



รายงานการศึกษาส่วนบุคคล
(Individual Study)

เรื่อง แนวทางการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน
เพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน
สำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคต

จัดทำโดย นายกิตติพันธุ์ บางยี่ขัน
รหัส 17041

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกอบรม
หลักสูตรนักบริหารการทูต รุ่นที่ 17 ปี 2569
สถาบันการต่างประเทศเทวะวงศ์วโรปการ กระทรวงการต่างประเทศ
ลิขสิทธิ์ของกระทรวงการต่างประเทศ



รายงานการศึกษาส่วนบุคคล
(Individual Study)

เรื่อง แนวทางการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน
เพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน
สำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคต

จัดทำโดย นายกิตติพันธุ์ บางยี่ขัน
รหัส 17041

หลักสูตรนักบริหารการทูต รุ่นที่ 17 ปี 2569
สถาบันการต่างประเทศเทวะวงศ์วโรปการ กระทรวงการต่างประเทศ
รายงานนี้เป็นความคิดเห็นเฉพาะบุคคลของผู้ศึกษา



เอกสารรายงานการศึกษาส่วนบุคคลนี้ อนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการฝึกอบรม
หลักสูตรนักบริหารการทูตของกระทรวงการต่างประเทศ

ลงชื่อ.....

(ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.ไชยวัฒน์ คำชู)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงชื่อ.....

(เอกอัครราชทูต ดร.จริย์วัฒน์ สันตะบุตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงชื่อ.....

(เอกอัครราชทูตปัญญรักษ์ พูลทรัพย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

รายงานฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวทางเชิงนโยบายสำหรับประเทศไทยที่กำลังปรับโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่อุตสาหกรรมแห่งอนาคต เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ หุ่นยนต์ และพลังงานสะอาด เป็นต้น ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้แร่ธาตุ ยุทธศาสตร์ที่สำคัญหลายชนิด แต่ด้วยปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติ ความเสี่ยงจากวิกฤตภูมิรัฐศาสตร์ และแรงกดดันจากกติกายั่งยืนที่เป็นมาตรการทางการค้าสากล ผู้ศึกษาจึงได้เสนอทางออกที่ตอบโจทย์ คือการเปลี่ยนผ่านจากระบบเศรษฐกิจเส้นตรงที่มีการใช้ทรัพยากรในรูปแบบ “خذ-ผลิต-ใช้-ทิ้ง” ไปสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) และการทำเหมืองในเมือง (urban mining) เพื่อนำเอาขยะ ผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งาน และของเสียอุตสาหกรรมซึ่งมีองค์ประกอบของโลหะมีค่า แร่ธาตุหายาก รวมถึงวัสดุต่าง ๆ กลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนให้แก่ภาคอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้นอกจากจุดเด่นที่ขยะของเสียมีความเข้มข้นของโลหะและแร่ธาตุยุทธศาสตร์สูงกว่าในสินแร่ธรรมชาติหลายเท่าตัว กระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีรีไซเคิลยังมีต้นทุนต่ำ และปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่าการใช้ทรัพยากรปฐมภูมิ ดังนั้นเศรษฐกิจหมุนเวียนจึงถือเป็นการผลิตที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สำหรับวิธีการศึกษาการนำหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้ขับเคลื่อนให้เกิดขึ้นได้จริงในระดับอุตสาหกรรม ผู้ศึกษาได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติภูมิเพื่อวิเคราะห์โดยวิธี PESTEL analysis ซึ่งเป็นเครื่องมือทางกลยุทธ์ที่ใช้วิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอกในระดับมหภาคที่มีผลกระทบต่อการดำเนินงาน การตัดสินใจ หรือการวางยุทธศาสตร์ขององค์กร รวมทั้งการถอดบทเรียนกรณีศึกษาที่ประสบความสำเร็จของต่างประเทศซึ่งมีการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนมาเป็นเวลานาน และถือเป็นประเทศที่มีบทบาทในการกำหนดกฎระเบียบและมาตรการทางการค้าในเวทีระหว่างประเทศ เช่น สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น และจีน เป็นต้น

โดยข้อเสนอเชิงนโยบายการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนของประเทศไทยเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคต มีแนวทางการดำเนินงานตามความจำเป็นเร่งด่วนแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) แนวทางระยะสั้น (1-2 ปี) การเชื่อมโยงฐานข้อมูลของเสียของโรงงานต่าง ๆ ในรูปแบบดิจิทัลเพื่อจับคู่แหล่งกำเนิดวัตถุดิบทดแทนและความต้องการใช้งาน และการลดข้อกีดกันด้านกฎหมายในการใช้ประโยชน์ของเสีย (2) แนวทางระยะปานกลาง (2-4 ปี) เน้นการสร้างกลไกตลาด การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และการบังคับใช้กฎหมาย (3) แนวทางระยะยาว

(3-5 ปีขึ้นไป) เป็นการสร้างมาตรฐานการใช้วัตถุดิบหมุนเวียน และการขับเคลื่อนการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมให้เกิดการหมุนเวียนทรัพยากรอย่างครบวงจร ตลอดจนการขับเคลื่อน "การทูตสีเขียว" (green diplomacy) โดยบูรณาการการทำงานระหว่างหน่วยงานที่มในประเทศไทย ในการเจรจาความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง แลกเปลี่ยนบุคลากรผู้เชี่ยวชาญ ดึงการลงทุนโรงงานรีไซเคิลระดับโลก และร่วมกำหนดมาตรฐานสากลและมาตรการทางการค้าให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกอย่างยั่งยืน

ทั้งนี้ได้นำเสนอตัวอย่างแนวทางการขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติ เช่น ระยะสั้น ควรมีการออกประกาศหลักเกณฑ์ End-of-Waste เพื่อเปลี่ยนสถานะของเสียให้กลายเป็นวัตถุดิบทดแทนที่สามารถซื้อขายและขนส่งได้อย่างสะดวก ระยะปานกลางควรเร่งยกร่างกฎหมายความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility: EPR) ร่วมกับการพัฒนาระบบติดตามดิจิทัลสำหรับซากผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้เพื่อมอบหมายภารกิจจัดการซากผลิตภัณฑ์จากภาครัฐสู่ผู้ผลิตและป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุสำคัญที่อยู่ในของเสียอุตสาหกรรม การปรับโครงสร้างภาษีและมาตรการทางการเงินเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของวัตถุดิบทดแทน รวมทั้งการจัดตั้งเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อเชื่อมโยงโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ให้มีการแลกเปลี่ยนขยะไปเป็นวัตถุดิบและพลังงาน สำหรับแนวทางระยะยาว ควรออกระเบียบเพื่อกำหนดสัดส่วนการใช้วัตถุดิบรีไซเคิลขั้นต่ำในกลุ่มผลิตภัณฑ์เป้าหมาย การสนับสนุนโครงการความร่วมมือภาครัฐและเอกชนเพื่อต่อยอดผลการพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูงไปสู่การลงทุนเชิงอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้เวทีความร่วมมือระหว่างประเทศไทยเป็นสมาชิกเพื่อผลักดันการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนกับพันธมิตรชาติต่างๆ เช่น เวทีความร่วมมือทางด้านแร่ธาตุของภูมิภาคอาเซียน (ASOMM) และองค์กรพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งสหประชาชาติ (UNIDO) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการศึกษาส่วนบุคคลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาจากศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร. ไชยวัฒน์ คำชู เอกอัครราชทูต ดร. จริยวัฒน์ สันตะบุตร และเอกอัครราชทูต ปัญญรักษ์ พูลทรัพย์ คณะอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ มุมมอง และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ อย่างยิ่งต่อการจัดทำรายงาน ผู้ศึกษาขอขอบคุณสถาบันการต่างประเทศเทวะวงศ์วโรปการ กระทรวงการต่างประเทศที่มอบโอกาสให้ได้เข้าอบรมหลักสูตรนักบริหารการทูต รุ่นที่ 17 รวมถึงข้าราชการสถาบันฯ ที่ได้ช่วยเหลือประสานงานและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการจัดทำรายงานการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ ดร. ณัฐพล รังสิตพล ปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม และ ดร. อติทัต วัฒนินท์ อธิบดีกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ที่ส่งเสริมสนับสนุนให้สามารถเข้าร่วมอบรมหลักสูตรดังกล่าว ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อม สร้างเสริมประสบการณ์ และพัฒนาความรู้สำหรับการเติบโตขึ้นสู่ตำแหน่งผู้บริหารในอนาคต

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสำหรับความร่วมมือในการสัมภาษณ์เชิงลึกและสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์ประกอบการจัดทำรายงานฉบับนี้ ตลอดจนเพื่อน ๆ ผู้เข้ารับการอบรมหลักสูตรนักบริหารการทูต รุ่นที่ 17 ทุกท่านที่แลกเปลี่ยนข้อมูล มุมมอง และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในฐานะของทีมประเทศไทย

และท้ายที่สุด ขอขอบคุณครอบครัวและบุคคลอันเป็นที่รัก ที่สนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาและจัดทำรายงานฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ผู้ศึกษาหวังว่ารายงานนี้จะให้ความรู้เป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่านและใช้สำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไป

กิตติพันธุ์ บางยี่ขัน

กันยายน 2569

สารบัญ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง และความสำคัญของหัวข้อที่จะศึกษา	1
1.2 การวิเคราะห์ความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ของส่วนราชการ	5
บทที่ 2 การวิเคราะห์ประเด็นศึกษาและผลการศึกษา	7
2.1 การกำหนดประเด็นศึกษา	7
2.2 กรอบการวิเคราะห์ประเด็นศึกษา	8
2.3 สรุปผลการศึกษา	32
บทที่ 3 ข้อเสนอ	36
3.1 ข้อเสนอเชิงนโยบาย	36
3.2 ข้อเสนอเพื่อขับเคลื่อนนโยบายสู่การปฏิบัติ	38
บรรณานุกรม	43
ประวัติผู้เขียน	45

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	กลุ่มประเภทอุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่รัฐบาลไทยให้การส่งเสริม	1
ตารางที่ 2	ขยะหรือของเสียที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับอุตสาหกรรม แห่งอนาคตตามแนวคิดการทำเหมืองในเมือง (urban mining)	12
ตารางที่ 3	แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อส่งเสริม การนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนไปสู่การปฏิบัติ	39

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	รูปแบบของเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เน้นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ อย่างมีประสิทธิภาพและนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด	3
ภาพที่ 2	ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่ จ. สมุทรปราการ	19
ภาพที่ 3	ตัวอย่างเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม	20

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง และความสำคัญของหัวข้อที่จะศึกษา

ประเทศไทยอยู่ในช่วงการเปลี่ยนผ่านโครงสร้างทางเศรษฐกิจครั้งสำคัญ จากระบบเศรษฐกิจที่พึ่งพาเกษตรกรรมและการผลิตรูปแบบเก่าที่เน้นใช้แรงงานจำนวนมาก ไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม เทคโนโลยีขั้นสูง และมีความยั่งยืน โดยรัฐบาลไทยในยุคของพลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา ได้ริเริ่มนโยบายผลักดันอุตสาหกรรมแห่งอนาคตมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 และเป็นหัวใจหลักของวิสัยทัศน์ "Thailand 4.0" เพื่อพาประเทศก้าวข้ามกับดักรายได้ปานกลาง แบ่งเป็นการต่อยอด 5 อุตสาหกรรมเดิม (First S-Curve) และสร้าง 5 อุตสาหกรรมใหม่ (New S-Curve) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มประเภทอุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่รัฐบาลไทยให้การส่งเสริม

กลุ่มอุตสาหกรรมเดิมที่มีศักยภาพ (First S-Curve)	กลุ่มอุตสาหกรรมอนาคต (New S-Curve)
1. ยานยนต์สมัยใหม่ (Next-Generation Automotive)	1. อุตสาหกรรมหุ่นยนต์
2. อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ	2. การบินและโลจิสติกส์
3. การท่องเที่ยวกลุ่มรายได้ดีและเชิงสุขภาพ	3. เชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ
4. การเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ	4. อุตสาหกรรมดิจิทัล
5. อุตสาหกรรมอาหารแห่งอนาคต	5. การแพทย์ครบวงจร

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ในฐานะหน่วยงานที่มีภารกิจหลักในการสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบให้กับภาคอุตสาหกรรม ได้ดำเนินการสำรวจทรัพยากรแร่ในประเทศพื้นที่ประมาณ 60 ล้านไร่ พบว่ามีแร่มากกว่า 40 ชนิด ปริมาณสำรองมากกว่า 19 ล้านล้านตัน คิดเป็นมูลค่าที่ประเมินได้เบื้องต้นสูงถึง 40,000 ล้านล้านบาท¹ และมีการกำหนดยุทธศาสตร์การส่งเสริมและพัฒนาทรัพยากรแร่ที่มีศักยภาพภายในประเทศไทยเพื่อให้เป็นฐานรากและฟันเฟืองสำคัญในการขับเคลื่อนนโยบายอุตสาหกรรมแห่งอนาคต โดยแร่ศักยภาพของไทยมีจำนวน 5 ชนิด ประกอบด้วย

¹ แหล่งที่มา: กองบริหารจัดการวัตถุดิบ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม, 2569

1) แร่ธาตุหายาก (rare earth elements) เช่น แร่โมนาไซด์และซีโนไทม์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตแม่เหล็กถาวรสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงในยานยนต์ไฟฟ้าและกังหันลมผลิตพลังงานสะอาด รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

2) แร่ลิเทียม เป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์สมัยใหม่ เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และระบบกักเก็บพลังงาน (energy storage system) รวมทั้งใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการบินและอวกาศยาน

3) แร่ควอตซ์ เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตแผ่นซิลิคอน (silicon wafer) ซึ่งเป็นหัวใจของชิปเซมิคอนดักเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ ตลอดจนระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (solar cell)

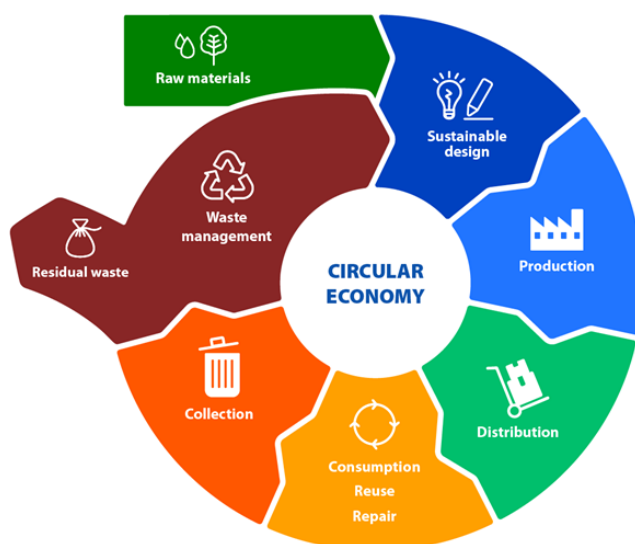
4) แร่โพแทช เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตปุ๋ยซึ่งมีส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมเกษตรอัจฉริยะ (smart farming) และอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuels) อีกทั้งยังเป็นวัสดุทางเลือกที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานขนาดใหญ่ด้วย

5) แร่โลหะมีค่า เช่น ทองคำและเงิน ไม่ได้เป็นเพียงวัสดุสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับเท่านั้น แต่ยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์และชิปคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมอวกาศและการบิน ตลอดจนอุตสาหกรรมการแพทย์ที่ใช้ในชุดตรวจวินิจฉัยโรคอย่างรวดเร็ว ระบบนำส่งยารักษาโรคมะเร็งแบบมุ่งเป้า และอุปกรณ์การแพทย์ต่างๆ อีกมากมาย

อย่างไรก็ตาม การทำเหมืองแร่ปฏิกิริยาจากทรัพยากรธรรมชาติในปัจจุบันกำลังเผชิญภาวะวิกฤตด้วยข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ปริมาณสินแร่ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ที่มีคุณภาพลดลงทำให้การทำเหมืองแร่ต้องใช้เทคโนโลยี พลังงาน และต้นทุนที่สูงขึ้น กระแสการต่อต้านจากชุมชนและสังคมในด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมถึงข้อจำกัดด้านกฎหมายสิ่งแวดล้อม การทับซ้อนกับพื้นที่ป่าอนุรักษ์และพื้นที่ลุ่มน้ำส่งผลให้ต้นทุนค่าเสียโอกาสทางสิ่งแวดล้อมไม่คุ้มทุนในระยะยาว ดังนั้น กระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้นำหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) มาใช้ส่งเสริมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเพื่อลดการพึ่งพาวัตถุดิบธรรมชาติ โดยที่เศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นการปฏิวัติวงจรการผลิตไปจนถึงการบริโภค จากเดิมที่มีรูปแบบเส้นตรง (linear economy) ซึ่งเป็นการนำมาผลิต บริโภค แล้วทิ้งไป ให้กลายเป็นรูปแบบที่เน้นการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และนำของเสียจากการบริโภคกลับเข้ามาสู่กระบวนการผลิตอีกครั้งดังที่แสดงในภาพที่ 1

การนำหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้ถือเป็นการพลิกโฉมแนวทางการทำเหมืองแร่แบบเดิมให้กลายเป็นการทำเหมืองในเมืองหรือ urban mining ซึ่งเป็นเป็นการผลิตวัตถุดิบทดแทน (secondary raw materials) จากซากผลิตภัณฑ์ใช้แล้วไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้า บรรจุภัณฑ์ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ (e-waste) แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ รวมถึงกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งแหล่งแร่จากขยะเหล่านี้มีจุดเด่น คือ มีความเข้มข้นของโลหะและแร่ธาตุยุทธศาสตร์สูงกว่าในสินแร่ธรรมชาติ

หลายเท่าตัว ทำให้กระบวนการรีไซเคิลใช้พลังงานและปล่อยคาร์บอนน้อยกว่าการผลิตวัตถุดิบจากแหล่งธรรมชาติอย่างมหาศาล นอกจากนี้เศรษฐกิจหมุนเวียนยังเป็นการนำทรัพยากรกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้อย่างไม่รู้จบซึ่งตรงกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ขององค์การสหประชาชาติในมิติต่าง ๆ เช่น การยกระดับอุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน ซึ่งจะช่วยขับเคลื่อนโลกให้เกิดความยั่งยืนทั้งในมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 1 รูปแบบของเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เน้นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพและนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ที่มา: European Parliament Research Service

นอกจากปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบธรรมชาติจะเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญต่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมแห่งอนาคตแล้ว ปัจจุบันยังมีความขัดแย้งทางภูมิรัฐศาสตร์และวิกฤตสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมโลกด้วย โดยจากรายงาน Global Risks Report 2026 ของ World Economic Forum ซึ่งได้รวบรวมมุมมองของผู้นำ ภาคธุรกิจ และผู้เชี่ยวชาญจากทั่วโลกเพื่อประเมินและจัดอันดับ "ความเสี่ยงระดับโลก" ที่อาจสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงต่อ GDP ของโลก ทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจนการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม มีการระบุถึงความเสี่ยงในระยะสั้นและระยะยาวไว้ดังนี้

1) ความมั่นคงทางวัตถุดิบของโลกกำลังถูกสั่นคลอนด้วยภาวะ "การเผชิญหน้าทางภูมิเศรษฐกิจ" (geoeconomic confrontation) ซึ่งถูกจัดเป็นความเสี่ยงระยะสั้น (กรอบเวลา 1-2 ปี) ที่มีผลกระทบอันดับหนึ่งของโลก โดยเกิดจากแรงขับเคลื่อนทางการเมืองระหว่างประเทศที่

ประเทศผู้ครอบครองทรัพยากรต้นน้ำหันมาใช้แร่ธาตุยุทธศาสตร์เป็นเครื่องมือในการต่อรอง เช่น การออกนโยบายจำกัดหรือห้ามส่งออกแร่ธาตุสำคัญที่จำเป็นต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมสมัยใหม่เพื่อสกัดกั้นห่วงโซ่การผลิตของประเทศคู่แข่ง ทำให้ส่งผลกระทบต่อประเทศกลางน้ำและปลายน้ำ รวมถึงอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ต้องเผชิญภาวะขาดแคลนวัตถุดิบและชิ้นส่วนการผลิต นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาห่วงโซ่อุปทานที่แตกแยกจากการเลือกข้างซึ่งความขัดแย้งระหว่างประเทศมหาอำนาจบีบบังคับให้ภาคธุรกิจต้องปรับเปลี่ยนกลยุทธ์จากความคุ้มค่าเชิงต้นทุนไปสู่ความมั่นคงด้านวัตถุดิบ เกิดการย้ายฐานการผลิตในลักษณะ friend-shoring หรือการเลือกคู่ค้าเฉพาะประเทศในกลุ่มพันธมิตร และ nearshoring (การย้ายฐานมาใกล้ประเทศแม่) ซึ่งการจำกัดเส้นทางการไหลเวียนของวัตถุดิบเช่นนี้ประกอบกับปัญหาเส้นทางระบบโลจิสติกส์ทางทะเล ยิ่งซ้ำเติมให้ราคาสินค้าวัตถุดิบมีความผันผวนและบริหารจัดการได้ยากมาก

2) ความเสี่ยงระยะยาว (กรอบเวลา 10 ปี) ผลการศึกษา² ระบุว่า ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมจะกลายเป็นปัจจัยที่กำหนดทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างเบ็ดเสร็จ โดยความเสี่ยงสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และการเปลี่ยนแปลงชั้นวิกฤตของระบบโลก ซึ่งความเสี่ยงในประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมนี้จะส่งผลโดยตรงให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบต้นน้ำของภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งส่งผลให้เกิดการปรับโครงสร้างและกฎระเบียบในการเข้าถึงทรัพยากรใหม่ที่มีความเข้มงวดเพิ่มมากขึ้น เพื่อหยุดยั้งการทำลายความหลากหลายทางชีวภาพ การส่งเสริมการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด และการลดการปลดปล่อยคาร์บอนที่นับเป็นเป้าหมายสากลร่วมกันของประเทศ

จากสภาพปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ถือเป็นวิกฤตร่วมกันของประเทศทั่วโลก ทำให้เกิดกฎระเบียบหรือมาตรการทางการค้าที่นับว่าเป็น “กติกายั่งยืนสากล” อย่างเต็มรูปแบบ มาตรการเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในฐานะมาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี (Non-Tariff Barriers: NTBs) ซึ่งมีความเข้มงวดสูงและจะสร้างแรงกดดันต่อผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมอย่างแน่นอน โดยตัวอย่างของกติกายั่งยืนสากลที่จะบังคับใช้ในอนาคต เช่น มาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดนของสหภาพยุโรป (EU CBAM) มาตรการ U.S. CCA (Clean Competition Act) ของสหรัฐอเมริกา EU CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) ซึ่งเป็นรายงานความยั่งยืนฉบับเข้มข้นที่ระบุให้มีการตรวจสอบย้อนกลับและการวัดก๊าซเรือนกระจกสำหรับบริษัทข้ามชาติขนาดใหญ่ในสหภาพยุโรป กฎระเบียบ EUDR (EU Deforestation Regulation) และระเบียบว่าด้วยบรรจุภัณฑ์และขยะบรรจุภัณฑ์ฉบับใหม่ของสหภาพยุโรป PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation) เป็นต้น

² แหล่งที่มา: Global Risks Report 2026, World Economic Forum. January 2026

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะเห็นได้ว่าการปรับเปลี่ยนแนวคิดของการบริหารจัดการวัตถุดิบสำหรับภาคอุตสาหกรรมจากระบบเส้นตรงไปสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ไม่ใช่แค่การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่เป็นยุทธศาสตร์ความอยู่รอดและการพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งอนาคต โดยจะช่วยอุตสาหกรรมในประเด็นการสร้างเชื่อมั่นด้านวัตถุดิบท่ามกลางความผันผวนของภูมิรัฐศาสตร์โลก เป็นเครื่องมือหลักในการตอบโจทยภัยคุกคามใหม่ๆ และช่วยยกระดับห่วงโซ่มูลค่าด้วยเทคโนโลยีเพื่อก้าวไปสู่อุตสาหกรรมที่ใช้นวัตกรรมนำหน้า เช่น การพัฒนาวัสดุชีวภาพ การออกแบบชิ้นส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและแยกชิ้นส่วน และการจับคู่แลกเปลี่ยนของเสียระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะขับเคลื่อนประเทศไปสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนและการเติบโตอย่างยั่งยืน

การศึกษานี้จะเป็นการรวบรวมและสังเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคต ซึ่งถือเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงการหาแนวทางพัฒนาจากนโยบายการต่างประเทศ เช่น กรอบความร่วมมือทวิภาคี พหุภาคี ข้อตกลงระหว่างประเทศ และการบูรณาการทำงานระหว่างหน่วยงานที่มประเทศไทย สำหรับยกระดับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย เพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถทางการแข่งขันในเวทีโลก ส่งเสริมการถ่ายทอดเทคโนโลยีและการลงทุน ทลายกำแพงมาตรการกีดกันทางการค้าสากล และขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมไทยสู่เป้าหมายคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน

1.2 การวิเคราะห์ความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ของส่วนราชการ

แนวทางการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อตอบโจทยความต้องการของอุตสาหกรรมแห่งอนาคต มีความสอดคล้องกับอำนาจหน้าที่และยุทธศาสตร์ของกระทรวงอุตสาหกรรม ดังนี้

1.2.1 แผนปฏิบัติราชการระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) ของกระทรวงอุตสาหกรรม

แผนปฏิบัติราชการ กระทรวงอุตสาหกรรม มีวิสัยทัศน์เพื่อปฏิรูปอุตสาหกรรมไทยสู่อุตสาหกรรมเศรษฐกิจที่เติบโตอย่างยั่งยืนคู่ชุมชน โดยการขับเคลื่อนและพัฒนาผู้ประกอบการภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม พัฒนาระบบนิเวศอุตสาหกรรม (Ecosystem) เพื่อเปลี่ยนผ่านอุตสาหกรรมไทยสู่ความยั่งยืน รวมทั้งปฏิรูปและขับเคลื่อนองค์กรด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล ยกระดับการให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส ตอบสนอง และมีอาชีพ

1.2.2 แผนปฏิบัติการระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

แผนปฏิบัติการของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ สนับสนุนการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี โดยส่งเสริมการบริหารจัดการทรัพยากรแร่และเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน เน้นการจัดการทรัพยากรแร่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จัดหาและบริหารวัตถุดิบเพื่อรองรับภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การยกระดับอุตสาหกรรมให้เป็นมิตรต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ผ่านการกำกับดูแลสถานประกอบการให้ได้มาตรฐานสากล ลดผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการพัฒนาปัจจัยสนับสนุน เช่น พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน นวัตกรรม เทคโนโลยี ระบบการบริหารจัดการทรัพยากร และการปรับปรุงกฎระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้เอื้อต่อการลงทุนและการเติบโตทางธุรกิจของภาคอุตสาหกรรม

1.2.3 แผนแม่บทการบริหารจัดการแร่ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2566-2570)

แผนแม่บทการบริหารจัดการแร่ จัดทำโดยคณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ ภายใต้บทบัญญัติของ พ.ร.บ. แร่ พ.ศ. 2560 มุ่งเน้นการปฏิรูปอุตสาหกรรมแร่ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยขับเคลื่อนนโยบาย BCG เชื่อมโยงแร่เข้ากับอุตสาหกรรมเป้าหมาย (New S-curve) ได้แก่ การป้อนวัตถุดิบสู่อุตสาหกรรมเป้าหมาย เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และแบตเตอรี่ สํารวจและใช้ประโยชน์แร่หายาก (rare earth) และแร่โลหะพื้นฐานเพื่อพัฒนาศูนย์กลางการผลิต EV ระดับภูมิภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะและหุ่นยนต์ การขับเคลื่อนด้วยเศรษฐกิจหมุนเวียน การสกัดแร่จากของเสีย (urban mining) สนับสนุนการนำกากอุตสาหกรรมขยะอิเล็กทรอนิกส์ และซากผลิตภัณฑ์ใช้แล้วมารีไซเคิลเป็นวัตถุดิบทดแทน เป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ที่สำคัญลดการพึ่งพาจากต่างประเทศ สร้างความมั่นคงทางวัตถุดิบเพื่อไม่ให้กระทบต่อห่วงโซ่อุปทานของภาคการผลิต

นอกจากนี้การพัฒนาอุตสาหกรรมไทยตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ยังมีความสอดคล้อง เชื่อมโยงกับแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาของประเทศในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่แผนในระดับ 1 ได้แก่ ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) แผนระดับ 2 ได้แก่ แผนปฏิรูปประเทศ แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2565-2569) และแผนระดับ 3 ได้แก่ ยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมไทย 4.0 ระยะ 20 ปี ยุทธศาสตร์การจัดการมลพิษ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) และแผนแม่บทด้านการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษจากขยะและของเสียอันตรายของประเทศ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)

บทที่ 2

การวิเคราะห์ประเด็นศึกษาและผลการศึกษา

2.1 การกำหนดประเด็นศึกษา

การศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคต เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดยุทธศาสตร์ ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย และทิศทางการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไทยให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลกท่ามกลางวิกฤตด้านทรัพยากร ภูมิรัฐศาสตร์ และปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายการเปลี่ยนผ่านไปสู่อุตสาหกรรมแห่งอนาคตและสังคมคาร์บอนต่ำ โดยมีการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ประกอบด้วย

1) ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการประชุม สัมมนา และสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วน ทั้งจากหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน สถาบันการศึกษา หน่วยงานวิจัย และผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้บริหารกระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงการต่างประเทศ กระทรวงพลังงาน การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย เป็นต้น

2) ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากเอกสารทางวิชาการ บทความ หนังสือพิมพ์ เอกสารเผยแพร่ งานวิจัย รวมถึงกฎระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ

ทั้งนี้จะเน้นศึกษาการใช้หลักการของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ในประเด็นต่อไปนี้

1) สถานการณ์การจัดการทรัพยากรแร่ของประเทศไทยเพื่อสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบให้กับภาคอุตสาหกรรม

2) ประโยชน์ของการนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

3) กรณีศึกษาการส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในต่างประเทศที่ประสบผลสำเร็จ

2.2 กรอบการวิเคราะห์ประเด็นศึกษา

2.2.1 สถานการณ์การจัดการทรัพยากรแร่ของประเทศไทยเพื่อสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบให้กับภาคอุตสาหกรรม

ประเทศไทยมีการทำเหมืองแร่เพื่อนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้เป็นวัตถุดิบให้กับภาคอุตสาหกรรมมาเป็นเวลามากกว่าร้อยปี ซึ่งการผลิตแร่ส่วนใหญ่จะเป็นแร่โลหะ (non-metallic minerals) สำหรับการก่อสร้าง แร่สำหรับอุตสาหกรรมแก้วกระจก อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมพลังงาน โดยข้อมูลอ้างอิงจากรายงานสถิติของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ พบว่าประเทศไทยมีปริมาณการผลิตแร่รวมทั้งประเทศเฉลี่ยราว 250 ล้านตันต่อปี³ สร้างมูลค่าการผลิตรวมประมาณ 74,000-80,000 ล้านบาทต่อปี โดยแบ่งรายละเอียดการผลิตแร่ประเภทต่าง ๆ จำแนกตามอุตสาหกรรมรายสาขา ได้ดังนี้

1) กลุ่มอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซีเมนต์ และวัสดุตกแต่ง เป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตแร่สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสูงที่สุดถึงร้อยละ 80 ของการผลิตทั้งหมด ประกอบด้วย หินปูนเพื่อการก่อสร้าง และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีผลผลิตประมาณ 160-170 ล้านตันต่อปี หินแกรนิตเพื่อการก่อสร้าง มีผลผลิตประมาณ 30-35 ล้านตันต่อปี แร่ยิปซัมสำหรับผลิตแผ่นยิปซัมบอร์ดและปูนซีเมนต์ มีการผลิตประมาณ 8-10 ล้านตันต่อปี และหินประดับ มีการผลิตประมาณ 20,000-40,000 ตันต่อปี

2) กลุ่มอุตสาหกรรมพลังงาน มีการทำเหมืองถ่านหินโดยส่วนใหญ่เป็นประเภทถ่านหินลิกไนต์ผลผลิตรวมประมาณ 12.5 ล้านตันต่อปี โดยทั้งหมดจะถูกป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าแม่เมาะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เพื่อความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ

3) กลุ่มอุตสาหกรรมเซรามิก แก้วกระจก และวัสดุทนไฟ มีการผลิตแร่ที่สำคัญได้แก่ แร่เฟลด์สปาร์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทำกระเบื้อง สุขภัณฑ์ และแก้ว มีปริมาณการผลิตประมาณ 1.2-1.5 ล้านตันต่อปี แร่ดินขาว (kaolin) และบอลเคลย์ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเซรามิก สุขภัณฑ์ และการผลิตกระดาษ มีผลผลิตรวมประมาณ 0.8-1.0 ล้านตันต่อปี ทรายแก้วและควอตซ์ ใช้ผลิตแผ่นกระจก บรรจุภัณฑ์แก้ว และชิ้นส่วนแผงโซลาร์เซลล์มีปริมาณการผลิตประมาณ 0.5-0.8 ล้านตันต่อปี

4) กลุ่มอุตสาหกรรมเคมี มีการผลิตแร่ที่สำคัญ คือ หินปูนที่ใช้ในการผลิตแคลเซียมคาร์บอเนต ผงฟอกขาว และสารเคมีบำบัดน้ำเสียมีปริมาณการผลิตประมาณ 3-5 ล้านตันต่อปี และเกลือซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการผลิตโซดาไฟ คลอรีน พลาสติกพีวีซี และเกลือสำหรับบริโภค มีปริมาณการผลิตประมาณ 1.8-2.2 ล้านตันต่อปี

³ แหล่งที่มา: ข้อมูลสถิติแร่ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม, 2569

5) กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะ ส่วนใหญ่เป็นการผลิตแร่โลหะพื้นฐาน ได้แก่ แร่เหล็ก ที่มีปริมาณการผลิตรวม 300,000-350,000 ตันต่อปี รวมทั้งโลหะมีค่าจำพวกทองคำและเงินที่มีผลผลิตคิดเป็นน้ำหนักโลหะประมาณปีละ 2.5 และ 12.5 ตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีแร่ดีบุกและกลุ่มแร่โมนาไซด์ที่มีแร่ธาตุหายาก (rare earth element) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีเหมืองแร่ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศ แต่ปริมาณค่อนข้างน้อยไม่ถึง 1,000 ตันต่อปี

จะเห็นได้ว่า การผลิตวัตถุดิบส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะเป็นแร่พื้นฐานที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งมีมูลค่าไม่สูงมาก แต่การเปลี่ยนผ่านไปสู่อุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี นวัตกรรม และความยั่งยืนโดยมุ่งเน้นการสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อยกระดับรายได้ของประชาชนให้สูงขึ้น มีความจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบขั้นสูงที่ยังไม่มีการทำเหมืองในประเทศ ทำให้ปัจจุบันไทยยังต้องพึ่งพาวัตถุดิบจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยกลุ่มแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแห่งอนาคตประกอบด้วย แร่ลิเทียมที่เป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงาน แร่ธาตุหายากมีการนำเข้าจากจีนเป็นหลักเพื่อใช้ในโรงงานผลิตมอเตอร์ไฟฟ้า (EV motors) แม่เหล็กกำลังสูง กังหันลม และเครื่องจักรที่มีความแม่นยำสูง วัตถุดิบประเภทชิปและเซมิคอนดักเตอร์ขั้นสูงสำหรับอุตสาหกรรมอัจฉริยะ (SMART industry) หุ่นยนต์ และระบบอัตโนมัติต้องพึ่งพาการนำเข้าจากไต้หวัน เกาหลีใต้ จีน และสหรัฐ โลหะผสมเกรดพิเศษสำหรับอุตสาหกรรมการบินและอวกาศ (Aviation) และยานยนต์ รวมทั้งสารเคมีขั้นสูงที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพและเวชภัณฑ์ ก็ยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าหลายแสนล้านบาทต่อปี

สำหรับสถานการณ์ด้านการนำเข้าของเสียกลับมาใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบทดแทนตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนของประเทศไทย มีรายงานว่า ขยะหรือของเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ขยะมูลฝอยชุมชนและขยะจากภาคอุตสาหกรรม โดยคนไทยสร้างขยะเฉลี่ยคนละ 1.2 กิโลกรัมต่อวัน และยังมีแนวโน้มปริมาณขยะที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากพฤติกรรมการบริโภคที่มีการสั่งสินค้าออนไลน์และอาหารเดลิเวอรี่เพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีขยะมูลฝอยชุมชนปริมาณมากกว่า 27 ล้านตันต่อปี⁴ ทั้งนี้พบว่า 1 ใน 4 มีการกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง เช่น การเทกองกลางแจ้ง และการลักลอบเผาก่อให้เกิดมลพิษ ปัญหาสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนในระยะยาว สำหรับขยะมูลฝอยที่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์มีปริมาณ 10.6 ล้านตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 40 ของขยะทั้งหมด โดยส่วนใหญ่จะเป็นขยะพลาสติกที่มีการนำเข้าสู่ระบบรีไซเคิล และขยะที่เผาไหม้ได้ซึ่งจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง RDF (refuse derived fuel) หรือเชื้อเพลิงขยะแปรรูปโดยผ่านการคัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออกไป จากนั้นนำส่วนที่เหลือมาบดย่อยและลดความชื้นเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงแข็งที่มีค่าความร้อนสูง นำไปใช้ทดแทนถ่านหินในโรงไฟฟ้าหรือเตาเผาปูนซีเมนต์ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีขยะ

⁴ แหล่งที่มา: ระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กรมควบคุมมลพิษ, 2569

อีกเป็นจำนวนมากที่ถูกกลบและไม่สามารถหมุนเวียนกลับมาเป็นวัตถุดิบได้ เช่น ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งของเสียอันตรายประเภทแบตเตอรี่ หลอดไฟ และภาชนะบรรจุสารเคมี เป็นต้น ซึ่งมีสาเหตุจากประชาชนไม่มีองค์ความรู้ในเรื่องการแยกขยะ ขาดระบบการรวบรวม การบริหารจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพ และยังไม่มีกฎระเบียบที่จะคัดแยก ของเสียอันตรายออกจากขยะทั่วไป รวมไปถึงกฎหมายที่จะนำมากำกับดูแลให้ภาคเอกชนซึ่งเป็น บริษัทผู้ผลิตสินค้าต้องรับผิดชอบในการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์

ขยะอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือกากอุตสาหกรรม ซึ่งมีการกำกับดูแลและจัดการตามพระราชบัญญัติโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม โดยกาก อุตสาหกรรมของประเทศไทยมีประมาณ 19.8 ล้านตันต่อปี⁵ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย (non-hazardous industrial waste) ที่มีปริมาณ 18.7 ล้านตันต่อปี ซึ่งกากอุตสาหกรรมในกลุ่มนี้ปัจจุบันมีการจัดการค่อนข้างดี มีอัตราการนำกลับมาใช้ประโยชน์สูงถึง 70-80% โดยจะนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF หรือเชื้อเพลิงร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์ ใช้เป็นวัตถุดิบ ทดแทนในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เช่น ผสมในปูนซีเมนต์ ทำอิฐมวลเบา แผ่นผนังสำเร็จรูป วัสดุบดอัด ทำถนน และใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น ส่วนกากอุตสาหกรรมอีกกลุ่มหนึ่ง คือของเสียอันตรายมีปริมาณ 1.1 ล้านตันต่อปี ซึ่งเกือบทั้งหมดจะ มีการจัดการด้วยวิธีเผาทำลายหรือฝังกลบแบบปลอดภัย (secured landfill) แต่สำหรับ กากอุตสาหกรรมที่มีองค์ประกอบเป็นโลหะหนักหรือโลหะที่มีมูลค่าสูงกลับมีการนำกลับมารีไซเคิลได้ เพียงบางประเภทเนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างโรงงานค่อนข้างสูง ซึ่งหากมีปริมาณกากอุตสาหกรรมไม่มากเพียงพอก็จะไม่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์

จากข้อมูลการบริหารจัดการทรัพยากรของประเทศไทยแสดงให้เห็นว่า หากผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมต้องการเปลี่ยนผ่านไปสู่อุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่มีการใช้ เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า อุตสาหกรรมดิจิทัลและอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ และอุตสาหกรรมพลังงานสะอาด จำเป็นต้องใช้วัตถุดิบในกลุ่มแร่ธาตุสำคัญ (critical minerals) ที่กำลังเป็นที่ต้องการของตลาดโลกสูงมาก อาทิ แร่ลิเทียม ซิลิกอน ทองแดง นิกเกิล แมงกานีส โคบอลต์ และแร่ธาตุหายาก ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้ไม่มีแหล่งแร่ศักยภาพภายในประเทศที่มีปริมาณมาก เพียงพอต่อการลงทุนทำเหมืองแร่ ดังนั้นแหล่งวัตถุดิบที่มีความเป็นไปได้และมีความเหมาะสมสำหรับ บริบทของการพัฒนาอุตสาหกรรมไทยก็คือ ทรัพยากรหมุนเวียน (secondary raw materials) จาก ของเสียประเภทต่างๆ ได้แก่ ขยะอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน

⁵ แหล่งที่มา: กองบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2569

(end of life) ชากแผงโซลาร์เซลล์เสื่อมสภาพ และกากอุตสาหกรรมที่ได้จากกระบวนการผลิตในโรงงาน เป็นต้น โดยผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ แยกตามประเภทของของเสียไว้ ดังที่แสดงในตารางที่ 2

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการจัดการขยะของเสียที่เกิดขึ้นในประเทศไทยยังคงมีปัญหาค่อนข้างมาก ทั้งในเรื่องการออกแบบระบบคัดแยก การเก็บรวบรวม การพัฒนาเทคโนโลยี รีไซเคิล และไม่มีกฎระเบียบสำหรับควบคุมของเสียที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ไม่สามารถนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ตามแนวคิด Urban Mining หรือ "การทำเหมืองในเมือง" ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนขยะและของเสียที่มนุษย์สร้างขึ้นในเขตชุมชนเมืองหรือพื้นที่อุตสาหกรรม ให้กลายเป็นแหล่งขุมทรัพย์ทรัพยากรทดแทน โดยเน้นการสกัดและรีไซเคิลแร่ธาตุ โลหะมีค่า หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ กลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาช่วยเพื่อลดปริมาณขยะและยังเพิ่มมูลค่าให้กับขยะเหล่านี้อย่างเต็มที่ โดยไม่ได้เน้นแค่การรีไซเคิลเท่านั้น แต่ต้องเปลี่ยนแนวความคิดในกระบวนการผลิตทั้งหมด เริ่มตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด ลดการเกิดของเสียระหว่างกระบวนการผลิต ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ลดพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์ภายหลังที่หมดอายุการใช้งาน เช่น การใช้วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ สามารถรีไซเคิลได้ง่าย หรือสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ในอนาคต ซึ่งทั้งหมดนี้จะช่วยลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ เพิ่มแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนภายในประเทศที่มีความยั่งยืน ลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ เพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการไทยในตลาดโลก และเป็นการสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบให้กับภาคอุตสาหกรรมของประเทศได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 2 ขยะหรือของเสียที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคตตามแนวคิดการทำเหมืองในเมือง (urban mining)

ประเภทของเสีย	องค์ประกอบ	ปริมาณที่เกิดขึ้นต่อปี	แนวโน้มสถานการณ์
ขยะอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้า (WEEE)	ทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก และโลหะมีค่า (ทองคำ เงิน และแพลทตินัม เป็นต้น)	680,000 ตัน	เติบโตขึ้นทุกปีตามทิศทางการบริโภคเทคโนโลยีที่สูงขึ้น แต่มีเพียง 15-20% ที่เข้าสู่ระบบรีไซเคิลที่เหมาะสม
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	ลิเทียม นิกเกิล โคบอลต์ แมงกานีส และกราไฟต์	1,000-5,000 ตัน	เพิ่มขึ้นตามการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) โดยคาดว่าจะมีปริมาณสะสมแบบก้าวกระโดดภายหลังปี 2573
แผงโซลาร์เซลล์	กระจก อลูมิเนียม ซิลิกอน โพลีเมอร์ ทองแดง และโลหะเงิน	10,000-70,000 ตัน	แผงโซลาร์เซลล์ชุดแรกๆ ที่ติดตั้งมาตั้งแต่ปี 2545 เริ่มเสื่อมสภาพ และจะมีปริมาณสะสมมากกว่า 600,000 ตันในอนาคต
มอเตอร์ไฟฟ้า	ทองแดง และแร่ธาตุหายากในกลุ่ม แม่เหล็ก นีโอไดเมียม (NdFeB)	มากกว่า 10,000 ตัน (ไม่มีข้อมูลแน่ชัดเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้า)	มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากขยะกลุ่มฮาร์ดดิสก์ไดฟ์ (HDD) เครื่องใช้ไฟฟ้า และยานยนต์ไฟฟ้า
กากอุตสาหกรรมปูนเปื้อนโลหะ	ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี นิกเกิล และโครเมียม	1-2 ล้านตัน	เป็นกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตะกรันหลอมโลหะ (slag) ตะกอนชุบโลหะ (plating sludge) และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2.2 ประโยชน์ของการนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

หลายคนมักเข้าใจผิดว่าการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่เป็นเรื่องของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเป็นหลัก แต่จริงๆ แล้วถือว่ามีสำคัญอย่างมากในมุมมองของการสร้างความมั่นคงด้านวัตถุดิบให้แก่ภาคอุตสาหกรรมของประเทศ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียในการนำหลักการ

เศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) มาใช้ขับเคลื่อนให้เกิดขึ้นได้จริงในระดับอุตสาหกรรม จำเป็นต้องพิจารณามิติอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วยเพื่อให้สามารถกำหนดนโยบายและประเมินความคุ้มค่าได้อย่างครอบคลุม ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้วิธี PESTEL Analysis ที่เป็นเครื่องมือทางกลยุทธ์ที่ใช้วิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมภายนอกในระดับมหภาคที่มีผลกระทบต่อการดำเนินงาน การตัดสินใจ หรือ การวางยุทธศาสตร์ขององค์กร โดยพิจารณาออกมาเป็น 6 มิติหลัก ได้แก่ P: Political มิติด้านการเมือง E: Economic มิติด้านเศรษฐกิจ S: Social มิติด้านสังคม T: Technological มิติด้านนวัตกรรมเทคโนโลยี E: Environmental มิติด้านสิ่งแวดล้อม และ L: Legal มิติด้านกฎระเบียบ ข้อบังคับ ซึ่งการวิเคราะห์ความสำคัญของการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับภาคอุตสาหกรรมแทนทรัพยากรธรรมชาติในแต่ละมิติมีรายละเอียดดังนี้

1) มิติด้านการเมืองและนโยบาย (political)

การพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเป็นยุทธศาสตร์สำคัญเรื่องความมั่นคงทางการเมืองทั้งในระดับระหว่างประเทศและภายในประเทศ ดังนี้

ด้านการเมืองระหว่างประเทศ

ปัญหาความตึงเครียดทางภูมิรัฐศาสตร์ (Geopolitics) และการแข่งขันด้านความมั่นคงของห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรม ปัจจุบันแร่สำคัญและวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคตกระจุกตัวอยู่ในบางประเทศ เช่น จีน สาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก แอลเบเนีย รัสเซีย และประเทศผู้ผลิตแร่รายใหญ่ต่าง ๆ ทำให้ความขัดแย้งทางการเมืองหรือมาตรการจำกัดการส่งออกอาจส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานโลก ดังนั้นการส่งเสริมการทำ urban mining ผ่านการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นแนวทางที่หลายประเทศใช้เพื่อลดความเสี่ยงทางการเมืองในระดับสากลและสร้างความมั่นคงของห่วงโซ่อุปทานให้กับอุตสาหกรรมของตน ขณะเดียวกันยังช่วยสร้างอำนาจต่อรองในการรับมือกับมาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี (non-tariff barriers) จากประเทศมหาอำนาจอย่างสหภาพยุโรป เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของสินค้าส่งออกไทย ดึงดูดการลงทุนจากบริษัทข้ามชาติที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม สังคม และธรรมาภิบาล (ESG) และเปิดรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีสีเขียว นอกจากนี้ ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการแสดงภาวะผู้นำของไทยบนเวทีโลก เพื่อตอบสนองพันธกรณีสากล ทั้งการบรรลุเป้าหมาย Net Zero ในปี ค.ศ. 2050 ตามข้อตกลงปารีส และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ของสหประชาชาติด้วย

ด้านการเมืองภายในประเทศ

อุตสาหกรรมแห่งอนาคตส่วนใหญ่ต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ เช่น ลิเทียม โคบอลต์ นิกเกิล แร่หายาก และโลหะมีค่า ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนจึงช่วย ป้องกันปัญหาการหยุดชะงักของห่วงโซ่อุปทานหากเกิดวิกฤตการณ์ระดับโลก และเพิ่มความมั่นคงทาง

เศรษฐกิจในระยะยาว ขณะเดียวกันยังสะท้อนบทบาทของภาครัฐในการกำหนดทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่เป็นรูปธรรม โดยอาจผ่านมาตรการสนับสนุนต่าง ๆ เช่น สิทธิประโยชน์ทางภาษี เงินอุดหนุน การส่งเสริมการลงทุน และการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐสีเขียว (green public procurement) เพื่อกระตุ้นให้ภาคเอกชนเกิดการลงทุนในอุตสาหกรรมรีไซเคิล การใช้วัตถุดิบหมุนเวียน และยกระดับอุตสาหกรรมของประเทศไปสู่การผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพยังช่วยลดภาระสิ่งแวดล้อม ลดการต่อต้านจากชุมชน ป้องกันความขัดแย้งและข้อพิพาททางสังคมที่อาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพทางการเมือง ตลอดจนเป็นกลไกหลักในการบรรลุเป้าหมายระดับชาติและวาระความยั่งยืน เช่น ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี การขับเคลื่อนนโยบาย BCG economy การบริหารจัดการขยะอุตสาหกรรมและของเสียอันตรายได้อย่างเป็นรูปธรรม

สรุปในมิติด้านการเมือง การส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนทรัพยากรธรรมชาติมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งอนาคต เนื่องจากช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านทรัพยากร ลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบ สนับสนุนเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรม ในขณะเดียวกันยังเป็นกลไกสำคัญในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงนโยบายการค้าระหว่างประเทศ มาตรการด้านสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงจากความตึงเครียดทางภูมิรัฐศาสตร์ ดังนั้นภาครัฐจึงควรเร่งกำหนดนโยบาย มาตรการจูงใจ และกฎระเบียบที่เอื้อต่อการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างเป็นระบบ เพื่อสร้างรากฐานการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืนและรองรับการเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจสีเขียวในอนาคต

2) มิติด้านเศรษฐกิจ (economic)

การเปลี่ยนผ่านจากระบบเศรษฐกิจเชิงเส้น (linear economy) ซึ่งเน้นการผลิต การใช้ และการทิ้ง ไปสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ถือเป็นยุทธศาสตร์ทางเศรษฐกิจที่เปลี่ยนมุมมองต่อ "ของเสีย" ที่เดิมเป็นต้นทุนซึ่งมีภาระในการกำจัดให้กลายเป็น "สินทรัพย์" หรือนำกลับมาใช้วัตถุดิบใหม่ได้ และสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมแห่งอนาคต วัตถุดิบเหล่านี้ถือเป็นหัวใจหลักในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคธุรกิจ ดังนั้นการวิเคราะห์ในมิติเศรษฐกิจจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งดังรายละเอียดต่อไปนี้

การนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของภาคอุตสาหกรรม วัตถุดิบจากธรรมชาติหลายชนิดมีแนวโน้มของราคาที่ปรับตัวสูงขึ้นตามความต้องการของตลาดโลก ขณะที่ทรัพยากรบางประเภทเริ่มมีข้อจำกัดด้านปริมาณ การนำขยะหรือของเสียกลับเข้าสู่ระบบการผลิต จึงสามารถลดต้นทุนการจัดหาวัตถุดิบใหม่ และลดต้นทุนการจัดของเสีย นอกจากนี้ยังช่วยสร้างการเชื่อมโยงแลกเปลี่ยนวัตถุดิบระหว่างโรงงาน

เกิดเป็นวงจรทรัพยากรต้นทุนต่ำร่วมกัน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรตลอดห่วงโซ่อุปทาน และลดความเสี่ยงจากความผันผวนของราคาวัตถุดิบ

ประเทศไทยยังคงพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบและแร่สำคัญจำนวนมาก การพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนจะช่วยให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมลดการนำเข้าวัตถุดิบโดยการนำของเสียภายในประเทศกลับมาใช้ทดแทน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการพึ่งพาตนเองทางเศรษฐกิจ ลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ลดผลกระทบจากความผันผวนของอัตราแลกเปลี่ยน ลดการขาดดุลทางการค้า และสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจของประเทศในระยะยาว รวมทั้งเป็นการสร้างอุตสาหกรรมและตลาดใหม่ที่มีศักยภาพในการเติบโตสูงได้ เช่น อุตสาหกรรมรีไซเคิลขั้นสูง ธุรกิจการทดสอบ ตรวจสอบ และรับรองมาตรฐานวัตถุดิบทดแทน ธุรกิจคัดแยกและแปรรูปวัสดุ ธุรกิจซ่อมแซมและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ธุรกิจบริหารจัดการของเสียอันตราย และบริการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (reverse logistics) โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้สามารถสร้างการจ้างงานใหม่ เพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ประกอบการ และกระตุ้นการลงทุนด้านนวัตกรรมเทคโนโลยี ตลอดจนเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) วิสาหกิจชุมชน และธุรกิจสตาร์ทอัพเข้ามามีบทบาทในห่วงโซ่มูลค่าใหม่ ส่งผลให้เกิดการกระจายรายได้ในสังคมอย่างทั่วถึงมากขึ้น

ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนสำหรับอุตสาหกรรมแห่งอนาคต ไม่ใช่ระบบการจัดการขยะมูลฝอยที่ใช้แรงงานขั้นต่ำ แต่เป็นอุตสาหกรรมสมัยใหม่ที่มีการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและต้องการแรงงานทักษะสูง เช่น วิศวกร นักวิเคราะห์วัสดุ ผู้เชี่ยวชาญการคัดแยก และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) จึงถือเป็นการพัฒนาทักษะแรงงานให้กับภาคอุตสาหกรรม ช่วยยกระดับโครงสร้างรายได้ของแรงงานภายในประเทศ และเพิ่มศักยภาพการผลิตทางเศรษฐกิจโดยรวมได้นอกจากนี้ ในเวทีโลกผู้บริโภคและประเทศคู่ค้าหลายแห่งเริ่มให้ความสำคัญกับสินค้าที่มีความยั่งยืนและมีสัดส่วนการใช้วัสดุรีไซเคิลสูงขึ้น การส่งเสริมการใช้วัตถุดิบหมุนเวียนจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของสินค้าไทยในตลาดสากล โดยเฉพาะสินค้าในกลุ่มเทคโนโลยีขั้นสูง ยานยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุก่อสร้างสีเขียว ตลอดจนช่วยสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่จากการส่งออกผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบทุติยภูมิ เทคโนโลยี และองค์ความรู้ด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน ซึ่งเป็นตลาดที่มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง

สรุปในมิติด้านเศรษฐกิจ การส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนทรัพยากรธรรมชาติมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งอนาคต ไม่ใช่เรื่องของความรับผิดชอบต่อสังคมที่เป็นภาระค่าใช้จ่ายอีกต่อไป แต่เป็นกลยุทธ์ทางเศรษฐกิจที่สร้างความได้เปรียบแข่งขัน เนื่องจากช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร สร้างมูลค่าเพิ่มจากของเสีย ลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบ และสร้างโอกาสทางธุรกิจใหม่ ขณะเดียวกันยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศในห่วงโซ่อุปทานโลก ดึงดูด

การลงทุนที่เน้นความยั่งยืน และเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจในระยะยาว อันเป็นรากฐานสำคัญของการเติบโตอย่างยั่งยืน

3) มิติด้านสังคม (social)

ประโยชน์ของการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับภาคอุตสาหกรรมแทนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติมีความสำคัญในมิติด้านสังคม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตและสุขภาวะของประชาชน โดยลดผลกระทบด้านสุขภาพจากปัญหาที่เกิดจากการทำเหมือง มลพิษจากกระบวนการผลิต และการจัดการของเสียในวิธีดั้งเดิม เช่น การเผาหรือฝังกลบ ซึ่งรูปแบบการทำอุตสาหกรรมจากทรัพยากรธรรมชาติหาไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเหมาะสม อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารพิษในดิน น้ำ และอากาศ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและชุมชนในพื้นที่ ซึ่งจะนำไปสู่ การลดภาระค่าใช้จ่ายด้านสาธารณสุขของประเทศและช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนให้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของสังคมโดยรวม โดยเฉพาะกลุ่มคนรุ่นใหม่ที่มีความสำคัญในเรื่องสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนมากขึ้น การที่ภาคอุตสาหกรรมสนับสนุนการใช้วัตถุดิบหมุนเวียนจะช่วยสร้างวัฒนธรรมการบริโภคที่มีความรับผิดชอบและเพิ่มความเชื่อมั่นต่อความคาดหวังของสังคมในยุคใหม่ได้เป็นอย่างดี

การทำเหมืองในแหล่งทรัพยากรธรรมชาติในหลายพื้นที่ทั่วโลกมักมีความเชื่อมโยงกับปัญหาการละเมิดสิทธิมนุษยชนและแรงงานทาส เช่น การทำเหมืองแร่โคบอลต์หรือลิเทียมในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งมีการใช้แรงงานเด็กและสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไร้ความปลอดภัย รวมทั้งการปัญหาความขัดแย้งด้านสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ เช่น ปัญหาที่ตรวจพบสารโลหะหนักปนเปื้อนสูงเกินค่ามาตรฐานในแม่น้ำกั้นพรมแดนระหว่างไทยและเมียนมาซึ่งเกิดจากความขยายตัวของอุตสาหกรรมเหมืองแร่ธาตุหายากที่ไม่มีการควบคุมผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด การใช้เทคโนโลยีรีไซเคิลที่ทันสมัยแทนการทำลายทรัพยากรธรรมชาติจึงช่วยสร้างภาพลักษณ์เชิงบวกและตอบโจทย์ความคาดหวังเรื่องความรับผิดชอบต่อสังคมซึ่งจะช่วยลดความขัดแย้งในสังคมโลกได้

การลดความเหลื่อมล้ำและส่งเสริมความเป็นธรรมทางสังคม โดยระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนจะช่วยสร้างโอกาสในการเข้าถึงรายได้และการจ้างงานในภาคส่วนใหม่ ๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทหรือชุมชนที่มีข้อจำกัดด้านการพัฒนาเศรษฐกิจ การจัดตั้งศูนย์คัดแยกขยะ ศูนย์รีไซเคิล หรือโรงงานแปรรูปวัสดุเหลือใช้ สามารถสร้างรายได้ให้กับประชาชนในพื้นที่และช่วยกระจายการพัฒนาออกจากเขตเมือง รวมทั้งการยกระดับแรงงานนอกระบบที่เกี่ยวข้องกับการเก็บและคัดแยกของเสียเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจที่เป็นทางการ จะช่วยให้แรงงานกลุ่มดังกล่าวได้รับการคุ้มครองด้านแรงงานรายได้ และสวัสดิการที่ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดความเป็นธรรมทางสังคมมากยิ่งขึ้น

ในหลายประเทศ การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมมักเผชิญกับข้อกั้วจากชุมชนเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และคุณภาพชีวิต การนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้สามารถช่วยลดความขัดแย้งระหว่างภาคอุตสาหกรรมกับชุมชนได้ เนื่องจากแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ อุตสาหกรรมที่สามารถนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มมูลค่าย่อมได้รับความไว้วางใจจากประชาชนมากขึ้น ส่งผลให้การพัฒนาโครงการอุตสาหกรรมใหม่ได้รับการยอมรับทางสังคม (social license to operate) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจระยะยาว

สรุปในมิติด้านสังคม การส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ ถือเป็นสะพานเชื่อมระหว่าง ภาคอุตสาหกรรม ผู้บริโภค และชุมชนท้องถิ่น ให้กลายเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่ได้รับประโยชน์ร่วมกัน เนื่องจากช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตและสุขภาพของประชาชน สร้างการจ้างงานและอาชีพใหม่ ส่งเสริมพฤติกรรม การบริโภคอย่างยั่งยืน ลดความเหลื่อมล้ำทางสังคม เพิ่มการยอมรับของชุมชนต่อการพัฒนา อุตสาหกรรม และสนับสนุนการพัฒนาทุนมนุษย์ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญที่สุดในการขับเคลื่อนประเทศ ไปสู่ความยั่งยืนอย่างแท้จริง

4) มิติด้านเทคโนโลยี (technology)

ภายใต้กรอบการวิเคราะห์ PESTEL มิติด้านเทคโนโลยีถือเป็นปัจจัยที่สะท้อนทั้ง โอกาส ความจำเป็น และความท้าทายในการส่งเสริมการใช้ของเสียเป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับ ภาคอุตสาหกรรม โดยเป็นตัวชี้วัดว่าอุตสาหกรรมแห่งอนาคตจะสามารถก้าวข้ามข้อจำกัดทางเทคนิค ในการแปรรูปของเสียให้กลายเป็นวัตถุดิบคุณภาพสูงได้อย่างไร ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

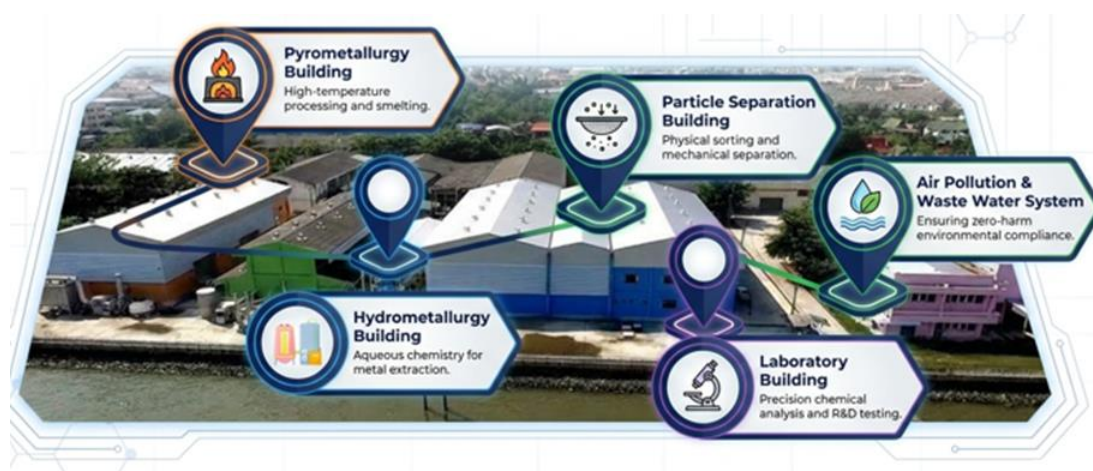
ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนสามารถผลักดันให้ภาคอุตสาหกรรมพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตที่สามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเทคโนโลยีการคัดแยก การแปรรูป และการกู้คืนวัสดุจากของเสียที่มีความซับซ้อนสูง เมื่อก่อนของเสียจำนวนมากไม่สามารถ นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี แต่ปัจจุบันการพัฒนาระบบคัดแยก อัตโนมัติที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ระบบเซ็นเซอร์อัจฉริยะ หุ่นยนต์ และเทคโนโลยี machine vision ช่วยให้การจำแนกวัสดุประเภทต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ส่งผลให้วัตถุดิบรีไซเคิลมี คุณภาพสูงขึ้นและสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะใน อุตสาหกรรมแห่งอนาคต เช่น อุตสาหกรรมแบตเตอรี่และอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีการรีไซเคิลที่ ทันสมัยสามารถนำลิเทียม นิกเกิล โคบอลต์ แมงกานีส ทองแดง และแร่ธาตุหายากกลับมาใช้ใหม่ได้ ในระดับที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบปฐมภูมิที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบและ ลดต้นทุนการผลิตในระยะยาว

เทคโนโลยีกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดการออกแบบเพื่อการหมุนเวียน (design for circularity) ช่วยให้เศรษฐกิจหมุนเวียนไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการจัดการของเสียหลังการใช้งาน แต่เริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยผู้ผลิตสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เอื้อต่อการใช้ซ้ำ การซ่อมแซม การถอดประกอบ และการรีไซเคิลได้ง่ายขึ้น ในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าอัจฉริยะ ผู้ผลิตหลายรายเริ่มนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาช่วยในการออกแบบ เช่น การใช้แบบจำลองดิจิทัล การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD/CAM) และการจำลองวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (life cycle simulation) เพื่อประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและความสามารถในการรีไซเคิลตั้งแต่ระยะเริ่มต้น นอกจากนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุศาสตร์ยังช่วยให้คิดค้นวัสดุชนิดใหม่ที่สามารถรีไซเคิลได้ง่าย มีอายุการใช้งานยาวนาน และสามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตได้หลายรอบโดยไม่สูญเสียคุณสมบัติทางเทคนิค ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมขั้นสูงที่ต้องการวัสดุที่มีมาตรฐานและคุณภาพดี รวมถึงการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ใช้พลาสติกหรือโลหะชนิดเดียวทั้งชิ้นงาน ช่วยลดขั้นตอนและเทคโนโลยีในการแยกชิ้นวัสดุในอนาคต

ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการติดตามและบริหารจัดการทรัพยากรตลอดห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งมีบทบาทช่วยเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างผู้ผลิต ผู้ใช้ และผู้รีไซเคิล เช่น เทคโนโลยี internet of things (IoT) ระบบ Big Data Analytics และ Blockchain for Material Origin ทำให้สามารถติดตามแหล่งที่มา องค์ประกอบ และสถานะของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นได้อย่างแม่นยำ ช่วยให้การวางแผนการนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิลมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การใช้ digital product passport หรือหนังสือเดินทางดิจิทัลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งกำลังได้รับการผลักดันในหลายประเทศ ช่วยให้สามารถตรวจสอบข้อมูลวัสดุ ส่วนประกอบ และประวัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้ตลอดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีเกี่ยวกับการประเมินการปล่อยคาร์บอน โดยการใช้ซอฟต์แวร์และสร้างแบบจำลองเสมือน เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุดิบทดแทนเทียบกับการใช้ทรัพยากรใหม่แบบ real-time ช่วยให้อุตสาหกรรมปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้มี carbon footprint ต่ำที่สุด รวมทั้งมีการพัฒนาระบบ Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของโรงงาน แล้วนำก๊าซคาร์บอนนั้นกลับมาใช้ประโยชน์เป็นพลังงานหรือผลิตเป็นวัตถุดิบใหม่ได้

การส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนยังถือเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญในการพัฒนานวัตกรรม เทคโนโลยี และการวิจัยขั้นสูง ซึ่งเป็นรากฐานของอุตสาหกรรมแห่งอนาคต ประเทศที่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล การกู้คืนทรัพยากร และหมุนเวียนวัตถุดิบได้เอง จะมีความได้เปรียบเชิงการแข่งขันมากกว่าประเทศที่ยังพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากภายนอก ทั้งนี้การลงทุนด้านวิจัยและพัฒนาในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนจะช่วยยกระดับ

ขีดความสามารถทางเทคโนโลยีของประเทศในระยะยาว ช่วยสร้างทรัพย์สินทางปัญญา ส่งเสริมการเกิดสตาร์ทอัพเทคโนโลยีสีเขียว และดึงดูดการลงทุนจากอุตสาหกรรมชั้นนำของโลก สำหรับหน่วยงานภาครัฐของไทยที่มีบทบาทหลักในการขับเคลื่อนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าด้วยการพัฒนาเทคโนโลยี ได้แก่ กระทรวงอุตสาหกรรมมีการจัดตั้งศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขึ้นที่อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อเป็นศูนย์กลางวิชาการและศูนย์ทดลองทางเทคโนโลยีรีไซเคิลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของประเทศ ซึ่งดำเนินการโดยกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการแต่งแร่และอุตสาหกรรมโลหการ จากเดิมที่เน้นการทำเหมืองแร่ในธรรมชาติเมื่อทรัพยากรเริ่มลดลง ประกอบกับขยะและของเสียจากภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น จึงได้ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ดังกล่าวเพื่อเปลี่ยนทิศทางจากการทำเหมืองธรรมชาติมาสู่ "การทำเหมืองแร่ในเมือง" (urban mining)



ภาพที่ 2 ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ จ.สมุทรปราการ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เปิดดำเนินการอย่างเป็นทางการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ทำหน้าที่พัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลตั้งแต่ระดับห้องปฏิบัติการ (lab scale) ไปจนถึงระดับโรงงานต้นแบบ (pilot scale) เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ ขยายผลสู่เชิงพาณิชย์ ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเทคโนโลยีมากกว่า 90 เรื่อง และมีเทคโนโลยีรีไซเคิลที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมแห่งอนาคตมากมาย เช่น เทคโนโลยีรีไซเคิลซากแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยนำซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่เสื่อมสภาพกลับมาเป็นวัตถุดิบผลิต "ต้นแบบแบตเตอรี่ EV จากการรีไซเคิล" ได้สำเร็จเป็นครั้งแรกในไทย เทคโนโลยีรีไซเคิลซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครบวงจร เทคโนโลยีการการสกัดแร่ธาตุหายากจากซากเครื่องใช้ไฟฟ้า ขยะอิเล็กทรอนิกส์ และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อป้อนกลับเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมไฮเทค

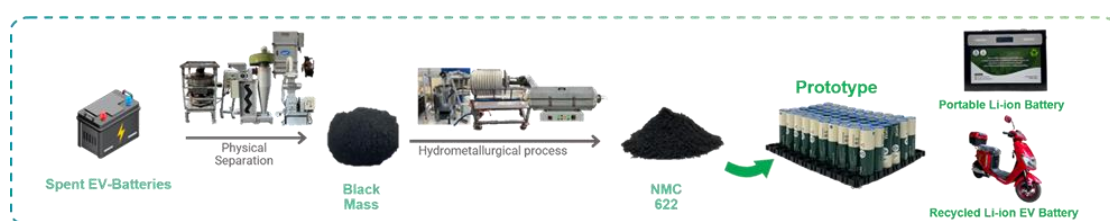
เทคโนโลยีรีไซเคิลกากของเสียอันตรายเฉพาะกลุ่ม ได้แก่ ฝุ่นสังกะสีและฝุ่นทองแดงจากอุตสาหกรรม หลอมหล่อทองเหลือง ตะกรันจากโรงงานหลอมอลูมิเนียมและตะกั่ว และถ่านไฟฉายใช้แล้ว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีสังเคราะห์วัสดุขั้นสูงและวัสดุักจับคาร์บอนด้วย



เครื่องต้นแบบคัดแยกซากแบตเตอรี่
ลิเทียมไอออน

เครื่องต้นแบบคัดแยกซากแผง
โซลาร์เซลล์

เครื่องต้นแบบคัดแยกแผงวงจร
อิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 3 ตัวอย่างเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม

สรุปในมิติด้านเทคโนโลยี ในการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน เทคโนโลยีนี้จะเป็นตัวเปลี่ยนเกมที่ทำหน้าที่ผลักดันให้ขยะและของเสียสามารถทำหน้าที่แทนทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ลดการสูญเสียทรัพยากร สนับสนุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามแนวคิด design for circularity พัฒนาระบบติดตามและบริหารจัดการทรัพยากรด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล และยกระดับการจัดการสิ่งแวดล้อมผ่านเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูง นอกจากนี้ ยังเป็นแรงผลักดันสำคัญต่อการวิจัยพัฒนา และนวัตกรรม ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันในห่วงโซ่อุปทานโลกได้อย่างยั่งยืนและรองรับการเติบโตของอุตสาหกรรมแห่งอนาคตในระยะยาว

5) มิติด้านสิ่งแวดล้อม (environmental)

การส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนคือนโยบายที่เป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาอุตสาหกรรมยั่งยืน เนื่องจากการพึ่งพาการขุดเจาะและใช้ทรัพยากรธรรมชาติแบบเดิมได้ข้ามผ่านขีดความสามารถในการรองรับของโลกไปแล้ว การเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นวัตถุดิบทดแทนจึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนในการแก้วิกฤตสิ่งแวดล้อมโลก ซึ่งการวิเคราะห์ความสำคัญของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในมิติด้านสิ่งแวดล้อมมีรายละเอียดดังนี้

ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดของเศรษฐกิจหมุนเวียน คือ ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยการนำวัสดุที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมาเป็นวัตถุดิบทดแทนในกระบวนการผลิต เนื่องจากอุตสาหกรรมแห่งอนาคตเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ทรัพยากรที่มีความสำคัญเชิงยุทธศาสตร์สูงมาก กระบวนการทำเหมืองแร่เหล่านี้มักส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง ทั้งการทำลายพื้นที่ป่า การใช้ทรัพยากรน้ำจำนวนมาก การปล่อยของเสียจากเหมืองแร่ และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ดังนั้นการใช้วัตถุดิบหมุนเวียนจึงช่วยลดการขยายกิจกรรมการทำเหมืองและการใช้ทรัพยากรใหม่ ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศในระยะยาว

ปัจจุบันปริมาณของเสียจากภาคอุตสาหกรรมและการบริโภคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะขยะอิเล็กทรอนิกส์ แบตเตอรี่ใช้แล้ว พลาสติก และวัสดุผสมที่มีความซับซ้อนซึ่งเป็นของเสียที่ย่อยสลายได้ยากและอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนช่วยลดภาระการจัดการทรัพยากรจาก “การกำจัดของเสีย” ไปสู่ “การใช้ประโยชน์จากของเสีย” ทำให้วัสดุที่เคยถูกส่งไปฝังกลบหรือเผาทำลายสามารถกลับมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตได้อีกครั้ง ช่วยให้ปริมาณขยะที่ต้องกำจัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ลดปัญหาการสะสมของของเสียอันตรายในชุมชน และลดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม อีกทั้งลดการทำลายพื้นที่ต้นน้ำ ป่าไม้ และแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการรักษาความสมดุลของระบบนิเวศในภาพรวมด้วย

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนับเป็นหนึ่งในความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดของโลกในปัจจุบัน โดยเฉพาะกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นการใช้วัตถุดิบรีไซเคิลแทนวัตถุดิบจากธรรมชาติจึงช่วยลดการใช้พลังงานในโรงงานได้มาก ยกตัวอย่างเช่น การหลอมโลหะอลูมิเนียมรีไซเคิลใช้พลังงานน้อยกว่าการถลุงแร่อลูมิเนียมใหม่ถึงร้อยละ 95 การรีไซเคิลพลาสติกและโลหะในภาคอุตสาหกรรมช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้มากกว่าร้อยละ 60-80 ดังนั้น การใช้วัตถุดิบทดแทนจะเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในห่วงโซ่อุปทานของภาคอุตสาหกรรม ตอบโจทย์การบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) ของประเทศ รวมถึงการปฏิบัติตามพันธกรณีด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้กรอบความร่วมมือระหว่างประเทศ นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบหมุนเวียนกำลังกลายเป็นมาตรฐานใหม่ของการดำเนินธุรกิจ โดยบริษัทชั้นนำทั่วโลกเริ่มกำหนดเป้าหมายการใช้วัสดุรีไซเคิล การลดของเสีย และการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์⁶ ทำให้อุตสาหกรรมแห่งอนาคตสามารถตอบสนองต่อข้อกำหนดด้าน

⁶ Carbon footprint (รอยเท้าคาร์บอน) คือ ปริมาณรวมของก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน ที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ มีหน่วยวัดเป็นน้ำหนักเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อประเมินผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน

สิ่งแวดล้อมของตลาดโลก สร้างห่วงโซ่อุปทานที่มีความยั่งยืน และเพิ่มความเชื่อมั่นของนักลงทุน ผู้บริโภค และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่ให้ความสำคัญกับการดำเนินธุรกิจอย่างรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

สรุปในมิติด้านสิ่งแวดล้อม การส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน เนื่องจากช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดปริมาณของเสียและปัญหาการกำจัดขยะ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดมลพิษและผลกระทบต่อระบบนิเวศ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมสีเขียวที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลด้านความยั่งยืน การขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียนจึงเป็นกลไกสำคัญในการสร้างสมดุลระหว่างการเติบโตทางอุตสาหกรรมกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่การพัฒนาประเทศที่มั่นคงและยั่งยืนในระยะยาว

6) มิติด้านกฎระเบียบ

การพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรมในยุคใหม่มักถูกขับเคลื่อนและควบคุมด้วย "กฎหมายและกฎระเบียบข้อบังคับ" อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะในภาวะที่มีสงครามทางการค้า และการแข่งขันในตลาดโลกที่มีความเข้มข้นสูง กฎหมายจึงทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ เป็นแรงกดดันที่บีบให้ภาคอุตสาหกรรมต้องปรับตัวเพื่อหลีกเลี่ยงโทษและการถูกกีดกันทางการค้า และเป็นตัวช่วยที่สร้างมาตรฐานและกลไกสำหรับอำนวยความสะดวกในการจัดหาวัตถุดิบรูปแบบใหม่ตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน โดยการวิเคราะห์ในมิติด้านกฎระเบียบมีรายละเอียดดังนี้

กฎหมายและข้อบังคับสากล

ปัจจุบันในหลายประเทศ รวมทั้งองค์การระหว่างประเทศหลายแห่งได้กำหนดกฎหมาย มาตรฐาน ข้อกำหนด และมาตรการทางการค้าด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มข้น เพื่อสนับสนุนการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติมากขึ้น เช่น

(1) EU Circular Economy Action Plan (CEAP) สหภาพยุโรป (EU) ถือเป็นผู้ดำเนินการกำหนดกรอบกฎหมายเศรษฐกิจหมุนเวียนซึ่งกำหนดเป้าหมายการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มอัตราการรีไซเคิล และการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ยังมีการบังคับใช้ eco-design regulation ที่กำหนดให้ผู้ผลิตต้องสามารถตรวจสอบที่มาของวัตถุดิบและแสดงข้อมูลด้านความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์

(2) EU Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) มาตรการปรับคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน บังคับให้ภาคอุตสาหกรรมต้องรายงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการนำของเสียกลับมาใช้ทดแทนวัตถุดิบตั้งต้นช่วยลดการปล่อยคาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญ

(3) CSDDD (Corporate Sustainability Due Diligence Directive) เป็นกฎหมายของ EU ที่บังคับให้บริษัทขนาดใหญ่ต้องตรวจสอบตลอดห่วงโซ่อุปทานว่า ผู้จัดหาวัตถุดิบหรือสินค้าให้ไม่มีการทำลายสิ่งแวดล้อมหรือละเมิดสิทธิมนุษยชนจากการขูดเจาะทรัพยากรธรรมชาติใหม่

(4) อนุสัญญาบาเซล (Basel Convention) ด้านการเคลื่อนย้ายขยะข้ามพรมแดน มีข้อบังคับเข้มงวดเกี่ยวกับการควบคุมและห้ามส่งออกขยะอันตรายและขยะพลาสติกปนเปื้อนข้ามประเทศ กฎหมายสากลฉบับนี้ส่งผลบังคับให้ประเทศต่างๆ ต้องสร้างศักยภาพในการแปรรูปของเสียภายในประเทศตนเอง (Domestic Recycling Capacity) เพื่อเปลี่ยนขยะให้เป็นวัตถุดิบทดแทน แทนการส่งออกไปยังประเทศอื่น

(5) กฎหมายความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (EPR-Extended Producer Responsibility) ประเทศในกลุ่ม OECD และ EU บังคับใช้กฎหมาย EPR อย่างเต็มรูปแบบ โดยกำหนดให้ผู้ผลิตสินค้าในกลุ่มต่าง ๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า บรรจภัณฑ์ และยานยนต์ เป็นต้น มีหน้าที่ตามกฎหมายในการรับผิดชอบรับคืนจัดเก็บ คัดแยก และรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานหลังการบริโภค เช่น บรรจภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า แบตเตอรี่ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออุตสาหกรรมแห่งอนาคต

(6) WEEE Directive & RoHS เป็นกฎหมายการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์และการจำกัดการใช้สารอันตราย บังคับให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะต้องออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ง่ายต่อการถอดแยกชิ้นส่วนเพื่อนำแร่มีค่ากลับมาใช้ใหม่

(7) กฎระเบียบแบตเตอรี่ใหม่ของสหภาพยุโรป (EU battery regulation) บังคับให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ที่จำหน่ายใน EU ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขทางกฎหมายอย่างเคร่งครัด โดยกำหนดสัดส่วนวัสดุรีไซเคิลขั้นต่ำ (recycled content mandates) ของแบตเตอรี่ใหม่ต้องมีส่วนผสมของวัตถุดิบที่ได้จากการรีไซเคิลในสัดส่วนขั้นต่ำตามที่กฎหมายกำหนดในแต่ละช่วงปี รวมทั้งมีการออกหนังสือเดินทางแบตเตอรี่ (battery passport) เพื่อบังคับให้เปิดเผยข้อมูลที่มาของวัตถุดิบและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผ่านระบบดิจิทัล

กฎหมายและกฎระเบียบของประเทศไทย

(1) พ.ร.บ. โรงงาน พ.ศ. 2535 และที่แก้ไขเพิ่มเติม ให้อำนาจกระทรวงอุตสาหกรรมในการกำหนดมาตรฐาน วิธีการควบคุมการปล่อยของเสีย มลพิษ และการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว โดยต้องแจ้งข้อมูลการจัดการกากอุตสาหกรรมอย่างโปร่งใส ปัจจุบันมีการผ่อนปรนการขอใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานรีไซเคิล เช่น โรงงานลำดับประเภทโรงงานที่ 101 105 และ 106 ซึ่งช่วยสนับสนุนระบบการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างอุตสาหกรรมมากขึ้น

(2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การจัดการสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2566 เป็นกลไกหลักที่ควบคุมการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ โดยใช้หลักการผู้ก่อมลพิษเป็นผู้รับผิดชอบเพื่อประกันความรับผิดชอบ ช่วยให้การจัดการของเสียต้องผ่านการพิจารณาและได้รับ

อนุญาตที่ถูกต้องตามประเภทและวิธีที่เหมาะสม รวมทั้งบังคับให้ผู้ประกอบการต้องรายงานข้อมูลผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อง่ายต่อการติดตามตรวจสอบด้วย

(3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง ยกเว้นไม่ต้องขออนุญาตนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตรายออกนอกบริเวณโรงงาน พ.ศ. 2561 เป็นกฎหมายที่ช่วยส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน โดยยกเว้นให้โรงงานสามารถนำของเสียที่ไม่อันตรายออกไปใช้ประโยชน์ภายนอกได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องขออนุญาตทุกครั้ง

(4) ร่างการกำหนดเกณฑ์การสิ้นสุดสถานะของเสีย (End-of-Waste Criteria) กรมโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ระหว่างการพิจารณาออกกฎกระทรวงเพื่อปลดล็อกให้ของเสียที่ผ่านการแปรรูปจนได้มาตรฐานความปลอดภัย ไม่ถูกนิยามว่าเป็นขยะอีกต่อไป แต่เปลี่ยนเป็นวัตถุดิบทดแทนที่สามารถซื้อขาย ขนส่ง และนำไปใช้ในโรงงานได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย

(5) ร่างกฎหมายการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐของไทยกำลังขับเคลื่อนหลักการ EPR เพื่อให้เกิดการจัดเก็บและนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เสื่อมสภาพกลับเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลอย่างถูกต้อง

(6) การปรับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อยู่ระหว่างการกำหนดและปรับปรุงมาตรฐาน มอก. ให้รองรับการกำหนดสัดส่วนการใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นส่วนผสมในสินค้าอุตสาหกรรม

(7) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ได้ออกประกาศให้สิทธิประโยชน์ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลสำหรับกิจการในกลุ่มเศรษฐกิจหมุนเวียน เช่น กิจการผลิตวัตถุดิบจากของเสีย กิจการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ และการวิจัยพัฒนานวัตกรรมแปรรูปของเสีย

สรุปในมิติด้านกฎหมายและกฎระเบียบ การส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับทิศทางกฎหมายและมาตรฐานสากลด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความยั่งยืนของห่วงโซ่อุปทานโลก ขณะเดียวกันยังช่วยให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาเครื่องมือสำหรับส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณของเสีย เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจจากวัสดุหมุนเวียน และเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมแห่งอนาคต

2.2.3 กรณีศึกษาการส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในต่างประเทศที่ประสบผลสำเร็จ

การส่งเสริมแนวคิดการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุดโดยนำกลับมาแปรรูปและหมุนเวียนใช้ใหม่เพื่อลดขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนเริ่มมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายเป็นเวลานาน โดยมีตัวอย่างความสำเร็จในประเทศต่าง ๆ ดังนี้

1) กลุ่มสหภาพยุโรป

กลุ่มสหภาพยุโรป (EU) ถือเป็นตัวอย่างที่ดีของโลกด้านการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ประสบความสำเร็จอย่างสูงในการเปลี่ยนโครงสร้างอุตสาหกรรมจากการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติแบบดั้งเดิม ไปสู่การสร้างตลาดวัตถุดิบทดแทน โดยสิ่งสำคัญที่ทำให้ EU พัฒนาอย่างรวดเร็วไม่ใช่แค่การรณรงค์คัดแยกขยะ แต่คือการสร้างระบบนิเวศที่เอื้อต่อการประกอบการอุตสาหกรรม ทั้งนี้ปัจจัยความสำเร็จที่สำคัญ ได้แก่

- ด้านกฎหมาย EU ได้ปรับเปลี่ยนทิศทางจากการจัดการขยะปลายทางไปสู่การบังคับใช้นโยบายระดับโครงสร้าง เพื่อผลักดันให้อุตสาหกรรมใช้วัตถุดิบทดแทนอย่างเป็นระบบ มีการกำหนดสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้าต่าง ๆ เช่น บังคับให้ขวดพลาสติกต้องมีส่วนผสมรีไซเคิลอย่างน้อยร้อยละ 30 หรือแบตเตอรี่ต้องมีรีไซเคิลตามสัดส่วนที่กำหนด ทำให้เกิดอุปสงค์การจัดหาวัตถุดิบทดแทนที่ชัดเจน

- ด้านการเงิน มีการนำเงินกองทุน EU Innovation Fund และออกมาตราการภาษีเพื่อสนับสนุนงานวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมแปรรูปของเสียขั้นสูง รวมถึงการปล่อยเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ (green loan) ให้แก่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมรีไซเคิลที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง

- ด้านเทคโนโลยีและมาตรฐาน มีการออกกฎเกณฑ์เรื่อง End-of-Waste criteria เพื่อกำหนดความชัดเจนว่าของเสียชนิดใดเมื่อผ่านกระบวนการแล้วจะพ้นสภาพการเป็นขยะ และกลายเป็นสินค้าหรือวัตถุดิบทดแทนที่สามารถขายและขนส่งข้ามแดนได้อย่างถูกต้อง

- ด้านความโปร่งใส มีการบังคับใช้ระบบ Digital Product Passport (DPP) เพื่อใช้ตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดของที่มาวัตถุดิบทดแทน ซึ่งสามารถป้องกันการหลอกลวงหรือการสร้างภาพให้กับบริษัทวาร์กซ์โลก

กรณีศึกษาที่ประสบผลสำเร็จ: การส่งเสริมอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และการแก้ไขปัญหาวิกฤตแร่ธาตุสำคัญของบริษัท Umicore

ในอดีตกลุ่มประเทศในยุโรปประสบปัญหาขาดแคลนแร่ธาตุที่สำคัญ (critical mineral) ที่เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า ทำให้เกิดการเปลี่ยนผ่านไปสู่รูปแบบการทำเหมืองในเมือง (urban mining) ซึ่งมีการนำวัสดุและโลหะจากซากแบตเตอรี่และขยะอิเล็กทรอนิกส์กลับมาใช้ใหม่ โดยบริษัท Umicore ได้พัฒนาเทคโนโลยีและกระบวนการรีไซเคิลที่ผสมผสานระหว่างเทคนิคโลหวิทยาทางความร้อนและการใช้สารเคมี ในการย่อยสลายและสกัดแร่ธาตุจากแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ และสามารถดึงกลับแร่ โคบอลต์ นิกเกิล และทองแดง ได้มากกว่า 95% และลิเทียมได้มากกว่า 80% โดยมีความบริสุทธิ์สูงในระดับที่ใช้ผลิตแบตเตอรี่ได้ ซึ่งแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลจะถูกส่งตรงกลับไปยังผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ในยุโรป (เช่น Northvolt หรือ

ACC) เพื่อผลิตเป็นแบตเตอรี่ลูกใหม่ เกิดเป็นวงจรปิดที่ช่วยลดการนำเข้าแร่ดิบจากต่างประเทศได้มหาศาล

การถอดบทเรียนเพื่อปรับใช้กับภาคอุตสาหกรรมไทย

เริ่มจากการเปลี่ยนแนวคิดจากการขอความร่วมมือเป็นการบังคับใช้ โดยกำหนดสัดส่วนขั้นต่ำของการใช้วัตถุดิบทดแทนในอุตสาหกรรมเป้าหมายเพื่อสร้างตลาดให้ฝั่งผู้ผลิตวัตถุดิบทดแทนที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิล จากนั้นควรเร่งออกกฎหมาย End-of-Waste และ EPR เพื่อเปลี่ยนความคิดที่มองว่าของเสียอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบอันตราย โดยสนับสนุนให้ผู้ประกอบการสามารถขนย้ายของเสียสะดวกมากขึ้นและอำนวยความสะดวกให้เกิดการแลกเปลี่ยนของเสียข้ามอุตสาหกรรมได้ง่ายขึ้น สุดท้ายต้องส่งเสริมให้เกิดการลงทุนในเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูง เพื่อผลักดันนโยบายการทำเหมืองในเมือง สำหรับรองรับอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูงในพื้นที่เป้าหมาย เช่น พื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC)

2) สหราชอาณาจักร

สหราชอาณาจักรเป็นหนึ่งในประเทศผู้นำที่ขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในช่วงหลังจากการออกจากสหภาพยุโรป (Brexit) ที่ต้องเผชิญกับความท้าทายด้านความมั่นคงทางทรัพยากร รัฐบาลจึงได้ใช้ยุทธศาสตร์ที่ผสมผสานระหว่างมาตรการทางภาษีที่เด็ดขาดและการสนับสนุนเงินทุนด้านการวิจัย เพื่อดึงของเสียกลับมาเป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับภาคอุตสาหกรรม โดยปัจจัยขับเคลื่อนความสำเร็จของสหราชอาณาจักร ได้แก่

- การออกกฎหมายบังคับใช้ภาษีบรรจุภัณฑ์พลาสติก (UK Plastic Packaging Tax-PPT) ในปี ค.ศ. 2022 โดยเก็บภาษีบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตในหรือนำเข้ามายังสหราชอาณาจักรในอัตราที่สูงหากมีส่วนผสมของพลาสติกรีไซเคิลต่ำกว่าร้อยละ 30 ซึ่งกฎหมายนี้ช่วยกระตุ้นให้เกิดอุปสงค์เพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องวิ่งหาวัตถุดิบทดแทน ส่งผลให้โรงงานรีไซเคิลอย่างบริษัท Mura Technology มีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด

- การสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากภาครัฐ (UK Research and Innovation: UKRI) โดยรัฐบาลไม่ได้ปล่อยให้เอกชนแบกรับความเสี่ยงด้านเทคโนโลยีเพียงลำพัง แต่มีกองทุนเฉพาะกิจ เช่น Faraday Battery Challenge ที่อัดฉีดงบประมาณจำนวนหลายร้อยล้านปอนด์ให้แก่ภาคเอกชนที่ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยในการพัฒนานวัตกรรมสกรีนเซลล์โซลาร์เซลล์

- การยกระดับกฎหมายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (EPR) โดยปฏิรูปกฎหมาย EPR ให้ครอบคลุมและเก็บค่าธรรมเนียมจากผู้ผลิตสินค้าตามหลักการ "Eco-modulation" คือ ถ้าผลิตภัณฑ์ของบริษัททำการรีไซเคิลยากหรือใช้วัตถุดิบธรรมชาติใหม่มากเท่าไร ก็จะต้องจ่ายค่าธรรมเนียมแพงขึ้นเท่านั้น

กรณีศึกษาที่ประสบผลสำเร็จ: แพลตฟอร์มจับคู่ของเสียข้ามอุตสาหกรรมระดับชาติ (National Industrial Symbiosis Programme: NISP)

สหราชอาณาจักรเป็นประเทศต้นแบบของโลกที่สร้างความสำเร็จจากการมองภาพรวมของทุกอุตสาหกรรมผ่านแนวคิดที่ว่า "ของเสียของอุตสาหกรรมหนึ่ง คือวัตถุดิบของอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง" โดยการสร้างระบบ NISP ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ช่วยจับคู่การนำของเสียไปใช้ประโยชน์ ซึ่งรัฐบาลได้ให้ทุนสนับสนุนการสร้างเครือข่ายและฐานข้อมูลระดับชาติ เพื่อให้ผู้ประกอบการลงทะเบียนว่าตนเองมีของเสียอะไร และต้องการวัตถุดิบอะไร จากนั้นระบบจะทำการจับคู่ธุรกิจเข้าด้วยกันเพื่อแลกเปลี่ยนวัตถุดิบ เช่น กากยีสต์จากโรงเบียร์ถูกส่งไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารสัตว์ แก้วลอยจากโรงไฟฟ้าถูกส่งไปเป็นส่วนผสมของการผลิตปูนซีเมนต์ลดคาร์บอน หรือ สารเคมีเหลือใช้จากโรงงานสีจะถูกปรับปรุงและส่งให้โรงงานอื่นใช้เป็นวัตถุดิบต่อ เป็นต้น ซึ่งผลสำเร็จของโปรแกรมนี้ช่วยลดปริมาณของเสียจากการฝังกลบได้หลายล้านตัน สร้างยอดขาย และลดต้นทุนให้กับธุรกิจในประเทศได้นับพันล้านปอนด์ นอกจากนี้ ระบบดังกล่าวยังได้ถูกนำไปปรับใช้ในประเทศต่างๆ มากกว่า 20 ประเทศทั่วโลก

การถอดบทเรียนเพื่อปรับใช้กับภาคอุตสาหกรรมไทย

แนวทางการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนของสหราชอาณาจักรแสดงให้เห็นว่าการจะผลักดันให้อุตสาหกรรมแห่งอนาคตหันมาใช้วัตถุดิบทดแทนได้นั้น จะอาศัยเพียงนวัตกรรมเชิงเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ แต่ต้องอาศัยนวัตกรรมเชิงนโยบาย (Policy Innovation) ควบคู่ไปด้วย การใช้กลไกทางภาษีอย่าง (Plastic Tax) เพื่อสร้างตลาด และการสร้างเครือข่ายจับคู่ข้อมูลของเสีย (NISP) ถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำคัญที่ประเทศไทยสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเปลี่ยนขยะเป็นความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจได้อย่างยั่งยืน

3) ประเทศสหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกามีรูปแบบการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว แตกต่างจากสหภาพยุโรปที่เน้นการออกกฎระเบียบจากบนลงล่าง แต่สหรัฐอเมริกามุ่งเน้นการใช้กลไกตลาด การอัดฉีดเงินทุน และสิทธิประโยชน์ทางภาษีจากภาครัฐควบคู่ไปกับการออกกฎหมายระดับรัฐ เพื่อสร้างความมั่นคงทางห่วงโซ่อุปทานและลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ โดยปัจจัยขับเคลื่อนความสำเร็จของสหรัฐอเมริกา ได้แก่

- การไม่โยนความรับผิดชอบให้ภาคเอกชนเป็นผู้ปฏิบัติเพียงฝ่ายเดียว แต่ถูกเร่งด้วยกลไกทางกฎหมายและนโยบายที่แยบยล เช่น การออก EPA National Recycling Strategy ในปี 2020 เพื่อทบทวนและยกระดับระบบการจัดการและรีไซเคิลของเสียระดับชาติ และมุ่งเน้นการสร้างมาตรฐานวัตถุดิบทดแทนเพื่อป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมเป้าหมาย

- มีการใช้มาตรการ IRA Section 30D (Clean Vehicle Credit) ซึ่งกำหนดเงื่อนไขบังคับสัดส่วนการใช้วัตถุดิบ โดยผู้ซื้อรถยนต์ไฟฟ้าจะได้รับเครดิตภาษี 7,500 เหรียญสหรัฐเมื่อแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้านั้นใช้วัตถุดิบจากการรีไซเคิลในอเมริกาเหนือตามสัดส่วนที่กำหนด (เพิ่มขึ้นทุกปีจนถึง 80%) ส่งผลให้บริษัทผลิตรถยนต์ต้องแย่งกันซื้อวัตถุดิบทดแทนในประเทศ

- มาตรการ Bipartisan Infrastructure Law (BIL) เป็นเครื่องมือที่ใช้สนับสนุนทางการเงินให้แก่เทคโนโลยีขั้นสูง โดยรัฐบาลจะมอบทุนสนับสนุนแบบให้เปล่าแก่บริษัทสตาร์ทอัพที่พัฒนาเทคโนโลยีสักรีไซเคิลของเสียอุตสาหกรรมเพื่อลดความเสี่ยงในการลงทุนช่วงเริ่มต้นธุรกิจ

- State-Level EPR (California SB 54) เป็นกฎหมายเกี่ยวกับบรรจุกฎหมายของรัฐแคลิฟอร์เนียที่กำหนดให้ภาชนะพลาสติกทั้งหมดต้องลดการใช้วัสดุใหม่ร้อยละ 25 และต้องสามารถนำไปรีไซเคิลได้จริงมากกว่าร้อยละ 65 ภายในปี 2032 ทำให้เกิดอุปสงค์พลาสติกกรีไซเคิลเกรดสูงเพิ่มขึ้นอย่างมาก

กรณีศึกษาที่ประสบผลสำเร็จ: การส่งเสริมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะของบริษัท Apple Inc.

เนื่องจากนักพัฒนาเทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกาถูกกดดันอย่างหนักจากผู้บริโภคและนักลงทุนที่ใส่ใจด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนให้ลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของ Apple ทำให้บริษัทได้พัฒนานวัตกรรมหุ่นยนต์เพื่อแยกชิ้นส่วนขยะอิเล็กทรอนิกส์ระดับโมเลกุลโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เฉพาะทาง เช่น หุ่นยนต์ Daisy ที่สามารถถอดแยกชิ้นส่วน iPhone ได้ถึง 200 เครื่องต่อชั่วโมง และหุ่นยนต์ Dave/Taz ทำหน้าที่คัดแยกแร่ธาตุหายาก ประเภทแม่เหล็กแรงสูงและถังสแตนจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนของลำโพง เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ของบริษัท เช่น iPhone, iPad และ Apple Watch ประสบความสำเร็จในการใช้แร่ธาตุสำคัญ ได้แก่ โคบอลต์ ทองแดง และทองคำจากวัสดุรีไซเคิลได้ทั้งหมด รวมทั้งเกิดการสร้างระบบรับคืนสินค้า (Trade-in program) ที่สามารถเปลี่ยนขยะอิเล็กทรอนิกส์จากผู้ใช้ให้กลายเป็นคลังวัตถุดิบสำรองของบริษัทได้

การถอดบทเรียนเพื่อปรับใช้กับภาคอุตสาหกรรมไทย

ประเทศไทยสามารถประยุกต์ใช้มาตรการทางภาษีและสิทธิประโยชน์เป็นตัวนำ โดยให้รางวัลแก่โรงงานที่มีการใช้วัตถุดิบทดแทนที่ผลิตได้ภายในประเทศเพื่อการสร้างอุปสงค์เชิงโครงสร้าง รวมถึงการสนับสนุนเงินทุนด้านการวิจัยเพื่อขับเคลื่อนเทคโนโลยีรีไซเคิลและรูปแบบการทำเหมืองในเมืองให้เป็นรูปธรรมในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากประเทศไทยมีขยะอิเล็กทรอนิกส์และซากรถยนต์จำนวนมาก แต่ยังขาดเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูง ภาครัฐจึงควรสนับสนุนทุนวิจัยร่วมระหว่างเอกชนและสถาบันการศึกษาเพื่อผลักดันการนำเทคโนโลยีไปสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรมที่เป็นรูปธรรม นอกจากนี้อาจส่งเสริมการเปลี่ยนก๊าซเสียและของเสียชีวภาพให้เป็นเคมีภัณฑ์ ด้วยพื้นฐาน

ด้านอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและเกษตรกรรมที่แข็งแกร่งของประเทศไทย ซึ่งจะช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมเคมีชีวภาพในการเปลี่ยนก๊าซเสียอุตสาหกรรมหรือของเสียชีวมวลให้เป็นเคมีภัณฑ์มูลค่าสูงได้

4) ประเทศญี่ปุ่น

ญี่ปุ่นเป็นหนึ่งในประเทศต้นแบบของโลกที่ประสบความสำเร็จสูงสุดในการสร้างสังคมแห่งการหมุนเวียนทรัพยากร เนื่องจากความจำเป็นทางภูมิศาสตร์ที่เป็นประเทศเกาะ แทบไม่มีทรัพยากรแร่ธาตุธรรมชาติเป็นของตนเองและขาดแคลนพื้นที่ในการฝังกลบขยะ ญี่ปุ่นจึงบุกเบิกแนวความคิดการทำเหมืองแร่แบบ urban mining และระบบนิเวศวิทยาอุตสาหกรรมเพื่อดึงของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับภาคอุตสาหกรรมขั้นสูง โดยปัจจัยความสำเร็จของญี่ปุ่น ได้แก่

- การออกกฎหมายแบบกระจายตามประเภทผลิตภัณฑ์ ซึ่งบังคับให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคต้องรับผิดชอบร่วมกันอย่างชัดเจน มีการใช้หลักการ advanced recycling fee โดยเก็บค่าธรรมเนียมรีไซเคิลจากผู้ซื้อสินค้าตั้งแต่ตอนซื้อ เช่น รถยนต์หรือผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ทำให้มีเงินทุนหมุนเวียนในระบบการจัดการของเสียอย่างยั่งยืน

- การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน โดยรัฐบาลสนับสนุนการสร้างเขตอุตสาหกรรมเชิงนิเวศหรือ Eco town กว่า 26 แห่งทั่วประเทศ ทำให้โรงงานต่าง ๆ สามารถส่งผ่านของเสียไปใช้เป็นวัตถุดิบให้โรงงานในพื้นที่ใกล้เคียงได้โดยมีต้นทุนขนส่งต่ำที่สุด

- มีการพัฒนาเทคโนโลยีการคัดแยกขั้นสูง พัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และเทคโนโลยีเซนเซอร์ optical sorting สำหรับคัดแยกวัสดุเศษโลหะและพลาสติกหลายชนิดออกจากกันอย่างแม่นยำระดับรวดเร็ว ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรีไซเคิลได้เป็นอย่างมาก

- นอกจากนี้ความมีวินัยของประชาชน และวัฒนธรรม mottainai (ความรู้สึกเสียดายของ) ช่วยให้ญี่ปุ่นสามารถพัฒนาระบบการคัดแยกขยะในระดับครัวเรือนที่เข้มงวดและมีความละเอียดสูงที่สุดในโลก ทำให้ของเสียที่ส่งต่อไปยังภาคอุตสาหกรรมมีความสะอาดและมีคุณภาพสูง

กรณีศึกษา 1 ที่ประสบผลสำเร็จ: การพัฒนา urban mining ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเซมิคอนดักเตอร์ของบริษัท Dowa Holdings

ญี่ปุ่นถือเป็นประเทศที่ปริมาณแหล่งแร่สำรองที่แฝงอยู่ในขยะอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก โดยมีการประเมินว่า ขยะอิเล็กทรอนิกส์ในญี่ปุ่นมีปริมาณทองคำ คิดเป็นร้อยละ 16 ของปริมาณสำรองทั่วโลก และโลหะเงิน คิดเป็นร้อยละ 22 ของโลก โดยบริษัท Dowa Holdings ซึ่งอดีตเคยเป็นผู้ประกอบการในธุรกิจเหมืองแร่ธรรมชาติได้ปรับเปลี่ยนโมเดลธุรกิจมาทำเหมืองแร่ในเมือง โดยใช้เทคโนโลยีทางโลหะวิทยาขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลให้บริษัทฯ สามารถสกัดโลหะที่มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99.99 ทั้งทองคำ เงิน อินเดียม แพลตตินัมโคบอลต์ และลิเทียม และส่งกลับไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนเซมิคอนดักเตอร์

แผงวงจรอัจฉริยะ และจอภาพ ให้กับโรงงานในประเทศด้วย นอกจากนี้ตัวอย่างเชิงสัญลักษณ์ที่น่าประทับใจ คือ เหรียญรางวัลทั้งหมดในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก Tokyo 2020 ล้วนทำมาจากวัสดุรีไซเคิลทั้งหมดซึ่งมีที่มาจากขยะโทรศัพท์มือถือและเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งรวบรวมจากประชาชนทั่วประเทศ

กรณีศึกษา 2 ที่ประสบผลสำเร็จ: โครงการ Eco town เมืองคิตะคิวชู (Kitakyushu)

เมืองคิตะคิวชูเคยเป็นเมืองอุตสาหกรรมหนักที่ประสบปัญหามลพิษขั้นรุนแรง แต่รัฐบาลญี่ปุ่นได้ร่วมมือกับเอกชนเปลี่ยนเมืองนี้ให้กลายเป็น "Kitakyushu eco town" ศูนย์กลางอุตสาหกรรมหมุนเวียนระดับโลก โดยใช้กลไกการแลกเปลี่ยนของเสียระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ใกล้เคียง เช่น ตะกรัน (slag) จากโรงงานผลิตเหล็กกล้าของ Nippon Steel ถูกส่งไปเป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตปูนซีเมนต์คาร์บอนต่ำ ขยะพลาสติกที่รีไซเคิลยาก ถูกส่งไปใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว และเป็นตัวทำละลายในเตาหลอมเหล็กแทนการใช้ถ่านหิน เศษอาหารและของเสียชีวภาพถูกนำเข้าสู่กระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและไฮโดรเจนสีเขียว สำหรับนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับระบบขนส่งของเมือง

การถอดบทเรียนเพื่อปรับใช้กับภาคอุตสาหกรรมไทย

การผลักดันกฎหมายรีไซเคิลยานยนต์และซากเครื่องใช้ไฟฟ้า (ELV & WEEE Law) ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตยานยนต์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญ แต่ยังขาดกฎหมายบังคับการจัดการซากผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบ การมีกฎหมายลักษณะนี้จะช่วยขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนให้มีการใช้งานเชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรมได้ รวมทั้งการพัฒนาพื้นที่ EEC ให้เป็นเมืองอุตสาหกรรมนิเวศโดยการใช้ประโยชน์จากการรวมตัวของโรงงานในพื้นที่ภาคตะวันออก จะช่วยขับเคลื่อนการสร้างระบบแลกเปลี่ยนของเสียข้ามอุตสาหกรรม เช่น ปีโตรเคมี ยานยนต์ และเหล็ก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สุดท้ายต้องส่งเสริมเทคโนโลยีการรีไซเคิลแร่ธาตุสำคัญจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยสนับสนุนให้เกิดการลงทุนก่อสร้างโรงงานสกัดโลหะมีค่าและแร่ธาตุหายาก เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะในอนาคต

5) ประเทศจีน

จีนเป็นหนึ่งในประเทศที่พัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนได้อย่างรวดเร็ว โดยรูปแบบของจีนมีความโดดเด่นด้วยการเป็นระบบที่รัฐบาลเป็นผู้นำซึ่งแตกต่างจากฝั่งยุโรปหรือสหรัฐอเมริกา และจากการที่จีนเป็นผู้นำโลกในอุตสาหกรรมแห่งอนาคต เช่น การผลิตยานยนต์ไฟฟ้า (EV) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และแผงโซลาร์เซลล์ ทำให้นโยบายการสร้างความมั่นคงทางวัตถุดิบทดแทนมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งปัจจัยความสำคัญของจีนในการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียน ได้แก่

- การกำหนดยุทธศาสตร์และกฎหมาย โดยจีนเป็นประเทศแรก ๆ ของโลกที่ออกกฎหมายเฉพาะด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน และบูรณาการเข้ากับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติอย่างจริงจัง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 มีการออก Circular economy promotion law เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน โดยวางโครงสร้าง 3 ระดับ ได้แก่ ระดับโรงงาน (cleaner production) ระดับนิคมอุตสาหกรรม (industrial symbiosis) และระดับสังคม (recycling society)

- National sword policy ในปี ค.ศ. 2018 จีนได้สั่งห้ามนำเข้าขยะพลาสติกและของเสียจากต่างประเทศ 24 ชนิดโดยเด็ดขาด บังคับให้ภาคอุตสาหกรรมในประเทศต้องพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลและสร้างระบบจัดเก็บของเสียภายในประเทศตนเอง

- 14th Circular economy development plan ในปี ค.ศ. 2021 จีนได้กำหนดยุทธศาสตร์ 5 ปี เพื่อสร้างวงจรการหมุนเวียนทรัพยากรระดับชาติ มุ่งเน้นการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์ แบตเตอรี่ EV และเศษโลหะ เพื่อบรรลุเป้าหมาย carbon neutrality ภายในปี 2060

- การใช้อำนาจรัฐและแผนระยะยาว โดยกำหนดเป้าหมายเศรษฐกิจหมุนเวียนไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติทำให้ทุกมณฑล นิคมอุตสาหกรรม และบริษัทรัฐวิสาหกิจ ต้องปฏิบัติตามทิศทางเดียวกันอย่างไม่มีข้อโต้แย้ง พร้อมทั้งพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลสำหรับติดตามวัฏจักรการสร้าง national battery traceability platform บังคับใช้ระบบสแกน QR code/ID ประจำแบตเตอรี่ EV ทุกชิ้น ทำให้รัฐบาลทราบตำแหน่งและดึงซากแบตเตอรี่กลับเข้าสู่โรงงานรีไซเคิลได้เกือบ 100%

- ที่สำคัญมีการสร้างโรงงานรีไซเคิลใหญ่ เนื่องจากปริมาณขยะในประเทศที่มีมหาศาล ทำให้จีนจึงสามารถสร้างโรงงานรีไซเคิลขนาดใหญ่ระดับ mega scale ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยในการแปรรูปขยะเป็นวัตถุดิบทดแทนต่ำกว่าประเทศอื่นในโลก

กรณีศึกษา 1 ที่ประสบผลสำเร็จ: การพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ของบริษัท GEM Co., Ltd. และ Brunp Recycling

จีนครองสัดส่วนการผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 70 ของโลก ดังนั้นการขาดแคลนวัตถุดิบต้นน้ำจึงเป็นความเสี่ยงสูงสุดทางยุทธศาสตร์ ทำให้จีนมีการสร้างห่วงโซ่การรีไซเคิลแบตเตอรี่แบบปิด (closed-loop battery recycling) ที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดยบริษัท GEM Co., Ltd. ได้ออกแบบระบบ "From waste to new battery" และส่งเสริมให้เกิดวงจรการรีไซเคิลขยะอิเล็กทรอนิกส์และแบตเตอรี่ EV ทั่วประเทศจีน รวมทั้งยังได้พัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูง ทำให้สามารถสกัดแร่ นิกเกิล โคบอลต์ และลิเทียมที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99 สำหรับส่งไปผลิตเป็นสารตั้งต้นในการทำขั้วแคโทด (precursor cathode active materials) เพื่อส่งขายกลับให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่ชั้นนำอย่าง CATL และ BYD ได้สำเร็จ นอกจากนี้ บริษัท Brunp Recycling ซึ่งอยู่ในเครือของบริษัท CATL ยังสามารถรีไซเคิลขยะแบตเตอรี่และของเสียจาก

กระบวนการผลิต เพื่อนำกลับมาผลิตเป็นแบตเตอรี่ใหม่ได้มากกว่า 100,000 ตันต่อปี ทำให้ลดปริมาณความต้องการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศได้อย่างมีนัยสำคัญ

กรณีศึกษา 2 ที่ประสบผลสำเร็จ: การพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในอุตสาหกรรมพลังงานสะอาด

ในฐานะประเทศผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์รายใหญ่ที่สุดของโลก จีนกำลังเผชิญหน้ากับขยะแผงโซลาร์เซลล์หมดอายุจำนวนมากกว่าล้านตัน รัฐบาลจีนจึงเร่งสร้างอุตสาหกรรมรีไซเคิลพลังงานสะอาดขึ้นมารองรับ โดยบริษัทเทคโนโลยีในจีนได้พัฒนาเทคโนโลยีการคัดแยกแผงโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพโดยใช้สารเคมีและการทำความร้อนเพื่อแยกกระจกนิรภัย ซิลิคอนเกรดสูง และโลหะเงินออกจากกัน ซึ่งโลหะเงินและซิลิคอนที่รีไซเคิลกลับมาได้จะถูกส่งไปเป็นวัตถุดิบทดแทนในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นใหม่ ทำให้ลดการปลดปล่อยคาร์บอนในกระบวนการผลิตโซลาร์เซลล์ได้มากถึงร้อยละ 40

การถอดบทเรียนเพื่อปรับใช้กับภาคอุตสาหกรรมไทย

ประเทศไทยควรพัฒนาระบบติดตามวัตถุดิบหมุนเวียนระดับชาติ โดยใช้แพลตฟอร์มที่เป็นดิจิทัลเพื่อติดตามซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและขยะอิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงโรงงานแปรรูป ตามแบบอย่างการติดตามของจีนที่ประสบความสำเร็จอย่างสูง รวมทั้งยกระดับนิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่ที่มีศักยภาพให้เป็นนิคมอุตสาหกรรมเชิงนิเวศเพื่อจูงใจให้โรงงานที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงมีการบวนการแลกเปลี่ยนของเสีย พลังงาน และน้ำเสียระหว่างกัน ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตและลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติได้มาก นอกจากนี้ ควรส่งเสริมบริษัทรายใหญ่ของไทยให้สร้างเครือข่ายการรีไซเคิลระบบปิด เช่น สนับสนุนให้ผู้ผลิตแบตเตอรี่ ผู้ผลิตรถยนต์ และผู้ประกอบการรีไซเคิลในประเทศมีการเชื่อมโยงวัสดุแบบครบวงจร เพื่อรับประกันว่าของเสียจากอุตสาหกรรมแห่งอนาคตจะถูกนำกลับมาเป็นวัตถุดิบทดแทนภายในประเทศได้ทั้งหมด

2.3 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาข้อมูลสถานการณ์การจัดการทรัพยากรแร่และของเสียของประเทศไทยเพื่อวิเคราะห์ความมั่นคงด้านวัตถุดิบของภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่มีความต้องการแร่ธาตุสำคัญปริมาณมาก ข้อมูลการวิเคราะห์ประโยชน์ของการใช้วัตถุดิบทดแทนตามหลักการ PESTEL Analysis และการถอดบทเรียนกรณีศึกษาของต่างประเทศที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ทำให้สามารถสรุปแนวทางการกำหนดยุทธศาสตร์ที่มีความเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย และสามารถนำไปขับเคลื่อนสู่การปฏิบัติจริงในการส่งเสริมอุตสาหกรรมไทย ได้ดังนี้

2.3.1 ยุทธศาสตร์ด้านการปรับปรุงกฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

การขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องอาศัยการปรับปรุงกฎหมายและระเบียบข้อบังคับ เพื่อลดข้อจำกัดเชิงโครงสร้าง ลดปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่อการหมุนเวียนทรัพยากร และสร้างกลไกทางเศรษฐศาสตร์ที่จูงใจให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคอย่างเป็นรูปธรรม โดยมีแนวทางการดำเนินงาน เช่น

1) กำหนดหลักเกณฑ์การสิ้นสุดความเป็นของเสีย เนื่องจากปัจจุบันมีการตีความภาคอุตสาหกรรมหรือวัสดุพลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตว่าเป็นของเสียหรือวัตถุดิบอันตราย ทำให้การขนส่ง การคัดแยก และการซื้อขายวัตถุดิบรีไซเคิลต้องปฏิบัติตามข้อบังคับที่เข้มงวด ส่งผลให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนการดำเนินการสูง และขาดแรงจูงใจในการนำกลับมาใช้ใหม่ การกำหนดเกณฑ์ที่ชัดเจนจะช่วยสร้างมาตรฐานความปลอดภัยและสามารถเปลี่ยนสถานะของเสียให้กลายเป็นวัตถุดิบทดแทนที่ซื้อขายในระบบตลาดได้อย่างถูกต้อง

2) การบังคับให้ผู้ผลิตมีความรับผิดชอบตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์และการจัดการซากผลิตภัณฑ์เป้าหมาย โดยเฉพาะกลุ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วัสดุและแร่ธาตุสำคัญ ในการจัดการของเสียรูปแบบดั้งเดิมภาระค่าใช้จ่ายในการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการบริโภคมักตกอยู่กับภาครัฐและหน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่น ทำให้เกิดปัญหาจัดการที่ไม่ถูกต้อง การปนเปื้อนของสารพิษลงสู่สิ่งแวดล้อม และการสูญเสียแร่ธาตุสำคัญที่มีมูลค่าโดยไม่เกิดประโยชน์ ดังนั้นกฎหมายในลักษณะ Extended Producer Responsibility (EPR) จะบังคับให้ผู้ผลิตร่วมรับผิดชอบตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยผลักดันให้เกิดกระบวนการหมุนเวียนทรัพยากรที่เป็นระบบ ตั้งแต่การออกแบบขั้นต้นที่คำนึงการรีไซเคิลได้ง่ายและสร้างระบบการรวบรวมเพื่อนำทรัพยากรทุกชนิดกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนอีกครั้ง

3) การกำหนดสัดส่วนการใช้วัตถุดิบรีไซเคิล เนื่องจากต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เกิดจากราคาวัตถุดิบที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความผันผวนค่อนข้างสูง ทำให้โรงงานรีไซเคิลขาดความมั่นคงทางธุรกิจ การออกกฎระเบียบบังคับขั้นต่ำในการใช้วัตถุดิบรีไซเคิลในกระบวนการผลิตจะช่วยคาดการณ์ปริมาณความต้องการใช้ที่แน่นอนและยั่งยืนให้กับตลาดวัตถุดิบทดแทน ผลักดันให้เกิดการลงทุนในเทคโนโลยีการรีไซเคิลขั้นสูง รวมทั้งช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการทำเหมืองเพื่อขุดเจาะเอาทรัพยากรธรรมชาติขึ้นมาใช้ด้วย

2.3.2 ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐาน

การยกระดับศักยภาพทางเทคโนโลยีและการสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นหัวใจสำคัญในการเปลี่ยนผ่านภาคอุตสาหกรรมจากแบบการใช้ทรัพยากรแบบเส้นตรงไปสู่การหมุนเวียนใช้ประโยชน์อย่างสมบูรณ์ โดยมีแนวทางการดำเนินงาน เช่น

1) การยกระดับพื้นที่เป้าหมายสู่เมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ ซึ่งจะช่วยสร้างระบบการแลกเปลี่ยนของเสียหรือผลพลอยได้จากโรงงานหนึ่งไปเป็นวัตถุดิบหรือพลังงานให้อีกโรงงานหนึ่ง ช่วยลดต้นทุนการจัดการขยะ ลดการพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติใหม่ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) การสนับสนุนเงินลงทุนและมาตรการจูงใจเพื่อให้เกิดการลงทุนในระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือติดตั้งเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูงในระยะแรก จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนสูงมากและมักมีระยะเวลาคืนทุนที่กินเวลานาน หากปราศจากกลไกสนับสนุนทางการเงินจากภาครัฐ ผู้ประกอบการ โดยเฉพาะกลุ่มผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ก็จะสามารถศักยภาพในการลงทุน ส่งผลให้เทคโนโลยีรีไซเคิลไม่สามารถขยายผลสู่ระดับเชิงพาณิชย์ได้อย่างแพร่หลาย

3) การถ่ายทอดองค์ความรู้ และขยายผลงานวิจัยด้านเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูงไปสู่การผลิตจริง จำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐทั้งในด้านบุคลากร การทดลองการผลิตในชั้นโรงงานต้นแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ ตลอดจนความร่วมมือในรูปแบบภาครัฐและเอกชน (public-private partnership) จะช่วยเร่งการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนให้เกิดขึ้นจริงได้

2.3.3 ยุทธศาสตร์ด้านกลไกทางภาษีและการสร้างตลาด

การขับเคลื่อนเศรษฐกิจหมุนเวียนให้เกิดขึ้นได้อย่างยั่งยืน จำเป็นต้องอาศัยกลไกทางเศรษฐศาสตร์ เครื่องมือทางการคลัง และมาตรการทางภาษีในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างราคาให้สะท้อนต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมที่แท้จริง ควบคู่กับการสร้างความต้องการใช้ในตลาด โดยมีแนวทางการดำเนินงาน เช่น

1) การกำหนดค่าธรรมเนียม การบังคับใช้มาตรการภาษีผลิตภัณฑ์เป้าหมาย และการให้สิทธิประโยชน์แก่ผู้ผลิต เนื่องจากโครงสร้างราคาปัจจุบันยังไม่ได้สะท้อนผลกระทบภายนอกเชิงลบ โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในการจัดการของเสีย ทำให้วัตถุดิบใหม่ที่ได้จากการทำเหมืองแร่ธรรมชาติมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบทดแทน การกำหนดค่าธรรมเนียมและภาษีผลิตภัณฑ์ตามหลักการผู้สร้างมลพิษเป็นผู้จ่าย (polluter pays principle) จะทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมคำนึงถึงต้นทุนของการใช้วัตถุดิบที่สร้างมลพิษ ขณะเดียวกันการจัดสรรสิทธิประโยชน์ทางภาษีและการสนับสนุนการลงทุนแก่โรงงานที่ใช้วัตถุดิบทดแทนในประเทศ ก็จะช่วยลดภาระทางการเงินและจูงใจให้ภาคอุตสาหกรรมเปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบหมุนเวียนในกระบวนการผลิตมากขึ้น

2) การสร้างแรงจูงใจทางภาษีเพื่อขับเคลื่อนตลาดวัตถุดิบทดแทน เพื่อสร้างแรงจูงใจฝั่งผู้บริโภคจะช่วยขยายขนาดของตลาด สร้างความยั่งยืนทางธุรกิจให้กับผู้ประกอบการ

ริโซเคิลให้มีความมั่นใจที่จะลงทุนในเทคโนโลยีการริโซเคิลที่ทันสมัย พัฒนาเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีราคาสูง และช่วยยกระดับวงจรการใช้ข้าววัตถุดิบภายในระดับประเทศ

2.3.4 ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาฐานข้อมูลและระบบติดตามการหมุนเวียนของทรัพยากรแบบดิจิทัล

การนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลทรัพยากรและวัตถุดิบหมุนเวียนเป็นกลไกเชิงโครงสร้างที่สำคัญยิ่งในการยกระดับประสิทธิภาพการจัดการของเสียอุตสาหกรรม การจัดอุปสรรคด้านข้อมูลข่าวสาร และการกำกับดูแลการหมุนเวียนของเสียอันตรายให้กลับเข้าสู่ระบบอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ โดยมีแนวทางการดำเนินงาน เช่น

1) การลดอุปสรรคด้านข้อมูลและการจัดตั้งระบบจับคู่ของเสียระดับชาติ เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนข้อมูลที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับแหล่งที่มา ปริมาณ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี รวมถึงช่วงเวลาที่เกิดของเสีย เป็นต้น นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ก่อกำเนิดของเสียและผู้มีความต้องการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ ยังจะส่งผลให้กากอุตสาหกรรมจำนวนมากถูกนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบหรือเผาทิ้งโดยสูญเปล่า การจัดตั้งระบบจับคู่ของเสียระดับชาติจะช่วยสร้างความโปร่งใส เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของของเสีย และช่วยให้ภาครัฐมีข้อมูลเชิงยุทธศาสตร์ในการวางแผนเชื่อมโยงห่วงโซ่อุปทานทรัพยากรหมุนเวียนของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) การพัฒนาระบบติดตามวัตถุดิบหมุนเวียนและซากผลิตภัณฑ์ใช้แล้ว เพื่อติดตามการจัดการขยะหรือของเสียอันตรายที่มีความเสี่ยงสูงต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อม ที่หากรั่วไหลออกนอกระบบกฎหมายไปสู่การกำจัดที่ไม่ถูกต้องหรือการริโซเคิลแบบไร้มาตรฐาน ทั้งนี้ความซับซ้อนของห่วงโซ่อุปทานทำให้ปัจจุบันภาครัฐยังขาดกลไกการตรวจสอบย้อนกลับ ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การระบุตัวตนแบบดิจิทัล การใช้ QR code เทคโนโลยี RFID หรือหนังสือเดินทางดิจิทัลของผลิตภัณฑ์ร่วมกับระบบติดตามระดับประเทศจะช่วยสร้างความมั่นใจด้านทรัพยากรตลอดทั้งห่วงโซ่อุปทาน ควบคุมการขนส่ง และบังคับให้ซากผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบทดแทนถูกส่งกลับเข้าสู่โรงงานริโซเคิลที่ได้รับอนุญาตอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

ข้อเสนอ

3.1 ข้อเสนอเชิงนโยบาย

ข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในการส่งเสริมการนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมแห่งอนาคตของประเทศไทย แบ่งเป็นกลุ่มตามความจำเป็นและระยะเวลาในการดำเนินงาน ได้ดังนี้

3.1.1 นโยบายระยะเร่งด่วน (1-2 ปี)

เป็นการลดข้อจำกัดทางกฎหมายเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของเสียและการสร้างฐานข้อมูลด้านทรัพยากรหมุนเวียนของประเทศ ประกอบด้วย

1) นโยบายการจัดตั้งระบบเชื่อมโยงของเสียอุตสาหกรรมและฐานข้อมูลวัตถุดิบหมุนเวียนระดับชาติ เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนข้อมูลและความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลข่าวสารที่ทำให้ขยะ ของเสียอุตสาหกรรม หรือผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในโรงงานถูกนำไปฝังกลบหรือเผาทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ โดยมีแนวทางการดำเนินงาน เช่น การสร้างระบบฐานข้อมูลกลางที่เป็นรูปแบบดิจิทัลสำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมได้ลงทะเบียนข้อมูลชนิด ปริมาณ แหล่งที่มาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของของเสียอุตสาหกรรมแบบเรียลไทม์ พร้อมระบบจับคู่อุปสงค์และอุปทานระหว่างโรงงานผู้ก่อกำเนิดและโรงงานผู้ใช้วัตถุดิบ คาดว่าจะช่วยให้เกิดการจับคู่แลกเปลี่ยนของเสียอุตสาหกรรมในระบบไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 และลดปริมาณกากอุตสาหกรรมที่ไม่อันตรายไปสู่การฝังกลบ

2) นโยบายการประกาศเกณฑ์การสิ้นสุดความเป็นของเสียในกลุ่มวัสดุเป้าหมาย เพื่อแก้ไขปัญหาข้อจำกัดทางกฎหมายที่ตีความกากอุตสาหกรรมประเภทที่ไม่มีอันตรายหรือวัสดุพลอยได้จากการผลิตว่าเป็นของเสียที่มีความยุ่งยากในการขออนุญาตนำออกจากโรงงาน การควบคุมเรื่องการขนส่ง และการส่งไปกำจัดซึ่งทำให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนการจัดการที่สูงและต้องดำเนินการตามกฎหมายหลายขั้นตอนทำให้เสียเวลาในการปฏิบัติงาน โดยมีแนวทางหรือมาตรการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณสมบัติและหลักเกณฑ์ด้านความปลอดภัยสำหรับของเสียกลุ่มเป้าหมายที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนให้กับอุตสาหกรรมที่พึงพาการนำเข้าวัตถุดิบสูง เช่น สลักจากอุตสาหกรรมหลอมโลหะ เศษพลาสติกเกรดพิเศษ ชีวเถ้า

ลอยจากเตาเผาหม้อไอน้ำ รวมทั้งผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หมดอายุการใช้งาน เพื่อเปลี่ยนสถานะของเสียให้เป็นวัตถุดิบทดแทนที่สามารถซื้อขายและขนส่งได้อย่างเสรี

3.1.2 นโยบายระยะกลาง (2-4 ปี)

เน้นการสร้างกลไกตลาด การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และการบังคับใช้กฎหมายประกอบด้วย

1) นโยบายการยกเว้นกฎหมายความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility: EPR) ร่วมกับการพัฒนาระบบติดตามดิจิทัลสำหรับซากผลิตภัณฑ์เป้าหมายเพื่อมอบหมายภารกิจจัดการซากผลิตภัณฑ์จากภาครัฐสู่ผู้ผลิต และป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุสำคัญ (critical minerals) ที่อยู่ในของเสียอุตสาหกรรม ตลอดจนซากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยานพาหนะที่หมดอายุและแบตเตอรี่ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังต้องมีการสนับสนุนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น QR code และระบบ Digital Product Passport (DPP) เพื่อติดตามและควบคุมการขนส่งซากผลิตภัณฑ์กลับเข้าสู่โรงงานรีไซเคิลที่มีมาตรฐาน

2) นโยบายการปรับโครงสร้างภาษีและมาตรการทางการเงินเพื่อปรับโครงสร้างราคาวัตถุดิบให้สะท้อนต้นทุนสิ่งแวดล้อมตามหลักผู้สร้างมลพิษเป็นผู้จ่าย และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของวัตถุดิบทดแทน โดยมีแนวทางการดำเนินงาน เช่น การจัดเก็บค่าธรรมเนียมสำหรับการจัดการของเสีย การบังคับใช้ภาษีผลิตภัณฑ์ที่สร้างมลพิษหรือใช้ทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมาก ควบคู่กับการให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีให้แก่โรงงานที่มีการจัดซื้อวัตถุดิบทดแทนภายในประเทศ และการจัดสรรสิทธิประโยชน์ด้านส่งเสริมการลงทุน สินเชื่ออัตราดอกเบี้ยต่ำ (soft loan) สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการขยายกิจการหรือลงทุนในเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูง

3) นโยบายการจัดตั้งเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อเชื่อมโยงโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ให้มีการแลกเปลี่ยนขยะไปเป็นวัตถุดิบและพลังงาน โดยเน้นการยกระดับนิคมอุตสาหกรรมเป้าหมายอย่างน้อย 5 แห่ง โดยเฉพาะในพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ที่มีโรงงานอุตสาหกรรมแห่งอนาคตจำนวนมากให้มีระบบแลกเปลี่ยนพลังงานและวัสดุเหลือทิ้งร่วมกัน พร้อมทั้งผลักดันให้เกิดโรงงานรีไซเคิลแร่ธาตุสำคัญขั้นสูงในเชิงพาณิชย์

3.1.3 นโยบายระยะยาว (3-5 ปีขึ้นไป)

เป็นการสร้างมาตรฐานการใช้วัตถุดิบหมุนเวียน และการขับเคลื่อนการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมให้เกิดการหมุนเวียนทรัพยากรอย่างครบวงจร ประกอบด้วย

1) นโยบายการกำหนดสัดส่วนขั้นต่ำการใช้วัตถุดิบรีไซเคิลในภาคอุตสาหกรรม เพื่อผลักดันความต้องการใช้วัตถุดิบทดแทนในปริมาณที่ชัดเจนและมีความยั่งยืน เพื่อลดความผันผวนของตลาดวัตถุดิบทดแทนและลดการสกัดทรัพยากรธรรมชาติใหม่ ทั้งนี้อาจดำเนินการโดยออกกฎระเบียบในการกำหนดสัดส่วนการใช้วัตถุดิบทดแทนขั้นต่ำในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งอนาคต เช่น บรรจุภัณฑ์

วัสดุขั้นสูง ชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ควบคู่กับการพัฒนาระบบรับรองมาตรฐานสัดส่วนวัสดุรีไซเคิล (recycle content certification) เพื่อใช้ในระบบการจัดซื้อจัดจ้างสีเขียวภาครัฐและเป็นข้อมูลหลักฐานสำหรับการซื้อขายในตลาดสากล

2) นโยบายการผลักดันนวัตกรรมและเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูงสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรม โดยเน้นสนับสนุนทุนสำหรับการวิจัย การส่งเสริมความร่วมมือภาครัฐและเอกชน (public-private partnership) เพื่อขยายผลการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการหรือโรงงานต้นแบบไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ภาครัฐสามารถสร้างกลไกความร่วมมือกับต่างประเทศในการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน รวมทั้งการสนับสนุนด้านบุคลากรผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ เช่น เวทีความร่วมมือทางด้านแร่ธาตุของภูมิภาคอาเซียน ซึ่งมีการประชุมเจ้าหน้าที่อาวุโสด้านแร่ธาตุอาเซียน (ASEAN Senior Officials Meeting on Minerals: ASOMM) เป็นประจำ เพื่อยกระดับการค้าและการลงทุนด้านแร่ พัฒนาเทคโนโลยี และส่งเสริมการทำเหมืองแร่ที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม ประเทศไทยสามารถเสนอแนะความร่วมมือในการส่งเสริมระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนระหว่างประเทศสมาชิกได้ รวมถึงองค์การพัฒนาอุตสาหกรรมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Industrial Development Organization: UNIDO) ซึ่งประเทศไทยเป็นสมาชิก ก็มีโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศด้านอุตสาหกรรมสีเขียวที่มีเป้าหมายเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและการสร้างนวัตกรรมที่เป็นมิตรต่อโลก

3.2 ข้อเสนอเพื่อขับเคลื่อนนโยบายสู่การปฏิบัติ

ตามที่ได้มีการแนะนำข้อเสนอเชิงนโยบายเพื่อขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในการส่งเสริมการนำของเสียมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับภาคอุตสาหกรรม ภาครัฐควรมีการกำหนดแนวทาง แผนงาน หรือโครงการที่ชัดเจนที่ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้าใจตรงกันและนำไปปฏิบัติได้ทันที รวมทั้งช่วยคัดกรองและปรับปรุงมาตรการต่าง ๆ ให้ตอบโจทย์ปัญหาของประเทศอย่างยั่งยืน ก่อนเริ่มลงมือทำ และเพื่อให้สามารถขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติได้จริง จึงมีข้อเสนอเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางการดำเนินการ โดยมีรายละเอียดตามที่แสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการนำของเสียมาใช้
เป็นวัตถุดิบทดแทนไปสู่การปฏิบัติ

ข้อเสนอเชิงนโยบาย	แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติ	ตัวชี้วัดความสำเร็จ	หน่วยงานรับผิดชอบ
<u>ระยะเร่งด่วน</u> 1. การจัดตั้งระบบเชื่อมโยงของเสียอุตสาหกรรมและฐานข้อมูลวัตถุดิบหมุนเวียนระดับชาติ	- จัดตั้งคณะทำงานร่วมภาครัฐ-เอกชน เพื่อเชื่อมโยงฐานข้อมูลการขออนุญาตขนย้ายกากอุตสาหกรรมของกรมโรงงานเข้ากับข้อมูลการจัดการของเสียของโรงงานอุตสาหกรรมทั่วประเทศในรูปแบบดิจิทัล - พัฒนาโปรแกรมสำหรับจับคู่ อุปสงค์-อุปทานของการใช้ประโยชน์ของเสียอุตสาหกรรมแบบเปิดระดับประเทศ โดยใช้กลไก API⁷ ที่เชื่อมโยงข้อมูลและระบบระหว่างบริษัทต่าง ๆ ให้แลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ซึ่งอาจเริ่มจากพื้นที่นำร่องใน EEC และกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และพลังงานสะอาด เป็นต้น	- โรงงานอุตสาหกรรมเข้าร่วมใช้งานระบบ ไม่น้อยกว่า 2,000 ราย - ของเสียอุตสาหกรรมมีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนไม่น้อยกว่า 100,000 ตัน/ปี	- กรมโรงงานอุตสาหกรรม (เจ้าภาพหลัก) - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ - การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย - สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล - สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
2. การประกาศหลักเกณฑ์การสิ้นสุดความเป็นของเสียในกลุ่มวัสดุเป้าหมาย	ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณสมบัติและหลักเกณฑ์ด้านความปลอดภัยสำหรับของเสียกลุ่มเป้าหมายที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน โดยมีตัวอย่างของเสียนำร่อง เช่น ขี้เถ้าลอยจากเตาเผาหม้อ	- มีประกาศหลักเกณฑ์ End of waste บังคับใช้สำหรับของเสียอุตสาหกรรมอย่างน้อย 5 ชนิด - ของเสียอุตสาหกรรมได้รับการเปลี่ยนสถานะ	- กรมโรงงานอุตสาหกรรม (เจ้าภาพหลัก) - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

⁷ API (Application Programming Interface) คือ กลไกที่เป็นสะพานเชื่อมให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ทำให้สื่อสาร ส่งข้อมูล และทำงานร่วมกันได้อย่างปลอดภัย โดยสามารถกำหนดขอบเขตการเข้าถึงและไม่ต้องเปิดเผยฐานข้อมูลหลังบ้านภายในของอีกฝ่าย

ข้อเสนอเชิงนโยบาย	แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติ	ตัวชี้วัดความสำเร็จ	หน่วยงานรับผิดชอบ
	โอนน้ำเพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนสำหรับการผลิตวัสดุก่อสร้าง - ปรับปรุงระเบียบการอนุญาตขนส่งและครอบครองของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบทดแทน - จัดตั้งห้องปฏิบัติการสำหรับตรวจสอบและรับรองมาตรฐานของเสียตามหลักเกณฑ์ End of waste	เป็นวัตถุดิบทดแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 มีศูนย์ตรวจสอบและรับรองมาตรฐานของเสียอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 3 แห่ง	- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม - สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
<u>ระยะปานกลาง</u> 1. ออกกฎหมายความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (EPR) และพัฒนาระบบติดตามดิจิทัลสำหรับซากผลิตภัณฑ์เป้าหมาย	- ยกร่างกฎหมายเรื่อง การจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์และยานพาหนะที่สิ้นอายุการใช้งาน (end of life vehicle) โดยจัดตั้งหน่วยงานที่ทำหน้าที่เป็นองค์กรกลางแทนผู้ผลิตในการบริหารจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการบริโภค - จัดทำระบบ Digital Product Passport (DPP) โดยใช้เทคโนโลยี เช่น QR Code และ RFID เพื่อติดตามสถานะการใช้งานผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ และแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าและควบคุมการเรียกเก็บและส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน - สนับสนุนการจัดตั้งศูนย์รวบรวมซากผลิตภัณฑ์ในระดับท้องถิ่นและภูมิภาค และโรงงานรีไซเคิลของเสียอุตสาหกรรมที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง	- สัดส่วนการรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วเพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 - มีศูนย์รวบรวมและคัดแยกซากผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วในพื้นที่เป้าหมายไม่น้อยกว่า 10 แห่ง - มีโรงงานรีไซเคิลที่ได้มาตรฐานในระดับอุตสาหกรรมจำนวน 3 แห่ง	- กรมควบคุมมลพิษ (เจ้าภาพหลัก) - กรมโรงงานอุตสาหกรรม - กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ - กรมการขนส่งทางบก - กรมศุลกากร

ข้อเสนอเชิงนโยบาย	แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติ	ตัวชี้วัดความสำเร็จ	หน่วยงานรับผิดชอบ
2. การปรับโครงสร้างภาษีและมาตรการทางการเงินเพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน	• ออกหลักเกณฑ์และกฎหมายเพื่อลดหย่อนภาษีเงินได้นิติบุคคลให้ผู้ประกอบการสำหรับค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อวัตถุดิบทดแทนที่ได้จากการรีไซเคิลของเสียภายในประเทศ • กำหนดสิทธิประโยชน์ด้านส่งเสริมการลงทุน เช่น ยกเว้นภาษีเงินได้ 5-8 ปี และภาษีการนำเข้าเครื่องจักรสำหรับโรงงานรีไซเคิลของเสีย • จัดตั้งกองทุน soft loan ร่วมกับธนาคารเพื่อสนับสนุนเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสำหรับการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	• ยอดการขอรับการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ในอุตสาหกรรมรีไซเคิลและเศรษฐกิจหมุนเวียนมูลค่ามากกว่า 10,000 ล้านบาท • จำนวนผู้ประกอบการใช้สิทธิลดหย่อนภาษีจากการจัดซื้อวัตถุดิบทดแทนมากกว่า 500 ราย • โรงงานอุตสาหกรรมมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนมากกว่า 100 ราย	• กรมสรรพากรและสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (เจ้าภาพหลัก) • กรมศุลกากร • สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง • ธนาคารพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME Bank) • สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม
3. การจัดตั้งเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน	• พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานระบบสาธารณูปโภคหมุนเวียน เช่น ระบบรวบรวมและจัดการของเสียส่วนกลางในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม และระบบแลกเปลี่ยนของเสียอุตสาหกรรมไปใช้เป็นวัตถุดิบและพลังงานระหว่างโรงงาน • ออกหลักเกณฑ์การให้สิทธิประโยชน์สำหรับโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีการนำของเสียไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน	• นิคมอุตสาหกรรมเป้าหมายผ่านการรับรอง Eco-Industrial park ระดับ Eco-World Class ไม่น้อยกว่า 5 แห่ง • ของเสียอุตสาหกรรมในพื้นที่เป้าหมายถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 50	• การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (เจ้าภาพหลัก) • กรมโรงงานอุตสาหกรรม • สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม • สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ข้อเสนอเชิงนโยบาย	แนวทางการขับเคลื่อนนโยบายไปสู่การปฏิบัติ	ตัวชี้วัดความสำเร็จ	หน่วยงานรับผิดชอบ
<u>ระยะยาว</u> 1. การกำหนดสัดส่วนขั้นต่ำการใช้วัสดุรีไซเคิลในภาคอุตสาหกรรม และการจัดซื้อ สีเขียว	- ออกกฎระเบียบเพื่อกำหนดสัดส่วนการใช้วัสดุรีไซเคิลขั้นต่ำ (recycled content) ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เป้าหมาย เช่น บรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า - จัดทำระบบรับรองมาตรฐานสินค้าเศรษฐกิจหมุนเวียน (circularity certification) - ปรับปรุงเกณฑ์การจัดซื้อจัดจ้างพัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของภาครัฐ	- ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มีสัดส่วนการใช้วัสดุรีไซเคิลไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 - มูลค่าการจัดซื้อจัดจ้างสินค้าสีเขียวของหน่วยงานภาครัฐ มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 30	- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (เจ้าภาพหลัก) - กรมบัญชีกลาง - กรมควบคุมมลพิษ - กรมส่งเสริมการค้าต่างประเทศ - สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
2. การผลักดันนวัตกรรมและเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูงสู่การผลิตเชิงอุตสาหกรรม	- จัดตั้งโครงการความร่วมมือภาครัฐและเอกชน (PPP) เพื่อต่อยอดผลการพัฒนาเทคโนโลยีรีไซเคิลขั้นสูงไปสู่การลงทุนโรงงานรีไซเคิลในระดับอุตสาหกรรม - จัดทำโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานต่างประเทศเพื่อการพัฒนาบุคลากรภาคอุตสาหกรรม และถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน	- มีการขยายผลโครงการวิจัยด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์อย่างน้อย 3 โครงการ - มีโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานต่างประเทศด้านการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างน้อย 3 โครงการ	- กระทรวงอุตสาหกรรม (เจ้าภาพหลัก) - หน่วยบริหารและจัดการทุน (บพข.) - สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย - สำนักงาน BOI

บรรณานุกรม

เอกสาร

Department of Economic and Social Affairs. The Sustainable Development Goals Report 2026. United Nations. 7 July 2026

The Global Risks Report. World Economic Forum, 14 January 2026

Ru Chen. China's Circular Economy Transition: Challenges and Solution Ahead. Circular Innovation Lab. 22 February 2023

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

European Parliament. Circular economy: definition, importance and benefits. [Online]. 2023. Available from: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits> [24 May 2023].

European Commission. Innovation Fund: Deploying innovative net-zero technologies for climate neutrality. [Online]. 2026. Available from: https://climate.ec.europa.eu/areas-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund_en [9 July 2026].

European Commission. Digital Product Passport. [Online]. 2026. Available from: https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/digital-product-passport_en [2026].

Umicore. Critical raw materials: the 'magic ingredient' powering our everyday lives. [Online]. 2025. Available from: <https://www.umicore.com/en/media/newsroom/critical-raw-materials-the-magic-ingredient-powering-our-everyday-lives/> [24 October 2025].

UK HM Revenue & Customs. Plastic Packaging Tax (PPT) statistics background and references. [Online]. 2026. Available from: <https://www.gov.uk/government/statistics/plastic-packaging-tax-ppt-statistics/plastic-packaging-tax-ppt-statistics-background-and-references> [27 August 2026].

- UK Research and Innovation. UKRI Strategy 2026 to 2031. [Online]. 2026. Available from: <https://www.ukri.org/publications/uk-research-and-innovation-strategy-2026-to-2031/ukri-strategy-2026-to-2031/> [13 July 2026].
- Coralis: Industrial Symbiosis in Energy Intensive Industries. NISP: the world's first national industrial symbiosis programme. [Online]. 2022. Available from: <https://www.coralis-h2020.eu/other-news/nisp-the-worlds-first-national-industrial-symbiosis-programme/> [16 May 2022].
- United States Environmental Protection Agency. National Recycling Strategy. [Online]. 2021. Available from: <https://www.epa.gov/circulareconomy/national-recycling-strategy> [23 June 2026].
- Sustainability Magazine. How Apple Uses Robots to Reduce E-Waste. [Online]. 2026. Available from: <https://sustainabilitymag.com/news/how-apple-robots-are-closing-the-waste-recycling-loop> [15 January 2026].
- Kitakyushu City. Kitakyushu Eco-Town Center. [Online]. 2026. Available from: <https://kitakyushucity.guide/en/spots/detail/f60fdd1d-b17c-4b70-8eda-9e86c690aa06>.
- UN Environment Programme. A model city in Japan is helping Asian cities go green. [Online]. 2019. Available from: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/model-city-japan-helping-asian-cities-go-green> [12 August 2019].
- Ministry of Ecology and Environment. the People's Republic of China. Circular Economy Promotion Law. [Online]. 2009. Available from: https://english.mee.gov.cn/Resources/laws/envir_relatedlaws/201712/t20171212_427823.shtml [1 January 2009].

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายกิตติพันธุ์ บางยี่ขัน
ประวัติการศึกษา	- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย - Ph.D. in Metallurgy and Materials University of Birmingham, UK
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2541	วิศวกรโลหการ 3 กองโลหกรรม กรมทรัพยากรธรณี
พ.ศ. 2548	วิศวกรโลหการ 5 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
พ.ศ. 2551	วิศวกรโลหการชำนาญการ สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
พ.ศ. 2560	วิศวกรโลหการชำนาญการพิเศษ กองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่
พ.ศ. 2565	อัครราชทูตที่ปรึกษา (ฝ่ายอุตสาหกรรม) สำนักงานที่ปรึกษาด้านอุตสาหกรรม สถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงโตเกียว
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้อำนวยการกองนวัตกรรมวัสดุและอุตสาหกรรมต่อเนื่อง กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่