



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาการใช้ lignin จากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ
เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า”

โดย

ดร.ศิริลักษณ์ เลี้ยงประยูร

สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดร.จักรพล สุนทรวราภาส

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

ดร.วราวุฒิ ศุภมิตรมงคล

สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มกราคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG5950042

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาการใช้ lignin จากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ
เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า”

โดย

ดร.ศิริลักษณ์ เลี้ยงประยูร

ดร.จักรพล สุนทรวรภาส

ดร.วราวุฒิ ศุภมิตรมงคล

สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มกราคม 2561

สารบัญภาพ	5
หน้า.....	5
สารบัญตาราง	6
หน้า.....	6
บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary).....	7
บทคัดย่อ.....	9
Abstract.....	10
บทที่ 1 บทนำ	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	11
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	11
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	12
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
2.1 คาร์บอนไฟเบอร์.....	13
2.2 Lignin	16
บทที่ 3 การศึกษาคุณภาพ lignin จากกากอ้อย	22
3.1 การสกัด lignin.....	22
3.1.1 ผลได้การสกัด lignin จากกากอ้อยโดยใช้ต่าง	22
3.2 การวิเคราะห์โครงสร้าง คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ lignin.....	22
3.2.1 Thermogravimetric analysis (TGA).....	23
3.2.2 Differential scanning calorimetry (DSC).....	24
3.2.3 Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR).....	25
เอกสารอ้างอิง	27
บทที่ 4 การเตรียมเส้นใยผสมระหว่าง lignin และพอลิเมอร์.....	29
4.1 การศึกษาการเลือกใช้พอลิเมอร์ ตัวทำละลาย และความเข้มข้นที่เหมาะสม	29
4.2 การศึกษาการผสมสารละลายผสมเพื่อการขึ้นรูป	29
4.3 การศึกษาการขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง lignin และพอลิเมอร์	30
4.3.1 การเลือกใช้ PAN	31
4.3.2 การเลือกใช้ PVP.....	31
4.4 การผลิตเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใย lignin ผสมพอลิเมอร์	31
4.4.1 Stabilization step.....	31
4.4.2 Carbonization step.....	32
4.5 คุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน.....	38

4.5.1 คุณสมบัติพื้นที่ผิวและการใช้ประโยชน์	38
4.5.2 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าและการใช้ประโยชน์	39
4.5.3 แนวทางการใช้ประโยชน์.....	41
เอกสารอ้างอิง	44
บทที่ 5 ต้นทุนการผลิต Carbon Nanofiber	46
5.1 แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนการผลิต	46
5.2 แนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้.....	49
5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ด้วย Lignin จากชานอ้อย.....	50
5.4 การศึกษาความเป็นไปได้ทางการผลิตเบื้องต้น	54
5.4.1 ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค.....	54
5.4.2 ความเป็นไปได้ทางการตลาด.....	56
5.4.3 ความเป็นไปได้ทางการเงิน	62
5.5 สรุปความเป็นไปได้ด้านการผลิตเบื้องต้น	64
เอกสารอ้างอิง	65
บทที่ 6 แนวทางการพัฒนาการใช้คาร์บอนนาโนไฟเบอร์	67
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	72

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างของ graphene sheet	13
ภาพที่ 2 ห่วงโซ่คุณค่าของการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ (CF) และคาร์บอนไฟเบอร์เสริมแรง (CFRP).....	14
ภาพที่ 3 การประยุกต์ใช้คาร์บอนไฟเบอร์ในโครงสร้างรถยนต์รุ่น XL1 (Volkswagen) อุปกรณ์สกีของ Audi และ เครื่องบิน Boeing 787 Dreamliner.....	14
ภาพที่ 4 วิธีการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จาก PAN	15
ภาพที่ 5 สัดส่วนของต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จาก PAN	16
ภาพที่ 6 สารตั้งต้นหลักของกระบวนการชีวสังเคราะห์ของ lignin: H: <i>p</i> -coumaryl alcohol, G: coniferyl alcohol และ S: sinapyl alcohol.....	16
ภาพที่ 7 แบบจำลองโครงสร้างของ lignin จากต้นสน	17
ภาพที่ 8 การเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จาก lignin (Lignin valorization)	21
ภาพที่ 9 ผลได้การสกัด lignin ด้วย 1%NaOH (%โดยน้ำหนักกากอ้อย).....	22
ภาพที่ 10 กราฟ TGA ของ Kraft lignin และ lignin สกัดจากกากอ้อยฤดูการเก็บปี 2557 และ ปี 2558.....	23
ภาพที่ 11 สภาวะการทดสอบ Differential scanning calorimetry	24
ภาพที่ 12 กราฟ DSC ของ Kraft lignin และ lignin สกัดจากกากอ้อยฤดูการเก็บปี 2557 และ ปี 2558.....	25
ภาพที่ 13 FTIR Spectrum ของ lignin จากกากอ้อยฤดูกาลเก็บ 2557 (1) และ ฤดูกาลเก็บ 2558 (2).....	26
ภาพที่ 14 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยพอลิเมอร์ PAN	32
ภาพที่ 15 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสมระหว่างพอลิเมอร์ PAN และ lignin ที่สกัดจากกากอ้อย	32
ภาพที่ 16 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยพอลิเมอร์ PVP	38
ภาพที่ 17 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสมระหว่างพอลิเมอร์ PVP และ lignin ที่สกัดจากกากอ้อย	38
ภาพที่ 18 การใช้ประโยชน์ของเส้นใย carbon nanofiber	40
ภาพที่ 19 ความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์จากวัสดุตั้งต้นที่แตกต่างกัน	41
ภาพที่ 20 การใช้งานและราคาของเส้นใยคาร์บอนในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม	42
ภาพที่ 21 เส้นใยนำไฟฟ้าจากการผสมเส้นใยคาร์บอนลงในเส้นใยกลุ่มอุตสาหกรรมถักทอ	42
ภาพที่ 22 การใช้ประโยชน์เส้นใยคาร์บอนในรูปแบบวัสดุเพื่อการสะสมพลังงานให้กับพาหนะ	43
ภาพที่ 23 การเคลื่อนย้ายของต้นทุนผลิตภัณฑ์.....	49
ภาพที่ 24 กระบวนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในโครงการ	51
ภาพที่ 25 การเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จาก lignin (Lignin valorization).....	55
ภาพที่ 26 โครงสร้างต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ด้วย lignin จากชานอ้อยระดับห้องปฏิบัติการ.....	69

ตารางที่ 1	น้ำหนักโมเลกุลและ functional groups ของ lignin จากวิธีการสกัดต่างๆ	19
ตารางที่ 2	ข้อมูลคุณภาพ ปริมาณการผลิต และมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก lignin ประเภทต่าง ๆ.....	20
ตารางที่ 3	ค่า maximum decomposition temperature (DTG_{max}) และส่วนที่คงเหลือที่อุณหภูมิ 800°C	24
ตารางที่ 4	สรุปการผสมสารละลายผสม lignin เพื่อการขึ้นรูปเส้นใย.....	30
ตารางที่ 5	สภาวะและลักษณะของเส้นใยคาร์บอน จากเส้นใย PAN ผสม.....	34
ตารางที่ 6	สภาวะและลักษณะของเส้นใยคาร์บอน จากเส้นใย PVP ผสม	36
ตารางที่ 7	พื้นที่ผิวและขนาดของเส้นใยคาร์บอน.....	39
ตารางที่ 8	เวลาที่ใช้ในการคาร์บอนนาโนไฟเบอร์	52
ตารางที่ 9	ปริมาณผลผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ได้จากกระบวนการผลิตในโครงการ	52
ตารางที่ 10	ต้นทุนรวมการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ระดับห้องปฏิบัติการ	53
ตารางที่ 11	สรุปและเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ Carbon Fiber และ Carbon Nonofiber.....	56
ตารางที่ 12	สถิติการนำเข้า Carbon Fiber ปี 2555-2559	60
ตารางที่ 13	สถิติการนำเข้าลิกนิน ปี 2555-2559.....	61
ตารางที่ 14	รายละเอียดผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่วางจำหน่ายเชิงพาณิชย์	62
ตารางที่ 15	คุณสมบัติคาร์บอนไฟเบอร์ที่ผลิตด้วยลิกนินจากขาน้อย	63
ตารางที่ 16	สรุปราคาคาร์บอนไฟเบอร์ และคาร์บอนนาโนไฟเบอร์	64

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

เนื่องจากปัญหาการลดลงของแหล่งพลังงานปิโตรเลียมส่งผลให้ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหาสารประกอบจากพืชที่สามารถลดการใช้หรือทดแทนการใช้วัตถุดิบที่มาจากน้ำมันดิบได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง เช่น การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชเพื่อเป็นเชื้อเพลิง และการผลิต bioplastic เป็นต้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าการนำ lignocellulosic material โดยเฉพาะที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งหรือผลผลิตพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสำหรับวัสดุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการแข่งขันทางด้านวัตถุดิบกับพืชอาหาร ปัจจุบันการใช้ประโยชน์หลักจากกากอ้อยซึ่งมีประมาณ 30 ล้านตันต่อปี คือเพื่อการผลิตพลังงาน กากอ้อยปริมาณดังกล่าวประกอบด้วย lignin ประมาณ 20% โดยน้ำหนักหรือคิดเป็นประมาณ 6 ล้านตัน แต่ไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์โดยสาเหตุหลักเนื่องมาจากต้องนำกากอ้อยมาผ่านกระบวนการสกัดด้วยกรดหรือด่างเพื่อแยก lignin ออกจากโครงสร้าง จากงานของคณะนักวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากากอ้อยที่นำมาผ่านกระบวนการสกัดแยก lignin ยังสามารถนำกลับไปเผาเพื่อผลิตพลังงานได้โดยให้ค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกับกากอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทั่วไป ดังนั้นการสกัด lignin เพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากกากอ้อยได้อย่างคุ้มค่ามากขึ้น เช่น คาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่ได้รับความนิยมจากอุตสาหกรรมหลายประเภทตั้งแต่สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง เช่น ยานอวกาศ อาวุธ เครื่องบิน ไปจนถึงอุปกรณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์กีฬา เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีคุณสมบัติโดดเด่นคือ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ คาร์บอนไฟเบอร์ที่ผลิตในปัจจุบันใช้ polycrylonitrile (PAN) ซึ่งได้จากปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบหลัก อย่างไรก็ตามทั้งราคาของ PAN ที่สูงและผันผวนตามราคาน้ำมันดิบและกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องทำให้คาร์บอนไฟเบอร์มีราคาสูงและยังจำกัดอยู่ในการใช้งานที่มีความจำเพาะ เช่น โครงเครื่องบิน รถยนต์ high-end

ในงานวิจัยนี้จะได้ศึกษาการนำ lignin ที่สกัดได้จากกากอ้อยมาทดลองผลิต carbon fiber ด้วยเทคนิค electrospinning และเปรียบเทียบคุณสมบัติของ carbon fiber ที่ได้กับ carbon fiber ที่เตรียมจากสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมคือ polyacrylonitrile (PAN) และ lignin ทางการค้า (kraft lignin และ lignosulfonate) โดยสามารถสรุปผลงานวิจัยในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. กระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอนจาก lignin ด้วยเทคนิค electrospinning

- การขึ้นรูปเส้นใยคาร์บอน สามารถทำได้ในระบบ Copolymer system (PAN + lignin) เนื่องจากโครงสร้างของ lignin เป็นกึ่งก้านทำให้ไม่เอื้อต่อการขึ้นรูปเส้นใยโดยกระบวนการ electrospinning ในลักษณะเชิงเดี่ยว สัดส่วนของ PAN : lignin ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือ 75: 25 โดยน้ำหนักละลายใน DMSO สถานะการขึ้นรูปด้วยเครื่อง electrospinning ต้นแบบใช้ความต่างศักย์ 12 kV ระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดโลหะและแผ่นรับเส้นใยที่ 12 ซม.

2. คุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์จาก lignin

- เมื่อผ่านกระบวนการ thermal stabilization (250 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาทีก และคงที่ 3 ชั่วโมง) และ carbonization (800 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส/นาทีก และคงที่ 1 ชั่วโมง) จะได้เส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (carbon nanofiber) จาก PAN/lignin ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 171 นาโนเมตร ซึ่งเล็กกว่าเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ได้จาก PAN ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์จาก PAN/lignin มีขนาดพื้นที่ผิว (414 ตารางเมตร/กรัม) ซึ่งสูงกว่าเส้นใยจาก PAN (346 ตารางเมตร/กรัม) การเพิ่ม lignin มีผลต่อขนาดพื้นที่ผิว

ของเส้นใยเนื่องจากการเพิ่มความไม่เป็นระเบียบ (structural disorder) บนเส้นใยคาร์บอน สำหรับคุณสมบัติการนำไฟฟ้าพบว่า การแทนที่ PAN ด้วย lignin ส่งผลให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลง และ lignin ทางการค้าให้ค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า lignin จากกากอ้อยเมื่อใช้อัตราส่วนที่เท่ากัน ซึ่งคุณสมบัติการนำไฟฟ้านี้สามารถปรับปรุงได้โดยใช้อุณหภูมิการเผาที่สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของโครงการ

3. การประเมินต้นทุนและความเป็นไปได้เบื้องต้น

- **ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค** ผลจากงานวิจัยพบว่าสามารถขึ้นรูปเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ด้วย lignin จากกากอ้อย และสามารถผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์โดยไม่มีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคในระดับห้องปฏิบัติการ ในด้านการขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับการผลิตเชิงพาณิชย์นั้น พบว่าไม่มีปัญหาด้านปริมาณวัตถุดิบกากอ้อยในการนำมาใช้ผลิต lignin แต่ในด้านกระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอนมีข้อจำกัดเชิงเทคนิคในขั้นตอนการเผาเนื่องจากเตาเผาขนาดใหญ่ที่สามารถใช้อุณหภูมิสูง (1,000 – 3,000 องศาเซลเซียส) มีราคาสูง

- **ความเป็นไปได้ทางการเงิน** ราคาคาร์บอนไฟเบอร์ทางการค้าอยู่ในช่วงประมาณ 780 – 2,300 บาท/กรัม เมื่อพิจารณาจากราคาจำหน่ายแล้ว มีราคาต่ำกว่าต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในระดับห้องปฏิบัติการของโครงการ (388.22 บาท) แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ทางด้านราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากพิจารณาจากราคาจำหน่ายจากเว็บไซต์ที่มีความน่าเชื่อถือแล้ว ยังมีผลต่างระหว่างต้นทุนและราคาประมาณ 400 บาท หรือประมาณร้อยละ 50 เป็นอย่างน้อย

- **ความเป็นไปได้ทางการตลาด** จากการสำรวจความคิดเห็นผู้ประกอบการเบื้องต้นและข้อมูลสถิติการนำเข้าคาร์บอนไฟเบอร์ พบว่าตลาดคาร์บอนไฟเบอร์มีการเติบโตขึ้นทุกปี นอกจากนี้ยังมีโอกาสในระดับภูมิภาคเนื่องจากยังไม่มีผู้ผลิตที่สามารถผลิตสินค้าได้มาตรฐานสากล อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีบริษัทผู้ผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นบริษัทที่นำเข้าคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อมาจำหน่ายในประเทศ

4. การใช้ประโยชน์ของเส้นใย carbon nanofiber ที่พัฒนาจากโครงการ

- **ศักยภาพของเส้นใยคาร์บอนจากโครงการ** เป็นเส้นใยคาร์บอนที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรซึ่งจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุในน้ำหนักรที่เท่ากัน ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการนำส่งกระแสไฟฟ้าและการสะสมประจุเนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิว ทำให้เส้นใยคาร์บอนในระดับนาโนเมตรมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก

- **ข้อจำกัด** หากต้องการคุณสมบัติด้านความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์เพื่อรองรับอุตสาหกรรมด้านการเก็บประจุไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการ carbonization โดยการใช้อุณหภูมิการเผาที่สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส

- **ทางเลือกในการใช้ประโยชน์** เนื่องจากเส้นใยที่ได้มีคุณสมบัติเด่นด้านพื้นที่ผิวที่สูง ซึ่งหากมีข้อจำกัดด้านการเผาเพื่อผลิตเป็น คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติเด่นนี้ เช่น วัสดุกักเก็บอนุภาค ได้แก่ การใช้เป็น catalyst support ในปฏิกิริยาทางเคมีและการดูดซับสี และโลหะหนักในอุตสาหกรรมเคมี

บทคัดย่อ

Lignin ได้จากวัสดุเหลือทิ้งและผลผลิตพลอยได้ทางการเกษตรและนับเป็นแหล่งคาร์บอนหมุนเวียนขนาดใหญ่แหล่งหนึ่งแต่มีการศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับชีวมวลจากแหล่งอื่น เนื่องจากปัญหาการลดลงของน้ำมันดิบซึ่งปัจจุบันใช้ในการผลิตสารตั้งต้นในการผลิต polymer หลายชนิด ทำให้เกิดความตื่นตัวในงานวิจัยที่จะค้นหาแหล่งคาร์บอนจากพืชมาใช้ประโยชน์เพื่อลดการใช้หรือนำมาทดแทนสารเคมีที่เตรียมจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่เป็นแหล่งวัตถุดิบที่ใช้แล้วหมดไป ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัด lignin จากกากอ้อยซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาลด้วยการใช้ต่างความเข้มข้นต่ำเพื่อนำมาทดลองใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต carbon fiber ด้วยเทคนิค electrospinning เปรียบเทียบกับการใช้ polyacrylonitrile (PAN) ที่เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมการผลิต carbon fiber ซึ่งได้จากปิโตรเลียมและมีราคาสูง ในงานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของ lignin ที่สกัดได้จากกากอ้อยด้วยเทคนิค FTIR, TGA และ DSC เพื่อใช้เป็นข้อมูลร่วมกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป carbon nanofiber พบว่า lignin จากกากอ้อยมีค่า maximum decomposition temperature (DTG_{max}) อยู่ที่ประมาณ 350 – 355 °C และมีค่า melting temperature อยู่ที่ประมาณ 150 °C ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการเลือกอุณหภูมิเพื่อเผาในกระบวนการ thermal stabilization เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใย ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขึ้นรูปเส้นใยพบว่าไม่สามารถใช้ lignin เพียงอย่างเดียวเพื่อขึ้นรูปเส้นใยได้ โดยพบว่าการใช้ PAN และ lignin ในตัวทำละลาย DMSO ที่อัตราส่วน PAN และ lignin เท่ากับ 75% และ 25% ตามลำดับ สามารถขึ้นรูปเส้นใยได้ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการ stabilization (250 °C/3 ชั่วโมง) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใย และ carbonization (800 °C/1 ชั่วโมง) ให้โครงสร้างของคาร์บอนมีการจัดเรียงตัวใหม่ พบว่าเส้นใย carbon nanofiber ที่ได้มีขนาดพื้นที่ผิวเส้นใยเฉลี่ยอยู่ที่ 414 m²/g โดยสัดส่วนของ lignin ที่เพิ่มขึ้นในเส้นใยมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว แต่การเพิ่มปริมาณ lignin มีแนวโน้มทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเพิ่มสัดส่วน amorphous structure ให้กับระบบเส้นใยในระหว่างการนำไฟฟ้าขึ้น โครงสร้างผลึก crystalline structure มีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากข้อจำกัดของเตาเผาที่มีทำให้สามารถใช้ช่วงการเผา (Carbonization step) ได้เพียงหนึ่งช่วง ซึ่งอาจยังไม่สามารถทำให้เกิดการจัดเรียงตัวโครงสร้างของ lignin ที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการเผาเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติด้านพื้นผิวและการนำไฟฟ้าของเส้นใย carbon nanofiber ซึ่งหากสามารถปรับช่วงการเผาที่เหมาะสมได้คาดว่าจะสามารถเห็นความแตกต่างได้มากขึ้น เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดจากการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการนี้ไปคำนวณต้นทุนการผลิต พบว่าต้นทุนการผลิต carbon nanofiber ต่อกรัมเท่ากับ 388.22 บาท หรือกิโลกรัมละ 388,219.53 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาจำหน่ายของผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในท้องตลาด พบว่ายังมีช่องว่างระหว่างต้นทุนการผลิตของคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ผลิตในโครงการ กับราคาจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด จึงมีความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน แต่ควรมีการศึกษาทางด้านเทคนิคเกี่ยวกับการผลิตระดับต้นแบบ หรือ Pilot Scale ก่อนการผลิตเชิงพาณิชย์ และเนื่องจากราคาของคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ความบริสุทธิ์ และปริมาณในการสั่งซื้อ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติมตามการใช้ประโยชน์ที่ต้องการ เช่น การนำไฟฟ้า คุณสมบัติในการดูดซับ โลหะหนัก คุณสมบัติในการสร้างพันธะ กล่าวคือจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิค การตลาด และการเงิน (ต้นทุน) เบื้องต้นมีความเป็นไปได้ในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ด้วย lignin จากกากอ้อย แต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์

Abstract

Lignin obtained from agricultural by products and wastes is now the largest renewable carbon sources. However, a number of researches carried out on lignin utilization are very limited compared to other biomass. Due to petroleum crisis, carbon sources from plants are now gained much attention as it could potentially replace some petroleum based-chemicals used in various polymer industries. This present work aims to use lignin extracted from sugarcane bagasse under mild alkali condition to be a raw material of electrospun carbon nanofiber in comparison with polycrylonitrile (PAN), an expensive commercial raw material for carbon fiber production. The physic-chemical properties of extracted lignin from bagasse were determined using FTIR, TGA and DSC to obtain basic information for carbon nanofiber production. A maximum decomposition temperature (DTG_{max}) and melting temperature were 350 – 355°C and 150°C, respectively. For nanofiber production, lignin alone was found not suitable for electrospinning process while in the mixture form of PAN and lignin solution in DMSO at the ratio of 75:25 (w/w) was successfully spun. The spun fiber was subjected to stabilization (250°C/1 h) to increase strength and carbonization steps (800°C/1 h) for carbon structural reorganization. The obtained carbon nanofiber had an average surface area of 414 m²/g and surface area seems to increase with an increasing of lignin proportion. However, an increase of lignin also resulted in decreasing of conductivity. This could be explained by the fact that conductivity could be increased by crystalline structure but increasing of lignin increase more amorphous structure. Nevertheless, this could have been improved if the carbonization could be adjusted which is not the situation of the project. The production detail at laboratory scale was further used from economical study. The results showed that the cost of carbon nanofiber was 388.22 THB/g or 388,219.53 THB/kg. Comparison with an available commercial carbon nanofiber showed that the current cost from laboratory scale still has a chance to commercialize under the condition of technical improvement with larger production scale (pilot scale). In addition, the price of carbon nanofiber rely on the properties and ordered amount, therefore the specific detail in certain properties such as conductivity or metal ion absorptivity could be also studies. To conclude, technical and economic studies showed that carbon nanofiber produced from extracted lignin from bagasse could be potentially developed but not yet in a commercial scale.

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากปัญหาการลดลงของแหล่งพลังงานปิโตรเลียมปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาหาสารประกอบจากพืชที่สามารถลดการใช้หรือทดแทนการใช้วัตถุดิบที่มาจากน้ำมันดิบได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง เช่น การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชเพื่อเป็นเชื้อเพลิง และการผลิต bioplastic เป็นต้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าการนำ lignocellulosic material โดยเฉพาะที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งหรือผลผลิตพลอยได้ทางการเกษตรเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาการแข่งขันทางด้านวัตถุดิบกับพืชอาหาร

lignocellulosic material ของวัสดุเหลือทิ้งหรือผลผลิตพลอยได้ทางการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่เป็น non-wood lignocellulose (ซังข้าวโพด ฟางข้าว กากอ้อย) ประกอบด้วย cellulose hemicellulose และ lignin ในอัตราส่วนโดยเฉลี่ยประมาณ 35 – 60%, 20 – 33% และ 8 - 20% ตามลำดับ ต่างกันไปตามชนิดของพืช [1] ปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากกากอ้อยซึ่งมีประมาณ 30 ล้านตันต่อปีใช้ในการผลิตพลังงานกากอ้อยปริมาณดังกล่าวประกอบด้วย lignin ประมาณ 20% โดยน้ำหนักหรือคิดเป็นประมาณ 6 ล้านตัน แต่ไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์โดยสาเหตุหลักเนื่องมาจากต้องนำกากอ้อยมาผ่านกระบวนการสกัดด้วยกรดหรือด่าง อย่างไรก็ตามจากงานของคณะนักวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากากอ้อยที่นำมาผ่านกระบวนการสกัดแยก lignin ยังสามารถนำกลับไปเผาเพื่อผลิตพลังงานได้โดยให้ค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกับกากอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทั่วไป ดังนั้นการสกัด lignin เพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าจะทำให้เกิดการใช้ประโยชน์จากกากอ้อยได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้าง lignin พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากนำไปศึกษาการใช้ประโยชน์ในด้านวัสดุศาสตร์เนื่องจากเป็น macropolymer ขนาดใหญ่และมี functional groups จำนวนมากที่สามารถนำไปดัดแปรโครงสร้างด้วยวิธีการทางเคมีได้ ในงานวิจัยนี้จะได้ศึกษาการนำ lignin ที่สกัดได้จากกากอ้อยมาทดลองผลิต carbon fiber ด้วยเทคนิค electrospinning และเปรียบเทียบคุณสมบัติของ carbon fiber ที่ได้กับ carbon fiber ที่เตรียมจากสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมผลิต carbon fiber คือ polyacrylonitrile (PAN) รวมทั้งการทดลองนำ lignin ทางการค้ามาใช้ในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเทียบกับ lignin ที่สกัดได้จากกากอ้อย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิต carbon fiber จาก lignin ที่สกัดจากกากอ้อยด้วยเทคนิค electrospinning
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของ carbon fiber ที่ได้จากการผลิตด้วย Polyacrylonitrile (PAN) lignin ทางการค้า (kraft lignin และ lignosulfonate) และ lignin ที่สกัดได้จากกากอ้อย
3. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต carbon fiber จากสารตั้งต้นแต่ละชนิดในระดับห้องปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดลองปรับปรุงโครงสร้างของ lignin ด้วยวิธีการ acetylation เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและประเมินความสามารถในการขึ้นรูปเส้นใยทั้งในด้านการปรับสภาวะกระบวนการผลิตและความสามารถในการขึ้นรูปเส้นใยด้วย lignin เพียงอย่างเดียวและจากการใช้พอลิเมอร์เป็นตัวช่วยในการขึ้นเส้นใยเพื่อการผลิต carbon fiber

2. ศึกษาและประเมินเส้นใย carbon fiber ที่มาจาก lignin ที่ได้จากการสกัดกากอ้อยด้วยต่างในการผลิต เปรียบเทียบ carbon fiber ที่ได้มาจาก lignin ทางการค้า (kraft lignin) และ polyacrylonitrile (PAN) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต carbon fiber

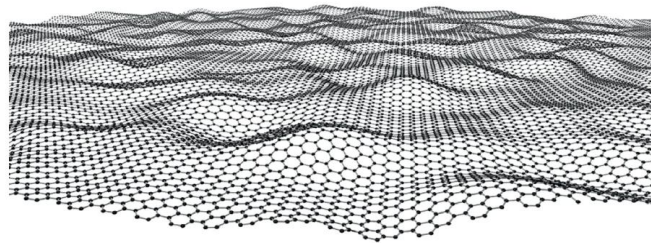
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- สถานะการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ด้วย lignin จากกากอ้อยโดยใช้เทคนิค electrospinning และคุณสมบัติของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ได้เปรียบเทียบกับการใช้ lignin ทางการค้าและ PAN เป็น precursor
- ข้อมูลต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ในระดับห้องปฏิบัติการและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จาก lignin จากกากอ้อย

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คาร์บอนไฟเบอร์

คาร์บอนไฟเบอร์หรือเส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่ได้รับความสนใจจากอุตสาหกรรมหลายประเภทตั้งแต่สิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง เช่น ยานอวกาศ อาวุธ เครื่องบิน ไปจนถึงอุปกรณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์กีฬา เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีคุณสมบัติโดดเด่นคือ มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูงมาก เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ องค์ประกอบของคาร์บอนไฟเบอร์มีลักษณะเช่นเดียวกับถ่านและ graphite คือประกอบด้วยคาร์บอนอย่างน้อย 90% เกิดจากเส้นใยคาร์บอนขนาดเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 – 100 μm [2] โดยโครงสร้างของอะตอมคาร์บอนเรียงตัวกันในลักษณะ graphine sheet (ภาพที่ 1) พับเรียงตัวกันแบบสุ่มตามแนวยาวของเส้นใย (interconnected and folded carbon ribbon) โครงสร้างคาร์บอนที่พับเรียงตัวกันไปมาทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนที่ของเส้นใยคาร์บอนส่งผลให้โครงสร้างมีความแข็งแรงสูง



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ graphine sheet [3]

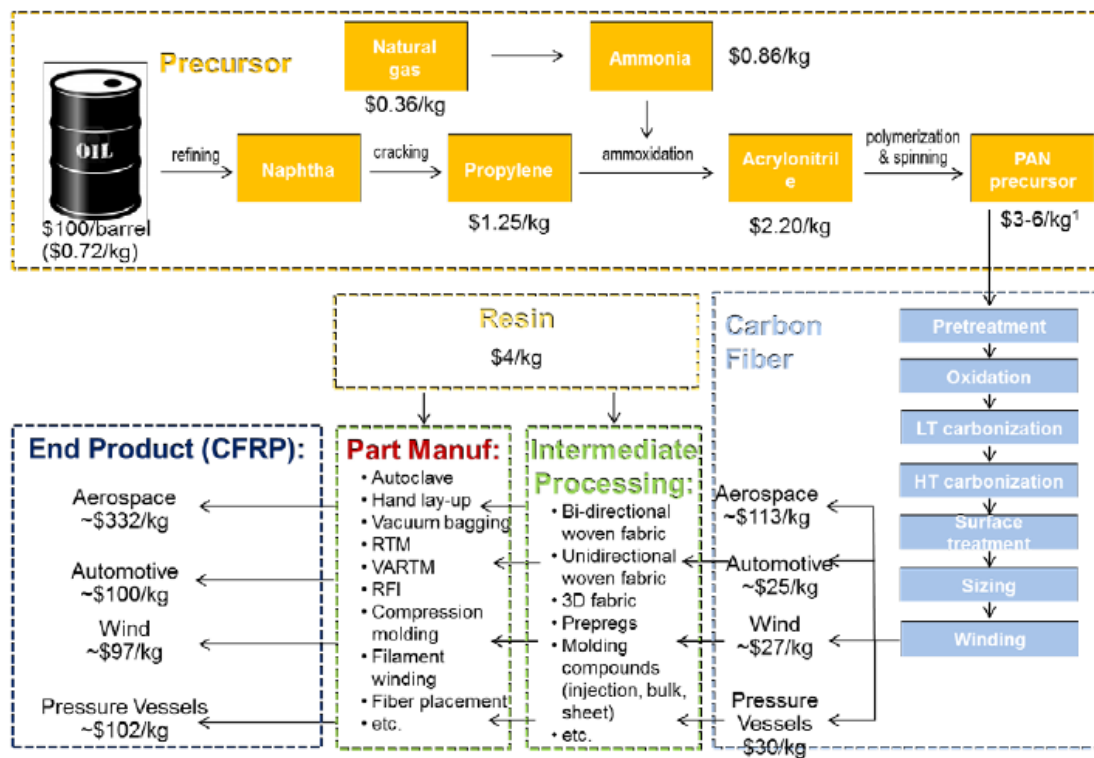
ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทคาร์บอนไฟเบอร์ตามค่าโมดูลัส [4]

Type	Modulus (gigapascals [Gpa])	Strength (megapascals [Mpa])	Tow size (K)	Application
Standard modulus	230	3,500	12-50	 12K tow Automotive, Aerospace
Intermediate modulus	400	5,000	3-24	 3K tow Pressure Vessels, Wind turbine blades, Aerospace
High Modulus	500	3,500	1-12	 1K tow Aerospace

สามารถแบ่งประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ได้ตามคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและขนาดในหน่วย Tow size (K) ซึ่ง 1K แทนจำนวนเส้นใย 1,000 เส้น โดย Tow ที่จัดเป็นขนาดเล็ก (small tow) มีขนาด 1K,

3K, 6K, 12K และ 24K และ Tow ขนาด 48 – 50K จัดเป็น Tow ขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาด้านความแข็งแรง สามารถแบ่งตามค่าโมดูลัส (Modulus) ซึ่งเป็นค่าความต้านทานของวัสดุต่อการเปลี่ยนรูปเมื่อได้รับแรงกระทำ ได้ 3 ระดับคือ ค่าโมดูลัสมาตรฐาน (Standard Modulus) ค่าโมดูลัสปานกลาง (Intermediate modulus) และค่าโมดูลัสสูง (high modulus) โดยความแข็งแรงของคาร์บอนไฟเบอร์สัมพันธ์ในเชิงบวกกับค่าโมดูลัส (ตารางที่ 1) คาร์บอนไฟเบอร์ที่มีลักษณะเป็น Tow โดยมากมักประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างหรือวัสดุที่ต้องการความแข็งแรง แต่นอกจากนี้อาจในรูปเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์มีการผลิตในรูปผงเช่นกัน (ภาคผนวก) โดยมักใช้เพื่อผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นเพื่อเสริมแรงหรือปรับปรุงคุณสมบัติรวมทั้งผสมในงานที่ต้องการความสามารถในการนำไฟฟ้า หรือลดการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ เช่น สี เรซิน

คาร์บอนไฟเบอร์ที่ผลิตในปัจจุบันใช้ polycrylonitrile (PAN) ซึ่งได้จากปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบหลัก (precursor) แต่เนื่องจากราคาของ PAN ที่สูงและผันผวนตามราคาน้ำมันดิบและกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในห่วงโซ่คุณค่าในภาพที่ 2 ทำให้คาร์บอนไฟเบอร์ยังคงมีราคาสูงและยังจำกัดอยู่ในการใช้งานที่มีความจำเพาะ เช่น โครงสร้างเครื่องบิน กังหันลมเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า รถยนต์ high-end (ภาพที่ 3)



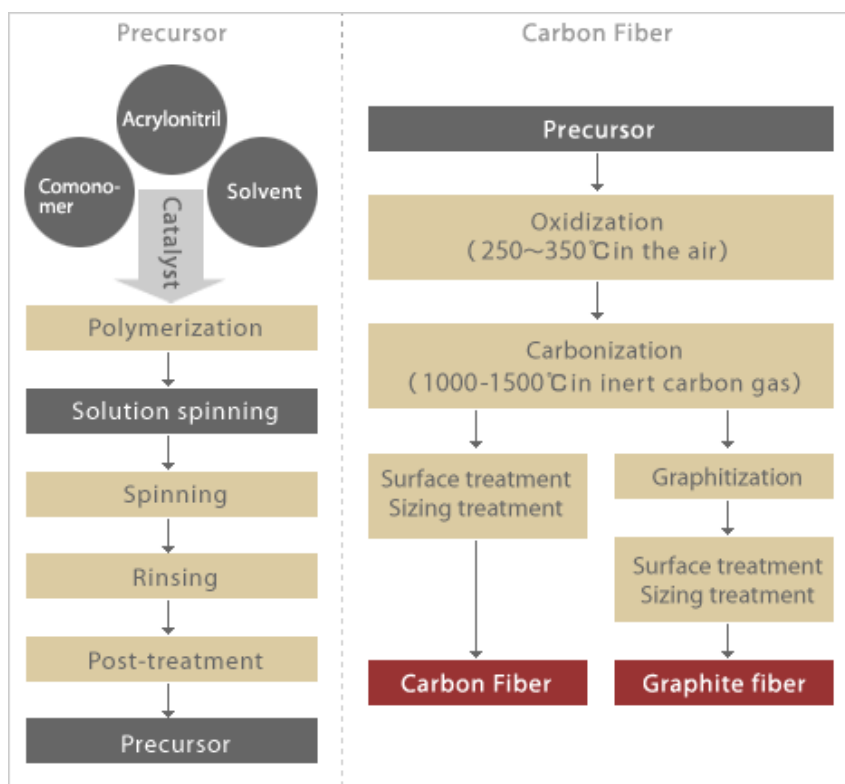
ภาพที่ 2 ห่วงโซ่คุณค่าของการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ (CF) และคาร์บอนไฟเบอร์เสริมแรง (CFRP) [4]



ภาพที่ 3 การประยุกต์ใช้คาร์บอนไฟเบอร์ในโครงสร้างรถยนต์รุ่น XL1 (Volkswagen) อุปกรณ์สกีของ Audi และ เครื่องบิน Boeing 787 Dreamliner [5]

▪ การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์

การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เริ่มต้นจากวัตถุดิบในที่นี่เรียกว่า precursor ซึ่งกว่า 80% ในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ใช้ PAN และมีบางส่วนใช้ Pitch หรือ Coal Tar (ภาพที่ 4) ซึ่งสารทั้งสองชนิดได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในขั้นตอนการผลิต precursor จะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นใยด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน โดย wet spinning เป็นเทคนิคที่ใช้โดยทั่วไปในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ ในปัจจุบันมีการใช้ dry jet wet และ melt spinning ในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยเช่นกัน จากนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทนความร้อน (thermal stabilization) precursor จะถูกนำไปเผาที่อุณหภูมิ 250-300 °C เวลาที่ใช้ต่างกันไปตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยและชนิดของ precursor ในขั้นตอนนี้โครงสร้างของ PAN ที่เป็น linear polymer จะถูกเปลี่ยนเป็นโครงสร้างที่เป็นวงแหวน จากนั้นจะต้องนำไปผ่านกระบวนการ carbonization ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 – 1500 °C เพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามที่ต้องการ ในกรณีที่ต้องการความแข็งแรงสูงจะมีการนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงชันมากกว่า 1600 – 1800 °C หรืออาจถึง 3000 °C ซึ่งเรียกว่ากระบวนการ graphitization เป็นการเพิ่มค่า modulus ของคาร์บอนไฟเบอร์ [6]

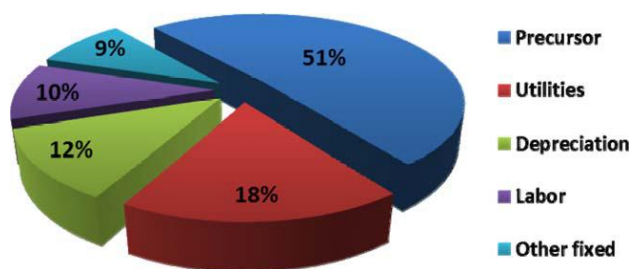


ภาพที่ 4 วิธีการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จาก PAN

ที่มา: https://www.tohotenax.com/tenax/en/products/pro_carbon02.php

ปัจจุบันต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ส่วนใหญ่เกิดจากราคาของ precursor ซึ่งมาจากปิโตรเลียม รวมถึงเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการผลิต ซึ่งการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จาก PAN พบว่ากว่า 50% ของต้นทุนการผลิตมาจากราคาของ precursor (ภาพที่ 5) ในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีนโยบายในการลดการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบโดยการผลิตพาหนะที่สามารถประหยัดพลังงานได้พบว่าการใช้คาร์บอนไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบของรถยนต์สามารถลดน้ำหนักของรถลงได้ถึง 60% แต่การใช้วัสดุดังกล่าวทำให้ราคาต้นทุนการ

ผลิตเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า ซึ่งต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ในปัจจุบันสูงกว่า 30 USD/kg ในขณะที่ราคาที่อุตสาหกรรมยานยนต์ต้องการอยู่ที่ประมาณ 11 – 15.40 USD/kg [7]



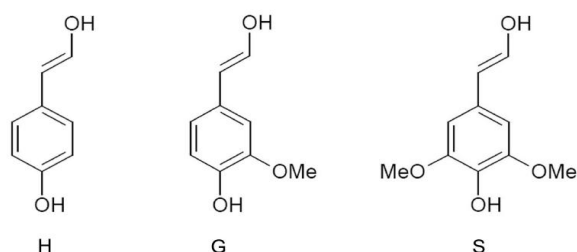
ภาพที่ 5 สัดส่วนของต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จาก PAN
ที่มา Baker et al (2013) [7]

งานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์จึงมักมุ่งเน้นการแสวงหาวัตถุดิบทดแทนหรือทางเลือกที่มีราคาถูกกว่าหรือปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตให้มีราคาต่ำลงหรือทั้งสองแนวทางร่วมกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาวัตถุดิบคิดเป็นมูลค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของต้นทุน จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่สนใจการศึกษาวัตถุดิบใหม่มาใช้เป็น precursor ทดแทน PAN

2.2 Lignin

▪ โครงสร้างของ lignin

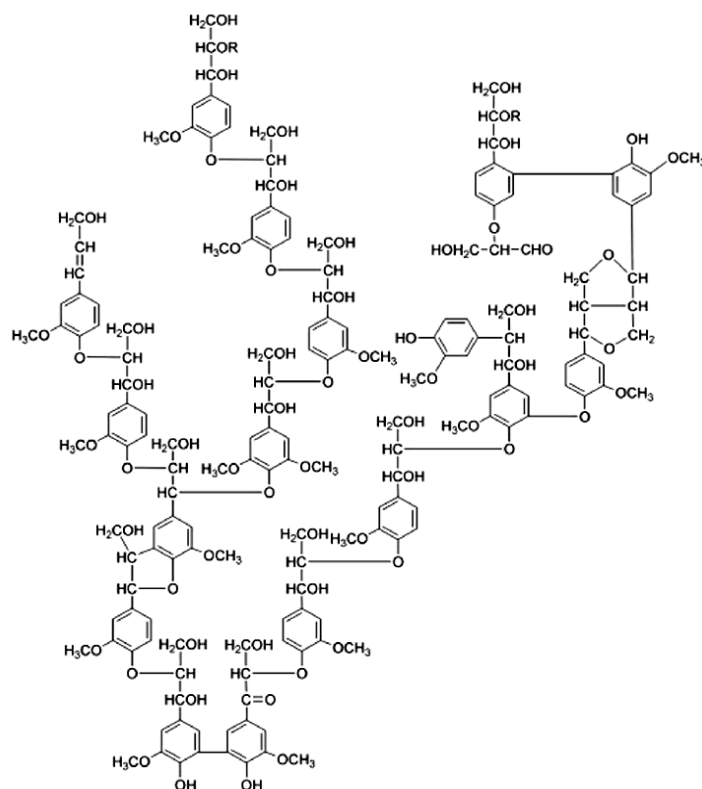
lignin จัดเป็นสารประกอบ phenolic ขนาดใหญ่ (1000 - 20000 g/mol) มีปริมาณคิดเป็น 25-35% ของโครงสร้างไม้และชีวมวลที่เป็น lignocellulose ซึ่งถือเป็นแหล่งทรัพยากรที่น่ากลับมาใช้ได้ที่สำคัญ กระบวนการสังเคราะห์ lignin ในพืชเริ่มจากกระบวนการ polymerization ของ monolignols หลักสามชนิดได้แก่ *p*-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol และ sinapyl alcohol (ภาพที่ 6) โดยโครงสร้างของ lignin จะประกอบขึ้นจาก monolignols ที่จับตัวกันเป็นโครงข่าย โดยการเชื่อมกันอาจเกิดที่ตำแหน่งใดของ phenolic unit ก็ได้ทำให้เกิดความหลากหลายของพันธะเคมีในโครงสร้างซึ่งอาจมีมากกว่า 20 ชนิด โดย β -O-4 ether linkage เป็นพันธะที่พบมากที่สุด ใน lignin ในไม้เนื้ออ่อน monolignols หลักที่พบคือ G-type ในขณะที่ไม้เนื้อแข็งจะประกอบด้วยทั้ง S-type และ G-type โดยมีปริมาณของ S-type มากกว่า ในกลุ่มพืชที่เป็น non-wood เช่น ข้าว ข้าวโพดและอ้อยจะประกอบด้วย H-type เป็นหลัก [8]



ภาพที่ 6 สารตั้งต้นหลักของกระบวนการชีวสังเคราะห์ของ lignin: H: *p*-coumaryl alcohol, G: coniferyl alcohol และ S: sinapyl alcohol

ที่มา: Zabaleta (2012) [9]

กระบวนการการสังเคราะห์ lignin มีความซับซ้อนและมี degree of polymerization แตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและวิธีการในการสกัด ซึ่งอาจส่งผลต่อการแตกตัวหรือการแทนที่ (degree of substitution) ของ functional groups ในโครงสร้างและส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง lignin แม้ว่าโครงสร้างที่แท้จริงของ lignin ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนแต่มีงานวิจัยที่เสนอแบบจำลองโครงสร้างของ lignin จากสน (spruce) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แบบจำลองโครงสร้างของ lignin จากต้นสน
ที่มา Adler (1977) [10]

▪ การสกัด lignin

การสกัด lignin จากชีวมวลมักทำภายใต้สภาวะที่โครงสร้างของ lignin ถูกทำลายให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง เช่น การใช้กรดหรือด่างที่อุณหภูมิสูง ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ lignin ที่ได้ ปัจจุบัน lignin ทางการค้าได้มาจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเป็นหลัก โดยงานวิจัยจำนวนมากศึกษาผลของกระบวนการสกัด lignin จากพืชหลายชนิด [9, 11, 12] ที่ใช้ทั้งกรดและด่างในปฏิกิริยาโดยมากมีวัตถุประสงค์ในการนำ cellulose ไปใช้ประโยชน์ในขณะที่ lignin ถูกแยกออกในสภาพที่เป็นของเสีย สามารถจำแนกวิธีการที่ใช้โดยมากในการสกัด lignin ออกจากโครงสร้างพืชดังนี้

1. Sulfite process

เป็นกระบวนการที่เคยใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเยื่อ โดยสารเคมีหลักที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ metal sulfite และ sulfur dioxides ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตเยื่อคือ (1) ระหว่าง lignin และ free sulphurous ions ทำให้เกิด liginosulfonic acid (2) การเกิด liginosulfonates ในรูปเกลือกับ cation ของ Mg, Na และ NH₄⁺ และ (3) การแตกตัวของ liginosulfonates รวมถึงเกิดการสลายตัวของ

carbohydrates สภาวะที่ใช้กระบวนการนี้คือที่อุณหภูมิ 140 – 160 °C และค่า pH ระหว่าง 1.5 – 4 โดย bisulfite จะมีค่า pH ของปฏิกิริยาสูงกว่า acid sulfite

Lignin ที่ได้จากกระบวนการนี้อยู่ในรูปของ lignosulfonates ที่ละลายน้ำได้ โดยหากใช้ Sodium sulfite จะได้โครงสร้างของ lignin ที่เชื่อมต่อกัน ในขณะที่ Calcium sulfite จะให้โครงสร้างที่อัดแน่น (compact) มากกว่าซึ่งอาจเนื่องมาจากความเป็น chelate ของ Ca^{2+} ข้อจำกัดของการนำ lignosulfonate ไปใช้ประโยชน์คือ ปริมาณ sulfur ตกค้าง (ประมาณ 5%) ทำให้การนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างจำเพาะโดยมักนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

2. Kraft process

วิธีนี้ใช้ Sodium hydroxide และ sodium sulphide ในสภาวะต่างรุนแรงในการทำลาย ether bond ในโครงสร้างของ lignin โดยอุณหภูมิในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 150 °C ในช่วงแรกเป็น 150 - 170 °C ซึ่งการ delignification จะเกิดขึ้นกว่า 90% ในช่วงนี้ก่อนที่จะเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นกว่า 170 °C ในช่วงสุดท้าย หลังจากนั้น lignin จะถูกแยกออกจาก black liquor โดยการปรับ pH ด้วยกรดซึ่งโดยทั่วไปใช้ sulfuric acid ให้มีค่าระหว่าง 5 – 7.5

Lignin ที่ผลิตจาก Kraft process จะเรียกว่า kraft lignin โครงสร้างที่ได้จะมีส่วนที่เป็น aliphatic thiol groups และมีคุณสมบัติ hydrophobic ก่อนนำไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อเพิ่มความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และมีปริมาณ sulfur เหลือประมาณ 1-2 % ส่วนใหญ่มักนำไปใช้เป็นพลังงาน

3. Soda process

เป็นการสกัดในสภาวะที่เป็นด่างโดยนิยมใช้กับชีวมวลที่เป็นกลุ่ม non-wood เช่น กากอ้อย ฟางข้าว ปอแก้ว หรือสับปะรดเทศ โดยในกระบวนการจะใช้อุณหภูมิ 140-170 °C ใน reactor ที่ควบคุมความดัน ในต่างความเข้มข้น 13-16% โดยมากเป็น sodium hydroxide การใช้ด่างในการสกัดมักเกิด product จากกระบวนการ oxidation ของ aliphatic hydroxyl groups ที่เป็น carboxylic acid ที่อาจทำให้กรองยาก การใช้อุณหภูมิสูงก็เพื่อช่วยในการตกตะกอนของ lignin กระบวนการนี้ให้ lignin ที่เรียกว่า soda lignin ซึ่งไม่มี sulfur ปนเปื้อน มีปริมาณ hemicellulose เพียงเล็กน้อย จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

4. กระบวนการอื่น ๆ

เนื่องจากความต้องการในการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลายขึ้นเช่น การผลิต ethanol จาก cellulose จึงมีการพัฒนาวิธีการแยก lignin เพื่อนำส่วนอื่นไปใช้ประโยชน์ เช่น การใช้ pretreatment ร่วมกับการใช้กรด-ด่าง การใช้ ionic liquid รวมไปถึงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ (organosolv) เช่น ethanol หรือ methanol ร่วมกับกรด เช่น formic acids หรือ acetic acids ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่มี sulfur ปนเปื้อน และ lignin ที่ได้มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการนำไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต่อไป และมีความบริสุทธิ์มากกว่า lignosulfonates และ kraft lignin อย่างไรก็ตามวิธีนี้ให้ cellulose ที่มีคุณภาพต่ำกว่าวิธีอื่นและตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้นี้มักทำให้อุปกรณ์เสียหาย

คุณสมบัติทางกายภาพของ lignin เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดว่าสามารถนำ lignin ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร แม้ว่าการระบุโครงสร้างที่ชัดเจนยังไม่สามารถทำได้เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้นแต่ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักโมเลกุลและสัดส่วนของ functional groups สามารถให้ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับ reactivity ของ lignin จากแต่ละแหล่งและการนำไปปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีต่อไปได้ [8] คุณสมบัติของ lignin ที่ได้จากวิธีการสกัดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 น้ำหนักโมเลกุลและ functional groups ของ lignin จากวิธีการสกัดต่างๆ

Lignin type	M_n (g mol ⁻¹)	COOH (%)	OH phenolic (%)	Methoxy (%)
Soda (bagasse)	2160	13.6	5.1	10.0
Organosolv (bagasse)	2000	7.7	3.4	15.1
Soda (wheat straw)	1700	7.2	2.6	16
Organosolv (hardwood)	800	3.6	3.7	19
Kraft (softwood)	3000	4.1	2.6	14

ที่มา: Doherty et al. (2011)

▪ การใช้ประโยชน์จาก lignin

Lignin นับเป็นแหล่งคาร์บอนหมุนเวียนที่มีปริมาณมากที่สุดรองมาจาก cellulose ปัจจุบัน lignin ที่ได้จากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษถูกนำมาใช้ในเชิงการค้าคิดเป็นปริมาณเพียง 2% ของ lignin ทั้งหมด หรือคิดเป็น lignosulfonates ประมาณ 1,000,000 ตัน/ปี จาก sulphite pulping และ kraft lignin ประมาณ 100,000 ตัน/ปี จาก kraft process ตลาดที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำ เช่น dispersing agent, binding agent และสารเชื่อมเนื้อไม้ [13] โดยบางส่วนของ lignosulfonates ถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นสารตั้งต้นของวานิลลาสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามการประมาณปริมาณของ lignin ที่สามารถนำมาใช้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงในแต่ละปีทำได้ยากเนื่องจากขึ้นกับรูปแบบการนำชีวมวลไปใช้ประโยชน์ เช่น ในอุตสาหกรรมเยื่อ การผลิตไบเอทานอล และทางการเกษตรอื่น ๆ ว่ามีการแยกเอา lignin เพื่อออกไปใช้ประโยชน์หรือไม่

ในกลุ่มประเทศยุโรปและอเมริกามีหน่วยงานวิจัยที่เกิดจากการรวมกันของนักวิจัยจากทั้งสถาบันวิจัยและภาคเอกชนที่รวบรวมข้อมูลและทำงานวิจัยเกี่ยวกับการนำ lignin มาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ที่มีมูลค่าสูงกว่าที่กล่าวมาข้างต้น เช่น EuroLignin [13] และ LigniMatch [14] เป็นต้น โดยทุกกลุ่มมีเป้าหมายที่ต้องการศึกษาทั้งศักยภาพและจุดอ่อนของ lignin ตลอดจนแนวทางในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้มีการประเมินมูลค่าของผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่สามารถนำ lignin มาใช้ในกระบวนการผลิตได้แบ่งตามคุณภาพและความบริสุทธิ์ของ lignin ที่ได้จากวิธีการสกัดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 จากข้อมูลพบว่า Lignosulfonates ซึ่งมีปริมาณการผลิตมากกว่า Kraft lignin สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าต่ำกว่าและมูลค่าของผลิตภัณฑ์จะแปรผันตามความบริสุทธิ์ของ lignin

ตารางที่ 3 ข้อมูลคุณภาพ ปริมาณการผลิต และมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก lignin ประเภทต่าง ๆ

Lignin Type	World Annual Production (MT)	Lignin Purity ¹	Potential Products
Low-purity lignin	50,000,000	Low	Energy Refinery (carbon cracker)
Ligno-sulphonates	1,000,000	Low-medium	Refinery (carbon cracker) Cement additives
Kraft lignin	60,000 ²	High	Bitumen Refinery (carbon cracker) Cement additives Biofuel High-grade lignin BTX Activated carbon Phenolic resins Carbon fibres Vanillin Phenol Phenolic resins
Organosolv lignin	1000 ³	High	Activated carbon Phenolic resins Carbon fibres Vanillin Phenol derivatives
High-grade lignin	N/A	Very high	Carbon fibres Vanillin Phenol derivatives

ที่มา Gosselink 2011 [11]

หมายเหตุ: รวบรวมโดย Smolarski (2012) [15]

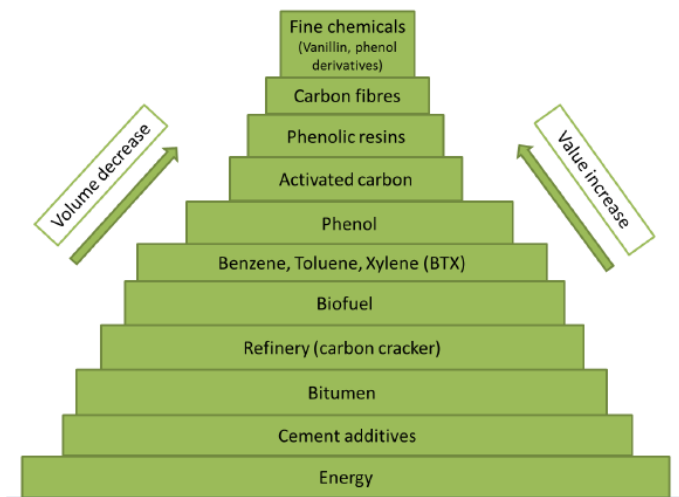
¹ ปริมาณ carbohydrates แฉะและปริมาณโปรตีนขึ้นกับแหล่งที่มาและกระบวนการ

² ข้อมูลจาก MeadWestVaco ซึ่งผลิต Kraft lignin ทางการค้า

³ ข้อมูลจาก CIMV (ฝรั่งเศส) และ Lignol (แคนาดา) ซึ่งผลิต Organosolv ทางการค้า

▪ การใช้ lignin เพื่อผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยเทคนิค electrospinning

Lignin จัดเป็น renewable resources ที่สำคัญที่มีปริมาณรองลงมาจาก cellulose แต่เนื่องจากมีความยุ่งยากในการแยกซึ่งต้องอาศัยสภาวะที่เป็นกรด-ด่างรุนแรง ปัจจุบัน lignin เชิงการค้าที่มีโดยส่วนใหญ่จึงได้มาจากของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เช่น liginosulfonates และ kraft lignin แม้ว่าจะมีข้อจำกัดของ lignin ในการนำมาใช้ประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น รวมถึงโครงสร้างทางเคมีที่ไม่แน่นอน แต่ยังมีรายงานวิจัยจำนวนมากกล่าวว่า lignin เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพซึ่งยังสามารถนำพัฒนาได้อีกมากโดยเฉพาะในการนำมาพัฒนาเป็นสารเคมีหรือวัตถุดิบอื่นเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีจากน้ำมันดิบ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จาก lignin (Lignin valorization)
ที่มา: Gosselink (2011) [11]

ในการผลิตเส้นใยคาร์บอนจาก lignin นั้น ได้มีการใช้กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าจาก lignin ในรูปแบบสารละลายเพื่อให้ได้เส้นใย lignin ที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอนและด้วยจุดเด่นของกระบวนการ electrospinning จะพบว่ากระบวนการนี้มีความสามารถในการควบคุมขนาดเส้นใยในช่วงที่หลากหลายจากสภาวะในการขึ้นรูปต่างๆ เช่น ความเข้มข้นสารละลาย สภาวะความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric field strength) และลักษณะของหัวฉีดพอลิเมอร์ (Metal nozzle) ที่ถูกเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ให้กำเนิดสนามไฟฟ้าแรงสูง (High voltage power supply)

Lignin ทางการค้าที่ผ่านกระบวนการตัดแปรโครงสร้างทางเคมีมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ดีกว่า lignin ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการตัดแปร ดังนั้นการเลือกชนิดตัวทำละลายของ lignin หรือการตัดแปรโครงสร้างของ lignin เพื่อช่วยในการละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเส้นใย lignin [16] ในบางกรณีที่ได้มีการใช้พอลิเมอร์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเส้นใย lignin นั้นถึงแม้ว่าจะช่วยให้การขึ้นรูปเส้นใย lignin ทำได้โดยง่าย แต่พอลิเมอร์ดังกล่าวจะต้องถูกเผาทิ้งจึงทำให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในกระบวนการเป้าหมายในโครงการจึงเป็นการใช้ lignin เพียงอย่างเดียว หรือใช้พอลิเมอร์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเส้นใยให้น้อยที่สุด ประเด็นการขึ้นรูปและพอลิเมอร์ที่ใช้ช่วยในการขึ้นรูปเส้นใยจะจัดเป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาการขึ้นรูปเส้นใยก่อนกระบวนการเผาแปรรูปเนื่องจากจะส่งผลต่อขนาดเส้นใยและผลผลิตพลอยได้ (production yield)

ในเชิงวิศวกรรมกระบวนการในการเปลี่ยน lignin ที่ได้จากการสกัดและนำมาทำให้อยู่ในรูปแบบเส้นใยเพื่อเปลี่ยนเป็นเส้นใยคาร์บอนโดยการเผานั้นไม่สามารถทำการเผาเส้นใยโดยตรงเพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอนเนื่องจาก lignin มี Glass transition (T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิการเผาซึ่งจะทำให้ lignin อ่อนตัวได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตัดแปรโครงสร้างของ lignin เพื่อจำกัดหมู่ไฮดรอกซิลเพื่อไม่ให้หมู่ฟังก์ชันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า T_g กระบวนการที่เหมาะสมคือการปรับสภาพเส้นใย lignin ด้วยกระบวนการ thermal stabilization ที่อุณหภูมิระหว่าง 280 – 340 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างชนิดของ lignin เนื่องจากความแตกต่างทางโครงสร้างเพื่อให้เกิด intermonomer linkage ระหว่างโมเลกุลย่อยที่รวมตัวกันในโครงสร้าง lignin ประเด็นการเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการ thermal stabilization จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอน [17]

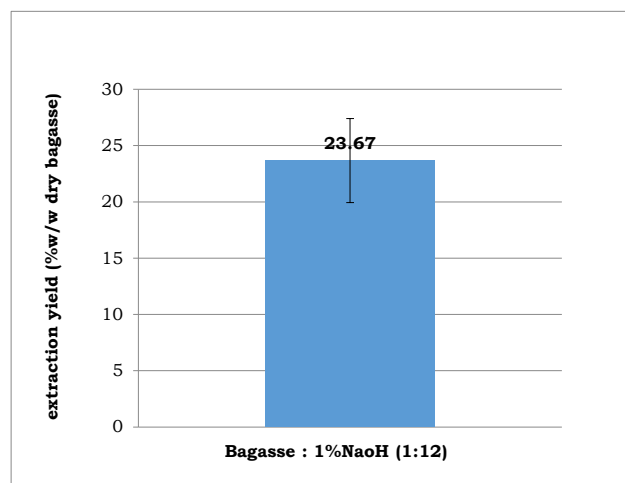
บทที่ 3 การศึกษาคุณภาพ lignin จากกากอ้อย

3.1 การสกัด lignin

การสกัด lignin จากกากอ้อยโดยใช้ต่างตามวิธีการของ Zabaleta (2010) [9] โดยผสมกากอ้อย (ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานน้ำตาลมิตรผลภูเก็ต จ. ภูเก็ต) กับสารละลาย 1% NaOH ที่ solid-liquid ratio เท่ากับ 1:12 (w/v) ที่ 110°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ autoclave จากนั้น กรองกากอ้อยออกและแยก lignin ออกโดยการปรับ pH ให้เท่ากับ 2 ด้วย 50% H₂SO₄ 10 ml และกรอง ระเหยน้ำส่วนที่เหลือออกจาก lignin โดยการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

3.1.1 ผลได้การสกัด lignin จากกากอ้อยโดยใช้ต่าง

ทำการสกัด lignin จากกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลมิตรผล (อ. ภูเก็ต จ. ภูเก็ต) ทั้งหมด 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ปริมาณ lignin เพียงพอในขั้นตอนการทดลองขึ้นรูปคาร์บอนไฟเบอร์ โดยใช้สารละลาย 1% NaOH ที่ solid-liquid ratio เท่ากับ 1:12 (w/v) ที่ 110°C ใน autoclave เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยกากอ้อยไม่ผ่านการทำ pretreatment จากนั้นกรองกากอ้อยออกและแยก lignin ออกโดยการปรับ pH ให้เท่ากับ 2 ด้วย 50% H₂SO₄ 10 ml และกรอง ระเหยน้ำส่วนที่เหลือออกจาก lignin โดยการอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ผลได้การสกัดเฉลี่ยจากการสกัดเท่ากับ 23.67 % (โดยน้ำหนัก) (ภาพที่ 9) ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [18] ที่ใช้สภาวะการสกัดเดียวกัน (26.1%)



ภาพที่ 9 ผลได้การสกัด lignin ด้วย 1%NaOH (%โดยน้ำหนักกากอ้อย)
(ค่าเฉลี่ยและค่า standard deviation จากการสกัด 8 ครั้ง)

3.2 การวิเคราะห์โครงสร้าง คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ lignin

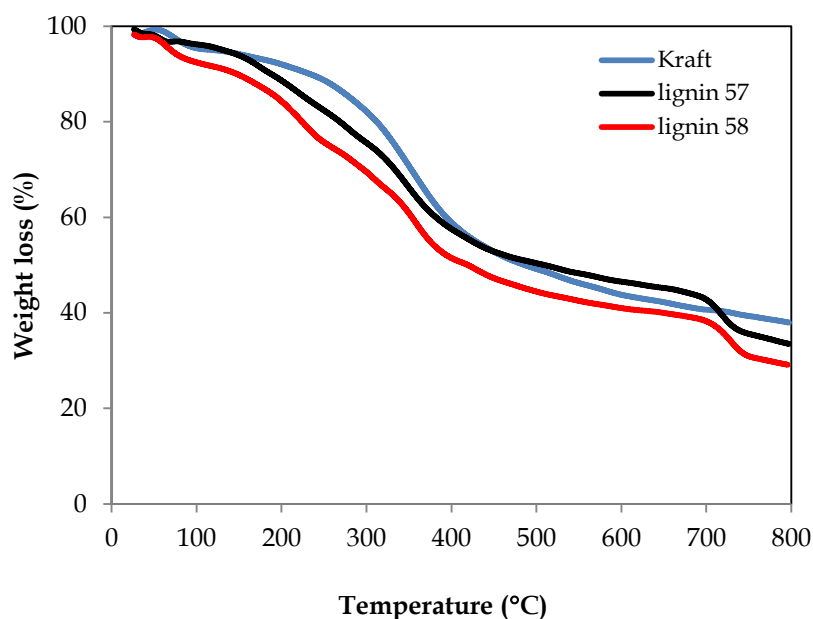
เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ทำการศึกษากากอ้อย ในปี 2557 ในงานวิจัยนี้จะนำตัวอย่างกากอ้อยที่ได้จากฤดูกาลหีบปี 2557 มาสกัด lignin และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเปรียบเทียบกับ lignin ที่ได้จากกากอ้อยในฤดูกาลหีบปี 2558 ด้วยเทคนิคดังนี้

3.2.1 Thermogravimetric analysis (TGA)

วิเคราะห์ค่า thermal degradation ของ lignin จากกากอ้อยเปรียบเทียบกับ kraft lignin ด้วยเครื่อง thermal gravimeter (Linseis, Model STA PT1000, USA) โดยใช้ปริมาณตัวอย่าง 2-4 มิลลิกรัม อุณหภูมิการเผา 30-800 °C อัตราการให้ความร้อน 5 °C/min ภายใต้ Nitrogen flow 20 ml/min

TGA เป็นเทคนิคทั่วไปที่ใช้ในการตรวจสอบความเสถียรและการย่อยสลายของวัสดุ/พอลิเมอร์ ส่วนใหญ่เมื่อได้รับความร้อนภายใต้สภาวะที่ใช้ก๊าซไนโตรเจน กราฟ TGA จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักของสารและอุณหภูมิที่สารเกิดการย่อยสลาย โดยอุณหภูมิสูงสุดที่สารเกิดการย่อยสลาย (maximum decomposition temperature, DTG_{max}) สามารถใช้เปรียบเทียบค่าความเสถียรต่อความร้อนของวัสดุ/พอลิเมอร์ต่างๆ TGA ของ Kraft lignin และ lignin ที่สกัดจากกากอ้อยของฤดูกาลหีบปี 2557 และ 2558 ดังแสดงในภาพที่ 10

เนื่องจาก lignin ที่สกัดได้มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย aromatic ring เป็นส่วนใหญ่และมีการเรียงตัวที่ไม่แน่นอนต่างกันไปตามแหล่งที่มาและวิธีการสกัด ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมีซึ่งส่งผลต่อความหลากหลายของ decomposition temperature ในช่วง 100 – 800 °C โดย decomposition temperature ที่พบในการวิเคราะห์ lignin จากพืชชนิดต่างๆ รวมทั้งจากกากอ้อยจะประกอบด้วยช่วงแรกที่มาจากการย่อยสลาย hemicellulose (xylan) และจากนั้นของ cellulose (glucan) และ lignin ตามลำดับ โดยตัวอย่าง lignin ทุกชนิดมีค่า DTG_{max} อยู่ที่ประมาณ 350 – 355 °C



ภาพที่ 10 กราฟ TGA ของ Kraft lignin และ lignin สกัดจากกากอ้อยฤดูกาลหีบปี 2557 และ ปี 2558

จากการเผาจนถึงที่อุณหภูมิ 800 °C พบว่าประมาณ 30 – 40% ของตัวอย่างเริ่มต้นยังคงหลงเหลืออยู่ (ตารางที่ 4) อาจเนื่องมาจากการโครงสร้างของ aromatic ring ที่เรียงตัวกันแน่นหนาในโครงสร้างของ lignin ซึ่งคงเหลือในลักษณะที่เป็นถ่าน (char) โดยพบว่าค่า residue ที่เหลือจาก lignin ที่ได้จากกากอ้อยมีค่าใกล้เคียงกับ non-wood lignin ชนิดอื่นที่เผาในสภาวะเดียวกัน เช่น alfalfa ฟางข้าวสาลี และป่าน[19]

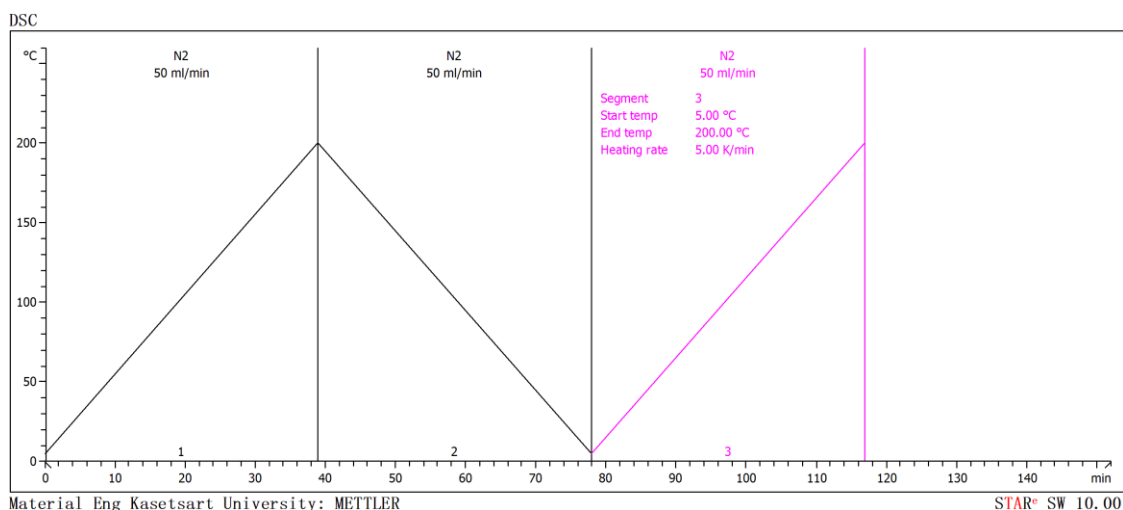
ตารางที่ 4 ค่า maximum decomposition temperature (DTG_{max}) และส่วนที่คงเหลือที่อุณหภูมิ 800 °C

ตัวอย่าง	DTG _{max} (°C)*	Residue (%) ที่ 800 °C*
Kraft lignin	353.4 ± 3.55	37.7 ± 2.41
Lignin 57	350.2 ± 2.63	32.9 ± 2.66
Lignin 58	355.9 ± 4.80	27.5 ± 2.50

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± standard deviation

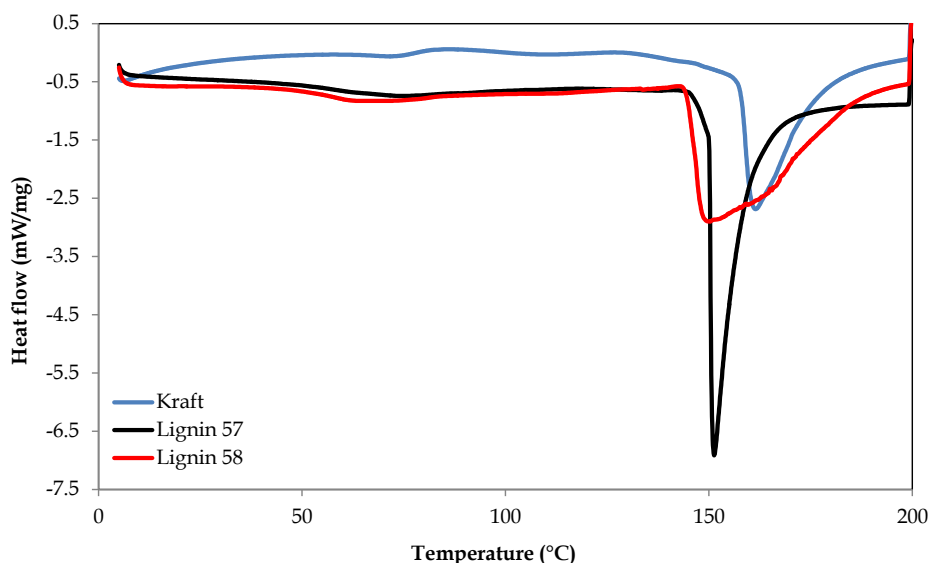
3.2.2 Differential scanning calorimetry (DSC)

วัดอุณหภูมิในการหลอมเหลว (melting temperature, T_m) ของ lignin จากกากอ้อยเปรียบเทียบกับ kraft lignin ด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (Mettler Toledo, Model DSC1, Switzerland) โดยใช้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิกรัม ภายใต้ Nitrogen 3 ขั้นตอน (1) อุณหภูมิ 5-200 °C อัตราการให้ความร้อน 5 °C/min (2) 200 - 5 °C ลดความร้อนลงด้วยอัตรา 5 °C/min และ (3) อุณหภูมิ 5-200 °C อัตราการให้ความร้อน 5 °C/min



ภาพที่ 11 สถานะการทดสอบ Differential scanning calorimetry

ค่าความเสถียรของวัสดุ/พอลิเมอร์ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี DSC จะแสดงถึงพลังงานความร้อน (enthalpy) ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวอย่าง โดยในการทดลองนี้พบว่าค่า enthalpy ซึ่งคำนวณจากพื้นที่กราฟ DSC ของ kraft lignin มีค่า 99.80 จูล/กรัม ซึ่งต่ำกว่า lignin ที่สกัดจากกากอ้อยปี 57 และ 58 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 114.80 จูล/กรัม และ 124.65 จูล/กรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่ต้องใช้มากกว่าในการทำลายพันธะขององค์ประกอบ lignin จากกากอ้อย อย่างไรก็ตามพบว่ามีค่า melting temperature ของ kraft lignin มีค่าประมาณ 160 °C ซึ่งสูงกว่าของ lignin จากกากอ้อย (150 °C) ซึ่งความแตกต่างนี้ส่วนหนึ่งอาจมาจากสถานะและชนิดของพืชที่ใช้ในการสกัดเนื่องจาก kraft lignin ทางการค้าจะสกัดจากไม้เนื้อแข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ



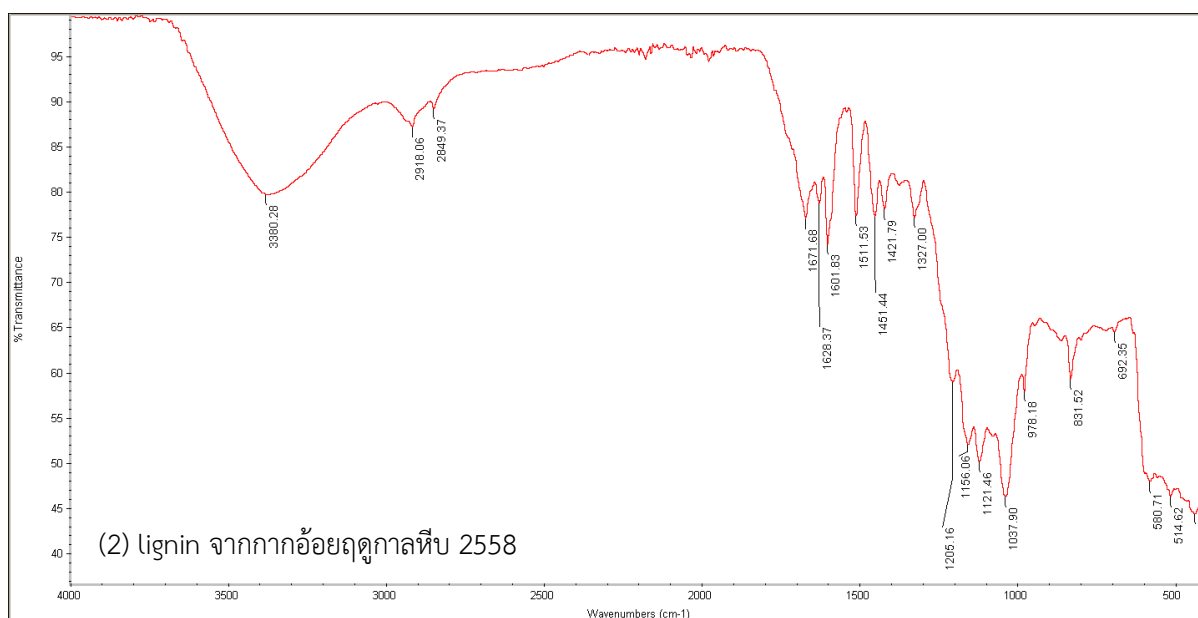
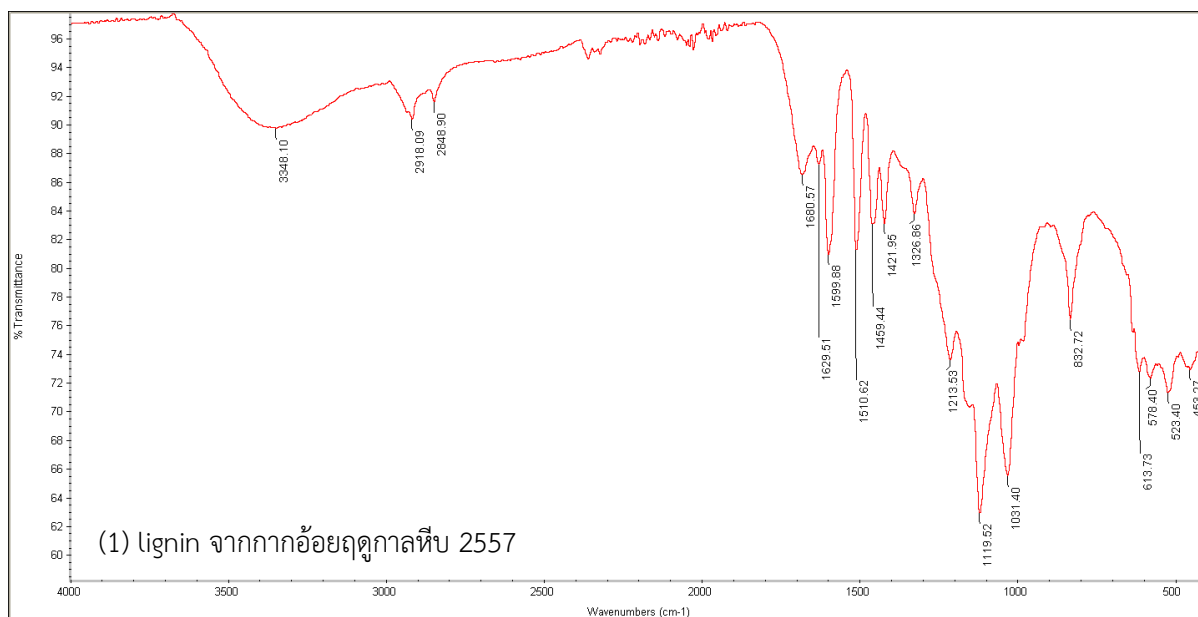
ภาพที่ 12 กราฟ DSC ของ Kraft lignin และ lignin สกัดจากกากอ้อยฤดูการหีบปี 2557 และ ปี 2558

จากข้อมูลเบื้องต้นแม้ว่าจะพบว่า lignin ที่สกัดจากกากอ้อยทั้งสองฤดูกาลหีบมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกันแต่จากกราฟ DSC พบว่าการจัดเรียงตัวของ lignin หลังการหลอมเหลวแตกต่างกันโดย lignin 57 จะมีลักษณะที่เป็น monodisperse มากกว่า lignin 58 ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้จะใช้ในการพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการทำ thermal stabilization ของเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ต่อไป

3.2.3 Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR)

วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของ lignin โดยนำตัวอย่างหนักประมาณ 10 mg ไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลด้วยเทคนิค FTIR spectrometry ด้วยเครื่อง Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) instrument (Nicolet IR200, Thermo Fisher Scientific, USA) ทำการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงคลื่น (wave number) 4000 – 400 cm^{-1} , Resolution 4 cm^{-1} , 128 scan ต่อตัวอย่างและวิเคราะห์โครงสร้างด้วย OMNIC8 software

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของ lignin จากกากอ้อยที่สกัดจากกากอ้อยในฤดูกาลหีบปี 2557 และ 2558 พบว่า signal ในโครงสร้างบางส่วนที่ wavenumber 1121 cm^{-1} ที่เป็นโครงสร้าง aromatic C-H ของ syringyl unit และโครงสร้างที่เป็น aromatic ของ lignin (1601, 1541, 1512, 1502 และ 1451 cm^{-1}) จากทั้งสองตัวอย่าง (ภาพที่ 13 (1 และ 2)) มีความคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตามโครงสร้าง hydroxyl groups ในโครงสร้าง aromatic และ aliphatic ของ lignin ที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าตัวอย่างจากกากอ้อยในปี 2557 มีระดับของ signal ที่ต่ำกว่า ซึ่งอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายไปบางส่วนในช่วงการเก็บรักษา



ภาพที่ 13 FTIR Spectrum ของ lignin จากกากอ้อยฤดูการเก็บ 2557 (1) และ ฤดูการเก็บ 2558 (2)

เอกสารอ้างอิง

1. Seyed, H.G. and F. Mizi, *Lignin in straw and its applications as an adhesive*. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2014. 48: p. 92-101.
2. กาญจนวรรณิชย์, บ. สารานุกรม: ความรู้ทั่วไปเรื่อง คาร์บอนไฟเบอร์ ตอน 1. 13/08/2015]; Available from: <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/492->.
3. Zhen, Z. and H. Zhu, 1 - *Structure and Properties of Graphene*, in *Graphene*. 2018, Academic Press. p. 1-12.
4. Das, S., et al., *Global Carbon Fiber Composites Supply Chain Competitiveness Analysis*. 2016, ; Oak Ridge National Laboratory; The University of Tennessee, Knoxville. p. Medium: ED; Size: 116.
5. Stewart, R., *Carbon fibre market poised for expansion*. Reinforced Plastics, 2011. 55(2): p. 26-31.
6. Park, S.-J. and G.-Y. Heo, *Precursors and manufacturing of carbon fibers*, in *Carbon fibers*, S.-J. Park, Editor. 2015, Springer.
7. Baker, D.A. and T.G. Rials, *Recent advances in low-cost carbon fiber manufacture from lignin*. Journal of Applied Polymer Science, 2013. 130(2): p. 713-728.
8. Doherty, W.O.S., P. Mousavioun, and C.M. Fellows, *Value-adding to cellulosic ethanol: Lignin polymers*. Industrial Crops and Products, 2011. 33(2): p. 259-276.
9. Zabaleta, A.T., *Lignin extraction, purification and depolymerization study*, in *Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente*. 2012, Universidad del País Vasco. p. 280.
10. Adler, E., *Lignin chemistry—past, present and future*. Wood Science and Technology, 1977. 11: p. 169-218.
11. Gosselink, R.J.A., *Lignin as a renewable aromatic resource for the chemical industry*. 2011, Wageningen Univeristy: Wageningen.
12. Delmas, G.-H., *La BiolignineTM: Structure et application a l'elaboration de resines epoxy*, in *Mecanique, Energetique, Genie civil et Procèdes (MEGeP)*. 2011, Universite de Toulouse: Toulouse. p. 144.
13. Gosselink, R.J.A., et al., *Co-ordination network for lignin—standardisation, production and applications adapted to market requirements (EUROLIGNIN)*. Industrial Crops and Products, 2004. 20(2): p. 121-129.
14. LigniMatch, *Future use of lignin in value added products*. 2007, LigniMatch.
15. Smolarski, N., *High-value opportunities for lignin: Unlocking its potential*. 2012, Frost&Sullivan.
16. Braun, J.L., K.M. Holtman, and J.F. Kadla, *Lignin-based carbon fibers: Oxidative thermostabilization of kraft lignin*. Carbon, 2005. 43(2): p. 385-394.

17. Ruiz-Rosas, R., et al., *The production of submicron diameter carbon fibers by the electrospinning of lignin*. Carbon, 2010. 48(3): p. 696-705.
18. บุญเรืองรอด, ชุตินา, ศิริลักษณ์ เลี้ยงประยูร, และ สุมลลิกา โมรากุล, คุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพของสารสกัด *lignin* และประสิทธิภาพทางพลังงานของกากอ้อยที่เหลือหลังจากการสกัดแยก *lignin* ด้วยกรดและด่าง. Naresuan University Journal: Science and Technology 2016. 24(2): p. 195-206.
19. Watkins, D., et al., *Extraction and characterization of lignin from different biomass resources*. J Mater Res Technol, 2015. 4: p. 26-32.

บทที่ 4 การเตรียมเส้นใยผสมระหว่าง lignin และพอลิเมอร์

จากข้อจำกัดทางเคมีโครงสร้างของ lignin ที่ไม่เอื้อต่อการขึ้นรูปโดยกระบวนการปั่นเส้นใยโดยกระแสไฟฟ้าสำหรับการขึ้นรูปเส้นใยที่มีขนาดเล็ก 1 ไมครอนเป็นหลัก เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของ lignin ที่เป็นกิ่งก้านซึ่งไม่เอื้อต่อกระบวนการการขึ้นรูป จำเป็นที่จะต้องพอลิเมอร์ที่มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นสายที่มีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นโครงสร้างหลักให้ lignin ยึดเกาะการพัฒนาเริ่มจากการ (1) เลือกใช้พอลิเมอร์ ตัวทำละลาย และความเข้มข้นที่เหมาะสม (2) ทำการผสมรวมกันระหว่างสารละลายพอลิเมอร์และสารละลาย lignin (3) ทดสอบการขึ้นรูป

4.1 การศึกษาการเลือกใช้พอลิเมอร์ ตัวทำละลาย และความเข้มข้นที่เหมาะสม

จากการศึกษาพบว่าสามารถทำการละลาย lignin ที่สกัดได้ภายในโครงการและ lignin ทางการค้า (Kraft lignin) ได้ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide, DMSO) และละลายได้ในไดเมทิลฟอรัมาไมด์ (Dimethylformamide, DMF) แต่การละลายของ lignin ทางการค้าต้องมีการใช้ความร้อนช่วยโดยการเตรียมสารละลายผสมบนฮีตเตอร์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาน้อยในการทำละลายที่สองชั่วโมง ความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถละลายได้สามารถสูงได้มากกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำให้การเตรียมสารละลายผสมสามารถเพิ่มสัดส่วนของ lignin ให้สูงขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อสัดส่วนของ lignin ในเส้นใยเมื่อทำการขึ้นรูป

พอลิเมอร์ที่ทำการเลือกใช้ภายในการพัฒนาประกอบด้วย พอลิอะครีโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile, PAN) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกใช้ในการผลิตเส้นใยคาร์บอนและละลายได้ในตัวทำละลาย DMF พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol, PVA) ซึ่งสามารถละลายได้ใน DMSO พอลิไวนิลไพร์โรไลดอน (Polyvinylpyrrolidone, PVP) ที่ถูกเลือกเนื่องจากสามารถละลายได้ในเอทานอลซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็ว ความสามารถในการระเหยของตัวทำละลายนั้นมีความสำคัญในการกำหนดขนาดของเส้นใยที่ได้ และพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ซึ่งละลายได้ในไดคลอโรอีเทน (Dichloroethane, DCE) ซึ่งถูกเลือกใช้เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ที่ได้รับความสนใจภายในประเทศจากความพยายามในการพัฒนาพลาสติกชีวภาพภายในประเทศ ทั้งการตั้งโรงงานการผลิตและการวิจัยพัฒนาต่อยอดต่างๆ ผลจากการทดสอบการละลายพบว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้มีความเข้มข้นสูงสุดใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ก่อนที่จะไม่สามารถทำการละลายได้ หรือเกิดการตกตะกอนเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติซึ่งเกิดกับพอลิเมอร์ที่ต้องใช้ความร้อนช่วยในการทำละลาย ทั้งมีเพียง PVP ในเอทานอลและ PLA ละลายใน DCE ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย

4.2 การศึกษาการผสมสารละลายผสมเพื่อการขึ้นรูป

ในการเตรียมสารละลายผสมระหว่างสารละลายพอลิเมอร์และสารละลาย lignin เนื่องจากไม่มีความแตกต่างในเรื่องของความหนืดของสารละลาย lignin ใน DMSO ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนั้นจึงทำการเลือกใช้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเพื่อความสะดวกในการคำนวณ สำหรับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์พบว่าข้อจำกัดของลักษณะสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่น PAN/DMF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 สามารถละลายได้โดยการใช้ความร้อนช่วย โดยการตั้งบนเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายหลังจากการละลายสมบูรณ์เมื่อลดอุณหภูมิมาที่อุณหภูมิห้องจะเกิดการตกตะกอน ทำให้จำเป็นต้องเลือกใช้ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า ดังนั้นภายในการทดลองจึงเลือกใช้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สำหรับสารละลาย PLA/DCE พบว่าไม่มีปัญหาในการผสมที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่ใช้เวลาในการเตรียมผสมที่นานขึ้นตามปริมาณความ

เข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ ลักษณะดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกันในกรณีของการใช้ PVP/Ethanol ดังนั้นเพื่อให้่ายในการทดลองสารละลายพอลิเมอร์จะเลือกใช้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

การผสมสารละลายผสมระหว่างสารละลายพอลิเมอร์และสารละลาย lignin ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทำการทดลองผสมโดยให้สัดส่วนของแข็งระหว่างพอลิเมอร์และ lignin อยู่ที่ 50 ต่อ 50 ส่วนโดยน้ำหนัก แต่จากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของเส้นใย เนื่องจากปริมาณของ DMSO ที่มากทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กและมีปัญหาในเรื่องของการระเหยของตัวทำละลายไม่สมบูรณ์ ในประเด็นเรื่องขนาดของเส้นใยนั้นเนื่องจากการที่มีปริมาณตัวทำละลายที่มากพอในระหว่างการยัดของเส้นใยโดยแรงทางไฟฟ้า จะส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆในระหว่างกระบวนการยัดเส้นใย การแก้ปัญหาคือการเลือกใช้ตัวทำละลายที่ระเหยได้เร็วกล่าวคือเมื่อเส้นใยไม่อยู่ในสถานะของสารละลายหรือตัวทำละลายระเหยออกได้รวดเร็ว เส้นใยที่เป็นของแข็งจะไม่สามารถลดขนาดลงไปได้อีก แต่การกระทำดังกล่าวไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของการเลือกใช้ตัวทำละลาย สัดส่วนการผสมจึงถูกเปลี่ยนเป็นสัดส่วนของพอลิเมอร์ต่อ lignin ที่ 75 ต่อ 25 ส่วนโดยน้ำหนัก

4.3 การศึกษาการขึ้นรูปเส้นใยผสมระหว่าง lignin และพอลิเมอร์

ผลการทดลองพบว่าเส้นใยที่ได้มีลักษณะที่เหมาะสม สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ สภาวะในการขึ้นรูปเส้นใยผสมนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อทำการปรับสภาวะการขึ้นรูปเส้นใยในช่วงต่อไปนี้ ความต่างศักย์ในช่วง 8-10-12-13.3 kV ระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดโลหะและแผ่นรับเส้นใยที่ระยะ 10-12-15 ซม การเลือกปรับค่าความต่างศักย์และระยะห่างนี้ ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นสนามไฟฟ้าที่มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการยัดของเส้นใยผสม [1] ปัจจัยอื่นๆที่เลือกใช้ เช่น หัวเข็มโลหะที่เลือกใช้มีขนาด gauge 24 และอัตราการฉีดสารละลายที่ 60 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นปัจจัยควบคุมในการทดลอง สาเหตุที่เลือกใช้ชุดปัจจัยนี้เนื่องจากระบบยังไม่มีความซับซ้อนทำให้เห็นความแตกต่างเมื่อทำการปรับสภาวะ และชุดสภาวะเหล่านี้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชุดผลิตเส้นใยปริมาณมากได้ง่ายกว่าการปรับปรุงปัจจัยการผลิตอื่นๆ

ตารางที่ 5 สรุปการผสมสารละลายผสม lignin เพื่อการขึ้นรูปเส้นใย

พอลิเมอร์หลัก	เหตุผลการเลือกใช้	ผลการทดสอบ
-PAN/DMF -PAN/DMF + สารละลาย lignin	เลือกใช้เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์พื้นฐานที่ใช้อยู่แล้วในกระบวนการการขึ้นรูปเส้นใยคาร์บอน	- สามารถผสมและขึ้นรูปได้
-PVA/DMSO -PVA/DMSO + สารละลาย lignin	เลือกใช้เนื่องจากใช้ตัวทำละลายแบบเดียวกับ lignin	- สามารถผสมได้ แต่ขึ้นรูปเส้นใยผสมไม่ได้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงสูตร
-PVP/Ethanol -PVP/Ethanol + สารละลาย lignin	เลือกใช้เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปและเปลี่ยนขนาดได้ง่ายจากการปรับสภาวะการขึ้นรูปต่างๆ	- สามารถผสมและขึ้นรูปได้
-PLA/DCE -PLA/DCE + สารละลาย lignin	เลือกใช้เนื่องจากตัวทำละลายระเหยได้เร็ว โดยคาดว่าจะช่วยในการขึ้นรูปเส้นใยที่มีขนาดเล็ก	- สามารถผสมและขึ้นรูปได้

ตารางที่ 5 แสดงความสามารถในการผสม lignin และสารละลายพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เพื่อการขึ้นรูป รวมทั้งความสามารถในการขึ้นรูปเส้นใยขนาดเล็กจากสารละลายผสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารละลาย lignin มีความสามารถในการผสมกับสารละลายพอลิเมอร์ ข้อจำกัดของการพัฒนาคือ ความสามารถในการขึ้นรูปเส้นใยจากสารละลายผสมเท่านั้น

จากผลการทดสอบการขึ้นรูปพบว่าพอลิเมอร์ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคือ พอลิอะครีโลไนไตรล์ (Polyacrylonitrile, PAN) และพอลิไวนิลไพโรไลโดน (Polyvinylpyrrolidone, PVP) ทั้งนี้เส้นใยที่ได้มี สัดส่วนของ lignin อยู่ที่ร้อยละ 25 ของน้ำหนักเส้นใยทั้งหมด

4.3.1 การเลือกใช้ PAN

การขึ้นรูปเส้นใยผสม PAN ถูกเลือกใช้เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีการใช้อยู่แล้ว ไม่จำเป็นที่จะต้องทำ การเปลี่ยนสารเคมีดังนั้นหากผสม lignin จึงเป็นกลยุทธ์การทดแทนโดยตรง นอกจากนี้ยังพบว่า PAN เป็นพอลิเมอร์ที่ให้ผลผลิตคาร์บอน (carbon yield) สูงที่สุดโดยอยู่ที่มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักก่อนการทำการ เผาเพื่อเปลี่ยนเป็นคาร์บอน [2]

4.3.2 การเลือกใช้ PVP

ระหว่าง PLA และ PVP พบว่าในประเด็นของการนำไปพัฒนาต่อยอดโดยกระบวนการผลิตที่มีกำลัง การผลิตสูงตัวทำลายของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นพิษจะไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรใช้ PVP มากกว่า และ PVP มีความสามารถในการผลิตคาร์บอน (carbon yield) อยู่ที่ร้อยละ 15 ของน้ำหนักสาร [3]

4.4 การผลิตเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใย lignin ผสมพอลิเมอร์

ในอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยคาร์บอนนั้นมีการใช้ PAN เป็นวัตถุดิบหลักในการขึ้นรูปเป็นเส้นใยและ ทำการเปลี่ยนเป็นเส้นใยคาร์บอนเนื่องจากความสามารถในการเปลี่ยนเป็นคาร์บอน (Carbon yield) ที่สูงถึง ร้อยละ 50 ทิศทางการพัฒนาของอุตสาหกรรมการผลิตเส้นใยคาร์บอนคือการหาวัสดุทดแทนที่มีความสามารถ ในการเปลี่ยนเป็นคาร์บอนที่ใกล้เคียง เป็นวัสดุที่เหลือใช้ และมีราคาไม่สูง

lignin มีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นคาร์บอนโดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนัก [4] และเป็น ส่วนประกอบที่พบมากในกากอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้ lignin เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำมาพัฒนาผลิตเส้น ใยคาร์บอน จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าในปัจจุบันการผลิตเส้นใย lignin ขนาดเล็กยังจำเป็นที่จะต้องมีการใช้ พอลิเมอร์อื่นผสมอยู่ด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลการพัฒนา

การเผาเส้นใยพอลิเมอร์เพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอนนั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนสำคัญสองขั้นตอน ขั้นตอนหนึ่งคือ Stabilization step เพื่อป้องกันการรวมตัวของเส้นใยเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงซึ่งมักทำ การเผาในอากาศที่อุณหภูมิในช่วง 180-200 องศาเซลเซียส ขั้นตอนที่สองคือ Carbonization step เพื่อการ เปลี่ยนสารให้เหลือเพียงอนุภาคคาร์บอนซึ่งมักทำโดยการเผาในแก๊สต่างๆที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 600-1000 องศา เซลเซียส [5-6]

สภาวะที่เลือกใช้ในกระบวนการนี้ไม่มีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจน การเปลี่ยนแปลงสภาวะมีผลชัดเจนต่อ ลักษณะเส้นใยที่ได้ จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าถึงแม้ว่าสภาวะที่ใช้มีความเหลื่อมล้ำในบางกรณี ภายใน โครงการได้เลือกใช้สภาวะต่อไปนี้ในการเปลี่ยนเส้นใยพอลิเมอร์ผสมเป็นเส้นใยคาร์บอน

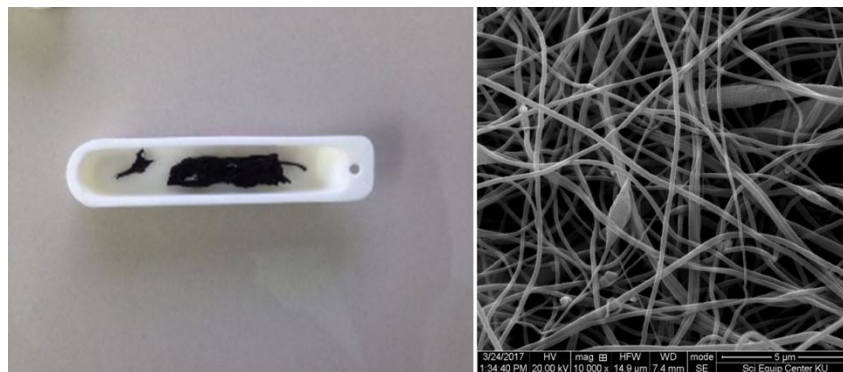
4.4.1 Stabilization step

เผา(N₂ 42 : O₂ 18) ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยเริ่มจากอุณหภูมิห้องที่อัตรา 5 องศา เซลเซียสต่อนาที ที่ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

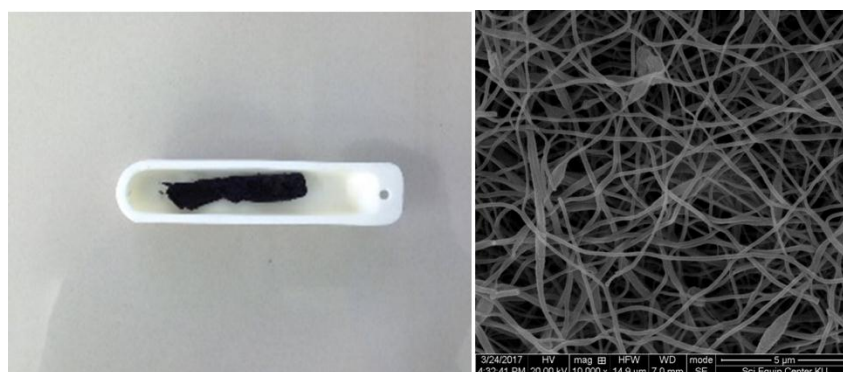
4.4.2 Carbonization step

เผาในก๊าซไนโตรเจน ที่ 800 องศาเซลเซียส โดยเริ่มจากอุณหภูมิห้องที่อัตราเซลเซียส 5 องศาต่อนาที ทั้งไว้ที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ในระหว่างการพัฒนาเส้นใยผสม PAN และ lignin พบว่าค่าความเข้มข้นเบื้องต้นที่ทำการทดลองนั้น จำเป็นต้องถูกปรับเปลี่ยนเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้และทำให้กระบวนการขึ้นรูปเส้นใยมีความเสถียรมากขึ้น กล่าวคือความเข้มข้นของสารละลาย PAN/DMF เมื่อทำการผสมกับสารละลาย lignin แล้วไม่สามารถผลิตเส้นใยที่มีความสม่ำเสมอได้ (electrospinning jet stabilization) เนื่องจากมีความหนืดสูง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการลดความเข้มข้นของ PAN ลงเหลือร้อยละ 5 และทำการลดความเข้มข้นของสารละลาย lignin ลงเหลือร้อยละ 5 เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ตารางที่ 6 แสดงลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสมที่มี PAN ร้อยละ 75 และ lignin ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก การขึ้นรูปเส้นใยใช้สภาวะการขึ้นรูปที่เหมือนกันคือ ความต่างศักย์ 12 kV และระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดโลหะและแผ่นรับเส้นใยที่ 12 เซนติเมตร ภาพที่ 14 และ 15 แสดงลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใย PAN และลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสม PAN และ lignin ที่ร้อยละ 75 ต่อ 25 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 14 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยพอลิเมอร์ PAN



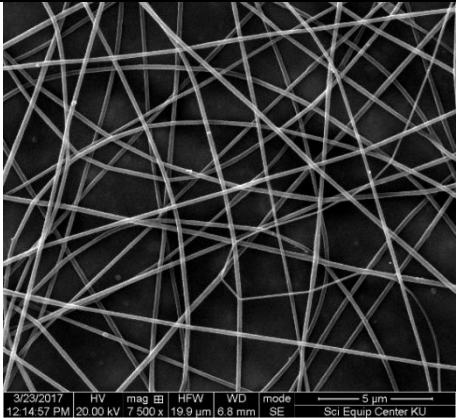
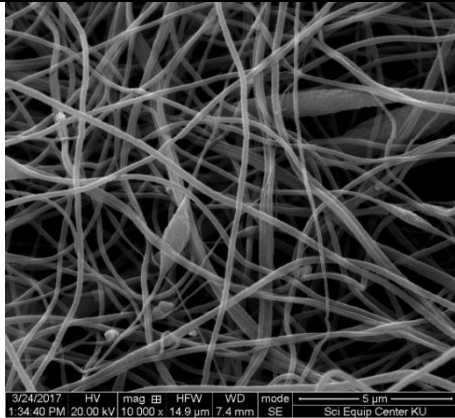
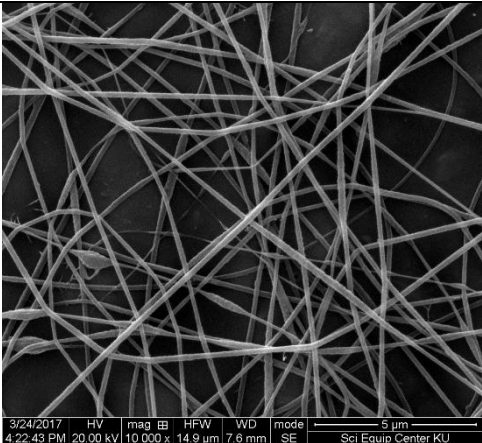
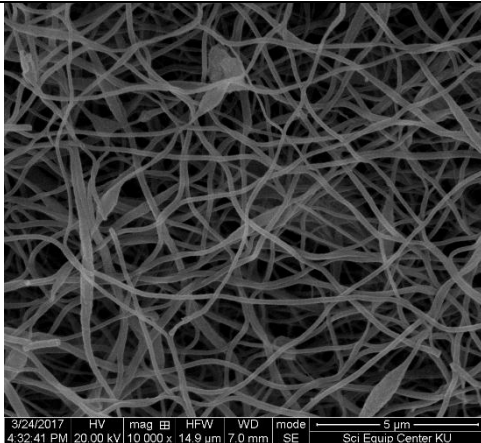
ภาพที่ 15 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสมระหว่างพอลิเมอร์ PAN และ lignin ที่สกัดจากกากอ้อย

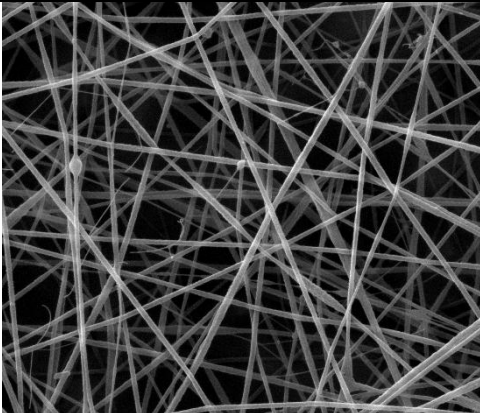
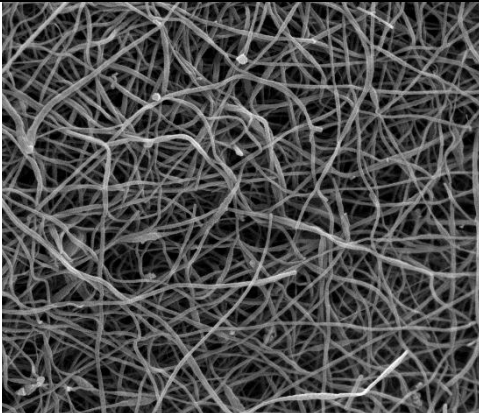
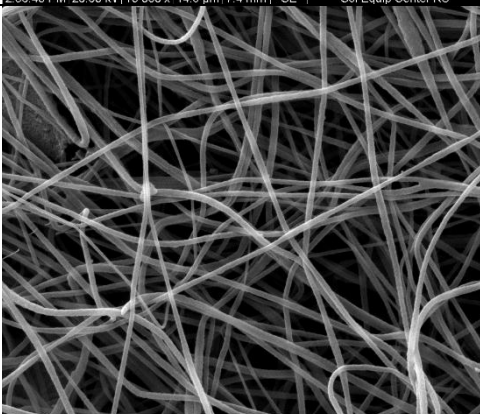
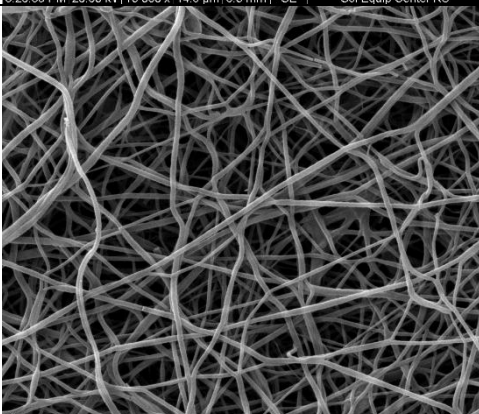
สำหรับการขึ้นรูปเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใย PVP และ lignin พบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมคือการใช้ PVP ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักเนื่องจากลักษณะของเส้นใยที่ได้จากความเข้มข้นร้อยละ 10 นั้นไม่เหมาะสม เพราะเส้นใยที่ได้มีความหนืดต่ำเกินไปหรือมีปริมาณตัวทำละลายมากเกินไป ที่ส่งผลให้ไม่สามารถระเหยออกได้สมบูรณ์ในระหว่างการผลิต เส้นใยที่ยังคงมีตัวทำละลายอยู่เมื่อทับซ้อนกันบนแผ่นรับ

เส้นใยจะเกิดการประสานกันในขณะที่ตัวทำละลายระเหยไปด้วย ในขั้นตอนดังกล่าวจะทำให้เกิดการประสานกันของเส้นใยตามภาพในตารางที่ 7 สำหรับสถานะที่ความเข้มข้นอยู่ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

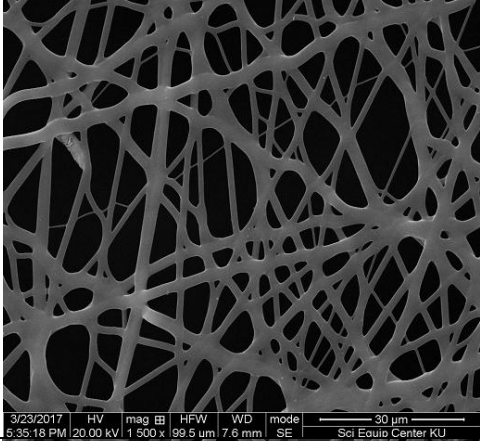
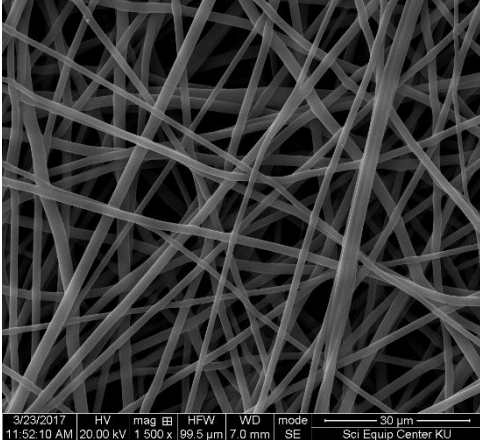
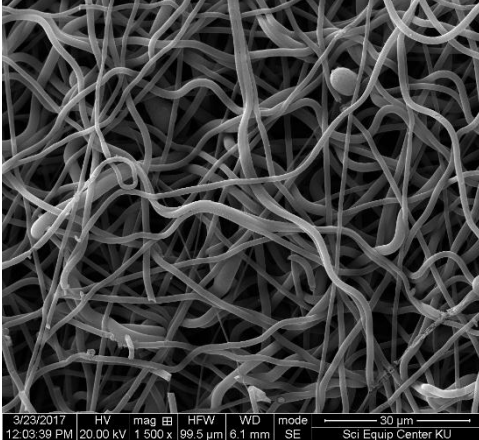
เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงทำการเลือกใช้ความเข้มข้นที่ร้อยละ 15 และได้ถูกใช้ต่อเนื่องในกรณีทำการผสมสารละลายพอลิเมอร์และสารละลาย lignin โดยการเลือกใช้สารละลาย lignin ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 เช่นเดียวกับกรณีของ PAN ตารางที่ 7 แสดงลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์ที่สัดส่วนร้อยละ 75 โดยน้ำหนักและ lignin ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก โดยการขึ้นรูปเส้นใยที่สภาวะการขึ้นรูปที่เหมือนกันคือ ความต่างศักย์ 10 kV และระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดโลหะและแผ่นรับเส้นใยที่ 15 เซนติเมตร ภาพที่ 16 และ 17 แสดงลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใย PVP และ ลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสม PVP และ lignin ที่ร้อยละ 75 ต่อ 25 โดยน้ำหนัก

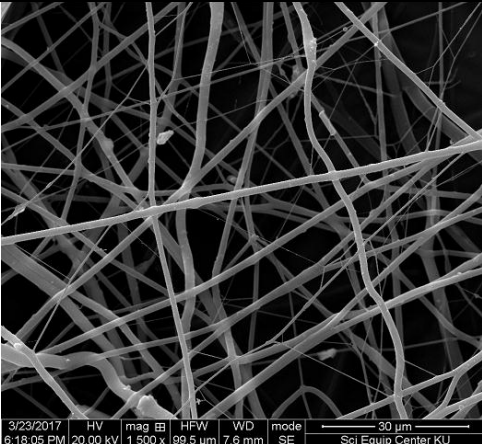
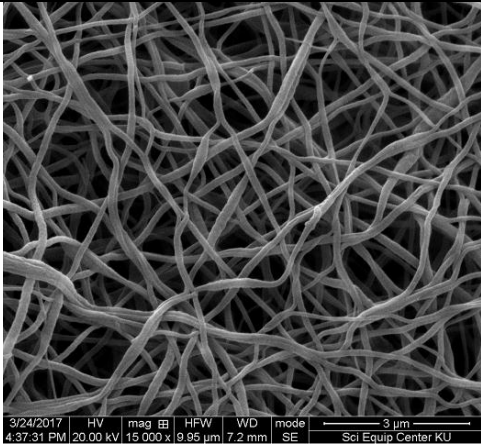
ตารางที่ 6 สภาวะและลักษณะของเส้นใยคาร์บอน จากเส้นใย PAN ผสม

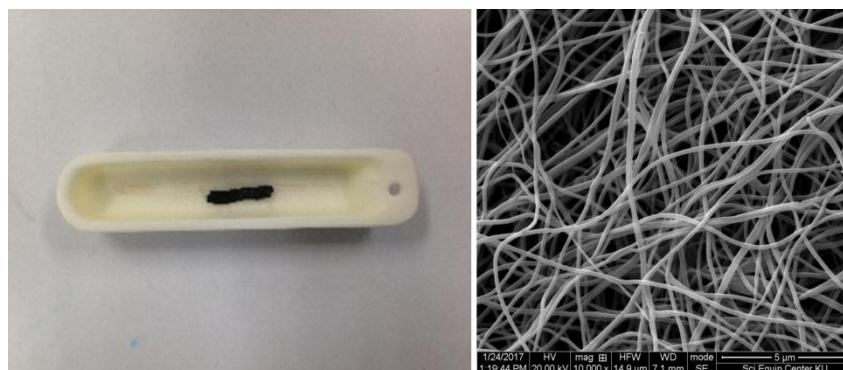
ตัวอย่าง	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน-หลังเผา	รูปก่อนเผา	รูปหลังเผา
PAN/DMF 5%	0.203 μm	0.203 μm	~0%	 X7,500	 x10,000
PAN/ lignin สกัดเอง 5% PAN/DMF 5% lignin ใน DMSO 75 : 25 โดยน้ำหนัก	0.263 μm	0.171 μm	34.98% ลดลง		

PAN/Lignosulfonate 5% PAN/DMF 5% lignin ใน DMSO 75 : 25 โดยน้ำหนัก	0.167 μm	0.128 μm	23.35% ลดลง		
PAN/Kraft lignin 5% PAN/DMF 5% lignin ใน DMSO 75 : 25 โดยน้ำหนัก	0.178 μm	0.151 μm	15.17% ลดลง		

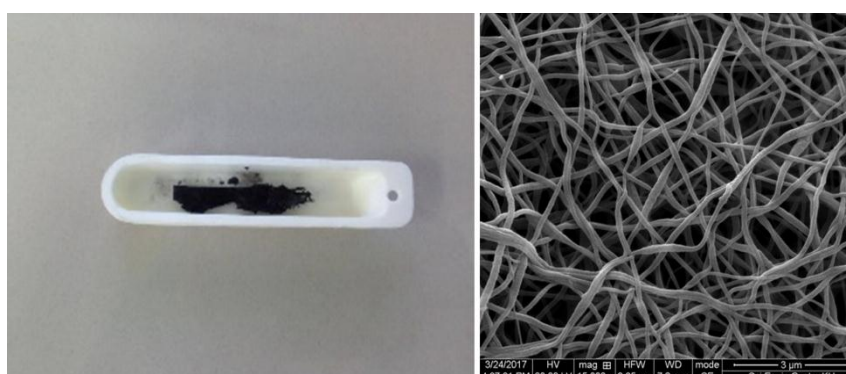
ตารางที่ 7 สภาวะและลักษณะของเส้นใยคาร์บอน จากเส้นใย PVP ผสม

ตัวอย่าง	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อน-หลังเผา	รูปก่อนเผา	รูปหลังเผา
PVP/Ethanol 10%					
PVP/Ethanol 15%	1.818 µm	1.364 µm	24.97% ลดลง		

PVP/ lignin สกัดเอง 15% PVP/เอทานอล 5% lignin ใน DMSO 75 : 25 โดยน้ำหนัก	1.543 μm	2.571 μm	166.623% เพิ่มขึ้น		
--	---------------------	---------------------	-----------------------	---	---



ภาพที่ 16 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยพอลิเมอร์ PVP



ภาพที่ 17 ลักษณะเส้นใยคาร์บอนที่ได้จากเส้นใยผสมระหว่างพอลิเมอร์ PVP และ lignin ที่สกัดจากกากอ้อย

การที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยคาร์บอนเพิ่มขึ้นในกรณีของ PVP ผสม lignin นั้น คาดว่าจะมาจากการที่สารเกิดการรวมตัวกันในขั้นตอนการเผา (Carbonization step) เนื่องจากขั้นตอนการทำให้เส้นใยผสมทนความร้อนในขั้น stabilization step ไม่สามารถทำการเรียงตัวโครงสร้างของสารได้เต็มที่ การผสม lignin ลงในระบบนั้นเป็นการเพิ่มสถานะ amorphous ให้กับเส้นใยผสมมากขึ้น ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุณหภูมิในขั้นตอน stabilization step ที่สูงขึ้นเพื่อป้องกันการที่เส้นใยหลอมรวมตัวกันในขั้นการเผา carbonization step แต่ในขณะนี้ยังไม่มีผลในการกระทำดังกล่าว เพราะเส้นใยอยู่ในช่วงขนาดที่แตกต่างจากเส้นใยคาร์บอนที่ได้จาก PAN ผสม lignin ทำให้จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดในช่วงไมครอน ในขณะที่เส้นใยจากพอลิเมอร์ PAN ผสม lignin จะให้เส้นใยในช่วง นาโนเมตร

ดังนั้นในการทดลอง หากต้องการเส้นใยคาร์บอนที่มีสัดส่วนการทดแทนโดย lignin ที่ร้อยละ 25 โดยน้ำหนักในช่วงที่ต่ำกว่า 1 ไมครอนสามารถผลิตได้จากเส้นใยผสมระหว่าง PAN และ lignin ในขณะที่ถ้าต้องการเส้นใยที่มีขนาดมากกว่า 1 ไมครอนสามารถผลิตได้จากเส้นใยผสมระหว่าง PVP และ lignin

4.5 คุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอน

4.5.1 คุณสมบัติพื้นที่ผิวและการใช้ประโยชน์

เส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (Carbon nanofibers) ถูกนำมาใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของเส้นใยขนาดเล็ก ตามที่ได้อธิบายในการทดสอบความสามารถในการนำไฟฟ้า นอกเหนือจากคุณสมบัติดังกล่าวเส้นใยคาร์บอนขนาดเล็กเป็นวัสดุที่มีขนาดพื้นที่ผิวมากต่อสัดส่วน

น้ำหนัก (large surface area per unit mass) จึงถูกนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุักเก็บอนุภาค เช่น การใช้เป็น catalyst support ในปฏิกิริยาทางเคมีและการดูดซับสี และโลหะหนักในอุตสาหกรรมเคมี เพื่อการวิจัยและพัฒนา รวมถึงการประยุกต์ใช้ในตัวอย่างการใช้งานที่กล่าวถึง การทราบถึงคุณสมบัติพื้นผิวมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ขนาดของพื้นที่ผิวเส้นใย carbon nanofiber ที่พัฒนาภายในโครงการจากเส้นใยผสม PAN และ lignin มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ $414 \text{ m}^2/\text{g}$ ขนาดดังกล่าวอยู่ในช่วงที่พบในวารสารวิชาการอื่นๆ กล่าวคือจากการสืบค้นพบว่าเส้นใย carbon nanofiber มีขนาดพื้นที่ผิวโดยเฉลี่ยตั้งแต่ $20 - 1,200 \text{ m}^2/\text{g}$ [7-9] นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงการเพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ของ PAN จากการปรับเปลี่ยนสภาวะการเผาในช่วง carbonization step โดยให้อุณหภูมิการเผาสูงสุดที่ 700 องศาเซลเซียสและอัตราการให้แก๊สไนโตรเจนที่ 1 มิลลิลิตรต่อนาที เปลี่ยนเป็นอุณหภูมิการเผาสูงสุดที่ 1,000 องศาเซลเซียสและอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 3 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งจะส่งผลให้เส้นใย PAN มีพื้นที่ผิวเพิ่มจาก $554.5 \text{ m}^2/\text{g}$ เป็น $1,075.1 \text{ m}^2/\text{g}$ [10] ภายใต้ข้อจำกัดของการพัฒนาทางคณะวิจัยไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนในช่วงการเผา carbonization step ได้ แต่รับทราบถึงศักยภาพในการพัฒนาเพิ่มเติม

ตารางที่ 7 แสดงถึงพื้นที่ผิวของเส้นใยที่ได้จากการวัดขนาดพื้นที่ผิว โดยระบบ single point surface area ที่สัดส่วนความดัน P/P_0 เท่ากับ 0.299 ที่สภาวะ isothermal temperature 77.0 K โดยมีสมมุติฐานว่าวัสดุทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นที่เท่ากัน ค่าพื้นที่ผิวเส้นใยที่แสดงได้มาจาก Brunauer Emmett Teller (BET) surface area equation model จากสมมุติฐานการดูดซับอนุภาคของแก๊สหลายชั้น (multilayer adsorption) ที่มีความเหมือนจริงมากกว่าการพิจารณาโดย Langmuir equation model

เพื่อพิจารณาปัจจัยของการมี lignin ในระบบส่งผลอย่างไรต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิว ขนาดของพื้นที่ผิวเส้นใยจะถูกปรับสัดส่วนโดยค่าเฉลี่ยขนาดของเส้นใย เพื่อเป็นค่าสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อขนาดเส้นใย (A/D) ค่าดังกล่าวนี้พัฒนาขึ้นเพื่อตัดปัจจัยความแตกต่างของขนาดเส้นใยออก จากการวิเคราะห์โดยค่าที่พัฒนาขึ้น พบว่าการเพิ่ม lignin มีผลต่อขนาดพื้นที่ผิวของเส้นใยอย่างชัดเจน

ตารางที่ 8 พื้นที่ผิวและขนาดของเส้นใยคาร์บอน

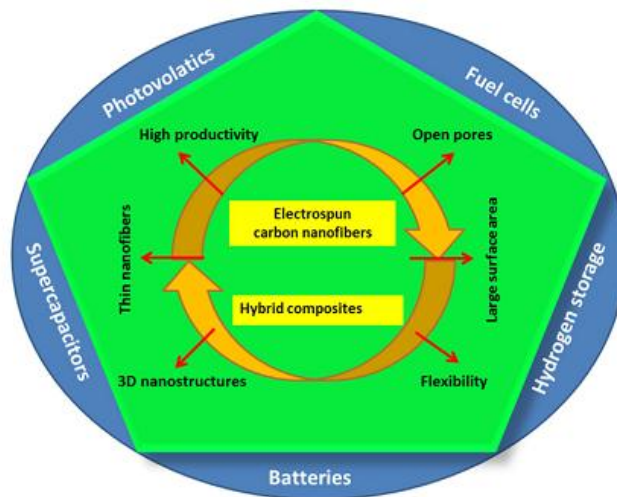
แหล่งที่มาของเส้นใย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (μm)	ขนาดพื้นที่ผิว (m^2/g)	A/D
PAN	0.203	346.614	1,707.458
PAN/ lignin สกัดเอง	0.171	414.301	2,422.813
PAN/Lignosulfonate	0.128	570.184	4,454.563
PAN/Kraft lignin	0.151	368.532	2,440.609

ผลการทดลองภายในโครงการสอดคล้องกับงานวิจัยโดย Juan Jin และคณะในปี 2014 กล่าวคือการที่เส้นใยคาร์บอนมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสม lignin มีสาเหตุมาจากการเพิ่ม topological defect และ structural disorder บนเส้นใยคาร์บอนจากการเพิ่ม lignin ในเส้นใยเป็นหลัก [11]

4.5.2 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าและการใช้ประโยชน์

เส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (Carbon nanofibers) ได้มาจากการเปลี่ยนเส้นใยพอลิเมอร์เป็นเส้นใยคาร์บอนโดยกระบวนการเผา (carbonization) เส้นใยถูกใช้มากในการพัฒนาวัสดุักเก็บพลังงาน

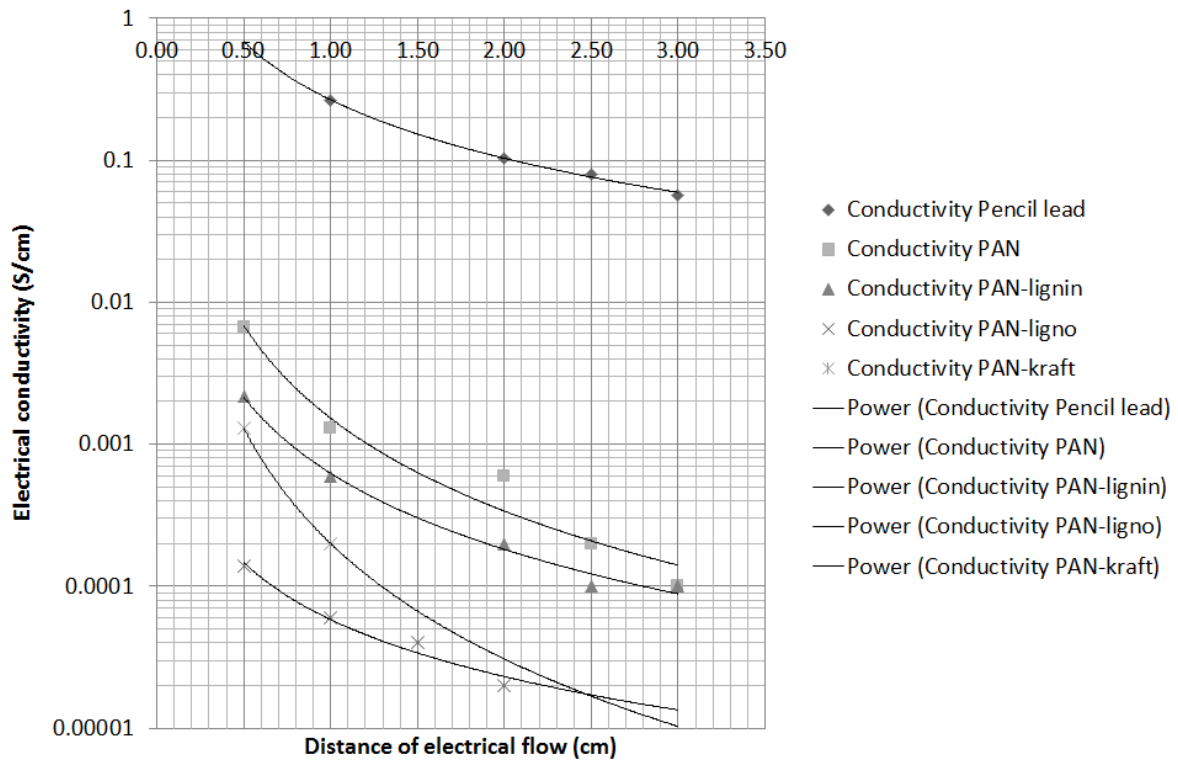
(Electrochemical energy storage device) เช่น แบตเตอรี่ที่สามารถใช้ซ้ำได้ (rechargeable battery) เนื่องจากความสามารถในการนำไฟฟ้า คุณสมบัติที่สำคัญในการคัดเลือกเส้นใยในการนำไปใช้งานคือความสามารถในการนำไฟฟ้า และปริมาณพื้นที่ผิวของเส้นใยโดยเฉลี่ยความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์มีความแตกต่างกันอย่างมาก กล่าวคือความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยอยู่ในช่วงระหว่าง 10^{-7} - 10^3 S/cm [12-13] ช่วงความสามารถในการนำไฟฟ้าดังกล่าวอยู่ระหว่างแท่งกราไฟท์ (Graphite) ประมาณ 4,000 S/cm และท่อนเส้นใยคาร์บอนนาโนทิวบ์ (Carbon nanotube) ในช่วง 10^2 - 10^6 S/cm



ภาพที่ 18 การใช้ประโยชน์ของเส้นใย carbon nanofiber [14]

ภายในโครงการได้มีการประเมินความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ พบว่าด้วยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่มีค่าใกล้เคียงกันนั้น การแทนที่ PAN ด้วย lignin ส่งผลให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลง ด้วยสัดส่วนการแทนที่ที่เท่ากันเมื่อแทนที่พอลิเมอร์ด้วย lignin ทางการค้าที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า lignin ที่สกัดได้ภายในโครงการ ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลงมากกว่าอย่างชัดเจน ความแตกต่างนี้คาดว่าจะมาจากการเพิ่มสัดส่วน amorphous structure ให้กับระบบเส้นใยเนื่องจากการนำไฟฟ้านั้นโครงสร้างผลึก crystalline structure มีความเหมาะสมมากกว่า [15] และเลือกใช้ช่วงความร้อนในการเผา (Carbonization step) ที่ยังไม่สามารถทำการจัดเรียงตัวโครงสร้าง lignin ได้เหมาะสม เพราะภายในโครงการทำการเลือกช่วงการเผาเพียงช่วงเดียวเท่านั้น ด้วยข้อจำกัดของเตาเผาที่มีทำให้ คณะนักวิจัยตัดสินใจเลือกช่วงในการเผาเพียงหนึ่งช่วงหากมีการปรับช่วงการเผาที่เหมาะสมแล้วคาดว่าจะสามารถเห็นความแตกต่างได้มากขึ้น

การปรับโครงสร้างของวัสดุโดยกระบวนการทางความร้อนก่อนการเผามีความสำคัญอย่างมากต่อลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลและ free electron ที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านอิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าให้กับเส้นใยคาร์บอน [16] ในปัจจุบันมีการเพิ่มขั้นตอนการปรับปรุงความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงในช่วง 3,000 องศาเซลเซียส และเรียกขั้นตอนดังกล่าวว่า Graphization step [17] ในขั้นตอนนี้การเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะสูงขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอน

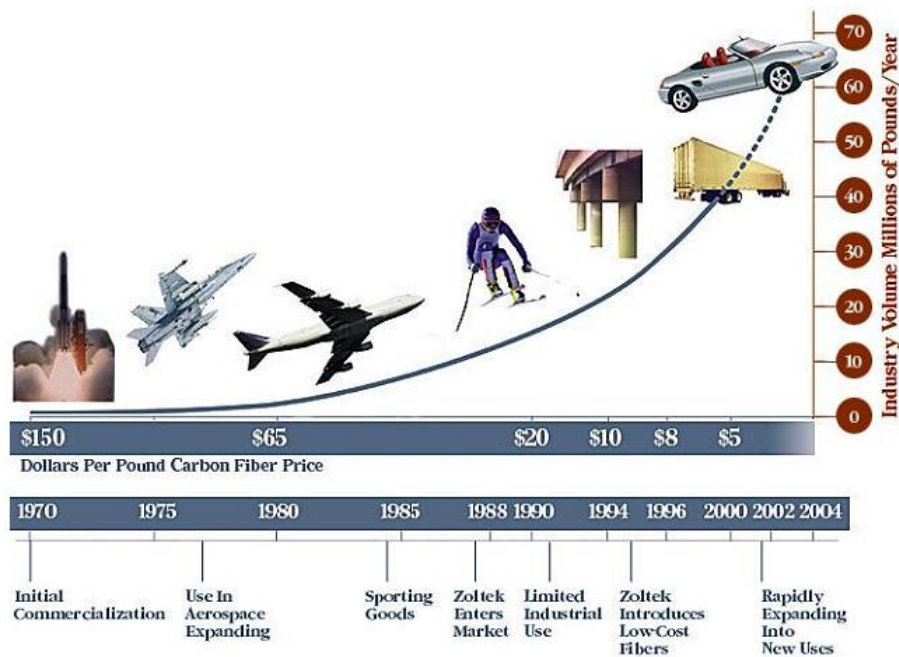


ภาพที่ 19 ความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์จากวัสดุตั้งต้นที่แตกต่างกัน

4.5.3 แนวทางการใช้ประโยชน์

เนื่องจากคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนที่ต่างกันจากกระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่เลือกใช้ ทำให้การใช้ประโยชน์ของเส้นใยคาร์บอนในอุตสาหกรรมนั้นมีความแตกต่างกันตามลักษณะการประยุกต์ใช้และลักษณะของเส้นใยคาร์บอนที่ผลิตได้

ภาพที่ 20 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบต่างๆที่เส้นใยคาร์บอนถูกนำมาใช้งานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ด้วยรูปแบบการประยุกต์ใช้ลักษณะของเส้นใยที่เหมาะสม และคุณภาพของเส้นใยในการใช้งาน ทำให้ราคาของเส้นใยคาร์บอนนั้นแตกต่างกันออกไป [18] วัสดุที่สามารถทดแทนการใช้ประโยชน์ของเส้นใยคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งานของเส้นใยคาร์บอนเป็นหลัก ในกรณีที่พิจารณาถึงคุณสมบัติความแข็งแรง พบว่าในบางกรณีนั้นเส้นใยแก้วสามารถนำมาใช้ทดแทนเส้นใยคาร์บอนได้ ทำให้การตัดสินใจเลือกใช้วัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของกลุ่มผู้บริโภค และค่าใช้จ่ายโดยรวมในการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นหลัก



ภาพที่ 20 การใช้งานและราคาของเส้นใยคาร์บอนในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเส้นใยในกลุ่มอุตสาหกรรมอีกทอที่มีคุณสมบัติที่สูงขึ้น เพื่อการพัฒนาเป็นเครื่องนุ่งห่มในระดับอุตสาหกรรม เช่นการผสมเส้นใยคาร์บอนร่วมกับเส้นใยที่มีอยู่แล้วในอุตสาหกรรมเช่นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ เพื่อผลิตเส้นใยที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า เพื่อใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องนุ่งห่มสำหรับงานที่ต้องการป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรต่อผู้สวมใส่โดยให้กระแสไฟฟ้าส่งผ่านเครื่องนุ่งห่มดังกล่าวแทนที่จะผ่านร่างกายของผู้สวมใส่ ในรูปแบบของถุงมือกันประจุไฟฟ้า (anti-static glove) รองเท้ากันประจุไฟฟ้า (anti-static shoe) เป็นต้น [19]

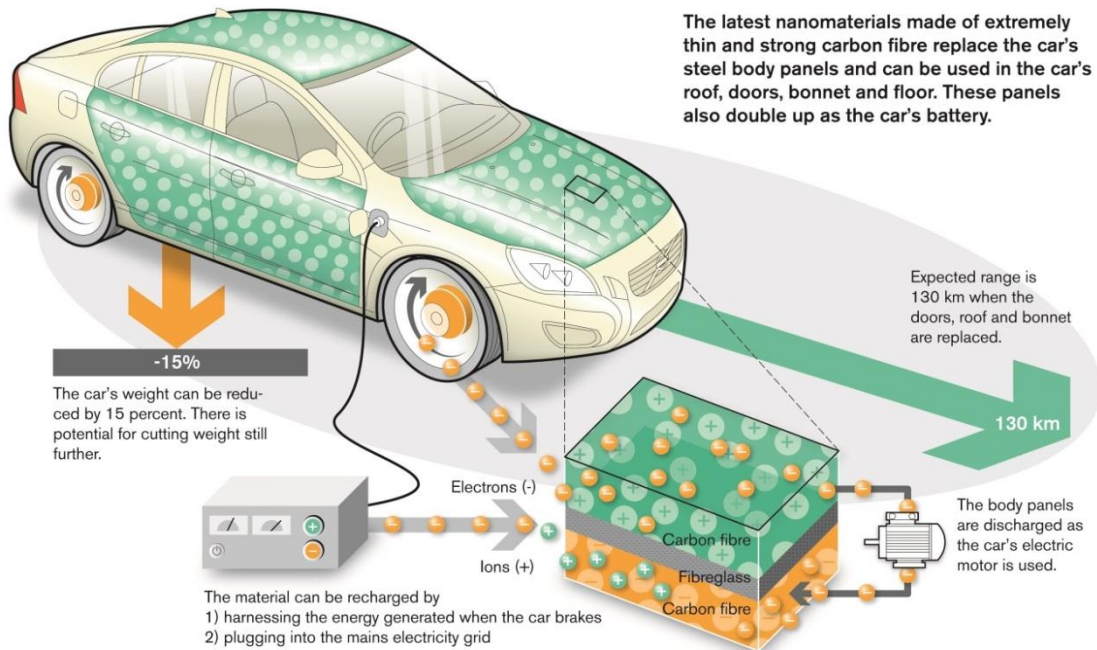


ภาพที่ 21 เส้นใยนำไฟฟ้าจากการผสมเส้นใยคาร์บอนลงในเส้นใยกลุ่มอุตสาหกรรมอีกทอ

นอกจากนี้ด้วยแนวโน้มการพัฒนาที่มุ่งสู่การหาวัสดุทดแทนและการพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือก ได้มีแนวคิดที่อยู่ในระหว่างการพัฒนาที่กล่าวถึงระบบสะสมพลังงานให้กับยานพาหนะที่มีน้ำหนักน้อยลง โดยการประยุกต์ใช้เส้นใยคาร์บอนมาดัดแปลงให้ทำหน้าที่ในการสะสมประจุไฟฟ้าเพื่อให้พาหนะประเภทที่ใช้พลังงาน

ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง (electric car) โดยการให้ระบบเก็บประจุไฟฟ้าอยู่ในรูปแบบแผ่นและประกอบร่วมกับพาหนะ ร่วมกับการใช้ระบบสะสมพลังงานไฟฟ้า (battery) ทำให้พาหนะสามารถเดินทางได้ระยะทางที่มากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 22 [20]

The car's body panels serve as a battery



ภาพที่ 22 การใช้ประโยชน์เส้นใยคาร์บอนในรูปแบบวัสดุเพื่อการสะสมพลังงานให้กับพาหนะ

การที่เส้นใยคาร์บอนมีขนาดเข้าสู่นาโนเมตรนั้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุในน้ำหนักที่เท่ากัน และส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการนำส่งกระแสไฟฟ้าและการส่งสมประจุเนื่องจากเป็นกลไกที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับพื้นที่ผิวของวัสดุ ทำให้เส้นใยคาร์บอนในระดับนาโนเมตรนั้นมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก และจากตัวอย่างการใช้งานที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาและการนำไปใช้ประโยชน์ของเส้นใยคาร์บอนจาก lignin เป็นวัตถุดิบตั้งต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Thompson CJ, Chase GG, Yarin AL, Reneker DH. Effects of parameters on nanofiber diameter determined from electrospinning model. *Polymer* 2007;23(2):6913-6922.
2. Cho T-H, Tanaka M, Onishi H, Kondo Y, Nakamura T, Yamazaki H, et al. Battery performances and thermal stability of polyacrylonitrile nano-fiber-based nonwoven separators for Li-ion battery. *J Power Sources* 2008;181:155-160.
3. Norharyati W, Salleh W, Ismail AF. Fabrication and characterization of PEI/PVP-based carbon hollow fiber membranes for CO₂/CH₄ and CO₂/N₂ separation. *AIChE J* 2012;58:17-20.
4. Li X-F, Xu Q, Fu Y, Guo Q-X. Preparation and characterization of activated carbon from Kraft lignin via KOH activation. *Environ Prog Sustain Energy* 2014;33:519-526.
5. Wang S-X, Yang L, Stubbs LP, Li X, He C. Lignin-derived fused electrospun carbon fibrous mats as high performance anode materials for lithium ion batteries. *ACS Appl Mater Interfaces* 2013;5:12275-82.
6. Ago M, Okajima K, Jakes JE, Park S, Rojas OJ. Lignin-based electrospun nanofibers reinforced with cellulose nanocrystals. *Biomacromolecules* 2012;13:918-26.
7. S.H. Park, H.R. Jung, W.J. Lee, Hollow activated carbon nanofibers prepared by electrospinning as counter electrodes for dye-sensitized solar cells *Electrochim. Acta* 102 (2013) 423-428.
8. G.H. An, H.J. Ahn, Activated porous carbon nanofibers using Sn segregation for high-performance electrochemical capacitors. *Carbon* 65 (2013) 87-96.
9. S.H. Park, B.K. Kim, W.J. Lee, Electrospun activated carbon nanofibers with hollow core/highly mesoporous shell structure as counter electrodes for dye-sensitized solar cells. *J. Power Sources* 239 (2013) 122-127.
10. Yang Y, Mei-Hua Z, Gang X, Zheng-Xiong J. Preparation and characterization of PAN-based ultra-fine activated carbon fiber adsorbent. *J Porous Mater*, 18, 379 (2011).
11. Juan Jin, Bao-jun Yu, Zhi-qiang Shi, Cheng-yang Wang, , Chuan-bin Chong. Lignin-based electrospun carbon nanofibrous webs as free-standing and binder-free electrodes for sodium ion batteries. *Journal of Power Sources* 272 (2014) 800-807.
12. Mahanta NK, Abramson AR, Lake ML, Burton DJ, Chang JC, Mayer HK, et al. Thermal conductivity of carbon nanofiber mats. *Carbon* 2010;48:4457-4465.
13. Mayhew E, Prakash V. Thermal conductivity of individual carbon nanofibers. *Carbon* 2013;62:493-500.
14. Shengjie Peng et al. Electrospun carbon nanofibers and their hybrid composites as advanced materials for energy conversion and storage. *Nano Energy* (2016) 22, 361-395.
15. Liu HC, Chien A-T, Newcomb BA, Liu Y, Kumar S. Processing, Structure, and Properties of Lignin- and CNTIncorporated Polyacrylonitrile-Based Carbon Fibers. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2015, 3, 1943-1954.

16. Zhang B, Yu Y, Xu Z-L, Abouali S, Akbari M, He YB, et al. Correlation between atomic structure and electrochemical performance of anodes made from electrospun carbon nanofiber films. *Adv Energy Mater* 2014;4:1301448.
17. Zhu D, Xu C, Nakura N, Matsuo M. Study of carbon films from PAN/VGCF composites by gelation/crystallization from solution. *Carbon* 2002;40:363–73.
18. Comparison between glass and carbon microfiber, <https://infogram.com/carbon-fiber-vs-fiberglass>, เข้าถึงวันที่ 23 สิงหาคม 2560
19. Electrical conductive yarn, https://www.alibaba.com/product-detail/Electric-conductive-yarn-electrically-conductive-carbon_60469313112.html, เข้าถึงวันที่ 23 สิงหาคม 2560
20. Carbon fiber energy storage for vehicle, <http://articles.sae.org/12555/>, เข้าถึงวันที่ 23 สิงหาคม 2560

บทที่ 5 ต้นทุนการผลิต Carbon Nanofiber

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ lignin ที่สกัดจากกากอ้อยในการผลิตเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ จึงได้ทำการศึกษาต้นทุนการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ รวมทั้งวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ใน ด้านเทคโนโลยี การเงินและตลาด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุนการผลิต

“ต้นทุน” หมายถึง การวัดค่าของทรัพยากรที่ใช้ไปเพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งการวัดค่าของทรัพยากรนั้นๆ จะออกมาในรูปแบบของหน่วยเงินตรา [1] หรือ มูลค่าที่วัดได้เป็นจำนวนเงินของสินทรัพย์ หรือความเสียสละที่กิจการได้ลงทุนไปในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้สินค้า สินทรัพย์ หรือบริการนั้นๆ [2] ในทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุน คือ มูลค่าที่เป็นตัวเงินที่ใช้ไปเพื่อให้ได้หรือผลิตสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ดังนั้นในทางธุรกิจและการบัญชี ต้นทุน จึงหมายถึง ทรัพยากรที่เสียไปเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าหรือบริการ ทรัพยากรที่เสียไปรวมถึงตัวเงิน เวลา และแรงงาน [3] โดยทั่วไปต้นทุนประกอบด้วยแนวคิด 3 ประการ [4] ดังนี้

1) ต้นทุน คือ การวัดค่าของปริมาณทรัพยากรที่ใช้ไป ได้แก่ ปริมาณของวัตถุดิบ ปริมาณของแรงงาน และปริมาณของบริการอื่นๆ ว่ามีจำนวนทั้งสิ้นเท่าใด

2) ต้นทุน คือ การวัดค่าออกมาในรูปแบบของหน่วยเงินตรา ด้วยสาเหตุที่ทรัพยากรแต่ละชนิดที่ใช้ไปนั้น มีหน่วยที่ใช้วัดค่าของทรัพยากรแต่ละชนิดแตกต่างกัน การแปลงหน่วยวัดค่าของทรัพยากรแต่ละชนิดให้อยู่ในรูปของหน่วยเงินตรา จะทำให้สามารถรวมมูลค่าของทรัพยากรทุกชนิดเข้าด้วยกันได้

3) การวัดค่าต้นทุนจะต้องมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เสมอ เพราะต้นทุนของรายการหนึ่งจะถูกคำนวณขึ้นเพื่อนำไปใช้เฉพาะวัตถุประสงค์หนึ่ง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการใช้ข้อมูลต้นทุนจะเป็นตัวกำหนดวิธีการวัดค่าของต้นทุนรายการนั้น

การจำแนกประเภทของต้นทุน สามารถแบ่งประเภทของต้นทุนได้หลายรูปแบบตามการวิเคราะห์และการนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1) ต้นทุนตามหน้าที่ คือ การแบ่งต้นทุนตามลักษณะหน้าที่งานเป็นหลัก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนการผลิตและต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับการผลิต สามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

- ต้นทุนการผลิต แบ่งได้ 3 ชนิด คือ

- วัตถุดิบทางตรง
- ค่าแรงทางตรง
- ค่าใช้จ่ายการผลิต

- ต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับการผลิต แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- ค่าใช้จ่ายในการขายหรือค่าใช้จ่ายที่ช่วยให้กิจการได้รับยอดขาย
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารทั่วไป

2) ต้นทุนตามความสามารถในการจำแนกตามหน่วยต้นทุน แบ่งได้ 2 ส่วน คือ ต้นทุนทางตรง และ ต้นทุนทางอ้อม สามารถจำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

- ต้นทุนทางตรง คือ ต้นทุนที่เป็นส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงของการผลิตสินค้า ได้แก่ วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิตทางตรงอื่นๆ ต้นทุนทางตรงมักจะผันแปรไปตามปริมาณการผลิตสินค้า

- ต้นทุนทางอ้อม คือ ต้นทุนต่างๆ ที่ยากจะระบุหรือจำแนกได้ หรือต้นทุนอื่นๆ ที่นอกเหนือจากต้นทุนทางตรง ต้นทุนทางอ้อมบางรายการจะไม่ผันแปรไปตามปริมาณการผลิตสินค้า

3) ต้นทุนตามความสัมพันธ์กับรายได้ในช่วงเวลาหนึ่ง สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- ต้นทุนผลิตภัณฑ์ คือ ต้นทุนสินค้าคงคลังที่อยู่ในคลังของกิจการและจะถือว่าเป็นสินทรัพย์ของกิจการไปจนกว่าสินค้านั้นจะถูกขายออกไป

- ต้นทุนงวดเวลา คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ก่อให้เกิดรายได้ ทั้งทางตรงและทางอ้อมในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

4) ต้นทุนตามพฤติกรรมของต้นทุน คือ การจำแนกต้นทุนตามความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงในกิจกรรมต่างๆ ของกิจการ จำแนกได้ดังนี้

- ต้นทุนผันแปร คือ ต้นทุนชนิดต่างๆ ที่ผันแปรไปตามระดับของกิจกรรมหรือตามหน่วยที่ผลิต เช่น วัตถุดิบทางตรงที่ใช้ไป ค่าแรงทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิตผันแปร

- ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นอย่างคงที่ ไม่ผันแปรไปตามกิจกรรมหรือตามจำนวนสินค้าที่ผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคาโรงงานและเครื่องจักร ค่าเงินเช่าที่ดิน ค่าเงินเดือนบุคลากรฝ่ายธุรการ เป็นต้น

- ต้นทุนผสม คือ ต้นทุนรวมของต้นทุนใดๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณกิจกรรม แต่มิได้เปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกิจกรรม ต้นทุนผสมเป็นต้นทุนที่มีทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรรวมกัน

5) ต้นทุนเพื่อใช้ในการตัดสินใจ จำแนกได้ดังนี้

- ต้นทุนส่วนต่าง คือ ต้นทุนส่วนที่แตกต่างหรือต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเลือกทางหนึ่งไปสู่อีกทางหนึ่ง หรือ ค่าใช้จ่ายใดๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละทางเลือก ต้นทุนนี้ถือเป็นต้นทุนในอนาคตและเป็นต้นทุนที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้บริหาร

- ต้นทุนเสียโอกาส คือ ผลประโยชน์ที่เสียไปจากการไม่เลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่ง

- ต้นทุนจม คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นแล้วและไม่สามารถหลีกเลี่ยงหรือเปลี่ยนแปลงได้ ไม่ว่าจะเป็นการตัดสินใจที่จะเปลี่ยนแปลงทั้งในปัจจุบันหรืออนาคต

การจัดประเภทต้นทุนเพื่อการจัดการหรือใช้ในการตัดสินใจนั้น เป็นการจำแนกเพื่อให้ข้อมูลแก่ผู้บริหารในการตัดสินใจเลือกทางเลือกต่างๆ เช่น การตัดสินใจผลิตหรือไม่ การตัดสินใจตั้งราคาผลิตภัณฑ์ การขยายหรือยุบส่วนงานการผลิต การตัดสินใจกรณีที่มีทรัพยากรในการผลิตจำกัด การตัดสินใจซื้อหรือผลิตเอง

นอกจากนี้ในการศึกษาด้านต้นทุนนั้น ส่วนใหญ่จะกำหนดวิธีการศึกษาจำแนกตามประเภทของการประกอบธุรกิจ ซึ่งแบ่งได้ 3 ประเภทใหญ่ คือ ธุรกิจการให้บริการ ธุรกิจการซื้อขายสินค้า และธุรกิจการผลิตสินค้าเพื่อขาย ดังนั้น การศึกษาด้านต้นทุนในโครงการนี้จึงเน้นไปที่ต้นทุนของการผลิตสินค้า

การดำเนินงานของธุรกิจที่ผลิตสินค้านั้นจะประกอบด้วย 3 หน้าที่หลัก คือ การผลิต การตลาด และการบริหาร ดังนั้นจึงสามารถจำแนกต้นทุนเกี่ยวกับการผลิตสินค้าออกเป็น 2 รายการตามหน้าที่การทำงาน คือ ต้นทุนการผลิต และต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับการผลิต มีรายละเอียดดังนี้

“ต้นทุนการผลิต” (Manufacturing Costs)

ต้นทุนการผลิตตามแนวคิดเศรษฐศาสตร์แตกต่างจากต้นทุนทางบัญชี กล่าวคือ ต้นทุนทางบัญชีหมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงที่ได้จ่ายออกไปเป็นตัวเงิน หรือเรียกว่า ต้นทุนทางตรง (Explicit Cost) ส่วนต้นทุนการผลิตในทางเศรษฐศาสตร์นั้นมีความหมายกว้างกว่า เนื่องจากได้รวมค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้จ่ายจริงเข้าไว้

ด้วย โดยระยะเวลาของการผลิตในทางเศรษฐศาสตร์ แบ่งเป็น 2 ระยะเวลา คือ การผลิตในระยะสั้น หมายถึง ช่วงเวลาของการผลิตที่ผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงปัจจัยการผลิตบางอย่างได้ เรียกปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้นี้ว่า ปัจจัยคงที่ เช่น ที่ดิน อาคาร โรงงาน เครื่องจักรขนาดใหญ่ ส่วนปัจจัยการผลิตที่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนได้เมื่อต้องการ เช่น วัตถุดิบ หรือ แรงงาน เรียกปัจจัยเหล่านี้ว่า ปัจจัยแปรผัน และอีกช่วงระยะเวลา คือ การผลิตในระยะยาว หมายถึง ช่วงเวลาการผลิตที่ผู้ผลิตสามารถเปลี่ยนแปลงปัจจัยการผลิตทุกชนิดให้มีปริมาณตามต้องการได้

การผลิตสินค้าเป็นการแปรหรือเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้กลายเป็นสินค้าสำเร็จรูป โดยใช้ แรงงานคน เครื่องมือ เครื่องจักร และสิ่งจำเป็นอื่นๆ ในการผลิต นิยมเรียกต้นทุนการผลิตว่า ต้นทุนผลิตภัณฑ์ (Product Costs) ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนจำนวน 3 รายการ ได้แก่ วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต

1) วัตถุดิบทางตรง (Direct Material) หมายถึง วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต ถือเป็นต้นทุนสำคัญของสินค้า วัตถุดิบทางตรงมักจะผันแปรไปตามปริมาณการผลิตสินค้าหรือกิจกรรมการผลิต

2) ค่าแรงทางตรง (Direct Labor) หมายถึง ค่าแรงงานในอัตราปกติที่จ่ายให้แก่การทำงานของพนักงานที่ทำหน้าที่โดยตรงกับการผลิตสินค้า

3) ค่าใช้จ่ายการผลิต (Manufacturing Overhead) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ทั้งหมดนอกเหนือจากวัตถุดิบทางตรงและค่าแรงทางตรง ได้แก่ วัตถุดิบทางอ้อม ค่าแรงทางอ้อม ค่าเสื่อมราคาโรงงานและเครื่องจักร เป็นต้น

วัตถุดิบทางตรงและค่าแรงทางตรง ถือว่าเป็นต้นทุนที่มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์โดยตรง ผลรวมของต้นทุนทั้ง 2 ชนิด เรียกว่า ต้นทุนขั้นต้น (Prime Costs) ส่วนค่าแรงทางตรงและค่าใช้จ่ายการผลิตเป็นปัจจัยที่ทำให้วัตถุดิบกลายเป็นสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผลรวมของต้นทุนทั้ง 2 ชนิด จึงเรียกว่า ต้นทุนแปรสภาพ (Conversion Costs)

“ต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับการผลิต” (Nonmanufacturing Costs)

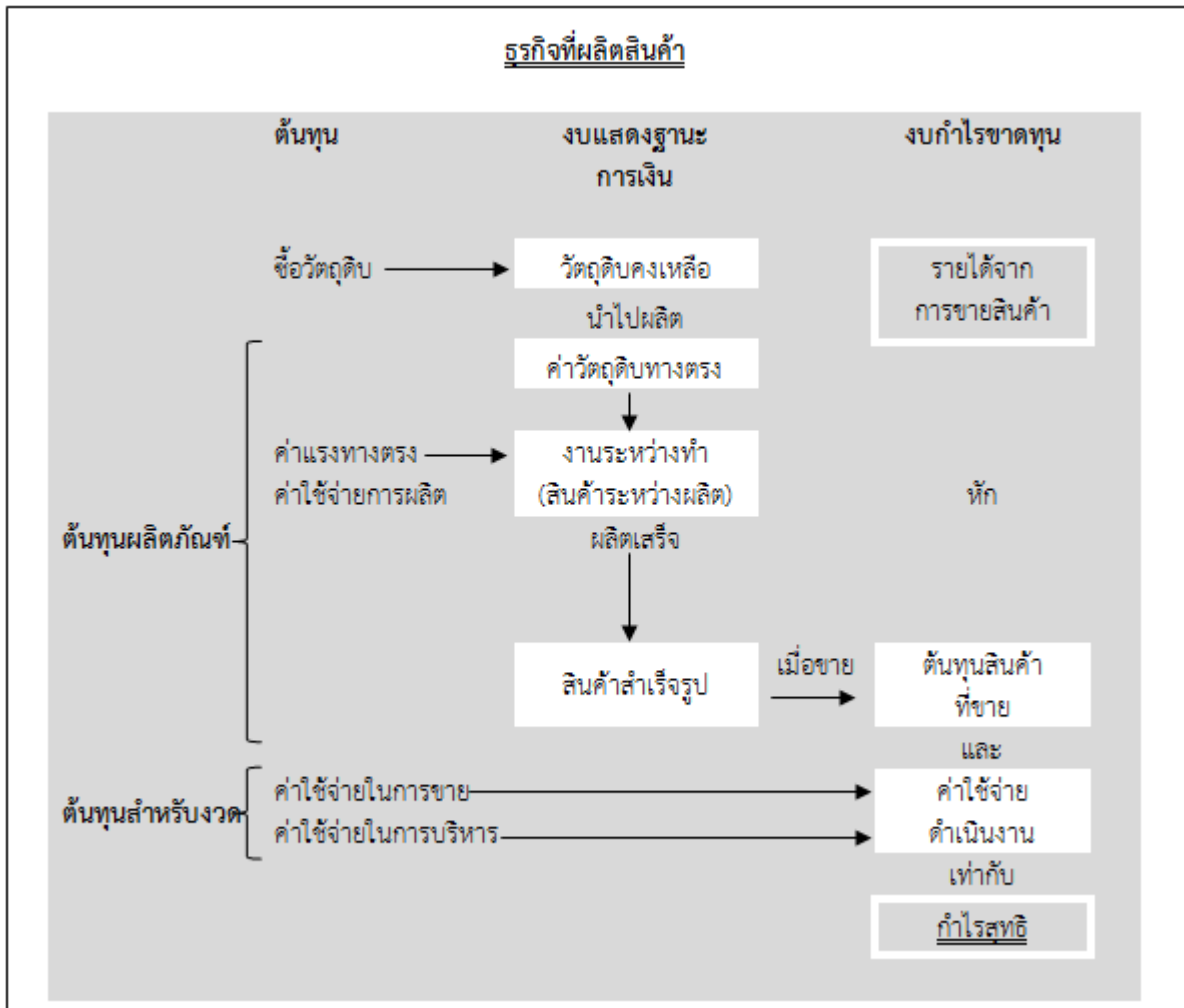
ต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับการผลิตประกอบด้วยรายการต้นทุนหลัก 2 รายการ คือ

- ค่าใช้จ่ายในการขาย (Selling Costs)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหาร (Administrative Costs)

ซึ่งจัดเป็น ต้นทุนสำหรับงวด หรือ ค่าใช้จ่ายประจำงวด (Period Costs) โดยต้นทุนทั้งสองรายการนี้ มักจะถูกแสดงเป็นค่าใช้จ่ายในงบกำไรขาดทุนในงวดที่ต้นทุนส่วนนี้เกิดขึ้น

1) ค่าใช้จ่ายในการขาย (Selling Costs) หรือค่าใช้จ่ายทางการตลาด หมายถึง ค่าใช้จ่ายทุกประเภทที่เกิดขึ้นในฝ่ายขายหรือฝ่ายการตลาด ได้แก่ เงินเดือน ค่าโฆษณา ค่าขนส่งเมื่อขาย ค่านายหน้าพนักงานขาย เป็นต้น

2) ค่าใช้จ่ายในการบริหาร (Administrative Costs) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั่วไปนอกเหนือจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในฝ่ายผลิตและฝ่ายขาย เช่น ค่าใช้จ่ายในฝ่ายธุรการ ฝ่ายบัญชีการเงิน ฝ่ายกฎหมาย ฝ่ายบุคลากร ค่าใช้จ่ายในการบริหารรวมถึงเงินเดือน ค่าตอบแทน ค่าสาธารณูปโภคของสำนักงาน เป็นต้น



ภาพที่ 23 การเคลื่อนย้ายของต้นทุนผลิตภัณฑ์
ที่มา: สุปราณี สุกระเศรณี และคณะ [1]

การศึกษาด้านต้นทุนของโครงการเป็นการศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนผลิตภัณฑ์ ดังนั้นทฤษฎีและแนวคิดข้างต้นจึงสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ โดยจะดำเนินการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในระดับห้องปฏิบัติการตามองค์ประกอบของต้นทุนผลิตภัณฑ์ข้างต้นต่อไป

5.2 แนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ หมายถึง การศึกษาเพื่อทำให้ทราบเกี่ยวกับผลที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ทางด้านการตลาด วิศวกรรม การเงิน การบริหารจัดการ เศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลตอบแทนจากการดำเนินโครงการคุ้มค่าที่สุด [5]

จากการศึกษาเกี่ยวกับหลักเกณฑ์และแนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้นั้น สามารถสรุปปัจจัยหรือมิติที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการออกเป็น 6 มิติ [6] ดังนี้

1) ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด

คือ ความสามารถของโครงการในนำผลิตภัณฑ์ไปสู่เชิงพาณิชย์ การขายผลิตภัณฑ์ตามราคาที่กำหนด โดยปัจจัยที่พิจารณาส่วนใหญ่ คือ ความต้องการของตลาด ขนาดของตลาด คู่แข่งขัน เป็นต้น

2) ความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมหรือทางเทคนิค

คือ การใช้เทคโนโลยีหรือระบบที่เหมาะสมในการผลิตหรือดำเนินการ โดยปัจจัยที่พิจารณาส่วนใหญ่ คือ ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต การถ่ายทอดเทคโนโลยี การต่อยอดเทคโนโลยี เป็นต้น

3) ความเป็นไปได้ทางการบริหาร

คือ ความสามารถในการบริหารกิจการหรือจัดการโครงการให้สามารถดำเนินกิจกรรมได้สำเร็จตามต้องการ เช่น ลักษณะขององค์กร รูปแบบการบริหารองค์กร การจัดการองค์กร เป็นต้น

4) ความเป็นไปได้ทางการเงิน

คือ ความสามารถของโครงการในการคืนทุนได้ตามที่ต้องการ หรือระยะการคืนทุนเร็วที่สุด เช่น เงินลงทุน เงินทุนหมุนเวียน ระยะเวลาคืนทุน จุดคุ้มทุน เป็นต้น เป็นการวิเคราะห์จากมุมมองในการลงทุนของเอกชน

5) ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

คือ ความสามารถของโครงการในการทำให้เกิดผลกำไรต่อสังคมโดยรวม เช่น อัตราการตอบแทนทางเศรษฐกิจ การพัฒนาเศรษฐกิจหรือกิจกรรมที่กระตุ้นเศรษฐกิจ เป็นต้น เป็นการวิเคราะห์จากมุมมองในการลงทุนของภาครัฐและสังคมโดยรวม

6) ความเป็นไปได้ทางสิ่งแวดล้อม

คือ ความสามารถในการดำเนินงานของโครงการที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือการบริหารจัดการทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น เช่น คุณภาพแหล่งน้ำ การกระจายของฝุ่น เป็นต้น

ในส่วนของการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการนั้นจะทำการศึกษาเบื้องต้นใน 3 มิติ ดังนี้

1) การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค (Technical feasibility)

เป็นการพิจารณาในส่วนความเหมาะสมของโครงการในด้านเทคนิค เทคโนโลยี กระบวนการหรืองานด้านวิศวกรรมของโครงการ เช่น ความเหมาะสมของเทคโนโลยี ความเหมาะสมของระบบที่ใช้ การได้มาซึ่งเครื่องจักรในการผลิต เป็นต้น ด้านการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์นั้น จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคและกรรมวิธีในการผลิต รวมไปถึงความเหมาะสมด้านเทคโนโลยี เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตเพื่อทราบเทคนิคการผลิตที่มีอยู่ว่าแต่ละเทคนิคมีข้อดีข้อด้อยอย่างไร

2) การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด (Market feasibility)

เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางการตลาด เพื่อตั้งสมมติฐานถึงความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด เช่น คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ ตลาดที่มีศักยภาพ คู่แข่ง สินค้าทดแทน เป็นต้น

3) การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน (Financial feasibility)

ทำการศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนค่าใช้จ่ายของโครงการ และผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ อาจเป็นไปได้ทั้งในลักษณะของต้นทุนและผลตอบแทนที่คาดว่าจะประเมินค่าเป็นตัวเงินได้

5.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ด้วย Lignin จากชานอ้อย

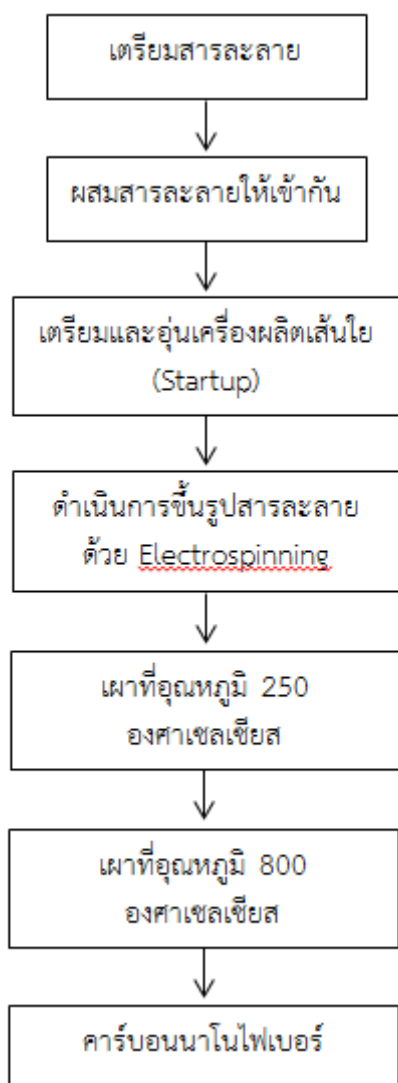
การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ของโครงการนั้น จะทำการวิเคราะห์ตามกระบวนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ ตั้งแต่กระบวนการเตรียมวัตถุดิบไปจนถึงกระบวนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ โดยแยกต้นทุนออกเป็นหมวดหมู่ ดังต่อไปนี้

1) วัตถุดิบทางตรง (Direct Material) คือ วัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต ถือเป็นต้นทุนสำคัญของสินค้า วัตถุดิบทางตรงมักจะผันแปรไปตามปริมาณการผลิตสินค้าหรือกิจกรรมการผลิต ได้แก่ สาร lignin Polyacrylonitrile (PAN) เป็นต้น

2) ค่าแรงทางตรง (Direct Labor) คือ ค่าแรงงานในอัตราปกติที่จ่ายให้แก่การทำงานของพนักงานที่ทำหน้าที่โดยตรงกับการผลิตสินค้า

3) ค่าใช้จ่ายการผลิต (Manufacturing Overhead) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ทั้งหมดนอกเหนือจากวัตถุดิบทางตรงและค่าแรงทางตรง ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ เป็นต้น

ซึ่งกระบวนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในโครงการมี 7 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กระบวนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในโครงการ

จากกระบวนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ดังกล่าว จะสามารถวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดเป็นเวลา 38.5 ชั่วโมง แต่เมื่อหักเวลารอข้ามคืนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยหากกำหนดอัตราการทำงาน 8

ชั่วโมงต่อวัน จะใช้เวลาทำงานทั้งหมด 3 วัน ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 9 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปคำนวณค่าเสื่อมราคา และค่าแรงงานต่อไป

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ในการคาร์บอนนาโนไฟเบอร์

ลำดับ	กระบวนการผลิต	เวลา	หน่วย
1	เตรียมสารละลาย	4	ชั่วโมง
2	ผสมสารละลายให้เข้ากัน	12	ชั่วโมง
3	เตรียมและอุ่นเครื่องผลิตเส้นใย (Startup)	0.5	ชั่วโมง
4	ดำเนินการขึ้นรูปสารละลายด้วย Electrospinning	10	ชั่วโมง
5	เผาที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส	4	ชั่วโมง
6	เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส	3	ชั่วโมง
7	ปิดเตาเผา	5	ชั่วโมง
รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมด		38.5	ชั่วโมง
หักเวลารอข้ามคืน 12 ชั่วโมง ที่อัตราการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน		3	วัน

ในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ระดับห้องปฏิบัติการด้วยกระบวนการผลิตดังกล่าว ที่ใช้เส้นใยพอลิเมอร์ตั้งต้น 40 กรัม จะสามารถผลิตผลผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ได้ 16.25 กรัม ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณผลผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ได้จากกระบวนการผลิตในโครงการ

ลำดับ	ผลผลิตเริ่มต้น	จำนวน	หน่วย	อัตราการสูญเสียจากการผลิต (ร้อยละ)	ผลผลิตที่ได้	จำนวน	หน่วย	หมายเหตุ
1	เส้นใยพอลิเมอร์	40	กรัม	5	เส้นใยพอลิเมอร์	38	กรัม	สูญเสียจากการขึ้นรูป
2	เส้นใยพอลิเมอร์	38	กรัม		Carbon Nanofiber	17.1	กรัม	สูญเสียจากการเผา
	PAN	28.5	กรัม	50	PAN	14.25	กรัม	จากการอ้างอิง
	Lignin	9.5	กรัม	70	Lignin	2.85	กรัม	จากการอ้างอิง
3	Carbon Nanofiber	17.1	กรัม	5	Carbon Nanofiber	16.25	กรัม	สมมติฐานสูญเสียในเตาเผา

จากข้อมูลการผลิตระดับห้องปฏิบัติการข้างต้น ค่าเสื่อมราคา (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1) และค่าไฟฟ้า (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก-2) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ต่อกรัมเท่ากับ 388.22 บาท หรืออีกโลกรัมละ 388,219.53 บาท ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ต้นทุนรวมการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ระดับห้องปฏิบัติการ

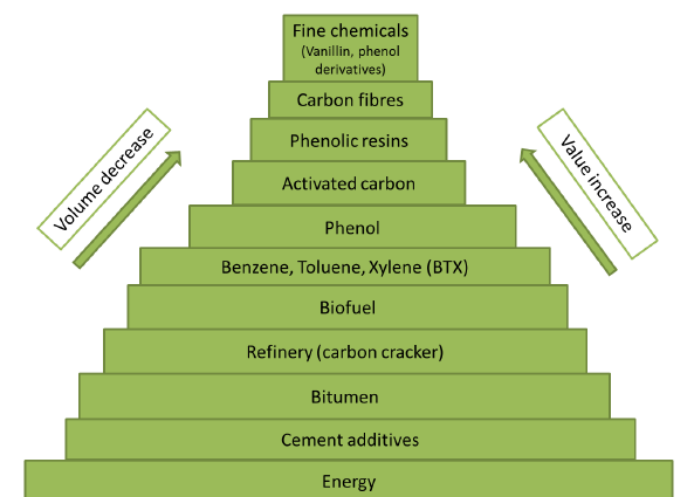
รายการ	จำนวน	หน่วย	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	ต้นทุน (บาท)	หมายเหตุ
วัตถุดิบ เช่น สารเคมี				5,287.10	
Polyacrylonitrile (PAN)	30	g	133.75	4,012.50	ราคาสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามราคาตลาด
Dimethylformamide (DMF)	270	g	0.56	151.20	ราคาสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามราคาตลาด
ลิกนินในโครงการ	10	g	6.94	69.40	
Dimethylsulfoxide (DMSO)	90	g	1.00	90.00	ราคาสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามราคาตลาด
ออกซิเจน	10%	ถัง	7,500.00	750.00	ใช้ออกซิเจน 10% ของถัง อัตราส่วนออกซิเจนต่อไนโตรเจน 1:2
ไนโตรเจน	20%	ถัง	1,070.00	214.00	ใช้ไนโตรเจน 20% ของถัง
วัสดุอุปกรณ์				2.08	
ขวด Dulan สีชา 2000 ml	3	ขวด	0.01	0.02	ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1
Magnetic stirbar	3	ชิ้น	0.05	0.15	ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1
ถ้วยเผา Boat	1	อัน	0.57	0.57	ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1
ท่อเผา	1	อัน	1.35	1.35	ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1
เครื่องมือ				55.38	
เครื่อง magnetic stirrer	1	ชิ้น	2.36	2.36	ดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1

รายการ	จำนวน	หน่วย	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	ต้นทุน (บาท)	หมายเหตุ
เครื่องผลิตเส้นใยปริมาณ มาก	1	เครื่อง	33.56	33.56	ดังภาคผนวก ก ตาราง ที่ ก-1
เตาเผา 1000 องศา	1	เครื่อง	19.45	19.45	ราคาในปี 2551 เป็น เงิน 115,000 บาท คิด อัตราเงินเฟ้อปีละ 3% จนถึงปี 2560
ค่าแรงงานและค่าใช้จ่าย				962.07	
ค่าแรงงาน	3	วัน	300.00	900.00	อัตราค่าจ้างรายวัน 300 บาทต่อวัน
ไฟฟ้า	4.25	หน่วย	5.11	21.73	ดังภาคผนวก ก ตาราง ที่ ก-2
น้ำประปา	15	ลิตร	0.02	30.23	ค่าน้ำประปาถูกบาศก์ เมตรละ 15.49 บาท
น้ำกลั่น	5	ลิตร	2.02	10.10	
ต้นทุนรวมทั้งหมดต่อครั้ง การผลิต				6,306.63	
ต้นทุนนาโนคาร์บอนไฟ เบอร์ต่อกรัม				388.22	ปริมาณคาร์บอนไฟ เบอร์ที่ผลิตได้ 16.25 กรัม
ต้นทุนนาโนคาร์บอนไฟ เบอร์ต่อกิโลกรัม				388,219.53	

5.4 การศึกษาความเป็นไปได้ทางการผลิตเบื้องต้น

5.4.1 ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค

จากข้อมูลทางด้านเทคนิคเบื้องต้น Lignin จัดเป็น renewable resources ที่สำคัญที่มีปริมาณ
รองลงมาจาก cellulose แต่เนื่องจากมีความยุ่งยากในการแยกซึ่งต้องอาศัยสภาวะที่เป็นกรด-ด่างรุนแรง
ปัจจุบัน lignin เชิงการค้าที่มีโดยส่วนใหญ่จึงได้มาจากของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เช่น
lignosulfonates และ kraft lignin แม้ว่าจะมีข้อจำกัดของ lignin ในการนำมาใช้ประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น
รวมถึงโครงสร้างทางเคมีที่ไม่แน่นอน แต่มีงานวิจัยจำนวนมากมองว่า lignin เป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพซึ่งยัง
สามารถนำพัฒนาได้อีกมากโดยเฉพาะในการนำมาพัฒนาเป็นสารเคมีหรือวัตถุดิบอื่นเพื่อทดแทนการใช้
สารเคมีจากน้ำมันดิบ ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์จาก lignin (Lignin valorization)
ที่มา: Gosselink (2011) [7]

ในการผลิตเส้นใยคาร์บอนจาก lignin นั้น ได้มีการใช้กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าจาก lignin ในรูปแบบสารละลายเพื่อให้ได้เส้นใย lignin ที่มีขนาดเล็กกว่าไมครอนและด้วยจุดเด่นของกระบวนการ electrospinning จะพบว่ากระบวนการมีความสามารถในการควบคุมขนาดเส้นใยในช่วงที่หลากหลายจากสภาวะในการขึ้นรูปต่างๆ เช่น ความเข้มข้นสารละลาย สภาวะความเข้มสนามไฟฟ้า (Electric field strength) และลักษณะของหัวฉีดพอลิเมอร์ (Metal nozzle) ที่ถูกเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ให้กำเนิดสนามไฟฟ้าแรงสูง (High voltage power supply)

Lignin ทางการค้าที่ผ่านกระบวนการตัดแปรโครงสร้างทางเคมีมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ดีกว่า lignin ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการตัดแปร ดังนั้นการเลือกชนิดตัวทำละลายของ lignin หรือการตัดแปรโครงสร้างของ lignin เพื่อช่วยในการละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเส้นใย lignin [8] ในบางกรณีที่ได้มีการใช้พอลิเมอร์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเส้นใย lignin นั้นถึงแม้ว่าจะช่วยให้การขึ้นรูปเส้นใย lignin ทำได้โดยง่าย แต่พอลิเมอร์ดังกล่าวจะต้องถูกเผาทิ้งจึงทำให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในกระบวนการ เป้าหมายในโครงการจึงเป็นการใช้ lignin เพียงอย่างเดียว หรือใช้พอลิเมอร์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเส้นใยให้น้อยที่สุด ประเด็นการขึ้นรูปและพอลิเมอร์ที่ใช้ช่วยในการขึ้นรูปเส้นใยจะจัดเป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาการขึ้นรูปเส้นใยก่อนกระบวนการเผาแปรรูปเนื่องจากจะส่งผลต่อขนาดเส้นใยและผลผลิตพลอยได้ (production yield)

ในเชิงวิศวกรรมกระบวนการในการเปลี่ยน lignin ที่ได้จากการสกัดและนำมาทำให้อยู่ในรูปแบบเส้นใยเพื่อเปลี่ยนเป็นเส้นใยคาร์บอนโดยการเผานั้นไม่สามารถทำการเผาเส้นใยโดยตรงเพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอน เนื่องจาก lignin มี Glass transition (T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิการเผาซึ่งจะทำให้ lignin อ่อนตัวได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตัดแปรโครงสร้างของ lignin เพื่อจำกัดหมู่ไฮดรอกซิลเพื่อไม่ให้หมู่ฟังก์ชันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า T_g กระบวนการที่เหมาะสมคือการปรับสภาพเส้นใย lignin ด้วยกระบวนการ thermal stabilization ที่อุณหภูมิระหว่าง 280 – 340 องศาเซลเซียส และมีอัตราการให้ความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างชนิดของ lignin เนื่องจากความแตกต่างทางโครงสร้างเพื่อให้เกิด intermonomer linkage

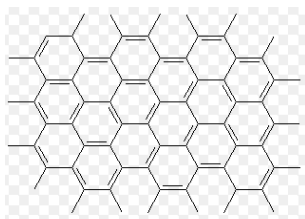
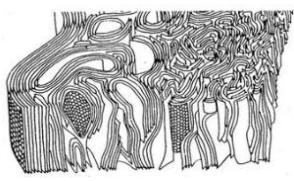
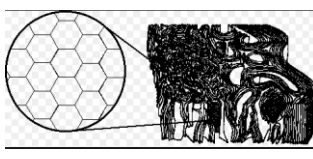
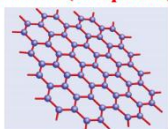
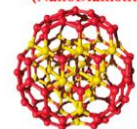
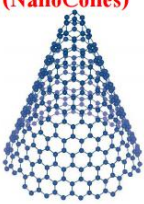
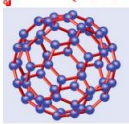
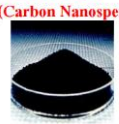
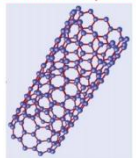
ระหว่างโมเลกุลย่อยที่รวมตัวกันในโครงสร้าง lignin ประเด็นการเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการ thermal stabilization จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอน [9]

จากการศึกษาเชิงเทคนิคในโครงการสามารถขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ด้วย lignin จากขานอ้อย และสามารถผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ โดยไม่มีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคในระดับห้องปฏิบัติการ แต่สำหรับการขยายกำลังการผลิตเพื่อรองรับการผลิตเชิงพาณิชย์นั้น ด้านการผลิตสาร lignin จากขานอ้อยไม่มีปัญหาทั้งด้านปริมาณวัตถุดิบขานอ้อย และกระบวนการผลิต แต่ในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ มีข้อจำกัดเชิงเทคนิคในขั้นตอนการเผา ที่เตาเผาขนาดใหญ่ยังมีราคาสูง

5.4.2 ความเป็นไปได้ทางด้านการตลาด

ปัจจุบันคาร์บอนไฟเบอร์ที่อยู่ในท้องตลาดนั้น มีความหลากหลายทั้ง ประเภท ลักษณะผลิตภัณฑ์ และการใช้ประโยชน์ แต่ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการสามารถสรุปและจำแนกได้ 2 กลุ่มหลัก คือ 1) คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) 2) คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (Carbon Nanofiber) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปและเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ Carbon Fiber และ Carbon Nanofiber

ประเภท	Carbon fiber	Carbon Nano fiber
คุณลักษณะ	ประกอบด้วยแผ่นกราฟีนที่มีลักษณะเป็นหกเหลี่ยม คล้ายกับกราฟไฟท์ โดยพันธะที่เชื่อมระหว่างแผ่นกราฟีนนั้นมี ความแข็งแรงกว่า10 [10]	แผ่นกราฟีนที่มีการม้วนตัวเป็นกระบอกที่มีลักษณะเป็นกรวย ถ้วย หรือจาน หรืออื่นๆ[11]
รูปแบบโครงสร้างโมเลกุล	 a section of a sheet of graphite [12]  [13]  [14]	กราฟีน (Graphene)  นาโนไดอะมอนด์ (NanoDiamond)  นาโนโคน (NanoCones)  นาโนฮอร์น (NanoHorns)  ฟูลเลอร์รีน (Fullerene)  คาร์บอน สปไฟร์ (Carbon Nanospers)  ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotube)  [15]

ประเภท	Carbon fiber	Carbon Nano fiber
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	5-10 ไมโครเมตร [10]	ระดับนาโนเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบโครงสร้างโมเลกุล [11]
ความต้านทานแรงดึง (tensile strength)	3.5 Gpa [16]	30 Gpa [17]
ค่าโมดูลัสแรงดึง/ค่าความยืดหยุ่น (tensile modulus)	2.0 GPa [16]	0.4 GPa [18] - 4 GPa [19]
วิธีการสังเคราะห์	สารตั้งต้น คือ polyacrylonitrile (PAN) เรยอน (rayon) และเรซิน (pitch) <u>มี 3 กระบวนการ หลัก</u> 1. Polymerization of acrylonitrile to PAN 2. Cyclization โดยกระบวนการลดอุณหภูมิ 3. Carbonization และ graphitization [10]	Catalytic chemical vapor deposition (CCVD) or simply CVD ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้ - gas decomposition - carbon deposition - fiber growth - fiber thickening - graphitization - purification [11]
การใช้ประยุกต์ใช้	นิยมใช้ในงานด้านการบินและอวกาศ ด้านวิศวกรรมโยธา ทางทหาร และ อุปกรณ์ด้านกีฬา [20]	• Field electron emission sources (ตัวปล่อยสนามอิเล็กตรอน) • Composite materials (วัสดุคอมโพสิต) • Scanning probe microscopy tips • Carrier material for various catalysts in petrochemistry (วัสดุสำหรับเก็บหรือยึดเกาะของตัวเร่งปฏิกิริยาใน petrochemistry) • In vertically-aligned arrays, a platform for gene delivery. (See Impalefection) • For electrode materials • Oil spill remediation (แก้ไขปัญหาน้ำมันที่รั่วไหล) [11]

จากการศึกษาตลาดเบื้องต้นพบว่า ยังไม่มีบริษัทที่มีการผลิต Carbon Fiber ด้วยตนเอง ส่วนใหญ่เป็นบริษัทนำเข้ามาจากต่างประเทศ ออกแบบ ติดตั้ง และจำหน่าย โครงการจึงจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจ

ความคิดเห็นเบื้องต้นจากผู้ประกอบการ รายละเอียดแบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ข และสามารถสรุปความคิดเห็นเบื้องต้นจากผู้ประกอบการที่ตอบแบบสอบถามจำนวน 4 ราย ได้ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลทั่วไป

ลักษณะของกิจการส่วนใหญ่เป็นกิจการขนาดเล็ก มีจำนวนบุคลากรน้อยกว่า 20 คน ซึ่งเป็นผู้นำเข้า ออกแบบ ติดตั้ง และจำหน่าย และกิจการขนาดกลางมีจำนวนบุคลากรมากกว่า 100 จำนวน 1 บริษัท โดยเป็นผู้ผลิต / นำมาผลิตชิ้นส่วนต่างๆ และจำหน่าย

2) ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้คาร์บอนไฟเบอร์

- ส่วนใหญ่สั่งซื้อจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ โดยประเทศที่สั่งซื้อ คือ ญี่ปุ่น เกาหลี จีน สหรัฐอเมริกา และอังกฤษ
- ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นไมโครคาร์บอนไฟเบอร์และมีคาร์บอนนาโนไฟเบอร์เพียง 1 บริษัท
- เกณฑ์การเลือกซื้อหรือใช้คาร์บอนไฟเบอร์ เน้นคุณภาพ, ราคา, ความแข็งแรง, ขนาด และ Spec ที่ลูกค้าต้องการลูกค้า
- คาร์บอนไฟเบอร์นำไปใช้ทำ Structure Strengthening, Seismic Retrofitting, งานทำไฟเบอร์ตัวถัง รถ เรือ ,ใช้กันความร้อน, ผลิต Autoclave ชิ้นส่วนรถยนต์
- ขนาดหรือไซส์ที่นำเข้ามากที่สุด 12K , 3K , 6K และ 48K ตามลำดับ
- ปริมาณการนำเข้าต่อปี บริษัทขนาดเล็กมีปริมาณการนำเข้า 1,000 Sq.m - 7,000 Sq.m บริษัทขนาดกลางมีปริมาณการนำเข้า 70,000 Sq.m
- ส่วนใหญ่สนใจผลิตเองยกเว้นบริษัทคาร์บอนเมจิกเนื่องจากผลิตเองในญี่ปุ่น

3) ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิต

- กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า
 - บริษัทในประเทศ ผู้ผลิตเป็นกลุ่มที่ซื้อไปสำหรับชิ้นส่วนรถ ตกแต่งรถ เรือ
 - บริษัทต่างประเทศ ผู้ผลิตใช้สำหรับตกแต่งรถ ในมาเลเซีย อินโดนีเซีย
 - อื่นๆ จะเป็นบริษัทออกแบบ / รับเหมาก่อสร้าง / สถาปนิก หน่วยงานราชการ / คาร์บอนเมจิกส่งบริษัทแม่ในญี่ปุ่น
- กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า(คาร์บอนไฟเบอร์) ส่วนใหญ่เป็นบริษัทเอกชน ร้านค้าปลีก ลูกค้าทั่วไป/หน่วยงานราชการ ตามลำดับ
- การจำหน่าย ส่วนใหญ่จำหน่ายภายในประเทศและมีต่างประเทศบ้าง และคาร์บอนเมจิกส่งบริษัทแม่ในญี่ปุ่น

4) ความคิดเห็นเชิงธุรกิจและนโยบาย

- ส่วนใหญ่เห็นว่าธุรกิจการผลิตและจัดจำหน่ายคาร์บอนไฟเบอร์มีแนวโน้มเติบโตขึ้นเพราะ มีลูกค้ารู้ถึงคุณสมบัติมากขึ้น เริ่มมีการใช้กันแพร่หลายมากขึ้น ผู้บริโภคมีความรู้มากขึ้น ราคาถูกลงหาซื้อง่ายและมีคุณสมบัติขึ้นรูปได้ง่ายกว่าโลหะ
- ทุกบริษัทเห็นว่าภาครัฐควรเข้ามาส่งเสริม/สนับสนุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เนื่องจาก หากตลาดในประเทศมีการขยายตัว จะช่วยให้สามารถลดต้นทุนจากการนำเข้าได้มาก อีกทั้งในภูมิภาคนี้ก็ไม่มีผู้ผลิตที่สามารถผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐานสากล เป็นการเพิ่มความรู้ และเป็นการลดต้นทุนการนำเข้า วัตถุดิบต้นทุนสูงและต้องใช้นวัตกรรม

จากความคิดเห็นผู้ประกอบการเบื้องต้นและสถิติการนำเข้าคาร์บอนไฟเบอร์ ดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าตลาดคาร์บอนไฟเบอร์การเติบโตขึ้นทุกปี นอกจากนี้ยังมีโอกาสในระดับภูมิภาคเนื่องจากยังไม่มีผู้ผลิตที่สามารถผลิตสินค้าได้มาตรฐานสากล นอกจากนี้หากพิจารณาจากสถิติการนำเข้า lignin ในรูป lignin sulphonates ที่มีปริมาณสูงถึงปีละ 7600 ตัน (ตารางที่ 14) แสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันตลาด lignin ก็มีเป็นตลาดที่น่าสนใจในการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าด้วยวัตถุดิบภายในประเทศเช่นกัน

ตารางที่ 13 สถิติการนำเข้า Carbon Fiber ปี 2555-2559

ประเทศ	ปี พ.ศ.														
	2555			2556			2557			2558			2559		
	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ
AUSTRALIA				2.60	2,217,324.00	302.00	0.66	942,989.00	118.00						
CANADA										1.61	1,635,634.00	766.00	0.03	39,210.00	16.00
CHINA	1.08	1,228,119.00	3,779.00	0.32	275,744.00	262.00	0.77	1,100,051.00	757.00	1.31	1,327,720.00	1,254.00	0.24	326,977.00	416.00
DENMARK	0.03	39,687.00	126.00							0.08	78,507.00	48.00	0.09	129,954.00	27.00
FRANCE										0.05	50,069.00	182.00	0.20	271,488.00	405.00
GERMANY	0.04	49,405.00	9.00	0.48	412,646.00	14.00	0.15	211,925.00	12.00	0.01	6,200.00	2.00	1.46	2,012,268.00	54.00
HONGKONG										0.02	16,831.00	4.00			
INDIA										0.16	166,051.00	151.00	0.12	159,323.00	156.00
IRAN										0.03	28,969.00	24.00			
ITALY	0.17	194,213.00	80.00	0.03	26,423.00	6.00				1.69	1,723,130.00	840.00	2.75	3,771,291.00	1,659.00
JAPAN	51.58	58,703,627.00	40,368.00	63.92	54,576,876.00	42,100.00	72.20	102,503,500.00	69,626.00	75.27	76,516,266.00	73,561.00	89.64	123,145,384.00	122,566.00
MALAYSIA	0.01	10,905.00	6.00				0.18	250,730.00	4.00	1.03	1,046,263.00	221.00	0.36	489,329.00	51.00
N.KOREA				0.13	108,021.00	68.00									
NEWZEALAND							0.20	277,557.00	155.00				0.01	11,248.00	13.00
S.KOREA	11.28	12,843,696.00	6,761.00	3.31	2,822,826.00	2,494.00	0.58	818,534.00	613.00	0.47	481,628.00	899.00	0.85	1,165,095.00	913.00
SINGAPORE	0.03	28,675.00	-												
SWITZERLAND	0.95	1,084,514.00	1,043.00	0.01	8,000.00	-	0.02	33,126.00	-	2.22	2,258,786.00	3,112.00			
TAIWAN	0.20	229,490.00	432.00	0.11	95,450.00	268.00	0.11	160,426.00	420.00	1.36	1,379,773.00	1,264.00	0.11	147,083.00	336.00
TURKEY				0.08	65,018.00	21.00									
U.S.A.	33.63	38,280,531.00	40,650.00	27.65	23,612,073.00	24,927.00	17.68	25,095,369.00	26,661.00	11.69	11,883,008.00	13,049.00	2.28	3,129,051.00	581.00
UNITEDKINGDOM	0.98	1,119,516.00	834.00	1.36	1,162,887.00	481.00	7.45	10,577,677.00	4,643.00	3.01	3,062,307.00	1,209.00	1.87	2,575,194.00	555.00
รวมทั้งหมด	100.00	113,812,378.00	94,088.00	100.00	85,383,288.00	70,943.00	100.00	141,971,884.00	103,009.00	100.00	101,661,142.00	96,586.00	100.00	137,372,895.00	127,748.00

หมายเหตุ: สัดส่วนเป็นร้อยละ มูลค่าเป็นบาท และปริมาณเป็นกิโลกรัม

ที่มา: INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY CENTER WITH COOPERATION OF THE CUSTOMS DEPARTMENT [21]

ตารางที่ 14 สถิติการนำเข้า lignin ปี 2555-2559

ประเทศ	ปี พ.ศ.														
	2555			2556			2557			2558			2559		
	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ	สัดส่วน	มูลค่า	ปริมาณ
BELGIUM	1.39	1,755,157.00	40,000.00	0.28	405,573.00	10,005.00	0.95	1,679,913.00	40,000.00	0.82	1,321,478.00	30,000.00			
CANADA				0.00	7,264.00	8.00				0.01	18,593.00	22.00	0.02	33,558.00	42.00
CHINA	6.06	7,647,174.00	520,000.00	4.56	6,642,329.00	310,653.00	8.00	14,180,603.00	852,625.00	7.37	11,802,199.00	495,816.00	5.47	9,564,332.00	459,583.00
DENMARK										0.00	104.00	-			
FINLAND													0.05	84,349.00	340.00
FRANCE	0.20	246,305.00	3,750.00	0.34	502,728.00	26,250.00	0.39	699,557.00	27,280.00						
GERMANY	0.57	714,567.00	27,826.00	6.18	9,001,023.00	745,622.00	5.03	8,920,253.00	547,495.00	4.47	7,161,751.00	396,763.00	3.29	5,758,500.00	319,200.00
HONGKONG													0.07	130,823.00	11,000.00
HUNGARY										0.00	469.00	-			
INDIA				0.00	419.00	2.00				0.00	1,790.00	5.00	0.00	1,389.00	1.00
INDONESIA				0.02	25,898.00	200.00									
ITALY										0.03	44,334.00	305.00			
JAPAN	5.54	6,998,876.00	72,300.00	4.56	6,645,161.00	82,563.00	4.78	8,466,824.00	72,064.00	6.89	11,042,778.00	111,520.00	7.59	13,282,170.00	111,020.00
MALAYSIA	0.79	995,041.00	68,400.00							0.02	34,339.00	162.00	0.03	57,744.00	984.00
NETHERLANDS				0.00	3,291.00	6.00									
NORWAY	17.15	21,649,894.00	863,315.00	22.28	32,461,947.00	1,576,754.00	14.84	26,285,754.00	480,610.00	6.11	9,790,999.00	106,590.00	1.75	3,056,231.00	49,446.00
RUSSIANFEDERATION	2.00	2,519,906.00	209,770.00	0.97	1,407,488.00	116,410.00							0.15	267,068.00	22,800.00
S.KOREA	0.09	118,632.00	3,000.00	0.63	922,694.00	8,500.00				0.24	385,246.00	21,600.00	0.14	245,118.00	3,684.00
SINGAPORE	24.17	30,520,538.00	544,223.00	5.18	7,547,508.00	115,317.00	1.62	2,868,389.00	53,300.00	2.10	3,361,405.00	57,660.00	1.55	2,708,326.00	13,327.00
SOUTHAFRICA	19.94	25,175,087.00	1,764,829.00	42.46	61,880,691.00	4,324,261.00	46.89	83,080,933.00	5,319,867.00	50.17	80,374,422.00	4,776,048.00	44.70	78,209,072.00	4,428,299.00
SPAIN				0.69	1,009,642.00	1,869.00	0.32	572,506.00	935.00	0.01	8,438.00	10.00	9.25	16,178,170.00	973.00
SWEDEN	15.30	19,317,607.00	1,584,056.00	5.36	7,811,871.00	624,000.00	7.90	13,997,093.00	936,010.00	16.32	26,151,173.00	1,632,010.00	19.65	34,375,161.00	2,100,800.00
SWITZERLAND	0.01	14,237.00	-	0.01	16,088.00	1.00	0.00	3,287.00	-	0.08	132,025.00	79.00	0.11	192,263.00	154.00
TAIWAN	0.20	247,349.00	2,753.00	0.08	109,768.00	720.00	0.03	58,411.00	520.00	0.01	9,835.00	60.00			
U.ARABEMIRATES										0.06	100,201.00	10,600.00			
U.S.A.	5.90	7,450,395.00	61,921.00	6.40	9,327,354.00	82,783.00	9.24	16,370,914.00	129,693.00	5.29	8,476,118.00	90,621.00	6.16	10,785,475.00	68,713.00
UNITEDKINGDOM	0.70	888,666.00	20,000.00										0.01	18,440.00	600.00
GrandTotal	100.00	126,259,431.00	5,786,143.00	100.00	145,728,737.00	8,025,924.00	100.00	177,184,437.00	8,460,399.00	100.00	160,219,085.00	7,729,877.00	100.00	174,948,189.00	7,590,966.00

หมายเหตุ: สัดส่วนเป็นร้อยละ มูลค่าเป็นบาท และปริมาณเป็นกิโลกรัมที่มา: INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY CENTER WITH COOPERATION OF THE CUSTOMS DEPARTMENT [21]

5.4.3 ความเป็นไปได้ทางการเงิน

การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน ทำการประเมินเฉพาะข้อมูลด้านการเงินของต้นทุนการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ข้อมูลการประเมินตามผลการศึกษาในตารางที่ 11 และประมาณการความสามารถในการแข่งขันทางด้านราคา จากการเทียบเคียงราคาผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการเทียบเคียงผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ของบริษัท SIGMA-ALDRICH [22] มีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 15 รายละเอียดผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่วางจำหน่ายเชิงพาณิชย์

รายการ	รายละเอียด
ชื่อผลิตภัณฑ์	CNC, CNCF, Heat treated platelet graphite nanofibers, carbon nanochip fibers
สี	Black
ลักษณะปรากฏ	Flakes
ขนาด	aspect Ratio: 25
	average length: 2.5 mm
	average width : 100 nm
พื้นที่ผิว	40 m ² /g
บรรจุภัณฑ์	500 mg in glass insert
การใช้งาน	- Negative electrode for lithium ion secondary batteries. - Catalyst for ethylene oxidative dehydrogenation.
ข้อมูลทั่วไป	Carbon nanochips consist of wrapped graphite sheets oriented perpendicular to the fiber axis. Carbon nanochips are formed when platelet graphene or graphite nanofibers are heated in argon to about 3000°C, resulting in a sealing action of some of the edge sites and also removes all traces of inclusions such as the catalyst that is used to grow the precursor graphite nanofibers.
ราคา	222.60 SGD per 500 mg หรือ 10.76 บาทต่อมิลลิกรัม

ที่มา: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/799017?lang=en®ion=TH>

หมายเหตุ : อัตราแลกเปลี่ยนถั่วเฉลี่ยที่ธนาคารพาณิชย์ใช้ซื้อขายกับลูกค้า (อัตราซื้อถั่วเฉลี่ยเงินโอน) เท่ากับ 24.18 บาท ต่อ ดอลลาร์สิงคโปร์ (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ประจำวันที่ 3 กันยายน 2560)

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการซึ่งมีต้นทุนรวมเท่ากับ 0.388 บาทต่อมิลลิกรัม พบว่ายังมีช่องว่างด้านราคาให้สามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทียบเคียงได้ โดยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ผลิตได้ในโครงการมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 16 คุณสมบัติคาร์บอนไฟเบอร์ที่ผลิตด้วยลิกนินจากขาน้อย

รายการ	รายละเอียด
ชื่อผลิตภัณฑ์	Carbon NanoFiber
สี	สีดำ
ลักษณะปรากฏ	เส้นใยแบบสั้น (ไม่ต่อเนื่อง ที่เกิดจากการเผาเส้นใย)
ขนาด	- เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 170 นาโนเมตร เมื่อผลิตร่วมกับ PAN - เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2,600 นาโนเมตร เมื่อผลิตร่วมกับ PVP
พื้นที่ผิวเส้นใยโดยเฉลี่ย	414 m ² /g (พื้นที่ผิวของเส้นใยคาร์บอนที่ไม่มีลิกนินอยู่ที่ 347 m ² /g)
บรรจุภัณฑ์	Bag
การใช้งาน	ผสมร่วมกับพอลิเมอร์เพื่อการขึ้นรูป
ข้อมูลทั่วไป	- สามารถนำไฟฟ้าได้เทียบเคียงวัสดุที่มีลักษณะและขนาดที่ใกล้เคียง ¹ - พื้นที่ผิวของเส้นใยสามารถเพิ่มได้มากกว่าตามสภาวะการเผา
ราคา	388.22 บาทต่อมิลลิกรัม หรือ 0.388 บาทต่อมิลลิกรัม

¹ เทียบจากข้อมูลคุณสมบัติของเส้นใยคาร์บอนที่แสดงในวารสารวิชาการ

นอกจากผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ของบริษัท SIGMA-ALDRICH ยังมีข้อมูลอีกเพียง 2 บริษัทที่มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งราคาอยู่ในช่วงประมาณ 780 – 2,300 บาทต่อกรัม ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค ตารางที่ ค-4 เมื่อพิจารณาจากราคาจำหน่ายแล้ว มีราคาจำหน่ายต่ำกว่าต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในระดับห้องปฏิบัติการของโครงการ แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ทางด้านราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากพิจารณาจากราคาจำหน่ายจากเว็บที่มีความน่าเชื่อถือแล้ว ยังมีผลต่างระหว่างต้นทุนและราคาประมาณ 400 บาท หรือประมาณร้อยละ 50 เป็นอย่างน้อย

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ต้นทุนดังกล่าวเป็นเพียงการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการเบื้องต้น จึงใช้ได้เพียงเป็นแนวทางหรือแนวโน้มความเป็นไปได้ทางด้านการเงินเท่านั้น ไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างตรง เนื่องจากมีความแตกต่างในหลายมิติ ตั้งแต่วัตถุดิบที่เลือกใช้ในการผลิตเส้นใยคาร์บอนที่ทำให้ราคาผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน กระบวนการผลิตเส้นใยคาร์บอนตั้งแต่กระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูปเส้นใยและสภาวะการเผาเพื่อเปลี่ยนเป็นเส้นใยคาร์บอน อุปกรณ์จำเป็นต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อการประเมินต้นทุนและการกำหนดราคาสินค้าผลิตภัณฑ์ ซึ่งในรายละเอียดการจำหน่ายไม่ได้บอกรายละเอียดดังกล่าวทั้งหมด

นอกจากนี้โครงการยังได้สรุปราคาของ คาร์บอนไฟเบอร์ (ไมโครคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณา ดังสรุปในตารางที่ 17 และรายละเอียดในภาคผนวก ค

ตารางที่ 17 สรุปราคาคาร์บอนไฟเบอร์ และคาร์บอนนาโนไฟเบอร์

ชนิด	คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber)	คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (Carbon Nano Fiber)	หมายเหตุ
ผง (บาท/กรัม)	0.58 - 1.55	782.80 - 10,764.94	ราคาแปรผันตรงตาม ขนาด คุณสมบัติ ความ บริสุทธิ์ของคาร์บอน และปริมาณการสั่งซื้อ
แผ่น (บาท/ตร.ม.)	141.42 - 2,000.00	-	
แท่ง/ท่อ (บาท/ชิ้น)	350.00 - 1,400.00	-	

5.5 สรุปความเป็นไปได้ด้านการผลิตเบื้องต้น

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเทคนิคในระดับห้องปฏิบัติการสามารถผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ได้ แต่การขยายกำลังการผลิตสู่เชิงพาณิชย์ยังต้องการเตาเผาที่มีขนาดใหญ่เพื่อรองรับการเผาเส้นใยพอลิเมอร์ซึ่งเตาเผาดังกล่าวมีราคาสูง และมีความซับซ้อน ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาในระดับโรงงานต้นแบบก่อน เพื่อยืนยันผลการศึกษาและปัญหาด้านการผลิตก่อนทำการผลิตเชิงพาณิชย์ เนื่องจากปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ในระดับอุตสาหกรรมเองในประเทศ สินค้าส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งถือว่าประเทศไทยยังมีโอกาสในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ และเมื่อทำการศึกษาต้นทุนทางการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ระดับห้องปฏิบัติการ มีต้นทุนรวมในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์อยู่ที่ 388.22 บาทต่อกรัม หรือ 0.388 บาทต่อมิลลิกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาจำหน่ายของผลิตภัณฑ์คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ในท้องตลาด เช่น บริษัท SIGMA-ALDRICH ที่มีความน่าเชื่อถือ พบว่า ยังมีช่องว่างระหว่างต้นทุนการผลิตของคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ผลิตในโครงการ กับราคาจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด จึงมีความเป็นไปได้ทางด้านการเงิน แต่ควรมีการศึกษาทางด้านเทคนิคเกี่ยวกับการผลิตระดับต้นแบบ หรือ Pilot Scale ก่อนการผลิตเชิงพาณิชย์ และเนื่องจากราคาของคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ความบริสุทธิ์ และปริมาณในการสั่งซื้อ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติมตามการใช้ประโยชน์ที่ต้องการ เช่น การนำไฟฟ้า คุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนัก คุณสมบัติในการสร้างพันธะ เป็นต้น กล่าวโดยสรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิค การตลาด และการเงิน (ต้นทุน) เบื้องต้นมีความเป็นไปได้ในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ด้วย lignin จากขานอ้อย แต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

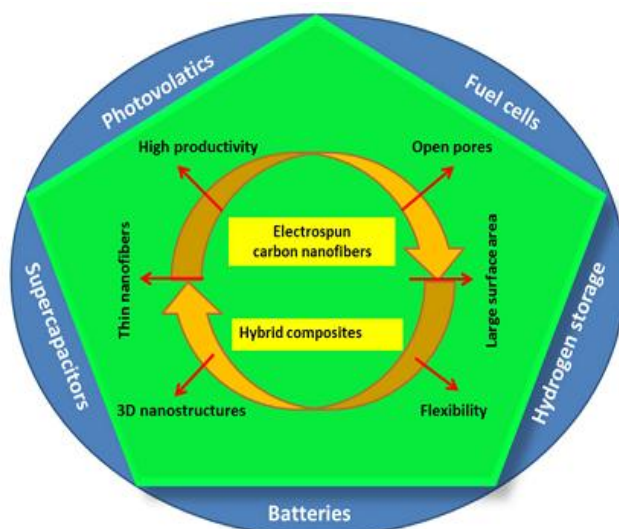
- [1] สุปราณี ศุกระเศรณี และคณะ. 2553. การบัญชีบริหาร. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์. 2550. การบัญชีบริหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แมครอฮิล
- [3] พรพรรณิภา รอดวรรณะ. 2556. การบัญชีต้นทุน หลักและกระบวนการ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] Anthony, Robert N., and Welsch, Glenn A. 1981. *Fundamentals of Managerial Accounting*. 3rd Edition. Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, Inc.
- [5] บุษบา พงกษาพันธุ์รัตน์. 2555. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป.
- [6] จันทนา จันทโร และ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2545. การศึกษาความเป็นไปได้โครงการด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [7] Gosselink, R.J.A., *Lignin as a renewable aromatic resource for the chemical industry*. 2011, Wageningen University: Wageningen.
- [8] Braun, J.L., K.M. Holtman, and J.F. Kadla, *Lignin-based carbon fibers: Oxidative thermostabilization of kraft lignin*. Carbon, 2005. 43(2): p. 385-394.
- [9] Ruiz-Rosas, R., et al., *The production of submicron diameter carbon fibers by the electrospinning of lignin*. Carbon, 2010. 48(3): p. 696-705
- [10] Wikipedia the free encyclopedia. 2016. *Carbon fibers*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_fibers Retrieved December 6, 2016.
- [11] Wikipedia the free encyclopedia. 2016. *Carbon nanofiber*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanofiber Retrieved December 6, 2016.
- [12] Carbon fiber. 2016. [Online]. Available: <http://fibrepert.blogspot.com> Retrieved December 5, 2016.
- [13] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ. 2555. คาร์บอนไฟเบอร์วัสดุป้องกันอาคารจากแผ่นดินไหว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaicarbonfiber.com/ServiceC.html> สืบค้น 5 ธันวาคม 2559.
- [14] *Materials Chemistry*. 2016. [Online]. Available: http://web.mit.edu/3.082/www/team2_f01/chemistry.html Retrieved December 5, 2016.
- [15] เฉลิมพล สาริบุตร. [ม.ป.ป.]. วัสดุนาโนคาร์บอนและการประยุกต์ใช้. เอกสารประกอบการอบรมนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี.
- [16] จริยาวิทย์ ศิริจันทร์. 2555. คาร์บอนไฟเบอร์คอมโพสิตโพลีเมอร์วัสดุทางเลือกใหม่ในยุคปัจจุบัน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-1-2555-carbon.pdf> สืบค้น 15 ธันวาคม 2559.
- [17] Q. Ashton Acton. 2012. *Advances in Nanotechnology Research and Application: 2011 Edition*. p.2382.

- [18] Jian Yao. 2014. *High Strength and High Modulus Electrospun Nanofibers*. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/2079-6439/2/2/158/htm> Retrieved December 5, 2016.
- [19] P.K. Mallick. 2007. *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, Third Edition*. p.564.
- [20] Xinbo Composite. 2016. *The Applications Field Of Carbon Fiber*. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/2079-6439/2/2/158/htm> Retrieved December 6, 2016.
- [21] การค้าไทย. 2559. HARMONIZE SYSTEM:IMPORT OF THAILAND CLASSIFIED BY COMMODITY. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www2.ops3.moc.go.th> สืบค้น 15 ธันวาคม 2559.
- [22] SIGMA-ALDRICH. 2017. *Carbon nanochips*. [Online]. Available: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/799017?lang=en®ion=TH> Retrieved August 30, 2017.

บทที่ 6 แนวทางการพัฒนาการใช้คาร์บอนนาโนไฟเบอร์

ปัจจุบันคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด มีการลักษณะการใช้งานที่หลากหลายและแตกต่างกันออกไปตามคุณสมบัติของคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ ซึ่งในเชิงเทคนิคแล้วคุณสมบัติหลักที่สำคัญของคาร์บอนนาโนไฟเบอร์มีอยู่หลายคุณสมบัติ ตั้งแต่ความบริสุทธิ์ ขนาดอนุภาค ความสามารถในการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติพื้นที่ผิว แต่คุณสมบัติที่มีผลต่อการตัดสินใจสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์นั้น ทางโครงการพิจารณาจาก 2 คุณสมบัติหลัก คือ ความสามารถในการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติพื้นที่ผิว

หากพิจารณาจากความสามารถในการนำไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บประจุไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ Fuel Cells เป็นต้น

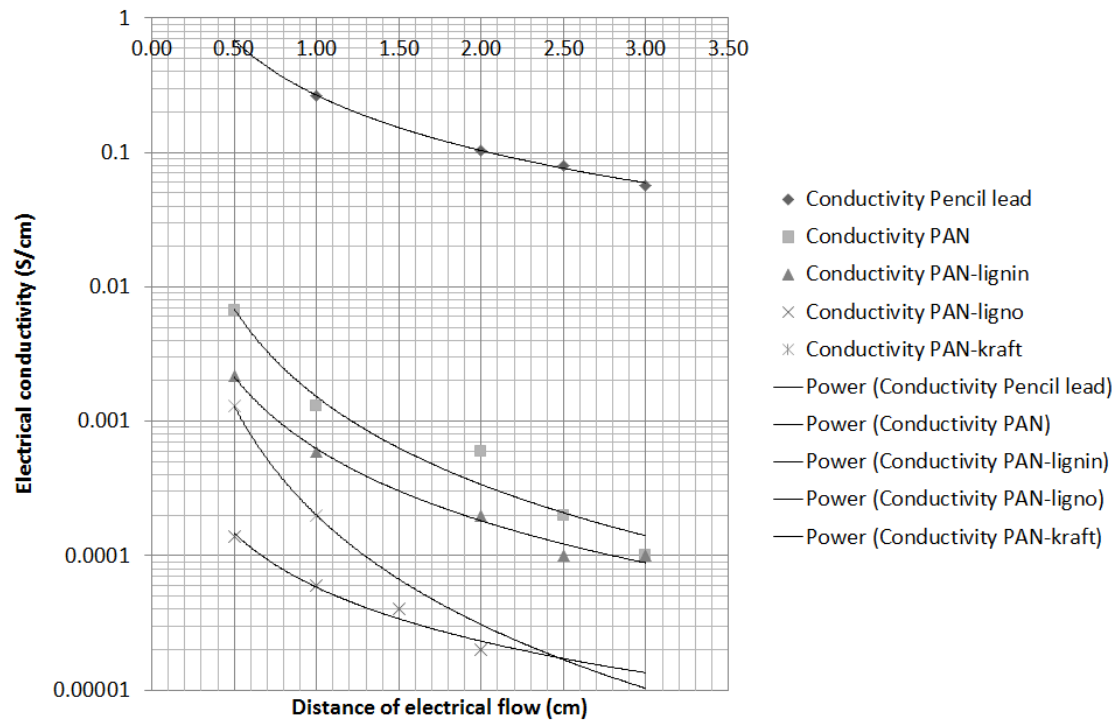


อ้างอิงจากภาพที่ 18 (บทที่ 4) การใช้ประโยชน์ของเส้นใย carbon nanofiber [1]

เมื่อประเมินความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ผลิตได้จากโครงการ พบว่าด้วยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่มีค่าใกล้เคียงกันนั้น การแทนที่ PAN ด้วย lignin ส่งผลให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลง ด้วยสัดส่วนการแทนที่ที่เท่ากันเมื่อแทนที่พอลิเมอร์ด้วย lignin ทางการค้าที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า lignin ที่สกัดได้ภายในโครงการ ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลงมากกว่าอย่างชัดเจน ความแตกต่างนี้คาดว่าจะมาจากการเพิ่มสัดส่วน amorphous structure ให้กับระบบเส้นใยเนื่องจากการนำไฟฟ้านั้นโครงสร้างผลึก crystalline structure มีความเหมาะสมมากกว่า [2] และเลือกใช้ช่วงความร้อนในการเผา (Carbonization step) ที่ยังไม่สามารถทำการจัดเรียงตัวโครงสร้าง lignin ได้เหมาะสม เพราะภายในโครงการทำการเลือกช่วงการเผาเพียงช่วงเดียวเท่านั้น ด้วยข้อจำกัดของเตาเผาที่มี

แต่หากต้องการคุณสมบัติด้านความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ เพื่อรองรับอุตสาหกรรมด้านการกักเก็บประจุไฟฟ้า หรือพลังงาน ซึ่งจะมีความสำคัญมากขึ้นตามแนวโน้มการตลาดไม่ว่าจะเป็นกระแสการใช้รถยนต์ไฟฟ้า และการใช้พลังงานทดแทนในสัดส่วนที่มากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการด้าน Energy Storage มากขึ้นนั้น จำเป็นจะต้องมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

คาร์บอนไฟเบอร์ของโครงการต่อไป ซึ่งในปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นตอนการปรับปรุงความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงในช่วง 3,000 องศาเซลเซียส และเรียกขั้นตอนดังกล่าวว่า Graphization step [3] ในขั้นตอนนี้การเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมจะสูงขึ้นส่งผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอน



อ้างอิงจากภาพที่ 19 (บทที่ 4) ความสามารถในการนำไฟฟ้าของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์จากวัสดุตั้งต้นที่แตกต่างกัน

แนวทางดังกล่าวเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ ในการปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของคาร์บอนไฟเบอร์ของโครงการ แต่หากพิจารณาอีกคุณสมบัติหนึ่ง ซึ่งเป็นอีกคุณสมบัติที่สำคัญ คือ คุณสมบัติพื้นที่ผิวของเส้นใยคาร์บอนขนาดเล็กซึ่งเป็นวัสดุที่มีขนาดพื้นที่ผิวมากต่อสัดส่วนน้ำหนัก (large surface area per unit mass) จากคุณสมบัติดังกล่าว ปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุกักเก็บอนุภาค เช่น การใช้เป็น catalyst support ในปฏิกิริยาทางเคมีและการดูดซับสี และโลหะหนักในอุตสาหกรรมเคมี

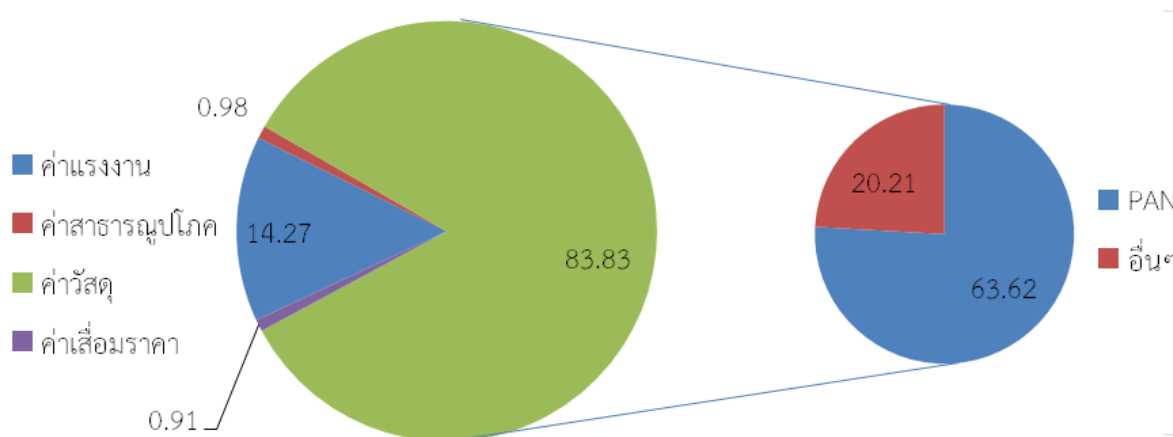
จากผลการศึกษา พบว่าการมี lignin ในระบบส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิว ขนาดของพื้นที่ผิวเส้นใยจะถูกปรับสัดส่วนโดยค่าเฉลี่ยขนาดของเส้นใย เพื่อเป็นค่าสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อขนาดเส้นใย (A/D) ค่าดังกล่าวนี้พัฒนาขึ้นเพื่อตัดปัจจัยความแตกต่างของขนาดเส้นใยออก จากการวิเคราะห์โดยค่าที่พัฒนาขึ้นพบว่าการเพิ่ม lignin มีผลต่อขนาดพื้นที่ผิวของเส้นใยอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางอ้างอิงจากตารางที่ 8 บทที่ 4

อ้างอิงจากตารางที่ 8 (บทที่ 4) พื้นที่ผิวและขนาดของเส้นใยคาร์บอน

แหล่งที่มาของเส้นใย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (μm)	ขนาดพื้นที่ผิว (m^2/g)	A/D
PAN	0.203	346.614	1,707.458
PAN/ lignin สกัดเอง	0.171	414.301	2,422.813
PAN/Lignosulfonate	0.128	570.184	4,454.563
PAN/Kraft lignin	0.151	368.532	2,440.609

ซึ่งจะเห็นได้ว่าคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่ผลิตจากโครงการมีคุณสมบัติพื้นที่ผิวที่โดดเด่นพอสมควร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยโดย Juan Jin และคณะในปี 2014 ที่กล่าวว่า การที่เส้นใยคาร์บอนมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นเมื่อผสม lignin มีสาเหตุมาจากการเพิ่ม topological defect และ structural disorder บนเส้นใยคาร์บอนจากการเพิ่ม lignin ในเส้นใยเป็นหลัก [4] ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ใช้จุดเด่นจากคุณสมบัติพื้นที่ผิว เช่น วัสดุดูดซับต่างๆ

นอกจากข้อมูลทางคุณสมบัติทางด้านเทคนิคแล้ว ยังมีข้อมูลต้นทุนที่น่าสนใจที่จะเป็นแนวทางในการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ เพราะเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างต้นทุนการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการของโครงการ พบว่า มากกว่าร้อยละ 80 เป็นค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิต และเป็นต้นทุนจากสารตั้งต้น PAN มากกว่าร้อยละ 60 ดังแสดงในภาพที่ 26 แต่ถ้าหากพิจารณาเฉพาะส่วนค่าวัสดุในการผลิตเพียงอย่างเดียวต้นทุนสารตั้งต้น PAN จะมีสัดส่วนต้นทุนเป็นร้อยละ 75 ของต้นทุนค่าวัสดุเลยทีเดียว



ภาพที่ 26 โครงสร้างต้นทุนการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ด้วย lignin จากงานวิจัยระดับห้องปฏิบัติการ

ดังนั้นหากต้องการลดต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ด้วยการนำสาร lignin มาทดแทนการใช้สารตั้งต้น PAN ในสัดส่วนที่มากขึ้น และทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นที่ผิว เพื่อเป็นนำมาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตวัสดุดูดซับจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

และจากการประเมินตลาดของผลิตภัณฑ์เส้นใยคาร์บอนพบว่า สภาพตลาดของเส้นใยคาร์บอนไมโครไฟเบอร์มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในขณะที่สภาพตลาดของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์มีลักษณะที่แตกต่าง

ออกไป เนื่องจากการใช้งานของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่จำกัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้ประโยชน์ของเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ที่แคบกว่าเช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และการใช้ประโยชน์เป็นพาหะให้ตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการผลิตทั้งเส้นใยไมโครไฟเบอร์และนาโนไฟเบอร์โดยเฉพาะในประเทศไทยประเด็นหลักคือ เทคโนโลยีการเผาเส้นใยที่จำเป็นต้องใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงที่มีความซับซ้อน ประกอบกับไม่มีอุตสาหกรรมในประเทศรองรับทำให้ช่องทางการใช้ประโยชน์และการพัฒนาถูกจำกัดไว้ในการพัฒนาระดับวิชาการเป็นส่วนมากและไม่สามารถผลักดันออกสู่อุตสาหกรรมได้สมบูรณ์

อย่างไรก็ตามทางคณะวิจัยเล็งเห็นว่าเส้นใยผสม lignin มีศักยภาพอื่นที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยที่ไม่ต้องนำเส้นใยมาทำการเผาเพื่อปรับรูปแบบการใช้ประโยชน์โดยตัดขั้นตอนความซับซ้อนในการผลิตและความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและมีต้นทุนสูงเช่นเตาเผาออก นอกจากนี้การใช้ประโยชน์ของเส้นใยที่มีการผสม lignin พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวเนื่องจากการผสม lignin นั้นเพิ่มความขรุขระให้กับเส้นใย ด้วยประเด็นสองประเด็นหลักที่กล่าวถึงมานี้รูปแบบการใช้งานที่เป็นไปได้ คือ การนำเส้นใยผสม lignin มาพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะหนัก

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่ามีการศึกษาการใช้เส้นใยนาโนไฟเบอร์ที่ทำจาก PAN แล้วทำการเคลือบด้วยสารเคมีที่มีคุณสมบัติในการดักจับอนุภาคโลหะ เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะ ในการศึกษาได้อธิบายถึงกลไกในการดูดซับโลหะที่สอดคล้องกับสถานะที่จำเป็นเช่น ความเข้มข้น ระดับความเป็นกรดและด่าง และสถานะพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการยึดจับโลหะหนัก เมื่อนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ร่วมกับงานวิจัยที่มีอยู่จึงพบว่างานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ไปใช้งานในการเป็นวัสดุดูดซับโลหะได้ และเป็นช่องทางหนึ่งในการนำเส้นใยผสม lignin ไปใช้ประโยชน์นอกเหนือจากการนำไปเผาเพื่อเป็นเส้นใยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์

เอกสารอ้างอิง

1. Shengjie Peng et al. Electrospun carbon nanofibers and their hybrid composites as advanced materials for energy conversion and storage. *Nano Energy* (2016) 22, 361–395.
2. Liu HC, Chien A-T, Newcomb BA, Liu Y, Kumar S. Processing, Structure, and Properties of Lignin- and CNTIncorporated Polyacrylonitrile-Based Carbon Fibers. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2015, 3, 1943–1954.
3. Zhu D, Xu C, Nakura N, Matsuo M. Study of carbon films from PAN/VGCF composites by gelation/crystallization from solution. *Carbon* 2002;40:363–73.
4. Juan Jin, Bao-jun Yu, Zhi-qiang Shi, Cheng-yang Wang, , Chuan-bin Chong. Lignin-based electrospun carbon nanofibrous webs as free-standing and binder-free electrodes for sodium ion batteries. *Journal of Power Sources* 272 (2014) 800-807.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณต้นทุนการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์
ตารางที่ ก-1 ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์

รายการ	ราคาทุน	อายุการใช้ งาน (ปี)	มูลค่าซาก	ค่าเสื่อมต่อ ปี	ค่าเสื่อมต่อ เดือน	จำนวนวัน ต่อเดือน	ค่าเสื่อม ต่อวัน	จำนวน ชั่วโมง ต่อวัน	ค่าเสื่อม ต่อ ชั่วโมง	ชั่วโมง การใช้ งาน	ค่าเสื่อมใน การผลิต
ขวด Dulan สีชา 2000 ml	331.70	3	-	111	9.21	30	0.31	24	0.01	0.5	0.01
magnetic stirbar	350.00	10	-	35	2.92	30	0.10	24	0.00	12	0.05
ถ้วยเผา Boat	2,100.00	3	-	700	58.33	30	1.94	24	0.08	7	0.57
ท่อเผา	5,000.00	3	-	1,667	138.89	30	4.63	24	0.19	7	1.35
เครื่อง magnetic stirrer	17,000.00	10	-	1,700	141.67	30	4.72	24	0.20	12	2.36
เครื่องผลิตเส้นใยปริมาณ มาก	300,000.00	10	10,000	29,000	2416.67	30	80.56	24	3.36	10	33.56
เตาเผา 1000 องศา	150,049.00	10	10,000	14,005	1167.08	30	38.90	24	1.62	12	19.45

ตารางที่ ก-2 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตคาร์บอนนาโนไฟเบอร์

ชื่อเครื่องมือ	อุณหภูมิ สูงสุด (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิที่ใช้ จริง (องศา เซลเซียส)	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่าง ศักย์ (V)	กำลังไฟฟ้า (kw)	ชั่วโมงการใช้ งาน (hr)	หน่วยไฟฟ้า (kwh)	ค่าไฟฟ้าต่อ หน่วย (บาท)	ค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
เครื่อง magnetic stirrer	0	0	0.84	12	0.01	12	0.12	5.11	0.62
เครื่องผลิตเส้นใยปริมาณ มาก	0	0	1	220	0.22	10	2.20	5.11	11.24
เตาเผา	1200	250	3.1	220	0.14	4	0.57	5.11	2.90
เตาเผา	1200	800	3.1	220	0.45	3	1.36	5.11	6.97
รวมค่าไฟฟ้า							4.25	5.11	21.73

ภาคผนวก ข แบบสอบถามความคิดเห็นผู้ประกอบการเกี่ยวกับคาร์บอนไฟเบอร์

แบบสอบถาม

ข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า

การจัดทำแบบสอบถามข้อมูลการผลิตและ/หรือ ข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการการพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้าภายในประเทศ คุณลักษณะและแนวโน้มที่ตลาดต้องการเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป โดยแบบสอบถามฉบับนี้มีทั้งหมด 4 ส่วน ดังนี้

- 1.ข้อมูลทั่วไป
- 2.ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้
- 3.ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์
- 4.ความคิดเห็นเชิงธุรกิจ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามและขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วนทุกประเด็นคำถาม ทั้งนี้คำตอบของท่านจะเป็นความลับและจะใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

กรุณาทำเครื่องหมาย ☐ ถูก หน้าข้อความ หรือ ระบุข้อความลงในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบริษัท (ภาษาไทย).....

ชื่อบริษัท(English).....

ประเภท/ลักษณะของกิจการ.....

ขนาดกิจการ

☐ ขนาดเล็ก

☐ ขนาดกลาง

☐ ขนาดใหญ่

จำนวนบุคลากรทั้งหมด

☐ น้อยกว่า 20 คน

☐ 20-50 คน

☐ 51-80 คน

☐ 81-100 คน

☐ 100 คนขึ้นไป

อื่นๆ ระบุ.....

เบอร์โทรศัพท์..... ☐ โทรสาร(Fax).....

อีเมล..... เว็บไซต์.....

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล.....ตำแหน่ง.....

เบอร์โทรศัพท์.....อีเมล.....

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ

บริษัท.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้คาร์บอนไฟเบอร์

ลักษณะการนำเข้า

- ☐ สั่งซื้อจากผู้ผลิตในประเทศ(โปรดระบุ).....
- ☐ สั่งซื้อจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ(นำเข้าจาก).....

ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้งาน คือ

- ☐ ไมโครคาร์บอนไฟเบอร์ ☐ นาโนคาร์บอนไฟเบอร์

เกณฑ์การเลือกซื้อหรือใช้คาร์บอนไฟเบอร์.....

คาร์บอนไฟเบอร์นำไปใช้ทำอะไรบ้าง.....

นำเข้าขนาดหรือไซส์อะไรบ้าง.....

- ☐ 3K ☐ 12K ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

ปริมาณการนำเข้าต่อปี.....

สนใจจะผลิตเองไหม.....

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิต

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า

- ☐ บริษัทในประเทศผู้ผลิต.....
- ☐ บริษัทต่างประเทศผู้ผลิต.....ประเทศ.....
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า(คาร์บอนไฟเบอร์)

- ☐ บริษัทเอกชน/โรงงาน
- ☐ ร้านค้าปลีก/ส่งทั่วไป
- ☐ ห้างสรรพสินค้า
- ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

การจำหน่าย

- ☐ ในประเทศ
- ☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเชิงธุรกิจและนโยบาย

ท่านคิดว่าธุรกิจการผลิตและจัดจำหน่ายคาร์บอนไฟเบอร์มีแนวโน้มเป็นอย่างไร

- ☐ เจริญเติบโตขึ้น เพราะ.....
- ☐ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันมากนัก.....
- ☐ แย่ลง.....

ท่านคิดว่าภาครัฐควรเข้ามาส่งเสริม/สนับสนุน การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์หรือไม่

- ☐ สมควรเพราะ.....
- ☐ ไม่สมควรเพราะ.....

ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วน

แบบสอบถาม

ข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า

การจัดทำแบบสอบถามข้อมูลการผลิตและ/หรือ การข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการการพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้าภายในประเทศ คุณลักษณะและแนวโน้มที่ตลาดต้องการเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป โดยแบบสอบถามฉบับนี้มีทั้งหมด 4 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไป
2. ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้
3. ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์
4. ความคิดเห็นเชิงธุรกิจ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามและขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วนทุกประเด็นคำถาม ทั้งนี้คำตอบของท่านจะเป็นความลับและจะใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

กรุณาทําเครื่องหมาย ☐ ถูก หน้าข้อความ หรือ ระบุข้อความลงในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบริษัท (ภาษาไทย)..... บริษัท อาร์ท ดีไซน์ จำกัด

ชื่อบริษัท(English).....

ประเภท/ลักษณะของกิจการ..... ทางเทคโนโลยี

ขนาดกิจการ

☒ ขนาดเล็ก

☐ ขนาดกลาง

☐ ขนาดใหญ่

จำนวนบุคลากรทั้งหมด

☒ น้อยกว่า 20 คน

☐ 20-50 คน

☐ 51-80 คน

☐ 81-100 คน

☐ 100 คนขึ้นไป

☐ อื่นๆ ระบุ.....

เบอร์โทรศัพท์..... 086-000-6185 โทรสาร(Fax).....

อีเมล..... brpcarbon@hotmail.com เว็บไซต์.....

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล..... นายสุวิทย์ นามะสิทธิ์ ตำแหน่ง..... กรรมการผู้จัดการ

เบอร์โทรศัพท์..... 086-000-6185 อีเมล..... brpcarbon@hotmail.com

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ

บริษัท..... ตาสอง - ผลิตภัณฑ์โพลีคาร์บอเนต และ ตาสองโมโนเมอร์

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้คาร์บอนไฟเบอร์

ลักษณะการนำเข้า

☐ สั่งซื้อจากผู้ผลิตในประเทศ(โปรดระบุ).....

☒ สั่งซื้อจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ(นำเข้าจาก)..... อังกฤษ, ญี่ปุ่น, จีน

ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้งาน คือ

☒ ไมโครคาร์บอนไฟเบอร์

☐ นาโนคาร์บอนไฟเบอร์

เกณฑ์การเลือกซื้อหรือใช้คาร์บอนไฟเบอร์.....จากแหล่งคุณภาพ.....

คาร์บอนไฟเบอร์นำไปใช้ทำอะไรบ้าง.....น้ำในรถยนต์.....

นำเข้าขนาดหรือไซส์อะไรบ้าง.....

☒ 3K

☒ 12K

☒ อื่นๆ โปรดระบุ.....6k.....

ปริมาณการนำเข้าต่อปี.....3,000 เมตร.....

สนใจจะผลิตเองไหม.....อยากผลิตไฟเบอร์ของตัวเอง Tom.....

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิต

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า

☒ บริษัทในประเทศผู้ผลิต.....อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....

☐ บริษัทต่างประเทศผู้ผลิต.....ประเทศ.....

☒ อื่นๆ โปรดระบุ.....ลูกค้าทั่วไป, พนักงานราชการ.....

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า(คาร์บอนไฟเบอร์)

☒ บริษัทเอกชน/โรงงาน

☐ ร้านค้าปลีก/ส่งทั่วไป

☐ ห้างสรรพสินค้า

☒ อื่นๆ โปรดระบุ.....ลูกค้าทั่วไป, พนักงานราชการ (หาไม่ใช้ไฟเบอร์ไฟเบอร์).....

การจำหน่าย

☒ ในประเทศ

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเชิงธุรกิจและนโยบาย

ท่านคิดว่าธุรกิจการผลิตและจัดจำหน่ายคาร์บอนไฟเบอร์มีแนวโน้มเป็นอย่างไร

- ☒ เจริญเติบโตขึ้น เพราะ..... จีนได้เข้ามาลงทุน.....
- ☐ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันมากนัก.....
- ☐ แย่ลง.....

ท่านคิดว่าภาครัฐควรเข้ามาส่งเสริม/สนับสนุน การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์หรือไม่

- ☒ สมควรเพราะ..... ผลิตได้เอง.....
- ☐ ไม่สมควรเพราะ.....

ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วน

Received 12-Jul-17

แบบสอบถาม

ข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า

การจัดทำแบบสอบถามข้อมูลการผลิตและ/หรือ การข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการการพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้าภายในประเทศ คุณลักษณะและแนวโน้มที่ตลาดต้องการเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป โดยแบบสอบถามฉบับนี้มีทั้งหมด 4 ส่วน ดังนี้

- 1.ข้อมูลทั่วไป
- 2.ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้
- 3.ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์
- 4.ความคิดเห็นเชิงธุรกิจ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามและขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วนทุกประเด็นคำถาม ทั้งนี้คำตอบของท่านจะเป็นความลับและจะใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

กรุณาทําเครื่องหมาย ☐ ถูก หน้าข้อความ หรือ ระบุข้อความลงในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบริษัท (ภาษาไทย) คาร์บอน แมจิก (ประเทศไทย) จำกัด

ชื่อบริษัท(English) Carbon Magic (Thailand) Co., Ltd.

ประเภท/ลักษณะของกิจการ Manufacture of Carbon fiber Composite Product
วรม

ขนาดกิจการ

☐ ขนาดเล็ก

☒ ขนาดกลาง

☐ ขนาดใหญ่

จำนวนบุคลากรทั้งหมด

☐ น้อยกว่า 20 คน

☐ 20-50 คน

☐ 51-80 คน

☐ 81-100 คน

☒ 100 คนขึ้นไป

☐ อื่นๆ ระบุ.....

เบอร์โทรศัพท์. 038- 482950 โทรสาร(Fax). 038- 482 954

อีเมล info@carbonmagic.co.th เว็บไซต์ www.toray.co.th/cmth

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล จิราวรรณ วงศ์ดิม ตำแหน่ง GM. Administration

เบอร์โทรศัพท์ 038- 482 950 อีเมล jirawan@carbonmagic.co.th

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ

บริษัท คาร์บอน แมจิก (ประเทศไทย) จำกัด

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้คาร์บอนไฟเบอร์

ลักษณะการนำเข้า

☐ สั่งซื้อจากผู้ผลิตในประเทศ(โปรดระบุ).....

☒ สั่งซื้อจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ(นำเข้าจาก)..... ญี่ปุ่น

ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้งาน คือ

☐ ไมโครคาร์บอนไฟเบอร์

☐ นาโนคาร์บอนไฟเบอร์

เกณฑ์การเลือกซื้อหรือใช้คาร์บอนไฟเบอร์.....ตาม Spec ของลูกค้า

คาร์บอนไฟเบอร์นำไปใช้ทำอะไรบ้าง.....ผลิต Automotive part, Medical equipment และอื่นๆ

นำเข้าขนาดหรือไซส์อะไรบ้าง.....

☒ 3K

☒ 12K

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

ปริมาณการนำเข้าต่อปี.....70,000 Sg.

สนใจจะผลิตเองไหม.....ไม่

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิต

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า

☐ บริษัทในประเทศผู้ผลิต.....

☐ บริษัทต่างประเทศผู้ผลิต.....ประเทศ.....

☒ อื่นๆ โปรดระบุ.....บริษัท แม่ ประเทศ ญี่ปุ่น

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า(คาร์บอนไฟเบอร์)

☒ บริษัทเอกชน/โรงงาน

☐ ร้านค้าปลีก/ส่งทั่วไป

☐ ห้างสรรพสินค้า

☐ อื่นๆ โปรดระบุ

การจำหน่าย

☒ ในประเทศ

☒ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเชิงธุรกิจและนโยบาย

ท่านคิดว่าธุรกิจการผลิตและจัดจำหน่ายคาร์บอนไฟเบอร์มีแนวโน้มเป็นอย่างไร

- ☒ เจริญเติบโตขึ้น เพราะ มีคนสนใจ และรู้จัก คัดสรรผลิตภัณฑ์
- ☐ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันมากนัก.....
- ☐ แย่ลง.....

ท่านคิดว่าภาครัฐควรเข้ามาส่งเสริม/สนับสนุน การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์หรือไม่

- ☒ สมควรเพราะ วัสดุดี ราคาสูง และดีต่อสิ่งแวดล้อม
- ☐ ไม่สมควรเพราะ.....

ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วน

แบบสอบถาม

ข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ถิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า

การจัดทำแบบสอบถามข้อมูลการผลิตและ/หรือ การข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ถิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการการพัฒนาการใช้ถิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้าภายในประเทศ คุณลักษณะและแนวโน้มที่ตลาดต้องการเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป โดยแบบสอบถามฉบับนี้มีทั้งหมด 4 ส่วน ดังนี้

- 1.ข้อมูลทั่วไป
- 2.ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้
- 3.ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์
- 4.ความคิดเห็นเชิงธุรกิจ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามและขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วนทุกประเด็นคำถาม ทั้งนี้คำตอบของท่านจะเป็นความลับและจะใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ ถูก หน้าข้อความ หรือ ระบุข้อความลงในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบริษัท (ภาษาไทย)...บริษัท ไทยคาร์บอนไฟเบอร์ จำกัด.....

ชื่อบริษัท(English).....THAI CARBON FIBER CO.,LTD.....

ประเภท/ลักษณะของกิจการ.....ขาย / ออกแบบ / ติดตั้ง.....

ขนาดกิจการ

☒ ขนาดเล็ก

☐ ขนาดกลาง

☐ ขนาดใหญ่

จำนวนบุคลากรทั้งหมด

☒ น้อยกว่า 20 คน

☐ 20-50 คน

☐ 51-80 คน

☐ 81-100 คน

☐ 100 คนขึ้นไป

☐ อื่นๆ ระบุ.....

เบอร์โทรศัพท์.....02-8106886.....โทรสาร(Fax).....02-2945981.....

อีเมล.....thaicarbonfiber@gmail.com.....เว็บไซต์.....thaicarbonfiber.com.....

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล.....อิสรพงศ์ บุรณอรรจน์.....ตำแหน่ง.....Managing Director.....

เบอร์โทรศัพท์.....02-8106886.....อีเมล.....thaicarbonfiber@gmail.com.....

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัท.....Thai Carbon Fiber.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้คาร์บอนไฟเบอร์

ลักษณะการนำเข้า

☐ สั่งซื้อจากผู้ผลิตในประเทศ(โปรดระบุ).....

☒ สั่งซื้อจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ(นำเข้าจาก).....Japan / Korea.....

ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้งาน คือ

☒ ไมโครคาร์บอนไฟเบอร์

☐ นาโนคาร์บอนไฟเบอร์

เกณฑ์การเลือกซื้อหรือใช้คาร์บอนไฟเบอร์.....Tensile Strength / Modulus / Size / Price.....

คาร์บอนไฟเบอร์นำไปใช้ทำอะไรบ้าง.....Structure Strengthening / Seismic Retrofitting.....

นำเข้าขนาดหรือไซส์อะไรบ้าง.....Uni-Directional 12K / Carbon Fiber Strip.....

☐ 3K

☐ 12K

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

ปริมาณการนำเข้าต่อปี.....5000-7000 sqm.....

สนใจจะผลิตเองไหม.....หากมีปริมาณการใช้มากกว่านี้ ทางบริษัทฯก็มีความสนใจ.....

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิต

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า

☐ บริษัทในประเทศผู้ผลิต.....

☐ บริษัทต่างประเทศผู้ผลิต.....ประเทศ.....

☒ อื่นๆ โปรดระบุ.....บริษัทออกแบบ / รับเหมาก่อสร้าง / สถาปนิก.....

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า(คาร์บอนไฟเบอร์)

☒ บริษัทเอกชน/โรงงาน

☐ ร้านค้าปลีก/ส่งทั่วไป

☐ ห้างสรรพสินค้า

☐ อื่นๆ โปรดระบุ

การจำหน่าย

☒ ในประเทศ

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเชิงธุรกิจและนโยบาย

ท่านคิดว่าธุรกิจการผลิตและจัดจำหน่ายคาร์บอนไฟเบอร์มีแนวโน้มเป็นอย่างไร

- ☒ เจริญเติบโตขึ้น เพราะ.....มีลูกค้ารู้ถึงคุณสมบัติมากขึ้น และ เริ่มมีการใช้กันแพร่หลายมากขึ้น.....
- ☐ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันมากนัก.....
- ☐ แย่ลง.....

ท่านคิดว่าภาครัฐควรเข้ามาส่งเสริม/สนับสนุน การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์หรือไม่

- ☒ สมควรเพราะ.....หากตลาดในประเทศมีการขยายตัว จะช่วยให้สามารถลดต้นทุนจากการนำเข้าได้มาก อีกทั้งในภูมิภาคนี้ก็ไม่มีผู้ผลิตที่สามารถผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐานสากล.....
- ☐ ไม่สมควรเพราะ.....

ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วน

แบบสอบถาม

ข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า

การจัดทำแบบสอบถามข้อมูลการผลิตและ/หรือ การใช้โครงการ การพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อ เปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้า ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ปัจจัยความต้องการการพัฒนาการใช้ลิกนินจากกากอ้อยในการผลิตคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นทางการค้าภายในประเทศ คุณลักษณะและแนวโน้มที่ตลาดต้องการเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหรือพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป โดยแบบสอบถามฉบับนี้มีทั้งหมด 4 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไป
2. ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้
3. ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์
4. ความคิดเห็นเชิงธุรกิจ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งที่จะได้รับความร่วมมือจากท่านในการตอบแบบสอบถามและขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วนทุกประเด็นคำถาม ทั้งนี้คำตอบของท่านจะเป็นความลับและจะใช้ประโยชน์เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ ถูก หน้าข้อความ หรือ ระบุข้อความลงในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อบริษัท (ภาษาไทย) หจก. ฟิวเจอร์ไฟเบอร์

ชื่อบริษัท(English).....Future Fiber Limited Partnership

ประเภท/ลักษณะของกิจการ.....นำเข้า ,ขาย.....

ขนาดกิจการ

☒ ขนาดเล็ก ☐ ขนาดกลาง ☐ ขนาดใหญ่

จำนวนบุคลากรทั้งหมด

☒ น้อยกว่า 20 คน ☐ 20-50 คน ☐ 51-80 คน ☐ 81-100 คน

☐ 100 คนขึ้นไป ☐ อื่นๆ ระบุ.....

เบอร์โทรศัพท์.....02-6921221.....โทรสาร(Fax).....

อีเมล.....futurefiber@yahoo.com.....เว็บ

ไซด์.....www.futurefibergroup.com.....

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม

ชื่อ-นามสกุล นาย เลิศศักดิ์ ...อินทวิชัย.....ตำแหน่ง.....

ผู้จัดการ.....

เบอร์โทรศัพท์.....02-6923499.....อีเมล.....

ข้อมูลผลิตภัณฑ์ของบริษัท.....เส้นใยสังเคราะห์ carbon fiber ,Aramid yarn ,Kevlar, Fiberglass ,PET fiber ,silica fabric, water transfer film.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการนำเข้าและ/หรือการใช้คาร์บอนไฟเบอร์

ลักษณะการนำเข้า

สั่งซื้อจากผู้ผลิตในประเทศ(โปรดระบุ).....

☐

☐ สั่งซื้อจากผู้ผลิตจากต่างประเทศ(นำเข้าจาก).....Japan ,Korea ,China ,USA,...

.....

ประเภทของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ใช้งาน คือ

☒ ไมโครคาร์บอนไฟเบอร์

☒ นาโนคาร์บอนไฟเบอร์

เกณฑ์การเลือกซื้อหรือใช้คาร์บอนไฟเบอร์.....carbon fiber yarn,...carbon fiber fabric.....

คาร์บอนไฟเบอร์นำไปใช้ทำอะไรบ้าง.....งานทำไฟเบอร์ตัวถัง รถ เรือ...ใช้กันความร้อน.....

นำเข้าขนาดหรือไซส์อะไรบ้าง...3K-48K.....

☐ 3K

☐ 12K

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

ปริมาณการนำเข้าต่อปี.....1000-2000 sqm.....

สนใจจะผลิตเองไหม.....สนใจผลิตเอง.....

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านการตลาดและความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิต

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า

☒ บริษัทในประเทศผู้ผลิต.....ตงเตงรถ เรือ.....

☒ บริษัทต่างประเทศผู้ผลิต.....ตงเตงรถ.....ประเทศ.....malaysia..., Indonesia.....

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

กลุ่มผู้ซื้อ/กลุ่มลูกค้า(คาร์บอนไฟเบอร์)

☒ บริษัทเอกชน/โรงงาน

☒ ร้านค้าปลีก/ส่งทั่วไป

☐ ห้างสรรพสินค้า

☐ อื่นๆ โปรดระบุ

การจำหน่าย

☒ ในประเทศ

☐ ต่างประเทศ (โปรดระบุ)

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเชิงธุรกิจและนโยบาย

ท่านคิดว่าธุรกิจการผลิตและจัดจำหน่ายคาร์บอนไฟเบอร์มีแนวโน้มเป็นอย่างไร

☒ เจริญเติบโตขึ้น เพราะ.....ผู้บริโภคมีความรู้มากขึ้น ราคาถูกลง...หาซื้อง่าย.....

☐ ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบันมากนัก.....

☐ แย่ลง.....

ท่านคิดว่าภาครัฐควรเข้ามาส่งเสริม/สนับสนุน การผลิตคาร์บอนไฟเบอร์หรือไม่

☒ สมควรเพราะ...เป็นการเพิ่มความรู้ และเป็นการลดต้นทุนการนำเข้า.....

☐ ไม่สมควรเพราะ.....

ขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่สละเวลาในการตอบแบบสอบถามอย่างครบถ้วน

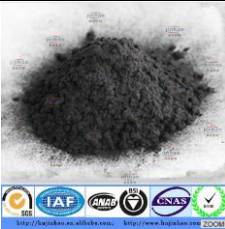
ภาคผนวก ค ข้อมูลราคาของผลิตภัณฑ์คาร์บอนไฟเบอร์ จำแนกตามประเภทตาราง

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
1	คาร์บอนไฟเบอร์ reinforced โพลีเมอร์ (no.1)	540.93 (US \$15.30)	ผง		http://thai.alibaba.com/p-detail/carbon-fiber-powder-467425653.html (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
2	คาร์บอนไฟเบอร์ substrand	35.36 (US \$1.00)	ผง/เส้น		http://thai.alibaba.com/p-detail/high-quality-carbon-fiber-chopped-strand-60294984503.html (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
3	ผงคาร์บอนชีวภาพ	9.19 - 12.37 (US \$0.26-0.35)	ผง/ บล็อก คาร์บอน		http://thai.alibaba.com/product-detail/carbon-anode-powder-60268074627.html (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
5	แป้งคาร์บอนไฟเบอร์	989.94 - 1,343.49 (US \$ 28-38)	ผง		http://thai.alibaba.com/product-detail/milled-carbon-fiber-508484174.html (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
6	คาร์บอนไฟเบอร์เป็นผงเคลือบ คาร์บอนไฟเบอร์บริษัทคาร์บอนไฟเบอร์ผง	371.23 - 770.74 (US \$ 10.50-21.80)	ผง		http://goo.gl/AqwKeC (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
7	ผงคาร์บอนสำหรับการเสริมแรง	512.65 - 618.71 (US \$ 14.50-17.50)	ผง		http://goo.gl/xCcbXk (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
9	คาร์บอนสีดำกระบวนการผลิต คาร์บอนสีดำผงสำหรับขายเสื้อผ คาร์บอนไฟเบอร์	371.23 - 770.74 (US \$ 10.50-21.80)	ผง		http://goo.gl/WTknsV (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
10	ถ่านผงคาร์บอนไฟเบอร์ผงราคาของ คาร์บอนผงHY1220	36.27 - 41.33 (US \$ 1.03-1.17)	ผง		http://goo.gl/vbGmC1 (มีรายละเอียด) (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

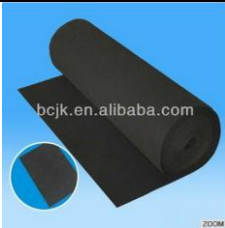
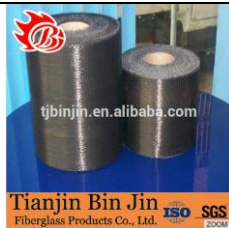
ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
11	ผงสีดำหรือเม็ดคาร์บอนสีดำn550	23.33 - 24.39 (US \$ 0.66-0.69)	ผง		http://goo.gl/R67Quw (มีรายละเอียด) (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
12	คาร์บอนไฟเบอร์ผง	353.55 - 1,414.20 (US \$ 10.00-40.00)	ผง		http://goo.gl/a4G9Jt (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
13	คาร์บอนไฟเบอร์ผง	548.00 - 1,096.01 (US \$ 15.50-31.00)	ผง		http://goo.gl/Ch33SR (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

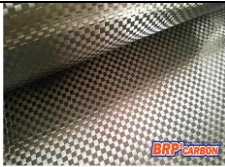
ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
14	CON-CASTINGผงสำหรับคาร์บอนต่ำ แผ่นเหล็ก	7.07 - 70.71 (US \$ 0.20-2.00)	ผง		http://goo.gl/SnCOLL (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
15	คาร์บอนไฟเบอร์ผง/ใยปะชอลต์ที่ผง	353.55 - 1,767.75 (US \$ 10.00-50.00)	ผง		http://goo.gl/g9LCPk (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
16	แป้งคาร์บอนไฟเบอร์, ผงคาร์บอนไฟเบอร์	353.55 - 1,767.75 (US \$ 10.00-50.00)	ผง		http://goo.gl/egLRbU (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
17	แป้งคาร์บอนไฟเบอร์แก้วผง	3.54 - 53.03 (US \$ 0.10-1.50)			http://goo.gl/ReLs2n (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
18	เส้นใยคาร์บอนบริสุทธิ์สูงผง	883.88 - 3,535.50 (US \$ 25.00-100.00)	ผง		http://goo.gl/VnswiQ (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
19	50ตาข่ายผงคาร์บอนไฟเบอร์	883.88 - 3,535.50 (US \$ 25.00-100.00)	ผง		http://goo.gl/ezTzWp (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

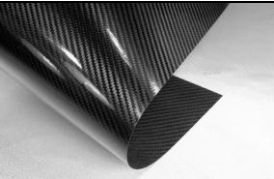
หมายเหตุ : อัตราแลกเปลี่ยนตัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างธนาคาร เท่ากับ 35.355 บาท ต่อ ดอลลาร์ สรอ. (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ประจำวันที่ 12 มกราคม 2560)

ตารางที่ ค-2 ราคาคาร์บอนไฟเบอร์ชนิดแผ่น

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
1	activated carbon filter cloth, non-woven activated carbon air filter fabric	169.70 – 176.07 (US \$4.80 - 4.98/cm ²)	แผ่น		https://goo.gl/9ZsPDb (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
2	Bestselling non-woven activated carbon, carbon filter fabric manufacture with ISO9001 accredited	35.36 – 3,535.5 (US \$1 - 100 / Piece)	แผ่น/ ม้วน		https://goo.gl/O1nPh8 (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
3	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์, แผ่นคาร์บอนไฟ เบอร์, ภาพยนตร์คาร์บอนไฟเบอร์	141.42 – 707.1 (US \$ 4-20/cm ²)	แผ่น/ ม้วน		http://goo.gl/1w2HcR (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
4	แผ่นกรองกลิ่นบรรจุคาร์บอนกัมมันต์ (Carbon Filter for AP-1503CHE)	1,800.00 บาท	แผ่น		http://cowayworld.tarad.com/product.d etail_455334_th_2044670 (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
5	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ ลายสอง 6K 320g. หน้ากว้าง 1.52 ม.	1 เมตรละ 1800.- 2-4 เมตรละ 1600.- 5 เมตรละ 1500.- 10 เมตรละ 1350.-	แผ่น		http://goo.gl/M1qibN (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
6	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ 12K Spreadtow 200g. Plain Weave 8x8 mm. หน้า กว้าง 1 เมตร	1800.-	แผ่น		http://goo.gl/GRpon2 (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
7	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ ลายสอง 12K 600g. หน้ากว้าง 1.52 ม.	1 เมตรละ 2000.- 3-5 เมตรละ 1800.- 10 เมตรละ 1650.-	แผ่น/ ม้วน		http://goo.gl/XCq6no (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
8	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ 12K Spreadtow 160g. Twill 2x2 หน้ากว้าง 1 เมตร	1800.-	แผ่น		http://goo.gl/4U9hHO (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
9	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์12K (UD) Unidirectional 300g. หน้ากว้าง 30 ซม.	เมตรละ 250 บาท	ม้วน/ แผ่น		http://goo.gl/7Lc1RL (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
30	Carbon Fiber Tape Plain Weave 240g. หน้ากว้าง 30 มม./ ยาว 10 เมตร	800.-	แผ่น/ ม้วน		http://goo.gl/4PEXkq (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
31	ผ้าคาร์บอนไฟเบอร์ (ลายหนึ่ง) 3K 200g. ขนาด 150 x 50 ซม.	850.-	แผ่น		http://goo.gl/oA3GiL (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
32	ผ้าทอเส้นด้ายคาร์บอนสานผ้าสำหรับ ขึ้นส่วนรถยนต์อุปกรณ์กีฬารุ่น อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ	1,414.20 (US \$40.00/cm ²)	แผ่น/ ม้วน		http://goo.gl/ZPoyJ2 (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
33	แผ่น คาร์บอนไฟเบอร์ Full 100% - ขนาด 400 x 500 มม.หนา 2 มม. (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 400 x 500 มม.หนา 1.5 มม. (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 400 x 500 มม.หนา 1 มม. (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 400 x 500 มม.หนา 0.5 มม. (เคลือบผิวด้าน)	3100.- 2800.- 2500.- 2200.-	แผ่น		- http://goo.gl/lwuhS0 - http://goo.gl/98SYD0 - http://goo.gl/gUl6nx - http://goo.gl/LqfWf (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
34	แผ่น คาร์บอนไฟเบอร์ Full 100% - ขนาด 200 x 300 มม.หนา 1 มม. (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 200 x 300 มม.หนา 2 มม. (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 200 x 300 มม.หนา 3 มม. (เคลือบผิวด้าน)	1200.- 1500.- 1800.-	แผ่น		- http://goo.gl/qXG4fQ - http://goo.gl/pL8HKS - http://goo.gl/ZW6H4W (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
35	แผ่น วิเนียร์ คาร์บอนไฟเบอร์ - ขนาด 600x1000 mm. - ขนาด 1200x1000 mm.	2000.- 4000.-	แผ่น		- http://goo.gl/BCfMzQ - http://goo.gl/TXLCkz (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

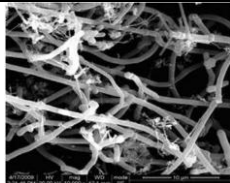
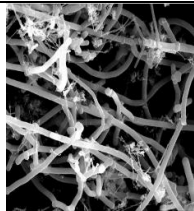
ตารางที่ ค-3 ราคาคาร์บอนไฟเบอร์ชนิดแท่ง/ท่อ

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
1	ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ Full 100% - ขนาด 6x4x500 mm (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 8x6x500 mm (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 10x8x500 mm (เคลือบผิวด้าน) - ขนาด 12x10x500 mm (เคลือบผิวด้าน) - 14x12x500 mm (เคลือบผิวด้าน)	350.- 350.- 380.- 430.- 450.-	ท่อ		- http://goo.gl/eauv5r - http://goo.gl/7MlqDM - http://goo.gl/nqwMMe - http://goo.gl/xfyBEN - http://goo.gl/iHdFpr (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
2	ท่อคาร์บอนไฟเบอร์ Full 100% - ขนาด 16x14x1000 mm (เคลือบเงา) - ขนาด 19x17x1000 mm (เคลือบเงา) - ขนาด 23x21x1000 mm (เคลือบเงา)	1000.- 1200.- 1400.-	ท่อ		- http://goo.gl/5JQpUR - http://goo.gl/VAMT9u - http://goo.gl/FvLLRo (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)
			102		

ลำดับ	ชื่อ	ราคา (บาท)	ชนิด	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
3	คาร์บอนไฟเบอร์ ฉาก 90 องศาหนา 2mm / ปีกกว้าง 25mm / ยาว 300mm	1600.-	ฉาก		http://goo.gl/4oxmvV (สืบค้นวันที่ 4 กรกฎาคม 2559)

หมายเหตุ : อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อเงินดอลลาร์ สรอ. (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ประจำวันที่ 12 มกราคม 2560)

ตารางที่ ค-4 ราคาคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (Carbon Nana Fiber)

ลำดับ	ชื่อผลิตภัณฑ์	ราคา (บาทต่อกรัม)	รูปภาพ	แหล่งอ้างอิง
1	Carbon Nanofiber CNF/ 150nm-200nm	70.71 (US \$2.00)		https://th.aliexpress.com/item/Carbon-Nanofiber-CNF-150nm-200nm/32604224728.html?isOrigTitle=true (สืบค้นวันที่ 9 ม.ค. 60)
2	CARBON NANOCHIPS	10,764.94 (SGD 445.20)	-	http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=104696185 (สืบค้นวันที่ 3 ก.ย. 60)
3	Carbon NanoFibers, Purity: >95%, OD: 200-600nm	2,298.08 (US \$65.00)		http://www.us-nano.com/inc/sdetail/317 (สืบค้นวันที่ 8 ก.ย. 60)
4	Carbon Nanofibers (CNFs), purity > 70%, outside diameter 200-600 nm, length 5-50 um.	782.80 (€20.00)		http://www.getnanomaterials.com/cnf-400/ (สืบค้นวันที่ 8 ก.ย. 60)

หมายเหตุ : อัตราแลกเปลี่ยนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักระหว่างธนาคาร เท่ากับ 35.355 บาท ต่อ ดอลลาร์ สรอ. (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ประจำวันที่ 12 มกราคม 2560)

อัตราแลกเปลี่ยนถัวเฉลี่ยที่ธนาคารพาณิชย์ใช้ซื้อขายกับลูกค้า (อัตราซื้อถัวเฉลี่ยเงินโอน) 24.18 บาท ต่อ ดอลลาร์สิงคโปร์ (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ประจำวันที่ 3 กันยายน 2560)

อัตราแลกเปลี่ยนถัวเฉลี่ยที่ธนาคารพาณิชย์ใช้ซื้อขายกับลูกค้า (อัตราซื้อถัวเฉลี่ยเงินโอน) เท่ากับ 39.14 บาท ต่อยูโรโซน (อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ประจำวันที่ 7 กันยายน 2560)