บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เส้นใยไหมเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่หาได้ง่ายภายในประเทศ ในประเทศไทยมีการนำเส้นใยไหมที่ได้จากตัวไหมมาทอเป็นผ้าไหม ผ้าไหมเป็นผ้าที่มีคุณภาพสูง ทั้งทางด้านความสวยงาม ความทนทาน และความสบายในการสวมใส่ เส้นใยไหมเป็นเส้นใยที่มีสมบัติทางกลที่ดี คือ มีค่ามอดุลัสแรงดึงและความทนต่อแรงดึง (tensile strength) สูง และ สามารถยืดได้ 20% ก่อนขาด (elongation at break) ซึ่งเส้นใยสังเคราะห์เช่น Kevlar 49 และ เส้นใยแก้ว ซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรงที่ใช้กันแพร่หลาย แม้จะมีความทนต่อแรงดึงสูงกว่าเส้นใยไหมแต่สามารถยืดได้น้อยกว่า 5% ก่อนขาดออกจากกัน [1]

ดังนั้นเส้นใยไหมสามารถใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุพอลิเมอร์คอมพอสิทได้เนื่องจากมีความแข็งแรงทางกลสูง และในขณะเดียวกันจะช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับวัสดุคอมพอสิทเนื่องจากความสามารถในการยืดก่อนจะขาดออกจากกัน จึงเหมาะสำหรับวัสดุเสริมแรงที่ต้องการความเหนียวเป็นพิเศษ

ข้อดีของการใช้เส้นใยไหมเป็นวัสดุเสริมแรงคือ

1. เพิ่มประโยชน์ใช้สอยของเส้นใยไหมซึ่งเป็นวัสดุภายในประเทศ
2. เป็นการพัฒนาวัสดุคอมพอสิทชนิดใหม่ที่มีความเหนียวเป็นพิเศษ
3. เพิ่มความสามารถในการย่อยสลายของวัสดุคอมพอสิทเนื่องจากเส้นใยไหมเป็นวัสดุธรรมชาติ สามารถย่อยสลายได้ตามกระบวนการชีวภาพ
4. เส้นใยไหมไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตเมื่อเปรียบเทียบกันเส้นใยสังเคราะห์อื่น ๆ เช่นเส้นใยแก้ว
5. เป็นการลดการใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ และ ลดของเสียจากกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

วัสดุคอมพอสิทที่ใช้แพร่หลายในงานทางด้านวัสดุวิศวกรรมคือ วัสดุคอมพอสิทอีพอกซี คุณสมบัติของอีพอกซีเรซินที่ผ่านขบวนการทำให้แข็งตัวแล้วคือ แข็งและเปราะ (hard and brittle) การใช้เส้นใยไหมเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุคอมพอสิทอีพอกซีจะช่วยปรับปรุงความเหนียวให้กับวัสดุชนิดนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้เส้นใยไหมเป็นวัสดุเสริมแรงกำจัดวงเฉพาะวัสดุคอมพอสิทยาง (elastomer composites) [2-5] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นใยไหมในวัสดุคอมพอสิทอีพอกซีมีอยู่น้อย จึงควรมีการศึกษาการใช้เส้นใยไหมเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี (epoxy composites) ซึ่งจะนำไปสู่การได้วัสดุคอมพอสิทอีพอกซีชนิดใหม่ที่ใช้เส้นใยไหมเป็นวัสดุเสริมแรงที่สามารถใช้เป็นวัสดุวิศวกรรมในงานที่ต้องการความเหนียวเป็นพิเศษ

1.2 วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของโครงการวิจัย

— เพื่อให้ได้วัสดุคอมพอสิทอีพอกซีที่ใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องเป็นวัสดุเสริมแรง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไปสำหรับเตรียมวัสดุคอมพอสิทของอีพอกซีซึ่งใช้เส้นใยไหมเป็นวัสดุเสริมแรง และเป็นการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุของประเทศอย่างต่อเนื่อง
- เพื่อนำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ของวัสดุคอมพอสิทอีพอกซีที่มีความเหนียวที่ดี
- เป็นประโยชน์ต่อกลุ่มอุตสาหกรรมวัสดุคอมพอสิทและเกษตรกรผู้ปลูกหม่อนเลี้ยงไหม
- เป็นการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ให้สามารถเริ่มการวิจัยและพัฒนาได้ และดำเนินการวิจัยต่อไปได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว

หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ผู้ประกอบการกลุ่มอุตสาหกรรมวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี
- ผู้ประกอบการและเกษตรกรผู้เลี้ยงไหม
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด

จากการศึกษาความแข็งแรงทางกลของเส้นใยไหมของญี่ปุ่น (Diazo, J106, J115) จีน (C108, C145) และอินเดีย (Hosa mysore, kalimpong A, NB_{18}, NB_7, Nistari) พบว่าเส้นไหมมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ระหว่าง 65-171 MPa และ สามารถยืดออก 20-40% ก่อนขาด [6] และ Bascom ได้รายงานความแข็งแรงทางกลของเส้นใยไหมจากตัวไหมชนิด *Bombyx. Mori* คือ *Bombyx. Mori* มีความทนทานต่อแรงดึงสูงถึง 0.6 GPa, ความสามารถในการยืดออกก่อนขาด 20% 1 และยังก์มอดุลัส 5 GPa [7] ซึ่งเป็นความแข็งแรงที่เหมาะสมในการใช้งานทางด้านวัสดุวิศวกรรมโดยมีสมบัติเด่นคือจะให้ความเหนียวที่ดีกว่าการใช้เส้นใยสังเคราะห์อื่น เช่น Kevlar 49 และ เส้นใยแก้ว เส้นไหมจึงน่าจะเป็นวัสดุเสริมแรงที่ดีชนิดหนึ่งสำหรับวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี และเส้นไหมน่าจะช่วยปรับปรุงความเหนียวของวัสดุคอมพอสิทอีพอกซีได้อีกประการหนึ่ง

โครงสร้างของเส้นใยไหมมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) และหมู่เอไมด์เป็นองค์ประกอบ หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่เอไมด์จะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยไหมกับอีพอกซีเรซินผ่านทางพันธะไฮโดรเจน ซึ่งความแข็งแรงในการยึดติดที่ผิวสัมผัสจะส่งผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุคอมพอสิท โดยการยึดติดที่ดีจะช่วยปรับปรุงกลไกการถ่ายเทความเค้น (stress transfer) ระหว่างอีพอกซีและเส้นใยซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพิ่มความเหนียวของวัสดุคอมพอสิท

การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยไหมด้วยสารคู่ควบไซเลนได้เช่นเดียวกัน สารประกอบไซเลนนี้จะต้องมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับพลาสติกได้ เช่นหมู่เอมีน ($-NH_2$) สามารถทำปฏิกิริยากับวงแหวนอีพอกไซด์ของอีพอกซีเรซินเกิดเป็นพันธะเคมีในลักษณะเดียวกับสารเร่งการแข็งตัวชนิดเอมีนทำ ปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซิน ซึ่งพันธะเคมีที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยไหมและอีพอกซีเรซินมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะไฮโดรเจน เป็นการเพิ่มเสถียรภาพสูงสุดให้กับโครงสร้างเคมี ณ ผิวสัมผัส (interfacial structure) ซึ่งมีผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี

งานวิจัยของผู้วิจัยที่ใช้เส้นไหมแบบสั้นและแบบต่อเนื่อง (continuous silk) เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับอีพอกซีเรซิน พบว่าการใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องและ/หรือเส้นไหมแบบต่อเนื่องที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะช่วยปรับปรุงความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีได้ในระดับหนึ่ง [8] แต่งานวิจัยดังกล่าวเป็นการวิจัยเบื้องต้นยังไม่ครอบคลุมถึงปริมาณที่เหมาะสมของเส้นไหมสำหรับเสริมแรงวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี ดังนั้นในงานวิจัยที่จะทำในขั้นต่อไปคือเป็นการหาปริมาณที่เหมาะสมของเส้นไหมแบบต่อเนื่องสำหรับเสริมแรงวัสดุคอมพอสิทอีพอกซีและเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุคอมพอสิทที่ได้ระหว่างเส้นไหมที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพเส้นไหมด้วยสารคู่ควบไซเลน

1.5 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาโครงสร้างของเส้นใยไหมประเภทต่าง ๆ ได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวาง [7-18] พบว่าโครงสร้างพื้นฐานของเส้นใยไหมซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนประกอบด้วยส่วนที่เป็น structural protein ของไฟโบรอิน และส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงเส้นใยเข้าด้วยกันคือ เซเรซิน กรดอมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยไหมได้แก่ ไกลซีน (glycine) อลานีน (alanine) และเซอรีน (serine) เป็นต้น สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมประกอบด้วยส่วนที่เป็นระเบียบ (crystalline) และส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ซึ่งมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงทางกลของเส้นใยไหม โดยที่โครงสร้างส่วนที่เป็นระเบียบจะมีผลต่อความแข็ง (stiffness) และ โครงสร้างส่วนที่ไม่เป็นระเบียบมีผลต่อความสามารถในการยืดออกก่อนขาด [19]

การศึกษาการดัดแปรรังไหม *Bombyx mori* ด้วยความร้อน (thermal treatment) พบว่าการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมีเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 190 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิประมาณ 280 องศาเซลเซียสเกิดการขาดออกของสายโซ่หลัก (main chain) และที่อุณหภูมิประมาณ 308 องศาเซลเซียส หมู่ไฮดรอกซิลจะหลุดออกจากโครงสร้าง [20]

สำหรับการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหม *Antheraea pernyi* (wild-type silkworm) ที่อยู่ในรูปฟิล์มไฟโบรอิน (fibroin film) ที่ผ่านการทรีทเมนท์ด้วยสารละลายเมทานอล (80 เปอร์เซ็นต์) พบว่าสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มขึ้นกับระยะเวลาการทรีทเมนท์และเมื่อเวลาการทรีทเมนท์เป็น 60 นาที พฤติกรรมการเสื่อมสลายด้วยความร้อนของแผ่นฟิล์มไม่แตกต่างจากแผ่นฟิล์มที่ไม่ผ่านการทรีทเมนท์ [21]

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอได้มีการใช้ ไวนิลมอนอเมอร์ เช่น เมทาอคริลาไมด์ (methacrylamide) เมทิลเมทาคริเลต (methyl methacrylate)และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-hydroxyethyl methacrylate) ใช้สำหรับปรับปรุงสมบัติเส้นไหม เพื่อเพิ่มความสะดวกในกระบวนการทอ เช่น ลดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ของเส้นไหม หรือเพิ่มความสบายในการสวมใส่ หรือชลอการเสื่อมสภาพของเส้นใยไหม ซึ่ง Ishicawa และคณะ [22] ประสพความสำเร็จในการกราฟ (grafting) ไวนิลมอนอเมอร์ ชนิด ไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (ใช้เป็นสารคู่ควบในอุตสาหกรรมวัสดุคอมพอสิท [23]) บนโครงสร้างของเส้นใยไหมชนิด *Bombyx mori*

ได้มีการศึกษาทาง micro-mechanic เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างพื้นผิวของเส้นไหมจากตัวไหมชนิด *Bombyx Mori* และอีพอกซีเรซิน โดยวิธี microbond test และพบว่า interfacial shear strength มีค่าเท่ากับ 15 MPa [24]

ระยะ 2 ปีที่ผ่านได้มีการศึกษาใช้เส้นไหมในวัสดุคอมพอสิทพอลิเมอร์ ได้แก่ การใช้เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิบิวทิลีน ซัคซิเนท (poly (butylenes succinate)) เพื่อใช้เป็นวัสดุคอมพอสิททาง

ชีวภาพ (biocomposites) โดยศึกษาผลของปริมาณเส้นไหมสั้นต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อน [25] และ ได้มีการศึกษาการใช้ผ้าไหมใช้แล้ว (waste silk fabric) เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับอีพอกซีที่ทำให้เหนียวด้วย อีพอกซี-ฟีนอล-น้ำมันเมล็ดเปลือกมะม่วงหิมพานต์ (Epoxy Phenol Cashew Nut Shell Liquid: EPCNSL โดยศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มความเหนียว EPCNSL และ ผลของปริมาณผ้าไหมต่อสมบัติทางกลของวัสดุคอมพอสิท [26] นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการใช้ผ้าไหมใช้แล้วเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุคอมพอสิทพอลิโพรพิลีน โดยเปรียบเทียบระหว่างผ้าไหมที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายไกลซิดิลโพรพิลไซเลน [27]

จากข้อมูลที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เส้นไหมเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุคอมพอสิทพอลิเมอร์โดยตรงยังมีอยู่น้อย จึงควรมีการศึกษาวิจัยทางด้านการใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี โดยผลงานวิจัยพื้นฐานทางด้านส่วนประกอบและโครงสร้างของเส้นไหม การทรีทเมนท์ด้วยสารเคมีและความร้อน จะเป็นพื้นฐานความรู้สำหรับการวิจัยทางด้านนี้ได้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

- หาปริมาณที่เหมาะสมของเส้นไหมแบบต่อเนื่องสำหรับวัสดุคอมพอสิทอีพอกซี
- ปรับปรุงความสามารถในการยึดติดระหว่างพื้นผิวของเส้นไหมกับอีพอกซีเรซิน ด้วยสารคู่ควบไซเลน

เอกสารอ้างอิง

1. W. Bascom. *Other Continuous Fibers.* in *Composites, Engineered Materials Handbook: 1*. Material Park. ASM International. 1988.
2. D. K. Setua and G. N. Mathur. *J. Appl. Polym. Sci.*. **79**: 646-651. 2001.
3. M. Tsukada, T. Yamamoto, N. Nakabayashi, et al. *J. Appl. Polym. Sci.*. **43**: 2115-2121. 1991.
4. D. K. Setua. *Abstr. Pap. Am. Chem. S.*. **189**:56-PMSE. 1985.
5. D. K. Setua and S. K. De. *J. Mater. Sci.*. **19**: 983-999. 1984.
6. V. Annadurai, G. Subramanyam, R. Gopalkrishne Urs, and R. Somashekar. *J. Appl. Polym. Sci.*. **79**: 1979-1985. 2001.
7. Y. Shen, M. A. Johnson, and D. C. Martin. *Macromolecules*. **31**: 8857-8864. 1998.
8. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์. *รายงานวิจัยเรื่องการใช้เส้นใยจากตัวไหมเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบอีพอกซี*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา. 2549.
9. S. Putthanarat, N. Stribeck, S. A. Fossey, R. K. Eby, and W. W. Adams. *Polymer*. **41**: 7735-7747. 2000.
10. C.-Z. Zhou, F. Confalonieri, M. Jacquet, R. Perasso, Z.-G. Li, and J. Janin. *Proteins: Structure, Function, and Genetics*. **44**: 119-122. 2001.
11 K.-H. Ghrs, K. Weisshart, and F. Grosse. *Rev. Molecular Biotechnology*. **74**: 121-134. 2000.
12. T. Asakura, T. Ito, M. Okudaira, and T. Kameda. *Macromolecules*. **32**: 4940-4946. 1999.
13. Y. kawahara and M. shioya. *J. Appl. Polym. Sci.*. **73**: 363-367. 1999.
14. L. D. Miller, S. Putthanarat, R. K. Eby. and W. W. Adams. *Int. J. Biol. Macromol.*. **24**: 159-165. 1999.
15. Y. Takahashi, M. Gehoh, and K. Yuzuriha. *Int. J. Biol. Macromol.*. **24**: 127-138. 1999.
16. P. Monti, G. Freddi, A. Bertoluzza, and M. Tsukada. *J. Raman Spectrosc.*. **29**: 297-304. 1998.
17. M. Dumura, M. Minami, T. Asakura, and T. A. Cross. *J. Am. Chem. S.*. **120**: 1300-1308. 1998.
18. M. Dumura, Y. Yamazaki, T. Asakura, and K. Ogawa. *J. Am. Chem. S.*. **441**: 155-163. 1998.
19. J. Perez-Rigueiro, C. Viney, J. Llorca, and M. Elices. *J. Appl. Polym. Sci.*. **70**: 2439-2447. 1998.
20. H. Zhang, J. Magoshi, M. Bexker, J. Y. Chen and R. Matsunaga, *J Appl. Polym. Sci.*, **86**: 1817-1820, 2002.
21. H.Y. Kweon, I.C. Um and Y.H. Park, *Polymer*, **41**: 7361-7367, 2000.

22. M. Tsukada, T. Arai, S. Winkler, G. Freddi, and H. Ishikawa. *J. Appl. Polym. Sci.*. **79**: 1764-1770. 2001.
23. E. P. Plueddumann. *Silane Coupling Agent: 2nd Ed*. Plenum Press. New York. 1991.
24. J. P. Craven, R. Cripps, and C. Viney. *Composite Part A*. **31**: 653-660. 2000.
25. S.M. Lee, D. Cho, W.H. Park, S.G. Lee, S.O. Han and L. T. Drzal, *Comp. Sci. Tech*, **65**: 647-657, 2005.
26. S.P. Priya, H.V. Ramakrishna, and S.K. Rai, *J. Comp. Mater.*, **40**: 1301-1308, 2006.
27. D. Cho, K. H. Kim, H. S. Lee, C. W. Cho, K. Y. Lee, J. M. Seo, and J. H. Kim, *The 2nd International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers*, Bangkok, Thailand, **BC-P23**, 2007.