การออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย

Design of a Callback System for Computer Scraps and Selection of Recycling Plant Location in Thailand

อภิชล กำเนิดว้ำ

Apichon Kamnerdwam

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University
2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย
ชื่อผู้เขียน นายอภิชล กำเนิดว้ำ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย)

คณะกรรมการ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายอภิชล กำเนิดว้ำ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายอภิชล กำเนิดว้ำ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย
ผู้เขียน นายอภิชล กำเนิดว้ำ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุการใช้งานหรือซากคอมพิวเตอร์ที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันก็ยังคงขาดระบบการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ และวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบในประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาและการจัดการในปัจจุบัน การศึกษากลยุทธ์และวิธีการแก้ไข จากนั้นจึงทำการออกแบบระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ การวิเคราะห์กลไกการเรียกคืน และการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมด้วยเทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรม ผลจากการศึกษาพบว่า ระบบใหม่ของการเรียกคืนประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก คือ แหล่งของซาก จุดเรียกคืน ศูนย์เรียกคืน ศูนย์รวบรวม โรงงานรีไซเคิล และตลาดวัสดุ ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบในการขับเคลื่อนกลไกการเรียกคืนภายใต้แนวคิดของหลัก 3Rs หลัก EPR ระเบียบ WEEE และระเบียบ RoHS ที่มีช่องทางของการบริหารจัดการและควบคุมดูแลโดยหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานเอกชน หรือความร่วมมือของทั้งสองหน่วยงาน ผลลัพธ์จากการใช้เทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรมให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดว่าตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของศูนย์รวบรวมมีทั้งสิ้น 5 แห่ง คือ จังหวัดลพบุรี สมุทรปราการ สระบุรี สิงห์บุรี และสุพรรณบุรี ส่วนตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลมี 1 แห่ง คือ จังหวัดสระบุรี โดยให้คำตอบของต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 70,440,577 บาทต่อปี ซึ่งระบบการเรียกคืนที่ออกแบบประกอบกับผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

Thesis Title Design of a Callback System for Computer Scraps and Selection of Recycling Plant Location in Thailand
Author Mister Apichon Kamnerdwam
Major Program Industrial and Systems Engineering
Academic Year 2012

ABSTRACT

Nowadays, the quantity of end-of-life computer or computer scraps in Thailand has increased continuously. In addition, Thailand still lack of the collection system to an efficiently recycling process. This could effect to human and environment. Hence, this research aims to design a callback system for computer scraps and analyze the location of recycling plant in Thailand. This research consists of the study of current problem and management, the study of possible strategy and solution, the design of reverse logistics network, the analysis of callback system and the analysis of optimum location with genetic algorithms technique. The results showed that the designed callback system consists of six parts; source of scraps, callback point, callback center, collection center, recycling plant, and material market. These are key components in the strategy of a callback system with the 3Rs, EPR principle, WEEE, and RoHS regulation. This designed system can be managed and controlled by the public sector, private sector, or both. The output from genetic algorithms revealed that the optimum solution needs 5 collection centers; Lop Buri, Samut Prakan, Sing Buri, Saraburi, and Suphan Buri province, and 1 recycling plant; Saraburi province. The lowest total cost was 70,440,577 baht per year. The callback system and optimum location are expected to be applied for solving the computer scraps management of Thailand in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความช่วยเหลือจากผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ทั้งที่ได้ออกนามและมิได้ออกนาม ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกๆ ด้านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ที่ดีต่อการดำเนินการวิจัย ตลอดจนสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต และรองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำ และความกรุณาในการตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และมีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ และคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณบุคลากรและหน่วยงานของสำนักงานสถิติแห่งชาติ กรมธนารักษ์ และโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการให้ข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานเพื่อการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณคุณชุกรี แดสา ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด และความช่วยเหลือในการสร้างโปรแกรมช่วยในการคำนวณสำหรับงานวิจัยจนบรรลุวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่ได้ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คุณค่าและประโยชน์อันใดที่พึงจะเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญุตาแก่บิดา มารดา ตลอดจนบูรพาจารย์ของผู้วิจัย และผู้มีพระคุณทุกท่าน

อภิชล กำเนิดว้ำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	14
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	14
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
1.3 วัตถุประสงค์	24
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	24
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	25
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	26
2.1 ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	26
2.2 ข้อมูลทั่วไปของคอมพิวเตอร์และซากคอมพิวเตอร์	31
2.3 การรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	31
2.4 ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ	32
2.5 การเลือกทำเลที่ตั้ง	36
2.6 วิธีการเชิงพันธุกรรม	38
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	49
3.1 การศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย	49
3.2 การออกแบบระบบโครงข่ายและระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์	50
3.3 การศึกษาข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง	54
3.4 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบของตำแหน่งที่ตั้ง	67
3.5 การวิเคราะห์ความไว	85
3.6 การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์	86
บทที่ 4 ผลการวิจัย	87
4.1 ผลการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์	87
4.2 ผลการออกแบบและวิเคราะห์ระบบโครงข่ายและการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์	99
4.3 ผลลัพธ์การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง	113
4.4 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม	136
4.5 ผลการวิเคราะห์ความไว	142
4.6 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์	144
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	153
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	153

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 แนวทางการนำผลจากการศึกษาไปสู่การประยุกต์ใช้	156
5.3 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย	157
บรรณานุกรม	158
ภาคผนวก	162
ภาคผนวก ก แบบสอบถามประกอบการวิจัย	163
ภาคผนวก ข ผลลัพธ์การประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในแต่ละจังหวัด	166
ภาคผนวก ค ตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บซากคอมพิวเตอร์	168
ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง	170
ประวัติผู้เขียน	172

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ตัวอย่างสารอันตรายในซาก E-waste ชนิดต่างๆ	27
2.2	อันตรายจากสารพิษในซาก E-waste ต่อร่างกายมนุษย์	27
2.3	ระดับของศักยภาพในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์	32
2.4	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโลจิสติกส์ไปหน้ากับโลจิสติกส์ย้อนกลับ	34
3.1	ตัวอย่างการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการจัดการซากผลิตภัณฑ์	52
3.2	องค์ประกอบของวัสดุสำคัญหลักในเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง	58
3.3	ระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์	58
3.4	รายละเอียดของการกำหนดขนาดศูนย์รวบรวม	62
3.5	รายละเอียดของการกำหนดขนาดโรงงานรีไซเคิล	64
3.6	ชนิดของรถในการขนส่งแต่ละส่วนและรายละเอียดของรถแต่ละชนิด	65
3.7	ข้อมูลตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก และค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม	79
3.8	ตัวอย่างการสุ่มเลือกโครโมโซมชุดใหม่	80
3.9	ตัวอย่างการคัดเลือกโครโมโซมไปทำการสลับสายพันธุ์	81
3.10	ตัวอย่างการคัดเลือกโครโมโซมไปทำการกลายพันธุ์	84
4.1	รูปแบบพฤติกรรมการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของคนไทย	88
4.2	ตัวอย่างปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ณ ร้านรับซื้อของเก่า	90
4.3	การวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์	97
4.4	องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับในระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์	99
4.5	การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์	106
4.6	ตัวอย่างปริมาณซากคอมพิวเตอร์จากการประมาณการ	113
4.7	การคาดการณ์ปริมาณวัสดุแต่ละชนิดที่ได้จากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ทั้งประเทศ	115
4.8	ปริมาณความต้องการวัสดุในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์	116
4.9	ปริมาณความต้องการวัสดุจำแนกตามจังหวัดที่ตั้ง	118
4.10	ตัวอย่างของแหล่งตลาดวัสดุในต่างประเทศของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย	120
4.11	ข้อมูลประกอบการออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวม	122
4.12	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของศูนย์รวบรวมขนาด A	123
4.13	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของศูนย์รวบรวมขนาด B	124
4.14	ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างศูนย์รวบรวมขนาด A ในแต่ละจังหวัด	125
4.15	ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างศูนย์รวบรวมขนาด B ในแต่ละจังหวัด	126

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.16	ตัวอย่างมูลค่าที่ดินสำหรับก่อสร้างศูนย์รวบรวมทั้งสองขนาดในแต่ละจังหวัด	127
4.17	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของโรงงานรีไซเคิลขนาด A	129
4.18	รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของโรงงานรีไซเคิลขนาด B	130
4.19	ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลขนาด A ในแต่ละจังหวัด	131
4.20	ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลขนาด B ในแต่ละจังหวัด	132
4.21	ตัวอย่างมูลค่าที่ดินสำหรับก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลทั้งสองขนาดในแต่ละจังหวัด	133
4.22	ข้อมูลประกอบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากศูนย์เรียกคืนไปศูนย์รวบรวม	134
4.23	ข้อมูลประกอบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปโรงงานรีไซเคิล	135
4.24	ข้อมูลประกอบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากโรงงานรีไซเคิลไปตลาดวัสดุ	136
4.25	ผลลัพธ์การค้นหาคำตอบของปัญหาในแต่ละเงื่อนไข	137
4.26	ผลลัพธ์ของตำแหน่งที่ตั้งศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล	142
4.27	ผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้า	143
4.28	การเปรียบเทียบข้อเด่น-ข้อด้อยของรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์	145
4.29	รายละเอียดมูลค่าของวัสดุแต่ละชนิด	151

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์โดยรวมของประเทศไทย	15
2.1	ตัวอย่างกระบวนการของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ	35
2.2	รูปแบบโครงข่ายของการกระจายย้อนกลับของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ	36
2.3	ตัวอย่างโครโมโซมแบบ binary encoding	40
2.4	ตัวอย่างโครโมโซมแบบ permutation encoding	40
2.5	ตัวอย่างโครโมโซมแบบ value encoding	40
2.6	ตัวอย่างโครโมโซมแบบ tree encoding	41
2.7	ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์แบบ One-Point Crossover	44
2.8	ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Bit-Flipped Mutation	44
2.9	ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Two-Point Swapping Mutation	45
2.10	ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Inversion Mutation	45
2.11	ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Insertion Mutation	45
2.12	ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของวิธีการเชิงพันธุกรรม	47
3.1	กรอบในการศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย	50
3.2	สัดส่วนการผลิตหน้าจอคอมพิวเตอร์ชนิด CRT และ LCD ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2552	57
3.3	กระบวนการสำรวจแหล่งของตลาดวัสดุจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศ	60
3.4	ตัวอย่างการออกแบบโครโมโซมสำหรับงานวิจัย	68
3.5	ตัวอย่างค่าของยีนใน segment 1	68
3.6	ตัวอย่างค่าของยีนใน segment 2	69
3.7	ตัวอย่างค่าของยีนใน segment 3	69
3.8	กระบวนการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบของปัญหาในเบื้องต้น	71
3.9	ตัวอย่างการสร้างคำตอบเบื้องต้นจำนวน 5 ประชากร	72
3.10	ตัวอย่างโครโมโซมก่อนการถอดรหัสโครโมโซม	72
3.11	ตัวอย่างการถอดรหัสโครโมโซมออกมาในรูปของโครงข่าย	73
3.12	ตัวอย่างการสร้างวงล้อรูเล็ท	79
3.13	โครโมโซมชุดใหม่ที่ผ่านการคัดเลือก	80
3.14	การจับคู่โครโมโซมและการกำหนดเป็นโครโมโซมรุ่นพ่อและแม่	81
3.15	ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์ใน segment 1	82
3.16	ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์ใน segment 2	83
3.17	ตัวอย่างผลการสลับสายพันธุ์	83

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.18	โครโมโซมทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการสลับสายพันธุ์	83
3.19	ตัวอย่างผลการกลายพันธุ์	84
3.20	โครโมโซมทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการกลายพันธุ์	85
4.1	จำนวนร้านรับซื้อของเก่าในประเทศไทยจำแนกตามภูมิภาค	89
4.2	ระบบการจัดการซากผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยโดยหน่วยงานภาครัฐ	96
4.3	ระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบ	101
4.4	รูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์	110
4.5	รูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (กรณีพิจารณากิจการรับซื้อของเก่าเข้าร่วมในระบบ)	111
4.6	ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแนวโน้มการใช้ในอนาคต	114
4.7	ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์แบบพกพาและแนวโน้มการใช้ในอนาคต	114
4.8	ระดับความสนใจวัสดุรีไซเคิลที่ได้จากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ	121
4.9	การออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวมขนาด A	123
4.10	การออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวมขนาด B	124
4.11	การออกแบบพื้นที่โรงงานรีไซเคิลขนาด A	128
4.12	การออกแบบพื้นที่โรงงานรีไซเคิลขนาด B	130
4.13	กราฟแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ (กรณี 1,000 รุ่น)	138
4.14	กราฟแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ (กรณี 10,000 รุ่น)	138
4.15	กราฟแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ (กรณี 100,000 รุ่น)	138
4.16	ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งในแผนที่	140
4.17	โครโมโซมแทนคำตอบที่เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด	141
4.18	การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์	144
4.19	การคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ร้านรับซื้อของเก่ารูปแบบเดิม	146
4.20	การคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบใหม่ในแต่ละระดับของอัตราการเรียกคืน	147
4.21	ปริมาณวัสดุเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหนึ่งเครื่อง)	148
4.22	ปริมาณวัสดุเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (คอมพิวเตอร์แบบพกพาหนึ่งเครื่อง)	149
4.23	การประมาณการปริมาณวัสดุที่คาดว่าจะได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบใหม่	150
4.24	มูลค่ารวมสุทธิของวัสดุรีไซเคิลแต่ละชนิดจากกระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบใหม่	151

บทที่ 1

บทนำ

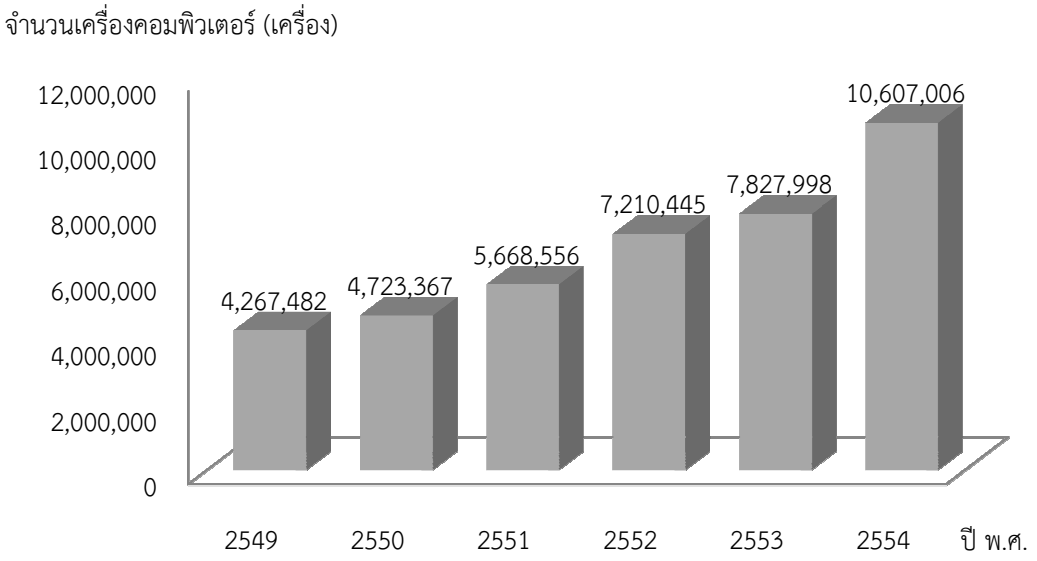
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาการจัดการขยะจากซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electric Equipment; WEEE หรือ E-waste) ที่ไม่เหมาะสมกำลังเป็นปัญหาที่กระจายไปทั่วโลก ทำให้หลายประเทศให้ความสำคัญกับปัญหานี้ ทั้งในรูปแบบของการสร้างข้อกำหนดทางด้านกฎหมาย และการรณรงค์เพื่อให้เกิดกระบวนการในการจัดการที่ดีและมีความเหมาะสม เพื่อแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยที่ซาก E-waste เหล่านี้ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องถ่ายรูป โทรทัศน์ โทรศัพท์ ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น [1] สำหรับประเทศไทยนั้นจากการศึกษาพบว่า ใน ปี พ.ศ. 2546 มีปริมาณซาก E-waste เกิดขึ้นประมาณ 58,000 ตัน ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) ได้ และส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้นั้นหากนำมารีไซเคิล (recycle) ก็สามารถที่จะรีไซเคิลได้สูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณทั้งหมด [2] แต่ปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่ก็ยังขาดการตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และยังไม่เห็นความสำคัญของการนำซาก E-waste กลับมารีไซเคิลมากนัก

สำหรับข้อมูลของซาก E-waste ที่เกิดขึ้นในหลายประเทศทั่วโลกนั้น คอมพิวเตอร์ก็เป็นส่วนหนึ่งของ E-waste ที่กลายเป็นปัญหาสำคัญ และมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตคอมพิวเตอร์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเติบโตเร็วมาก ในขณะเดียวกันเครื่องคอมพิวเตอร์ก็มีอัตราการล้าสมัยที่สูง ทำให้เกิดปริมาณซากในอัตราที่สูงเช่นกัน โดยในปี ค.ศ. 2005 พบว่า ประเทศสหรัฐอเมริกา มีปริมาณขยะจากคอมพิวเตอร์สูงถึง 250 ล้านเครื่อง [3] ในขณะที่ขยะจากซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไต้หวันมีการคาดการณ์ว่าเกิดขึ้นในแต่ละปีประมาณ 300,000 เครื่อง [4] สำหรับข้อมูลซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยนั้น จากการสำรวจปริมาณซาก E-waste เมื่อปี พ.ศ. 2546 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์ถึง 2,105 ตัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นปริมาณที่สูง นอกจากนี้ข้อมูลจากงานวิจัยตัวอย่างที่ได้มีการสำรวจและคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยพบว่าในปี พ.ศ. 2548 2553 และ 2558 จะมีปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หมดอายุการใช้งานเกิดขึ้นประมาณ 1,193,600 5,095,344 และ 14,798,809 เครื่อง ตามลำดับ [5] ซึ่งคำนวณโดยใช้อายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ปี และพิจารณาที่อัตราการเติบโตร้อยละ 20 ที่จะก่อให้เกิดขยะจากซากคอมพิวเตอร์ดังกล่าว

ส่วนข้อมูลของปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์โดยรวมของทั้งประเทศนั้น ผลจากการสำรวจข้อมูลการบริโภคภายในประเทศของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดของเสียประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในปี พ.ศ. 2550 นั้นพบว่า ปริมาณการบริโภคคอมพิวเตอร์ภายในประเทศ มีถึง 280,659.57 ตันต่อปี [6] นอกจากนี้จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ในปัจจุบันมีปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งจำนวนการใช้งานคอมพิวเตอร์ในระดับครัวเรือน

(household) และระดับสถานประกอบการ (establishment) ซึ่งสามารถแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการใช้งานคอมพิวเตอร์ในช่วงปี พ.ศ. 2549 ถึง 2554 ดังภาพประกอบ 1.1 ซึ่งปริมาณการใช้งานดังกล่าวจะก่อให้เกิดปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตเมื่อคอมพิวเตอร์เหล่านี้หมดอายุการใช้งานลงไป ดังตัวอย่างเช่น เมื่อทำการประมาณการอายุการใช้งานในเบื้องต้น โดยกำหนดอายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยที่ 5 ปี จะพบว่าในปี พ.ศ. 2559 จะเกิดปริมาณของซากคอมพิวเตอร์สูงถึง 10,607,006 เครื่อง เป็นต้น



ภาพประกอบ 1.1 ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์โดยรวมของประเทศไทย
ที่มา: ปรับจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ [7]

จากปริมาณการใช้งานที่คาดว่าจะก่อให้เกิดปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตนั้น จึงต้องมีการศึกษาแนวทางในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบ ซึ่งประเทศไทยและประเทศอื่นๆ ในทวีปเอเชีย เช่น ประเทศจีน เวียดนาม และลาว เป็นต้น ก็ยังขาดระบบสำหรับการจัดการที่ดีเพื่อการเก็บรวบรวม (collection) ซากคอมพิวเตอร์และซาก E-waste ชนิดอื่นๆ จึงทำให้เกิดปัญหาจากกระบวนการคัดแยก (sorting) และการรีไซเคิล (recycling) ซากผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ประเทศดังกล่าวข้างต้นนั้นยังเป็นแหล่งรองรับซาก E-waste จากประเทศที่พัฒนาแล้วส่งมากำจัด (disposal) ทั้งการส่งมาแบบถูกต้องตามกฎหมาย และการลักลอบส่งเข้ามาเพื่อทิ้งซาก ซึ่งเหตุผลสำคัญที่ส่งมายังเอเชียนั้นก็คือ ประเทศในเอเชียมีต้นทุนของแรงงานที่ต่ำมาก โดยพบว่าต้นทุนแรงงานในประเทศจีนนั้นเพียงแค่ 1.50 ดอลลาร์ต่อวัน แต่ในสหรัฐอเมริกาจะสูงถึง 5.50 ดอลลาร์ต่อชั่วโมง หรือ 44 ดอลลาร์ต่อวัน [3]

สำหรับปัจจุบันนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะประเทศไทย พบว่ายังขาดการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมและเป็นระบบ เนื่องจากยังไม่มีกระบวนการเชิงระบบในการเก็บรวบรวม การคัดแยก การรีไซเคิล และการกำจัดที่มีความเหมาะสม โดยรูปแบบการจัดการที่พบเห็นในปัจจุบันส่วนใหญ่นั้น จะเป็นกระบวนการถอดแยกชิ้นส่วนที่สามารถถอดแยกได้ ณ ร้านรับซื้อของเก่า ด้วย

กระบวนการที่ไม่เหมาะสม และยังทำให้ชิ้นส่วนที่ไม่สามารถถอดแยกได้ส่วนหนึ่งถูกกองทิ้งไว้ก่อให้เกิดสารพิษซึมลงสู่พื้นดิน และอีกส่วนหนึ่งก็ถูกส่งไปบดทำลายและฝังกลบ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการซึมผ่านของสารพิษลงสู่ระบบนิเวศน์เช่นเดียวกัน ทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาวิธีหนึ่งคือการส่งเสริมและผลักดันให้ผู้ผลิตมีหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และต้องมีส่วนรับผิดชอบในการรีไซเคิลของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นเพื่อลดปัญหามลพิษที่จะเกิดขึ้นจากซากผลิตภัณฑ์ดังกล่าว [8] และเนื่องจากองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์นั้นจะมีวัสดุที่เป็นสารพิษอันตรายประกอบอยู่หลายอย่าง จึงควรมีการวางแผนกระบวนการรีไซเคิล และกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องอย่างระมัดระวังเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ [9] โดยปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานรีไซเคิลซาก E-waste อยู่หลายแห่ง แต่มีบางแห่งเท่านั้นที่จดทะเบียนถูกต้องตามกฎหมาย และส่วนใหญ่ก็เป็นโรงงานที่มีการรีไซเคิลหลากหลายซากผลิตภัณฑ์รวมกัน ทำให้ชิ้นส่วนที่มีวัสดุมีค่า ดังเช่น ทอง และเงิน เป็นต้น ไม่ได้ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างสมบูรณ์ด้วยกระบวนการเฉพาะในการดึงเอาวัสดุหรือโลหะมีค่าออกจากซากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด นอกจากนี้พบว่าในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานที่รีไซเคิลเฉพาะซากคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว และระดับของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันก็ยังไม่สามารถนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาใช้ได้หมดเมื่อเทียบกับต่างประเทศที่มีโรงงานรีไซเคิลคุณภาพสูง ทำให้สูญเสียมูลค่าเพิ่มจากวัสดุของชิ้นส่วนในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้รับการรีไซเคิลแต่ถูกกำจัดไป นอกจากนี้หากมองปัญหาในระยะยาว ถ้าประเทศไทยยังไม่มีระบบเรียกคืนซากเพื่อรวบรวมสู่ศูนย์รวบรวมและนำส่งไปรีไซเคิลยังโรงงานรีไซเคิล ก็จะก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการซากชิ้นส่วนที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ที่สะสมอยู่ตามร้านรับซื้อของเก่า และปัญหาที่ตามมาจากการกำจัดโดยการฝังกลบ อีกทั้งปัญหาทางด้านมลพิษที่จะเกิดขึ้นในอนาคตข้างหน้า

ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ด้วยการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นกลไกในการนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาผ่านกระบวนการจัดการที่เหมาะสมและถูกต้องตามหลักวิชาการ และการวิเคราะห์หาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทยซึ่งเป็นโรงงานต้นแบบ จึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการช่วยลดปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยจากการกองทิ้งไว้โดยไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มจากการรีไซเคิลซากชิ้นส่วนที่ไม่ได้ถูกรีไซเคิลในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีระดับสูง อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาด้านการจัดการซากผ่านร้านรับซื้อของเก่าที่ก่อให้เกิดปริมาณชิ้นส่วนที่ไม่สามารถจัดการได้ตลอดจนการลดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษในธรรมชาติที่จะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และยังเป็นแนวทางที่สำคัญในการนำวัสดุที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลกลับคืนสู่ระบบโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับปัญหาทางด้านซากคอมพิวเตอร์ หรือในบางงานวิจัยอาจเรียกว่า ขยะคอมพิวเตอร์ หรือ คอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช้แล้ว ที่เกิดขึ้นในสังคมปัจจุบันนั้น พบว่ามีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ดังเช่น เวชพิสิฐ เอี่ยมองอาจ [10] ได้ศึกษาถึง

แนวทางการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในอนาคต ด้วยเทคนิคเดลฟาย โดยการสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 17 คน จากหน่วยงานทางด้านสิ่งแวดล้อมหรือทางด้านคอมพิวเตอร์ใน 7 ด้าน คือ แหล่งที่มา ระยะเวลากับปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ การบริการจัดเก็บ การคัดแยก การรีไซเคิล การบำบัด และการกำจัด ซึ่งผลจากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ปริมาณของขยะคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะมาจาก บริษัท ร้านตัวแทนจำหน่าย หน่วยงานภาครัฐ และบ้านเรือนของประชาชน

2) บุคลากรในการจัดการกับขยะคอมพิวเตอร์จะต้องมีความรู้และความเข้าใจทางด้านขยะคอมพิวเตอร์

3) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นผู้รับผิดชอบควรเป็นบริษัทผู้ผลิต เจ้าของ หรือผู้ใช้ขยะคอมพิวเตอร์รับผิดชอบบางส่วน และหน่วยงานรัฐเป็นผู้ดูแลควบคุม

4) วิธีการที่ใช้สำหรับจัดการกับขยะคอมพิวเตอร์จะแตกต่างจากขยะทั่วๆไป จึงต้องมีความระมัดระวังในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเพื่อความปลอดภัยต่อผู้ทำงานและสิ่งแวดล้อม

5) สิ่งสำคัญสำหรับการจัดการกับขยะคอมพิวเตอร์ต่างๆเพื่อให้เกิดความปลอดภัยนั้นคือ คู่มือการปฏิบัติงาน

โดยในขณะเดียวกัน กาญจนา ยินดี [5] ก็ได้ทำการศึกษาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการจัดการคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ไม่ใช้แล้วในประเทศไทย เพื่อแนะนำทางเลือกที่ดีที่สุดในการบริหารจัดการ ซึ่งได้ประมาณการจำนวนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในประเทศ ตัวเลขโดยประมาณของสารเคมีอันตราย ตลอดจนอายุการใช้งานโดยประมาณ และวิธีการจัดการกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ไม่ใช้แล้วในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2553 จะมีจำนวนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในประเทศถึง 14,798,809 เครื่อง ซึ่งจะมีจำนวนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หมดอายุการใช้งานถึง 8 ล้านเครื่องในปีเดียวกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากจำนวนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่จะหมดอายุในปี พ.ศ. 2553 จะพบว่ามีสารเคมีอันตรายจำนวนไม่น้อยที่กำลังจะถูกทิ้งไปกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หมดอายุนั้น ตัวอย่างเช่น ตะกั่วประมาณ 14 ล้านกิโลกรัม แคดเมียม 2 หมื่นกิโลกรัม ปรอท 4,700 กิโลกรัม โครเมียม(เฮกซะวาเลนซ์) 14,000 กิโลกรัม และ แบเรียม 68,000 กิโลกรัม เป็นต้น ซึ่งปัญหาหลักในปัจจุบันของการจัดการคือ ยังขาดระบบที่ดีพอในการจัดเก็บรวบรวมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หมดอายุก่อนที่จะนำไปรีไซเคิล จึงสรุปว่า ทางเลือกที่ดีที่สุดในการจัดการคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หมดอายุการใช้งานแล้วให้ปลอดภัยนั้นควรจะมุ่งเน้นไปยัง 5 ประเด็นสำคัญอันได้แก่ การป้องกันและการลดของเสียทั้งระดับผู้ใช้งาน ผู้ผลิต และการนำเข้า การนำคอมพิวเตอร์เก่าและชิ้นส่วนกลับมาใช้ใหม่ การจัดตั้งโปรแกรมการจัดเก็บรวบรวมและการรีไซเคิล การให้ความรู้แก่ผู้บริโภคเกี่ยวกับของเสียอันตรายจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และมีความจำเป็นในการกำหนดนโยบายของรัฐบาลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอันตรายจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หมดอายุการใช้งานแล้ว

สำหรับแนวทางแก้ไขปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ในต่างประเทศนั้น Ahluwalia and Nema [11] ได้ศึกษาตัวแบบของวงจรชีวิตที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการซากคอมพิวเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ก็ได้นำเสนอตัวแบบวงจรชีวิตของคอมพิวเตอร์ ที่จะใช้ช่วยตัดสินใจในการจัดการขยะอย่างครบวงจร และแบบจำลองนี้ก็ได้ถูกนำมาปรับใช้เป็นกรณีศึกษาของภาพจำลองซากคอมพิวเตอร์ในกรุงนิวเดลี ประเทศอินเดีย ซึ่งมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เสียจากประชากรพื้นเมืองจำนวนมาก และ

แบบจำลองยังได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายการบริหารจัดการ และช่วงเวลาของการนำมาใช้ใหม่หรือวงจรชีวิตของซากคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจ ความเสี่ยงการรับรู้ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยผลลัพธ์จากแบบจำลองของสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาความมีส่วนได้ส่วนเสีย (tradeoffs) ระหว่างค่าใช้จ่าย ความเสี่ยงจากการรับรู้ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าวงจรชีวิตที่เหมาะสมของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะจะสั้นลงถึงร้อยละ 25 สำหรับการบูรณาการนั้นสามารถใช้ประโยชน์จากการพิจารณาวงจรชีวิตของเสียที่เหมาะสมของคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการกำหนดค่าที่เหมาะสมของตำแหน่งศูนย์เพื่อการจัดการซากคอมพิวเตอร์สำหรับย่านใจกลางเมืองที่มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์เกิดขึ้นจำนวนมาก

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงปริมาณการเกิดซากคอมพิวเตอร์ ดังเช่น Yoshida et al. [12] ได้วิเคราะห์การไหลของวัสดุจากคอมพิวเตอร์ใช้แล้วในประเทศญี่ปุ่น โดยได้พัฒนาวิธีการในการลดข้อผิดพลาดในการประมาณการไหลของวัสดุจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้ว ด้วยการใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ไหลเข้าและไหลออก และลดการประมาณให้มากที่สุด โดยอัตราการไหลของข้อมูลจากการสำรวจนั้นถูกนำมาใช้ประเมินการไหลของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้วในประเทศญี่ปุ่น โดยผลการศึกษาพบว่า มีคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้วถูกทิ้งในปีงบประมาณ (ค.ศ.) 2000 และ 2001 สูงถึง 3,920,000 และ 4,880,000 เครื่อง ตามลำดับ ซึ่งประมาณสองในสามของเครื่องคอมพิวเตอร์ดังกล่าวได้มีการจำหน่ายหรือนำกลับมารีไซเคิลภายในประเทศ ส่วนที่เหลืออีกหนึ่งในสี่ส่วนถูกนำกลับมาใช้ใหม่ภายในประเทศและอีกร้อยละ 8 ได้ทำการส่งออก สำหรับปีงบประมาณ ค.ศ.2004 มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้วถูกทิ้งถึง 7,470,000 เครื่อง และมีสัดส่วนการจำหน่ายภายในประเทศและการรีไซเคิลลดลงถึงร้อยละ 37 ในขณะที่การนำมาใช้ใหม่ในประเทศและอัตราส่วนการส่งออกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 37 และร้อยละ 26 ตามลำดับ ทำให้การไหลของคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้วเพิ่มมากขึ้นจากบริษัทผลิตสู่ร้านรับซื้อของเก่า ส่งผลให้มีปริมาณการส่งออกที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนข้อมูลจาก Dwivedy and Mittal [13] ซึ่งได้ศึกษาแนวโน้มการเกิดซากคอมพิวเตอร์ในประเทศอินเดีย เพื่อการประมาณการของเสียจากคอมพิวเตอร์ในอนาคตของประเทศอินเดีย และวิเคราะห์การไหลในขั้นตอนการใช้ประโยชน์ในขั้นสุดท้าย ซึ่งได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบโลจิสติกส์ที่เสนอโดย ยางและวิลเลียมส์ เพื่อคาดการณ์แนวโน้มซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตโดยใช้ข้อมูลการกระจายตัวของอายุการใช้งานครั้งแรก และข้อมูลการขายในอดีตมาวิเคราะห์ จากการศึกษาพบว่า ในปี ค.ศ.2020 จะเกิดคอมพิวเตอร์ที่ไม่ใช้แล้วหรือล้าสมัยประมาณ 41-152 ล้านเครื่อง ปริมาณการเกิดซากคอมพิวเตอร์นี้ถูกนำไปใช้ในการประมาณการสิ้นสุดอายุการใช้งานโดยอาศัยตัวแบบในการคำนวณ แม้ว่าจากการประมาณการรีไซเคิลจะเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2025 เท่ากับ 30 ล้านเครื่อง แต่คอมพิวเตอร์มากกว่า 150 ล้านเครื่องควรจะได้รับการรีไซเคิล และยังได้นำเสนอถึงอัตราการรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้นโดยจากการประมาณการจะอยู่ในช่วงระหว่าง 60-400 ล้านเครื่องในประเทศอินเดีย ในขณะที่ Kang and Schoenung [14] ได้ทำการประมาณการไหลและโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นของระบบการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์เช่นกัน แต่เป็นการศึกษาในรัฐแคลิฟอร์เนียประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจากผลการวิจัยในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าจำนวนการรีไซเคิลของหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit; CPU) จะเพิ่มขึ้นประมาณ 8.5 ล้านหน่วยต่อปีในปี ค.ศ. 2013 แต่การรีไซเคิลของหลอดรังสีแคโทดจอภาพ (Cathode Ray Tube; CRT) จะลดลงจากปี

ค.ศ. 2004 เพราะว่ามีการเปลี่ยนจากจอแบบ CRT มาเป็นจอแบบคริสตัลเหลว (Liquid Crystal Display; LCD) โดยในปี ค.ศ. 2013 ค่าใช้จ่ายสำหรับการรีไซเคิล CPU จะสูงกว่าปี ค.ศ. 2005 ถึง 1.7 เท่า แต่สำหรับจอภาพ CRT นั้นในปี ค.ศ. 2003 ค่าใช้จ่ายเพื่อการรีไซเคิลจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย หลังจากที่รัฐแคลิฟอร์เนียประกาศห้ามการฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นการรีไซเคิลจึงกลายเป็นทางเลือกในการจัดการดังกล่าว นอกจากนี้หลังจากปี ค.ศ. 2005 รัฐแคลิฟอร์เนียจะต้องมีศูนย์ในการเรียกคืนซากผลิตภัณฑ์มากกว่า 60 แห่ง เพื่อการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์อย่างเป็นระบบ ซึ่งหมายถึงการลงทุนในเขตเมืองต่างๆของรัฐแคลิฟอร์เนียกว่า 16,000,000 ดอลลาร์สหรัฐ

ในส่วนของการรีไซเคิลนั้นก็ได้มีการวิจัยถึงวิธีการเพื่อให้เกิดการรีไซเคิลของซากคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดออกมาในรูปของกฎหมาย ดังเช่น งานวิจัยของ Lee et al. [4] ได้ศึกษาการรีไซเคิลและการกำจัดซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไต้หวัน พบว่าซากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลถูกสร้างขึ้นในประเทศไต้หวันประมาณปีละ 300,000 เครื่อง และการทำลายซากคอมพิวเตอร์จำนวนมากทำได้ยากสำหรับพื้นที่ของประเทศที่เป็นเกาะ เนื่องจากการขาดแคลนพื้นที่สร้างหลุมฝังกลบ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆในการเผาทำลาย โดยซากคอมพิวเตอร์นั้นอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมหากไม่ได้กำจัดอย่างถูกต้อง ดังนั้นประเทศไต้หวันได้ประกาศให้ผู้ผลิตรับผิดชอบในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ.1997 ภายใต้ประกาศดังกล่าวทำให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้า และผู้ขายคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ต้องมีการเรียกคืนและรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ โดยข้อกำหนดนี้ถูกประกาศใช้อย่างเป็นทางการในประเทศไต้หวัน เมื่อวันที่ 1 เดือน มิถุนายน ปี ค.ศ. 1998 ทำให้ผู้บริโภคสามารถนำเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ไม่ใช้งานแล้วไปส่งยังจุดเก็บรวบรวม และจะได้รับค่าตอบแทนจากการส่งคืนซากคอมพิวเตอร์ สำหรับผลที่ได้รับจากการรีไซเคิลนั้นก็ได้มีการวิจัยของ Lee et al. [15] ที่ได้ศึกษาถึงความสามารถทางเทคโนโลยีที่มีอยู่ในการรีไซเคิลชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ต่างๆ จากข้อมูลการรีไซเคิลที่เกิดขึ้นจริงจากโรงงานรีไซเคิลที่ตั้งอยู่ในประเทศไต้หวัน แสดงให้เห็นว่าโรงงานรีไซเคิลนี้สามารถกู้คืนวัสดุจากส่วนประกอบหลัก (เช่น CPU, power supplier, fan, IC boards, DVD drive, CD drive, hard disk, soft disk และshell casing เป็นต้น) ได้ถึงร้อยละ 94.75 โดยน้ำหนัก และจากส่วนประกอบของจอ (monitors) อีกร้อยละ 45.99 โดยน้ำหนัก

สำหรับการนำระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (reverse logistics) มาใช้ในการจัดการอุตสาหกรรมและขยะจากซากคอมพิวเตอร์นั้น Dhanda and Peters [3] ได้เสนอลำดับขั้น (hierarchy) ของการจัดทำระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โดยแสดงลำดับขั้นไว้ 5 ขั้น ดังต่อไปนี้

1) การลดทรัพยากร (resource reduction) เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการในการจัดการกับซากคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้ทรัพยากรให้น้อยลง และลดชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ให้น้อยลงด้วย

2) การใช้คอมพิวเตอร์ซ้ำ (computer reuse) เป็นการนำคอมพิวเตอร์เก่ากลับไปใช้ใหม่ ทั้งในรูปแบบของการบริจาคให้ประชาชนหรือโรงเรียน และการขายต่อในตลาดรับซื้อของมือสองต่างๆ

3) การปรับสภาพคอมพิวเตอร์ (computer refurbishing) คือการปรับสภาพคอมพิวเตอร์เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ โดยการทำความสะอาด ทดสอบ ซ่อมแซม หรือติดตั้งระบบใหม่ หากพบว่าส่วนใดไม่สามารถใช้ต่อได้ ก็จะนำไปรีไซเคิล

4) การรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ (computer recycling) เป็นขั้นตอนการทำลายเพื่อแยกโลหะ พลาสติก และกระจก ออกมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นขั้นที่มีความซับซ้อนเนื่องจากคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง มีวัสดุที่แตกต่างกันมากกว่า 1,000 ชิ้น โดยการแยกจะได้ชิ้นส่วนที่มีมูลค่ากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

5) การกำจัด (disposal) โดยรูปแบบการกำจัดได้แก่ การฝังกลบ และการเผา ซึ่งปัญหาจากขั้นตอนนี้ก็คือ การเกิดสารพิษออกมา ดังเช่นการฝังกลบก็จะเกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน จึงได้ส่งเสริมให้มีการแยกหรือรีไซเคิลก่อนการกำจัด

ซึ่งพบว่าลำดับขั้นดังกล่าวสามารถแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ Hu et al. [16] ก็ได้นำระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับมาทำการปรับใช้ โดยได้ศึกษาตัวแบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อทำการวิเคราะห์หาต้นทุนที่ต่ำที่สุดสำหรับกระบวนการในการจัดการของเสีย โดยได้ศึกษาตัวแบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับจากปัจจัยของเวลา และชนิดของของเสียในระบบ พบว่า เมื่อเวลาที่เกิดขึ้นในระบบลดลงจะทำให้ต้นทุนในการดำเนินการทั้งหมดลดลงด้วย ซึ่งจากการนำตัวแบบโลจิสติกส์ที่สร้างขึ้นมาไปประยุกต์ใช้เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ของการนำระบบนี้ไปใช้งาน ผลจากการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดต้นทุนการดำเนินการทั้งหมดลงได้ถึงร้อยละ 49 จากต้นทุนเดิมที่เกิดขึ้น

จากการศึกษาในหลายงานวิจัยข้างต้น ทั้งแนวทางในการจัดการปัญหาซากคอมพิวเตอร์ การศึกษาปริมาณการเกิดขึ้นของซากคอมพิวเตอร์ การรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ตลอดจนการนำระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับมาประยุกต์ใช้แล้วนั้น ยังพบว่า มีอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ หรือซาก E-waste ชนิดอื่นๆ นั่นคือ การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (facilities) ซึ่งมีหลักในการวิเคราะห์และคำนวณเหมือนกันระหว่างปัญหาทางด้านโลจิสติกส์ไปข้างหน้า (forward logistics) และ โลจิสติกส์ย้อนกลับ (reverse logistics) โดยตัวอย่างงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งนั้นมีดังต่อไปนี้

กรกช ภูบานเช้า [17] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าเพื่อการส่งออกสินค้าเกษตร โดยวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงตำแหน่งที่ตั้งศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด และพิจารณาความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งให้มีการใช้รถไฟในการขนส่งสินค้า ซึ่งได้คัดเลือกสินค้าที่เป็นผลผลิตหลักของภูมิภาค ได้แก่ สินค้าข้าว น้ำตาล และผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ที่มีจุดต้นทางในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับจุดปลายทางที่ท่าเรือกรุงเทพและท่าเรือแหลมฉบัง โดยใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้นในการหาที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้า ผลการศึกษาพบว่า การขนส่งโดยรถบรรทุกมีค่าใช้จ่าย 17,613.67 ล้านบาท ส่วนรูปแบบการขนส่งโดยนำสินค้ามารวมกันก่อนส่งผ่านศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าที่ตั้งในจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดนครราชสีมา มีค่าใช้จ่ายรวม 12,945.73 ล้าน

บาท ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ร้อยละ 26.50 และสามารถประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ 285.49 ล้านลิตร

ในขณะที่การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของปัญหาด้านขยะคอมพิวเตอร์นั้น โสภิดา ส่งแสง [18] ได้ศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะคอมพิวเตอร์ในภาคใต้ของประเทศไทย โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงต้นทุนรวมทั้งระบบที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทาน โดยใช้ตัวแบบโซ่อุปทาน ใน 2 ลักษณะ คือ (1) ตัวแบบคณิตศาสตร์ (mathematical model) เพื่อพิจารณาถึงการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของศูนย์รวบรวมในภาคใต้ ที่ทำให้ต้นทุนรวมในระบบโซ่อุปทานน้อยที่สุด (2) ตัวแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (computer simulation model) เพื่อพิจารณาผลที่เกิดขึ้นภายใต้แนวคิดของความไม่แน่นอนของปริมาณขยะคอมพิวเตอร์ ผลการวิจัยพบว่า กรณีเปิดศูนย์รวบรวมขนาดเล็ก ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การจัดการแบบปัจจุบัน (แบบที่1) กับการจัดการที่ควรจะเป็น (แบบที่2) พบว่า ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของศูนย์รวบรวมในเขตพื้นที่ 14 จังหวัดภาคใต้ตั้งอยู่ในพื้นที่ 12 อำเภอ ได้แก่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี อ.เมือง จ.ภูเก็ต อ.เมือง จ.ตรัง อ.เมือง จ.นราธิวาส อ.เมือง จ.กระบี่ อ.เมือง จ.ปัตตานี อ.เมือง จ.พัทลุง อ.เมือง จ.ชุมพร อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา และ อ.เมือง จ.ระนอง โดยมีต้นทุนรวมทั้งระบบเท่ากับ 61.9 ล้านบาทต่อปี และ 53.3 ล้านบาทต่อปี ตามลำดับ และกรณีเปิดศูนย์รวบรวมขนาดใหญ่ รูปแบบการจัดการแบบปัจจุบัน กับรูปแบบการจัดการที่ควรจะเป็น พบว่า ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ของ 7 อำเภอ ได้แก่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช อ.บางขัน จ.นครศรีธรรมราช อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี อ.มายอ จ.ปัตตานี อ.ท่าแซะ จ.ชุมพร และ อ.ท้ายเหมือง จ.พังงา โดยมีต้นทุนรวมทั้งระบบเท่ากับ 43.7 ล้านบาทต่อปี และ 41.2 ล้านบาทต่อปี ตามลำดับ ตัวแบบโซ่อุปทานที่พัฒนาขึ้นเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ ในภาคใต้ของประเทศไทย

นอกจากนี้การวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้ง โดยอาศัยวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นวิธีการแบบฮิวริสติคส์ (heuristics) ซึ่งถือเป็นปัญหาด้านการหาค่าที่เหมาะสม (optimization) ดังเช่น ภัทรียา ลาสุนนท์ [19] ได้ศึกษาผลเฉลยตัวแบบกำหนดการหลายระดับสำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของศูนย์กลางกระจายสินค้า โดยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์รวม ซึ่งประกอบด้วย ค่าการขนส่งสินค้า ค่าการสั่งซื้อสินค้า ค่าการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าการจัดการศูนย์กลางกระจายสินค้าต่ำที่สุด สำหรับปัญหาในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งพารามิเตอร์ของตัวแบบออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) ส่วนของโรงงานผลิตสินค้า ได้แก่ กำลังการผลิตสินค้า (2) ส่วนของศูนย์กลางกระจายสินค้า ได้แก่ ขีดความสามารถในการจัดเก็บสินค้า การเปิดและดำเนินการ การเก็บรักษาสินค้าคงคลัง การสั่งซื้อสินค้า และปริมาณสินค้าที่จุดสั่งซื้อ (3) ส่วนของลูกค้า ได้แก่ ความต้องการของลูกค้า และพบว่ากำหนดการสามระดับ (three-level programming) มีความเหมาะสมสำหรับสร้างตัวแบบปัญหานี้ ซึ่งนำไปหาผลเฉลยด้วยระเบียบวิธีทางฮิวริสติกส์ ได้แก่ ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างในการประยุกต์ใช้ขั้นตอนดังกล่าว

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตำแหน่งสถานีขนส่งสินค้าสาธารณะ สำหรับเมืองเชียงใหม่ ของ เกรียงไกร อรุโณทยานันท์ [20] ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวางแผนของสถานีขนส่งสินค้าสาธารณะโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งส่วนสำคัญในงานวางแผน คือ การวิเคราะห์จำนวน

ขนาด และตำแหน่งของสถานี โดยเป็นปัญหาด้านโลจิสติกส์ทางการขนส่ง มีเป้าหมายที่จะลดค่าใช้จ่ายโดยรวมของการขนส่งให้น้อยที่สุด ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายของสถานี (facility cost) และค่าใช้จ่ายในการเดินทางขนส่ง (transportation cost) โดยเลือกใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งมีความเหมาะสม เนื่องจากคำตอบ (จำนวนและตำแหน่ง) สามารถเขียนได้โดยตรงในรูปของรหัสโครโมโซม (chromosome) โดยเป็นตัวแปรค้นหาที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนคำนวณหาค่าสมการเป้าหมาย ในการศึกษาได้แบ่งพื้นที่ออกเป็น 153 โซน ประกอบด้วย โซนการจราจร 116 โซน ตำแหน่งสถานีที่เป็นไปได้ 18 โซน และตำแหน่งโซนสินค้า 19 โซน ผลการศึกษาพบว่า ตำแหน่งสถานีส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 11 โดยเมื่อเขตควบคุมสถานีอยู่นอกเขตแนวถนนวงแหวนรอบนอกจะมีสถานีขนส่งสินค้าหนึ่งสถานี และมีตำแหน่งสถานี 3 สถานี เมื่อเขตควบคุมสถานีอยู่นอกแนวถนนวงแหวนรอบกลาง ค่าใช้จ่ายสะสมรวมต่อปริมาณสินค้าของรูปแบบสถานีที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 350-480 บาทต่อตัน ซึ่งต่ำกว่ารูปแบบตำแหน่งสถานีอื่นจากการเลือกแบบสุ่มเท่ากับ 2-15 บาทต่อตัน โดยที่ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายของการเดินทางขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาดเล็กซึ่งเท่ากับ 315-400 บาทต่อตัน เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของการกระจายสินค้าภายในเขตเมืองของบริษัทนิ่มซี่เส็งขนส่งจำกัดซึ่งเท่ากับ 480 บาทต่อตัน ถือได้ว่ารูปแบบตำแหน่งสถานีที่ได้จากแบบจำลองให้ค่าใช้จ่ายที่สอดคล้องและอยู่ระดับราคาใกล้เคียงกับของเอกชนที่ดำเนินงานอยู่ในเมืองเชียงใหม่

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายงานวิจัยที่เป็นปัญหาทางด้านการหาค่าที่เหมาะสม และได้ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (genetic algorithms) มาแก้ปัญหาทางด้านระบบโลจิสติกส์ โดยปัญหานั้นมีระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ที่ประกอบไปด้วย ผู้จัดหาวัตถุดิบ (suppliers) โรงงาน (plants) ศูนย์กระจายสินค้า (distribution centers) และลูกค้า (customers) โดยพิจารณาว่า ผลิตภัณฑ์ควรต้องส่งไปผลิตที่โรงงานใดและควรเปิดศูนย์รวบรวมที่ใดบ้าง เพื่อให้เกิดต้นทุนทั้งระบบที่ต่ำที่สุด [21] นอกจากนี้ Chang [22] ก็ยังได้ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมมาแก้ปัญหาทางด้านโครงข่ายโซ่อุปทานโดยพบว่าการใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (mathematical programming) เมื่อมีตัวแปรจำนวนมากและเงื่อนไขบังคับที่ซับซ้อน จะใช้เวลาประมวลผลที่นานและทำให้ผลที่ได้ออกมามีประสิทธิภาพต่ำและผิดพลาดได้ง่ายในการหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด โดยพบว่าการใช้วิธีทางพันธุกรรมสามารถคำนวณตัวแปรที่มีจำนวนมาก และเงื่อนไขบังคับที่ซับซ้อนมากได้ โดยในงานวิจัยนี้ก็ได้พิจารณาโครงข่ายที่ประกอบไปด้วย ผู้จัดหาวัตถุดิบ (suppliers) ผู้ผลิต (manufacturers) ศูนย์กระจายสินค้า (distribution centers) และ ผู้ค้าปลีก (retailers) โดยทำการวิเคราะห์และพิจารณาการไหลของวัสดุและผลิตภัณฑ์กับปัญหาตัวอย่าง เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของการคำนวณหาคำตอบของปัญหาเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าที่เหมาะสมที่สุด

ส่วนการแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ พบว่า Mohammad and Moobed [23] ได้ศึกษาและพัฒนาตัวแบบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมสำหรับการตัดสินใจในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของสิ่งอำนวยความสะดวกในระบบซึ่งพิจารณาต้นทุนที่ต่ำสุดของปัญหา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้กรณีศึกษายางรถยนต์ที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว เพื่อการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมที่มีความเหมาะสมที่สุด ในขณะที่ Min et al. [24] ก็ได้ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหาโลจิสติกส์ย้อนกลับ ในการเปลี่ยนคืนผลิตภัณฑ์ (product returns) ด้วยอาศัยระบบโครงข่ายที่ประกอบไปด้วย ผู้บริโภค (consumers) จุดรวบรวม

ขั้นต้น (initial collection points) และศูนย์กลางเปลี่ยนคืนผลิตภัณฑ์ (centralized return centers) โดยพิจารณาถึงปริมาณของการนำผลิตภัณฑ์กลับมาผ่านจุดรวบรวมไปยังศูนย์กลางเปลี่ยนคืนผลิตภัณฑ์ร่วมกับระยะเวลาในการนำส่งภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cruz Rivera and Ertel [25] ที่ได้ออกแบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อการเก็บรวบรวมยานพาหนะต่างๆที่หมดอายุการใช้งานแล้วในประเทศเม็กซิโก พร้อมกับการนำเสนอรูปแบบการจัดการซากยานพาหนะในปัจจุบัน จากนั้นจึงนำเสนอตัวแบบในการวิเคราะห์เพื่อหาที่ตั้งของศูนย์รวบรวม (collection centers) ภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดเหมือนกัน

สำหรับในส่วนถัดมาจะเป็นงานวิจัยที่สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการพิจารณาแก้ไขปัญหาด้านซากคอมพิวเตอร์ โดย อินทิรา ภูมิไชยา และพินิจ ดวงจินดา [26] ได้ทำการศึกษาการทบทวนกระบวนการของโลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการกระบวนการโลจิสติกส์ในทิศทางตรงกันข้าม ที่มีเป้าหมายเพื่อนำสินค้าที่หมดสภาพ หรือไม่ใช้งานแล้ว นำกลับมาเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล นำกลับมาใช้ใหม่ การนำไปตกแต่งใหม่ และการทำลายในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โดยได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ กระบวนการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ เศรษฐศาสตร์ของโลจิสติกส์ย้อนกลับ ทั้งการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ การลดระยะทาง การลดต้นทุนเพื่อเพิ่มผลกำไร และการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน โดยผลจากการทบทวนความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ประเด็นของงานวิจัยที่ยังขาดและต้องดำเนินการสำหรับประเทศไทย คือ การนำเสนอตัวแบบของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทย แนวคิดต้นทุนรวมของกระบวนการ การประเมินการวางจุดรับคืนสินค้า แนวทางการลดต้นทุนในกระบวนการโลจิสติกส์ และการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระบบโลจิสติกส์ทั้งแบบไปข้างหน้าและย้อนกลับของคอมพิวเตอร์ และสุดท้ายต้องการงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ต้นทุนของการจัดตั้งโรงงานการรีไซเคิลในประเทศไทย

โดยในขณะเดียวกัน เมื่อพิจารณาถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านซากคอมพิวเตอร์ และรวมไปถึงซาก E-waste ชนิดอื่นๆของประเทศไทย ที่ดำเนินการโดยหน่วยงานของทางภาครัฐนั้น ได้มีการร่างยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ [27] ซึ่งรัฐบาลได้มีมติคณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 เห็นชอบต่อยุทธศาสตร์ดังกล่าว จึงได้มีการดำเนินการโครงการศึกษาต้นทุนการจัดการซาก E-waste เพื่อใช้กำหนดค่าธรรมเนียม รวมทั้งกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการจัดระบบรวบรวมหรือรับคืนผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาใช้ประกอบการพัฒนากฎระเบียบหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอันตรายต่อไป โดยได้วิเคราะห์ซากผลิตภัณฑ์ 10 ประเภทได้แก่ (1) โทรทัศน์ชนิดหลอดภาพ CRT และหลอดภาพ LCD/Plasma (2) กล้องถ่ายภาพ/วิดีโอ (3) อุปกรณ์เล่นภาพ/เสียงขนาดพกพา (4) เครื่องพิมพ์และโทรสาร (5) โทรศัพท์ (6) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (7) เครื่องปรับอากาศ (8) ตู้เย็น (9) หลอดฟลูออเรสเซนท์ และ (10) แบตเตอรี่แห้ง โดยได้ทำการศึกษาแนวทางในการรับคืนซากจากแหล่งกำเนิดผ่านช่องทางของศูนย์รับคืนซากซึ่งใช้องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศเป็นสถานที่ตั้ง ภายใต้การดำเนินงานของภาครัฐ เพื่อนำซากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปรีไซเคิลยังโรงงานรีไซเคิลที่ขึ้นทะเบียนถูกต้อง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนต่างๆในกระบวนการจัดการซาก E-waste ของประเทศไทย [6]

จากข้อมูลงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าปัญหาซากคอมพิวเตอร์เป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่ง ที่ได้มีการวิจัยและการนำเสนอข้อมูลออกมาอย่างหลากหลาย ทั้งการศึกษาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น การศึกษาถึงปริมาณการเกิดขึ้นของซากคอมพิวเตอร์ การแก้ปัญหาด้วยการประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ตลอดจนการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาด้านตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เป็นต้น โดยพบว่า ประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ คือ การศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาด้านซากคอมพิวเตอร์ โดยพิจารณาแยกออกมาเฉพาะซากคอมพิวเตอร์อย่างเดียวและไม่จัดการรวมกับซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เนื่องจากซากคอมพิวเตอร์สามารถรีไซเคิลออกมาเป็นวัสดุได้ในปริมาณมากและวัสดุที่รีไซเคิลได้มีมูลค่าสูง นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางของการแก้ไขปัญหาด้านซากคอมพิวเตอร์โดยรวมของทั้งประเทศไทย ด้วยการนำเสนอรูปแบบใหม่ของการจัดการปัญหาซากคอมพิวเตอร์ และรูปแบบดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นต้นแบบให้กับซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงสภาพปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันเพื่อการสร้างระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการจัดการในปัจจุบันนั้นไม่ได้มีการจัดการที่เป็นระบบมากนัก และที่สำคัญคือปัจจุบันยังคงมีกระบวนการคัดแยก และรีไซเคิลซากที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการอยู่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากสารพิษต่างๆ จึงนำไปสู่การออกแบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยรูปแบบใหม่ ตลอดจนการศึกษาเพื่อการประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต การประมาณการปริมาณวัสดุรีไซเคิลจากซากคอมพิวเตอร์ การศึกษาต้นทุนต่างๆในระบบ ตลอดจนการสำรวจตลาดวัสดุเพื่อรองรับวัสดุรีไซเคิล เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมซากคอมพิวเตอร์และโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ ทั้งนี้ก็เพื่อสร้างแนวทางในเบื้องต้นสำหรับการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยในอนาคตอย่างเป็นระบบต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1) เพื่อสร้างรูปแบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์อย่างเป็นระบบในประเทศไทย

2) เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมซากคอมพิวเตอร์ และโรงงานสำหรับรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ต้นแบบในประเทศไทย

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลคอมพิวเตอร์ 2 ประเภท คือ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (desktop) และแบบพกพา (notebook) จากแหล่งของการเกิดซาก 2 แหล่ง คือ ครัวเรือน และสถานประกอบการของทุกจังหวัดในประเทศไทย (ไม่รวมจังหวัดบึงกาฬ) และทำการสำรวจตลาดรองรับวัสดุรีไซเคิลเฉพาะโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศไทยเท่านั้น

2) ศึกษาการคำนวณหาจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมซากคอมพิวเตอร์ และโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนค่าที่ดิน ค่าก่อสร้าง และค่าขนส่ง สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณเท่านั้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1) เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบ และเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาระบบการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน

2) สามารถนำผลจากการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งเป็นพื้นฐานในการตัดสินใจก่อตั้งในอนาคต

3) เพื่อเป็นแนวทางในการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งซาก หรือการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

4) เพื่อเป็นต้นแบบให้กับการจัดการซาก E-waste ชนิดอื่นๆ

5) เพื่อเป็นการเชื่อมโยงระหว่างระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลด้านซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ข้อมูลทั่วไปของคอมพิวเตอร์และซากคอมพิวเตอร์ การรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ การเลือกทำเลที่ตั้ง และวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยแต่ละประเด็นข้างต้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electric Equipment; WEEE หรือ E-waste) คือ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว และไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ หรือไม่เป็นที่ต้องการ และมีความประสงค์ที่จะกำจัดทิ้ง ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ กล้องถ่ายรูป โทรทัศน์ โทรศัพท์ ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ เหล่านี้เป็นต้น โดยส่วนประกอบของอุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติเองได้และยังมีสารพิษผสมอยู่ภายในชิ้นส่วนอีกด้วย

2.1.1 สารอันตรายของ E-waste

สำหรับซากของ E-waste นั้นจะมีองค์ประกอบของสารเคมีที่เป็นพิษผสมอยู่ และเมื่อซากเหล่านี้ถูกจัดการด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม จะทำให้สารพิษที่เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในรั่วไหลออกมา ทำให้เกิดการปนเปื้อนและส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดย E-waste แต่ละชนิดไม่ว่าจะเป็น โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และเครื่องซักผ้า ก็จะมีสารพิษที่แตกต่างกันออกไปตามรายละเอียดดังตาราง 2.1

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาถึงชนิดของสารพิษในซาก E-waste อันได้แก่ ตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียม สารทำความเย็น น้ำเกลือ และสารหน่วงไฟ เป็นต้น ที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์หากสารพิษดังกล่าวมีการปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของผลกระทบได้ดังตาราง 2.2 โดยจำแนกตามชนิดของสารพิษอันตราย

ตาราง 2.1 ตัวอย่างสารอันตรายในซาก E-waste ชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบของสารอันตราย
โทรทัศน์รุ่นเก่า	มีสารตะกั่วเป็นส่วนประกอบในกรวยแก้วที่อยู่ด้านหลังจอภาพ และมีตะกั่วในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนโทรทัศน์ชนิดจอแอลซีดี จะมีปรอทในหลอดไฟที่ให้ความสว่างกับภาพ
ตู้เย็นรุ่นเก่า	มีสารทำความเย็นซึ่งเป็นสารทำลายชั้นโอโซน และฉนวนที่ทำจากโฟมซึ่งมีสารทำลายชั้นโอโซนเช่นเดียวกัน
เครื่องปรับอากาศ	มีสารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนประกอบ
คอมพิวเตอร์	มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบในจอแสดงผล และในแผงวงจร ส่วนคอมพิวเตอร์แบบพกพา จะมีปรอทในแผ่นจอแอลซีดี และนิกเกิล-แคดเมียมในแบตเตอรี่
โทรศัพท์มือถือ	มีโครเมียมเป็นส่วนประกอบในฝาครอบตะกั่วในแผงวงจร และนิกเกิล-แคดเมียมในแบตเตอรี่
เครื่องซักผ้าแบบฝาบน	มีน้ำเกลือ ซึ่งทำหน้าที่รักษาสมดุลของการทำงานของเครื่อง

ที่มา: คู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ [2]

ตาราง 2.2 อันตรายจากสารพิษในซาก E-waste ต่อร่างกายมนุษย์

ชนิดสารพิษ	ผลกระทบต่อร่างกาย
ตะกั่ว	ทำให้ปวดศีรษะ คลื่นไส้ และหากสะสมอยู่ในร่างกายอาจทำให้เกิดโรคพิษตะกั่วได้
ปรอท	เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ ปวดท้อง อาเจียน ท้องร่วง หัวใจเต้นอ่อนลง ความจำเสื่อม ทำลายสมองและไต
แคดเมียม	เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและผิวหนัง ปวดท้อง ท้องร่วง และอาเจียน
โครเมียม	เป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง หากหายใจเข้าไปจะทำให้ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และเมื่อสัมผัสจะทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนังและเป็นแผล
สารทำความเย็น	เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และระคายเคืองตา ปวดศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว หากสัมผัสจะทำให้เกิดอาการชาเหมือนน้ำแข็งกัด ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน และทำลายชั้นโอโซน
น้ำเกลือ	ระคายเคืองต่อระบบหายใจ และผิวหนัง หากสัมผัสเป็นเวลานาน ทำให้ปวดแสบปวดร้อนและแผลไหม้ และเกิดผลกระทบต่อดินและแหล่งน้ำหากไม่ผ่านการบำบัดก่อน
สารหน่วงไฟ	มีผลกระทบต่อฮอร์โมนไทรอยด์ ซึ่งส่งผลต่อการเติบโตและพัฒนาการ

ที่มา: คู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ [2]

2.1.2 แนวทางการจัดการซาก E-waste

สำหรับแนวทางของการบริหารและจัดการซาก E-waste ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันนั้น หลายประเทศได้พิจารณานำเอาหลักการหรือระเบียบที่สำคัญ ดังเช่น หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต หรือหลัก EPR หลักการสำคัญในระเบียบ WEEE หลักการสำคัญในระเบียบ RoHS และหลัก 3Rs เป็นต้น ซึ่งถือเป็นแนวทางสำคัญหลักในการนำมาประยุกต์ใช้และสร้างมาตรการสำหรับการแก้ไขปัญหา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต

หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility; EPR) เป็นแนวคิดเชิงกลยุทธ์ในการป้องกันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้รับความนิยมมากในกลุ่มสหภาพยุโรป โดยเป็นแนวคิดที่พัฒนาต่อยอดมาจากหลักทั่วไปของนโยบายและการจัดการสิ่งแวดล้อม 3 หลักการ คือ หลักการป้องกัน หลักการที่ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย และการคิดแบบครบวงจรชีวิต ซึ่งแนวคิด EPR นี้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1990 โดยได้นำเสนออย่างเป็นทางการในรายงานของ Lindhqvist และ Lidgren ที่นำเสนอตัวแบบของการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิตต่อรัฐบาลสวีเดน ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 Lindhqvist ก็ได้พัฒนาและให้คำนิยามแนวคิด EPR นี้ว่า เป็นหลักการทางนโยบายที่ขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิตไปยังช่วงต่างๆ ของวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อส่งเสริมการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์อย่างครบวงจร ทั้งนี้ในชั้นต้น การขยายความรับผิดชอบนี้มุ่งไปที่การรับคืน การรีไซเคิล และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ (อ้างอิงใน หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิตในบริบทของประเทศกำลังพัฒนา [28])

สำหรับแผนงานของหลัก EPR โดยทั่วไปมีเป้าหมายหลักสองประการคือ (1) เพื่อให้เกิดการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์และระบบของผลิตภัณฑ์ และ (2) เพื่อให้มีการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และวัสดุในผลิตภัณฑ์หลังการใช้งานผ่านการเก็บรวบรวม การบำบัด การใช้ซ้ำและการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป้าหมายทั้งสองประการนี้จะเป็นกลไกหนึ่งที่ผู้ผลิตต้องแสดงความรับผิดชอบในการบริหารจัดการกับซาก E-waste จากผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยความรับผิดชอบดังกล่าวประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1) ภาระทางกฎหมาย (liability) หมายถึง ความรับผิดชอบของผู้ผลิตต่อความสูญเสียด้านสิ่งแวดล้อมที่พิสูจน์แล้วว่าเกิดจากผลิตภัณฑ์นั้น ขอบเขตของภาระทางกฎหมายจะเป็นไปตามบทบัญญัติทางกฎหมาย และอาจจะครอบคลุมช่วงชีวิตต่างๆ ของวงจรผลิตภัณฑ์รวมถึงในช่วงการใช้งานและการทิ้งซากผลิตภัณฑ์

2) ความรับผิดชอบทางเศรษฐกิจหรือทางการเงิน (economic/financial responsibility) หมายถึง การที่ผู้ผลิตรับผิดชอบภาระต้นทุนที่เกิดจากการจัดการซากผลิตภัณฑ์ทั้งหมดหรือบางส่วน ผู้ผลิตอาจจะแสดงความรับผิดชอบในส่วนนี้โดยตรงหรือโดยอ้อม ผ่านการจ่ายค่าธรรมเนียมพิเศษเพื่อจัดการซากผลิตภัณฑ์

3) ความรับผิดชอบทางกายภาพ (physical responsibility) หมายถึง ระบบที่ผู้ผลิตเข้ามามีบทบาทในการจัดกิจกรรมทางกายภาพเพื่อจัดการซาก หรือบำบัดผลกระทบอันเกิดจากผลิตภัณฑ์

4) ความรับผิดชอบทางสารสนเทศ (informative responsibility) หมายถึง การขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต โดยกำหนดให้ผู้ผลิตต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต

2) หลักการสำคัญในระเบียบ WEEE

ระเบียบ WEEE (Waste Electrical and Electric Equipment) มีวัตถุประสงค์เพื่อวางมาตรการในการป้องกันการเพิ่มปริมาณของซาก E-waste ส่งเสริมการนำชิ้นส่วน/วัสดุกลับคืน (recovery) และการใช้ซ้ำ/การนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านระบบการรับคืน (return) และการจัดเก็บรวบรวมของผู้ผลิต และเพื่อลดความเสี่ยงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ระเบียบนี้พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักความรับผิดชอบของผู้ผลิต (principle of producer responsibility) โดยใช้วิธีกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำในการจัดการเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์และกำหนดเป้าหมายขั้นต่ำในการนำกลับคืน การใช้ซ้ำ การรีไซเคิล และใช้กลไกตลาดเป็นเครื่องมือในการบังคับให้ผู้ผลิตหากลยุทธ์ในการจัดการกับซากผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด โดยการกำหนดให้ผู้ผลิตต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการจัดการทั้งหมดค่าใช้จ่ายที่ผู้ผลิตต้องรับผิดชอบ ระเบียบนี้ครอบคลุมถึงผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 10 กลุ่ม ซึ่งรวมถึงเครื่องใช้ขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือน (large household appliances) ที่ผลิตขึ้นทั้งก่อนและหลังจากที่ระเบียบนี้จะมีผลบังคับใช้ และใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไม่เกิน 1,000 โวลต์ หรือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่เกิน 1,500 โวลต์ [29] โดยประเภทของผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 กลุ่มที่จัดเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือน (large household appliances)
2) เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือน (small household appliances)
3) อุปกรณ์ไอทีและโทรคมนาคม (IT and telecommunication equipment)
4) สินค้าอุปโภค เช่น โทรทัศน์ วิทยุ (consumer equipment)
5) อุปกรณ์ให้แสงสว่าง (lighting equipment)
6) เครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (electrical and electronic tools)
7) ของเล่นเด็ก เครื่องเล่นเพื่อความบันเทิงและเครื่องกีฬา (toys, leisure and sports equipment)
8) อุปกรณ์การแพทย์ (medical equipment)
9) เครื่องมือวัดหรือควบคุมต่างๆ (monitoring and control instruments)
10) อุปกรณ์ขายของอัตโนมัติ (automatic dispensers)

3) หลักการสำคัญในระเบียบ RoHS

ระเบียบ RoHS (Restriction of certain Hazardous Substance) หรือระเบียบจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัดการใช้สารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่ต้นเหตุ โดยจำกัดการใช้สารอันตรายบางประเภทในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การนำทรัพยากรกลับคืนและการทิ้งซากผลิตภัณฑ์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ระเบียบนี้ได้ระบุให้ใช้สารชนิดอื่นทดแทนสารอันตราย 6 ชนิด อันได้แก่ ตะกั่ว (Pb) ปรอท(Hg) แคดเมียม(Cd) โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์(Cr-VI) โพลิโบรมิเนท ไบฟีนิล (PolyBrominated Biphynyles; PBB) และ โพลิโบรมิเนท ไดฟีนิล อีเธอร์ (PolyBrominated DiphynylEthers; PBDE) โดยเริ่มมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2549 ทั้งนี้ไม่รวมชิ้นส่วนที่ใช้ สำหรับซ่อมเครื่องใช้ที่นำเข้าตลาดก่อนวันที่กฎหมายจะมีผลบังคับใช้ และมีข้อยกเว้นให้สำหรับการใช้งานสารต้องห้ามบางรายการในงานบางอย่างที่ยังไม่สามารถเลิกใช้สารต้องห้ามตามที่กำหนดได้ หรือการเลิกใช้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยมากกว่าผลดี โดยระเบียบนี้ครอบคลุมกลุ่มผลิตภัณฑ์เดียวกับระเบียบ WEEE ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่ม 8 และ 9 (อุปกรณ์การแพทย์ เครื่องมือวัดหรือควบคุมต่างๆ ตามลำดับ) เนื่องจากได้รับการยกเว้นในระยะแรก [29]

4) หลักการ 3Rs

หลักการ 3Rs หรือ 3Rs concepts เป็นหลักการที่เกิดจากการประชุมสุดยอดผู้นำกลุ่ม G8 ที่มลรัฐจอร์เจีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2547 โดยในการประชุมครั้งนั้น นายกรัฐมนตรี ประเทศญี่ปุ่นได้นำเสนอหลักการ 3Rs เพื่อช่วยส่งเสริมการผลิตและบริโภคที่ยั่งยืน (sustainable) โดยเน้นให้มีการลดของเสีย มีการใช้ซ้ำ และการนำมาใช้ใหม่ให้มากขึ้น ทั้งนี้เพื่อช่วยอนุรักษ์ และใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่ามากที่สุด

โดยองค์ประกอบของหลักการนี้ประกอบด้วย R1-Reduce คือ การลดหรือใช้น้อยเท่าที่จำเป็น R2-Reuse คือ การใช้ซ้ำ และ R3-Recycle คือ การแปรรูปมาใช้ใหม่ สำหรับการจัดการของเสียตามหลัก 3Rs หมายถึง การจัดการของเสียที่ให้ความสำคัญในการลดการเกิดของเสียให้เหลือน้อยที่สุดเป็นลำดับแรก โดยมุ่งเน้นการใช้วัตถุดิบหรือทรัพยากรการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาเมื่อเกิดของเสียแล้วต้องพยายามหาแนวทางการนำกลับไปใช้ซ้ำหรือใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุดโดยพิจารณาถึงศักยภาพการใช้ประโยชน์ของของเสียแต่ละประเภทและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เหลือของเสียที่จะต้องบำบัดหรือกำจัดในปริมาณน้อยที่สุดโดยเลือกใช้วิธีการกำจัดของเสียเป็นวิธีสุดท้าย ส่วนแนวทางการจัดการซาก E-waste โดยหลักการนี้จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [30]

1) การลด ถือเป็นการลดการบริโภคตั้งแต่แรก ไม่ซื้อฟุ่มเฟือย และหากจำเป็นควรซื้อผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยไม่มีสารอันตรายหรือมีในปริมาณต่ำ ประหยัดพลังงาน และสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ง่ายเมื่อผลิตภัณฑ์กลายเป็นซาก โดยอาจพิจารณาเลือกซื้อสินค้าที่มีฉลาก มอก. หรือฉลากเขียว หรือฉลากที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ

2) การใช้ซ้ำ เป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยอาจซ่อมแซม (repair) หรือปรับปรุงให้ทันสมัย (upgrade) โดยระมัดระวังไม่ให้สารอันตรายจากชิ้นส่วนเก่าปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

3) การรีไซเคิล ผู้รับซื้อ E-waste ไปรีไซเคิลควรพิจารณาความสามารถในการจัดการหรือรีไซเคิลอย่างถูกต้องปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และผู้ขายก็ควรพิจารณาขายให้เฉพาะผู้ประกอบการที่ขึ้นทะเบียนและได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และหากเป็น E-waste ที่ไม่มีการรับซื้อคืน ควรแยกทิ้งออกจากขยะทั่วไป เพื่อหน่วยงานท้องถิ่นนำไปกำจัดหรือรีไซเคิลอย่างถูกต้องต่อไป

2.2 ข้อมูลทั่วไปของคอมพิวเตอร์และซากคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ คือ ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่เป็นที่รู้จักและใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับครัวเรือน องค์กร หรือ สถานประกอบการต่างๆ ในปัจจุบันนี้ โดยทั่วไปแล้วเมื่อพิจารณาถึงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลก็จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนหลัก คือ จอภาพ แป้นพิมพ์ และชุดประมวลผล นอกจากนี้หากพิจารณาถึงชนิดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอาจแบ่งย่อยได้เป็น ชนิดตั้งโต๊ะ (desktop) ชนิดตั้งพื้น (tower type) และคอมพิวเตอร์แบบพกพา (notebook) ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบหลักคล้ายกัน ได้แก่ จอภาพ แผงวงจร ระบบจ่ายไฟ หน่วยความจำ หน่วยเก็บข้อมูลสำรอง และหน่วยประมวลผลกลาง

เมื่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ถูกใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่งก็จะเกิดเป็นซากของผลิตภัณฑ์ ซึ่งซากคอมพิวเตอร์จะเป็นชิ้นส่วนต่างๆของคอมพิวเตอร์ที่ไม่สามารถใช้งานได้ หรือหมดอายุจากการใช้งาน โดยรูปแบบของซากอาจจะอยู่ในรูปของสภาพเดิมเหมือนกับสภาพของเครื่องใหม่ หรือถูกแยกออกเป็นชิ้นส่วนต่างๆจากการถอดออกเพื่อซ่อมแซม หรือการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนที่เสียหาย สำหรับอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์นั้น พบว่า ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยมีอายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 2 ถึง 5 ปี โดยประมาณ ทั้งที่อายุของการใช้งานจริงอยู่ที่ประมาณ 8 ปี แต่เนื่องจากเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้คอมพิวเตอร์ตกรุ่นได้ง่ายและคอมพิวเตอร์รุ่นเก่าก็จะถูกแทนที่ด้วยคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ที่พัฒนาออกมาอย่างหลากหลาย

2.3 การรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

การรีไซเคิล คือ การจัดการวัสดุเหลือใช้ประเภทต่างๆ หรือวัสดุที่กำลังจะเป็นขยะโดยนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ เช่น การหลอมเพื่อให้เป็นวัสดุใหม่ แล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง ซึ่งวัสดุนั้นอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์เดิมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ได้

สำหรับกระบวนการการรีไซเคิล E-waste โดยทั่วไปนั้น หลังจากที่ได้มีการเก็บรวบรวมซากแล้ว ซาก E-waste ชนิดต่างๆจะถูกนำมาตรวจสอบสภาพ แยกชิ้นส่วน รีไซเคิล และกำจัดส่วนที่ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ กระบวนการในส่วนแรกจะเป็นการคัดแยก แยกชิ้นส่วน และ

แยกส่วนที่เป็นสารอันตรายออกโดยใช้แรงงานคนซึ่งจะมีขั้นตอนย่อยๆ หลายขั้นตอนโดยเริ่มจากการแยกส่วนที่อันตรายหรือมีสารพิษออกก่อน ได้แก่ สาร CFC (Chlorofluorocarbon) หรือสารทำความเย็นอื่นๆ สารปรอท สวิทช์ไฟ หมึกพิมพ์ จอ CRT จอ LCD แบตเตอรี่ และแผงวงจรไฟฟ้า (Printed Circuit Board; PCB) จากนั้นจะเป็นการแยกชิ้นส่วนที่สามารถแยกออกได้ง่าย เช่น สายเคเบิลต่างๆ สายไฟ เป็นต้น แล้วจึงจำแนกชิ้นส่วนอื่นๆ จากนั้นชิ้นส่วนต่างๆที่แยกได้ในขั้นตอนแรกจะถูกนำมาแยกเป็นชนิดของกลุ่มซากวัสดุที่จะแยกออกมา โดยแบ่งเป็นโลหะที่เป็นเหล็ก (ferrous metal) โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (non-ferrous metal) และพลาสติก ซึ่งจะใช้กระบวนการพิเศษต่างๆ ในการแยกและจัดชนิดกลุ่มดังกล่าว เช่น การใช้เครื่องมือแม่เหล็กแยกโลหะ เป็นต้น จากนั้นจะทำการดึงโลหะมีค่าหรืออโลหะชนิดที่ต้องการออกและนำส่วนที่รีไซเคิลได้เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลต่อไป เช่น โลหะชนิดที่มีส่วนประกอบของเหล็กจะถูกนำไปหลอมถลุง (smelting) เพื่อดึงโลหะที่มีค่าออก ชิ้นส่วนที่เหลืออื่นๆ หรือส่วนที่มีสารอันตราย ซึ่งไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ จะส่งไปกำจัดขั้นสุดท้ายโดยการฝังกลบหรือเผาทำลายตามความเหมาะสมต่อไป

เมื่อพิจารณาถึงการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวนั้น พบว่าคอมพิวเตอร์จะประกอบด้วยโลหะมีค่าหลายชนิด และสามารถแบ่งตามศักยภาพในการรีไซเคิลได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ระดับสูง ระดับปานกลาง ระดับต่ำ และไม่มีศักยภาพในการรีไซเคิล[2] ตามรายละเอียดดังตาราง 2.3 ในขณะเดียวกันก็ยังพบว่า การพัฒนาทางเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันทำให้ศักยภาพของการรีไซเคิลเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมไปบ้างตามระดับของเทคโนโลยีที่ถูกเลือกนำมาใช้

ตาราง 2.3 ระดับของศักยภาพในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์

กลุ่ม	ระดับของการรีไซเคิล	ตัวอย่างวัสดุองค์ประกอบ
กลุ่มที่ 1	มีศักยภาพในการรีไซเคิลที่สูงถึงร้อยละ 80 หรือมากกว่า	อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง นิกเกิล ทองคำ และเงิน
กลุ่มที่ 2	มีศักยภาพในการรีไซเคิลปานกลาง ประมาณร้อยละ 50 ถึง 80	สังกะสี อินเดียม ซิลิเนียม และโรเดียม
กลุ่มที่ 3	มีศักยภาพในการรีไซเคิลต่ำ	ตะกั่ว และพลาสติก
กลุ่มที่ 4	ไม่มีศักยภาพในการรีไซเคิล	เจอร์มาเนียม แกลเลียม แบเรียม แทนทาลัม แบริลเลียม และยูโรเดียม

ที่มา: คู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ [2]

2.4 ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ

โลจิสติกส์ย้อนกลับ (reverse logistics) หมายถึง กระบวนการหนึ่งในการจัดการทางด้านโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน การจัดการ และการควบคุมการไหลของของเสียต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเปลี่ยนคืนผลิตภัณฑ์ (product returns) การลด

วัสดุของผลิตภัณฑ์ (source reduction) การรีไซเคิล (recycling) การแทนที่ (substitution) การใช้ซ้ำ (reuse) การกำจัด (disposal) การปรับแต่งใหม่ (refurbishment) การซ่อมแซม (repair) และการนำไปผ่านการผลิตอีกครั้งหนึ่ง (remanufacturing) โดยระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น เป็นการเคลื่อนย้ายของเสีย หรือผลิตภัณฑ์ในทางตรงกันข้ามกับระบบโลจิสติกส์ไปหน้า (forward logistics) ซึ่งเป็นระบบที่รู้จักกันโดยทั่วไป

2.4.1 หลักการและความสำคัญของโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น ถือได้ว่าเป็นการกระจายย้อนกลับของวัตถุดิบ ของเสีย หรือการรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว โดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มมูลค่าหรือทำลายวัตถุดิบ ของเสีย หรือสินค้านั้นๆ แม้ว่าในปัจจุบันหลายอุตสาหกรรมยังมองว่า ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นเพียงแค่การให้บริการส่งคืนสินค้าจากผู้บริโภคไปสู่จุดจำหน่ายสินค้า ผู้ผลิตสินค้า และผู้มอบส่งวัตถุดิบ ในช่วงการประกันแก่ผู้บริโภคเพียงเท่านั้น โดยเหตุผลในการส่งคืนสินค้า มีอยู่ด้วยกันหลายเหตุผล เช่น สินค้าเสียหายเนื่องจากการขนส่ง สินค้าหมดอายุไม่สามารถขายได้ การยกเลิกจำหน่ายสินค้านั้นๆ การเปลี่ยนสินค้าใหม่ ผู้ผลิตเรียกสินค้ากลับคืน สินค้าคงคลังของผู้ค้าปลีกมีมากเกินไป การที่ผู้ค้าปลีกเลิกกิจการ หรือสินค้าไม่มีประสิทธิภาพในการทำงานตามที่ผู้ผลิตกล่าวอ้าง และสินค้าไม่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค เป็นต้น ซึ่งไม่ว่าจะด้วยเหตุผลใดๆก็ตาม ผู้ผลิตจึงต้องมีการออกแบบระบบในการจัดการขึ้นเพื่อรองรับการส่งคืนสินค้าดังกล่าว โดยระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อศักยภาพขององค์กรในหลายๆด้าน สำหรับรูปแบบของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสามารถแยกได้เป็นหลายรูปแบบแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับแหล่งต้นทางของขั้นตอนการส่งคืน เช่น จากผู้บริโภคส่งคืนให้แก่ผู้จัดจำหน่าย จากผู้ค้าปลีกส่งคืนให้แก่ผู้กระจายสินค้า จากผู้ผลิตส่งคืนให้แก่ผู้จัดหาวัตถุดิบ หรืออาจจะแบ่งตามปลายทางที่สินค้าหรือวัตถุดิบถูกส่งกลับไป เช่น การส่งคืนไปที่ผู้ขาย เพื่อนำกลับมาขายใหม่ตามตลาดระบายสินค้าหรือตลาดขายของมือสอง การนำกลับมาปรับปรุง ซ่อมแซม การนำไปบริจาค และการนำกลับไปกำจัดทิ้งหรือรีไซเคิล

2.4.2 ความแตกต่างระหว่างระบบโลจิสติกส์ไปหน้าและโลจิสติกส์ย้อนกลับ

สำหรับประเด็นความแตกต่างระหว่างระบบโลจิสติกส์ไปหน้ากับระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ สามารถสรุปประเด็นความแตกต่างได้ดังตาราง 2.4 โดยจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบดังกล่าวซึ่งเป็นการนำเสนอในภาพรวมทั้งหมด จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมากและเห็นได้อย่างชัดเจน แม้ว่าระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับจะมีรายละเอียดที่ยุ่งยากและซับซ้อนกว่า แต่ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องนำมาปรับใช้และดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในสังคมยุคปัจจุบันนี้ รวมถึงการออกแบบระบบในการดำเนินงานที่เหมาะสมกับประเทศนั้นๆ เพื่อการขับเคลื่อนให้ระบบดำเนินการต่อไปได้ จึงต้องพิจารณาและศึกษาเพิ่มเติมแยกเป็นแต่ละกรณีปัญหาไป

ตาราง 2.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระหว่างโลจิสติกส์ไปหน้ากลับโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ประเด็น	โลจิสติกส์ไปหน้า	โลจิสติกส์ย้อนกลับ
การคาดการณ์	การคาดการณ์เป็นไปได้ง่าย	การคาดการณ์เป็นไปได้ยาก
ช่องทางการขนส่ง	จากช่องทางเดียวไปยังหลายช่องทาง (จากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค)	จากหลายช่องทางไปยังช่องทางเดียว (จากผู้บริโภคไปยังผู้ผลิต)
คุณภาพของสินค้า	มีมาตรฐานเดียวกัน	มีหลายมาตรฐาน การจัดคุณภาพมีช่วงกว้าง
คุณภาพของบรรจุภัณฑ์	มีมาตรฐานเดียวกัน	บรรจุภัณฑ์ได้รับความเสียหาย หรือไม่มีบรรจุภัณฑ์
ปลายทางและเส้นทางการขนส่ง	มีทิศทางชัดเจน	มีทิศทางไม่แน่นอน
การจัดการ	มีความชัดเจน	ไม่แน่นอน
ราคา	ค่อนข้างเป็นราคาเดียวกัน	ราคาแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ
ความเร็วในการจัดส่ง	ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก	ไม่ใช่ปัจจัยหลัก
ต้นทุน	สามารถมองเห็นได้และมีระบบจัดการ	เป็นต้นทุนแฝง ยังไม่มีระบบรองรับ
การจัดการสินค้าคงคลัง	สินค้าคงคลังแน่นอน	มีความไม่แน่นอนในสินค้าคงคลังสูง
วงจรชีวิตของสินค้า	สามารถจัดการได้ง่าย	มีความซับซ้อน ยากที่จะจัดการ
การเจรจาต่อรองกับผู้เกี่ยวข้อง	เปิดเผย ตรงไปตรงมา	มีความยุ่งยาก ต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน
การทำการตลาด	ทำตามระเบียบวิธีที่รู้จักทั่วไป	มีความยุ่งยากประกอบกับปัจจัยหลายๆ ด้าน
ข้อมูลสารสนเทศ	เป็นข้อมูล Real-Time สามารถติดตามสินค้าได้ง่าย	การทำงานยากที่จะเข้าใจ

ที่มา: ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง และคณะ [31]

2.4.3 กระบวนการของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ

กระบวนการของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้แล้วกลับคืนมา และนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งเป็นการลดปัญหาปริมาณขยะและปัญหาสิ่งแวดล้อมนั้น ส่งผลให้เกิดการขนส่งย้อนกลับของสินค้าที่ถูกใช้แล้วและสินค้าที่เสียหาย โดยกระบวนการทำงานของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นจะมีความหลากหลายของกระบวนการ โดยขั้นตอนหลักที่สำคัญของกระบวนการพบว่า มีขั้นตอนอันได้แก่ การเก็บรวบรวม (collection) การตรวจสอบ (inspection) การคัดเลือกสินค้า (sort) การกำหนดปลายทาง (disposition) การนำไปผ่านกระบวนการทำงานอีก

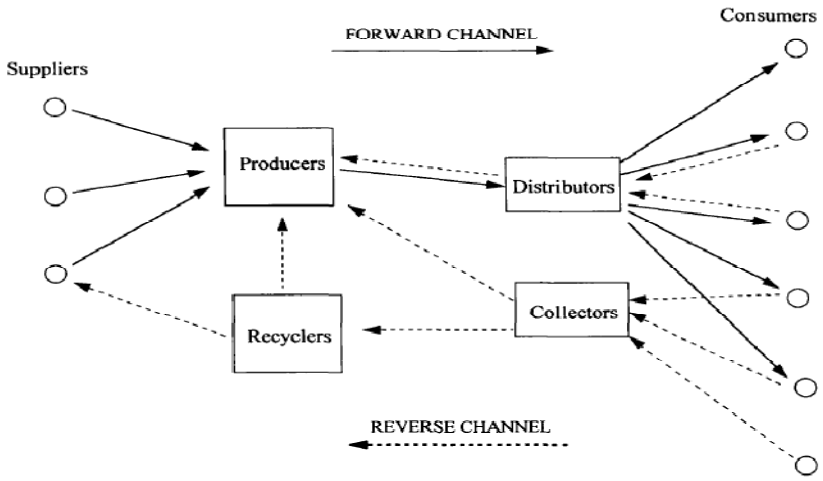
ครั้ง (re-process) และสุดท้ายการนำสินค้าเข้าตลาดอีกครั้ง (re-distribution) [31] ซึ่งสามารถสรุปได้ดังภาพประกอบ 2.1 โดยจากการศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่แยกย่อยลงไปนั้น พบว่ามีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ และลักษณะของสินค้า หรือซากผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ตลอดจนข้อจำกัดเฉพาะของการดำเนินงานในแต่ละประเทศ เป็นต้น

ภาพประกอบ 2.1 ตัวอย่างกระบวนการของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ

2.4.4 การออกแบบโครงข่ายของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ

การออกแบบทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับจะเน้นการออกแบบที่เป็นการสนับสนุนตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจ การจัดเก็บสินค้า ช่องทางการกระจายสินค้า และเทคโนโลยีที่สนับสนุนการบริหารงานโซ่อุปทาน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนที่เหมาะสมและลดค่าใช้จ่าย ตลอดจนการสนับสนุนเส้นทางการบริหารของทั้งระบบโลจิสติกส์ไปหน้าและโลจิสติกส์ย้อนกลับ

สำหรับตัวอย่างของการออกแบบโครงข่ายของการกระจายย้อนกลับ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในระบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับ ที่มีเส้นทางการไหลย้อนกลับจากผู้บริโภค (consumers) กลับไปยังผู้ผลิต (producers) โดยผ่านศูนย์กระจายสินค้า (distributors) หรือจุดรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ต่างๆ (collectors) ก่อนส่งกลับไปยังบริษัทผู้ผลิต หรือกลับเข้าสู่โรงงานผู้ประกอบกิจการรีไซเคิล (recyclers) เป็นลำดับถัดไป ดังรายละเอียดในภาพประกอบ 2.2 ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างช่องทางการกระจายแบบไปข้างหน้า (forward channel) กับ ช่องทางการกระจายแบบย้อนกลับ (reverse channel) เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างและความสัมพันธ์ของทั้งสองระบบ



ภาพประกอบ 2.2 รูปแบบโครงข่ายของการกระจายย้อนกลับของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ
ที่มา: Fleischmann et al. [32]

2.5 การเลือกทำเลที่ตั้ง

การพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดของคลังสินค้า โรงงาน หรือสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆนั้น เป็นแผนงานสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อบริษัท และธุรกิจในระยะยาว เนื่องจากการก่อสร้างต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก และทำเลที่ตั้งนั้นก็จะมีผลต่อต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนคลังสินค้า ต้นทุนการติดต่อสื่อสาร ต้นทุนค่าแรงงาน ค่าสาธารณูปโภค ค่าก่อสร้าง และค่าที่ดิน เป็นต้น ซึ่งการเลือกตำแหน่งที่ตั้งในเบื้องต้นนั้นมีความจำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขและปัจจัยที่กำหนดขึ้น สำหรับวิธีการในการพิจารณาเพื่อเลือกทำเลที่ตั้งมีวิธีการดังต่อไปนี้ [33]

1) การประเมินระดับความสำคัญของปัจจัย

วิธีการประเมินระดับความสำคัญของปัจจัย (factor rating method) วิธีนี้นั้น ใช้ในการเลือกแหล่งทำเลที่ตั้งแหล่งเดียว โดยการพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของธุรกิจนั้นและการให้น้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามลำดับความสำคัญ เพื่อนำมาใช้ในการให้คะแนนแต่ละทำเลที่ตั้งที่เลือกไว้

2) เทคนิคการหาศูนย์กลางของการขนส่ง

สำหรับเทคนิคการหาศูนย์กลางของการขนส่ง (center of gravity technique) จะใช้ในการพิจารณาเลือกศูนย์กลางของการกระจายสินค้า หรือโรงงานที่สามารถประหยัดต้นทุนค่าขนส่งรวมได้มากที่สุด โดยใช้การคำนวณเพื่อหาที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แห่งเดียวตามระยะทางและน้ำหนักของสินค้าที่ต้องขนส่ง ตามสูตรดังสมการ 2.1 ต่อไปนี้

จุดที่เป็นทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด คือ (X, Y)

$$\text{เมื่อ} \qquad X = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad , Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{2.1}$$

โดยที่ X_i , Y_i แทน จุดที่ตั้งของแหล่งลูกค้าหรือแหล่งสิ่งอำนวยความสะดวก i

W_i แทน น้ำหนักสินค้ารวมต่อปีที่จะขนไปยังแหล่งลูกค้าหรือแหล่งสิ่งอำนวยความสะดวก i

3) เทคนิคการหาระยะทางร่วมกับการขนส่ง

เทคนิคการหาระยะทางร่วมกับการขนส่ง (load-distance technique) เป็นวิธีการที่จะเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมแห่งเดียวจากหลายทำเลที่ตั้งที่เสนอขึ้นมาเป็นทางเลือก โดยการคำนวณหาระยะทางของแต่ละทำเลคูณเข้ากับอัตราการขนส่งของแต่ละทำเลที่ตั้งตามระยะทางที่วัดเป็นเส้นตรง ดังขั้นตอนต่อไปนี้

3.1) หาระยะทางระหว่างทำเลที่ตั้ง ดังสมการ 2.2

$$d_{AB} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \tag{2.2}$$

โดยที่ X_A แทน ระยะทางบนแกน X ของทำเล A

Y_A แทน ระยะทางบนแกน Y ของทำเล A

X_B แทน ระยะทางบนแกน X ของทำเล B

Y_B แทน ระยะทางบนแกน Y ของทำเล B

3.2) คำนวณหาคะแนนระยะทางร่วมกับค่าขนส่ง (LD) โดยการคูณค่าระยะทางเข้ากับปัจจัยที่จะส่งผลถึงค่าขนส่งโดยรวม เช่น อัตราค่าขนส่ง จำนวนเที่ยวหรือจำนวนหน่วยสินค้า ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ถ้ายิ่งต้องขนส่งเป็นระยะทางไกลก็จะเพิ่มขึ้น ดังสมการ 2.3

$$LD = \sum_{i=1}^{n} l_i d_i \tag{2.3}$$

โดยที่ l_i แทน อัตราค่าขนส่ง จำนวนเที่ยว หรือจำนวนหน่วยสินค้า

d_i แทน ระยะทางระหว่างทำเลแต่ละแห่ง

3.3) เลือกทำเลที่ตั้งที่มีคะแนนต่ำสุด ซึ่งความหมายว่าค่าขนส่งรวมที่ทำเลนั้นต่ำสุด

4) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของทำเลที่ตั้ง

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของทำเลที่ตั้ง (location break even analysis) เป็นวิธีการในการเลือกทำเลที่ตั้งภายใต้ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรแต่ละทำเลที่ตั้งเพื่อเลือกทำเลที่ตั้งแห่งเดียวที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำสุด ดังขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1) พิจารณาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรสำหรับแต่ละทำเลที่ตั้ง

4.2) เขียนเส้นกราฟต้นทุนของแต่ละทำเลที่ตั้ง โดยให้แกน X เป็นต้นทุน และแกน Y เป็นปริมาณการผลิตและการตลาด

4.3) เลือกทำเลที่ตั้งที่มีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด

5) การใช้ตัวแบบการขนส่ง

การวิเคราะห์จากตัวแบบการขนส่ง (transportation model) เป็นวิธีที่ใช้ในการตัดสินใจเมื่อมีแหล่งผลิตหลายแหล่ง และมีแหล่งลูกค้าหรือตลาดหลายแห่ง ตัวแบบการขนส่งจะเลือกเครือข่ายของการขนส่งระหว่างแต่ละทำเลที่ตั้งหลายแห่ง (multiple-facility network) หรืออาจใช้เลือกทำเลที่ตั้งแห่งใหม่ให้เกิดเครือข่ายของการขนส่งระหว่างแต่ละทำเลที่ตั้งที่มีอยู่แล้ว การคำนวณต้นทุนการขนส่ง และเครือข่ายการขนส่งตามวิธีการใช้ตัวแบบการขนส่งสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่ กฎของมุมซ้ายบน (northwest corner rule) วิธีคิดต้นทุนต่ำสุด (least cost method) และการประมาณของโวเกิล (Vogel's Approximation; VAM) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เบื้องต้นที่สามารถนำไปหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดด้วยวิธีสเต็ปปิงสโตน (stepping stone) หรือวิธีโมดาย (Modifined Distribution; MODI) แต่วิธีการคิดที่จะใช้ขั้นตอนน้อยที่สุดและได้ผลลัพธ์เป็นค่าขนส่งรวมที่ต่ำสุด คือ ใช้วิธีการประมาณการของโวเกิลแล้วปรับปรุงด้วยวิธีโมดาย

2.6 วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรม หรือเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms; GA) เป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ที่เรียกว่า optimum point โดยได้พัฒนาและจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจาก ทฤษฎีวิวัฒนาการ หรือ ทฤษฎีการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต โดยทฤษฎีนี้เป็นของ Charles Darwin ซึ่งจากทฤษฎีนี้ John Holland นักวิทยาศาสตร์สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ได้ทำการคิดค้นการลอกเลียนแบบขั้นตอนทางธรรมชาติของการพัฒนาสิ่งมีชีวิตขึ้นในปี ค.ศ. 1970 โดยพัฒนาขึ้นร่วมกับเพื่อนร่วมงานและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายการประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรม ซึ่งมีความหวังว่าจะเป็นการค้นพบที่มีความสำคัญทั้งกับกลไกทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต และการคิดค้นประดิษฐ์ทางวิทยาศาสตร์

2.6.1 หลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการของการหาคำตอบ (solutions) โดยประมาณของปัญหา เพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้อาจจะเป็นจุดต่ำสุด (minimum point) หรือ จุดสูงสุด (maximum point) ซึ่งมีวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการทางชีววิทยา กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เพื่อสืบทอดคุณลักษณะและพัฒนาให้เผ่าพันธุ์มีความแข็งแกร่ง หรือมีความสามารถที่จะดำรงชีวิตอยู่ ในทำนองเดียวกันเมื่อนำความคิดนี้

มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization problem) โดยเริ่มจากการสุ่มสร้างประชากรกลุ่มขึ้น ซึ่งประชากรดังกล่าวจะถูกนำเสนอข้อมูลในรูปแบบโครโมโซม (chromosome) นั่นหมายความว่า คำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจะถูกนำมาแปลงเป็นโครโมโซม เพื่อนำโครโมโซมที่ได้ไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม จากนั้นก็คำนวณหาค่าความแข็งแกร่ง หรือค่าความเหมาะสม (fitness) ของประชากรแต่ละตัวจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งเปรียบเสมือนกับดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการดำรงชีวิตอยู่ภายในสิ่งแวดล้อม จากนั้นก็เลือกสรรประชากรที่มีความแข็งแกร่งเพื่อนำมาให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป การให้ประชากรรุ่นใหม่ในกลุ่มเกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการคัดสรรมาแล้วนั้น โดยสมมุติฐานที่ว่านั้น เมื่อนำข้อมูลจากรุ่นพ่อแม่ที่มีความแข็งแกร่งมาผสมกันแล้วย่อมมีโอกาสที่จะได้รุ่นลูกที่แข็งแกร่งยิ่งขึ้น ซึ่งคล้ายกับการแลกเปลี่ยนรหัสทางพันธุกรรมของยีน (gene) ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ จากนั้นนำประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นไปแทนที่ประชากรรุ่นเดิมบางตัวหรือทุกตัวในกลุ่ม และทำขั้นตอนเหล่านี้ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ผลเฉลยที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุด

2.6.2 วิธีการและขั้นตอนของวิธีการเชิงพันธุกรรม

สำหรับวิธีการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้น จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญหลัก ซึ่งได้แก่ การออกแบบโครโมโซม การสร้างประชากรเริ่มต้น การถอดรหัสของโครโมโซม การกำหนดค่าความเหมาะสม การดำเนินการทางพันธุกรรม การกำหนดพารามิเตอร์ และการหยุดการทำงาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ

การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ (chromosome encoding) เป็นขั้นตอนการออกแบบโครโมโซมเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาจริง ที่ต้องการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยเทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรม [34] ขั้นตอนการออกแบบหรือการจำลองโครโมโซมนั้นเป็นขั้นตอนแรกและมีความสำคัญมากสำหรับเทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งการออกแบบโครโมโซมมีอยู่หลายวิธีดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1) การออกแบบโครโมโซมแบบไบนารี (binary encoding) เป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที่นำมาใช้แก้ปัญหาของวิธีการเชิงพันธุกรรม ทำให้รูปแบบโครโมโซมแบบนี้เป็นแบบธรรมดาที่สุด ซึ่งลักษณะของ binary encoding คือ ทุกตำแหน่งของยีนในโครโมโซมจะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.3

โครโมโซม A :	0	1	1	0	1	1	1	0
โครโมโซม B :	0	0	1	1	0	1	0	1

ภาพประกอบ 2.3 ตัวอย่างโครโมโซมแบบ binary encoding

1.2) การออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ (permutation encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เป็นตัวเลขทั่วไปได้ เช่น 1-1,000 หรือมากกว่า ซึ่งตัวเลขแต่ละตัวจะบอกถึงการจัดลำดับของปัญหา เช่น ปัญหาการจัดลำดับการผลิต เป็นต้น ซึ่งแต่ละโครโมโซมจะมีค่ายีนที่เหมือนกันในแต่ละโครโมโซม แต่จะมีลำดับของค่าที่ต่างกัน ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.4 โดยค่าของยีนจะมีค่าเฉพาะ 1-8 เท่านั้น

โครโมโซม A :	1	2	3	4	5	6	7	8
โครโมโซม B :	8	4	1	2	5	3	6	7

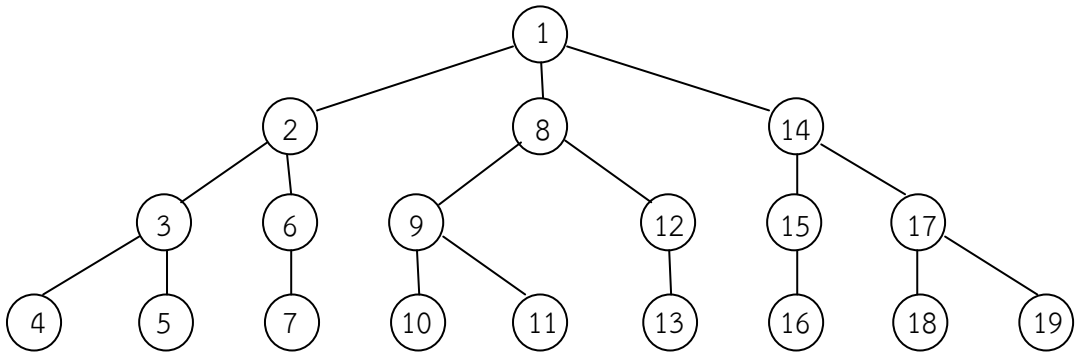
ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างโครโมโซมแบบ permutation encoding

1.3) การออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่าจริงหรือเครื่องหมายจริง (value encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เลขจำนวนจริงหรือใช้ตัวอักษรที่เป็นตัวแทนของคำตอบจริงๆ มาใช้ในการแทนค่าในโครโมโซม ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.5

โครโมโซม A :	1.5	2.4	3.1	4.4	5.9	6.3	7.1	8.6
โครโมโซม B :	A	E	I	O	U	X	Y	Z

ภาพประกอบ 2.5 ตัวอย่างโครโมโซมแบบ value encoding

1.4) การออกแบบโครโมโซมแบบผังต้นไม้ (tree encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ถูกใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับการพัฒนาโปรแกรมหรือถ้อยคำสำหรับเจเนติกอัลกอริทึม เช่น ภาษา LISP โดยรูปแบบของโครโมโซม คือ ทุกตำแหน่งของยีนจะเป็น node ของต้นไม้ ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.6 ตัวอย่างโครโมโซมแบบ tree encoding [19]

2) การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น (initial population) เป็นการสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้าสู่กระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรต้นกำเนิดที่อาจจะเกิดจากการสุ่มหรือการกระทำใดๆ เพื่อให้ได้ประชากรต้นแบบจำนวนหนึ่ง อาจใช้วิธีเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ โดยจำนวนของประชากรต้นแบบที่สร้างขึ้นมานี้เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องตั้งขึ้นมาก่อนที่จะเริ่มกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม

3) การถอดรหัสของโครโมโซม

การถอดรหัสของโครโมโซม (chromosome decoding) เป็นการถอดรหัสค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละยีนในโครโมโซม เช่น หลังจากการสร้างประชากรเบื้องต้นขึ้นมาจะทราบเพียงรหัสของแต่ละโครโมโซม ดังนั้นจึงต้องทำการถอดรหัสในแต่ละโครโมโซมให้ได้ค่าออกมาซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้ไปใช้งานต่อไป ซึ่งรูปแบบการถอดรหัสก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละปัญหาที่แตกต่างกันออกไป

4) การกำหนดค่าความเหมาะสม

การกำหนดค่าความเหมาะสม (fitness function) เป็นการหาฟังก์ชันที่ใช้ในการประเมินค่า (evaluation) ของค่าความเหมาะสม เพื่อกำหนดค่าให้กับโครโมโซมคำตอบแต่ละตัว โดยฟังก์ชันความเหมาะสมจะเป็นฟังก์ชันที่กำหนดค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม เปรียบเสมือนกับค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซมและยังเป็นฟังก์ชันที่กำหนดโอกาสหรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมจะถูกคัดเลือกด้วย จึงสรุปได้ว่า ค่าความเหมาะสม คือ ค่าที่ใช้ประเมินว่าแต่ละทางเลือก (solution) นั้น มีความเหมาะสมหรือความสามารถเพื่อใช้แก้ปัญหาได้ดีมากน้อยเพียงใด

5) ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม

ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (genetic operator) คือ ตัวดำเนินการต่างๆ เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดจากประชากรรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์ (selection)

การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม หรือการสลับสายพันธุ์ (crossover) และ การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม หรือการกลายพันธุ์ (mutation) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การคัดเลือกสายพันธุ์ (selection) เป็นการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบโดยลอกเลียนแบบวิธีการคัดเลือกทางธรรมชาติตามทฤษฎีของ Charles Darwin โดยการคัดเลือกโครโมโซมมาเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ หรือที่เรียกว่า parents ด้วยการพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบมาก สำหรับตัวอย่างของวิธีการในการคัดเลือกมีดังต่อไปนี้

1.1)การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ท (roulette wheel selection) คือ การคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดี โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อย ซึ่งโครโมโซมทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในขนาดพื้นที่ของวงล้อ คือ สัดส่วนของค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ค่าที่ดีที่สุดคือพื้นที่ส่วนที่ใหญ่ที่สุด เมื่อมีการหมุนวงล้อโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกได้มาก

1.2)การคัดเลือกแบบช่วง (ranked-based selection) คือ การคัดเลือกโครโมโซมโดยไม่ได้คิดค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกจากค่าที่เข้าสู่คำตอบโดยตรง แต่จะเรียงลำดับโครโมโซมตามค่าความเหมาะสมแล้วทำการเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยไม่สนใจประชากรตัวอื่นเลย

1.3)การคัดเลือกแบบทัวร์นาเม้นท์ (tournament selection) เป็นวิธีการที่แตกต่างจากวิธี roulette wheel selection และ ranked-based selection เนื่องจากวิธีทั้งสองจะเปรียบเทียบจากกลุ่มประชากร แต่วิธี tournament selection จะเลือกโครโมโซม เพียงส่วนหนึ่งจากประชากรทั้งหมด นำมาเปรียบเทียบค่าเข้าสู่คำตอบ (fitness values)

1.4)การคัดเลือกแบบอิลิทิสท์ (elitist selection) เป็นวิธีการเลือกที่จะทำการคัดเลือกโครโมโซมที่ให้ค่าคำตอบหรือค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด เพื่อนำไปเป็นโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ ในรุ่นต่อไปจากกลุ่มของประชากรโดยตรง ไม่ต้องมีการสุ่ม ซึ่งเป็นแนวคิดของการป้องกันคำตอบที่ดีที่สุดขาดหายไป

2) การสลับสายพันธุ์ (crossover) หรือ การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม หรืออาจเรียกว่า การครอสโอเวอร์ ซึ่งเป็นขั้นตอนของการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อแม่ หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกมาแล้ว ด้วยการพิจารณาตามอัตราความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (probability of crossover; Pc) เพื่อสร้างชุดโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมรุ่นลูก (offspring) ซึ่งอัตราการสลับสายพันธุ์ (Pc) นั้น เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการหาคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งก็คืออัตราส่วนของจำนวนโครโมโซมลูกที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละรุ่นต่อขนาดของประชากร สำหรับวิธีการในการสลับสายพันธุ์นั้นมีอยู่หลากหลายวิธีดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.1)One-Point Crossover เป็นวิธีการสลับยีนระหว่างโครโมโซมพ่อและแม่ด้วยการสุ่มตำแหน่งขึ้นมาเพียงตำแหน่งเดียว โดยโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากการสลับสายพันธุ์จะเกิด

จากการสลับกันของค่ายีนของโครโมโซมพ่อและแม่หลังจากจุดที่ถูกสุ่ม ส่วนค่าของยีนหน้าตำแหน่งที่สุ่มจะคงเดิมเหมือนกับโครโมโซมตั้งต้นของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.7

2.2)K-Point Crossover เป็นวิธีการสลับยีนระหว่างโครโมโซมพ่อและแม่ โดยการกำหนดความยาวของโครโมโซม เท่ากับ n และ จำนวนจุดตัดสายของโครโมโซมเท่ากับ k ซึ่งจะถูกสุ่มระหว่าง 1 ถึง n-1 จากนั้นจึงนำค่าของยีนระหว่างจุดตัดสายโครโมโซมมาสลับกัน ก็จะได้โครโมโซมรุ่นลูกจากการสลับค่ายีนของโครโมโซมพ่อและแม่

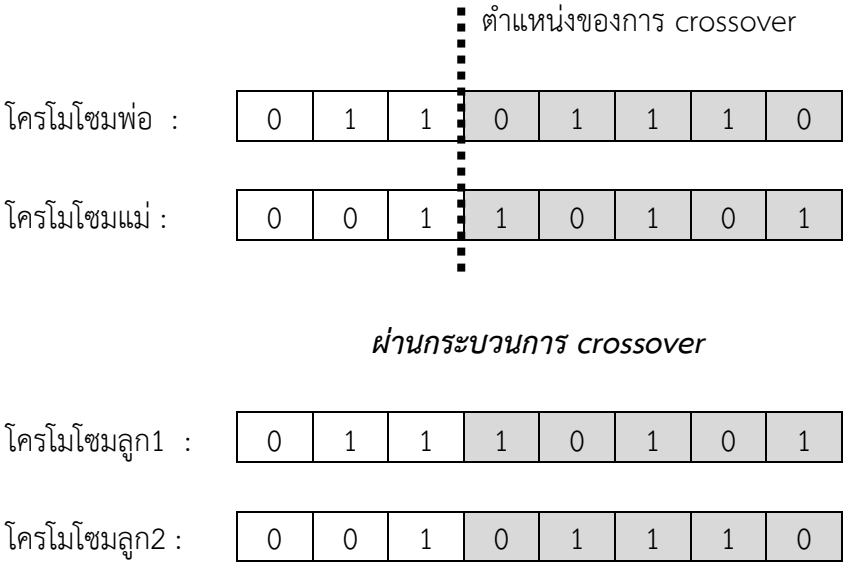
2.3)Modified One-Point Crossover เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากการสลับสายพันธุ์แบบ One-Point Crossover โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะสลับสายพันธุ์ (Xp) ขึ้นมา 1 ตำแหน่ง ส่วนหัวหรือค่าในตำแหน่งแรกจนถึง Xp-1 ของโครโมโซมลูกแต่ละตัวจะได้มาจากค่าในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมพ่อแม่ตัวหนึ่ง ส่วนหางของโครโมโซมลูก (ตำแหน่งที่ Xp+1) ขึ้นไปจะได้มาจากโครโมโซมพ่อแม่อีกตัวที่ถูกตัดงานที่ซ้ำกับงานที่มีอยู่ในส่วนหัวของโครโมโซมลูกตัวนั้นออกไปแล้ว

2.4)Partial-Mapped Crossover วิธีนี้จะเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะสลับสายพันธุ์ขึ้นมาสองตำแหน่ง โดยยีนที่อยู่ในช่วงของตำแหน่งทั้งสองจะเรียกว่า ยีนย่อย ซึ่งโครโมโซมลูกจะได้จากโครโมโซมพ่อและแม่ที่ถูกแลกเปลี่ยนยีนย่อยกัน หลังการแลกเปลี่ยนถ้างานในโครโมโซมย่อยซ้ำกับงานตัวอื่น ให้แทนงานตัวอื่นที่ซ้ำด้วยงานที่อยู่ในตำแหน่งตรงกันของโครโมโซมอีกตัว

2.5)Order Crossover วิธีการสลับสายพันธุ์แบบลำดับนี้จะคล้ายกับวิธี Partial-Mapped Crossover ตรงที่ต้องเลือกโครโมโซมย่อยอย่างสุ่มมาจากโครโมโซมพ่อแล้วคัดลอกลงไปยังโครโมโซมลูกเบื้องต้นในตำแหน่งเดียวกัน จากนั้นจึงลบงานที่ปรากฏอยู่ในโครโมโซมลูกเบื้องต้นแล้วออกจากโครโมโซมแม่ จากนั้นนำงานที่เหลือในโครโมโซมแม่มาใส่ในตำแหน่งที่ยังว่างอยู่ของโครโมโซมลูกเบื้องต้นตัวนั้นตามลำดับจากด้านซ้ายไปขวา

2.6)Cycle Crossover วิธีนี้เริ่มต้นโดยพิจารณาว่าตำแหน่งเริ่มต้นของโครโมโซมพ่อมีค่าเท่าไร หากในตำแหน่งเดียวกันนี้ของโครโมโซมแม่มีค่าไม่เท่ากัน ให้คงค่าในตำแหน่งนี้ของโครโมโซมพ่อแม่ไว้ จากนั้นหาว่าตำแหน่งใดของโครโมโซมพ่อมีค่าเท่ากับค่าในโครโมโซมแม่ในตำแหน่งที่ผ่านมา แล้วพิจารณาว่าในตำแหน่งดังกล่าวของโครโมโซมแม่มีค่าเท่ากับค่าในตำแหน่งเริ่มต้นของโครโมโซมพ่อหรือไม่ หากมีค่าไม่เท่ากันให้คงค่าของโครโมโซมพ่อแม่ในตำแหน่งดังกล่าวไว้และทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวจนพบตำแหน่งในโครโมโซมแม่ที่มีค่าเท่ากับค่าในตำแหน่งเริ่มต้นของโครโมโซมพ่อ จากนั้นให้ทำการสลับที่ระหว่างค่าในตำแหน่งที่ไม่ผ่านขั้นตอนขั้นต้นของโครโมโซมพ่อแม่

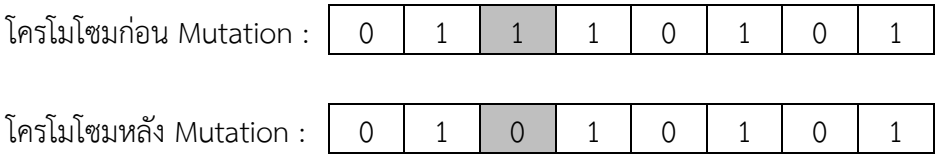
2.7)Position-Base Crossover เป็นการเลือกตำแหน่งของสลับสายพันธุ์จากโครโมโซมพ่ออย่างสุ่มแล้วนำค่าในตำแหน่งที่เลือกของโครโมโซมพ่อไปใส่ในตำแหน่งเดียวกันในโครโมโซมลูก แล้วตัดค่าที่อยู่ตรงตำแหน่งสลับสายพันธุ์ที่เลือกของโครโมโซมพ่อออกจากโครโมโซมแม่ นำค่าที่เหลืออยู่ในโครโมโซมแม่มาใส่ในโครโมโซมลูก



ภาพประกอบ 2.7 ตัวอย่างสลับสายพันธุ์แบบ One-Point Crossover

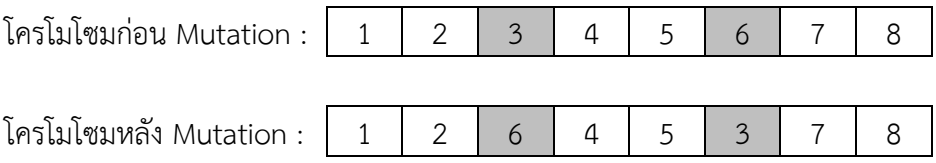
3) การกลายพันธุ์ (mutation) หรือ การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม หรืออาจเรียกว่า การมิวเตชัน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่อาจช่วยให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมดีขึ้นหลังจากผ่านการสลับสายพันธุ์มาแล้ว โดยการกลับค่าบางส่วนของโครโมโซมเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (probability of mutation; Pm) ที่ได้กำหนด ซึ่งอัตราการกลายพันธุ์ (Pm) หมายถึง ร้อยละของจำนวนยีนทั้งหมดในประชากรที่จะเกิดการกลายพันธุ์ขึ้น คำตอบที่ได้จากการกลายพันธุ์นี้จะมีเพียงหนึ่งคำตอบที่มีลักษณะบางส่วนแตกต่างไปจากลักษณะต้นแบบ วิธีการกลายพันธุ์ มีหลายวิธีดังตัวอย่างต่อไปนี้

3.1)Bit-Flipped Mutation วิธีนี้จะเป็นการกลายพันธุ์ที่ใช้กับโครโมโซมที่เป็นแบบเลขฐานสอง ซึ่งทำได้ด้วยการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชันมา 1 ตำแหน่ง แล้วทำการกลับค่าบิตเป็นค่าตรงข้ามจากเดิม โดยการเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 และ จาก 1 ไปเป็น 0 ซึ่งแสดงตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.8



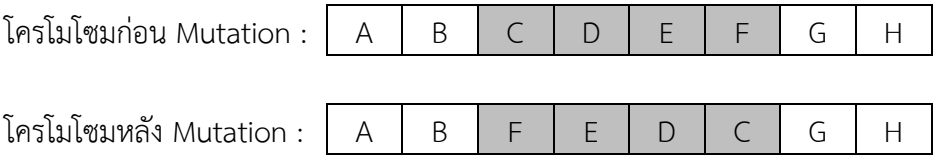
ภาพประกอบ 2.8 ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Bit-Flipped Mutation

3.2)Two-Point Swapping Mutation เป็นการกลายพันธุ์อีกวิธีหนึ่งที่เริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่จะกลายพันธุ์มา 2 ตำแหน่ง จากนั้นทำการสลับที่ตำแหน่งยีนที่สุ่มมาได้นั้นก็จะได้โครโมโซมชุดใหม่ ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Two-Point Swapping Mutation

3.3)Inversion Mutation เป็นการกลายพันธุ์โดยอาศัยการสลับตำแหน่งแบบหลังไปหน้า โดยการสุ่มเลือกยีนมาช่วงหนึ่ง แล้วทำการเรียงลำดับค่าภายในช่วงของยีนที่ถูกสุ่มมาใหม่จากหลังไปหน้า ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.10 ซึ่งช่วงของยีนที่ถูกสุ่ม คือ C-F เมื่อผ่านการกลายพันธุ์แล้วช่วงดังกล่าวจะถูกเรียงใหม่จาก F-C



ภาพประกอบ 2.10 ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Inversion Mutation

3.4)Insertion Mutation เป็นการกลายพันธุ์โดยอาศัยการเปลี่ยนตำแหน่งจากการแทรกตำแหน่ง ด้วยการสุ่มเลือกสมาชิกของยีนขึ้นมา 1 ค่า จากนั้นจึงสุ่มเลือกตำแหน่งที่ต้องการจะแทรก และทำการแทรกค่ายีนดังกล่าวลงในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.11 ซึ่งค่าของยีนที่สุ่มได้คือ 6.5 และตำแหน่งที่สุ่มได้และนำค่าไปแทนที่คือ ตำแหน่งที่ 3 ของยีน

ภาพประกอบ 2.11 ตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบ Insertion Mutation

6) การกำหนดพารามิเตอร์

การกำหนดพารามิเตอร์ (parameter definition) เป็นการกำหนดค่าต่างๆที่ต้องนำมาใช้ในกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ ขนาดของประชากร จำนวนรุ่น ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปดังต่อไปนี้

1) ขนาดของประชากร (population size) เป็นการกำหนดขนาดของประชากรที่จะนำมาใช้เป็นชุดโครโมโซมคำตอบของปัญหา ซึ่งถ้ากำหนดจำนวนประชากรน้อยการทำงานของวิธีการ

เชิงพันธุกรรมผ่านโปรแกรมสามารถทำได้รวดเร็วแต่อาจจะไม่ใกล้เคียงกับคำตอบที่แท้จริงที่ต้องการ ในทางกลับกันหากกำหนดจำนวนประชากรมากก็อาจจะส่งผลให้การทำงานช้าลงแต่คำตอบที่ได้มีค่าเข้าใกล้คำตอบที่แท้จริงสูงกว่า และหากจำนวนประชากรมากจนเกินไปก็จะทำให้การหาคำตอบช้าลงยิ่งขึ้นไป

2) จำนวนรุ่น (number of generation) เป็นการกำหนดว่ากระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรมจะต้องดำเนินการไปกี่รอบ โดยความมากน้อยของจำนวนรุ่นมีผลเหมือนกับค่าจำนวนประชากรในแต่ละรุ่น เมื่อการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมผ่านไปจนได้ครบตามจำนวนรุ่นที่ต้องการแล้ว ก็ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคำตอบออกมา และกลไกของวิธีการเชิงพันธุกรรมก็จะหยุดการทำงาน

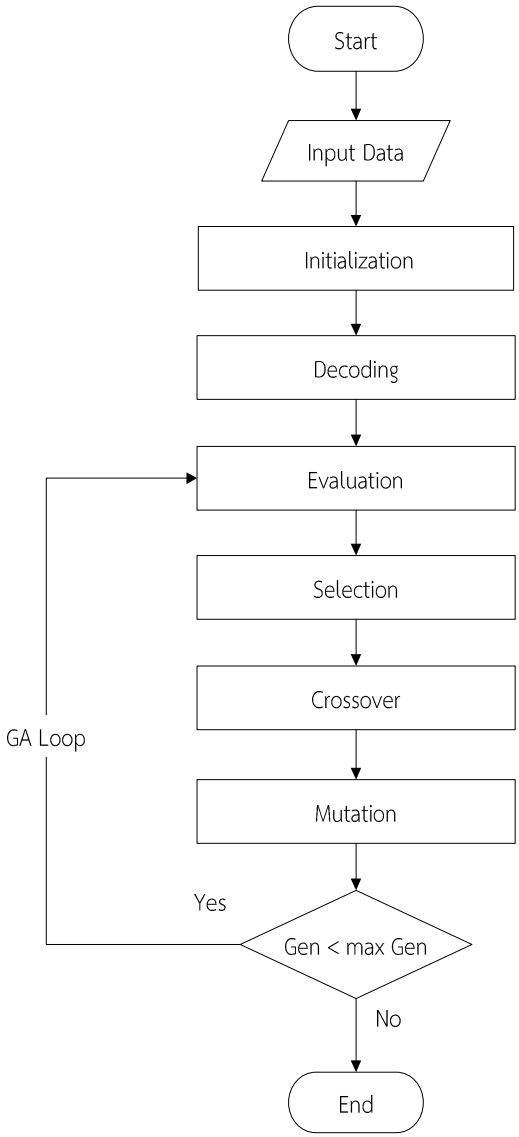
3) ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ (probability of crossover) เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-1 (เท่ากับ 0 หากไม่มีการสลับสายพันธุ์) ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 65 ถึง ร้อยละ 95 หรือ 0.65-0.95 และก็ขึ้นอยู่กับแต่ละงานวิจัยที่มีลักษณะของปัญหาที่ต่างกันออกไป

4) ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (probability of mutation) เป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-1 (เท่ากับ 0 หากไม่มีการกลายพันธุ์) ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 10 หรือ 0-0.1 แต่ก็ขึ้นอยู่กับแต่ละงานวิจัยที่มีลักษณะของปัญหาที่ต่างกันออกไปเช่นกัน

7) การหยุดการค้นหา

การหยุดการค้นหาของกลไกการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้น จะต้องมีการเขียนโปรแกรมการทำงานขึ้นมา ซึ่งกลไกจะเริ่มต้นด้วยการสุ่มจำนวนประชากรของคำตอบเริ่มต้นขึ้นมาโดยที่ตัวโปรแกรมจะต้องมีการกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นว่าให้มีกี่จำนวน การกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นจะมีผลในการหาคำตอบที่น่าพึงพอใจที่สุด กล่าวคือ ถ้ากำหนดจำนวนน้อยการทำงานของโปรแกรมจะทำได้เร็ว แต่คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใกล้เคียงกับคำตอบที่แท้จริง ในทางกลับกันถ้ากำหนดจำนวนมากโปรแกรมก็จะทำงานช้าแต่คำตอบที่ได้มีโอกาสที่จะเข้าใกล้คำตอบที่แท้จริงสูง จากนั้นต้องกำหนดจำนวนรุ่นว่าจะให้กลไกทำงานไปเรื่อย ๆ จนได้จำนวนประชากรเท่ากับที่ต้องการ ความมากน้อยของจำนวนรุ่นมีผลเหมือนกับค่าจำนวนประชากรในแต่ละรุ่น เมื่อโปรแกรมทำงานจนได้จำนวนรุ่นที่ต้องการแล้ว โปรแกรมก็เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากทั้งหมดออกมา แล้วก็จะหยุดการทำงาน

สำหรับวิธีการทำงานโดยภาพรวมของวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้น สามารถแสดงขั้นตอนการทำงานโดยสรุปได้ดังภาพประกอบ 2.12 ตามหัวข้อที่ได้อธิบายมาแล้วในส่วนก่อนหน้า โดยจะมีกระบวนการของการตัดสินใจหลังจากขั้นตอนการกลายพันธุ์ ว่าจะต้องมีการวนลูป (loop) เพื่อการหาคำตอบตามกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรมหรือการหยุดการค้นหาเมื่อครบตามเงื่อนไขที่กำหนด



ภาพประกอบ 2.12 ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของวิธีการเชิงพันธุกรรม
ที่มา: ปรับจาก ปารเมศ ชุติมา และจงกล เอี่ยมมิ [35]

2.6.4 ลักษณะเด่นของการแก้ปัญหาโดยวิธีเชิงพันธุกรรม

1) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยการเลียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต นั่นคือ มีการปรับตัวเข้าหาคำตอบที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยวิวัฒนาการสืบทอดลักษณะที่ดีจากรุ่นพ่อแม่ คำตอบที่ได้จะดีและเหมาะสมยิ่งขึ้นเรื่อยๆ

2) สามารถใช้กับปัญหาที่มีฟังก์ชันต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องได้ อีกทั้งที่มีความสลับซับซ้อน หรือปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขโดยวิธีอื่น

3) สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้มากกว่าหนึ่งค่า และสามารถค้นหาได้หลายตัวพร้อมกัน

2.6.5 วิธีการเชิงพันธุกรรมกับการแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์

ปัจจุบันวิธีการเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์อย่างหลากหลายด้วยกัน ดังเช่นปัญหาต่อไปนี้ [19]

1) การหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด (optimum location) ที่จะตั้งโรงงาน คลังสินค้า หรือ ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์รวม ที่ประกอบไปด้วย ค่าการขนส่งสินค้า ค่าการสั่งซื้อสินค้า ค่าการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และค่าการจัดการศูนย์กลางกระจายสินค้า เป็นต้น มีค่าต่ำที่สุด จึงจะทำให้ได้คำตอบที่เป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสมที่สุด

2) ปัญหาด้านการขนส่ง (transportation problem) โดยส่วนใหญ่จะเป็นการประยุกต์ใช้เพื่อการวางแผนและการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์ทางการขนส่ง ซึ่งมีเป้าหมายที่วิเคราะห์หาชนิดของการขนส่งที่เหมาะสม และเกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมของการขนส่งที่น้อยที่สุด โดยค่าใช้จ่ายนั้นจะประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายของสถานีขนส่ง (facility cost) และค่าใช้จ่ายในการเดินทางขนส่ง (transportation cost) ด้วยรถแต่ละชนิด เป็นต้น

3) ปัญหาสินค้าคงคลัง (inventory problem) ที่มีสินค้าคงคลังหลายชนิด โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถคำนวณตัวแปรที่มีจำนวนมาก และเงื่อนไขบังคับที่มีความซับซ้อนมากได้ ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับสินค้าคงคลังได้ เนื่องจากในบางอุตสาหกรรมจะมีชนิดของสินค้าคงคลังที่หลากหลายมาก และมักจะเกิดปัญหาในด้านการบริหารและการจัดการ

4) ปัญหาการวางแผนด้านโซ่อุปทาน (supply chain planning) โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาทางด้านระบบโลจิสติกส์และการวางแผนด้านโซ่อุปทานต่างๆ โดยปัญหานั้นจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบของโซ่อุปทาน เช่น ผู้จัดหาวัตถุดิบ (suppliers) โรงงาน (plants) ศูนย์กระจายสินค้า (distribution centers) และลูกค้า (customers) โดยพิจารณาว่า ผลิตภัณฑ์ควรต้องส่งไปผลิตที่โรงงานใดและควรเปิดศูนย์รวบรวมที่ใดบ้าง เพื่อให้เกิดต้นทุนทั้งระบบในโซ่อุปทานที่ต่ำที่สุด

5) ปัญหาโครงข่ายในโซ่อุปทานแบบหลายวัตถุประสงค์ (multi-level supply chain network) ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาได้ เนื่องจากสามารถคำนวณตัวแปรที่มีจำนวนมาก และเงื่อนไขบังคับที่ซับซ้อนมากได้ ในการคำนวณและหาคำตอบที่เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการกำหนดเพื่อหาคำตอบของปัญหาในหลายระดับ ซึ่งองค์ประกอบของโครงข่ายที่พิจารณาอาจประกอบไปด้วย ผู้จัดหาวัตถุดิบ โรงงานหรือผู้ผลิต ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้า เหล่านี้เป็นต้น

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยข้างต้น ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลด้านซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ข้อมูลทั่วไปของคอมพิวเตอร์และซากคอมพิวเตอร์ การรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ การเลือกทำเลที่ตั้ง และวิธีการเชิงพันธุกรรม จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์หาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย ตามขั้นตอนและระเบียบวิธีการวิจัยที่จะกล่าวในบทถัดไป

บทที่ 3

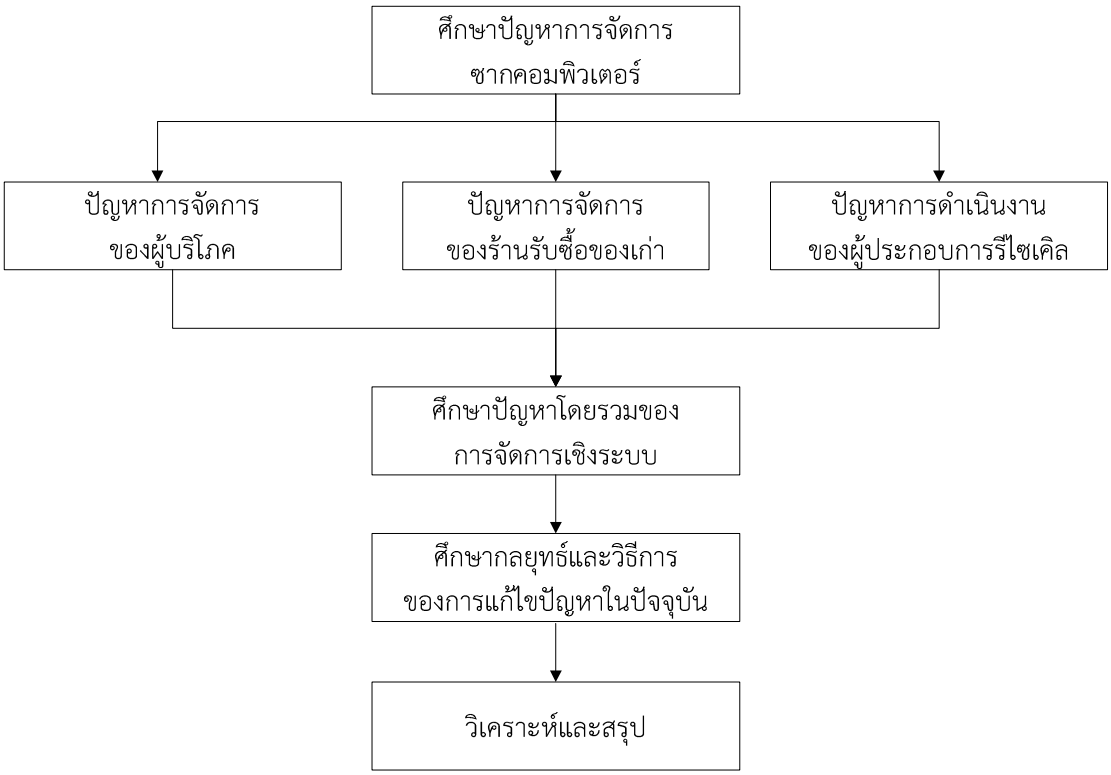
วิธีการวิจัย

การศึกษาระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เป็นประเด็นปัญหาของประเทศไทย ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ เพื่อการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ไปผ่านกระบวนการรีไซเคิลและการจัดการที่เหมาะสม โดยเริ่มจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย เพื่อนำประเด็นต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ไปสู่การออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงทำการการศึกษาข้อมูลต่างๆสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งได้ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบของตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมภายใต้ต้นทุนรวมของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่พิจารณาที่ต่ำที่สุด ตลอดจนการวิเคราะห์ความไวและการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ โดยรายละเอียดของระเบียบวิธีการวิจัยที่นำเสนอในบทนี้มีดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย

การศึกษาเพื่อการออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์สำหรับประเทศไทยนั้น เริ่มจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ภายในประเทศ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสะท้อนให้เห็นถึงสภาพปัจจุบันโดยภาพรวมที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่ออกแบบระบบสำหรับการแก้ไขปัญหา โดยการศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลทุติยภูมิ และการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ที่ได้รวบรวมข้อมูลซึ่งมีความเกี่ยวข้องและเป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการซาก E-waste ที่มุ่งเน้นด้านซากผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์เป็นหลักตามลำดับและหัวข้อของการศึกษาดังภาพประกอบ 3.1

สำหรับประเด็นสำคัญหลักในการศึกษานั้นจะเริ่มต้นจากการศึกษาปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ อันได้แก่ ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค ปัญหาการจัดการของร้านรับซื้อของเก่า และปัญหาการดำเนินการของผู้ประกอบการรีไซเคิล จากนั้นจึงศึกษาปัญหาโดยรวมของการจัดการเชิงระบบ การศึกษากลยุทธ์และวิธีการในการแก้ไขปัญหา ตลอดจนวิเคราะห์และสรุปผล มาใช้เป็นกรอบในการศึกษา



ภาพประกอบ 3.1 กรอบในการศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย

3.2 การออกแบบระบบโครงข่ายและระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่า ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (reverse logistics system) เป็นกระบวนการสำหรับการนำผลิตภัณฑ์ที่ถูกใช้แล้วหรือซาก E-waste ชนิดต่างๆกลับคืนมาเพื่อผ่านกระบวนการในการใช้ประโยชน์จากซาก E-waste ดังนั้นในการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นหนึ่งใน E-waste จึงจำเป็นต้องทำการออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ เพื่อการกำหนดองค์ประกอบและหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบในระบบที่ออกแบบขึ้น สำหรับรายละเอียดของการออกแบบมีดังต่อไปนี้

3.2.1 แนวคิดในการออกแบบโครงข่าย

สำหรับแนวคิดในการออกแบบ ซึ่งเป็นการออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ (reverse logistics network design) นั้นมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) เป็นการออกแบบระบบโครงข่ายสำหรับการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ที่คาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

2) องค์ประกอบของระบบโครงข่ายทั้งหมดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ และเป็นการนำเสนอโดยภาพรวมของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ทั้งประเทศ

3) องค์ประกอบบางส่วนที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบนี้จะพิจารณาเป็นองค์ประกอบเฉพาะสำหรับการจัดการซากคอมพิวเตอร์เท่านั้น

4) องค์ประกอบโดยรวมที่ออกแบบมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนคุณลักษณะเพื่อความสมบูรณ์ในอนาคต และสามารถนำไปปรับใช้กับการจัดการซาก E-waste ชนิดอื่นได้

นอกจากนี้ สิ่งจำเป็นที่จะศึกษาเพื่อสนับสนุนในการออกแบบคือ การศึกษาและทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยต่างๆที่มีความสอดคล้องกับปัญหานี้ ดังแสดงในตาราง 3.1 ซึ่งเป็นการนำเสนอภาพรวมของการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ชนิดของซากผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ

โดยข้อมูลจากการศึกษาในตาราง 3.1 นั้น กำหนดให้

C	แทน	Customer/Consumer/Waste Source
CP	แทน	Collecting Point/Collection Point
CC	แทน	Collection Center/Intermediate Center
RT	แทน	Return Center
D	แทน	Distributor
SS	แทน	Storage Site
DC	แทน	Disassembly Center
RF	แทน	Reuse Facilities
RRC	แทน	Repair & Refurbishing Center
RC	แทน	Remanufacturing Center
PC	แทน	Processing Center
RP	แทน	Recycling Plant/Recycler/Potential Plant
TC	แทน	Treatment Center/Disposal Facilities
M	แทน	Manufacturer/Producer
S	แทน	Supplier
PM	แทน	Primary Market
SM	แทน	Second’s Market
MM	แทน	Material Market

โดยข้อมูลในตาราง 3.1 แสดงให้เห็นว่า การกำหนดองค์ประกอบของระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและขนาดของปัญหา ชนิดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนระดับของความรับผิดชอบในการจัดการซากผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคของแต่ละแห่ง โดยพบว่ามีหลายงานวิจัยที่กำหนดให้มีจุดเก็บกลับหรือศูนย์เก็บกลับเพื่อรับคืนซากจากแหล่งกำเนิด และนำผ่านศูนย์รวบรวมเพื่อนำไปจัดการในกระบวนการถัดไป ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการขับเคลื่อนในเกิดการนำส่งซากผลิตภัณฑ์เข้าสู่ระบบการจัดการ โดยจากการศึกษาในเบื้องต้นประเทศ

ไทยก็ยังคงมีปัญหาด้านความรับผิดชอบในการนำส่งซากผลิตภัณฑ์เข้าสู่ระบบ ดังนั้นองค์ประกอบของจุดเก็บกลับหรือศูนย์เก็บกลับจึงถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้

ตาราง 3.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับการจัดการซากผลิตภัณฑ์

ผู้วิจัย	ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา	องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ																	
		C	CP	CC	RT	D	SS	DC	RF	RRC	RC	PC	RP	TC	M	S	PM	SM	MM
Fleischman et al. *(1997)* [32]	- *(model)*	*		*		*							*		*	*			
Lee et al. *(2000)* [4]	Computers	*	*				*						*						
Shih *(2001)* [36]	Home appliances & Computers		*				*	*					*	*					*
Hu et al. *(2002)* [16]	Hazardous waste	*		*		*	*		*					*					
Min et al. *(2006)* [24]	Return product	*	*		*														
Lu & Bostel *(2007)* [37]	Return product	*		*							*				*				
Wang & Yang *(2007)* [38]	E-waste		*				*						*		*				
Ahuluwalia &Newa *(2007)* [11]	Computer waste	*							*			*		*					
Lee & Dong *(2008)* [39]	Computers	*										*			*				
Srivastrava *(2008) [40]*	E-waste	*		*						*	*						*	*	
Lee et al. *(2009)* [41]	Multi-product *(model)*	*			*			*				*	*	*	*				
Rivera & Ertal *(2009)* [25]	End of-Life Vehicles	*		*															
Sonerkara & Onut *(2010)* [42]	Paper	*		*									*						

3.2.2 องค์ประกอบของโครงข่าย

สำหรับองค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้น เมื่อพิจารณาจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำเอาองค์ประกอบที่เหมาะสมกับปัญหามาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ร่วมกับการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันของไทย สามารถนำเสนอองค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับงานวิจัยนี้ โดยจะมีแหล่งของซากคอมพิวเตอร์เป็นองค์ประกอบแรก และพิจารณาจุดเก็บกลับและศูนย์เก็บกลับเข้ามาเป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบ โดยใช้ชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า จุดเรียกคืน และศูนย์เรียกคืน เพื่อให้สอดคล้องกับระบบที่จะทำการออกแบบเพื่อเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังกำหนดให้มีศูนย์รวบรวมเพื่อส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลก่อนเข้าสู่องค์ประกอบสุดท้ายคือตลาดวัสดุ ดังนั้นสามารถสรุปองค์ประกอบทั้งหมดได้ 6 องค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

1) แหล่งของซาก (source of scraps)
2) จุดเรียกคืน (callback point)
3) ศูนย์เรียกคืน (callback center)
4) ศูนย์รวบรวม (collection center)
5) โรงงานรีไซเคิล (recycling plant)
6) ตลาดวัสดุ (material market)

3.2.3 รูปแบบโครงข่ายที่นำเสนอ

สำหรับรูปแบบของโครงข่ายที่นำเสนอนั้น จะนำเสนอโครงข่ายขององค์ประกอบทั้งหมด 6 ส่วนหลัก (6 node) ที่ประกอบไปด้วย (1) แหล่งของซาก (2) จุดเรียกคืน (3) ศูนย์เรียกคืน (4) ศูนย์รวบรวม (5) โรงงานรีไซเคิล และ (6) ตลาดวัสดุ โดยใช้ลูกศรเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ แทนการเคลื่อนย้ายของซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิล ในส่วนของการกำหนดองค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งนั้น จะกำหนดองค์ประกอบที่นำมาใช้ในการคำนวณ 4 ส่วนหลักดังต่อไปนี้

1) ศูนย์เรียกคืน (callback center)
2) ศูนย์รวบรวม (collection center)
3) โรงงานรีไซเคิล (recycling plant)
4) ตลาดวัสดุ (material market)

โดยจะไม่พิจารณาสององค์ประกอบแรกในระบบโครงข่ายทั้งหมด คือ แหล่งของซากคอมพิวเตอร์ ณ จุดกำเนิด (source of scraps) และจุดเรียกคืนหรือสถานที่รับคืน (callback point) ในการคำนวณ แต่จะพิจารณาให้ศูนย์เรียกคืนเพื่อรวบรวมระดับจังหวัด (callback center) เปรียบเสมือนแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวัดแทน ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลแยกเป็นรายละเอียดย่อย และข้อมูลที่นำมาใช้จะถูกรวบรวมไว้ในระดับจังหวัด ดังเช่น ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของงานวิจัยที่พยายามศึกษา

ในภาพกว้างระดับประเทศ ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาใช้จึงเป็นข้อมูลในระดับจังหวัด ส่วนสององค์ประกอบแรกข้างต้นที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์นั้น จะนำไปใช้ในการอธิบายกลไกการทำงานของระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์เท่านั้น

3.2.4 การนำเสนอระบบใหม่ของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

สำหรับการนำเสนอระบบใหม่ของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นั้น จะเป็นการนำเสนอระบบโครงข่ายของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากแหล่งของการเกิดซากคอมพิวเตอร์ผ่านสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ก่อนนำเข้าสู่การรีไซเคิลเพื่อส่งวัสดุที่รีไซเคิลได้ไปขายยังตลาดวัสดุต่อไป โดยจะทำการวิเคราะห์กลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ที่ประกอบไปด้วยแผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ การดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ และการติดตามและประเมินผล ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมของระบบใหม่สำหรับการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ นอกจากนี้ องค์ประกอบของระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับที่นำเสนอ ยังถูกนำไปพิจารณาเพื่อกำหนดเป็นองค์ประกอบในการคำนวณต่อไป

3.2.5 การวิเคราะห์กลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

การออกแบบและการวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอแนวคิด สำหรับการสร้างและพัฒนากลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่ามีความเหมาะสมและเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งซาก หรือปัญหาการถอดแยกและการรีไซเคิลที่ยังคงขาดประสิทธิภาพ เป็นต้น โดยใช้หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต หรือ หลัก EPR หลักการสำคัญในระเบียบ WEEE หลักการสำคัญในระเบียบ RoHS และหลัก 3Rs มาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาประกอบการวิเคราะห์ โดยจะนำเสนอเป็นแนวทางในส่วนของแผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ การดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ และการติดตามและประเมินผล

3.3 การศึกษาข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง

ในขั้นตอนของการคำนวณเพื่อการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งนั้น จะทำการวิเคราะห์ภายใต้เป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ (total reverse logistics costs) ที่พิจารณาต่ำที่สุด ดังนั้นสิ่งสำคัญที่จะต้องศึกษาเพื่อการกำหนดและการประมาณค่าที่จะต้องใช้ในการคำนวณต้นทุน ได้แก่ ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต ปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ที่ตั้งและปริมาณความต้องการของตลาดวัสดุ และต้นทุนสำคัญต่างๆในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต

สำหรับการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้นั้น เป็นการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตออกมาเป็นรายจังหวัด เพื่อกำหนดเป็นแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่รวมกันของแต่ละจังหวัด ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาในประเด็นสำคัญ ได้แก่ ชนิดของคอมพิวเตอร์ที่ศึกษา อายุการใช้งานเฉลี่ย และการประมาณการซากในอนาคต ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) คอมพิวเตอร์ที่ทำการศึกษา

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาในส่วนของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ 2 ชนิดหลัก คือ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ในสองส่วนคือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในระดับครัวเรือน และคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานในระดับสถานประกอบการทั่วประเทศ

2) อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์

จากการศึกษาข้อมูลในหลายงานวิจัย ได้นำเสนออายุการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยพบว่า อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์อยู่ระหว่าง 3-5 ปี กล่าวคือ อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 4-5 ปี ส่วนคอมพิวเตอร์แบบพกพาเท่ากับ 3-4 ปี แม้ว่าอายุการใช้งานจริงของคอมพิวเตอร์จะใช้งานได้ประมาณ 8 ปีก็ตาม แต่เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีทำให้คอมพิวเตอร์ตกรุ่นได้ง่าย ซึ่งในปัจจุบันนี้พบว่าอายุการใช้งานของคอมพิวเตอร์จะลดลงเหลือเพียงแค่ 2-4 ปีก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลการใช้งานคอมพิวเตอร์ในอดีตมาประมาณการจึงกำหนดให้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ และแบบพกพา มีอายุการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 5 และ 4 ปี ตามลำดับ

3) การประมาณการซากคอมพิวเตอร์

สำหรับข้อมูลของการใช้งานคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่ได้ทำการค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้งานจากสำนักงานสถิติแห่งชาติเพื่อนำมาปรับใช้ตามสมมติฐานของงานวิจัย โดยอาศัยข้อมูลปริมาณการใช้งานในอดีตที่ผ่านมา (ปี พ.ศ.2549-2554) เพื่อนำมาใช้ประมาณการจำนวนซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต โดยในส่วนของงานวิจัยนี้ การประมาณการซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพานั้น จะทำการประมาณการโดยอาศัยสมการ 3.1 มาใช้ในการประมาณการ ซึ่งกำหนดอายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 5 ปี และแบบพกพาเท่ากับ 4 ปี ตามลำดับ

$$S_t = Q_{t-n} \qquad (3.1)$$

โดยที่ Q แทน ปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)
S แทน ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)
t แทน ปี พ.ศ. ที่พิจารณา
n แทน อายุการใช้งานเฉลี่ยของคอมพิวเตอร์ (ปี)

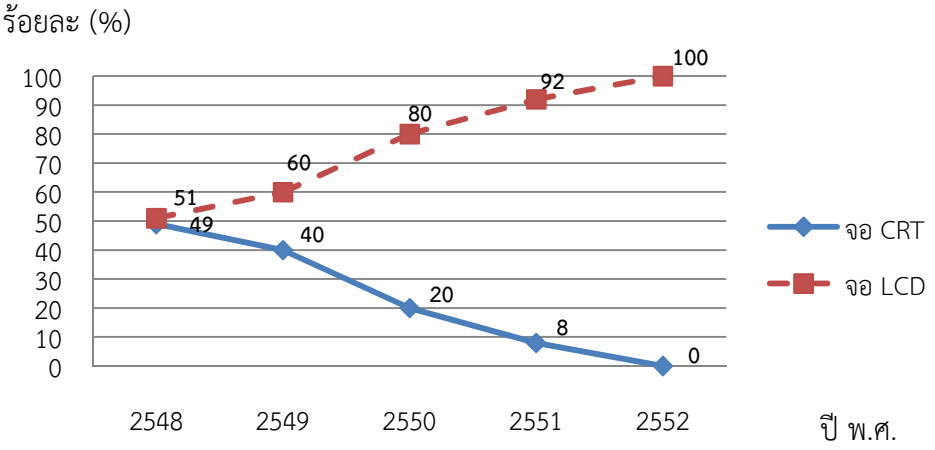
โดยสมการ 3.1 สามารถใช้ในการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ในระดับครัวเรือนและสถานประกอบการ ออกมาเป็นปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในรายจังหวัด โดยค่าที่ประมาณการได้จะถูกนำมารวมกันทั้งซากในระดับครัวเรือนและสถานประกอบการของจังหวัดนั้นๆ แล้วจึงจะแยกเป็นซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา ทั้งนี้ได้กำหนดให้ใช้ข้อมูลซากคอมพิวเตอร์ในปี พ.ศ. 2558 เพื่อการนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป โดยสมมติฐานของงานวิจัยกำหนดให้ระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นี้เกิดขึ้นในอีก 3 ปีข้างหน้านับจากปี พ.ศ. 2555 สำหรับการประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตนั้น เมื่อพิจารณาข้อมูลปริมาณการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปีย่อมแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของการใช้งานในแต่ละปีจะเป็นส่วนสนับสนุนว่า ระบบที่ออกแบบขึ้นมาจะมีปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ที่เพียงพอและเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ที่จะถูกนำมาใช้ในการขับเคลื่อนระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตต่อไป

3.3.2 การศึกษาปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิล

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาเพื่อการประมาณปริมาณวัสดุที่ได้รับจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ด้วยเทคโนโลยีที่มีศักยภาพ และสามารถรีไซเคิลออกมาเป็นวัสดุที่สามารถไปใช้ในการผลิตเป็นชิ้นส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น โดยกระบวนการรีไซเคิลนี้จะเกิดขึ้นที่โรงงานรีไซเคิลต้นแบบ และวัสดุที่รีไซเคิลได้จะถูกส่งไปจำหน่ายยังแหล่งของตลาดวัสดุที่ได้จากการสำรวจที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

จากที่กล่าวไว้ในตอนต้นแล้วว่า งานวิจัยนี้ได้ศึกษาซากคอมพิวเตอร์ 2 ชนิด คือ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา ซึ่งในส่วนของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะนั้น จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ CRT และคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ LCD สำหรับงานวิจัยนี้นั้นเป็นการศึกษาที่เกี่ยวกับการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต ประกอบกับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ CRT ในยุคปัจจุบัน จะถูกแทนที่ด้วยคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ LCD เนื่องจากเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป อีกทั้งเมื่อศึกษาเพิ่มเติมก็พบว่า ในปี พ.ศ. 2552 ได้มีการยุติการผลิตจอคอมพิวเตอร์ชนิด CRT ตามรายละเอียดสัดส่วนการผลิตจอคอมพิวเตอร์ ดังภาพประกอบ 3.2 ซึ่งศึกษาโดยสำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (SIPA) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ร่วมกับหน่วยงานพันธมิตร ได้แก่ สมาคมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศไทย (ATCI) สมาคมอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ไทย (ATSI) สมาคมส่งเสริมการส่งออกอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ไทย (TSEP) สมาคมสมองกลฝังตัวไทย (TESA) สมาคมเคเบิ้ลลิ่งไทย (Thailand Cabling Association) เขตอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ประเทศไทย (Software Park Thailand) และสมาคมอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ไทย (ATCM) จึงทำให้งานวิจัยนี้

จะพิจารณาและนำเสนอข้อมูลของปริมาณวัสดุจากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ LCD ร่วมกับคอมพิวเตอร์แบบพกพาในการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพประกอบ 3.2 สัดส่วนการผลิตหน้าจอคอมพิวเตอร์ชนิด CRT และ LCD
ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2552
ที่มา: โครงการการสำรวจตลาดเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของประเทศไทย [43]

นอกจากนี้ สิ่งสำคัญที่ต้องศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณและประมาณการปริมาณวัสดุแต่ละชนิดนั่นก็คือ องค์ประกอบของวัสดุแต่ละชนิดที่มีอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ LCD และ คอมพิวเตอร์แบบพกพา ซึ่งจากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณวัสดุสำคัญที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดสามารถแสดงรายละเอียดโดยสรุปได้ดังตาราง 3.2 ในขณะเดียวกันจะต้องพิจารณาระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิล (recycling efficiency) ซึ่งเป็นระดับเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสำหรับใช้ในการคำนวณปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ตามรายละเอียดดังตาราง 3.3 ดังนั้นปริมาณวัสดุแต่ละชนิดที่ได้จากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์นั้นสามารถคำนวณได้ดังสมการ 3.2

$$M_{it} = S_t \times f_i \times e_i \qquad (3.2)$$

โดยที่ M แทน ปริมาณวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล (กิโลกรัม)
S แทน ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)
f แทน น้ำหนักวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ (กิโลกรัมต่อเครื่อง)
e แทน ระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิลที่จะได้วัสดุออกมา (ร้อยละ)
i แทน ชนิดของวัสดุที่พิจารณา
t แทน ปี พ.ศ. ที่พิจารณา

ตาราง 3.2 องค์ประกอบของวัสดุสำคัญหลักในเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง

ชนิดวัสดุ	น้ำหนักวัสดุแบ่งตามชนิด (กิโลกรัม/เครื่อง)	
	[1]แบบตั้งโต๊ะชนิดจอ LCD	[2]แบบพกพา
พลาสติก (Plastics)	2.43	1.22
เหล็ก (Iron)	8.58	0.87
อลูมิเนียม (Aluminum)	0.57	0.51
ทองแดง (Copper)	0.67	0.27
ตะกั่ว (Lead)	0.043	0.0061
ดีบุก (Tin)	0.071	0.0093
เงิน (Silver)	0.0014	0.0014
ทอง (Gold)	0.00036	0.00036
อื่นๆ (Others)	2.02	0.89

ที่มา: ปรับจาก [1] Management of Electronic Waste in The United States [44]
[2] Deng L. et al [45]

ตาราง 3.3 ระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์

ชนิดวัสดุ	ร้อยละของระดับประสิทธิภาพ การรีไซเคิล (recycling efficiency)
พลาสติก	20
เหล็ก	80
อลูมิเนียม	80
ทองแดง	90
ตะกั่ว	5
ดีบุก	70
เงิน	98
ทอง	99

ที่มา: ปรับจาก E-waste Management Manual [46]

3.3.3 การสำรวจตลาดวัสดุ

เป้าหมายของการศึกษาในส่วนนี้คือ ต้องการทราบข้อมูลที่ตั้งและความต้องการวัสดุแต่ละชนิด สำหรับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อเป็นการสำรวจในเบื้องต้นถึงแหล่งสำหรับรองรับวัสดุรีไซเคิลที่คาดว่าจะได้รับจากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบในอนาคต

โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในเรื่องของการศึกษาระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ และมีวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมโยงระบบเข้าสู่ต้นน้ำในห่วงโซ่อุปทานของการผลิตคอมพิวเตอร์ภายในประเทศ ดังนั้นแหล่งตลาดที่จะพิจารณาก็คือ โรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยกำหนดเป็นแหล่งตลาดเป้าหมายในการศึกษาและการสำรวจ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสำรวจที่ตั้ง ปริมาณความต้องการของตลาด และระดับความสนใจวัสดุรีไซเคิลด้วยแบบสอบถาม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) แหล่งที่ตั้งของตลาดวัสดุ

ทำการสำรวจตลาดโดยอาศัยการสืบค้นจากฐานข้อมูลกรมโรงงาน ประจำปี พ.ศ.2554 ที่ได้จำแนกตามกฎกระทรวง (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 สำหรับโรงงานที่มีกิจกรรมหนึ่งเป็นการผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นโรงงานประเภท 69 ซึ่งผลการสำรวจพบว่า ปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีโรงงานประกอบกิจการที่มีการผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ และสอดคล้องกับลักษณะที่งานวิจัยนี้กำหนดจำนวน 99 โรง ซึ่งระบุประเภทของกิจการว่า ผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับแหล่งที่ตั้งของโรงงานต่างๆที่ได้จากการสำรวจนั้นพบว่า ตั้งอยู่ใน 16 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ชลบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ นครราชสีมา ระยอง กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ลพบุรี ปราจีนบุรี สระบุรี ฉะเชิงเทรา ลำพูน สุพรรณบุรี นครปฐม และเพชรบุรี ซึ่งจะต้องสำรวจในลำดับถัดไป โดยที่กระบวนการสำรวจแหล่งตลาดด้วยแบบสอบถามนั้นสามารถสรุปได้ดังภาพประกอบ 3.3 ซึ่งมีโรงงานที่ตอบรับแบบสอบถามในขั้นต้นจำนวน 38 โรง

2) ลักษณะของแบบสอบถาม

งานวิจัยนี้จะอาศัยการสำรวจข้อมูลความต้องการวัสดุโดยใช้แบบสอบถาม เพื่อเก็บข้อมูลจากโรงงานต่างๆ ที่เป็นตลาดรองรับวัสดุดังกล่าวข้างต้น ซึ่งแบบสอบถามมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

1) วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม

แบบสอบถามมีวัตถุประสงค์สำคัญ 2 ประการ คือ (1) เพื่อทราบความต้องการวัสดุ/ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุชนิดต่างๆในการผลิตชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการคาดการณ์ความต้องการในอนาคต (2) เพื่อนำไปวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลที่ความเหมาะสม

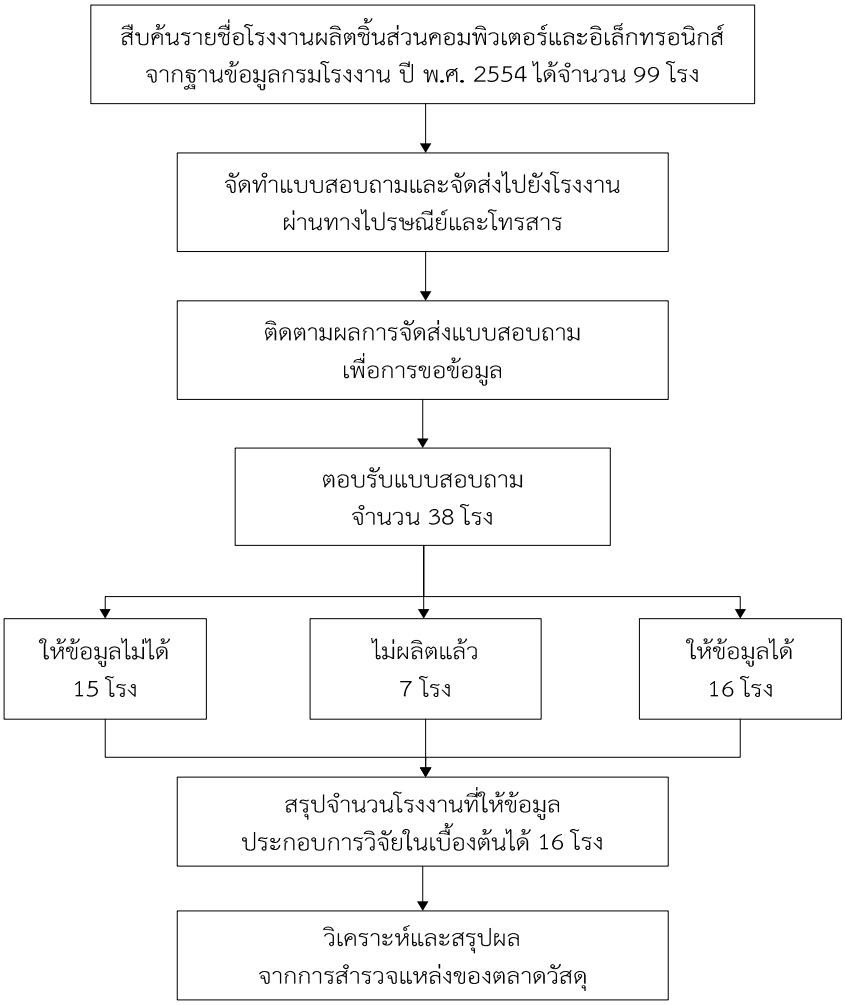
2) องค์ประกอบของแบบสอบถาม

แบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจความต้องการวัสดุนั้น จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ข้อมูลทั่วไป (ส่วนที่ 1) ได้แก่ ชื่อบริษัท/โรงงาน/สถานประกอบการ ที่ตั้ง ข้อมูลติดต่อ หน่วยงานหรือแผนกที่ให้ข้อมูล และชื่อผู้ให้ข้อมูล และ ข้อมูลความต้องการวัสดุ (ส่วนที่ 2) โดยให้โรงงานระบุปริมาณความต้องการวัสดุเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อปี) แหล่งและสถานที่จัดซื้อ ตามรายการวัสดุที่จำแนกออกเป็นชนิด นอกจากนี้ยังสอบถามถึงแนวโน้มความต้องการในอนาคต และระดับความสนใจวัสดุจากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ สำหรับตัวอย่างแบบสอบถามแสดงดังภาคผนวก ก

สำหรับแบบสอบถามดังกล่าวจะจัดส่งไปทางไปรษณีย์และทางโทรสาร เพื่อส่งไปสอบถามข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป ทั้งนี้จะนำผลจากการส่งแบบสอบถามมาพิจารณาอีกครั้งถึงจำนวนโรงงานที่ยังคงดำเนินกิจการ ตลอดจนจำนวนโรงงานที่สามารถให้ข้อมูลได้

3) การสรุปผลจากแบบสอบถาม

หลังจากจัดส่งแบบสอบถามไปยังโรงงานต่างๆ และได้รับการตอบกลับเรียบร้อยแล้ว จะนำผลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลของความต้องการวัสดุแต่ละชนิด เพื่อกำหนดเป็นแหล่งที่ตั้งของตลาดรองรับวัสดุว่ามีอยู่ที่จังหวัดใดบ้าง และกำหนดปริมาณความต้องการเฉลี่ยต่อปีของวัสดุแต่ละชนิดในแต่ละแหล่งของตลาดเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณในส่วนต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ระดับของความสนใจวัสดุจากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบในอนาคตหากมีโรงงานเกิดขึ้นจริง



ภาพประกอบ 3.3 กระบวนการสำรวจแหล่งของตลาดวัสดุจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศ

3.3.4 การประมาณการต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อประมาณการต้นทุนต่างๆในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลต้นแบบรวมถึงศูนย์รวบรวมที่จะวิเคราะห์ในส่วนถัดไป ด้วยการพิจารณาต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับที่พิจารณาที่ต่ำที่สุด โดยการศึกษาส่วนนี้ประกอบไปด้วยต้นทุน 3 ส่วนหลัก คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นที่ศูนย์รวบรวม ต้นทุนที่เกิดขึ้นที่โรงงานรีไซเคิล และต้นทุนค่าขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไป

1) การศึกษาต้นทุนของศูนย์รวบรวม

สำหรับงานวิจัยในส่วนนี้จะศึกษาองค์ประกอบสำคัญของต้นทุนที่เกิดขึ้น ณ ศูนย์รวบรวมซากคอมพิวเตอร์ (collection center) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประมาณการต้นทุนของศูนย์รวบรวม ซึ่งรองรับซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์เรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (callback center) ในระดับจังหวัดทั่วประเทศ เพื่อนำมาเก็บรวบรวม คัดแยก และรอส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ (recycling plant) เป็นลำดับถัดไป ส่วนการศึกษาต้นทุนโดยละเอียดนั้นจะเป็นการศึกษาหลังจากได้ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้ต่อไป

1.1) การออกแบบพื้นที่ของศูนย์รวบรวม

ในการประมาณการต้นทุนของศูนย์รวบรวมนี้ จำเป็นต้องศึกษาและออกแบบลักษณะของศูนย์รวบรวมเพื่อวิเคราะห์ถึงขนาดของพื้นที่การก่อสร้างในเบื้องต้น สำหรับศูนย์รวบรวมในงานวิจัยนี้ หมายถึง ศูนย์รวบรวมที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อเก็บรวบรวมซากของคอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา โดยมีรูปแบบและแนวปฏิบัติที่เหมาะสมในการเก็บรวบรวมซาก E-waste ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ศูนย์รวบรวมมีขนาดในการรองรับซากคอมพิวเตอร์ 2 ขนาด คือ ศูนย์รวบรวมขนาด A และขนาด B ตามปริมาณที่รองรับได้ ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละจังหวัดจะมีปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป การกำหนดให้ศูนย์รวบรวมมีสองขนาดจะเป็นส่วนช่วยทำให้เกิดความเหมาะสมของการกำหนดเป็นพื้นที่รวบรวมซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจส่งผลต่อต้นทุนที่เหมาะสมที่จะเกิดขึ้นตามมา

สำหรับการออกแบบพื้นที่ของศูนย์รวบรวมนั้น จะพิจารณารายละเอียดของการกำหนดขนาดศูนย์รวบรวมดังแสดงในตาราง 3.4 ซึ่งประมาณการจากการกระจายของซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตไปยังแต่ละภูมิภาค โดยการออกแบบจะเป็นการกำหนดแผนผังการจัดตั้งส่วนต่างๆ ที่สำคัญภายในศูนย์รวบรวมทั้งสองขนาด ซึ่งจะพิจารณาสมมติฐานในการออกแบบดังต่อไปนี้

1) พื้นที่ของศูนย์รวบรวมถูกออกแบบมาให้เพียงพอต่อการรองรับปริมาณซากคอมพิวเตอร์ ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา ที่จะมีการจัดเก็บซากคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลาประมาณหนึ่งเดือน ก่อนขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิล

2) พื้นที่ของศูนย์รวบรวมมีความยืดหยุ่น โดยได้มีการเผื่อพื้นที่ในการรองรับซากคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่สามารถรวบรวมปริมาณซากได้มากกว่าปกติ อันเกิดจากความไม่แน่นอนของปริมาณที่รวบรวมได้

3) โครงสร้างของโกดังที่สร้างเป็นศูนย์รวบรวมนั้น ภายในจะประกอบด้วยแผนกต่างๆ ที่สำคัญในการดำเนินการของศูนย์รวบรวม โดยพื้นที่แต่ละส่วนไม่ได้มีการแบ่งแยกกันอย่างถาวร สามารถขยับขยายได้ในอนาคตหากมีกรณีของการปรับเปลี่ยนหรือการเพิ่มขึ้นของปริมาณซากคอมพิวเตอร์

4) ปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงสุดที่ศูนย์รวบรวมรองรับได้นั้น จะพิจารณาโดยใช้ข้อมูลซากคอมพิวเตอร์รวมทั้งสองชนิดเป็นหลัก ซึ่งในเบื้องต้นจะออกแบบต้นแบบของศูนย์รวบรวมเพื่อรองรับซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา ที่สัดส่วนประมาณร้อยละ 60 และร้อยละ 40 ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวเลขของสัดส่วนการเกิดซากคอมพิวเตอร์จากการศึกษาและการคาดการณ์ในอนาคตของปริมาณซากทั้งหมดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในประเทศไทย

ตาราง 3.4 รายละเอียดของการกำหนดขนาดศูนย์รวบรวม

ขนาดศูนย์รวบรวม	ปริมาณการรองรับต่อปี (เครื่อง/ปี)	ปริมาณการรองรับต่อเดือน (เครื่อง/เดือน)
ศูนย์รวบรวมขนาด A	0-1,200,000	0-100,000
ศูนย์รวบรวมขนาด B	ตั้งแต่ 1,200,001-2,400,000	ตั้งแต่ 100,001-200,000

1.2) การประมาณการต้นทุนของศูนย์รวบรวม

ในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณต้นทุนของศูนย์รวบรวม โดยซากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งมาจากศูนย์เรียกคืนในระดับจังหวัด ซึ่งจะนำข้อมูลของการออกแบบพื้นที่ของศูนย์รวบรวม และค่าใช้จ่ายที่สำคัญมาใช้ในการประมาณการต้นทุนเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้ง ได้แก่ ค่าก่อสร้างศูนย์รวบรวม และค่าที่ดิน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ค่าก่อสร้างศูนย์รวบรวม

ในการคำนวณค่าก่อสร้างศูนย์รวบรวมนั้น จะคำนวณจากขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการสร้างศูนย์รวบรวม คูณกับมูลค่าของการปลูกสร้างสิ่งก่อสร้างต่อหน่วยพื้นที่ โดยในการประมาณการค่าก่อสร้างนี้ จะพิจารณาสิ่งปลูกสร้างหลัก 2 ประเภท คือ สิ่งปลูกสร้างประเภทโกดัง (ใช้จัดเก็บซากและเก็บของ) และสิ่งปลูกสร้างประเภทสำนักงาน (ใช้เป็นสำนักงานเพื่อดำเนินกิจการของศูนย์) สำหรับราคาค่าก่อสร้างทั้งศูนย์รวบรวมขนาด A และขนาด B นั้นจะแตกต่างกันในแต่ละจังหวัด โดยอาศัยข้อมูลการประเมินราคาของสำนักประเมินราคาสินทรัพย์ กรมธนารักษ์ ของปี พ.ศ. 2555-2558 มาใช้พิจารณาในการประมาณการต้นทุน

2) ค่าที่ดิน

สำหรับค่าที่ดินเพื่อก่อสร้างศูนย์รวบรวมนั้น พบว่าในแต่ละจังหวัดและแต่ละพื้นที่จะมีมูลค่าราคาที่ดินที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องอาศัยมูลค่าของที่ดินเฉลี่ยในเขตอำเภอเมืองซึ่งเป็นศูนย์กลางของแต่ละจังหวัดมาใช้พิจารณา และเนื่องจากในปัจจุบันการหาซื้อที่ดินในพื้นที่เมืองนั้นอาจทำได้ยากและมีราคาที่สูงมาก ดังนั้นการคำนวณเพื่อประมาณการราคาที่ดินในงานวิจัยนี้จะประเมินออกมาในรูปของค่าเช่าที่ดินรายปี ซึ่งการคำนวณนั้นจะอาศัยขนาดของที่ดินในการสร้างศูนย์รวบรวม คูณกับ มูลค่าของที่ดินแต่ละจังหวัด และคูณกับร้อยละของค่าเช่ารายปี ก็จะได้ราคาค่าเช่าที่ดินรายปีสำหรับศูนย์รวบรวม โดยอาศัยข้อมูลการประเมินราคาของสำนักประเมินราคาสินทรัพย์ กรมธนารักษ์ ของปี พ.ศ. 2555-2558 เช่นกันในการนำมาปรับใช้ในการคำนวณเพื่อประมาณการต้นทุน

2) การศึกษาต้นทุนของโรงงานรีไซเคิล

สำหรับงานวิจัยในส่วนนี้จะศึกษาองค์ประกอบสำคัญของต้นทุนที่เกิดขึ้น ณ โรงงานรีไซเคิล เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประมาณการต้นทุนของโรงงานรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโรงงานที่รองรับซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์รวบรวมซากที่ส่งมารีไซเคิล เพื่อนำวัสดุรีไซเคิลที่ได้ (recycled materials) ส่งไปจำหน่ายยังตลาดวัสดุ (material market) ต่อไป ส่วนการศึกษาต้นทุนการจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลโดยละเอียดจะเป็นการศึกษาหลังจากการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ต่อไป

2.1) การออกแบบพื้นที่ของโรงงานรีไซเคิล

ในส่วนนี้เป็นการประมาณการใช้พื้นที่ของโรงงานรีไซเคิลในเบื้องต้น ที่ได้รับเอาซากคอมพิวเตอร์มาจากศูนย์รวบรวม ซึ่งได้กำหนดให้โรงงานรีไซเคิลต้นแบบมี 2 ขนาด คือ รีไซเคิลขนาด A และขนาด B เช่นเดียวกับการกำหนดขนาดของศูนย์รวบรวม โดยโรงงานรีไซเคิลทั้งสองขนาดนี้จะมีกระบวนการดำเนินการที่เหมือนกัน แต่จะต่างกันในเรื่องของขนาดพื้นที่ ขนาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนกำลังการผลิต เหล่านี้เป็นต้น

การประมาณพื้นที่โรงงานนี้จะพิจารณารายละเอียดของกำหนดโรงงานรีไซเคิลดังแสดงดังตาราง 3.5 ซึ่งประมาณการจากการกระจายของซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตไปยังแต่ละภูมิภาค โดยการออกแบบจะเป็นการกำหนดแผนผังการจัดตั้งส่วนต่างๆที่สำคัญของกระบวนการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ในโรงงานรีไซเคิลทั้งสองขนาด ซึ่งการออกแบบเพื่อประมาณพื้นที่ในส่วนนี้จะพิจารณาภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

1) โรงงานรีไซเคิลต้นแบบมีพื้นที่ภายในอาคารที่เพียงพอต่อการรองรับซากคอมพิวเตอร์ในระยะเวลาหนึ่งเดือน ในการจัดเก็บซากคอมพิวเตอร์ที่บรรจุอยู่ในพาเลทไม้ และลังพลาสติก ที่ถูกส่งมาจากศูนย์รวบรวมต่างๆทั่วประเทศ

2) พื้นที่อาคารสำหรับเก็บซากคอมพิวเตอร์ และวัสดุรีไซเคิลมีความยืดหยุ่นในการรองรับในช่วงที่มีปริมาณมากกว่าปกติ อันเกิดจากความไม่แน่นอนของการรับเอาซากคอมพิวเตอร์เข้ามารีไซเคิลในโรงงาน

3) การออกแบบอาคารและแผนกต่างๆในโรงงานรีไซเคิล เป็นการกำหนดเชิงพื้นที่ออกมาในรูปแบบของแผนกที่สำคัญๆเป็นหลัก โดยไม่พิจารณารายละเอียดและการจัดผังโรงงาน

4) ปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงสุดที่โรงงานรีไซเคิลรับได้นั้น จะพิจารณาโดยใช้ข้อมูลซากคอมพิวเตอร์รวมทั้งสองชนิดเป็นหลัก นั่นคือซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา ที่สัดส่วนประมาณร้อยละ 60 และร้อยละ 40 ตามลำดับ

ตาราง 3.5 รายละเอียดของการกำหนดขนาดโรงงานรีไซเคิล

ขนาดของโรงงาน	ปริมาณการรองรับต่อปี (เครื่อง/ปี)	ปริมาณการรองรับต่อเดือน (เครื่อง/เดือน)
โรงงานขนาด A	0-4,800,000	0-400,000
โรงงานขนาด B	ตั้งแต่ 4,800,001-9,600,000	ตั้งแต่ 400,001-800,000

2.2) การประมาณการต้นทุนของโรงงาน

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาและประมาณการต้นทุนในเบื้องต้นของโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ โดยนำข้อมูลของการออกแบบโรงงาน และค่าใช้จ่ายที่สำคัญมาใช้ในการประมาณการต้นทุนเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง ได้แก่ ค่าก่อสร้างโรงงาน และค่าที่ดิน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ค่าก่อสร้างโรงงาน

ในการคำนวณค่าก่อสร้างโรงงานนั้น จะคำนวณจากขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการสร้างโรงงาน คูณกับมูลค่าของการปลูกสร้างสิ่งก่อสร้างต่อหน่วยพื้นที่ โดยในการประมาณการค่าก่อสร้างนี้ จะพิจารณาสิ่งปลูกสร้างหลัก 3 ประเภท คือ สิ่งปลูกสร้างประเภทโรงงาน (ใช้เป็นอาคารโรงงานรีไซเคิลและบำบัดของเสีย) สิ่งปลูกสร้างประเภทโกดัง (ใช้จัดเก็บซาก วัสดุรีไซเคิล เก็บของ) และสิ่งปลูกสร้างประเภทสำนักงาน (ใช้เป็นสำนักงานเพื่อดำเนินกิจการของโรงงาน) สำหรับรายละเอียดของค่าก่อสร้างทั้งโรงงานขนาด A และขนาด B นั้นจะแตกต่างกันในแต่ละจังหวัด โดยอาศัยข้อมูลการประเมินราคาของสำนักประเมินราคาสินทรัพย์ กรมธนารักษ์ ของปี พ.ศ. 2555-2558 ในการประมาณการต้นทุนเช่นเดียวกับค่าก่อสร้างศูนย์รวบรวม

2) ค่าที่ดิน

สำหรับค่าที่ดินเพื่อก่อสร้างโรงงานนั้น จะพิจารณาเช่นเดียวกับค่าที่ดินของศูนย์รวบรวม โดยการคำนวณเพื่อประมาณการราคาที่ดินก็จะประเมินออกมาในรูปของค่าเช่าที่ดินรายปี ซึ่งการคำนวณนั้นจะอาศัยขนาดของที่ดินในการสร้างโรงงานคูณกับ มูลค่าของที่ดินแต่ละจังหวัด และคูณกับร้อยละของค่าเช่ารายปี ก็จะได้ราคาค่าเช่าที่ดินรายปีสำหรับโรงงาน

3) ต้นทุนค่าขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิล

การศึกษาในส่วนนี้จะพิจารณาการขนส่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) การขนส่งซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์เรียกคืนไปยังศูนย์รวบรวม (2) การขนส่งซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ และ (3) การขนส่งวัสดุรีไซเคิลจากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบไปยังตลาดวัสดุ โดยจะพิจารณาชนิดของรถที่จะใช้ในการขนส่งร่วมด้วย เพื่อการศึกษาและประมาณการต้นทุนของการขนส่งด้วยรถชนิดต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1) การศึกษาชนิดของรถในการขนส่ง

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดชนิดของรถในการขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิล ได้แก่ รถกระบะ และรถบรรทุก เนื่องจากเป็นการขนส่งที่สามารถจะเข้าถึงต้นทางและปลายทางได้ หรือที่เรามักจะเรียกกันว่า “door-to-door” โครงสร้างพื้นฐานหลักก็คือถนน ซึ่งการขนส่งทางถนนมีข้อเด่นในประเด็นต่างๆดังต่อไปนี้

1) ไม่ต้องมีการขนถ่ายซ้ำ (ในกรณีที่ขนส่งทางถนนตลอดเส้นทาง)
2) ให้บริการได้อย่างรวดเร็ว เพราะค่อนข้างเดินทางได้เร็วและไม่ต้องมีการขนถ่ายซ้ำ
3) สามารถรักษาต้นทุนบรรจุภัณฑ์ให้ต่ำได้ เพราะว่าระวางสินค้าไม่จำเป็นต้องทนแรงกระแทกที่สูง

สำหรับการขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิลที่เป็นไปได้อีกรูปแบบหนึ่งคือการขนส่งทางรถไฟ ซึ่งการขนส่งทางรถไฟนั้นแม้ว่าจะสามารถขนส่งสินค้าหรือสิ่งของต่างๆได้ในประมาณที่มากก็ตาม แต่ก็ยังมีข้อด้อยอยู่หลายประการดังเช่น ใช้ระยะเวลานาน ต้องมีการขนถ่ายซ้ำ เพราะต้องมีการขนส่งจากสถานีรถไฟไปยังจุดปลายทางอีกครั้งหนึ่ง การเกิดต้นทุนด้านบรรจุภัณฑ์ที่สูงเพราะว่าระวางสินค้าที่ต้องใช้จำเป็นต้องมีความทนต่อแรงกระแทกที่สูง และที่สำคัญการขนส่งทางรถไฟนั้นจะมีข้อจำกัดด้านรางรถไฟ เพราะรางรถไฟมักจะมีอยู่จำกัด ไม่ได้ครอบคลุมจุดหมายปลายทางในทุกที่ และมักจะให้ความสำคัญกับการโดยสารก่อน ดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิเคราะห์การขนส่งทางถนนเป็นหลัก โดยได้กำหนดชนิดของรถในการขนส่งแต่ละส่วนและรายละเอียดของรถแต่ละชนิดโดยสรุปได้ดังตาราง 3.6

ตาราง 3.6 ชนิดของรถในการขนส่งแต่ละส่วนและรายละเอียดของรถแต่ละชนิด

ต้นทางถึงปลายทาง	ชนิดของรถที่พิจารณา	สิ่งที่ขนส่ง
ศูนย์เรียกคืนไปยังศูนย์รวบรวม	1) รถกระบะ 2) รถบรรทุก 6 ล้อ 3) รถบรรทุก 10 ล้อ	ซากคอมพิวเตอร์
ศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิล	1) รถบรรทุก 6 ล้อ 2) รถบรรทุก 10 ล้อ 3) รถบรรทุก 18 ล้อ (กึ่งพ่วง)	ซากคอมพิวเตอร์

ตาราง 3.6 ชนิดของรถในการขนส่งแต่ละส่วนและรายละเอียดของรถแต่ละชนิด (ต่อ)

ต้นทางถึงปลายทาง	ชนิดของรถที่พิจารณา	สิ่งที่ขนส่ง
โรงงานรีไซเคิลไปยังแหล่งตลาดวัสดุ	1) รถกระบะ 2) รถบรรทุก 6 ล้อ 3) รถบรรทุก 10 ล้อ	วัสดุรีไซเคิล

3.2) การประมาณการต้นทุนค่าขนส่ง

ในการประมาณการต้นทุนค่าขนส่งของรถแต่ละชนิดนั้น จะพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในแต่ละเที่ยวของการขนส่ง ซึ่งสามารถแยกพิจารณาแนวทางการประมาณการต้นทุนตามการขนส่งในแต่ละส่วนได้ดังนี้

1) ค่าขนส่งซากจากศูนย์เรียกคืนไปยังศูนย์รวบรวม

จากสมมติฐานของการวิจัยที่จะไม่มีการถอดแยกชิ้นส่วนของซากคอมพิวเตอร์ใดๆก่อนจะถึงโรงงานรีไซเคิล ดังนั้นจึงเป็นการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ทั้งชิ้นของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะพิจารณารถที่จะใช้ในการขนส่ง 3 ชนิด คือ รถกระบะ รถบรรทุก 6 ล้อ และ รถบรรทุก 10 ล้อ โดยกำหนดสมมติฐานในการคำนวณดังต่อไปนี้

1.1) กำหนดให้การขนส่งเป็นการบรรทุกซากชิ้นส่วน 2 ประเภท คือ ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา เพื่อให้สามารถคิดคำนวณต้นทุนการขนส่งต่อชนิดของซากคอมพิวเตอร์ได้

1.2) เนื่องจากการขนส่งซากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้น การโหลดสินค้าโดยทั่วไปจะมีช่องว่างชิ้นส่วนเกิดขึ้น จึงกำหนดให้ปริมาตรของการขนซากคอมพิวเตอร์อยู่ที่ร้อยละ 70 ของปริมาตรการบรรทุกของรถ

1.3) เนื่องจากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหนึ่งเครื่อง จะประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญหลัก คือ หน้าจอ เคส และแป้นพิมพ์ ดังนั้นในการคิดปริมาณการขนส่งจะอาศัยปริมาตรรวมของชิ้นส่วนต่างๆโดยคำนวณออกมาเป็นปริมาตรที่ต้องใช้รวมต่อคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหนึ่งเครื่อง

2) ค่าขนส่งซากจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิล

ในส่วนนี้จะมีรูปแบบการขนส่งในลักษณะของการขนส่งซากคอมพิวเตอร์แต่ละส่วนที่บรรจุอยู่ในภาชนะ โดยจะพิจารณารถที่จะใช้ในการขนส่ง 3 ชนิด คือ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ และ รถบรรทุก 18 ล้อ (กึ่งพ่วง) ซึ่งอาศัยสมมติฐานในการประมาณการดังต่อไปนี้

2.1) กำหนดให้การขนส่งเป็นการบรรทุกชิ้นส่วน ที่ถูกจัดเก็บโดยอาศัยภาชนะดังนี้ หน้าจอ กับ เคส จะจัดวางอยู่บนพาเลทไม้ ส่วนคอมพิวเตอร์พกพา และแป้นพิมพ์ จะจัดเก็บอยู่ในลังพลาสติกขนาดใหญ่

2.2) การพิจารณาต้นทุนรวมของการขนส่งซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะจะคำนวณจากต้นทุนรวมของการขนส่งต่อชิ้นของ หน้าจอ เคส และแป้นพิมพ์ รวมกัน

2.3) การบรรจุซากแต่ละชนิดจะพิจารณาการบรรจุหรือจัดเก็บลงในภาชนะโดยแยกชิ้นส่วนแต่ละประเภทออกจากกัน

3) ค่าขนส่งซากจากโรงงานรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุ

ในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาการขนส่งวัสดุที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลจากโรงงาน เพื่อการขนส่งไปยังแหล่งของตลาดในจังหวัดต่างๆ โดยจะพิจารณารถที่จะใช้ในการขนส่ง 3 ชนิด คือ รถกระบะ รถบรรทุก 6 ล้อ และ รถบรรทุก 10 ล้อ สำหรับการคำนวณเพื่อการประมาณการต้นทุนค่าขนส่งในส่วนนี้ได้อาศัยสมมติฐานในการคำนวณดังต่อไปนี้

3.1) เพื่อให้สามารถคำนวณต้นทุนขนส่งต่อชนิดของวัสดุออกมาได้ จึงกำหนดเป็นการบรรทุกวัสดุชนิดเดียวกันในแต่ละเที่ยวของการขนส่ง

3.2) ในการขนส่งวัสดุแต่ละเที่ยวนั้นจะอาศัยการพิจารณาน้ำหนักการขนส่งวัสดุแทนการพิจารณาเป็นปริมาตรของวัสดุแต่ละชนิด เนื่องจากความหลากหลายของขนาดของวัสดุแต่ละชนิด และที่สำคัญการพิจารณาเป็นน้ำหนักในการขนส่งเป็นเกณฑ์ก็จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนได้ดีกว่าการประมาณการปริมาตรของวัสดุแต่ละชนิด

3.4 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบของตำแหน่งที่ตั้ง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม หรือ เจเนติก อัลกอรึทึม (Genetic Algorithms; GA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา โดยลักษณะปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาในระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

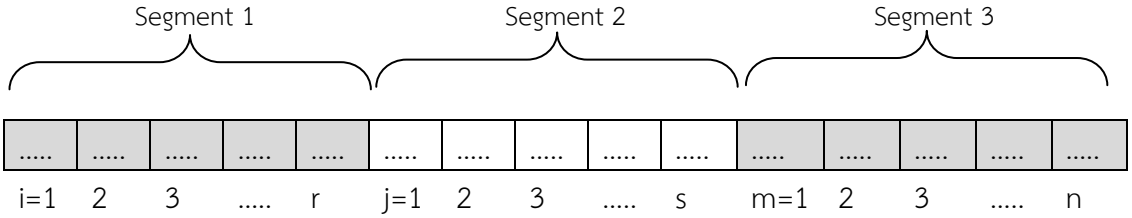
3.4.1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ

การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมจะเริ่มต้นจากการออกแบบโครโมโซม (chromosome encoding) ซึ่งเป็นรหัสคำตอบของปัญหา โดยโครโมโซม 1 โครโมโซม จะแทนคำตอบของระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ ซึ่งองค์ประกอบของระบบที่พิจารณาประกอบไปด้วย (1) ศูนย์เรียกคืน (แหล่งของซากคอมพิวเตอร์ระดับจังหวัด) (2) ศูนย์รวบรวม (3) โรงงานรีไซเคิล และ (4) ตลาดวัสดุ โดยลักษณะของโครโมโซมตัวอย่างของงานวิจัยนี้แสดงได้ดังภาพประกอบ 3.4 ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วยย่อย (segment) 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1) Segment 1 เป็นส่วนต้นของโครโมโซม โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ศูนย์เรียกคืน (i) กับ ศูนย์รวบรวม (j) ของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (ตำแหน่งยีน คือ แหล่งที่ i)

2) Segment 2 เป็นส่วนกลางของโครโมโซม โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ศูนย์รวบรวม (j) กับ โรงงานรีไซเคิล (k) ของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (ตำแหน่งยีน คือ แหล่งที่ j)

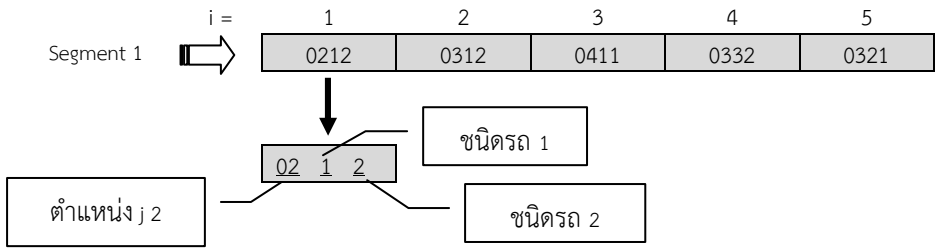
3) Segment 3 เป็นส่วนท้ายของโครโมโซม โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง โรงงานรีไซเคิล (k) กับ ตลาดวัสดุ (l) ของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (ตำแหน่งยีน คือ ลำดับที่ m ของ k)



ภาพประกอบ 3.4 ตัวอย่างการออกแบบโครโมโซมสำหรับงานวิจัย

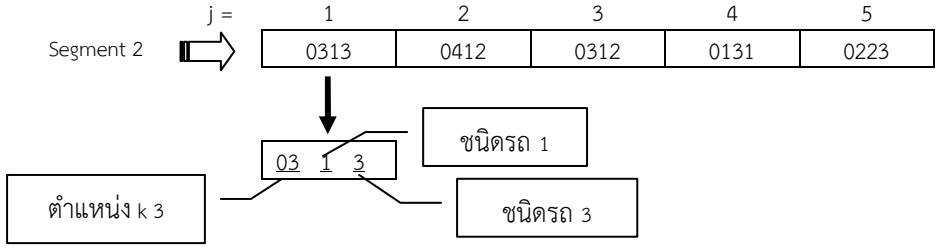
จากภาพประกอบ 3.4 แสดงให้เห็นว่า แต่ละ segment จะประกอบไปด้วยยีน (gene) ทั้งหมด 5 ยีน ซึ่งหมายถึง แหล่งของสิ่งที่พิจารณาจำนวน 5 แห่ง ส่วนในการวิเคราะห์ปัญหาจริงของทั้งประเทศจะกำหนดให้มีทั้งหมด 76 แห่ง (76 ยีนใน 1 segment) จึงทำให้โครโมโซม 1 โครโมโซม จะมีความยาวของโครโมโซมเท่ากับ 228 ยีน (76*3) ซึ่งจากโครโมโซมตัวอย่างนี้สามารถอธิบายความหมายของตำแหน่งยีนและค่าของยีนได้ดังต่อไปนี้

1) ตำแหน่งยีนและค่าของยีนใน segment 1 กำหนดให้ตำแหน่งยีนแทน node ต้นทาง คือ ศูนย์เรียกคืน (แหล่งของซากคอมพิวเตอร์ระดับจังหวัด) ที่ i ซึ่งมี 5 แห่ง ส่วนค่ายีนซึ่งเป็นตัวเลขนั้น สองตำแหน่งแรก แทน node ปลายทาง คือ ศูนย์รวบรวม ที่ j ซึ่งมีแหล่งที่เป็นไปได้ในการถูกเลือก 5 แห่ง ส่วนตัวเลขสองตำแหน่งหลัง ตัวเลขแต่ละตัวจะแทนชนิดของการขนส่งที่เป็นไปได้ 3 แบบ โดยสามารถยกตัวอย่างได้ดังเช่น ยีนตำแหน่งที่ 1 มีค่ายีนเป็น 0212 หมายถึง ซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์เรียกคืนที่ 1 จะถูกส่งไปยังศูนย์รวบรวมที่ 2 (02) โดยใช้รถชนิด 1 ในการขนส่งซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและใช้รถชนิด 2 ในการขนส่งซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา ดังตัวอย่างประกอบในภาพประกอบ 3.5



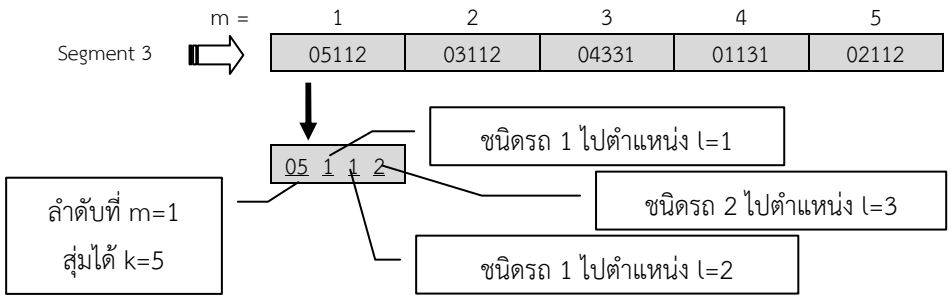
ภาพประกอบ 3.5 ตัวอย่างค่าของยีนใน segment 1

2) ตำแหน่งยีนและค่าของยีนใน segment 2 กำหนดให้ตำแหน่งยีนแทน node ต้นทาง คือ ศูนย์รวบรวม ที่ j ซึ่งมีแหล่งที่เป็นไปได้ในการถูกเลือก 5 แห่ง ส่วนค่ายีนซึ่งเป็นตัวเลขนั้น สองตำแหน่งแรก แทน node ปลายทาง คือ โรงงานรีไซเคิล ที่ k ซึ่งมีแหล่งที่เป็นไปได้ในการถูกเลือก 5 แห่งเช่นกัน ส่วนตัวเลขสองตำแหน่งหลัง ตัวเลขแต่ละตัวจะแทนชนิดของการขนส่งที่เป็นไปได้ 3 แบบ โดยสามารถยกตัวอย่างได้ดังเช่น ยีนตำแหน่งที่ 1 มีค่ายีนเป็น 0313 หมายถึง หากศูนย์รวบรวมที่ 1 ถูกเปิด ซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์รวบรวมที่ 1 จะถูกส่งไปยังโรงงานรีไซเคิลที่ 3 (03) โดยใช้รถชนิด 1 ในการขนส่งซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและใช้รถชนิด 3 ในการขนส่งซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา ดังตัวอย่างประกอบในภาพประกอบ 3.6



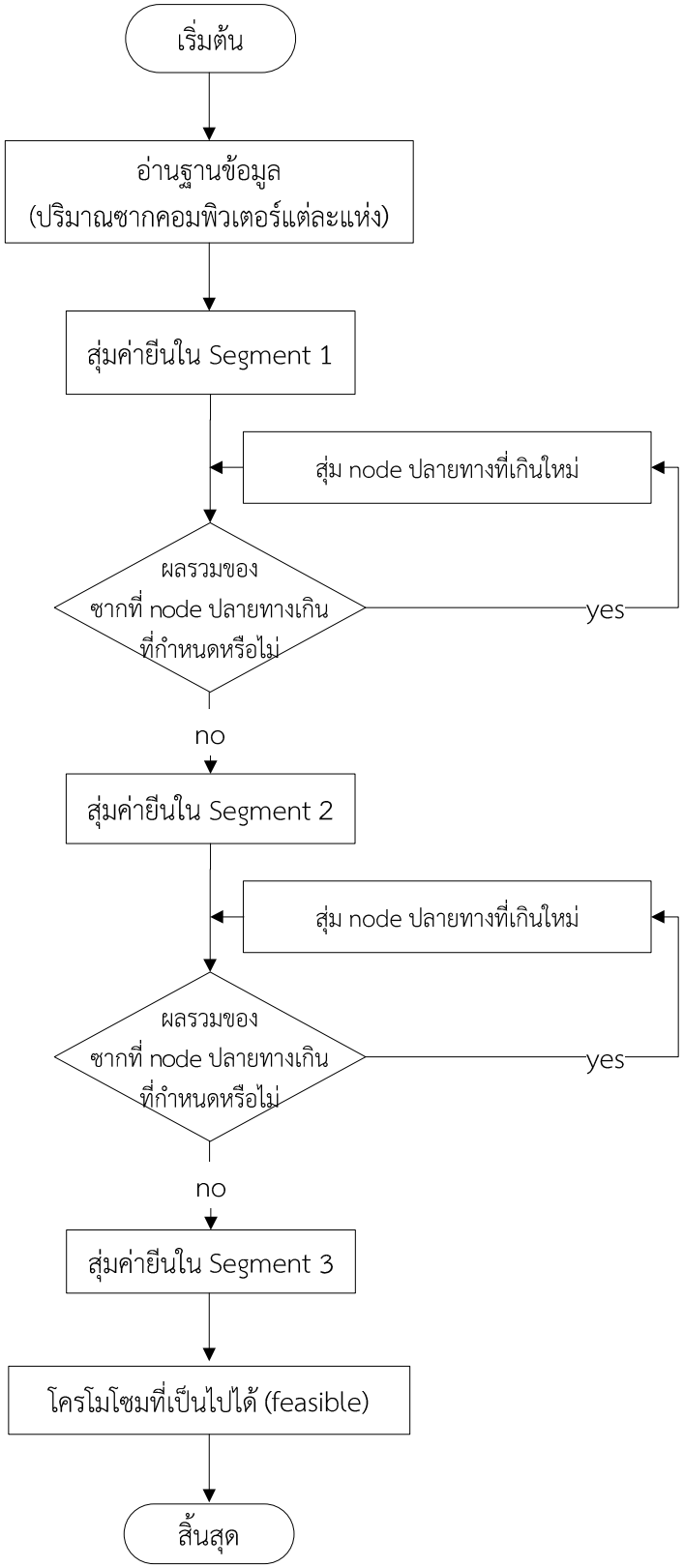
ภาพประกอบ 3.6 ตัวอย่างค่าของยีนใน segment 2

3) ตำแหน่งยีนและค่าของยีนใน segment 3 การกำหนดในส่วนนี้จะต่างกับสองส่วนแรก กล่าวคือ จะกำหนดให้ตำแหน่งยีนแทนลำดับของการตอบสนองต่อตลาดวัสดุ (เป็นลำดับของการพิจารณาส่งวัสดุรีไซเคิลไปยังตลาดแต่ละแห่ง) โดยในส่วนนี้ก็จะมีจำนวนยีนเท่ากับ 5 ยีน ส่วนค่ายีนซึ่งเป็นตัวเลขนั้น สองตำแหน่งแรก แทน node ต้นทางที่ถูกสุ่มขึ้นมาจากตำแหน่งที่เป็นไปได้ว่าจะเปิดหรือไม่เปิดของโรงงานรีไซเคิลที่ k ส่วนตัวเลขสามตำแหน่งหลัง ตัวเลขแต่ละตัวแทนชนิดของการขนส่งที่เป็นไปได้ 3 แบบไปยังตลาดวัสดุแต่ละแห่ง (โครโมโซมตัวอย่างนี้กำหนดให้มีแหล่งตลาด 3 แห่ง) โดยสามารถยกตัวอย่างได้ดังเช่น ยีนตำแหน่งที่ 1 มีค่ายีนเป็น 05112 หมายความว่า โรงงานรีไซเคิลที่ 5 จะได้รับการพิจารณาเพื่อตอบสนองต่อตลาดวัสดุเป็นลำดับแรกหากโรงงานถูกเปิด และใช้รถชนิด 1 ในการขนส่งวัสดุรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุที่ 1 ใช้รถชนิด 1 เช่นกัน ในการขนส่งวัสดุรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุที่ 2 และใช้รถชนิด 2 ในการขนส่งวัสดุรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุที่ 3 ดังตัวอย่างประกอบในภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 ตัวอย่างค่าของยีนใน segment 3

สำหรับการสุ่มเพื่อสร้างโครโมโซมในแต่ละ segment นั้น จะมีข้อจำกัดและเงื่อนไขในการสุ่มตามรายละเอียดดังภาพประกอบ 3.8 อันเนื่องมาจากการกำหนดปริมาณสูงสุดในการรองรับปริมาณซากคอมพิวเตอร์ของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล ที่กำหนดให้มีสองขนาดคือขนาด A และขนาด B ซึ่งหลังจากทำการออกแบบโครโมโซมเพื่อแปลงคำตอบของปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซมตามหลักของวิธีการเชิงพันธุกรรมได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการ สร้างคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงเป็นการดำเนินการของวิธีเชิงพันธุกรรม คือ การถอดรหัสของโครโมโซม การคำนวณค่าความเหมาะสม การคัดเลือก การสลับสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ ตลอดจนขั้นตอนสุดท้ายคือการหยุดการค้นหา ที่จะกล่าวในส่วนถัดไป



ภาพประกอบ 3.8 กระบวนการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบของปัญหาในเบื้องต้น

3.4.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

หลังจากการออกแบบรูปแบบของโครโมโซมได้แล้ว ก็จะทำการสร้างคำตอบเบื้องต้น (initialization) จากการสุ่มประชากรเบื้องต้นขึ้นจำนวนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยที่โครโมโซม 1 โครโมโซม ก็จะแทนประชากร 1 ประชากร สำหรับการสร้างโครโมโซมนั้นจะทำการสุ่มค่าของยีนขึ้นมาตามข้อกำหนดในแต่ละ segment และเงื่อนไขการสุ่มตามภาพประกอบ 3.8 ก็จะได้โครโมโซมขึ้นมา 1 โครโมโซม ซึ่งหากสมมติให้จำนวนประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 5 ก็จะต้องทำการสุ่มโครโมโซมขึ้นมาจำนวน 5 โครโมโซม เพื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไป สำหรับตัวอย่างการสร้างคำตอบเบื้องต้นนั้นแสดงได้ดังภาพประกอบ 3.9 เมื่อกำหนดให้ C1 ถึง C5 คือ โครโมโซมที่ 1 ถึง โครโมโซมที่ 5 ที่ถูกสุ่มขึ้นมา

C1:	0521	0411	0323	0213	0322	0521	0311	0323	0323	0323	04123	05122	01122	03312	02231
C2:	0421	0521	0311	0323	0213	0322	0421	0521	0311	0323	01123	03112	05122	02311	04231
C3:	0211	0312	0411	0323	0213	0322	0312	0411	0311	0323	02123	03112	05132	01312	04231
C4:	0322	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0521	0311	0312	01122	04312	02231	05121	03113
C5:	0323	0213	0322	0312	0411	0322	0521	0411	0323	0213	05113	01123	03112	04122	02312

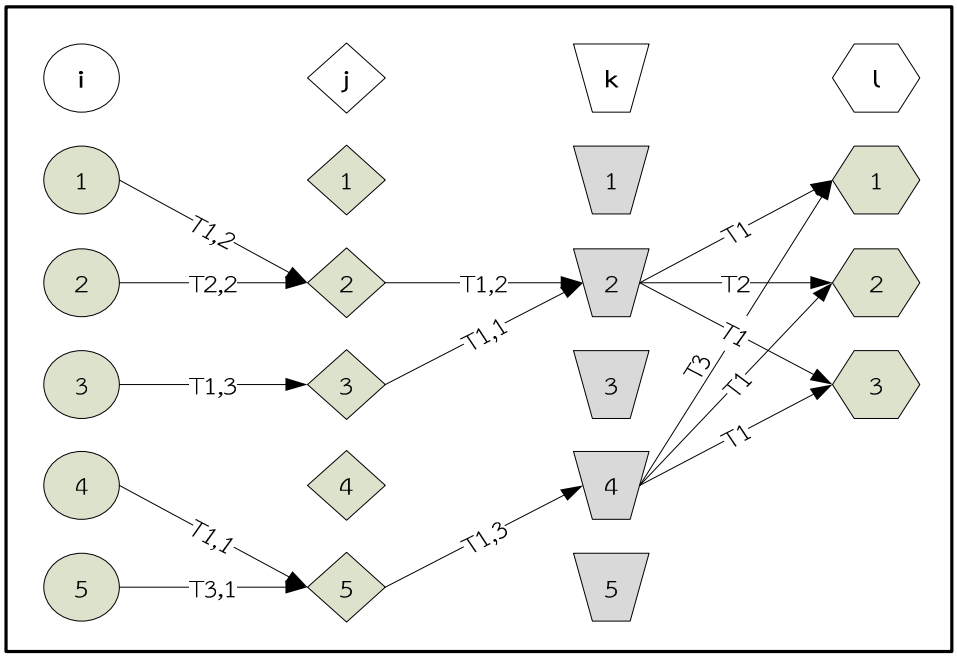
ภาพประกอบ 3.9 ตัวอย่างการสร้างคำตอบเบื้องต้นจำนวน 5 ประชากร

3.4.3 การถอดรหัสของโครโมโซม

สำหรับการถอดรหัสโครโมโซมหรือรหัสคำตอบของปัญหานั้น เป็นการแปลงโครโมโซมให้เป็นโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ทั้งระบบ โดยคำตอบที่ได้จากการถอดรหัสนั้นคือ ตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล ทั้งขนาด A และขนาด B ตลอดจนชนิดของการขนส่งในแต่ละส่วนด้วย สำหรับตัวอย่างของการถอดรหัสนั้นจะขอยกตัวอย่างโครโมโซมตัวอย่างดังภาพประกอบ 3.10 ประกอบการอธิบาย และแสดงตัวอย่างการถอดรหัสโครโมโซมดังภาพประกอบ 3.11

0212	0222	0313	0511	0531	0521	0212	0211	0512	0413	04311	05122	02121	03312	01231

ภาพประกอบ 3.10 ตัวอย่างโครโมโซมก่อนการถอดรหัสโครโมโซม



ภาพประกอบ 3.11 ตัวอย่างการถอดรหัสโครโมโซมออกมาในรูปของโครงข่าย

จากภาพประกอบ 3.11 ซึ่งประกอบไปด้วย node i (ศูนย์เรียกคืนหรือแหล่งของซากระดับจังหวัด) node j (ศูนย์รวบรวม) node k (โรงงานรีไซเคิล) และ node l (ตลาดวัสดุ) จะพบว่า ศูนย์รวบรวม จะเปิดที่ แหล่งที่ 2, 3, และ 5 และโรงงานรีไซเคิลเปิดที่ แหล่งที่ 2 และ 4 ส่วนชนิดของการขนส่ง ดังเช่น ซากคอมพิวเตอร์ที่ nod i แหล่งที่ 1 ถูกส่งไปรวบรวมที่ node j แหล่งที่ 2 ด้วยรถชนิดที่ 1 (ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ) และรถชนิดที่ 2 (ซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา) นอกจากนี้วัสดุรีไซเคิลจะพิจารณาส่งให้แหล่งตลาดทุกแห่งด้วยโรงงานที่ 2 และ 4 โดยให้ลำดับความสำคัญของโรงงานที่ 4 ส่งเป็นลำดับแรก (พิจารณาจากโครโมโซมใน segment 3) แล้วจึงให้โรงงานที่ 2 ส่งไปเป็นลำดับต่อไปตามความต้องการตลาดที่ยังคงเหลืออยู่

3.4.4 การกำหนดค่าความเหมาะสม

สำหรับค่าความเหมาะสม (fitness) ของปัญหาในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาโดยอาศัยสมการคำนวณต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยคำตอบที่มีความเหมาะสมก็คือ คำตอบที่ให้ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด สำหรับต้นทุนที่พิจารณานั้นจะประกอบไปด้วย (1) ต้นทุนของศูนย์รวบรวม (2) ต้นทุนของโรงงานรีไซเคิล และ (3) ต้นทุนค่าขนส่ง ซึ่งสามารถแสดงสมการคำนวณต้นทุนรวมได้ดังสมการ 3.3 ประกอบกับสมการข้อจำกัดซึ่งจะนำไปใช้เป็นเงื่อนไขในการหาคำตอบของปัญหาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมดังสมการ 3.7–3.18 โดยสามารถอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี :

i	=	ศูนย์เรียกคืนที่ i	($i = 1,..... r$)
j	=	ศูนย์รวบรวมที่ j	($j = 1,..... s$)
k	=	โรงงานรีไซเคิลที่ k	($k = 1,..... t$)
l	=	ตลาดวัสดุที่ l	($l = 1,..... u$)
m	=	ชนิดของซากคอมพิวเตอร์ที่ m	($m = 1,..... v$; แบบตั้งโต๊ะ/แบบพกพา)
n	=	ชนิดของรถในการขนส่งที่ n	($n = 1,..... w$; รถกระบะ/รถบรรทุก 6 ล้อ/รถบรรทุก 10 ล้อ/รถบรรทุก 18 ล้อ)
e	=	ชนิดของวัสดุรีไซเคิลที่ e	($e = 1,..... f$; พลาสติก/เหล็ก/อลูมิเนียม/ทองแดง/ตะกั่ว/ดีบุก/เงิน/ทอง)
r	=	จำนวนสูงสุดของศูนย์เรียกคืน (r=76)	
s	=	จำนวนสูงสุดของศูนย์รวบรวม (s=76)	
t	=	จำนวนสูงสุดของโรงงานรีไซเคิล (t=76)	
u	=	จำนวนสูงสุดของตลาดวัสดุ (u=7)	
v	=	จำนวนสูงสุดของชนิดซากคอมพิวเตอร์ที่พิจารณา (v=2)	
w	=	จำนวนสูงสุดของชนิดรถที่พิจารณา (w=4)	
f	=	จำนวนสูงสุดของชนิดวัสดุรีไซเคิลที่พิจารณา (f=8)	

ตัวแปรตัดสินใจ :

D_j	=	ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 ถ้ามีการเปิดศูนย์รวบรวม j และมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่มีการเปิดศูนย์รวบรวม j
P_k	=	ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 ถ้ามีการเปิดโรงงานรีไซเคิล k และมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่มีการเปิดโรงงานรีไซเคิล k
K_{nmj}	=	ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 ถ้ารถชนิดที่ n ถูกเลือกให้ขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์เรียกคืน i ไปยังศูนย์รวบรวม j และมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่ได้ถูกเลือก
L_{nmk}	=	ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 ถ้ารถชนิดที่ n ถูกเลือกให้ขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์รวบรวม j ไปยังโรงงานรีไซเคิล k และมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่ได้ถูกเลือก
M_{nel}	=	ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1 ถ้ารถชนิดที่ n ถูกเลือกให้ขนส่งวัสดุรีไซเคิล e จากโรงงานรีไซเคิล k ไปยังตลาดวัสดุ l และมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่ได้ถูกเลือก
Z_{ekl}	=	ปริมาณการขนส่งวัสดุรีไซเคิล e จากโรงงานรีไซเคิล k สู่ตลาดวัสดุ l (กิโลกรัม)

พารามิเตอร์ :

S_{im}	=	ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ m ที่สามารถจัดส่งได้จากศูนย์เรียกคืน i (เครื่อง)
C_{jm}	=	ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ m ที่สามารถจัดส่งได้จากศูนย์รวบรวม j (เครื่อง)
R_{km}	=	ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ m ที่สามารถรับเข้ามารีไซเคิล ณ โรงงานรีไซเคิล k (เครื่อง)
D_{el}	=	ปริมาณความต้องการวัสดุรีไซเคิล e ของตลาดวัสดุ l (กิโลกรัม)

X_{mij} = ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์เรียกคืน i สู่ศูนย์รวบรวม j (เครื่อง)
Y_{mjk} = ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์รวบรวม j สู่โรงงานรีไซเคิล k (เครื่อง)
DT_{ij} = ระยะทางระหว่างศูนย์เรียกคืน i ไปยังศูนย์รวบรวม j (กิโลเมตร)
DT_{jk} = ระยะทางระหว่างศูนย์รวบรวม j ไปยังโรงงานรีไซเคิล k (กิโลเมตร)
DT_{kl} = ระยะทางระหว่างโรงงานรีไซเคิล k ไปยังตลาดวัสดุ l (กิโลเมตร)
FR_n = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถชนิดที่ n (ลิตรต่อกิโลเมตร)
FP = ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อลิตร)
V_{mn} = ปริมาณของการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m ด้วยรถชนิด n ต่อเที่ยว
V_{en} = ปริมาณของการขนส่งวัสดุรีไซเคิล e ด้วยรถชนิด n ต่อเที่ยว
CC_j = ต้นทุนค่าก่อสร้างของศูนย์รวบรวม j (บาทต่อปี)
LC_j = ต้นทุนค่าที่ดินของศูนย์รวบรวม j (บาทต่อปี)
CC_k = ต้นทุนค่าก่อสร้างของโรงงานรีไซเคิล k (บาทต่อปี)
LC_k = ต้นทุนค่าที่ดินของโรงงานรีไซเคิล k (บาทต่อปี)

สมการคำนวณต้นทุนรวม :

$$z = \{F1\} + \{F2\} + \{F3\} \tag{3.3}$$

เมื่อ $F1$ แทน ต้นทุนของศูนย์รวบรวม
$F2$ แทน ต้นทุนของโรงงานรีไซเคิล
$F3$ แทน ต้นทุนค่าขนส่ง

โดยที่

$$F1 = \sum_{j=1}^{s} D_j (CC_j + LC_j) \tag{3.4}$$

$$F2 = \sum_{k=1}^{t} P_k (CC_k + LC_k) \tag{3.5}$$

$$F3 = \Big[\sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{s} \sum_{m=1}^{v} \sum_{n=1}^{w} (K_{nmj}) \left(\frac{X_{mij}}{V_{mn}}\right) (DT_{ij} FR_n) + \sum_{j=1}^{s} \sum_{k=1}^{t} \sum_{m=1}^{v} \sum_{n=1}^{w} (L_{nmk}) \left(\frac{Y_{mjk}}{V_{mn}}\right) (DT_{jk} FR_n) + \sum_{k=1}^{t} \sum_{l=1}^{u} \sum_{e=1}^{f} \sum_{n=1}^{w} (M_{nel}) \left(\frac{Z_{ekl}}{V_{en}}\right) (DT_{kl} FR_n) \Big] \times FP \tag{3.6}$$

ข้อจำกัดของปัญหา :

$$\sum_{j=1}^{s} X_{mij} = S_{im} \qquad \text{for } i = 1, \ldots\ldots r \tag{3.7}$$

ปริมาณการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์เรียกคืน i สู่ศูนย์รวบรวม j (เครื่อง) ต้องเท่ากับปริมาณซากคอมพิวเตอร์ของศูนย์เรียกคืน i (เครื่อง)

$$\sum_{i=1}^{r} X_{mij} \leq C_{jm} Y_j \qquad for\ j = 1, \ldots\ s \qquad (3.8)$$

ปริมาณการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์เรียกคืน i สู่ศูนย์รวบรวม j (เครื่อง) ต้องไม่เกินความสามารถของศูนย์รวบรวม j (เครื่อง)

$$\sum_{j=1}^{s} Y_{mjk} \leq C_{km} R_k \qquad for\ k = 1, \ldots\ t \qquad (3.9)$$

ปริมาณการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์รวบรวม j สู่โรงงานรีไซเคิล k (เครื่อง) ต้องไม่เกินความสามารถของโรงงานรีไซเคิล k (เครื่อง)

$$\sum_{i=1}^{r} X_{mij} - \sum_{k=1}^{t} Y_{mjk} \geq 0 \qquad for\ j = 1, \ldots\ s \qquad (3.10)$$

ปริมาณการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m จากศูนย์รวบรวม j สู่โรงงานรีไซเคิล k (เครื่อง)ต้องไม่เกินปริมาณที่ได้รับจากศูนย์เรียกคืน i (เครื่อง)

$$\sum_{j=1}^{s} Y_{mjk} - \sum_{l=1}^{u} Z_{ekl} \geq 0 \qquad for\ k = 1, \ldots\ t \qquad (3.11)$$

ปริมาณการขนส่งวัสดุรีไซเคิล e จากโรงงานรีไซเคิล k สู่ตลาดวัสดุ l (กิโลกรัม) จะต้องไม่เกินปริมาณ (กิโลกรัม) ที่ได้จากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ที่มาจากศูนย์รวบรวม j (เครื่อง)

$$\sum_{k=1}^{t} Z_{ekl} \leq D_{el} \qquad for\ l = 1, \ldots\ u \qquad (3.12)$$

ปริมาณการขนส่งวัสดุรีไซเคิล e จากโรงงานรีไซเคิล k สู่ตลาดวัสดุ l (กิโลกรัม) จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณความต้องการวัสดุรีไซเคิล e ของตลาดวัสดุ l (กิโลกรัม)

$$D_j \in \{0,1\} \qquad (3.13)$$

ตัวแปร D_j ที่กำหนดมีค่า
- 0 เมื่อ ไม่มีการเปิดศูนย์รวบรวม
- 1 เมื่อ มีการเปิดศูนย์รวบรวม

$$P_k \in \{0,1\} \qquad (3.14)$$

ตัวแปร P_k ที่กำหนดมีค่า
- 0 เมื่อ ไม่มีการเปิดโรงงานรีไซเคิล
- 1 เมื่อ มีการเปิดโรงงานรีไซเคิล

$$K_{nmj} \in \{0,1\} \qquad (3.15)$$

ตัวแปร K_{nmj} ที่กำหนดมีค่า
- 1 เมื่อ รถชนิดที่ n ถูกเลือกให้ขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m
- 0 เมื่อ ไม่ถูกเลือก

$$L_{nmj} \in \{0,1\} \qquad (3.16)$$

ตัวแปร L_{nmj} ที่กำหนดมีค่า
- 1 เมื่อ รถชนิดที่ n ถูกเลือกให้ขนส่งซากคอมพิวเตอร์ m
- 0 เมื่อ ไม่ถูกเลือก

$$M_{nel} \in \{0,1\} \quad (3.17)$$

ตัวแปร M_{nel} ที่กำหนดมีค่า
- 1 เมื่อ รถชนิดที่ n ถูกเลือกให้ขนส่งวัสดุรีไซเคิล e
- 0 เมื่อ ไม่ถูกเลือก

$$X_{ekl} \geq 0 \quad (3.18)$$

ปริมาณการขนส่งวัสดุรีไซเคิล e จากโรงงานรีไซเคิล k สู่แต่ละตลาดวัสดุ l ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ดังนั้นในการคำนวณค่า fitness จะพิจารณาจากสมการคำนวณต้นทุนรวมในสมการ 3.3 โดยรายละเอียดของต้นทุนที่พิจารณาประกอบไปด้วย (1) ต้นทุนของศูนย์รวบรวม ได้แก่ ค่าก่อสร้าง และค่าที่ดิน (2) ต้นทุนของโรงงานรีไซเคิล ได้แก่ ค่าก่อสร้าง และค่าที่ดิน (3) ต้นทุนค่าขนส่ง ได้แก่ ค่าขนส่งจากจากศูนย์เรียกคืนไปยังศูนย์รวบรวม ค่าขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ และค่าขนส่งวัสดุรีไซเคิลจากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบไปยังตลาดวัสดุ จึงทำให้ค่า fitness เท่ากับส่วนกลับผลรวมของต้นทุนดังกล่าว ดังรายละเอียดตามสมการ 3.19

$$\text{Fitness} = \frac{1}{F1 + F2 + F3} \quad (3.19)$$

จากสมการ 3.19 ข้างต้นนั้น สามารถใช้ในการวัดค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละโครโมโซม เพื่อใช้ค่าดังกล่าวในการค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุดเป็นคำตอบของปัญหา โดยในการนำค่าจากสมการไปใช้งานจะอาศัยส่วนกลับของค่าต้นทุนรวม ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่พิจารณาเป็นต้นทุน ดังนั้นต้นทุนที่มีค่ามากเมื่อทำเป็นส่วนกลับจะมีค่าความเหมาะสมน้อย และต้นทุนที่มีค่าน้อยเมื่อทำเป็นส่วนกลับจะมีค่าความเหมาะสมที่มาก ซึ่งจะใช้ค่าความเหมาะสมในส่วนนี้ไปใช้ในขั้นตอนของกระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ต่อไป

3.4.5 การคัดเลือกสายพันธุ์

เมื่อคำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมได้แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือกระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ (selection) โดยทำการคัดเลือกโครโมโซมมาเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ หรือที่เรียกว่า parents ด้วยการพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม ถ้าโครโมโซมใดมีต้นทุนน้อยแสดงว่ามีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบได้มาก และในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ใช้วิธีการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ท (roulette wheel selection) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กับการแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์ด้วยเทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรม อีกทั้งวิธีการนี้ยังเป็นกระบวนการที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และได้โครโมโซมที่มีความหลากหลายในการนำไปปรับปรุงและพัฒนาคำตอบ

สำหรับการคัดเลือกด้วยวิธีการนี้จะเริ่มจากการหาค่าความเหมาะสมรวม (sum fitness) ของโครโมโซมทั้งหมดจากผลรวมของค่า fitness ของโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.20

$$\text{sum fitness} = \sum_{i=1}^{popsize} \text{fitness}_i \qquad (3.20)$$

โดยที่ fitness_i แทน ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมตัวที่ i
i แทน ลำดับที่ของโครโมโซม (1, 2, 3, ..., popsize)
popsize แทน จำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนด

จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการถูกคัดเลือก (selection of probability; P_i) ของโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งคำนวณได้จากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวหารด้วยค่าความเหมาะสมรวม ดังแสดงในสมการ 3.21 โดยที่หากโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมมาก ซึ่งหมายถึงมีค่าต้นทุนที่น้อย ก็จะทำให้มีความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกที่มาก

$$P_i = \frac{\text{fitness}_i}{\text{sum fitness}} \qquad (3.21)$$

โดยที่ fitness_i แทน ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมตัวที่ i
i แทน ลำดับที่ของโครโมโซม (1, 2, 3, ..., popsize)
sum fitness แทน ค่าความเหมาะสมรวม

หลังจากคำนวณค่าความน่าจะเป็นของการถูกคัดเลือกแล้ว จึงคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการถูกคัดเลือกสะสม (cumulative of probability; Cum_i) ของโครโมโซมแต่ละตัว ดังแสดงในสมการ 3.22

$$Cum_i = \sum_{i=1}^{popsize} P_i \qquad (3.22)$$

โดยที่ P_i แทน ความน่าจะเป็นของการถูกเลือกของโครโมโซมตัวที่ i
i แทน ลำดับที่ของโครโมโซม (1, 2, 3, ..., popsize)
popsize แทน จำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนด

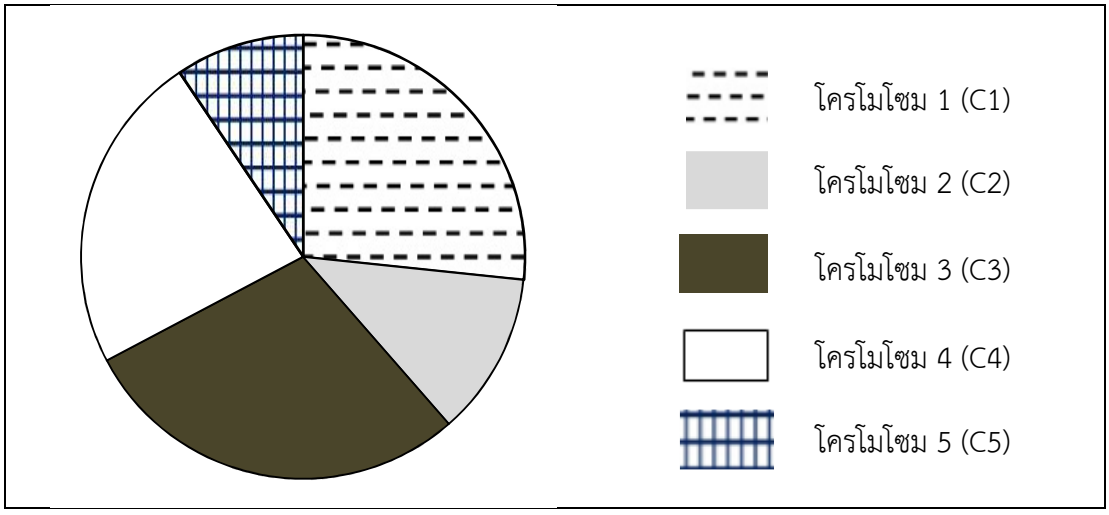
ในส่วนถัดมาจะนำค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของโครโมโซมแต่ละตัวไปสร้างเป็นลักษณะของวงล้อรูเล็ท โดยโครโมโซมทั้งหมดจะอยู่ในพื้นที่ของวงล้อตามค่าของสัดส่วนความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม กล่าวคือ โครโมโซมที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะมีพื้นที่บนวงล้อมากที่สุด และเมื่อมีการหมุนวงล้อเพื่อสุ่มเลือกโครโมโซม โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากก็มี

โอกาสถูกเลือกมากเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถยกตัวอย่างการคำนวณในส่วนนี้ได้ดังตาราง 3.7 และยกตัวอย่างการสร้างวงล้อรูเล็ทจากข้อมูลดังกล่าวได้ดังภาพประกอบ 3.12

ตาราง 3.7 ข้อมูลตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก และค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม

โครโมโซม	ค่าต้นทุนรวม	*ค่าต้นทุนรวม *(ปรับค่า)*	1/ค่าต้นทุนรวม *(ค่าความเหมาะสม)*	ค่าความน่าจะเป็น	ค่าความน่าจะเป็นสะสม
1	105,345,567	10,535	0.000095	0.27	0.27
2	235,607,900	23,561	0.000042	0.12	0.39
3	97,899,456	9,790	0.000102	0.29	0.67
4	120,364,908	12,036	0.000083	0.23	0.91
5	298,546,779	29,855	0.000033	0.09	1.00
รวม	**857,764,610**	**85,776**	**0.000356**	**1.0000**	

หมายเหตุ: *ปรับลดค่าเนื่องจากต้นทุนจริงทั้งระบบมีค่าสูง (ค่าต้นทุนรวม / 10,000)



ภาพประกอบ 3.12 ตัวอย่างการสร้างวงล้อรูเล็ท

หลังจากการคำนวณข้อมูลค่าความน่าจะเป็นต่างๆในตาราง 3.7 และการสร้างวงล้อรูเล็ทในภาพประกอบ 3.12 เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคัดเลือกโครโมโซมชุดใหม่จากโครโซมตั้งต้นทั้ง 5 โครโมโซม ผ่านหลักการคัดเลือกด้วยวิธีการของวงล้อรูเล็ท โดยการสุ่มตัวเลขระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาตามจำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนด จากนั้นจึงนำตัวเลขสุ่มแต่ละตัวไปเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสมบนวงล้อรูเล็ท แล้วตรวจสอบว่าค่าของตัวเลขสุ่มที่สุ่มมาได้ตกอยู่ในช่วงพื้นที่ของโครโมโซมใด โครโมโซมนั้นก็จะถูกเลือกมาเป็นโครโมโซมชุดใหม่ สำหรับตัวอย่างการสุ่มเพื่อการคัดเลือกโครโมโซมในส่วนนี้สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังตาราง 3.8

ตาราง 3.8 ตัวอย่างการสุ่มเลือกโครโมโซมชุดใหม่

ตัวเลขสุ่ม (0 ถึง 1)	ช่วงของค่าความน่าจะเป็นของการถูกคัดเลือกสะสม	โครโมโซมที่ถูกเลือก
0.90	>0.67-0.91	C4
0.34	>0.27-0.39	C2
0.57	>0.39-0.67	C3
0.66	>0.39-0.67	C3
0.18	0.00-0.27	C1

จากตาราง 3.8 จะเห็นได้ว่า การคัดเลือกโครโมโซมชุดใหม่ตัวแรกนั้น ได้ตัวเลขจากการสุ่มมาเท่ากับ 0.90 ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าความน่าจะเป็นของการถูกคัดเลือกสะสมระหว่าง 0.67 ถึง 0.91 ซึ่งตรงกับโครโมโซมที่ 4 (C4) บนวงล้อรูเล็ทในภาพประกอบ 3.12 จึงเลือกโครโมโซมดังกล่าวมาเป็นประชากรชุดใหม่ตัวแรก ส่วนตัวต่อไปก็พิจารณาเช่นเดียวกัน และจากตางรางที่ 3.8 นี้สามารถแสดงโครโมโซมชุดใหม่ที่ถูกเลือกด้วยวิธีการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ทได้ดังภาพประกอบ 3.13 โดยโครโมโซมชุดนี้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการสลับสายพันธุ์และกระบวนการอื่นๆต่อไป

C4:	0322	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0521	0311	0312	01122	04312	02231	05121	03113
C2:	0421	0521	0311	0323	0213	0322	0421	0521	0311	0323	01123	03112	05122	02311	04231
C3:	0211	0312	0411	0323	0213	0322	0312	0411	0311	0323	02123	03112	05132	01312	04231
C3:	0211	0312	0411	0323	0213	0322	0312	0411	0311	0323	02123	03112	05132	01312	04231
C1:	0521	0411	0323	0213	0322	0521	0311	0323	0323	0323	04123	05122	01122	03312	02231

ภาพประกอบ 3.13 โครโมโซมชุดใหม่ที่ผ่านการคัดเลือก

3.4.6 การสลับสายพันธุ์

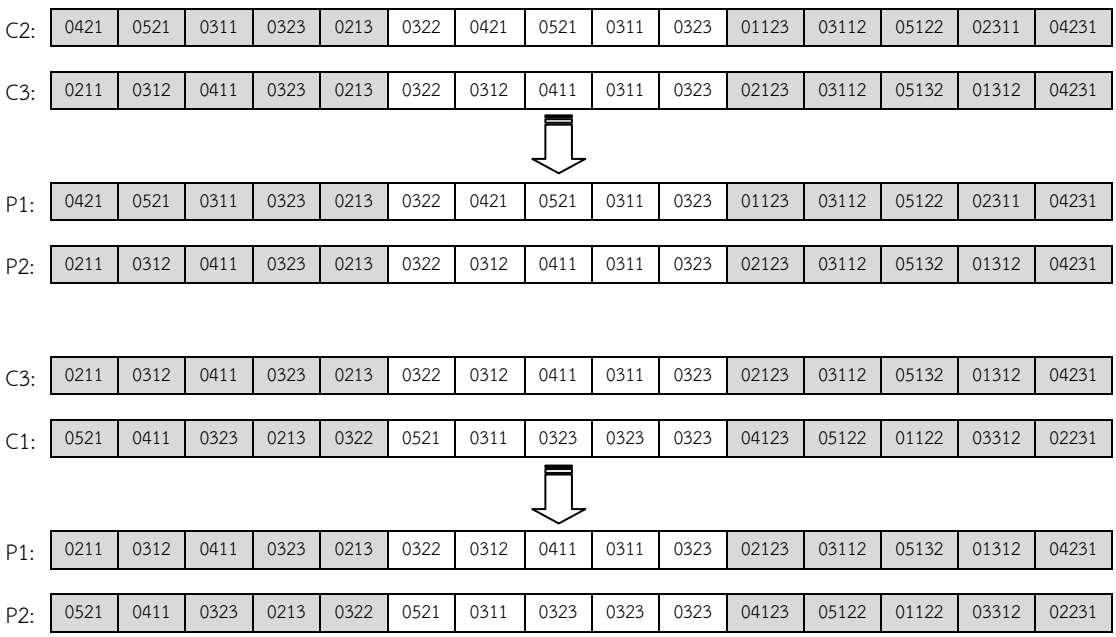
สำหรับการสลับสายพันธุ์ (crossover) ซึ่งเป็นขั้นตอนของการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมพ่อและแม่ (parents) หลังจากผ่านกระบวนการคัดเลือกมาแล้ว โดยจะพิจารณาตามอัตราความน่าจะเป็นในสลับสายพันธุ์ (Pc) ที่ 0.8 และเลือกวิธีการสำหรับการสลับสายพันธุ์แบบ Two-Point Crossover (สำหรับ segment 1 และ 2) และ แบบ Order Crossover (สำหรับ segment 3) ซึ่งการกำหนดในส่วนนี้นั้นนิยมใช้ในการประยุกต์วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาทางด้านระบบโลจิสติกส์และยังสอดคล้องกับลักษณะของโครโมโซม โดยการสลับสายพันธุ์นี้ก็เพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมรุ่นลูก (offspring) ชุดใหม่ขึ้นมา ซึ่งขั้นตอนของการสลับสายพันธุ์นั้น

จะเริ่มต้นจากการกำหนดตัวเลขสุ่ม (0 ถึง 1) ให้กับโครโมโซมที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้ว ซึ่งได้แก่ โครโมโซม C4, C2, C3, C3 และ C1 (ภาพประกอบ 3.13) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.83, 0.79, 0.53, 0.77 และ 0.12 ตามลำดับ จากนั้นจึงพิจารณาเลือกโครโมโซมที่มีค่าของเลขสุ่มน้อยกว่า 0.8 ซึ่งเป็นค่า Pc จะพบว่า ได้แก่ โครโมโซม C2, C3, C3 และ C1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.79, 0.53, 0.77 และ 0.12 ตามลำดับ จะถูกเลือกไปทำการสลับสายพันธุ์ ส่วนโครโมโซมที่ไม่ถูกเลือกไปสลับสายพันธุ์คือ C4 ที่มีค่าเท่ากับ 0.83 (เกินค่า Pc) ดังรายละเอียดในตาราง 3.9

ตาราง 3.9 ตัวอย่างการคัดเลือกโครโมโซมไปทำการสลับสายพันธุ์

โครโมโซม	ตัวเลขสุ่ม (0 ถึง 1)	ผลการพิจารณา
C4	0.83	ไม่ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม > ค่า Pc)*
C2	0.79	ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม < ค่า Pc)*
C3	0.53	ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม < ค่า Pc)*
C3	0.77	ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม < ค่า Pc)*
C1	0.12	ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม < ค่า Pc)*

จากนั้นจึงทำการจับคู่โครโมโซมที่ถูกเลือกมาทีละคู่ตามลำดับ แล้วกำหนดโครโมโซมแต่ละคู่เป็นโครโมโซมพ่อและแม่ (P1 และ P2) โดยโครโมโซมคู่แรกคือ C2 และ C3 ส่วนคู่ที่สองคือ C3 และ C1 จากนั้นจึงกำหนดโครโมโซมดังกล่าวเป็นโครโมโซมพ่อและแม่ ซึ่งกำหนดให้โครโมโซมลำดับแรกเป็น P1 และโครโมโซมลำดับที่สองเป็น P2 ของโครโมโซมแต่ละคู่ ดังภาพประกอบ 3.14



ภาพประกอบ 3.14 การจับคู่โครโมโซมและการกำหนดเป็นโครโมโซมรุ่นพ่อและแม่

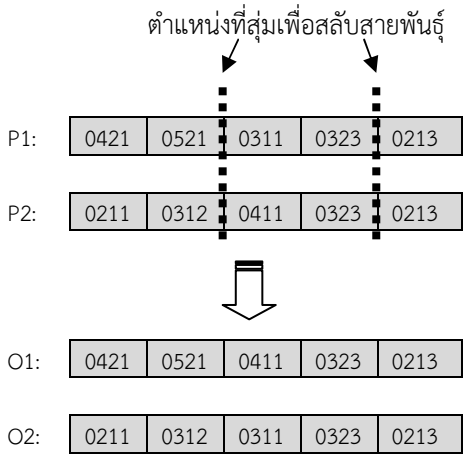
สำหรับการสลับสายพันธุ์นั้น ในส่วนของ segment 1 และ 2 จะทำการสลับสายพันธุ์ด้วยวิธี Two-Point Crossover และใน segment 3 จะทำการสลับสายพันธุ์ด้วยวิธี Order Crossover โดยการสลับสายพันธุ์ใน segment 1 นั้นสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังภาพประกอบ 3.15 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) สุ่มตำแหน่งยีนภายในโครโมโซม P1 และ P2 ของ segment 1 มาสองตำแหน่งอย่างอิสระ ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 3.15 โดยตำแหน่งยีนที่สุ่มได้คือ ตำแหน่งที่ 2 และ 4

2) ทำการคัดลอกค่ายีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 4 คือ ยีน 0311 และ 0323 ของโครโมโซม P1 ไปใส่เป็นค่ายีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 4 ของโครโมโซม O2

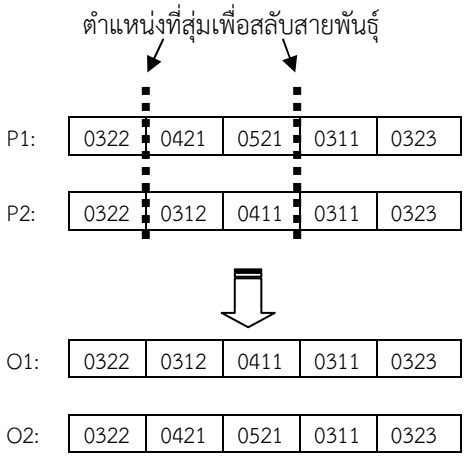
3) ทำการคัดลอกค่ายีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 4 คือ ยีน 0411 และ 0323 ของโครโมโซม P2 ไปใส่เป็นค่ายีนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 4 ของโครโมโซม O1

4) สำหรับค่าของยีนที่อยู่นอกช่วงของการสุ่มของโครโมโซม P1 ก็จะนำไปเป็นค่ายีนของโครโมโซม O1 และค่าของยีนที่อยู่นอกช่วงของการสุ่มของโครโมโซม P2 ก็จะนำไปเป็นค่ายีนของโครโมโซม O2 เช่นกัน



ภาพประกอบ 3.15 ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์ใน segment 1

ในส่วนของ segment 2 ก็ทำการสลับสายพันธุ์เช่นเดียวกับ segment 1 ดังแสดงผลได้ดังภาพประกอบ 3.16 ซึ่งตำแหน่งที่สุ่มได้คือ ตำแหน่งยีนที่ 1 และ 3 และใช้ขั้นตอนเดียวกันกับของ segment 1 ในการสลับสายพันธุ์ สำหรับในส่วนของ segment 3 ซึ่งใช้วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Order Crossover จะเป็นการสลับสายพันธุ์จากโครโมโซมพ่อและแม่ (P1 และ P2) ไปเป็นโครโมโซมรุ่นลูก (O1 และ O2) ด้วยการสุ่มตำแหน่งของโครโมโซม P1 และ P2 มาสองตำแหน่ง แล้วคัดลอกค่ายีนในช่วงดังกล่าวไปเป็นค่ายีนในช่วงเดียวกันของ O1 จากนั้นจึงลบค่ายีนที่สุ่มได้ก่อนหน้านี้ออกจากโครโมโซม P2 แล้วนำยีนที่เหลือไปใส่ในตำแหน่งว่างของโครโมโซม O1 จากซ้ายไปขวา (เพื่อไม่ให้เกิดการซ้ำกัน) และทำแบบเดียวกันนี้กับโครโมโซม O2 ด้วย ก็จะได้โครโมโซมใหม่ออกมา สำหรับผลจากการสลับสายพันธุ์รวมของทั้งโครโมโซม (ทั้ง 3 segment) นั้นสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3.17



ภาพประกอบ 3.16 ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์ใน segment 2

O1:	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0312	0411	0311	0323	02123	03112	05122	01312	04231
O2:	0211	0312	0311	0323	0213	0322	0421	0521	0311	0323	01123	03112	05132	02311	04231
O3:	0211	0411	0323	0323	0213	0322	0311	0323	0323	0323	04123	01122	05132	03312	02231
O4:	0521	0312	0411	0213	0322	0521	0312	0411	0311	0323	02123	03112	01122	05132	04231

ภาพประกอบ 3.17 ตัวอย่างผลการสลับสายพันธุ์

เมื่อมาถึงในส่วนนี้จะได้โครโมโซมใหม่ที่ผ่านกระบวนการสลับสายพันธุ์ คือ O1, O2, O3 และ O4 จำนวน 4 โครโมโซม และรวมกับ โครโมโซม C4 อีก 1 โครโมโซม ที่ไม่ได้ถูกคัดเลือกไปสลับสายพันธุ์ จึงสามารถแสดงโครโมโซมทั้งหมดที่ได้หลังผ่านกระบวนการสลับสายพันธุ์ดังภาพประกอบ 3.18 ก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไปของวิธีการเชิงพันธุกรรม

C4:	0322	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0521	0311	0312	01122	04312	02231	05121	03113
O1:	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0312	0411	0311	0323	02123	03112	05122	01312	04231
O2:	0211	0312	0311	0323	0213	0322	0421	0521	0311	0323	01123	03112	05132	02311	04231
O3:	0211	0411	0323	0323	0213	0322	0311	0323	0323	0323	04123	01122	05132	03312	02231
O4:	0521	0312	0411	0213	0322	0521	0312	0411	0311	0323	02123	03112	01122	05132	04231

ภาพประกอบ 3.18 โครโมโซมทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการสลับสายพันธุ์

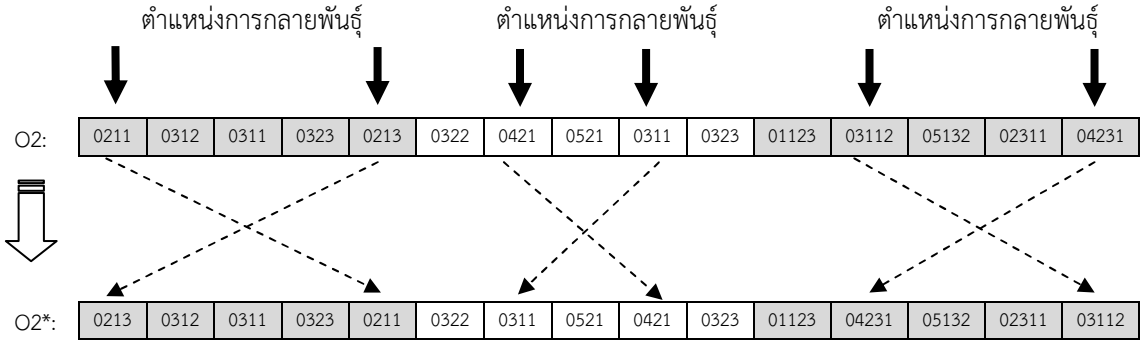
3.4.7 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์ (mutation) หรือ การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม เป็นขั้นตอนที่อาจช่วยให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมดีขึ้นหลังจากผ่านการสลับสายพันธุ์มาแล้ว โดยการกลับค่าบางส่วนของโครโมโซมเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ โดยกำหนดอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Pm) เท่ากับ 0.2 และเลือกวิธีการกลายพันธุ์แบบ Two-Point Swapping Mutation ซึ่งการกำหนดในส่วนนี้นั้นนิยมใช้ในการแก้ปัญหาด้านระบบโลจิสติกส์และสอดคล้องกับลักษณะของโครโมโซม โดยขั้นตอนของการกลายพันธุ์นั้นจะเริ่มต้นจากการกำหนดตัวเลขสุ่ม (0 ถึง 1) ให้กับโครโมโซมที่ผ่านการสลับสายพันธุ์มาแล้ว ซึ่งได้แก่ โครโมโซม O1, O2, O3 และ O4 (ภาพประกอบ 3.17) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.78, 0.13, 0.93 และ 0.39 ตามลำดับ จากนั้นจึงพิจารณาเลือกโครโมโซมที่มีค่าของเลขสุ่มน้อยกว่า 0.2 จะพบว่า ได้แก่ โครโมโซม O2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.13 ก็จะถูกเลือกมาทำการกลายพันธุ์ ส่วนโครโมโซมที่ไม่ถูกเลือกไปกลายพันธุ์คือ O1, O3 และ O4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.78, 0.93 และ 0.39 ตามลำดับ (เกินค่า Pm) ดังรายละเอียดในตาราง 3.10

ตาราง 3.10 ตัวอย่างการคัดเลือกโครโมโซมไปทำการกลายพันธุ์

โครโมโซม	ตัวเลขสุ่ม (0 ถึง 1)	ผลการพิจารณา
O1	0.78	ไม่ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม > ค่า Pm)*
O2	0.13	ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม < ค่า Pm)*
O3	0.93	ไม่ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม > ค่า Pm)*
O4	0.39	ไม่ถูกเลือก *(ค่าเลขสุ่ม > ค่า Pm)*

โดยโครโมโซม O2 ซึ่งเป็นเพียงโครโมโซมเดียวที่ถูกเลือกก็จะผ่านกระบวนการกลายพันธุ์ด้วยการสุ่มตำแหน่งยีนขึ้นมา segment ละสองตำแหน่ง แล้วทำการสลับค่าของยีนที่สุ่มมาได้ระหว่างกันดังรายละเอียดในภาพประกอบ 3.19



ภาพประกอบ 3.19 ตัวอย่างผลการกลายพันธุ์

จากภาพประกอบ 3.19 จะเห็นได้ว่า เมื่อสุ่มตำแหน่งยีนในแต่ละ segment แล้วจึงสลับค่าของแต่ละตำแหน่งภายใน segment เดียวกัน ก็จะได้โครโมโซมใหม่เป็น O2*

เมื่อมาถึงในส่วนนี้จะได้โครโมโซมใหม่ที่ถูกคัดเลือกไปผ่านกระบวนการกลายพันธุ์มา คือ O2* จำนวน 1 โครโมโซม และรวมกับโครโมโซมเดิมอีก 4 โครโมโซม คือ C4, O1, O3 และ O4 ที่ไม่ได้ถูกคัดเลือกไปกลายพันธุ์ จึงสามารถแสดงโครโมโซมทั้งหมดที่ได้หลังผ่านกระบวนการกลายพันธุ์ดังภาพประกอบ 3.20 ซึ่งเป็นโครโมโซมรุ่นแรกที่ผ่านกระบวนการของวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยจะทำซ้ำเพื่อหาคำตอบที่มีต้นทุนต่ำที่สุดตามจำนวนรุ่นที่กำหนดแล้วจึงจะหยุดการค้นหาและวิเคราะห์ผลจากคำตอบที่ได้ต่อไป

C4:	0322	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0521	0311	0312	01122	04312	02231	05121	03113
O1:	0421	0521	0411	0323	0213	0322	0312	0411	0311	0323	02123	03112	05122	01312	04231
O2*:	0213	0312	0311	0323	0211	0322	0311	0521	0421	0323	01123	04231	05132	02311	03112
O3:	0211	0411	0323	0323	0213	0322	0311	0323	0323	0323	04123	01122	05132	03312	02231
O4:	0521	0312	0411	0213	0322	0521	0312	0411	0311	0323	02123	03112	01122	05132	04231

ภาพประกอบ 3.20 โครโมโซมทั้งหมดหลังผ่านกระบวนการกลายพันธุ์

3.4.8 การหยุดการค้นหา

สำหรับกลไกการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมจะเริ่มต้นด้วยการสุ่มจำนวนประชากรของคำตอบเริ่มต้นขึ้นมา แล้วผ่านกระบวนการต่างๆ ดังเช่น การคัดเลือกสายพันธุ์ การสลับสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ โดยในการดำเนินการแต่ละรอบ วิธีการเชิงพันธุกรรมนี้จะเก็บค่าความเหมาะสมของคำตอบของปัญหาไปเรื่อยๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะหมายถึง ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ และเมื่อดำเนินการได้ตามจำนวนรุ่นที่ต้องการหรือที่กำหนดแล้วก็จะแสดงคำตอบที่ดีที่สุดออกมาและหยุดการค้นหา ซึ่งเป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนของวิธีการเชิงพันธุกรรม หลังจากนั้นจึงนำคำตอบที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อสรุปผลของการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ ตลอดจนองค์ประกอบต่างๆในลำดับถัดไป

3.5 การวิเคราะห์ความไว

การวิเคราะห์ความไว (sensitivity analysis) เป็นการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของผลการวิจัยที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนใดส่วนหนึ่งของแบบจำลอง เช่น ค่าคงที่ ค่าพารามิเตอร์ เป็นต้น เนื่องจากผลการวิจัยที่วิเคราะห์ได้นั้นผ่านการพิจารณาภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ การเปลี่ยนแปลงข้อจำกัด หรือเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของตัวแปร จะส่งผลให้

คำตอบของปัญหามีการเปลี่ยนแปลง ในส่วนของการเลือกตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ความไวโดยทั่วไปมักพิจารณาตัวแปรที่มีความสำคัญ และผู้วิเคราะห์ความไวไม่มีความมั่นใจในความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มา และต้องการจะประเมินว่าหากข้อมูลตัวเลขหรือข้อสมมติที่ใช้มีความคลาดเคลื่อน จะทำให้ตัวเลขผลลัพธ์ที่คำนวณได้แตกต่างไปจากค่าเดิมมากน้อยเพียงใด ในกรณีของตัวเลขมักจะใช้ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดที่มีความเป็นไปได้มาใช้เป็นตัวแทนเพื่อการคำนวณในการวิเคราะห์ความไว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ความไวเพื่อศึกษาต้นทุนรวมทั้งระบบที่เกิดขึ้นและตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลภายใต้สถานการณ์ที่จะเปลี่ยนแปลงไป ด้วยการวิเคราะห์ความไวด้านปริมาณซากคอมพิวเตอร์และความต้องการวัสดุรีไซเคิลที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ตลอดจนต้นทุนต่างๆที่อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในอนาคตข้างหน้าเช่นเดียวกัน

3.6 การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์

ในการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้ จะเป็นการวิเคราะห์และวิจารณ์ข้อเด่น-ข้อด้อย และการอภิปรายเพื่อสรุปผล โดยการเปรียบเทียบรูปแบบของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันโดยรวมของประเทศในส่วนของข้อเด่น-ข้อด้อย และสภาวะปัญหาที่สำคัญของรูปแบบการจัดการแบบเดิม ด้วยการเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดการแบบใหม่ สำหรับการนำมาปรับใช้ในการแก้ไขปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นประเทศไทย ด้วยการประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับร่วมกับการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอขึ้น โดยวิเคราะห์ข้อเด่น-ข้อด้อย และแนวทางสำคัญของระบบใหม่ที่ช่วยแก้ปัญหาจากระบบเดิม นอกจากนี้ภายใต้ระบบใหม่ของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบนั้น ยังได้ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ ตลอดจนองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ศูนย์รวบรวม และชนิดของการขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิล จากนั้นจึงทำการสรุปผลจากการทำวิจัยและเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอผลลัพธ์ของการวิเคราะห์และการอภิปรายผลการวิจัย ของการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วย ผลการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ผลการออกแบบและวิเคราะห์ระบบโครงข่ายและระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ผลการวิเคราะห์ความไว และผลการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย ปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ อันได้แก่ ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค ปัญหาการจัดการของร้านรับซื้อของเก่า ปัญหาการดำเนินการของผู้ประกอบการรีไซเคิล และปัญหาโดยรวมของการจัดการเชิงระบบ ตลอดจนการศึกษากลยุทธ์และวิธีการในการแก้ไขปัญหา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค

สำหรับปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของผู้บริโภคนั้น เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญของการเพิ่มขึ้นของซาก E-waste ในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกเรียกว่า พฤติกรรมการจัดการกับซาก E-waste ที่ไม่เหมาะสม โดยซากคอมพิวเตอร์ก็เป็นหนึ่งในซาก E-waste ที่เกิดปัญหาดังกล่าว ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะซากคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวจากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษ ปี พ.ศ. 2552 ในเรื่องพฤติกรรมการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของคนไทย จากกลุ่มตัวอย่าง 1,529 ครัวเรือนทั่วประเทศ พบว่า พฤติกรรมของคนไทยส่วนใหญ่จะจัดการซากคอมพิวเตอร์ด้วยการเก็บไว้ที่บ้านโดยไม่ได้ใช้งาน นอกจากนี้ยังมีรูปแบบอื่นๆในการจัดการดังแสดงในตาราง 4.1

จากพฤติกรรมดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ได้ว่า คนไทยส่วนใหญ่ยังให้ความสำคัญกับปัญหาซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นหนึ่งในซาก E-waste น้อยมาก จึงทำให้ซากคอมพิวเตอร์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกนำกลับมาเพื่อเข้าสู่กระบวนการของการจัดการ การรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์ และการกำจัดที่ถูกต้องมากนัก จึงก่อให้เกิดการสะสมของซากคอมพิวเตอร์จำนวนมาก ณ จุดของการ

บริโภคซึ่งเป็นประเด็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน และมีการคาดการณ์ว่าจะรุนแรงมากยิ่งขึ้นในอนาคต หากไม่เร่งแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างจริงจัง

ตาราง 4.1 รูปแบบพฤติกรรมการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของคนไทย

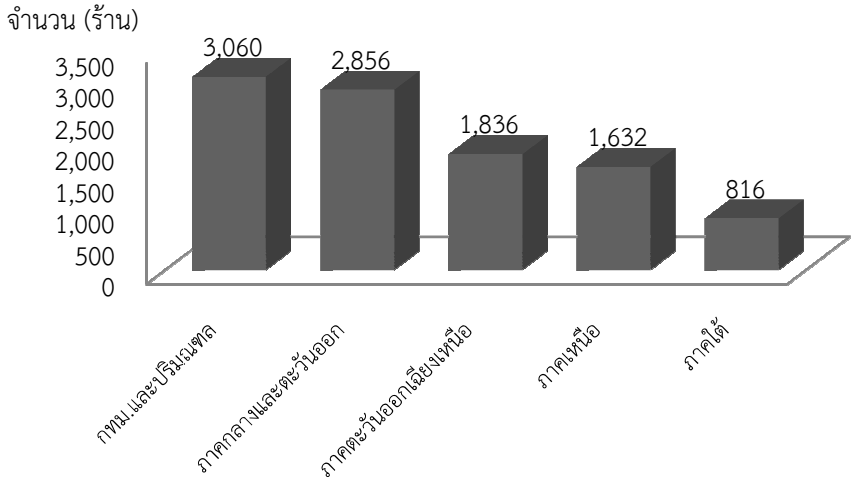
ชนิดของคอมพิวเตอร์	สัดส่วนของรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ (ร้อยละ)					
	เก็บไว้ที่บ้านไม่ได้ใช้งาน	บริจาคให้ญาติ/ผู้อื่น	ทิ้งรวมกับขยะทั่วไป	ขายให้ซาเล้ง/ร้านรับซื้อของเก่า	นำของเก่าไปแลกของใหม่	อื่นๆ
ชุดคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ แบบจอ CRT	53.18	26.59	5.78	8.67	4.62	1.16
ชุดคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ แบบจอ LCD	28.57	46.94	14.29	8.16	2.04	0
คอมพิวเตอร์แบบพกพา	47.37	28.07	14.04	7.02	3.51	0

ที่มา: ปรับจาก กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [6]

4.1.2 ปัญหาการจัดการของร้านรับซื้อของเก่า

สำหรับปัญหาของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ รวมถึงซาก E-waste ชนิดอื่นๆที่ถูกดำเนินการในลักษณะที่คล้ายคลึงกันนั้น จะเห็นได้ว่า ปัจจุบันมีร้านรับซื้อของเก่าซึ่งเป็นกลุ่มธุรกิจหนึ่งที่มีแนวปฏิบัติที่เหมาะสมในการรับซื้อและการจัดการกับซาก E-waste อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ แต่ในขณะเดียวกันก็ยังคงมีร้านรับซื้อของเก่าจำนวนมากที่มีรูปแบบของการจัดการและการปฏิบัติที่ไม่เหมาะสม และเป็นจุดสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ประเทศไทยมีจำนวนร้านรับซื้อของเก่าเป็นจำนวนมาก โดยข้อมูลจากการสำรวจ ในปี พ.ศ. 2550 นั้น ประเทศไทยมีร้านรับซื้อของเก่าทั่วประเทศ จำนวน 10,200 ร้าน ซึ่งจำแนกออกเป็นรายภูมิภาคได้ดังภาพประกอบ 4.1 ซึ่งร้านรับซื้อของเก่าเหล่านี้ ส่วนใหญ่มีการสะสมวัตถุสิ่งของที่ชำรุด สิ่งของใช้แล้ว หรือสิ่งของเหลือใช้ ไว้ภายในร้านเพื่อรวบรวมเอาไว้รอการขนส่งหรือจำหน่ายต่อไป หากผู้ประกอบกิจการขาดความรู้และความเข้าใจในการจัดการดูแลร้านให้เหมาะสม อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของผู้ประกอบกิจการและคนงาน รวมทั้งผู้ที่อาศัยอยู่ข้างเคียง ดังเช่น ปัญหาแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์นำโรค เสียงดังจากการกระทบกันของโลหะ การขนย้ายสิ่งของ อุบัติเหตุจากของมีคม การตกหล่นในระหว่างการขนย้ายสารเคมีและวัตถุอันตราย กลิ่นจากการสะสมของสิ่งตกค้างเน่าเสีย น้ำเสียจากการล้างขวด หรือล้างพลาสติกที่บรรจุของเน่าเสีย เป็นต้น



ภาพประกอบ 4.1 จำนวนร้านรับซื้อของเก่าในประเทศไทยจำแนกตามภูมิภาค
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [47]

เมื่อพิจารณาเฉพาะซากของ E-waste นั้นพบว่า การจัดการที่ไม่เหมาะสมจะมีอยู่สองประเด็นหลัก โดยประเด็นแรก คือ การกองและการทิ้งซากที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเกิดจากการรับซื้อซาก E-waste มากองสะสมไว้ที่ร้าน การกองสะสมไว้ของชิ้นส่วนที่ไม่สามารถถอดแยกได้ และการกองซากชนิดต่างๆทิ้งไว้ ก่อให้เกิดปัญหาการซึมผ่านของสารพิษลงสู่ระบบนิเวศน์ ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ส่วนประเด็นที่สอง คือ การถอดรื้อซากและการแยกวัสดุออกจากซากที่ไม่เหมาะสม ดังเช่น การถอดแยกชิ้นส่วนโดยไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน ทำให้สารพิษปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายและปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม การเผาสายไฟเพื่อนำทองแดงไปขาย ทำให้เกิดไอระเหยของพลาสติกและโลหะบางส่วนซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคมะเร็ง การเผาแผงวงจรเพื่อหลอมเอาตะกั่วและทองแดง ทำให้ไอตะกั่วแพร่กระจายเข้าสู่ร่างกายผ่านการหายใจ การใช้กรดสกัดโลหะมีค่าจากแผงวงจรโดยไม่มีกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเสียสู่พื้นดินและแหล่งน้ำ การรื้อแกะตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศโดยไม่มีอุปกรณ์ดูดเก็บสารทำความเย็น ทำให้สารทำความเย็นหลุดออกสู่บรรยากาศทำลายชั้นโอโซน เหล่านี้เป็นต้น และเมื่อพิจารณาถึงซากคอมพิวเตอร์ในการศึกษานี้สามารถแสดงได้ดังตาราง 4.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างปัญหาโดยสรุปของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสมในปัจจุบันของร้านรับซื้อของเก่าในประเทศไทย

จากปัญหาดังกล่าวของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ ตลอดจนซาก E-waste ชนิดอื่นๆ ที่ไม่เหมาะสมของร้านรับซื้อของเก่านั้น ไม่ได้หมายความว่าร้านรับซื้อของเก่าทุกร้านจะมีระบบการจัดการที่ไม่ถูกต้องดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เพราะในปัจจุบันก็มีผู้ประกอบการร้านรับซื้อของเก่าหลายร้านที่ดำเนินกิจการถูกต้องและเหมาะสม และยังได้รับใบอนุญาตประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ประเภทกิจการสะสมวัตถุหรือสิ่งของที่ชำรุด ใช้แล้ว หรือเหลือใช้ และ/หรือกิจการขายทอดตลาดและค้าของเก่า ส่วนร้านรับซื้อของเก่าที่ยังดำเนินงานและจัดการซาก E-waste ที่ไม่ถูกต้องเหมาะสมก็ควรปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาต่อไป

ตาราง 4.2 ตัวอย่างปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ณ ร้านรับซื้อของเก่า

รูปแบบการจัดการ	ปัญหาที่เกิดขึ้น
การกองสะสมซาก	การกองสะสมซาก และการกองซากทิ้งไว้ที่ไม่เหมาะสม ก่อให้เกิดการซึมผ่านของสารพิษลงสู่สิ่งแวดล้อม
การถอดรื้อหรือแยกชิ้นส่วน	การถอดรื้อหรือแยกชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม ไม่มีการสวมอุปกรณ์ป้องกัน ก่อให้เกิดการปนเปื้อนสารพิษเข้าสู่ร่างกาย
การเผาแผงวงจร	การเผาแผงวงจรของคอมพิวเตอร์เพื่อหลอมตะกั่วและทองแดง ทำให้ไอตะกั่วแพร่กระจายสู่ร่างกายผ่านการหายใจ
การเผาสายไฟ	การเผาสายไฟในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำทองแดงไปขาย ทำให้เกิดไอระเหยของพลาสติกและโลหะบางส่วนซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคมะเร็ง

4.1.3 ปัญหาการดำเนินงานของผู้ประกอบการรีไซเคิล

จากการศึกษาข้อมูลที่ได้มีการนำเสนอเกี่ยวกับผู้ประกอบการรีไซเคิลภายในประเทศของกรมควบคุมมลพิษ จากกลุ่มผู้ประกอบธุรกิจโรงงานประเภท 105 และ 106 ที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการประเภทคัดแยก ดัดแปลง ซ่อม รีไซเคิลเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยจากฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ประกอบการจำนวนทั้งสิ้น 22 แห่งทั่วประเทศนั้น [6]

ผลการศึกษาภาพรวมของอุตสาหกรรมรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มผู้ประกอบการออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มบริษัทผู้ผลิตสินค้า

กลุ่มบริษัทผู้ผลิตสินค้าที่ดำเนินการเก็บรวบรวมและจัดการซากผลิตภัณฑ์ของตน ซึ่งเป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ริเริ่มโครงการเรียกคืนและจัดการซากผลิตภัณฑ์ของตนเอง ตามหลัก EPR ทั้งนี้ มีบางบริษัทที่ได้ดำเนินโครงการเรียกคืนซากผลิตภัณฑ์ โดยไม่ได้จัดการซากผลิตภัณฑ์ที่รวบรวมเองแต่จะว่าจ้างให้ผู้ประกอบการรีไซเคิลไปดำเนินการแทน

2) กลุ่มบริษัทผู้ประกอบกิจการรีไซเคิลโดยเฉพาะ

กลุ่มบริษัทผู้ประกอบกิจการรีไซเคิลโดยเฉพาะซึ่งมีทั้งผู้ประกอบการชาวไทย และผู้ประกอบการชาวต่างชาติ หรือร่วมทุนกัน ทั้งนี้ผู้ประกอบการชาวต่างชาติบางรายที่เข้ามาทำธุรกิจการรีไซเคิลในประเทศไทยนั้น ยังไม่ได้มีการก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลเต็มรูปแบบในเมืองไทย แต่มีกระบวนการจัดการและส่งออกไปรีไซเคิลที่บริษัทที่ตั้งอยู่ในต่างประเทศ ส่วนผู้ประกอบการไทยนั้นอาจแบ่งกลุ่มตามลักษณะการดำเนินธุรกิจเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มที่รับซากผลิตภัณฑ์จากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือค้างสต๊อก และ (2) กลุ่มที่รับซากผลิตภัณฑ์ทั้งจากแหล่งอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน โดยกลุ่มนี้จะ

เป็นกลุ่มที่มีใบอนุญาตค้าของเก่าและกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ นอกเหนือจากใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงานประเภท 105 และ 106 นอกจากนี้ยังมีกลุ่มผู้ประกอบการที่เน้นรับซากผลิตภัณฑ์มาซ่อมแซม หรือปรับปรุงเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มือสอง

จากการศึกษาและสำรวจดังกล่าวไว้ข้างต้นนั้น แม้ว่าในปัจจุบันประเทศไทยจะมีผู้ประกอบการรีไซเคิลบางกลุ่มที่มีการดำเนินกิจการที่ได้มาตรฐาน สามารถพัฒนาเทคโนโลยีในการสกัดโลหะมีค่าจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และมีระบบการควบคุมมลพิษที่ดี แต่ในภาพรวมของการจัดการซาก E-waste โดยรวมทั้งชิ้นผลิตภัณฑ์ ยังมีประเด็นปัญหาดังนี้

1) ไม่มีกระบวนการจัดการซากทุกชิ้นส่วนอย่างเต็มรูปแบบ

2) มีการถอดรื้อ และการคัดแยกของซาก E-waste อย่างไม่เหมาะสมของกลุ่มผู้ประกอบการรายย่อยที่ไม่ได้จดทะเบียนเป็นโรงงานอย่างถูกต้องที่อาจจะทำให้สารอันตรายปนเปื้อนหรือแพร่กระจายไปยังผู้ปฏิบัติการ ชุมชน และสิ่งแวดล้อมรอบข้างได้

3) ขาดการผลักดันจากภาครัฐให้เกิดระบบการเก็บรวบรวมซาก E-waste ที่สามารถสร้างความมั่นใจถึงปริมาณซากจากแหล่งชุมชนที่เพียงพอผ่านระบบการรับซื้อคืน

4) ขาดการสนับสนุนเงินอุดหนุนสำหรับการรีไซเคิลซาก E-waste ที่ไม่มีกำไร อาทิ เช่น ซากหลอดไฟ และซากถ่านไฟฉาย เหล่านี้เป็นต้น

ทั้งนี้ผู้ประกอบการรีไซเคิลซาก E-waste ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะรับซื้อซากอย่างหลากหลายเพื่อการรีไซเคิลชิ้นส่วนให้ได้ในปริมาณมาก แต่ยังขาดการศึกษาเพื่อการจัดตั้งโรงงานเฉพาะด้านสำหรับการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่งเพียงอย่างเดียว เพื่อรองรับเทคโนโลยีขั้นสูงที่จะนำมาประยุกต์ใช้อย่างเต็มศักยภาพของการรีไซเคิลแบบครบวงจรต่อไป

4.1.4 ภาพรวมปัญหาเชิงระบบ

สำหรับปัญหาโดยรวมทั้งระบบนั้น พบว่า ประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่มีระบบของการรีไซเคิล E-waste ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจอย่างครบวงจร โดยมีปัญหาสำคัญอยู่ที่การเก็บรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อส่งต่อไปยังโรงงานที่มีกระบวนการรีไซเคิลที่ได้รับใบอนุญาตจากทางราชการ นอกเหนือจากของเก่าที่ถูกเก็บไว้ในครัวเรือนและซากที่ถูกทิ้งปะปนไปกับขยะมูลฝอยทั่วไปแล้ว E-waste ส่วนมากยังถูกเก็บรวบรวมผ่านร้านซ่อมและระบบค้าของเก่า รวมทั้งการบริจาคให้กับวัดหรือมูลนิธิซึ่งท้ายที่สุด ซาก E-waste ที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ก็มักจะถูกขายต่อไปให้กับกลุ่มถอดรื้อและคัดแยกเหล่านี้ ซึ่งจะแยกเอาเฉพาะชิ้นส่วนที่ขายได้ด้วยการถอดรื้อและเผาทำลาย แต่ไม่ได้มีการจัดการกับสารอันตรายหรือมลพิษที่เกิดจากกระบวนการคัดแยก แม้ว่าการรีไซเคิลในปัจจุบันสามารถสร้างรายได้และมีต้นทุนต่ำ (นับเฉพาะต้นทุนของเอกชน ไม่รวมต้นทุนของสังคมด้านสุขภาวะและด้านสิ่งแวดล้อม) แต่ก็มีประสิทธิภาพในการนำวัสดุมีค่ากลับมาใช้ได้น้อย โดยกระบวนการเผาทำลายจะทำให้ได้โลหะเกรดต่ำ ส่วนการใช้น้ำกรดกัดแผงวงจรแล้วใช้ปรอทจับกับทองก็สามารถสกัดทองได้เพียงร้อยละ 30 ของปริมาณทองที่มีอยู่ในแผงวงจร ซึ่งนับเป็นปัญหาโดยรวมของประเทศไทยทั้งประเทศที่ต้องได้รับการปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาระบบการดำเนินงานที่มีความเหมาะสม ตลอดจน

การนำเสนอรูปแบบการจัดการแบบใหม่เพื่อพิจารณาเป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหาโดยรวมของประเทศต่อไป

ส่วนการวิเคราะห์โดยภาพรวมของปัญหาด้านซาก E-waste ของประเทศไทยที่ได้นำเสนอ ตามยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ได้สรุปไว้เมื่อเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2551 มีประเด็นโดยภาพรวมดังต่อไปนี้

1) ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีปริมาณมากและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี

2) ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพต่ำมีปริมาณการนำเข้ามาในประเทศไทยมากขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำเหล่านี้มักมีอายุการใช้งานสั้น ทำให้เพิ่มปริมาณซากผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและภาระการจัดการซากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ในประเทศ

3) ข้อกำหนดด้านการค้าและสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปัจจุบันมีความเข้มงวดในเรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์และการจัดการซากผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งหากผู้ประกอบการในประเทศเหล่านั้นไม่สามารถดำเนินการตามมาตรฐานที่กำหนด หรือต้องการลดต้นทุน อาจหลบเลี่ยงและส่งออกผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำหรือซากผลิตภัณฑ์ไปจำหน่ายหรือกำจัดในประเทศที่ไม่มีมาตรการป้องกัน

4) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ไม่สามารถบังคับใช้ให้เกิดกลไกการจัดการซากผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) กฎหมายและกฎระเบียบที่มีในปัจจุบัน ไม่สามารถบังคับใช้ให้เกิดกลไกการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและครบวงจร

6) ประชาชนยังไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรายของซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัย รวมทั้งขาดแรงจูงใจในการคัดแยกขยะ ทำให้ไม่ได้รับความร่วมมือในการคัดแยกซากผลิตภัณฑ์ออกจากขยะมูลฝอยทั่วไป และการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการเกิดซากผลิตภัณฑ์

7) ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม ขาดความรู้ที่เพียงพอ และไม่มีความพร้อมในการผลิตผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องตามมาตรฐานข้อกำหนดด้านการค้าและสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ เช่น กฎระเบียบ WEEE และ RoHS ของสหภาพยุโรป

8) ปัจจุบันการเก็บรวบรวมข้อมูลและฐานข้อมูลเกี่ยวกับซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์หรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วในประเทศไทย ยังไม่เป็นระบบและเพียงพอที่สามารถเชื่อมไปสู่การวางแผนในภาพรวมที่แก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

9) โรงงานคัดแยกและรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นกิจการที่มีมูลค่าการลงทุนสูง ประกอบกับระบบข้อมูลและระบบการรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ที่มีในปัจจุบันไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสร้างความเชื่อมั่นในการลงทุนแก่ภาคเอกชนได้เท่าที่ควร

10) การวิจัยและพัฒนาด้านเทคนิคในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ และการผลิตสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยังอยู่ในวงจำกัด

11) ขาดกลไกทางการเงินและแหล่งเงินทุนที่จะสนับสนุนการจัดการซากผลิตภัณฑ์และการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างยั่งยืนและครบวงจร

4.1.5 การศึกษากลยุทธ์และวิธีการในการแก้ไขปัญหา

จากการศึกษาถึงสภาพปัญหาและการจัดการของซาก E-waste โดยเฉพาะซากคอมพิวเตอร์นั้น ผลจากการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาซึ่งยังคงมีอยู่ในสังคมไทยและต้องการวิธีการเพื่อเป็นแนวทางแก้ไขปัญหา ดังนั้นการศึกษาถึงกลยุทธ์และวิธีการในการแก้ไขปัญหาจึงมีความสำคัญมากในการนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการกับปัญหาซากคอมพิวเตอร์และการรีไซเคิลเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในเบื้องต้นจำเป็นต้องศึกษาว่าปัจจุบันได้มีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดไปแล้วบ้าง และประเด็นใดของการแก้ไขที่ยังมีช่องว่างให้สามารถปรับปรุงได้ ตลอดจนการประยุกต์ใช้รูปแบบการแก้ไขปัญหาด้วยแนวทางใหม่ๆ เพื่อเป็นการต่อยอดเทคนิคการแก้ปัญหาแบบเดิม โดยการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหาสำหรับการปรับใช้ในประเทศไทย ที่จะต้องรับมือกับปัญหาซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากในอนาคต

ดังนั้นการศึกษาในส่วนนี้จะเน้นถึงการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยภาพรวมของทั้งประเทศ ซึ่งประกอบไปด้วย การแก้ไขพฤติกรรมของผู้บริโภค การรณรงค์ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การรณรงค์เพื่อแก้ไขปัญหาของร้านรับซื้อของเก่า และ ระบบการจัดการซาก E-waste ของหน่วยงานภาครัฐ ที่ได้มีการศึกษาถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาซาก E-waste ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การแก้ไขพฤติกรรมของผู้บริโภค

สำหรับกลยุทธ์หนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาซาก E-waste ของประเทศไทย ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายนั้น คือ หลัก 3Rs ที่ประกอบไปด้วย การลด (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) และการรีไซเคิล (recycle)

ในส่วนของการลดและการใช้ซ้ำ เป็นสิ่งสำคัญที่จะเกี่ยวข้องกับผู้บริโภคโดยตรง ซึ่งการลด ถือเป็นการลดการบริโภคตั้งแต่แรก ไม่ซื้อฟุ่มเฟือย และหากจำเป็นควรซื้อผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยไม่มีสารอันตรายหรือมีในปริมาณต่ำ ประหยัดพลังงาน และสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ง่ายเมื่อผลิตภัณฑ์กลายเป็นซาก โดยอาจพิจารณาเลือกซื้อสินค้าที่มีฉลาก มอก. (มาตรฐานอุตสาหกรรม) หรือฉลากเขียว ตลอดจนฉลากที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ ส่วนการใช้ซ้ำเป็นการช่วยยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยอาจซ่อมแซม หรือปรับปรุงให้ทันสมัย โดยระมัดระวังไม่ให้สารอันตรายจากชิ้นส่วนเก่าปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้อีกหนึ่งหลักการ คือ การรีไซเคิล แม้ผู้บริโภคไม่ได้เกี่ยวข้องกับส่วนนี้โดยตรง แต่ผู้บริโภคจะเป็นผู้นำส่งซาก E-waste สู่กระบวนการรีไซเคิล โดยการรีไซเคิลนั้น ผู้รับซื้อซาก E-waste ไปรีไซเคิลควรพิจารณาความสามารถในการจัดการหรือการรีไซเคิลอย่างถูกต้องปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และผู้บริโภคซึ่งเป็นผู้ขายก็ควรพิจารณาขายให้เฉพาะผู้ประกอบการที่ขึ้น

ทะเบียนและได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และหากเป็น E-waste ที่ไม่มีการรับซื้อคืน ควรแยกทิ้งออกจากขยะทั่วไป เพื่อหน่วยงานท้องถิ่นนำไปกำจัดหรือรีไซเคิลอย่างถูกต้องต่อไป

2) การรณรงค์ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

กลยุทธ์ในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับผู้ผลิตโดยตรง ที่ควรพิจารณาถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนช่วยในการลดปัญหามลภาวะทางอากาศ ทางน้ำ และทางดิน นอกจากนี้ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนช่วยประหยัดพลังงาน และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค สำหรับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนั้นมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) ใช้วัสดุที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เช่น วัสดุที่ไม่มีพิษ วัสดุหมุนเวียนทดแทนได้ วัสดุรีไซเคิล วัสดุที่ใช้พลังงานต่ำในการจัดหามา เป็นต้น

2) ใช้วัสดุน้อย เช่น น้ำหนักเบา ขนาดเล็ก มีจำนวนประเภทของวัสดุน้อย มีการเสริมความแข็งแรงเพื่อให้ลดขนาดลงได้ เป็นต้น

3) มีการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการผลิต ใช้พลังงานที่สะอาด ลดการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตและลดขั้นตอนของกระบวนการผลิต

4) มีระบบขนส่งและจัดจำหน่ายที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น ลดการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ฟุ่มเฟือย มีรูปแบบการขนส่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ใช้เส้นทางที่ประหยัดพลังงาน เป็นต้น

5) ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งาน เช่น ใช้พลังงานต่ำ ปล่อยมลพิษต่ำระหว่างการใช้งาน เป็นต้น

6) มีความคุ้มค่าตลอดอายุการใช้งาน ทนทาน ซ่อมแซมและดูแลรักษาง่าย

7) มีระบบการจัดการหลังหมดอายุการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การเก็บรวบรวมที่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ ออกแบบให้นำสินค้าหรือชิ้นส่วนกลับมาใช้ซ้ำได้ เป็นต้น

3) การรณรงค์เพื่อแก้ไขปัญหาของร้านรับซื้อของเก่า

การรณรงค์เพื่อแก้ไขปัญหาของร้านรับซื้อของเก่าถือเป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาระบบการจัดการซาก E-waste ซึ่งร้านรับซื้อของเก่าเป็นสถานประกอบการที่นำขยะหรือวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยการนำมาซื้อขายในเชิงพาณิชย์ และในปัจจุบันก็ยังคงมีปัญหาเรื่องการดำเนินงานอยู่ กรมควบคุมมลพิษจึงได้ดำเนินโครงการร้านรับซื้อของเก่าสีเขียวขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนร้านรับซื้อของเก่าให้มีระบบการจัดการร้านที่ดี ไม่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนข้างเคียง โดยใช้รูปแบบการดำเนินโครงการที่มุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ทั้งจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของภาครัฐในส่วนกลางและท้องถิ่น รวมทั้งผู้ประกอบการที่เป็นภาคเอกชน โดยการดำเนินงานที่ผ่านมาในปีงบประมาณตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2554 มีร้านรับซื้อของเก่า จำนวน 1,154 แห่ง เข้าร่วมโครงการเพื่อรับคำแนะนำในการปรับปรุงร้านเป็นร้านรับซื้อของเก่าสีเขียว ซึ่งนับว่ายังเป็นเพียงส่วนน้อย เมื่อเปรียบเทียบจำนวนร้านรับซื้อของเก่า

ที่ได้รับคำแนะนำในการปรับปรุงร้านเป็นร้านรับซื้อของเก่าสีเขียวไปแล้วกับจำนวนร้านรับซื้อของเก่าทั่วประเทศที่มีถึง 10,200 แห่ง จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษปี พ.ศ. 2551

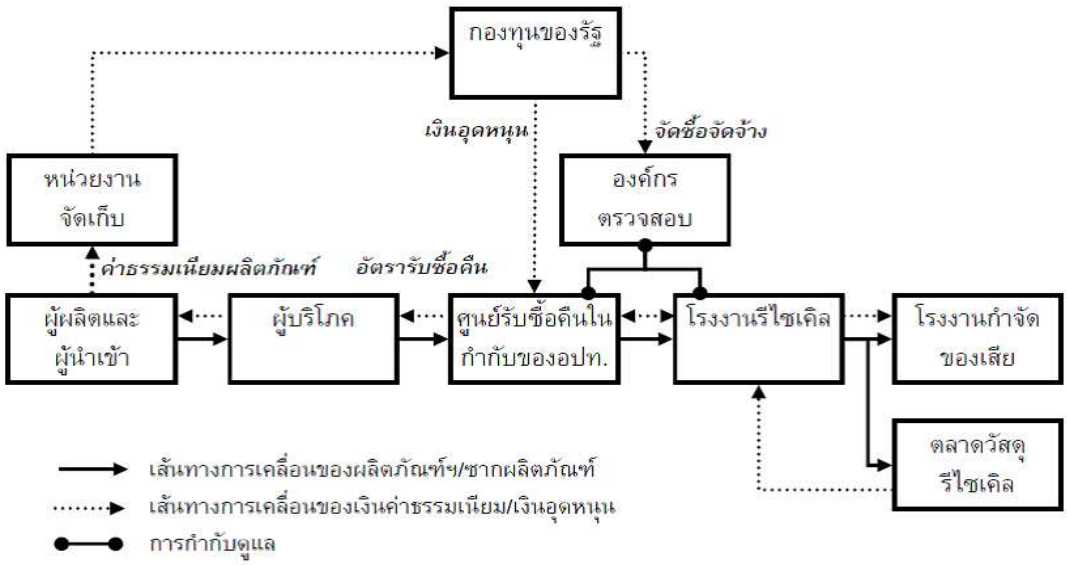
จากประเด็นปัญหาต่างๆจึงทำให้โครงการดังกล่าวยังคงดำเนินมาต่อเนื่องในทุกๆปี เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของโครงการและขยายผลการดำเนินงานไปยังร้านรับซื้อของเก่าอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้ดำเนินการอีกจำนวนมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนร้านรับซื้อของเก่าให้มีระบบการจัดการร้านที่ดี ไม่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนข้างเคียง และพัฒนาการบริหารจัดการร้านให้เป็นต้นแบบที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นต่อไป

4) ระบบการจัดการซาก E-waste ของหน่วยงานภาครัฐ

สำหรับกลยุทธ์ด้านการสร้างระบบการจัดการซาก E-waste ของประเทศไทยที่ดำเนินการโดยหน่วยงานภาครัฐ ซึ่งได้มีการดำเนินการตามยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ [27] และรัฐบาลได้มีมติคณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 24 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 เห็นชอบต่อยุทธศาสตร์ดังกล่าว จึงได้มีการดำเนินการโครงการศึกษาต้นทุนการจัดการซาก E-waste เพื่อใช้กำหนดค่าธรรมเนียม รวมทั้งกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการจัดระบบรวบรวมหรือรับคืนผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาใช้ประกอบการพัฒนากฎระเบียบหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียอันตรายต่อไป โดยได้วิเคราะห์ซากผลิตภัณฑ์ 10 ประเภทได้แก่ (1) โทรทัศน์ชนิดหลอดภาพ CRT และหลอดภาพ LCD/Plasma (2) กล้องถ่ายภาพ/วิดีโอ (3) อุปกรณ์เล่นภาพ/เสียงขนาดพกพา (4) เครื่องพิมพ์และโทรสาร (5) โทรศัพท์ (6) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (7) เครื่องปรับอากาศ (8) ตู้เย็น (9) หลอดฟลูออเรสเซนท์ และ (10) แบตเตอรี่แห้ง โดยได้ศึกษาแนวทางในการรับคืนซากจากแหล่งกำเนิดผ่านช่องทางของศูนย์รับคืนซากซึ่งอาศัยองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นทั่วประเทศเป็นสถานที่ตั้ง ภายใต้การดำเนินงานของภาครัฐ เพื่อนำซากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปทำการรีไซเคิลยังโรงงานรีไซเคิลที่ขึ้นทะเบียนถูกต้อง นอกจากนี้ก็ยังได้ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนต่างๆในกระบวนการจัดการซาก E-waste ของประเทศไทย

จากระบบการจัดการดังกล่าว จึงทำให้สามารถสรุปแผนภาพระบบการจัดการซาก E-waste ได้ดังภาพประกอบ 4.2 [6] ซึ่งแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ทางกายภาพและทางการเงินที่สำคัญของระบบการจัดการ โดยเริ่มต้นจากหน่วยงานจัดเก็บรายได้ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็นกรมสรรพสามิตและกรมศุลกากรจัดเก็บค่าธรรมเนียมผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตและผู้นำเข้าผลิตภัณฑ์ เข้าสู่บัญชีเฉพาะในกองทุนของรัฐ ในขณะเดียวกันผู้บริโภคก็สามารถที่จะขายซากผลิตภัณฑ์ให้กับศูนย์รับซื้อคืนที่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ทั้งนี้เพื่อความเป็นเอกภาพของระบบรับซื้อคืนภายใต้กองทุนของรัฐ หน่วยงานส่วนกลางควรเป็นผู้กำหนดอัตรารับซื้อคืนที่เป็นราคามาตรฐานหรือราคากลาง นอกเหนือจากเงินสำหรับใช้รับซื้อคืนซากผลิตภัณฑ์จากประชาชนแล้ว ศูนย์รับซื้อคืนจะได้รับเงินอุดหนุนสำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงจากกิจกรรมการเก็บรวบรวมและการขนส่งซากผลิตภัณฑ์ไปรีไซเคิลยังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นหลักประกันว่า อปท. จะมีงบประมาณเพียงพอที่จะสนับสนุนการจัดการซากผลิตภัณฑ์ที่เก็บรวบรวมได้ โดยเฉพาะซากผลิตภัณฑ์ที่ไม่มี

มูลค่าทางเศรษฐกิจ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนท์ และแบตเตอรี่แห้ง (ประเภทถ่านไฟฉาย) ในขณะเดียวกัน เพื่อเป็นหลักประกันว่าการใช้จ่ายเงินจากกองทุนของรัฐบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ นั่นคือ การเก็บรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ให้เข้าสู่กระบวนการจัดการที่ถูกต้องเหมาะสม จึงกำหนดให้กองทุนของรัฐจ่ายเงินอุดหนุนตามปริมาณซากผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตรวจรับรองจากองค์กรตรวจสอบอิสระว่ามีการขนส่งจากศูนย์รับซื้อคืนไปยังโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการรีไซเคิลที่ได้มาตรฐานและได้รับอนุญาตจากหน่วยงานกำกับดูแลเท่านั้น ทั้งนี้ให้กองทุนของรัฐเป็นผู้คัดเลือกและว่าจ้างองค์กรตรวจสอบอิสระและกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางในการตรวจสอบและตรวจรับรองเพื่อป้องกันปัญหาผลประโยชน์ขัดกัน ในกรณีที่ให้ผู้ถูกตรวจสอบเป็นผู้จัดจ้างบริษัทตรวจสอบเอง



ภาพประกอบ 4.2 ระบบการจัดการซากผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยโดยหน่วยงานภาครัฐ
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [6]

จากกลยุทธ์และวิธีการในการแก้ไขปัญหาซาก E-waste ต่างๆข้างต้น จะเห็นได้ว่าประเทศไทยไม่ได้เพิกเฉยต่อปัญหาดังกล่าว จึงได้มีมาตรการต่างๆออกมาเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางของปัญหา นอกจากนี้ประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่งคือการศึกษาและการออกข้อกำหนด ระเบียบ กฎเกณฑ์ และกฎหมาย ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์และการจัดการซาก E-waste ที่กำลังดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาภายในประเทศอย่างเป็นระบบเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล แต่เมื่อพิจารณาถึงซากคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวที่งานวิจัยนี้ให้ความสนใจจะทำการศึกษานั้น พบว่าแนวทางการแก้ปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจจะยังไม่สามารถจัดการกับซากคอมพิวเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์และมีศักยภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์แบบใหม่ ที่มีการประยุกต์ใช้รูปแบบการจัดการแบบเดิมที่ดี ควบคู่ไปกับการเพิ่มเติมส่วนที่จะสามารถนำมาใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการแก้ไขปัญหา โดยที่การสร้างระบบในการ

จัดการซากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นหนึ่งในซาก E-waste นั้น จะมีการประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ เข้ามาใช้เป็นกรอบในการออกแบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่จะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้น สามารถวิเคราะห์โดยสรุปถึงประเด็นปัญหา ลักษณะปัญหา กลยุทธ์/วิธีแก้ไขในปัจจุบัน และแนวทางการแก้ไขในอนาคต (เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับและระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์) ได้ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 การวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์

ประเด็นปัญหา	ลักษณะปัญหา	กลยุทธ์/วิธีแก้ไข ในปัจจุบัน	แนวทางการแก้ไข ในอนาคต
ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค	ผู้บริโภคส่วนมากขาดการให้ความสำคัญในการรวบรวมและนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลเพื่อนำวัสดุที่รีไซเคิลได้กลับมาใช้ใหม่	การนำหลัก 3Rs ได้แก่ การลด (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) และการรีไซเคิล (recycle) มาใช้ในการแก้ไขพฤติกรรมการจัดการซากคอมพิวเตอร์ แต่ยังคงขาดความร่วมมือจากผู้บริโภค	การสร้างกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากผู้บริโภค ด้วยการจัดตั้งจุดเรียกคืนซากที่ใกล้ชิดกับผู้บริโภคเพื่อกระตุ้นให้เกิดการนำซากเข้าสู่กระบวนการของการรีไซเคิล
ปัญหาการจัดการของร้านรับซื้อของเก่า	ยังคงมีร้านรับซื้อของเก่าจำนวนมากที่ประกอบกิจการไม่เหมาะสม ทั้งการเก็บรวบรวม การคัดแยก และการแปรสภาพ ซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	การดำเนินโครงการร้านรับซื้อของเก่าสีเขียวเพื่อส่งเสริมร้านรับซื้อของเก่าให้มีระบบการจัดการร้านที่ดี แต่ยังคงมีร้านรับซื้อของเก่าเข้าร่วมน้อยมาก และยังคงมีการลักลอบจัดการซากที่ไม่เหมาะสม	อาจจะต้องมีการดำเนินการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางอื่นซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่ง หรือการนำส่งซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่โรงงานรีไซเคิลที่ขึ้นทะเบียนถูกต้อง ป้องกันการจัดการที่มีความเสี่ยง ณ ร้านรับซื้อของเก่า

ตาราง 4.3 การวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ประเด็นปัญหา	ลักษณะปัญหา	กลยุทธ์/วิธีแก้ไข ในปัจจุบัน	แนวทางการแก้ไข ในอนาคต
ปัญหาการดำเนินงานของผู้ประกอบการรีไซเคิล	ภาพรวมการรีไซเคิลในปัจจุบันนั้น ยังคงขาดกระบวนการรีไซเคิลที่เต็มรูปแบบครบทุกชิ้นส่วน จึงทำให้เกิดการสูญเสียวัสดุมีค่าจากการไม่รีไซเคิลบางชิ้นส่วนของซากคอมพิวเตอร์ หรือการรีไซเคิลที่ยังคงขาดประสิทธิภาพ	มีการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการรีไซเคิลชิ้นเพิ่มส่วนมากยิ่งขึ้น มีผู้ประกอบการใหม่หันมาประกอบธุรกิจด้านการรีไซเคิลเพิ่มมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพอาจไม่สูงมากนักเนื่องจากยังคงนิยมรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์หลายชนิดรวมกัน	ควรพิจารณาเพื่อจัดตั้งโรงงานต้นแบบสำหรับการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบ เพื่อช่วยลดปัญหาการรีไซเคิลที่ไม่เหมาะสม และแก้ปัญหาจากการรีไซเคิลที่ไม่สามารถดึงวัสดุมีค่ากลับมาได้ทั้งหมดในปัจจุบัน
ภาพรวมปัญหาเชิงระบบ	ปัจจุบันขาดระบบในการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ และขาดการนำมารีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง และรีไซเคิลได้ทุกชิ้นส่วนอย่างครบวงจร ประกอบกับการบริหารจัดการที่มีศักยภาพของระบบการจัดการโดยรวมทั้งประเทศ	มีการดำเนินการด้านกลยุทธ์ในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นหนึ่งใน E-waste โดยยุทธศาสตร์ของทางภาครัฐ แต่ยังคงพิจารณาการจัดการรวมกับซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น และอาศัยผู้ประกอบการรีไซเคิลที่มีอยู่เดิมในการรีไซเคิล และอาศัยหน่วยงานของรัฐมาเป็นส่วนสำคัญหลักในการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์	ควรพิจารณาช่องทางการเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคให้ได้มากที่สุด ภายใต้การวิเคราะห์กลไกในการเรียกคืน และควรพิจารณาถึงโรงงานสำหรับการรีไซเคิลต้นแบบเฉพาะทางในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ให้ได้มูลค่าเพิ่มจากซากคอมพิวเตอร์มากขึ้นจากระบบในปัจจุบัน

4.2 ผลการออกแบบและวิเคราะห์ระบบโครงข่ายและระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

สำหรับผลลัพธ์ของการออกแบบระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้ จะนำเสนอผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบโครงข่ายและผลลัพธ์ของรูปแบบโครงข่าย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบโครงข่าย

การวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบโครงข่ายนั้นจะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบและรายละเอียดในเบื้องต้นของระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ ตลอดจนเป้าหมายการออกแบบขององค์ประกอบในแต่ละส่วน ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 4.4 ซึ่งวิเคราะห์ภายใต้องค์ประกอบที่พิจารณาดังต่อไปนี้

1) แหล่งของซาก (source of scraps)
2) จุดเรียกคืน (callback point)
3) ศูนย์เรียกคืน (callback center)
4) ศูนย์รวบรวม (collection center)
5) โรงงานรีไซเคิล (recycling plant)
6) ตลาดวัสดุ (material market)

ตาราง 4.4 องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับในระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

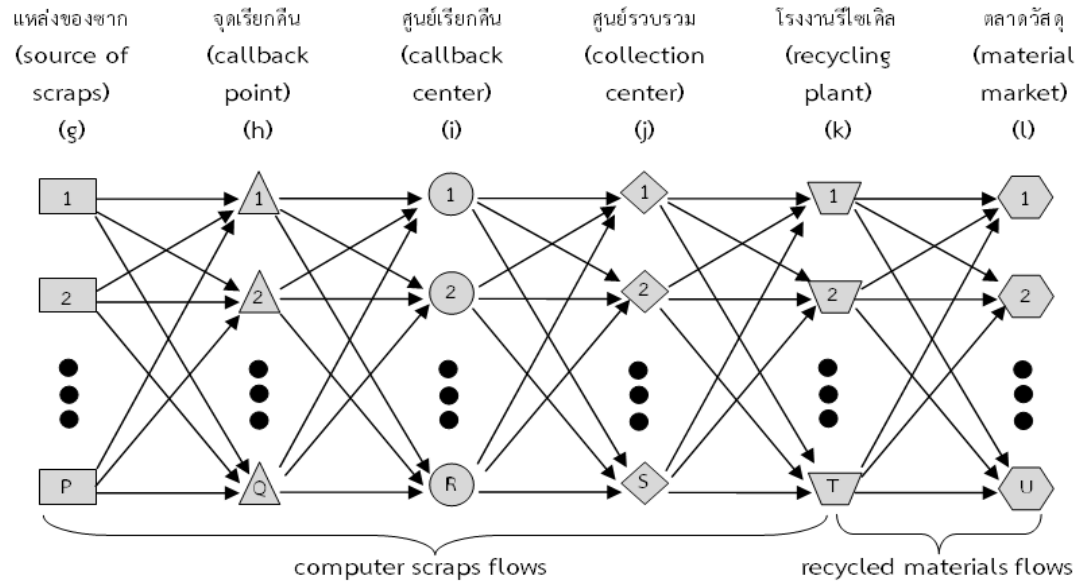
องค์ประกอบ	รายละเอียด	เป้าหมายการออกแบบ
แหล่งของซาก (source of scraps)	เป็นแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ ณ จุดกำเนิด ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา โดยการพิจารณาทั้งคอมพิวเตอร์ในระดับครัวเรือน และในสถานประกอบการ ทุกจังหวัดทั่วประเทศ	เพื่อกำหนดเป็นจุดต้นทางของระบบ และยังเพิ่มการศึกษาในส่วนของคอมพิวเตอร์ในสถานประกอบการร่วมกับการพิจารณาคอมพิวเตอร์แบบพกพาเพิ่มเติมจากงานวิจัยอื่นด้วย
จุดเรียกคืน (callback point)	เป็นจุดการเรียกคืนหรือรับคืนซากคอมพิวเตอร์ในขั้นต้นจากแหล่งของซากหรือผู้บริโภค ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของร้านค้า หรือตัวแทนรับคืนซากอื่นๆ โดยในแต่ละจังหวัดจะมีจุดนี้กระจายอยู่ในแต่ละพื้นที่เพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคในการส่งคืน	เพื่อตั้งเป็นจุดสำหรับเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ภายใต้กลไกการขับเคลื่อนเพื่อกระตุ้นในผู้บริโภคนำซากกลับคืนเข้าสู่ระบบต่อไป

ตาราง 4.4 องค์ประกอบของโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับในระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

องค์ประกอบ	รายละเอียด	เป้าหมายการออกแบบ
ศูนย์เรียกคืน (callback center)	เป็นศูนย์เพื่อรวบรวมในระดับจังหวัดจากจุดเรียกคืนรายย่อยภายในจังหวัดนั้นๆ ซึ่งศูนย์เรียกคืนนี้จะถูกกำหนดให้มีอย่างน้อยจังหวัดละหนึ่งศูนย์ โดยซากคอมพิวเตอร์ที่รวบรวมมาได้จะยังไม่มีการดำเนินการใดๆกับชิ้นส่วนต่างๆทั้งสิ้น	เพื่อเป็นการควบคุมดูแลและเก็บรวบรวมซากจากจุดเรียกคืน ซึ่งถือเป็นศูนย์หลักของการบริหารจัดการระดับจังหวัด และยังช่วยแก้ไขปัญหาการคัดแยกและการถอดรื้อซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่เหมาะสม
ศูนย์รวบรวม (collection center)	เป็นศูนย์สำหรับรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจังหวัดต่างๆหรือจากศูนย์เรียกคืนก่อนการส่งไปทำการรีไซเคิล โดยภายในศูนย์รวบรวมนี้จะมีกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบ การแยกประเภท การจัดเก็บ และการบรรจุเพื่อการขนส่งที่สะดวก	เพื่อตั้งเป็นศูนย์รวบรวมในระดับภูมิภาคที่รวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากหลายๆจังหวัด โดยการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์มาจัดการในเบื้องต้น และนำมาเก็บรวบรวมไว้ในปริมาณที่มากเพียงพอก่อนทำการขนส่งไปยังโรงงานรีไซเคิล
โรงงานรีไซเคิล (recycling plant)	เป็นโรงงานสำหรับรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ต้นแบบ ที่รีไซเคิลเฉพาะชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว ด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถรีไซเคิลได้ทุกชิ้นส่วน และภายในโรงงานก็ได้รวมระบบการบำบัด และกำจัดสารพิษไว้ด้วย	เพื่อจัดตั้งเป็นโรงงานต้นแบบสำหรับการรีไซเคิลของซากคอมพิวเตอร์ที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบ และช่วยลดปัญหาการรีไซเคิลที่ไม่มีความเหมาะสม ประกอบกับการรีไซเคิลที่ไม่สามารถดึงวัสดุมีค่ากลับมาได้ทั้งหมด
ตลาดวัสดุ (material market)	เป็นแหล่งของตลาดที่มีความต้องการวัสดุชนิดต่างๆในการผลิตเป็นชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ	เพื่อกำหนดเป็นแหล่งรองรับชิ้นส่วนวัสดุรีไซเคิล ด้วยการสำรวจที่ตั้งและปริมาณความต้องการ นอกจากนี้ยังเป็นการเชื่อมโยงระหว่างโลจิสติกส์แบบย้อนกลับและแบบไปหน้าเข้าด้วยกัน

4.2.2 ผลลัพธ์ของรูปแบบโครงข่าย

สำหรับองค์ประกอบของระบบโครงข่ายของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย 6 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) แหล่งของซาก(node g) (2) จุดเรียกคืน(node h) (3) ศูนย์เรียกคืน(node i) (4) ศูนย์รวบรวม(node j) (5) โรงงานรีไซเคิล(node k) และ (6) ตลาดวัสดุ(node l) ตามลักษณะที่ผู้วิจัยนำเสนอดังภาพประกอบ 4.3 ซึ่งมีกระบวนการไหลย้อนกลับที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การไหลของซากคอมพิวเตอร์ (computer scraps flows) และการไหลของวัสดุรีไซเคิล (recycled materials flows) สำหรับการไหลของซากคอมพิวเตอร์ จะเริ่มต้นจากแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นซากคอมพิวเตอร์จากครัวเรือนและสถานประกอบการต่างๆทั่วประเทศ โดยนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบขั้นแรกผ่านจุดเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งจัดตั้งอยู่ในรูปแบบของร้านค้าหรือตัวแทนรับคืนซาก และในส่วนถัดมาซากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งไปยังศูนย์เรียกคืนในระดับจังหวัด โดยกำหนดให้ศูนย์เรียกคืนนี้ควรจะจัดตั้งไว้อย่างน้อยจังหวัดละหนึ่งศูนย์ เพื่อควบคุมและดูแลจุดเรียกคืนภายในจังหวัดนั้นๆ ซึ่งการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์มาถึงจุดนี้จะไม่มีการถอดแยกชิ้นส่วนใดๆ แต่เป็นการเก็บรวบรวมไว้เท่านั้น หลังจากนั้นจึงขนส่งซากที่เรียกคืนได้ไปสู่ศูนย์รวบรวม ซึ่งจะรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจังหวัดต่างๆมารวมกันเพื่อทำการแยกประเภทชิ้นส่วนหลัก และทำการบรรจุในบรรจุภัณฑ์เพื่อเก็บรวบรวมไว้ภายในศูนย์ดังกล่าว หลังจากนั้นจึงจะจัดส่งซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่โรงงานรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโรงงานต้นแบบที่มีเทคโนโลยีในการรีไซเคิลและการบำบัดสารพิษในระดับสูง เพื่อการรีไซเคิลให้ได้วัสดุชนิดต่างๆออกมา หลังจากนั้นจึงเข้าสู่องค์ประกอบสุดท้ายของระบบ คือ ตลาดวัสดุ (โรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งเป็นตลาดรองรับวัสดุในการนำวัสดุที่รีไซเคิลได้กลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอีกครั้งหนึ่ง



ภาพประกอบ 4.3 ระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบ

โดยระบบโครงข่ายที่นำเสนอนี้เป็นระบบใหม่ที่สามารถใช้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการและแก้ไขปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันและในอนาคต ที่มีการคาดการณ์ว่าปริมาณซากคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นหนึ่งของซาก E-waste จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อการออกแบบและวางแผนสำหรับการสร้างแนวทางการจัดการกับซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยในงานวิจัยนี้ จึงเป็นสิ่งที่ควรนำไปปรับใช้เพื่อการแก้ไขปัญหาในอนาคตต่อไป

4.2.3 ผลการวิเคราะห์กลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

การออกแบบและการวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอแนวคิด สำหรับการสร้างและพัฒนากลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่ามีความเหมาะสมและเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งซาก หรือปัญหาการถอดแยกและการรีไซเคิลที่ยังคงขาดประสิทธิภาพ เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) แผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

สำหรับแผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นี้จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1) การวางระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

การวางระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของแผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ โดยการศึกษาและการวางระบบในส่วนนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาและการสร้างรูปแบบการดำเนินงานในอนาคต โดยได้กำหนดให้แนวทางการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์กลับจากผู้บริโภค (ระดับครัวเรือน และสถานประกอบการ) ผ่านองค์ประกอบต่างๆเพื่อการนำซากคอมพิวเตอร์ไปรีไซเคิล และการนำวัสดุรีไซเคิลที่ได้ไปใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่งผ่านช่องทางของระบบโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์ (ตามรายละเอียดหัวข้อที่ 4.2) และใช้องค์ประกอบดังกล่าวเป็นกลไกสำคัญในการจัดวางระบบเรียกคืนเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยการวางระบบในส่วนนี้ เป็นกระบวนการสำคัญในการนำระบบการเรียกคืนที่ได้ออกแบบและวิเคราะห์ขึ้นมาไปสู่การนำไปประยุกต์ใช้ (implementation) จริงในอนาคตข้างหน้า โดยระบบเรียกคืนซากตามองค์ประกอบของระบบโครงข่ายนั้น ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหรือมีหน้าที่หลักในการดำเนินการนั้น สามารถพิจารณาได้ด้วยแนวทาง 3 แนวทางคือ (1) การดำเนินงานโดยหน่วยงานภาครัฐ (2) การดำเนินงานโดยหน่วยงานภาคเอกชน และ (3) การร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและเอกชน ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงความพร้อมและความเหมาะสมถึงบทบาทหน้าที่ในการขับเคลื่อนระบบของแต่ละฝ่ายต่อไปเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดกับการดำเนินการและการปรับใช้ในสังคมไทย

โดยการวิเคราะห์การวางระบบนั้น สามารถสรุปองค์ประกอบของการวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ได้ตามรายละเอียดดังตาราง 4.5 ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางสำคัญในการวางระบบในอนาคตต่อไป

1.2) แนวทางการสร้างแผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้เป็นการกำหนดรายละเอียดเบื้องต้นของแผนการดำเนินงาน แนวทาง ขั้นตอนและวิธีการสำหรับการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ไขปัญหาซากคอมพิวเตอร์ โดยรูปแบบของแผนการเรียกคืนซาก ประกอบไปด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1) ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เป็นการอธิบายถึงสภาพปัญหาในปัจจุบันของซากคอมพิวเตอร์ แนวโน้มของการเกิดซากและปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ตลอดจนการกล่าวถึงความสำคัญของการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ด้วยระดับของเทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีศักยภาพภายใต้การนำระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์มาดำเนินการอย่างเป็นระบบ

2) วัตถุประสงค์

สำหรับวัตถุประสงค์ที่สำคัญที่จะต้องพิจารณา คือ การสร้างระบบและกลไกในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ เพื่อขับเคลื่อนให้แนวทางการจัดการซากคอมพิวเตอร์ดำเนินอย่างมีประสิทธิภาพ

3) เป้าหมายและพื้นที่ดำเนินการ

ในส่วนนี้จะต้องกำหนดเป้าหมายที่ชัดเจนถึงการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ภายใต้แผนกลยุทธ์ทั้งระยะสั้นและระยะยาว ในส่วนของพื้นที่ดำเนินการนั้น จากการออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์แบบย้อนกลับที่ครอบคลุมการแก้ปัญหาในระดับประเทศ ดังนั้นการกำหนดพื้นที่ดำเนินการควรครอบคลุมในทุกจังหวัดเช่นกัน ซึ่งหากเป็นระบบทดลองในขั้นต้นก็ควรครอบคลุมในทุกภูมิภาคเช่นเดียวกัน

4) ผู้ดำเนินโครงการ

สำหรับผู้ดำเนินโครงการในส่วนนี้ควรผ่านการพิจารณาการวิเคราะห์ความมีส่วนได้ส่วนเสีย และการแต่งตั้งผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจนในการดำเนินการ อันได้แก่ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชนหรือผู้ประกอบการ ตลอดจนความร่วมมือกันของทั้งสองฝ่าย ทั้งนี้เพื่อความชัดเจนของภาระหน้าที่และความเหมาะสมในการดำเนินงาน

5) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

สำหรับขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในส่วนนี้นั้น แผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ควรจะประกอบไปด้วยขั้นตอนและวิธีการสำคัญหลักๆดังต่อไปนี้

5.1) การศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในแต่ละจังหวัดทั่วประเทศ ตลอดจนปริมาณที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

5.2) การกำหนดที่ตั้งของหน่วยงานในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ตลอดจนหน่วยงานผู้รับผิดชอบ และภาระหน้าที่ของการดำเนินงานตามแผนงานในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

5.3) การวิเคราะห์ทางการเงินของทั้งระบบ ในส่วนของเงินลงทุนในการจัดตั้งและกองทุนการเงินหมุนเวียนในระบบ ตลอดจนการกำหนดสัดส่วนของการร่วมทุนในการดำเนินโครงการระหว่างภาครัฐและเอกชน

5.4) การประชาสัมพันธ์เพื่อให้ผู้บริโภค (ระดับครัวเรือน และสถานประกอบการ) ทราบถึงระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางต่างๆ เช่น แผ่นป้าย โฆษณา แผ่นพับ ใบปลิว และหนังสือประชาสัมพันธ์ไปยังหน่วยงานต่างๆทั้งภาครัฐและภาคเอกชน

5.5) การดำเนินงานเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ตามแผนการดำเนินการที่กำหนดทั้งแผนในการทดลองระบบ แผนการเรียกคืนระยะสั้น และแผนการเรียกคืนระยะยาว

5.6) การติดตามและประเมินผลการดำเนินโครงการ รวมถึงการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

6) บทบาทหน้าที่ของผู้ที่เกี่ยวข้อง

เป็นการกำหนดบทบาทหน้าที่ของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน หรือ การร่วมมือกันของทั้งสองฝ่าย เพื่อการจัดตั้งคณะทำงานในการขับเคลื่อนระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

7) รายละเอียดอื่นๆเพิ่มเติม

สำหรับรายละเอียดอื่นที่จำเป็นต่อการดำเนินโครงการ ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานสำคัญของซากคอมพิวเตอร์ แหล่งที่มาของงบประมาณ การวิเคราะห์ตลาดของวัสดุรีไซเคิล และการศึกษาเทคโนโลยีการรีไซเคิลอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น

2) การดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

ในส่วนนี้เป็นลักษณะของการดำเนินงานที่สำคัญที่จะเกิดขึ้นหลังจากการสร้างและการวิเคราะห์แผนในส่วนก่อนหน้าเสร็จสิ้น โดยประกอบไปด้วยกิจกรรมหลัก 3 กิจกรรม คือ การเตรียมความพร้อมขององค์กร การประชาสัมพันธ์และการเผยแพร่ และการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ตามรายละเอียดดังนี้

2.1) การเตรียมความพร้อมขององค์กร

เป็นการเตรียมความพร้อมในการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ด้วยการสร้างความเข้าใจในระบบเรียกคืนให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทราบโดยทั่วกัน การจัดตั้งคณะทำงานจากบุคลากรของภาครัฐ และภาคเอกชน เพื่อควบคุมดูแลและกำหนดกลยุทธ์ต่างๆ ในการขับเคลื่อนให้ระบบการเรียกคืนซากบรรลุเป้าหมายที่วางเอาไว้ ตลอดจนการกำหนดบทบาทหน้าที่ที่ชัดเจนของคณะทำงาน การจัดประชุมและอบรมให้แก่เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังต้องอบรมและให้ความรู้ในแง่กฎหมายและกฎระเบียบต่างๆ ของโครงการ เพื่อให้โครงการดำเนินไปด้วยความราบรื่นภายใต้บุคลากรที่มีความรู้และความเข้าใจ

2.2) การประชาสัมพันธ์และการเผยแพร่

ในส่วนนี้เป็นการประชาสัมพันธ์และการเผยแพร่โดยการประชาสัมพันธ์ในผู้บริโภคได้รับทราบ ซึ่งสอดคล้องกับแผนการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่วางแนวทางเอาไว้ในหัวข้อก่อนหน้า

ซึ่งมุ่งให้ผู้บริโภครับทราบและให้ความร่วมมือในการนำซากคอมพิวเตอร์กลับคืนเข้าสู่ระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ เพื่อสะท้อนให้ผู้บริโภคเล็งเห็นถึงความสำคัญ และผลประโยชน์ของการนำซากคอมพิวเตอร์มาผ่านกระบวนการรีไซเคิลและการกำจัดสารพิษที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการรีไซเคิลเพื่อการนำวัสดุที่ได้ไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อไป

2.3) การดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

เป็นการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จริงตามแผนงานที่วางไว้ภายใต้กรอบระยะเวลา พื้นที่ และเป้าหมายการเก็บรวบรวมซากที่กำหนด เพื่อการจัดการกับปัญหาซากคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้การดำเนินการจะต้องอาศัยระบบในการติดตามการดำเนินงาน เพื่อการบริหารจัดการและการประเมินผลที่มีความเหมาะสม โดยการดำเนินการของระบบเรียกคืนนั้นสามารถนำเสนอรูปแบบของการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ได้ดังภาพประกอบ 4.4 ซึ่งได้แสดงเส้นทางและรูปแบบของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ผ่านช่องทางต่างๆที่เป็นไปได้

นอกจากนี้ยังได้นำเสนอรูปแบบการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์อีกรูปแบบหนึ่งตามรายละเอียดดังภาพประกอบ 4.5 ซึ่งเป็นการนำกิจการรับซื้อของเก่าเข้ามาร่วมในระบบ หากกิจการดังกล่าวสามารถดำเนินให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องเหมาะสมได้ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาร้านรับซื้อของเก่าเข้าสู่ระบบตั้งแต่ตอนเริ่มต้น เนื่องจากต้องการนำเสนอรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์แบบใหม่ที่มีระบบในการจัดการซากคอมพิวเตอร์เพียงผลิตภัณฑ์เดียวและดำเนินการภายใต้สมมติฐานของระบบที่มีการดำเนินงานที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ดังนั้นการนำเสนอตามภาพประกอบ 4.5 จึงเป็นช่องทางหนึ่งสำหรับการนำธุรกิจร้านรับซื้อของเก่ามาพิจารณาร่วมด้วยในอนาคตต่อไป สำหรับแนวทางในการบริหารและดำเนินการข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่า มีช่องทางของการบริหารและดำเนินการผ่านหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน และความร่วมมือระหว่างหน่วยงานของรัฐกับเอกชน ซึ่งจะมีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกัน จึงจะต้องทำการศึกษาถึงรายละเอียดของความรับผิดชอบเพื่อความเหมาะสมในการดำเนินโครงการต่อไป

ตาราง 4.5 การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์

องค์ประกอบของระบบ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
แหล่งของซาก (source of scraps)	เป็นแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ ณ จุดกำเนิด ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา โดยการพิจารณาทั้งคอมพิวเตอร์ในระดับครัวเรือน และในสถานประกอบการ ทุกจังหวัดทั่วประเทศ	**ผู้บริโภค** *(ประชาชนทั่วไป และผู้ประกอบการ)*	ส่งคืนซากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ไม่ใช้แล้วเข้าสู่ระบบเรียกคืนซาก	ผู้บริโภคต้องปฏิบัติตามหลัก 3Rs ในการนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล โดยการพิจารณาขายให้กับผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาต
		ผู้ผลิต *(ผู้ประกอบการที่ผลิตคอมพิวเตอร์จำหน่าย)*	รับผิดชอบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากลูกค้าเข้าสู่ระบบเรียกคืนซาก	-ผู้ผลิตต้องยึดหลัก EPR ในการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์และระบบของผลิตภัณฑ์ -ผู้ผลิตต้องใช้ชิ้นส่วนตามมาตรฐาน RoHS ในการผลิตคอมพิวเตอร์ -ผู้ผลิตต้องยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนการรีไซเคิล และการกำจัดซากคอมพิวเตอร์
จุดเรียกคืน (callback point)	เป็นจุดการเรียกคืนหรือรับคืนซากคอมพิวเตอร์ในขั้นต้นจากแหล่งของซากหรือผู้บริโภค ซึ่งอาจจะอยู่ในลักษณะของร้านค้า หรือตัวแทนรับคืนซากอื่นๆ โดยในแต่ละจังหวัดจะมีจุดนี้กระจายอยู่ในแต่ละพื้นที่เพื่อตอบสนองต่อผู้บริโภคในการส่งคืน	**หน่วยงานภาครัฐ** *(อบต. เทศบาล ที่ว่าการอำเภอ โรงเรียน มหาวิทยาลัย เป็นต้น หรือจุดเรียกคืนเปิดใหม่)*	-รับคืนซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบ -บริหารจัดการภายในจุดเรียกคืน -สร้างกลยุทธ์ในการจูงใจให้เกิดการคืนซาก -นำส่งซากเข้าสู่ศูนย์เรียกคืน	-สร้างกลยุทธ์ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ -ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนซากคอมพิวเตอร์ -ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
		หน่วยงานภาคเอกชน *(ร้านค้า ห้างสรรพสินค้า ตัวแทนจำหน่าย เป็นต้น หรือจุดเรียกคืนเปิดใหม่)*		
		หน่วยงานความร่วมมือ ***(****หน่วยงานภาครัฐร่วมมือกับเอกชน****)***		

ตาราง 4.5 การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

องค์ประกอบของระบบ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
ศูนย์เรียกคืน (callback center)	เป็นศูนย์เพื่อรวบรวมในระดับจังหวัด จากจุดเรียกคืนรายย่อยภายในจังหวัดนั้นๆ ซึ่งศูนย์เรียกคืนนี้จะถูกกำหนดให้มีอย่างน้อยจังหวัดละหนึ่งศูนย์ โดยซากคอมพิวเตอร์ที่รวบรวมมาได้จะยังไม่มีการดำเนินการใดๆ กับชิ้นส่วนต่างๆทั้งสิ้น	**หน่วยงานภาครัฐ** *(อบจ. ศาลากลางจังหวัด โรงเรียน มหาวิทยาลัย เป็นต้น หรือศูนย์เปิดใหม่)* **หน่วยงานภาคเอกชน** *(ห้างสรรพสินค้า ตัวแทนจำหน่าย ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น หรือศูนย์เปิดใหม่)* **หน่วยงานความร่วมมือ** ***(หน่วยงานจากความร่วมมือของรัฐกับเอกชน)***	-รวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจุดเรียกคืนรายย่อย -ควบคุมดูแลจุดเรียกคืน -บริหารจัดการภายในศูนย์เรียกคืน -สร้างกลยุทธ์ร่วมกับจุดเรียกคืนในการจูงใจให้เกิดการคืนซาก -นำส่งซากเข้าสู่ศูนย์รวบรวม	-สร้างกลยุทธ์ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ -ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนซากผลิตภัณฑ์ -ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
ศูนย์รวบรวม (collection center)	เป็นศูนย์สำหรับรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากจังหวัดต่างๆ หรือจากศูนย์เรียกคืนก่อนการส่งไปทำการรีไซเคิล โดยภายในศูนย์รวบรวมนี้จะมีกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบ การแยกประเภท การจัดเก็บ และการบรรจุเพื่อการขนส่งที่สะดวก	**หน่วยงานภาครัฐ** *(ศูนย์เปิดใหม่)*	-เก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์เรียกคืนแต่ละจังหวัด -บริหารจัดการภายในศูนย์รวบรวม -นำส่งซากเข้าสู่โรงงานรีไซเคิลต้นแบบ	-ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรับคืนซากผลิตภัณฑ์ -ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน

ตาราง 4.5 การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

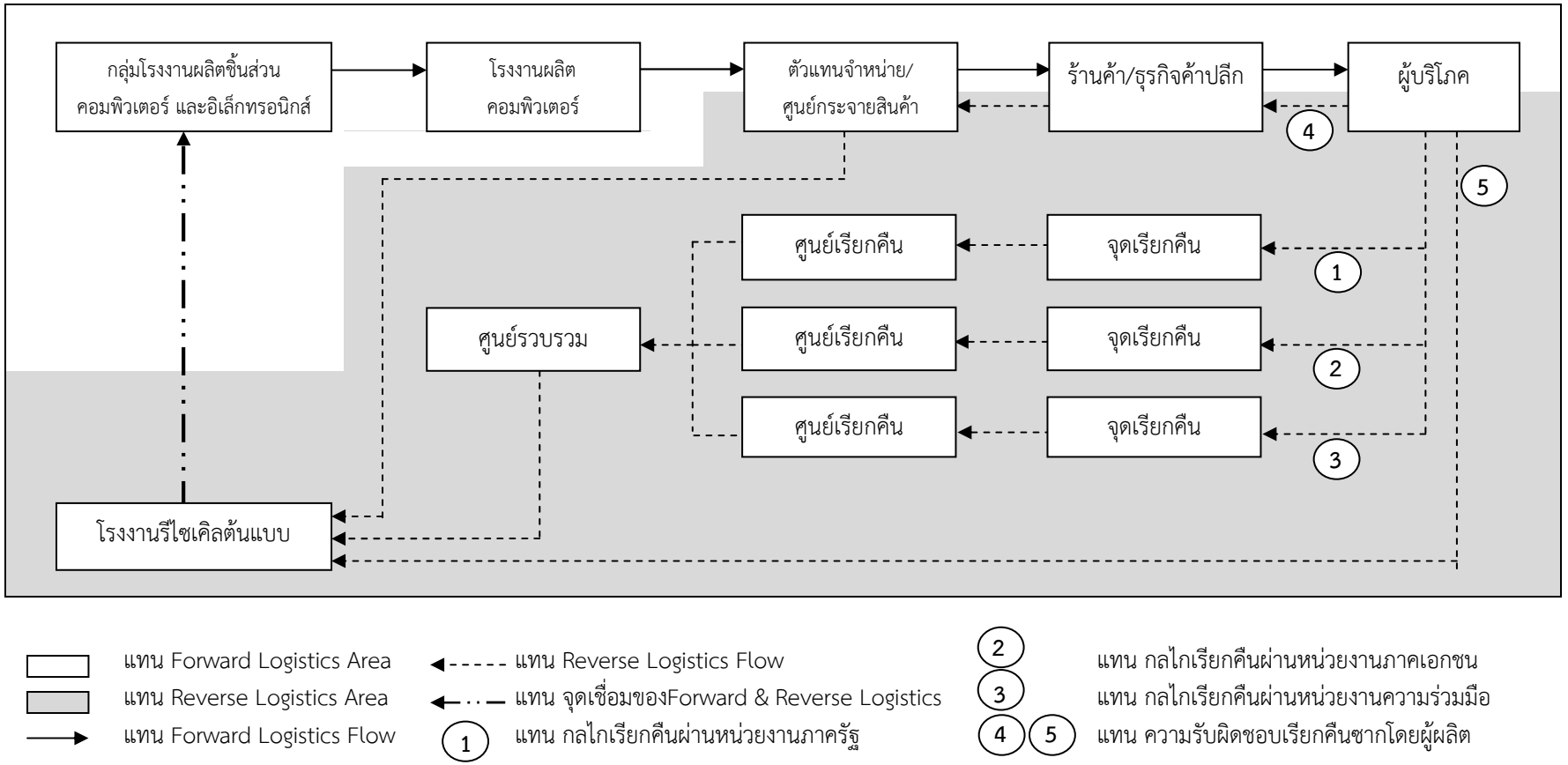
องค์ประกอบของระบบ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
		หน่วยงานภาคเอกชน *(ศูนย์เปิดใหม่)*		
		หน่วยงานความร่วมมือ *(ศูนย์เปิดใหม่จากความร่วมมือของรัฐและเอกชน)*		
โรงงานรีไซเคิล (recycling plant)	เป็นโรงงานสำหรับรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ต้นแบบที่รีไซเคิลเฉพาะชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถรีไซเคิลได้ทุกชิ้นส่วน และภายในโรงงานก็ได้รวมระบบการบำบัด และกำจัดสารพิษไว้ด้วย	**หน่วยงานภาครัฐ** *(โรงงานเปิดใหม่)*	-รับเอาซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์รวบรวมเข้ามารีไซเคิล -บำบัดและกำจัดสารพิษจากกระบวนการรีไซเคิล -บริหารจัดการภายในโรงงาน -ขายวัสดุจากการรีไซเคิลให้กับตลาดรองรับวัสดุ	-ดำเนินงานโดยยึดหลัก EPR และ WEEE ในการรีไซเคิล และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ -ต้องกำหนดสัดส่วนในการบริหารจัดการที่ชัดเจนระหว่างภาครัฐและเอกชน
		หน่วยงานภาคเอกชน *(โรงงานเปิดใหม่)*		
		หน่วยงานความร่วมมือ *(โรงงานเปิดใหม่จากความร่วมมือของภาครัฐและเอกชน)*		

ตาราง 4.5 การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

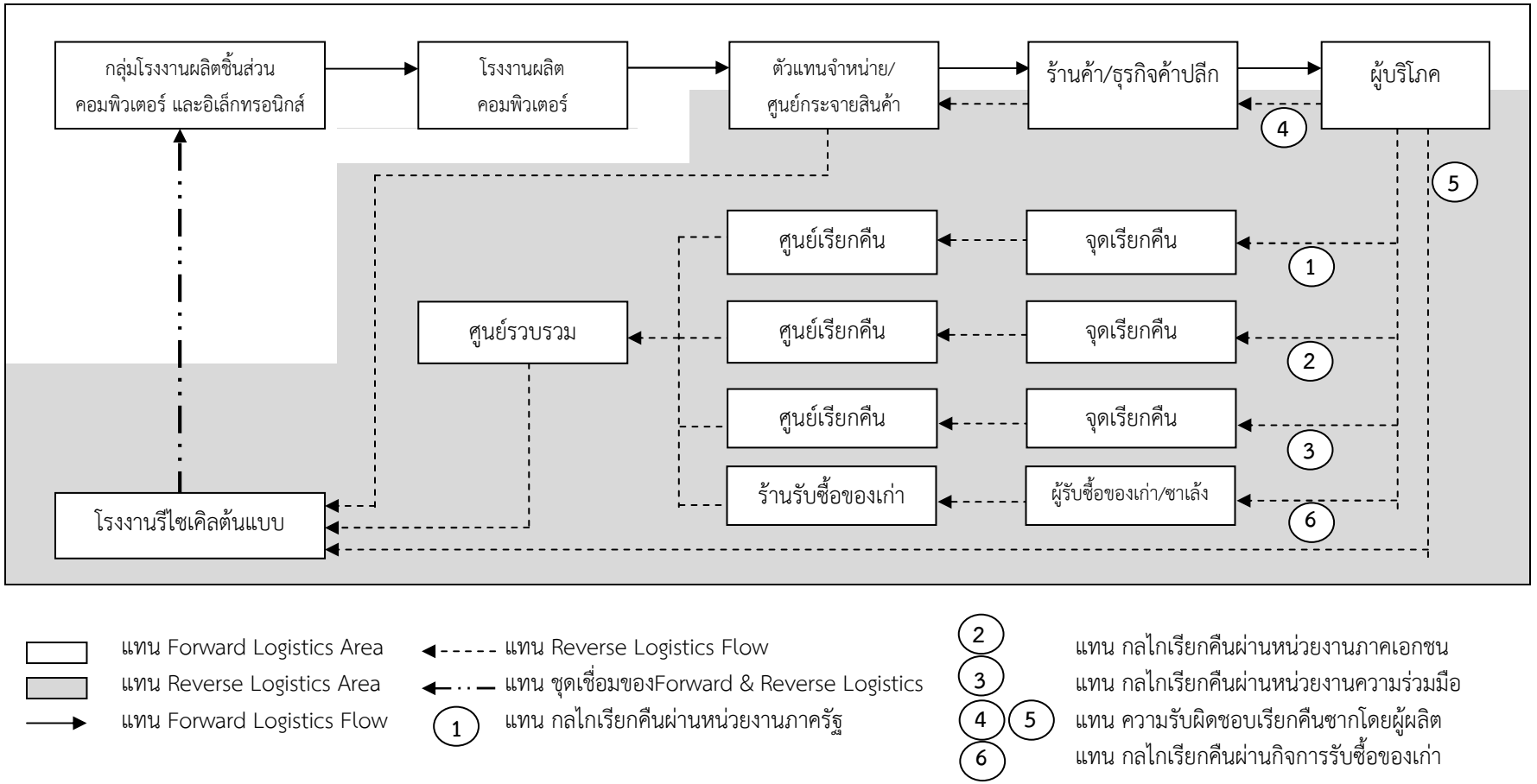
องค์ประกอบของระบบ	รายละเอียด	ผู้รับผิดชอบ/เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	ระเบียบ/หลักเกณฑ์/เงื่อนไขที่ต้องพิจารณา
ตลาดวัสดุ (material market)	เป็นแหล่งของตลาดที่มีความต้องการวัสดุชนิดต่างๆในการผลิตเป็นชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ	**ผู้ผลิตภายในประเทศ** *(ผู้ประกอบการที่ผลิตคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ และอิเล็กทรอนิกส์)*	รองรับปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ด้วยการรับซื้อมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต	-ผู้ผลิตต้องยึดหลัก EPR ในการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์และระบบของผลิตภัณฑ์ -ผู้ผลิตต้องใช้ชิ้นส่วนตามมาตรฐาน RoHS ในการผลิตคอมพิวเตอร์ -พิจารณาหลักการ 3Rs ในการผลิตชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ
		ผู้ผลิตภายนอกประเทศ *(ผู้ประกอบการที่ผลิตคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ และอิเล็กทรอนิกส์)*	รองรับปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ที่ประเทศไทยส่งออกไปจำหน่าย (ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้)	

หมายเหตุ: 1.) EPR คือ Extended Producer Responsibility รายละเอียดหน้า 28
WEEE คือ Waste Electrical and Electric Equipment รายละเอียดหน้า 29
RoHS คือ Restriction of certain Hazardous Substance รายละเอียดหน้า 30
3Rs คือ 3Rs Concepts (Reduce Reuse and Recycle) รายละเอียดหน้า 30

2.) การวางระบบในส่วนนี้ไม่ได้นำกิจการร้านรับซื้อของเก่าเข้ามาพิจารณาด้วย แต่ได้นำเสนอรูปแบบที่เป็นไปได้ในอนาคตของการนำกิจการรับซื้อของเก่าเข้ามาพิจารณาในระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (รายละเอียดในภาพประกอบ 4.5)



ภาพประกอบ 4.4 รูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์



ภาพประกอบ 4.5 รูปแบบกลไกการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ (กรณีพิจารณากิจการรับซื้อของเก่าเข้าร่วมในระบบ)

3) การติดตามและประเมินผล

สำหรับแนวทางในการติดตามและประเมินผลของการดำเนินการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นั้น สามารถนำเสนอแนวทางดังกล่าวได้คือ การติดตามและประเมินผลเชิงคุณภาพ การติดตามและประเมินผลเชิงปริมาณ และการวิเคราะห์ปัญหาจากการดำเนินงาน ตามรายละเอียดดังนี้

3.1) การติดตามและประเมินผลเชิงคุณภาพ

สำหรับประเด็นเชิงคุณภาพในการติดตามและประเมินผลจากการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นั้น สามารถดำเนินการประเมินในประเด็นต่างๆ ได้แก่ ภาพรวมของโครงการเรียกคืน ความตระหนักของการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาซากคอมพิวเตอร์ ความร่วมมือของแต่ละฝ่ายในการดำเนินงานตลอดจนผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการเหล่านี้เป็นต้น ซึ่งการติดตามและประเมินผลในส่วนนี้สามารถอาศัยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การใช้แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์ เป็นต้น

3.2) การติดตามและประเมินผลเชิงปริมาณ

ในการติดตามและประเมินผลในส่วนนี้ สามารถใช้แนวทางดังต่อไปนี้ในการวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณ ได้แก่ ปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียกคืนได้ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ปริมาณจุดรับคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เข้าร่วมโครงการ การวิเคราะห์มูลค่าจากการรีไซเคิล การประเมินคาร์บอนฟุตปริ้นส์จากกระบวนการจัดการซาก และปริมาณสารพิษที่ลดลงได้จากการบำบัดและการกำจัดที่ถูกต้อง เป็นต้น

3.3) การวิเคราะห์ปัญหาอุปสรรคของการดำเนินงาน

เป็นการวิเคราะห์ภายหลังการติดตามและประเมินผลของการดำเนินงานถึงสภาพของปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งปัญหาการให้ความร่วมมือของผู้บริโภค ปัญหาความร่วมมือของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประสิทธิภาพของระบบเรียกคืน ตลอดจนข้อจำกัดต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น เช่น งบประมาณ ระยะเวลาการดำเนินการ ความพร้อมขององค์กร และพฤติกรรมของผู้บริโภคในการคืนซาก เป็นต้น เพื่อนำประเด็นปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นมาใช้เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหาต่อไป

จากการออกแบบและการวิเคราะห์ระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้นั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยให้มีความเป็นระบบมากยิ่งขึ้น และยังสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆทั้งปัญหาการจัดการซากที่ไม่เหมาะสมที่จะเกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างแนวทางเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยต่อไป

4.3 ผลลัพธ์การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง

4.3.1 ปริมาณซากคอมพิวเตอร์

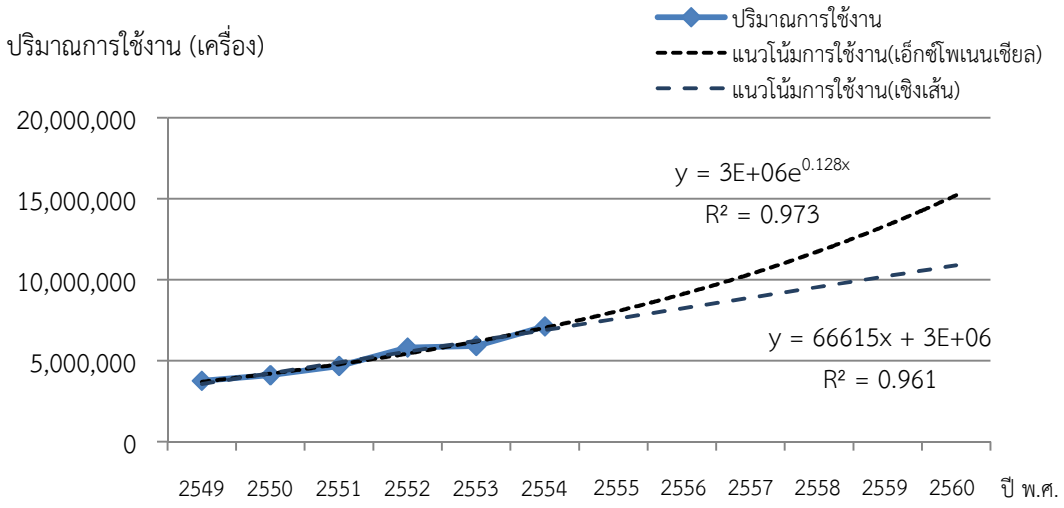
ผลจากการประมาณการซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา โดยอาศัยสมการ 3.1 สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตาราง 4.6 ซึ่งเป็นปริมาณซากจากการประมาณการที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2558 ส่วนรายละเอียดปริมาณซากทั้งหมดทุกจังหวัดนั้นแสดงไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการคำนวณหาคำตอบของตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลคอมพิวเตอร์ในส่วนต่อไป

ตาราง 4.6 ตัวอย่างปริมาณซากคอมพิวเตอร์จากการประมาณการ

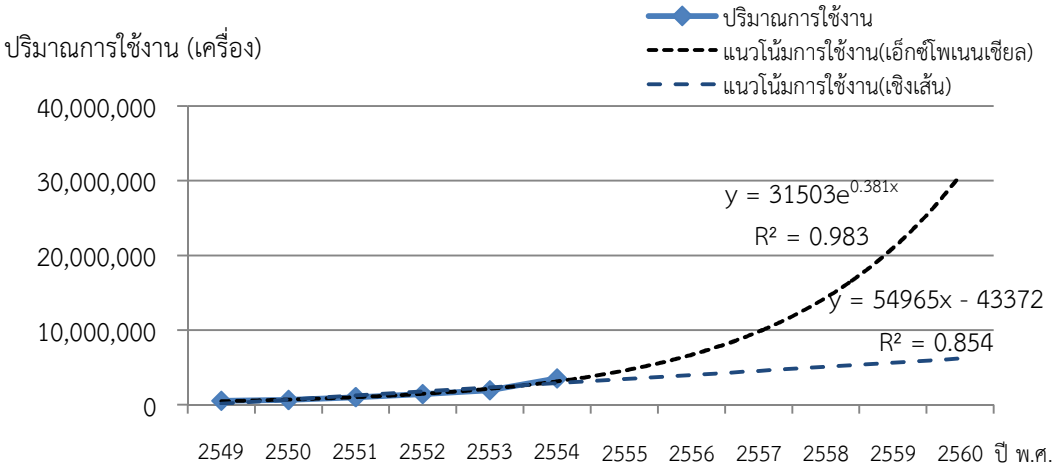
จังหวัด	ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในครัวเรือน (เครื่อง)		ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในสถานประกอบการ (เครื่อง)		ปริมาณรวม (เครื่อง)	
	แบบตั้งโต๊ะ	แบบพกพา	แบบตั้งโต๊ะ	แบบพกพา	แบบตั้งโต๊ะ	แบบพกพา
กระบี่	22,621	8,062	6,511	1,680	29,132	9,742
กรุงเทพมหานคร	907,849	685,359	594,218	132,943	1,502,067	818,302
กาญจนบุรี	43,584	16,907	12,616	3,333	56,200	20,240
กาฬสินธุ์	34,275	34,043	7,662	2,087	41,937	36,130
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	80,621	71,035	20,768	5,656	101,389	76,691
อุตรดิตถ์	25,354	22,232	4,231	1,191	29,585	23,423
อุทัยธานี	14,856	9,530	2,784	784	17,640	10,314
อุบลราชธานี	71,089	132,903	19,921	5,426	91,010	138,329

สำหรับตัวอย่างการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ในตาราง 4.6 จะเห็นได้ว่า จังหวัดกระบี่มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในครัวเรือนของแบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 22,621 เครื่อง เกิดจากปริมาณการใช้งานในปี พ.ศ. 2553 และแบบพกพาเท่ากับ 8,062 เครื่อง เกิดจากปริมาณการใช้งานในปี พ.ศ. 2554 ส่วนปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในสถานประกอบการของแบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 6,511 เครื่อง เกิดจากปริมาณการใช้งานในปี พ.ศ. 2553 และแบบพกพาเท่ากับ 1,680 เครื่อง เกิดจากปริมาณการใช้งานในปี พ.ศ. 2554 โดยปริมาณซากคอมพิวเตอร์รวมทั้งประเทศของซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพามีค่าเท่ากับ 5,917,508 เครื่อง และ 3,500,793 เครื่อง ตามลำดับ

ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ทั้งในครัวเรือนและสถานประกอบการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะกลายไปเป็นซากคอมพิวเตอร์ตามอายุการใช้งาน โดยจากข้อมูลในอดีต (ปี พ.ศ.2549-2554) สามารถคาดการณ์แนวโน้มการใช้งานคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและพกพาได้ดังภาพประกอบ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ โดยอาศัยการพยากรณ์ปริมาณแนวโน้มการใช้งานระหว่างปี พ.ศ.2555-2560 ซึ่งปริมาณการใช้งานดังกล่าวจะกลายไปเป็นซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต โดยได้แสดงให้เห็นในลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลซึ่งเป็นรูปแบบการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในยุคปัจจุบัน เปรียบเทียบกับรูปแบบการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นเนื่องจากมีการคาดการณ์ว่าคอมพิวเตอร์อาจจะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นมากกว่าแบบเอ็กซ์โพเนน-เชียล เพราะมีตลาดของอุปกรณ์อื่นเข้ามาแข่งขันมากขึ้น เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต เป็นต้น ซึ่งปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นในส่วนนี้จะเป็นการยืนยันว่าในอนาคตจะมีซากคอมพิวเตอร์เพียงพอต่อการนำมาเข้าสู่ระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเรียกคืนได้ตามอัตราการเรียกคืนในระดับต่างๆ



ภาพประกอบ 4.6 ปริมาณการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแนวโน้มการใช้ในอนาคต



ภาพประกอบ 4.7 ปริมาณการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาและแนวโน้มการใช้ในอนาคต

4.3.2 ปริมาณวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิล

สำหรับปริมาณวัสดุที่จะได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ หากพิจารณาจากปริมาณซากคอมพิวเตอร์ทั้งหมดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ.2558 ที่ถูกนำเข้าสู่ระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์เพื่อการรีไซเคิล สามารถแสดงปริมาณของวัสดุที่คาดว่าจะได้รับดังตาราง 4.7 ซึ่งพิจารณาระดับของประสิทธิภาพการรีไซเคิล (recycling efficiency) จากข้อมูลในตาราง 3.3 และข้อมูลองค์ประกอบของวัสดุสำคัญหลักในเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องจากตาราง 3.2 โดยการคำนวณนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.2

ตาราง 4.7 การคาดการณ์ปริมาณวัสดุแต่ละชนิดที่ได้จากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ทั้งประเทศ

ชนิดวัสดุ	ปริมาณวัสดุจากซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (กิโลกรัม)	ปริมาณวัสดุจากซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา (กิโลกรัม)	ปริมาณรวม (กิโลกรัม)
พลาสติก	2,875,909	854,193	3,730,102
เหล็ก	40,617,775	2,436,552	43,054,327
อลูมิเนียม	2,698,384	1,428,324	4,126,707
ทองแดง	3,568,257	850,693	4,418,950
ตะกั่ว	12,723	1,068	13,790
ดีบุก	294,100	22,790	316,890
เงิน	8,119	4,803	12,922
ทอง	2,109	1,248	3,357

จากตาราง 4.7 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของพลาสติกจากซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่รีไซเคิลได้นั้น มีค่าเท่ากับ 2,875,909 กิโลกรัม (5,917,508 x 2.43 x 0.20) กล่าวคือ ปริมาณซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 5,917,508 เครื่อง องค์ประกอบของพลาสติกในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเท่ากับ 2.43 กิโลกรัม และประสิทธิภาพการรีไซเคิลพลาสติกเท่ากับร้อยละ 20 ส่วนปริมาณของพลาสติกจากซากคอมพิวเตอร์แบบพกพาที่รีไซเคิลได้ มีค่าเท่ากับ 854,193 กิโลกรัม (3,500,793 x 1.22 x 0.20) โดยจะใช้การคำนวณปริมาณวัสดุในส่วนนี้ไปกำหนดเป็นกำลังการผลิตของโรงงานรีไซเคิลต่อไป

4.3.3 ผลการสำรวจตลาดวัสดุ

ผลจากการสำรวจที่ตั้งและปริมาณความต้องการวัสดุจากโรงงานที่ประกอบกิจการผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ทั่วประเทศ ดังรายละเอียดกระบวนการสำรวจในภาพประกอบ 3.3 พบว่า มีจำนวนโรงงานที่ตอบรับแบบสอบถามและสามารถให้ข้อมูลได้ในขั้นต้นทั้งสิ้น 16 โรง ซึ่งตั้งอยู่ใน 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ชลบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ นครราชสีมา ระยอง และกรุงเทพมหานคร โดยเป็นกลุ่มของโรงงานส่วนหนึ่งที่ได้จากการสำรวจเพื่อนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับกำหนดเป็นแหล่งที่ตั้งและปริมาณความต้องการวัสดุแต่ละชนิดสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลต่อไป และผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ปริมาณความต้องการวัสดุ

สำหรับปริมาณความต้องการวัสดุแต่ละชนิดจากกลุ่มของโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดต่างๆ รวมไปถึงปริมาณความต้องการที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตจากการสอบถามโรงงานแต่ละแห่งนั้น สามารถนำเสนอผลสรุปของการสำรวจได้ดังต่อไปนี้

1) ปริมาณความต้องการจำแนกตามชนิดวัสดุ

จากการสำรวจปริมาณความต้องการวัสดุของโรงงานต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลความต้องการเฉลี่ยต่อปี ของปี พ.ศ.2554 จำแนกตามวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งเป็นวัสดุที่พิจารณานำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยพบว่า ปริมาณวัสดุที่มีความต้องการสูงสุดคือ พลาสติก จำนวน 2,264,188.23 กิโลกรัม รองลงมาคือ เหล็ก จำนวน 154,629.38 กิโลกรัม ส่วนปริมาณความต้องการวัสดุอื่นๆดังรายละเอียดในตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ปริมาณความต้องการวัสดุในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์

ชนิดวัสดุ	ปริมาณความต้องการ (หน่วย: กิโลกรัม)	ปริมาณความต้องการ (หน่วย: ตัน)
พลาสติก	2,264,188.23	2,264.19
เหล็ก	154,629.38	154.63
อลูมิเนียม	12,218.25	12.22
ทองแดง	100,942.84	100.94
ตะกั่ว	2,341.25	2.34
ดีบุก	11,344.48	11.34
เงิน	6,681.97	6.68
ทอง	383.01	0.38

2) ปริมาณความต้องการจำแนกตามจังหวัดที่ตั้ง

สำหรับการจำแนกปริมาณความต้องการตามจังหวัดที่ตั้ง จากการสำรวจความต้องการวัสดุของโรงงานต่างๆ ซึ่งเป็นปริมาณความต้องการเฉลี่ยต่อปี ของปี พ.ศ.2554 นั้น สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตาราง 4.9 ส่วนการนำข้อมูลความต้องการวัสดุรีไซเคิลไปใช้ในการคำนวณนั้น เนื่องจากความต้องการที่ได้จากการสำรวจด้วยแบบสอบถามมีค่าน้อยกว่าปริมาณวัสดุที่คาดว่าจะได้รับจากการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการกระจายปริมาณส่วนต่างของวัสดุที่เหลือจากความต้องการที่ได้จากการสำรวจให้กับแหล่งตลาดวัสดุในแต่ละจังหวัด โดยพิจารณาตามจำนวนของตลาดที่มีในแต่ละจังหวัด ซึ่งได้กระจายในกับตลาดในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ร้อยละ 25 จังหวัดชลบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ ร้อยละ 15 และ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ระยอง นครราชสีมา ร้อยละ 10 ตามลำดับ สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ด้านตำแหน่งที่ตั้งต่อไป

2) แหล่งที่มาของวัสดุ

สำหรับผลการสอบถามแหล่งจัดซื้อวัสดุชนิดต่างๆเพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า โรงงานต่างๆมีการสั่งซื้อวัสดุทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีโรงงานบางส่วนที่ไม่สามารถให้ข้อมูลแหล่งจัดซื้อได้ โดยการสอบถามในส่วนนี้เป็นการสำรวจข้อมูลจริงในปัจจุบันว่ายังมีการนำเข้าวัสดุต่างๆอยู่เป็นจำนวนมากจากต่างประเทศ ซึ่งหากมีโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถรีไซเคิลชิ้นส่วนซากคอมพิวเตอร์ออกมาเป็นวัสดุชนิดต่างๆที่มีคุณภาพเทียบเท่าวัสดุใหม่ได้ ก็น่าจะมีส่วนช่วยในการลดการนำเข้าวัสดุจากแหล่งของตลาดในต่างประเทศลงได้บางส่วน อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุที่หมดสภาพการใช้งานมาแปรสภาพใหม่ผ่านการรีไซเคิลเพื่อการใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตต่อไป โดยจากการสำรวจพบว่าแหล่งจัดซื้อวัสดุในต่างประเทศนั้น สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังตาราง 4.10 ซึ่งเป็นข้อมูลเพียงบางส่วนจากกลุ่มโรงงานตัวอย่างที่สามารถให้ข้อมูลในส่วนนี้ได้

ตาราง 4.9 ปริมาณความต้องการวัสดุจำแนกตามจังหวัดที่ตั้ง

จังหวัด	ชนิดวัสดุ	ปริมาณความต้องการเฉลี่ย (กิโลกรัม)	*ประมาณการความต้องการเฉลี่ยในอนาคต (กิโลกรัม)
พระนครศรีอยุธยา	พลาสติก	7,000.00	9,320.50
	เหล็ก	9,500.00	9,500.00
	อลูมิเนียม	1,500.00	2,286.18
	ทองแดง	6,100.00	8,991.96
	ตะกั่ว	750.00	750.00
	ดีบุก	950.00	1,421.37
	เงิน	2,650.00	2,935.73
	ทอง	150.00	150.00
ชลบุรี	พลาสติก	3,500.00	9,996.35
	เหล็ก	300.00	439.23
	อลูมิเนียม	0.00	0.00
	ทองแดง	500.00	732.05
	ตะกั่ว	0.00	0.00
	ดีบุก	200.00	292.82
	เงิน	300.00	439.23
	ทอง	5.00	7.32
ปทุมธานี	พลาสติก	7,000.00	10,248.70
	เหล็ก	4,500.00	7,197.95
	อลูมิเนียม	2,700.00	4,135.92
	ทองแดง	5,000.00	7,320.50
	ตะกั่ว	50.00	103.68
	ดีบุก	2,070.00	3,073.35
	เงิน	1,050.00	1,567.78
	ทอง	100.00	146.41
สมุทรปราการ	พลาสติก	50,008.60	73,214.68
	เหล็ก	42,000.00	61,492.20
	อลูมิเนียม	1,500.00	2,196.15
	ทองแดง	1,065.00	1,537.26
	ตะกั่ว	700.00	1,024.87
	ดีบุก	204.20	297.55
	เงิน	300.00	439.23
	ทอง	20.00	29.28

ตาราง 4.9 ปริมาณความต้องการวัสดุจำแนกตามจังหวัดที่ตั้ง (ต่อ)

จังหวัด	ชนิดวัสดุ	ปริมาณความต้องการเฉลี่ย (กิโลกรัม)	*ประมาณการความต้องการเฉลี่ยในอนาคต (กิโลกรัม)
กรุงเทพมหานคร	พลาสติก	22,600.00	22,600.00
	เหล็ก	72,000.00	72,000.00
	อลูมิเนียม	0.00	0.00
	ทองแดง	35,289.00	74,061.07
	ตะกั่ว	155.00	442.70
	ดีบุก	1,950.00	5,569.40
	เงิน	0.00	0.00
	ทอง	0.00	0.00
ระยอง	พลาสติก	1,033,000.00	2,264,188.23
	เหล็ก	0.00	0.00
	อลูมิเนียม	3,600.00	3,600.00
	ทองแดง	8,000.00	8,000.00
	ตะกั่ว	0.00	0.00
	ดีบุก	500.00	500.00
	เงิน	1,000.00	1,000.00
	ทอง	50.00	50.00
นครราชสีมา	พลาสติก	0.00	0.00
	เหล็ก	4,000.00	4,000.00
	อลูมิเนียม	0.00	0.00
	ทองแดง	300.00	300.00
	ตะกั่ว	20.00	20.00
	ดีบุก	190.00	190.00
	เงิน	300.00	300.00
	ทอง	0.00	0.00

หมายเหตุ: *คำนวณจากการคาดการณ์อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการวัสดุของแต่ละโรงงาน (ประมาณการของปี พ.ศ. 2558)

ตาราง 4.10 ตัวอย่างของแหล่งตลาดวัสดุในต่างประเทศของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

ชนิดวัสดุ	*แหล่งจัดซื้อในต่างประเทศ
พลาสติก	ประเทศไต้หวัน
เหล็ก	ประเทศเกาหลี และญี่ปุ่น
อลูมิเนียม	ประเทศจีน
ทองแดง	ประเทศญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน จีน และมาเลเซีย
ตะกั่ว	ประเทศเยอรมัน
ดีบุก	ประเทศญี่ปุ่น
เงิน	ประเทศญี่ปุ่น
ทอง	ประเทศญี่ปุ่น และสิงคโปร์

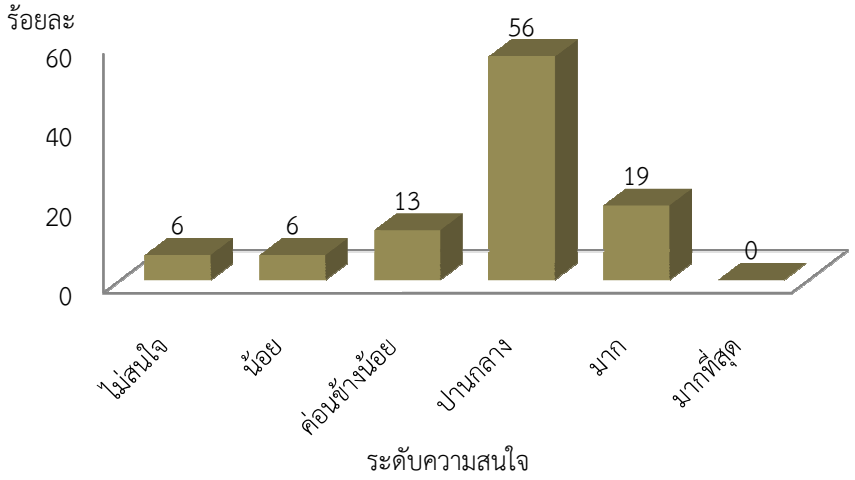
หมายเหตุ: *ข้อมูลเฉพาะโรงงานที่เปิดเผยข้อมูล

3) ระดับความสนใจวัสดุจากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ

หากในอนาคตประเทศไทยมีโรงงานรีไซเคิลต้นแบบที่มีศักยภาพสูงสำหรับการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์เกิดขึ้น ก็จะเป็นผลดีต่อสถานประกอบการที่จะมีแหล่งของตลาดวัสดุเป็นทางเลือกอีกแห่งหนึ่งในการจัดซื้อ เพื่อการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ซึ่งอาจจะช่วยลดต้นทุนของวัสดุลงได้และลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของปัญหาซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อีกทางหนึ่ง ดังนั้นจึงได้ทำการสอบถามถึงระดับความสนใจวัสดุรีไซเคิลที่ได้จากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบกับโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยระดับความสนใจ 6 ระดับ ดังนี้

1) ระดับที่ 1 ไม่สนใจ (น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 0)
2) ระดับที่ 2 น้อย (น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1)
3) ระดับที่ 3 ค่อนข้างน้อย (น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 2)
4) ระดับที่ 4 ปานกลาง (น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 3)
5) ระดับที่ 5 มาก (น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 4)
6) ระดับที่ 6 มากที่สุด (น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 5)

ผลจากการสำรวจกลุ่มโรงงานตัวอย่างของตลาดวัสดุ จากโรงงานที่ให้ข้อมูลทั้งหมด 16 โรงงาน ซึ่งเป็นกลุ่มโรงงานงานผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศพบว่า ร้อยละ 56 (9 โรง) มีระดับความสนใจในระดับปานกลาง ร้อยละ 19 (3 โรง) มีระดับความสนใจในระดับมาก ร้อยละ 13 (2 โรง) มีระดับความสนใจในระดับค่อนข้างน้อย และ ร้อยละ 6 (1 โรง) มีระดับความต้องการในระดับน้อย นอกจากนี้มีโรงงานที่ไม่สนใจจำนวน 1 โรง และไม่มีโรงงานใดที่มีระดับความสนใจมากที่สุด ดังรายละเอียดในภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.8 ระดับความสนใจวัสดุรีไซเคิลที่ได้จากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ

โดยข้อมูลในส่วนนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของโรงงานที่ให้ข้อมูลด้วยแบบสอบถาม และจากการสอบถามเชิงลึกกับกลุ่มโรงงานที่มีระดับความสนใจในระดับ ค่อนข้างน้อย น้อย และไม่ต้องการ พบว่า สาเหตุสำคัญมาจาก ความไม่มั่นใจในคุณภาพของวัสดุที่รีไซเคิลออกมาได้ ซึ่งเป็นความคิดเห็นของทางโรงงาน และอีกส่วนหนึ่งก็เป็นความต้องการของลูกค้าของทางโรงงานที่มีข้อกำหนดเรื่องคุณภาพวัสดุ ที่กำหนดให้ใช้เฉพาะวัสดุคุณภาพสูงเพียงเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลในส่วนนี้จึงเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญที่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญที่จะต้องร่วมกันสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ประกอบการถึงคุณภาพของวัสดุรีไซเคิล ในขณะเดียวกันก็จะต้องพิจารณานำเอาเทคโนโลยีที่มีศักยภาพมาใช้ในการรีไซเคิลเพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณภาพตามความต้องการของตลาด ในส่วนของกลุ่มโรงงานที่มีความสนใจในระดับปานกลาง และระดับสูงก็เห็นว่า หากมีโรงงานรีไซเคิลต้นแบบที่มีศักยภาพเกิดขึ้นจริงก็มีความคิดเห็นว่าเป็นสิ่งที่อาจจะช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้อวัตถุดิบ รวมถึงการนำเข้าจากต่างประเทศลงได้ และหากโรงงานนี้เกิดขึ้นได้จริงก็จะก่อให้เกิดผลประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

4.3.4 ผลการศึกษาและประมาณการต้นทุน

ในส่วนของผลการศึกษาเพื่อการประมาณการต้นทุน 3 ส่วน คือ ต้นทุนของศูนย์รวบรวม ต้นทุนของโรงงานรีไซเคิล และต้นทุนค่าขนส่ง เพื่อใช้ต้นทุนนี้ในการคำนวณและวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งต่อไป

1) ต้นทุนของศูนย์รวบรวม

สำหรับผลการศึกษาเพื่อการประมาณต้นทุนของศูนย์รวบรวมนี้ ประกอบด้วย 2 ประเด็นหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1) ผลการออกแบบพื้นที่ของศูนย์รวบรวม

ในการออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวมนั้นจะต้องศึกษาข้อมูลประกอบการออกแบบขนาดของพื้นที่แต่ละส่วนภายในศูนย์ ด้วยการพิจารณาพื้นที่การจัดเก็บเป็นหลัก ร่วมกับการพิจารณาปริมาณสูงสุดของคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดที่สามารถเก็บรวบรวมได้ต่อเดือนจากตาราง 3.4 โดยผลจากการศึกษาข้อมูลประกอบการออกแบบสามารถแสดงได้ดังตาราง 4.11 และจะใช้ข้อมูลในส่วนนี้เพื่อการออกแบบพื้นที่ของศูนย์รวบรวมทั้งสองขนาด นอกจากนี้การจัดเก็บจะใช้พาเลทไม้ และลังพลาสติกขนาดใหญ่ เนื่องจากมีความเหมาะสมกับการจัดการซากคอมพิวเตอร์ตามรูปแบบการจัดเก็บรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ในภาคผนวก ค

ตาราง 4.11 ข้อมูลประกอบการออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวม

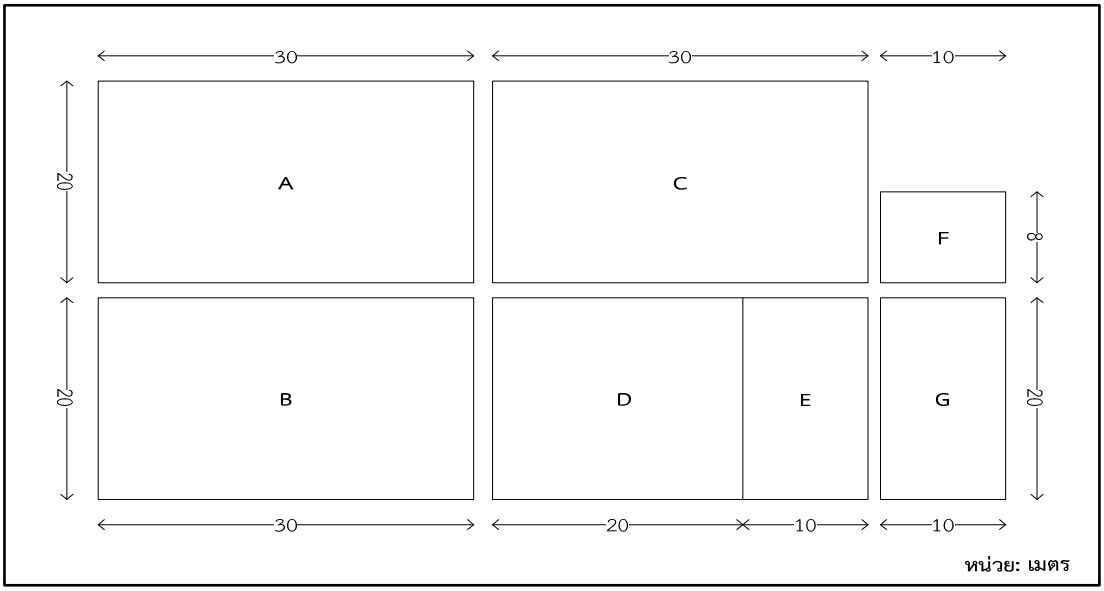
ชิ้นส่วน	ขนาดของชิ้นส่วน (หน่วย: เมตร)	ลักษณะอุปกรณ์จัดเก็บ (หน่วย: เมตร)	*จำนวนชิ้นส่วนต่ออุปกรณ์จัดเก็บ (ชิ้น)
1. ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ			
หน้าจอ	0.1x0.4x0.44	พาเลทไม้ (1x1.2)	120
เคส	0.2x0.42x0.4	พาเลทไม้ (1x1.2)	60
แป้นพิมพ์	0.17x0.45x0.05	ลังพลาสติกขนาดใหญ่ (0.71x1.11x0.66)	121
2. ซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา			
คอมพิวเตอร์พกพา	0.22x0.3x0.04	ลังพลาสติกขนาดใหญ่ (0.71x1.11x0.66)	168

หมายเหตุ: * คำนวณโดยผู้วิจัยจากการบรรจุชิ้นส่วนลงในอุปกรณ์จัดเก็บ

1) ศูนย์รวบรวมขนาด A

ศูนย์รวบรวมขนาด A ที่ออกแบบขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 4.9 จะมีขนาดของพื้นที่ของอาคารโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 2,680 ตร.ม. และพิจารณาพื้นที่ว่าง พื้นที่ภายนอกรายรอบอาคาร ตลอดจนพื้นที่สำหรับจอดรถอีกประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ก็จะได้พื้นที่รวมทั้งหมดในการจัดตั้งศูนย์รวบรวมขนาด A เท่ากับ 4,020 ตร.ม.หรือ คิดเป็น 2.51 ไร่

โดยศูนย์รวบรวมนี้สามารถรองรับปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงสุดเท่ากับ 100,000 เครื่องต่อเดือน คิดเป็น ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะประมาณ 60,000 เครื่องต่อเดือน และซากคอมพิวเตอร์แบบพกพาประมาณ 40,000 เครื่องต่อเดือน สำหรับรายละเอียดของพื้นที่แต่ละส่วนภายในศูนย์รวบรวมตามภาพประกอบ 4.9 นั้นแสดงได้ดังตาราง 4.12



ภาพประกอบ 4.9 การออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวมขนาด A

ตาราง 4.12 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของศูนย์รวบรวมขนาด A

โซน	พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้งานพื้นที่
A	จัดเก็บเคส	*600	จัดเก็บเคส โดยวางบนพาเลทไม้
B	จัดเก็บเคส	*600	จัดเก็บเคส โดยวางบนพาเลทไม้
C	จัดเก็บหน้าจอ	*600	จัดเก็บหน้าจอ โดยวางบนพาเลทไม้
D	จัดเก็บแป้นพิมพ์	*400	จัดเก็บแป้นพิมพ์ โดยบรรจุลังพลาสติก
E	จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา	*200	จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา โดยบรรจุลังพลาสติก
F	ห้องเก็บของ	80	เก็บวัสดุอุปกรณ์
G	สำนักงาน	200	ดำเนินงานของศูนย์รวบรวม

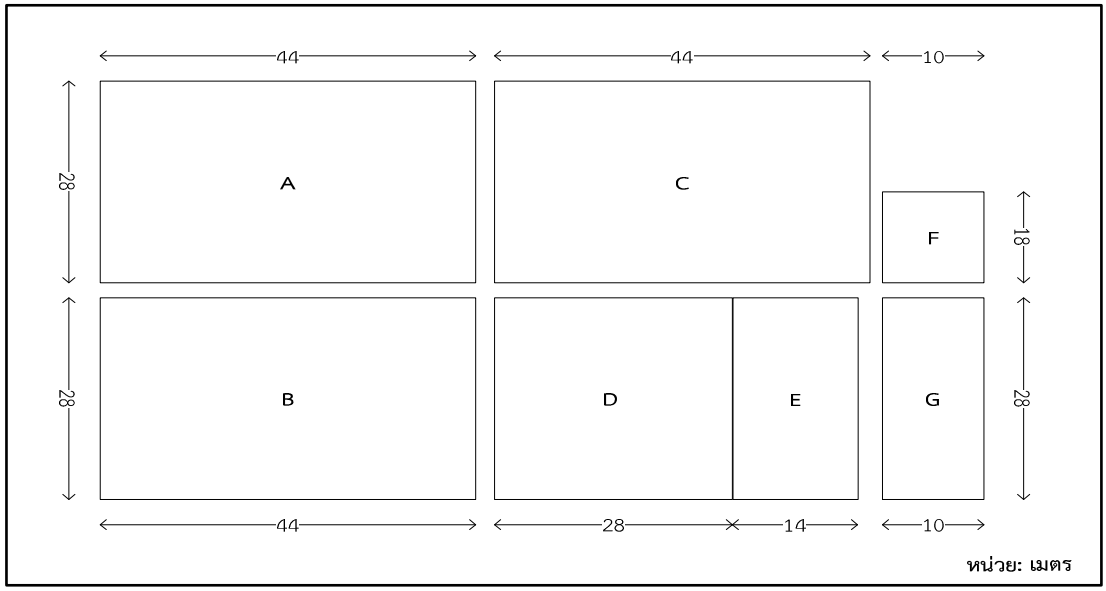
หมายเหตุ: * ประมาณจากพื้นที่ที่ต้องใช้วางอุปกรณ์จัดเก็บซากชิ้นส่วนตามปริมาณสูงสุด

2) ศูนย์รวบรวมขนาด B

ศูนย์รวบรวมขนาด B ที่ออกแบบขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 4.10 จะมีขนาดของพื้นที่ของอาคารโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 5,332 ตร.ม. และพิจารณาพื้นที่ว่าง พื้นที่ภายนอกรายรอบอาคาร ตลอดจนพื้นที่สำหรับจอดรถอีกประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด จะได้พื้นที่รวมทั้งหมดในการจัดตั้งศูนย์รวบรวมขนาด B เท่ากับ 7,998 ตร.ม. หรือคิดเป็น 5.00 ไร่

โดยศูนย์รวบรวมนี้สามารถรองรับปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงสุดเท่ากับ 200,000 เครื่องต่อเดือน คิดเป็น ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะประมาณ 120,000

เครื่องต่อเดือน และซากคอมพิวเตอร์แบบพกพาประมาณ 80,000 เครื่องต่อเดือน สำหรับรายละเอียดของพื้นที่แต่ละส่วนภายในศูนย์รวบรวมตามภาพประกอบ 4.10 นั้นแสดงได้ดังตาราง 4.13



ภาพประกอบ 4.10 การออกแบบพื้นที่ศูนย์รวบรวมขนาด B

ตาราง 4.13 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของศูนย์รวบรวมขนาด B

โซน	พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้งานพื้นที่
A	จัดเก็บเคส	*1,232	จัดเก็บเคส โดยวางบนพาเลทไม้
B	จัดเก็บเคส	*1,232	จัดเก็บเคส โดยวางบนพาเลทไม้
C	จัดเก็บหน้าจอ	*1,232	จัดเก็บหน้าจอ โดยวางบนพาเลทไม้
D	จัดเก็บแป้นพิมพ์	*784	จัดเก็บแป้นพิมพ์ โดยบรรจุลังพลาสติก
E	จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา	*392	จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา โดยบรรจุลังพลาสติก
F	ห้องเก็บของ	180	เก็บวัสดุอุปกรณ์
G	สำนักงาน	280	ดำเนินงานของศูนย์รวบรวม

หมายเหตุ: * ประมาณจากพื้นที่ที่ต้องใช้วางอุปกรณ์จัดเก็บซากชิ้นส่วนตามปริมาณสูงสุด

1.2) โครงสร้างต้นทุนและการประมาณการ

สำหรับโครงสร้างของต้นทุนในส่วนนี้ กำหนดให้ต้นทุนของศูนย์รวบรวมมีค่าเท่ากับผลรวมของค่าก่อสร้าง และค่าที่ดิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ค่าก่อสร้าง

สำหรับรายละเอียดของค่าก่อสร้างทั้งศูนย์รวบรวมขนาด A และขนาด B นั้น แสดงได้ดังตาราง 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ ซึ่งมูลค่าดังกล่าวจะแตกต่างกันในแต่ละจังหวัด โดยอาศัยข้อมูลการประเมินราคาของสำนักประเมินราคาสินทรัพย์ กรมธนารักษ์ ของปี พ.ศ. 2555-2558 ดังตัวอย่างเช่น มูลค่าก่อสร้างโกดังของศูนย์รวบรวมขนาด A ในจังหวัดกระบี่ มีค่าเท่ากับ 8,308,000 บาท (3,350x2,480)

ตาราง 4.14 ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างศูนย์รวบรวมขนาด A ในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	พื้นที่โกดัง (2,480 ตร.ม.)		พื้นที่สำนักงาน (200 ตร.ม.)		รวมมูลค่าสุทธิ (บาท)
	ราคา (บาท/ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	ราคา (บาท/ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	
กระบี่	3,350	8,308,000	7,100	1,420,000	9,728,000
กรุงเทพมหานคร	3,100	7,688,000	6,550	1,310,000	8,998,000
กาญจนบุรี	3,150	7,812,000	6,650	1,330,000	9,142,000
กาฬสินธุ์	3,150	7,812,000	6,750	1,350,000	9,162,000
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	3,100	7,688,000	6,300	1,260,000	8,948,000
อุตรดิตถ์	3,150	7,812,000	6,650	1,330,000	9,142,000
อุทัยธานี	3,000	7,440,000	6,450	1,290,000	8,730,000
อุบลราชธานี	3,250	8,060,000	6,350	1,270,000	9,330,000

ในส่วนของการประมาณการค่าใช้จ่ายเพื่อเทียบเป็นค่าใช้จ่ายรายปีนั้น เมื่อพิจารณาอายุของโครงการในระยะยาวที่ 20 ปี สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างเช่น มูลค่าการก่อสร้างศูนย์รวบรวมขนาด A ของจังหวัดกระบี่ คิดเป็น 486,400 บาทต่อปี (9,728,000/20) เพื่อใช้ข้อมูลต้นทุนรายปีไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ตาราง 4.15 ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างศูนย์รวบรวมขนาด B ในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	พื้นที่โกดัง (5,052 ตร.ม.)		พื้นที่สำนักงาน (280 ตร.ม.)		รวมมูลค่าสุทธิ (บาท)
	ราคา (บาท/ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	ราคา (บาท/ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	
กระบี่	3,350	16,924,200	7,100	1,988,000	18,912,200
กรุงเทพมหานคร	3,100	15,661,200	6,550	1,834,000	17,495,200
กาญจนบุรี	3,150	15,913,800	6,650	1,862,000	17,775,800
กาฬสินธุ์	3,150	15,913,800	6,750	1,890,000	17,803,800
.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	3,100	15,661,200	6,300	1,764,000	17,425,200
อุตรดิตถ์	3,150	15,913,800	6,650	1,862,000	17,775,800
อุทัยธานี	3,000	15,156,000	6,450	1,806,000	16,962,000
อุบลราชธานี	3,250	16,419,000	6,350	1,778,000	18,197,000

2) ค่าที่ดิน

ผลจากการพิจารณามูลค่าของที่ดินเฉลี่ยในพื้นที่เมืองของแต่ละจังหวัดมาใช้ในการประมาณการค่าที่ดินของศูนย์รวบรวม สามารถประเมินออกมาในรูปของค่าเช่าที่ดินรายปี ตามรายละเอียดได้ดังตาราง 4.16 ซึ่งการคำนวณนั้นจะอาศัยขนาดของที่ดินในการสร้างศูนย์รวบรวม คูณกับ มูลค่าของที่ดินแต่ละจังหวัด และคูณกับร้อยละของค่าเช่ารายปี ดังเช่น จังหวัดกระบี่มีค่าเช่ารายปีของศูนย์รวบรวมขนาด A เท่ากับ 1,589,156 บาทต่อปี (4,020x7,906x0.05)

ตาราง 4.16 ตัวอย่างมูลค่าที่ดินสำหรับก่อสร้างศูนย์รวบรวมทั้งสองขนาดในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	ศูนย์รวบรวมขนาด A (4,020 ตร.ม.)			ศูนย์รวบรวมขนาด B (7,998 ตร.ม.)		
	ราคา (บาท/ ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	คิดเป็นค่าเช่ารายปี *(บาท)	ราคา (บาท/ ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	คิดเป็นค่าเช่ารายปี *(บาท)
กระบี่	7,906	31,783,125	1,589,156	7,906	63,234,188	3,161,709
กรุงเทพมหานคร	13,750	55,275,000	2,763,750	13,750	109,972,500	5,498,625
กาญจนบุรี	7,563	30,401,250	1,520,063	7,563	60,484,875	3,024,244
กาฬสินธุ์	540	2,172,308	108,615	540	4,321,919	216,096
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	1,375	5,527,500	276,375	1,375	10,997,250	549,863
อุตรดิตถ์	1,597	6,419,438	320,972	1,597	12,771,806	638,590
อุทัยธานี	744	2,989,875	149,494	744	5,948,513	297,426
อุบลราชธานี	3,013	12,110,250	605,513	3,013	24,093,975	1,204,699

หมายเหตุ: * กำหนดค่าเช่ารายปีเท่ากับร้อยละ 5 ของมูลค่าที่ดินสุทธิ

2) ต้นทุนของโรงงานรีไซเคิล

ผลการศึกษาเพื่อการประมาณต้นทุนในส่วนนี้ จะประกอบด้วย 2 ประเด็นหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) ผลการออกแบบพื้นที่ของโรงงาน

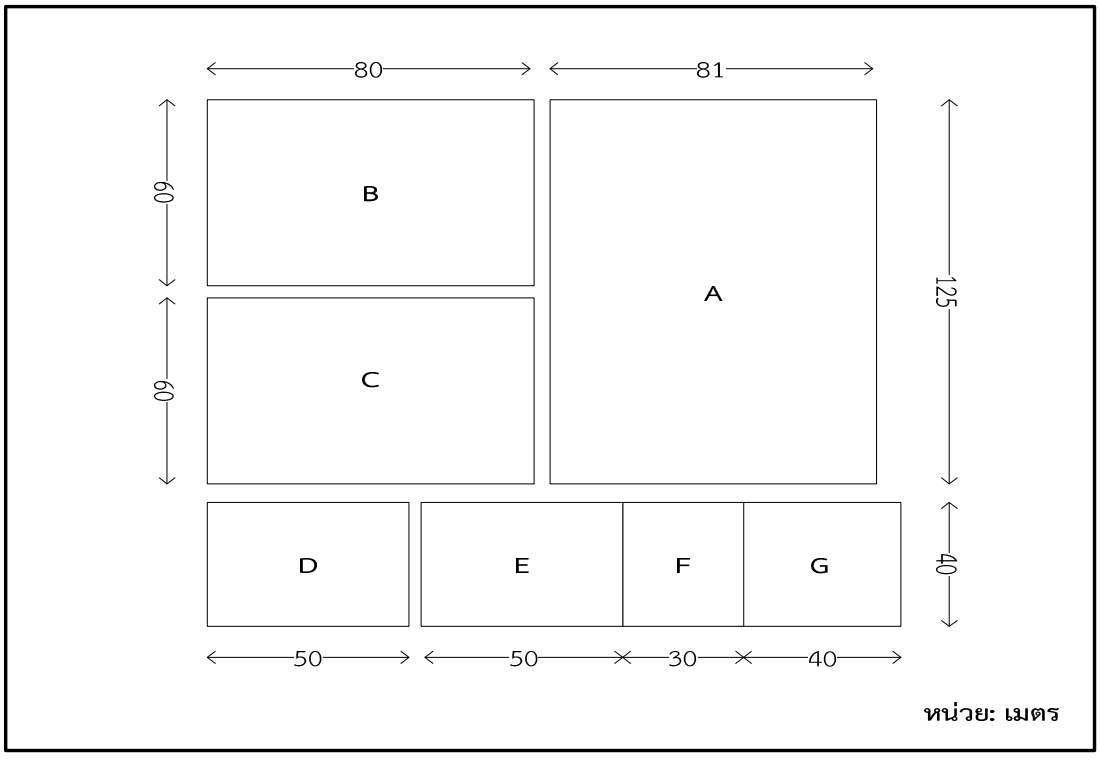
ในการออกแบบพื้นที่โรงงานนั้นจะต้องศึกษาข้อมูลประกอบการออกแบบขนาดของพื้นที่แต่ละส่วนภายในโรงงาน ในส่วนของโกดังเก็บซากนั้นจะพิจารณาพื้นที่การจัดเก็บเป็นหลัก ร่วมกับการพิจารณาปริมาณสูงสุดของซากคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดที่สามารถเก็บรวบรวมได้ต่อเดือนจากตาราง 3.5 และจะใช้ข้อมูลประกอบการออกแบบ (ตาราง 4.11) เช่นเดียวกับการออกแบบศูนย์รวบรวม ซึ่งเป็นพื้นที่หลักที่จะเป็นตัวกำหนดขนาดของโรงงานทั้งสองขนาด นอกจากนี้องค์ประกอบพื้นที่อื่นๆจะเป็นการประมาณการขนาดของพื้นที่หลัก ได้แก่ อาคารสำนักงาน โกดังเก็บของ โกดังเก็บสินค้า อาคารรีไซเคิล 1 (กระบวนการคัดแยก กระบวนการลดขนาด กระบวนการแยกวัสดุ) อาคารรีไซเคิล 2 (กระบวนการรีไซเคิลวัสดุ ได้แก่ พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ดีบุก ตะกั่ว ทอง เงิน และ

อื่นๆ) และอาคารบำบัดสารพิษ โดยองค์ประกอบเหล่านี้เป็นองค์ประกอบหลักที่ต้องมีในโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ

1) โรงงานขนาด A

โรงงานขนาด A ที่ออกแบบขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 4.11 จะมีขนาดของพื้นที่ของอาคารโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 26,525 ตร.ม. และพิจารณาพื้นที่ว่างพื้นที่ภายนอกรายรอบอาคาร ตลอดจนพื้นที่สำหรับจอดรถอีกประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ก็จะได้พื้นที่รวมทั้งหมดในการจัดตั้งโรงงานขนาด A เท่ากับ 39,788 ตร.ม.หรือ คิดเป็น 24.87 ไร่

โดยโรงงานนี้สามารถรองรับปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงสุดเท่ากับ 400,000 เครื่องต่อเดือน คิดเป็น ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะประมาณ 240,000 เครื่องต่อเดือน และซากคอมพิวเตอร์แบบพกพาประมาณ 160,000 เครื่องต่อเดือน สำหรับรายละเอียดของพื้นที่แต่ละส่วนภายในโรงงานตามภาพประกอบ 4.11 นั้นแสดงได้ดังตาราง 4.17



ภาพประกอบ 4.11 การออกแบบพื้นที่โรงงานรีไซเคิลขนาด A

ตาราง 4.17 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของโรงงานรีไซเคิลขนาด A

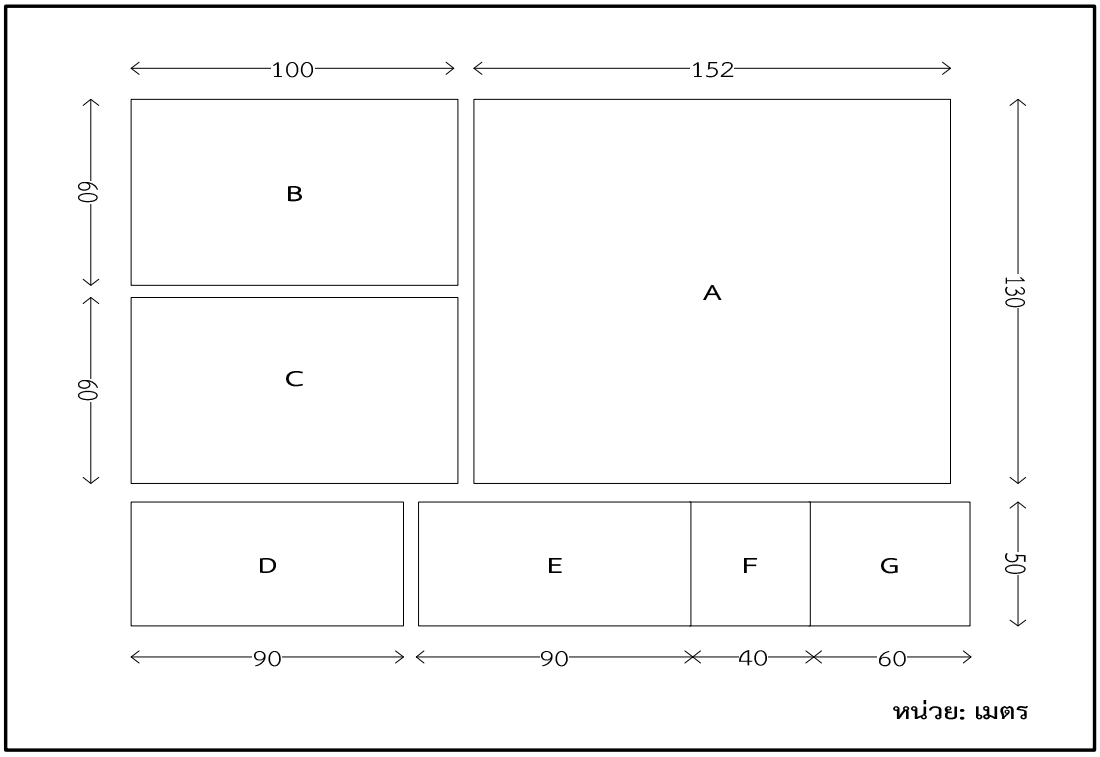
โซน	พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้งานพื้นที่
A	จัดเก็บชิ้นส่วน	*10,125	จัดเก็บซากคอมพิวเตอร์
	เคส	*5,000*	*จัดเก็บเคส ที่วางบนพาเลทไม้*
	หน้าจอ	*2,500*	*จัดเก็บหน้าจอ ที่วางบนพาเลทไม้*
	แป้นพิมพ์	*1,750*	*จัดเก็บแป้นพิมพ์ ที่บรรจุลังพลาสติก*
	คอมพิวเตอร์พกพา	*875*	*จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา ที่บรรจุลังพลาสติก*
B	อาคารรีไซเคิล1	4,800	ใช้สำหรับ กระบวนการคัดแยก กระบวนการลดขนาด และกระบวนการแยกวัสดุ
C	อาคารรีไซเคิล2	4,800	ใช้สำหรับ กระบวนการรีไซเคิลวัสดุชนิดต่างๆ
D	อาคารบำบัดสารพิษ	2,000	ใช้สำหรับกระบวนการกำจัดและบำบัดสารพิษ
E	โกดังเก็บสินค้า	2,000	จัดเก็บวัสดุรีไซเคิล
F	โกดังเก็บของ	1,200	เก็บวัสดุอุปกรณ์
G	สำนักงาน	1,600	ดำเนินงานของโรงงาน

หมายเหตุ: * ประมาณจากพื้นที่ที่ต้องใช้วางอุปกรณ์จัดเก็บซากชิ้นส่วนตามปริมาณสูงสุด

2) โรงงานขนาด B

โรงงานขนาด B ที่ออกแบบขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 4.12 จะมีขนาดของพื้นที่ของอาคารโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 45,760 ตร.ม. และพิจารณาพื้นที่ว่าง พื้นที่ภายนอกรายรอบอาคาร ตลอดจนพื้นที่สำหรับจอดรถอีกประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ก็จะได้พื้นที่รวมทั้งหมดในการจัดตั้งโรงงานขนาด B เท่ากับ 68,640 ตร.ม. หรือ คิดเป็น 42.90 ไร่

โดยโรงงานนี้สามารถรองรับปริมาณซากคอมพิวเตอร์สูงสุดเท่ากับ 800,000 เครื่องต่อเดือน คิดเป็น ซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะประมาณ 480,000 เครื่องต่อเดือน และซากคอมพิวเตอร์แบบพกพาประมาณ 320,000 เครื่องต่อเดือน สำหรับรายละเอียดของพื้นที่แต่ละส่วนภายในโรงงานตามภาพประกอบ 4.12 นั้นแสดงได้ดังตาราง 4.18



ภาพประกอบ 4.12 การออกแบบพื้นที่โรงงานรีไซเคิลขนาด B

ตาราง 4.18 รายละเอียดการแบ่งพื้นที่ของโรงงานรีไซเคิลขนาด B

โซน	พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	การใช้งานพื้นที่
A	จัดเก็บชิ้นส่วน	*19,760	จัดเก็บซากคอมพิวเตอร์
	เคส	*9,880*	*จัดเก็บเคส ที่วางบนพาเลทไม้*
	หน้าจอ	*4,940*	*จัดเก็บหน้าจอ ที่วางบนพาเลทไม้*
	แป้นพิมพ์	*3,250*	*จัดเก็บแป้นพิมพ์ ที่บรรจุลังพลาสติก*
	คอมพิวเตอร์พกพา	*1,690*	*จัดเก็บคอมพิวเตอร์พกพา ที่บรรจุลังพลาสติก*
B	อาคารรีไซเคิล1	6,000	ใช้สำหรับ กระบวนการคัดแยก กระบวนการลดขนาด และกระบวนการแยกวัสดุ
C	อาคารรีไซเคิล2	6,000	ใช้สำหรับ กระบวนการรีไซเคิลวัสดุชนิดต่างๆ
D	อาคารบำบัดสารพิษ	4,500	ใช้สำหรับกระบวนการกำจัดและบำบัดสารพิษ
E	โกดังเก็บสินค้า	4,500	จัดเก็บวัสดุรีไซเคิล
F	โกดังเก็บของ	2,000	เก็บวัสดุอุปกรณ์
G	สำนักงาน	3,000	ดำเนินงานของโรงงาน

หมายเหตุ: * ประมาณจากพื้นที่ที่ต้องใช้วางอุปกรณ์จัดเก็บซากชิ้นส่วนตามปริมาณสูงสุด

2.2) โครงสร้างต้นทุนและการประมาณการ

สำหรับโครงสร้างของต้นทุนในส่วนนี้ กำหนดให้ต้นทุนของโรงงานรีไซเคิลมีค่าเท่ากับผลรวมของค่าก่อสร้าง และค่าที่ดิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ค่าก่อสร้าง

สำหรับรายละเอียดของค่าก่อสร้างทั้งโรงงานขนาด A และขนาด B นั้นแสดงได้ดังตาราง 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ ซึ่งมูลค่าดังกล่าวจะแตกต่างกันในแต่ละจังหวัด โดยอาศัยข้อมูลการประเมินราคาของสำนักประเมินราคาสินทรัพย์ กรมธนารักษ์ ของปี พ.ศ.2555-2558 ดังเช่น มูลค่าก่อสร้างพื้นที่โรงงานขนาด A ของจังหวัดกระบี่ มีค่าเท่ากับ 64,960,000 บาท (5,600x11,600)

ตาราง 4.19 ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลขนาด A ในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	พื้นที่โรงงาน (11,600 ตร.ม.)		พื้นที่โกดัง (13,325 ตร.ม.)		พื้นที่สำนักงาน (1,600 ตร.ม.)		รวมมูลค่าสุทธิ (บาท)
	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	
กระบี่	5,600	64,960,000	3,350	44,638,750	7,100	11,360,000	120,958,750
กรุงเทพมหานคร	5,350	62,060,000	3,100	41,307,500	6,550	10,480,000	113,847,500
กาญจนบุรี	5,350	62,060,000	3,150	41,973,750	6,650	10,640,000	114,673,750
กาฬสินธุ์	5,550	64,380,000	3,150	41,973,750	6,750	10,800,000	117,153,750
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	5,300	61,480,000	3,100	41,307,500	6,300	10,080,000	112,867,500
อุตรดิตถ์	5,300	61,480,000	3,150	41,973,750	6,650	10,640,000	114,093,750
อุทัยธานี	5,200	60,320,000	3,000	39,975,000	6,450	10,320,000	110,615,000
อุบลราชธานี	5,300	61,480,000	3,250	43,306,250	6,350	10,160,000	114,946,250

ในส่วนของการประมาณการค่าใช้จ่ายเพื่อเทียบเป็นค่าใช้จ่ายรายปีนั้น เมื่อพิจารณาอายุของโครงการในระยะยาวที่ 20 ปี สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างเช่น มูลค่าการก่อสร้างศูนย์โรงงานขนาด A ของจังหวัดกระบี่ คิดเป็น 6,047,938 บาทต่อปี (120,958,750/20) เพื่อใช้ข้อมูลต้นทุนรายปีไปใช้ในการคำนวณต่อไป

ตาราง 4.20 ตัวอย่างมูลค่าการก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลขนาด B ในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	พื้นที่โรงงาน (16,500 ตร.ม.)		พื้นที่โกดัง (26,260 ตร.ม.)		พื้นที่สำนักงาน (3,000 ตร.ม.)		รวมมูลค่าสุทธิ (บาท)
	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	
กระบี่	5,600	92,400,000	3,350	87,971,000	7,100	21,300,000	201,671,000
กรุงเทพมหานคร	5,350	88,275,000	3,100	81,406,000	6,550	19,650,000	189,331,000
กาญจนบุรี	5,350	88,275,000	3,150	82,719,000	6,650	19,950,000	190,944,000
กาฬสินธุ์	5,550	91,575,000	3,150	82,719,000	6,750	20,250,000	194,544,000
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	5,300	87,450,000	3,100	81,406,000	6,300	18,900,000	187,756,000
อุตรดิตถ์	5,300	87,450,000	3,150	82,719,000	6,650	19,950,000	190,119,000
อุทัยธานี	5,200	85,800,000	3,000	78,780,000	6,450	19,350,000	183,930,000
อุบลราชธานี	5,300	87,450,000	3,250	85,345,000	6,350	19,050,000	191,845,000

2) ค่าที่ดิน

ผลจากการพิจารณามูลค่าของที่ดินเฉลี่ยในพื้นที่เมืองของแต่ละจังหวัดมาใช้ในการประมาณการค่าที่ดินของโรงงานรีไซเคิล สามารถประเมินออกมาในรูปของค่าเช่าที่ดินรายปี ตามรายละเอียดได้ดังตาราง 4.21 ซึ่งการคำนวณนั้นจะอาศัยขนาดของที่ดินในการสร้างโรงงาน คูณกับมูลค่าของที่ดินแต่ละจังหวัด และคูณกับร้อยละของค่าเช่ารายปี ดังเช่น จังหวัดกระบี่มีค่าเช่ารายปีของโรงงานขนาด A เท่ากับ 15,728,694 บาทต่อปี (39,788x7,906x0.05)

ตาราง 4.21 ตัวอย่างมูลค่าที่ดินสำหรับก่อสร้างโรงงานรีไซเคิลทั้งสองขนาดในแต่ละจังหวัด

จังหวัด	โรงงานขนาด A (39,788 ตร.ม.)			โรงงานขนาด B (68,640 ตร.ม.)		
	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	คิดเป็นค่าเช่ารายปี *(บาท)	ราคา (บ./ตร.ม.)	รวมมูลค่า (บาท)	คิดเป็นค่าเช่ารายปี *(บาท)
กระบี่	7,906	314,573,875	15,728,694	7,906	542,685,000	27,134,250
กรุงเทพมหานคร	13,750	547,085,000	27,354,250	13,750	943,800,000	47,190,000
กาญจนบุรี	7,563	300,896,750	15,044,838	7,563	519,090,000	25,954,500
กาฬสินธุ์	540	21,500,441	1,075,022	540	37,091,340	1,854,567
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
อุดรธานี	1,375	54,708,500	2,735,425	1,375	94,380,000	4,719,000
อุตรดิตถ์	1,597	63,536,463	3,176,823	1,597	109,609,500	5,480,475
อุทัยธานี	744	29,592,325	1,479,616	744	51,051,000	2,552,550
อุบลราชธานี	3,013	119,861,350	5,993,068	3,013	206,778,000	10,338,900

หมายเหตุ: * กำหนดค่าเช่ารายปีเท่ากับร้อยละ 5 ของมูลค่าที่ดินสุทธิ

3) ต้นทุนค่าขนส่ง

สำหรับต้นทุนค่าขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิล จากการแบ่งชนิดของรถในการขนส่งดังรายละเอียดจากตาราง 3.6 สามารถแสดงรายละเอียดของการขนส่งในแต่ละส่วนได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1) ค่าขนส่งจากศูนย์เรียกคืนไปยังศูนย์รวบรวม

ผลการประมาณการต้นทุนค่าขนส่งซากคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้ พิจารณาชนิดของรถในการขนส่ง 3 รูปแบบคือ รถกระบะ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ โดยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลประกอบการคำนวณได้ดังรายละเอียดในตาราง 4.22

ตาราง 4.22 ข้อมูลประกอบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากศูนย์เรียกคืนไปยังศูนย์รวบรวม

ชนิดรถ	[1]ปริมาตรการบรรจุเพื่อการขนส่ง (ลูกบาศก์เมตร)	ชนิดของซาก	[2]ปริมาตรของซากชิ้นส่วน (ลูกบาศก์เมตร)	จำนวนชิ้นที่บรรจุได้ตามปริมาตรจริง	[3]จำนวนชิ้นที่ขนส่งได้จริงต่อเที่ยว
รถกระบะ	6.16 *[1.60x2.20x1.75]*	แบบตั้งโต๊ะ	0.05503	111.94	78
		แบบพกพา	0.00264	2,333.33	1,633
รถบรรทุก 6 ล้อ	25.87 *[2.24x5.50x2.10]*	แบบตั้งโต๊ะ	0.05503	470.11	329
		แบบพกพา	0.00264	9,799.24	6,859
รถบรรทุก 10 ล้อ	40.04 *[2.35x7.10x2.4]*	แบบตั้งโต๊ะ	0.05503	727.60	509
		แบบพกพา	0.00264	15,166.67	10,616

หมายเหตุ: [1] ขนาดภายในของรถสำหรับการบรรจุสินค้าเพื่อการขนส่งจากผู้ประกอบการตัวอย่าง

[2] แบบตั้งโต๊ะ คำนวณจากผลรวมของทุกชิ้นส่วน *(หน้าจอ ขนาด 0.1x0.4x0.44 ม.; เคส ขนาด 0.2x0.42x0.4 ม.; แป้นพิมพ์ขนาด 0.17x0.45x0.05 ม.)* และ แบบพกพา คำนวณจาก (*ขนาด 0.22x0.3x0.04 ม.)*

[3] คิดจากร้อยละ 70 ของจำนวนชิ้นที่บรรจุได้ตามปริมาตรจริง เนื่องจากเกิดช่องว่างในการจัดวางชิ้นส่วน

จากตาราง 4.22 สามารถประมาณการจำนวนการขนส่งชิ้นส่วนต่อเที่ยวของรถแต่ละชนิดออกมาได้ ดังเช่น รถกระบะ จากการคำนวณปริมาตรจริงพบว่า จำนวนชิ้นที่บรรจุได้ตามปริมาตรจริงเท่ากับ 111.94 เครื่อง (6.16/0.05503) ซึ่งเมื่อคิดเป็นจำนวนชิ้นที่ขนส่งได้จริงต่อเที่ยวเท่ากับ 78 เครื่อง (111.94x0.70) เนื่องจากพิจารณาช่องว่างในการจัดวางชิ้นส่วนด้วย สำหรับการคำนวณค่าขนส่งจะพิจารณาออกมาเป็นต้นทุนต่อเที่ยวของการขนส่งของรถแต่ละชนิด โดยจะพิจารณาจากจำนวนเที่ยวร่วมกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันต่อระยะทาง ซึ่งในการคำนวณก็จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจังหวัดที่ต่างกันออกไปในการขนส่ง (พิจารณาราคาน้ำมันเท่ากับ 30 บาทต่อลิตร และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ยของรถกระบะและรถบรรทุกเท่ากับ 15 และ 4 กิโลเมตรต่อลิตร ตามลำดับ)

3.2) ค่าขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงาน

ผลการประมาณการต้นทุนค่าขนส่งซากคอมพิวเตอร์ในส่วนนี้ พิจารณาชนิดของรถในการขนส่ง 3 รูปแบบคือ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ และรถบรรทุก 18 ล้อ โดยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลประกอบการคำนวณได้ดังรายละเอียดในตาราง 4.23

ตาราง 4.23 ข้อมูลประกอบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิล

ชนิดรถ	[2]ปริมาตรการบรรจุเพื่อการขนส่ง (ลูกบาศก์เมตร)	ชนิดอุปกรณ์บรรจุที่ขนส่ง	[3]จำนวนอุปกรณ์บรรจุที่ขนส่งได้ (หน่วยต่อเที่ยว)
รถบรรทุก 6 ล้อ	25.87 *[2.24x5.50x2.10]*	พาเลทไม้ (ขนาด 1x1.2 ม.)	8
		ลังพลาสติกขนาดใหญ่ (ขนาด 0.71x1.11x0.66 ม.)	42
รถบรรทุก 10 ล้อ	40.04 *[2.35x7.10x2.4]*	พาเลทไม้ (ขนาด 1x1.2 ม.)	12
		ลังพลาสติกขนาดใหญ่ (ขนาด 0.71x1.11x0.66 ม.)	60
[1]รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ	77.02 *[2.44x12.19x2.59]*	พาเลทไม้ (ขนาด 1x1.2 ม.)	24
		ลังพลาสติกขนาดใหญ่ (ขนาด 0.71x1.11x0.66 ม.)	102

หมายเหตุ: [1] พิจารณาการบรรทุกด้วยตู้คอนเทนเนอร์มาตรฐาน 40 ฟุต (ขนาด 8x40x8.5 ฟุต)

[2] ขนาดภายในของรถสำหรับการบรรจุสินค้าเพื่อการขนส่งจากผู้ประกอบการตัวอย่าง

[3] คำนวณจากการจัดวางอุปกรณ์บรรจุซากคอมพิวเตอร์ (พาเลทไม้ และลังพลาสติกขนาดใหญ่) บนรถแต่ละชนิด

จากตาราง 4.23 นั้นสามารถประมาณการจำนวนอุปกรณ์บรรจุซากคอมพิวเตอร์ที่ขนส่งได้ต่อเที่ยวของรถแต่ละชนิดออกมาได้ ดังเช่น รถบรรทุก 6 ล้อ ซึ่งมีปริมาตรการบรรจุเพื่อการขนส่ง 25.87 ลูกบาศก์เมตร สามารถบรรจุพาเลทไม้ได้จำนวน 8 พาเลทต่อเที่ยว และหากเป็นลังพลาสติกขนาดใหญ่จะบรรจุได้ 42 ลังต่อเที่ยว ซึ่งพิจารณาจากการจัดวางอุปกรณ์จัดเก็บดังกล่าวบนรถแต่ละชนิด สำหรับการคำนวณค่าขนส่งจะพิจารณาออกมาเป็นต้นทุนต่อเที่ยวของการขนส่งของรถแต่ละชนิด โดยจะพิจารณาจากจำนวนเที่ยวร่วมกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่อระยะทางและราคาน้ำมันเช่นกัน ซึ่งในการคำนวณก็จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจังหวัดที่ต่างกันออกไปในการขนส่ง

3.3) ค่าขนส่งจากโรงงานรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุ

ผลการประมาณการต้นทุนค่าขนส่งวัสดุรีไซเคิลในส่วนนี้ พิจารณาชนิดของรถในการขนส่ง 3 รูปแบบคือ รถกระบะ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ โดยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลประกอบการคำนวณได้ดังรายละเอียดในตาราง 4.24

ตาราง 4.24 ข้อมูลประกอบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งจากโรงงานรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุ

ชนิดรถ	[1]ปริมาตรการบรรจุเพื่อการขนส่ง (ลูกบาศก์เมตร)	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	[2]ประมาณการน้ำหนักวัสดุรีไซเคิลที่บรรทุกต่อเที่ยว (ตัน)
รถกระบะ	6.16 *[1.60x2.20x1.75]*	1.5	1.05
รถบรรทุก 6 ล้อ	25.87 *[2.24x5.50x2.10]*	4.4	3.08
รถบรรทุก 10 ล้อ	40.04 *[2.35x7.10x2.4]*	11.5	8.05

หมายเหตุ: [1] ขนาดภายในของรถสำหรับการบรรจุสินค้าเพื่อการขนส่งจากผู้ประกอบการตัวอย่าง
[2] คาดการณ์จากร้อยละ 70 ของหนักบรรทุกจริง (เนื่องจากวัสดุรีไซเคิลมีขนาดที่หลากหลาย จึงใช้น้ำหนักแทนการพิจารณาขนาดของวัสดุและบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ)

จากตาราง 4.24 นั้นสามารถประมาณการน้ำหนักในการขนส่งวัสดุรีไซเคิลรวมทุกชิ้นส่วนออกมาสำหรับรถแต่ละชนิด ดังเช่น รถกระบะ พบว่า สามารถขนส่งสินค้าได้เท่ากับ 1.5 ตัน เมื่อพิจารณาการประมาณการน้ำหนักวัสดุรีไซเคิลที่บรรทุกต่อเที่ยว ซึ่งคาดการณ์จากร้อยละ 70 ของหนักบรรทุกจริงเท่ากับ 1.05 ตัน (1.5x0.70) หรือ 1,050 กิโลกรัม สำหรับการคำนวณค่าขนส่งจะพิจารณาออกมาเป็นต้นทุนต่อเที่ยวของการขนส่งของรถแต่ละชนิด โดยจะพิจารณาจากจำนวนเที่ยวร่วมกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่อระยะทาง และราคาน้ำมัน ซึ่งในการคำนวณก็จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจังหวัดที่ต่างกันออกไปในการขนส่งเช่นเดียวกับการขนส่งในสองส่วนแรก

4.4 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม

สำหรับผลลัพธ์จากวิธีการเชิงพันธุกรรมตามรายละเอียดของวิธีการในบทที่ 3 ซึ่งทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมภายใต้ต้นทุนรวมที่พิจารณาที่ต่ำที่สุด โดยอาศัยการสร้างโปรแกรมเพื่อการประมวลผลหาคำตอบ ด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 (visual c#) และใช้โปรแกรม Microsoft Access 2007 ในการสร้างฐานข้อมูล ซึ่งการประมวลผลดังกล่าวจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลบนระบบปฏิบัติการวินโดวน์ ด้วยความเร็วหน่วยประมวลผล 2.3 GHz สำหรับผลลัพธ์จากการวิเคราะห์นั้นจะประกอบด้วยที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดจากการพิจารณาการค้นหาคำตอบของต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยผลลัพธ์ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด 76 จังหวัดของประเทศไทย ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างข้อมูลตัวอย่างจำนวน 10 จังหวัด สำหรับการทวนสอบความถูกต้องของโปรแกรม และเมื่อนำผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมมาทวนสอบความต้องถูกต้องกับการคำนวณโดยผู้วิจัยแล้ว พบว่าให้ผลลัพธ์ของคำตอบที่ถูกต้องตรงกัน ก่อนทำการประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงทั้ง 76 จังหวัดเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

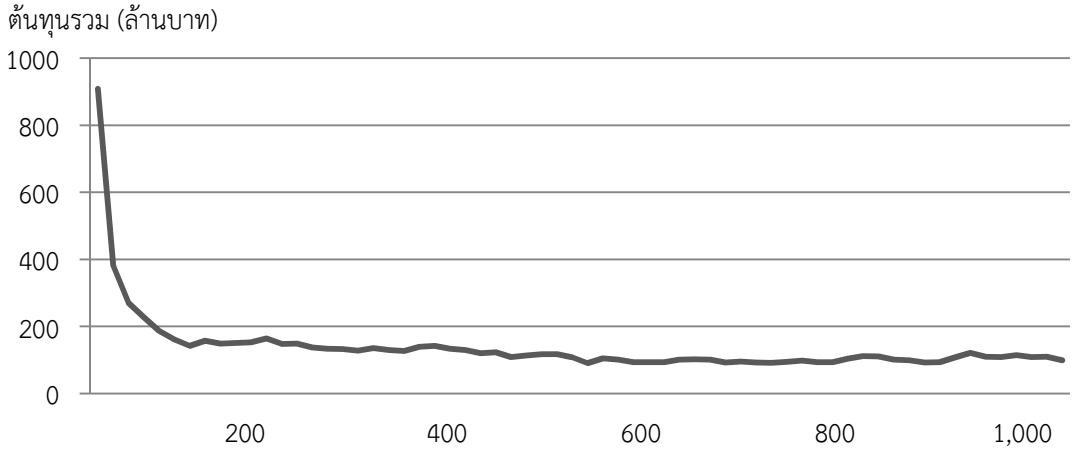
4.4.1 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมของงานวิจัยนี้ ได้กำหนดให้มีจำนวนประชากรเริ่มต้นสำหรับการประมวลผลเท่ากับ 40 โครโมโซม และทดลองหาคำตอบที่ก่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยกำหนดจำนวนรุ่นเท่ากับ 1,000 10,000 และ 100,000 ตามลำดับ เพื่อใช้ในการยืนยันถึงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังรายละเอียดในตาราง 4.25 โดยได้กำหนดให้มีค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ เท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ ซึ่งค่านี้ถูกนำมาใช้ในหลายงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาด้านโลจิสติกส์ และพบว่ามีความเหมาะสมกับขนาดและลักษณะของปัญหาในงานวิจัยนี้เช่นกัน

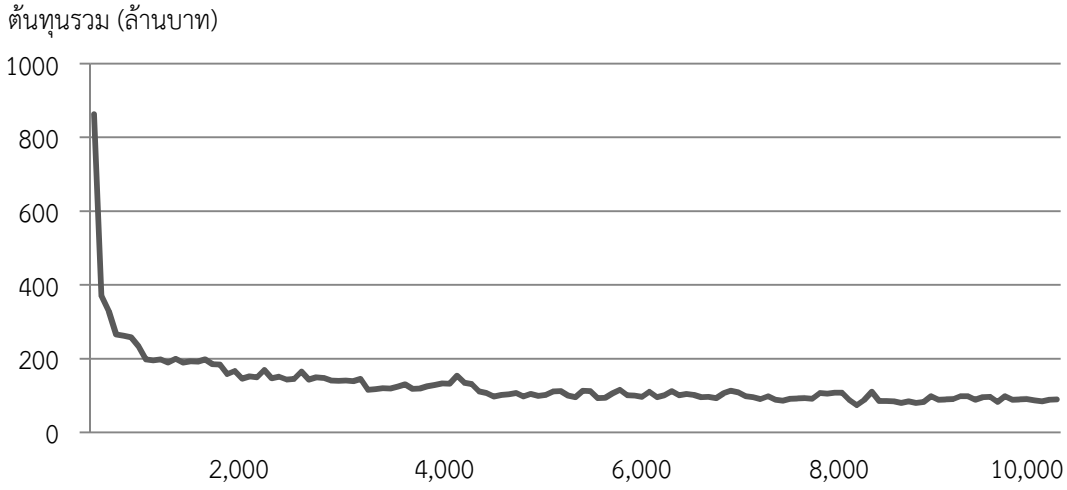
ตาราง 4.25 ผลลัพธ์การค้นหาคำตอบของปัญหาในแต่ละเงื่อนไข

จำนวนรุ่นเท่ากับ 1,000	จำนวนรุ่นเท่ากับ 10,000	จำนวนรุ่นเท่ากับ 100,000
ต้นทุนต่ำที่สุด: 91,838,313 บาทต่อปี	ต้นทุนต่ำที่สุด: 86,607,973 บาทต่อปี	ต้นทุนต่ำที่สุด: 70,440,577 บาทต่อปี
จำนวนศูนย์รวบรวม: 6 ได้แก่ จังหวัดนครนายก สมุทรสาคร สระบุรี สิงห์บุรี พระนครศรีอยุธยา และอ่างทอง	จำนวนศูนย์รวบรวม: 5 ได้แก่ จังหวัดปทุมธานี สมุทรสงคราม สระบุรี สิงห์บุรี และพระนครศรีอยุธยา	จำนวนศูนย์รวบรวม: 5 ได้แก่ จังหวัดลพบุรี สมุทรปราการ สระบุรี สิงห์บุรี และสุพรรณบุรี
จำนวนโรงงานรีไซเคิล: 1 ได้แก่ จังหวัดสระบุรี	จำนวนโรงงานรีไซเคิล: 1 ได้แก่ จังหวัดสระบุรี	จำนวนโรงงานรีไซเคิล: 1 ได้แก่ จังหวัดสระบุรี

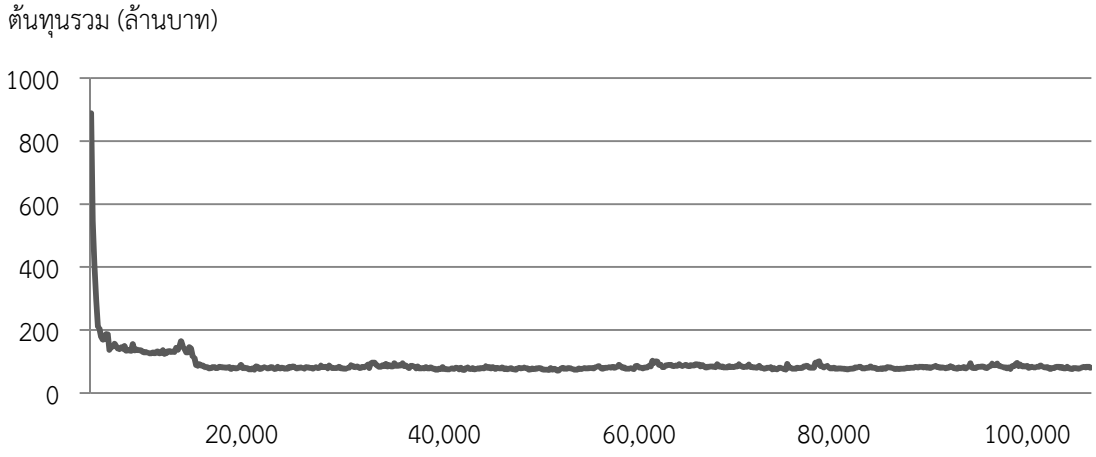
ผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆข้างต้นในตาราง 4.25 นั้นแสดงให้เห็นว่า ปัญหาของงานวิจัยนี้จะต้องใช้จำนวนรุ่นในการประมวลผลที่สูงในการค้นหาคำตอบ จึงจะค้นพบคำตอบที่ก่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงกราฟผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบที่กำหนดจำนวนรุ่นสามขนาดข้างต้น โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนที่เกิดขึ้นในระบบกับจำนวนรุ่นที่ทำการประมวลผล ดังแสดงในภาพประกอบ 4.13-4.15 ซึ่งจะเห็นได้ว่า วิธีการเชิงพันธุกรรมที่เลือกมาใช้ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของตำแหน่งที่ตั้งภายใต้ระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับนั้นสามารถค้นหาคำตอบได้ ซึ่งผลของคำตอบที่ได้นี้เกิดจากกระบวนการค้นหาคำตอบตามรูปแบบของโครโมโซมแทนคำตอบที่ผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นมา โดยจากกราฟจะพบว่าในแต่ละรูปนั้นมีต้นทุนลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนรุ่นในการค้นหาคำตอบเพิ่มมากขึ้น โดยจะเริ่มคงที่ในรุ่นหลังๆของการค้นหา ซึ่งในกรณีนี้พบว่าการทดลองประมวลผลในช่วงของจำนวนรุ่นมากกว่า 10,000 ขึ้นไปจนถึง 100,000 รุ่น มีต้นทุนที่พิจารณาที่ต่ำที่สุดเกิดขึ้นเท่ากับ 70,440,577 บาทต่อปี (ตามรายละเอียดในตาราง 4.25 ข้างต้น)



ภาพประกอบ 4.13 กราฟแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ (กรณี 1,000 รุ่น)



ภาพประกอบ 4.14 กราฟแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ (กรณี 10,000 รุ่น)



ภาพประกอบ 4.15 กราฟแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ (กรณี 100,000 รุ่น)

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลลัพธ์ของตำแหน่งที่ตั้งลงในแผนที่ดังภาพประกอบ 4.16 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตั้งที่เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดตามเงื่อนไขของการประมวลผล โดยได้แสดงตำแหน่งของศูนย์รวบรวม โรงงานรีไซเคิล และตลาดวัสดุ ตามแต่ละจังหวัดที่เป็นศูนย์เรียกคืน เพื่อแสดงให้เห็นตำแหน่งที่ตั้งที่วิเคราะห์ออกมาได้ โดยจากภาพประกอบ 4.16 จะเห็นได้ว่า ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะมีตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลอยู่ในภาคกลาง โดยที่ตำแหน่งของศูนย์รวบรวมไม่ได้กระจายออกไปยังภาคอื่น อันเนื่องมาจากเหตุผลสำคัญดังต่อไปนี้

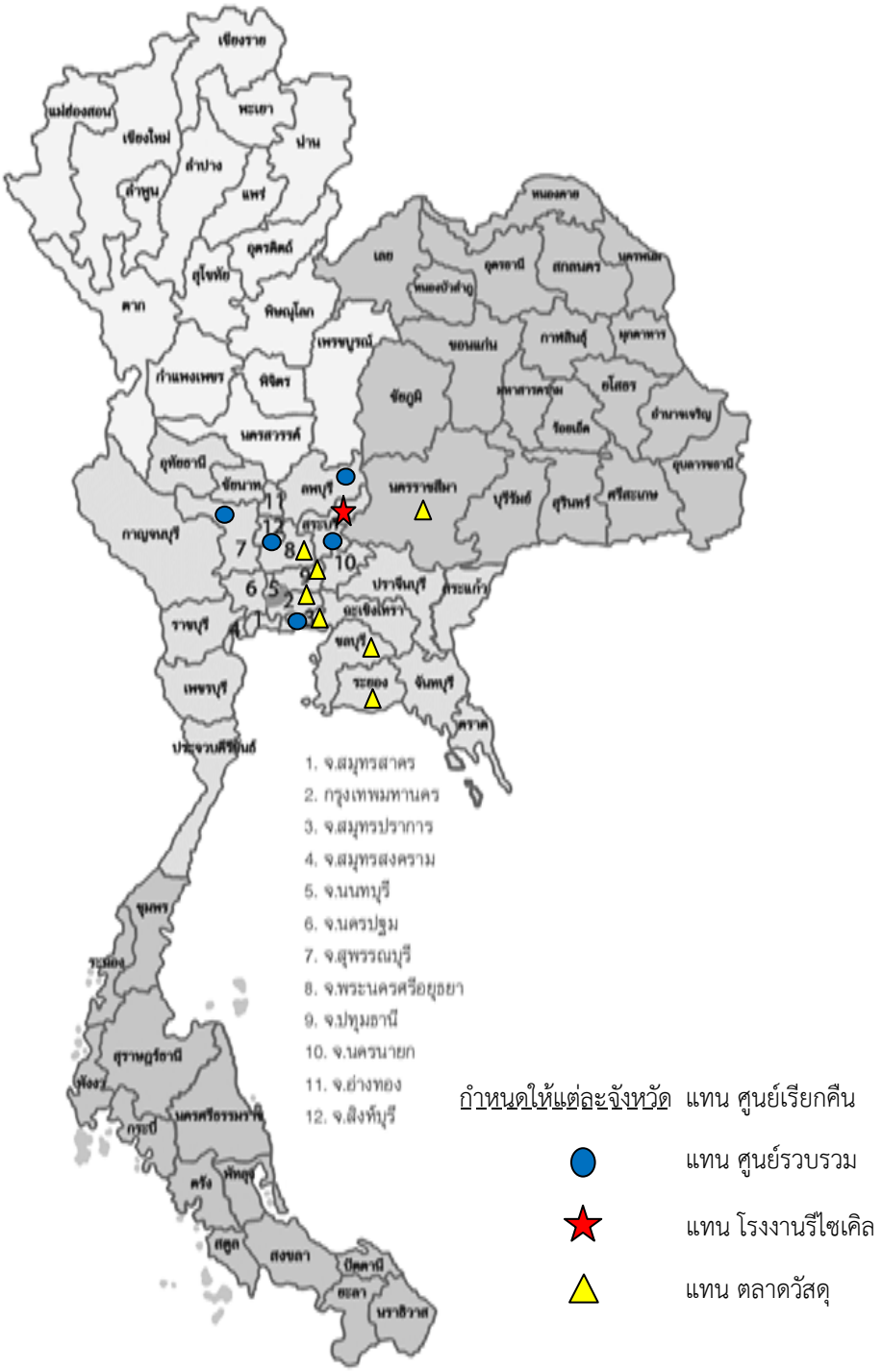
1) ต้นทุนค่าขนส่งขาออกจากศูนย์รวบรวมมีค่าสูงกว่าขาเข้า

สำหรับต้นทุนค่าขนส่งขาเข้านั้น เกิดจากการขนย้ายซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์เรียกคืนแต่ละจังหวัดเข้ามารวมกันที่ศูนย์รวบรวม ภายใต้สมมติฐานของงานวิจัยที่ซากคอมพิวเตอร์จากแต่ละจังหวัดจะไม่มีการจัดการใดๆกับซากคอมพิวเตอร์ก่อนถึงศูนย์รวบรวม และการคำนวณค่าขนส่งก็จะพิจารณาปริมาตรของคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดร่วมกับความสามารถในการบรรทุกได้ของรถเป็นเกณฑ์ (ตามรายละเอียดตาราง 4.22) ส่วนการขนส่งขาออก เป็นการขนส่งซากคอมพิวเตอร์จากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิล ซึ่งมีการคัดแยกประเภทชิ้นส่วน และจัดเก็บลงภาชนะบรรจุ คือ พาเลทไม้ และลังพลาสติกขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการที่เป็นระบบ ป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษตลอดจนการดำเนินการเพื่อการจัดเก็บที่เป็นมาตรฐานก่อนนำไปรีไซเคิลและบำบัดสารพิษที่โรงงานต่อไป ด้วยลักษณะของการจัดเก็บรูปแบบนี้จึงทำให้การขนส่งขาออกเกิดต้นทุนที่สูง เนื่องจากการขนส่งจะต้องสูญเสียพื้นที่การบรรทุกให้กับอุปกรณ์จัดเก็บ (รายละเอียดการคำนวณดังตาราง 4.23) กล่าวคือ ทำให้การขนส่งต่อเที่ยวได้จำนวนหน่วยของซากคอมพิวเตอร์น้อยลง ส่งผลต่อจำนวนเที่ยวของการขนส่งเพิ่มขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ตำแหน่งของศูนย์รวบรวมไม่ห่างจากโรงงานรีไซเคิลมากนักเพื่อลดต้นทุนของการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ที่ถูกรวบรวมไว้ในปริมาณมากนั่นเอง

2) ความสมดุลของระบบที่เกี่ยวข้องกับตลาดวัสดุ

ในส่วนนี้ ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลที่ถูกเลือกก็จะต้องพยายามเข้าใกล้หรือสร้างความสมดุลกับแหล่งของตลาดวัสดุที่ได้จากการสำรวจด้วยแบบสอบถาม ซึ่งแหล่งของตลาดวัสดุแต่ละแห่งก็จะถูกกำหนดไว้เป็นตำแหน่งที่คงที่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมจะเป็นตำแหน่งที่ก่อให้เกิดความสมดุลทั้งขาเข้าและขาออกเมื่อพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลเป็นเกณฑ์ นั่นคือ เป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสมภายใต้ความสมดุลของต้นทุนทั้งขาเข้า (การรวบรวมซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่โรงงานรีไซเคิล) และขาออก (การส่งวัสดุรีไซเคิลไปยังตลาดวัสดุ) โดยทั้งหมดนี้พิจารณาในภาพกว้างของระบบการจัดการของทั้งประเทศในขั้นต้น ตามขอบเขต เงื่อนไข และข้อจำกัดต่างๆ

จากประเด็นดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของผลลัพธ์ของงานวิจัย และนอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการใช้งานคอมพิวเตอร์ของจังหวัดในภาคกลางมีปริมาณที่สูงมากซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งของคำตอบด้านตำแหน่งที่ตั้ง ในขณะที่การกำหนดขนาดของศูนย์รวบรวมก็เป็นปัจจัยของตำแหน่งที่ตั้งที่เกิดขึ้นเช่นกัน และแม้ว่าศูนย์รวบรวมจะไม่ได้กระจายอยู่ในแต่ละภูมิภาค แต่อันที่จริงแล้วทุกจังหวัดก็ถูกกำหนดให้มีศูนย์เรียกคืน ซึ่งถือเป็นศูนย์สำหรับการรวบรวมซากคอมพิวเตอร์ในแต่ละจังหวัดอยู่แล้วตามสมมติฐานและการออกแบบระบบของงานวิจัยนี้ ซึ่งการวิเคราะห์อย่างละเอียดตลอดจนการพิจารณาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมก็สามารถนำมาปรับปรุงได้ในอนาคตต่อไป



ภาพประกอบ 4.16 ผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งในแผนที่

4.4.2 ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม

จากการประมวลผลและวิเคราะห์ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.4.1 ข้างต้นนั้น คำตอบที่ก่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุดซึ่งให้ค่าต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับเท่ากับ 70,440,577 บาทต่อปี ภายใต้พารามิเตอร์คือ จำนวนประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 40 โครโมโซม จำนวนรุ่นเท่ากับ 100,000 ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงชุดของคำตอบหรือโครโมโซมที่ก่อให้เกิดคำตอบดังกล่าวได้ดังภาพประกอบ 4.17

62 3 2	65 3 2	50 3 2	58 3 2	62 3 2	50 3 2	62 3 2
58 3 2	58 3 2	63 3 2	62 3 2	50 3 2	63 3 2	63 3 2
58 3 2	63 3 2	58 3 2	58 3 2	58 3 2	62 3 2	62 3 2
63 3 2	62 3 2	62 3 2	63 3 2	50 3 2	50 3 2	50 3 2
50 3 2	50 3 2	63 3 2	63 3 2	50 3 2	62 3 2	50 3 2
50 3 2	63 3 2	62 3 2	50 3 2	50 3 2	50 3 2	63 3 2
63 3 2	62 3 2	62 3 2	50 3 2	50 3 2	63 3 2	62 3 2
50 3 2	50 3 2	63 3 2	62 3 2	62 3 2	62 3 2	62 3 2
63 3 2	58 3 2	63 3 2	50 3 2	50 3 2	62 3 2	63 3 2
50 3 2	65 3 2	50 3 2	50 3 2	63 3 2	50 3 2	63 3 2
50 3 2	62 3 2	63 3 2	50 3 2	63 3 2	50 3 2	63 3 2
62 3 2	50 3 2	63 3 2	50 3 2	50 3 2	62 3 2	63 3 2
50 3 2	62 3 2	62 3 2	63 3 2	62 3 2	63 3 2	63 3 2
62 3 2	50 3 2	63 3 2	62 3 2	50 3 2	62 3 2	58 3 2
62 3 2	63 3 2	62 3 2	58 3 2	63 3 2	63 3 2	50 3 2
62 3 2	62 3 2	50 3 2	63 3 2	62 3 2	44 3 2	58 3 2
62 3 2	62 3 2	63 3 2	62 3 2	63 3 2	63 3 2	63 3 2
62 3 2	63 3 2	58 3 2	50 3 2	63 3 2	62 3 2	62 3 2
50 3 2	62 3 2	62 3 2	63 3 2	62 3 2	63 3 2	50 3 2
62 3 2	62 3 2	63 3 2	50 3 2	62 3 2	62 3 2	63 3 2
62 3 2	62 3 2	58 3 2	63 3 2	63 3 2	62 3 2	7 3 2
62 3 2	50 3 2	50 3 2	29 1 3	56 3 3	43 2 1 1 3 1 2 1	33 2 3 3 3 3 1 2
51 1 2 2 2 1 1 1	10 1 2 3 1 1 3 3	27 2 2 3 2 2 1 3	23 3 3 3 3 3 1 1	5 2 2 3 3 3 3 1	39 2 2 3 3 1 3 3	35 1 1 2 2 1 3 2
49 2 2 1 2 1 2 2	34 1 3 1 2 3 1 2	3 3 2 2 1 3 3 3	31 1 2 2 2 1 3 1	68 2 3 1 1 2 2 1	14 2 3 1 1 1 1 1	41 2 2 3 3 3 2 3
70 1 1 1 2 1 1 2	20 3 3 3 1 2 1 1	24 2 3 2 2 3 1 2	26 2 2 3 3 1 2 2	11 1 1 1 1 3 1 3	15 2 1 1 3 1 1 1	71 1 2 1 1 1 1 2
29 1 1 1 2 1 3 2	1 3 2 1 1 2 1 3	54 1 1 3 3 2 2 1	36 2 2 1 2 3 3 1	17 3 2 1 2 1 3 1	47 2 3 1 1 1 3 1	56 1 3 2 1 2 3 1
37 2 1 2 2 2 3 1	42 3 3 2 1 1 3 1	60 2 3 2 3 3 3 1	9 1 3 1 1 2 1 2	40 1 1 3 3 2 3 2	48 3 2 1 2 2 3 3	57 2 3 2 3 1 1 3
59 1 3 3 3 1 1 2	61 2 2 2 3 3 1 1	4 1 3 1 3 3 2 2	44 3 1 2 2 3 2 1	25 1 3 2 2 3 3 1	72 1 3 1 3 2 2 3	76 3 1 2 3 3 2 3
62 3 3 1 2 2 2 2	58 3 2 2 2 1 2 1	50 3 3 3 3 2 3 1	32 3 2 1 3 1 3 2	6 3 3 1 2 2 1 2	55 1 3 3 2 2 2 2	21 1 3 1 2 1 1 1
73 1 2 1 3 1 3 1	46 2 3 2 2 2 2 3	38 1 3 2 2 2 2 1	53 1 3 1 2 3 2 1	8 1 1 1 3 2 1 1	18 3 2 1 3 3 1 1	22 2 1 2 3 1 3 2
2 3 1 3 2 2 1 1	75 1 1 2 2 2 1 3	67 1 2 1 2 3 1 3	66 1 3 2 1 3 2 3	16 1 1 3 1 2 3 3	52 3 2 3 2 1 2 3	30 2 3 1 3 2 2 3
63 2 1 1 2 2 2 2	19 1 3 2 1 2 3 3	64 1 3 2 3 1 2 1	74 1 2 3 1 3 1 3	28 2 1 2 2 3 3 1	65 2 3 1 3 3 2 2	69 1 1 2 1 1 3 3
12 1 2 2 1 3 1 1	45 1 3 3 2 2 2 3	7 2 3 1 1 3 3 3	13 3 3 2 3 1 2 2			

Segment 1

Segment 2

Segment 3

ภาพประกอบ 4.17 โครโมโซมแทนคำตอบที่เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดตามเงื่อนไขการประมวลผล

เมื่อทำการถอดรหัสของโครโมโซมในภาพประกอบ 4.17 ข้างต้นให้อยู่ในรูปของระบบโครงข่าย (เช่นเดียวกับภาพประกอบ 3.11) ก็จะทำให้ทราบว่ามีศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลเกิดขึ้นหรือถูกเปิดที่จังหวัดใดบ้าง ซึ่งสามารถนำเสนอผลลัพธ์ของคำตอบสำหรับตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิลได้ดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 ผลลัพธ์ของตำแหน่งที่ตั้งศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล

ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวม	ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิล
จังหวัดลพบุรี [B] จังหวัดสมุทรปราการ [B] จังหวัดสระบุรี [B] จังหวัดสิงห์บุรี [A] จังหวัดสุพรรณบุรี [B]	จังหวัดสระบุรี [B]

หมายเหตุ: [A], [B] แทน ขนาดของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล ตามข้อมูลปริมาณการรองรับของศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล ดังตาราง 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

จากตาราง 4.26 จะเห็นได้ว่า ภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดที่คำนวณหาได้จากวิธีการเชิงพันธุกรรมจะต้องจัดตั้งศูนย์รวบรวมทั้งสิ้นจำนวน 5 ศูนย์รวบรวม และ โรงงานรีไซเคิลจำนวน 1 โรงงาน นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ได้ในส่วนนี้สามารถแสดงผลได้ดังรายละเอียดในภาคผนวก ง ซึ่งแสดงเส้นทางของการขนส่งซากคอมพิวเตอร์ผ่านจังหวัดต่างๆเพื่อรวบรวมไปรีไซเคิลก่อนส่งวัสดุที่ได้ไปขายยังตลาดวัสดุ ดังนั้นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลนั้นพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมคือ จังหวัดสระบุรี ซึ่งถือได้ว่าเป็นจังหวัดที่มีความเหมาะสมในการจัดตั้งเป็นโรงงานต้นแบบสำหรับการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ที่อาจจะถูกจัดตั้งในอนาคตต่อไป โดยข้อมูลในเบื้องต้นนั้น จังหวัดสระบุรี ตั้งอยู่ในภาคกลางของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพมหานคร ประมาณเส้นรุ้งที่ 14 องศา 31 ลิปดา 43.59439 ฟิลิปดาเหนือ กับเส้นแวงที่ 100 องศา 54 ลิปดา 35.58478 ฟิลิปดาตะวันออก อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1 (ถนนพหลโยธิน) ระยะทางประมาณ 108 กิโลเมตร (อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ-ศาลากลางจังหวัด) และตามทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ระยะทางประมาณ 113 กิโลเมตร และตามแม่น้ำเจ้าพระยาแยกเข้าแม่น้ำป่าสักประมาณ 165 กิโลเมตร จังหวัดสระบุรีมีเนื้อที่ทั้งหมด 3,576.486 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 2,235,304 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.70 ของพื้นที่ประเทศ โดยจังหวัดสระบุรีนั้นมีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ประมาณ 1,699 โรง (สถิติโรงงานอุตสาหกรรม, ข้อมูล ณ วันที่ 29 มีนาคม 2556) และหากจะมีการจัดตั้งโรงงานขึ้นในอนาคตข้างหน้านั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องศึกษาเพิ่มเติมนั้นคือการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ เพื่อสนับสนุนข้อมูลให้กับองค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสำหรับนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ต่อไป

4.5 ผลการวิเคราะห์ความไว

สำหรับผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความไวในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในด้านตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลที่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปัจจัยที่กำหนด โดยได้กำหนดปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์ความไวดังต่อไปนี้

1) ปัจจัยด้านปริมาณซากคอมพิวเตอร์
2) ปัจจัยด้านต้นทุนในระบบ
3) ปัจจัยด้านความต้องการวัสดุรีไซเคิล

ผลจากการวิเคราะห์ความไวจากทั้งสามปัจจัยข้างต้น เมื่อมีระดับของแต่ละปัจจัยเพิ่มขึ้นและลดลงเท่ากับร้อยละ 10 15 และ 20 สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ถึงตำแหน่งของโรงงานรีไซเคิลที่เปลี่ยนแปลงและไม่เลี่ยนแปลงได้ดังตาราง 4.27 โดยผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลเปลี่ยนแปลงไป คือ เมื่อปริมาณซากคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และต้นทุนรวมของระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 20

ตาราง 4.27 ผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้า

ผลการวิเคราะห์ความไวด้านปริมาณซากคอมพิวเตอร์						
-20%	-15%	-10%	0	+10%	+15%	+20%
NC	NC	NC		NC	NC	C
ผลการวิเคราะห์ความไวด้านต้นทุนรวมของระบบ						
-20%	-15%	-10%	0	+10%	+15%	+20%
NC	NC	NC		NC	NC	C
ผลการวิเคราะห์ความไวด้านความต้องการวัสดุรีไซเคิล						
-20%	-15%	-10%	0	+10%	+15%	+20%
NC	NC	NC		NC	NC	NC

หมายเหตุ: กำหนดให้ C แทน ตำแหน่งของโรงงานรีไซเคิลเปลี่ยน/ NC แทน ตำแหน่งของโรงงานรีไซเคิลไม่เปลี่ยน

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ความไวเพิ่มเติม ในส่วนของค่าขนส่งซึ่งเป็นต้นทุนหลักที่ส่งผลต่อตำแหน่งที่ตั้งที่เปลี่ยนไปมากที่สุด พบว่าเมื่อปัจจัยอื่นคงที่ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลจะเปลี่ยนไปเมื่อต้นทุนค่าขนส่งเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไปเช่นเดียวกับตอนพิจารณาต้นทุนรวม แต่ในระดับความไวอื่นตำแหน่งที่ตั้งโรงงานรีไซเคิลไม่เปลี่ยนแปลง โดยจะเปลี่ยนแปลงเฉพาะตำแหน่งของศูนย์รวบรวมเท่านั้น ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ด้านตำแหน่งที่ตั้งที่วิเคราะห์ได้โดยตั้งอยู่ในภาคกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากต้นทุนขาออกจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิลที่มีค่าสูงกว่าต้นทุนขาเข้านั้น เมื่อทำการวิเคราะห์ความไวด้วยการลดต้นทุนค่าขนส่งเฉพาะส่วนนี้ที่ระดับลดลงร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ พบว่าคำตอบที่ได้จะทำให้ศูนย์รวบรวมกระจายออกจากภาคกลางไปสู่จังหวัดบริเวณรอยต่อระหว่างภูมิภาคอื่นมากขึ้นจากผลลัพธ์เดิม แต่ก็ยังไม่กระจายออกไปสู่ภูมิภาคต่างๆอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลสองประการหลักคือ ต้นทุนค่าขนส่งขาออกจากศูนย์รวบรวมมีค่าสูงกว่าขาเข้า และความสมดุลของระบบที่เกี่ยวข้องกับตลาดวัสดุ ตามรายละเอียดที่ได้วิเคราะห์ไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นนั้นได้มุ่งประเด็นไปที่ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลเป็นหลัก เพื่อนำเสนอตำแหน่งจัดตั้งของโรงงานต้นแบบ ส่วนตำแหน่งของศูนย์รวบรวมที่นำเสนอในตอนต้นนั้น ก็เป็นตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้ภายใต้ข้อมูลใน

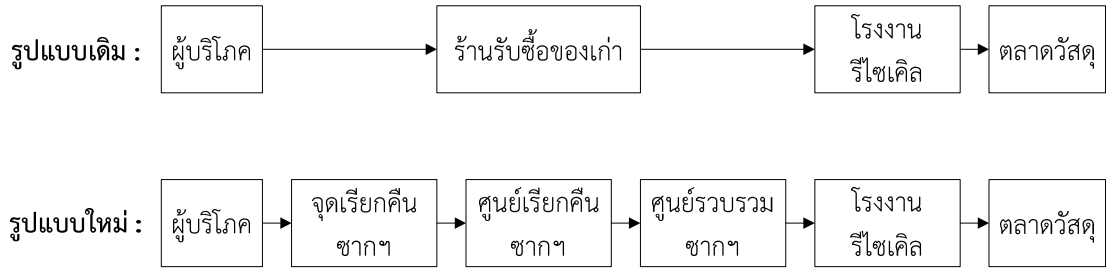
สภาวะปกติของต้นทุน ณ ปีที่พิจารณา ซึ่งจากการวิเคราะห์ความไวพบว่าตำแหน่งของศูนย์รวบรวมสามารถกระจายออกไปได้หากพิจารณาลดค่าขนส่งขาออกจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิลลง ทั้งนี้การวิเคราะห์ความไวโดยละเอียดนั้นก็จะขึ้นอยู่กับการกำหนดระดับของต้นทุนที่จะต้องสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่จะกำหนดเพื่อการวิเคราะห์ในเชิงลึกต่อไป

4.6 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์

สำหรับการเปรียบเทียบรูปแบบของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ จะนำเสนอออกมาใน 2 ส่วน คือ รูปแบบเดิม (รูปแบบการจัดการในปัจจุบัน) กับรูปแบบใหม่ (รูปแบบที่นำเสนอในอนาคต) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบและนำเสนอแนวทางที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์โดยรวมของประเทศไทยในอนาคตข้างหน้า

4.6.1 ความแตกต่างของระบบการจัดการ

สำหรับความแตกต่างในส่วนนี้ สามารถนำเสนอรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์เพื่อการเปรียบเทียบความแตกต่างได้ดังภาพประกอบ 4.18 โดยรูปแบบเดิมนั้นซากคอมพิวเตอร์จากผู้บริโภคบางส่วนจะส่งผ่านมายังร้านรับซื้อของเก่า ก่อนจะมีการคัดแยกหรือการแยกชิ้นส่วนเพื่อส่งไปรีไซเคิลรวมกับชิ้นส่วนจากซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นยังโรงงานรีไซเคิลที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน จากนั้นจึงส่งวัสดุที่รีไซเคิลได้ขายให้กับตลาดวัสดุเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนรูปแบบใหม่ที่นำเสนอนั้น จะมีกลไกในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์จากผู้บริโภคผ่านจุดเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ศูนย์เรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ และศูนย์รวบรวมซากคอมพิวเตอร์ ก่อนจะส่งไปรีไซเคิลกับโรงงานต้นแบบแล้วจึงนำวัสดุที่รีไซเคิลได้ขายให้กับตลาดวัสดุในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศเป็นหลักในเบื้องต้น ซึ่งรูปแบบใหม่ที่นำเสนอนี้ได้กล่าวและอธิบายไว้แล้วถึงรูปแบบและกลไกในการดำเนินงานในหัวข้อที่ 4.2.3



ภาพประกอบ 4.18 การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์

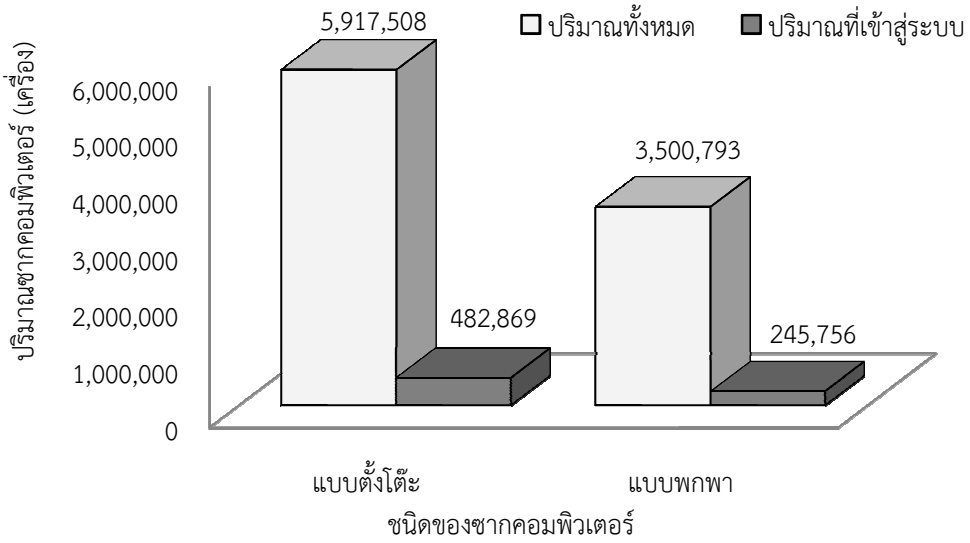
จากความแตกต่างดังกล่าวข้างต้นนั้น สามารถวิเคราะห์ข้อเด่น-ข้อด้อยของรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์แต่รูปละแบบได้ดังรายละเอียดในตาราง 4.28

ตาราง 4.28 การเปรียบเทียบข้อเด่น-ข้อด้อยของรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์

รูปแบบ	ข้อเด่น	ข้อด้อย
แบบเดิม *(รูปแบบการจัดการในปัจจุบัน)*	● เป็นรูปแบบที่ก่อให้เกิดต้นทุนในระบบการจัดการที่ต่ำ ● มีลักษณะที่ง่ายในการดำเนินกิจการของร้านรับซื้อของเก่า ● สามารถที่จะนำส่งชิ้นส่วนของซากคอมพิวเตอร์ไปทำการรีไซเคิลกับโรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน	● เกิดปัญหาด้านการจัดการซากของผู้บริโภค ● เกิดปัญหาด้านมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากการจัดการที่ไม่เหมาะสมของร้านรับซื้อของเก่า ● เกิดการสูญเสียวัสดุมีค่าในซากคอมพิวเตอร์ที่ไม่ถูกนำมารีไซเคิล ● การรีไซเคิลในปัจจุบันนั้นยังคงขาดประสิทธิภาพ ทำให้ได้วัสดุปริมาณน้อยและมูลค่าค่อนข้างต่ำ ● ขาดระบบในการเรียกคืนซากเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลอย่างเติมรูปแบบ
แบบใหม่ *(รูปแบบที่นำเสนอในอนาคต)*	● เป็นแนวทางแก้ปัญหาการทิ้งซากที่ไม่เหมาะสมของผู้บริโภค ● ช่วยลดปัญหาด้านมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจากการจัดการซาก ● มีการพิจารณาเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาในระบบ จึงช่วยลดการสูญเสียวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิลได้ ● มีประสิทธิภาพในการรีไซเคิลค่อนข้างสูงทำให้วัสดุที่ได้มีมูลค่าสูง ● เกิดระบบในการเรียกคืนซากเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล เพื่อให้ได้วัสดุมีค่าออกมาในปริมาณที่มาก ● เป็นการเชื่อมโยงระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเข้ากับระบบโลจิสติกส์ของการผลิตคอมพิวเตอร์ภายในประเทศ	● เกิดต้นทุนในระบบการจัดการที่ค่อนข้างสูง ● มีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นสำหรับการดำเนินกิจการในส่วนต่างๆ ของระบบที่ออกแบบขึ้น ● ต้องพิจารณาจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบใหม่ในระบบ ซึ่งเกิดต้นทุนที่สูงในการดำเนินการ

4.6.2 ปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ที่เข้าสู่ระบบ

สำหรับรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์แบบเดิมนั้น จะพบว่าในแต่ละปีเมื่อคอมพิวเตอร์หมดอายุการใช้งานจนกลายเป็นซากคอมพิวเตอร์แล้ว ซากคอมพิวเตอร์จากผู้บริโภคจะไหลเข้าสู่ร้านรับซื้อของเก่าเพียงแค่ประมาณร้อยละ 8.16 สำหรับซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (ชนิดจอ LCD) และร้อยละ 7.02 สำหรับซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา ของซากคอมพิวเตอร์ทั้งหมด ซึ่งในเบื้องต้นหากเราพิจารณาด้วยร้อยละของอัตราการไหลเข้าสู่ร้านรับซื้อของเก่าที่คงที่ จะพบว่าในอนาคตดังเช่นปี พ.ศ. 2558 จะมีปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่ผ่านเข้าสู่ร้านรับซื้อของเก่า ดังแสดงรายละเอียดตามภาพประกอบ 4.19 ซึ่งจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลวัสดุและนำวัสดุที่ได้กลับมาใช้ใหม่ภายใต้รูปแบบเดิมของการดำเนินงานในสภาวะปัจจุบัน

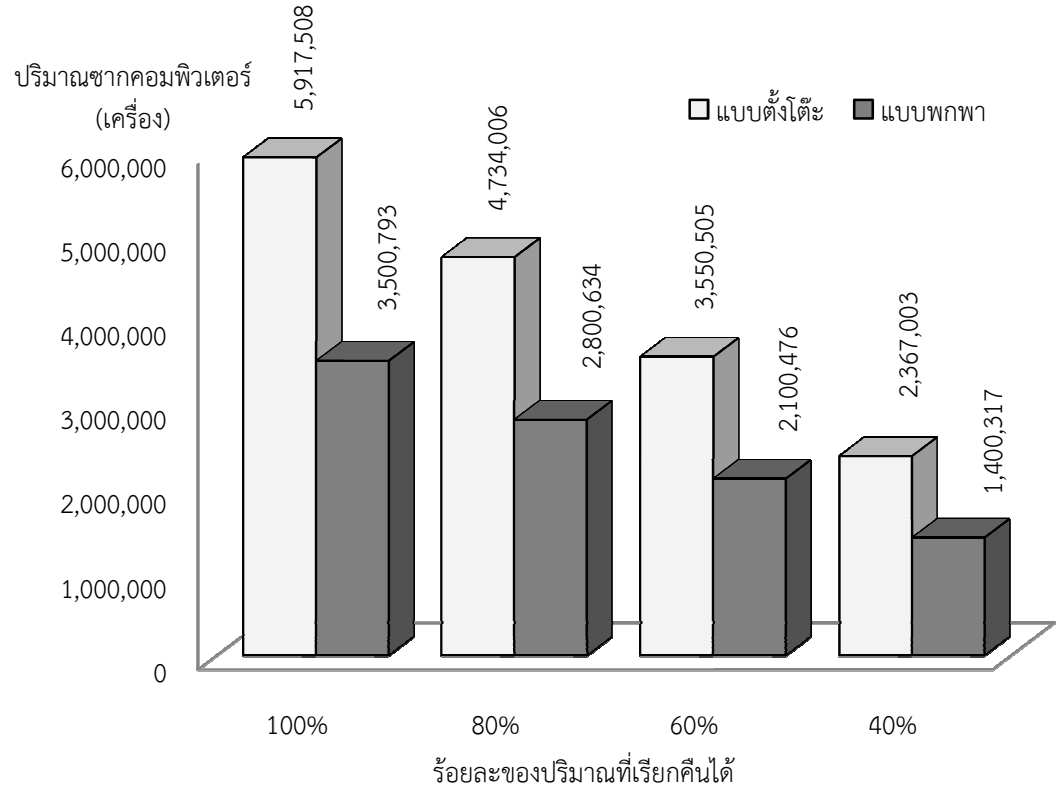


ภาพประกอบ 4.19 การคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ร้านรับซื้อของเก่ารูปแบบเดิม

จากภาพประกอบ 4.19 จะเห็นได้ว่า มีปริมาณซากคอมพิวเตอร์กลับเข้าสู่ระบบโดยรวมของซากคอมพิวเตอร์ทั้งสองชนิดเพียงแค่ 728,625 เครื่อง ในขณะที่ยังคงเหลือปริมาณซากคอมพิวเตอร์รวมอีกประมาณ 8,689,677 เครื่อง ที่ไม่ได้ผ่านเข้าสู่ร้านรับซื้อของเก่าเพื่อนำไปทำการคัดแยกและรีไซเคิลในลำดับถัดไป แต่ถึงอย่างไรก็ตามซากคอมพิวเตอร์ที่เข้าสู่กระบวนคัดแยกและการรีไซเคิลนั้น เมื่อผ่านระบบในรูปแบบเดิมนี้ก็ยังคงขาดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน และมีประสิทธิผลที่ต่ำในการรีไซเคิลให้ได้ปริมาณวัสดุออกมาให้ได้มากที่สุดและมีคุณภาพเทียบเท่าวัสดุใหม่

ส่วนรูปแบบใหม่ที่นำเสนอ ซึ่งมีระบบของการจัดการและกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์กลับจากผู้บริโภคนั้น คาดการณ์ว่าจะสามารถนำซากคอมพิวเตอร์กลับคืนมาได้มากกว่ารูปแบบเดิมที่ไม่ได้มีกลไกในการนำซากคอมพิวเตอร์กลับมาจัดการที่เป็นระบบ และที่สำคัญหากรูปแบบใหม่ถูกนำมาใช้ก็จะมีหน่วยงานสำคัญต่างๆที่สามารถควบคุมและกำกับดูแลการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์กลับเข้าสู่ระบบ อันได้แก่ จุดเรียกคืน ศูนย์เรียกคืน และศูนย์รวบรวม ซึ่งเป็นหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นเพื่อจัดการกับซากคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะ และจะให้ผลลัพธ์ของการดำเนินงานดีกว่ารูป

แบบเดิมที่ผ่านระบบร้านรับซื้อของเก่าที่พบว่ายังคงมีปัญหาในด้านของการจัดการที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นระบบใหม่นี้จึงถือได้ว่าเป็นระบบที่สามารถตรวจสอบปริมาณการเรียกคืน ติดตามและประเมินผล ตลอดจนสามารถเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ไปสู่กระบวนการรีไซเคิลเพื่อทำการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยได้ดีกว่าระบบเดิม โดยสามารถคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในอนาคตหากรูปแบบใหม่นี้ถูกนำไปปรับใช้ได้ดังรายละเอียดในภาพประกอบ 4.20 ซึ่งเป็นการคาดการณ์อัตราการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่ร้อยละ 100 80 60 และ 40 ตามลำดับ ดังข้อมูลตัวอย่างในปี พ.ศ. 2558 โดยได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณซากคอมพิวเตอร์โดยรวมทั้งประเทศที่สามารถเรียกคืนเข้าสู่ระบบได้ ทั้งนี้ความสามารถของการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์กลับเข้าสู่ระบบใหม่ที่ได้ก็จะเชื่อมโยงกับกลไกหรือกลยุทธ์ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่จะกำหนดในอนาคตต่อไปด้วย



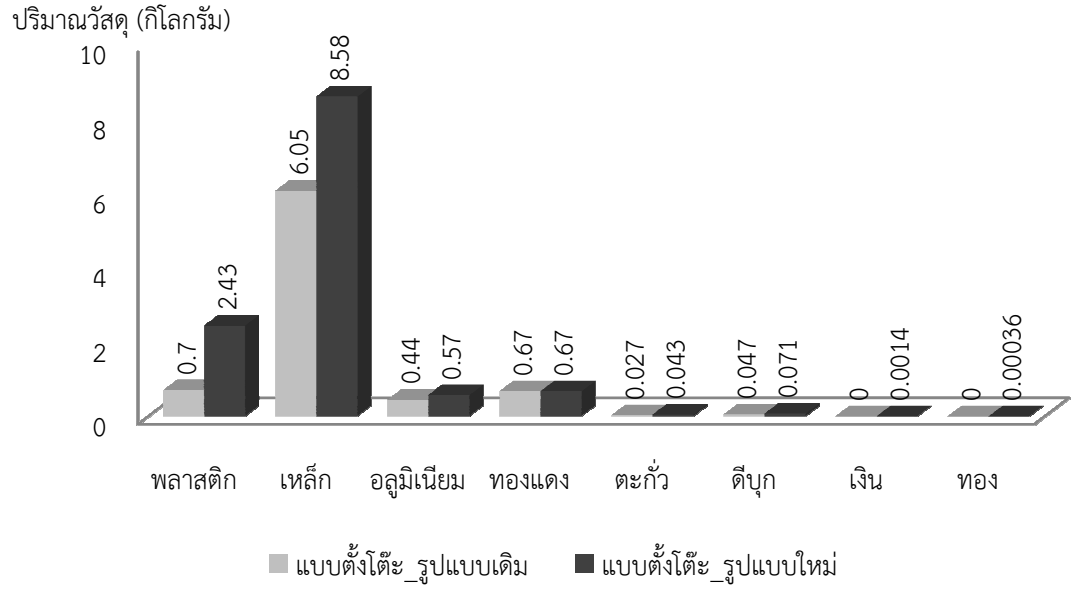
ภาพประกอบ 4.20 การคาดการณ์ปริมาณซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบใหม่ในแต่ละระดับของอัตราการเรียกคืน

4.6.3 ปริมาณวัสดุที่ได้จากการรีไซเคิล

หลังจากซากคอมพิวเตอร์ได้รับการรีไซเคิลแล้วจะได้รับวัสดุรีไซเคิลออกมาดังที่ได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในตาราง 4.7 (กรณีรูปแบบใหม่ที่นำเสนอ) สำหรับรูปแบบเดิมในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่นั้น ชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ที่ถูกนำไปรีไซเคิลยังไม่สามารถนำเอาวัสดุมีค่าหลัก ได้แก่ พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว ดีบุก เงิน และทอง กลับมาใช้หรือขายให้กับตลาดวัสดุ

รีไซเคิลได้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้เนื่องจากระดับเทคโนโลยีที่มีศักยภาพต่ำและมีกระบวนการของการรีไซเคิลที่ไม่เหมาะสม ทำให้นำเอาวัสดุจากการรีไซเคิลออกมาได้ในปริมาณที่ไม่สูงมากนัก โดยพบว่าหากใช้เทคโนโลยีมีศักยภาพต่ำและกระบวนการของการรีไซเคิลที่ไม่เหมาะสมมาใช้ จะสูญเสียวัสดุมีค่าได้แก่ ทองและเงิน ไปโดยเฉลี่ยประมาณ 0.00036 และ 0.0014 กิโลกรัมต่อเครื่อง ตามลำดับ นอกจากนี้การรีไซเคิลโดยส่วนใหญ่จะเป็นการรีไซเคิลที่ยังไม่ครบวงจร เพราะยังไม่นิยมนำเอาจอคอมพิวเตอร์มาทำการรีไซเคิล ซึ่งจอคอมพิวเตอร์จำนวนมากจะถูกกองทิ้งไว้และไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ ประกอบกับยังขาดระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม โดยองค์ประกอบของหน้าจอคอมพิวเตอร์แบบ LCD จำนวน 1 เครื่องจะประกอบไปด้วยวัสดุหลัก อันได้แก่ พลาสติก 1.78 กิโลกรัม เหล็ก 2.53 กิโลกรัม อลูมิเนียม 0.13 กิโลกรัม ตะกั่ว 0.016 กิโลกรัม และดีบุก 0.024 กิโลกรัม ซึ่งหากไม่นำหน้าจอคอมพิวเตอร์มารีไซเคิลแล้วก็จะสูญเสียวัสดุมีค่าดังกล่าวไป

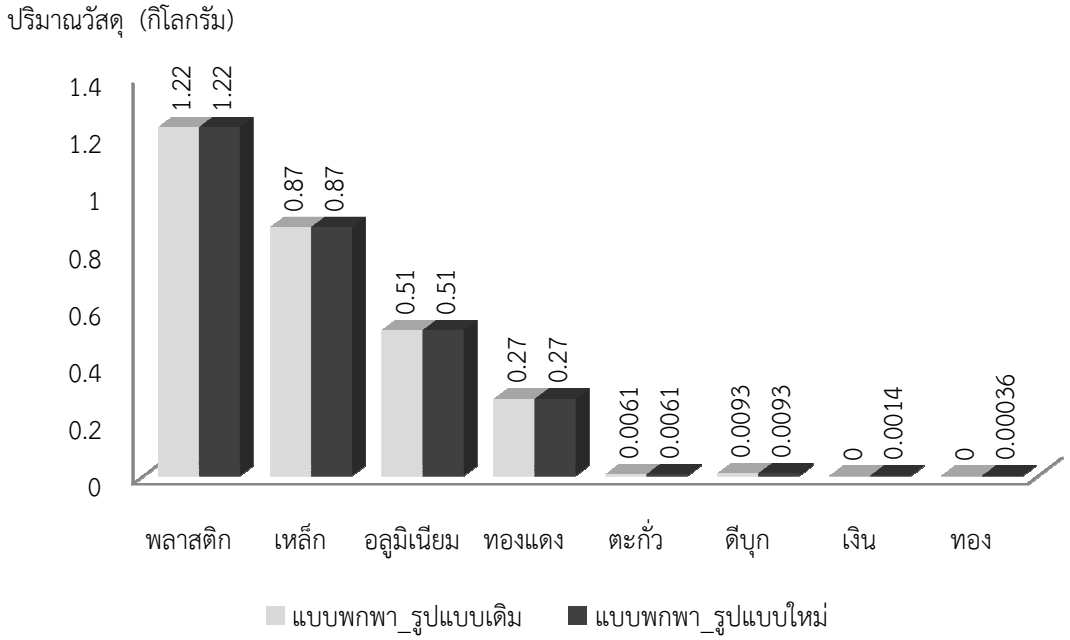
ส่วนรูปแบบใหม่ที่งานวิจัยนี้นำเสนอนั้นจะเป็นระบบที่มีการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อนำมาผ่านกระบวนการของการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูง จึงสามารถนำเอาวัสดุกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จำนวนมากด้วยการรีไซเคิลที่ครบวงจรและมีประสิทธิภาพ โดยมีการรีไซเคิลทุกชิ้นส่วนรวมถึงหน้าจอคอมพิวเตอร์ด้วย และที่สำคัญคือสามารถรีไซเคิลวัสดุที่มีมูลค่าสูงคือทองและเงินออกมาได้ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบปริมาณวัสดุที่เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลและเป็นวัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.21 และ 4.22 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการจัดการรูปแบบเดิมและรูปแบบใหม่



ภาพประกอบ 4.21 ปริมาณวัสดุเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหนึ่งเครื่อง)

จากภาพประกอบ 4.21 ซึ่งเป็นปริมาณวัสดุที่เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลของคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหนึ่งเครื่องและยังเป็นปริมาณตั้งต้นที่เข้าสู่กระบวนการ ซึ่งปริมาณวัสดุที่รีไซเคิลได้ออกมาจริงจากการรีไซเคิลนั้นจะต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลประสิทธิภาพในการรีไซเคิลวัสดุ

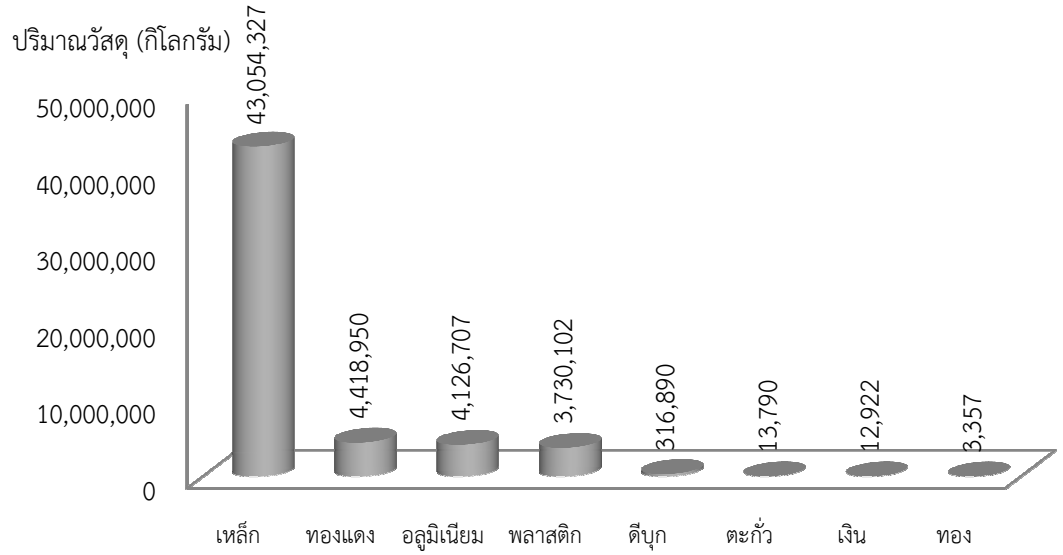
แต่ละชนิดอีกครั้ง โดยข้อมูลที่สำคัญในส่วนนี้แสดงให้เห็นว่า โดยรวมแล้วปริมาณวัสดุที่เข้าสู่รูปแบบการรีไซเคิลแบบเดิมจะต่ำกว่ารูปแบบใหม่ เนื่องจากรูปแบบเดิมสูญเสียวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของหน้าจอคอมพิวเตอร์ซึ่งไม่ถูกนำมารีไซเคิล และยังพบว่ารูปแบบเดิมโดยทั่วไปก็ยังไม่สามารถรีไซเคิลวัสดุที่เป็นเงินและทองออกมาได้เช่นกัน (จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณของเงินและทองของรูปแบบเดิมมีค่าเป็นศูนย์) จากรูปดังกล่าวจึงแสดงให้เห็นว่ารูปแบบใหม่ของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์เพื่อการรีไซเคิลเป็นแนวทางที่จะให้ผลผลิตของวัสดุรีไซเคิลที่สูงกว่ารูปแบบการจัดการแบบเดิม นอกจากนี้ในส่วนของซากคอมพิวเตอร์แบบพกพา ซึ่งแสดงรายละเอียดดังภาพประกอบ 4.22 จะเห็นได้ว่า มีปริมาณวัสดุที่เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลของคอมพิวเตอร์โดยส่วนใหญ่ที่เท่ากันทั้งสองรูปแบบ แต่วัสดุสำคัญดังเช่น เงินและทองของรูปแบบเดิมก็จะไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้เช่นเดียวกับซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณของเงินและทองของรูปแบบเดิมมีค่าเป็นศูนย์) อันเป็นผลมาจากระดับของเทคโนโลยีที่นำมาใช้ โดยปริมาณวัสดุที่ได้จริงจากการรีไซเคิลนั้นจะต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลประสิทธิภาพในการรีไซเคิลวัสดุแต่ละชนิดอีกครั้งเช่นกันกับซากคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ



ภาพประกอบ 4.22 ปริมาณวัสดุเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล (คอมพิวเตอร์แบบพกพาหนึ่งเครื่อง)

จากข้อมูลในภาพประกอบ 4.21 และ 4.22 จะเห็นได้ว่า รูปแบบใหม่ของการจัดการซากคอมพิวเตอร์จะมีปริมาณวัสดุโดยรวมที่เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์โดยรวมที่สูงกว่ารูปแบบเดิม ซึ่งงานวิจัยนี้ก็ได้ออกแบบระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์โดยมีกลไกในการขับเคลื่อนให้เกิดการคืนซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบ อีกทั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบที่มีประภาพสิทธิภาพสูงที่งานวิจัยนี้พิจารณาและมุ่งหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในประเทศไทย ซึ่งก็จะเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สนับสนุนและแสดงให้เห็นว่ารูปแบบใหม่ที่นำเสนอจะสามารถแก้ไขปัญหาในด้านต่างๆได้ ดังเช่น

ปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่จะเพิ่มสูงมากในอนาคต รูปแบบการจัดการที่ไม่เหมาะสมและผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนปริมาณที่วัสดุที่จะได้รับกลับมาสูงสุดจากกระบวนการรีไซเคิลที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำเสนอปริมาณของวัสดุที่คาดว่าจะได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบใหม่ดังตัวอย่างของปี พ.ศ. 2558 โดยพิจารณาจากปริมาณซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ปริมาณวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของซากคอมพิวเตอร์ และระดับของประสิทธิภาพในการรีไซเคิล โดยยกตัวอย่างกรณีอัตราในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์กลับเข้าสู่ระบบที่ร้อยละ 100 ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังภาพประกอบ 4.23 (ตามรายละเอียดที่แสดงไว้ดังตาราง 4.7) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากที่คาดว่าจะได้รับจากซากคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุการใช้งานผ่านรูปแบบการเรียกคืนและการรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม



ภาพประกอบ 4.23 การประมาณการปริมาณของวัสดุที่คาดว่าจะได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบใหม่

จากภาพประกอบ 4.23 จะเห็นได้ว่าภายใต้การพิจารณารูปแบบใหม่ของการจัดการซากคอมพิวเตอร์มาเป็นแนวทางเพื่อการแก้ไขปัญหานั้น จะทำให้สามารถนำเอาวัสดุปริมาณมากที่ได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ แทนที่จะทิ้งซากคอมพิวเตอร์ไปกับขยะทั่วไป การกองทิ้งไว้ตามอาคารบ้านเรือน หรือการรีไซเคิลที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ซึ่งสิ่งที่จะทำให้สามารถได้รับปริมาณวัสดุเหล่านี้ออกมาในปริมาณมากก็คือการวางระบบใหม่ในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และการพิจารณานำเอาเทคโนโลยีใหม่มาปรับใช้นั่นเอง

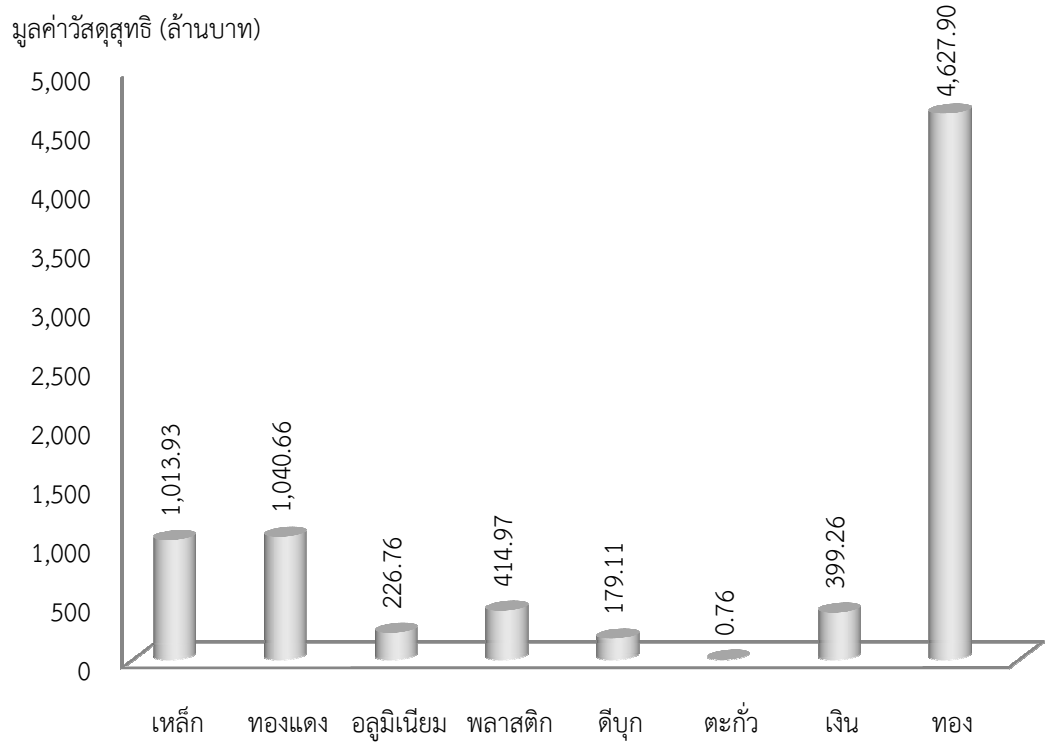
4.6.4 มูลค่าของวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิล

จากข้อมูลปริมาณของวัสดุที่คาดว่าจะได้รับจากกระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบใหม่สำหรับกรณีอัตราในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์กลับเข้าสู่ระบบที่ร้อยละ 100 ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุด

นั้น เมื่อเราพิจารณาในแง่ของมูลค่าของวัสดุแต่ละชนิดก็สามารถแสดงผลของมูลค่ารวมสุทธิจากวัสดุรีไซเคิลแต่ละชนิด โดยอาศัยข้อมูลราคาของวัตถุดิบ (raw material price) แต่ละชนิดดังรายละเอียดในตาราง 4.29 มาพิจารณาร่วมกับปริมาณ (น้ำหนัก) ของวัสดุที่รีไซเคิลออกมาได้ (ภาพประกอบ 4.23) ก็จะทำให้ทราบถึงมูลค่าที่สูงมากของวัสดุชนิดต่างๆที่อยู่ในซากคอมพิวเตอร์ดังภาพประกอบ 4.24

ตาราง 4.29 รายละเอียดมูลค่าของวัสดุแต่ละชนิด

ชนิดวัสดุ	มูลค่า (บาทต่อกิโลกรัม)	หมายเหตุ
เหล็ก [1]	23.55	- เป็นข้อมูลประมาณการราคาเฉลี่ยในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 - พิจารณาที่อัตราแลกเปลี่ยนเท่ากับ 31.4 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ - อ้างอิงและปรับจาก: [1] www.ttiinc.com [2] www.tpia.org [3] www.steelandsilver.com
ทองแดง [1]	235.50	
อลูมิเนียม [1]	54.95	
พลาสติก [2]	111.25	
ดีบุก [1]	565.20	
ตะกั่ว [1]	54.95	
เงิน [3]	30,897.60	
ทอง [3]	1,378,711.20	



ภาพประกอบ 4.24 มูลค่ารวมสุทธิของวัสดุรีไซเคิลแต่ละชนิดจากกระบวนการรีไซเคิลในรูปแบบใหม่

จากประเด็นของการเปรียบเทียบรูปแบบของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ใน 2 ส่วน คือ รูปแบบเดิม (รูปแบบการจัดการในปัจจุบัน) กับรูปแบบใหม่ (รูปแบบที่นำเสนอในอนาคต) ในประเด็นต่างๆข้างต้นนั้น สรุปได้ว่า แนวทางของรูปแบบใหม่นั้นจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาของซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ซึ่งเป็นประเด็นปัญหาตั้งต้นที่เป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ประกอบกับแนวทางของรูปแบบใหม่ที่นำเสนอนี้จะสามารถช่วยแก้ไขทั้งปัญหาที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขและปัญหาที่ใช้แนวทางอื่นๆแก้ไขไปแล้วแต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร ซึ่งข้อมูลที่วิเคราะห์และสรุปได้ในส่วนนี้ก็จะเป็นส่วนหนึ่งที่จะสามารถช่วยสนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์โดยรวมของประเทศไทยในอนาคตภายภาคหน้าต่อไป

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย เพื่อศึกษาแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านซากคอมพิวเตอร์ในอนาคต โดยได้ประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับในการออกแบบระบบโครงข่ายสำหรับการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ ตลอดจนการวิเคราะห์เพื่อค้นหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลซึ่งเป็นโรงงานต้นแบบรวมไปถึงตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวม ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรมมาวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมภายใต้ต้นทุนรวมที่พิจารณาที่ต่ำที่สุดในภาพรวมของทั้งประเทศ เพื่อนำเสนอรูปแบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์รูปแบบใหม่สำหรับปรับใช้ในอนาคตต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของระบบการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในส่วนของประเด็นปัญหาต่างๆ อันได้แก่ ปัญหาการจัดการของผู้บริโภค ปัญหาการจัดการของร้านรับซื้อของเก่า ปัญหาการดำเนินงานของผู้ประกอบการรีไซเคิล และภาพรวมของปัญหาเชิงระบบ ทำให้พบว่าภาพรวมของการจัดการซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยยังค่อนข้างไม่เหมาะสม และขาดระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพ แม้จะมีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยการนำหลัก 3Rs มาใช้ในการแก้ไขพฤติกรรมของผู้บริโภค การดำเนินโครงการร้านรับซื้อของเก่าสีเขียวเพื่อส่งเสริมร้านรับซื้อของเก่าให้มีระบบการจัดการร้านที่ดี การนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการรีไซเคิลชิ้นส่วนมากยิ่งขึ้นแต่ประสิทธิภาพอาจไม่สูงมากนักเนื่องจากยังคงนิยมรีไซเคิลซากผลิตภัณฑ์หลายชนิดรวมกัน ตลอดจนการกำหนดกลยุทธ์ในการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของทางภาครัฐนั้นก็ยังคงพิจารณาการจัดการซากคอมพิวเตอร์รวมกับซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ จากประเด็นดังกล่าวข้างต้นนี้ จึงนำมาสู่การออกแบบระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับและการออกแบบระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์รูปแบบใหม่ของประเทศไทยในอนาคต เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ยังคงเกิดขึ้นในปัจจุบัน

สำหรับองค์ประกอบจากการออกแบบและวิเคราะห์ระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับนั้นประกอบไปด้วย (1) แหล่งของซาก เป็นแหล่งของซากคอมพิวเตอร์ทั้งในครัวเรือนและสถานประกอบการ (2) จุดเรียกคืน เป็นจุดการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ในขั้นต้นซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของร้านค้าหรือตัวแทนรับคืนซากรูปแบบอื่น (3) ศูนย์เรียกคืน เป็นศูนย์เพื่อรวบรวมในระดับจังหวัดจากจุดเรียกคืนรายย่อย โดยซากคอมพิวเตอร์ที่รวบรวมมาจะยังไม่มีการดำเนินการใดๆกับชิ้นส่วนต่างๆทั้งสิ้น (4) ศูนย์รวบรวม เป็นศูนย์สำหรับรวบรวมซากคอมพิวเตอร์จากแต่ละจังหวัดมาผ่านกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การตรวจสอบ การแยกประเภท การจัดเก็บ และการบรรจุเพื่อการขนส่งที่สะดวก (5) โรงงานรีไซเคิล เป็นโรงงานรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ต้นแบบที่รีไซเคิลเฉพาะ

ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวด้วยเทคโนโลยีขั้นสูง และภายในโรงงานก็ได้รวมระบบการบำบัดและกำจัดสารพิษไว้ด้วย และ (6) ตลาดวัสดุ เป็นแหล่งของตลาดที่มีความต้องการวัสดุชนิดต่างๆในการผลิตเป็นชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ สำหรับการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์นั้น จะทำการวิเคราะห์การวางระบบสำหรับกลไกการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ และได้แสดงถึงรายละเอียดขององค์ประกอบ ผู้รับผิดชอบหน้าที่หลัก ตลอดจนระเบียบหรือหลักเกณฑ์หรือเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาในแต่ละองค์ประกอบ โดยจะนำเสนอออกมาเป็นความรับผิดชอบและหน้าที่ของหน่วยงานใน 3 ลักษณะ คือ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน และความร่วมมือของทั้งสองหน่วยงาน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบนั้นจะต้องดำเนินการภายใต้กรอบของหลัก 3Rs หลัก EPR ระเบียบ WEEE และระเบียบ RoHS โดยในอนาคตระบบการเรียกคืนนี้จะเกิดขึ้นได้ก็จะต้องอาศัยการสร้างแผนในการเรียกคืนผ่านระบบที่ออกแบบขึ้นมา และการดำเนินการเรียกคืนนั้นก็จะต้องพิจารณาถึง การเตรียมความพร้อมขององค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การประชาสัมพันธ์เพื่อเผยแพร่ระบบ และการดำเนินการเรียกคืนตามแผน ซึ่งรูปแบบการเรียกคืนแบบใหม่ที่ออกแบบในงานวิจัยนี้จะไม่มีการดำเนินการผ่านกิจการรับซื้อของเก่าโดยจะดำเนินการผ่านระบบโครงข่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับที่ออกแบบขึ้นมา แต่หากในอนาคตกิจการรับซื้อของเก่าจะเข้าร่วมระบบก็สามารถดำเนินการได้ตามช่องทางที่นำเสนอไว้หากกิจการรับซื้อของเก่านั้นปฏิบัติตามเงื่อนไขของระบบที่กำหนดขึ้น โดยท้ายที่สุดแล้วระบบที่ออกแบบขึ้นมาจะประสบผลสำเร็จหรือไม่ก็ต้องอาศัยการติดตามและการประเมินผล

ภายใต้ระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบและวิเคราะห์นั้น ได้กำหนดให้โรงงานรีไซเคิลเป็นโรงงานต้นแบบที่รีไซเคิลเฉพาะซากคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียว จึงนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ โดยได้กำหนดองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่ประกอบไปด้วย (1) ศูนย์เรียกคืน (2) ศูนย์รวบรวม (3) โรงงานรีไซเคิล และ (4) ตลาดวัสดุ มาเป็นองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์ สำหรับการวิเคราะห์จะทำการศึกษาข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งโดยอาศัยข้อมูลในอนาคตคือ ปี พ.ศ. 2558 มาใช้ในการพิจารณา อันได้แก่ (1) ปริมาณของซากคอมพิวเตอร์ เป็นการประมาณการซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยประมาณการจากอายุของการใช้งานเป็นเกณฑ์ ทั้งคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา (2) ปริมาณวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์ เป็นการประมาณการปริมาณวัสดุที่ได้จากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบ โดยพิจารณาวัสดุ 8 ชนิด คือ พลาสติก เหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว ดีบุก เงิน และทอง (3) ปริมาณความต้องการวัสดุจากการสำรวจตลาด เป็นการสำรวจด้วยแบบสอบถามกับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย โดยมีโรงงานที่ให้ข้อมูลประกอบการวิจัยซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ชลบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร ระยอง และนครราชสีมา เพื่อการสอบถามถึงปริมาณความต้องการในอนาคต และในส่วนนี้ผลจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามพบว่า ระดับของความสนใจในการพิจารณาเลือกโรงงานรีไซเคิลซากคอมพิวเตอร์เป็นแหล่งจัดซื้อนั้นร้อยละ 57 ของอุตสาหกรรมทั้งหมดมีความสนใจในระดับปานกลาง และมีประมาณร้อยละ 19 ที่มีความสนใจในระดับสูง และ (4) ต้นทุนที่เกิดขึ้นในระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ประกอบด้วยค่าก่อสร้างและค่าที่ดิน ของทั้งศูนย์รวบรวมและโรงงานรีไซเคิล โดยกำหนดให้มี 2 ขนาดตามความสามารถใน

การรองรับซากคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ออกแบบพื้นที่ในการจัดตั้งและการจัดเก็บเพื่อการประมาณการต้นทุน ตลอดจนค่าขนส่งซากคอมพิวเตอร์และวัสดุรีไซเคิลด้วยยานพาหนะต่างชนิดกันเพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่พิจารณา โดยข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเหล่านี้จะถูกประมาณการออกมาเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณและวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง โดยงานวิจัยได้เลือกใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุด และทำการสร้างโปรแกรมเพื่อช่วยในการคำนวณและการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่ก่อให้เกิดต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับที่พิจารณาที่ต่ำที่สุด

จากการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมเพื่อการค้นหาคำตอบ โดยกำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 40 โครโมโซม จำนวนรุ่นเท่ากับ 100,000 รุ่น ที่ระดับความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ พบว่า ให้คำตอบของต้นทุนรวมที่พิจารณาที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 70,440,577 บาทต่อปี ซึ่งจากผลลัพธ์พบว่าตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมทั้ง 5 แห่ง ตั้งอยู่ในจังหวัดลพบุรี สมุทรปราการ สระบุรี สิงห์บุรี และสุพรรณบุรี ส่วนตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิล 1 แห่งนั้นจะตั้งที่จังหวัดสระบุรี นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความไวยังพบว่าเมื่อปริมาณซากคอมพิวเตอร์และต้นทุนรวมของระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 จะมีผลให้ตำแหน่งของโรงงานรีไซเคิลเปลี่ยนไป สำหรับการวิเคราะห์ความไวเพิ่มเติมในส่วนของค่าขนส่งเป็นหลักนั้น พบว่าเมื่อปัจจัยอื่นคงที่ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลจะเปลี่ยนไปเมื่อต้นทุนค่าขนส่งเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไปเช่นเดียวกับตอนพิจารณาต้นทุนรวม แต่ในระดับความไวอื่นตำแหน่งที่ตั้งโรงงานรีไซเคิลไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้นตำแหน่งของศูนย์รวบรวมเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไป และเมื่อทำการวิเคราะห์ความไวด้วยการลดต้นทุนค่าขนส่งเฉพาะขาออกจากศูนย์รวบรวมไปยังโรงงานรีไซเคิลที่ระดับลดลงร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ พบว่าคำตอบที่ได้จะทำให้ศูนย์รวบรวมกระจายออกจากภาคกลางมากขึ้นกว่าผลลัพธ์เดิม แต่ก็ยังไม่กระจายออกไปสู่ภูมิภาคต่างๆอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลสองประการหลักคือ ต้นทุนค่าขนส่งขาออกจากศูนย์รวบรวมมีค่าสูงกว่าขาเข้า และความสมดุลของระบบที่เกี่ยวข้องกับตลาดวัสดุ อีกทั้งยังพบว่าปริมาณซากคอมพิวเตอร์ของจังหวัดในภาคกลางมีปริมาณที่สูงมากจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งของคำตอบด้านตำแหน่งที่ตั้งดังกล่าว ในขณะที่การกำหนดขนาดของศูนย์รวบรวมก็เป็นปัจจัยของตำแหน่งที่ตั้งที่เกิดขึ้นเช่นกัน โดยการวิเคราะห์ความไวข้างต้นจะมุ่งประเด็นไปที่ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลเป็นหลัก เพื่อนำเสนอตำแหน่งจัดตั้งของโรงงานต้นแบบ ทั้งนี้การวิเคราะห์ความไวโดยละเอียดนั้นก็จะขึ้นอยู่กับการกำหนดระดับของต้นทุนที่จะต้องสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่จะกำหนดเพื่อการวิเคราะห์ในเชิงลึกต่อไป

ส่วนผลการพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการระหว่างรูปแบบเดิม (รูปแบบการจัดการในปัจจุบัน) กับรูปแบบใหม่ (รูปแบบที่นำเสนอในอนาคต) พบว่ารูปแบบใหม่ของการจัดการซากคอมพิวเตอร์มีความเหมาะสมในการแก้ไขปัญหาที่ยังคงเกิดขึ้นในปัจจุบันของไทยและมีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต อีกทั้งรูปแบบใหม่นี้ยังเป็นแนวทางที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบได้มากกว่ารูปแบบเดิม ช่วยให้ได้รับปริมาณวัสดุจากการรีไซเคิลมากกว่าเดิม เนื่องจากเทคโนโลยีในโรงงานรีไซเคิลต้นแบบเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพทำให้ได้วัสดุมีค่าซึ่งมีมูลค่าสูง เช่น เงินและทอง ตลอดจนวัสดุชนิดอื่นเพื่อนำเข้าสู่อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน

คอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการลดการนำเข้าวัสดุตั้งต้นจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจุบันพบว่านำเข้ามาจากประเทศไต้หวัน เกาหลี จีน มาเลเซีย เยอรมัน สิงคโปร์ และญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระบบโลจิสติกส์ไปหน้าของผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน ซึ่งสุดท้ายแล้วระบบการเรียกคืนที่ออกแบบในงานวิจัยนี้ประกอบกับผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

5.2 แนวทางการนำผลจากการศึกษาไปสู่การประยุกต์ใช้

จากการศึกษาเพื่อการออกแบบระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทยของงานวิจัยนี้ สามารถนำเสนอข้อเสนอแนะในส่วนของการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคตได้ดังต่อไปนี้

1) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ควรพิจารณานำแนวทางที่วิเคราะห์ได้ไปปรับปรุงและประยุกต์ใช้เป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการแก้ไขปัญหาการจัดการซากคอมพิวเตอร์ที่คาดว่าจะมีปริมาณที่เพิ่มสูงมากยิ่งขึ้นในอนาคต

2) การนำระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบไปประยุกต์ใช้นั้น จะต้องพิจารณาการนำไปปรับใช้ในภาพรวมของทั้งประเทศ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของยุทธศาสตร์ซึ่งควรจะมีการประสานความร่วมมือกันระหว่างหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อก่อให้เกิดกลไกในการนำซากคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบการจัดการให้ได้มากที่สุด และเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3) ระบบเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบนี้ เป็นการนำเสนอแนวทางโดยภาพรวม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในเชิงลึกถึงกลยุทธ์ในการดำเนินงาน การกำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบของบุคลากรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนการสร้างแผนการเรียกคืนในรูปของโครงการเพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดต่างๆ เช่น วิธีการดำนินงาน งบประมาณ การติดตามการดำเนินงาน และการประเมินผล เป็นต้น

4) ควรมีการศึกษาและทำการสร้างระบบในการรวบรวมฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์เครื่องคอมพิวเตอร์และซากคอมพิวเตอร์ในประเทศไทยอย่างบูรณาการ ตลอดจนการศึกษาองค์ประกอบโดยละเอียดของวัสดุในเครื่องคอมพิวเตอร์และวงจรอายุการใช้งานของคอมพิวเตอร์ของไทย เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพที่มีความถูกต้องและสะท้อนความเป็นจริงออกมาให้ได้มากที่สุดไปใช้ประกอบการวิจัยอื่นๆต่อไป นอกเหนือจากการอ้างอิงข้อมูลจากการสำรวจและทบทวนวรรณกรรมเพียงอย่างเดียว

5) ผลจากการวิเคราะห์และประเมินตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิล ตลอดจนศูนย์รวบรวมในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อมูลและต้นทุนที่พิจารณา ดังนั้นเมื่อทราบถึงตำแหน่งที่เหมาะสมภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดแล้ว จึงควรมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงการ (feasibility study) เพื่อประกอบการพิจารณาสำหรับการจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลและศูนย์รวบรวมในอนาคตต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปประเด็นสำคัญเพื่อนำเสนอเป็นข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยได้ในประเด็นดังต่อไปนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของงานวิจัย ควรมีการวางแผนการดำเนินงานที่ชัดเจน และควรมีการคาดการณ์ถึงปัญหาหรืออุปสรรคต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บข้อมูล และควรคำนึงถึงแผนสำรองในการเก็บข้อมูลเพื่อรองรับปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกรวดเร็วและให้งานวิจัยเป็นไปตามแผนที่วางไว้มากยิ่งขึ้น

2) การเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้จะอาศัยแบบสอบถามในการสำรวจข้อมูลจากโรงงานด้วยการจัดส่งแบบสอบถามไปยังโรงงานในจังหวัดต่างๆ แล้วให้ทางโรงงานจัดส่งกลับมายังผู้วิจัย ดังนั้นหากมีการพิจารณาการลงพื้นที่สำรวจโดยเชิงลึกด้วยการสัมภาษณ์ อาจจะทำให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนความเป็นจริงออกมาได้เพิ่มเติมมากยิ่งขึ้นในบางประเด็นที่เป็นรายละเอียดในเชิงลึก

3) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในระดับจังหวัด จึงอาศัยข้อมูลเชิงปริมาณที่เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละจังหวัด ดังนั้นข้อมูลเชิงตัวเลขที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์แต่ละจังหวัดจึงอาจจะมีความแตกต่างจากข้อมูลในระดับที่ย่อยลงไป เช่น ระดับอำเภอ เป็นต้น ซึ่งหากจะพิจารณาโดยละเอียดในเชิงลึกลงไปมากกว่าขอบเขตของงานวิจัยนี้ ก็มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลในระดับย่อยลงไปกว่าระดับจังหวัด

4) งานวิจัยนี้ไม่ได้ให้ความสนใจในด้านความรวดเร็วของการค้นหาคำตอบในเชิงโปรแกรมมากนัก ดังนั้นหากมีการพิจารณาในส่วนนี้ด้วยก็สามารถพัฒนาเทคนิคทางด้านการพัฒนาโปรแกรมเพื่อการค้นหาคำตอบที่มีความสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้อาจพิจารณาเทคนิคอื่นๆ นอกเหนือจากเทคนิควิธีการเชิงพันธุกรรมที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้ เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของปัญหาในอนาคตต่อไป

บรรณานุกรม

[1] L. Jinhui, D. Huabo, and Y. Wenyi, "Case study of a Suzhou pilot project on the suitable treatment technology for scrap computers in China," in *Sustainable Systems and Technology, 2009. ISSST '09. IEEE International Symposium on*, pp. 1-5, 2009.

[2] กรมควบคุมมลพิษ, คู่มือการจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2551.

[3] K. K. Dhanda and A. A. Peter, "Reverse Logistics in the Computer Industry," *International Journal of Computer, System and Signals,* vol. 6, pp. 57-67, 2005.

[4] C. H. Lee, S. L. Chang, K. M. Wang, and L. C. Wen, "Management of scrap computer recycling in Taiwan," *Journal of Hazardous Materials,* vol. 73, pp. 209-220, 2000.

[5] กาญจนา ยินดี, "ทางเลือกที่เป็นไปได้ในการจัดการคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ไม่ใช้แล้วในประเทศไทย." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการสิ่งแวดล้อม: มหาวิทยาลัยมหิดล, 2547.

[6] กรมควบคุมมลพิษ, เอกสารการประชุมคณะกรรมการกำกับการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 2553.

[7] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, "บริการข้อมูลสถิติ," สืบค้นจาก (ออนไลน์) http: //service.nso.go.th/nso/go.th/nso/nsopublish/service/serv_census.html [20 มิถุนายน 2554].

[8] F. Wen and Y. Wei, "Research on Reverse Logistics Management of Manufacturing Company," in *Management and Service Science, 2009. MASS '09. International Conference on*, pp. 1-2, 2009.

[9] B. E. Hirsch, T. Kuhlmann, and J. Schumacher, "Logistics simulation of recycling networks," *Computers in Industry,* vol. 36, pp. 31-38, 1998.

[10] เวชพิสิฐ เอี่ยมองอาจ, "แนวทางการจัดการขยะคอมพิวเตอร์ในอนาคตโดยใช้เทคนิคเดลฟาย." ครุศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, 2550.

[11] P. K. Ahluwalia and A. K. Nema, "A life cycle based multi-objective optimization model for the management of computer waste," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 51, pp. 792-826, 2007.

[12] A. Yoshida, T. Tasaki, and A. Terazono, "Material flow analysis of used personal computers in Japan," *Waste Management,* vol. 29, pp. 1602-1614, 2009.

[13] M. Dwivedy and R. K. Mittal, "Future trends in computer waste generation in India," *Waste Management,* vol. 30, pp. 2265-2277, 2010.

[14] H. Y. Kang and J. M. Schoenung, "Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California," *Journal of Hazardous Materials,* vol. 137, pp. 1165-1174, 2006.

[15] C. H. Lee, C. T. Chang, K. S. Fan, and T. C. Chang, "An overview of recycling and treatment of scrap computers," *Journal of Hazardous Materials,* vol. 114, pp. 93-100, 2004.

[16] T. L. Hu, J. B. Sheu, and K. H. Huang, "A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* vol. 38, pp. 457-473, 2002.

[17] กรกช ภูบานเช้า, "การวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าเพื่อการส่งออกสินค้าเกษตร." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมขนส่ง: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.

[18] โสภิดา ส่งแสง, "การศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะคอมพิวเตอร์ในภาคใต้ของประเทศไทย." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.

[19] ภัทรียา ลาสุนนท์, "ผลเฉลยตัวแบบกำหนดการหลายระดับสำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของศูนย์กลางกระจายสินค้าโดยระเบียบวิธีเชิงพันธุกรรม." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณิตศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552.

[20] เกรียงไกร อรุโณทยานันท์, "การวิเคราะห์ตำแหน่งสถานีขนส่งสินค้าสาธารณะสำหรับเมืองเชียงใหม่." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.

[21] A. Costa, G. Celano, S. Fichera, and E. Trovato, "A new efficient encoding/decoding procedure for the design of a supply chain network with genetic algorithms," *Computers & Industrial Engineering,* vol. 59, pp. 986-999, 2010.

[22] Y. H. Chang, "Adopting co-evolution and constraint-satisfaction concept on genetic algorithms to solve supply chain network design problems," *Expert Systems with Applications,* vol. 37, pp. 6919-6930, 2010.

[23] B. Mohammad, Fakhrzad. and M. , Moobed, "A GA Model Development for Decision Making Under Reverse Logistics," *International Journal of Industrial Engineering & Production Research,* vol. 21, pp. 211-220, 2012.

[24] H. Min, H. Jeung Ko, and C. Seong Ko, "A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns," *Omega,* vol. 34, pp. 56-69, 2006.

[25] R. Cruz-Rivera and J. Ertel, "Reverse logistics network design for the collection of End-of-Life Vehicles in Mexico," *European Journal of Operational Research,* vol. 196, pp. 930-939, 2009.

[26] อินทรา ภูมิไชยา และ พินิจ ดวงจินดา, "โลจิสติกส์ย้อนกลับในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, pp. 665-670, 2553.

[27] สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ, ยุทธศาสตร์การจัดการซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เชิงบูรณาการ, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท ฮีซ์ จำกัด, 2551.

[28] ปเนต มโนมัยวิบูลย์ และคณะ, หลักการขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิตในบริบทของประเทศกำลังพัฒนา, 2552.

[29] ThaiRoHS.org, "สาระสำคัญของระเบียบ WEEE & RoHS ": สืบค้นจาก (ออนไลน์) http://www.thairohs.org/index.php?option=com_content&task=view&id=55&Itemid=98 [23 สิงหาคม 2554].

[30] สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือ 3Rs กับการจัดการของเสียภายในโรงงาน. กรุงเทพฯ, 2555.

[31] ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง และคณะ, "โลจิสติกส์ย้อนกลับอาวุธเพื่อสร้างความแตกต่างในการแข่งขัน," *For Quality Journal,* vol. 15, pp. 127-130, 2009.

[32] M. Fleischmann, J. M. Bloemhof-Ruwaard, R. Dekker, E. van der Laan, J. A. E. E. van Nunen, and L. N. Van Wassenhove, "Quantitative models for reverse logistics: A review," *European Journal of Operational Research,* vol. 103, pp. 1-17, 1997.

[33] คำนาย อภิปรัชญาสกุล, โลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน : กลยุทธ์สำหรับลดต้นทุนและเพิ่มกำไร, 2550.

[34] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

[35] ปารเมศ ชุติมา และจงกล เอี่ยมมิ "การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม," วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, vol. 26, pp. 1-16, 2546.

[36] L. H. Shih, "Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 32, pp. 55-72, 2001.

[37] Z. Lu and N. Bostel, "A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities," *Computers & Operations Research,* vol. 34, pp. 299-323, 2007.

[38] I. L. Wang and W. C. Yang, "Fast Heuristics for Designing Integrated E-Waste Reverse Logistics Networks," *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing,* vol. 30, pp. 147-154, 2007.

[39] D. H. Lee and M. Dong, "A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* vol. 44, pp. 455-474, 2008.

[40] S. K. Srivastava, "Network design for reverse logistics," *Omega,* vol. 36, pp. 535-548, 2008.

[41] J. E. Lee, M. Gen, and K. G. Rhee, "Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm," *Computers & Industrial Engineering,* vol. 56, pp. 951-964, 2009.

[42] S. S. Kara and S. Onut, "A stochastic optimization approach for paper recycling reverse logistics network design under uncertainty," *Int. J. Envir. Sci. Tech.,* vol. 7, pp. 717-730, 2010.

[43] สำนักงานส่งเสริมอุตสาหกรรมซอฟแวร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) และ ฝ่ายวิจัยกลยุทธ์และดัชนีอุตสาหกรรม ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, สรุปผลการสำรวจตลาดเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของประเทศไทย ประจำปี 2552 และประมาณการปี 2553. กรุงเทพฯ, 2553.

[44] U.S. Environmental Protection Agency The Office of Solid Waste, "Management of Electronic Waste in United State : APPROACH TWO," สืบค้นจาก (ออนไลน์) http://www.epa.gov/osw/conserve/materials/ecycling/docs/app-2.pdf [8 มีนาคม 2555].

[45] L. Deng, C. W. Babbitt, and E. D. Williams, "Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer," *Journal of Cleaner Production,* vol. 19, pp. 1198-1206, 2011.

[46] United Nations Environmental Programme, *E-waste Management Manual*. Japan, 2007.

[47] กรมควบคุมมลพิษ, "โครงการร้านรับซื้อของเก่าสีเขียว," สืบค้น (ออนไลน์) http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_greenantiqueshop.html [23 ธันวาคม 2554].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบสอบถามประกอบการวิจัย

หน้าที่ –1-

แบบสอบถามความต้องการวัสดุ
เพื่อการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบของซากคอมพิวเตอร์แบบครบวงจรในประเทศไทย

.....

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลประกอบงานวิจัย เรื่อง *การออกแบบระบบการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์และหาตำแหน่งจัดตั้งโรงงานรีไซเคิลในประเทศไทย* โดยการสอบถามในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ
1.เพื่อทราบความต้องการวัสดุ/ปริมาณการสั่งซื้อวัสดุชนิดต่างๆในการผลิตชิ้นของส่วนคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการคาดการณ์ความต้องการในอนาคต
2.เพื่อกำหนดความต้องการวัสดุ นำไปวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลที่ความเหมาะสม

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยในครั้งนี้ คือ *ระบบในการเรียกคืนซากคอมพิวเตอร์เพื่อการรีไซเคิล และตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานรีไซเคิลที่ก่อให้เกิดต้นทุนทางโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด* ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยจะเป็นส่วนสนับสนุนในการจัดการปัญหาซากคอมพิวเตอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน และหากโรงงานรีไซเคิลต้นแบบที่มีศักยภาพสูงถูกตั้งขึ้นในอนาคตก็จะเป็นผลดีต่อสถานประกอบการที่จะมีแหล่งของตลาดวัสดุเป็นทางเลือกอีกแหล่งหนึ่งในการจัดซื้อ ที่อาจจะช่วยลดต้นทุนวัสดุลงได้ เป็นการลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ และช่วยแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

ขอขอบพระคุณในความร่วมมือกรอกแบบสอบถามฉบับนี้

คณะผู้วิจัย: *รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย
นายอภิชล กำเนิดว้ำ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ติดต่อและประสานงาน: *นายอภิชล กำเนิดว้ำ*
โทรศัพท์มือถือ: 086-6903890, E-mail: apichon.km@hotmail.com

ส่งแบบสอบถามกลับ: *(ภายในวันที่.....)*
โดย Fax: 0-7455-8829 , E-mail: apichon.km@hotmail.com
หรือ ไปรษณีย์: นายอภิชล กำเนิดว้ำ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

แบบสอบถามประกอบการวิจัย (ต่อ)

หน้าที่ –2-

แบบสอบถามความต้องการวัสดุ
เพื่อการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานรีไซเคิลต้นแบบของซากคอมพิวเตอร์แบบครบวงจร
ในประเทศไทย

.....

ส่วนที่ 1 : ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อบริษัท/โรงงาน/สถานประกอบการ.....
2. ที่ตั้ง เลขที่.....หมู่ที่.....ถนน.....ซอย.....ตำบล/แขวง.....
อำเภอ/เขต.....จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....
โทรศัพท์.....โทรสาร.....เว็บไซต์.....
3. หน่วยงาน/แผนก ที่ให้ข้อมูล.....
ชื่อผู้ให้ข้อมูล..... ตำแหน่ง.....โทรศัพท์.....

ส่วนที่ 2 : ข้อมูลความต้องการวัสดุ

<u>คำชี้แจง</u> *โปรดระบุ ปริมาณวัสดุ และข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้*

ที่	ชนิดวัสดุ	*ปริมาณความต้องการเฉลี่ย (กก.ต่อปี)	แหล่งจัดซื้อ *(ทำเครื่องหมาย ✓) <u>เลือกได้มากกว่า 1 แหล่ง</u>*		โปรดระบุชื่อสถานที่จัดซื้อวัสดุ *(หากสามารถระบุได้)*	
			ในประเทศ	นอกประเทศ	ในประเทศ	นอกประเทศ
1	ทองแดง (Copper)					
2	อลูมิเนียม (Aluminum)					
3	เหล็ก (Steel)					
4	ทองคำ (Gold)					
5	เงิน (Silver)					
6	อีพ็อกซี่ (Epoxy)					
7	นิกเกิล (Nickel)					
8	สังกะสี (Zinc)					
9	ดีบุก (Tin)					
10	ตะกั่ว (Lead)					
11	พาลาเดียม (Palladium)					
12	แพลทินัม (Platinum)					
13	รูทีเนียม (Ruthenium)					

แบบสอบถามประกอบการวิจัย (ต่อ)

หน้าที่ –3-

ที่	ชนิดวัสดุ	*ปริมาณความต้องการเฉลี่ย *(กก.ต่อปี)*	แหล่งจัดซื้อ *(ทำเครื่องหมาย ✓) เลือกได้มากกว่า 1 แหล่ง*		โปรดระบุชื่อสถานที่จัดซื้อวัสดุ *(หากสามารถระบุได้)*	
			ในประเทศ	นอกประเทศ	ในประเทศ	นอกประเทศ
14	ซิลีเนียม (Silinium)					
15	อินเดียม (Indium)					
16	นีโอไดเมียม (Neodymium)					
พลาสติก *(แบ่งตามชนิด)*						
17	ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)					
18	HIPS (High impact polystyrene)					
19	PC-ABS (Polycarbonate–Acrylonitrile butadrene styrene)					
20	PPO (Poly phenylrene oxide)					
21	PPC (Poly vinyl chloride)					
22	PPE (Polyphenylrene ether)					
23	PP (Polyphenylrene)					
24	PE (Polyethylrene)					
25	PC (Polycarbonate)					
26	พลาสติกรวม (กรณีไม่ทราบชนิด)					
อื่นๆ *(โปรดระบุ)*						
27	.....					
28	.....					
29	.....					

** ค่าเฉลี่ยของปริมาณ ณ ปี พ.ศ. 2554*

- แนวโน้มความต้องการวัสดุในอนาคตของบริษัท ☐ เพิ่มขึ้น.....% ☐ ลดลง.....% ☐ คงที่ ☐ ไม่สามารถคาดการณ์ได้
- หากมีโรงงานรีไซเคิลคอมพิวเตอร์แบบครบวงจรเกิดขึ้น บริษัทมีความสนใจเลือกมาเป็นแหล่งตลาดวัสดุใหม่มากน้อยแค่ไหน

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ ค่อนข้างน้อย ☐ น้อย ☐ ไม่ต้องการ

ภาคผนวก ข
ผลลัพธ์การประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในแต่ละจังหวัด

ลำดับ	จังหวัด	แบบตั้งโต๊ะ (เครื่อง/ปี)	แบบพกพา (เครื่อง/ปี)	แบบตั้งโต๊ะ (เครื่อง/เดือน)	แบบพกพา (เครื่อง/เดือน)
1	กระบี่	29,132	9,742	2,428	812
2	กรุงเทพมหานคร	1,502,067	818,302	125,172	68,192
3	กาญจนบุรี	56,200	20,240	4,683	1,687
4	กาฬสินธุ์	41,937	36,130	3,495	3,011
5	กำแพงเพชร	47,061	25,766	3,922	2,147
6	ขอนแก่น	122,180	57,432	10,182	4,786
7	จันทบุรี	51,212	37,887	4,268	3,157
8	ฉะเชิงเทรา	65,716	38,945	5,476	3,245
9	ชลบุรี	235,636	140,239	19,636	11,687
10	ชัยนาท	31,437	29,323	2,620	2,444
11	ชัยภูมิ	50,240	37,258	4,187	3,105
12	ชุมพร	29,389	14,200	2,449	1,183
13	เชียงราย	88,227	36,647	7,352	3,054
14	เชียงใหม่	209,670	130,958	17,473	10,913
15	ตรัง	47,797	12,630	3,983	1,052
16	ตราด	13,437	12,776	1,120	1,065
17	ตาก	37,142	17,081	3,095	1,423
18	นครนายก	15,913	16,453	1,326	1,371
19	นครปฐม	90,267	95,101	7,522	7,925
20	นครพนม	32,430	15,110	2,702	1,259
21	นครราชสีมา	153,079	194,793	12,757	16,233
22	นครศรีธรรมราช	89,974	46,703	7,498	3,892
23	นครสวรรค์	67,018	22,342	5,585	1,862
24	นนทบุรี	180,458	76,257	15,038	6,355
25	นราธิวาส	28,901	11,889	2,408	991
26	น่าน	36,273	24,493	3,023	2,041
27	บุรีรัมย์	65,454	49,047	5,455	4,087
28	ปทุมธานี	131,897	41,984	10,991	3,499
29	ประจวบคีรีขันธ์	41,756	15,115	3,480	1,260
30	ปราจีนบุรี	28,172	4,439	2,348	370
31	ปัตตานี	22,764	10,826	1,897	902
32	พะเยา	42,934	18,154	3,578	1,513
33	พังงา	14,976	9,644	1,248	804
34	พัทลุง	37,173	21,435	3,098	1,786
35	พิจิตร	40,551	18,545	3,379	1,545
36	พิษณุโลก	60,446	49,271	5,037	4,106
37	เพชรบุรี	38,726	11,907	3,227	992
38	เพชรบูรณ์	58,709	35,327	4,892	2,944

ผลลัพธ์การประมาณการปริมาณซากคอมพิวเตอร์ในแต่ละจังหวัด (ต่อ)

ลำดับ	จังหวัด	แบบตั้งโต๊ะ (เครื่อง/ปี)	แบบพกพา (เครื่อง/ปี)	แบบตั้งโต๊ะ (เครื่อง/เดือน)	แบบพกพา (เครื่อง/เดือน)
39	แพร่	48,101	18,802	4,008	1,567
40	ภูเก็ต	43,170	20,881	3,598	1,740
41	มหาสารคาม	61,958	34,184	5,163	2,849
42	มุกดาหาร	15,100	8,338	1,258	695
43	แม่ฮ่องสอน	18,580	9,224	1,548	769
44	ยโสธร	26,750	10,425	2,229	869
45	ยะลา	17,533	10,111	1,461	843
46	ร้อยเอ็ด	60,687	36,384	5,057	3,032
47	ระนอง	9,957	6,774	830	564
48	ระยอง	86,354	33,283	7,196	2,774
49	ราชบุรี	81,734	27,659	6,811	2,305
50	ลพบุรี	67,361	32,337	5,613	2,695
51	ลำปาง	78,176	28,147	6,515	2,346
52	ลำพูน	40,321	15,656	3,360	1,305
53	เลย	33,513	24,251	2,793	2,021
54	ศรีสะเกษ	59,103	122,893	4,925	10,241
55	สกลนคร	53,699	28,754	4,475	2,396
56	สงขลา	133,328	83,246	11,111	6,937
57	สตูล	13,072	15,450	1,089	1,288
58	สมุทรปราการ	208,570	94,874	17,381	7,906
59	สมุทรสงคราม	16,338	12,117	1,362	1,010
60	สมุทรสาคร	62,215	23,189	5,185	1,932
61	สระแก้ว	37,559	18,137	3,130	1,511
62	สระบุรี	66,635	42,179	5,553	3,515
63	สิงห์บุรี	18,497	15,305	1,541	1,275
64	สุโขทัย	39,593	13,802	3,299	1,150
65	สุพรรณบุรี	54,889	25,757	4,574	2,146
66	สุราษฎร์ธานี	77,556	30,404	6,463	2,534
67	สุรินทร์	58,659	53,513	4,888	4,459
68	หนองคาย	35,734	17,220	2,978	1,435
69	หนองบัวลำภู	23,442	12,728	1,953	1,061
70	อยุธยา	50,580	38,173	4,215	3,181
71	อ่างทอง	23,807	14,669	1,984	1,222
72	อำนาจเจริญ	18,959	8,777	1,580	731
73	อุดรธานี	101,389	76,691	8,449	6,391
74	อุตรดิตถ์	29,585	23,423	2,465	1,952
75	อุทัยธานี	17,640	10,314	1,470	859
76	อุบลราชธานี	91,010	138,329	7,584	11,527

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บซากคอมพิวเตอร์

ข้อมูลการจัดการกับซากคอมพิวเตอร์รวมถึงซากผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่หมดอายุการใช้งานนั้น จะเห็นได้ว่าการเก็บรวบรวมเพื่อการขนส่งไปสู่กระบวนการรีไซเคิลที่มีความเหมาะสมและลดการปนเปื้อนของสารพิษจากการถอดแยกที่ไม่ถูกหลักวิชาการนั้น สามารถนำเสนอการคัดแยก รวบรวม และหีบห่อ โดยใช้พาเลทและลังสำหรับการบรรจุและการจัดวางซากคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ ข.1-ข.3 และตัวอย่างของจัดจัดเก็บซากเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลดังภาพประกอบ ข.4

ภาพประกอบ ข.1 การจัดเรียงซากคอมพิวเตอร์ลงบนพาเลทและลังพลาสติกเพื่อเตรียมการขนส่งของประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: http://www.hawaii.edu/ewaste/

ภาพประกอบ ข.2 การขนย้ายพาเลทและลังเข้าตู้คอนเทนเนอร์เพื่อการขนส่งด้วยรถบรรทุกของประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: http://www.hawaii.edu/ewaste/

ตัวอย่างรูปแบบการจัดเก็บซากคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ภาพประกอบ ข.3 การจัดเรียงซากคอมพิวเตอร์ก่อนการขนย้ายไปยังโรงงานรีไซเคิลของประเทศประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: http://www.ur.umich.edu/0708/May27_08/24.php

ภาพประกอบ ข.4 ซากคอมพิวเตอร์ที่ถูกจัดเก็บก่อนการนำไปรีไซเคิลของประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: http://bits.blogs.nytimes.com/2008/02/05/but-how-much-ink-is-used-in-green-announcements/

ภาคผนวก ง
ข้อมูลจากการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง

ลำดับ	ศูนย์เรียกคืน	ศูนย์รวบรวม	โรงงานรีไซเคิล	ตลาดวัสดุ
1	กระบี่	สระบุรี	สระบุรี	กรุงเทพมหานคร,ชลบุรี,นครราชสีมา,ปทุมธานี,ระยอง,สมุทรปราการ,อยุธยา
2	กรุงเทพมหานคร	สุพรรณบุรี	สระบุรี	
3	กาญจนบุรี	ลพบุรี	สระบุรี	
4	กาฬสินธุ์	สมุทรปราการ	สระบุรี	
5	กำแพงเพชร	สระบุรี	สระบุรี	
6	ขอนแก่น	ลพบุรี	สระบุรี	
7	จันทบุรี	สระบุรี	สระบุรี	
8	ฉะเชิงเทรา	สมุทรปราการ	สระบุรี	
9	ชลบุรี	สมุทรปราการ	สระบุรี	
10	ชัยนาท	สิงห์บุรี	สระบุรี	
11	ชัยภูมิ	สระบุรี	สระบุรี	
12	ชุมพร	ลพบุรี	สระบุรี	
13	เชียงราย	สิงห์บุรี	สระบุรี	
14	เชียงใหม่	สิงห์บุรี	สระบุรี	
15	ตรัง	สมุทรปราการ	สระบุรี	
16	ตราด	สิงห์บุรี	สระบุรี	
17	ตาก	สมุทรปราการ	สระบุรี	
18	นครนายก	สมุทรปราการ	สระบุรี	
19	นครปฐม	สมุทรปราการ	สระบุรี	
20	นครพนม	สระบุรี	สระบุรี	
21	นครราชสีมา	สระบุรี	สระบุรี	
22	นครศรีธรรมราช	สิงห์บุรี	สระบุรี	
23	นครสวรรค์	สระบุรี	สระบุรี	
24	นนทบุรี	สระบุรี	สระบุรี	
25	นราธิวาส	สิงห์บุรี	สระบุรี	
26	น่าน	ลพบุรี	สระบุรี	
27	บุรีรัมย์	ลพบุรี	สระบุรี	
28	ปทุมธานี	ลพบุรี	สระบุรี	
29	ประจวบคีรีขันธ์	ลพบุรี	สระบุรี	
30	ปราจีนบุรี	ลพบุรี	สระบุรี	
31	ปัตตานี	สิงห์บุรี	สระบุรี	
32	พะเยา	สิงห์บุรี	สระบุรี	
33	พังงา	ลพบุรี	สระบุรี	
34	พัทลุง	สระบุรี	สระบุรี	
35	พิจิตร	ลพบุรี	สระบุรี	
36	พิษณุโลก	ลพบุรี	สระบุรี	
37	เพชรบุรี	สิงห์บุรี	สระบุรี	
38	เพชรบูรณ์	สระบุรี	สระบุรี	

ข้อมูลจากการวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้ง (ต่อ)

ลำดับ	ศูนย์เรียกคืน	ศูนย์รวบรวม	โรงงานรีไซเคิล	ตลาดวัสดุ
39	แพร่	ลพบุรี	สระบุรี	กรุงเทพมหานคร,ชลบุรี,นครราชสีมา,ปทุมธานี,ระยอง,สมุทรปราการ,อยุธยา
40	ภูเก็ต	ลพบุรี	สระบุรี	
41	มหาสารคาม	ลพบุรี	สระบุรี	
42	มุกดาหาร	สิงห์บุรี	สระบุรี	
43	แม่ฮ่องสอน	สิงห์บุรี	สระบุรี	
44	ยโสธร	สระบุรี	สระบุรี	
45	ยะลา	สระบุรี	สระบุรี	
46	ร้อยเอ็ด	ลพบุรี	สระบุรี	
47	ระนอง	ลพบุรี	สระบุรี	
48	ระยอง	สิงห์บุรี	สระบุรี	
49	ราชบุรี	สระบุรี	สระบุรี	
50	ลพบุรี	สิงห์บุรี	สระบุรี	
51	ลำปาง	ลพบุรี	สระบุรี	
52	ลำพูน	สิงห์บุรี	สระบุรี	
53	เลย	สระบุรี	สระบุรี	
54	ศรีสะเกษ	สระบุรี	สระบุรี	
55	สกลนคร	สระบุรี	สระบุรี	
56	สงขลา	สระบุรี	สระบุรี	
57	สตูล	สิงห์บุรี	สระบุรี	
58	สมุทรปราการ	สระบุรี	สระบุรี	
59	สมุทรสงคราม	สิงห์บุรี	สระบุรี	
60	สมุทรสาคร	ลพบุรี	สระบุรี	
61	สระแก้ว	ลพบุรี	สระบุรี	
62	สระบุรี	ลพบุรี	สระบุรี	
63	สิงห์บุรี	สิงห์บุรี	สระบุรี	
64	สุโขทัย	ลพบุรี	สระบุรี	
65	สุพรรณบุรี	สระบุรี	สระบุรี	
66	สุราษฎร์ธานี	ลพบุรี	สระบุรี	
67	สุรินทร์	ลพบุรี	สระบุรี	
68	หนองคาย	สิงห์บุรี	สระบุรี	
69	หนองบัวลำภู	ลพบุรี	สระบุรี	
70	อยุธยา	สิงห์บุรี	สระบุรี	
71	อ่างทอง	ลพบุรี	สระบุรี	
72	อำนาจเจริญ	สระบุรี	สระบุรี	
73	อุดรธานี	สิงห์บุรี	สระบุรี	
74	อุตรดิตถ์	ลพบุรี	สระบุรี	
75	อุทัยธานี	สิงห์บุรี	สระบุรี	
76	อุบลราชธานี	ลพบุรี	สระบุรี	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายอภิชล กำเนิดว้ำ
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5310120089
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553
รัฐศาสตรบัณฑิต (สาขาการบริหารรัฐกิจ)	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	2555

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2554 ได้รับจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2553 ได้รับจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2553 ได้รับจากคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Apichon Kamnerdwam, Wanida Rattanamanee, Runchana Sinthavalai and Wannarat Suntiamorntut. 2012. Design of a Genetic Algorithm for Choosing the Location in Reverse Logistics Network : The Case of Computer Scraps. The 8th International Conference on Intelligent Manufacturing & Logistics Systems (IML 2012). February 18-22, 2012. Ubon Ratchathani, Thailand. pp. 341-346.