แนวทางสู่เป้าหมาย Net Zero ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี



กุมภาพันธ์ 2567 วิจัยกรุงศรี

krungsri Research

เครือ MUFG หนึ่งใน สถาบันการเงินที่ใหญ่ที่สุดของโลก

สารบัญ

บทนำ 3

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ 5

ผลกระทบของ Net Zero Emissions ต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมี 6

- สถานการณ์ปัจจุบันของการลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี 6
- ช่องทางและเทคโนโลยีในการนำไปสู่การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6
- ผลกระทบของเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย 21

มุมมองวิจัยกรุงศรี 25

แหล่งอ้างอิง 26

Subscribe Us

สมัครสมาชิกวิจัยกรุงศรี...

krungsri.research@krungsri.com

คำสงวนสิทธิ์

เนื้อหาและข้อมูลใดๆ ทั้งหมดที่ปรากฏในรายงานฉบับนี้ หากมิได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวิจัยกรุงศรี ห้ามมิให้ผู้ใดกระทำการใดๆ เกี่ยวข้องกับเนื้อหา สำเนา หรือดัดแปลงแก่บุคคลอื่นโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากวิจัยกรุงศรี รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากแหล่งที่เชื่อหรือควรเชื่อว่ามีความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม วิจัยกรุงศรีไม่อาจรับรองความครบถ้วนสมบูรณ์หรือความถูกต้องของข้อมูลดังกล่าว อีกทั้งไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงหรือทางอ้อมจากการใช้รายงานฉบับนี้หรือเนื้อหาในรายงานฉบับนี้ ข้อมูล ความคิดเห็น และการประมาณการที่ปรากฏในรายงานนี้ถือเป็นความคิดเห็นของวิจัยกรุงศรี ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องกับ ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน) และบริษัทในเครือ ความคิดเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน ณ วันที่มีการเผยแพร่รายงาน วิจัยกรุงศรีขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงโดยมิต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

บทนำ

เตียร เทียมศักดิ์
นักวิเคราะห์อาวุโส
thian.thiumsak@krungsri.com
+662 296 4742

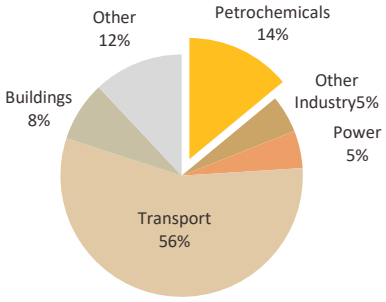


อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากพลาสติกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่สำคัญชนิดหนึ่งสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูง ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีจึงถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมปลายน้ำที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ ก่อสร้าง บรรจุภัณฑ์ ตลอดจนสินค้าอุปโภคทั่วไปที่ใช้ในชีวิตประจำวัน **ส่งผลให้ความต้องการใช้พลาสติกเติบโตในอัตราที่เร็วกว่าความต้องการใช้วัสดุชนิดอื่นๆ** ไม่ว่าจะเป็นซีเมนต์ (Cement) อลูมิเนียม (Aluminum) และเหล็กกล้า (Steel) โดยมูลค่าการผลิตปิโตรเคมีโลกในปัจจุบันอยู่ที่ 5.7 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐ และมีการคาดการณ์ว่าการผลิตจะเพิ่มเป็น 4 เท่าในปี 2603

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) **เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน เป็นวัตถุดิบในการผลิตหรือวัตถุดิบตั้งต้น** (Feedstocks) **นอกเหนือไปจากใช้เป็นพลังงานในการผลิต** ทำให้เป็นอุตสาหกรรมรายใหญ่ที่สุดในการบริโภคพลังงาน หรือคิดเป็นสัดส่วนกว่า 30% ของการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรมทั้งหมด และมากกว่าอุตสาหกรรมหนักอื่นๆ อย่างอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้าและซีเมนต์ นอกจากนี้ อุตสาหกรรมปิโตรเคมียังเป็นผู้บริโภคน้ำมันและก๊าซธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆ (ไม่รวมการขนส่ง ก่อสร้างและพลังงาน) หรือคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 14% และ 8% ของการบริโภคเชื้อเพลิงดังกล่าวทั้งหมด ตามลำดับ (ภาพที่ 1 และ 2)

ภาพที่ 1

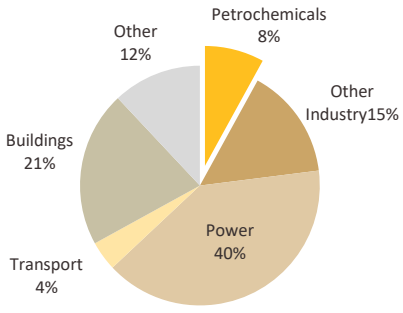
สัดส่วนความต้องการใช้น้ำมันตามภาคอุตสาหกรรมในปี 2560



Source: International Energy Agency (IEA), Krungsri Research

ภาพที่ 2

สัดส่วนความต้องการใช้ก๊าซตามภาคอุตสาหกรรมในปี 2560



Source: International Energy Agency (IEA), Krungsri Research

ปิโตรเคมีก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emissions) **2 ช่องทางด้วยกัน ได้แก่ (1) การปล่อยทางตรง** (Direct Emissions) **และ (2) การปล่อยทางอ้อม** (Indirect Emissions)

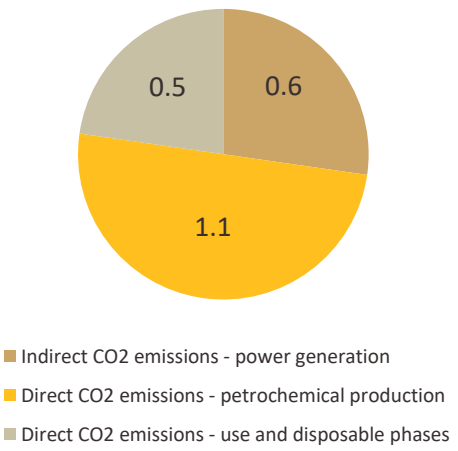
1) **การปล่อยทางตรง**: การปล่อยทางตรงจะประกอบไปด้วย 3 ช่องทางหลักคือ (1) ระหว่างการผลิต (Petrochemical Production) (2) การใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petrochemical Use) และ (3) หลังการใช้งาน (End-of-Life) จากการเผาไหม้ขยะพลาสติกด้วยเทคโนโลยีเตาเผาขยะ (Incineration) และฝังกลบ (Landfill) ส่งผลให้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั่วโลกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด โดยปล่อยก๊าซฯ ถึง 1.6 พันล้านตันต่อปี คิดเป็นอันดับ 3 รองจากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าและซีเมนต์ (ภาพที่ 3)

2) **การปล่อยทางอ้อม**: เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (Electricity Supply) ในกระบวนการผลิต ซึ่งคิดเป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.6 พันล้านตันต่อปี หรือมีสัดส่วนเกือบ 1 ใน 3 ของการปล่อยก๊าซฯ ทั้งหมดของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ภาพที่ 3

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

รวมทั้งหมด 2.2 พันล้านตันต่อปี



Source: Krungsri Research



อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

ปรากฏการณ์โลกร้อน (Global Warming) ที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากสู่ชั้นบรรยากาศโลกเป็นแรงผลักดันให้ประเทศทั่วโลกสร้างพันธสัญญาในการวางแผนลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผ่านการตั้งเป้าบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emission)[1/] เพื่อที่จะหยุดหรือชะลอปรากฏการณ์โลกร้อนที่กำลังทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ

ซึ่ง **เป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์เป็นเป้าหมายที่มีความท้าทายกว่าความเป็นกลางทางคาร์บอน** เนื่องจาก (1) **เป็นมิติที่กว้างกว่าแค่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คือ พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ส่งผลให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้น** (สามตัวหลัก ได้แก่ CO_2 CH_4 และ N_2O) และ (2) เป็นเป้าหมายที่ตั้งในระดับประเทศ **หรือหากเป็นเป้าหมายระดับองค์กรต้องมีการลดการปล่อยที่แท้จริง** (Absolute Emission Reduction) **ตลอดทั้งห่วงโซ่การผลิตทั้งต้นน้ำและปลายน้ำ** ขณะที่ในการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนนั้น ผู้ประกอบการสามารถใช้การทำกิจกรรมชดเชยการปล่อยคาร์บอน (Carbon Offsetting) เช่นการปลูกป่าหรือการซื้อคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit)[2/] โดยอาจที่ไม่จำเป็นต้องมีการลดการปล่อยที่แท้จริง[3/]

ภายใต้บริบทของเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเองต้องวางแผนลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งห่วงโซ่อุปทานด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม โดยโครงสร้างแล้วอุตสาหกรรมปิโตรเคมีใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นวัตถุดิบในการผลิตอย่างเข้มข้น ทำให้คาร์บอนจะถูกกักเก็บไว้ในสินค้า และส่งผลให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้จำกัดอยู่แค่ในขั้นตอนการผลิตที่ใช้พลังงาน แต่ยังครอบคลุมถึงการปล่อยก๊าซฯ ในขั้นตอนของการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีไปจนถึงหลังการใช้งานอีกด้วย จึงเป็นความท้าทายของทั้งผู้ประกอบการและภาครัฐในการร่วมมือกันลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อให้คลอบคลุมทั้งวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle) ของทั้งอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

1/ ก๊าซเรือนกระจกประกอบไปด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นต้น ซึ่งการผลิตพลาสติกส่วนใหญ่จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก ด้วยเหตุนี้ ในบทความนี้ การบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero Emission) จะหมายถึงการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อบรรลุเป้าหมายดังกล่าวเป็นสำคัญ

2/ สามารถศึกษารายละเอียด Carbon Credit เพิ่มเติมได้ที่ https://www.krungsri.com/th/research/research-intelligence/carbon-credit-2023

3/ สามารถศึกษารายละเอียดความแตกต่างระหว่างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์และความเป็นกลางทางคาร์บอนเพิ่มเติมได้ที่ https://www.weforum.org/agenda/2022/08/carbon-neutral-net-zero-sustainability-climate-change/



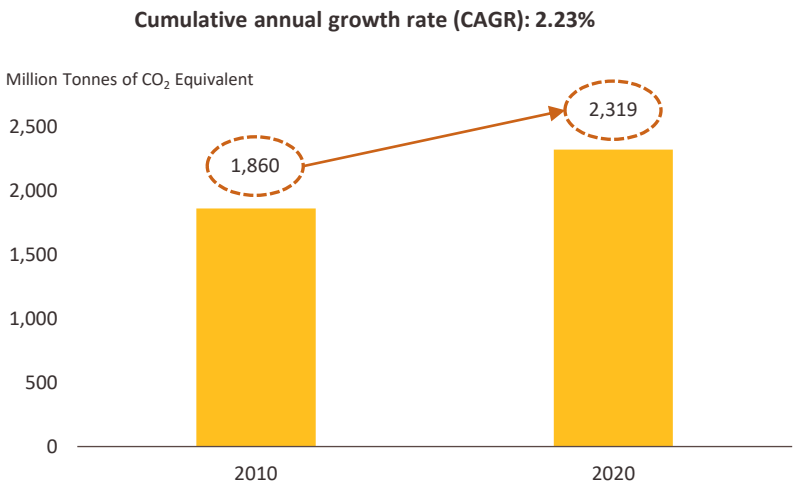
ผลกระทบของ Net Zero Emission ต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมี

สถานการณ์ปัจจุบันของการลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ในช่วงที่ผ่านมา เทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Improvement) **ถือเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี** โดยจะเห็นได้จากสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั้งหมด (ทั้งพลังงานและวัตถุดิบ) ค่อยๆ ลดลงจากประมาณ 60% เมื่อหลายทศวรรษที่ผ่านมาเป็นกว่า 40% ในปัจจุบันสะท้อนว่าอุตสาหกรรมนี้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้น **อย่างไรก็ตาม การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปิโตรเคมียังคงเพิ่มขึ้นตามความต้องการผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ขยายตัวต่อเนื่อง** โดยในช่วงระหว่างปี 2553-2563 อุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั่วโลกปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 2.23% (ภาพที่ 4) สะท้อนว่า แม้ว่าการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะมีส่วนช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมได้บ้าง แต่ช่องทางดังกล่าวยังไม่เพียงพอ **จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มบทบาทของช่องทางอื่น ๆ ตลอดจนประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อให้อุตสาหกรรมปิโตรเคมีสามารถบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้**

ภาพที่ 4

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั่วโลกระหว่างปี 2553 และ 2563



Source: Statista, Krungsri Research

ช่องทางและเทคโนโลยีในการนำไปสู่การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

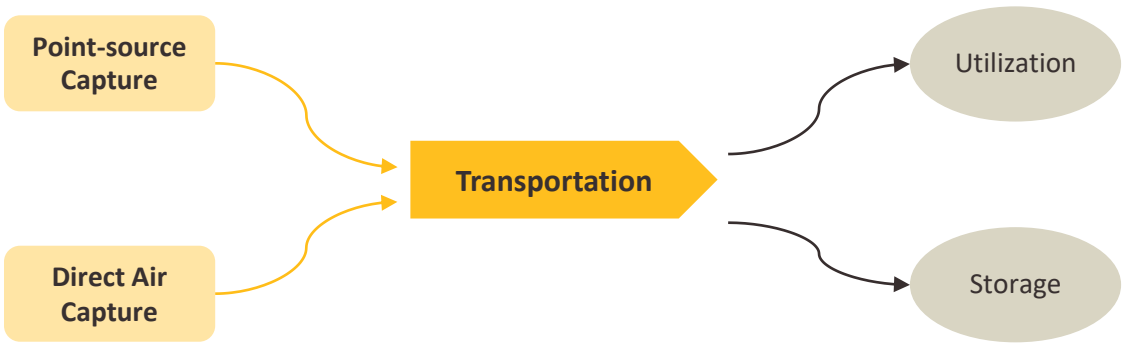
นอกเหนือจากการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้แล้ว การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีสามารถทำได้อีกหลายวิธีด้วยโครงสร้างของอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยประกอบไปด้วย 4 รูปแบบหลักได้แก่ (1) **เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน** (Carbon Capture, Utilization and Storage: CCUS) (2) **การใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้น** (Biomass Feedstocks) (3) **การใช้ไฮโดรเจนสีเขียวเป็นวัตถุดิบตั้งต้น** (Green Hydrogen) **และ** (4) **แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน** (Circular Economy)

I. เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture, Utilization and Storage: CCUS)

เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน (CCUS) คือกลุ่มเทคโนโลยีสำหรับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือกำจัดก๊าซดังกล่าวออกจากชั้นบรรยากาศ โดยการดักจับ (Capture) คือเทคโนโลยีที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซอื่นๆ จากแหล่งที่ปล่อย (Point-source Capture) ซึ่งอาจจะมาจากแหล่งอุตสาหกรรม (Industrial Facility) เช่น โรงงานผลิตปิโตรเคมีหรือจากชั้นบรรยากาศโดยตรง (Direct Air Capture)[4/] ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับจากทั้ง 2 วิธีจะถูกอัดและขนส่งผ่านท่อเพื่อใช้ในการผลิตสินค้าที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ (Utilization) หรืออาจนำไปกักเก็บทางธรณีวิทยา (Storage) (ภาพที่ 5)

ภาพที่ 5

โครงสร้างหลักของเทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน



Source: US Government Accountability Office (GAO), Krungsri Research

เนื่องจากการผลิตปิโตรเคมีต้องใช้ความร้อนสูง ส่วนใหญ่จึงใช้การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel Combustion) เป็นหลัก ซึ่งการเผาไหม้ดังกล่าวจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณ 2 ใน 3 ของการปล่อยก๊าซจากกระบวนการของการผลิตปิโตรเคมี ขณะที่การปล่อยก๊าซฯ ในส่วนที่เหลือจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต (Emission Process) จากปฏิกิริยาเคมี (Chemical Reaction) ทั้งนี้ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยรวมจากการผลิตปิโตรเคมีทั่วโลกมีปริมาณประมาณ 1.1 พันล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นเกือบครึ่งหนึ่งของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงทั้งหมดของภาคอุตสาหกรรม

ทั้งนี้ **เทคโนโลยี CCUS จะถูกติดตั้งที่โรงงานเพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการผลิตปิโตรเคมี และจะถูกขนส่งผ่านท่อเพื่อกักเก็บทางธรณีวิทยาหรือแปลงเป็นสินค้าที่มีมูลค่าทางตลาดต่อไป** ซึ่งเทคโนโลยี CCUS มีศักยภาพที่จะสามารถดักจับก๊าซฯ ได้ประมาณ 3 ใน 4 ของก๊าซฯ ที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ภายในปี 2593 (ค.ศ. 2050) สะท้อนถึงความสามารถระดับสูงที่จะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

4/ Direct Air Capture เป็นเทคโนโลยีที่สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงจากอากาศด้วยตัวดูดซับ และนำไปแยกเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ หรืออัดกลับไปกักเก็บในชั้นหินใต้ดินหรือใต้ทะเล สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://read.oecd-ilibrary.org/energy/direct-air-capture_bbd20707-en#page1

จุดเด่นของเทคโนโลยี CCUS:

1) **สามารถใช้กับเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยที่ไม่จำเป็นที่จะต้องพลิกโฉมกระบวนการผลิตใหม่ทั้งหมด** ซึ่งจะแตกต่างกับช่องทางและเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น Green Hydrogen ที่จะต้องสร้างห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ขึ้นมาใหม่

2) **สามารถใช้ร่วมกับช่องทางและเทคโนโลยีอื่น ๆ** ได้ ไม่ว่าจะเป็น Biomass Feedstocks และ Circular Economy จึงเป็นการเพิ่มศักยภาพและขยายขอบเขตของการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไปยังส่วนอื่นของห่วงโซ่อุปทาน ที่ไม่ได้จำกัดเฉพาะการผลิตปิโตรเคมีเพียงอย่างเดียว เช่น การใช้ CCUS เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy) เป็นต้น

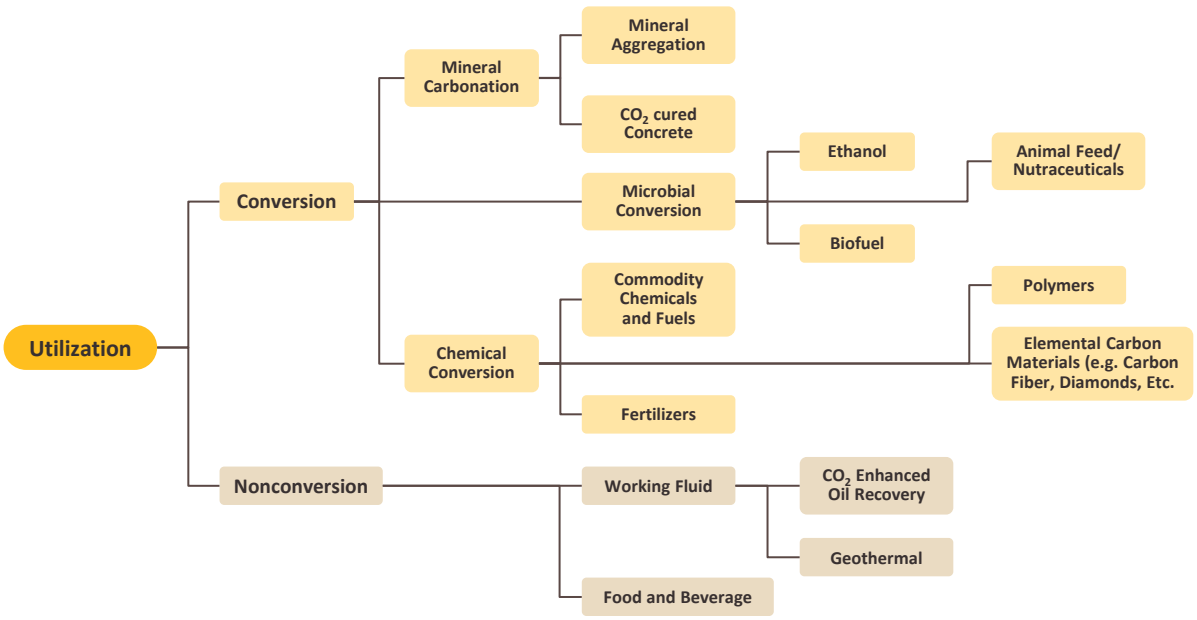
ความท้าทายในการใช้งานในวงกว้าง: แม้ว่าเทคโนโลยี CCUS จะมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในปัจจุบัน โรงงานดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ (Commercial Large-scale Carbon Capture and Storage Facilities) มีเพียง 20 กว่าแห่งที่ดำเนินการอยู่ทั่วโลก โดยดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 50 ล้านตันต่อปี อย่างไรก็ตาม CCS Institute ประเมินว่าหากต้องการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ที่ทั้งโลกวางไว้ จะต้องมีโรงงาน CCUS เชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่มากกว่า 2,000 แห่ง

ซึ่งความท้าทายที่สำคัญของการขยายขอบเขตของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CCUS คือความท้าทายเชิงธุรกิจ เพราะผู้ประกอบการที่ใช้ช่องทางนี้มีความจำเป็นที่จะต้องลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (Long-lived Assets) โดยนอกเหนือไปจากเทคโนโลยีดักจับแล้ว ผู้ประกอบการยังต้องลงทุนในท่อสำหรับขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Transport Pipelines) และโครงสร้างสำหรับกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ทางธรณีวิทยา (Geological Storage Resources) ซึ่งจะต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมากและมีระยะเวลาในการก่อสร้างที่ยาวนาน

ขณะที่การประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับ (Carbon Capture and Utilization) **ซึ่งเป็นแหล่งรายได้ของผู้ประกอบการยังอยู่ในวงจำกัด** และส่วนใหญ่จะอยู่ในหมวดที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์โดยไม่ได้มีการแปลงสภาพ (Non-conversion) เช่น การใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (Oil and Gas Industry) เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำมัน (Enhanced Oil Recovery: EOR) ซึ่งคิดเป็นประมาณ 70% ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับทั้งหมด (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6

การประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับและการแปลงสภาพเป็นสินค้าต่าง ๆ



Source: US Government Accountability Office (GA), Krungsri Research

ในทางปฏิบัติแล้ว การประยุกต์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมักจำกัดอยู่แค่ในการใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอย่างปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น โครงการ Qilu Petrochemical-Shengli Oilfield CCUS ของประเทศจีน ซึ่งเป็นการรวมกันของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี บ่อน้ำมันและเทคโนโลยีการดักจับ โดยโรงงานปิโตรเคมี Qilu จะดักจับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เทคโนโลยีการดักจับ และจะขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดับจับไปที่บ่อน้ำมัน Shengli เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำมัน

ด้วยมูลค่าการลงทุนที่สูงขณะที่การประยุกต์ใช้ยังมีอยู่อย่างจำกัด จึงเป็นความท้าทายที่สำคัญของการใช้เทคโนโลยี CCUS อย่างแพร่หลายในวงกว้างในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

<u>โอกาสของเทคโนโลยี</u>: ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เทคโนโลยี CCUS ถูกใช้อย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น คือการใช้คาร์บอนไดออกไซด์โดยแปลงสภาพเป็นสินค้าต่าง ๆ (Conversion) ซึ่งในปัจจุบันยังเป็นช่องทางที่ไม่แพร่หลายนัก โดยมีสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยมาก จึงมีศักยภาพในการเติบโตอีกมาก โดย Lux Research, Inc. ประเมินว่ามูลค่าตลาดของสินค้าที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ (CO_2-based Products) ในปี 2573 จะอยู่ที่ 7 หมื่นล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือขยายตัวสูงถึงปีละ 53% (CAGR) จากระดับปัจจุบันที่ 1 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ทั้งนี้ สินค้าที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ (1) มวลรวมที่เกิดจากการสังเคราะห์ (Synthetic Mineral Aggregates) อาทิ ชอล์ก (Chalk) และหินปูน (Limestone) (2) คอนกรีตที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนผสมเพื่อทดแทนการใช้น้ำ (CO_2-cured Concrete) (3) เคมีโภคภัณฑ์และเชื้อเพลิง (Commodity Chemicals and Fuels) และ (4) พอลิเมอร์ (Polymer) อาทิ พลาสติกและยางสังเคราะห์ ซึ่งเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบขึ้นจากหน่วยเล็กๆ ที่เรียกว่ามอนอเมอร์ (Monomer)[5/] ซึ่งสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแล้ว คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดักจับในการผลิตปิโตรเคมีจะเป็นอุปทานที่สำคัญในการผลิตสินค้าปิโตรเคมี เช่น Methanol และ Ethylene ผ่านช่องทาง Green Hydrogen ซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

5/ ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://www.gao.gov/assets/gao-22-105274.pdf

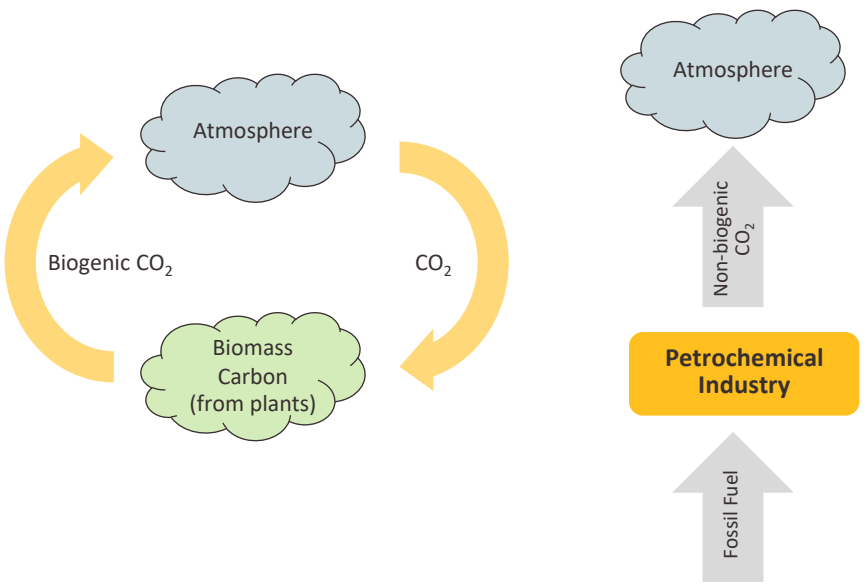
II. การใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้น (Biomass Feedstocks)

วิธีนี้จะนำเอาชีวมวลชนิดต่างๆ มาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ตัวอย่างเช่น การผลิตพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีน (Bio-Polyethylene: Bio-PE) จะนำเอา (1) วัตถุดิบจากพืชที่เป็นอาหาร เช่น อ้อย ข้าวโพด และมันสำปะหลัง (2) วัตถุดิบจำพวกลิกโนเซลูโลส (Ligno Cellulose) ซึ่งหาได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (Crop Residue) เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย และต้นหญ้า มาแปลงเป็นไบโอเอทานอล (Bioethanol) ผ่านกระบวนการชีวภาพในโรงกลั่นชีวภาพ (Biorefinery) ก่อนที่จะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพพอลิเอทิลีนในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่อไป

การใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีมีศักยภาพในการช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากพืชที่ใช้ผลิตเป็นวัตถุดิบตั้งต้นจะช่วยดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศในขณะที่เจริญเติบโต และคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกักเก็บไว้ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีตลอดช่วงวงจรชีวิต (Product Life Cycle) ก่อนจะถูกปลดปล่อยอีกครั้งหลังการใช้ (End of Life) โดยการเผา (Incineration) หรือการฝังกลบ (Landfill) อย่างไรก็ตาม คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกชดเชยด้วยการดูดซับจากพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นและกลับเข้าสู่วงจรอีกครั้ง (Biogenic Carbon) ซึ่งจะแตกต่างจากการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีในปัจจุบันที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นวัตถุดิบตั้งต้น เช่นแนฟทา ที่ไม่มีกลไกดังกล่าว ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่สู่ชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 7)

ภาพที่ 7

คาร์บอนที่มาจากชีวมวล (Biogenic) เทียบกับคาร์บอนที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Non-biogenic)



Source: IEA Bioenergy, Krungsri Research

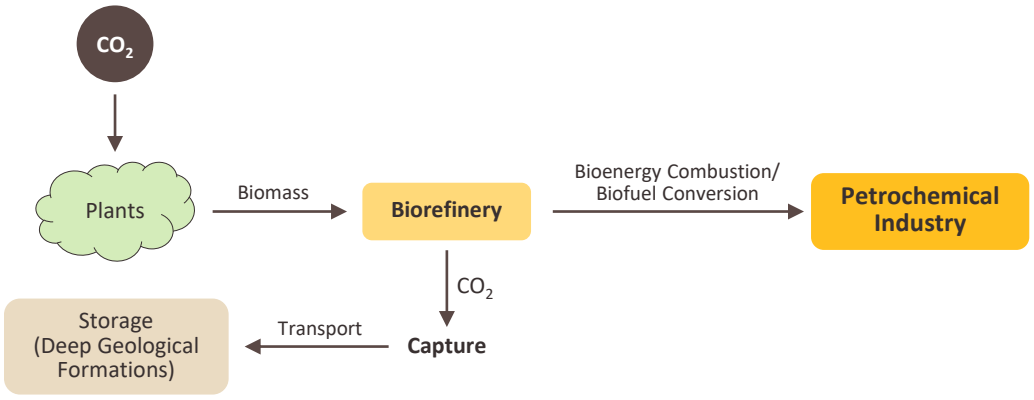
<u>จุดเด่นของเทคโนโลยี</u>: ข้อดีที่สำคัญของการใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีมีด้วยกัน 2 ประการได้แก่

1) **ความสามารถในการใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น เทคโลยี** CCUS เพื่อดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการแปลงชีวมวลให้เป็นพลังงาน เช่น ไบโอเอทานอล หรือที่เรียกว่าการผลิตพลังงานชีวภาพพร้อมกับดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Bioenergy with Carbon Capture and Storage: BECCS)[6/] ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซฯ ของช่องทางการใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นให้มากยิ่งขึ้น (ภาพที่ 8)

2) BECCS **อาจมีต้นทุนในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกว่า เมื่อเทียบกับการดักจับฯ ในอุตสาหกรรมอื่นๆ** โดยเฉพาะการแปลงชีวมวลให้เป็นไบโอเอทานอล เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการผลิตไบโอเอทานอลจะมีความเข้มข้นมากกว่า (High CO_2 Concentration) เมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการผลิตในอุตสาหกรรมอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นเหล็กกล้า ไฟฟ้าและซีเมนต์ ทำให้มีต้นทุนในการดักจับฯ ที่ต่ำกว่า

ภาพที่ 8

การผลิตพลังงานชีวภาพพร้อมกับดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



Source: Global CCS Institute, Krungsri Research

6/ BECCS เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ (Carbon Dioxide Removal) สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2020/04/BIOENERGY-AND-CARBON-CAPTURE-AND-STORAGE_Perspective_New-Template.pdf

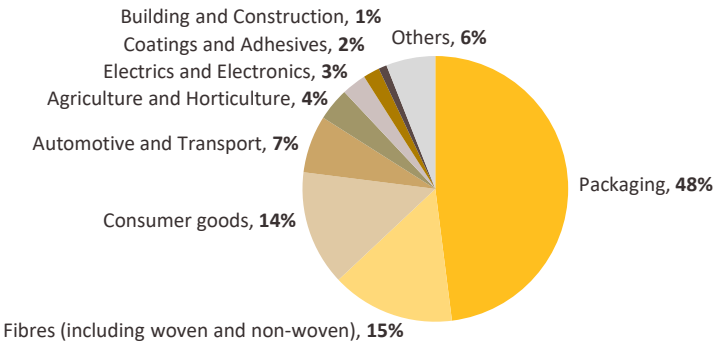
<u>ความท้าทายในการใช้งานในวงกว้าง</u>: ในปัจจุบัน พลาสติกชีวภาพคิดเป็นเพียง สัดส่วน 2% ของการผลิตพลาสติกทั้งหมด หรือประมาณ 2.2 ล้านตันในปี 2565 อย่างไรก็ตาม ภายในปี 2593 ประมาณ 1 ใน 5 ของพลาสติกที่ผลิตทั้งหมดจะต้องมาจากชีวมวล เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ได้ ซึ่งหมายความว่าจะต้องใช้ชีวมวลมากถึง 1.2 พันล้านตัน หรือเทียบเท่ากับศักยภาพในการผลิตพลังงานชีวมวลทั้งหมดของสหรัฐฯ ในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ **การหาแหล่งชีวมวลที่มีปริมาณเพียงพอและยั่งยืน** (Availability of Sustainable Biomass Feedstocks) **จึงเป็นความท้าทายที่สำคัญในการใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี** เนื่องจากชีวมวลเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในกิจกรรมทางเศรษฐกิจด้านอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ผลิตเป็นอาหาร เชื้อเพลิงชีวมวล (Biofuel) สำหรับภาคขนส่ง ความร้อนสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมและการผลิตไฟฟ้า โดยความต้องการเหล่านี้จะมีทิศทางที่เพิ่มขึ้นตามประชากรโลกและกระแสรักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Concerns) ซึ่งอาจทำให้มีปริมาณชีวมวลไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตเช่นเดียวกัน

<u>โอกาสของเทคโนโลยี</u>: ช่องทาง Biomass Feedstocks มีศักยภาพในการเติบโตสูง เนื่องจากพลาสติกชีวภาพมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นอย่างมาก ทำให้สามารถประยุกต์ใช้พลาสติกชีวภาพในอุตสาหกรรมปลายน้ำได้หลากหลายเช่นเดียวกันกับพลาสติกที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ภาพที่ 9) แต่ปัจจุบัน การผลิตพลาสติกชีวภาพคิดเป็นเพียง 2% ของการผลิตปิโตรเคมีทั้งหมด ทำให้ยังมีโอกาสในการเติบโตอีกมาก นอกจากนี้ Braskem Netherland มองว่าในอนาคตกิจกรรมทางเศรษฐกิจอื่นๆ อาจดึงอุปทานชีวมวลจากการผลิตพลาสติกชีวภาพไปบ้าง จนอาจเป็นอุปสรรคในการเติบโตได้ แต่ความท้าทายดังกล่าวน่าจะเกิดขึ้นในอีกหลายปีข้างหน้า ทำให้ในปัจจุบันยังมีโอกาสใช้ Biomass Feedstocks เพื่อลดการปล่อยก๊าซฯ อยู่มาก

ภาพที่ 9

กำลังการผลิตรวมของพลาสติกชีวภาพทั่วโลกในปี 2566 (ตามสัดส่วนการใช้ในธุรกิจปลายน้ำ)

รวมทั้งหมด 2.2 ล้านตัน (%)



Source: European Bioplastics, nova-institute (2022)

III. การใช้ไฮโดรเจนสีเขียว (Green Hydrogen) เป็นวัตถุดิบตั้งต้น

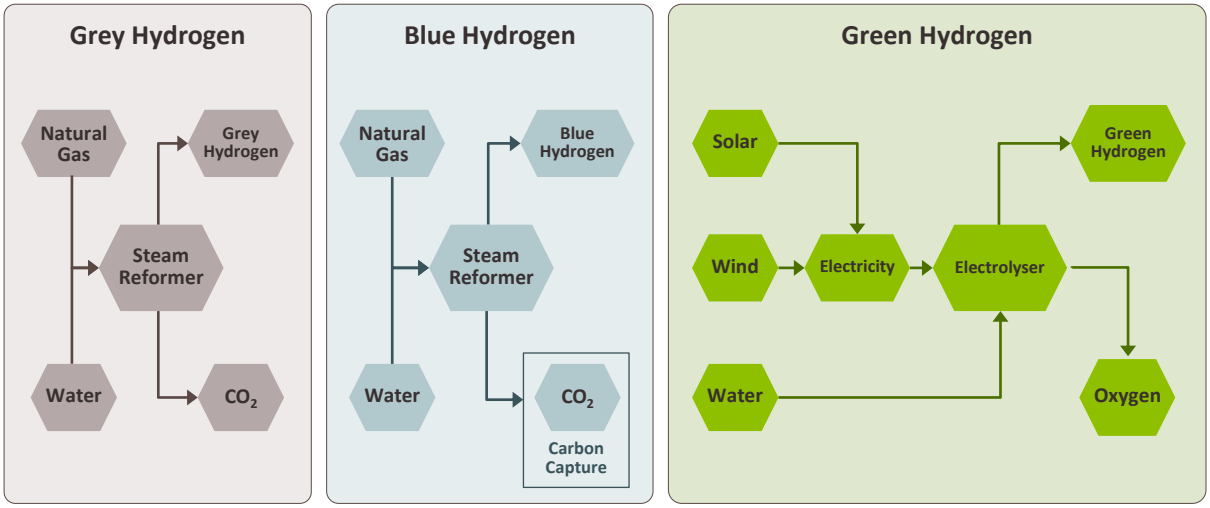
ไฮโดรเจนสีเขียว (Green Hydrogen) หรือไฮโดรเจนหมุนเวียน (Renewable Hydrogen) สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ โดย ไฮโดรเจนสีเขียวจะถูกผลิตผ่านกระบวนการแปรสภาพน้ำให้เป็นไฮโดรเจนและอ๊อกซิเจน (Electrolysis) ด้วยพลังงานไฟฟ้าที่มาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Electricity) อาทิ พลังงานลมและแสงอาทิตย์[7/] จึงปราศจากคาร์บอน เนื่องจากไม่ได้ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกับไฮโดรเจนทั่วไปที่ส่วนใหญ่ผลิตโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By-product) ในกระบวนการผลิต เรียกกันว่าไฮโดรเจนสีเทา (Grey Hydrogen) (ภาพที่ 10)

ไฮโดรเจนสีเขียวดังกล่าวจะเป็นวัตถุดิบตั้งต้นร่วมกับคาร์บอนเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี เช่น ปิโตรเคมีสายโอเลฟิน อาทิ เอทิลีน (Ethylene) และ โพรไพลีน (Propylene) ผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น (1) Methanol-to-Olefin (MTO) ซึ่งจะใช้เมทานอล (Methanol) ที่ได้จาก ไฮโดรเจนสีเขียว แทนเมทานอลที่ผลิตจากไฮโดรเจนสีเทา ในการผลิตโอเลฟินและ (2) การผลิตแนฟทาสังเคราะห์ (Synthetic Naphtha) จากไฮโดรเจนสีเขียวและคาร์บอน แทนแนฟทาที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นต้น

จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตไฮโดรเจนสีเขียวจะไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาแต่อย่างใด ในขณะเดียวกันก็สามารถใช้คาร์บอนที่ได้จากการดักจับจากเทคโนโลยี CCUS มาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นร่วมได้ ซึ่งทั้ง 2 องค์ประกอบจะทำให้การใช้ไฮโดรเจนสีเขียวสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมาก

ภาพที่ 10

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนสีเทา สีฟ้าและสีเขียว



Source: Deloitte Analysis, Hydrogen Council, Krungsri Research

7/ การผลิต Green Hydrogen สามารถใช้กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Gasification) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ความร้อน ไอน้ำและอ๊อกซิเจนในการแปรสภาพชีวมวลเป็นไฮโดรเจนโดยที่ไม่ต้องมีการเผาไหม้ สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://www.etipbioenergy.eu/images/Renewable_Hydrogen_Production_from_Biomass.pdf

<u>จุดเด่นของเทคโนโลยี</u>: สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไฮโดรเจนสีเขียวควบคู่กับเทคโนโลยีอื่นๆ โดยเฉพาะเทคโนโลยี CCUS **ที่สามารถดักจับคาร์บอน เพื่อให้ได้คาร์บอนที่นำกลับมาใช้ใหม่** (Recycled Carbon) **เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นร่วมในการผลิตผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี** อย่างไรก็ตาม หากเทคโนโลยีไฮโดรเจนสีเขียวนี้แพร่หลายมากขึ้น คาร์บอนที่ดักจับจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการในอุตสาหกรรม ส่งให้ต้องมีการใช้คาร์บอนจากอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งจะเป็นการช่วยสนับสนุนการใช้เทคโนโลยี CCUS และตลาดคาร์บอนให้เติบโตในอนาคต

<u>ความท้าทายในการใช้งานวงกว้าง</u>: ความท้าทายในการใช้เทคโนโลยีไฮโดรเจนสีเขียวมีด้วยกัน 2 ประการได้แก่

1) **ต้นทุนที่สูงกว่าไฮโดรเจนสีเทา** โดยในปัจจุบัน ไฮโดรเจนสีเขียวมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 3-8 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อกิโลกรัมไฮโดรเจน (H_2 Kg) ซึ่งยังสูงกว่าการผลิตไฮโดรเจนสีเทาที่มีต้นทุนการผลิตเพียง 0.5-1.7 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ H_2 Kg หรือต่างกันประมาณ 2-7 เท่า ทำให้ไฮโดรเจนสีเขียวยังไม่สามารถแข่งขันกับไฮโดรเจนที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติเพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้เท่าใดนัก

2) **ต้องใช้เวลาอีกนานกว่าไฮโดรเจนสีเขียวจะมีความได้เปรียบทางด้านต้นทุน** เนื่องจากต้นทุนไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากในการกำหนดราคาไฮโดรเจนสีเขียว โดยคิดเป็นสัดส่วน 50-90% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ซึ่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยการใช้แผงโซล่าเซลล์ (Solar Photovoltaic: Solar PV) เป็นหนึ่งในพลังงานที่ใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่าแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงอย่างตะวันออกกลาง ภายใต้ฉากทัศน์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero Emission Scenario) ของ International Energy Agency (IEA) เมื่อต้นทุน Solar PV และ Electrolyser (เครื่องแปรสภาพน้ำให้เป็นไฮโดรเจนและอ๊อกซิเจน) ปรับลดลง ไฮโดรเจนที่ผลิตจาก Solar PV ในตะวันออกกลางที่มีต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า 17 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ MWh จะมีต้นทุนการผลิตไฮโดรเจนสีเขียวต่ำกว่า 1.5 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ H_2 Kg ในปี 2573 ซึ่งจะใกล้เคียงกับต้นทุนของไฮโดรเจนที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติที่ใช้ร่วมกับ CCUS หรือที่เรียกว่า Blue Hydrogen (ไฮโดรเจนสีฟ้า) และในปี 2593 หากราคา Solar PV เป็นไปตามฉากทัศน์ที่ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า 12 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ MWh จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฮโดรเจนสีเขียวลดลงมาอยู่ที่ 1 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ H_2 Kg ซึ่งเป็นราคาที่สามารถแข่งขันกับการผลิตไฮโดรเจนสีเทาได้

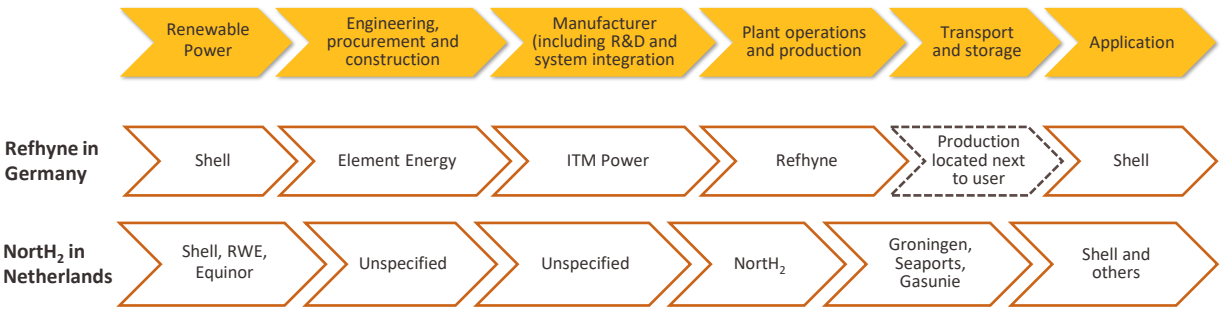
จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าจะต้องใช้เวลาอีกกว่า 2 ทศวรรษกว่าที่ไฮโดรเจนสีเขียวจะเริ่มมีความได้เปรียบในด้านต้นทุนเมื่อเทียบกับไฮโดรเจนสีเทา ปัจจัยนี้จึงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการใช้ไฮโดรเจนสีเขียวเพื่อบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่สูงมากนัก

<u>โอกาสของเทคโนโลยี</u>: Deloitte **ประเมินว่ามูลค่าตลาดไฮโดรเจนสีเขียวจะเติบโตจากเพียง** 1.6 **แสนล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี** 2565 **เป็น** 1.4 **ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี** 2593 **หรือขยายตัวสูงถึง** 8.1% **ต่อปี** (CAGR) **ซึ่งเป็นโอกาสสำหรับผู้ประกอบการปิโตรเคมีในการขยายธุรกิจไปสู่การเป็นผู้ผลิตไฮโดรเจนสีเขียว** เพื่อป้อนให้กับธุรกิจปิโตรเคมีตลอดจนอุตสาหกรรมอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น ซีเมนต์ เหล็กกล้าและการขนส่ง ที่สามารถใช้ไฮโดรเจนสีเขียวในการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม Bain and Company **มองว่ากว่าที่ตลาดไฮโดรเจนสีเขียวจะพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญจะต้องรอถึงปี** 2573 ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการแข่งขันด้านราคาของการผลิตไฮโดรเจนสีเขียว โดยในช่วงแรกคาดว่าจะเป็น โครงการในรูปแบบของกิจการค้าร่วม (Hydrogen Project Consortium) โดยความร่วมมือกันของธุรกิจที่มีความชำนาญในแต่ละด้านไม่ว่าจะเป็นพลังงานสะอาด โครงสร้างพื้นฐาน การผลิตไฮโดรเจนสีเขียว การขนส่งและการเก็บรักษา และการประยุกต์ใช้ โดยในปัจจุบันโครงการไฮโดรเจนสีเขียวหลายโครงการมี ผู้ประกอบการน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ (Oil and Gas) เป็นทั้งเจ้าของโครงการ (Project Developer) และผู้รับซื้อ (Off taker) ซึ่งเป็นบทบาทที่สำคัญอย่างมากต่อการสร้างห่วงโซ่อุปทานไฮโดรเจนสีเขียวให้มีความแข็งแกร่ง (ภาพที่ 11)

ภาพที่ 11

ความร่วมมือของบริษัทในรูปแบบของกิจการค้าร่วม (Consortia) **ทั้งห่วงโซ่คุณค่า** (Value Chain)



Source: Bain & Company analysis, Krungsri Research

ในระยะถัดไป ห่วงโซ่อุปทานของไฮโดรเจนสีเขียวจะรวมตัวกัน (Consolidation) มากขึ้น เนื่องจากธุรกิจขยายกิจการไปสู่ต้นน้ำหรือปลายน้ำ (Backward and Forward Integration) เช่น ผู้ประกอบการปิโตรเคมีที่อยู่ปลายน้ำซึ่งเป็นผู้รับซื้อและเริ่มมีความชำนาญในการประยุกต์ใช้ไฮโดรเจนสีเขียว อาจขยายกิจการไปสู่ธุรกิจต้นน้ำอย่างการผลิตไฮโดรเจนสีเขียวหรือ Electrolyser เพื่อเพิ่มขยายตลาด (Market Opportunity) ความสามารถในการทำกำไร (Increased Profitability) และความมั่นคงทางด้านวัตถุดิบตั้งต้น (Greater Feedstock Control)

IV. แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)

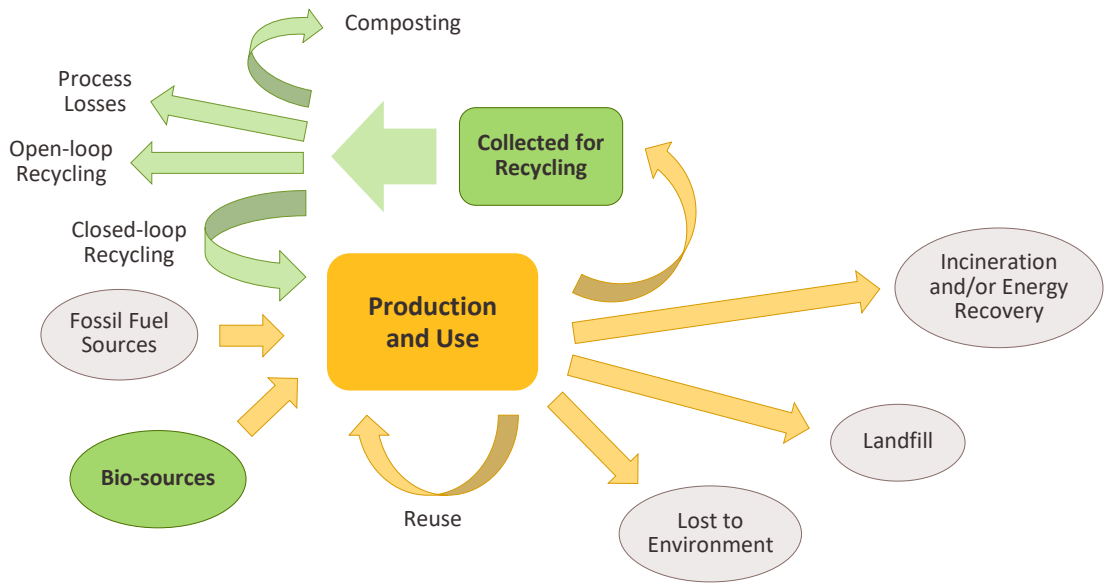
แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนประกอบไปด้วย (1) การลดความต้องการใช้ (Demand Reduction) (2) การใช้ซ้ำ (Reuse) (3) การรีไซเคิล (Recycle) และ (4) การนำพลังงานกลับมาใช้ (Energy Recovery) หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นแนวคิดที่มุ่งเน้น “ปิดรอยรั่ว” ให้ระบบเศรษฐกิจ โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 12)

1) **การลดความต้องการใช้** มีแนวโน้มที่เข้มข้นมากยิ่งขึ้น โดยในช่วงที่ผ่านมารัฐบาลทั่วโลกได้ออกมาตรการที่เข้มงวดยิ่งขึ้นในการควบคุมผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยเฉพาะการใช้ถุงพลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียว (Single-use Plastic) และมีการส่งเสริมและรณรงค์ให้ใช้ซ้ำและรีไซเคิล

2) **การใช้ซ้ำ** คือการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกระบวนการ เช่น การปรับปรุงแปรสภาพของที่ใช้แล้วให้มีคุณสมบัติเหมือนของใหม่ (Remanufacture) โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วและไม่ได้ถูกนำมาใช้ซ้ำจะกลายเป็นขยะพลาสติก (Plastic Waste) ซึ่งบางส่วนจะถูกเก็บเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่

ภาพที่ 12

วงจรชีวิตพลาสติก: การผลิต การใช้ ขยะพลาสติกและการรีไซเคิล



Source: Pollution Control Department, Local news, Krungsri Research

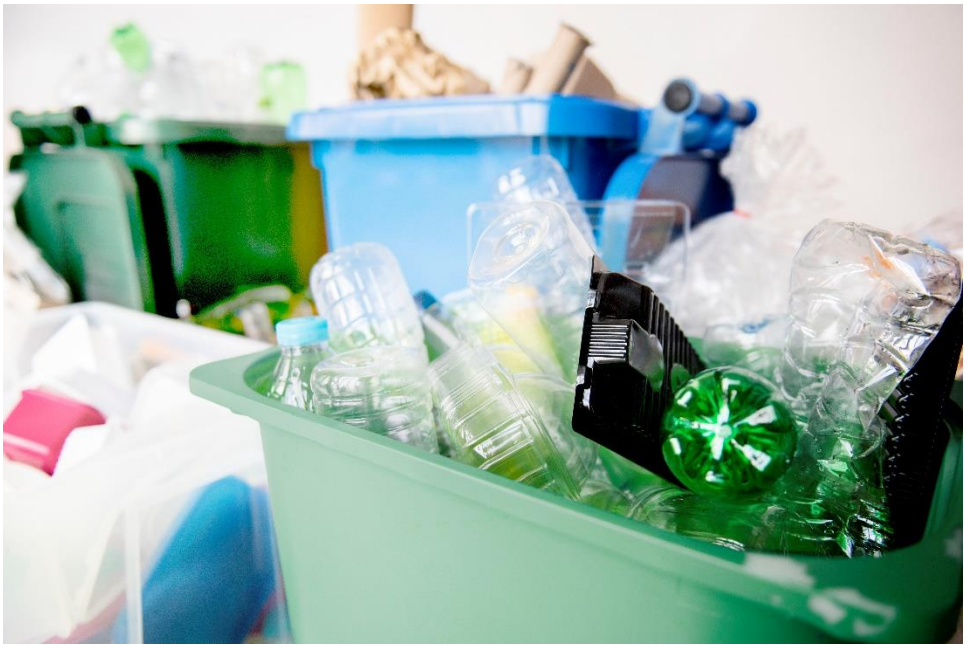
3) **การรีไซเคิล** สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ i) การรีไซเคิลกายภาพ (Mechanical Recycle) เป็นการนำพลาสติกที่ใช้งานแล้วมาคัดแยกตามประเภท ก่อนล้างทำความสะอาด บดเป็นชิ้นเล็กๆ และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกรีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่แทนการใช้เม็ดพลาสติกใหม่ (Virgin Plastic) ii) การรีไซเคิลเชิงเคมี (Chemical Recycle) เป็นการเปลี่ยนพลาสติกที่ใช้แล้วเพื่อคืนสภาพสู่สารตั้งต้น เช่น มอนอเมอร์ (Monomer) แนฟทา (Naphtha) และน้ำมันดิบสังเคราะห์ (Synthetic Crude Oil) โดยสารตั้งต้นที่ได้มานี้มักมีคุณภาพเหมือนของใหม่

4) **การนำพลังงานกลับมาใช้** คือการนำขยะพลาสติกที่ไม่ถูกรีไซเคิลและ/หรือไม่สามารถรีไซเคิลได้มาทำเป็นพลังงาน เช่น ความร้อน ไฟฟ้า และเชื้อเพลิง โดยผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเผา (Incineration) การทำให้เกิดก๊าซ (Gasification) และการดึงก๊าซจากหลุมฝังกลบ (Landfill Gas Recovery) เป็นต้น

องค์ประกอบของ เศรษฐกิจหมุนเวียน 3 วิธีแรก จะช่วยลดการผลิตปิโตรเคมีที่ใช้วัตถุดิบตั้งต้นจากเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ การรีไซเคิลโดยทั่วไปจะใช้พลังงานในระดับที่ต่ำกว่าการผลิตปิโตรเคมีโดยตรงจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยการนำกลับมาใช้ใหม่จะสามารถลดการใช้พลังงานและวัตถุดิบได้ถึง 50% เมื่อเทียบกับการใช้วัตถุดิบตั้งต้นใหม่

ขณะที่การนำพลังงานกลับมาใช้จะช่วยจัดการขยะพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากในปัจจุบัน ขยะพลาสติกที่ไม่ถูกรีไซเคิลและ/หรือไม่สามารถรีไซเคิลได้จะถูกนำไปเผา (25% ของขยะพลาสติกทั้งหมด) หรือฝังกลบ (40% ของขยะพลาสติกทั้งหมด) ซึ่งหากไม่ได้มีการจัดการที่ดี ทั้ง 2 วิธีดังกล่าวจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยเหตุนี้ การเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นพลังงาน (Waste to Energy) จึงช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ **อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตพลังงานจากขยะพลาสติกจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศเฉกเช่นเดียวกันกับการผลิตปิโตรเคมี ดังนั้น เพื่อบรรลุเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จะต้องประยุกต์ใช้กระบวนการผลิตพลังงานจากขยะพลาสติกร่วมกับเทคโนโลยี CCUS ด้วยเช่นกัน**

จุดเด่นของเทคโนโลยี: สามารถประยุกต์ใช้การรีไซเคิลควบคู่ไปกับพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ได้ โดยพลาสติกชีวภาพหลายชนิดในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็น Bio-based Polyethylene Terephthalate (Bio-PET) และ Bio-based High Density Polyethylene (Bio-HDPE) สามารถนำไปรีไซเคิลในระบบเดียวกันกับที่รีไซเคิล PET และ HDPE ที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากมีคุณลักษณะทางเคมีที่เหมือนกัน ส่งผลให้เป็นการเพิ่มศักยภาพในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้ง 2 ช่องทางมากยิ่งขึ้น



<u>ความท้าทายในการใช้งานวงกว้าง</u>: หนึ่งในความท้าทายที่สำคัญของแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนคือ อัตราการรีไซเคิลในปัจจุบันอยู่ที่เพียง 9% ของขยะพลาสติกทั้งหมด ซึ่งหากต้องการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ สัดส่วนของขยะพลาสติกที่ถูกเก็บเพื่อรีไซเคิลจะต้องเพิ่มเป็น 50%

ในปัจจุบัน ธุรกิจบรรจุภัณฑ์และค้าปลีกทั่วโลกกว่า 80 แห่งตั้งเป้าหมายไว้ว่าบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ห่อสินค้าต่างๆ จะต้องมีสัดส่วนของวัตถุดิบรีไซเคิล 15-50% ของการใช้วัตถุดิบทั้งหมด นอกจากนี้ รัฐบาลในหลายประเทศได้ออกมาตรการต่างๆ เพื่อสนับสนุนการรีไซเคิล เช่น (1) นโยบายมุ่งเน้นการลด/เลิกการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง (2) นโยบายขยายความรับผิดชอบไปยังผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility: EPR) และ (3) การกำหนดปริมาณวัสดุรีไซเคิล (Recycled Content Requirements) เป็นต้น (ตาราง 1)

ตารางที่ 1

ความก้าวหน้าด้านความยั่งยืน (ในวงเล็บ) และกฎระเบียบการรีไซเคิลตามภูมิภาค[8/]

	CPG commitments and focus	Taxes and EPR[9/]	Single-use plastics (SUP) regulations	Recycling regulations
China	Recycled content **(Medium)**	EPR in implementation **(Low)**	Required bio-degradable for bags and food-service plastics **(High)**	Waste import ban **(Low)**
North America	Packaging recyclability, recycled content **(High)**	Canada: Province-level EPR US: State-level EPR in process **(Medium)**	Canada: 2022 ban US: State-level bag bans **(Low)**	Canada: RB[10/] 100% by 2023 US: State-level regulations **(Medium)**
Developed Asia and Australia	PET bottles, waste reduction **(High)**	EPR schemes widespread **(High)**	Bag ban in Japan, Parts of Australia **(Medium)**	JP and KR: RR[11/] 60-70% by 2023 AU: RC[12/] 20%, RR 70% and RB 100% by 2025 **(Medium)**
Europe	Recycled content, reducing virgin plastics **(High)**	EU: Plastic tax, carbon taxes, EPR **(High)**	EU: SUP ban on ten items **(High)**	EU: RC 30%, RR 55% and RB 100% for plastic packaging by 2030 **(High)**
Rest of world	Varies **(Low)**	EPR schemes **(Low)**	India: State-level regulations **(Low)**	Turkey: RR targets Brazil: RC 75% (proposed) **(Low)**

Source: Mckinsey analysis, Krungsri Research

8/ รหัสประเทศ AU=ออสเตรเลีย CAD=แคนาดา JP=ญี่ปุ่น KR=เกาหลีใต้ US=สหรัฐอเมริกา

9/ EPR คือ Extended producer responsibility

10/ RB คือ Recyclability

11/ RR คือ Recycling rate

12/ RC คือ Recycle content

อย่างไรก็ตาม ด้วยอัตราการรีไซเคิลขยะพลาสติกที่ยังค่อนข้างต่ำ ทำให้อุปทานขยะพลาสติกสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตพลาสติกรีไซเคิลมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลต่อเนื่องให้อุปทานพลาสติกรีไซเคิลเติบโตได้ในระดับต่ำและไม่เพียงพอในการตอบสนองต่อความต้องการที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ตามพฤติกรรมผู้บริโภคที่มีความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมถึงมาตรการสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนของภาครัฐ เพื่อลดขยะพลาสติก

โดยหากพิจารณากรณีศึกษาจากสหรัฐฯ พบว่าในช่วงระหว่างปี 2555-2565 อุปทาน Recycled Polyethylene Terephthalate (rPET) ในสหรัฐฯ ขยายตัวเพียง 1% ต่อปี ซึ่งในเวลาเดียวกัน ความต้องการเพิ่มขึ้นถึง 4% ต่อปี โดย McKinsey คาดการณ์ว่าหากธุรกิจบรรจุภัณฑ์และค้าปลีกสามารถบรรลุเป้าหมายสัดส่วนวัตถุดิบจากการรีไซเคิลสำหรับปี 2573 ที่ตั้งเป้าไว้ ความต้องการของ rPET จะเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 15% ระหว่างปี 2565-2573 ขณะที่อุปทานจะยังคงขยายตัวที่ 1% ส่งผลให้ปี 2573 ความต้องการจะมากกว่าอุปทานถึง 3 เท่าตัว เป็นอุปสรรค์ต่อการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

โอกาสของเทคโนโลยี: ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา กำไรที่เพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมาจากความได้เปรียบการเข้าถึงแหล่งวัตถุดิบในสัดส่วนที่สูง ซึ่งคิดเป็น 44% ของกำไรที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด หากมีการใช้วิธีรีไซเคิลกันอย่างแพร่หลายและสามารถทำให้ขยะพลาสติกเป็นแหล่งวัตถุดิบใหม่ที่สร้างความได้เปรียบ (Next Source of Feedstock Advantage) จะช่วยสร้างกำไรให้กับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพลาสติกได้ถึง 2 ใน 3 ของกำไรทั้งหมดที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นระหว่างปี 2561-2573

Box 1 การเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นพลังงานหมุนเวียน (Fuel Switching)

การผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต้องการความร้อนที่สูงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล แต่การผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่สู่ชั้นบรรยากาศ จึงเป็นส่วนหนึ่งที่เร่งสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน (Global Warming) ดังนั้น การเปลี่ยนแหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นพลังงานหมุนเวียน (Fuel Switching) เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และชีวมวลที่สะอาดกว่า จะเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี นอกจากนี้ ในช่องทางดังกล่าว ผู้ประกอบการปิโตรเคมียังสามารถสร้างความร้อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้าสีเขียว ด้วย Heat Pumps (Electrification of Process Heating Combined with Renewables) แทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวยังต้องใช้เวลาในการพัฒนา เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่สูงพอสำหรับการผลิตปิโตรเคมีเชิงพาณิชย์ในอนาคตได้

ผลกระทบของเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย

สถานการณ์ปัจจุบันของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในอุตสาหกรรมิโตรเคมีไทย

การใช้ช่องทางและเทคโนโลยีทั้ง 4 แบบที่ได้กล่าวไปข้างต้นของผู้ประกอบการปิโตรเคมีไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด เช่นเดียวกันกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีทั่วโลก ทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Improvement) ยังคงเป็นช่องทางหลักในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม การรั่วไหลของคาร์บอน (Carbon Leakage) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ผู้ผลิตในประเทศที่มีกฎระเบียบทางคาร์บอนที่เข้มงวดมากกว่าย้ายฐานการผลิตไปยังประเทศที่มีกฎระเบียบด้านคาร์บอนที่เข้มงวดน้อยกว่า หรือการที่ผู้ประกอบการในประเทศที่มีกฎระเบียบทางคาร์บอนที่เข้มงวดกว่านำเข้าสินค้าที่มีการปล่อยคาร์บอนสูง เพื่อทดแทนสินค้าที่ผลิตในประเทศเหล่านั้นเอง ส่งผลให้มีการเกิดขึ้นของมาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM)[13/] ซึ่งเปรียบเสมือนการเก็บภาษีสินค้านำเข้าตามปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยเหตุนี้อุตสาหกรรมปิโตเคมีไทยจึงต้องเร่งปรับตัวโดยนำเอาเทคโนโลยีทั้ง 4 แบบมาประยุกต์ใช้เพื่อลดความเสี่ยงด้านการค้าดังกล่าวนอกเหนือไปจากเพื่อบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

ช่องทางและเทคโนโลยีหลักในการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของไทย

- **บริบทโลก** (Global Context)

จาก 4 ช่องทางหลักที่ได้วิเคราะห์ไปข้างต้น เทคโนโลยี CCUS จะมีบทบาทที่สำคัญในการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์จากหลักเกณฑ์ 3 ประการได้แก่

1) **ระดับความพร้อมของเทคโนโลยี** (Technological Readiness Level: TRL)[14/] โดย CCUS เป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาเต็มที่แล้ว (Mature Technology) และมีความพร้อมของเทคโนโลยีอยู่ในระดับ 7 ถึง 9 ซึ่งหมายความว่าสามารถที่จะใช้งานร่วมกับระบบและโครงสร้างของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้แบบเต็มรูปแบบ (Full-scale) และเริ่มมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์ (Commercial Scale)

2) **ต้นทุนการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตัน** (Mitigation Costs) โดยเทคโนโลยี CCUS มี ต้นทุนการลดก๊าซฯ โดยเฉลี่ยต่ำกว่าช่องทางและเทคโนโลยีอื่นๆ แม้ว่าจะต้องใช้เงินลงทุนแรกเริ่มเป็นจำนวนมากก็ตาม โดย ต้นทุนการลดก๊าซฯ ของเทคโนโลยี CCUS จะอยู่ระหว่าง 0-150 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ (tonne CO_2) ขณะที่ต้นทุนการลดก๊าซฯ ของเทคโนโลยีและช่องทางอื่นๆสามารถเพิ่มสูงได้ถึง 300-400 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์

3) **ความง่ายในการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ** (Ease of Implementation) เทคโนโลยี CCUS สามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยที่ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนโฉมกระบวนการผลิตใหม่ทั้งหมด เหมือนกับช่องทางและเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ต้องสร้างห่วงโซ่อุปทานขึ้นมาใหม่ จึงทำให้ง่ายต่อการนำมาใช้จริงกว่าช่องทางและเทคโนโลยีอื่นๆ

13/ สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://www.krungsri.com/getmedia/a1b8cb18-3238-4e46-954f-dc22fedab903/RI_CBAM_230803_TH.pdf.aspx

14/ Technological Readiness Levels คือ ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรม ตั้งแต่ระดับ 1 (basic principle observe) จนไปถึงระดับ 9 (actual system demonstration over the full range of expected conditions) ซึ่งเป็นระดับที่มีความพร้อมเชิงพาณิชย์มากที่สุด สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://arena.gov.au/assets/2014/02/Technology-Readiness-Levels.pdf

ด้วยปัจจัยสนับสนุนข้างต้น ทำให้ IEA คาดการณ์ว่าเทคโนโลยี CCUS จะสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับช่องทางและเทคโนโลยีอื่นๆ หรือคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 35% ของการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สะสมระหว่างปี 2560-2593 ขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Improvement) และการเปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นจากถ่านหินเป็นก๊าซธรรมชาติ (Coal to Natural Gas Feedstock Shifts) จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกอย่างละประมาณ 25% (การใช้ก๊าซธรรมชาติและแนฟทาเป็นวัตถุดิบในการผลิตจะบริโภคพลังงานและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้ถ่านหิน) และ 3 ช่องทางที่เหลือทั้งไฮโดรเจนสีเขียว การใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบและเศรษฐกิจหมุนเวียน จะมีบทบาทในการช่วยสนับสนุนและปิดช่องว่างในส่วนที่เหลือของการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือคิดเป็นสัดส่วนรวมกันประมาณ 15%)

● บริบทของประเทศไทย

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยการเปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นจากถ่านหินเป็นก๊าซธรรมชาติอาจช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่มากนัก เพราะอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยใช้แนฟทาและก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเป็นหลักอยู่แล้ว ซึ่งจัดว่า “สะอาด” กว่าการใช้ถ่านหิน ต่างจากจีนที่เป็นยักษ์ใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของโลก ที่มีถ่านหินเป็นวัตถุดิบตั้งต้นหลัก โดยเฉพาะในการผลิตเมทานอลและแอมโมเนีย (Ammonia) ดังนั้น หากจีนเปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นจากถ่านหินเป็นก๊าซธรรมชาติจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างเป็นรูปธรรม ด้วยเหตุนี้ ทั้ง 4 ช่องทางและเทคโนโลยีหลักที่ได้นำเสนอจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย

สำหรับความพยายามลดการปล่อยคาร์บอนของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย เมื่อเราพิจารณาจาก 3 หลักเกณฑ์ข้างต้นจะเห็นได้ว่า **เทคโนโลยี** CCUS **มีความพร้อมที่สูงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ** จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่**เทคโนโลยีดังกล่าวจะมีบทบาทที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย โดยจะช่วยชดเชยการลดการปล่อยก๊าซฯ ด้วยการเปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นเป็นก๊าซธรรมชาติที่อาจลดก๊าซฯ ได้ไม่มากนักเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นๆ ของโลก** ซึ่งนั่นหมายความว่าเทคโนโลยี CCUS จะถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางทั้งในการผลิตปิโตรเคมีจากเชื้อเพลิงฟอสซิล รวมไปถึงการใช้ร่วมกับช่องทางวัตถุดิบตั้งต้นจากชีวมวล (Biomass Feedstock) การผลิตไฮโดรเจนสีเขียวและสีฟ้า (Green and Blue Hydrogen) และกระบวนการผลิตพลังงานจากขยะพลาสติก

สำหรับอีก 3 เทคโนโลยีที่ต้องสร้างห่วงโซ่อุปทานขึ้นมาใหม่ การใช้วัตถุดิบตั้งต้นจากชีวมวลน่าจะใช้ได้แพร่หลายได้ในประเทศไทย จากความพร้อมด้านอุปทานและอุปสงค์ ดังนี้

1) **ด้านอุปทาน**: ประเทศไทยมีศักยภาพที่แข็งแกร่งในการผลิตวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อใช้ผลิตพลาสติกชีวภาพ ซึ่งสะท้อนจากการผลิตชีวมวลชนิดต่างๆ ที่สำคัญ เช่น มันสำปะหลังที่สามารถผลิตได้ 35 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็น 9.6% ของผลผลิตทั้งหมดของโลก และอุตสาหกรรมไบโอเอทานอล (Bio-ethanol) ที่มีศักยภาพในการผลิตเป็นลำดับที่ 7 ของโลก หรือคิดเป็นสัดส่วน 1.5% ของการผลิตทั้งหมดทั่วโลก

2) **ด้านอุปสงค์**: ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตพลาสติกชีวภาพมากเป็นอันดับ 2 ของโลก โดยมีกำลังการผลิตในปัจจุบันอยู่ที่ 95,000 ตันต่อปีเป็นรองเพียงแค่สหรัฐฯ ที่มีอัตราการผลิต 150,000 ตันต่อปี นอกจากนี้บริษัท Braskem ได้เข้ามาร่วมลงทุนกับผู้ประกอบการปิโตรเคมีไทยในการผลิต Bio-ethylene และ Bio-Polyethylene ซึ่งจะเป็นการสนับสนุนการใช้ Biomass Feedstocks ของไทยจากฝั่งอุปสงค์ให้เพิ่มมากยิ่งขึ้นในอนาคต

ในระยะถัดไป หากการผลิตพลาสติกชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลให้ความต้องการไบโอเอทานอลและวัตถุดิบชีวมวลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะเดียวกัน ความต้องการไบโอเอทานอลเพื่อใช้ผลิตแก๊สโซฮอล (Gasohol) สำหรับภาคขนส่งของไทยและความต้องการวัตถุดิบชีวมวล เช่นอ้อยและมันสำปะหลังในการผลิตเป็นอาหารและผลิตภัณฑ์อื่นๆ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตด้วยเช่นเดียวกัน ทำให้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกชีวภาพอาจมีราคาสูงและไม่เพียงพอในการใช้เพื่อบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย

อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบจำพวกลิกโนเซลลูโลส เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพดและต้นหญ้าจะมีบทบาทที่สำคัญมากยิ่งขึ้นในการผลิตไบโอเอทานอลในระยะถัดไป เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร อันจะช่วยลดการใช้พืชอาหารและที่ดินเพาะปลูกในการผลิตไบโอเอทานอล และลดความเสี่ยงด้านปัญหาอุปทานวัตถุดิบที่อาจมีไม่เพียงพอต่อการผลิตพลาสติกชีวภาพในอนาคต ส่งผลให้ช่องทาง Biomass Feedstocks เป็นเครื่องมือลดภาวะโลกร้อนที่มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้นของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย

ขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาแนวโน้มการใช้ไฮโดรเจนสีเขียว ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย พบว่าอาจไม่แพร่หลายเท่ากับประเทศอื่น ๆ โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานหมุนเวียนที่สูงกว่า โดยจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันไฮโดรเจนสีเขียวยังมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าไฮโดรเจนสีเทา ทำให้ยังไม่สามารถแข่งขันทางด้านราคาได้ อย่างไรก็ตาม ราคาไฮโดรเจนสีเขียวมีแนวโน้มลดลงตามต้นทุนพลังงานหมุนเวียนที่ลดลง โดยไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์จะมีราคาเฉลี่ยถูกกว่าไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่นๆ ขณะที่พื้นที่ศักยภาพสูงอย่างตะวันออกกลาง รวมถึงชิลี ออสเตรเลียและจีน กว่าที่ไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถแข่งขันด้านราคาได้กับไฮโดรเจนสีเทานั้น จะต้องรอถึงปี 2593 นั้นหมายความว่าประเทศไทย ซึ่งมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่น้อยกว่า น่าจะต้องใช้ระยะเวลาที่นานกว่า ทำให้การใช้วิธีนี้เพื่อเปลี่ยนผ่านอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์จะไม่แพร่หลายเท่ากับประเทศอื่นๆ ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงกว่าดังที่กล่าวมา **ซึ่งระหว่างที่ไฮโดรเจนสีเขียวยังไม่สามารถแข่งขันทางด้านราคาได้ ไฮโดรเจนสีฟ้าจะมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดการปล่อยก๊าซฯ ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย** เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าไฮโดรเจนสีเทาเพียงเล็กน้อย ทำให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ไฮโดรเจนสีฟ้าเป็นอีกกลยุทธหนึ่งเพื่อบรรลุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่ว่างไว้ได้

อย่างไรก็ตาม ไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากชีวมวลอาจเป็นช่องทางเสริมไฮโดรเจนสีเขียวที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากประเทศไทยมีความแข็งแกร่งทางด้านวัตถุดิบชีวภาพรวมถึงห่วงโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวไป ขณะที่เทคโนโลยีที่เปลี่ยนชีวมวลให้เป็นไฮโดรเจนมีการพัฒนามาเต็มที่แล้ว (Mature Technology) จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเริ่มใช้ในการผลิตในอนาคตอันใกล้[15/]

สุดท้ายนี้ แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนจะเป็นอีกหนึ่งช่องทางที่มีบทบาทสำคัญในการไปสู่เป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย อย่างไรก็ตาม การใช้ช่องทางดังกล่าวให้ได้เต็มศักยภาพยังมีความท้าทายที่ต้องเผชิญอยู่ด้วยกัน 2 ประการได้แก่

1) **การพัฒนาแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนของไทยยังอยู่ในระยะเริ่มต้น**: โดยภายใต้แผนจัดการขยะพลาสติกระยะที่ 2 (ปี 2566-2570) ประเทศไทยได้ยกระดับการจัดการขยะพลาสติกอย่างยั่งยืน ซึ่งไม่เพียงแค่การรณรงค์ให้ลดและเลิกใช้พลาสติกแบบ Single-use เพียงอย่างเดียว แต่ยังครอบคลุมถึงหลักการขยายความรับผิดชอบไปยังผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility: EPR) เพื่อเน้นการจัดการบรรจุภัณฑ์ตลอดช่วงชีวิต อย่างไรก็ตาม หากเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว นโยบายต่างๆ ของไทยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ยังอยู่ในระยะเริ่มต้น โดยธุรกิจบรรจุภัณฑ์และค้าปลีกหลายแห่งในประเทศที่พัฒนาแล้วได้มีเจตจำนง (Commitment) ว่าบรรจุภัณฑ์ของสินค้าต่างๆ จะต้องมีวัตถุดิบรีไซเคิลตามปริมาณที่ตั้งเป้าไว้ จึงเป็นช่องว่างที่ไทยยังสามารถพัฒนาได้เพื่อให้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นทัดเทียมกับประเทศอื่น

2) **ความเสี่ยงที่เกิดจากการพัฒนาในทิศทางที่กระจัดกระจาย** (Fragmented Transition to Circular Economy) เนื่องจากขาดการพัฒนาร่วมกัน ทั้งในระดับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมต่างๆ และการแชร์ข้อมูลระหว่างผู้บริโภค ผู้ประกอบการตลอดจนภาครัฐ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาขาดแคลนอุปทานขยะพลาสติกและพลาสติกรีไซเคิลดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งจะลดทอนศักยภาพและประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้

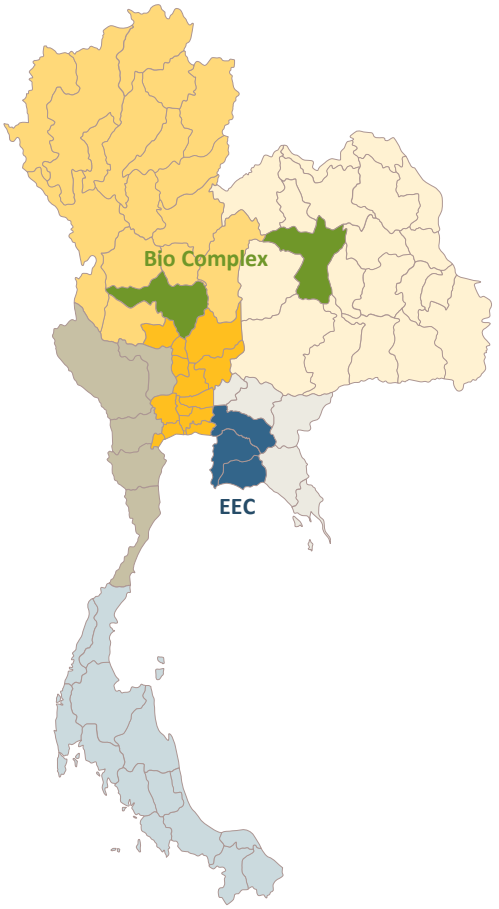
15/ Green Hydrogen ที่ผลิตจากชีวมวลสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-biomass-gasification

ผลกระทบต่อโครงสร้างของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทย

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีส่วนใหญ่ยังอยู่ในโครงการเขตพัฒนาพิเศษตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) อย่างไรก็ตาม ในอนาคตคาดว่าอุตสาหกรรมนี้จะใช้วิธีการและเทคโนโลยีทั้ง 4 แบบดังที่กล่าวมาเพิ่มมากขึ้นเพื่อบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ดังนั้น ความสะดวกในการเข้าถึงต้นทุนวัตถุดิบที่ต่ำกว่าจะกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่จะมีอิทธิพลต่อการเลือกที่ตั้งโรงงานในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบในรูปของพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) วัตถุดิบตั้งต้นชีวมวล (Biomass Feedstocks) และพื้นที่กักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Storage Potential) เพราะถึงแม้ว่าปัจจุบันจะสามารถขนส่งวัตถุดิบดังกล่าวในจำนวนมากไปยังโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ตั้งอยู่เดิมในพื้นที่ EEC แต่การก่อตั้งโรงงานปิโตรเคมีขนาดเล็ก (Smaller Decentralized Plants) ในพื้นที่ที่ใกล้กับแหล่งผลิตวัตถุดิบอาจช่วยลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันได้ดีกว่า ยกตัวอย่างเช่น ในปัจจุบันเราเริ่มได้เห็นไบโอคอมเพล็กซ์ (Bio Complex) ที่เป็นฐานของอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในพื้นที่นอกเขต EEC บ้างแล้ว ไม่ว่าจะเป็นในภาคกลาง (นครสรรค์) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ขอนแก่น) (ภาพที่ 13) ซึ่งเป็นแหล่งเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ตลอดจนเป็นแหล่งผลิตเอทานอลที่สำคัญของไทย ดังนั้น หากแนวโน้มการใช้ชีวมวลเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพิ่มระดับความเข้มข้นขึ้นในอนาคต ไบโอคอมเพล็กซ์ในพื้นที่ต่างๆ อาจเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอล อันจะเป็นการกระจายรายได้ให้กับภาคเกษตรและแรงงานในพื้นที่ดังกล่าวที่อยู่ต้นน้ำของห่วงโซ่อุปทานด้วยเช่นกัน

ภาพที่ 13

ที่ตั้ง Petrochemical Complex ของไทย



Source: PITH, Krungsri Research

มุมมองวิจัยกรุงศรี

จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะมีส่วนสำคัญในการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ในปัจจุบันปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่สูงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว บทบาทของช่องทางและเทคโนโลยีทั้ง 4 แบบดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเพิ่มมากขึ้นและจะพลิกโฉมห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีไทยในที่สุด

อย่างไรก็ตาม การที่ช่องทางและเทคโนโลยีทั้ง 4 ยังอยู่ในระยะ “ตั้งไข่” ทำให้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ได้มาจากวิธีการดังกล่าวยังมีต้นทุนและราคาที่สูงกว่าการผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการขยายตลาด ด้วยเหตุนี้ ภาครัฐจึงอาจต้องเข้ามามีส่วนในการผลักดันทั้งด้านอุปทานที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ผลิตจากช่องทางและเทคโนโลยีแบบใหม่ๆ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถแข่งขันด้านต้นทุนกับผลิตภัณฑ์ที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล รวมถึงสนับสนุนด้านอุปสงค์ โดยส่งเสริมให้เกิดความตระหนักรู้ของผู้บริโภคให้เปลี่ยนพฤติกรรมและหันมาใช้สินค้าปิโตรเคมีที่มาจากการผลิตในรูปแบบใหม่ ซึ่งการสนับสนุนทั้ง 2 ด้านควบคู่กันไปจะทำให้การเปลี่ยนผ่านเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขณะเดียวกัน ในมุมของผู้ประกอบการไทยที่สามารถปรับตัวและประยุกต์ใช้ช่องทางและเทคโนโลยีทั้ง 4 แบบได้อย่างเหมาะสมนั้น นอกจากจะสามารถบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ที่วางไว้แล้ว ยังสามารถผลิตสินค้าปิโตรเคมีที่มีมูลค่าเพิ่ม (High Value Added) ที่หลากหลายกว่าเดิม ไม่ว่าจะเป็นพลาสติกชีวภาพ พลาสติกรีไซเคิล (Recycled Plastics) และผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีที่ผลิตจากไฮโดรเจนสีเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสทางการตลาดและหลีกเลี่ยงการแข่งขันด้านราคาในตลาดผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีระดับสินค้าโภคภัณฑ์ทั่วไป (Commodity-grade) ซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้นได้อีกด้วย

References

Asian Development Bank (2020) Best practice handbook: Waste to energy in the age of circular economy. Retrieved Sep 24, 2023 from https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/659981/waste-energy-circular-economy-handbook.pdf

Bain and Company (2021) Business opportunities in low-carbon hydrogen. Retrieved July 25, 2023 from https://www.bain.com/insights/low-carbon-hydrogen-enr-report-2021/#

Deloitte's 2023 Global Green Hydrogen Outlook (2023) Green hydrogen: energizing the pathway to net zero. Retrieved Sep 9, 2023 from https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/at/Documents/presse/at-deloitte-wasserstoffstudie-2023.pdf

Deloitte (2021) The potential of hydrogen for the chemical industry. Retrieved Aug 15, 2023 from https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/xe/Documents/energy-resources/me_pov-hydrogen-chemical-industry.pdf

Global CCS Institute (2019) Bioenergy and carbon capture and storage. Retrieved Aug 2, 2023 from https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/03/BECCS-Perspective_FINAL_PDF.pdf

Global CCS Institute (2020) Carbon capture and storage: Challenges, enablers and opportunities for deployment. Retrieved Aug 20, 2023 from https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/carbon-capture-and-storage-challenges-enablers-and-opportunities-for-deployment/

Global CCS Institute (2019) Waste-to-Energy with CCS: A pathway to carbon-negative power generation. Retrieved Sep 3, 2023 from https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/10/Waste-to-Energy-Perspective_October-2019-5.pdf

International Energy Agency (2019) Can CO_2-EOR really provide carbon-negative oil? Retrieved Oct 25, 2023 from https://www.iea.org/commentaries/can-co2-eor-really-provide-carbon-negative-oil

International Energy Agency (2023) Global hydrogen review 2023. Retrieved July 19, 2023 from https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf

IEA-ETSAP and IRENA (2013) Technology brief: Production of Bio-ethylene. Retrieved Sep 8, 2023 from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/IRENA-ETSAP-Tech-Brief-I13-Production_of_Bio-ethylene.pdf?rev=e260b01daa334f97a013c23ac7f12a2e

International Energy Agency (2018) The future of petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilizers. Retrieved Aug 5, 2023 from https://iea.blob.core.windows.net/assets/bee4ef3a-8876-4566-98cf-7a130c013805/The_Future_of_Petrochemicals.pdf

Lux Research, Inc. (2020) CO_2 capture and utilization: The emergence of a carbon economy. Retrieved Aug 23, 2023 from http://luxresearchinc.com/wp-content/uploads/2022/07/lux-research-co2-capture-utliziation-the-emergence-of-a-carbon-economy-executive-summary.pdf

McKinsey & Company (2022) Advanced recycling: Opportunities for growth. Retrieved Aug 14, 2023 from https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/advanced-recycling-opportunities-for-growth

McKinsey & Company (2023) Filling the gap: Boosting supply of recycled materials for packaging. Retrieved 21 Sep, 2023 from https://www.mckinsey.com/industries/packaging-and-paper/our-insights/filling-the-gap-boosting-supply-of-recycled-materials-for-packaging

McKinsey & Company (2018) How plastics waste recycling could transform the chemical industry. Retrieved 3 Aug, 2023 from https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/how-plastics-waste-recycling-could-transform-the-chemical-industry

McKinsey & Company (2018) No time to waste: What plastics recycling could offer. Retrieved Aug 26, 2023 from https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Chemicals/Our%20Insights/No%20time%20to%20waste%20What%20plastics%20recycling%20could%20offer/No-time-to-waste-What-plastics-recycling-could-offer.pdf

References

OECD (2022) Global Plastics Outlook: Economic drivers, environmental impacts and policy options, OECD Publishing, Paris. Retrieved Oct 18, 2023 from https://doi.org/10.1787/de747aef-en

Saygin, D. & Gielen, D. (2021) Zero-emission pathway for the global chemical and petrochemical sector. Energies 2021, 14, 3772. Retrieved Oct 1, 2023 from https://doi.org/10.3390/en14133772

S&P Global Commodity Insights (2021) Bio-petrochemicals - From feedstocks to plastics: The rise of bio-based alternatives. Retrieved Aug 22, 2023 from https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/special-reports/chemicals/bio-petrochemicals

United States Government Accountability Office (2022) Decarbonization: Status, challenges, policy options for carbon capture, utilization, and storage. Retrieved Sep 20, 2023 from https://www.gao.gov/assets/gao-22-105274.pdf

U.S. Department of Energy (2023) Million-tonne CO2 capture, utilization and storage (CCUS): The Qilu-Shengli oilfield project. Retrieved Oct 19, 2023 from https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-07/6b.%2020230613-Million-Tonne%20CCUS-The%20Qilu-Shengli%20Oilfield%20Project%20PDF.pdf

World Economic Forum (2022) Carbon neutral and net zero – what do they mean? Retrieved Oct 15, 2023 from https://www.weforum.org/agenda/2022/08/carbon-neutral-net-zero-sustainability-climate-change/

ห้องสมุดบรรจุภัณฑ์ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - Packaging Library (2023) ข่าวสารบรรจุภัณฑ์ โอกาสใหม่เมืองเกษตรกรรม ไทยขึ้นแท่นฮับไบโอพลาสติก หลัง ‘Braskem’ และบริษัทระดับโลกแห่ตั้งโรงงานที่จังหวัดระยอง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2023) แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (2023-2027)

ธนิสา ทวิชศรี (2022) Carbon neutrality กับ net zero emissions ต่างกันอย่างไร? และมีความสำคัญอย่างไร? [Pier blog post]

วิจัยกรุงศรี

ดร.พิมพ์นารา หิรัญกสิ

ผู้บริหารสายงานวิจัยและหัวหน้าทีมวิจัยเศรษฐกิจ

ทีมวิจัยเศรษฐกิจ

สุจิต ชัยวิชญชาติ

ผู้บริหารทีมวิจัยเศรษฐกิจมหภาค

วนิชา ดิเรกอุดมศักดิ์

เศรษฐกรอาวุโส

จุไรลักษณ์ พลศรี

เศรษฐกรอาวุโส (พยากรณ์ตัวเลขเศรษฐกิจ)

ทรรศิน กลิ่นถนอม

เศรษฐกร

กฤตพร ศิริใจชิงกุล

เศรษฐกร

ศุภสิน อิทธิพัทธ์วงศ์

เศรษฐกร

ทีมวิเคราะห์และพัฒนางานวิจัย

ดร.พิมพ์นารา หิรัญกสิ

รักษาการผู้บริหารทีมวิเคราะห์และพัฒนางานวิจัย

ณธัญอร รัตนาธรรมวัฒน์

นักวิเคราะห์อาวุโส

นฤชยา สาตแฟง

นักวิเคราะห์

ปริญญา มิ่งสกุล

นักวิเคราะห์

ชณัฐฐา ธาระรส

นักวิเคราะห์

ทีมบริหารระบบข้อมูลวิจัย

ธมณ เสริญสุขสกุล

เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป

เชิดศักดิ์ ศรีชัยตัน

เจ้าหน้าที่ระบบข้อมูลวิจัย

วงศกร แก้วอุดทัง

เจ้าหน้าที่ระบบข้อมูลวิจัย

ทีมวิจัยอุตสาหกรรม

ดร.พิมพ์นารา หิรัญกสิ

รักษาการผู้บริหารทีมวิจัยอุตสาหกรรม

ธเนศ มหัทธนาลัย

นักวิเคราะห์อาวุโส (Digital)

พูลสุข นิลกิจศรานนท์

นักวิเคราะห์อาวุโส (Healthcare, Mobile Operators)

ปิยะนุช สถาพงศ์ภักดี

นักวิเคราะห์อาวุโส (Transport & Logistics)

นรินทร์ ตันไพบูลย์

นักวิเคราะห์อาวุโส (Power Generation, Modern Trade, Chemicals, Medical Devices)

เตียร เทียมศักดิ์

นักวิเคราะห์อาวุโส (Energy, Petrochemicals)

พุทธชาด ลุนคำ

นักวิเคราะห์อาวุโส (Construction Contractors, Construction Materials, Hotels, Industrial Estate)

พัชรา กลิ่นชวนชื่น

นักวิเคราะห์อาวุโส (Real Estate)

ชัยวัช โชวเจริญสุข

นักวิเคราะห์อาวุโส (Agriculture)

ประพันธ์ ลีน้อย

นักวิเคราะห์ (ESG)

ศุภวัฒน์ โชคสวัสดิ์ไพศาล

นักวิเคราะห์ (Automobile, Electronics & Electrical Appliances)

ศุภกร กรบุญไตรทศ

นักวิเคราะห์ (Agriculture, Food & Beverages)