ถ่านชีวภาพ (Biocoal): ช่วยเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ณิชชา บูรณสิงห์
วิทยากรเชี่ยวชาญ
กลุ่มงานบริการวิชาการ 3 สำนักวิชาการ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการทำการเกษตรกันอย่างแพร่หลายและมีผลผลิตที่ได้หลากหลายชนิด เช่น อ้อย ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ปาล์ม เป็นต้น ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก ส่วนใหญ่เกษตรกรจะกำจัดโดยการไถ ฝังกลบ และเผา เพื่อใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชในฤดูกาลถัดไป แต่การเผาก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและส่งผลทำให้เกิดหมอกควันและฝุ่นละออง PM2.5 และการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ เป็นต้นเหตุของการเกิดปัญหาภาวะโลกร้อนและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน ทั้งนี้ ประเทศไทยต้องเผชิญปัญหามลพิษทางอากาศที่รุนแรงเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะในเมืองหลวง พื้นที่ภาคเหนือ และหมอกควันข้ามแดน ดังนั้น จึงมีการนำชีวมวลดังกล่าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นพลังงานทดแทนและเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตพลังงานความร้อน ไอน้ำ หรือผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิล (น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ) ทั้งนี้ ปัญหาดังกล่าวนักวิชาการ ภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาสังคม ให้ความสำคัญในเรื่องดังกล่าว เพราะส่งผลกระทบทั้งด้านสุขภาพ ด้านสังคม และด้านเศรษฐกิจ ดังนั้น หน่วยงานภาครัฐและภาควิชาการมีการศึกษาแนวทางแก้ไขปัญหา แต่ทำได้เพียงแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาในระยะยาวได้ เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562 คณะรัฐมนตรีมีมติ เรื่อง “การแก้ไขปัญหามลภาวะด้านฝุ่นละออง” เป็นวาระแห่งชาติ โดยมีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ พ.ศ. 2562-2567 ซึ่งแผนปฏิบัติการดังกล่าวเป็นการแก้ไขปัญหาซึ่งพิจารณาผลกระทบในทุกมิติ โดยเฉพาะผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับประชาชน เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ชีวิตปกติมากเกินไป โดยมีเป้าหมาย คือ “สร้างอากาศดี เพื่อคนไทย และผู้มาเยือน” จึงได้กำหนดมาตรการและแนวทางการดำเนินงานในการจัดการคุณภาพอากาศเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาประเทศไทยในอนาคตให้มีความสมดุลระหว่างด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม (กระทรวงพลังงาน, 2562) และเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2567 อธิบดีกรมส่งเสริมการเกษตร รายงานผลการดำเนินงานบริหารจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ปี พ.ศ. 2567 รายพืช 5 ชนิด ประกอบด้วย ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง ไม้ผล และไม้ยืนต้น ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2567 มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้งหมดประมาณ 48.6 ล้านตัน นำไปใช้แล้วประมาณ 29.7 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 61 เป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจกว่า 3.3 พันล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2567) ถึงแม้ปัจจุบันจะมีการแก้ไขปัญหามลภาวะด้านฝุ่นละอองเป็นวาระแห่งชาติแล้วก็ตาม แต่สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศรุนแรงอย่างต่อเนื่องทุกปี คือ ปัญหาการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพราะส่วนใหญ่เกษตรกรจะกำจัดโดยการเผาภายหลังกระบวนการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว และแปรรูปจะมีวัสดุเหลือใช้ทิ้งจำนวนมาก ซึ่งเศษวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดังนั้น

นักวิจัยนาโนเทค สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จึงนำมาต่อยอดเป็น **“ถ่านชีวภาพ (Biocoal)”** เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถใช้แทนถ่านหินในโรงไฟฟ้าชีวมวลและอุตสาหกรรม เนื่องจากมีประสิทธิภาพใกล้เคียงถ่านหินและหาได้ง่าย สิ่งสำคัญ คือ ช่วยลดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และลดการเผาที่ก่อให้เกิดหมอกควันและฝุ่นละออง PM2.5 นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม (Co-firing) หรือทดแทน (Replacement) สามารถลดต้นทุนในการผลิต และสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร พร้อมทั้งเป็นพลังงานทดแทนหรือพลังงานทางเลือกใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีเหมาะสมจะช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และลดการเกิดภาวะโรคร้อนได้

ดังนั้น **“ถ่านชีวภาพ (Biocoal)”** จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลและอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหิน นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังเป็นช่องทางสร้างงาน สร้างรายได้ และเป็นไปตามโมเดลเศรษฐกิจ BCG เพื่อความยั่งยืนทางพลังงานของประเทศไทย

ถ่านชีวภาพ (Biocoal)

ถ่านชีวภาพ หรือ Bio Coal คือ เชื้อเพลิงแข็งชีวภาพที่มีสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกับถ่านหิน ผลิตโดยกระบวนการที่เรียกว่า “ทอร์รีแฟคชัน” (Torrefaction) ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพและเปลี่ยนรูปชีวมวลผ่านกระบวนการทางเคมีความร้อน โดยให้ความร้อนแก่ชีวมวลในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือจำกัดออกซิเจน (อากาศ) ในช่วงอุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส ถ่านชีวภาพสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม (Co-firing) หรือทดแทน (Replacement) เชื้อเพลิงชีวมวลและถ่านหินสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือให้ความร้อนได้ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2566)

ข้อดีของพลังงานชีวภาพ

1. ผลิตได้จากวัตถุดิบที่หลากหลายและสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ
2. เป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้อย่างไม่จำกัด และไม่หมดไปเหมือนพลังงานฟอสซิล รวมถึงไม่ส่งผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนพลังงานฟอสซิล
3. ช่วยลดปริมาณขยะและขยะชีวภาพที่เกิดขึ้นในครัวเรือนและอุตสาหกรรม พร้อมช่วยลดการฝังกลบขยะ
4. มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับการใช้งานพลังงานฟอสซิล
5. เหมาะสำหรับประเทศเกษตรกรรม เนื่องจากเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือใช้ทางการเกษตร และเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร เป็นการช่วยพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก
6. ผลผลิตที่เหลือจากกระบวนการผลิตสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยและน้ำหมักอินทรีย์ เพื่อนำกลับไปใช้ในเชิงเกษตรกรรมได้

ข้อเสียของพลังงานชีวภาพ

1. เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่ใช้การผลิตที่มีคุณภาพสูงยังมีต้นทุนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะพลังงานชีวภาพที่ต้องการความถนัดทางด้านการบริหารจัดการวัตถุดิบและการดูแลกระบวนการผลิต

2. วัตถุดิบจากพืชผลทางการเกษตรบางชนิดมีอายุการเก็บรักษาสั้น และบางส่วนมีวงจรการผลิตตามฤดูกาล จึงอาจมีปริมาณไม่สม่ำเสมอในบางช่วง

3. จำเป็นต้องใช้พื้นที่ปริมาณมากในการผลิตพลังงาน รวมถึงจัดเก็บวัตถุดิบจากพืชผลทางการเกษตร ประเทศไทยกับพลังงานชีวภาพ (พลังงานชีวภาพ/ชีวมวล, 2564)

งานวิจัยของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

จากตัวเลขผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มสูงในปี พ.ศ. 2565 จำนวน 911,453 ราย และเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากในปี พ.ศ. 2566 จำนวน 2,293,667 ราย

ทีมวิจัยนาโนเทค สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) นำของเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ใบอ้อย ใบข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม ไม้โตไวตระกูลกระถิน เปลือกไม้ยูคาลิบตัส เป็นต้น มาพัฒนาเป็น **“ถ่านชีวภาพ (Biocoal)”** โดยมีการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทอร์รีแฟคชันในการผลิตถ่านชีวภาพจากชีวมวลแต่ละชนิด และวิเคราะห์ทดสอบสมบัติของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ รวมถึงพัฒนาเทคโนโลยีระบบผลิตถ่านชีวภาพที่สามารถต่อยอดสู่การใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งถ่านชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีค่าความร้อนขั้นต่ำ 18-24 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ความหนาแน่น 0.65-0.75 กิโลกรัมต่อลิตร และความชื้น 1-5 wt% เมื่อเทียบคุณสมบัติถ่านชีวภาพกับสินค้าคู่แข่ง เช่น ชีวมวล ไม้สับ (Wood chips) และเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง (Wood pellets) ถ่านชีวภาพจะมีค่าความร้อนสูงกว่า ในขณะที่ความชื้นของถ่านชีวภาพต่ำกว่า และสามารถจัดเก็บได้นานกว่า หมายถึง ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติที่สำคัญดีกว่าชีวมวล ไม้สับ และเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง อีกทั้งถ่านชีวภาพยังสามารถใช้แทนถ่านหินได้ เนื่องจากถ่านชีวภาพมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับถ่านหิน นอกจากนี้ งานวิจัยพัฒนากระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ สอดคล้องกับแนวทางของโมเดลเศรษฐกิจ BCG (BCG เป็นเศรษฐกิจแนวใหม่ ที่ภาครัฐและเอกชนต่างให้ความสำคัญ เพราะมีเป้าหมายเดียวกัน คือ การปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environment) การลดปัญหาโลกร้อน (Global Warming) เน้นพัฒนาเศรษฐกิจให้เติบโตอย่างทั่วถึงบนพื้นฐานการพัฒนาที่ยั่งยืน โมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green หรือ เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว มี 3 องค์ประกอบสำคัญ คือ B = Bio economy เศรษฐกิจชีวภาพ คือ การนำทรัพยากรชีวภาพมา “ผลิตให้คุ้มค่าที่สุด” ควบคู่กับการรักษาสมดุลสิ่งแวดล้อม โดยใช้เทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าและบริการให้มีนวัตกรรมและมีมูลค่าสูง , C = Circular economy เศรษฐกิจหมุนเวียน คือ การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด ของที่ใช้ในการผลิตต้องสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle, Upcycle), G = Green economy เป็นระบบเศรษฐกิจสีเขียว ซึ่งเป็นการสร้างนวัตกรรมรวมถึงการจัดการสภาพสังคมให้กระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด (Zero-Waste)) (INNOVATION TECHNOLOGY, 2565) ด้านการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรให้มากที่สุด เพื่อนำมาเป็นพลังงานหมุนเวียนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและความร้อน สามารถลดปัญหาการเกิดภาวะโลกร้อน และสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ สำหรับการวิจัยต่อยอดของทีมวิจัยต้องการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวภาพที่มีกำลังการผลิตสูงให้สามารถใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์ ควบคู่กับการพัฒนาฐานข้อมูลเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพจากชีวมวลที่มีศักยภาพในประเทศไทย เพื่อตอบโจทย์การใช้งาน

ในระดับอุตสาหกรรม (นวัตกรรม “ถ่านชีวภาพ” ใช้แทน “ถ่านหิน” ช่วยลดต้นตอฝุ่น PM2.5 หนุน BCG เพื่อความยั่งยืน, 2566)

คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติของชีวมวลหลังจากกระบวนการทอร์รีแฟกชันจะเปลี่ยนแปลงไป และขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในกระบวนการทอร์รีแฟกชัน เช่น ชนิดของชีวมวล อุณหภูมิ เวลา และชนิดของเตาปฏิกรณ์ชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟกชันจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การดูดความชื้นกลับต่ำ (Hydrophobicity) ในขณะที่มีความเปราะ (Grindability) ง่ายต่อการบดและใช้พลังงานในการบดน้อยลง สี (Color of the torrefied product) จะเข้มขึ้นตามความหนาแน่นและปริมาตร (Density and volume of Particle) จะเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture: M) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon: FC) ปริมาณสารระเหย (Volatile matter: VM) ปริมาณเถ้า (Ash content: Ash) ปริมาณคาร์บอน (Carbon: C) ปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen: H) ปริมาณออกซิเจน (Oxygen: O) ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen: N) ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur: S) ค่าความร้อนสูง (Higher heating value: HHV) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Solid product yield) พลังงานที่ได้ (Energy yield) รายละเอียดเมื่อเทียบคุณสมบัติถ่านชีวภาพ (Torrefied wood pellets) กับสินค้าคู่แข่ง เช่น ไม้สับ (Wood chips) เชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง (Wood pellets) และถ่านหิน จะเห็นได้ว่า ถ่านชีวภาพมีค่าความร้อนสูง หรือ LHV สูงกว่าไม้สับ และเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง ในขณะที่ความชื้นของถ่านชีวภาพต่ำกว่า นั่นหมายถึง ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติที่สำคัญดีกว่าไม้สับและเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง ที่สำคัญถ่านชีวภาพมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับถ่านหิน ดังนั้น ถ่านชีวภาพสามารถใช้แทนถ่านหิน ไม้สับ และเชื้อเพลิงไม้อัดแท่งได้

กระบวนการผลิตถ่านชีวภาพ

การเปลี่ยนรูปชีวมวลเป็นพลังงาน โดยสามารถดำเนินการได้หลายรูปแบบ ได้แก่ 1) กระบวนการทางกายภาพหรือทางกล (Physical or Mechanical processes) 2) กระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermochemical processes) 3) กระบวนการทางเคมี (Chemical processes) 4) กระบวนการทางชีวเคมี (Biochemical processes) และ 5) กระบวนการแบบร่วม (Combined processes) การผลิตถ่านชีวภาพ เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพและการเปลี่ยนรูปชีวมวลโดยกระบวนการทางเคมีความร้อน โดยให้ความร้อนแก่ชีวมวลในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือจากัดออกซิเจน (อากาศ) ในช่วงอุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้เวลาประมาณ 30-120 นาทีหรือที่เรียกว่า ทอร์รีแฟกชัน (Torrefaction) ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จะมีสถานะเป็นของแข็ง ส่วนที่เหลือจะมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ในกระบวนการทอร์รีแฟกชันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของชีวมวลตามช่วงอุณหภูมิซึ่งมี 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ช่วงให้ความร้อนเริ่มต้น (Initial heating) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ กว่า 100 องศาเซลเซียส และเป็นช่วงที่ชีวมวลได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น มีการระเหยของความชื้นบริเวณผิวนอก 2) ช่วงอบแห้ง (Pre-drying) ช่วงนี้การใช้พลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิคงที่ประมาณ 100-105 องศาเซลเซียส ความชื้นส่วนใหญ่ถูกระเหยออกไป 3) ช่วงหลังระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิ (Post drying and intern

heating) ช่วงนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส ความชื้นของชีวมวลถูกระเหยหมดและมีสารระเหยเบา (Light volatile) บางส่วนเริ่มระเหยออกจากชีวมวล 4) ช่วงทอร์รีแฟกชัน มีอุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส มีการระเหยของสารระเหย (Volatiles) และการแตกตัวกลายเป็นไอระเหยของลิกโนเซลลูโลสเนื่องจากความร้อน (Therma decomposition) และ 5) ช่วงลดอุณหภูมิ ให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อม ในช่วงนี้ความร้อนสะสมลดลงในขณะที่มวลค่อนข้างคงที่

สถานการณ์ตลาดชีวภาพต่างประเทศ

ตลาดถ่านชีวภาพในภาพรวมระดับโลกคาดว่าจะเติบโตที่ CAGR มากกว่าร้อยละ 9 จากปี พ.ศ. 2564–2573 ตลาดถ่านชีวภาพแบ่งออกเป็นกลุ่มประเทศ ดังนี้ อเมริกาเหนือ ละตินอเมริกา ยุโรป เอเชียแปซิฟิก และตะวันออกกลางและแอฟริกา ซึ่งอเมริกาเหนือมีส่วนแบ่งตลาดถ่านชีวภาพมากที่สุด เนื่องจากภูมิภาคนี้มีกฎระเบียบที่เข้มงวดซึ่งกำหนดโดยรัฐบาลเกี่ยวกับการลดมลพิษทางอากาศจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ละตินอเมริกาและยุโรปเป็นภูมิภาคกำลังพัฒนาที่มีศักยภาพสูงสำหรับการเติบโตในตลาดถ่านชีวภาพ เนื่องจากมีความต้องการเชื้อเพลิงชีวภาพที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด ซึ่งกำหนดโดยประชาคมโลก สำหรับภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกมีการลงทุนที่เพิ่มขึ้นจากบริษัทที่ดำเนินงานโรงไฟฟ้าหรือหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเนื่องจากระดับการปล่อย CO_2 ต่ำ เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน และภูมิภาคสุดท้าย คือ ภูมิภาคตะวันออกกลางและแอฟริกามีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการผลิตไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนอยู่แล้ว

ในภูมิภาคเอเชีย ผู้ใช้รายใหญ่ ได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น และสาธารณรัฐเกาหลี (เกาหลีใต้) ในประเทศญี่ปุ่น บริษัท Tohoku Electric Power ทดลองใช้ถ่านชีวภาพในโรงงานไฟฟ้าพลังความร้อน Noshiro coal-fired plant ขนาด 1.8 GW ทางตอนตะวันออกเฉียงเหนือของเมือง Yamagata ซึ่งปัจจุบันโรงไฟฟ้าใช้ถ่านหินเป็นหลัก ใช้ชีวมวลประเภทไม้ร่วมเพียงร้อยละ 1 โดยมีแผนเปลี่ยนชีวมวลดังกล่าวเป็นถ่านชีวภาพ ใน ค.ศ. 2024 โดยโรงไฟฟ้าใน Noshiro and Haramachi ใช้ไม้ปริมาณ 30,000 และ 60,000 ตันต่อปี ตามลำดับ บริษัท Tohoku ยังต้องการ Supplier และสนใจศึกษาการผลิตวัตถุดิบต่าง ๆ จากหลายพื้นที่ ส่วนประเทศสาธารณรัฐเกาหลี (เกาหลีใต้) ยังไม่มีข้อมูลใช้ถ่านชีวภาพ

สถานการณ์ตลาดชีวภาพประเทศไทย

ประเทศไทยมีการจัดทำรายละเอียดแผนพลังงานชาติที่สอดคล้องกับแนวทางการมุ่งเป้าหมายลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Carbon neutrality) ภายใน ค.ศ. 2065-2070 ซึ่งจะมีผลต่อทิศทางการพัฒนาพลังงานที่สำคัญ ได้แก่ ด้านไฟฟ้า ด้านก๊าซธรรมชาติ ด้านน้ำมัน และด้านพลังงานทดแทน แนวทางในแผนดังกล่าวนี้จะช่วยให้การผลิตถ่านชีวภาพเชิงพาณิชย์มีความเป็นไปได้รวดเร็วมากขึ้น เนื่องจากด้านไฟฟ้ามีการเพิ่มสัดส่วนพลังงานทดแทนและพลังงานสะอาดจากโรงไฟฟ้าใหม่ โดยมีการใช้พลังงานทดแทนไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ทั้งนี้ ถ่านชีวภาพจัดเป็นพลังงานจากพืชที่ใช้ทดแทนถ่านหินได้ ดังนั้นนโยบายพลังงานทดแทนชาติจะช่วยเพิ่มโอกาสในการผลิตและจำหน่ายถ่านชีวภาพเชิงพาณิชย์

ภาคเอกชนที่ผลิตถ่านชีวภาพเชิงพาณิชย์

ปัจจุบันมีการผลิตและการใช้ถ่านชีวภาพเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ แต่ยังไม่มีการใช้ถ่านชีวภาพในประเทศไทย มีเอกชน จำนวน 3 ราย ที่ผลิตถ่านชีวภาพในประเทศเพื่อการส่งออกไปขายต่างประเทศ ได้แก่

1. บริษัท SCG
2. บริษัท สยามไบโอแมสโปรดัก จำกัด
3. บริษัท ทีทีซีแอล จำกัด (มหาชน) (ฝ่ายบริหารกลยุทธ์และนโยบายองค์กร สำนักงานกลาง ฝ่ายธุรกิจนวัตกรรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2565)

นโยบายรัฐบาลด้านพลังงาน

1. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015)

วัตถุประสงค์ เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นพลังงานหลักของประเทศทดแทนการนำเข้าน้ำมันได้ในอนาคต เสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ สนับสนุนอุตสาหกรรมการผลิตเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศ และเพื่อวิจัยพัฒนาส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนสัญชาติไทยให้สามารถแข่งขันในตลาดสากล

ได้กำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนตามแผน AEDP 6 ประเด็น ประกอบด้วย

1) การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง

2) การปรับมาตรการจูงใจสำหรับการลงทุนจากภาคเอกชนให้เหมาะสมกับสถานการณ์

3) การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน

4) การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบสายส่ง สายจำหน่ายไฟฟ้ารวมทั้งการพัฒนาสู่ระบบ Smart Grid

5) การประชาสัมพันธ์ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน

6) การส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร (กระทรวงพลังงาน, 2559)

2. นโยบายการแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง PM2.5

นายเศรษฐา ทวีสิน นายกรัฐมนตรี และรัฐมนตรีว่าการกระทรวงการคลัง สั่งการในที่เรื่องการแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 โดยให้ตั้งคณะกรรมการแห่งชาติด้านการป้องกันและแก้ไขปัญหาไฟป่า การเผาในที่โล่ง หมอกควัน และฝุ่นละออง ให้เป็นไปตามกลไกการบริหารจัดการทั้งในระดับชาติและระดับพื้นที่ พร้อมทั้งให้จังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดต้นแบบ เนื่องจากปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ลดลง โดยเฉพาะเดือนมกราคม 2567 เมื่อเทียบย้อนหลังไปถึง 10 ปี พบว่า ปัญหาฝุ่นดีขึ้นและมีปริมาณฝุ่นต่ำลงมาก แต่พื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลยังไม่ลดลง ดังนั้น ให้ทุกหน่วยงานนำไปปรับใช้ เพื่อกำหนดมาตรการให้มีความเข้มข้นและเป็นรูปธรรม โดยมีแนวทางและมาตรการในการแก้ปัญหา ดังนี้

แนวทางแก้ปัญหาฝุ่นละออง 5 แนวทาง ได้แก่

1. ให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รณรงค์ให้เกษตรกรเปลี่ยนวิธีจากการเผาเป็นฝังกลบ หากเกษตรกรรายใดติดปัญหาเรื่องเครื่องมือในการฝังกลบ ภาครัฐยินดีส่งเสริม และหากฝืนไม่ปฏิบัติตามจะถูกตัดสิทธิในการรับความช่วยเหลือจากภาครัฐทุกรูปแบบ

2. ให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกระทรวงพาณิชย์ กำหนดมาตรการลดหรือห้ามนำเข้าสินค้าทางการเกษตรที่พิสูจน์ได้ว่ามีกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับการเผา เช่น การนำเข้าข้าวโพด ซึ่งแหล่งนำเข้าข้าวโพดมีการเผาตอซังข้าวโพด

3. กำหนดให้มีการจับกุม และบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัด โดยให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมร่วมกับกระทรวงมหาดไทย และกระทรวงสาธารณสุข บังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัด โดยให้ผู้ว่าราชการจังหวัด ออกประกาศเขตห้ามเผา ตามพระราชบัญญัติ (พ.ร.บ.) ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย หากผู้ใดฝ่าฝืน ให้มีการลงโทษตามกฎหมายอย่างเด็ดขาด

4. การลงโทษปรับ กรณีการเผาที่เป็นเหตุให้รำคาญ ตามพระราชบัญญัติสาธารณสุข หากมีการลักลอบนำเข้าสินค้าที่เกี่ยวกับการเผาในประเทศเพื่อนบ้าน ที่เกี่ยวข้องจับกุมและลงโทษตามกฎหมาย โดยให้ผู้ว่าราชการจังหวัดเข้มงวดกับการดูแลพื้นที่ เพื่อไม่ให้เกิดการเผา หรือลักลอบนำเข้าสินค้าที่เกิดจากการเผาจากประเทศต้นทาง หากปล่อยให้เผาหรือมีการลักลอบนำเข้าผู้ว่าราชการจังหวัดและข้าราชการที่เกี่ยวข้อง จะต้องมีส่วนรับผิดชอบตามระเบียบที่เกี่ยวข้องต่อไป

5. การสนับสนุนให้มีการประชาสัมพันธ์เชิงรุก เพื่อให้ประชาชนรับทราบว่ารัฐบาลให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าว และมอบหมายกระทรวงเกษตรฯ ให้ความรู้เรื่องการไถกลบและผลเสียของการเผากับเกษตรกร

มาตรการเร่งด่วนเพื่อป้องกันฝุ่นละออง PM2.5 ปี พ.ศ. 2567 มี 11 มาตรการ ได้แก่

เน้นการเตรียมความพร้อมป้องกันการเกิดฝุ่น PM2.5 และไฟป่าในพื้นที่แหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ พื้นที่ป่า พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เมือง และหมอกควันข้ามแดน

1. ควบคุมพื้นที่เสี่ยงต่อการเผาใน 11 ป่าอนุรักษ์ 10 ป่าสงวนแห่งชาติ โดยจัดทำแผนบริหารจัดการเชื้อเพลิงในพื้นที่ป่า จัดระเบียบควบคุมผู้เข้าใช้ประโยชน์พื้นที่ เพื่อลดการเกิดไฟในพื้นที่ป่าให้ได้ร้อยละ 50 จากปี พ.ศ. 2566

2. กำหนดเงื่อนไขการอนุญาตการเผาและการบริหารจัดการการเผาในพื้นที่เกษตร โดยสร้างการมีส่วนร่วมกับประชาชนในพื้นที่

3. นำระบบการรับรองผลผลิตทางการเกษตรแบบไม่เผา (GAP PM2.5 Free) มาใช้กับการปลูกอ้อย ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

4. การจัดหาและสนับสนุนเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่เหมาะสม

5. จัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายของเกษตรกร และมาตรการไม่รับอ้อยไฟไหม้เข้าหีบ การบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยนำมาแปรรูปเพื่อสร้างรายได้และจัดตั้งศูนย์รับซื้อวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

6. เพิ่มเงื่อนไขเรื่องการเผาในพื้นที่ป่าและพื้นที่เกษตรในการนำเข้า-ส่งออกสินค้า เพื่อแก้ปัญหาหมอกควันข้ามแดน

7. พิจารณาสิทธิประโยชน์หรือแรงจูงใจให้ภาคเอกชนที่ร่วมสนับสนุนการแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง PM2.5

8. ผลิตและจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามมาตรฐานยูโร 5 การลดปริมาณฝุ่นละอองจากรถบรรทุก รถยนต์ รถจักรยานยนต์

9. เพิ่มความเข้มงวดในการตรวจสภาพรถยนต์ประจำปีและการตรวจจับควันดำ การเข้มงวดวินัยจราจร การคืนพื้นผิวจราจรบริเวณการก่อสร้างรถไฟฟ้า การลดจำนวนรถยนต์ในท้องถนนโดยเฉพาะในพื้นที่เมือง สร้างจุดจอดแล้วจร และสนับสนุนการปรับเปลี่ยนใช้รถยนต์ไฟฟ้า

10. ลดปริมาณฝุ่นละอองจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้างและอื่นใด

11. กำหนดหลักเกณฑ์ในการประกาศเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉิน (กรมประชาสัมพันธ์, 2567)

บทสรุปและความเห็นของผู้ศึกษา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการทำการเกษตรกันอย่างแพร่หลายและมีผลผลิตที่ได้หลากหลายชนิด อ้อย ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ปาล์ม เป็นต้น ส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก ส่วนใหญ่เกษตรกรจะกำจัดโดยการไถ ฝังกลบ และเผา เพื่อใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชในฤดูกาลถัดไป แต่การเผาก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ส่งผลทำให้เกิดหมอกควันและฝุ่นละออง PM2.5 และการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนในหลายพื้นที่ ถึงแม้คณะรัฐมนตรีได้มีมติเรื่อง “การแก้ไขปัญหามลภาวะด้านฝุ่นละออง” เป็นวาระแห่งชาติ เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562 โดยมีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ พ.ศ. 2562-2567 ซึ่งเป็น “แผนแม่บท” เพื่อแก้ปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 ในประเทศไทย และในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2567 มีรายงานว่ามีการนำเศษวัสดุเหลือใช้ไปใช้แล้วประมาณ 29.7 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 61 เป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจกว่า 3.3 พันล้านบาท แล้วก็ตาม แต่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ได้ ดังนั้นทีมวิจัยนาโนเทค สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาโดยนำของเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ใบอ้อย ใบข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม ไม้โตไวตระกูลกระถินเปลือกไม้ยูคาลิบตัส เป็นต้น มาพัฒนาเป็น “ถ่านชีวภาพ (Bio Coal)” สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสะอาดเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อน เนื่องจากถ่านชีวภาพสามารถใช้แทนถ่านหิน เพราะมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับถ่านหินและหาได้ง่าย สิ่งสำคัญ คือ ช่วยลดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และลดการเผาที่ก่อให้เกิด

หมอกควันและฝุ่นละออง PM2.5 นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม (Co-firing) หรือทดแทน (Replacement) ทำให้ลดต้นทุนในการผลิต สร้างงาน และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นที่ พร้อมทั้งเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศและลดการเกิดภาวะโลกร้อน แต่ปัญหามลภาวะด้านฝุ่นละอองเกิดจากหลายปัจจัยประกอบกัน ทำให้การแก้ไขปัญหามลภาวะด้านฝุ่นละอองในปีที่ผ่านมาก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ในระยะยาว เนื่องจากยังพบการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในหลายพื้นที่ รัฐบาลจึงมีแนวทางและมาตรการเร่งด่วนเพื่อป้องกันฝุ่นละออง PM2.5 ปี พ.ศ. 2567 เพื่อเป็นแนวทางและมาตรการในการป้องกันปัญหาดังกล่าวในระยะยาวต่อไป

อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของการนำประโยชน์จากธรรมชาติมาผลิตเป็นพลังงานนั้นต้องอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ส่วนสำคัญ คือ นโยบายของรัฐในการส่งเสริมหรือสนับสนุนอย่างจริงจัง และพัฒนาให้สอดคล้องกับโมเดล BCG หรือโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน โดยมุ่งเน้นการพัฒนาจากทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีอยู่เดิมเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม รวมถึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งด้านกระบวนการผลิตและการนำไปใช้ เพื่อให้เกิดการพัฒนาประเทศในด้านสังคม เศรษฐกิจ ควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อม และบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศในอนาคต แต่ชีวมวลที่ใช้ทำถ่านชีวภาพในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนมีข้อจำกัด คือ 1) ชีวมวลมีปริมาณไม่แน่นอนขึ้นกับฤดูกาล ทำให้วัตถุดิบมีไม่เพียงพอตลอดทั้งปี วัตถุดิบกระจัดกระจายในหลายพื้นที่ยากต่อการรวบรวม เกษตรกรไม่มีการวางแผนการปลูก และเปลี่ยนชนิดพืชตามความต้องการของตลาด 2) ไม่มีการกำหนด Zoning อย่างชัดเจนทำให้ปริมาณชีวมวลในพื้นที่ใกล้เคียงแหล่งที่ใช้ไม่เพียงพอ และมีต้นทุนเพิ่มจากการขนส่ง และ 3) ชีวมวลมีค่าความชื้นสูง ค่าความร้อนต่ำ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ เกิดการเสื่อมสภาพระหว่างการจัดเก็บจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ดังนั้น รัฐควรดำเนินการ ดังนี้

1. ควรกำหนดนโยบายที่ชัดเจนในการสนับสนุนถ่านชีวภาพที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีการประชาสัมพันธ์และใช้กลไกของกฎหมายร่วมกับการสร้างความร่วมมือจากทุกภาคส่วนระหว่างภาครัฐบาล ภาคเอกชน และภาคประชาชน เพื่อนำไปสู่การปฏิบัติอย่างถูกวิธีในการขับเคลื่อนนโยบายพลังงานทดแทนหรือพลังงานสะอาด

2. ควรสนับสนุนเรื่องสิทธิประโยชน์สำหรับผู้ผลิตและผู้ใช้ถ่านชีวภาพภายในประเทศในรูปแบบของการลดภาษี และเงินทุนในการปรับปรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยกระตุ้นให้มีการใช้งานในวงกว้าง

3. ควรส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมผลิตและใช้เชื้อเพลิงถ่านชีวภาพเชิงพาณิชย์ขึ้นในพื้นที่ที่มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ทำให้เกษตรกรและชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น และสร้างความสมดุลให้กับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมถึงทำให้เกิดการลงทุนและการจ้างงานในชุมชน พร้อมทั้งส่งเสริมให้ความรู้การใช้งานถ่านชีวภาพแทนถ่านหินในโรงงานไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม

4. ควรจัดทำแผนการตลาดและกำหนดกลยุทธ์ให้กลุ่มผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่สนใจและมีศักยภาพในการใช้ถ่านชีวภาพแทนถ่านหิน เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการและลดต้นทุนการขนส่ง

5. ควรใช้เทคโนโลยีในการเก็บเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพยังมีค่อนข้างน้อย ภาครัฐควรส่งเสริมนักวิจัยสถาบันการศึกษาหรือภาคเอกชน ในการสร้างเครื่องเก็บเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการเก็บและประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของแรงงาน

6. ควรส่งเสริมให้มีการจัดตั้งศูนย์กลาง สหกรณ์ หรือการรวมกลุ่มของเกษตรกร ในการรวบรวมเศษวัสดุทางการเกษตรที่เหลือใช้ในแต่ละพื้นที่ของจังหวัดนั้น ๆ เพื่อสะดวกต่อการส่งเข้าโรงงานครั้งเดียวในปริมาณที่มาก ทำให้เกิดความคุ้มค่าของค่าขนส่ง แต่ถ้าเกษตรกรดำเนินการจัดเก็บและส่งขายเองทำให้มีปริมาณน้อยจะไม่คุ้มทุน เพราะมีค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน รถขนส่ง รวมทั้งค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เนื่องจากปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีปริมาณน้อยทำให้ไม่คุ้มค่าในการดำเนินการและมีค่าขนส่งสูง

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน. (2559). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015).** สืบค้น 9 กรกฎาคม 2567 จาก https://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp

กระทรวงพลังงาน. (2562). **แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ "การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง".** สืบค้น 2 พฤษภาคม 2567 จาก https://www.pcd.go.th/strategy/แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ-การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง

กรมประชาสัมพันธ์. (2567). **รัฐบาลแก้ฝุ่น PM2.5 วางมาตรการลงโทษตามกฎหมาย.** สืบค้น 8 พฤษภาคม 2567 จาก https://www.prd.go.th/th/content/category/detail/id/39/iid/257365

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2567). **ปี 67 ลดจุด Hotspot พื้นที่เกษตรได้ 12.70% จัดการเศษวัสดุได้ 61% มูลค่ากว่า 3.3 พันล้านบาท.** สืบค้น 8 กรกฎาคม 2567 จาก https://www.doae.go.th/มาถูกทาง-ปี-67-ลดจุด-hotspot-พื้นท/

นวัตกรรม "ถ่านชีวภาพ" ใช้แทน "ถ่านหิน" ช่วยลดต้นตอฝุ่น PM2.5 หนุน BCG เพื่อความยั่งยืน. (9 ธันวาคม 2566). **MGRONLINE.** สืบค้น 2 พฤษภาคม 2567 จาก https://mgronline.com/greeninnovation/detail/9660000109305

ฝ่ายบริหารกลยุทธ์และนโยบายองค์กร สำนักงานกลาง ฝ่ายธุรกิจนวัตกรรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2565). **รายงานโครงการศึกษาโอกาสในการต่อยอดงานวิจัยการผลิตถ่านชีวภาพ (Biocoal) สู่เชิงพาณิชย์ เพื่อการผลิตพลังงานอย่างยั่งยืนในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).

พลังงานชีวภาพ/ชีวมวล. (2564). สืบค้น 8 กรกฎาคม 2567 จาก https://www.uac.co.th/th/ knowledge-sharing/340/biomass-energy

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2566). **นาโนเทค สวทช. เปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็น "ถ่านชีวภาพ" ทดแทนถ่านหิน ลดต้นตอ PM2.5 ตอบ BCG เพื่อความยั่งยืน.** สืบค้น 1 พฤษภาคม 2567 จาก https://www.nstda.or.th/home/news_post/pr-nstda-biocoal/

INNOVATION TECHNOLOGY. (2565). **BCG คืออะไร? และสำคัญอย่างไร?.** สืบค้น 8 พฤษภาคม 2567 จาก https://inno.co.th/bcg-คืออะไร/