสดุทางเคมี 2 ชนิดขึ้นไปมาประกอบกัน โดยจะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อนำข้อได้เปรียบของวัสดุเหล่านั้นมารวมกัน และเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นกว่าเดิม โดยเมื่อจำแนกตามประเภทของวัสดุที่นำมาเป็นส่วนผสมหลัก วัสดุคอมโพสิตจะสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุคอมโพสิตที่มีโลหะเป็นส่วนผสมหลัก, วัสดุคอมโพสิตที่มีเซรามิกเป็นส่วนผสมหลัก และวัสดุคอมโพสิตที่มีโพลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งในปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตถูกใช้อย่างกว้างขวางในงานทางด้านวิศวกรรม เนื่องจากข้อได้เปรียบในเชิงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่มีมากกว่าวัสดุที่ใช้ทั่วไป หนึ่งในตัวอย่างที่พบได้อย่างเห็นชัด คือการเลือกใช้วัสดุคอมโพสิตในด้านอุตสาหกรรมการบิน โดยปัจจัยหลักคือข้อได้เปรียบทางด้านน้ำหนักที่เบาแต่คุณสมบัติทางกลที่มีความแข็งแรง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการประหยัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการบิน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะศึกษาคุณสมบัติวัสดุคอมโพสิตประเภทที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก (วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต) เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการปรับคุณสมบัติวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานอย่างกว้างขวาง มีทางเลือกการขึ้นรูปที่หลากหลาย ซึ่งหนึ่งในวิธีการขึ้นรูปซึ่งนำมาออกแบบเป็นวัตถุประสงคในการศึกษาคือการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

โดยทั่วไปวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ 1. ส่วนที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งมีหน้าที่ในการทำให้วัสดุคงรูปอยู่ได้ รวมทั้งปกป้องวัสดุส่วนเสริมแรงจากการรับความเสียหายภายนอกโดยตรง ซึ่งเมทริกซ์ที่ใช้ในวัสดุคอมโพสิต อาจเลือกเป็นทั้งวัสดุจำพวกเทอร์โมเซต (Thermosets) ได้แก่ อีพอกซี (Epoxy) พอลีเอสเตอร์ (Polyester) เป็นต้น หรือวัสดุจำพวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ได้แก่ โอนิกซ์ (Onyx) และไนลอน (Nylon) และอีกหนึ่งส่วนประกอบหลัก คือ 2. ส่วนที่เป็นวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งจะมีความแข็งแรงและความแข็งตึงสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักของวัสดุ โดยวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตมีทั้งรูปแบบเป็นอนุภาคกลม (Particle) แบบแผ่นบาง

(Flake) และรูปแบบเป็นเส้นใย (Fiber) เช่น เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เส้นใยอะรามิด (Aramid fiber) และเส้นใยแก้ว (Fiber glass) เป็นต้น ในการผลิตวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีวิธีการขึ้นรูปที่หลากหลาย เช่น การขึ้นรูปด้วยมือ การขึ้นรูปด้วยแรงดันอากาศ การขึ้นรูปโดยสุญญากาศ การขึ้นรูปโดยการปั่นเส้นใย เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์วัสดุคอมโพสิตแบบสามมิติ ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ มีรูปร่างในการผลิตอิสระ และมีความแม่นยำสูงในการผลิตแบบซ้ำเป็นจำนวนมาก โดยในการพิมพ์วัสดุคอมโพสิตนั้นจะมีทางเลือกของการปรับแต่งที่หลากหลาย ตั้งแต่การปรับความหนาแน่นของการพิมพ์วัสดุ การปรับรูปแบบการพิมพ์โครงสร้างแต่ชั้นของวัสดุคอมโพสิต การปรับตั้งค่าจำนวนชั้นด้านบนสุดและล่างสุดของวัสดุเมทริกซ์ก่อนเริ่มพิมพ์วัสดุเสริมแรง ตลอดจนจนถึงการปรับจำนวนชั้นและรูปแบบการพิมพ์ของวัสดุเสริมแรง ซึ่งการปรับแต่งการพิมพ์เหล่านี้ล้วนส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ความสิ้นเปลืองในการพิมพ์ ซึ่งนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่ไม่คุ้มค่าในการผลิต

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุมีความสำคัญต่อรูปแบบการนำไปใช้งาน ขึ้นอยู่กับว่าวัสดุคอมโพสิตนั้น ๆ ถูกนำไปใช้งานรูปแบบใด เนื่องจากในงานทางด้านวิศวกรรมที่ต่างกันจะต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ต่างกันออกไป โดยตัวอย่างของค่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่นำมาศึกษา ได้แก่ ค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ซึ่งส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกค่าความแข็งแรงและแข็งแรงของวัสดุเมื่อถูกแรงดึงกระทำ ซึ่งในกระบวนการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุต่างชนิดกัน จะมีมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยมาตรฐานในการทดสอบวัสดุจะถูกกำหนดโดยเอเอสทีเอ็ม (American Society for Testing and Material) ซึ่งเป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งทำหน้าที่กำหนดและจัดทำมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ โดยในการทดสอบความแข็งแรงดึงนี้ รูปแบบขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ เงื่อนไขของการทดสอบ รวมทั้งเกณฑ์ต่างในการตั้งค่าการทดสอบ จะถูกกำหนดมาจากมาตรฐาน ASTM ดังกล่าว

ในกระบวนการของการหาค่าเหมาะสมที่สุด การสร้างสมการจำลองทดแทนเพื่อนำไปใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุด มีความสำคัญที่จะต้องเลือกรูปแบบการสร้างสมการจำลองให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการนำไปใช้งาน โดยขั้นตอนการสร้างสมการจำลองที่นำไปใช้ในการสร้างฟังก์ชันประเภทย่อยวัตถุประสงค์ที่ได้รับความนิยม ได้แก่ วิธีคริกกิง (Kriging method) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าช่วงขั้นสูง โดยประยุกต์ใช้กระบวนการทางสถิติและสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์

ขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือการหาคำตอบที่ได้จากฟังก์ชันด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) ซึ่งรูปแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่เลือกใช้ในการศึกษา คือขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ 2 (Non-dominated Sorting

Generic Algorithm II : NSGA-II) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่พัฒนามาจากรุ่นก่อนหน้า โดยมีความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล (Time complexity) ที่ดีขึ้นกว่ารุ่นก่อน และขั้นตอนวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์อย่างแพร่หลาย และเป็นขั้นตอนวิธีซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัยซึ่งประยุกต์ใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ เนื่องจากมีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นต้นแบบ แต่มีการปรับใช้ให้สามารถใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ได้

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคนิคการพิมพ์สามมิติและการเพิ่มประสิทธิภาพ ช่วยเปิดทางสู่การประยุกต์ใช้อย่างสร้างสรรค์ในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด ร่วมกับเทคโนโลยีการพิมพ์วัสดุคอมโพสิตสามมิติ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบการตั้งค่าการพิมพ์ขึ้นส่วนกล่องต้านแรงบิดของแท่นทดสอบแรงขับ

แท่นทดสอบแรงขับ คือ เครื่องมือเฉพาะทางที่ใช้ในการวัดค่าแรงขับที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า มีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ โดยในปัจจุบันหน่วยวิจัยของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชได้ทำการสร้างและออกแบบแท่นทดสอบแรงขับสำหรับทดสอบใบพัดอากาศยานไร้คนขับ โดยแท่นทดสอบนี้ต้องการขึ้นส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กล่องต้านแรงบิด (Torsion box) ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้าแรงขับ 36 กิโลกรัม และส่วนขาตั้งของแท่นทดสอบ โดยตัวกล่องต้านแรงบิดจำเป็นจะต้องมีค่าคุณสมบัติทางกลที่แข็งแรงเพียงพอต่อการต้านแรงบิดและแรงขับของมอเตอร์แท่นทดสอบ การออกแบบการพิมพ์วัสดุคอมโพสิตที่เหมาะสมจึงถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับตั้งค่าการพิมพ์วัสดุคอมโพสิตแบบสามมิติที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ชิ้นงานกล่องต้านแรงบิดสำหรับใช้ในแท่นทดสอบแรงขับที่มีความแข็งแรงถึง ค่าความต้านทานแรงบิด ในแนวแกนรับแรงที่สูงที่สุด และมีความสิ้นเปลืองในการพิมพ์วัสดุเสริมร่น้อยที่สุด โดยมีการดำเนินการทดสอบวัสดุตามมาตรฐานที่ได้รับการรับรองเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลที่ใช้กับการทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ แล้วจึงดำเนินการทดลองด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ จากนั้นนำผลทดสอบไปสร้างสมการจำลองจากฟังก์ชันการออกแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีคริกกิ้ง และนำฟังก์ชันไปใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดในการออกแบบการปรับตั้งค่าการพิมพ์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการพิมพ์วัสดุคอมโพสิตแบบสามมิติ โดยมีความแข็งแรงสอดคล้องกับวิธีการพิมพ์ของวัสดุด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

- 2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการสร้างสมการจำลองทดแทนเพื่อใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีคริกกิง
- 3) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์การออกแบบ โดยประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมการจัดลำดับที่ไม่ถูกรอบงำ
- 4) เพื่อออกแบบชิ้นส่วนและอัตราส่วนการพิมพ์วัสดุคอมโพสิตสามมิติของกล่องต้านแรงบิดสำหรับใช้ในแท่นทดสอบแรงขับของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชที่สามารถต้านทานแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าและใช้ในการทดสอบแรงขับใบพัดอากาศยานไร้คนขับได้จริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะแบ่งวิธีดำเนินการและผลการวิจัยออกเป็น ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไข ตัวแปรการออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน แต่ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากส่วนที่ 1 จะถูกนำมาใช้ในการออกแบบตัวแปรการทดลองในส่วนที่ 2 ของงานวิจัย

ส่วนที่ 1 การทดสอบวัสดุและศึกษาผลจากการออกแบบด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด

- 1) สร้างชิ้นงานทดสอบ ASTM D3039 ด้วยเครื่องพิมพ์วัสดุคอมโพสิต แบบ 3 มิติ Markforged รุ่น X7 โดยมีวัสดุเมทริกซ์ คือ โอนิกซ์ (Onyx) และมีวัสดุเสริมแรง คือ เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เพื่อทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต้น

- 2) พิมพ์รูปแบบโครงสร้างภายในรูปแบบสี่เหลี่ยมของการพิมพ์วัสดุสามมิติสำหรับการนำไปใช้หาค่าเหมาะสมที่สุด

- 3) ศึกษาประสิทธิภาพของชิ้นงานการทดสอบความแข็งแรงดึง ตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึงของวัสดุโพลิเมอร์และคอมโพสิต ASTM D3039 โดยใช้เครื่อง ใช้เครื่อง Universal Testing Machine ในการทดสอบ

- 4) ใช้ผลจากการทดสอบในการออกแบบอัตราส่วนการพิมพ์ที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ในกระบวนการออกแบบ

ส่วนที่ 2 การทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ และนำผลการทดสอบไปประยุกต์ในกระบวนการหาค่าตอบการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบกล่องต้านแรงบิดสำหรับใช้ในแท่นทดสอบแรงขับ

- 5) ออกแบบกล่องต้านแรงบิดสำหรับใช้ในแท่นทดสอบแรงขับใบพัดอากาศยาน

- 6) ใช้การทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์และค่าจากซอฟต์แวร์ตั้งค่าการพิมพ์ในการทดสอบอิทธิพลของตัวแปรต้น

7) ใช้ผลจากการทดสอบด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในการออกแบบอัตราส่วนการพิมพ์ที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ในกระบวนการออกแบบ

8) วิเคราะห์ผลจากการทดสอบด้วยโมดูลการทดสอบโครงสร้างเชิงสถิติ

9) การออกแบบการทดลองไฟไนต์อีลิเมนต์จะออกแบบโดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตการทดสอบได้แก่ แรงขับสูงสุดของใบพัดที่กระทำต่อกล่องด้านแรงบิด แรงบิดจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่กระทำต่อกล่องด้านแรงบิด โดยไม่คำนึงถึงแรงกระทำหรือแรงเฉือนตามจุดยึด รูปแบบโครงสร้างภายในกล่อง และน้ำหนักที่เปลี่ยนไปของกล่องด้านแรงบิด

10) ใช้เกณฑ์ในการวิเคราะห์การเสียหายคือการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดิ่งกับค่าความเค้นหลักสูงสุด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต้นจากการใช้ข้อมูลจากการทดลองในการออกแบบด้วยเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์การออกแบบ

2) ได้ศึกษาการสร้างการจำลองเพื่อใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์โดยประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

3) ได้ผลการทำนายของสมการจำลองที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองมากที่สุด เพื่อให้การออกแบบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมได้ความแม่นยำและมีประโยชน์ในการเลือกใช้งานจริง

4) ได้ผลการออกแบบการปรับตั้งค่าการพิมพ์วัสดุคอมสิตสามมิติซึ่งใช้ในการพิมพ์ชิ้นส่วนกล่องด้านแรงบิดสำหรับใช้ในแท่นทดสอบแรงขับ