บทที่ 2

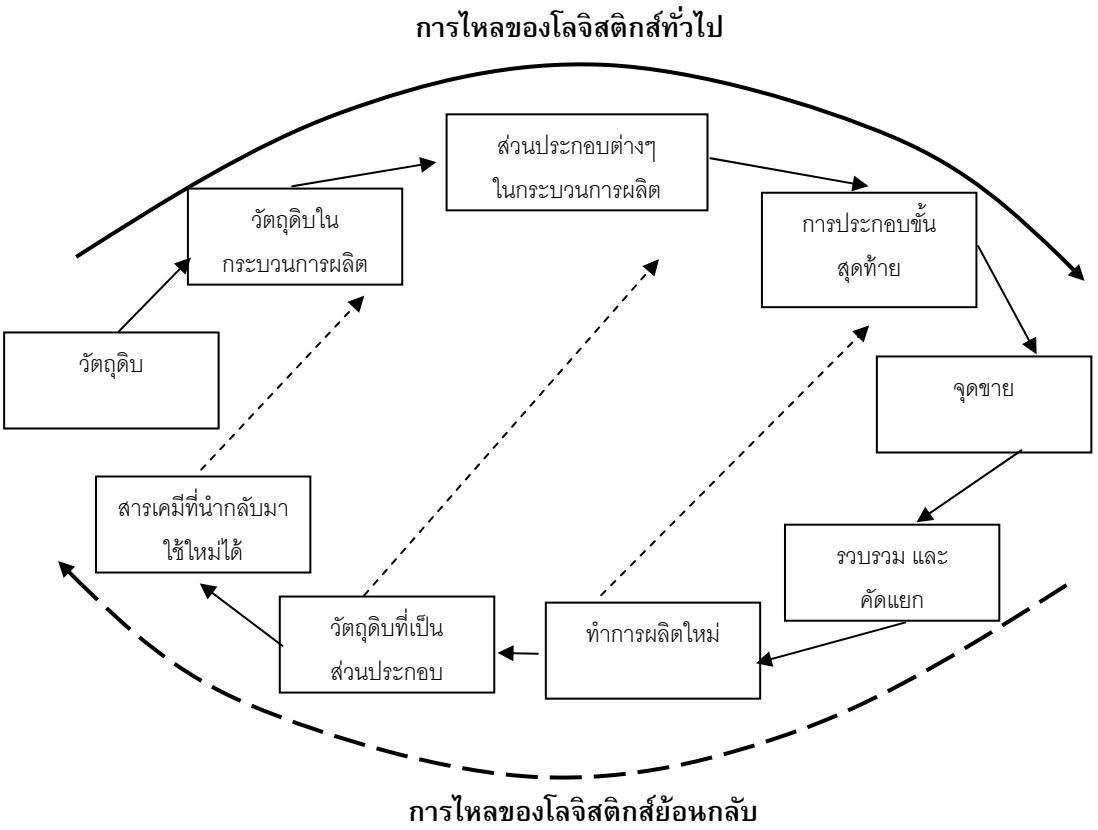
ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

ในบทที่ 2 นี้ จะได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อันประกอบไปด้วย โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม GAMS การรีไซเคิลพลาสติก (Plastic Recycle) การเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม (Facility Location) และวรรณกรรมปริทัศน์ ดังต่อไปนี้

2.1 โลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics)

โลจิสติกส์ย้อนกลับ หรือ Reverse Logistics เป็นหนึ่งในกิจกรรมของโซ่อุปทานซึ่งกำลังเป็นที่สนใจและแพร่หลายในการนำแนวคิดนี้มาใช้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นคือ กระบวนการในการนำสินค้าที่ด้อยคุณภาพ หรือผ่านการใช้งานแล้วจากผู้บริโภค กลับคืนสู่ผู้ผลิตโดยอาศัยระบบการจัดการอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นลักษณะของการมองย้อนกลับไปในกระบวนการของโลจิสติกส์ทั่วไปอย่างที่เราเคยดำเนินการกัน ในลักษณะของการมองจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำ คือ จากแหล่งวัตถุดิบผ่านกระบวนการลำเลียง ขึ้นรูป แปรรูปต่างๆ จนกระทั่งออกสู่จุดขายหรือสู่มือผู้บริโภค แต่ในโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้จะทำการพิจารณาในทางกลับกัน กล่าวคือ การพิจารณาถึงกระบวนการต่างๆ ในการนำผลิตภัณฑ์จากมือผู้บริโภคกลับคืนมายังผู้ผลิต หรือแหล่งวัตถุดิบต่างๆ ทั้งนี้ก็เพื่อตรวจสอบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตนั้นมีข้อบกพร่องหรือชำรุดเสียหายในระยะเวลาของการประกันสินค้า หรือเพื่อนำเอาชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบดังกล่าวจากผลิตภัณฑ์เหล่านั้นหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ อันจะช่วยก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า อีกทั้งยังเป็นการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นอันเนื่องมาจากการเติบโตของภาคอุตสาหกรรม และการพัฒนาที่ขาดความสมดุล อีกทั้งยังเป็นการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วเหล่านั้น ให้อยู่ในการควบคุมที่สามารถจัดการได้อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิกส์ แบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันเราจะเห็นได้ว่ามีการนำผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบบางอย่างหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เหล็ก กระดาษ ขวดแก้วต่างๆ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าผลิตภัณฑ์เหล่านั้นง่ายในการจัดเก็บและคัดแยกที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ อีกทั้งกระบวนการในการนำกลับมาใช้ใหม่นั้นก็สั้นและใช้ต้นทุนที่ต่ำในการดำเนินการในกระบวนการต่างๆ แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นอันตราย

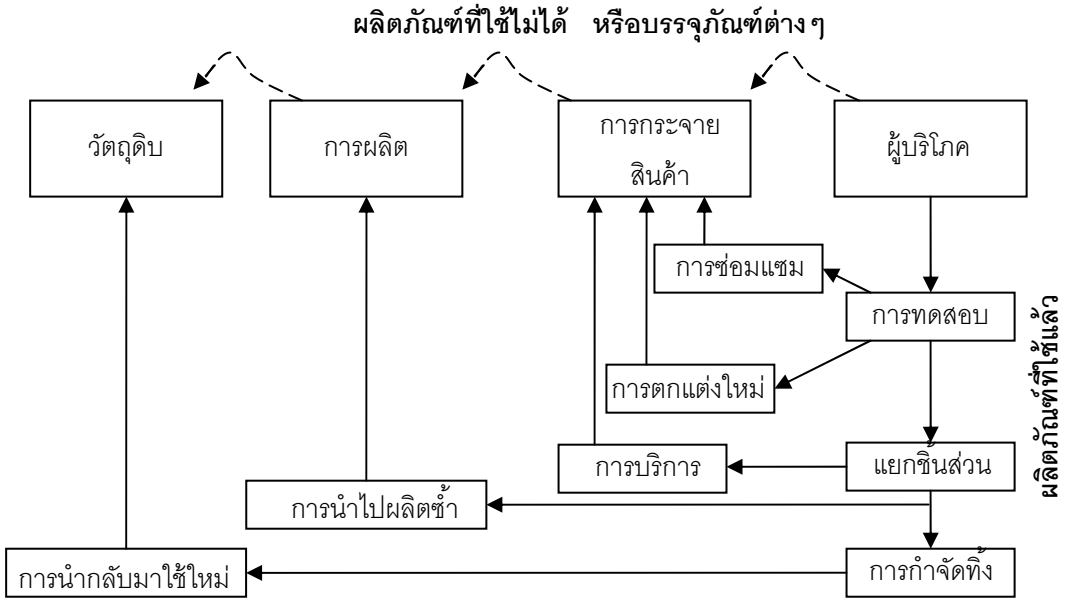
ต่อชีวิตอย่างเช่น ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากย่อยสลายยากนั้น ยังมีแนวคิดหรือการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเป็นรูปธรรมในสัดส่วนที่น้อยมาก ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากขาดกระบวนการในการจัดการนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีประสิทธิภาพ อันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มในการลงทุนที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้นแนวทฤษฎีของกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นนับเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยแนวคิดโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้สามารถศึกษาได้จากภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1
เปรียบเทียบการไหลของวัตถุดิบในระบบโลจิสติกส์ และโลจิสติกส์ย้อนกลับ
ที่มา: ประยุกต์จาก Assavapokee (2007)

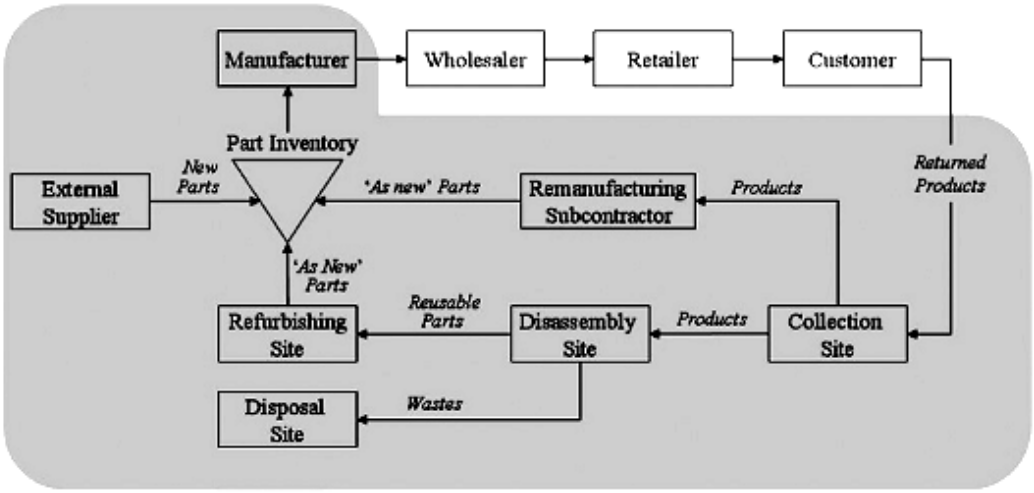
จากภาพที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการไหลของโลจิสติกส์ทั่วไปและโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นจะเชื่อมโยงกันอยู่อย่างเป็นระบบที่มีความใกล้เคียงกับวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ที่เราสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างไม่หมดสิ้น ซึ่งจะสังเกตได้ว่าลักษณะโครงสร้างของโลจิสติกส์

ย้อนกลับนั้นจะมีความใกล้เคียงกับโครงสร้างของโลจิสติกส์ทั่วไป ดังนั้น โครงสร้างในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น โดยหลักแล้วก็อาศัยพื้นฐานแนวคิดของระบบโลจิสติกส์เป็นหลักในการวางระบบ เพียงแต่ว่าในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นอาจต้องมีกิจกรรมบางอย่าง หรือขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นเพื่อจัดเก็บ รวบรวม คัดแยก ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทั้งนี้การกำหนดกิจกรรมต่างๆ นั้น ก็ต้องขึ้นอยู่กับการที่จะนำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นกลับมาสู่ระบบในรูปแบบหรือลักษณะใด และแหล่งหรือสถานที่ในการนำกลับมานั้นเป็นไปในลักษณะใด อย่างไรก็ตามเราอาจมองระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับว่าเริ่มต้นตั้งแต่การที่อายุของผลิตภัณฑ์นั้นสิ้นสุดลงแล้วจากผู้บริโภค จนกระทั่งเข้าสู่กระบวนการของการนำกลับเข้ามาสู่การเป็นวัตถุดิบเพื่อทำการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือการกำจัดทิ้ง (Samir, 2008) ซึ่งจะถูกส่งย้อนกลับเมื่อผู้บริโภคเลิกใช้หรือหมดอายุการใช้งานแล้ว โดยจะถูกทดสอบว่านำมาใช้ได้อีกหรือไม่ โดยการซ่อมแซม หรือทำการตกแต่งใหม่ หรือในบางกรณีอาจนำชิ้นส่วนกลับมาเป็นอะไหล่ได้อีก กรณีที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้อีกดังกล่าวก็อาจนำไปผลิตซ้ำ หรือนำกลับไปหลอมละลายเป็นวัตถุดิบ (Raw Material) ส่วนที่ไม่สามารถใช้ได้เลยก็จำนำไปกำจัดทิ้ง ซึ่งในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถใช้งานได้ หรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ก็จะถูกนำกลับเข้าสู่ระบบควบคู่กันไปด้วย ซึ่งโครงพื้นฐานของกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับที่กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2
โครงสร้างพื้นฐานของกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับ
ที่มา: ประยุกต์จาก Samir (2008)

แนวคิดของโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น นอกจากการนำไปใช้เพื่อการนำผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบกลับมาใช้ใหม่แล้ว ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อแก้ปัญหาในกระบวนการส่งกลับของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องจากขั้นตอนการผลิต หรือจากความผิดพลาดของกระบวนการแปรรูปต่างๆ ในสายการผลิตเพื่อลดขั้นตอนในการผลิต เวลา ค่าใช้จ่าย ต่างๆ อันเกิดจากการขนส่ง หรือส่งถ่ายต่างๆ ภายในระบบการผลิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งเราเรียกว่า ระบบการผลิตซ้ำ (Remanufacturing System) ซึ่งจะเชื่อมต่อระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ย้อนกลับจากลูกค้าไปแหล่งผลิตเพื่อส่งออกไปยังผู้ขายส่งอีกครั้งหนึ่งดังแสดงในภาพที่ 2.3

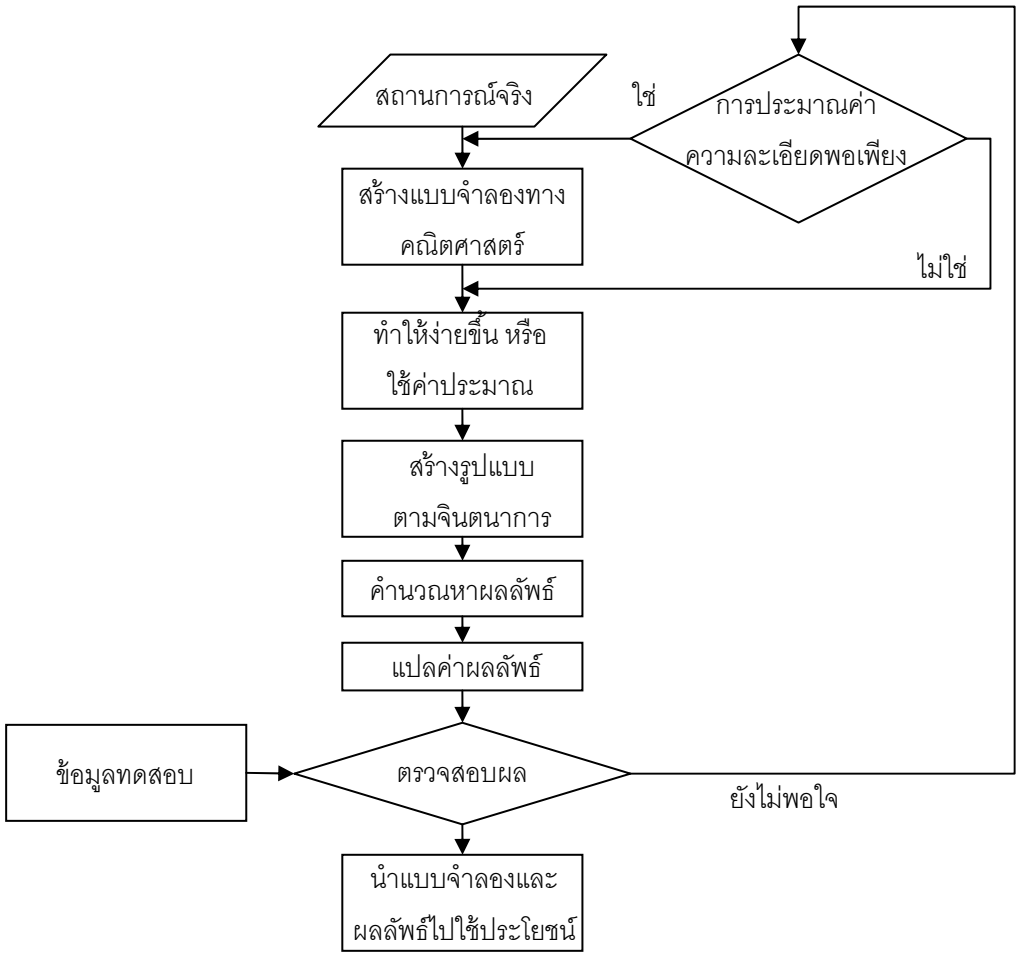


ภาพที่ 2.3
แนวคิดเค้าโครงของ Remanufacturing System
ที่มา: Kibun (2006)

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อผลิตภัณฑ์ถูกส่งออกไปจากผู้ผลิตจวบจนกระทั่งถึงมือลูกค้าหรือผู้บริโภคแล้ว เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นเลิกใช้งานหรือถูกทิ้งแล้วก็จะกลับคืนเข้าสู่ระบบการผลิตซ้ำ (Remanufacturing System) โดยการเก็บรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วทั้งหมด ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่ง ผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor) จะนำกลับไปทำการผลิตใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปคัดแยกแล้วทำการถอดชิ้นส่วน เพื่อนำส่วนที่สามารถนำกลับไปใช้งานใหม่ได้กลับไปทำการปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อนำเข้าสู่ระบบคงคลังเป็นชิ้นส่วนใหม่ต่อไป ในส่วนของชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบชิ้นใดที่ไม่สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ หรืออาจใช้งานใหม่ได้แต่ต้องใช้เงินในการปรับปรุงคุณสมบัติที่สูงซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนก็จะถูกนำไปกำจัดทิ้งยังแหล่งกำจัด

2.2 **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์** (Mathematical Model)

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นการใช้เพื่อที่จะหาคำตอบ หรือทดลองเพื่อให้ได้คำตอบตามที่ต้องการ โดยการที่จะสร้างแบบจำลองนั้นจะต้องอาศัยความรอบรู้ในเนื้อหาเรื่องนั้นก่อน แล้วจึงใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ และสร้างความชำนาญเพื่อจะหาผลลัพธ์หรือทดลองจนได้คำตอบที่ดี ซึ่งเรียกว่า what if โมเดล หรือทดลองดูจนเกิดความชำนาญเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้ว่าตรงตามความต้องการซึ่งสามารถตอบโจทย์ที่ต้องการได้



ภาพที่ 2.4
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ที่มา: ยืน (2551)

2.3 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม GAMS

การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา เพื่อทำการแก้ปัญหาโดยการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) นั้น เริ่มได้รับความนิยมและการยอมรับมากยิ่งขึ้น ไม่แต่เฉพาะด้านเศรษฐศาสตร์ การบริหารธุรกิจ และ ทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์เท่านั้น แต่ทางด้านอุตสาหกรรมและการขนส่งนั้นก็ยังได้รับความนิยมเช่นกัน เพราะมีการแบ่งแยกลักษณะของปัญหาและวิธีการในการแก้ปัญหาอย่างชัดเจน มีการเรียกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการแก้ปัญหาอย่างสะดวก อีกทั้งยังสามารถรองรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้และไม่มีการเขียนโปรแกรมทาง Optimization ที่ยุ่งยากซับซ้อน โดยปกติการแก้ปัญหาประเภทนี้จะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการเขียนตัวแบบ (Model) ซึ่งแปลงปัญหาจริงให้อยู่ในรูปของสมการ หรือ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และส่วนของโปรแกรมตามขั้นตอนวิธี (Solver Program) ที่พัฒนาหรือเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาทาง Optimization โดยเฉพาะ

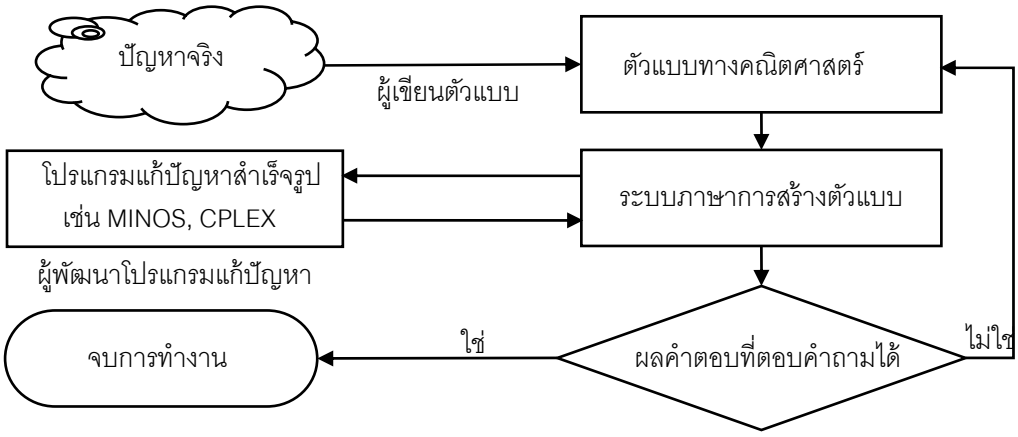
วิธีในการเขียนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) นี้เป็นการเรียนรู้และการฝึกการคิดแก้ปัญหาโดยทั่วไปโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์เป็นหลักในการแก้ไขปัญหา ซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจในปัญหา และพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ควบคู่กัน ระบบภาษาการสร้างตัวแบบที่กล่าวถึงนี้สามารถนำโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น โปรแกรม AMPL, CPLEX, GLPK, CONOPT, MINOS, NEOS หรือ OSL ซึ่งในที่นี้ GAMS (The General Algebraic Modeling System) ถือเป็นอีกโปรแกรมหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอยู่แพร่หลายที่มีผู้นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดีซึ่งเป็นโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ในการแก้ปัญหาทางอุตสาหกรรมและการขนส่งหลายๆ ปัญหา เราจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงวิธีการแก้ปัญหาควบคู่ไปกับการตีความปัญหา ซึ่งผู้แก้ปัญหาอาจต้องเสียเวลาในการศึกษาวิธีการ หรือขั้นตอนวิธีต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาที่ต้องการ แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะได้ผลลัพธ์ที่ตรงตามความต้องการมากที่สุด แต่ผู้ใช้ต้องใช้เวลาและความพยายามในการค้นคว้า วิจัย และศึกษาขั้นตอนต่างๆ เป็นอย่างมากซึ่งอาจไม่คุ้มกับการลงทุน วิธีการอีกอย่างหนึ่งที่ใช้ก็คือ การจ้างบริษัทหรือนักวิจัยทั้งจากภาคราชการและเอกชนที่มีความเชี่ยวชาญต่างๆ เพื่อพัฒนาโปรแกรมแก้ปัญหา ซึ่งก็มีความยากลำบากในการพัฒนาหรือเขียนโปรแกรมตามที่ต้องการจริง และยังต้องใช้เวลาอีกส่วนหนึ่งกว่าที่จะได้โปรแกรมที่ทำงานได้ตามที่ต้องการ

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นก็คือบริษัท หน่วยงาน องค์กร หรือนักวิจัยนั้นอาจไม่มีความถนัด และความเข้าใจในปัญหาอย่างลึกซึ้งเหมือนกับผู้ใช้ ซึ่งจะส่งผลให้โปรแกรมที่ได้อาจ

ต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอีก วิธีการที่ดีกว่านี้ก็คือ การออกแบบระบบภาษาที่ผู้ใช้สามารถเขียนอธิบายปัญหาได้โดยง่าย สะดวก และนำไปใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ ในขณะที่การแก้ปัญหาที่เขียนโดยภาษานี้ จะถูกส่งผ่านไปให้โปรแกรมที่ถูกเขียนมาเพื่อแก้ปัญหาทาง Optimization โดยเฉพาะ โดยอาศัยหลักการและทฤษฎีที่เหมาะสม ซึ่งคำตอบที่ได้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อทดสอบว่าคำตอบนี้ใช้ได้กับปัญหาจริงหรือไม่ จากหลักการที่กล่าวมานี้จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อเรามีระบบภาษาใหม่ เพื่อใช้เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างปัญหาจริงกับโปรแกรมการแก้ปัญหาที่สมบูรณ์ ซึ่งภาษาที่กล่าวถึงนี้ก็ได้มีผู้พัฒนาใช้แล้ว เช่น GAMS และ AMPL โดยระบบภาษาเหล่านี้จะถูกเรียกรวมๆกันว่า ระบบภาษาการสร้างตัวแบบ (Mathematical Modeling System) เนื่องจากภาษาที่เขียนคล้ายคลึงกับสมการหรือสูตรคณิตศาสตร์มาก ทำให้การเขียนตัวแบบมีความง่ายและชัดเจน

ระบบการสร้างตัวแบบนี้พิจารณาผู้ใช้งานระบบสองประเภท คือ ผู้เขียนตัวแบบกับผู้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการแก้ปัญหา สำหรับผู้เขียนตัวแบบ (คือผู้ที่ต้องการคำตอบของปัญหา) อธิบายปัญหาในรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ ในขณะที่ผู้พัฒนาโปรแกรมแก้ปัญหาจะเน้นการแก้ปัญหาจากรูปแบบมาตรฐานที่กำหนดให้ การทำเช่นนี้ทำให้ผู้ที่ต้องการคำตอบไม่ต้องพัฒนาโปรแกรมเองแต่สามารถใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างสะดวก



ภาพที่ 2.5
กระบวนการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
ที่มา: กรุง (2545)

จากกระบวนการในการแก้ปัญหาดังภาพที่ 2.5 จะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการแก้ปัญหาที่เราใช้สำหรับปัญหาทางอุตสาหกรรมที่สนใจ โดยเริ่มจากปัญหาจริงที่อยู่ในลักษณะของสิ่งที่เราไม่สามารถวิเคราะห์ได้ ซึ่งเราต้องการทราบคำตอบ เพื่อความชัดเจนในการอธิบายจึงขอยกตัวอย่างปัญหาการขนส่งที่ใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการแสดงการอธิบายการแก้ปัญหาสมการเชิงเส้นซึ่งมีการกำหนดปัญหาซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

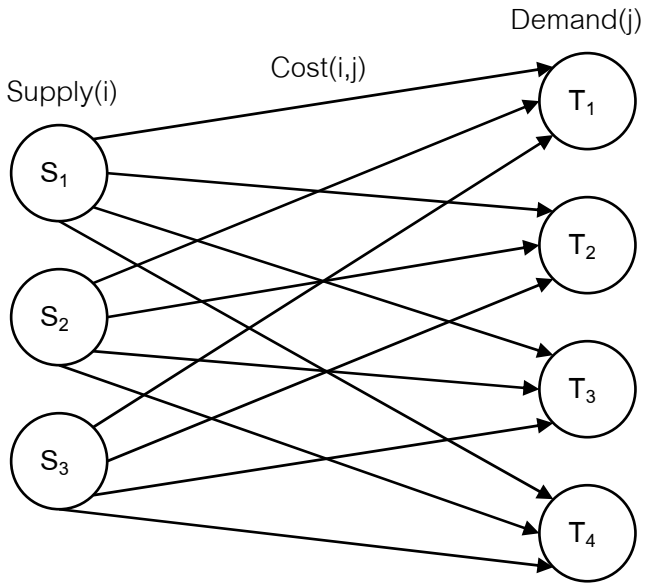
กรณีที่เรามีแหล่งผลิตสินค้า S_1, S_2,..., S_m โดยที่แหล่งผลิตเหล่านี้ผลิตสินค้าประเภทเดียวกัน มีจำนวนเท่ากับ Supply (S_1), Supply (S_2),..., Supply (S_m) ตามลำดับ โดยทำการผลิตสินค้าให้กับลูกค้า T_1, T_2,..., T_n ซึ่งมีความต้องการสินค้า Demand (T_1), Demand(T_2),..., Demand (T_n) ตามลำดับ สำหรับลูกค้าแต่ละคนอาจอาศัยอยู่ในบริเวณที่ต่างกัน ปัญหาการขนส่งนี้ คือต้องการที่จะขนส่งสินค้าจากแหล่งผลิตไปยังลูกค้าทุกคน โดยที่จำนวนสินค้าที่ส่งออกไปนั้นต้องไม่เกินจำนวนที่ผลิตได้ในแต่ละแหล่งผลิต และใช้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด

ดังนี้เรากำหนดให้ cost (i,j) เป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการขนสินค้าจาก S_i ไปยัง T_j ในกรณีที่แหล่งผลิตใดไม่สามารถส่งสินค้าไปที่ลูกค้าคนใด เรามักกำหนดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการขนส่งให้มีค่าใหญ่มาก โดยปกติแล้วค่าใช้จ่ายต่อหน่วยจะขึ้นกับระยะทางระหว่างแหล่งผลิตกับลูกค้า ถ้าเรากำหนดให้ x (i,j) แทนจำนวนสินค้าที่ต้องการขนจากแหล่งผลิต S_i ไปยังลูกค้า T_j

ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดคำนวณได้จากผลรวมทั้งหมดของ cost (i,j) คูณด้วย x (i,j) โดยมีข้อจำกัดเพิ่มเติมคือ

<u>ข้อจำกัดแรก</u>: จำนวนสินค้าที่ส่งออกจากแหล่งผลิตต้องมีจำนวนไม่เกินจำนวนสินค้าที่มีอยู่ทั้งหมด ณ แหล่งผลิตนั้นๆ

<u>ข้อจำกัดที่สอง</u>: จำนวนสินค้าที่ส่งต้องครบตามความต้องการของลูกค้าแต่ละคน



ภาพที่ 2.6

ตัวอย่างปัญหาในการขนส่ง

ในกรณีที่เราต้องการแก้ปัญหานั้น เราต้องทราบจำนวนแหล่งผลิต จำนวนลูกค้า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยดังเช่น ภาพที่ 2.6 เรามีแหล่งผลิต S_1, S_2, S_3 ผลิตสินค้าส่งให้ลูกค้า T_1, T_2, T_3, T_4 โดยเราทราบปริมาณที่ต้องการต่อเดือน และค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากแหล่งผลิตไปยังลูกค้าดังตารางต่อไปนี้ คือ

ตารางที่ 2.1

ข้อมูล Supply และ Demand ของตัวอย่าง

แหล่งที่ผลิต	S_1	S_2	S_3	
จำนวนที่ผลิตได้	135	56	93	
ลูกค้า	T_1	T_2	T_3	T_4
ความต้องการ	62	83	39	91

ตารางที่ 2.2

ข้อมูล Cost(i,j) ของตัวอย่าง

แหล่งที่ผลิต	ลูกค้า			
	T_1	T_2	T_3	T_4
S_1	132	-	97	103
S_2	85	91	-	-
S_3	106	89	100	98

ดังนั้นการที่เราต้องการหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยที่ลูกค้าได้สินค้าตามที่ต้องการ ซึ่งปัญหาที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Problem) คือ ปัญหาที่ต้องหาคำตอบ หรือ ที่เราจะเรียกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยผลเฉลยต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดที่นำมาพิจารณา โดยปกติข้อจำกัดต่างๆ จะเขียนแทนด้วยฟังก์ชันหรือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ลักษณะของปัญหา ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบมาตรฐานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & f(x) \\ \text{Subject to} \quad & g(x) \leq 0 \\ & h(x) = 0 \\ & x \in B \end{aligned}$$

โดยที่ $f(.)$ เป็นฟังก์ชันค่าจริงซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function), $g(.)$ เป็นฟังก์ชันค่าเวกเตอร์ซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันข้อจำกัดแบบไม่เท่ากับ (Inequality Constraints), $h(.)$ เป็นฟังก์ชันค่าเวกเตอร์ซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันข้อจำกัดแบบเท่ากับ (Equality Constraints) และ B ซึ่งเป็นสับเซตของเวกเตอร์ของจำนวนจริงซึ่งเขียนอยู่ในรูป $[a_1, b_1] \times [a_2, b_2] \times \ldots \times [a_n, b_n]$ โดยที่ a_i อาจมีค่าเป็น $-\infty$ และ b_i อาจมีค่าเป็น $+\infty$

ในกรณีที่ x_0 ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดเดิมทั้งหมด คือ $g(x_0) \leq 0$, $h(x_0) = 0$, $x_0 \in B$ เราจะเรียกว่าเป็น คำตอบ (Feasible Point หรือ Feasible Solution) ของปัญหา และผลเฉลยที่เป็นคำตอบของปัญหาที่ให้ค่าวัตถุประสงค์ที่เหมาะที่สุดจะเรียกว่า คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution)

ปัญหาที่เขียนนี้โดยทั่วไปมักถูกเรียกว่า ปัญหากำหนดการไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming Problem) ในกรณีที่ฟังก์ชัน f, g และ h เป็นฟังก์ชันของตัวแปร x กำลัง 1 หรือเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปร x ซึ่งเราเรียกปัญหานี้ว่าเป็น ปัญหากำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Problem) ซึ่งคำตอบหรือผลเฉลยที่ได้จะอยู่ที่จุดยอดของเซตคำตอบเสมอ ถ้าเซตของคำตอบมีขอบเขตและไม่ใช่เซตว่าง

อย่างไรก็ดีปัญหาที่พบมักจะไม่มีตัวแปรเป็นจำนวนจริงเสมอ สำหรับในกรณีที่ตัวแปรทั้งหมดเป็นจำนวนเต็ม และเป็นปัญหากำหนดการเชิงเส้นเราจะเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer programming problem) ถ้าปัญหานี้มีทั้งตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็มและจำนวนจริง เรานิยมเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหาผสมของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Mixed Integer Programming Problem) สำหรับกรณีที่ปัญหาคือ ปัญหากำหนดการไม่เชิงเส้นที่มีทั้งตัวแปรจำนวนเต็มและจำนวนจริงเราก็นิยมเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหาผสมของกำหนดการไม่เชิงเส้น (Mixed Integer Nonlinear Programming Problem)

2.3.1 ตัวแบบและระบบภาษาการสร้างตัวแบบ GAMS

ในการสร้างภาษาตัวแบบด้วยโปรแกรม GAMS นี้ ผู้ใช้ (Modeler) จำเป็นที่จะต้องรู้คำสั่ง และรูปแบบของภาษาที่ออกแบบมาคล้ายๆกับการเขียนอธิบายปัญหาคณิตศาสตร์ ซึ่งการเขียนจะเหมือนกับการที่ต้องทำการเรียนรู้ภาษาใหม่ แต่ข้อดีของระบบการสร้างภาษาตัวแบบคือรูปแบบมีความคล้ายคลึงกันกับภาษาที่ใช้ในทางคณิตศาสตร์มาก ทำให้ผู้เขียนสามารถมุ่งความสนใจไปในเรื่องการอธิบายปัญหา แทนที่จะเขียนขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาเหมือนกับโปรแกรมภาษาระดับสูงอื่นๆ

GAMS (The General Algebraic Modeling System) เป็นระบบการสร้างภาษาตัวแบบที่เขียนขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาในทาง Optimization โดยเฉพาะ ซึ่ง GAMS ประกอบไปด้วยคอมไพเลอร์ และโปรแกรมแก้ปัญหาสำเร็จภาพที่มีประสิทธิภาพหลายโปรแกรม ได้แก่

- CONOPT เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แก้ปัญหา NLP ขนาดใหญ่จากบริษัท ARKI Consulting and Development

- CPLEX เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประสิทธิภาพสูงที่แก้ปัญหา LP/MIP จากบริษัท Ilog

- DECIS เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แก้ปัญหา Stochastic programming ขนาดใหญ่จากมหาวิทยาลัย Stanford

- MILES เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แก้ปัญหา MCP จากมหาวิทยาลัย Colorado at Boulder

- OSL เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประสิทธิภาพสูงที่แก้ปัญหา LP/MIP จากบริษัท IBM

- PATH เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แก้ปัญหา MCP ขนาดใหญ่จากมหาวิทยาลัย Wisconsin at Madison

- XA เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แก้ปัญหา LP/MIP ขนาดใหญ่จากบริษัท Sunset Software

- XPRESS เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประสิทธิภาพสูงที่แก้ปัญหา LP/MIP จากบริษัท Dash

2.3.2 กระบวนการสร้างตัวแบบ GAMS

การใช้งาน GAMS แบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ แบบคำสั่ง (Command line) และแบบใช้ Windows (gamside) สำหรับแบบคำสั่งเริ่มแรกผู้ใช้ต้องสร้างไฟล์ที่เก็บตัวแบบโดยตั้งชื่อไฟล์ให้ลงท้ายด้วยสกุล .gms ตัวอย่างเช่น linear1.gms, linear2.gms, transport.gms เป็นต้น โดยการสร้างหลักในการเขียนตัวแบบแบ่งออกเป็น 5 ส่วนสำคัญดังนี้

1. การสร้างเซต (SET) เป็นการกำหนดขอบเขตหรือโดเมนของตัวแปรที่เป็นไปได้ การใช้ SET ช่วยให้การเขียนตัวแบบมีความชัดเจน และเข้าใจได้ง่าย ข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือการเพิ่มขนาดของปัญหาสามารถที่จะกระทำได้ง่าย โดยไม่กระทบกับส่วนอื่นๆ ของตัวแบบ

2. การนิยามตัวแปร (VARIABLE) เราสามารถใช้ตัวแปรในการเก็บผลเฉลยของปัญหาที่เราต้องการทราบโดยที่เราไม่สามารถเก็บค่าที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนในตัวแปรได้

3. การกำหนดข้อมูลจากปัญหา (PARAMETER) เป็นส่วนที่ขึ้นกับสถานการณ์ของแต่ละปัญหา โดยข้อมูลที่ได้จะมีผลต่อการหาคำตอบของปัญหา ซึ่งหากข้อมูลเปลี่ยนไปจำนวนขั้นตอนในการหาคำตอบก็จะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเขียนตัวแบบที่ดีผู้ใช้ต้องแยกข้อมูลออกจากตัวแบบให้ชัดเจนเพราะจะทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ตัวแบบกับสถานการณ์ต่างๆ ได้โดยสะดวก

4. การเขียนสมการจากข้อจำกัดทั้งหมด (EQUATION) เป็นส่วนหลักของการแก้ปัญหาทาง Optimization ถ้าสมการข้อจำกัดทั้งหมดเป็นสมการเชิงเส้นเราจะได้ว่าคำตอบที่ได้จาก GAMS เมื่อหยุดแบบ 1 นั่นคือ NORMAL COMPLETION รับประกันว่าเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับทุกคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งการเขียนสมการข้อจำกัดจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของปัญหา แต่การเรียกใช้ข้อมูลเหล้านี้ไม่ควรใช้ตัวเลขหรือค่าคงที่ เพราะจะทำให้การนำตัวแบบไปใช้ต่อมีความยุ่งยาก และอาจต้องมีการเขียนตัวแบบใหม่โดยไม่จำเป็น

5. การใช้คำสั่งใน GAMS (SOLVE) เป็นส่วนหนึ่งที่สั่งงานกับซอฟท์แวร์ GAMS ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการเขียนตัวแบบโดยตรง แต่เราสามารถที่จะใช้คำสั่งเหล่านี้ในการสั่งให้ GAMS หาคำตอบ หรือผลเฉลยของปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลอัตโนมัติในรูปแบบของ Batch command ได้

การสร้างตัวแบบ GAMS ค่อนข้างที่จะแตกต่างจากการเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่หากทำการศึกษาอย่างเข้าใจแล้วจะสามารถใช้งานได้อย่างคล่องตัว เนื่องจากกระบวนการหรือขั้นตอนในการเขียนนั้นง่ายและสามารถแสดงผลได้ตามที่ต้องการ

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการแก้ปัญหาในการขนส่งเพื่อแสดงการโปรแกรมด้วย GAMS โดยการจัดการขนส่งสินค้าจากโรงงาน 2 แห่ง คือโรงงานเมือง Seattle และ San Diego ออกไปสู่ตลาดใน 3 เมือง คือเมือง New York, Chicago และ Topeka โดยกำหนดให้ค่าขนส่ง 90$/1000 ไมล์ ดังปรากฏในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

ข้อมูลตัวอย่างในการขนส่งสินค้า

โรงงาน	ขนส่งออกสู่ตลาดต่างๆ (หน่วย1000 ไมล์)			อุปทาน
	New York	Chicago	Topeka	
Seattle	2.5	1.7	1.8	550
San Diego	2.5	1.8	1.4	600
อุปสงค์	375	300	275	

จากข้อมูลในตารางที่ 2.3 นำข้อมูลที่ได้มาทำการกำหนดตัวแปรและทำการเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

กำหนดให้ i = โรงงาน

j = ตลาด

ข้อมูลที่ให้ a_i = อุปทานที่ทำการซื้อขายจากโรง i

b_i = อุปสงค์ที่ทำการซื้อขายที่ตลาด j

c_{ij} = ต้นทุนต่อหน่วยที่ส่งระหว่างโรงงาน i และตลาด j ($/ครั้ง)

ตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจ(Decision variable) คือ

x_{ij} = ผลรวมของปริมาณการซื้อขายที่ส่งจากโรงงาน i ไปยังตลาด j ,

โดยที่ $x_{ij} \geq 0$, สำหรับทุก i , j

สมการเป้าหมาย(Objective Function) คือ

Minimize $\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$ ($K)

สมการบังคับ(Constrain) มีดังนี้ คือ

$\sum_j x_{ij} \leq a_i$ สำหรับทุก i

$\sum_j x_{ij} \leq b_i$ สำหรับทุก j

จากนั้นเมื่อกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องและสมการที่จะแก้ปัญหาแล้วทำการสร้างตัวแบบใน GAMS ซึ่งในที่นี้ใช้ Window(gamside) ในการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
Sets
      i canning plants / seattle, san-diego /
      j markets        / new-york, chicago, topeka / ;

Parameters
      a(i) capacity of plant i in cases
       / seattle       550
         san-diego  600 /

      b(j) demand at market j in cases
       / new-york   375
         chicago    300
         topeka     275 / ;
```

```
Table d(i,j) distance in thousands of miles
                    new-york       chicago       topeka
      seattle         2.5             1.7          1.8
      san-diego       2.5             1.8          1.4    ;
Scalar f freight in dollars per case per thousand miles /90/ ;
Parameter c(i,j) transport cost in thousands of dollars per case ;
       c(i,j) = f * d(i,j) / 1000 ;

Variables
      x(i,j)  shipment quantities in case
      z       total transportation costs in thousands of dollars ;

Positive Variable x ;

Equations
      cost           define objective function
      supply(i)      observe supply limit at plant i
      demand(j)      satisfy demand at market j ;

cost ..          z  =e=     sum((i,j), c(i,j) * x(i,j)) ;
supply(i) ..     sum(j, x(i,j))       =l=     a(i) ;
demand(j) ..     sum(i, x(i,j))       =g=     b(j) ;
Model transport /all/ ;
Solve transport using lp minimizing z ;
Display x.L, x.m ;
```

จากนั้นทำการรันโปรแกรม GAMS จะทำให้เราทราบว่าจะต้องส่งสินค้าจากโรงงานใดไปยังตลาดที่เมืองใดเป็นปริมาณเท่าใดบ้างจึงจะก่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งหากต้องการใช้

ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในการกระจายสินค้าไปยังตลาดตามที่ต้องการ ต้องทำการส่งสินค้าจากโรงงานเมือง Seattle ไปยังตลาดในเมือง New York จำนวน 50 ชิ้น และ Chicago 300 ชิ้น ตามลำดับ และทำการส่งสินค้าจากเมือง San Diego ไปยังตลาดในเมือง เมือง New York จำนวน 325 ชิ้น และ Topeka 275 ชิ้น ตามลำดับ ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยผลที่แสดงจากโปรแกรมเป็นดังนี้

	new-york	chicago	topeka
seattle	50.000	300.000	
san-diego	325.000		275.000

2.4 **การรีไซเคิลพลาสติก** (Plastic Recycle)

2.4.1 **การนำกลับมาใช้ใหม่**

พลาสติกที่ใช้กันมีหลายชนิด (ธนาวดี, 2551) ซึ่งพลาสติกที่รีไซเคิลได้โดยหลักแล้วจะเป็น พลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ซึ่งเป็นพลาสติกที่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง พลาสติกประเภทนี้สามารถนำมาหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้ โดยเราสังเกตได้จาก ก้นของภาชนะนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วทางผู้ผลิตมักจะใส่สัญลักษณ์ว่า “ รีไซเคิลได้”

ตามปกติแล้ว กระบวนการในการรีไซเคิลพลาสติกเริ่มต้นด้วยการแยกพลาสติกชนิดต่างๆ ออกจากกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพลาสติกต่างชนิดกันมีสมบัติแตกต่างกัน เช่น จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ความแข็ง ความนิ่ม ความใส ซึ่งเมื่อพลาสติกแต่ละชนิดถูกแยกออกจากกันแล้วก็จะถูกบีบให้แบนแล้วมัดรวมกันเป็นก้อนเพื่อทำการคัดแยก เพื่อส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่โรงงานพลาสติกแต่ละชนิด ซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวนี้พลาสติกจะถูกนำมาบดให้เป็นชิ้นเล็ก จากนั้นจะทำการล้างทำความสะอาดในบ่อน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งในขั้นตอนการล้างนี้ฝุ่นและสิ่งสกปรกจะถูกกำจัดออกไป หลังจากนั้นชิ้นพลาสติกจะถูกทำให้แห้งโดยการตากแดดหรือใช้อากาศร้อน ซึ่งในขั้นตอนนี้ ป้ายกระดาษ หรือฟิล์มต่างๆ ที่ติดมากับชิ้นพลาสติก จะถูกเป่าแยกออกจากตัวพลาสติก จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการหลอมชิ้นพลาสติกผ่านเครื่องอัดรีด (extruder) ออกมาเป็นเส้นยาว ก่อนตัดให้เป็นเม็ดเล็กๆแล้วทำการบรรจุลงกล่อง เพื่อส่งไปยังโรงงานขึ้นรูปพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ แต่ทว่าหากการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลทั้งหมด ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้จะมีสมบัติทางกายภาพลดลงไปบ้าง ดังนั้น ในบางครั้งโรงงานจะนำเม็ด

พลาสติกใหม่มาผสมเพิ่มเติม ทั้งนี้การผสมพลาสติกดังกล่าวก็เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขึ้น ซึ่งตัวอย่างของพลาสติกรีไซเคิลได้จะเรียงตามตัวเลขระบุที่ใต้ขวดหรือภาชนะดังนี้

1. โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET, PETE) ใช้ทำขวดบรรจุน้ำดื่ม ขวดบรรจุของดอง ขวดแยม ขวดน้ำมันพืช ถาดอาหารสำหรับเตาอบ และเครื่องสำอาง สามารถนำมารีไซเคิลเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม ใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน ถุงหูหิ้ว กระเป๋าหรือขวดต่างๆ

2. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density polyethylene, HDPE) ใช้ทำขวดนม น้ำผลไม้ โยเกิร์ต บรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว สามารถนำมารีไซเคิลเป็นขวดใส่น้ำยาซักผ้า ขวดน้ำมันเครื่อง ท่อ ลังพลาสติก ไม้เทียมเพื่อใช้ ทำรั้วหรือม้านั่งในสวน

3. โพลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) ใช้ทำท่อน้ำประปา สายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม บานประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม ซึ่งจะสามารถนำมารีไซเคิลเป็นท่อน้ำประปาหรือรางน้ำสำหรับการเกษตร กรวยจราจร เฟอร์นิเจอร์ ม้านั่งพลาสติก ตลับเทป เคเบิล แผ่นไม้เทียม

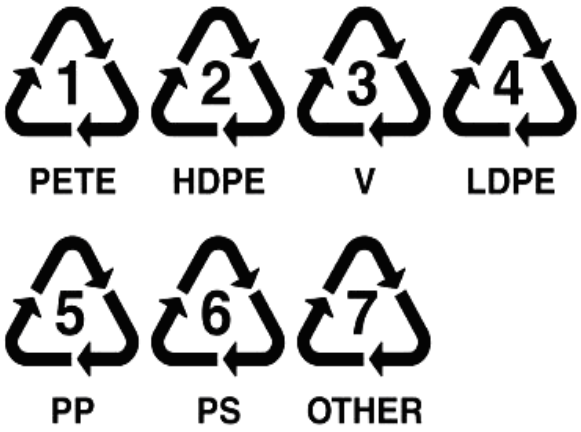
4. โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density polyethylene, LDPE) ใช้ทำฟิล์มห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง ถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร ซึ่งจะสามารถนำมารีไซเคิลเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว ถังขยะ กระเบื้องปูพื้น เฟอร์นิเจอร์ แท่งไม้เทียม

5. โพลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ใช้ทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่องชาม จาน ถัง ตะกร้า กระบอกใส่น้ำแช่เย็น ขวดซอส แก้วโยเกิร์ต ขวดบรรจุยา ซึ่งสามารถนำมารีไซเคิลเป็นกล่องแบตเตอรี่ในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชนและกรวยสำหรับน้ำมันไฟท้าย ไม้กวาดพลาสติก แปรง

6. โพลิสไตรีน (Polystyrene, PS) ใช้ทำภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลี หรือของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และคุ๊กกี้ นอกจากนั้นยังนำมาทำโฟมใส่อาหาร ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวที่เบามาก สามารถนำมารีไซเคิลเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวิดีโอ ไม้บรรทัด กล่องดินสอกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ แผงสวิตช์ไฟ ฉนวนความร้อน ถาดใส่ไข่ เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ

7. พลาสติกชนิดอื่นที่ไม่ใช่พลาสติกทั้ง 6 กลุ่มข้างต้น หรือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกหลากหลายชนิดผสมกันเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ

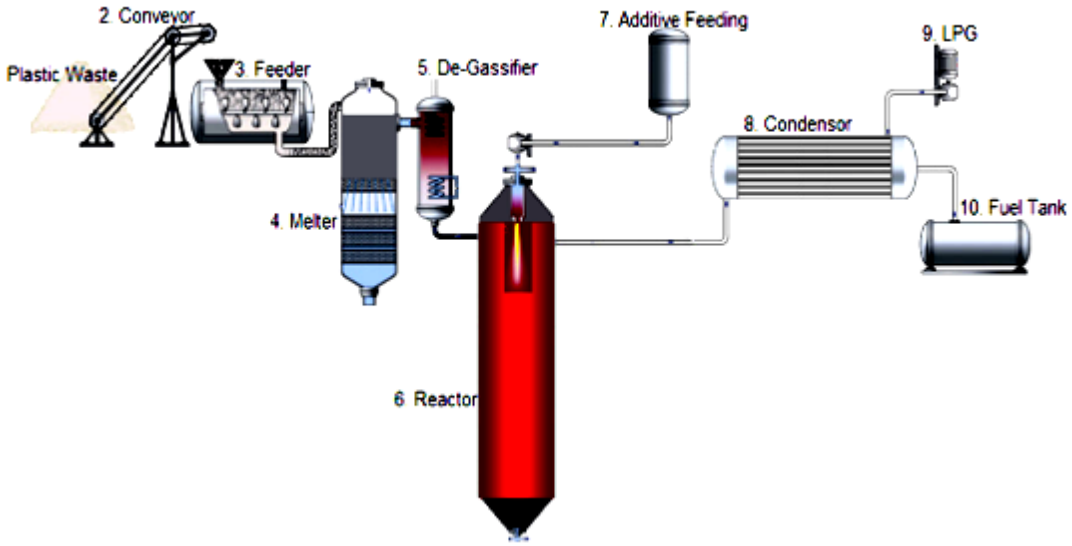
ในขั้นตอนของการบดพลาสติกเพื่อให้มีขนาดเล็กลงนั้น ก็เพื่อไม่ให้ไปพลาสติกดังกล่าวไปอุดตันในกระบวนการรีไซเคิลนั้น ซึ่งการบดพลาสติกจะทำให้พลาสติกรีไซเคิลมีสมบัติความแข็งแรงทางกายภาพลดลงเนื่องจากแรงเฉือนเชิงกล (Mechanical Shear) ในเครื่องบดนี้ไปทำลายโซ่ของโพลิเมอร์ให้แตกออก ทำให้ความยาวของโมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลลดลงซึ่งจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพลาสติกลดลง นอกจากนั้น เรื่องของความบริสุทธิ์ก็มีความสำคัญต่อสมบัติของพลาสติกแต่ละชนิดในการเลือกเพื่อที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากการที่คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันมาก ตามลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเพื่อการนำไปใช้งานที่หลากหลาย ในขณะที่พลาสติกบางชนิดนั้นไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลให้เป็นพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Thermosetting) ซึ่งหากกระบวนการที่ใช้ทำการแยกพลาสติกนั้นไม่ดีพออาจทำให้ไม่ได้พลาสติกรีไซเคิลที่บริสุทธิ์ ซึ่งสัญลักษณ์ของพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้ง 7 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้นจะระบุไว้ที่ก้นของภาชนะดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7
สัญลักษณ์ของพลาสติกที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้
ที่มา: Association of Postconsumer Plastic Recyclers (2006)

2.4.2 การนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันดิบ

การนำพลาสติกกลับมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงพลังงานนั้นมีหลากหลายรูปแบบ โดยมีทั้งการนำไปเผาเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้า หรือ การนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันดิบ ซึ่งในปัจจุบันจากกรณีที่ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวจึงได้มีการนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันดิบเพิ่มมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากโมเลกุลหลักของพลาสติกนั้นประกอบไปด้วย คาร์บอน และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยเฉพาะในปัจจุบันหลายประเทศได้มีการลงทุนตั้งโรงงานแปรรูปพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันดิบในเชิงธุรกิจ เช่น อินเดีย เยอรมนี โดยมีขั้นตอนและกระบวนการหลักในการแปรรูปดังนี้



ภาพที่ 2.8
กระบวนการในการแปรรูปพลาสติกให้กลายเป็นน้ำมันดิบ (Depolymerization)
ที่มา: Alka (2008)

ในปัจจุบัน Polymer Energy Technology (Alka ,2008) ถือเป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ที่เป็นที่นิยม เพื่อการรีไซเคิลขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันดิบ ทดแทนการเผาที่ทำลายสิ่งแวดล้อมในระบบชั้นบรรยากาศ หรือ การฝังกลบที่ต้องใช้ระยะเวลานานมากกว่าขยะพลาสติกจะย่อยสลาย โดยนำไปผ่านกระบวนการ Depolymerization ดังภาพที่2.8 โดยอาศัยหลักการสลายตัวของโครงสร้างโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการแปรรูปนี้มักเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 550 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่

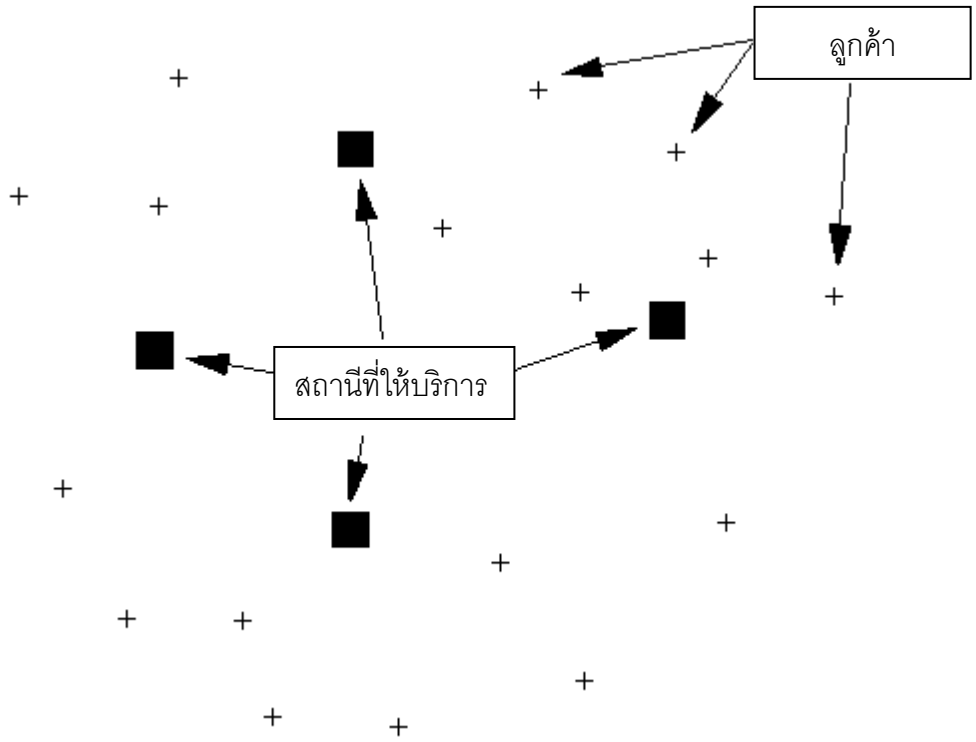
เป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นน้ำมัน ซึ่งต้องเข้าสู่กระบวนการกลั่นเพื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ และผลิตภัณฑ์อีกส่วนหนึ่งที่เป็นแก๊ส สามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับกระบวนการผลิตในระบบ Polymer Energy ได้ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้เริ่มจากการลำเลียงขยะพลาสติกมาทำการป้อนเข้าไปในเตาหลอมละลาย (Melter) จากนั้นจะทำการกรองแล้วส่งต่อเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (Reactor) พร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยใช้กระบอกสูบในแนวระนาบเข้าสู่ส่วนที่ทำให้หลอมเหลว จากนั้นวัตถุดิบในรูปของพลาสติกหลอมเหลวจะถูกดันต่อให้ไหลเข้าไปในแนวนอนยังเตาหลอมเหลว ที่ให้ความร้อนโดยท่อร้อน โดยที่พลาสติกที่ถูกหลอมเหลวอย่างต่อเนื่องนี้จะถูกทำให้ไหลต่อไปตามทางเอียง โดยล้อหมุนหลายอันที่หมุนเป็นวงภายใต้ความถี่ที่พอเหมาะ ซึ่งช่วยส่งให้พลาสติกหลอมเหลวไหลเข้าไปข้างหน้าจนเกิดการแตกตัว โดยให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สหรือไอของสารไฮโดรคาร์บอนลอยออกมา หลังจากนั้นจะถูกส่งจากส่วนบนของเตาไปสู่หน่วยให้ความเย็น เพื่อควบแน่นเป็นน้ำมันเหลวออกมา ส่วนแก๊สที่ไม่ควบแน่นจะถูกส่งไปเผาไหม้ให้ความร้อนกับเตาหลอม ส่วนสิ่งปนเปื้อนที่ในรูปของเถ้าจะถูกกำจัดไปยังเครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติ โดยเทคโนโลยีนี้สามารถรองรับการปนเปื้อนของพลาสติกได้ประมาณ 25-30% ซึ่งจะรองรับประเภทของขยะพลาสติกประเภทโพลีโอเลฟิน เช่น HDPE LLDPE LDPE PE เป็นต้น ซึ่งน้ำมันดิบที่ได้จากกระบวนการสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.9

ภาพที่ 2.9
น้ำมันดิบที่ได้จากการรีไซเคิลพลาสติก
ที่มา: บริษัท ซิงเกิ้ล พอยท์ พาร์ท (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)(2551)

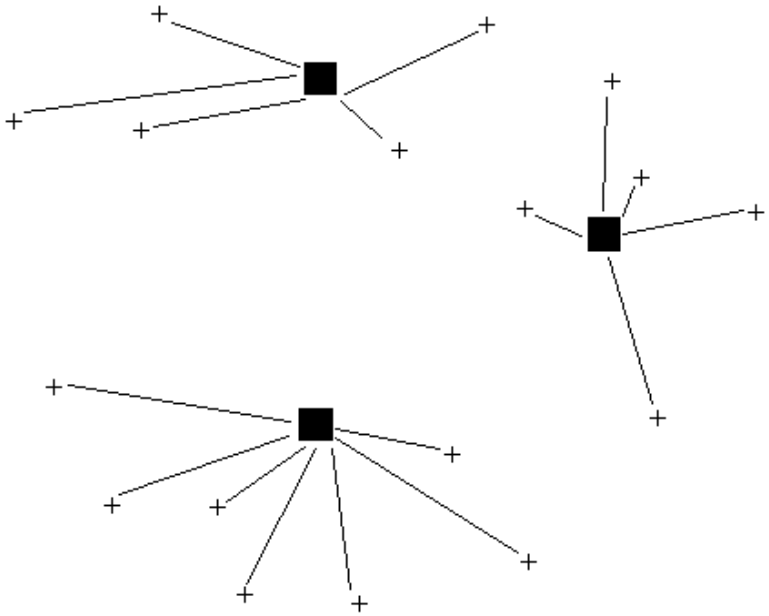
2.5 **การเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม** (Facility Location)

ในการลงทุนก่อสร้างโรงงาน หรือแหล่งกระจายสินค้า รวมไปถึงการสร้างสถานที่ให้บริการต่างๆ เพื่อให้บริการอย่างทั่วถึงนั้นถือเป็นสิ่งที่สำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีต้นทุนอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นการที่จะสร้างโรงงานหรือสถานีบริการให้ครอบคลุมลูกค้า หรือ ผู้รับบริการนั้นจึงเป็นสิ่งที่ต้องอาศัยตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ที่จะสามารถให้บริการหรือส่งสินค้าได้อย่างทั่วถึงภายใต้ต้นทุนที่มีอยู่อย่างจำกัด

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงต้องอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมหรือใกล้เคียงที่สุด ในการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งรวมทั้งจำนวนของสถานีบริการที่สามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างทั่วถึงและสามารถประหยัดต้นทุนได้มากที่สุด โดยการกำหนดตำแหน่งของที่ตั้งที่เหมาะสม (Beasley, 2008) ซึ่งการเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมนั้นสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2.10 และ ภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.10
การวางตำแหน่งของสถานีเพื่อบริการลูกค้า
ที่มา: ประยุกต์จาก Beasley (2008)



ภาพที่ 2.11
กลุ่มลูกค้าที่สถานีแต่ละแห่งให้การบริการ
ที่มา: ประยุกต์จาก Beasley (2008)

จากภาพที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าจากการที่มีลูกค้าที่อยู่กระจัดกระจายตามที่ต่างๆ ทำให้การกระจายสินค้าไปยังที่ต่างๆ นั้น หากเรามีเพียงสถานีที่ให้บริการเพียงสถานีเดียวอาจทำให้การให้บริการที่ไม่ทั่วถึง หรือทั่วถึงแต่ต้องใช้ต้นทุนในการขนส่งเป็นจำนวนมากทำให้ต้องทำการเพิ่มสถานีในการให้บริการ และทำการจัดกลุ่มหรือเขตในการให้บริการของแต่ละสถานีดังแสดงในภาพที่ 2.11 เพื่อให้ครอบคลุมลูกค้าทั้งหมด โดยการแบ่งความรับผิดชอบให้กับสถานีต่างๆ ว่าสถานีใดต้องรับผิดชอบลูกค้ารายไหนบ้าง ทั้งนี้ การจะเลือกว่าสถานีใดต้องรับผิดชอบลูกค้ารายใดบ้างอาจต้องคำนึงถึงหลายองค์ประกอบเพื่อนำมาพิจารณาในการเลือกทำเลที่ตั้ง หรือจำนวนของสถานีที่ต้องให้บริการได้ดังนี้ คือ

- อยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบที่ต้องใช้
- อยู่ใกล้กับลูกค้า
- ข้อกำหนดของกระบวนการผลิตหรือการบริการ
- เหตุผลทางด้านการเงิน
- เหตุผลทางด้านวัฒนธรรม

- ความปลอดภัย
- กฎหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายสิ่งแวดล้อม

จากองค์ประกอบที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจในการกำหนดตำแหน่งของสถานที่ตั้งของสถานีในการให้บริการทั้งสิ้น โดย Boon-itt (2008) ได้กล่าวไว้ว่าหากเราจะมองเฉพาะในแง่ของต้นทุนที่ใช้แล้ว ก็จะสามารถจำแนกต้นทุนที่ใช้ในการเลือกสถานที่ตั้งออกเป็นสองลักษณะ คือ

- Tangible cost คือ ต้นทุนที่เห็นได้หรือต้นทุนที่เข้าใจได้ ซึ่งเราจะสามารถทราบได้ว่าต้นทุนในลักษณะนี้มีจำนวนเท่าใดและทราบได้แน่นอน เช่น ต้นทุนด้านแรงงาน ที่ดิน การก่อสร้างโรงงาน พลังงาน และต้นทุนการขนส่งต่างๆ

- Intangible cost คือ ต้นทุนที่ซ่อนอยู่ภายในที่มองไม่เห็น ซึ่งเราไม่สามารถทราบหรือกำหนดราคาได้ เช่น ชื่อเสียง ค่าเสียโอกาส เป็นต้น

จากการที่ต้นทุนในการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งมีสองลักษณะ ดังนั้นต้นทุนรวมจึงประกอบไปด้วย ต้นทุนที่มองเห็นได้และต้นทุนที่ซ่อนอยู่ภายในซึ่งหากเราจะลดต้นทุนแล้ว เราจึงต้องทำการลดต้นทุนทั้งสองประการนี้ควบคู่กันไป ทั้งนี้ในกรณีที่หากเราจะมองลึกลงไปถึงการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน Boon-itt (2008) ได้กล่าวไว้ว่าเราสามารถเลือกที่ตั้งโรงงานโดยการให้คะแนนเพื่อตัดสินใจ หรืออาจสร้างสมการทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยการตัดสินใจดังนี้ คือ

1. วิธีการจัดลำดับองค์ประกอบ (Factor Rating Method) โดยการจัดลำดับดังกล่าวนี้เป็นวิธีการ หรือกระบวนการในการรวมทุกองค์ประกอบมาพิจารณาร่วมกัน โดยอาศัยการให้คะแนนในการตัดสินใจ ที่เรียกว่า การให้คะแนนน้ำหนัก (Weighted Score) ซึ่งจะทำการกำหนดปัจจัยสู่ความสำเร็จ (Critical Success Factor) ขึ้นมาเพื่อทำการจัดลำดับถึงความสำคัญของการที่จะนำไปสู่ความสำเร็จในการประกอบกิจการ จากนั้นจะทำการกำหนดแบ่งการให้ค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งจะกำหนดตั้งแต่ 0.00-1.00 ซึ่งจะจัดตามปัจจัยหรือข้อมูลที่อ้างอิงในการประกอบการเป็นหลัก ซึ่งแต่ละการประกอบการนั้นอาจให้ค่าที่แตกต่างกันโดยยึดประเภทของการผลิต หรือการให้บริการเป็นหลัก เช่นโรงงานที่ต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมากอาจให้ค่าน้ำหนักในข้อนี้มาก หรือโรงงานที่ต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างโรงงานมาก ก็อาจให้ค่าน้ำหนักในข้อนี้มากกว่าเป็นต้น จากนั้นก็จะทำการให้ค่าคะแนน(Score) โดยการอาศัยข้อมูลที่ตรงหรือใกล้ค่าจริงมากที่สุด ซึ่งจะทำการกำหนดตั้งแต่ 0-100 จากนั้นก็จะนำค่าทั้งสองมาคูณกันแล้วนำผลรวมของค่าทั้งหมดมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกค่าที่มากที่สุดเพื่อกำหนดให้ที่นั้นเป็นที่ตั้งของโรงงาน ดังแสดง

ตัวอย่างของการให้ค่าคะแนนน้ำหนักตามตารางที่ 2.4 ซึ่งเปรียบเทียบเพื่อตัดสินใจเลือกระหว่างทำเลที่ตั้งที่ 1 กับ ทำเลที่ที่ตั้งที่ 2 เพื่อทำการตั้งโรงงาน

ตารางที่ 2.4
ตัวอย่างการเลือกทำเลที่ตั้งด้วยวิธีการจัดลำดับองค์ประกอบ

ปัจจัยสู่ความสำเร็จ (Critical Successes Factor)	ค่าน้ำหนัก (Weight)	ทำเลที่ 1		ทำเลที่ 2	
		ค่าคะแนน (Score)	คะแนนน้ำหนัก (Weighted Score)	ค่าคะแนน (Score)	คะแนนน้ำหนัก (Weighted Score)
ใกล้ตลาด	0.3	70	21	90	27
ค่าจ้างแรงงาน	0.2	80	16	70	14
ราคาที่ดิน	0.1	80	8	80	8
ใกล้แหล่งวัตถุดิบ	0.05	70	3.5	100	5
ความสะดวกในการขนส่ง	0.05	90	4.5	80	4
เขตปลอดภาษีอากร	0.05	70	3.5	90	4.5
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
รวม			คะแนนรวมทำเลที่ 1		คะแนนรวมทำเลที่ 2

2. วิธีการหาจุดตรงกลางในแง่ของการให้ความสำคัญในแต่ละสถานที่ตั้ง (Center Gravity Method) ซึ่งการหาจุดตรงกลางนี้เป็นเทคนิคในการเลือกสถานที่ตั้งใหม่ โดยการพิจารณาจำนวนสินค้าที่จะต้องจัดส่งจากสถานที่ตั้งอื่นๆ ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการที่มักใช้กับศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Warehouse)

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถกำหนดสมการได้ดังนี้คือ

$$C_x = \frac{\sum d_{ix} V_i}{\sum V_i} \quad (1)$$

$$C_y = \frac{\sum d_{iy} V_i}{\sum V_i} \quad (2)$$

โดยที่ C_x คือ ตำแหน่ง ณ แกน x

C_y คือ ตำแหน่ง ณ แกน y

d_{ix} คือ ตำแหน่งของสถานที่ตั้ง i ณ แกน x

d_{iy} คือ ตำแหน่งของสถานที่ตั้ง i ณ แกน y

V_i คือ ปริมาณของสินค้าที่ถูกส่งมาจากตำแหน่ง i

จากสมการที่(1) และ(2) จะทำให้เราสามารถที่จะกำหนดได้ว่าจะสร้างสถานีที่ตั้งใหม่ ณ ที่ใด ซึ่งจะทำการสมมติตัวอย่างขึ้นมา คือ มีสถานีเดิมเป็นสถานี A, B และ C ตามลำดับ ซึ่งจะทำการสร้างสถานีใหม่เพิ่มหนึ่งแห่งเป็นสถานี D โดยมีอุปสงค์ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

ข้อมูลตัวอย่างเพื่อทำการสร้างสถานีแห่งใหม่

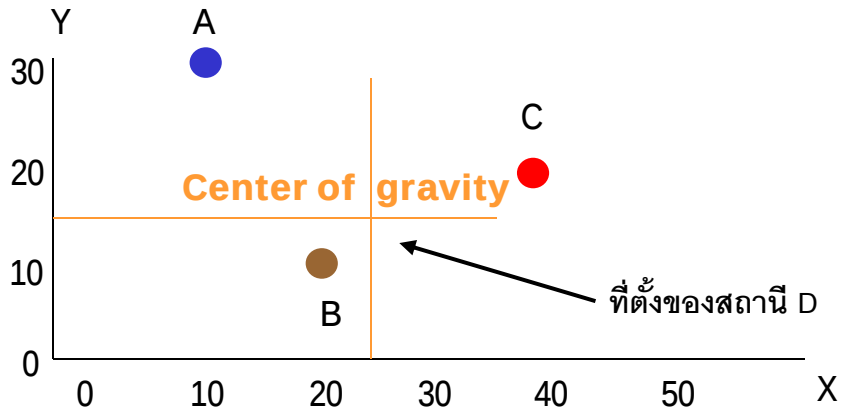
อุปสงค์	สถานี A	สถานี B	สถานี C
	1,000	4,000	2,000
ตำแหน่งของสถานที่ตั้งในแกน X	10	20	40
ตำแหน่งของสถานที่ตั้งในแกน Y	30	10	20

เมื่อทราบข้อมูลตามตารางที่ 2.5 แล้วจึงทำการนำข้อมูลที่ได้มาแทนค่าตามสมการเพื่อหาตำแหน่งใหม่ได้ดังนี้

$$C_x = \frac{(1{,}000 \times 10) + (4{,}000 \times 20) + (2{,}000 \times 40)}{1{,}000 + 4{,}000 + 2{,}000}$$

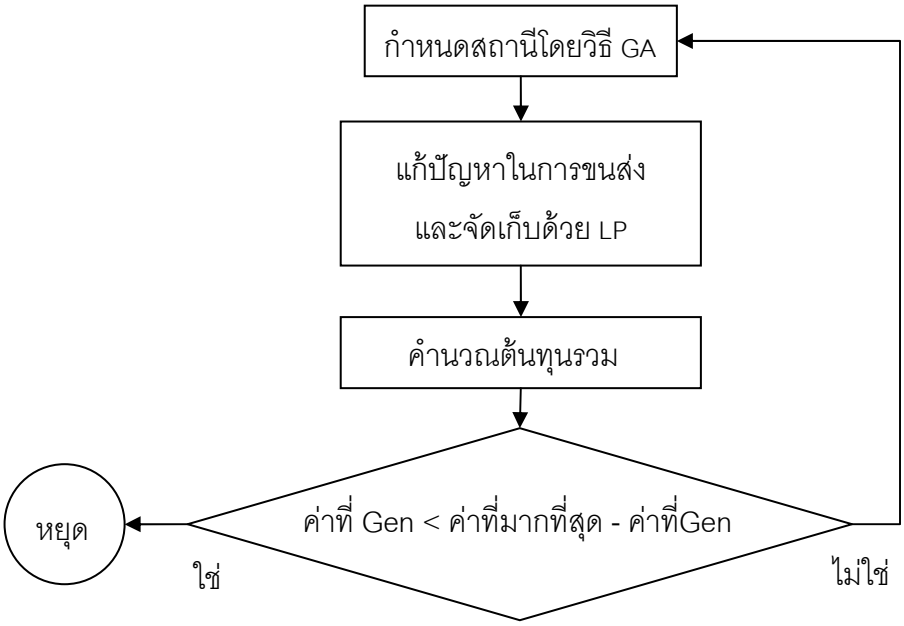
$$C_y = \frac{(1{,}000 \times 30) + (4{,}000 \times 10) + (2{,}000 \times 20)}{1{,}000 + 4{,}000 + 2{,}000}$$

ดังนั้น C_x = 24.3 และ C_y = 15.7 ซึ่งเราก็จะทราบตำแหน่งของที่ตั้งของสถานีแห่งใหม่ คือสถานี D ซึ่งเป็นจุดตัดกันระหว่าง C_x และ C_y ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12
ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีแห่งใหม่ (สถานี D)

การเลือกทำเลที่ตั้งนั้น เราสามารถใช้วิธีที่หลากหลายในการหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมได้ เช่น วิธี Genetic Algorithm (GA) หรือ วิธี Tabu Search (TS) เนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นที่นิยมในการแก้ปัญหาในทางโลจิสติกส์ (Glover และคณะ, 1995) ซึ่ง Goldberg (1989) เป็นผู้ที่นำวิธี GA ซึ่งเป็นการเลียนแบบวิถีทางของพันธุศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยการดำเนินงานอย่างแพร่หลายในลักษณะของการแก้ปัญหาซึ่งแม้ว่าไม่ใช่การหาค่าที่ดีที่สุด ก็ถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด หรือที่เรียกว่า Heuristic Approach ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป โดย Hamid และคณะ (2008) ได้นำวิธี GA มาประยุกต์เพื่อแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นตรงแบบผสม (Mixed integer linear programming: MILP) ดังแสดงในภาพที่ 2.13 เพื่อทำการหาทำเลที่ตั้งโดยอาศัยการสุ่มค่าเพื่อเป็นค่าเริ่มต้น (Generate) ตำแหน่งในการเลือกทำเลที่ตั้ง แล้วทำการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งและต้นทุนอื่นที่เกี่ยวข้อง อันเนื่องมาจากวิธี GA นั้นสามารถแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขที่มีขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี โดยใช้การตั้งค่าที่พึงพอใจไว้ล่วงหน้า ซึ่งหากค่าที่สุ่มมาเพื่อกำหนดตำแหน่งนั้นสามารถให้บริการภายใต้ต้นทุนที่กำหนดไว้ ก็จะทำการหยุดการสุ่มและยอมรับตำแหน่งของทำเลที่ตั้งนั้น แต่หากตำแหน่งดังกล่าวไม่สามารถให้คำตอบที่พึงพอใจได้ก็จะทำการสุ่มค่าเพื่อหาตำแหน่งใหม่อีกครั้งจนกว่าจะได้ค่าที่พึงพอใจ



ภาพที่ 2.13
การหาทำเลที่ตั้งด้วยการประยุกต์วิธี GAและ MILP
ที่มา: Hamid และคณะ (2008)

จากภาพที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าการหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมด้วยการแก้ปัญหาด้วยวิธี GA ด้วยการประยุกต์ใช้ร่วมกับ MILP นั้นมีความสะดวกและไม่ซับซ้อน แต่เนื่องจากมีการนำวิธี GA มาใช้ในการแก้ปัญหาจึงต้องมีขั้นตอนการสุ่มค่าเพื่อมาทำการหาค่าที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการแก้ปัญหาในลักษณะของ Heuristic Approach ดังนั้นจึงอาจใช้เวลาในการคำนวณและประมวลผลเพื่อแก้ปัญหา แต่ทว่าในปัจจุบันปัญหาดังกล่าวได้ลดน้อยลงอย่างมาก อันเนื่องมาจากการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณและประมวลผล จึงทำให้เราสามารถคำนวณหาคำตอบจากการสุ่มค่าในแต่ละครั้งได้ภายในเวลาอันสั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธี GA ในการหาค่าไบนารีที่จะทำการก่อสร้างโรงงาน ซึ่งประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CPLEX8.1 ซึ่งจากการนำวิธีดังกล่าวมาประยุกต์ร่วมกันนี้ก็สามารถแก้ไขปัญหาที่มีเงื่อนไขที่ใหญ่มากได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าผลหรือคำตอบที่ได้จะไม่ใช่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็เป็นคำตอบที่ยอมรับได้ (Acceptable Solution)

2.6 **การวิเคราะห์ความไว** (Sensitivity Analysis)

ในเรื่องของการพิจารณาเปรียบเทียบหรือการคัดเลือกโครงการ จำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะต้องพิจารณาและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่เรานำมาใช้ประกอบการพิจารณา เช่น อัตราค่าเงินตรา ค่าใช้จ่าย ต้นทุนในการดำเนินงาน ปริมาณวัตถุดิบ เป็นต้น

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เพื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองและการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของตัวแบบ (Model) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ว่าการเปลี่ยนแปลงของของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาเป็นองค์ประกอบในการสร้างแบบจำลอง โดยทำการพิจารณาว่าจะเป็นพารามิเตอร์ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมพลวัตของโครงการนั้นหรือไม่

ในที่นี้จะกล่าวถึงการศึกษา หรือการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงไปของคำตอบที่ดีที่สุดจากปัญหากำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์
2. การเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขบังคับทางด้านทรัพยากร
3. การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ในเงื่อนไขบังคับ
4. การเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขบังคับ
5. การเปลี่ยนแปลงของจำนวนตัวแปร

จากหัวข้อที่ได้กล่าวมาข้างต้นเมื่อเราพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า หรือเงื่อนไขใดแล้วส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงถึงผลลัพธ์ที่ได้ เช่น ส่งผลกระทบให้ผลลัพธ์เพิ่มขึ้น หรือลดลงอย่างมาก ก็แสดงว่าค่านั้นส่งผลกระทบต่อความไวต่อการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเป็นการวิเคราะห์หลังจากที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้ว (Post Optimality Analysis) ซึ่งประโยชน์ของการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงนั้น ก็เพื่อที่จะทำให้เราสามารถวิเคราะห์ถึงความเปลี่ยนแปลงไปของคำตอบที่ดีที่สุด ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทั้ง 5 อย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น อันจะช่วยสร้างความมั่นใจในโมเดลที่ทำการศึกษา และทราบถึงความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลง ว่าจะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้ในลักษณะใด อันจะเป็นข้อมูลที่นำมาประกอบการตัดสินใจที่มีความแม่นยำมากขึ้นอีกทางหนึ่ง

2.7 **ค่าเสื่อมราคา** (Depreciation)

ค่าเสื่อมราคาจัดว่าเป็นเงินทุนภายในที่สำคัญประเภทหนึ่ง สินทรัพย์ถาวรที่มีตัวตนเท่านั้นที่จะนำมาคำนวณค่าเสื่อมราคา เพราะค่าเสื่อมราคาเป็นการหักค่าใช้สินทรัพย์ถาวรในแต่ละปี เนื่องจากสินทรัพย์ถาวรต้องจ่ายซื้อเป็นเงินทุนจำนวนสูง แต่ใช้ได้หลายปี เมื่อใช้ไปจะมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้ ได้แก่ อาคาร โรงงาน เครื่องจักร รถยนต์ เป็นต้น ยกเว้นที่ดิน ที่ไม่คิดค่าเสื่อมราคา เนื่องจากที่ดินเป็นสินทรัพย์ที่ไม่มีการเสื่อมสภาพและราคาที่ดินมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา จึงต้องหักค่าเสื่อมราคาของการใช้เพื่อสะสมไว้ซื้อสินทรัพย์ถาวรชิ้นใหม่ ค่าเสื่อมราคาที่สะสมไว้นี้ เมื่อยังไม่ได้นำไปซื้อสินทรัพย์ถาวรชิ้นใหม่ สามารถนำมาใช้เป็นเงินทุนสำหรับหมุนเวียนในกิจการได้ ซึ่งการคิดค่าเสื่อมราคานี้จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึง ราคาซาก (Scrap value หรือ Salvage value) ซึ่งราคาซากนั้น หมายถึง มูลค่าที่คาดว่าจะขายสินทรัพย์ถาวรนั้นได้เมื่อหมดอายุการใช้งาน หักด้วยค่ารื้อถอนและค่าใช้จ่ายในการจำหน่ายสินทรัพย์นั้น ซึ่งมูลค่าเสื่อมราคาทั้งสิ้น หมายถึง ราคาต้นทุนเดิมของสินทรัพย์ที่มีการเสื่อมสภาพ หรือราคาอื่นที่นำมาใช้แทน หักด้วยราคาซากที่ได้ประมาณไว้ ดังนี้

มูลค่าเสื่อมราคาทั้งสิ้น = ราคาทุนของสินทรัพย์ – ราคาซาก

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วเรายังต้องพิจาณาถึงการคิดค่าเสื่อมราคา เพื่อนำค่าที่ได้ดังกล่าวนี้มาหามูลค่าซาก ซึ่งการคิดค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรมีได้หลายวิธที่ใช้กัน ค่าเสื่อมราคาที่ได้ในแต่ละวิธีก็จะทำให้มีเงินทุนภายในสะสมเพิ่มขึ้น เป็นจำนวนแตกต่างกัน แต่เมื่อกิจการได้เลือกวิธีการคำนวณค่าเสื่อมราคาวิธีใดแล้ว ก็จำเป็นต้องใช้วิธีนั้นอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งวิธีคิดค่าเสื่อมราคาสามารถคิดได้หลายวิธี คือ

1. วิธี Straight - Line : เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาโดยเฉลี่ยมูลค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ให้เป็นค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีเท่า ๆ กัน ตลอดอายุการใช้งานของสินทรัพย์ถาวรนั้น ๆ สูตรในการคำนวณค่าเสื่อมราคา มีดังนี้

ค่าเสื่อมราคาต่อปี = (ราคาทุนของสินทรัพย์ - ราคาซาก) / อายุการใช้งาน

ตัวอย่างเช่น	มูลค่าเครื่องจักร	25,800	บาท
	มูลค่าซาก	800	บาท

มูลค่าเครื่องจักรหลังหักมูลค่าซาก	25,000	บาท
อายุการใช้งาน	5	ปี

ฉะนั้น ค่าเสื่อมราคาต่อปี คือ 25,000 / 5 = 5,000 บาท

2. วิธี Double - Declining Balance (DDB) : เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาอีกวิธีหนึ่ง โดยคิดในปีแรก ๆ สูงกว่าปีหลัง ๆ วิธีนี้เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่ง นั่นคือ คิดเป็น 2 เท่าของวิธี Straight - Line และค่าเสื่อมราคาแต่ละปีก็จะนำจำนวน 2 เท่าของวิธี Straight - Line นี้ไปคูณกับมูลค่าเครื่องจักรที่หักค่าเสื่อมราคาแต่ละปีออกแล้ว ดังนั้น จากในตัวอย่างเดิม

วิธี Straight - Line หักค่าเสื่อมปีละ 1/5 (6,800/34,000) ของมูลค่าเครื่องจักรหลังหักมูลค่าซาก

วิธี Double - Declining Balance (DDB) จึงหักค่าเสื่อมปีละ (1/5) x 2 = 2/5 เท่าของเครื่องจักรหลังหักมูลค่าซาก และหักค่าเสื่อมแต่ละปีออกแล้ว ดังนี้

ปีที่ 1 ค่าเสื่อมราคาจึงเป็น	2/5 (25,000) = 2,000	บาท
ปีที่ 2 ค่าเสื่อมราคาจึงเป็น	2/5 (23,000) = 9,200	บาท
ปีที่ 3 ค่าเสื่อมราคาจึงเป็น	2/5 (13,800) = 5,520	บาท

และเนื่องจากปีที่ 3 ค่าเสื่อมราคาต่ำกว่าการคิดแบบ Straight - Line ปีที่ 4 และ 5 จึงนำมูลค่าเครื่องจักรที่เหลือหาร 2 จึงเป็นปีละ 3,312/2 = 1,656 บาท

3. วิธี Units - of - Production Method : เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาตามความเป็นจริง ถ้าเครื่องจักรผลิต 1,000 ก็คือค่าเสื่อมราคา 1,000 ถ้าปีต่อมาผลิต 2,000 ก็แสดงว่าใช้เครื่องจักรมากขึ้น ก็ต้องคิดค่าเสื่อมราคามากขึ้น เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาตามจำนวนหน่วยที่ผลิตได้ (หน่วยของสินค้าที่ผลิตโดยใช้เครื่องจักรนั้น) ในแต่ละงวด ดังนั้น จึงต้องคำนวณว่าเครื่องจักรนี้ ตลอดอายุจะสามารถผลิตผลผลิตได้รวมทั้งหมดกี่หน่วย และแต่ละหน่วยของผลผลิตจะทำให้เครื่องจักรเสื่อมราคาเท่าใด จากนั้น สามารถหาได้ว่าแต่ละงวดการผลิตเกิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรนี้เท่าใด

จากตัวอย่างเดิม สมมติ เครื่องจักรนี้ผลิตสินค้าทั้งหมดได้ 5,000 หน่วย ฉะนั้น

ค่าเสื่อมราคาต่อหน่วยผลผลิต = (25,800 - 800) / 5,000

= 5 บาท

ถ้าปีแรกผลิตสินค้าได้ 1,000 หน่วย แสดงว่าค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรปีแรก = 5 x 1,000 = 5,000 และปีต่อ ๆ ไปก็คำนวณเช่นเดียวกันนี้

4. วิธี Sum of Years' Digits : เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่งเช่นกัน คือ ค่าเสื่อมราคาในปีแรก ๆ จะมากและค่อย ๆ ลดลงในปีหลัง ๆ อัตรานี้นำมาคำนวณค่าเสื่อม คือ

สัดส่วนของจำนวนปีที่เหลือของอายุการใช้งานของเครื่องจักร ต่อ จำนวนปีของอายุการใช้งานที่เหลือรวมกัน นั่นคือ

ปีที่ 1 อายุการใช้งานที่เหลือของเครื่องจักร คือ 5 ปี
ปีที่ 2 อายุการใช้งานที่เหลือของเครื่องจักร คือ 4 ปี
ปีที่ 3 อายุการใช้งานที่เหลือของเครื่องจักร คือ 3 ปี

ฉะนั้น จำนวนปีของอายุการใช้งานที่เหลือรวมกัน คือ 5+4+3+2+1 = 15 ดังนั้น

ค่าเสื่อมราคาปีที่ 1 = 5/15 (25,000) = 8,333 บาท
ค่าเสื่อมราคาปีที่ 2 = 4/15 (25,000) = 6,667 บาท
ค่าเสื่อมราคาปีที่ 3 = 3/15 (25,000) = 5,000 บาท

จากวิธีการคิดค่าเสื่อมราคาวิธีต่าง ๆ ทั้ง 4 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ในแต่ละบริษัทไม่จำเป็นว่าต้องคิดค่าเสื่อมราคาด้วยวิธีการแบบเดียวกันหมด ทั้งนี้ แล้วแต่แนวคิดของบริษัท หรือผู้ประกอบการนั้น ๆ ว่าเป็นแนวคิดไหน และผู้บริหารจะรู้ว่าเงินทุนใดมาจากค่าเสื่อมราคาเท่าไร

2.8 **ระยะเวลาการคืนทุน** (Pay Back Period : PB)

ระยะเวลาการคืนทุน เป็นการคำนวณหาระยะเวลาตั้งแต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งผลประโยชน์สุทธิของโครงการรวมกันในแต่ละปีแล้วมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุน หรือหมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากการลงทุนมีจำนวนเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการ การคำนวณระยะเวลาคืนทุน จำแนกเป็น 2 กรณีคือ ดังนี้

- กรณีที่ 1 กระแสเงินสดรับสุทธิมีจำนวนเท่ากันทุกปี ใช้สูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

- กรณีที่ 2 กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีมีจำนวนแตกต่างกัน การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนทำได้โดยรวมจำนวนเงินสดสุทธิในแต่ละปีสะสมไปจนกระทั่งมีจำนวนเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ

ตัวอย่าง เช่น โครงการที่กิจการกำลังตัดสินใจเลือก คือ โครงการ ก. และ ข. ซึ่งต้องลงทุน 100,000 บาท เท่ากัน กระแสเงินสดรายปีมีดังนี้

	ปีที่	โครงการ ก. (บาท)	โครงการ ข. (บาท)
เงินลงทุน	0	100,000	100,000
กระแสเงินสดรับ	1	20,000	30,000
	2	20,000	40,000
	3	20,000	60,000
	4	20,000	10,000
	5	20,000	10,000

ระยะเวลาคืนทุนโครงการ ก. = 100,000/20,000 = 5 ปี

ระยะเวลาคืนทุนโครงการ ข.

กระแสเงินสดภายใน 2 ปี = 30,000 + 40,000 = 70,000 บาท

สิ้นปีที่ 3 กระแสเงินสดรับ = 60,000 บาท

กระแสเงินสดรับขาดอีกเพียง 30,000 ใช้เวลาคืนทุน = 30,000/60,000 = 0.5 ปี

ดังนั้น โครงการ ข. จะใช้เวลาคืนทุนทั้งหมด = 2 + 0.5

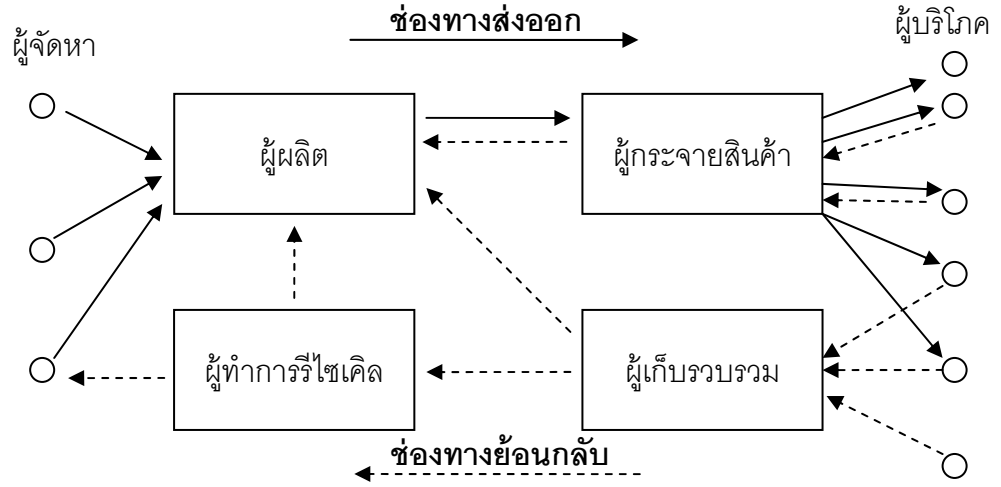
= 2.5 ปี

2.9 วรรณกรรมปริทรรศน์

ในปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงเทคนิคการรีไซเคิลพลาสติก (Asia-Pacific PLAS&PACK, 2007; Goldsberry, 2005; Moriya,2000) โดยส่วนใหญ่นักวิจัยมักจะมุ่งประเด็นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีในการรีไซเคิลพลาสติก ซึ่งในปัจจุบันเราเรียกเทคโนโลยีในการนำกลับมาใช้ใหม่นี้ว่า เทคโนโลยีพลังงานพอลิเมอร์ (Polymer Energy Technology) Moriya (2000) ได้กล่าวถึงการนำมาซึ่งแหล่งกำเนิดใหม่ของพลังงานจากผู้บริโภคพลาสติกที่ปลายน้ำไปสู่น้ำมัน อย่างไรก็ตามต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนนั้นยังถือว่าสูงอยู่ และการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ก็ยังคงดำเนินต่อไปในปัจจุบัน ซึ่งจีนนั้นถือเป็นอีกประเทศหนึ่งที่ดำเนินการสร้างโรงงานต้นแบบตามที่ Zhang (2007) ได้นำเสนอถึงการรีไซเคิลจากขยะพลาสติกไปสู่น้ำมัน โดยได้นำเสนอเทคโนโลยีและแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์ของจีนไปพร้อมๆ กัน ซึ่งเขาได้ค้นพบว่าต้องมีการสร้างมาตรฐานของกระบวนการต่างๆ ขึ้นอย่างเป็นระบบ และวางระเบียบการจัดการโรงงานรีไซเคิลอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะทำให้โรงงานรีไซเคิลสามารถดำเนินการได้จริงจนกระทั่งประสบความสำเร็จและสามารถยืนหยัดด้วยตัวเองได้

ในการออกแบบระบบการผลิตแบบย้อนกลับในปัจจุบัน มีผู้ให้ความสนใจอย่างมาก โดย Fleischmann และคณะ (2000) ได้อธิบายถึงลักษณะของโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ โดยวางแนวทางกิจกรรมหลักในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับไว้ 3 กิจกรรมหลักเพื่อขับเคลื่อนระบบให้มีประสิทธิภาพอย่างครบวงจร คือ การกระจายสินค้า (Distribution Planning) การควบคุมวัตถุดิบคงคลัง (Inventory Control) และการวางแผนการผลิต (Production Planning)

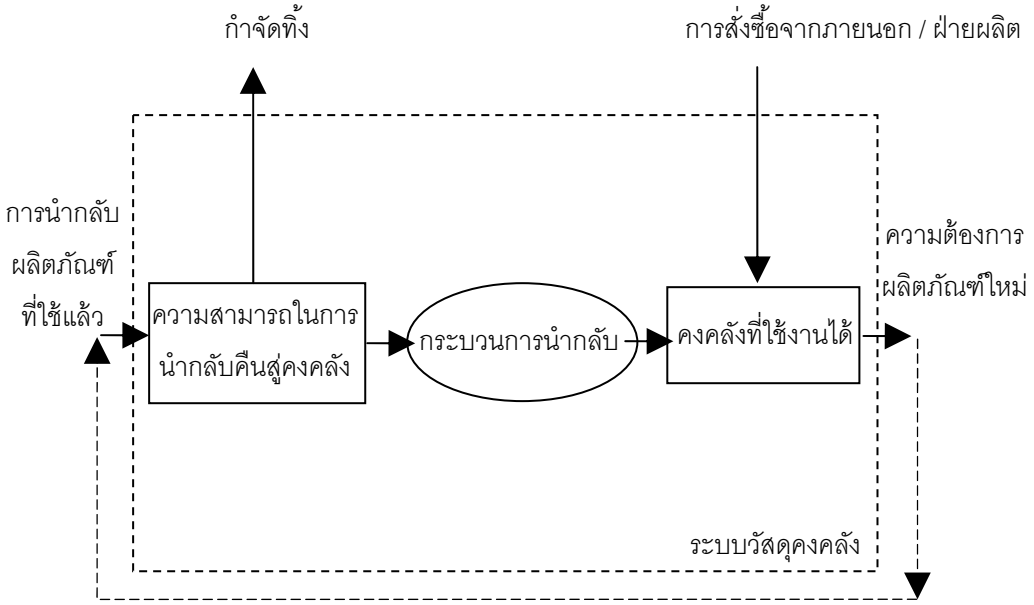
ในภาพที่ 2.14 ได้แสดงถึงโครงสร้างของการกระจายสินค้าย้อนกลับ (Framework Reverse Distribution) โดยการรวบรวมการไหลของผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้ และการไหลของผลิตภัณฑ์จากผู้ใช้มายังผู้ผลิต โดยในโครงสร้างนี้ Fleischmann ได้นำมาทำการศึกษาถึงการวิจัยการดำเนินงานในการไหลย้อนกลับ ซึ่งในปัจจุบันถือว่าแบบจำลองในการกระจายสินค้าย้อนกลับนั้นมีน้อยมาก ซึ่งการสร้างแบบจำลองโดยอิงโครงสร้างดังรูปนี้ จะสามารถนำมาประกอบการตัดสินใจในการร่วมหรือผนวกรวม (Integration) ในการดำเนินการของทำเลที่ตั้งในการกระจายสินค้าทั้งการกระจายออกและการย้อนกลับได้ทั้งสองช่องทาง แต่ทว่าการสร้างแบบจำลองโดยอาศัยโครงสร้างดังกล่าวนี้ เป็นแต่เพียงการสร้างสมมติฐานซึ่งอาศัยการตั้งข้อสังเกตจากงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งในขณะที่งานวิจัยนี้เผยแพร่ก็ยังไม่มีการสร้างหรือนำระบบนี้ไปใช้จริงอย่างเป็นรูปธรรม



ภาพที่ 2.14

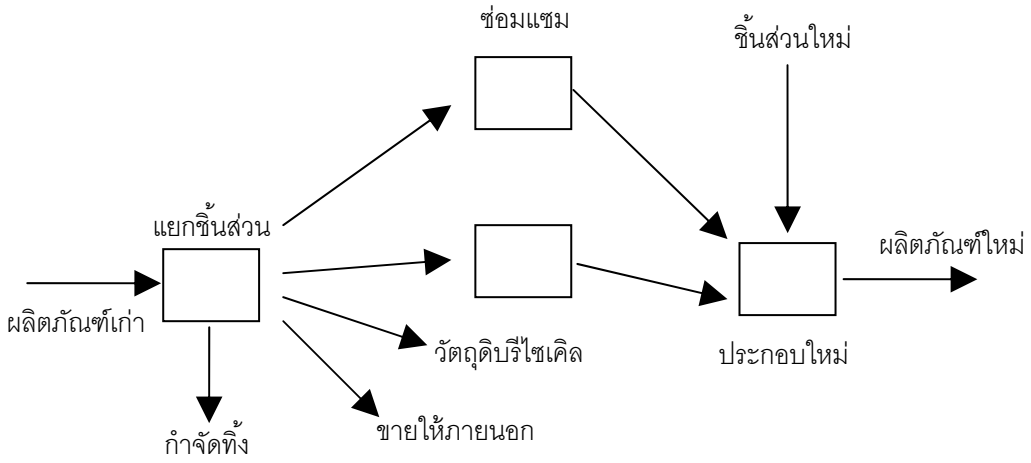
โครงสร้างของการกระจายสินค้าย้อนกลับ

ที่มา: ประยุกต์จาก Fleischmann และคณะ (2000)



ภาพที่ 2.15
โครงสร้างของจัดการวัสดุคงคลังกับการนำกลับมาใช้ใหม่
ที่มา: ประยุกต์จาก Fleischmann และคณะ (2000)

จากภาพที่ 2.15 ได้แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของจัดการวัสดุคงคลังกับการนำกลับมาใช้ใหม่ (Framework Inventory Management with Return) โดย Fleischmann ได้กล่าวว่า ผู้ผลิตจะทราบอุปสงค์ของผลิตภัณฑ์ใหม่และรับผลิตภัณฑ์ที่ย้อนกลับคืนมาจากตลาด โดยมีสองทางเลือกสำหรับการเติมเต็มให้กับอุปสงค์ คือ การสั่งซื้อใหม่หรือการนำผลิตภัณฑ์ที่ย้อนกลับมาเพื่อจัดเข้าสู่ระบบคงคลัง โดยในการจัดการระบบคงคลังนี้จะต้องสอดคล้องและเชื่อมโยงข้อมูลซึ่งกันและกัน ซึ่งปริมาณของการย้อนกลับของผลิตภัณฑ์จะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับการสั่งซื้อชิ้นส่วนต่างๆ จากภายนอก ซึ่งผู้ผลิตจะต้องทราบและควบคุมในปัจจัยหลักของการย้อนกลับสามประการคือ ปริมาณ (Quantity), คุณภาพ (Quality) และ ช่วงเวลา (Timing) ของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนที่จะย้อนกลับเข้าสู่คงคลังได้ ว่ามีปริมาณเท่าใด ส่วนไหนสามารถนำมาใช้งานได้ ส่วนไหนควรกำจัดทิ้ง ส่วนที่ใช้งานได้นั้นมีคุณภาพดีพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือไม่ และสุดท้ายต้องทราบว่าช่วงเวลาที่จะสามารถนำกลับคืนเข้าสู่ระบบนั้นจะเป็นเวลาใด ทันกับการผลิตหรือสำรองเข้าคงคลังหรือไม่เพื่อทำการจัดการกับระบบวัสดุคงคลัง

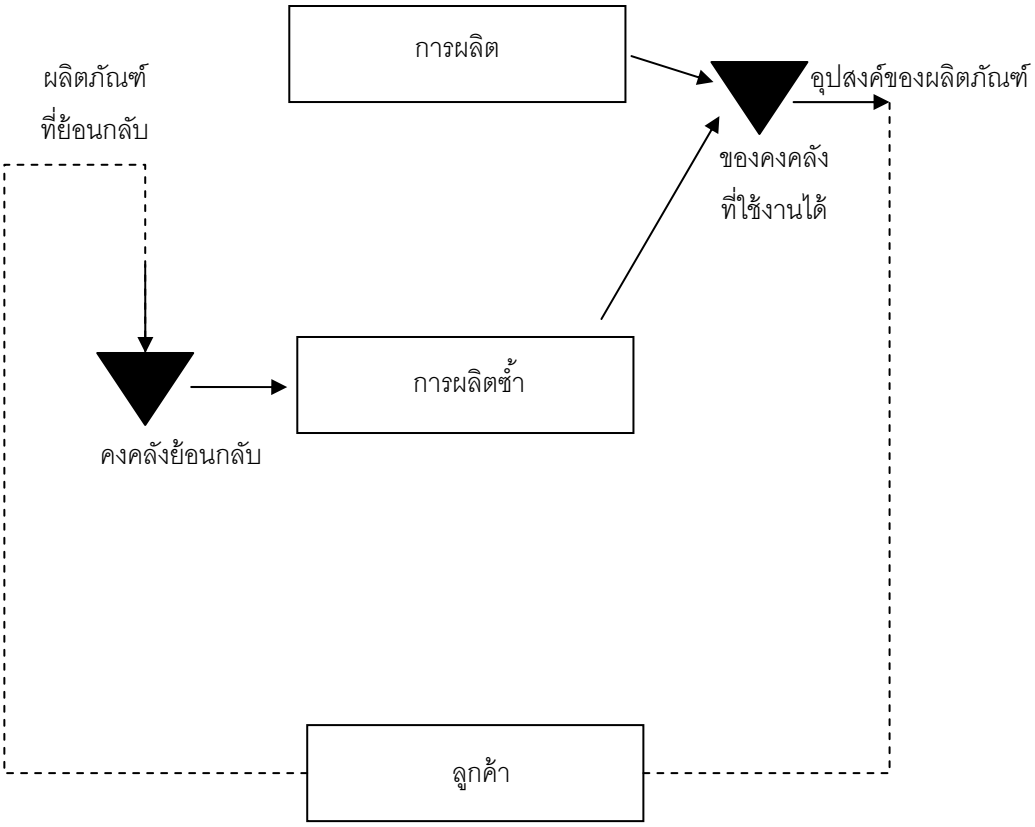


ภาพที่ 2.16
โครงสร้างของการวางแผนการผลิตกับการนำกลับมาใช้ใหม่
ที่มา: ประยุกต์จาก Fleischmann และคณะ (2000)

จากภาพที่ 2.16 ได้แสดงถึงโครงสร้างของการวางแผนการผลิตกับการนำกลับมาใช้ใหม่ (Framework production planning with reuse) โดยการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยชิ้นส่วนที่หลากหลายมาประกอบกันนั้นเมื่อนำกลับมาแล้วทำการแยกชิ้นส่วนต่างๆ ออกจากกัน ซึ่งในบางชิ้นส่วนเราสามารถที่จะนำชิ้นส่วนเดิมนั้นไปซ่อมแซมเล็กน้อย แล้วสามารถนำกลับมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเป็นส่วนเติมเต็มใหม่ได้อีก ซึ่งอาจเป็นพวกบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น พาเลท กล่อง หรือขวดต่างๆ หรือในบางชิ้นส่วนอาจต้องนำไปเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเป็นวัตถุดิบรีไซเคิล หรือขายให้ภายนอก และทางเลือกสุดท้ายคือทำการกำจัดทิ้ง ทั้งนี้การแยกประเด็นดังกล่าวจะทำให้เราสามารถนำข้อมูลที่ได้มาทำการวางแผนในการผลิตได้เป็นอย่างดี

ในเวลาต่อมา Sbihi และ Eglese (2007) ได้ทำการศึกษาในเรื่องการย้อนกลับของวัสดุคงคลังกับการผลิตซ้ำ ทั้งนี้เขาได้มุ่งไปที่การลดต้นทุนของการปรับตั้ง (Set-up) และต้นทุนในการเก็บสินค้า (Holding) ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.17 โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นโดยนำเอาอุปสงค์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องส่งไปยังลูกค้าและผลิตภัณฑ์ที่ย้อนกลับจากลูกค้า เป็นหลักในการสร้างข้อมูลเพื่อออกแบบจำลอง โดยเขาได้ตั้งสมมติฐานไว้สามประการคือ

- ไม่มีการกำจัดทิ้งใดๆในของที่ย้อนกลับ
- ต้นทุนในการเก็บสินค้าที่ใช้งานได้มากกว่าต้นทุนในการเก็บสินค้าย้อนกลับ
- ต้นทุนที่คิดไม่นับรวมต้นทุนผันแปรในการผลิตและการผลิตซ้ำ



ภาพที่ 2.17
ระบบวัสดุคงคลังกับการผลิตซ้ำ
ที่มา: ประยุกต์จาก Sbihi และ Eglese (2007)

ในเรื่องโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้ Carter และ Ellram (1998) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในเรื่องโลจิสติกส์ย้อนกลับ Ammons และคณะ (1999) ได้เสนอแบบจำลองเลขจำนวนเต็มผสมเชิงเส้นทั่วไป เพื่อหาพื้นฐานของโครงสร้างระบบการเรียกกลับและนำเสนอลักษณะโดยรวมของระบบการผลิตแบบย้อนกลับ สำหรับงานวิจัยอื่นๆ ก็ได้ศึกษาและอธิบายถึงวิธีการกำหนดโรงงานรีไซเคิลในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยทำการศึกษาในผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันออกไป เช่น ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ และผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ใช่อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

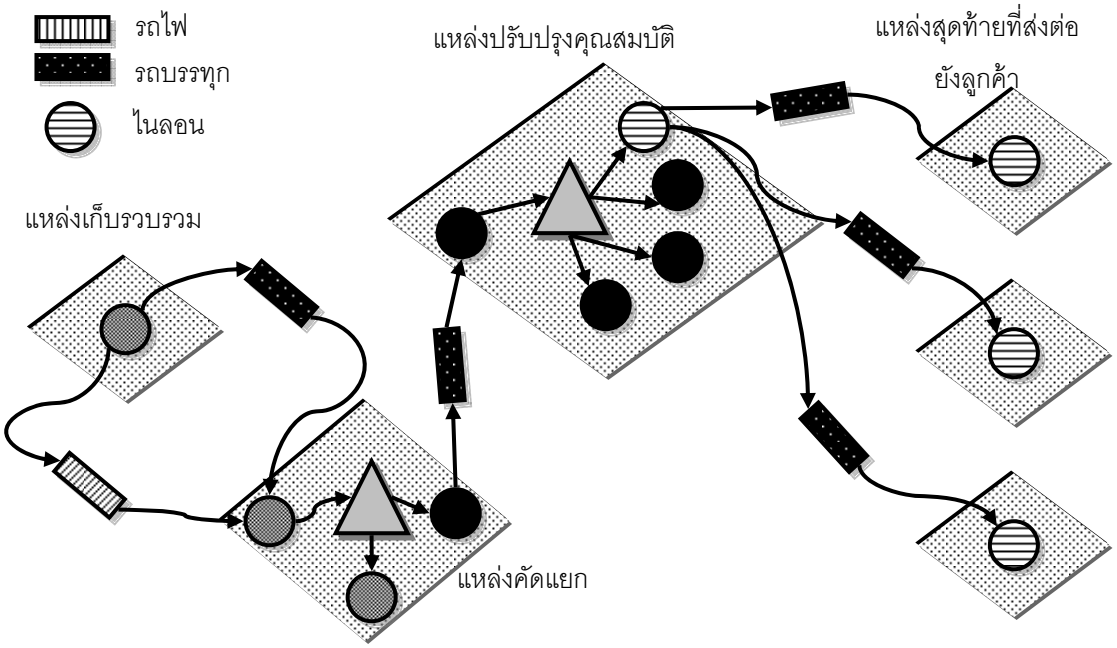
ในส่วนของผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ Caruso และ Paruccini (1993) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Multi-objective ขึ้นเพื่อวางแผนการเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงานเพื่อการจัดการกับขยะมูลฝอยในเขตเมืองใหญ่ ต่อจากนั้น Kroon

และ Vrijens (1995) ได้ทำการศึกษาในหน่วยงานขนาดใหญ่ในการให้บริการด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับในการเรียกคืนตู้คอนเทนเนอร์ โดยมุ่งประเด็นไปที่ตู้คอนเทนเนอร์พลาสติกที่พับได้ ซึ่งสามารถให้เช่าเพื่อบรรจุวัสดุ ซึ่งระบบดังกล่าวได้นำไปสู่การแบ่งกิจกรรมออกเป็นห้ากลุ่มกิจกรรมด้วยกัน คือ

- ศูนย์กลางตัวแทนที่จะดึงเอาคอนเทนเนอร์ใช้แล้วออกมา (Central Agency)
- ผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ที่รับผิดชอบในการคัดแยก (Service Provider)
- ผู้ส่งมอบ และ เก็บรวบรวม คอนเทนเนอร์ (Delivering and Collecting)
- ผู้จัดส่ง และ ผู้รับ คอนเทนเนอร์ที่เต็ม (Senders and Recipients)
- ผู้ทำการขนส่งจากผู้จัดส่ง ไปยังผู้รับ (Carriers)

จากนั้น Realff และคณะ (1999) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเลขจำนวนเต็มแบบผสมเชิงเส้น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการออกแบบโครงสร้างขั้นพื้นฐานของการรีไซเคิลพรมโดยการปรับปรุงแบบจำลองขึ้นใหม่ ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้ทำการแยกกิจกรรมหลักในการนำพรมกลับมาใช้ใหม่ โดยยกตัวอย่างการแยกและปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อนำเอาไนลอนกลับมาใช้ใหม่ ดังภาพที่ 2.18 ซึ่งได้ทำการแบ่งออกเป็น 2 กิจกรรมหลัก คือ

1. กิจกรรมในการขนส่ง อันประกอบไปด้วย
   - การขนส่งโดยรถบรรทุก(Truck Mode)
   - การขนส่งโดยรถไฟ(Rail Mode)
2. กิจกรรมในการรีไซเคิล อันประกอบไปด้วย
   - แหล่งเก็บรวบรวม (Collection Site)
   - แหล่งคัดแยก(Sortation Site)
   - แหล่งปรับปรุงคุณสมบัติ (Reprocessing Site)
   - แหล่งสุดท้ายที่ส่งต่อยังลูกค้า (Final Site)



ภาพที่ 2.18
การนำเอาไนลอนกลับมาใช้ใหม่
ที่มา: ประยุกต์จาก Realff และคณะ (1999)

ในเวลาต่อมา Louwers และคณะ (1999) ได้ทำการออกแบบและเสนอแบบจำลองที่ใช้ในการนำขยะจากพรมกลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้อันเนื่องมาจากการเพิ่มมากขึ้นของพรมที่ใช้แล้วที่มีปริมาณมากถึง 1.6 ล้านตัน ในทวีปยุโรปในปี 1996 ที่ต้องนำไปกำจัดทิ้งยังบ่อฝังกลบ และการวางระเบียบในด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้สามารถสร้างแนวทางในการนำพรมใช้แล้วหรือเศษพรมกลับมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้งานใหม่ได้เป็นอย่างดี โดยได้ทำการนำกลับคืนมาจากหลายแหล่ง เช่น จากอาคารสำนักงาน ผู้ค้าปลีกพรม อุตสาหกรรมอากาศยาน หรืออุตสาหกรรมยานยนต์ โดยการคัดแยกจากพรมที่เป็นลักษณะเศษชิ้นเล็กแล้วมีสถานีหรือโรงงานที่ทำการอัดรวมกัน เพื่อทำการขนส่งไปยังโรงงานเคมีเพื่อเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ซึ่งเป้าหมายของงานวิจัยก็เพื่อต้องการศึกษาถึงความเป็นไปได้ถึงการหาทำเลที่ตั้ง และปริมาณของศูนย์กลางในการลงทุนสร้างโรงงาน ต้นทุนของกระบวนการรีไซเคิล และต้นทุนในการขนส่ง โดยใช้การประมาณต้นทุนคงที่ด้วยโปรแกรมเชิงเส้นต่อปริมาณของกระบวนการ ส่วนการตัดสินใจในต้นทุนอิสระนั้นผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ปัญหากำหนดการไม่เชิงเส้น (Nonlinear Model)

โดยใช้ซอฟท์แวร์มาตรฐาน โดยแบบจำลองนี้ยังมีผู้นำไปศึกษาต่อเพื่อประยุกต์ใช้ทั้งในยุโรป และสหรัฐอเมริกา

Schultmann และคณะ (2003) ได้พัฒนาแบบจำลองของเลขจำนวนเต็มแบบผสมเชิงเส้น เพื่อแก้ปัญหาในการหาทำเลที่ตั้งของโรงงาน โดยแบบจำลองนี้ได้ทำการศึกษากรณีศึกษาในการวางเครือข่ายเพื่อการรีไซเคิลแบตเตอรี่เก่า ที่หมดอายุการใช้งานแล้วในประเทศเยอรมนี ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการบริโภคแบตเตอรี่ในปริมาณมากในเยอรมนีโดยเฉพาะแบตเตอรี่ที่ใช้กับเครื่องมือหรืออุปกรณ์พกพา (Portable Batteries) เช่น จำพวกที่ใช้ในเครื่องมือสื่อสาร เครื่องเล่นเพลงขนาดพกพา หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กต่างๆ ซึ่งจากรายงานในปี 2000 พบว่ามีปริมาณขยะพวกนี้ถึง 33,058.4 ตัน ในขณะที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่เพียง 10,295.8 ตันเท่านั้น ซึ่งเป็นเพียง 31.1 เปอร์เซ็นต์ของขยะที่เกิดขึ้นเท่านั้น โดยงานวิจัยนี้จะเน้นที่การแยกเอาสารประกอบที่อยู่ในแบตเตอรี่มาใช้งาน เช่น ตะกั่ว ปรอท นิเกิล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งประเด็นไปที่การคัดแยก (Sorting) โดยการสร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อแสดงการดำเนินงานและต้นทุนที่ใช้ในการคัดแยก ต้นทุนในการเก็บรวบรวม ต้นทุนในการขนส่ง และต้นทุนในกระบวนการรีไซเคิล

สำหรับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ Shih (2001) ได้พัฒนาโปรแกรมแบบจำลอง MILP เพื่อศึกษาถึงการวางแผนระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ในพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไต้หวัน ในเวลาถัดมา Ammons และคณะ (2002) ได้มุ่งประเด็นไปที่การแก้ปัญหาการเรียกกลับคืนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้ความไม่แน่นอนของต้นทุน ราคา และปริมาณ ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ล้วนแต่นำเสนอในรูปแบบของโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนกลยุทธ์ในการตัดสินใจได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังมีนักวิจัยอีกหลายท่านที่ได้ให้ความสนใจในส่วนของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ อาทิเช่น

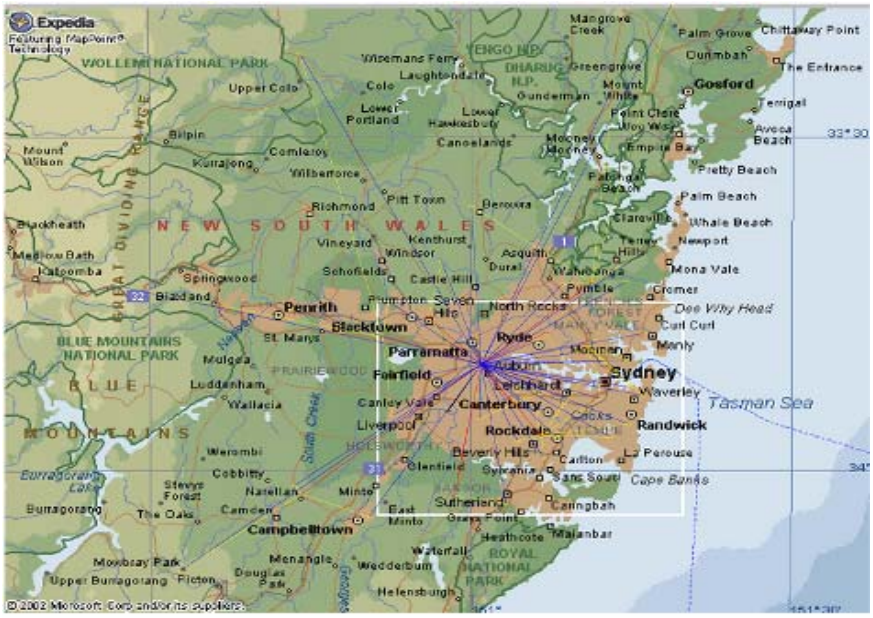
Krikke และคณะ (1999) ได้รายงานถึงกรณีศึกษาในการวางโครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการการผลิตซ้ำ (Remanufacturing Process) ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยทำการแบ่งกระบวนการในการเรียกกลับออกเป็นสามกรณี คือ

- การแยกชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดระดับไว้ตายตัว
- การเตรียมการในการรวมกันของการตรวจสอบและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สำคัญ
- การแยกชิ้นส่วนของซากกับการซ่อมแซมเพื่อนำไปผลิตเป็นเครื่องจักรใหม่

งานวิจัยนี้ได้อาศัยการสร้างแบบจำลองด้วย MILP เพื่อทำการจำลองหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งทำการสร้างโรงงานที่เนเธอร์แลนด์ แต่แบบจำลองดังกล่าวนี้ก็ต้องใช้เงินเพื่อลงทุนที่สูงมากในการดำเนินโครงการจริง และไม่สามารถเป็นไปได้เลยในทางปฏิบัติที่จะสร้างโรงงานขนาดเล็ก

Jarayaman และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โครงข่ายโลจิสติกส์สำหรับโรงงานซึ่งทำการผลิตซ้ำในสหรัฐอเมริกา โดยบริษัทมีกิจกรรมในการรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วจากลูกค้า ซึ่งการรับมอบของจากลูกค้าและการผลิตซ้ำนั้นก็มักเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันในขณะที่กำลังในการผลิตนั้นมีอย่างจำกัด โดยในงานวิจัยนี้ได้แสดงโครงข่ายที่สร้างขึ้นโดยจะแสดงค่าเพื่อนำมาใช้ในการตัดสินใจได้ว่าต้องใช้จำนวนของโรงงานเท่าใด และเลือกทำเลที่ตั้งใดในการรองรับปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น โดยผู้วิจัยได้นำเสนอแบบจำลอง MILP ในการสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อรองรับกับความแตกต่างของอุปสงค์กับอุปทานในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี ซึ่ง Srivastava และคณะ (2003) ก็ได้ทำการศึกษาวิจัยในลักษณะที่คล้ายกันในกิจการที่เกี่ยวกับสุขภาพ (Healthcare) และมีผลการในการวิจัยออกมาทำนองเดียวกันนี้

ในการสร้างแบบจำลองในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น Kara และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษา และสร้างแบบจำลองของโครงข่ายโครงข่ายของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของเมืองซิดนีย์ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ดังภาพที่ 2.19 เพื่อที่จะศึกษาถึงวงจรของการนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่บริเวณพื้นที่ในเขตเมืองซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย โดยมุ่งประเด็นหลักไปที่การหาต้นทุนในการขนส่งและลำเลียงในผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว (End-of-life: EOL)



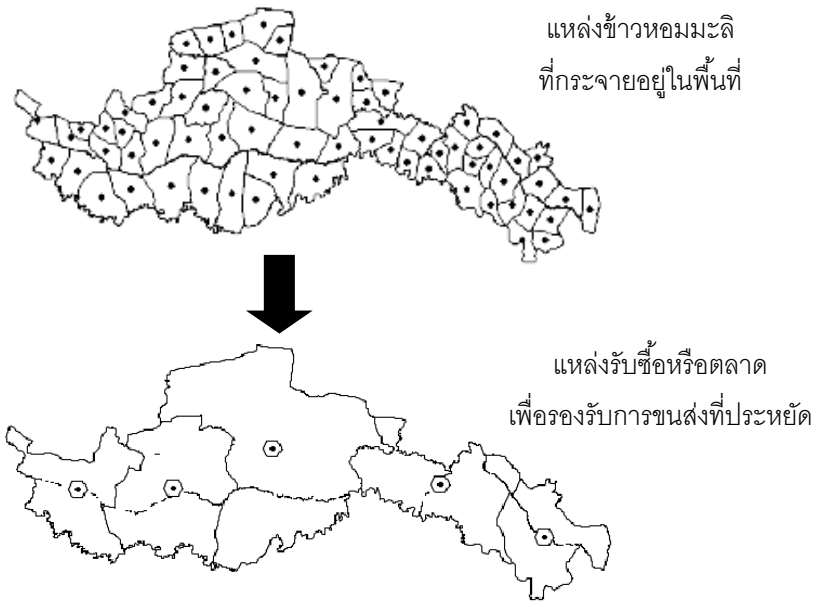
ภาพที่ 2.19

โครงข่ายของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของเมืองซิดนีย์

ที่มา: Kara และคณะ (2007)

ในงานวิจัยนี้ Kara ได้ทำการกำหนดภาคส่วนต่างๆ ในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับขึ้น เพื่อสร้างแบบจำลองภาคส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการการเรียกกลับคืนผลิตภัณฑ์โดยอาศัยสถานการณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริง จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองระบบด้วยโปรแกรม Arena โดยการจำลองกิจกรรมต่างๆ ของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการเรียกกลับคืนผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วของเมืองซิดนีย์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลและความน่าเชื่อถือที่ได้จากแบบจำลองโดยหาต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งรวม

กรณีของงานวิจัยในประเทศไทยเกี่ยวกับการเลือกทำเลที่ตั้งนั้น Ladda และ Raluca (2004) ได้ศึกษาถึงการขนส่งข้าวหอมมะลิในเขตทุ่งกุลา หรือที่เราเรียกกันว่าทุ่งกุลาร้องไห้ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ในห้าจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้วิธี Tabu Search (TS) และ วิธี Grouping Genetic Algorithm (GGA) ผนวกกับการศึกษาข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ที่เรียกว่า Geographic Information System (GIS) เพื่อทำการหากำไรสูงสุดของเกษตรกรในการขนส่งข้าวออกสู่ตลาดหรือแหล่งรับซื้อด้วยการหาเส้นทางในการขนส่งที่ดีที่สุด จากนั้นได้กำหนดตำแหน่งตลาด หรือแหล่งรับซื้อข้าวขึ้นมาดังแสดงในภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20
การเลือกทำเลที่ตั้งของตลาดในการรับซื้อข้าวหอมมะลิในเขตพื้นที่ทุ่งกุลา
ที่มา: ประยุกต์จาก Ladda และ Raluca (2004)

จากภาพที่ 2.20 จะเห็นได้ว่าพื้นที่ในการปลูกข้าวหอมมะลินั้นได้กระจัดกระจายทั่วทั้งพื้นที่ของเขตทุ่งกุลา (ภาพบน) ดังนี้ผู้วิจัยจึงต้องทำการกระจายแหล่งรับซื้อหรือตลาดให้ทั่วทั้งพื้นที่โดยการนำค่าที่ได้จากการคำนวณด้วย TS และ GGA มาทำการวางตำแหน่งที่จะเป็นศูนย์กลางในการรับซื้อที่สามารถให้บริการเกษตรกรได้อย่างทั่วถึง โดยนำระบบ GIS เข้ามาผนวกด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพภูมิศาสตร์และเส้นทางในการคมนาคมที่ใช้อยู่จริง โดยผลที่ได้ คือ ทำการแบ่งจุดศูนย์กลางในการรับซื้อออกเป็น 5 แหล่ง (ภาพล่าง) ซึ่งจะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการสร้างแหล่งรองรับผลผลิตของข้าวหอมมะลิในพื้นที่ทุ่งกุลาได้ทั่วถึงทั้งหมด ซึ่งเป็นไปอย่างสอดคล้อง และใกล้เคียงกับเส้นทางคมนาคมที่ใช้อยู่จริง