บทที่ 4
การศึกษาด้านวิศวกรรม

การศึกษาด้านวิศวกรรมเป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องในการผลิตโดยตรง ประกอบด้วยกาศึกษากระบวนการผลิต สถานที่ตั้งโรงงาน วัตถุดิบ แรงงาน รวมทั้งแหล่งจ่ายวัตถุดิบและสาธารณูปโภค เพื่อคัดเลือกลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งโรงงานและนำไปสู่การประมาณการณ์ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาของโครงการต่อไป

4.1 กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการรีไซเคิลพลาสติกได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถลดปริมาณขยะพลาสติกที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษและถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าจึงทำให้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีในการรีไซเคิลอย่างต่อเนื่อง สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ดังนี้

4.1.1 กระบวนการรีไซเคิลทั่วไป

1. การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ

การนำเศษพลาสติกประเภทเดียวกันและไม่มีสิ่งปนเปื้อนที่เกิดในกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือมีการเติมผสมกับเม็ดใหม่ในอัตราส่วนที่ความเหมาะสม

2. การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ

การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาเข้าสู่กระบวนการบด ทำความสะอาด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง สามารถแบ่งออกได้ 3 วิธี ดังนี้

1. การรีไซเคิลด้วยกระบวนการทางกายภาพ (Mechanical recycling) การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาคัดแยกประเภทและสี ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาด บด และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกเกรดบีหรือเม็ดพลาสติกรีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน

พลาสติกรีไซเคิลอาจนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ พลาสติกที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลจะมีคุณภาพต่ำลงจากการปนเปื้อนสิ่งสกปรกหลังการใช้งาน เช่น ฉลาก กาว เป็นต้น ทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเข้มขึ้นหรือความใสลดลง นอกจากนี้ความชื้นในพลาสติกและความร้อนที่ใช้ในการหลอมพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเหลืองและมีสมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากเกิดการสลายตัวหรือการขาดของสายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์ พลาสติกรีไซเคิลจึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์สูงสุดและมีราคาถูกลงจนอาจไม่คุ้มต่อการลงทุน

2. การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (Chemical modification) การปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมีสามารถช่วยลดข้อจำกัดด้านคุณสมบัติ การขึ้นรูปและการใช้งานของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลหรือทำให้มีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดพลาสติกใหม่ สำหรับพลาสติกชนิดเดียวกันสามารถทำได้โดยการเติมสารเคมีหรือการผ่านรังสี ส่วนพลาสติกผสมมักใช้สารช่วยในการผสมให้เข้ากัน เรียกว่า Compatibilize

3. การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (Co-extrusion and Co-injection molding) ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นชั้นเหมาะสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร โดยชั้นผิวหน้าผลิตจากพลาสติกใหม่มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดีและสีสันสวยงาม ส่วนชั้นกลางเป็นพลาสติกรีไซเคิล

3. การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ

การรีไซเคิลแบบตติยภูมิสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ การรีไซเคิลทางเคมีและทางความร้อน

1. การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical recycling) การรีไซเคิลด้วยกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก (Depolymerisation) จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นมอนอเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) จากนั้นทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่นและตกผลึกได้สารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูงสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ แต่มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบสูงเนื่องจากต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูงและมีการผสมหรือปนเปื้อนเพียงเล็กน้อย

2. การรีไซเคิลทางความร้อน (Thermolysis) เป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และคุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมีเนื่องจากสามารถจัดการขยะพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ใช่พลาสติกได้ โดยการทำให้โครงสร้างของโพลิเมอร์แตกหรือขาดด้วยความร้อน เรียกว่า Thermolysis การรีไซเคิลทางความร้อนสามารถแบ่งออกได้ 3 วิธี คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และ การเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

4. การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ

การรีไซเคิลด้วยการเผาไหม้พลาสติกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 MJ/kg) ซึ่งสามารถเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียกทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ

งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะกระบวนการรีไซเคิลขยะขวด PET ทางกายภาพ (Mechanical recycling) เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน รวมทั้งการรีไซเคิลยังมีต้นทุนต่ำและใช้ระยะเวลาในการผลิตไม่สูงมากนักและได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

4.1.2 การคัดแยกประเภทพลาสติก

การแยกประเภทของขยะพลาสติกเป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมพลาสติกรีไซเคิล เนื่องจากปัจจุบันมีการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายชนิดอาจเกิดการปนเปื้อนและส่งผลต่อคุณภาพของพลาสติกรีไซเคิล การแยกประเภทพลาสติกจะใช้หลักการพื้นฐานของสมบัติเชิงเคมี แสง ไฟฟ้าและกายภาพของพลาสติกที่นำมาคัดแยกสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. **การแยกประเภทพลาสติกด้วยมือ** (Manual sorting)

การแยกประเภทพลาสติกด้วยมือจะอาศัยความแตกต่างทางกายภาพของพลาสติก อาจคัดแยกประเภทจากตัวเลขบนพลาสติกและลักษณะต่าง ๆ ของพลาสติก เช่น สี ลักษณะของพลาสติกเมื่อถูกบีบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วยในการแยกประเภทพลาสติก เช่น การใช้แสงอัลตราไวโลเลต หรือ Black light และระบบ Kisspotlight ใช้หลักการกระจายแสงโดยการสวมแว่นตาเปลี่ยนสภาพแสงพิเศษ (special polarized googles) เพื่อคัดแยกโพลิเมอร์เจือปนออกจากสายพานลำเลียง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การแยกประเภทด้วยมือเป็นการคัดแยกโดยใช้แรงงานคนจึงต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายด้านแรงงานเพิ่มขึ้นและอาจเกิดความผิดพลาดในการคัดแยกได้

2. **การคัดแยกพลาสติกด้วยการลอยตัวในของเหลว** (Direct Flotation)

การคัดแยกพลาสติกด้วยการลอยตัวในของเหลวจะอาศัยความแตกต่างด้านความหนาแน่นของพลาสติกผสมและใช้ของเหลวที่มีความหนาแน่นอยู่ระหว่างพลาสติกผสมเป็นตัวกลาง โดยพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยขึ้นสู่ด้านบนส่วนพลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะจมลงสู่ด้านล่างของตัวกลางของเหลว ซึ่งตัวกลางของเหลวที่นิยมมากที่สุดได้แก่ น้ำ (ใช้สำหรับแยกโพลิโอเลฟินออกจากวัสดุที่ไม่ใช่โพลิโอเลฟิน) สารละลายผสมระหว่างน้ำและเมธานอล (ใช้สำหรับแยกโพลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ) และสารละลายเกลือ NaCl และสารละลาย $ZnCl_2$ (ใช้สำหรับแยกโพลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ) การคัดแยกด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะในการแยกพลาสติกโพลิโอเลฟินผสมเนื่องจากมีความแตกต่างของความหนาแน่นน้อย นอกจากนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจทำให้ควบคุมความหนาแน่นของสารละลายตัวกลางได้ไม่แม่นยำ และอาจมีการรวมกลุ่มของพลาสติกทำให้พลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าตัวกลางจมได้และส่งผลต่อคุณภาพของการคัดแยกพลาสติกผสมได้

3. **การคัดแยกพลาสติกด้วยกระบวนการ** Froth Flotation

การคัดแยกพลาสติกผสมด้วยกระบวนการ Froth Flotation เป็นกระบวนการทางเคมีพื้นผิวเพื่อคัดแยกของแข็งขนาดเล็กออกจากกันโดยอาศัยความสามารถในการเปียกผิวของพื้นผิวของของแข็งที่แตกกต่างกัน ซึ่งพื้นผิวของของแข็งที่สามารถเปียกผิวได้ด้วยน้ำจะมีลักษณะเป็น hydrophilic ทำให้ของแข็งจมลงในน้ำ ส่วนอนุภาคพื้นผิวที่มีลักษณะเป็น hydrophobic

จะทำให้ฟองอากาศยึดติดกับพื้นผิวของแข็งได้ดีและลอยขึ้นสู่ผิวของสารละลาย การคัดแยกด้วยกระบวนการ Froth Flotation เหมาะสำหรับแยกพลาสติกผสมที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกันและสามารถแยกออกจากกันได้ยาก เช่น การแยกพลาสติกผสมระหว่าง PVC และ PET เป็นต้น

4. **การแยกพลาสติกโดยใช้ตัวทำละลาย** (Solvent - Based Separation)

การแยกประเภทพลาสติกผสมโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อให้ส่วนประกอบที่ต้องการคัดแยกออกละลายอยู่ในสารละลายทำให้ได้โพลิเมอร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง เหมาะสำหรับจะนำกลับมาใช้ใหม่ เช่น การใช้ตัวทำละลายผสมของ Xylene กับ Cyclohexanone ในการแยกพลาสติกผสม PS-PVC-HDPE-PP ออกเป็น 3 เฟส การใช้ N-Methy 1-2-Pyrolidinone (NMP) ในการแยกพลาสติกผสม PET-HDPE เป็นต้น การคัดแยกพลาสติกผสมด้วยวิธีนี้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและใช้พลังงานในการผลิตมากจึงมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง

5. **การคัดแยกพลาสติกตามความหนาแน่น** (Air classification)

การแยกประเภทพลาสติกโดยอาศัยความแตกต่างด้านน้ำหนักและความหนาแน่นของพลาสติกผสม นิยมใช้แยกวัสดุประเภทฉลากและกระดาษออกจากพลาสติกผสม เนื่องจากมีรูปร่างบางและน้ำหนักเบาจึงสามารถแยกออกจากกระบวนการได้ง่าย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- Fluidized Bed อากาศจะถูกป้อนเข้าทางส่วนล่างของ Bed โดยพลาสติกผสมที่มีน้ำหนักเบาจะถูกอากาศพัดและคัดแยกออกทางด้านบน และพลาสติกผสมที่มีน้ำหนักมากจะตกลงสู่ด้านล่างของ Bed และถูกแยกออกจากพลาสติกผสม

- Cyclone มีหลักการคล้ายวิธี Fluidized Bed แต่พลาสติกผสมจะถูกป้อนเข้าทางด้านบนตามแนวสัมผัส (Tangentially) กับผนังของกรวยและถูกคัดแยกออกตามน้ำหนักของพลาสติกผสม

6. **การคัดแยกด้วยไฟฟ้าและแม่เหล็ก**

พลาสติกผสมอาจมีการปนเปื้อนโลหะชนิดต่างๆ จากส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์หรือแหล่งกำเนิดขยะต่างๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของพลาสติกรีไซเคิล โลหะที่มักปนเปื้อนมากับพลาสติกผสม เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สามารถคัดแยกด้วยวิธีการ ดังนี้

1. Magnetic separation สามารถคัดแยกเหล็กออกจากพลาสติกผสมโดยการใช้คลื่นแม่เหล็ก

2. Electrostatic separationสามารถคัดแยกอะลูมิเนียมออกจากพลาสติกผสมโดยใช้หลักการไฟฟ้าสถิตย์และความแตกต่างในการนำไฟฟ้าของวัสดุ

4.2 กระบวนการรีไซเคิลพลาสติก PET

การรีไซเคิลพลาสติกทางกายภาพสามารถทำได้หลากหลายกระบวนการตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์และข้อจำกัดด้านเงินลงทุน งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษากระบวนการ เครื่องจักร/อุปกรณ์ รวมถึงปัจจัยต่างๆที่จำเป็นในการผลิตของโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ในประเทศไทยเพื่อวิเคราะห์และคัดเลือกกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย

4.2.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ในประเทศไทย

1. การคัดแยกวัตถุดิบ (Sorting)

การรับซื้อขยะขวด PET ของโรงงานตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ขยะขวด PET อัดก้อนไม่ได้แกะฉลาก และแกะฉลากแล้ว ซึ่งมีคุณภาพและปริมาณวัสดุปนเปื้อนแตกต่างกันทำให้มีราคาแตกต่างกันตามไปด้วย กระบวนการคัดแยกวัตถุดิบมีรายละเอียด ดังนี้

1. ขยะขวด PET อัดก้อนไม่ได้แกะฉลาก จะมีวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ขวด PET ปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก เป็นต้น จึงต้องมีการตรวจสอบและคัดแยกด้วยมือ (Manual sorting) อีกครั้ง และเทน้ำที่เหลือค้างในวัตถุดิบออกก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต นอกจากนี้จะต้องมีการแกะฉลากออกด้วยเครื่องจักรหรือแรงงานคนก่อนนำเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2. ขยะขวด PET อัดก้อนแกะฉลากแล้ว จะมีการตรวจสอบและคัดแยกวัตถุดิบแล้วจึงมีวัสดุปนเปื้อนน้อยกว่าและมีราคาสูงกว่าขวด PET ที่ยังไม่มีการแกะฉลาก อย่างไรก็ตามยังต้องมีการคัดแยกวัตถุดิบเบื้องต้นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ขวด PET เข้าสู่กระบวนการผลิต

2. การบดพลาสติก (Crushing)

ขวด PET ที่ผ่านการแกะฉลากและคัดแยกวัสดุอื่นๆออกแล้วจะเข้าสู่กระบวนการลดขนาดด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อให้มีลักษณะเป็นเกร็ดหรือเม็ดพลาสติกเพื่อความสะดวกในการแยกประเภทพลาสติกและทำความสะอาดต่อไป

3. การลอยตัวในของเหลว (Direct Flotation)

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลจะเข้าสู่กระบวนการลอยตัวในน้ำโดยอาศัยความแตกต่างด้านความหนาแน่นเพื่อแยก PP และ HDPE ออกจากกระบวนการผลิต โดย PP และ HDPE จะลอยสู่ด้านบนและแยกออกจากกระบวนการ ส่วน PET จะจมลงสู่ด้านล่างและเข้าสู่กระบวนการต่อไป ในกระบวนการคัดแยกจะมีฝุ่นที่มีน้ำหนักมากจมลงสู่ด้านล่างและติดมากับเม็ดพลาสติกรีไซเคิลด้วย

4. การล้าง (Washing)

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลเข้าสู่กระบวนการล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดมากับวัตถุดิบ เช่น เศษอาหาร กาว เป็นต้น กระบวนการล้างจะมีการใส่โซดาไฟ และผงล้างพลาสติกเพื่อช่วยกำจัดสิ่งสกปรกได้ดียิ่งขึ้น ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การล้างด้วยน้ำเย็น 1 (Cold Washing 1) เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกในขั้นตอนแรก

2. การล้างด้วยน้ำร้อน (Hot Washing) ล้างเม็ดพลาสติกรีไซเคิลด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ประมาณ 30 นาที ช่วยให้การล้างมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกมากขึ้น

3. การล้างด้วยน้ำเย็น 2 (Cold Washing 2) เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจตกค้างอยู่จากการล้าง 2 ขั้นตอนแรก

5. การทำให้แห้ง (Drying)

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ล้างทำความสะอาดแล้วจะถูกนำมาทำให้แห้งด้วยเครื่องสลัดแห้งที่มีตะแกรงขนาดเล็ก กระบวนการนี้จะสามารถกำจัดน้ำและฝุ่นที่ติดมากับเม็ดพลาสติก รวมถึงเม็ดพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงหลุดรอดออกจากกระบวนการทำให้เกิดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์

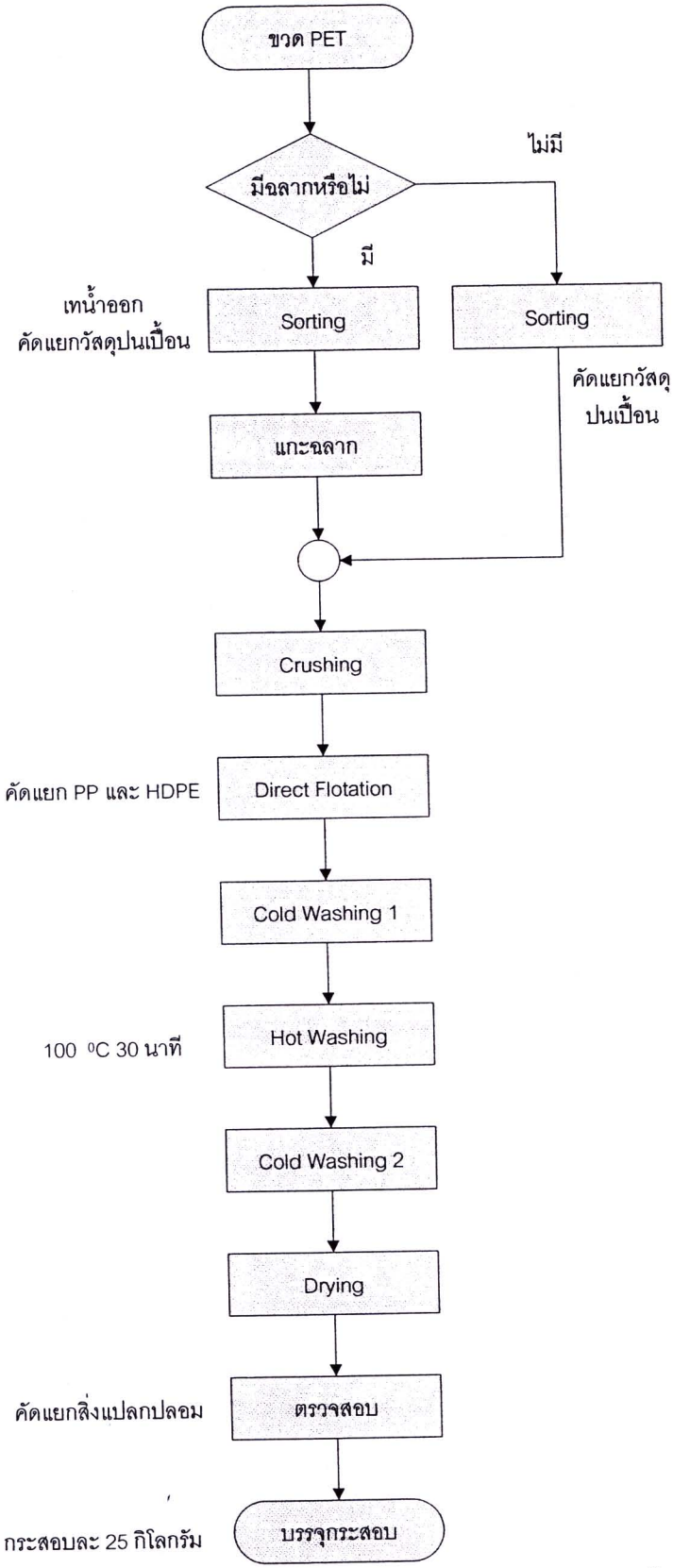
6. การตรวจสอบ

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผ่านการทำให้แห้งแล้วอาจมีการปนเปื้อนของวัสดุอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก เป็นต้น จึงต้องมีการตรวจสอบเม็ดพลาสติกบนสายพานด้วยการใช้แรงงานคน

7. บรรจุกระสอบ

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะถูกบรรจุกระสอบละ 25 กิโลกรัม จากนั้นนำไปจัดเก็บเพื่อรอจำหน่ายไปยังผู้ผลิตเส้นใยโพลิเอสเทอร์ต่อไป

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ของโรงงานตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ในประเทศไทย

4.2.2 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ของประเทศต่างๆ

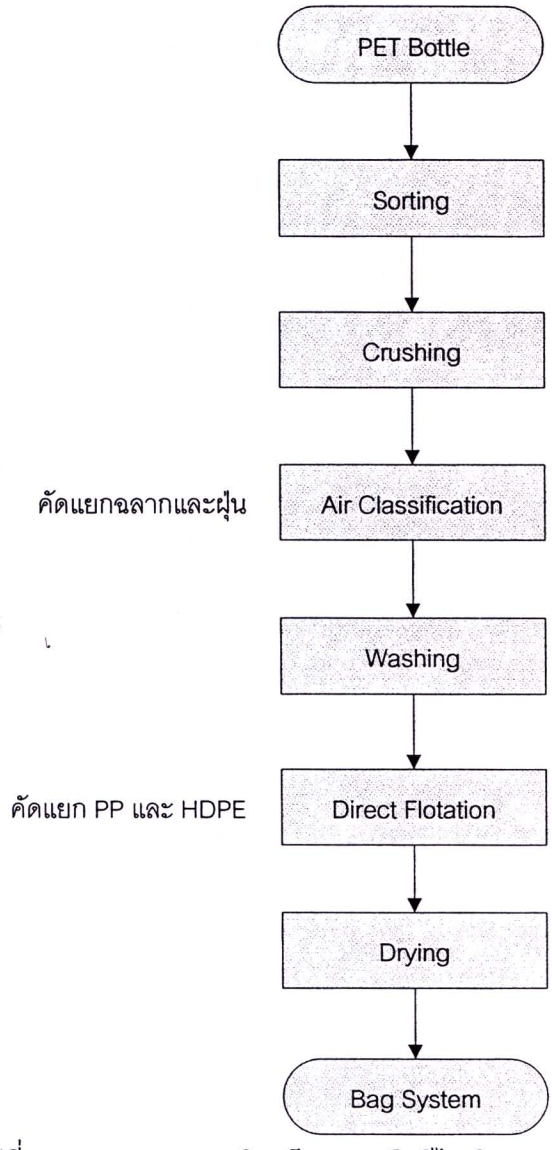
ปัจจุบันภาครัฐและองค์กรในประเทศต่างๆ มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลขยะขวด PET เพื่อลดปัญหาขยะภายในประเทศและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยกระบวนการรีไซเคิลทางกายภาพในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเงินลงทุนและความเหมาะสมของกระบวนการ กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ของประเทศต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

1.สหรัฐอเมริกา

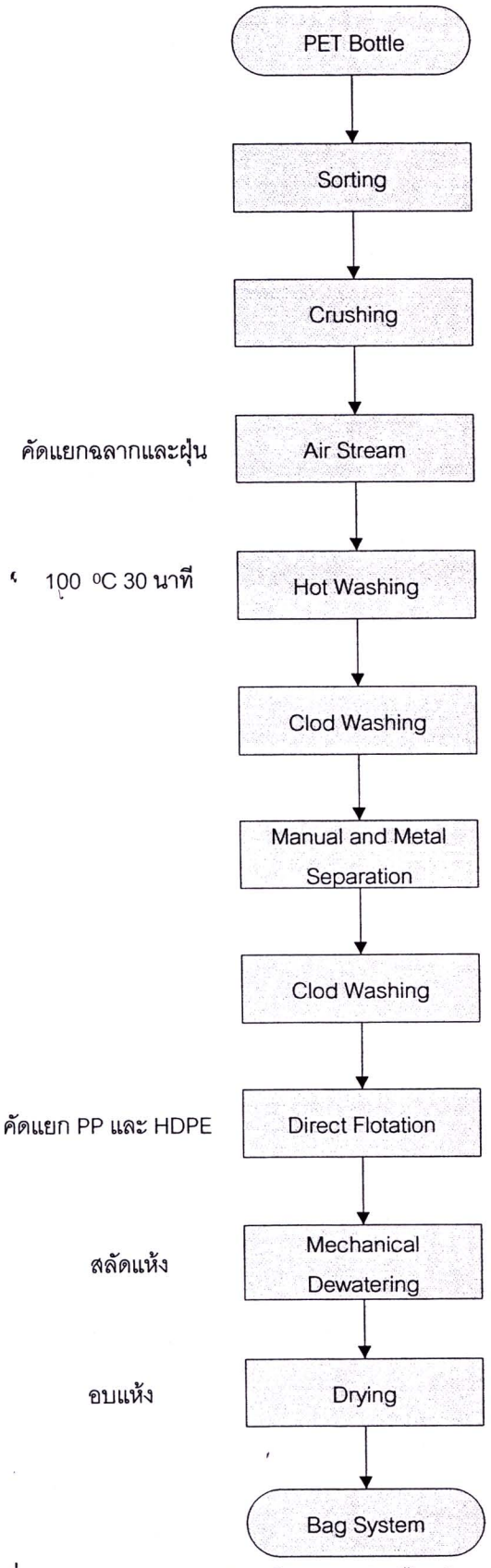
สหรัฐอเมริกามีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลพลาสติกหลายประเภทโดยมีการเรียกคืนพลาสติกที่ใช้งานแล้วจากความร่วมมือประชาชนและองค์กรต่างๆ Association of Postconsumer Plastic Recyclers (APR) เป็นองค์กรที่มีการดำเนินงานและจัดทำรายงานเพื่อประเมินผลในการีไซเคิลขวด PET ในสหรัฐอเมริกา กระบวนการรีไซเคิลขวด PET แสดงดังรูปที่ 4.2

2. ประเทศจีน

ประเทศจีนมีผู้จำหน่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกแยกตามกระบวนการผลิตหรือจำหน่ายทั้งสายการผลิตจำนวนมาก งานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ของบริษัท Chang Woen Mechinery จำกัด เป็นผู้จำหน่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการรีไซเคิลพลาสติกประเภทต่างๆ ทั้งสายการผลิตในประเทศจีน แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ในสหรัฐอเมริกา (APR, 2009)



รูปที่ 4.3. กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ในประเทศจีน

4.2.3 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ของโครงการ

การกำหนดกระบวนการรีไซเคิลขยะขวด PET ที่เหมาะสมควรพิจารณาจากประเภทพลาสติกและวัสดุปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ กระบวนการรีไซเคิลขวด PET ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

1. การคัดแยกวัตถุดิบ (Sorting)

กำหนดให้วัตถุดิบหลักในการผลิตของโครงการ คือ ขยะขวด PET อัดก้อนและยังไม่ได้แกะฉลากจากโรงงานคัดแยกหรือขยะร้านรับซื้อของเก่าในพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งมีการคัดแยกประเภทของขยะแล้วจึงลดภาระในการคัดแยกประเภทพลาสติกของโรงงาน อย่างไรก็ตามอาจมีการวัสดุต่างๆ ปนเปื้อนมากับวัถตุดิบ เช่น อะลูมิเนียม เหล็ก เป็นต้น จึงควรมีการคัดแยกด้วยมือ (Manual sorting) และเทน้ำที่เหลือค้างในวัตถุดิบออกเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต

2. การบดพลาสติก (Crushing)

วัตถุดิบที่ผ่านการคัดแยกแล้วจะเข้าสู่กระบวนการลดขนาดด้วยเครื่องบดพลาสติก (Crusher) ให้มีขนาดประมาณ 1/4 นิ้ว เพื่อสะดวกในการทำความสะอาด และการคัดแยกประเภทพลาสติกหรือกำจัดวัสดุเจือปนต่าง ๆ ออกจากกระบวนการผลิต การลดขนาดจะเกิดแรงเฉือนเชิงกล (Mechanical Shear) อาจทำลายโซ่ของโพลิเมอร์ทำให้พลาสติกรีไซเคิลมีคุณสมบัติทางกายภาพลดลง

3. การแยกพลาสติกตามความหนาแน่น (Air classification)

กระบวนการ Air classification เป็นการคัดแยกวัสดุโดยอาศัยแรงลม สามารถกำจัดฉลากที่เป็นกระดาษหรือพลาสติก ฝุ่น และวัสดุอื่นๆ ที่มีน้ำหนักเบาออกจากกระบวนการทำให้ปริมาณวัสดุปนเปื้อนลดลงและสามารถลดจำนวนครั้งในกระบวนการล้างเม็ดพลาสติกรีไซเคิลอีกด้วย

4. การลอยตัวในของเหลว (Direct Flotation)

ขยะขวด PET ในประเทศไทยประกอบด้วยบรรจุภัณฑ์หลายประเภท เช่น ขวดน้ำดื่ม น้ำอัดลม น้ำมันพืช เป็นต้น โดยทั่วไปบรรจุภัณฑ์ขวด PET จะมีส่วนประกอบเป็นพลาสติกประเภทต่าง ๆ ดังนี้

- ตัวขวดทำจากโพลีเอสเตอร์ ระบุรหัส PET-เบอร์ 1
- ส่วนฐานของขวดทำจากโพลีเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE - เบอร์ 2)
- ฝาปิดขวดชั้นในทำจากโพลีโพรพิลีน (PP - เบอร์ 5)

การลอยตัวในของเหลว (Direct Flotation) เป็นที่นิยมในการคัดแยกประเภทพลาสติกรีไซเคิล PET เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานไม่สูงมากนักและสามารถแยก

ประเภทของพลาสติกที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันได้ดี โดยความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละประเภท

Material	Density (g/cc)
PP	0.90-0.92
LDPE	0.91-0.93
HDPE	0.94-0.96
PET	1.35-1.38
PLA	1.24-1.27
PVC	1.32-1.42
PS	1.03-1.06
Aluminum	~2.10

กระบวนการลอยตัวในของเหลวจะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการคัดแยก (ความหนาแน่น 1.00 g/cc) สามารถแยก PET มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำจะจมลงสู่ด้านล่าง ส่วน HDPE และ PP มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำจะลอยอยู่ด้านบนจึงสามารถคัดแยกออกจากกระบวนการได้ง่าย

5. **การล้าง** (Washing)

เม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET จะเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดมากับขยะขวด PET เช่น เศษอาหาร กาว เป็นต้น กระบวนการล้างจะใส่โซดาไฟและผงล้างพลาสติกเพื่อช่วยกำจัดสิ่งสกปรกได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากกระบวนการ Air classification สามารถลดปริมาณฝุ่น ฉลาก และสิ่งสกปรกที่มีน้ำหนักเบาจึงสามารถลดจำนวนครั้งในการล้างเหลือ 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. การล้างด้วยน้ำร้อน (Hot Washing) ล้างเม็ดพลาสติกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C ประมาณ 30 นาที เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ล้างออกยาก

2. การล้างด้วยน้ำเย็น (Cold Washing) เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกที่อาจตกค้างอยู่จากการล้างขั้นตอนแรก ,

6. **การทำให้แห้ง** (Drying)

เม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ผ่านการล้างให้สะอาดแล้วจะถูกทำให้แห้งด้วยการเป่าด้วยลมร้อนและสลัดแห้งด้วยเครื่องสลัดแห้งเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราและมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

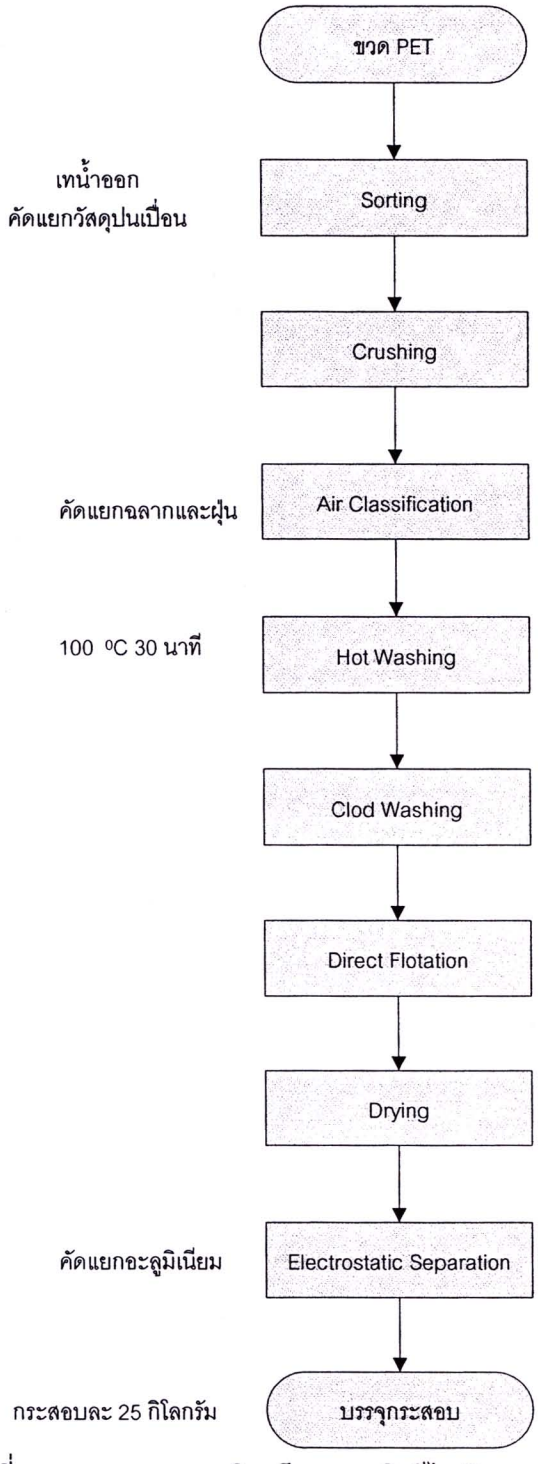
7. **การแยกอะลูมิเนียม** Electrostatic

ขยะขวด PET มีตรวจสอบการปนเปื้อนเหล็กมาจากโรงงานคัดแยกขยะและมีการคัดแยกเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตจึงไม่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบการปนเปื้อนเหล็กในผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามบรรจุภัณฑ์ขวด PET บางประเภทประกอบด้วยฝาปิดอะลูมิเนียม จึงควรมีการตรวจสอบการปนเปื้อนอะลูมิเนียมด้วยเครื่อง Electrostatic separator ซึ่งอาศัยหลักการไฟฟ้าสถิตย์และความแตกต่างในการนำไฟฟ้าของวัสดุก่อนบรรจุกระสอบ

9. **การบรรจุกระสอบ**

เม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET จะถูกบรรจุกระสอบละ 25 กิโลกรัม และนำไปจัดเก็บเพื่อรอจำหน่ายให้แก่ผู้ผลิตเส้นใยโพลิเอสเทอร์จากการรีไซเคิลต่อไป

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ที่เหมาะสมสำหรับโครงการ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET

4.2.4 **ปัจจัยที่จำเป็นในการผลิต** (Auxiliary facilities)

1. **หม้อน้ำ**

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET มีการใช้ความร้อนในกระบวนการล้างด้วยน้ำร้อน (Hot Washing) ที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C และการเป่าด้วยลมร้อนในกระบวนการทำให้แห้ง (Drying) จึงต้องมีเครื่องกำเนิดไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต โครงการกำหนดให้เครื่องกำเนิดไอน้ำมีขนาด 1 kg/cm^2 และใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงประมาณวันละ 2,000 ลิตร

2. **ระบบการกำจัดน้ำเสีย**

น้ำเสียเกิดจากกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ต้องมีการผ่านกระบวนการกำจัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำนอกโรงงาน โดยน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีของเสียประเภทกาว ฝุ่น โซดาไฟและผงล้างพลาสติกจากกระบวนการล้างทำให้มีลักษณะเป็นตะกอนของสารเคมีและสภาพเป็นด่าง จึงต้องมีการบำบัดด้วยกระบวนการ Coagulation-Flocculation ในถังกวนประมาณ 20 นาที เพื่อทำลายตะกอนเดิมให้เกิดการแตกตัวเป็นตะกอนขนาดเล็กด้วยการทำปฏิกิริยากับสารส้มและเติมสารเคมีบางตัวเพื่อให้ตะกอนจับตัวและเกิดตะกอนใหม่ที่แยกออกจากน้ำได้ง่ายขึ้น จากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่บ่อพักเพื่อให้การแยกชั้นของตะกอนและน้ำทิ้งซึ่งมีสภาพเป็นด่างจึงต้องมีการปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกประมาณ 20 นาที ก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำ การระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมีค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม
(กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
ความเป็นกรด-ด่าง	5.5-9.0
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร
ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C

4.3 สถานที่ตั้งโรงงาน

4.3.1 ปัจจัยในการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน

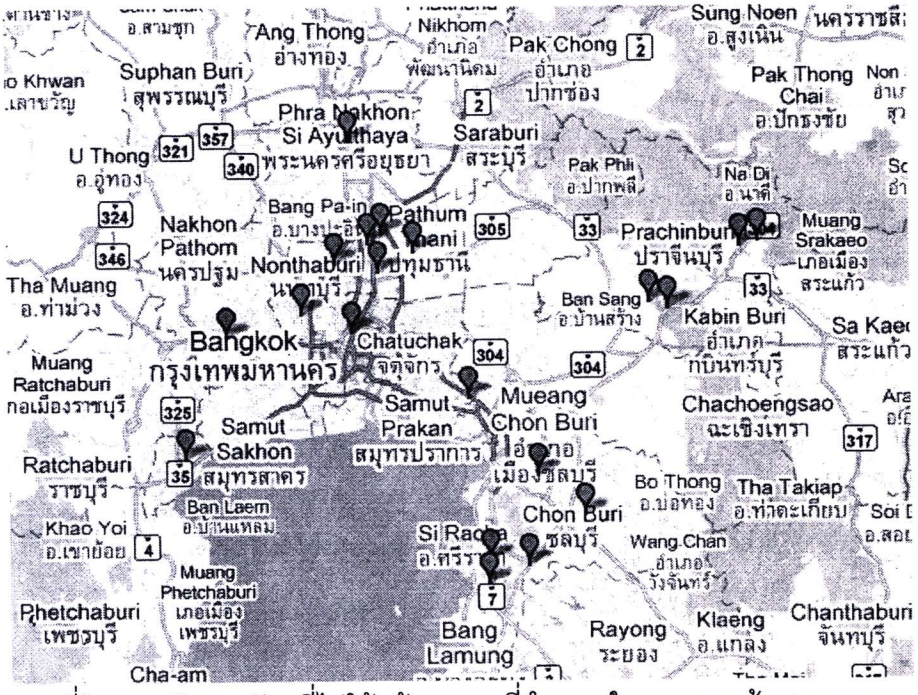
การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานควรพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินงานน้อยที่สุด ดังนี้

- ระยะทางจากโรงงานถึงแหล่งวัตถุดิบและตลาด
- การคมนาคมขนส่ง
- แรงงานที่อาจเหมาได้และค่าจ้างแรงงาน
- พลังงานที่อาจหามาได้และราคาของพลังงาน
- น้ำที่อาจหามาได้และคุณภาพของน้ำ
- ระบบการกำจัดของเสียจากโรงงาน
- ภาษีเทศบาลและการยกเว้นภาษี
- ที่ดินที่อาจเหมาได้ ลักษณะ ขนาด และราคาของที่ดิน

การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานควรพิจารณาตามลักษณะเฉพาะและความต้องการด้านปัจจัยต่าง ๆ ของแต่ละโรงงาน สำหรับปัจจัยในการเลือกที่ตั้งโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET เรียงตามลำดับความสำคัญ ดังนี้

1. ระยะทางจากโรงงานถึงแหล่งวัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักในการผลิตของโครงการ คือ ขยะขวด PET จากโรงงานคัดแยกขยะหรือร้านรับซื้อของเก่าซึ่งคัดแยกประเภทขยะด้วยเครื่องจักรและบีบอัดให้ลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร และน้ำหนัก 60-70 กิโลกรัม โดยโรงงานคัดแยกขยะหรือร้านรับซื้อของเก่าจะมีการกระจุกตัวอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเนื่องจากมีสัดส่วนการเกิดขยะมากที่สุดในประเทศ แสดงดังรูปที่ 4.5 ดังนั้นที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ในเขตกรุงเทพและปริมณฑลเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและมีความคล่องตัวในการจัดหาวัตถุดิบ



รูปที่ 4.5 แผนที่โรงงานคัดแยกวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะที่กำหนดในหมวด 1 ข้อ 1 ของภาคผนวกที่ 1 บัญชีสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2541) ในภาคกลาง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

2. **แหล่งน้ำ**

การผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ได้แก่ การล้าง การลอยตัวในของเหลว สถานที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำหรือเขตที่มีน้ำประปา เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาน้ำสามารถและมีน้ำเพียงพอสำหรับการดำเนินงาน

3. **พลังงาน**

การผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตปริมาณมาก เนื่องจากกระบวนการผลิตส่วนใหญ่อาศัยเครื่องจักรในการดำเนินงาน สถานที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ใกล้แหล่งจ่ายไฟฟ้าหรือเขตที่สามารถจัดหาไฟฟ้าได้สะดวก เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องปั่นไฟฟ้าและดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

4. **การขนส่ง**

โครงการมีการขนส่งวัตถุดิบและเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ สถานที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ใกล้ถนนใหญ่หรือถนนที่มีการคมนาคมคล่องตัวเพื่อให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง

5. **ระบบการกำจัดของเสีย**

น้ำเสียที่เกิดจากการผลิตเม็ดพลาติกรีไซเคิล PET มาจากกระบวนการล้าง การลอยตัวในของเหลว น้ำเสียในกระบวนการผลิตจึงมีลักษณะเป็นตะกอนของสารเคมี และมีสภาพเป็นด่าง ดังกล่าวข้างต้น โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ สถานที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ใกล้บริเวณที่สามารถระบายน้ำทิ้งได้

6. **ที่ดิน**

สถานที่ตั้งโรงงานควรมีขนาดใหญ่พอสำหรับสร้างอาคารโรงงานและที่ทำการอื่นๆ ของโรงงาน นอกจากนี้ยังต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการรับวัตถุดิบและการขยายโรงงานในอนาคต ที่ดินควรมีราคาถูกและค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงสภาพที่ดินสำหรับจัดตั้งโรงงานไม่สูงมากนัก

7. **แรงงาน**

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ส่วนใหญ่อาศัยเครื่องจักรในการดำเนินงาน แต่ต้องมีการใช้แรงงานในระดับกรรมกรสำหรับป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องจักร การคัดแยกด้วยมือรวมถึงการบรรจุผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังต้องมีช่างระดับเทคนิคในการควบคุมการทำงานเครื่องจักร และผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการผลิต สถานที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ใกล้เมืองใหญ่ที่สามารถหาแรงงานและช่างระดับเทคนิคเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรม

4.3.2 การพิจารณาเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน

การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล PET ควรพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ โดยใช้วิธีกำหนดความสำคัญให้กับปัจจัยด้วยคะแนนเต็มมากน้อยต่างกันและให้คะแนนตามความเหมาะสมกับปัจจัย โครงการจะมีการพิจารณาสถานที่ตั้ง 2 แห่ง คือ

ก. ติดถนนติวานนท์ ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยา ต.บางขะแยง อ.เมือง จ.ปทุมธานี

ข. เลียบคลองสี่วาพาสวัสดิ์ ใกล้แม่น้ำท่าจีน ต.คอกกระบือ อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร

งานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งจากการตอบแบบสอบถามผู้ประกอบการเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในประเทศไทย โดยกำหนดความสำคัญให้กับปัจจัยสามารถแบ่งระดับคะแนนออกเป็น 5 ระดับ แสดงดังตารางที่ 4.3 (แบบสอบถามแสดงดังภาคผนวก ข) โดยแผนที่แสดงทำเลที่ตั้งทั้ง 2 แห่ง แสดงดังรูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยสรุปได้ว่า ทำเล ก. ต.ขะแยง อ.เมือง จ.ปทุมธานี มีความเหมาะสมต่อปัจจัยการเลือกสถานที่ตั้งมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.5 อย่างไรก็ตามในการพิจารณาเลือกสถานที่ตั้งโดยวิธีการให้คะแนนกับปัจจัยต่างๆ ถือเป็นแนวทางในขั้นแรกเท่านั้น

แต่ในการตัดสินใจขั้นสุดท้ายควรพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้งโดยเปรียบเทียบความเหมาะสมในด้านเงินทุนและต้นทุนการผลิตของสถานที่ตั้งทั้ง 2 แห่ง

ตารางที่ 4.3 ระดับคะแนนการให้ความสำคัญกับปัจจัย

คะแนน	ระดับ
5	ดีมาก
4	ดี
3	พอใช้
2	ผ่าน
1	เลว

รูปที่ 4.6 แผนที่ทำเลที่ตั้งทั้ง 2 แห่ง

โดย A: ทำเล ก. ต.บางขะแยง อ.เมือง จ.ปทุมธานี

B: ทำเล ข. ต.คอกกระบือ อ.เมืองสมุทรสาคร จ.สมุทรสาคร

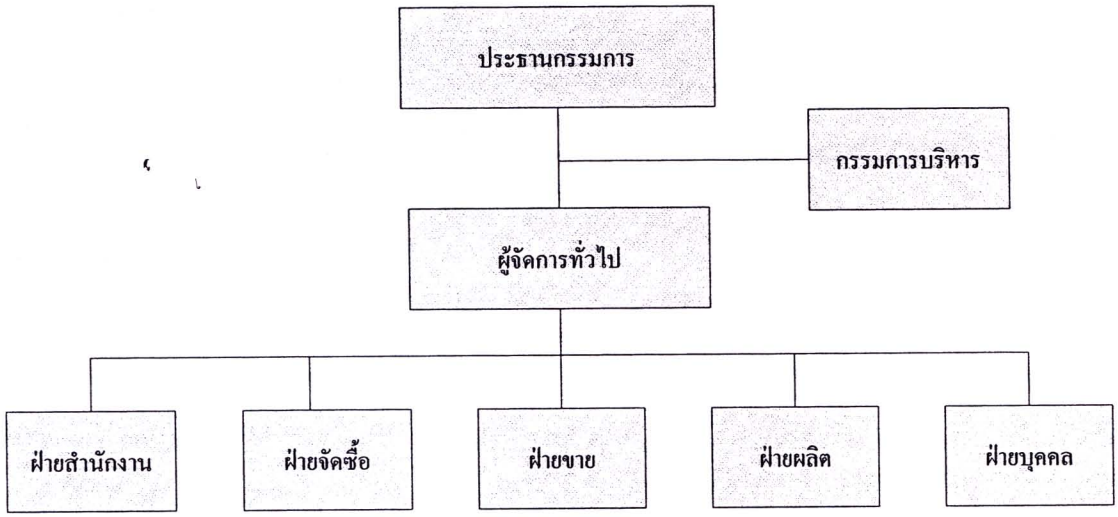
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความเหมาะสมของสถานที่ตั้งโรงงาน

ปัจจัย	คะแนนเต็ม	ผลวิเคราะห์	
		ทำเล ก.	ทำเล ข.
1. ระยะทางจากโรงงานถึงแหล่งวัตถุดิบและตลาด			
- โรงงานอยู่ใกล้โรงงานคัดแยกขยะ	5	4	3
- ความสะดวกในการติดต่อหาขวด PET มาป้อนโรงงาน	5	4	3.5
2. แหล่งน้ำ			
- ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านแม่น้ำ ณ ทำเลที่เลือก	5	3.5	2
- ความสะอาดของน้ำ ณ ทำเลที่เลือก	5	4	2
3. พลังงาน			
- ความสะดวกในการติดตั้งไฟฟ้า	5	3	3
- ประสิทธิภาพการจ่ายไฟ	5	3	3
4. การขนส่ง			
- ระยะทางขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน	5	4	3
- ระยะทางขนส่งผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปไปยังตลาดจำหน่าย	5	3	3
- ความสะดวกในการติดต่อ	5	4	3
5. ที่ดิน			
- ความเหมาะสมของที่ดินในการก่อสร้างอาคาร	5	4	3
- ความสามารถในการขยายโรงงาน	5	3	4
- ราคาที่ดิน	5	3	4
6. ระบบการกำจัดน้ำเสีย			
- ระยะทางจากโรงงานถึงบริเวณที่กำจัดน้ำเสีย	5	3	3
- ความสะดวกในการติดตั้งระบบกำจัดน้ำเสีย	5	4	3
7. แรงงาน			
- ความสะดวกในการจัดหาแรงงานระดับเทคนิค	5	4	2
- ความสะดวกในการจัดหาผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการผลิต	5	4	2
รวม	80	57.5	46.5

4.4 การจัดตั้งองค์กร

องค์กร คือโครงสร้างที่จัดทำขึ้นตามกระบวนการสำหรับให้บุคคลฝ่ายต่างๆ เข้ามาร่วมมือกันปฏิบัติงาน เพื่อความสำเร็จตามจุดมุ่งหมายต่างๆ ได้

การจัดองค์กร คือ ความพยายามของบริหารที่จะให้มีหนทางสำหรับการปฏิบัติงานให้สำเร็จผลตามที่วางไว้ เช่น สามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามเป้าหมาย เป็นต้น การจัดตั้งองค์กรของโรงงานในโครงการนี้ แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนผังองค์กร