

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์การใช้พลังงานของโลกที่มีอัตราที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสภาพการเจริญทางเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมันดิบเพิ่มขึ้น ราคาน้ำมันดิบจึงมีแนวโน้มสูงขึ้น และจากการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วของประเทศไทยในปัจจุบัน ทำให้ความต้องการใช้เชื้อเพลิงมีปริมาณที่สูงมาก มีการใช้น้ำมันซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว สำหรับประเทศไทยซึ่งต้องนำเข้าเชื้อเพลิงประเภทปิโตรเลียมเป็นจำนวนมาก จึงให้ความสำคัญในการพัฒนาและส่งเสริมเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนทุกประเภท ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ ลม แก๊สชีวภาพ ชีวมวล พลังน้ำ การใช้น้ำมันจากพืชเป็นเชื้อเพลิง โดยนำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาพัฒนาให้เหมาะสม และใช้เทคโนโลยีที่มีการพิสูจน์แล้วทั้งในประเทศและต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ภายในประเทศอย่างเต็มศักยภาพ เช่น การจัดการรวบรวมเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นพลังงาน การเพิ่มผลผลิตต่อไร่ของพืชที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น รวมถึงให้ความสำคัญในการสนับสนุนให้มีความรู้ ทักษะ การศึกษา ทักษะ และทุนพัฒนานักวิจัยในแต่ละเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพบุคลากร และเร่งสร้างเครือข่ายการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานภาครัฐ เอกชน นักวิชาการ และผู้แทนประชาชนที่จะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น⁽¹⁾

กระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้อยู่ในสภาพแก๊สเชื้อเพลิง เป็นวิธีหนึ่งที่ได้มีการศึกษาทางด้านทฤษฎีกันอย่างแพร่หลาย และมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตแก๊สได้ในระดับหนึ่ง กระบวนการนี้เรียกว่าแก๊สฟิเคชัน (Gasification) แก๊สเชื้อเพลิงจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่มีออกซิเจนจำกัด มีกลไกการทำงานไม่ยุ่งยาก โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเป็นไปภายใต้ภาวะความดันบรรยากาศอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 700-1,200 องศาเซลเซียส แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการนี้ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้โดยหากเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (เครื่องเบนซิน) สามารถที่จะใช้แก๊สดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องผสมกับเชื้อเพลิงอื่น กระบวนการแก๊สฟิเคชันไม่ใช่เทคโนโลยีใหม่ เนื่องจากมีการพัฒนามาตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 20 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เพราะเกิดการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในระหว่างนั้น จึงมีการศึกษากระบวนการนี้ และนำแก๊สที่ได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ประเภทต่างๆ ทั้งในยุโรป และ

ประเทศที่อยู่ใต้การปกครองของญี่ปุ่นรวมทั้งประเทศไทยด้วย แต่เมื่อสงครามยุติราคาน้ำมันต่างๆ มีราคาถูกลง หาง่ายและการใช้ก็สะดวก เป็นเหตุให้การใช้แก๊สเชื้อเพลิงลดลงอย่างรวดเร็วและเลิกใช้ไปในที่สุด การวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีในเรื่องนี้จึงจะจำกัดตามไปด้วย ยกเว้นประเทศสวีเดนซึ่งได้ทำการค้นคว้าเทคโนโลยีนี้มาโดยตลอด ในปัจจุบันนี้ราคาน้ำมันดิบเริ่มขยับสูงขึ้น และตามทฤษฎีแล้วราคาน้ำมันดิบคงจะไม่ลดลงอยู่ในราคาที่ต่ำมากๆ เป็นระยะเวลานานอีกต่อไป ทั้งนี้เพราะอัตราการพบหรือการเกิดของน้ำมันดิบในโลกมีน้อยกว่าอัตราการใช้มาก ซึ่งกล่าวได้ว่าน้ำมันดิบซึ่งประชากรในโลกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับให้เกิดพลังงานน้ำมันจะต้องลดน้อยลงและหมดไปจากโลก ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ หรือเทคนิคในการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีประโยชน์อย่างแน่นอน ซึ่งการทำแก๊สฟิเคชันเพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สสังเคราะห์ เพื่อนำมาผลิตเป็นแก๊สเชื้อเพลิงใช้ผลิตพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าได้เป็นปริมาณมากเนื่องจากประเทศไทยส่วนใหญ่มีแต่เครื่องยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นเครื่องยนต์ที่มีอยู่แล้วอาจใช้ได้เลยโดยสร้างเพียงระบบผลิตแก๊สเท่านั้น แก๊สชีวมวลสามารถที่จะนำไปใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์จากน้ำมันในโครงการทางด้านเกษตรและอุตสาหกรรม ได้โดยไม่มีปัญหาเรื่องวัตถุดิบในการผลิตแก๊ส โดยปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีชีวมวลอยู่มาก โดยเฉพาะตามแถบชนบทมีชีวมวลเหลือใช้ สามารถนำมาเปลี่ยนให้เป็นโปรดิเวเซอร์แก๊สได้ เช่น ไม้ยูคาลิปตัส จีเลื่อย ช้างข้าวโพด ไม้ยางพารา เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากจีเลื่อยไม้สักด้วยกระบวนการแก๊สฟิเคชันไอน้ำ โดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายแล้วเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการพัฒนาโดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิโนไต์มาใช้ในกระบวนการแก๊สฟิเคชันด้วยไอน้ำของชีวมวล เนื่องจากนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวมาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างสูงและยังช่วยในเรื่องการแตกตัวทาร์ไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้มีผู้วิจัยเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวมาแล้วแต่ทั้งนี้ชนิดของชีวมวลที่แตกต่างกันพบว่า ให้ผลผลิตของแก๊สจากการแก๊สฟิเคชันต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาโดยมุ่งเน้นใช้ชีวมวลเป็นจีเลื่อย โดยทำการแก๊สฟิเคชันจีเลื่อยด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิโนไต์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรเจน โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิของการแก๊สฟิเคชัน อัตราส่วนโดยมวลของชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนถ่านหินลิโนไต์ โดยเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแก๊สฟิเคชันที่ใช้ถ่านหินที่ชะละลายและไม่ผ่านการชะละลายในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

1.2 ชีวมวล⁽²⁾

ชีวมวลถือเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของแหล่งพลังงานทดแทน เนื่องจากชีวมวลช่วยลดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากใช้แหล่งพลังงานฟอสซิลที่เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ประโยชน์ชีวมวลยังมีอีกมากจึงเป็นที่สนใจเพิ่มมากขึ้นในการนำมาใช้ ซึ่งการศึกษาและการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากชีวมวล เช่น กระบวนการเผาไหม้ การกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน กระบวนการแกสซิฟิเคชันของชีวมวลและกระบวนการแกสซิฟิเคชันร่วมกับถ่านหิน โดยที่กระบวนการต่างๆ นี้ได้มีการดำเนินการกันอย่างแพร่หลาย⁽³⁾ ทั้งนี้ลักษณะและความแตกต่างของแต่ละกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ในการดำเนินการวัตถุประสงค์หรือผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่กักเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงและเกิดขึ้นหมุนเวียนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้ในธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานเพื่อใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานฟอสซิลซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลอาจมองว่าเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต พืช และสัตว์ หรือกระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีความหลากหลายของรูปแบบและลักษณะเฉพาะแหล่งตามความหลากหลายและซับซ้อนทางชีววิทยาและสภาพสิ่งแวดล้อม ชีวมวลเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งที่ไม่มีวันหมดไป เพราะวงจรการผลิตชีวมวลคือ วงจรของพืชที่มีระยะเวลาสั้น ต่างจากน้ำมันหรือถ่านหินที่ต้องอาศัยการทับถมกันเป็นเวลาหลายล้านปี นอกจากนี้ชีวมวลสามารถผลิตได้ภายในประเทศ เกษตรกรจึงมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการจำหน่ายชีวมวลสู่ผู้ใช้ และยังช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศได้อีกด้วย ข้อดีต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การใช้ชีวมวลในการผลิตความร้อนหรือไฟฟ้าจะไม่เพิ่มปริมาณสุทธิของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลก ในกรณีเช่น มีการผลิตชีวมวลขึ้นมาเพื่อทดแทนชีวมวลที่ได้ใช้ไป เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกหมุนเวียนมาใช้ในชีวมวลที่ผลิตใหม่เท่ากับปริมาณแก๊สที่ถูกผลิตจากการเผาไหม้ชีวมวลนั้นๆ เนื่องจากพืชต้องหายใจเพื่อเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใช้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งชีวมวลยังมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาก นั่นหมายถึง การใช้ชีวมวลจะลดโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ซึ่งตรงข้ามกับการใช้น้ำมันภาคขนส่งหรือการใช้ถ่านหินในโรงไฟฟ้า

ชีวมวลประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจน และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อยในรูปแบบของคาร์โบไฮเดรตหรือเซลลูโลส ชีวมวลนั้นมีอยู่มากมาย ทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต และยักรวมไปถึงสิ่งต่างๆ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็น

องค์ประกอบหลักในรูปแบบอื่นๆ โดยทั่วไปชีวมวลอาจจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ ชีวมวลแบบไม้ (Wood) แบบไม้ไม่ใช่ไม้ (Non wood) และของเสียจากสัตว์ ซึ่งมาจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

ก. ผลผลิตจากป่า ไร่สวน ต้นไม้ และวัชพืชต่างๆ ทั้งบนบกและในน้ำ เช่น ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ไม้โตเร็ว ใบไม้ กิ่งไม้ หญ้า พืชล้มลุก จากส่วนเมล็ด เปลือก ผล และจากมวลสาหร่าย พืชน้ำ เป็นต้น

ข. ผลผลิตจากพืชเศรษฐกิจ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ปาล์มน้ำมัน แกลบ ฟาง ชานอ้อย ขอบใบอ้อย เหง้ามัน ชังข้าวโพด

ค. เศษวัสดุและของเสียจากกระบวนการและการประกอบการของภาคอุตสาหกรรม เช่น จี๊เหล็ย กลิเชอริน สำเหล้า กากอาหาร รวมไปถึงของเสียจากโรงงานแปรรูป ของเสียประเภทพลาสติก และกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

ง. ของเสียจากแหล่งชุมชน เช่น ขยะชุมชน กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

จ. ผลิตภัณฑ์และของเสียจากสัตว์ เช่น ไบโมัน มูลสัตว์ เป็นต้น

แหล่งพลังงานชีวมวลปฐมภูมิที่ชัดเจน ได้แก่ ไม้พืน ซึ่งมีความสะดวกในการใช้และมีการใช้กันมากอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในชนบท ในเขตเมืองก็มีการใช้ไม้พืนในอุตสาหกรรมและโรงงานขนาดเล็ก แหล่งที่มาของไม้พืนเหล่านี้หาได้ตามป่าไม้ พื้นที่ป่ากร้าง ป่าปลูก และต้นไม้ตามหัวไร่ปลายนา หรือในสวน ซึ่งจะเป็นส่วนลำต้น กิ่ง ก้าน ใบ หรือบางครั้งอาจรวมถึงโคนและรากด้วย ในพื้นที่ที่ค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ แหล่งไม้พืนจะหาได้จากการเก็บ ตัด พิน ไม้แห้งๆ ที่ตายแล้ว ในบางพื้นที่ที่มีจำกัด อาจจะได้จากการตัดโค่นไม้สดมาเลย

แหล่งพลังงานชีวมวลทุติยภูมิได้จาก ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษกากจากกระบวนการในโรงงาน ชีวมวลจากสัตว์เลี้ยง หรือจากชีวมวลที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้ว เศษกากวัสดุที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผันและขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป บางชนิดไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้โดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้า เช่น กากมันสำปะหลังและสำเหล้า เพราะมีความชื้นสูงถึง 80-90% บางชนิดต้องนำมาย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ เช่น เศษไม้ยางพารา เป็นต้น

แหล่งผลิตชีวมวลที่สำคัญของประเทศไทยมีดังนี้

ก. แกลบจากโรงสีข้าว

ข. กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล

ค. กากปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ง. เศษไม้จากโรงเลื่อยไม้ยางพารา สวนยางพารา และโรงงานผลิตไม้อัด

จ. ชังข้าวโพดจากการแยกเมล็ดข้าวโพดออก ซึ่งอยู่ตามไร่ข้าวโพด

ฉ. กาบมะพร้าวจากสวนมะพร้าว ร้านขายส่งลูกมะพร้าว และโรงงานแปรรูปเนื้อมะพร้าว

ช. สำเหล้าจากโรงงานผลิตเอทิลแอลกอฮอล์

ซ. กากมันสำปะหลังจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

ข้อจำกัดในการใช้เศษกากชีวมวลเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิง คือ

1. ความหนาแน่นต่ำ ปริมาณมาก และขนย้ายได้ยาก ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการขนส่งไปไกลจากสถานที่ผลิต

2. การนำเศษวัสดุทางการเกษตรออกไปจากพื้นที่การเกษตรจำนวนมาก ทำให้สารอาหารในดินลดลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่นั้นในอนาคต

3. เศษวัสดุการเกษตรเหล่านี้จะมีเฉพาะในฤดูกาลที่มีการผลิต ในช่วงเวลาอื่นของปีจะไม่มีความต้องการมีไว้ใช้ตลอดปีจำเป็นต้องมีสถานที่เก็บรักษาขนาดใหญ่ซึ่งมีราคาแพงและอาจเป็นปัญหาในการจัดการได้

ของเสียหรือมูลสัตว์ถือว่าเป็นแหล่งชีวมวลที่สำคัญ ซึ่งถ้าทำให้แห้งแล้วจะมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับไม้ฟืน พลังงานนี้อาจได้จากการเผาไหม้โดยตรงหรือนำไปหมักให้เกิดแก๊สชีวภาพ โดยทั่วไปมูลสัตว์ไม่ใช่ทางเลือกแรกหรือเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ ดังนั้นผู้คนจะสนใจใช้มูลสัตว์เมื่อไม้ฟืนหรือแหล่งชีวมวลอื่นๆ หาได้ยาก เช่น ในประเทศอินเดีย การใช้ประโยชน์จากชีวมวลที่เป็นที่สนใจอีกอย่างก็คือ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านกระบวนการแปลงสภาพแล้ว เช่น ถ่านไม้ แก๊ส-เชื้อเพลิง และเชื้อเพลิงเหลว

ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญในครัวเรือนของประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งได้จากการเผาไม้ฟืนที่สภาวะจำกัดอากาศ ถ่านไม้บางส่วนใช้ในอุตสาหกรรมการหลอมเหล็กหรือโลหะ ถ่านไม้ นับว่าเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่แปลงสภาพแล้วที่เป็นที่นิยมแพร่หลายที่สุด

แก๊สชีวภาพ เป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากชีวมวลที่สำคัญ ซึ่งมีองค์ประกอบของแก๊สคือ มีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากกระบวนการหมักในที่อับอากาศของชีวมวลและน้ำ และย่อยด้วยจุลินทรีย์ ข้อดีที่สำคัญของกระบวนการนี้คือ ได้ปุ๋ยที่สามารถปรับปรุงคุณภาพดินได้ดีเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมด้วย นอกจากนี้แก๊สเชื้อเพลิงสามารถผลิตได้จากชีวมวลโดยการย่อยสลายทางความร้อน ซึ่งมีส่วนประกอบของคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน ซึ่งยังไม่มีนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายนัก

เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากชีวมวลสามารถแปลงเป็นเชื้อเพลิงเหลวได้หลากหลาย แต่ที่สำคัญที่สุดคือ การผลิตเอทานอลและไบโอดีเซล ซึ่งในหลายๆ ประเทศมีโครงการผลิตออกมาเพื่อใช้กับรถยนต์โดยตรงหรือผสมกับน้ำมันปิโตรเลียม วัตถุดิบที่สำคัญสำหรับการผลิตเอทานอล ได้แก่

น้ำตาล โมลาส และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งชีวมวลอื่นๆ ที่เป็นกลุ่มลิกโนเซลลูโลสก็สามารถนำมาผลิตได้ ส่วนวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล เช่น น้ำมันจากพืช เป็นต้น

1.2.1 ศักยภาพชีวมวลและการใช้ประโยชน์เชิงพลังงาน

ชีวมวลมีศักยภาพในด้านพลังงานสูงมาก ประมาณกว่า 40% ของประชากรโลก อาศัยชีวมวลในการหุงต้มและให้ความอบอุ่น เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้ในประเทศกำลังพัฒนาทั่วโลก พบว่าการใช้พลังงานชีวมวลจะมีสัดส่วนที่ประมาณ 35-40% ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยที่จีนและอินเดียเป็นประเทศผู้ใช้หลัก⁽⁴⁾ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีโครงการพลังงานชีวมวลเกิดขึ้นจำนวนมาก เนื่องจากการให้ความสำคัญมากขึ้นและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ

ปัจจุบันพลังงานชีวมวล ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้าหรือการผลิตเชื้อเพลิงสำหรับภาคการขนส่ง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราสูง มีการประมาณการว่าสิ้นศตวรรษที่ 20 มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลทั่วโลกกว่า 40,000 เมกะวัตต์ และความร้อน 200,000 เมกะวัตต์ มีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวประมาณ 18,000 ล้านลิตรต่อปี พลังงานชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญมากในอนาคต จากการศึกษาศักยภาพชีวมวล บ่งชี้ว่าการเพาะปลูกพืชพลังงานในพื้นที่การเกษตรปัจจุบันสามารถให้พลังงานได้ถึงกว่า 800 เอกซะจูล (800×10^{12} เมกะจูล) โดยไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตทางอาหารของโลก เศษวัสดุเหลือใช้ ขยะของเสียต่างๆ สามารถให้พลังงานได้อีกประมาณ 40-170 เอกซะจูล โดยรวมแล้วศักยภาพพลังงานชีวมวลของโลกสูงถึง 1,000 เอกซะจูลต่อปี ซึ่งสูงกว่าปริมาณการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของโลกในปัจจุบันที่ 400 เอกซะจูล ประเทศแถบละตินอเมริกา แอฟริกา ยุโรปตะวันออก และเอเชีย มีศักยภาพสูงในการเป็นพื้นที่ผลิตชีวมวล ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการเกษตรจะยิ่งส่งผลให้มีผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

จากข้อมูลกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 รายงานสัดส่วนการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเชิงพาณิชย์ต่อพลังงานชีวมวลอยู่ที่ประมาณ 83:17 ซึ่งลดลงจาก 10 ปีก่อนที่มีสัดส่วนอยู่ที่ประมาณ 70:30 ซึ่งหมายความว่า การใช้พลังงานชีวมวลในสัดส่วนที่น้อยลง แต่กลับไปใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ซึ่งส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศในสัดส่วนที่มากขึ้น เป็นสาเหตุให้มูลค่าการนำเข้าพลังงานของประเทศสูงขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2545 คิดเป็นมูลค่ากว่า 336,000 ล้านบาท โดยร้อยละ 85 ใช้ไปกับการซื้อน้ำมันดิบ

ในการสำรวจศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรของพืช 10 ชนิดหลักของประเทศ ซึ่งได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการเก็บหรือนำวัสดุเหล่านี้กลับมาใช้ตามสภาพความเป็นจริง พบว่าในปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยมีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรรวมกว่า 60 ล้านตัน แต่มี

การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและอื่นๆ เพียง 16 ล้านตันเท่านั้น ส่วนที่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้และมีศักยภาพในการให้พลังงานนั้นมีมากกว่า 40 ล้านตัน⁽⁵⁾ และหากนับรวมถึงแก๊สชีวภาพที่ได้จากขยะมูลสัตว์ และน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมมาประกอบการประเมิน และได้คิดเผื่อถึงความเป็นไปได้ทุกอย่างในการนำพลังงานกลับมาใช้จริงแล้ว พบว่าในปี พ.ศ. 2543 เพียงปีเดียว ประเทศไทยมีศักยภาพของพลังงานชีวมวลถึง 650 พิตะจูล (650×10^9 เมกะจูล) หรือเทียบเท่ากับพลังงานความร้อนที่ได้จากน้ำมันดีเซลหมุนเร็วปริมาณ 17,850 ล้านลิตร (เฉพาะในปี พ.ศ. 2545 ประเทศไทยใช้น้ำมันดีเซลทั้งปีรวม 15,970 ล้านลิตร) โดยส่วนเหลือจากอ้อย เช่น ชานอ้อยหรือยอดและใบอ้อย แกลบและฟางข้าว และส่วนเหลือของปาล์มน้ำมัน เช่น กะลา ทะลาย หรือเส้นใยปาล์ม จัดเป็นกลุ่มชีวมวลที่มีสัดส่วนสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85 ของศักยภาพชีวมวลทั้งหมดของประเทศ

การประเมินศักยภาพของการผลิตชีวมวลในประเทศไทยได้ประเมินจากผลคูณของปริมาณผลผลิตทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดชีวมวลนั้นๆ กับสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตเป็นปริมาณชีวมวล⁽⁶⁾ ตัวอย่างแสดงดังในตาราง 1.1

โดยทั่วไปแล้ว การนำชีวมวลไปใช้มี 2 ประเภท คือ

ก. การนำไปใช้เพื่อให้ได้พลังงานความร้อน เช่น การนำฟืนไปใช้ในเตาอั้งโล่ของชาวบ้าน หรือการนำเศษไม้ที่เหลือจากการผลิตของโรงงานทำไม้ไปใช้ในหม้อไอน้ำเพื่อให้ได้ไอน้ำไปใช้ในการอบไม้

ข. การนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น โรงน้ำตาลใช้กากอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าหรือโรงสีขนาดใหญ่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

สำหรับประเภทแรก ประเทศไทยได้นำชีวมวลไปใช้เพื่อพลังงานความร้อนมาเป็นระยะเวลานานในระดับครัวเรือน โดยไม้ฟืนและถ่านจัดเป็นชีวมวลสองชนิดที่มีปริมาณการใช้สูงสุดในภาคครัวเรือนของไทย ส่วนในภาคอุตสาหกรรมนั้น กากหรือชานอ้อยและแกลบจัดเป็นชีวมวลที่มีปริมาณการใช้สูงสุดในการผลิตพลังงานความร้อน ทั้งนี้ศักยภาพการใช้พลังงานในระดับครัวเรือนยังมีอีกสูงมาก เพียงแต่ชาวบ้านยังขาดความเข้าใจในวิธีการใช้และเก็บรักษาที่เหมาะสม นอกจากนี้ชาวบ้านยังไม่ทราบถึงวิธีการนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลมากเกินความจำเป็น ซึ่งรัฐบาลสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการประชาสัมพันธ์หรือนำวิธีการนำชีวมวลไปใช้ที่ถูกต้องแก่ชุมชน เช่น การเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร⁽⁷⁾ ไม่ว่าจะเป็นการฝึกอบรมผ่านองค์การบริหารส่วนตำบล การโฆษณาทางสื่อต่างๆ หรือการณรงค์จำหน่ายอุปกรณ์ชีวมวลประสิทธิภาพสูงให้แก่ชาวบ้านในราคาที่ต่ำ เป็นต้น

ตาราง 1.1 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยปี พ.ศ. 2550-2551

ชนิด	ผลผลิต (tone)	ชีวมวล	ชีวมวล ต่อ ผลผลิต	ค่าความร้อน (MJ/kg)	เทียบเท่า น้ำมันดิบ (ktone)	กำลัง ไฟฟ้า (MW)
อ้อย	73,501,000	ชานอ้อย	0.30	16.21	8,461	97.2
		ยอดและใบ	0.24	16.42	6,857	79
ข้าว	29,900,000	แกลบ	0.23	15.56	2,533	2.5
		ฟางข้าว	1.19	15.51	13,064	152.3
ข้าวโพด	4,249,000	ซัง	0.19	16.63	318	3.7
น้ำมัน ปาล์ม	9,264,000	ทะลายเปล่า	0.23	19.41	881	10.2
		กากใย	0.15	19.94	656	7.5
		กะลา	0.06	21.13	278	3.1
		ทางใน/ก้าน	0.27	17.87	1,058	0.5
มัน สำปะหลัง	25,155,000	ลำต้น	0.12	13.38	96	1
		เหง้า	0.10	10.61	63	0.6
ยางพารา	3,166,000	จีเลื่อย	0.03	16.65	37	0.3
		เศษไม้	0.10	16.85	126	1.3
ยูคาลิปตัส	6,800,000	ไม้พิน	0.20	16.85	542	6.2
		เปลือกไม้	0.10	17.30	278	3.1
ไม้จาก สวนป่า	6,000,000	เศษไม้	0.10	16.85	239	2.6
รวม	158,035,000	-	-	-	35,488	371.1

ในประเภทที่สอง การนำชีวมวลไปผลิตกระแสไฟฟ้ายังจำกัดเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม ประเภทที่ใช้กากอ้อยและแกลบเป็นเชื้อเพลิงหลัก ทั้งที่ประเทศไทยยังมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลอีกมาก หากมีการนำชีวมวลที่เหลือใช้กลับมาใช้เป็นพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ คาดว่าประเทศไทยจะมีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 36,200 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (36,200 ล้านหน่วย) หรือเปรียบได้กับมีโรงไฟฟ้าขนาด 4,100 เมกกะวัตต์ เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งแห่ง⁽⁸⁾ ด้วยขนาดกำลังการผลิตเท่านี้ หมายถึง ประเทศสามารถรองรับการขยายตัวของการใช้ไฟฟ้าของ

ประเทศได้อีกถึงสองปี (เขื่อนภูมิพลมีกำลังการผลิตที่ 740 เมกกะวัตต์ และโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีกำลังผลิตรวมประมาณ 2,600 เมกกะวัตต์) การนำชีวมวลที่เหลือจากการเกษตรมาผลิตไฟฟ้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะในระหว่างที่ประเทศมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนไฟฟ้าในอนาคต เพราะการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำได้ยาก ขณะที่โรงไฟฟ้าชีวมวลมีศักยภาพสูงที่จะผลิตและใช้ได้ในพื้นที่ และยังสามารถสร้างกระจายตามพื้นที่ต่างๆ ได้ทั่วประเทศ ตามแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นๆ

ชีวมวลเหล่านี้ บางส่วนได้ถูกนำไปใช้เพื่อการผลิตอยู่แล้ว เช่น แกลบจะถูกนำมาเผาเพื่อผลิตไอน้ำ นำไปหมุนกังหันใช้งานในโรงสีข้าว กากอ้อยและกากปาล์มจะถูกนำมาเผาเพื่อผลิตไอน้ำ ไฟฟ้า และใช้ขับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต และเศษไม้ยางพาราจะถูกนำมาเผาเพื่อผลิตลมร้อนสำหรับการอบไม้ยางพารา เป็นต้น และยังมีชีวมวลส่วนเหลือที่มีศักยภาพสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ เช่น

ก. แกลบ เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงสีข้าว เมื่อนำข้าวเปลือก 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้วจะใช้พลังงานทั้งสิ้น 30-60 กิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อให้ได้ข้าวประมาณ 650-700 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือแกลบประมาณ 220 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 90-125 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ข. กากอ้อย เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานน้ำตาล เมื่อนำอ้อย 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 25-30 กิโลวัตต์ชั่วโมง และใช้ไอน้ำอีก 0.4 ตัน เพื่อให้ได้น้ำตาลทราย ประมาณ 100-121 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือกากอ้อยประมาณ 290 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 100 กิโลวัตต์ชั่วโมง

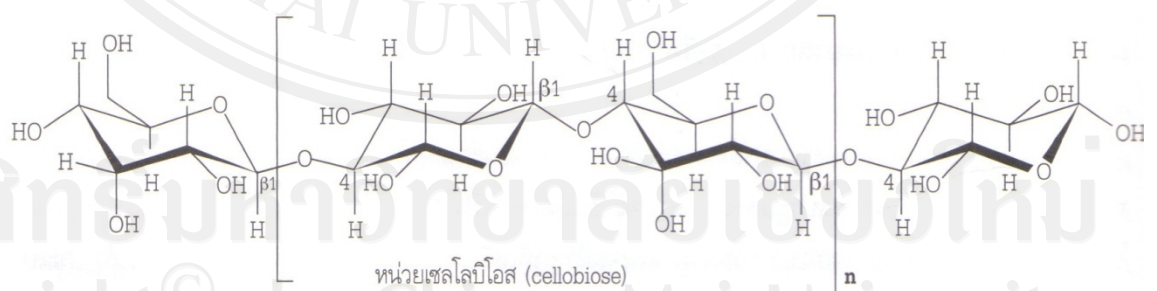
ค. เปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อนำปาล์ม 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 20-25 กิโลวัตต์ชั่วโมง และใช้ไอน้ำอีก 0.73 ตัน เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มประมาณ 140-200 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือเปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม ประมาณ 190 กิโลกรัม และเป็นทะลายปาล์ม 230 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 120 กิโลวัตต์ชั่วโมง และมีน้ำเสียจากโรงงานคิดเทียบเท่าแก๊สชีวภาพได้ 20 ลูกบาศก์เมตร

ง. เศษไม้ เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงเลื่อยไม้ เมื่อนำไม้ 1 ลูกบาศก์เมตร ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 36-45 กิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อให้ได้ไม้แปรรูปประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตหรือเศษไม้ประมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 80 กิโลวัตต์ชั่วโมง

1.2.2 สมบัติของชีวมวล

สมบัติที่เกี่ยวข้องกับความเปื่อยยุ่ยของชีวมวลมีความโดดเด่นในตัวเอง ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากการเป็นผลิตภัณฑ์จากสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ สมบัติที่สำคัญเหล่านี้ได้แก่ สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางอุณหพลศาสตร์ โดยชีวมวลประเภทไม้ (Woody biomass) เป็นกลุ่มที่หลากหลายที่สุด การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวลทั่วไปจึงมีพื้นฐานมาจากชีวมวลกลุ่มนี้ ส่วนชีวมวลประเภทไม้ใช้ไม้ เช่น เศษวัสดุการเกษตร หญ้า แกลบ ฟางข้าว เศษฝ้าย ชานอ้อย ฝัก เปลือกเมล็ดในผลไม้ เศษเนื้อผลไม้ ก็จะทำการวิเคราะห์หาสมบัติแบบเดียวกัน

โดยทางชีววิทยา ไม้ดัด แบ่งได้เป็นไม้เนื้ออ่อน (Softwood) และไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) ซึ่งเป็นแบบอนิโซทรอปิก (Anisotropic) ที่มีสมบัติขึ้นกับทิศทางของเนื้อไม้ และแบบไฮโกรสโกปิก (Hygroscopic) ที่รับและสูญเสียความชื้นได้ เนื้อไม้ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นวง วงใหม่ หรือชั้นเนื้อไม้เติบโตจะมีเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งโครงสร้างของไม้จะเป็นแบบมีความพรุน (Porous) เนื้อวัสดุเป็นกลุ่มเส้นใยกลวง มีส่วนประกอบหลักๆ คือ เส้นใยเทรเคอิดส์ (Fiber tracheids) ลำไม้ (Wood ray) พารังคิมา (Parenchyma) ช่องเรซิน (Resin canal) และส่วนเปลือกด้านนอก (Bark) โดยมวลรวม ไม้จะประกอบด้วยระบบโคเนราก (12-14%) เนื้อไม้ (62-68%) กิ่งก้าน (7-12%) ยอดใบ (3-6%) และเปลือก (8-10%) หลังจากการตัด มีเพียงเนื้อไม้และเปลือกที่ติดไปเท่านั้นที่ส่งเข้าโรงเลื่อย โรงทำเยื่อกระดาษ หรือเข้าสู่กระบวนการอื่นๆ ในทางเคมี เชื้อเพลิงชีวมวลมีสูตรเคมีอย่างง่าย คือ $C_{3.3-4.9}H_{5.1-7.2}O_{2.0-3.1}$ ดังแสดงในรูป 1.1



รูป 1.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

1.3 แก๊สฟิเคชัน (Gasification)⁽⁹⁾

1.3.1 วิวัฒนาการของกระบวนการแก๊สฟิเคชัน

แก๊สชีววมวลเริ่มมีการค้นพบบันทึกของ Clayton (พ.ศ. 2242) ซึ่งได้ทดลองกลั่นสลายถ่านหินแล้วพบว่าแก๊สที่ปล่อยออกจากเตาผลิตแก๊สสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ต่อมา Gardner และ Barker (พ.ศ. 2334) ค้นพบว่า แก๊สร้อนที่ปล่อยออกมาจากปล่องควันของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้สำหรับหม้อไอน้ำได้อีกครั้งหนึ่งในระยะแรกนั้นประมาณปี พ.ศ. 2343 มีการนำเอาแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเชื้อเพลิงแข็ง ต่อมาจึงมีการใช้แก๊สฟิเคชันจากวัตถุดิบอย่างอื่นจำพวกชีววมวลมาใช้งาน เช่น ไม้ Labon (พ.ศ. 2341) ถ่านไม้ Lampadius (พ.ศ. 2344) เป็นต้น เทคนิคที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงคือ การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) เชื้อเพลิงแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ในระหว่างปี พ.ศ. 2358-2382 เป็นช่วงที่พัฒนาเกี่ยวกับแก๊สฟิเคชัน โดยเน้นการออกแบบเตาปฏิกรณ์ เช่น J. Taylor (พ.ศ. 2358) และ Biscof (พ.ศ. 2383) เป็นต้น เตาผลิตแก๊สในระยะแรกเป็นแบบใช้อากาศ (Air blow type) โดยการใส่ถ่าน ไม้ ถ่านหิน หรือถ่านไม้ ลงไปในท่อทรงกระบอกเหนือแผ่นรองรับที่มีรูพรุน (Perforated grate) และเป่าอากาศผ่านเข้าไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ นอกจากนั้นจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทนเล็กน้อย ซึ่งปัญหาสำคัญในการใช้งานของเครื่องมือนี้คือ น้ำมันทาร์ (Tar) จำนวนมากปะปนอยู่กับแก๊สผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่สามารถนำแก๊สนั้นไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ จึงมีการพัฒนารูปแบบเตาผลิตแก๊สเป็น Down-Draught กล่าวคือ การดึงแก๊สผลิตภัณฑ์ออกทางด้านล่างของเตา โดยผ่านเบดของคาร์บอน (Bed of carbon) หรือถ่านที่เป็นเชื้อเพลิงเพื่อกำจัดน้ำมันทาร์ ทำให้แก๊สที่ได้สะอาดขึ้น

ในช่วงปี พ.ศ. 2423-2463 ประเทศเยอรมันได้พัฒนาเครื่องมือให้สามารถใช้งานกับถ่านหินเกรดต่ำได้ โดยการออกแบบเตาผลิตแก๊สที่พิจารณาถึงการนำเอาแก๊สออกด้วย การพัฒนาครั้งนี้ทำให้เกิดรูปแบบเตาที่มีชื่อเสียงคือ Rotating grid type ออกแบบโดย Kerpely ในปี พ.ศ. 2447

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 เกิดการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้มีการหันมาค้นคว้ารูปแบบของเตาผลิตแก๊สให้ดีขึ้น ในช่วงนั้นเพลิงถูกนำไปใช้แทนที่น้ำมันในรถยนต์ รถบรรทุก รถแทรกเตอร์ เรือยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ และเครื่องสับเปลี่ยนรางรถไฟ เตาผลิตแก๊สได้รับการพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ทั้งเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์ Otto โดยมาผลิตแก๊สที่นำไปใช้กับรถยนต์มีขนาดเล็กและส่วนใหญ่จะใช้ Fisher tropesch process เป็นขั้นตอนในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน

หลังสงครามโลก ในช่วงปี พ.ศ. 2493-2503 ผลิตภัณฑ์ทางด้านปิโตรเลียมหาง่ายขึ้นอีกทั้ง มีราคาถูกการใช้งานสะดวก จึงทำให้การใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการแกสซิฟิเคชันลดลงเกือบหมด ที่ยังเหลือใช้อยู่ก็ไม่มีการพัฒนากระบวนการให้ดีขึ้น

ในปี พ.ศ. 2498 Tao Von Fredersdoff ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์เคมีของการผลิตแก๊สชีว-มวลจากถ่านหิน ต่อมา May et al. ได้ศึกษาการเกิดแก๊สชีวมวลจากการที่เผาถ่านโค้กในเตาผลิตแก๊ส ทั้งแบบฟลูอิดไชเบด และแบบเบดนิ่งในปี พ.ศ. 2504 Squires นำผลการศึกษาของ May และคณะ มาศึกษาเพิ่มเติมแล้วสรุปว่า ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยาเฉพาะตรง บริเวณทางเข้าของไอน้ำร้อน แต่ในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไชเบด คาร์บอนจะว่องไวต่อปฏิกิริยา เหมือนกันตลอดเตา ปี พ.ศ. 2516-2517 เกิดวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำมันอีก เนื่องจากกลุ่ม ประเทศผู้ผลิตน้ำมันไม่ส่งออกน้ำมัน จึงทำให้ประเทศที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนาจึงเริ่มหันมา พึ่งพาระบวนการแกสซิฟิเคชัน สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ววัตถุประสงค์หลักคือ การผลิตแก๊สสังเคราะห์ โดยกระบวนการแกสซิฟิเคชันที่ใช้ออกซิเจนหรืออากาศเท่านั้น เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการ ขนส่งและเครื่องทำความร้อน จึงเป็นเหตุให้ความสนใจทั้งหมดมุ่งไปสู่ Air blown gasifier ที่มี ขนาดเล็ก โดย Johnson (พ.ศ. 2517) ได้เสนอแบบจำลองของการเกิดแก๊สชีวมวลในอุดมคติ ซึ่ง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- ก. การระเหยของสารระเหยได้
- ข. ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สมีเทนอย่างรวดเร็ว
- ค. ปฏิกิริยาแกสซิฟิเคชันอย่างช้าๆ

Jensen (พ.ศ. 2518) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาแกสซิฟิเคชันของถ่านหินด้วยไอน้ำใน เครื่องกำเนิดแก๊สแบบฟลูอิดไชเบดที่อุณหภูมิ 1,000-1,300 องศาเซลเซียส โดยพบว่า อัตราเร็วของ ปฏิกิริยาถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินกับไอน้ำในเครื่องกำเนิดแก๊สแบบเบดนิ่งในช่วง อุณหภูมิ 800-1,000 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิมีผลมากต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา

Georgakis และคณะ (พ.ศ. 2522) ได้ศึกษาและเสนอกลไกการเกิดการเผาไหม้ของถ่านหิน โดยอาศัยทฤษฎีฟิล์มชั้นเดียว และฟิล์มสองชั้น ในปี พ.ศ. 2524 Kasaoka ได้ศึกษาผลของตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราเร็วของการเกิดแก๊สชีวมวล พบว่าเมื่อเติมเหล็กและนิกเกิลลงในเตาปฏิกรณ์ จะช่วยให้เกิดแก๊สสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และการเติมตัวเร่ง ปฏิกิริยาจะทำให้เกิดแก๊สสังเคราะห์เกิดเร็วขึ้น และในปีเดียวกัน Purdy ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างถ่าน-หินและแก๊สผสมของไอน้ำ และออกซิเจนในเตาผลิตแก๊สแบบฟลูอิดไชเบด โดยการเปลี่ยนค่า อุณหภูมิ และอัตราส่วนของไอน้ำต่อคาร์บอน เป็นฟังก์ชันต่ออัตราการไหลของแก๊สชีวมวล ถ้าเพิ่ม อัตราส่วนดังกล่าวจะทำให้อัตราการไหลของแก๊สชีวมวลเพิ่มขึ้น

Anuradha Genesh และคณะ (พ.ศ. 2534) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาที่พื้นผิวของเคลือบ ในการเกิดไพโรไลซิสและแกสซิฟิเคชันโดยใช้เครื่องมือ Scanning electron microscopy (SEM) และ Paul T. Williams and Serpil Besler (พ.ศ. 2534) ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือ Thermogravimetry analysis (TGA)

เมื่อศึกษาข้อมูลจากสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกา จะพบว่ามีการประดิษฐ์เตา Gasifier และระบบต่างๆ ของแกสซิฟิเคชัน โดยสามารถหาการอ้างอิงได้ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ (US PATENT, 1932, 1950, 1973, 1973, 1976, 1978)

สำหรับประเทศไทยแม้ว่าความรู้ทางด้านแก๊สชีวภาพยังมีเหลืออยู่บ้างจากสงครามโลกครั้งที่สอง และได้มีการทดลองเกี่ยวกับการใช้แก๊สชีวภาพในเครื่องยนต์มาบ้างแล้ว แต่ก็ยังไม่ได้มีการวิจัย และพัฒนากันอย่างจริงจังเป็นระบบ

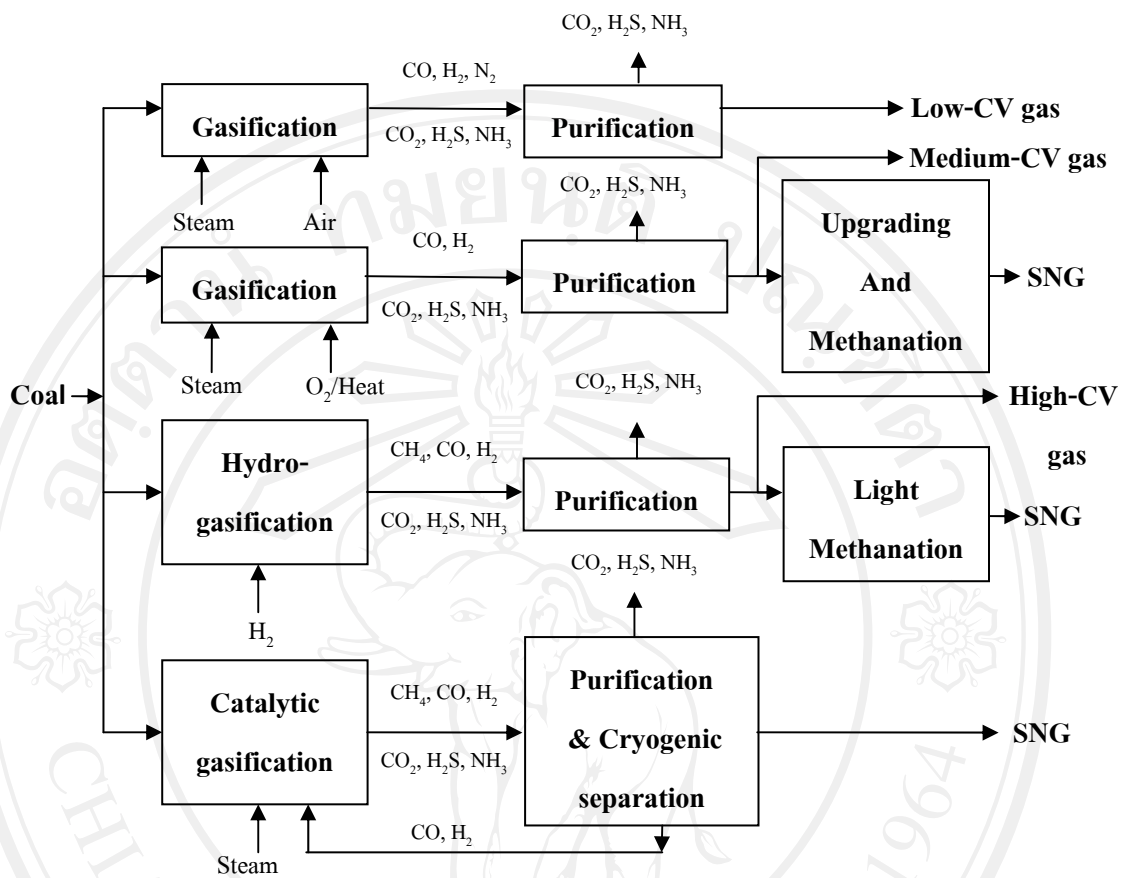
1.3.2 ทฤษฎีแกสซิฟิเคชัน

แกสซิฟิเคชัน (Gasification) หรือกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการแปลงสภาพชีวมวลของแข็งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) ที่อุณหภูมิสูงด้วยอากาศออกซิเจน หรือไอน้ำ ในช่วง 800-1,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการแตกตัวมาเป็นแก๊สเชื้อเพลิง (Producer gas) ที่มีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้เช่น ไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) เป็นต้น กระบวนการโดยรวมของการเกิดแกสซิฟิเคชัน แสดงดังรูป 1.2

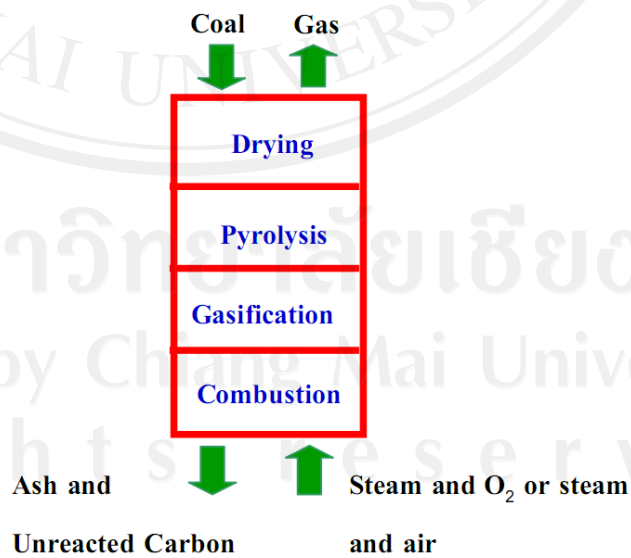
กระบวนการแกสซิฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเทอร์โมเคมีคอล (Thermochemical conversion process) ได้จากปฏิกิริยาของคาร์บอน กับออกซิเจน และ/หรือไอน้ำ ที่อุณหภูมิสูงความดันตั้งแต่ 1 บรรยากาศขึ้นไป ปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอนทั้งปฏิกิริยาดูดความร้อน และปฏิกิริยาคายความร้อน แก๊สเชื้อเพลิงประกอบด้วยแก๊สผสมระหว่าง CO และ H_2 เรียกว่า โพรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas)

โพรดิวเซอร์แก๊ส เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete combustion) ของคาร์บอนไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ และปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ของคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ไปเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน

ลำดับการเปลี่ยนแปลงแสดงได้โดยตัวอย่างของ Moving bed gasifier ดังแสดงในรูป 1.3 ถ่านหินเคลื่อนที่ลงมาถูกทำให้แห้งด้วยแก๊สร้อนที่สวนทางขึ้นมาเมื่อเคลื่อนต่อยาวมาจะร้อนขึ้นจนเกิดการไล่สารระเหย และการแยกสลายด้วยความร้อน ในขั้นถัดไปอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิดการแกสซิฟาย (Gasify) ถือได้ว่าเป็นการแกสซิฟายชาร์ที่ได้จากการแยกสลายด้วยความร้อน



รูป 1.2 กระบวนการเกิดแก๊สฟิเคชัน



รูป 1.3 Moving bed gasifier

1.3.2.1 ปฏิกริยาเผาไหม้พื้นฐาน (Fundamental combustion reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนกับอากาศและ/หรือไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1.2 ปฏิกริยาเหล่านี้มีการศึกษามานานแล้ว นับว่าเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานที่สามารถนำมาอธิบายกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ ได้

ตาราง 1.2 ปฏิกริยาการเผาไหม้พื้นฐาน

ปฏิกิริยา	ลักษณะ ปฏิกิริยา	ΔH		
		Cal/gmole	kJ/gmole	Btu/lbmole
1.1 $C + O_2 \longrightarrow CO_2$	-	94,410	408,632	169,938
1.2 $C + 1/2O_2 \longrightarrow CO$	-	27,056	123,092	48,701
1.3 $C + CO_2 \longrightarrow 2CO$	+	40,298	162,448	72,536
1.4 $CO + 1/2O_2 \longrightarrow CO_2$	-	67,355	285,540	121,239
1.5 $C + H_2O \longrightarrow CO + H_2$	+	32,454	118,905	58,917
1.6 $C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2$	+	24,610	75,362	44,298
1.7 $CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2$	-	7,844	43,543	14,119

หมายเหตุ

1. ปฏิกริยาทดลองที่ภาวะ 1,200 องศาเซลเซียส (1,700 องศาฟาเรนไฮต์ 927 องศาเซลเซียส)
ความดันบรรยากาศ คาร์บอนที่ใช้เป็นมาตรฐานอยู่ในรูปแกรไฟต์
2. เครื่องหมายลบ หมายถึง ปฏิกริยาคายความร้อน (Exothermic reaction)
เครื่องหมายบวก หมายถึง ปฏิกริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction)

ปฏิกิริยาที่ 1.1 เป็นการเผาไหม้คาร์บอนในบริเวณที่มีคาร์บอนมากเกินไป เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนปฏิกิริยาที่ 1.2 เป็นการเผาไหม้คาร์บอนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์

ปฏิกิริยาที่ 1.3 เรียกว่า “Boudouard reaction” เป็นปฏิกิริยาพื้นฐานของการผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มากเกินไป (Excess carbon) ในอุณหภูมิของแข็งเกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ มีการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยา (Reactivity) ของเชื้อเพลิงต่างๆ พบว่า อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา ขึ้นกับธรรมชาติของเชื้อเพลิง

และลักษณะเฉพาะของผิว (Surface characteristic) ของเชื้อเพลิง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 950 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีการแตกตัวของคาร์บอนเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่านี้

ปฏิกิริยาที่ 1.4 จะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนเหลืออยู่ คาร์บอนมอนอกไซด์จะรวมตัวกับออกซิเจนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ส่วนกรณีที่ 1.5 และ 1.6 เป็นกรณีที่ป้อนไอน้ำเข้าไปพร้อมกับอากาศ เกิดการแตกตัวของไอน้ำเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ปฏิกิริยาที่ 1.5 เราเรียกว่า Water gasification และปฏิกิริยาที่ 1.7 เป็นปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับไอน้ำ ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water gas shift reaction ปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible)

1.3.2.2 ปฏิกิริยาในกระบวนการแกสซิฟิเคชัน

ในชั้นการเกิดแกสซิฟิเคชัน (Gasification zone) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ การแกสซิฟายคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ

1. Oxygenolysis หรือ การทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน เพื่อเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจำกัดเพราะอากาศที่ป้อนเข้าจากด้านล่างถูกใช้ในชั้นการเผาไหม้ (Combustion zone) ไปส่วนมากปฏิกิริยาในชั้นนี้ คือ

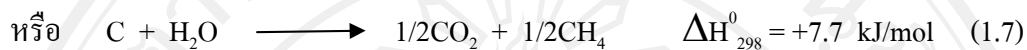
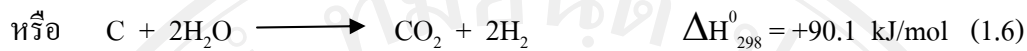


2. Hydrogenolysis คือ ปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจน เพื่อเกิดมีเทนหรือปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน



ไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนและซัลเฟอร์ในถ่านหิน ทำให้ได้แก๊สแอมโมเนียและไฮโดรเจนไดซัลไฟด์ การเติมไฮโดรเจนในรูปของไอน้ำนี้เพื่อเพิ่มอัตราส่วน H/C ในแก๊สผลิตภัณฑ์

3. Hydrolysis



ในปัจจุบันกระบวนการแกสซิฟิเคชันมีการทดลองอยู่ 3 ระบบ คือ

ก. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำ (Low heating value gas) แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนประมาณ 3.3-5.6 MJ/m³ (90-150 Btu/SCF) เกิดจากการเผาไหม้บางส่วนของท่านกับอากาศ โดยมากมักมีไอน้ำอยู่ด้วย ปฏิกริยาดังกล่าวเกิดขึ้นดังนี้



องค์ประกอบที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible component) ของแก๊สผลิตภัณฑ์คือ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ซึ่งเจือจางอยู่ในคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน แก๊สจะมีอุณหภูมิเปลวไฟ (Flame temperature) ต่ำในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตไฟฟ้าสำหรับความต้องการของอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ข. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนปานกลาง (Medium heating value gas) แก๊สเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนประมาณ 9.3-20.5 MJ/m³ (250-550 Btu/SCF) กระบวนการนี้ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ ซึ่งจาก Medium heating value gas สามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สสังเคราะห์ได้โดยกระบวนการนี้โดยใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ได้จากการแยกออกจากอากาศ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) การไม่มีแก๊สไนโตรเจนจะทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น

ค. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงค่าความร้อนสูง (High heating value gas) ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้เทียบเท่ากับ Synthesis gas (SNG) ส่วนประกอบของแก๊สนี้มักเป็นมีเทนเกือบบริสุทธิ์ ซึ่งจากแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนปานกลางสามารถเปลี่ยนเป็น SNG ได้โดยกระบวนการ Methanation ที่อุณหภูมิต่ำ Catalytic Process เกิดปฏิกริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์และ

ไฮโดรเจนเป็นแก๊สมีเทนและน้ำ ดังสมการ (1.9) เมื่อผ่านการทำให้แห้งก็จะได้แก๊สซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สบริสุทธิ์



1.3.2.3 ประเภทของกระบวนการแก๊สฟิเคชัน (Classification of gasification)

ประเภทของกระบวนการแก๊สฟิเคชันอาจแยกออกไปตามลักษณะการให้ความร้อน หรือ ชนิดของ Gasifying medium เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถือเป็น Independent characteristic หรือแยกออกไปตามปฏิกิริยา อุณหภูมิ สมบัติแก๊ส หรือกากของแข็งที่เหลือซึ่งถือเป็น Dependent characteristic แสดงได้ดังตาราง 1.3

ตาราง 1.3 Major independent & Dependent gasifier characteristics

Independent	Dependent
1. Method of supplying heat - direct - indirect	- Reaction temperature - high - medium - low
2. Gasifying medium & amount - steam with air or O ₂ - air - H ₂ with or without steam - steam with catalyst	- Raw gas properties - composition - H ₂ /CO ratio - tar & oil content - CV
2. Reactor type - moving packed bed - fluidized bed - entrained flow - molten media	- Solid residue - ash - slag - unconverted carbon

เนื่องจากแบบของ Gasifier (reactor) ถือเป็น Characteristics ที่สำคัญของกระบวนการซึ่งมีอยู่ 3 แบบใหญ่ๆ คือ

- Moving packed bed
- Fluidized bed
- Entrained flow ส่วนแบบ Molten media อาจจัดอยู่ในพวก Entrained flow

ภาคที่เหลื่อต่างกันด้วยช่วงอุณหภูมิที่ดำเนินการคือ ประมาณ 815-1,925 องศาเซลเซียส และ Gasifier แต่ละแบบจะทำงานในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ สำหรับ Gasifier ที่เผาไหม้หลอมละลาย เรียกว่า Dry bottom gasifier และแบบที่หลอมละลายเรียกว่า Slagging gasifier (ช่วงอุณหภูมิ 1,200-1,800 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของถ่าน)

1. Moving bed gasifiers

หลักการทั่วไปเป็นลักษณะ Gasifier ที่ป้อนถ่านหินจากด้านบนถ่านหินจะเคลื่อนลงด้านล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก ซึ่งจะถูกแกสไฟเออร์เผาไหม้หมดไปกลายเป็นเถ้าในช่วงล่างสุดแต่เนื่องจากกระแสน้ำและล่างของเบดอยู่กับที่ จึงอาจเรียกว่า Fixed bed gasifier ขณะที่วัตถุเคลื่อนตัวลงมา สิ่งที่จะเกิดขึ้น คือ

- การ Drying เมื่อสัมผัสกับแก๊สร้อนที่ลอยตัวขึ้น
- การ Devolatilization สารระเหยในวัตถุดิบจะระเหยออกมาแตกตัวให้แก๊สไฮโดรเจน มีเทน และไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลหนักอื่นๆ ลอยปะปนไปกับผลิตภัณฑ์แก๊ส
- เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนทั้งออกซิเดชันและรีดักชัน ส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาที่เหลือก็จะถูกปล่อยออกมาทางส่วนล่างของเบด

การดำเนินการใช้ถ่านหินขนาด 3-50 มิลลิเมตร ถ้าวินาทีเล็กเกินไปอาจแตกออกและออกไปกับแก๊สขาออก หรือเมื่อเคลื่อนลงมาจะทำให้เบดอุดตัน และทำให้แก๊สไหลขึ้นมาไม่สะดวก

การเคลื่อนที่ของเบดค่อนข้างช้าเพียง 0.5 เมตรต่อชั่วโมง ในไอน้ำและ Air gasifier ที่ความดันบรรยากาศ และ 5 เมตรต่อชั่วโมง ในไอน้ำและ O_2 gasifier ที่ความดันบรรยากาศ

อุณหภูมิภายใน gasifier ขึ้นอยู่กับระดับของ Oxidant ใน Atmospheric gasifier อุณหภูมิจะไม่สูงกว่า Ash fusion point สำหรับ Steam/ O_2 gasifier อาจเป็นแบบ Dry bottom หรือ Slagging ขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำเทียบกับออกซิเจน ถ้าวินาทีน้ำมากทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 1.5 (ในตาราง 1.2) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนมีผลให้อุณหภูมิของเบดลดลง

เพื่อลดปริมาณการใช้ไอน้ำอาจยอมให้อุณหภูมิสูง และกำจัดเถ้าในรูปของ Molten slag เป็นหลักการของ Slagging gasifier การดำเนินการที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ 1.5 มากขึ้นด้วย (โดยไม่ต้องใช้ไอน้ำมากเกินไป)

ข้อดีของ Moving bed คือ มีการสัมผัสโดยตรงกับแก๊สร้อน ทำให้ได้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสูงสุด และมีการสูญเสียความร้อนน้อย

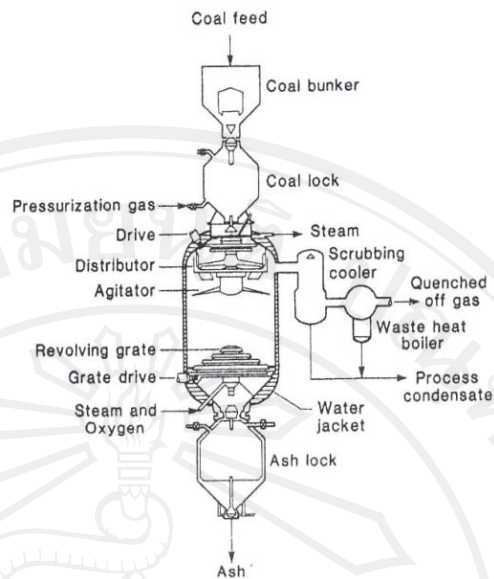
ปัญหาที่พบคือ การเย็นและการเกาะติดกันเป็นก้อนของถ่านหิน ทำให้เกิดการอุดตันในเบด จำเป็นต้องมี Preoxidative treatment และภายใน Gasifier อาจต้องมีใบพัดกวาดเพื่อให้ถ่านหินแตกเป็นก้อนไม่ติดกัน นอกจากนี้เป็นปัญหาที่ไม่สามารถใช้ถ่านหินละเอียดได้

ลักษณะการดำเนินการของ Moving bed gasifiers และชนิดขององค์ประกอบของแก๊ส-ผลิตภัณฑ์ โดยใช้ Bituminous coals โดยมีการป้อนไอน้ำ และออกซิเจนหรืออากาศ ดังแสดงในตาราง 1.4

ตาราง 1.4 ลักษณะการดำเนินการของ Moving bed gasifiers โดยใช้ Bituminous coals มีการป้อนไอน้ำและออกซิเจน หรืออากาศ

Constituent	Steam/oxygen		Steam/air	
	Lurgi slagging	Lurgi dry ash	Woodhall duckham/Gas integrale	Wellman-Galusha
CO	61	18	28	29
CO ₂	3	30	5	3
H ₂	28	40	17	15
CH ₄	7	9	3	3
N ₂	1	1	47	50
Other	-	2	-	-
Total	100	100	100	100
GCV, MJ/m ³	13.8	11.3	6.5	6.3

ตัวอย่างการทำงานของ moving bed gasifier คือ Lurgi dry ash gasifier ซึ่งเป็น Gasifier ที่ความดันสูงตัวแรกและยังคงใช้อยู่ ดังแสดงในรูป 1.4



รูป 1.4 ตัวอย่างของ Lurgi dry ash gasifier

Gasifier นี้ใช้ได้กับลิกไนต์ที่มีความชื้นได้ถึง 35 % และเถ้าสูงถึง 35% มีความดันภายในเบด 3.2 เมกะปาสกาลและมี coal residence time ประมาณหนึ่งชั่วโมง อุณหภูมิที่เริ่มแก๊สไฟประมาณ 650-815 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของเถ้าอาจอยู่ในช่วง 980-1370 องศาเซลเซียส โดยไม่หลอมละลาย ซึ่งจะถูกทำให้เย็นลงถึง 400-500 องศาเซลเซียส โดยพ่นไอน้ำและอากาศเข้ามา ส่วนแก๊สขาออกทำให้เย็นลงถึง 200-540 องศาเซลเซียส โดย Waste heat boiler ใน Gasifier แบบนี้ให้ไอน้ำสูงถึง 50% มากเกินพอ ซึ่งมีประโยชน์ในแง่ทำให้อุณหภูมิใน Combustion zone ลดลงและทำให้สมดุลของ คาร์บอน-ไอน้ำ และ Gas shift reaction เลื่อนออกไป เกิดไฮโดรเจนมากขึ้น Gasification zone temperature ในช่วงกลางๆ ทำให้เกิดมีเทนน้อย (แต่มีเทนส่วนใหญ่ได้จากการ Devolatilization) นอกจากแก๊สแล้วยังได้ทาร์ และน้ำมันซึ่งถูกแยกออกโดยการล้างใน Scrubber หรือ Cooler ด้วยน้ำ

ใน Dry ash gasifier ต้องป้องกันไม่ให้อุณหภูมิใน Combustion zone สูงเกินไปจึงทำให้ต้องใช้ไอน้ำปริมาณมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำ จึงต้องพัฒนา Slagging gasifier ขึ้นเพื่อลดการใช้ไอน้ำ และต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อลดการเกิดมีเทนและเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ 1.5 มากขึ้นด้วย

Lurgi slagging gasifier หรือ Slagger ที่ใช้ในการผลิตแก๊สสังเคราะห์นั้นทางด้านบนเหมือนกับแบบ Dry bottom (รูป 1.4) ปรับเปลี่ยนแต่ด้านล่างเพื่อให้ทนอุณหภูมิสูงในการดำเนินการที่ประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส Slag ไหลลงสู่ Quench vessel ซึ่งมีน้ำหล่อเย็นทำให้ Slag กลายเป็นของแข็งทันที โดยมี Coal residence time ประมาณ 20 นาที ซึ่งมีค่าเพียงหนึ่งในสาม

เท่าของ Dry ash gasifier ส่วนการ decompose ของไอน้ำสูงมากเกือบ 100% การดำเนินการที่อุณหภูมิสูง ทำให้ปฏิกิริยา Boudouard เกิดเพิ่มขึ้น ดังสมการ 1.3 (ในตาราง 1.2)

แก๊สผลิตภัณฑ์ยังคงมีมีเทนอยู่แต่เกิดจากการ Devolatilization ของถ่านหินในช่วงการไพโรไลต์มากกว่า

2. Fluidization bed gasifier

เป็นระบบที่มีการพัฒนาน้อยที่สุดในบรรดาแบบที่กล่าวมาข้างต้น ในสมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง เตาผลิตแก๊สนี้ใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และเดินเครื่องยนต์ Gas engines ที่ใช้ในโรงงานการสังเคราะห์แอมโมเนีย เตาผลิตแก๊สนี้มีขนาดเล็กๆ จะถูกฟลูอิดไคซ์โดยความเร็วของแก๊สแบบมีทิศทาง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ Entrained flow gasifier พบว่า มีความร้อนและฝุ่นเล็กๆ ซึ่งสูญเสียไปกับแก๊สเชื้อเพลิงที่ออกจากตัวเตา ผลเสียอันนี้ถูกชดเชยด้วยความสามารถในการเดินเครื่องได้อย่างต่อเนื่องที่ปริมาณการป้อนสูง การใช้ถ่านต่อเวลาและปริมาณการป้อนของเตาสูงกว่า อีกทั้งการถ่ายโอนมวลสารและความร้อนดี ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย

ระบบนี้สามารถทำงานได้ทั้งในภาวะที่แห้ง หรือถ้าเหลวได้ การฟลูอิดไคซ์แบบแห้งสามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ่อนตัวของถ่าน อนุภาคของเศษถ่านและถ่านจะถูกดึงออกทางด้านล่างโดยกรรมวิธีทางกล ในขณะที่บางส่วนถูกพัดติดมากับแก๊สเชื้อเพลิงทางด้านบน ทำให้ต้องมีการติดตั้งไซโคลน (Cyclone) เพื่อดักเก็บถ่านไว้ การผลิตแก๊สที่ถ่านอยู่ และอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของถ่าน ทำให้ถ่านรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นจะตกลงมายังส่วนล่างของเบดถูกดึงออก

3. Entrained flow gasifier

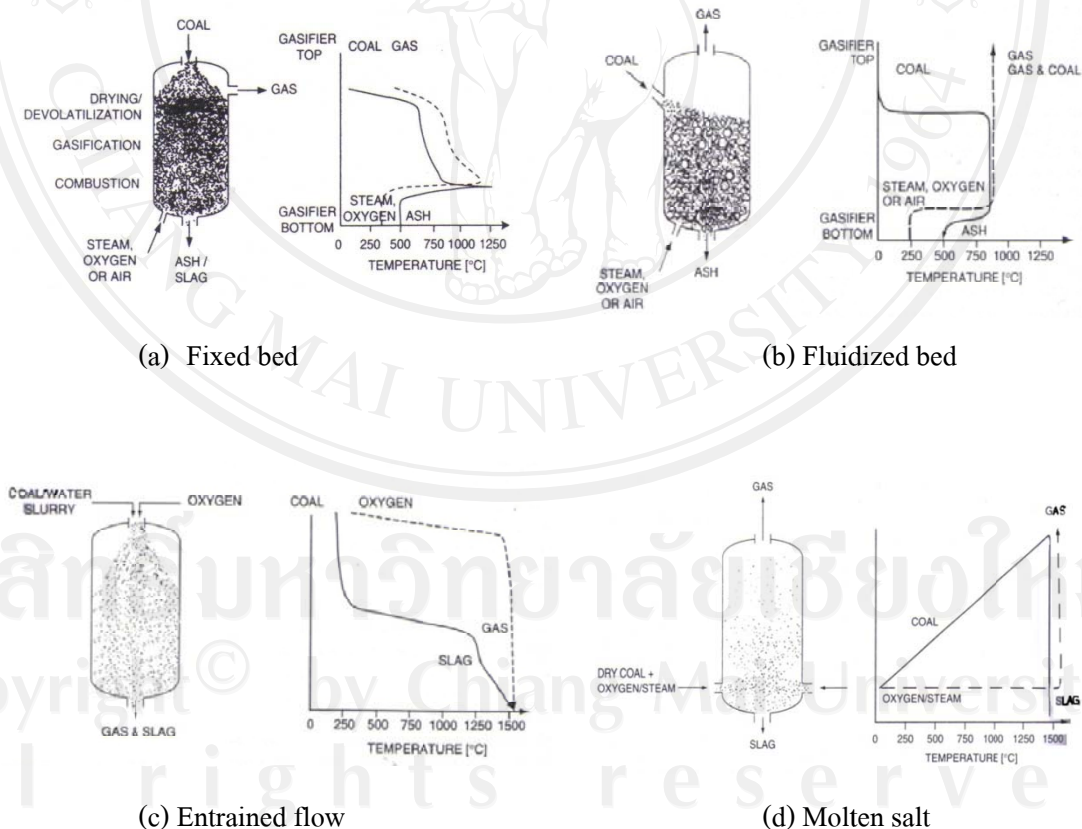
เป็นการใช้ส่วนผสมของวัตถุดิบกับแก๊ส (อากาศ/ไอน้ำ หรือ ออกซิเจน/ไอน้ำ) เพื่อนำเอาผงละเอียดเล็กๆ ของวัตถุดิบเข้าสู่เตาผลิตแก๊ส โดยที่ขนาดของวัตถุดิบและความเร็วของแก๊สที่เข้าจะต้องพอดีกันเพื่อรักษาสภาพของการแขวนลอยไว้ การทดลองเรื่องนี้ได้รับการพัฒนามาจากกระบวนการเผาไหม้ของ Pulverized-coal ถ่าน และถ่าน (Char) จะออกจากเตาพร้อมกับแก๊สผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องมีการแยกออกอีกครั้งหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาของถ่านและอุณหภูมิสูงมากเมื่อเทียบกับเบดนิ่ง และเมื่ออุณหภูมิสูงเกินสภาวะเกิด Slag แก๊สฟิเคชันจะสำเร็จด้วยการผ่านเข้าเพียงครั้งเดียว ซึ่งในระบบแห้งมักจะมีการนำถ่านกลับ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในปริมาณสูง

4. Molten salt gasifier

สารหลอมเหลวสามารถใช้ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพื่อที่จะถ่ายโอนความร้อนและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการ สารที่เป็นสารหลอมเหลวนอกจากเกลือแล้วอาจจะเป็นเหล็ก หรือ โลหะอื่นๆ รวมทั้งเจ้าของถ่านเอง การผลิตแก๊สที่ใช้ตัวกลางที่หลอมเหลวได้นั้นทำให้ผลิตแก๊สได้มากขึ้น เพราะการเร่งปฏิกิริยาของสารหลอมเหลว กำมะถัน จะอยู่ในส่วนที่หลอมเหลว ทำให้กรรมวิธีที่ใช้ในการทำความสะดวกแก๊สน้อยลง

ผลเสียที่สำคัญคือ เกิดการกัดกร่อน เนื่องจากการใช้สารหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง โดยการผสมกระเบื้องอะลูมินา (Alumina) ที่มีความบริสุทธิ์ลงในเกลือที่ใช้เป็นเพียงการแก้ปัญหาอย่างชั่วคราว

เตาผลิตแก๊สของกระบวนการแก๊สฟิเคชัน ที่สำคัญของกระบวนการดังข้างต้นสามารถแสดงดังรูป 1.5



รูป 1.5 เตาผลิตแก๊ส 4 ประเภท

1.4 แก๊สไฮโดรเจน⁽¹⁰⁾

เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพสิ่งแวดล้อม ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดที่สุด เพราะเมื่อเผาไหม้แล้วให้ผลผลิต คือ น้ำ และออกไซด์ของไนโตรเจน เท่านั้น ดังสมการ 1.10



ในผลผลิตไม่มีไฮโดรคาร์บอน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจก แก๊สไฮโดรเจนมีลักษณะพิเศษหลายประการเนื่องจากเป็นแก๊สโมเลกุลเล็กที่สุดทำให้เบามากจึงต้องการปริมาตรการเก็บสูงมาก การจุดติดง่ายมีช่วงความเข้มข้นที่ติดไฟได้กว้างมาก ในขณะเดียวกันมีค่าความร้อนต่อปริมาตรต่ำ แต่ต่อมวลสูง และสูงกว่าไฮโดรคาร์บอนถึง 2.75 เท่า ไฮโดรเจนสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้และต้องการอุณหภูมิต่ำมากเพื่อกลายเป็นของเหลว (-253 องศาเซลเซียส) จึงไม่สามารถเก็บไฮโดรเจนในสถานะของเหลวได้โดยง่าย

1.4.1 การผลิตแก๊สไฮโดรเจน⁽¹¹⁾

ปัจจุบันการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้จากวัตถุดิบสองแหล่งหลัก คือ เชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงจากพลังงานหมุนเวียน เช่น ชีวมวล และน้ำ โดยเทคโนโลยีในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนสามารถแบ่งได้เป็น 3 เทคโนโลยีหลัก ดังนี้

1. Thermal process

2. Electrolytic process

3. Photolytic process หรือ Biophotolysis เป็นการใช้พลังงานแสงเพื่อแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน เช่น Photobiological water splitting ปัจจุบันการผลิตแก๊สไฮโดรเจนในเชิงพาณิชย์ จะผลิตจากแก๊สธรรมชาติโดยวิธี Steam reforming เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ถูกที่สุด

1.4.2 การจัดเก็บแก๊สไฮโดรเจน

แก๊สไฮโดรเจนจะถูกกักเก็บได้ในถึงในรูปแบบของแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในรูปแบบสารประกอบเคมี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การเก็บในรูปแบบแก๊สต้องใช้ถังเก็บที่มีปริมาตรใหญ่ เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนจะเบาและมีความหนาแน่นน้อยที่ความดันบรรยากาศ เพื่อให้สามารถเก็บมวลไฮโดรเจนได้มากจึงต้องอัดที่ความดันสูงเพื่อลดปริมาตรของถังเก็บ

2. การเก็บในรูปของเหลวต้องมีการปล่อยแก๊สทิ้งเพื่อควบคุมความดันในถังเก็บ อีกทั้งต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้ามากในการทำให้อุณหภูมิต่ำซึ่งสูงถึงหนึ่งในสามของพลังงานไฮโดรเจนการเก็บไว้ในท่อถ่านนาโน (Carbon nanotube)

3. การเก็บในรูปสารประกอบเคมีมีข้อดีคือ สะดวกในการขนส่ง ซึ่งการเก็บวิธีนี้มักจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยสามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก การใช้โลหะไฮดรอกไซด์ต้องคำนึงถึงน้ำหนักถังและอุณหภูมิที่เหมาะสม โลหะไฮดรอกไซด์สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณร้อยละ 2-3 ของน้ำหนักถัง จึงเป็นปัญหาในเรื่องน้ำหนักถังเก็บ การบรรจุไฮโดรเจนเข้าถังเก็บต้องมีการระบายความร้อนออกจากถังเก็บ และในการจ่ายไฮโดรเจนออกจากถังเก็บก็ต้องให้ความร้อนกับโลหะไฮดรอกไซด์จึงจะได้แก๊สไฮโดรเจนออกมาที่แต่ละสถานะของอุณหภูมิและความดัน การเก็บในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์จำพวก โซเดียม โพแทสเซียม หรือลิเทียม เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaH) สามารถคายแก๊สไฮโดรเจนด้วยการทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้สารประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแก๊สไฮโดรเจนออกมา ในทางกลับกันเมื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์-ไฮดรอกไซด์มาให้ความร้อนก็จะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับแก๊สออกซิเจนกลับมาใหม่ ดังนั้นโซเดียม-ไฮดรอกไซด์จึงเป็นพาหะพลังงาน ซึ่งสามารถอัดเม็ดและเคลือบผิวกันน้ำ โดยใช้สมบัติการดูดซับทางกายภาพของถ่านซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันที่อุณหภูมิต่ำ 70 เคลวิน ความดัน 40 บาร์ จะเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถเก็บไฮโดรเจนได้มากขึ้น

1.5 การชะละลาย (Leaching)⁽¹²⁾

การสกัดด้วยของเหลว (Liquid extraction) หรือ การชะละลาย เป็นกระบวนการถ่ายโอนส่วนประกอบหนึ่งจากของแข็ง หรือของเหลวด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว ซึ่งในทางเทคนิคจึงแบ่งแยกการสกัดด้วยของเหลวออกเป็นสองประเภท คือ การชะละลาย (Leaching) หรือการสกัดของแข็งด้วยของเหลว (Solid – liquid extraction or liquid – solid extraction) และการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid – liquid extraction)⁽¹³⁾ ซึ่งคำเฉพาะอื่นๆ ที่ใช้กัน ได้แก่

- ก. Lixiviation ใช้ในกรณีของการชะละลายสารแอลคาไลด์จากถ่านของไม้
- ข. Decoction ใช้ในกรณีที่ตัวทำละลายทำงานที่อุณหภูมิจุดเดือด
- ค. Elutriation หรือ Elution ใช้ในกรณีส่วนประกอบที่ละลายได้อยู่บนผิวของกากของแข็งที่ไม่ละลาย และกระบวนการเป็นเพียงการล้างออกด้วยตัวทำละลาย

อุตสาหกรรมโลหะนั้นจะเป็นอุตสาหกรรมใหญ่ที่สุดที่ใช้การชะละลาย สิ้นแร่ที่ต้องการมักจะผสมอยู่กับกากแร่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ ตัวอย่างเช่น สิ้นแร่ทองแดงสามารถถูกสกัดออกมาได้

ด้วยกรดซัลฟิวริกหรือสารละลายแอมโมเนีย ทอสามารถสกัดได้ด้วยสารละลายไซยาไนด์ นอกจากนี้ยังใช้การชะละลายในกระบวนการผลิตอะลูมิเนียม แมงกานีส นิกเกิล สังกะสี และโลหะอื่นๆ ด้วย

สารอินทรีย์หลายประเภทก็สามารถแยกได้ด้วยการชะละลายหรือสกัด เช่น การสกัดน้ำตาลด้วยน้ำร้อน การสกัดน้ำมันพืชด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ การสกัดสารแทนนินจากเปลือกไม้ด้วยน้ำ และการสกัดสารธรรมชาติอื่นๆ จากรากไม้หรือใบไม้ในทางเภสัชกรรม เครื่องดื่มบางชนิด เช่น ชาหรือกาแฟ ก็ใช้การชะละลายเป็นขั้นตอนหนึ่งของการผลิตเช่นกัน

1.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย

1.5.1.1 การเตรียมของแข็ง

การเตรียมตัวอย่างเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อประสิทธิภาพการสกัด ในบางกรณี ของแข็งส่วนที่ต้องการจะถูกห่อหุ้มด้วยของแข็งส่วนที่ไม่ต้องการอย่างมิดชิด ดังนั้น การแยกต้องอาศัยการแทรกซึมของตัวทำละลายผ่านเข้าไปละลายของแข็งส่วนที่ต้องการ และแทรกซึมหรือแพร่ออกมาผ่านของแข็งส่วนที่ไม่ต้องการ ในกรณีนี้ การบดของแข็งผสมให้มีขนาดเล็กลงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด เพราะตัวทำละลายจะเข้าถึงของแข็งส่วนที่ต้องการได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น การชะละลายสินแร่ทองแดงด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกอย่างมีประสิทธิภาพ ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหากบดให้สินแร่มีขนาดต่ำกว่า 60 ไมโครเมตร ต้องใช้เวลาหลายวันหากบดให้มีขนาดประมาณ 6 มิลลิเมตร และต้องใช้เวลาหลายปีหากสินแร่เป็นก้อนขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม การบดละเอียดต้องเสียค่าใช้จ่ายมากและไม่จำเป็นในบางกรณี เช่น ของแข็งที่ต้องการมีสัดส่วนโดยปริมาตรสูงและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนสินแร่

ส่วนพืชและสัตว์จะมีโครงสร้างประกอบด้วยเซลล์ สารธรรมชาติที่ต้องการมักอยู่ภายในเซลล์ เมื่อผนังเซลล์สัมผัสกับตัวทำละลายสกัด การชะละลายจะเกิดขึ้นได้จากกระบวนการออสโมติกผ่านผนังเซลล์ แต่กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้า การบดวัตถุบดเหล่านี้ทำได้ยาก จึงไม่นิยมทำ ในทางปฏิบัติมักใช้วิธีการอื่น ได้แก่ ผ่าเป็นชิ้นเล็กๆ เช่น การสกัดน้ำตาล การสกัดน้ำมันจากถั่วเหลือง หรือทำให้แห้งเพื่อให้เซลล์ยุบตัว และการสกัดสารธรรมชาติจากใบพืชในงานเภสัชกรรม เป็นต้น

1.5.1.2 อุณหภูมิการสกัด

การสกัดควรทำที่อุณหภูมิสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะเหตุผลสำคัญ 3 ประการ คือ

- ก. ค่าการละลายมักจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูง
- ข. ความหนืดของของเหลวมักจะต่ำลงที่อุณหภูมิสูง
- ค. อัตราการแพร่สูงขึ้นที่อุณหภูมิสูง

ในของแข็งผสมที่มีสิ่งเจือปนมาก ปฏิบัติการที่อุณหภูมิสูงจะทำให้สิ่งเจือปนละลายในตัวทำละลายสกัดได้มากขึ้นด้วย ส่วนการสกัดสารธรรมชาติ อุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารที่ต้องการได้

1.5.2 ประเภทของปฏิบัติการและลักษณะของเครื่องสกัด

ประเภทของปฏิบัติการสามารถแบ่งออกเป็น

- ก. ปฏิบัติการในสถานะไม่คงที่ (Unsteady-state operation)
- ข. ปฏิบัติการในสถานะคงที่ (Steady-state operation)

1.5.2.1 ปฏิบัติการในสถานะไม่คงที่

เป็นลักษณะปฏิบัติการที่ของแข็งจำนวนหนึ่ง ถูกชะละลายด้วยของเหลวจำนวนหนึ่งเป็นครั้งๆ หรือเป็นรุ่นๆ ไป (Batch operation) หรือในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง (Semi-batch or semi-continuous operation) ซึ่งของแข็งจำนวนหนึ่งถูกสกัดด้วยของเหลวซึ่งไหลอย่างต่อเนื่อง ของแข็งที่เป็นก้อนใหญ่จะถูกสกัดด้วยการแช่ (Percolation) ในเครื่องสกัดแบบเบดนิ่ง (Fixed bed) ส่วนของแข็งที่เป็นอนุภาคเล็กๆ แฉวนลอยง่าย มักจะถูกสกัดในเครื่องสกัดที่มีตัวกวน (Agitator)

1.5.2.2 ปฏิบัติการในสถานะคงที่

เป็นลักษณะปฏิบัติการแบบต่อเนื่องที่แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ตามลักษณะการสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลว คือ การสัมผัสเป็นขั้นๆ (Stagewise contact) หรือการสัมผัสแบบต่อเนื่อง (Continuous contact)

1.5.3 ประสิทธิภาพการสกัด

ในปฏิบัติการที่ของแข็งถูกชะละลายด้วยตัวทำละลาย ในปริมาณมากพอที่จะละลายตัวถูกละลายทั้งหมด และของแข็งไม่ดูดซับตัวถูกละลายหรือตัวทำละลาย หากเวลาที่สัมผัสกันมากพอ ตัวถูกละลายจะละลายออกมาอยู่ในสารละลายทั้งหมด และของผสมอาจพิจารณาได้ว่าเป็นกาก

ของแข็งที่ไม่ละลายแทรกตัวอยู่ในสารละลายสัปดาห์ จากนั้นกากของแข็งถูกแยกออกโดยการตกตะกอน การกรอง หรือการริน กระบวนการเหล่านี้รวมแล้วเป็นขั้นสกัด 1 ขั้น ซึ่งขั้นสกัดลักษณะนี้ เรียกว่า “ขั้นอุดมคติ (Ideal stage)” หากกระบวนการเชิงกลที่ใช้กากของแข็งจากสารละลายทำได้อย่างสมบูรณ์ก็จะมีตัวถูกละลายตกค้างอยู่กับกากของแข็งหลังปฏิบัติการเลย และกล่าวได้ว่า การแยกตัวถูกละลายจากกากของแข็งทำได้อย่างสมบูรณ์ในขั้นสกัดเดียว และมีประสิทธิภาพของขั้นสกัดเท่ากับร้อยละ 100

ในทางปฏิบัติ ประสิทธิภาพของขั้นสกัดจะต่ำลง เพราะสาเหตุ 2 ประการหลัก คือ

ก. ตัวถูกละลายทั้งหมด ไม่ได้ละลายออกมาอยู่ในสารละลาย เพราะระยะเวลาสัมผัสไม่เพียงพอหรือเพราะเกิดสมดุลขึ้นระหว่างของแข็งและของเหลว

ข. เป็นไปไม่ได้ที่จะแยกของเหลวจากกากของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยวิธีการในเชิงปฏิบัติ ดังนั้น กากของแข็งหลังการแยกจะมีสารละลายตกค้างอยู่ด้วยเสมอละลายไว้ที่ผิว ก็จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพของขั้นสกัดลดลง

1.6 ตัวเร่งปฏิกิริยา ⁽¹⁴⁾

การเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) หมายถึงการทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งเป็นสารที่สามารถเพิ่มอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาโดยที่ตัวมันเองไม่ถูกใช้ไปอย่างถาวรในปฏิกิริยา บุคคลแรกที่ให้คำจำกัดความของคำว่า catalysis คือ เจ เจ เบอเซเลียส (J.J. Berzelius) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1836

ปัจจุบันนิยามที่ครอบคลุมความหมายได้ดีขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นโดยที่ตัวมันเองไม่ถูกใช้อย่างถาวรในปฏิกิริยา แม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอาจมีส่วนร่วมในบางขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา แต่สุดท้ายต้องเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปเดิมหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นโดยการเกิดพันธะเคมีกับสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งตัว

อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันโดยตรง ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิต เช่น การผลิตแอมโมเนียซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญในการผลิตปุ๋ย การผลิตพลาสติกหรือเส้นใยสังเคราะห์ การผลิตยารักษาโรคหลายๆ ชนิด การควบคุมมลพิษทางอากาศจากการสันดาปของเครื่องยนต์ หรือการผลิตเคมีภัณฑ์

การเร่งปฏิกิริยาสามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ การเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalysis) และการเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysis) โดยที่ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาแบ่งตามสถานะเทียบกับสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ มี 2 ประเภทคือ

ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นแก๊สหรือของเหลว ตัวอย่างเช่นปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตที่เร่งด้วยเอนไซม์ และปฏิกิริยาในสารละลาย ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการศึกษา แต่ก็มีข้อเสียคือมักสลายตัวหรือเสถียรภาพในสภาวะที่ใช้ความร้อน หรือความดันสูง

ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysts) คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างกับสารที่ทำปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สหรือของเหลว การใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์พบได้ในอุตสาหกรรมหลายๆ อย่าง เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน เชื้อเพลิง เส้นใยสังเคราะห์ ตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือได้ง่ายกว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์

ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์คือ สามารถแยกสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย สามารถใช้ได้ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิหรือความดันสูงได้ ตัวเร่งปฏิกิริยามีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์มีความว่องไวและความสามารถในการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา มีอิทธิพลโดยตรงจากลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของของแข็ง สารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงควรมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก โดยนำตัวเร่งปฏิกิริยามาเคลือบกับบนวัสดุ (Support) ที่มีรูพรุน ตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากที่ใช้ไปช่วงระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการเสื่อมสภาพลงจะต้องมีกระบวนการปรับสภาพเดิมอีกเป็นระยะๆ เรียกว่า Activation

ตัวรองรับแต่ละชนิดที่นำมาใช้ต้องมีสมบัติมาข้างต้นมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรองรับ จึงแล้วแต่ผู้ที่จะนำไปใช้ว่าจะยอมรับตัวรองรับชนิดไหนในปฏิกิริยานั้นๆ ตัวรองรับที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 3 ชนิด คือ อะลูมินา ซิลิกา และถ่านกัมมันต์

สมบัติที่สำคัญของตัวรองรับคือ ความสามารถในการต้านทานสภาวะการรวมตัวอันเนื่องมาจากความร้อน อุณหภูมิ โครงผลึก (Lacrtice) เริ่มเกิดการเคลื่อนที่เรียกว่า อุณหภูมิฮัตติง (Hutting temperature) มีค่าประมาณ 0.3 จุดหลอมเหลวของโลหะ อุณหภูมิแทมแมน (Tamman's temperature) เป็นอุณหภูมิที่ผลึกเริ่มเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 0.5 เท่าของจุดหลอมเหลวของโลหะ

ตาราง 1.5 เป็นจุดหลอมเหลวของตัวรองรับชนิดต่างๆ และยังแสดงว่าคงตัวรองรับเหล่านี้มีสมบัติเป็นกรด เบสหรือกลาง ซึ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยหนึ่งในการเลือกชนิดของตัวรองรับ และตาราง 1.6 เป็นตัวรองรับชนิดต่างๆ โดยแบ่งตามพื้นที่ผิวของตัวรองรับ

ตาราง 1.5 การแบ่งตัวรองรับตามจุดหลอมเหลวและความเป็นกรด-เบส⁽¹⁵⁾

Bases	Amphoters	Neutral	Acids
MgO (2,800 °C)	Al ₂ O ₃ (2,015 °C)	MgAl ₂ O ₄ (2,135 °C)	SiO ₂ (1,731 °C)
CaO (1,975 °C)	TiO ₂ (1,825 °C)	CaAl ₂ O ₄ (1,600 °C)	SiO ₂ , Al ₂ O ₃
ZnO (1,975 °C)	ThO ₂ (3,050 °C)	CaAl ₂ O ₄ (1,535 °C)	Zeolites
	Ce ₂ O ₃ (1,692 °C)	MgSiO ₂ (1,910 °C)	Al phosphates
	CeO ₂ (2,600 °C)	Ca ₂ SiO ₄ (2,130 °C)	Carbon
	Cr ₂ O ₃ (2,435 °C)	CaTiO ₃ (1,975 °C)	MnO (1,600 °C) ⁽¹⁶⁾
		CaZnO ₃ (2,550 °C)	
		MgSiO ₃ (1,557 °C)	
		CaSiO (1,540 °C)	
		Carbon	

ตาราง 1.6 ตัวรองรับชนิดต่าง ๆ ตามพื้นที่ผิว ⁽¹⁷⁾

Low surface area $< 1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	Essentially Non-porous Porous	Ground glass Alunndum (Al_2O_3) Silicon carbide Kieselguhr Pumice
High surface area $> 1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$	Essentially Porous	Natural silica-alumina Carbon black Titania Zinc-oxide Natural clays Synthesis silica-aluminas Alumina , Magnesia Activated carbon Silica , Abestos

เทอมที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยา

ก. กัมมันตภาพ (Activity) ของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อเข้าสู่สมดุล เป็นการวัดเชิงปริมาณว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้มากเพียงใดในการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ในเชิงอุตสาหกรรมมักจะใช้เทอม Space-time yield (STY) หมายถึง ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นกับตัวแปรต่างๆ หลายตัว เช่น ความดัน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

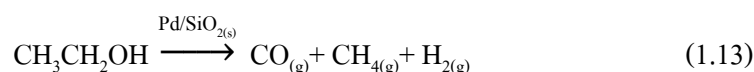
การหาร้อยละกัมมันตภาพแบบที่ง่ายที่สุดทำได้โดยการหาปริมาณสารตั้งต้นที่ถูกใช้ไป โดยหาผลต่างของปริมาณสารตั้งต้นที่เข้าและออกจากระบบ (Input reactant-output reactant) เทียบกับปริมาณสารตั้งต้นที่ใส่เข้าไป ดังสมการ 1.11

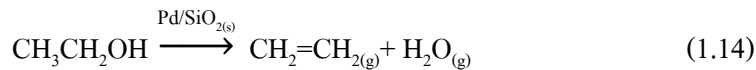
$$\% \text{ Activity} = \frac{(\text{Input reactant} - \text{Output reactant}) \times 100}{\text{Input reactant}} \quad (1.11)$$

ข. สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา (Selectivity) คือ ความสามารถในการเลือกเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการโดยเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reactions) น้อยที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละของปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยาจะขึ้นกับ ตัวเร่งปฏิกิริยา ความดัน อุณหภูมิ องค์ประกอบของสารแต่ละตัว และการเปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา ซึ่งการรายงานสัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยานั้นต้องบอกเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องด้วย สมการ 1.12 แสดงการหาสัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา จากสัดส่วนของปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิด (Desired reaction) หารด้วยปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมด (All reactions)

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{(\text{Desired reactant}) \times 100}{\text{All reactants}} \quad (1.12)$$

ตัวอย่างการหา กัมมันตภาพ และ สัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยา จากปฏิกิริยาการสลายตัวของเอทานอล (Ethanol decomposition) ซึ่งศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแพลตาเดียมบนตัวรองรับซิลิกา ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 2 แบบ คือ การสลายตัวเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน ดังสมการ 1.13 การดัดน้ำออกเกิดเป็นเอทิลีนและน้ำ ดังสมการ 1.14





เทอมกัมมันตภาพสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\% \text{ Activity} = \frac{(\text{Mole ethanol input} - \text{mole ethanol output}) \times 100}{\text{Mole ethanol input}} \quad (1.15)$$

เทอมสัดส่วนการเลือกทำปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาการสลายตัวของเอทานอล สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\% \text{ Selectivity} = \frac{\% \text{ Mole CO} \times 100}{(\% \text{ Mole CO}) + (\% \text{ Mole CHCH}_2 = \text{CH}_2)} \quad (1.16)$$

ค. อายุการใช้งาน (Lifetime) คือ อายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีต้องมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถในการเร่งวัฏจักรของปฏิกิริยาได้หลายรอบโดยไม่มีการเสื่อมสภาพการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยานั้นต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของมันด้วยเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาอาจเร่งปฏิกิริยาได้หลายปฏิกิริยาและปฏิกิริยาข้างเคียงอันอาจทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้อีกต่อไป กล่าวคือ เปลี่ยนเป็นสารที่หยุดกัมมันต์ (Inactive) หรือเสื่อมสภาพ (Deactivated)

ง. การทำให้คืนสภาพ (Regeneration) คือ การนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เสื่อมสภาพแล้วหลังจากการใช้งาน มาทำให้กลับไปในสภาพที่ว่องไวและใช้งานได้เหมือนเดิม

จ. ตัวยับยั้ง (Inhibitor) คือ สารที่ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเกิดช้าลง ถ้าเป็นตัวยับยั้งชนิดแข่งขัน (Competitive inhibitor) จะแข่งขันกับสารตั้งต้นในการเกิดพันธะกับตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวยับยั้งปฏิกิริยาที่แข็งแกร่งมาก คือ เกิดพันธะได้แข็งแกร่งมากทำให้สารตั้งต้นไม่สามารถเกิดพันธะกับตัวเร่งปฏิกิริยาได้เรียกว่า เกิดพอยซัน (Poison)

ปัจจุบันมีการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาอย่างกว้างขวางทั่วโลก จะเห็นได้จากปริมาณการตีพิมพ์บทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาที่มีจำนวนมาก มีวารสารเฉพาะทางด้านการเร่งปฏิกิริยามากมาย นอกจากนี้พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเร่งปฏิกิริยาอาจจะสอดคล้องอยู่ในวารสารอื่นๆ เช่น วารสารทางด้านเคมี ทางวัสดุศาสตร์ ทางด้านวิศวกรรมเคมี เป็นต้น เนื่องจากงานวิจัยทางด้านการเร่งปฏิกิริยาสามารถนำไปสู่การประยุกต์ได้หลากหลาย ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจากหลายสาขาวิชาที่ทุ่มเทกับการศึกษาด้านนี้ ไม่ว่าจะเป็นนักเคมี นักฟิสิกส์ วิศวกร หรือนักเทคโนโลยี โดยเป้าหมายหลักก็คือ การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี

ประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานยาวนาน ไม่มีอันตราย ช่วยประหยัดเวลาและพลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง และนำไปสู่เทคโนโลยีใหม่

1.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li และคณะ⁽¹⁸⁾ ได้ศึกษากระบวนการแกสซิฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของชีวมวลประเภทไม้ (ไม้สนจากญี่ปุ่น) ได้ทำการตรวจวัดภายใต้การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนชาร์ของถ่านหินลิกไนต์ในปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง 2 ขั้นตอน ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนชาร์ของถ่านหินได้จากการเตรียมด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange method) โดยใช้ร้อยละ 8.3 โดยน้ำหนักของนิกเกิลบนชาร์ของถ่านหินลิกไนต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 382 ตารางเมตรต่อกรัม ทำการแกสซิฟิเคชันของสารระเหยได้ในไม้สนญี่ปุ่นที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 450-650 องศาเซลเซียส ผลจากการทดลองที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ในการแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาของสารระเหยได้ในไม้สนญี่ปุ่นได้ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนและปริมาณแก๊สรวมเป็น 16.6 และ 6.3 เท่าของการแกสซิฟิเคชันที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา การสลายตัวของทาร์ที่ได้จากกระบวนการจะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เมื่อใช้อุณหภูมิมากกว่า 500 องศาเซลเซียส จะทำให้สามารถเปลี่ยนทาร์จากไม้สนญี่ปุ่นได้ดีโดยจะได้ผลผลิตของแก๊สและสมดุลของคาร์บอนที่สูง

Sharma และคณะ⁽¹⁹⁾ ได้ทำการศึกษาถ่านหินที่ผ่านการสกัดด้วยสารละลาย (Hypercoal) ให้มีเถ้าน้อยกว่าร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ทำการแกสซิฟิเคชันโดยใช้ไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาของ Hypercoal โดยใช้โพแตสเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 775-650 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สสังเคราะห์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการแกสซิฟิเคชัน Hypercoal มีประสิทธิภาพคงที่ในการใช้งานติดต่อกันเป็นจำนวน 4 ครั้ง ซึ่งสูงกว่าการใช้ถ่านหินชนิดอื่น แก๊สหลักที่สามารถผลิตได้คือ ไฮโดรเจนร้อยละ 63 โดยปริมาตร คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 6 โดยปริมาตร และ คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 30 โดยปริมาตร ได้ศึกษาผลของความดันของไอน้ำที่ใช้ในช่วง 0.5 ถึง 0.05 atm ต่อผลผลิตของอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ ($H_2:CO$ ratio) พบว่าโดยอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าลดลงจาก 9.5 ที่ 0.5 atm มาเป็น 1.9 ที่ 0.05 atm และพบว่าอัตราการเกิดแกสซิฟิเคชันจะลดลงเมื่อลดอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและมีอัตราการเกิดต่ำสุดที่ 650 องศาเซลเซียส

Haryanto และคณะ⁽²⁰⁾ ได้ทำการศึกษาพวกโลหะมีตระกูล (Rh, Pt, Pd, Ir, Ru และ Ag) และนิกเกิลที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีตัวรองรับคือ $CeO_2-Al_2O_3$ ในปฏิกิริยา Water gas shift ที่อุณหภูมิ 300 500 และ 700 องศาเซลเซียส โดยผลการศึกษาพบว่า $Pt/CeO_2-Al_2O_3$ และ Ru/CeO_2-

Al_2O_3 สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการนี้ได้ดี ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาถึงความสามารถในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนที่ได้และความจำเพาะเจาะจงในการเกิดแก๊สไฮโดรเจน ในการทดลองได้ปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และใช้อัตราการป้อนของไอน้ำต่อคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 5.2:1 ซึ่งพบว่า $\text{Pt/CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ สามารถเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแก๊สไฮโดรเจน จากร้อยละ 76.3 โดยปริมาตร เป็นร้อยละ 94.7 โดยปริมาตร และที่สภาวะการทดลองเดียวกัน $\text{Ru/CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ สามารถเปลี่ยนจากร้อยละ 63.9 โดยปริมาตร เป็นร้อยละ 85.6 โดยปริมาตร ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองนี้ได้แสดงความเสถียรในการทำงานคือ 9 ชั่วโมง แบบต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองก็ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้บางส่วนในระหว่างการทดลอง ในการศึกษาครั้งนี้ได้แสดงว่า $\text{Pt/CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ และ $\text{Ru/CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยา Water gas shift ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถทำควบคู่ไปกับการเกิดกระบวนการแกสซิฟิเคชันของชีวมวล

Mukherjee และคณะ⁽²¹⁾ ได้ศึกษาผลของการชะละลายตัวอย่างถ่านหินที่มาจากบ่อถ่านหินจาก Boragolai และ Ledo ของแหล่งถ่านหิน Madum ใน Assam ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดียด้วยสารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 95 และ 150 องศาเซลเซียส จากนั้นตามด้วยกรดอ่อนเพื่อช่วยลดปริมาณธาตุโลหะหนักและปริมาณซัลเฟอร์ ในการชะละลายถ่านหินตัวอย่างที่ 95 องศาเซลเซียส ด้วยสารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณธาตุโลหะหนักร้อยละ 2-19 และลดปริมาณซัลเฟอร์ร้อยละ 16-30 โดยน้ำหนัก เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิในการชะละลายเป็น 150 องศาเซลเซียส จะทำให้การลดปริมาณธาตุโลหะหนักของถ่านหินลดลงเป็นร้อยละ 1-11 และการลดปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 26-43 โดยที่การลดลงของการลดปริมาณธาตุโลหะหนักเกิดจากการเพิ่มขึ้นของการตกตะกอนของโพแตสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งการลดปริมาณธาตุโลหะหนักของถ่านหินสามารถเพิ่มจากร้อยละ 28-45 และร้อยละ 39-69 และการลดปริมาณซัลเฟอร์ของถ่านหินสามารถเพิ่มจากร้อยละ 22-35 และร้อยละ 34-53 ที่อุณหภูมิ 95 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยการชะละลายถ่านหินด้วยโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับร้อยละ 10 โดยปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก (ใช้เป็นตัวแยกสลายโพแตสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต) ในการปรับสภาพนี้สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ที่ออกเกือบจะสมบูรณ์และลดปริมาณสารอินทรีย์ (ซัลเฟอร์) ออกได้ร้อยละ 37

Courson และคณะ⁽²²⁾ ได้ศึกษากระบวนการแกสซิฟิเคชันของชีวมวลในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยมีนิกเกิลเคลือบบนโอลิวิน (Olivine) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากโอลิวินมีความทนทานสูงจึงถูกใช้เป็นตัวรองรับในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยใช้ไอน้ำ และใช้ในการแตกโมเลกุลของทาร์ หลังจากการเคลือบฝัง (Impregnation) นิกเกิลลงบนโอลิวินและ

นำไปเผาที่อุณหภูมิ 900, 1100 และ 4000 องศาเซลเซียส ได้มีการศึกษาความแตกต่างของโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนการเผาและหลังเผาโดยใช้เทคนิคคือ X-ray diffraction, Scanning electron microscopy และ Transmission electron microscopy ใช้คู่กับ Energydispersive X-ray spectroscopy จากการศึกษาพบว่า เมื่อทำการเคลือบนิกลงบนตัวรองรับร้อยละ 2.8 โดยน้ำหนัก และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ได้แสดงแรงกระทำระหว่างโอลิวินกับนิกลที่เกิดที่แข็งแรงแต่ขนาดอนุภาคที่ได้เป็นตัวขัดขวางในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูงในกระบวนการที่ไม่ใช้ไอน้ำ (ร้อยละ 95 ของการเปลี่ยนแปลงเมทานอล) และในกระบวนการที่ใช้ไอน้ำ (ร้อยละ 88 ของการเปลี่ยนแปลงเมทานอล) และร้อยละ 80 ผลได้ของแก๊สสังเคราะห์ (ร้อยละ 75 ผลได้ของการบ่มมอนอกไซด์) จากกระบวนการที่ใช้ไอน้ำจะมีปริมาณที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาซึ่งจะเป็นตัวยับยั้งการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาและลดการเกิดแก๊สไฮโดรเจน

1.8 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการชะละลายถ่านหินเพื่อให้สามารถลดปริมาณเถ้าของถ่านหินลงในช่วงร้อยละ 14-30 โดยน้ำหนัก
2. เพื่อศึกษาการผลิตแก๊สไฮโดรเจนและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแกสซิฟิเคชันชีเลื้อยไม้สัก โดยใช้ถ่านหินที่ชะละลายเถ้าเทียบกับถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายเถ้าสำหรับเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Iron exchange) นิกลบนถ่านหินลิกไนต์
3. ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบแลกเปลี่ยนไอออนนิกลบนถ่านหินลิกไนต์

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา เจริญทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์

1. ทราบถึงตัวแปรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนจากชีเลื้อย โดยแกสซิฟิเคชันด้วยไอน้ำแบบใช้ถ่านหินที่ชะละลายเถ้าเทียบกับถ่านหินที่ไม่ผ่านการชะละลายเถ้าสำหรับเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้มีปริมาณมากที่สุด
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาเชื้อเพลิงแก๊สไฮโดรเจนมาทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด
3. สามารถนำไปพัฒนาเป็นแนวทางในเชิงพาณิชย์ในการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงต่าง ๆ ได้ในอนาคต
4. เป็นการนำชีเลื้อยไม้สักซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์มากขึ้น
5. เพิ่มทางเลือกในการผลิตแก๊สสังเคราะห์เพื่อผลิตเคมีภัณฑ์

1.10 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บและวิเคราะห์สมบัติของขี้เลื่อย เช่น การวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสาร (Proximate analysis) และการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) เป็นต้น
3. ทำการชะละลายถ่านหินเพื่อให้สามารถลดปริมาณเถ้าของถ่านหินลงในช่วงร้อยละ 14-30 โดยน้ำหนัก โดยใช้ตัวทำละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ เช่น อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (AAS) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
4. ทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายและไม่ผ่านการชะละลาย เพื่อใช้ในกระบวนการแกสซิฟิเคชันโดยใช้ไอน้ำแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ นิกเกิลบนชาร์ของถ่านหินที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน
5. ทำการแกสซิฟิเคชันขี้เลื่อยไม้สักที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิในช่วง 650 - 700 องศาเซลเซียส ร้อยละเถ้าในตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนของชีวมวลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา
6. ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ เช่น วิเคราะห์ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี และเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการแกสซิฟิเคชันที่ใช้ถ่านหินที่ผ่านการชะละลายและไม่ผ่านการชะละลายในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา
7. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล
8. เขียนรายงานวิทยานิพนธ์