การลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ

นางสาว รัตติยา ปริญญารัตนเมธี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LOGISTICS COSTS MINIMIZATION OF INDUSTRIAL WASTE INCINERATION BY CEMENT KILN USING REVERSE LOGISTICS MODEL

Miss Rattiya Pharinyarattanamate

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering
Department of Mining and Petroleum Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ
โดย	นางสาวรัตติยา ปริญญารัตนเมธี
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ มีชำนะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์. ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทร พุ่มจันทร์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ . สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รัตติยา ปริญญารัตนเมธี : การลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ (LOGISTICS COST MINMIZATION OF INDUSTRIAL WASTE INCINERATION BY CEMENT KILN USING REVERSE LOGISTICS MODEL) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ 70 หน้า.

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อทำการกำจัดโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์เป็นต้นแบบในการศึกษาโดยสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์(Mathematical Model) แบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming : LP) ในการคำนวณหาปริมาณกากของเสียที่เหมาะสมในโครงข่ายโลจิสติกส์จากแหล่งกำเนิดโรงงานอุตสาหกรรมไปยังสถานที่กำจัดที่โรงงานปูนซีเมนต์สำหรับแต่ละแหล่ง เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุดโดยมีข้อสมมุติของโครงข่ายโลจิสติกส์ในแบบจำลอง คือ แหล่งกำเนิดกากของเสีย 8 โรงงาน จาก 2 นิคมอุตสาหกรรมในจังหวัดชลบุลีและจังหวัดระยอง ซึ่งมีปริมาณและชนิดของกากของเสียอุตสาหกรรมทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวแตกต่างกัน เพื่อนำไปกำจัดโดยการเผาด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์ในจังหวัดสระบุรีจำนวน 3 โรงงาน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายและความสามารถในการกำจดกากของเสียอุตสาหกรรมแตกต่างกัน โดยมีข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง ประกอบไปด้วย 1. ค่าขนส่ง 2. ค่าการดำเนินงาน 3. ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา 4. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสีย

ผลจากการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลของบริษัทต้นแบบ สามารถคำนวณปริมาณกากของเสียที่ต้องทำการเคลื่อนย้ายในโครงข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับของแต่ละสายการขนส่งในปริมาณที่เหมาะสม ภายใต้ข้อจำกัดด้านการบรรทุกของรถขนส่งกากของเสีย ซึ่งให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำสุดประมาณ 150,000 บาทต่อวัน นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของแบบจำลองดังกล่าว พบว่า ค่าขนส่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินโครงการด้านโลจิสติกส์ซึ่งทางบริษัทจะต้องมีการวางแผนระบบการขนส่งให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพต่อระบบโดยรวม

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4870438621 : MAJOR GEORESOURSES ENGINEER

KEY WORD: REVERSE LOGISTIC / LOGISTIC /CEMENT KILN / INDUSTRIAL WASTE

RATTIYA PHARINYARATTANAMATE : LOGISTICS COST MINIMIZATION OF INDUSTRIAL WASTE INCINERATION BY CEMENT KILN USING REVERSE LOGISTICS MODEL THESIS ADVISOR : THITISAK BOONPRAMOTE, Ph.D. 70 pp.

This research studied the basic information of the industrial waste transportation for incineration by the cement kiln. The mathematical model was constructed using the Linear Programming (LP) method in order to find the optimum waste quantity in the logistic network from the waste generating factories to the incinerate plants by minimizing the logistic total cost. The reverse logistic model was considered eight waste generating factories from two industrial estate authority (Chonburi and Rayong province), that had different capacities and waste characteristics including solid and liquid form. The waste were transported to three cement factories in Salaburi province, which also had different incineration capacities and treatment cost. The input data were the transportation cost, the operating cost, the holding cost and the treatment cost in the reverse logistic model.

The result of the model using the data set from the actual company as a case study shown that the logistic total cost minimum was about 150,000 baht per day. The waste quantity of each transportation route in the network under the truck capacity constrains. In addition, the sensitivity analysis shown that the transportation cost is the dominant factor on the reverse logistic model. Thus the company should have well transportation plan to improve the efficiency in the reverse logistic system.

Department Mining and Petroleum Engineering Student's signature.....

Field of study Georesources Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดี ของ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไข และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร พุ่มจันทร์ กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย กรรมการ และบุคคลากรในสาขาวิศวทรัพยากรธรณีและปิโตรเลียมทุกท่านที่ให้อำนวยความสะดวกให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณปัญญา โสภาศรีพันธ์ คุณอภิสิทธิ์ พาให้สุข และคุณเขมราช สมวงศ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าศึกษาข้อมูลและอำนวยความสะดวกให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ตามเป้าหมาย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่สาว และน้องชาย ซึ่งสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้องๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในครั้งนี้ ซึ่งมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือด้วยดีมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูปภาพ.....ญ
บทที่
1 **บทนำ**.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้.....3
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....3
2 **เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**.....4
2.1 ระบบการขนส่งของเสียอันตรายและการจัดการของเสียอันตราย.....5
2.1.1. การขนส่งของเสียอันตราย.....5
2.1.2. การกำจัดของเสียอันตราย.....8
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบโลจิสติกส์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ.....9
2.2.1 ระบบโลจิสติกส์.....10
2.2.2 ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ.....11
2.3 แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ.....14
2.4 ทฤษฎีและโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหา.....16
2.4.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง.....16
2.4.2 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาคำตอบ.....18
3 **การดำเนินการวิจัย**.....20
3.1 ลักษณะงานทั่วไปของบริษัทที่ทำการศึกษา.....20
3.2 การให้บริการการจัดการกากอุตสาหกรรมของบริษัทต้นที่ทำการศึกษา.....21

บทที่ **หน้า**

3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....22
3.4 วิธีการและการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา.....22
3.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัย.....22
3.5 ตัวอย่างการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม What's Best.....25

4 ผลงานวิจัยและการวิเคราะห์.....28
4.1 วิธีการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....28
4.2 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....28
4.3 ผลการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาคำตอบโดยใช้โปรแกรมWhat's Best.....23
4.4 การทดสอบวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....38

5 สรุปผลงานวิจัย.....46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....46
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์.....47
5.3 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการประยุกต์ใช้.....49
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....50

รายการอ้างอิง.....51
บรรณานุกรม.....52
ภาคผนวก.....53
ภาคผนวก ก.....54
ภาคผนวก ข.....62
ภาคผนวก ค.....67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 หน่วยงานของรัฐที่ทำหน้าที่กำกับดูแลการจัดการของเสียอันตรายที่รับผิดชอบตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงการกำจัดขั้นสุดท้าย.....7
2.2 ปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตามประเภทและพื้นที่ พ.ศ. 2547.....9
3.1 ความสามารถในการขนส่งกากของเสีย.....25
3.2 ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม.....26
3.3 ตัวอย่างค่าใช้จ่ายในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์จากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม.....26
3.4 ระยะทางรวม (km.) ในการจัดส่งขยะ/เที่ยว จากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์จากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม.....26
3.5 ตัวอย่างต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม.....27
3.6 ตัวอย่างต้นทุนค่าใช้จ่ายในการกักเก็บกากของเสียอุตสาหกรรม.....27
4.1 ปริมาณขยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง โดยบริษัทขนส่ง.....29
4.2 ปริมาณขยะที่ถูกส่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์.....31
4.3 ปริมาณขยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมจังหวัดชลบุลี โดยบริษัทขนส่ง.....33
4.4 ปริมาณขยะที่ถูกส่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์.....34
4.5 ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมต่อการขนส่งโดยบริษัทที่ให้บริการที่เหมาะสม.....37
4.6 ปริมาณขยะที่ถูกส่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์.....38
4.7 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม.....40
4.8 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม.....42
4.9 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณกากของเสียอุตสาหกรร.....44

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 ขั้นตอนการดำเนินการตามระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย.....7
2.2 องค์ประกอบโลจิสติกส์.....11
2.3 โครงสร้างการกระจายแบบย้อนกลับ.....13
2.4 โครงข่ายการวางแผนผลิตภัณฑ์เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ.....14
2.5 แผนภาพแสดงกระบวนการการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลอง.....18
3.1 ลักษณะการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์.....20
3.2 กระบวนการตรวจรับกากของเสียอุตสาหกหรรมประเภทของเหลว.....21
4.1 แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสีย
อุตสาหกรรมโดยบริษัทที่ให้บริการการขนส่ง.....30
4.2 แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสีย
อุตสาหกรรมไปยังโรงงานปูนซีเมนต์.....31
4.3 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งจากแหล่งกำเนิดกาก
ของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์
แหล่งจังหวัดระยอง.....32
4.4 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของเหลวจากแหล่งกำเนิดกาก
ของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์
แหล่งจังหวัดระยอง.....32
4.5 แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสีย
อุตสาหกรรมโดยบริษัทที่ให้บริการการขนส่ง.....34
4.6 ปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมที่ขนส่งมายังโรงปูนซีเมนต์เพื่อทำ
การกำจัดขยะที่เหมาะสม.....35
4.7 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งจากแหล่งกำเนิดกาก
ของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์
แหล่งจังหวัดชลบุลี.....35
4.8 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งจากแหล่งกำเนิดกาก
ของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์
แหล่งจังหวัดชลบุรี.....36

รูปที่ **หน้า**

4.9 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม.....40
4.10 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม.....42
4.11 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนโรงงานอุตสาหกรมที่เป็นแหล่งกำเนิดกาก ของเสียอุตสาหกรรม.....44
5.1 การเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายโดยรวมของการเปลี่ยนแปลงค่าขนส่ง ระยะทาง จำนวนโรงงาน.....48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2547 มีการกำจัดของเสียอันตรายอย่างถูกต้องตามหลักสุขภิบาลยังดำเนินไม่ทันกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งในด้านปริมาณของเสียอันตรายที่มากเกินความสามารถในการกำจัด และความหลากหลายของชนิดของเสียอันตรายที่ทำให้ยากแก่การกำจัด ในการกำจัดของเสียอันตรายแต่ละประเภทจะใช้วิธีที่เหมาะสมแตกต่างกัน ซึ่งมีอยู่ 3 วิธีหลักคือ 1. การฝังกลบนิรภัย(secured landfill) 2. การเผา (incineration) และ 3. การใช้วิธีทางเคมี (chemical treatment) ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการกำจัดแบบฝังกลบนิรภัย ทั้งที่มีของเสียอันตรายบางประเภทสามารถกำจัดได้โดยวิธีการเผาที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งในอนาคต 10 ปีข้างหน้าหลุมฝังกลบนิรภัยอาจมีพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการกำจัดของเสียอันตรายได้ การกำจัดโดยการเผาที่อุณหภูมิสูงจึงมีความจำเป็นในการกำจัดของเสียอันตรายแต่ละประเภท

ถึงอย่างไรก็ตามการใช้เตาเผาในการกำจัดขยะมูลฝอยเป็นการลงทุนที่สูงในระยะแรก ไม่เฉพาะกับตัวเตาเผาเท่านั้น แต่ที่สำคัญจะต้องมีระบบบำบัดอากาศเสียที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะการเผาขยะมูลฝอยที่มีส่วนประกอบหลากหลาย และมีสัดส่วนไม่คงที่อาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ กระบวนการจัดการและเตรียมขยะมูลฝอยเบื้องต้นให้มีขนาดตามที่กำหนดก่อนป้อนเข้าสู่เตาเผา รวมทั้งเทคโนโลยีดังกล่าวยังมีราคาแพง และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูง ดังนั้นกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนมีส่วนในการจัดการของเสียได้มากขึ้นหนึ่งในบริษัทปูนซีเมนต์ที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของเสียรวมที่สามารถให้บริการกำจัดของเสียอันตราย ได้แก่ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด , บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด โรงงานเขาวง และ บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ซึ่งได้ทำการปรับคุณภาพของเสียรวม บำบัด หรือกำจัดวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เช่น น้ำมันหล่อลื่น ยางรถยนต์ ของเหลว เป็นต้น โดยกระบวนการการใช้ความร้อนด้วยการเผาในเตาเผาซีเมนต์ เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานซึ่งเป็นหัวใจหลักในการผลิตปูนซีเมนต์โดยการให้บริการด้านการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม รวมทั้งการใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนในกระบวนการผลิตให้มากขึ้น ดังกล่าวพบว่าการใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทนของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ทั่วโลกในปัจจุบันทำให้สามารถทดแทนการใช้ถ่านหินซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ประมาณปีละ 3 ล้านตัน[1]

ในการกำจัดขยะอุตสาหกรรมภายในบริษัท หรือจัดจ้างให้บริษัทอื่นในการกำจัด เมื่อดูในรายละเอียดของค่าใช้จ่ายจำเป็นต้องทำให้เป็นกิจการที่มีผลกำไร โดยทั่วไปการกำจัดถ้ามีการปล่อยขยะในปริมาณน้อยหากไม่จัดการรวบรวมรูปแบบพิเศษจะไม่ก่อให้เกิดผลประโยชน์

การกำจัดขยะโดยการรวบรวมขยะชนิดเดียวกันในปริมาณสูงจะมีประโยชน์มากกว่าการกำจัดครั้งละน้อยๆ แต่ปัญหาของการกำจัดขยะในปริมาณมากๆคือ เรื่องของการขนส่งขยะไปทำลาย ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ซึ่งค่าจ่ายในการขนส่งนั้นจะมีสัดส่วนที่สูง[2] ระบบที่จะช่วยในการขนย้ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วหรือถูกทิ้งจะใช้ระบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยหลักการของโลจิสติกส์ คือ การพยายามลดการนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้และการลดการจัดการขยะในพื้นที่ฝังกลบ[3] พยายามค้นหากระบวนการของระบบโลจิสติกส์ ในการจัดการในส่วนการไหลกลับของผลิตภัณฑ์จากจุดของผู้บริโภคกลับมายังจุดของผู้ผลิต เพื่อนำไปผ่านกระบวนการคัดแยก เพื่อทำการการรีไซเคิลนำมาผลิตใหม่ หรือทำการกำจัดทิ้งต่อไป

แม้ว่าระบบการจัดการนี้ไม่ใช้กระบวนการที่เกิดขึ้นใหม่ ในการจัดการการไหลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วหรือถูกทิ้ง แต่ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้นจากผู้บริโภคย้อนกลับไปยังผู้ผลิตหรือโรงงานกำจัดได้อย่างเป็นระบบ ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินธุรกิจ เพราะสามารถลดต้นทุนโดยรวมของระบบ และทำให้เกิดการกำจัดขยะอย่างถูกวิธีโดยผู้ผลิต ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ลดอันตรายที่จะเกิดต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงนำไปสู่การรีไซเคิล ซึ่งสามารถนำชิ้นส่วนต่างๆกลับมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตจนกระทั่งถึงการกำจัดที่ถูกต้อง ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. สำรวจและศึกษาข้อมูลพื้นฐานและวิเคราะห์ปัญหาโลจิสติกส์ย้อนกลับในการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมขนส่งกากของสียอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์
2. เสนอแนวทางในพัฒนาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics) ในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์
3. จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อให้ความรู้ในด้านการขนส่งในการกำจัดกากของสียอุตสาหกรรมโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นถึงการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการดำเนินกิจกรรมโลจิสตกส์ย้อนกลับในการนำกากของเสียอุตสาหกรรมนำไปยังเตาเผาปูนซีเมนต์ อันเริ่มตั้งแต่ การเก็บรวบรวม ระบบการขนส่ง จนกระทั่งถึงกระบวนการกำจัด

ข้อสมมติฐานของงานวิจัยมีดังนี้

1. กำหนดยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมมี 2 ประเภท คือ ยานพาหนะสำหรับขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมที่เป็นของแข็ง และยานพาหนะสำหรับขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมที่เป็นของเหลว

2. กำหนดให้ยานพาหนะแต่ละประเภทมีความสามารถในการขนส่งจำกัดโดยความจุของยานพาหนะแต่ละประเภท

3. กำหนดให้ความต้องการของแต่ละโนดความต้องการ มีขนาดไม่เกินความจุของยานพาหนะของแต่ละประเภท

4. กำหนดให้ปริมาณความต้องการรวมมีค่าไม่เกินกว่าความสามารถในการให้บริการของโรงปูนที่รับกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจในระบบที่สามารถหาคำตอบของปัญหา “การลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ”

2. สามารถนำความรู้และข้อมูลต่างๆ ทางด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับไปใช้แก่อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้

1.5. วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวการขนส่งจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานจากแบบสอบถามและโรงงานต้นแบบ
3. จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับโลจิสติกส์ย้อนกลับ
4. วิเคราะห์และ การสรุปผลการวิจัย
5. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เตาเผาปูนซีเมนต์เป็นแนวทางเลือกหนึ่งที่นับว่ามีความเหมาะสมในด้านสิ่งแวดล้อมในการนำกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวมาใช้ร่วมในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Waste Co-processing) ทั้งนี้ผลการวิจัยจากทางสถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยการสนับสนุนโครงการโดยปูนซีเมนต์นครหลวง ในปี พ.ศ. 2544 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจำนวนมากกว่า 3 ล้านตัน ซึ่งส่วนใหญ่ยังขาดการจัดการที่เป็นระบบ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้นการนำกากของเสียอุตสาหกรรมดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการผลิตช่วยในการแก้ไขปัญหาการจัดการของเสียอุตสาหกรรมของประเทศได้อย่างครบวงจร แต่เนื่องจากการนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมมาใช้เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นมีปัญหาของการกำจัด คือ เรื่องของการขนส่งขยะไปทำลาย ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ซึ่งค่าจ่ายในการขนส่งนั้นจะมีสัดส่วนที่สูง[2] ระบบที่จะช่วยในการขนย้ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว หรือถูกทิ้งจะใช้ระบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยหลักการของโลจิสติกส์ คือ การพยายามลดการนำวัสดุจากธรรมชาติมาใช้และการลดการจัดการขยะในพื้นที่ฝังกลบ[3] พยายามค้นหากระบวนการของระบบโลจิสติกส์ ในการจัดการในส่วนการไหลกลับของผลิตภัณฑ์จากจุดของผู้บริโภคกลับมายังจุดของผู้ผลิต เพื่อนำไปผ่านกระบวนการคัดแยก เพื่อทำการรีไซเคิลนำมาผลิตใหม่ หรือทำการกำจัดทิ้งต่อไป ในบทนี้จึงได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 เรื่อง ได้แก่ ระบบการขนส่งของเสียอันตรายและการจัดการของเสียอันตราย ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบโลจิสติกส์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับและทฤษฎีและโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ระบบการขนส่งของเสียอันตรายและการจัดการของเสียอันตราย

2.1.1. การขนส่งของเสียอันตราย

ปัจจุบันการขนส่งสารอันตรายและของเสียอันตรายภายในประเทศส่วนใหญ่เป็นการขนส่งทางบกโดยการใช้รถบรรทุกเป็นสำคัญ ในการเก็บรวบรวมของเสียอันตราย ณ แหล่งกำเนิดนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดและขนาดภาชนะรองรับสถานที่ตั้ง วิธีเก็บรวบรวม การตรวจสอบการรั่วไหล เป็นต้น ซึ่งการเก็บรวบรวมและขนส่งของเสียอันตรายจากแหล่งกำเนิดของเสียอันตรายจะถูกเก็บรวบรวมและขนไปบำบัดและกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย โดยพาหนะต้องบรรทุกของเสียอันตรายในตัวถังที่มีฝาปิดมิดชิด ทั้งนี้จะต้องมีสัญลักษณ์หรือคำเตือนให้รู้ว่าเป็นของเสียอันตราย และจะต้องควบคุมมิให้ตกหล่น รั่วไหลหรือระเหยระหว่างการขนส่ง ซึ่งในการจัดการให้เกิดประสิทธิภาพ มีการกำหนดมาตรฐานและเกณฑ์การปฏิบัติ (Standards and Codes of Practice) ในการเก็บรวบรวม การขนส่ง ระบบติดตามและกำกับการขนส่งของเสียอันตราย การบำบัด การใช้ประโยชน์ใหม่และการกำจัดที่รัดกุมและมีประสิทธิภาพ โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้อาศัยพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ออกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย พ.ศ.2547 ตามร่างระเบียบวิธีปฏิบัติ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษได้เสนอกรมโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อปี พ.ศ. 2545 ให้พิจารณาดำเนินการบังคับใช้ เพื่อให้การขนส่งของเสียอันตรายมีการควบคุมโดยมีใบกำกับการขนส่งในแต่ ละขั้นตอน (Manifest System) โดยระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย เป็นเอกสารที่ออกให้ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตราย ผู้ขนส่งของเสียอันตรายและผู้เก็บรวบรวมบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายเพื่อเป็นหลักฐานในการมอบหมายให้ขนส่งของเสียอันตรายที่อยู่ในความครอบครองของตนจากที่แห่งหนึ่งไปยังที่อีกแห่งหนึ่ง

ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายขนาดใหญ่เก็บของเสียอันตรายไว้ได้ไม่เกินเก้าสิบวัน นับแต่วันเริ่มมีไว้ในครอบครอง ส่วนของเสียอันตรายขนาดกลาง เก็บไว้ได้ ไม่เกินกว่าหนึ่งร้อยแปดสิบวัน นับแต่ เริ่มมี ไว้ในครอบครอง หากไม่สามารถดำเนินการตามระยะเวลาที่กำหนดได้ ให้แจ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรมและปฏิบัติตามคำแนะนำของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ในระหว่างมีของเสียอันตรายไว้ในครอบครอง ให้ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายจัดทำบัญชีระบุปริมาณ จำนวนภาชนะ ตลอดจนการวิเคราะห์ตรวจสอบรวมถึงวิธีบริหารจัดการของเสียอันตรายตามรายชื่อของเสียอันตรายที่อยู่ในความครอบครองของตนให้ เป็นปัจจุบันทุกสามสิบวัน และเมื่อจะทำการขนส่งของเสียอันตรายให้ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตราย จัดทำใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายตามที่กำหนด

ให้ผู้ขนส่งของเสียอันตรายตรวจสอบความถูกต้องรายละเอียดในใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายที่ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายจัดทำ และกรอกรายละเอียดเกี่ยวกับผู้ขนส่งของเสียอันตรายลงในใบกำกับการขนส่งของเสียอันตราย หากเห็นว่ารายละเอียดดังกล่าวถูกต้องตรงตามที่ระบุไว้ให้ลงนามในใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายทั้งชุด และให้ขนส่งของเสียอันตรายไปยังสถานที่รับกำจัดของเสียอันตรายตามที่ระบุไว้ในใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายให้เร็วที่สุดตามระยะเวลาที่กำหนด ถ้ามีอุบัติเหตุหรือเหตุฉุกเฉินหรือของเสียอันตรายรั่วไหลหรือเกิดการลุกไหม้ระหว่างการขนส่งก่อให้เกิดเหตุการณ์ตามระบุในประกาศกระทรวงฯ หากไม่สามารถระงับเหตุได้ให้ผู้ขนส่งของเสียอันตรายรายงานตามแบบกำกับการขนส่งตามกำหนดให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบภายในเจ็ดวันนับตั้งแต่วันเกิดเหตุการณ์ และให้ผู้ขนส่งของเสียอันตรายเก็บสำเนารายงานดังกล่าวไว้อย่างน้อยสามปี

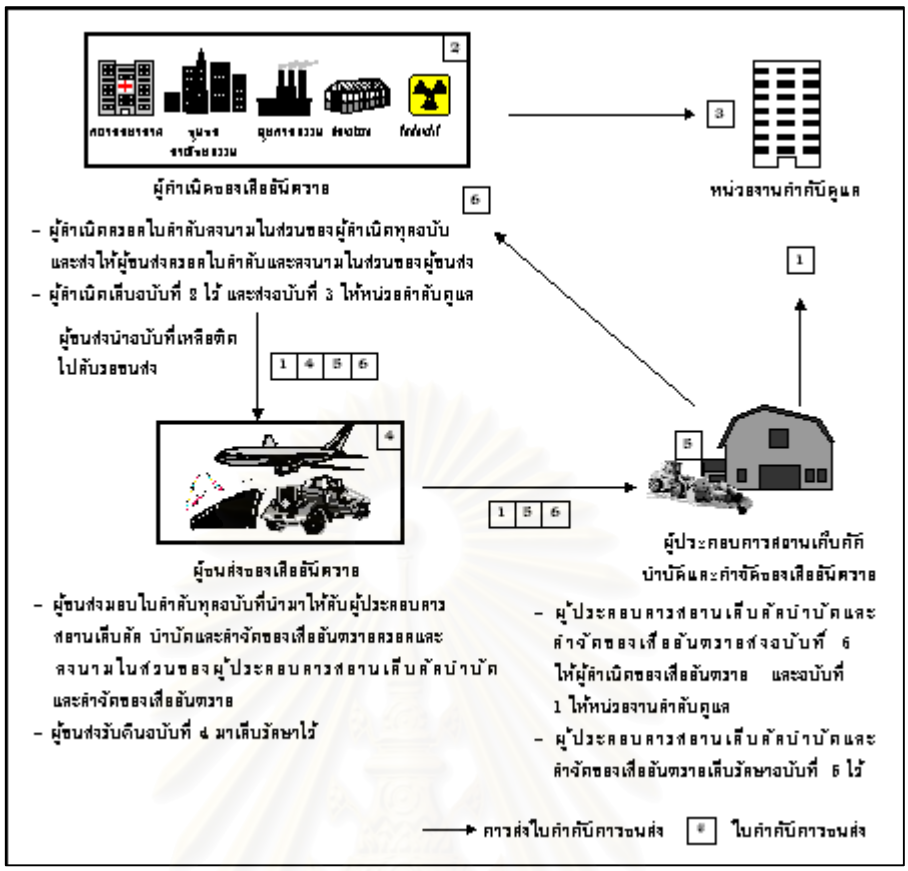
การรับมอบของเสียอันตราย ให้ผู้เก็บรวบรวมบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายดำเนินการตามขั้นตอนที่กำหนดในประกาศกระทรวงฯ

ภายหลังการขนส่ง ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายต้องส่งคู่ ฉบับตามกำหนดให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมภายในสิบห้าวันนับตั้งแต่วันส่งมอบของเสียอันตรายให้แก่ผู้ขนส่งของเสียอันตราย

ให้ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายและผู้เก็บรวบรวมบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายจัดทำรายงานประจำปี เพื่อรายงานสถานะของผู้เก็บรวบรวมบำบัดและกำจัดของเสียอันตราย ปริมาณและการจัดการของเสียอันตราย ที่รับมากำจัดในแต่ละปี ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบปีละหนึ่งครั้ง ภายในวันที่ 1 มีนาคมของทุกปีตามแบบกำกับการขนส่งตามที่กำหนดไว้

ให้ผู้ก่อกำเนิดของเสียอันตรายแจ้งให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบกรณีผู้เก็บรวบรวมบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายไม่ส่งคืนคู่ฉบับใบกำกับการขนส่งของเสียอันตรายตามที่กำหนดไว้ภายในสี่สิบห้าวันนับแต่วันส่งมอบของเสียอันตรายให้ผู้ขนส่งของเสียอันตราย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการดำเนินการตามระบบเอกสารกำกับการขนส่งของเสียอันตราย

ที่มา : รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2548

ตารางที่ 2.1 หน่วยงานของรัฐที่ทำหน้าที่กำกับดูแลการจัดการของเสียอันตรายที่รับผิดชอบตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงการกำจัดขั้นสุดท้าย

หน่วยงานกำกับดูแล	ประเภทกิจการที่รับผิดชอบ
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	โรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภทที่ก่อให้เกิดของเสียเคมีวัตถุตามบัญชี ข. ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2543 และสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และผู้ประกอบการสถานเก็บกัก บำบัด และกำจัดของเสียอันตราย
กระทรวงสาธารณสุข หรือหน่วยงานอื่นที่กำกับดูแลสถานพยาบาล	สถานพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาล คลินิก สถานพยาบาลสัตว์ และห้องปฏิบัติการเชื้ออันตรายที่ก่อให้เกิดมูลฝอยติดเชื้อ
สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม	แหล่งกำเนิดทุกประเภท ผู้ขนส่ง และผู้ประกอบการสถานเก็บกัก บำบัดและกำจัดกากกัมมันตรังสี ได้แก่ วัสดุนิวเคลียร์พิเศษ วัสดุพลอยได้ และวัสดุต้นกำลัง ซึ่งกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504

ตารางที่ 2.1 หน่วยงานของรัฐที่ทำหน้าที่กำกับดูแลการจัดการของเสียอันตรายที่รับผิดชอบตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงการกำจัดขั้นสุดท้าย (ต่อ)

หน่วยงานกำกับดูแล	ประเภทกิจการที่รับผิดชอบ
กรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม	ผู้ประกอบการขนส่งของเสียอันตรายทางบกโดยใช้รถเป็นพาหนะ
กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม	ผู้ประกอบการขนส่งของเสียอันตรายทางน้ำโดยใช้เรือหรือแพเป็นพาหนะ
การรถไฟแห่งประเทศไทย	ผู้ประกอบการขนส่งของเสียอันตรายทางบกโดยใช้รถไฟเป็นพาหนะ
กรมการบินพาณิชย์ การท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย	
ผู้ประกอบการขนส่งของเสียอันตรายทางอากาศโดยใช้อากาศยาน	

2.1.2 การกำจัดของเสียอันตราย

ในปัจจุบันการกำจัดของเสียอันตรายอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลยังดำเนินการไม่ทันกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งในด้านปริมาณของเสียอันตรายที่มากเกินความสามารถในการกำจัดและความหลากหลายของชนิดของเสียอันตรายที่ทำให้ยากในการกำจัด เนื่องจากต้องอาศัยทั้งเทคโนโลยีและการลงทุนที่สูง กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนมีส่วนในการจัดการของเสียอันตรายได้มากขึ้น โดยได้อนุญาตโรงงานให้ประกอบกิจการรับบริการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน นับถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2545 ได้มีโรงงานปรับปรุงคุณภาพของเสียรวมที่สามารถให้บริการกำจัดของเสียอันตราย จนถึงพ.ศ. 2548 มีภาคเอกชนลงทุนดำเนินการที่ได้รับอนุญาตแล้วประมาณ 32 แห่งรวมความสามารถในการกำจัดของเสียได้ประมาณ 606,000 ตันต่อปี ดังแสดงภาคผนวก ค ดังนั้นหากเปรียบเทียบกับปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดจากอุตสาหกรรมในประเทศทั้งหมดตามข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษแล้ว ตารางที่ 2.2 อาจกล่าวได้ว่าหากโรงกำจัดของเสียรับบริการเต็มความสามารถแล้วจะยังคงมีของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรมที่ยังไม่ได้รับการกำจัดทำลายใน พ.ศ. 2548 อีกประมาณ 8 แสนตัน หรือร้อยละ 51 ซึ่งในปริมาณนี้โรงงานอุตสาหกรรมอาจกักเก็บไว้หรือใช้รีไซเคิลหรือลักลอบแอบทิ้งก็ได้ เช่น กรณีการลักลอบทิ้งของเสียอันตรายที่ ตำบลกลางดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และการลักลอบทิ้งของเสียอันตรายบริเวณนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบังจนก่อให้เกิดการปนเปื้อนดินและน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นโรงงานกำจัดของเสียที่มีอยู่ในขณะนี้ก็อาจจะไม่สามารถรองรับของเสียอันตรายได้ทุกประเภท การกำจัดของเสียอันตรายแต่ละประเภท

จะใช้วิธีที่เหมาะสมแตกต่างกันซึ่งมีอยู่ 3 วิธีหลัก คือการฝังกลบนิรภัย (secured landfill) การเผา (incineration) และการใช้วิธีทางเคมี (chemical treatment) ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการกำจัดแบบฝังกลบนิรภัย ทั้งที่มีของเสียอันตรายบางประเภทสามารถกำจัดได้โดยวิธีการเผาที่มีประสิทธิภาพ ขณะนี้มีเตาเผาบางแห่งสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,400 องศาเซลเซียส ในอนาคตนั้น หลุมฝังกลบนิรภัยอาจมีพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการกำจัดของเสียอันตรายได้การกำจัดโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง จะมีความเป็นไปได้สูงขึ้นอย่างไรก็ดีในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมได้มีการนำกากของเสียอันตรายกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่มากขึ้น เช่น การนำตะกั่วจากแบตเตอรี่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยมีแรงจูงใจด้านภาษีแก่ผู้ผลิต ทำให้มีการรวบรวมเปลือกแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วมาจัดการให้ถูกต้องได้มากขึ้น เป็นต้น ในปัจจุบันสามารถจำแนกประเภทโรงงานที่ให้บริการกำจัดของเสียอันตรายออกได้เป็น 2 หมวด คือ หมวดที่ 1 โรงงานที่รับกำจัดของเสียด้วยวิธีเผาบำบัด ปรับเสถียรและฝังกลบ หมวดที่ 2 โรงงานคัดแยกและรีไซเคิลของเสียแสดงรายชื่อรายชื่อโรงงานที่ให้บริการกำจัดของเสียอันตรายใน ภาคผนวก ค

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของเสียอันตรายที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตามประเภทและพื้นที่ พ.ศ. 2547

พื้นที่	ของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม (ล้านตัน/ปี)	ของเสียอันตรายจากชุมชน (ล้านตัน/ปี)	รวม (ล้านตัน/ปี)	ร้อยละ
กรุงเทพและปริมณฑล	0.93	0.136	1.066	59.00
ภาคกลาง	0.099	0.066	0.165	9.10
ภาคตะวันออก	0.117	0.028	0.145	8.00
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.046	0.081	0.129	7.20
ภาคใต้	0.096	0.043	0.139	7.70
ภาคเหนือ	0.115	0.049	0.164	9.0
รวมทั้งประเทศ	1.405	0.403	1.808	100.00

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ 2548

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบโลจิสติกส์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ

สำหรับการจัดการการขนส่งของเสียอันตรายอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพมีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นอุปสรรคต่อการจัดการการขนส่งให้มีประสิทธิภาพอยู่หลายประการ กล่าวคือ มีกลุ่มลูกค้าที่เป็นอุตสาหกรรมหลากหลาย ซึ่งลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณที่ต้องการในการขนส่ง ข้อจำกัดเกี่ยวกับชนิดของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงต้นทุนของการขนส่ง ซึ่งกิจกรรมการจัดการขนส่งถือเป็นหัวใจสำคัญของโลจิสติกส์ ดังนั้นวิธีการที่มีบทบาทสำคัญซึ่งนำไปสู่การขนส่งที่มีประสิทธิภาพ คือการจัดการขนส่ง

อย่างเป็นระบบ โดยระบบที่จะช่วยในการขนย้ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วหรือถูกทิ้งจะใช้ระบบของโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งโดยหลักการของโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นการจัดการการไหลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วหรือถูกทิ้ง แต่ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้นจากผู้บริโภคย้อนกลับไปยังผู้ผลิตหรือโรงงานกำจัดได้อย่างเป็นระบบ ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินธุรกิจ โดยมีรายละเอียดของระบบโลจิสติกส์และระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ดังนี้

2.2.1 ระบบโลจิสติกส์

คำว่าโลจิสติกส์ ได้มีหลายองค์กรให้ความหมายไว้แตกต่างกัน ดังนี้

โลจิสติกส์ คือ กระบวนการวางแผนปฏิบัติการและควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิที่ผลของการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บวัสดุสินค้าระหว่างผลิต สินค้าสำเร็จรูป และสารสนเทศที่เกี่ยวข้องจากจุดกำเนิดถึงจุดการบริโภค เพื่อเป้าหมายในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า[4]

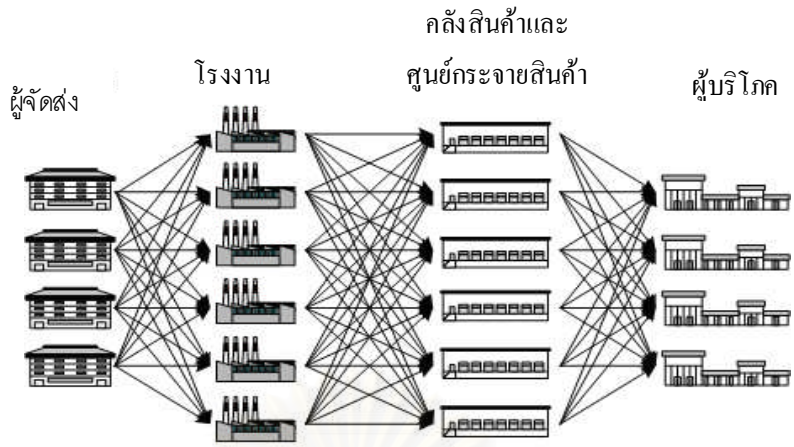
โลจิสติกส์ คือ เวลาที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของทรัพยากรหรือกลยุทธ์การจัดการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ซึ่งหมายถึงการจัดลำดับของเหตุการณ์ที่มุ่งสู่ความพอใจของลูกค้า ได้แก่ การจัดหา การผลิต การกระจายสินค้า การกำจัดของเสีย รวมทั้งการขนส่ง การจัดเก็บและเทคโนโลยีสารสนเทศ[5]

โลจิสติกส์ คือ ประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายสินค้าจากจุดกำเนิด จนถึงลูกค้า และยังรวมถึงการเคลื่อนย้ายจากแหล่งวัตถุดิบสู่สายการผลิต กิจกรรมเหล่านี้ได้รวมถึงการขนส่ง การคลังสินค้า การเคลื่อนย้ายพัสดุ การบรรจุภัณฑ์ การควบคุม การพยากรณ์ทางการตลาดและการบริการลูกค้า[6]

โดยสรุปแล้วโลจิสติกส์ไม่ได้หมายถึงการขนส่งเพียงเดียวเท่านั้น แต่ได้รวมเอากิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ จากแหล่งกำเนิดส่งไปยังผู้บริโภค ซึ่งค่าใช้จ่ายก็จะเกิดจากการดำเนินงานกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งในแต่ละบริษัทก็จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับรูปแบบของธุรกิจและผลิตภัณฑ์

โดยทั่วไประบบโลจิสติกส์ จะมีองค์ประกอบ 4 ส่วน (รูปที่ 2.2) ดังนี้

1. ผู้จัดส่งวัตถุดิบ (Suppliers)
2. โรงงานหรือสถานที่ผลิตสินค้า (Plants)
3. คลังสินค้า (Warehouses)
4. ผู้บริโภค (Customer)



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบโลจิสติกส์
ที่มา: Pongcharoen et al. (2005)

ซึ่งในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเสมอ ค่าใช้จ่ายการขนส่งถือเป็นหนึ่งในต้นทุนที่ใหญ่ แต่สามารถควบคุมได้ ในการศึกษาข้อมูลของบริษัทต่างๆ ในสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1996 ได้แสดงให้เห็นว่ากว่า 50 % ของค่าใช้จ่ายรวมของโลจิสติกส์ มาจากค่าใช้จ่ายของการขนส่งและกิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้อง[7] จึงเห็นได้ว่าระบบโลจิสติกส์ได้มีความสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจเป็นอย่างยิ่ง

2.2.2. **ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ** (Reverse Logistics)

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ พบว่ามีนักวิชาการหลายท่านได้นิยามความหมายที่แตกต่างกันออกไป เช่น ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเป็นกระบวนการย้อนกลับของระบบโลจิสติกส์[8] ตามปกติแล้ว ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics) นั้นเป็นกระบวนการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์ แต่ในการให้ความหมายหรือนิยามนั้นขึ้นอยู่กับการตีความของบริษัทหรืออุตสาหกรรมนั้นๆ ตามมุมมองของผู้ค้าปลีก (Retailer) ถือว่าเป็นกระบวนการส่งผลิตภัณฑ์ย้อนกลับจากลูกค้ากลับไปยังผู้ส่งสินค้า (Vendor) ส่วนมุมมองของผู้ผลิต (Manufacturers) นั้นมองว่าเป็นการรับสินค้าที่เสียหาย หรือตู้สินค้า (Reusable Containers) จากผู้ใช้[9] และได้กำหนดนิยามของระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ[10] (Reverse Logistics) ไว้ดังนี้

“กระบวนการวางแผน, ดำเนินงาน และควบคุมประสิทธิภาพ ของค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ, สินค้าคงคลังระหว่างการผลิต, ผลิตภัณฑ์สำเร็จ โดยสัมพันธ์กับสารสนเทศจากผู้บริโภคย้อนกลับไปยังจุดเริ่มต้นเพื่อสร้างมูลค้าเพิ่ม หรือทำลายทิ้ง”

โดยทั่วไปกิจกรรมในโลจิสติกส์ย้อนกลับ มีดังนี้

1. การเก็บรวบรวม (Collection) หมายถึงจุดที่เก็บรวบรวมผลิตภัณฑ์ที่ใช้หรือถูกทิ้งจากผู้บริโภค

2. การตรวจสอบและคัดแยก (Combined Inspection / selection / sorting) เป็นจุดที่ทำการตรวจสอบและคัดเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อแยกประเภท และรวมถึงการเรียงลำดับชิ้นส่วนตามคุณภาพและกรรมวิธีการซ่อมแซมฟื้นฟู ก่อนส่งไปยังโรงงานเพื่อดำเนินงานต่อไป

3. การนำมาผ่านกระบวนการใหม่หรือการเก็บกลับคืนโดยตรง

(Re-processing or Direct recovery)

การนำมาผ่านกระบวนการใหม่(Re-processing) ประกอบด้วย

- การซ่อมแซม (Repair) หมายถึง การนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วกลับมาซ่อมแซม
- การมาปรับปรุงใหม่ (Refurbishing) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์กลับมาอยู่ในสภาพที่ดีขึ้น
- การนำมาผลิตใหม่ (Remanufacturing/ Retrievals) เมื่อถอดแยกชิ้นส่วนออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว มีบางชิ้นส่วนสามารถนำมาใช้เพื่อ ประกอบเป็นผลิตภัณฑ์แบบใหม่ หรือแบบดั้งเดิม
- การรีไซเคิล (Recycling) ในกรณีของการรีไซเคิล คือ กระบวนการในการนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว กลับมาใช้อีกครั้ง เช่น กระดาษ เศษไม้ แก้ว
- การเผาทำลาย (Incineration) การเผาผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วหรือถูกทิ้ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานเพื่อนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในระบบต่อไป

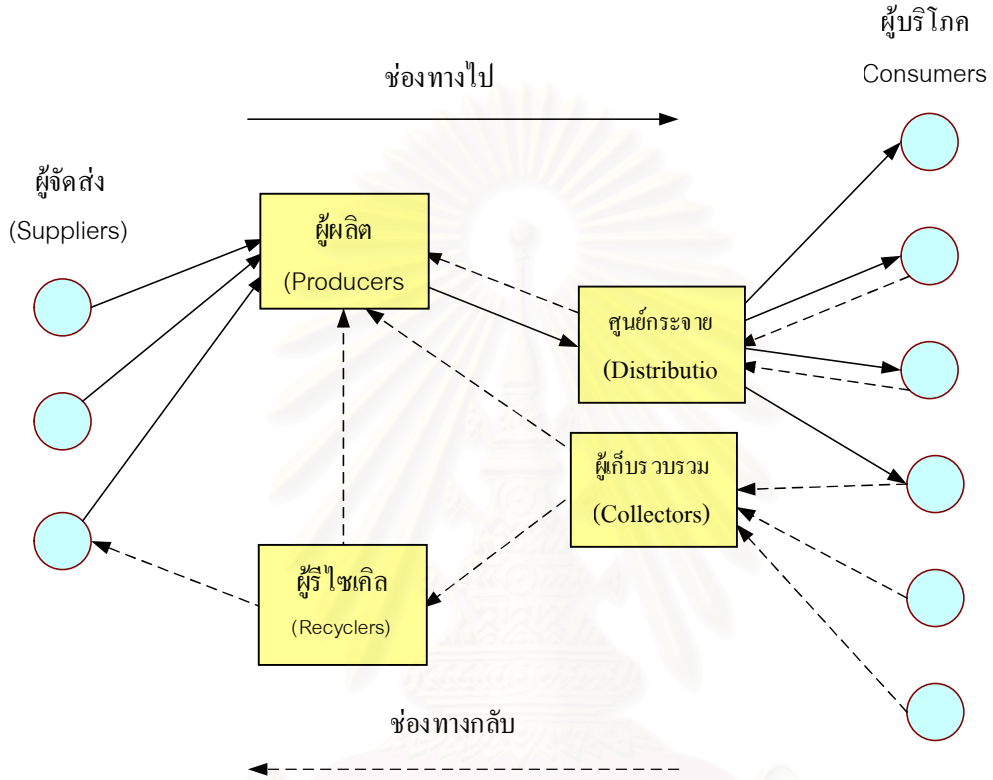
การเก็บกลับคืนโดยตรง (Direct recovery) ประกอบด้วย

- การนำกลับมาใช้ใหม่ (Re-use) ในบางครั้งผู้บริโภค นำส่งผลิตภัณฑ์กลับคืน โดยที่ผลิตภัณฑ์นั้นยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่ต้องซ่อมแซม
- การนำกลับมาขายใหม่ (Re-sale) สินค้าที่อยู่ในสภาพที่ดี หรือยังมีคุณภาพตามข้อกำหนด สามารถนำกลับมาขายได้อีกครั้งโดยลดราคาลงหรือขายตลาดระดับที่ต่ำลงไป

4. การนำส่งคืนผลิตภัณฑ์ (Redistribution) คือ กระบวนการของการนำส่งกลับคืนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการปรับปรุงซ่อมแซม ไปยังผู้บริโภคใหม่อีกครั้ง

จากกิจกรรมในโลจิสติกส์ย้อนกลับโดยทั่วๆไปนั้น สามารถเขียนเป็นโครงสร้างการกระจายแบบย้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยการไหลของผลิตภัณฑ์ไปจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค และการไหลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วจากผู้บริโภคไปยังผู้ผลิต โดยผ่านกระบวนการเก็บรวบรวมและทำการรีไซเคิล ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในกระบวนการนำกลับมาใช้ซ้ำนั้นจะมีการนำผลิตภัณฑ์

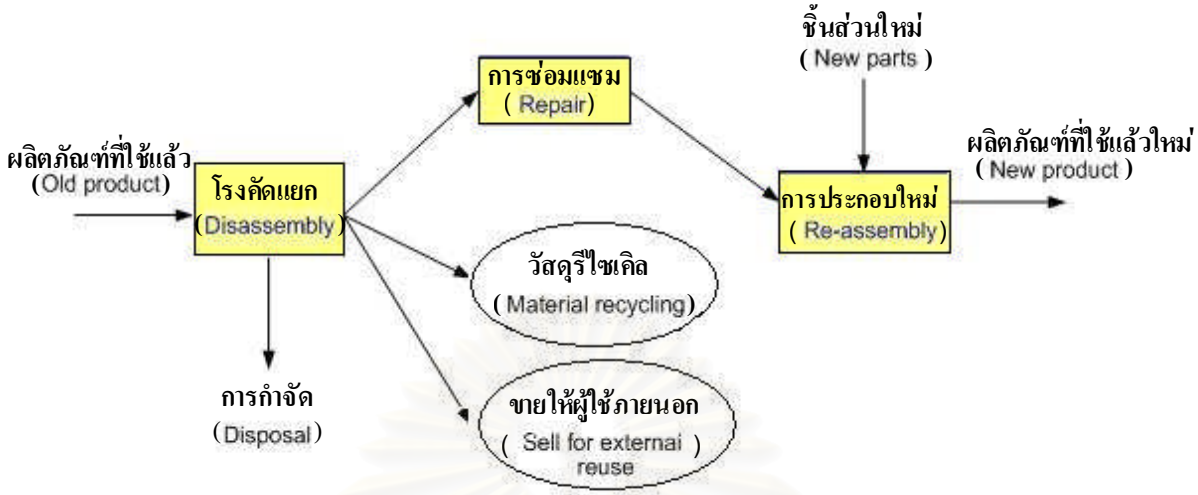
ที่ใช้แล้วนำมาแยกชิ้นส่วนที่ยังใช้ได้นำมาทำการซ่อมแซมแล้วส่งต่อไปยังผู้ผลิตเพื่อทำการประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือนำวัสดุไปทำการรีไซเคิลเพื่อกระบวนการทำมาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือนำวัสดุที่ทำการคัดแยกขายต่อไปยังผู้ผลิตภายนอก และทำการกำจัดทิ้งถ้าผลิตภัณฑ์นั้นไม่สามารถทำการนำกลับมาใช้ใหม่ได้แล้วซึ่งได้ทำการแสดงเป็นโครงข่ายดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 โครงสร้างการกระจายแบบย้อนกลับ (Framework reverse distribution)

ที่มา: Moritz Fleschamnn (1997)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 โครงข่ายการวางแผนผลิตภัณฑ์เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ

(Framework production planning with reuse)

ที่มา: Moritz Fleschamnn (1997)

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง ซึ่งปัญหาในด้านการจัดการโลจิสต์ย้อนกลับ ได้มีผู้วิจัยทำการวิจัยที่เกี่ยวกับระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับโดยส่วนมากนั้น จะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการค้นหาระบบเพื่อใช้ในการวางแผนที่เหมาะสม ซึ่งในการศึกษานั้นจะมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอโมเดลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการไหลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว เพื่อให้เกิดการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วที่เหมาะสมและเกิดต้นทุนรวมน้อยที่สุด ทั้งนี้จากการศึกษาได้ข้อสรุปแนวทางในแต่ละผลงานวิจัยตามลำดับ ดังนี้

Li-Hsing Shih (2000)[11] ได้ทำการศึกษา Reverse logistic system Planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan งานวิจัยนี้ใช้ Mixed integer programming model ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน และแสดงให้เห็นถึงการไหลของ items ในโครงข่ายโลจิสติกส์ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด เป้าหมายอยู่ที่ทำกำไรในการดำเนินกิจกรรมโลจิสติกส์ย้อนกลับให้มากที่สุด (Maximize profit) หรือให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมให้น้อยที่สุด

(Minimize total cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายต่างๆประกอบไปด้วย 1. ค่าขนส่ง 2. ค่าการดำเนินงาน 3. ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับการเปิดโรงงานใหม่ 4. ค่าการจัดการขั้นสุดท้าย 5. ค่าใช้จ่ายพื้นที่ฝังกลบ โดยกำไรที่ได้เกิดจากการขายวัสดุที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ จากการพิจารณาหลายๆสถานการณ์ของอัตราการเก็บกลับคืน และเงื่อนไขในการจัดการ ทำให้ทราบจำนวนที่ตั้งของ Storage Site (SS) และ Disassemble Recycle Plants (DRP) แตกต่างกันไปตามอัตราการเก็บกลับคืน (Take-Back rate) ซึ่งไม่จำเป็นที่ต้องเพิ่มจำนวน Disassemble Recycle Plants (DRP) สำหรับคอมพิวเตอร์ที่ทิ้งแล้ว อาจต้องมีการเพิ่ม Disassemble Recycle Plants (DRP) และเมื่อมีอัตราการเก็บกลับคืนเครื่องใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 20 % จำนวนที่เหมาะสมของ Storage Site (SS) ต้องไม่น้อยกว่า 17 แห่ง และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวม (Total cost) ลงได้อีกโดยการใช้ Storage site ร่วมกัน

Klavdij Logo˘zar (2006)[12] ได้ทำการศึกษา Incorporation of reverse logistics model into in-plant recycling process: A case of aluminium industry พบว่าโมเดลโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่หลักการของโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งจะมีการพัฒนาและนำเสนอเพื่อลดความต้องการการสั่งซื้ออะลูมิเนียม Scap ระหว่างโรงงานผู้ผลิตอะลูมิเนียมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยใช้โมเดลเชิงเส้นในการคำนวณ ต้นทุนในการขนส่ง และหาเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่งของการขนส่งภายในโรงงานซึ่งมีโมเดลการขนส่ง 2 โมเดลในการสั่งซื้อในแต่ละรายการซึ่งใช้การพิจารณาในกรณีของการรีไซเคิลอะลูมิเนียมภายในโรงงานเพียงอย่างเดียว โดยการเก็บรวบรวมวัสดุอะลูมิเนียมนั้นการขนส่งจะเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณา พารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการประการพิจารณา คือ ต้นทุนค่าขนส่งที่คงที่ และ ต้นทุนค่าขนส่งที่แปรผัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะทาง ปริมาณการขนส่ง เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง และต้นทุนในการจัดการอื่นๆ ซึ่งในการพัฒนาโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ทางด้านสิ่งแวดล้อมและทางด้านเศรษฐศาสตร์

Dennis W. Krumwiede และ Chwen Sheu (2002)[13] ได้ทำการศึกษา A model for reverse logistics entry by third-party provider พบว่าในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆได้มีการใช้ระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ (Reverse Logistics, RL) เพิ่มขึ้น ซึ่งโลจิสติกส์ย้อนกลับกำลังมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจในสหรัฐอเมริกาเป็นอย่างยิ่ง หลายบริษัทประสบปัญหาการส่งกลับผลิตภัณฑ์ โดยที่ทางบริษัทก็ไม่ได้มีนโยบายรองรับปัญหานี้ ตลอดจนขาดแคลนหน่วยงานที่รับผิดชอบและยังเป็นปัญหาด้านการลงทุนอีกด้วย ดังนี้การจ้าง (Third-party providers) เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหานับว่าเป็นทางออกที่ดีอีกทาง แต่อย่างไรก็ดี ตามหลายๆบริษัทก็ยังมีความไม่แน่ใจที่จะใช้ระบบนี้ ทั้งนี้เป็นเพราะขาดความรู้ความเข้าใจในระบบโลจิสติกส์แบบย้อนกลับ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจในส่วนของภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ โดยรูปแบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการตัดสินใจ (A reverse logistics decision-making model) ที่ได้จากงานนี้ สามารถพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางและศึกษาความเป็นไปได้ ให้แก่ผู้ที่สนใจนำระบบนี้ไปใช้งาน โดยเฉพาะเมื่อต้องการนำบริษัทผู้ให้บริการการขนส่ง (Third-party providers) เข้ามาให้บริการ เช่น บริษัทขนส่งต่างๆ ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบ วางแผนระบบขนส่งและกระบวนต่างๆที่เกี่ยวข้อง ทำให้องค์กรได้มีการร่วมมือกับกลุ่มธุรกิจผู้ให้บริการด้านการขนส่ง สามารถเข้าถึงลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ตัดสินใจได้ว่าควรจะนำระบบนี้มาใช้หรือไม่ โดยประเมินค่าจากค่าใช้จ่าย ซึ่งบริษัทควรได้รับข้อมูลที่เพียงพอเสียก่อน ซึ่ง Model นี้สามารถประเมินเบื้องต้นได้ และสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจเชิงลึกต่อไปได้อีก รูปแบบนำเสนอที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้รับการทวนสอบและตรวจสอบ(Validate) โดย บริษัทยักษ์ใหญ่ด้านการขนส่งในอเมริกา

จากการศึกษาผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องได้ข้อสรุปว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ที่นำเสนอในแต่ละงานวิจัยนั้น จะเหมาะสำหรับวางแผนระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับในแต่ละกรณีเท่านั้น ซึ่งเป็นไปตามลักษณะตามธรรมชาติของวัสดุและกิจกรรมนั้น ซึ่งจะทำให้มีผลทำให้การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น จะมีข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แตกต่างกัน และ พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณในแบบจำลองทางคริตศาสตร์แตกต่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการจัดแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับเครือข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อทำการขนส่งกากอุตสาหกรรมเพื่อนำไปกำจัดโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์ซึ่งระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมให้น้อยที่สุด (Minimize total cost) โดยโมเดลที่นำเสนอจะสามารถแก้สมการหาโครงข่ายการไหลของกากอุตสาหกรรมดังกล่าวที่เหมาะสม ซึ่งทำการกำหนดตัวแปรไว้สองส่วน คือ พารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจ เพื่อประกอบการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งรายละเอียดในบทที่ 3

2.4 ทฤษฎีและโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหา

2.4.1 โปรแกรมเชิงเส้นตรง(Linear programming (LP))

ในปีค.ศ. 1947 โดย จอร์ช บี แดนซิก (Grorge B Dantzig) มาร์แชล วูด (Marshall Wood) และเพื่อนร่วมงานในกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาได้ใช้วิธีคณิตศาสตร์ และเทคนิคที่เกี่ยวข้องมาแก้ปัญหาทางการวางแผนโครงงานในกองทัพ โดยเริ่มจัดรูปองค์กรทั้งหมดให้มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นลักษณะเชิงเส้นตรง และใช้วิธีทางคณิตศาสตร์แก้ปัญหานั้นๆ

ผลงานที่ปรากฏได้รับความสำเร็จอย่างงดงามทำให้เกิดวิธีที่เรียกว่า ซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาทางโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่มีประสิทธิภาพมาก ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันในหลายๆวงการในการนำเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นตรงไปใช้ได้ประโยชน์อย่างมาก เช่น อุตสาหกรรมถ่านหิน เหล็กกล้า กระดาษ น้ำมัน เป็นต้น

โมเดลของการขนส่งนั้น มีพื้นฐานมาจากโปรแกรมเชิงเส้นตรง ซึ่งทำให้สามารถแก้ปัญหาโดยใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ในธุรกิจการขนส่งได้ใช้เทคนิคกล่าวเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และใช้สำหรับการจัดสรร บุคคล วัตถุดิบ ให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นตรงนี้มีบทบาทต่อส่วนต่างๆและสามารถประยุกต์ไปใช้ในงานอื่นๆที่มีลักษณะปัญหาที่ต้องการหาแนวทางที่ดีที่สุดให้เกิดประโยชน์อย่างมากมาย

<u>โครงสร้างของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นตรง</u>

ขั้นตอนของโปรแกรมเชิงเส้นตรง ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรงประกอบด้วย

ก. สมการเป้าหมาย (Objective)

ข. ข้อจำกัด (Constraints)

ค. ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่า หรือ เท่ากับศูนย์ (Non negativity restriction)

ดังนั้นโครงสร้างของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรงมีลักษณะดังนี้ ถ้าต้องการกำไรสูงสุด (Maximization) หรือ ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Minimization) สมการเป้าหมาย (Z) ดังนี้

$$Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \ldots + c_jX_j + \ldots + c_nX_n$$

<u>ภายใต้ข้อจำกัด</u> (Subject to constraints)

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \ldots + a1nXn \leq , = , \geq b_1$$

.

.

$$a_{k1}X_1 + a_{k2}X_2 + \ldots + a_{kn}X_n \leq , = , \geq b_k$$

.

.

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \ldots + a_{mn}X_n \leq , = , \geq b_m$$

และอยู่ภายใต้เงื่อนไข Non-negativity restrictions

$$X_j \geq 0 , j = 1,2,3,\ldots, n$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาผลลัพธ์ของรูปแบบแทนระบบของปัญหา (model Solution)

เมื่อสามารถจัดปัญหารูปแบบของโปรแกรมเชิงเส้นตรง สามารถหาผลลัพธ์จากรูปแบบแทนระบบด้วยวิธีการดังกล่าวต่างๆ ดังนี้

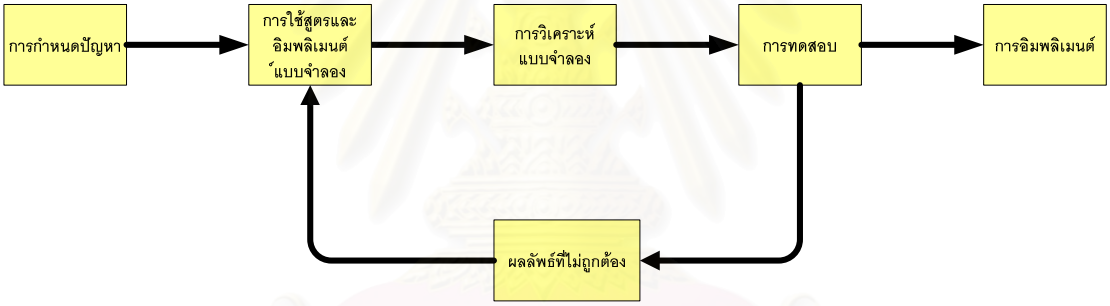
ก. ในกรณีที่เป็นปัญหาที่มีตัวแปรเป็น 2 ตัว

1. วิธีกำจัดขอบข่ายของคำตอบ (direct elimination method)
2. วิธีอนุมานทางคณิตศาสตร์ (mathematical deduction method)
3. วิธีกราฟ (graphical method)

ข. ในกรณีที่เป็นปัญหามีตัวแปรมากกว่า 2 ตัว

1. วิธีพีชคณิตทั่วๆไป (general algebraic method)
2. วิธี Simplex method

โดยกระบวนการแก้ปัญหาสามารถแสดงแผนภาพของกระบวนการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองได้ ดังรูปที่ 2.5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงกระบวนการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลอง

2.4.2 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาคำตอบ

โดยทั่วไปเมื่อเกิดปัญหาขึ้น มนุษย์พยายามสร้างรูปแบบสมการ หรือแบบจำลองต่างที่แสดงถึงปัญหาเพื่อนำมาศึกษาหาวิธีแก้ปัญหา ในบางครั้งเมื่อมีปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้น จนทำให้วิธีทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้ในการแกปัญหาได้ หรือใช้เวลานานในการแก้ปัญหา จึงต้องมีการคิดค้นแนวทางอื่นในการแก้ปัญหาที่ดีที่เหมาะสมที่สุด ทำให้มีการพัฒนาเทคนิคโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถแก้ปัญหาหาคำตอบที่ดีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแก้ปัญหาที่ใช้กันอย่างแพร่หลายหลายโปรแกรม ดังนี้

-โปรแกรม LINGO

โปรแกรมแบบจำลอง LINGO เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการตัดสินใจทางด้านธุรกิจ เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งปัญหาที่เป็น การโปรแกรมเชิงเส้น การโปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง และโปรแกรมจำนวนเต็ม โดยโปรแกรมนี้มีวิธีการสร้างแบบจำลอง 2 วิธี คือ การสร้างแบบจำลองด้วยภาษาแบบจำลอง LINGO (LINGO Modeling Language) และการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการทางพีชคณิตพื้นฐาน (Stand Algebraic Approach)

-โปรแกรม LINDO

โปรแกรมแบบจำลอง LINDO เป็นโปรแกรมแบบจำลองที่มีลักษณะการทำงาน และมีรูปลักษณ์ของหน้าต่างการทำงานที่คล้ายโปรแกรม LINGO เป็นอย่างมาก สามารถแก้ไขปัญหาที่มีลักษณะที่ต้องการผลลัพธ์ที่ดีที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) การโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงเส้น (Integer Linear Programming) การโปรแกรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Programming) และการโปรแกรมเป้าหมาย (Preemptive Goal Programming) เป็นต้น

-โปรแกรม Suite Solver

โปรแกรม Suite Solver เป็นการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นในโปรแกรมในกระดาษคำนวณ Microsoft Excel โดยโปรแกรมกระดาษคำนวณนี้ จะมีคำสั่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาเชิงเส้น (และหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด) โดยเฉพาะคือ คำสั่ง “ตัวแก้ปัญหา (Solver)” ด้วยการ Implement แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นลงบนกระดาษคำนวณ

-โปรแกรม What’s Best

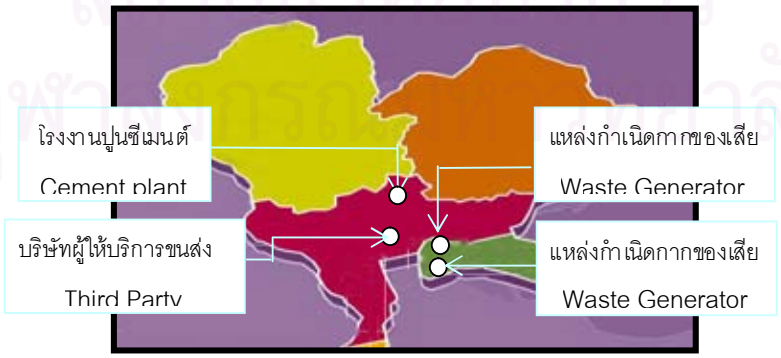
โปรแกรม What’s Best เป็นการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นในโปรแกรมในกระดาษคำนวณ Microsoft Excel มีลัษณะเหมือนกับ โปแกรม Suite Solver โดยโปรแกรมกระดาษคำนวณนี้ จะมีคำสั่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาเชิงเส้น โดยจะมีเมนูคำสั่งที่แยกออกมาเฉพาะด้วยการ Implement แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นลงบนกระดาษคำนวณ

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นศึกษาข้อมูลพื้นฐานของการกำจัดขยะโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์เป็นต้นแบบในการศึกษา เพื่อทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยใช้ Linear programming model ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน และแสดงให้เห็นถึงการไหลของกากของเสียดังกล่าวในโครงข่ายโลจิสติกส์ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ในบทนี้จึงได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 เรื่อง ได้แก่ ลักษณะงานทั่วไปของต้นแบบ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา วิธีการและการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา

3.1 ลักษณะงานทั่วไปของบริษัทที่ทำการศึกษา

ลักษณะการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม (waste Generator) ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่มีที่ตั้งบริเวณพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมในจังหวัดชลบุรีและจังหวัดระยองเป็นจุดเริ่มต้นของการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อนำไปกำจัดที่เตาเผาปูนซีเมนต์นั้นจะมีการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง ปริมาณ 60 % ของกากของเสียทั้งหมดที่ทำการขนส่ง และมีการขนส่งกากของเสียจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรมจังหวัดชลบุรี ปริมาณ 40 % ของกากของเสียทั้งหมดที่ทำการขนส่ง ซึ่งกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งนั้นจะแบ่งประเภทของเสียที่ทำการขนส่งเป็น 2 ประเภท คือ ของแข็ง (Solid) ได้แก่ ยางรถยนต์ พลาสติกและผ้าปนเปื้อน และกากสีและตะกอนสี เป็นต้น ของเหลว (Liquid) ได้แก่ น้ำมันใช้แล้วหรือวัสดุปนเปื้อนน้ำมัน น้ำหล่อเย็น น้ำเสีย น้ำจากกระบวนการทำความสะอาด และตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น ซึ่งได้มีการจัดจ้างบริษัทขนส่งในการขนส่งจำนวน 3 บริษัท และโรงปูนซีเมนต์ที่ให้บริการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมจำนวน 3 โรง โดยแสดงตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งบริษัทขนส่ง ตำแหน่งแหล่งกำเนิดกากของเสีย และโรงปูนซีเมนต์ในกรณีศึกษา

3.2 การให้บริการการจัดการกากอุตสาหกรรมของบริษัทต้นที่ทำการศึกษา

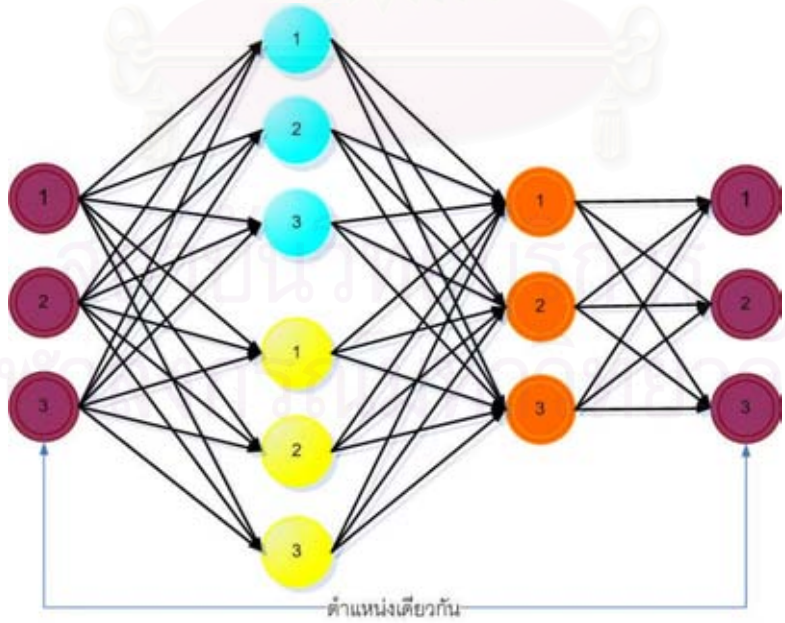
การให้บริการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 3 กระบวนการ ได้แก่ การให้คำปรึกษา การวิเคราะห์กากอุตสาหกรรมและการประเมินผล และการเตรียมกากและการกำจัดแบบกระบวนการร่วม (Co-processing)

1. การให้คำปรึกษา

ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการจัดการกากอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพและให้ประโยชน์สูงสุดกับลูกค้าโดยจะต้องก่อให้เกิดผลกระทบที่น้อยที่สุดต่อสิ่งแวดล้อม และปฏิบัติตามข้อกำหนดของภาครัฐอย่างถูกต้อง

2. การวิเคราะห์กากอุตสาหกรรมและการประเมินผล

การวิเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากอุตสาหกรรมแต่ละชนิด โดยเราจะพิจารณาถึงมาตรฐานความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อมที่กำหนดไว้รวมถึงความเหมาะสมของการนำไปใช้ร่วมกับกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของบริษัทต้นแบบ ซึ่งการขนส่งกากอุตสาหกรรมให้บริการขนส่งกากของเสียทุกประเภทด้วยรถขนส่งที่หลากหลายสำหรับกากแต่ละชนิดไม่ว่าจะอยู่ในรูปของของแข็ง ของเหลว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว ทั้งแบบอันตรายและไม่อันตราย โดยยึดปฏิบัติตามกฎระเบียบการจัดการขนส่งกากของเสีย ซึ่งกำหนดโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ 3.2 ลักษณะการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์

3. การเตรียมกากและการกำจัดแบบกระบวนการร่วม (Co-processing)

ระบบปฏิบัติการจัดเตรียมและกำจัดกากอุตสาหกรรมที่ได้มาตรฐานระดับสูงตามข้อกำหนดในใบอนุญาต ประกอบกิจการโรงงาน พร้อมด้วยเทคโนโลยีเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ทันสมัย ประกอบด้วยบริเวณตรวจรับและจัดเก็บกาก บริเวณผสมกาก อาคารเตรียมเชื้อเพลิงทดแทน และเครื่องบดย่อยกากของแข็ง โดยกากที่ผ่านแต่ละ ขั้นตอน จะมีการตรวจวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ กากที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมแล้วก็จะถูกส่งไปกำจัดโดยวิธี กระบวนการร่วม (co-processing) ในเตาเผาปูนซีเมนต์ของบริษัทต้นแบบ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัตถุดิบทดแทน

3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ จะเป็นการสัมภาษณ์ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อนำไปกำจัดด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งสามารถรายละเอียด ดังนี้

ข้อมูลในการขนส่ง

- ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
- อัตราค่าขนส่ง
- จุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทาง
- จุดเริ่มต้นในการขนส่ง
- จุดปลายทางในการขนส่ง
- ระยะทาง
- ความถี่ในการขนส่ง

3.4 วิธีการและการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา

3.4.1 แบบจำลองสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัย

- การกำหนดตัวแปร สมการเป้าหมาย และสมการขอบข่าย

การออกแบบและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับเครือข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics) ผู้วิจัยได้นำเสนอการจัดแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับเครือข่ายโลจิสติกส์ย้อนกลับ เพื่อทำการขนส่งกากอุตสาหกรรมเพื่อนำไปกำจัดโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้จะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม และโรงปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นที่ทำลายกากของเสียอุตสาหกรรมโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมให้น้อยที่สุด (Minimize total cost) โดยโมเดลที่นำเสนอจะสามารถแก้สมการหาโครงข่ายการไหลของกากอุตสาหกรรมดังกล่าวที่เหมาะสม ซึ่งทำการกำหนดตัวแปรไว้สองส่วน คือ

พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจ เพื่อประกอบการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

Minimize Total Costs (TC)

$$Min.\,Total\ Costs = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\left(X_{iip}\times TC_{iip}\times D_{ii}\right)+\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\left(\left(OC_{kp}+HC_{kp}\right)\times Y_{ikp}\right)-\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\left(RT_{ikp}\times Y_{ikp}\right)$$

พารามิเตอร์ (Parameter)

i = ดัชนีที่ใช้แทน บริษัทที่บริการการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม

j = ดัชนีที่ใช้แทน แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม (waste generator)

p = ดัชนีที่ใช้แทน ประเภทกากของเสียอุตสาหกรรม

k = ดัชนีที่ใช้แทน แหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

X_{ijp} = ปริมาณของกากของเสียอุตสาหกรรม p จากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม (waste generator) ไปยังแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

Y_{jkp} = ปริมาณของผลิตภัณฑ์ p ทำการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมโดยใช้เตาเผาปูนซีเมนต์

ตัวแปรอื่น ๆ

TC_{ijp} = ต้นทุนในการขนส่งผลิตภัณฑ์ p จากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม(waste generator) ไปยังแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

RT_{jkp} = ค่าให้บริการในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Revenue and Treatment Cost)

D_{ij} = ระยะทางในการขนส่งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม (waste generator) ไปยังแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

OC_k = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่แหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

HC_k = ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษากากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

CC_i = กำลังความสามารถในการขนส่งกากของเสียของบริษัทที่ให้บริการขนส่ง

CD_j = กำลังการผลิตของกากของเสียอุตสาหกรรมของแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม (waste generator)

CP_k = กำลังความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory)

DT_j = กำลังความสามารถในการขนส่งกากของเสียของบริษัทที่ให้บริการขนส่ง

สมการขอบข่าย (subject to constrain)

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P} X_{ijp} \le CC_i \quad \text{for all } i \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P} W_{ijp} \le CD_j DT_j \quad \text{for all } j \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} X_{jkp} \le CD_j DT_j \quad \text{for all } j \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P} X_{jkp} \le CP_k DP_k \quad \text{for all } k \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P} X_{ijp} = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} Y_{jkp} \tag{5}$$

$$X_{ijp}, Y_{jkp} \ge 0 \tag{6}$$

สมการขอบข่ายที่ (1) เป็นสมการที่กำหนดว่าปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมรวมมีได้ไม่เกินจำนวนที่กำหนด

สมการขอบข่ายที่ (2) เป็นสมการที่กำหนดว่าปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งโดยบริษัทขนส่งมีได้ไม่เกินจำนวนกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมคูณกับกำลังความสามารถในการขนส่งกากของเสียของบริษัทที่ทำการขนส่งที่ 1

สมการขอบข่ายที่ (3) เป็นสมการที่กำหนดว่าปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งโดยบริษัทขนส่งมีได้ไม่เกินจำนวนกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมคูณกับกำลังความสามารถในการขนส่งกากของเสียของบริษัทที่ทำการขนส่งที่ 2

สมการขอบข่ายที่ (4) เป็นสมการที่กำหนดว่าปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งโดยบริษัทขนส่งมีได้ไม่เกินจำนวนกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมคูณกับกำลังความสามารถในการขนส่งกากของเสียของบริษัทที่ทำการขนส่งที่ 3

สมการขอบข่ายที่ (5) ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งที่แหล่งกำเนิดกากของเสียมีค่าเท่ากับปริมาณของกากของเสียอุตสาหกรรมที่โรงปูนซีเมนต์

สมการขอบข่ายที่ (6) เป็นสมการที่กำหนดปริมาณกากของเสียที่ทำการขนส่งต้องมีค่าเป็นบวก

โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปทำการทดลองหาคำตอบด้วยโปรแกรมม what's Best ซึ่งสามารถทำงานบนโปรแกรม Microsoft Excel ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการแก้สมการเชิงเส้น

3.5 ตัวอย่างการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม What's Best

ข้อมูลของตัวอย่างการคำนวณแสดงดังตารางที่ 3.1 - 3.5

ตัวอย่างข้อจำกัดความสามารถในการขนส่งกากของเสีย และกำจัดกากของเสียดังนี้

ตารางที่ 3.1 ความสามารถในการขนส่งกากของเสีย

ความสามารถการขนส่ง / บริษัทขนส่ง	ของแข็ง (ตัน/วัน)	ของเหลว (ตัน/วัน)
T1	100	80
T2	100	80
T3	100	80

ตารางที่ 3.2 ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

โรงปูนซีเมนต์	ความสามารถในการกำจัด (ตัน/ปี)
C1	60000
C2	50000
C3	55000

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างค่าใช้จ่ายในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์จากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม

หน่วย:บาท/ตัน/ก.ม.

บริษัทขนส่ง	**โรงงานอุตสาหกรรม** (Waste Generator)							
	จ.ระยอง							
	G1		G2		G3		G4	
	S	L	S	L	S	L	S	L
T1	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0
T2	1.5	2.5	1.5	2.5	1.5	2.5	1.5	2.5
T3	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.0	3.0

ตารางที่ 3.4 ระยะทางรวม (km.) ในการจัดส่งขยะ/เที่ยว จากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์จากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม

หน่วย:กิโลเมตร

บริษัทขนส่ง	**โรงงานอุตสาหกรรม** (Waste Generator)			
	G1	G2	G3	G4
T1	200	210	220	230
T2	230	240	250	250
T3	220	230	240	250

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Operation Costs)

หน่วย:บาท/ตัน

โรงงานอุตสาหกรรม (Waste Generator)	p	โรงปูนซีเมนต์ (Incinerate Plants)		
		C1	C2	C3
G1	S	1	1	1
	L	2	2	2
G2	S	1	1	1
	L	2	2	2
G3	S	1	1	1
	L	2	2	2
G4	S	1	1	1
	L	2	2	2

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างต้นทุนค่าใช้จ่ายในการกักเก็บกากของเสียอุตสาหกรรม (Holding Costs)

หน่วย:บาท/ตัน

โรงงานอุตสาหกรรม (Waste Generator)	p	โรงปูนซีเมนต์ (Incinerate Plants)		
		C1	C2	C3
G1	S	1	1	1
	L	2	2	2
G2	S	1	1	1
	L	2	2	2
G3	S	1	1	1
	L	2	2	2
G4	S	1	1	1
	L	2	2	2

บทที่ 4
ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการแสดงผลค่าใช้จ่ายโดยรวมและผลของการวิเคราะห์ขนาดปัญหา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพการทำงานของกรรมวิธีการแก้ปัญหาที่นำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน เพื่อแสดงถึงความสามารถในการตอบสนองของวิธีการค้นหาคำตอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ รวมไปถึงเนื้อหาในส่วนของการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงที่กระทบต่อค่าตัวแปรนำเข้า หรือพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้

4.1 วิธีการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การค้นหาคำตอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์ คือ การหาการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมและเส้นทางการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมที่ให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยที่สุด ดังนั้นการทำการทดลองทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะทำการทดสอบขนาดของปัญหาเพื่อหาประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ และเพื่อหาข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบที่ใช้กับขนาดของปัญหา โดยขนาดของปัญหาแบ่งเป็นขนาดเล็กและขนาดกลาง ทั้งนี้วิธีการค้นหาคำตอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำการทดสอบแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม What's Best ซึ่งทำงานบนโปรแกรม Microsoft Excel ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการแก้สมการเชิงเส้นบนคอมพิวเตอร์

4.2 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีค้นหาคำตอบแบบจำลองคณิตศาสตร์

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบวิธีการค้นหาคำตอบโดยใช้ Linear programming model ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน และแสดงให้เห็นถึงการไหลของกากของเสียดังกล่าวในโครงข่ายโลจิสติกส์ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด ให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมให้น้อยที่สุด (Minimize total cost) จากข้อมูลจริงที่เก็บจากโรงงานต้นแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงใน ภาคผนวก ก ข้อมูลที่นำมาทดสอบจะอ้างถึงปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่ผลิตได้ ความสามารถในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม และความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมที่โรงปูนซีเมนต์สามารถรับกำจัดได้ และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยรูปแบบปัญหาและจำนวนปัญหาที่ทำการทดสอบดังนี้

- จำนวนบริษัทที่ให้บริการการขนส่งจำนวน 3 บริษัท
- จำนวนแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 2 จังหวัด ดังนี้

จังหวัดระยอง จำนวน 4 โรงงานอุตสาหกรรม

จังหวัดชลบุลี จำนวน 4 โรงงานอุตสาหกรรม

- จำนวนแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม (Cement Factory) จำนวน 3 โรง

4.3 ผลการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาคำตอบโดยใช้โปรแกรม What's Best

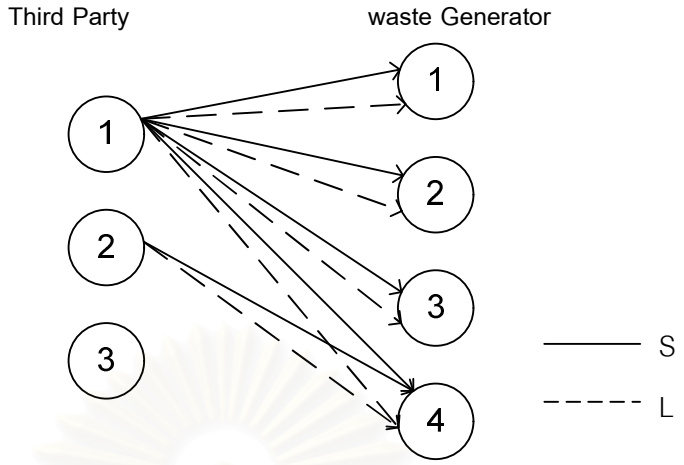
แสดงปริมาณขยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกากของเสียจังหวัดระยอง โดยแสดงปริมาณที่ทำการขนส่ง บริษัทที่บริการขนส่งและปริมาณที่ส่งไปกำจัดยังโรงปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำสุด ดังนี้

จากตารางที่ 4.1 แสดงเห็นถึงปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมและบริษัทที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณของ What's Best ปรากฏว่า บริษัทขนส่ง T1 ต้องทำการขนส่งกากของงเสียอุตสาหกรรม ให้กับแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหรรม โดยทำการขนส่งกากของเสียให้กับโรงงานอุตสาหกรรม G1 ทั้งหมด 60 ตัน , โรงงานอุตสาหกรรม G2 ทั้งหมด 80 ตัน , โรงงานอุตสาหกรรม G3 ทั้งหมด 10 ตัน และ โรงงานอุตสาหกรรม G4 ทั้งหมด 30 ตัน บริษัทขนส่ง T2 ต้องทำการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมให้กับโรงงานอุตสาหกรรม G4 ทั้งหมด 121 ตัน แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณขยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง โดยบริษัทขนส่ง

หน่วย: ตัน

บริษัทขนส่ง (Third Party)	**แหล่งกำเนิดกากของเสีย** (waste Generator)							
	จ.ระยอง							
	G1		G2		G3		G4	
	S	L	S	L	S	L	S	L
T1	30	30	40	40	5	5	25	5
T2	0	0	0	0	0	0	45	46
T3	0	0	0	0	0	0	0	0
Capacity (Ton/day)	30	30	40	40	5	5	70	51



รูปที่ 4.1 แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมโดยบริษัทที่ให้บริการการขนส่ง

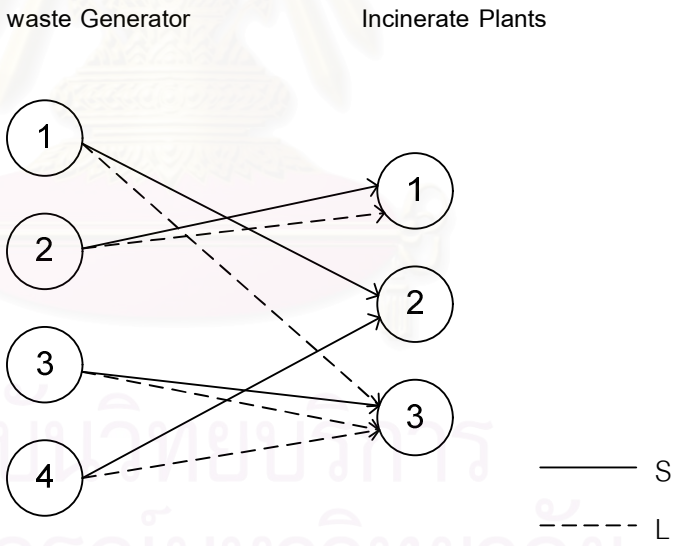
จากตารางที่ 4.2 แสดงเห็นถึงปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมและโรงปูนซีเมนต์เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณของ What's Best แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมและนำไปกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม เช่น โรงงานอุตสาหกรรม G1 ทั้งหมด 60 ตัน โดยแบ่งเป็นกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง 30 ตัน และของเหลว 30 ตัน นำไปไปกำจัดที่โรงปูนซีเมนต์ C2 และ C3 ซึ่งโรงปูนซีเมนต์ C2 ทำการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งและ โรงปูนซีเมนต์ C3 ทำการกำจัดกากของเสียประเภทของเหลว เป็นต้น ดังรูปที่ 4.3 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

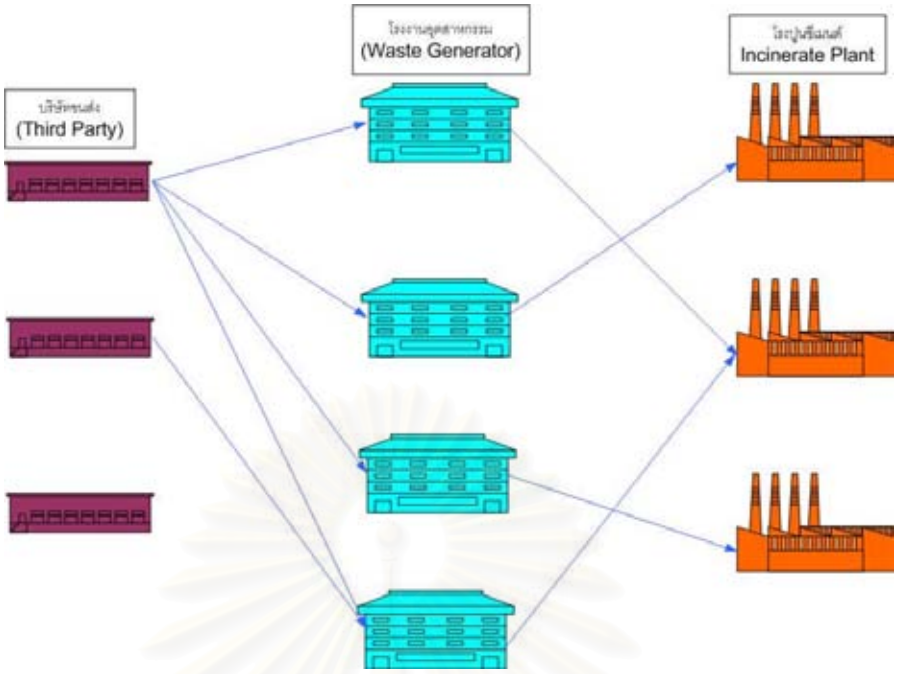
ตารางที่ 4.2 ปริมาณขยะที่ถูกส่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์

หน่วย:ตัน

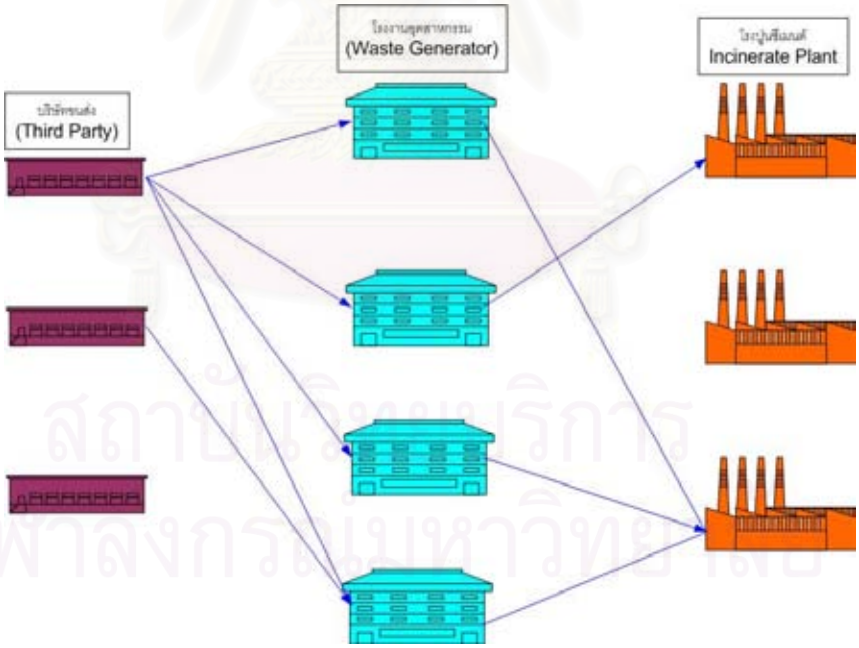
โรงงานอุตสาหกรรม (waste Generator)	P	**โรงปูนซีเมนต์** (Incinerate Plants)		
		C1	C2	C3
G1	S	0	30	0
	L	0	0	30
G2	S	40	0	0
	L	40	0	0
G3	S	0	0	5
	L	0	0	5
G4	S	0	70	0
	L	0	0	51



รูปที่ 4.2 แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงงานปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.3 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์ แหล่ง จังหวัดระยอง



รูปที่ 4.4 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของเหลวจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์ แหล่ง จังหวัดระยอง

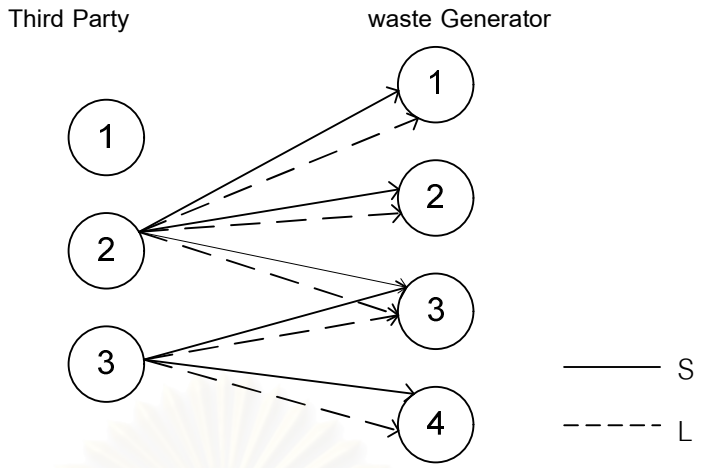
แสดงปริมาณขยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกากของเสียจังหวัดชลบุรี โดยแสดงปริมาณที่ทำการขนส่ง บริษัทที่บริการขนส่งและปริมาณที่ส่งไปกำจัดยังโรงปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำสุด ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงเห็นถึงปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมและบริษัทที่เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณของ What's Best ปรากฏว่า บริษัทขนส่ง T1 ไม่ได้ทำการขนส่งกากของงเสียอุตสาหกรรม ให้กับแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมทั้ง 4 แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหรรม เนื่องจาก บริษัทขนส่ง T1 ทำการขนส่งกากของเสียให้กับโรงอุตสาหกรรม ของแหล่งกำเนิด จ.ระยอง จนเต็มความสามารถในการขนส่งแล้ว ดังนั้นบริษัท T2 ต้องทำการขนส่งขนส่งกากของเสียให้กับโรงงานอุตสาหกรรม G5 ทั้งหมด 40 ตัน , โรงงานอุตสาหกรรม G7 ทั้งหมด 39 และโรงอุตสาหกรรม G7 ต้องใช้บริการบริษัทขนส่ง T3 ในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมจำนวน 61 ตัน และทำการขนส่งให้กับโรงอุตสาหกรรม G8 ทั้งหมด 31 ตัน เนื่องจากบริษัทขน T2 ได้ให้บริการขนส่งเต็มความสามารถแล้ว แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ปริมาณขยะที่เหมาะสมต่อการขนส่งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม จังหวัดชลบุลี โดยบริษัทขนส่ง

หน่วย:ตัน

บริษัทขนส่ง (Third Party)	**โรงงานอุตสาหกรรม** (waste Generator)							
	จ.ชลบุรี							
	G5		G6		G7		G8	
	S	L	S	L	S	L	S	L
T1	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	20	20	5	5	30	9	0	0
T3	0	0	0	0	20	41	25	6
Capacity (Ton/day)	20	20	5	5	50	50	25	6



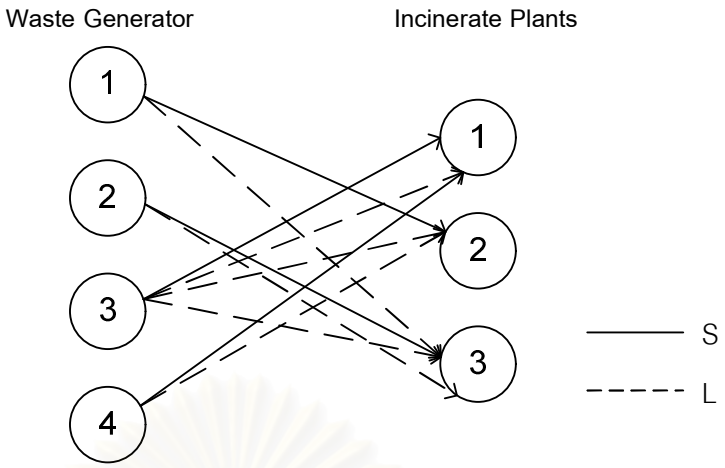
รูปที่ 4.5 แสดงการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมโดยบริษัทที่ให้บริการการขนส่ง

จากตารางที่ 4.4 แสดงเห็นถึงปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมและโรงปูนซีเมนต์เหมาะสมที่ได้จากการคำนวณของ What's Best แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมและนำไปกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม เช่น โรงงานอุตสาหกรรม G1 ทั้งหมด 60 ตัน โดยแบ่งเป็นกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง 30 ตัน และของเหลว 30 ตัน นำไปไปกำจัดที่โรงปูนซีเมนต์ C2 และ C3 ซึ่งโรงปูนซีเมนต์ C2 ทำการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งและ โรงปูนซีเมนต์ C3 ทำการกำจัดกากของเสียประเภทของเหลว เป็นต้น ดังรูปที่ 4.6 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์

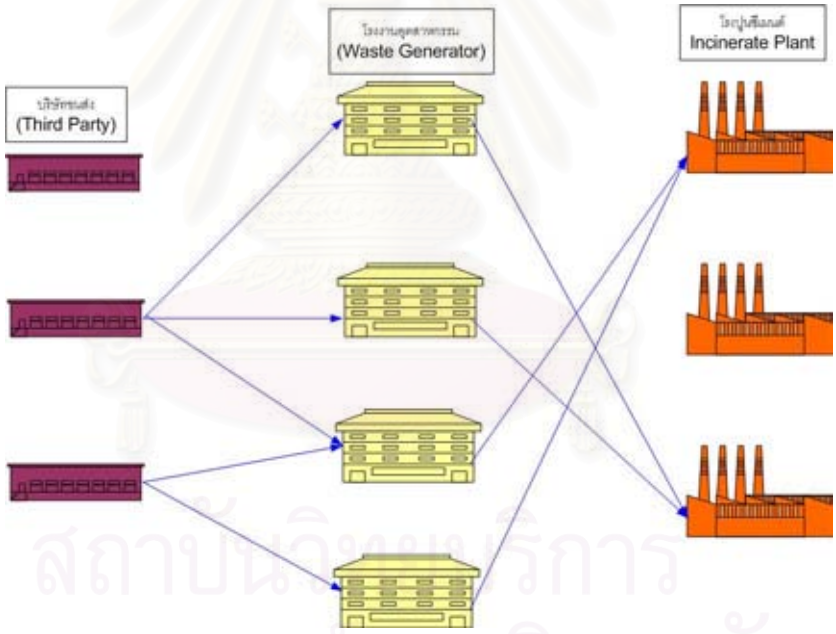
ตารางที่ 4.4 ปริมาณขยะที่ถูกส่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์

หน่วย:ตัน

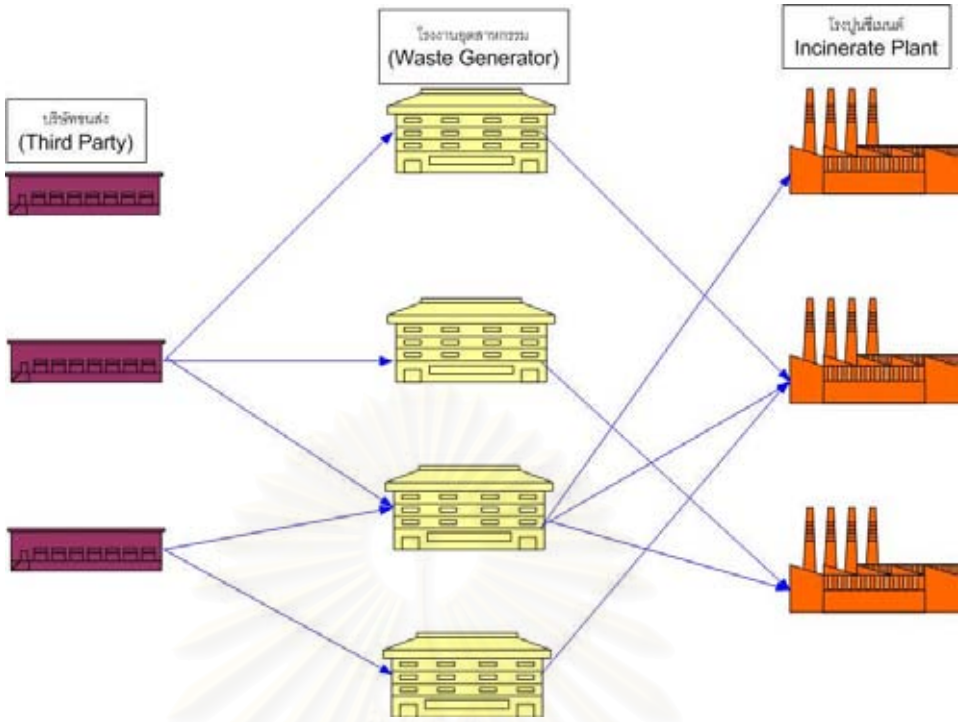
waste Generator (โรงงานอุตสาหกรรม)	**p**	**โรงปูนซีเมนต์ (Incinerate Plants)**		
		C1	C2	C3
G5	S	0	0	20
	L	0	20	0
G6	S	0	0	5
	L	0	0	5
G7	S	50	0	0
	L	9	11	29
G8	S	25	0	0
	L	0	6	0



รูปที่ 4.6 ปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมที่ขนส่งมายังโรงปูนซีเมนต์เพื่อทำการกำจัดขยะที่เหมาะสม



รูปที่ 4.7 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์ แหล่ง จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 4.8 แสดงการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์เพื่อกำจัดโดยเตาเผาปูนซีเมนต์ แหล่ง จังหวัดชลบุรี

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำการทดสอบดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ผ่านโดยทำโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปทำการทดลองหาคำตอบด้วยโปรแกรม what's Best ซึ่งสามารถทำงานบนโปรแกรม Microsoft Excel ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการแก้สมการเชิงเส้น เพื่อพิสูจน์ว่าโปรแกรม what's Best สามารถแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้ ในการทดลองสองระบบที่แตกต่างกัน คือ ระบบแรก มีโรงงานอุตสาหกรรม 8 โรงงาน โดยมีบริษัทให้บริการการขนส่ง 3 ราย เพื่อรองรับความต้องการในการขนส่งกากของเสียได้ (ดังแสดงผลข้างต้น) ระบบที่ สอง มีลูกค้า 16 ราย โดยเพิ่มบริษัทให้บริการการขนส่งเป็น 4 ราย โดยมีความสามารถรองรับกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มตามจำนวนแหล่งกำเนิดกากของเสียดังแสดงในตาราง

จำนวนโรงอุตสาหกรรมงาน	จำนวนบริษัทที่ให้การขนส่ง	จำนวนยานพาหนะ	ค่าใช้จ่ายรวม
8	3	60	152,147.47
16	4	112	293,750

ตารางที่ 4.5 ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสมต่อการขนส่งโดยบริษัทที่ให้บริการที่เหมาะสม

หน่วย:ตัน

บริษัทขนส่ง (Third Party)	**โรงงานอุตสาหกรรม** (Waste Generator)															
	จ.ระยอง								**จ.ชลบุรี**							
	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8	
	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
T1	30	30	40	40	5	5	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0	0	45	46	20	20	5	5	30	9	0	0
T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	41	25	6
Capacity (Ton/day)	30	30	40	40	5	5	70	51	20	20	5	5	50	50	25	6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ปริมาณขยะที่ถูกส่งมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมายังโรงปูนซีเมนต์

หน่วย:ตัน

โรงงานอุตสาหกรรม (waste Generator)	p	โรงปูนซีเมนต์ (Incinerate Plants)		
		C1	C2	C3
G1	S	0	30	0
	L	0	0	30
G2	S	40	0	0
	L	40	0	0
G3	S	0	0	5
	L	0	0	5
G4	S	0	70	0
	L	0	0	51
G5	S	0	0	20
	L	0	20	0
G6	S	0	0	5
	L	0	0	5
G7	S	50	0	0
	L	9	11	29
G8	S	25	0	0
	L	0	6	0
Capacity (Ton/day)		164	137	151

4.4 การทดสอบวิเคราะห์ความไวของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดค่านำเข้าข้อมูลหลายพารามิเตอร์โดยค่าพารมิตอร์หลักที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากราคาค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่าเชื้อเพลิง ระยะทางในการขนส่ง และปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งใช้สูตรในการคำนวณณ ดังนี้

$$Diff = X_2 - X_1$$

$$\%Diff = \left(\frac{X_2 - X_1}{X_1} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{Diff}{X_1} \right) \times 100\%$$

โดยที่ X_1 = ค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากการคำนวณจากกรณีศึกษา

X_2 = ค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลง

Diff = ค่าความแตกต่างที่ได้จากการค่าใช้จ่ายรวมจากกรณีศึกษา

%Diff = เปอร์เซนต์ค่าความแตกต่างที่ได้จากการค่าใช้จ่ายรวมจากกรณีศึกษา

1. ค่าใช้จ่ายเนื่องจากราคาค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่าเชื้อเพลิง

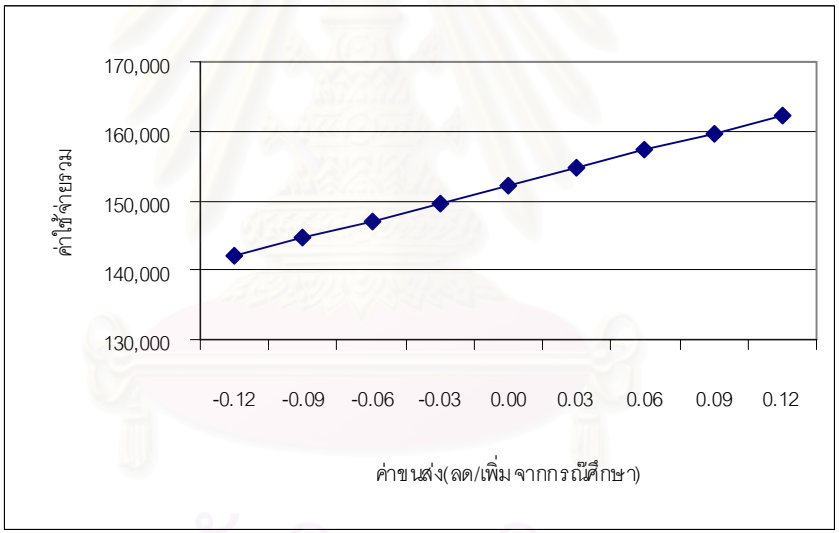
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าขนส่งเนื่องจากค่าเชื้อเพลิง เมื่อราคาน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 40 สตางค์ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มขึ้น 0.03 บาท/กิโลเมตร ดังนั้นจึงทำการทดสอบ โดยกำหนดช่วงเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน ±0.12 บาท/ตัน/กิโลเมตร จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมในปัจจุบัน แบ่งตามชนิดของกากของเสียอุตสาหกรรม ดังนี้

บริษัทขนส่ง	ราคาค่าขนส่ง (บาท/ตัน/กิโลเมตร)	
	ของแข็ง	ของเหลว
T1	1	2
T2	1.5	2.5
T3	2	3

โดยทำการทดสอบอยู่ภายใต้ข้อสมมติฐานอื่นๆที่กำหนดไว้ดังรายละเอียดในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย ค่าตวามแตกต่างของคำตอบ เปอร์เซนต์ความแตกต่าง จากการเปลี่ยนแปลง “ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากราคาค่าขนส่ง” สามารถแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม

ค่าขนส่ง / ค่าใช้จ่าย	-0.12	-0.09	-0.06	-0.03	0	0.03	0.06	0.09	0.12
ค่าใช้จ่ายรวม	142007	144542	147077	149612	152147	154,674	157,200	159,726	162,252
ค่าความแตกต่าง	-10,140	-7,605	-5,070	-2,535	0	2,527	5,053	7,579	10,105
%ความแตกต่าง	-7	-5	-3	-2	0	2	3	5	6



รูปที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 0.03 บาท/ตัน/กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 157,200 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 2,527 บาท หรือ เท่ากับ 2 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 0.06 บาท/ตัน/กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 157,200 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 5,053 บาท หรือ เท่ากับ 3 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 0.09 บาท/ตัน/กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 159,726 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 7,579 บาท หรือ เท่ากับ 5 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 0.12 บาท ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 162,252 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 10,105 บาท หรือ เท่ากับ 6 %

2. <u>ระยะทางในการขนส่ง</u>

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระยะทางในการขนส่ง โดยกำหนดช่วงเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน ±20 กิโลเมตร จากข้อมูลระยะทางในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังโรงปูนซีเมนต์ในปัจจุบัน ดังนี้

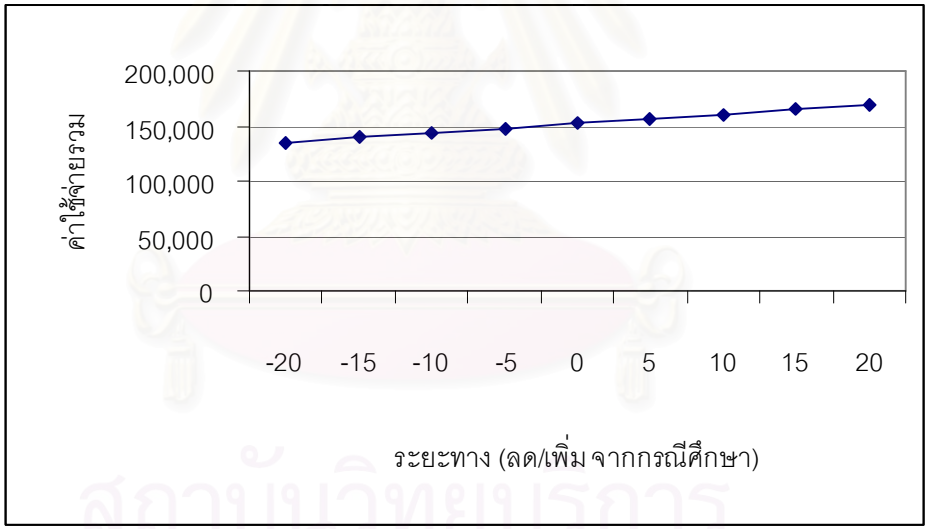
หน่วย:กิโลเมตร

บริษัทขนส่ง	**โรงงานอุตสาหกรรม** (Waste Generator)							
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
T1	200	210	220	230	110	120	130	140
T2	230	240	250	250	120	130	140	150
T3	220	230	240	250	130	130	130	130

โดยทำการทดสอบอยู่ภายใต้ข้อสมมติฐานอื่นๆที่กำหนดไว้ดังรายละเอียดในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย ค่าตวามแตกต่างของคำตอบ เปอร์เซนต์ความแตกต่าง จากการเปลี่ยนแปลง “ ค่าใช้จ่ายระยะทางการขนส่ง” สามารถแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม

ระยะทาง / ค่าใช้จ่าย	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20
ค่าใช้จ่ายรวม	135,324	139,530	143,736	147,942	152,147	156,353	160,559	164,765	168,971
ค่าความแตกต่าง	-16,823	-12,617	-8,411	-4,205	0	4,206	8,412	12,618	16,824
%ความแตกต่าง	-11	-8	-6	-3	0	3	6	8	11



รูปที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทางการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.8 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางในนการขนส่งเพิ่มขึ้น 5 กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 156,353 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 4,206 บาท หรือ เท่ากับ 3 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางในนการขนส่งเพิ่มขึ้น 10 กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 160,559 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 8,412 บาท หรือ เท่ากับ 6 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางในนการขนส่งเพิ่มขึ้น 15 กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 160,559 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 12,618 บาท หรือ เท่ากับ 8 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระยะทางในนการขนส่งเพิ่มขึ้น 20 กิโลเมตร ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 168,971 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 16,824 บาท หรือ เท่ากับ 11 %

2. ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงซึ่งเปลี่ยนแปลงตามจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรม โดยกำหนดช่วงเปลี่ยนแปลงไปไม่เกิน ±2 โรงงานอุตสาหกรรมของแต่แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม จากข้อมูลปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ดังนี

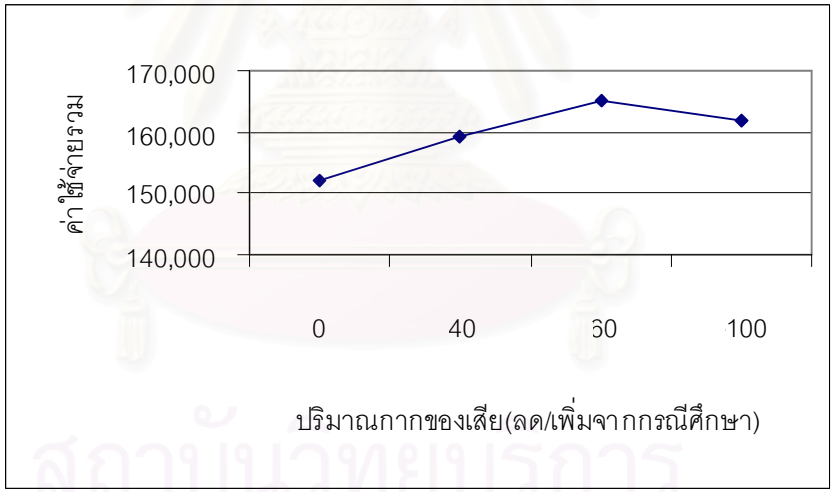
หน่วย:ตัน

แหล่งกำเนิดกากของเสีย (waste Generator)	ประเภทกากของเสียอุตสาหกรรม	
	ของแข็ง	ของเหลว
G1	30	30
G2	40	40
G3	5	5
G4	70	70
G5	20	20
G6	5	5
G7	50	50
G8	25	25

โดยทำการทดสอบอยู่ภายใต้ข้อสมมติฐานอื่นๆที่กำหนดไว้ดังรายละเอียดในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย ค่าตวามแตกต่างของคำตอบ เปอร์เซนต์ความแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลง “ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม” สามารถแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม

แหล่งกากของเสียอุตสาหกรรม	ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม	ค่าใช้จ่ายรวม	ความแตกต่าง	%ความแตกต่าง
ชลบุลี	40	159,147	7, 000	5
ระยอง	60	165,006	12,859	8
ชลบุรีและระยอง	100	161,831	9,684	6



รูปที่ 4.11 ค่าใช้จ่ายโดยรวมเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนโรงงานอุตสาหกรมที่เป็นแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.9 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมโดยการเพิ่ม1 โรงงานที่จังหวัดชลบุลี มีปริมาณขยะทั้งหมด 40 ตัน แบ่งเป็น กากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง 20 ตัน และ ประเภทของเหลว 20 ตัน ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 159,147 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 7,000 บาท หรือ เท่ากับ 5 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมโดยการเพิ่ม1 โรงงานที่จังหวัดระยอง มีปริมาณขยะทั้งหมด 60 ตัน แบ่งเป็น กากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง 30 ตัน และ ประเภทของเหลว 30 ตัน ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 165,006 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 12,859 บาท หรือ เท่ากับ 8 %

เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมโดยการเพิ่ม 2 โรงงาน เพิ่ม 1 โรงงานที่จังหวัด ระยอง มีปริมาณขยะทั้งหมด 60 ตัน แบ่งเป็น กากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง 30 ตัน และ ประเภทของเหลว 30 ตัน และอีก 1 โรงงานที่จังหวัดชลบุลี มีปริมาณขยะทั้งหมด 40 ตัน แบ่งเป็น กากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง 20 ตัน และ ประเภทของเหลว 20 ตัน ผลลัพธ์ค่าใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 161,831 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมของปัญหาปัจจุบันเท่ากับ 9,684 บาท หรือ เท่ากับ 6%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาถึงวิธีการลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งมีความซับซ้อนในตัวรูปแบบปัญหาทั้งนี้ง เนื่องจากลักษณะตัวแบบของปัญหาซึ่งพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆของระบบ คือ ข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ความสามารถในการให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงปูนซีเมนต์ ข้อจำกัดเหล่านี้ส่งผลให้การหาคำตอบสำหรับปัญหาวิธีการลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับมีความซับซ้อนมากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมและวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งเพื่อค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ และทางผู้วิจัยได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Mode) โดยใช้ Linear programming model ในการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน และแสดงให้เห็นถึงการไหลของกากของเสียดังกล่าวในโครงข่ายโลจิสติกส์ให้มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีข้อจำกัดด้านต่างๆ ดังแสดงไว้ในบทที่ 3 การพัฒนาคำตอบที่ผ่านมา และผลการพัฒนาและทดสอบ ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้นำเสนอในบทที่ 4 ผลวิจัยและผลการวิเคราะห์ผลงานวิจัย นำมาสู่การสรุปของงานวิจัยดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งคือค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งซึ่งมีความซับซ้อนในรายละเอียดในการแก้ปัญหา จากนั้นในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อหาเส้นทางการไหลของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสม ที่มีข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ความสามารถในการให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงปูนซีเมนต์ โดยผลการหาคำตอบจากแบบจำลองคณิตศาสตร์จากการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม What's Best สามารถทำงานบนโปรแกรม Microsoft Excel ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถในการแก้สมการเชิงเส้น

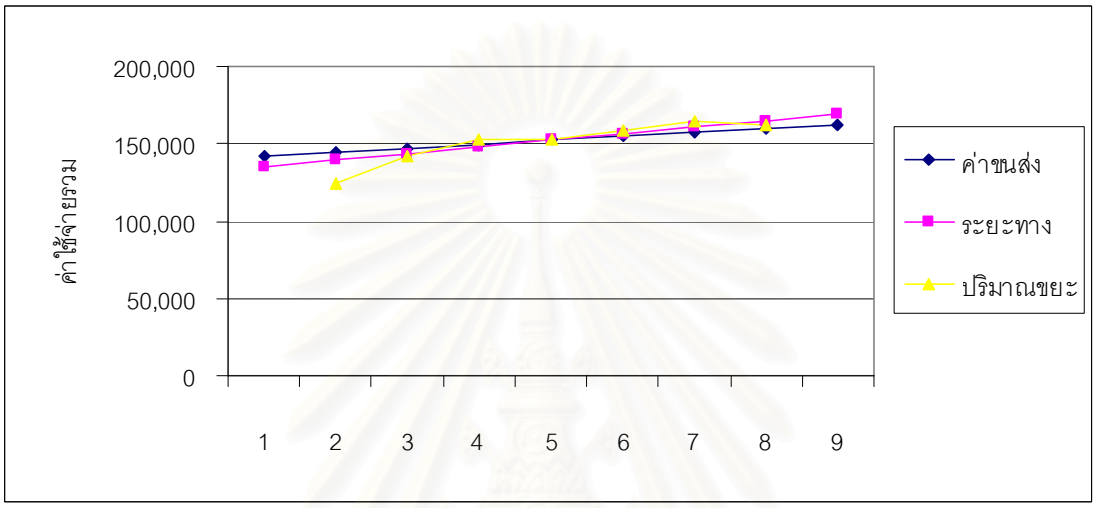
จากผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสต์ สามารถได้แสดงการการไหลของปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม บริษัทที่ให้การขนส่ง และโรงปูนซีเมนต์ที่ทำการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสม โดยมีคือ ข้อจำกัดข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ความสามารถในการให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงปูนซีเมนต์ จากผลลัพธ์ที่ได้จากการรันโปรแกรมดังแสดงในตาราง ที่ 4.5 และ 4.6 จะทำให้ได้ค่าใช้โดยรวมต่ำสุด คือ 152,147.47 บาท ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของโปแกรม What's Best เพื่อหาข้อจำกัดของโปรแกรมโดยการเพิ่มจำนวนบริษัทที่ให้บริการขนส่งเป็น 4 บริษัท และ จำนวนแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมเป็น 16 โรงงาน ซึ่งจากผลการรันโปรแกรมนั้น ได้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดเท่ากับ 293,750 บาท แต่ข้อจำกัดของโปรแกรม What' Best ที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองใช้ จึงมีข้อจำกัดของจำนวนของพารามิเตอร์ต่างที่ใช้ในการรันโปรแกรม แต่ประสิทธิภาพในการรันโปรแกรมนั้นมีความสามารถในการหาผลคำตอบได้ผลที่ให้ค่าใช้จ่ายน้อยสุดได้

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ ภายใต้ข้อจำกัดข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ความสามารถในการให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงปูนซีเมนต์ โดยผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรม บริษัทที่ให้การขนส่ง และโรงปูนซีเมนต์ที่ทำการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมที่เหมาะสม(แสดงบทที่ 4)

5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์ความไวโดยการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หลักที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากราคาค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามราคาน้ำมัน ระยะทางในการขนส่ง และปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่า พารามิเตอร์หลักที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงที่สุดคือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากราคาค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งเปลี่ยนแปลงตามราคาน้ำมัน ซึ่งต้นทุนค่าขนส่งนั้นโดยส่วนใหญ่เกิดจากค่าน้ำมัน ซึ่งสอดคล้อง

กับการศึกษาถึงโครงสร้างในต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของ Japan Institute of Logistics System (JILS) ที่พบว่า “ค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง” จะมีสัดส่วนสูงที่สุดในทุกสาขา โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่าขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมเพิ่มราคาค่าขนส่งที่อ้างมาจากราคาน้ำมัน 0.03 บาท/ตัน/กิโลเมตร จากเดิมทั้ง 3 บริษัท ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมเพิ่มขึ้นเป็น 154,674 บาท/วัน จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เพิ่มที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของราคาเชื้อเพลิงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง



รูป 5.1 การเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายโดยรวมของการเปลี่ยนค่าขนส่ง ระยะทาง จำนวนโรงงาน

จากรูปที่ 5.1 ผลจากเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ส่วน จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการเปลี่ยนมีการเปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มไปทางเดียวกันคือ เมื่อค่าของค่าขนส่ง ระยะทาง และปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่าขนส่งนั้นจะแปรผันตามราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นเมื่อราคาเพิ่มขึ้น 0.03 บาท จะทำให้ต้นรวมนั้นเพิ่มขึ้นถึง 2% ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนั้น จากผลที่ได้นั้นจะแสดงให้เห็นว่าจะต้องมีการวางแผนระบบการขนส่งให้เหมาะสมและทันต่อเหตุการณ์ในเรื่องของราคาน้ำมัน เนื่องจากในปัจจุบันราคาน้ำมันมีการปรับราคาขึ้นลงบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนรองรับต่อเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้

จากผลทดสอบการเปลี่ยนแปลงระยทางพบว่าจะมีเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทุก 5 กิโลเมตร จะทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ประมาณ 4,200 บาท หรือ เพิ่มขึ้น 3 % จากผลที่ได้นั้นสามารถประมาณค่าใช้จ่ายได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะทางทุก 5 กิโลเมตร

จากผลทดสอบจำนวนแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม พบว่า เมื่อเพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่ง จ.ชลบุลี 1 โรงงาน นั้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 7000 บาท หรือ 5% แหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่ง จ.ระยอง 1 โรงงาน นั้นทำให้เกิดค่าใช้จ่าย

เพิ่มขึ้น 12,800 บาท หรือ 8% เพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่ง จ.ชลบุลี และ จ. ยอง แหล่งละ1 โรงงาน นั้นทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 9,680 บาท หรือ 6% จะเห็นได้การเพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม จ. ระยอง มีค่าใช้จ่ายรวมเพิ่มมากกว่าการเพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่ง จ.ชลบุลี และ จ.ระยอง แหล่งละ1 โรงงาน จากผลที่ได้นั้นสามารถนำไปวางแผนการขยายการรับบริการให้บริการการขยส่งได้ว่า ถ้ามีการจะรับบริการในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมนั้น ควรจะเพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่ง จ.ชลบุลี เนื่องจากทำให้เกิดค่าใช้ที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด และหากมีเงินลงทุนมากพอสมควรที่จะเพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่ง จ.ชลบุลี และ จ.ระยอง เนื่องจากทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมน้อยกว่าที่จะเพิ่มแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม จ. ระยอง เพียง แหล่งเดียว

ถึงแม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่ในความเป็นจริงของการปฏิบัติงานจริงแล้ว การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่แล้ว เป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นทันทีทันใด ซึ่งคำตอบอาจจะไม่ตรงกับแผนงานที่วางไว้ ดังนั้นผู้ตัดสินใจจึงต้องมีการปรับแผนงานใหม่ให้เหมาะสมและตรงกับความเป็นจริง โดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญ

5.3 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการประยุกต์ใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอในงานวิจัยสามารถคำนวณหาปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่จะทำการขนส่งที่ทำการขนส่งโดยบริษัทที่ให้บริการการขนส่งที่เหมาะสม และปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่จะทำการกำจัดที่โรงงานปูนซีเมนที่เหมาะสมซึ่งให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ความสามารถในการให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่มีโอกาสพบได้ในในชีวิตจริง โดยจากผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถนำไปใช้ได้ในระบบการทำงานจริงอย่างสอดคล้อง โดยแนวทางในการประยุกต์ใช้จำเป็นมีการรับทราบถึงข้อมูลต่างๆ เช่น ความต้องการการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงงานอุตสาหกรรม ความสามารถในการให้บริการการขนส่งของบริษัทที่จะให้บริการขนส่ง ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงงานปูนซีเมนต์ อย่างแม่นยำ เพื่อที่สามารถส่งผ่านข้อมูลตัดสินใจให้แก่โปรแกรม ที่ทำตามคำนวณตามแบบจำลองที่นำเสนอได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาจริงที่เกิดขึ้นนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ของระบบซึ่งมีโอกาสที่จะส่งผลต่อความสามารถและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการและความสามารถในการให้บริการของบริษัทที่ให้บริการการขนส่ง

เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการของแต่จุดแล้วจะทำให้จำนวนของบริษัทที่ให้บริการการขนส่งเพียงพอหรือไม่ ต้องทำการสร้างจุดพักกากของก่อนหรือไม่ ซึ่งเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่สมควรจะนำมาพิจารณาเรื่องค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งจุดพักกากของเสียอุตสาหกรรมซึ่งหากกำหนดให้มีค่าต่างกันในแต่ละจุดที่อาจทำให้ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้คำตอบที่ดีมากขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับของการเผากากของเสียอุตสาหกรรมด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์โดยใช้แบบจำลองโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งพิจารณาคลอบคลุมเนื้อหาในเรื่องของซึ่งค่าใช้จ่ายต่างๆประกอบไปด้วยค่าขนส่ง ค่าการจ่ายดำเนินงาน ค่ากำจัดกาของเสียอุตสาหกรรม ค่าเก็บรักษากากของเสียอุตสาหกรรม ภายใต้ข้อจำกัดข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ ความสามารถในการให้บริการของบริษัทผู้ให้บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของโรงปูนซีเมนต์ เพื่อให้สอดคล้องกับระบบการทำงานจริงโดยประยุกต์ใช้ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ซึ่งผลที่ได้จากโมเดลจะช่วยผู้บริหารสามารถตัดสินใจ และแก้ไขปัญหาได้อีกระดับหนึ่ง โดยที่ยังมีแง่มุมอื่นๆที่ทางผู้วิจัยยังไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษานั้นยังพิจารณาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน ซึ่งผู้วิจัยท่านอื่นสามารถนำแนวคิดหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ไปปรับปรุง พัฒนาหรือใช้ต่อไปได้ เพื่อให้ได้แนวทางในการแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงกับปัญหาในการทำงานจริงยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2548. กรุงเทพฯ : 2548.
2. สถาบันระบบโลจิสติกส์แห่งประเทศญี่ปุ่น.รายงานการสำรวจต้นทุนโลจิสติกส์ประจำปี 2004 (เดือนมีนาคม 2005) . กรุงเทพ :2005.
3. Dowlatshahi. (1996). A role of logistic inconcurrent engineering ,International journal of Production Economics. 44 (1996) 189 199.
4. Oak Brook, IL .Council of Logistic Management , 1993.
5. U.K. Institute of Logistic and transport ,1999.
6. U.S. National Council of Physical Distribution Management , 1999.
7. ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์. การจัดการลอจิสติกส์. เอ็กซเปอร์เน็ท .กรุงเทพ :2548.
8. Belarmino Adenso-Díaz & Pilar L. González-Torre.(2006).Reverse Logistic practices in the glass sector in Spain and Belgium, International Business Review
9. Moritz Fleischmann. et al.(1997). Quantitative models for reverse logistics: A review, European Journal of Operational Research ,103,1-17.
10. Council of Logistics Management (CLM.) ,1998.
11. Li-Hsing Shih.(2001).Reverse Logistic system planning for system recycling electrical appliances and computers in for Taiwan. Resources, Conservation and Recycling ,32, 55–72.
12. Chewn Sheu & Dennis W. Krumwiede.(2002). A model for reverse logistics entry by third-party providers, International journal of Management Science, 30, 325-211.
13. Klavdij Logozar. et al.(2006). Incorporation of reverse logistic model into in-plant recycling process: A case of aluminium in industry. Resources, Conservation and Recycling , 49(2006)49-67.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ณกรณ์ อินทร์พยุง, การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.

พนิดา พานิชกุล. คัมภีร์การวิเคราะห์และตัดสินใจปัญหาเชิงธุรกิจโดยใช้ Excel. กรุงเทพฯ : เคทีพ์ แอนด์ คอนซัลท์, 2546.

แลมเบอร์ต เดาก์ลัสเอ็ม. การจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล. 2544.

ภาษาอังกฤษ

Chopra, S. & Meindl, P. (2004). Supply Chain Management (2nd ed.). Pearson Education Inc.

Jeremy F. Shapiro.(2001). Modeling the Supply Chain. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole-Thomson Learing.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ค่าและที่มาข้อมูลนำเข้าที่กำหนด

การแก้ปัญหาด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการกำหนดข้อมูลนำเข้าเพื่อคำนวณหาค่าคำตอบต่างๆ อันประกอบไปด้วยข้อมูล 12 รายการดังนี้

ดัชนี (Index)

1. <u>จำนวนบริษัทที่ให้บริการขนส่ง</u>

กำหนดจำนวนตามจำนวนที่บริษัทกรณีศึกษากำหนด โดยตัวอย่างที่ทำการทดลองกำหนดให้มีจำนวนบริษัทที่บริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม จำนวน 3 บริษัท

2. <u>จำนวนแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมและการขนส่งแต่ละแหล่ง</u>

กำหนดตามข้อมูลที่ได้จากบริษัทต้นแบบ โดยตัวอย่างที่ทำการทดลอง กำหนดให้มีจำนวนแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม จำนวน 2 แหล่ง คือ

- แหล่งกำเนิดกากของเสียนิคมอุตสาหกรรมในจังหวัดชลบุรี จำนวน 4 โรงงาน มีปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมคิดเป็นปริมาณ 40 % ของกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งทั้งหมด
- แหล่งกำเนิดกากของเสียนิคมอุตสาหกรรมในจังหวัดระยอง จำนวน 4 โรงงาน มีปริมาณการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมคิดเป็นปริมาณ 60 % ของกากของเสียอุตสาหกรรมที่ทำการขนส่งทั้งหมด

3. <u>ประเภทกากของเสียอุตสาหกรรม</u>

กำหนดตามลักษณะของกากของเสียที่ทำการขนส่ง โดยตัวอย่างที่ทำการทดลอง มีประเภทกากของเสียอุตสาหกรรมมีจำนวน 2 ชนิด คือ

- กากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของแข็ง
- กากของเสียอุตสาหกรรมประเภทของเหลว

4. <u>แหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม</u>

กำหนดตามข้อมูลที่ได้จากบริษัทต้นแบบ โดยในตัวอย่างที่ทำการทดลอง กำหนดให้มีแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม จำนวน 3 บริษัท

พารามิเตอร์ (Parameter)

5. ราคาค่าขนส่งที่แตกต่างตามบริษัทที่ให้บริการในการขนส่ง

ในตัวอย่างปัญหาราคาค่าขนส่งนั้นต้นทุนหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง คือ ราคาน้ำมัน ซึ่งราคาค่าขนส่งเพิ่มขึ้นเมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้น จากการศึกษาบริษัทกรณีศึกษา พบว่า บริษัทได้ทำการจ้างบริษัทบริการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม จำนวน 3 บริษัท ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นค่าที่ได้มาจากบริษัทขนส่งทั้ง 3 บริษัท ดังนี้

ประเภทกากของเสีย / บริษัทขนส่ง	ของแข็ง	ของเหลว
T1	1.0	2.0
T2	1.5	2.5
T3	2.0	3.0

ค่าขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ดังตาราง เป็นการประมาณค่า ซึ่งทางสามารถคำนวณราคาค่าขนส่ง ณ ปัจจุบัน ที่ทำการศึกษา ได้ดังนี้

น้ำมัน	1	ลิตร
สามารถวิ่งได้ระยะทาง	13	กิโลเมตร
ราคาน้ำมัน	22	บาท/ลิตร
ดังนั้นราคาขนส่ง	1.69 ถึง 2.00	บาท/กิโลเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ค่าให้บริการในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

ราคาค่าให้บริการในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมนั้น ขึ้นอยู่การปริมาณการค่าให้ความร้อนของกากของเสีย ซึ่งกากของเสียอุตสาหกรรมประเภทใดสามารถให้ปริมาณค่าความร้อนในปริมาณที่สูง จะเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากของเสียในราคาที่ถูกกว่ากากของเสียอุตสาหกรรมให้ปริมาณค่าความร้อนที่ต่ำกว่า ในตัวอย่างของปัญหาที่ทำการทดลองได้ประมาณค่าในการกำจัดกากของเสียทั้ง 8 โรงงานจากบริษัทกรณีศึกษา ดังนี้

หน่วย:บาท/ตัน

waste Generator (โรงงานอุตสาหกรรม)	p	โรงปูนซีเมนต์ (Incinerate Plants)		
		C1	C2	C3
G1	S	2.0	2.0	2.0
	L	3.0	3.0	3.0
G2	S	2.5	2.5	2.5
	L	3.0	3.0	3.0
G3	S	2.4	2.4	2.4
	L	2.9	2.9	2.9
G4	S	2.5	2.5	2,5
	L	3.0	3.0	3.0
G5	S	2.0	2.0	2.0
	L	3.0	3.0	3.0
G6	S	2.5	2.5	2.5
	L	4.0	4.0	4.0
G7	S	1.5	1.5	1.5
	L	2.5	2.5	2.5
G8	S	3.0	3.0	3.0
	L	4.0	4.0	4.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. <u>จำนวนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่แหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม</u>

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานนั้นเป็นต้นในการจัดการด้านต่างๆ ประกอบไปด้วย การขนถ่ายกากของเสียอุตสาหกรรม การป้อนกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อการกำจัด ซึ่งทางบริษัทประมาณค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ดังนี้

หน่วย:บาท/ตัน

โรงงานอุตสาหกรรม (Waste Generator)	p	**โรงปูนซีเมนต์** (Incinerate Plants)		
		C1	C2	C3
G1	S	1	1	1
	L	2	2	2
G2	S	1	1	1
	L	2	2	2
G3	S	1	1	1
	L	2	2	2
G4	S	1	1	1
	L	2	2	2
G5	S	1	1	1
	L	2	2	2
G6	S	1	1	1
	L	2	2	2
G7	S	1	1	1
	L	2	2	2
G8	S	1	1	1
	L	2	2	2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. จำนวนค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษากากของเสียอุตสาหกรรมที่แหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษากากของเสียอุตสาหกรรม เป็นส่วนของต้นทุนในการเก็บรักษากากของเสียอุตสาหกรรมที่รอการการกำจัด ซึ่งทางบริษัทกรณีศึกษาคิดเป็นค่าเสียโอกาศในเก็บรักษากากของเสียอุตสาหกรรมก่อนการกำจัด โดยการประมาณค่าใช้จ่ายจากการเก็บรักษาจาก 1 ตัน ที่ต้องทำการเก็บรักษา ทางบริษัทกรณีได้ประมาณค่าการเก็บรักษา ดังนี้

หน่วย:บาท/ตัน

โรงงานอุตสาหกรรม (Waste Generator)	p	**โรงปูนซีเมนต์ (Incinerate Plants)**		
		C1	C2	C3
G1	S	1	1	1
	L	2	2	2
G2	S	1	1	1
	L	2	2	2
G3	S	1	1	1
	L	2	2	2
G4	S	1	1	1
	L	2	2	2
G5	S	1	1	1
	L	2	2	2
G6	S	1	1	1
	L	2	2	2
G7	S	1	1	1
	L	2	2	2
G8	S	1	1	1
	L	2	2	2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. ระยะทางในการขนส่งจากแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรมไปยังแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

กำหนดข้อมูลระยะทางตามจริงจากบริษัทกรณีศึกษา โดยในตัวอย่างปัญหาที่ทำการทดลองมีระยะทางในการขนส่งดังนี้

หน่วย:กิโลเมตร

บริษัทขนส่ง	โรงงานอุตสาหกรรม (Waste Generator)							
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
T1	200	210	220	230	110	120	130	140
T2	230	240	250	250	120	130	140	150
T3	220	230	240	250	130	130	130	130

10. กำลังความสามารถในการขนส่งกากของเสียของบริษัทที่ให้บริการขนส่ง

ในตัวอย่างของปัญหาได้ทำการกำหนดความสามารถในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ดังนี้

รถขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ประเภทของแข็ง สามารถบรรจุได้ 10 ตัน /คัน

รถขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรม ประเภทของแข็ง สามารถบรรจุได้ 8 ตัน /คัน

11. ปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมของแหล่งกำเนิดกากของเสียอุตสาหกรรม

ในตัวอย่างปัญหาที่ทำการทดลอง ได้พิจารณาข้อมูลร่วมกับทางบริษัท โดยพิจารณาแนวโน้มปริมาณกากของเสียที่เพิ่มขึ้นได้กำหนดข้อมูล ดังนี้

หน่วย : ตัน

โรงงานอุตสาหกรรม	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8	
ประเภท	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
ปริมาณ	30	30	40	40	5	5	70	70	20	20	5	5	50	50	25	25

12. กำลังความสามารถในการกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมของแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรม

ในตัวอย่างปัญหาที่ทำการทดลองได้กำหนดข้อมูลตามจริงย้อนหลังจากข้อมูลความสามารถกำจัดของเสียอันตราย จากการประมาณค่าจากบริษัทกรณีศึกษา ดังนี้

โรงปูนซีเมนต์	ความสามารถในการกำจัด (ตัน/วัน)
C1	60000
C2	50000
C3	55000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

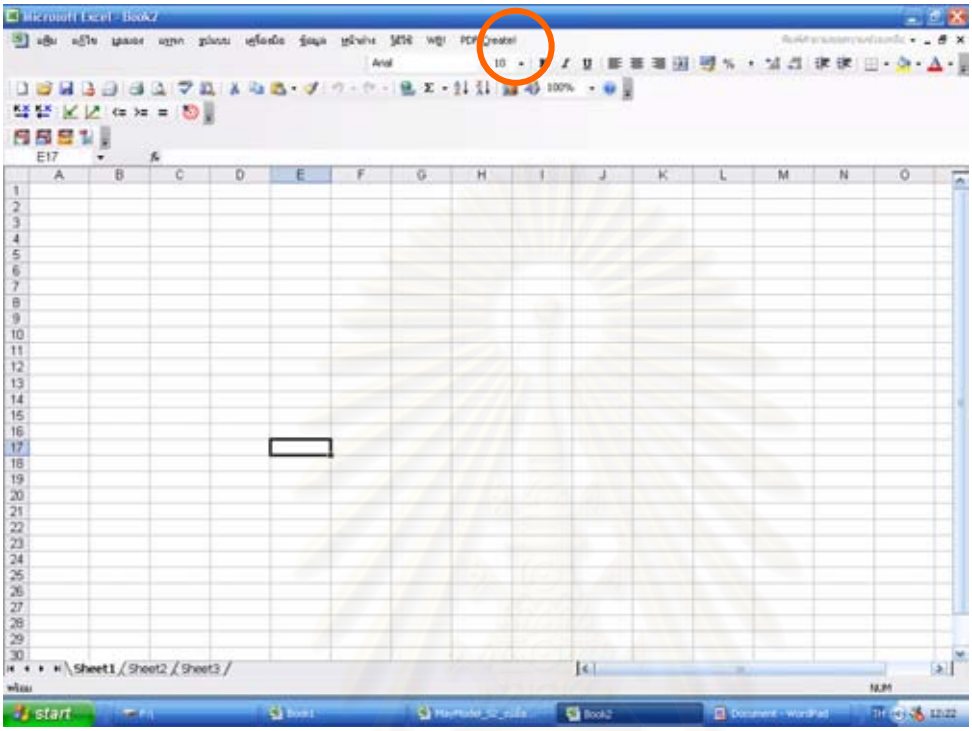
ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

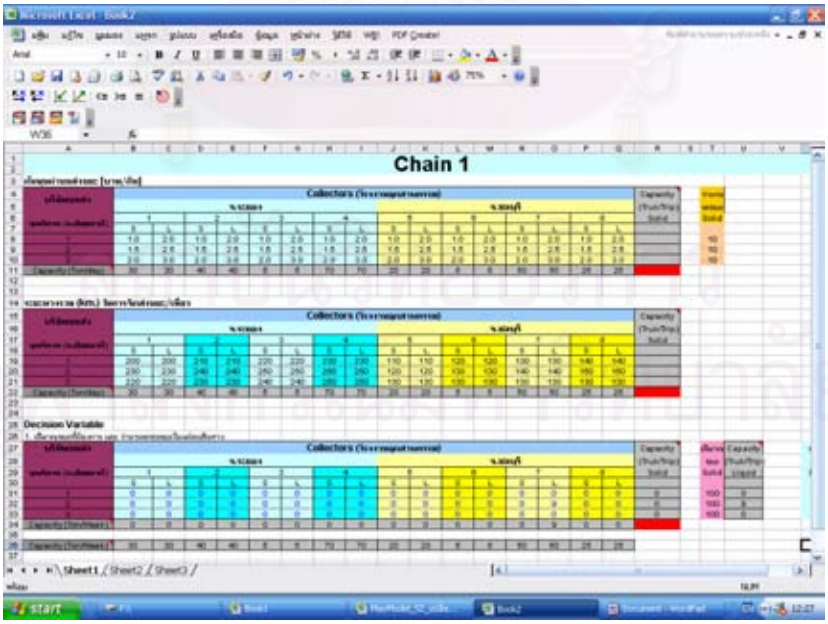
ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม What's Best ในการคำนวณ

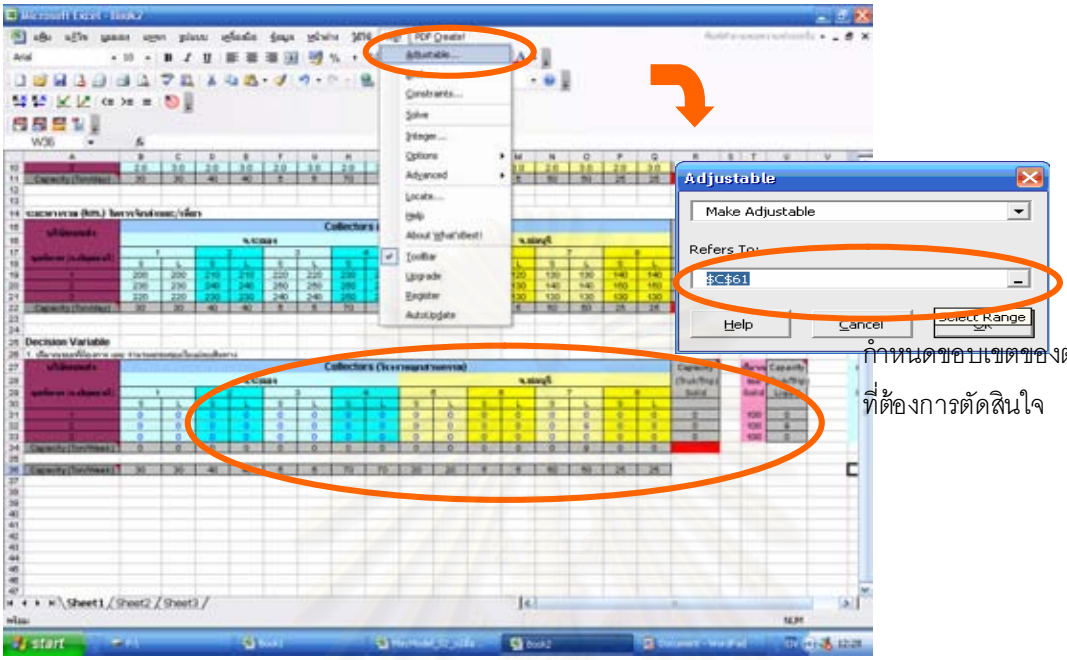
1. เมื่อเปิดโปรแกรมจะแสดงหน้า Microsoft Excel แสดงแถบ Menu (WB!)



2. สร้างตารางข้อมูลเพื่อใส่ค่าข้อมูลและกำหนดข้อจำกัดต่าง

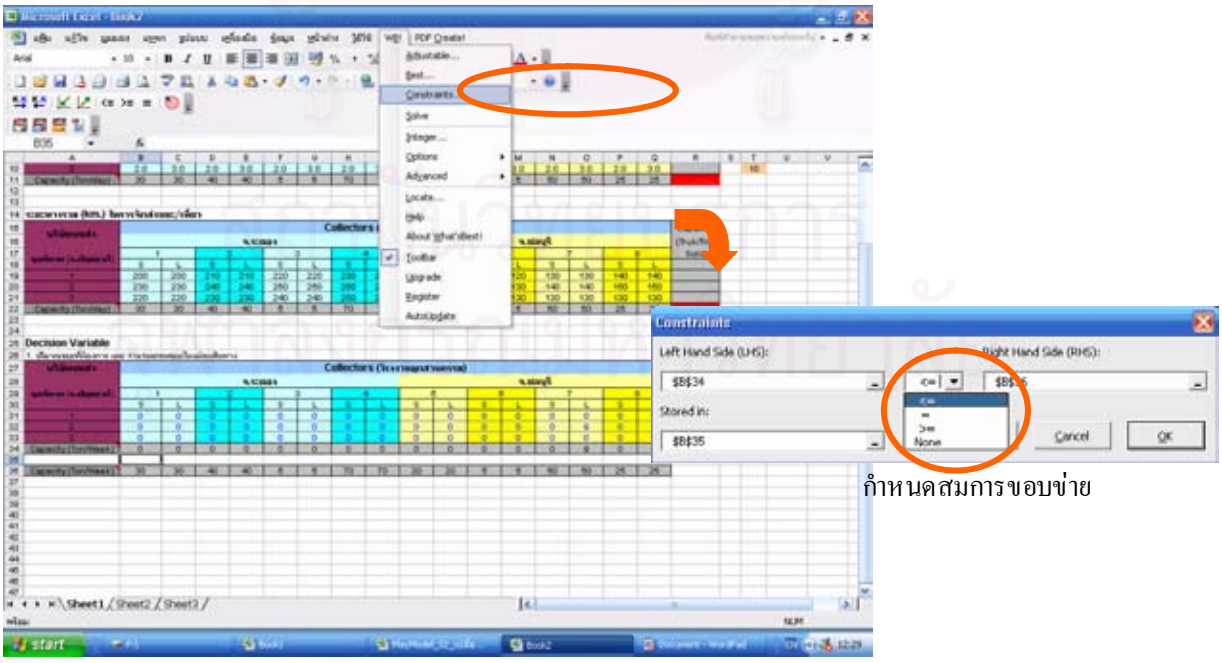


3. กำหนดค่าตัวแปรที่ต้องการตัดสินใจโดยเลือก WB! --> Adjustable ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง Adjustable กำหนดตัวแปรที่ต้องทำการตัดสินใจ



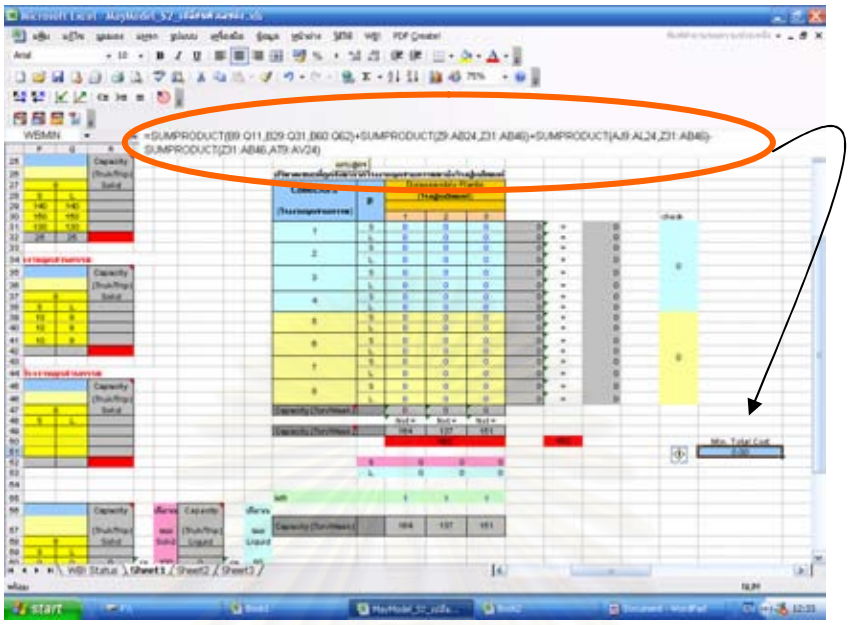
กำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ต้องการตัดสินใจ

4. กำหนดสมการขอบข่ายโดยเลือก WB! --> Constrain ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง Constraints และทำการกำหนดสมการขอบข่ายตามที่กำหนด

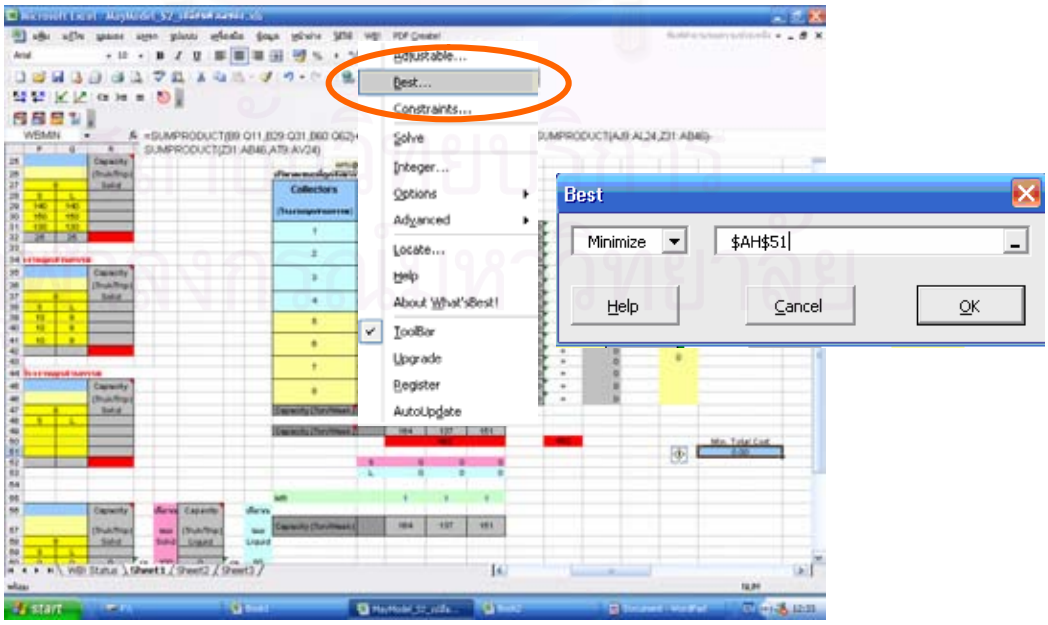


กำหนดสมการขอบข่าย

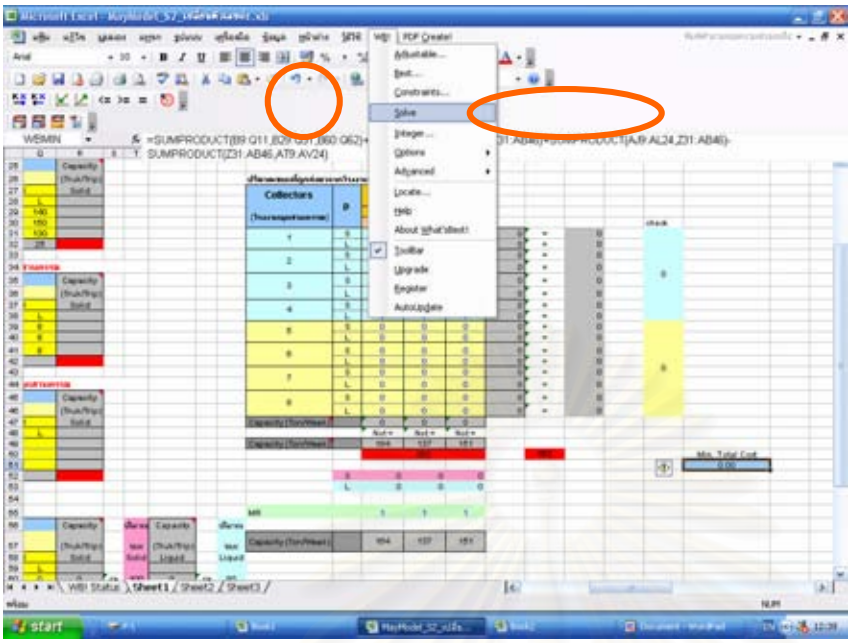
5. ในการคำนวนจะใช้สูตรดังแสดงดังรูปข้างล่างในการคำนวณรูปทั่วไปของสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ =Sumproduct (Array1,[array2],array3,…)



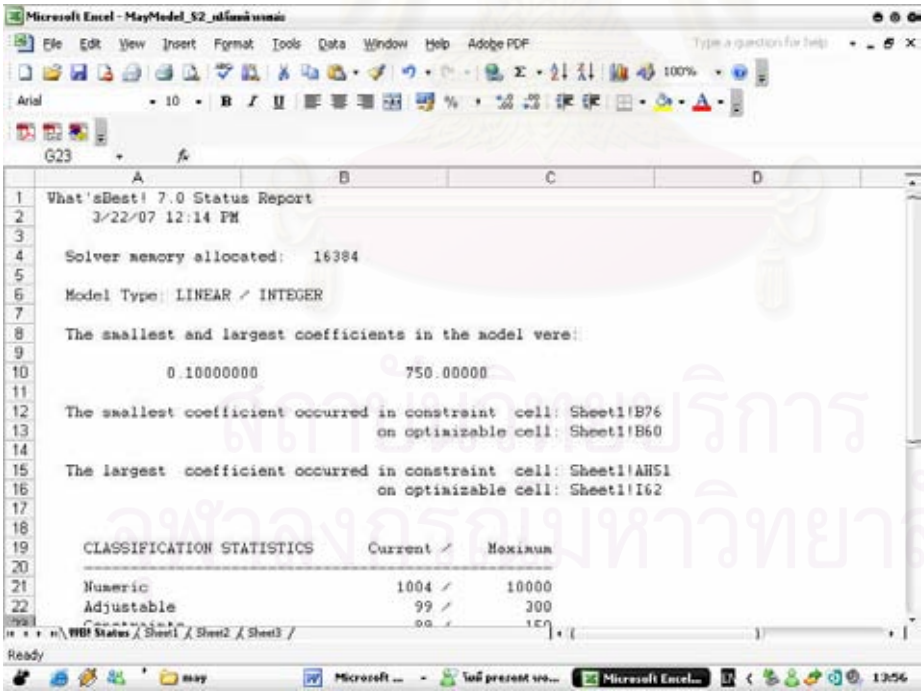
6. เมื่อใส่สูตรที่ต้องการคำนวณแล้วเลือกตรงพื้นที่ที่จะทำการแก้สมการเพื่อทำกำหนดสมการที่ต้องแก้นั้น เป็น Max/ min โดยเลือกที่เมนู WB! --> Best ซึ่งจะปรากฏหน้าต่าง Best



7. ทำการแก้สมการเลือกที่เมนู WB! --> Solve หรือ เลือกที่ไอคอน เพื่อทำการแก้สมการ



8.โปรแกรมจะทำการแก้สมการและแสดงผลค่าใช้จ่ายต่ำสุด และแสดงสถานะของโปรแกรม ดังรูป



ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

รายชื่อโรงงานที่ให้บริการกำจัดของเสียอันตราย พ.ศ. 2548

ชื่อโรงงาน ความสามารถ	ประกอบกิจการ	กำจัด (ตัน)
หมวดที่ 1 โรงงานที่รับกำจัดของเสียด้วยวิธี เผา บำบัด ปรับเสถียร และฝังกลบ		
ประเภทที่ 1 โรงงานกำจัดวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นและไม่เป็นของเสียอันตรายด้วยวิธีการฝังกลบ		
1. บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมจำกัด(มหาชน)	ฝังกลบตรง ปรับเสถียรและฝังกลบอย่างปลอดภัย	160,000
2. ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรม – แสมดำ (GENGOเช่าดำเนินการจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม)	บำบัดน้ำเสียฝังกลบตรง ปรับเสถียรและฝังกลบอย่างปลอดภัย	90,000
3. บริษัท โปรเฟสชั่นแนล เวสต์ เทคโนโลยี(1999) จำกัด	คัดแยกของเสีย ฝังกลบตรง ปรับเสถียรและฝังกลบอย่างปลอดภัย บำบัดน้ำเสีย	156,000
รวมหมวดที่ 1 – ประเภทที่ 1		406,000
หมวดที่ 1 โรงงานที่รับกำจัดของเสียด้วยวิธี เผา บำบัด ปรับเสถียร และฝังกลบ		
ประเภทที่ 2 โรงงานที่กำจัดวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นและไม่เป็นของเสียอันตรายด้วยวิธีเผาในเตาเผาปูนซีเมนต		
1. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์	ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน	60,000
2. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์	ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน	n.a
3. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ทุ่งสง) จำกัด	เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์ ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน	n.a
4. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด โรงงานท่าหลวง	เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์	n.a
5. บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด โรงงานเขาวง	เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์	n.a
6. บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)	เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์	50,000
7. บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)	เผาทำลายโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์ ใช้เป็นวัตถุดิบทดแทน ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน	60,000
รวมหมวดที่ 1 – ประเภทที่ 2		170000
รวมหมวดที่ 1 ทั้งสองประเภท		576000

ชื่อโรงงาน ความสามารถ	ประกอบกิจการ	กำจัด (ตัน)
หมวดที่ 2 โรงงานคัดแยก และรีไซเคิลของเสีย		
1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ยูนิคอปเปอร์เทรด	คัดแยกเศษอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อนำไปรีไซเคิลแปรสภาพและรีไซเคิลโลหะมีค่าด้วยวิธีแยกแร่	n.a.
2. บริษัท มัตซึดะ ซังเกียว (ประเทศไทย) จำกัด	สะสม คัดแยก และรีไซเคิล เศษวัสดุของชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ และฟิล์มเอ็กซเรย์	n.a.
3. บริษัท โอกิทานิ โคเกียว (ไทยแลนด์) จำกัด	คัดแยกและรีไซเคิลเศษเหล็กและเศษโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก และ ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส	n.a.
4. บริษัท ทรีวิว จำกัด	คัดแยกและซ่อมชิ้นส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์	n.a.
5. บริษัท รีไซเคิล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	กลั่น กรอง และตกตะกอนตัวทำละลาย	15,000
6. บริษัท รีฟายน์เทค จำกัด	ปรับสภาพแยกสารเจือปนในตัวทำละลายต่างๆต้มกลั่นให้บริสุทธิ์ปรับสภาพของเสียให้เป็นพลังงานทดแทน	2,500
7. บริษัท ไทย ซี ซิง จำกัด	รีไซเคิลตัวทำละลายและเคมีภัณฑ์ที่ใช้งานแล้ว	n.a.
8. บริษัท ระยอง เวสท์ แมนเนจเม้นท์ แอนด์รีไซเคิล จำกัด	กลั่นตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	n.a.
9. บริษัท เทคโนเคม จำกัด	รีไซเคิลตัวทำละลาย	10000
10. บริษัท เอเชีย รีไฟนิ่ง จำกัด	กลั่นตัวทำละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม	n.a.
11. ส.เจริญไทยรีไซเคิล์	ต้มและกรองน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว นำกากตะกอนน้ำมันจากการกรองมาผลิตเป็นรับเบอร์ออยส์ซีเมนต	n.a.
12. อุตสาหกรรมน้ำมันไทย (นายกิมเอ็งยิ่งแจ่มจันทร์)	ทำน้ำมันผสมสีทาบ้านจากน้ำมันเครื่องเก่า	n.a.
13. บริษัท 106 สิ่งแวดล้อม จำกัด	ทำเชื้อเพลิงทดแทนจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายใช้แล้ว	n.a.
14. บริษัท เวสท์ รีโคเวอรี่ จำกัด	ผลิตน้ำมันผสมสีทาบ้านจากน้ำมันใช้แล้ว	n.a.
15. บริษัท สุวรรณมงคลออยล์ จำกัด	ผลิตจารบีจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	n.a.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรัตติยา ปริญญารัตนเมธี เกิดเมื่อวันเสาร์ที่ 23 เมษายน พ.ศ.2526 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณีและปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 ประสบการณ์ด้านทำงาน ได้แก่ เป็นผู้ช่วยวิจัย ในโครงการผู้ช่วยวิจัยโครงการศักยภาพแหล่งถ่านหิน และ ผู้ช่วยวิจัยโครงการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก แก้ว กระจก ยิปซัม และผลิตภัณฑ์ของสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย