การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายงานหลายแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายวัตถุประสงค์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ทองพูน ทองดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

SOLVING A MULTI-OBJECTIVE, SOURCE AND STAGE LOCATION ALLOCATION PROBLEM (MOSS-LRP): A CASE STUDY IN A BAGASSE AND CASSAVA PULP ETHANOL PLANT IN NORTHEASTERN THAILAND

THONGPOON THONGDEE

A THESIS SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACUTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2013

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายงานหลายแบบ หลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายวัตถุประสงค์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผู้วิจัย นายทองพูน ทองดี

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปีตาคะโส	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุดสนธิ์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปีตาคะโส)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเกื้อหนุนและความดูแลของหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ระพีพันธ์ ปิตาคะโส ผู้ซึ่งเป็นยิ่งกว่าอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ แต่ยังเป็นผู้คอยกระตุ้นเตือนและให้กำลังใจในยามที่สับสนและท้อแท้ ตลอดจนได้ให้ความรู้อย่างกระจ่างชัดในการแก้ปัญหาในงานวิจัย

ทั้งนี้คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ได้ให้ความรู้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณกองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกคนที่เอาใจช่วยและแบ่งเบาภาระงานอย่างอื่นในช่วงที่ทำงานวิจัยนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติ และโลกทั้งในปัจจุบันและอนาคต

(นายทองพูน ทองดี)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายงานหลายแบบหลายลำดับขั้นหลายต้นกำเนิดและหลายวัตถุประสงค์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โดย : ทองพูน ทองดี

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

คัพท์สำคัญ : ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง ปัญหาการเลือกเส้นทาง การตัดสินใจแบบหลายจุดประสงค์ ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการเลือกโรงงานที่มีศักยภาพ ที่สามารถจะเปิดเป็นโรงงานผลิตเอทานอลได้ โดยโรงงานที่จะเปิดจะเลือกใช้ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล และกากมันสำปะหลังจากโรงงานมันสำปะหลังอุตสาหกรรมมาเป็นวัตถุดิบของกระบวนการผลิต ภายใต้วัตถุประสงค์หลักด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย โดยได้กำหนดขอบเขตในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นรูปแบบการขนส่งแบบหลายลำดับขั้น หลายสถานที่และหลายวัตถุประสงค์ กระบวนการของการแก้ปัญหาเริ่มจากกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของกรณีศึกษา และจากนั้นทำการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 แต่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ หาคำตอบได้แค่ที่ใกล้เคียงเท่านั้นโดยที่ใช้เวลากว่า 5 ชั่วโมงในการคำนวณ ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจึงได้พัฒนาอัลกอริทึมที่มีการแก้ไขวิวัฒนาการ เพื่อแก้ปัญหากรณีศึกษานี้ จากผลการคำนวณพบว่าได้คำตอบที่ให้ต้นทุนสูงกว่าประมาณร้อยละ 2 แต่ใช้เวลาเร็วกว่าร้อยละ Lingo 99

ABSTRACT

TITLE : SOLVING A MULTI-OBJECTIVE, SOURCE AND STAGE LOCATION ALLOCATION PROBLEM (MOSS-LRP): A CASE STUDY IN A BAGASSE AND CASSAVA PULP ETHANOL PLANT IN NORTHEASTERN THAILAND

BY : THONGPOON THONGDEE

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASSOCIATE PROFESSOR DR.RAPEEPAN PHITAKHASO, Ph.D.

KEYWORDS : LOCATION ALLOCATION PROBLEM / LOCATION ROUTING PROBLEM / MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION / DIFFERENTIAL EVOLUTIONARY ALGORITHM

The objective of this research is to select some potential sites to be opened as the ethanol plants. The selected plants will use bagasse from sugar industries and cassava pulp from cassava flour industries as the raw material of their production process. The case study will scope in northeastern area of Thailand. The objectives function that we consider including economic, environmental and social risk objectives. The case study addressed above is the multi-stages multi-objectives location allocation. The process of solving the case study is as following: firstly, we formulate the mathematical model to represent the case study and then solve it by optimization software package (Lingo v.11). Lingo v.11 can not find optimal solution but can find as lower bound solution and use time more than 5 hours computational time. Currently in this article, we develop the modified differential evolutionary algorithm to solve the case study. From the computational result can find 2% higher cost than that of Lingo but use 99% less computational time.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 วามเป็นมาและความสำคัญในการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	6
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย	7
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย	7
1.6 แผนการดำเนินงาน	8
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม	10
2.2 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ	12
2.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบหลายลำดับขั้น	13
2.4 ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์	15
2.5 ทฤษฎีทางด้านการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Theory)	17
2.6 ฮิวรีสติกและเมตาฮิวรีสติก	18
2.7 สรุประเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมของเมตาฮิวริสติก	21

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.8 การหาความเหมาะสมด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยส่วนต่าง	24
	2.9 การหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง	28
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	
	3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	31
	3.2 รูปแบบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์	32
	3.3 กรณีศึกษาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้นหลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์ ของโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	32
4	**แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทางแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์**	
	4.1 การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย Lingo	48
	4.2 ผลการวิจัย	54
	4.3 สรุปและอภิปรายผล	56
5	**การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง**	
	5.1 การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น	61
	5.2 การปรับปรุงอัลกอริทึม	77
	5.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึม	80
	5.4 การทดสอบสมรรถนะอัลกอริทึม	84
6	**การทดสอบอัลกอริทึมตามเทคนิคพาเรโต**	
	6.1 การวิเคราะห์ผลกระทบหลายจุดประสงค์ด้วยเทคนิคพาเรโต	88
	6.2 ผลการทดลองจากเทคนิคพาเรโต	90
7	**สรุปและอภิปรายผลการทดลอง**	
	7.1 สรุปผลการทดลอง	94
	7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยและพัฒนาในอนาคต	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	100
ภาคผนวก	104
ประวัติผู้วิจัย	107

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินการวิจัย	8
2.1	เปรียบเทียบทำเลที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีใช้คะแนน	12
2.2	สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีทางตรงและฮิวรีสติกส์ ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะ	14
3.1	การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานน้ำตาลด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan)	35
3.2	ปริมาณชานอ้อยที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	37
3.3	การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแป้งมันด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan)	38
3.4	ปริมาณกากมันที่เหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันในเขตพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	42
3.5	ปริมาณเอทานอลที่ทำการผลิตในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	43
3.6	ตำแหน่งที่ตั้งของคลังน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	43
3.7	ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน	43
3.8	จำนวนเอทานอลที่ผลิตได้จากชานอ้อยและกากมัน	44
3.9	ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย ที่ใช้การตัดสินใจ	44
3.10	ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมันและคลังน้ำมัน	45
3.11	โอกาสความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบบริเวณโรงงานเอทานอล	46
3.12	โอกาสความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากการขนส่งจาก โรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน	47
4.1	ผลการทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.2	ผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน	57
4.3	สรุปขนาดของปัญหาที่ทำทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0	58
5.1	สรุปงานวิจัยที่ทำการทบทวนวรรณกรรมเพื่อสรุปผลการเลือกอัลกอริทึม	60
5.2	โครโมโซมในการหาคำตอบเริ่มต้น	64
5.3	โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการกลายพันธ์	67
5.4	โครโมโซมที่สุ่มจำนวนจริง 0 ถึง 1 ก่อนการทำครอสโอเวอร์	70
5.5	โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์	72
5.6	โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก	75
5.7	ผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน	82
5.8	การเปรียบเทียบและผลการทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึม	85
6.1	การเปรียบเทียบคุณภาพพาเรโตของแต่ละอัลกอริทึม	93
7.1	ผลการทดสอบจากการเพิ่มน้ำหนักให้กับวัตถุประสงค์แต่ละด้าน	98

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน	2
1.2	รูปแบบโซ่อุปทานการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลล์	4
1.3	ตำแหน่งของโรงงานน้ำตาล, จุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลและโรงผสมน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	4
1.4	ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานแป้งมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	5
2.1	แผนภูมิการหาค่าความเหมาะสมวิธีดีเทอร์มินิสติค	18
2.2	แผนภูมิการหาค่าความเหมาะสมวิธีสโตคาสติค หรือวิธีพรอบาบิลิสติค	18
2.3	แผนผังรอบการคำนวณโดยระเบียบวิธีวิวัฒนาการ	24
2.4	การค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปร	26
2.5	การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า D=7	27
2.6	กระบวนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution จากขั้นที่ 1 ถึง 4	28
2.7	หลักการสุ่มน้ำหนักและจัดทำพาเรโตฟร้อนของกรณีศึกษา	30
3.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	31
3.2	รูปแบบโซ่อุปทานการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ลักษณะของการขนส่งแบบหลายระดับในกรณีศึกษา	32
3.3	ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน โรงงานเอทานอลและคลังน้ำมันผสมแก๊สโซฮอล์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	34
4.1	ผลการทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0	58
5.1	รหัสเทียม (Pseudo-Code) การนำไปใช้เขียนโปรแกรม C++	61
5.2	Flow Chart แสดงกระบวนการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.3	การทำงานของอัลกอริทึมกระบวนการ Recombination ของ MODDE	78
5.4	การทำงานของอัลกอริทึมกระบวนการ Recombination ของ DE-PSO	80
6.1	หลักการสุ่มน้ำหนักแต่ละวัตถุประสงค์ของกรณีศึกษา	89
6.2	ขั้นตอน Flow Chart การใช้เทคนิคพาเรโต	89
6.3	วิธีการเปรียบเทียบคุณภาพพาเรโตฟร้อนของกรณีศึกษา	90
6.4	พาเรโตฟร้อนการหาค่าเหมาะสมที่สุดของปัญหาหลายจุดประสงค์	91
6.5	พาเรโตฟร้อนเปรียบเทียบ SAFE กับ ECO	91
6.6	พาเรโตฟร้อนเปรียบเทียบ ENV กับ ECO	92

บทที่ 1
บทนำ

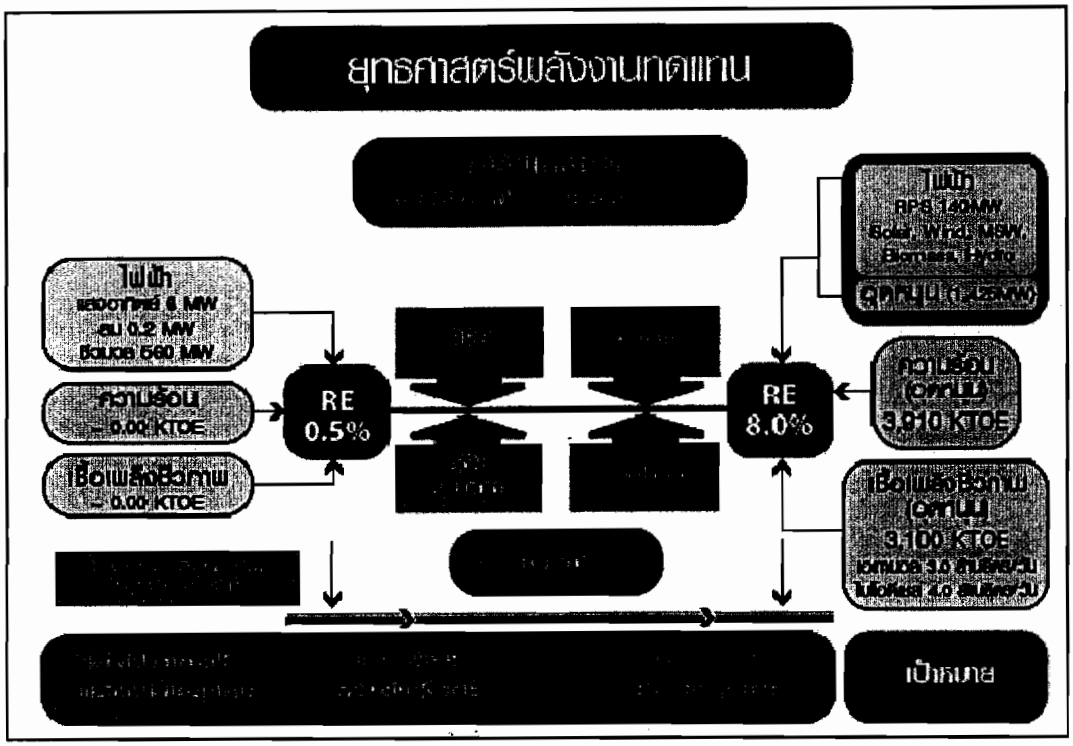
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการวิจัย

จากปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนที่กำลังส่งผลกระทบอย่างชัดเจนในปัจจุบันทำให้หลายประเทศทั่วโลกออกมาตรการป้องกันการทำลายสิ่งแวดล้อม และประเทศไทยได้มุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน อาทิเช่น พลังงานชีวภาพ พลังงานจากลม พลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดจนยุทธศาสตร์ส่งเสริมการใช้แก๊สโซฮอล์ทดแทนน้ำมันแบนซิน 95 ที่รัฐบาลให้การสนับสนุนทั้งด้านการผลิตและการโฆษณาประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างความเข้าใจและความเชื่อมั่นในกลุ่มผู้บริโภค และจากสภาวการณ์ปัจจุบันราคาน้ำมันดิบ และน้ำมันสำเร็จรูปขยับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตโดยตรงในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก ทำให้ประเทศสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก และในอนาคตราคาน้ำมันในตลาดโลกมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้หลายประเทศหันมาให้ความสำคัญและเร่งพัฒนาอย่างจริงจัง โดยการคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ ๆ ซึ่งที่ได้รับความนิยมในขณะนี้ คือ เอทานอล

สำหรับการส่งเสริมการผลิตและการใช้เอทานอลในประเทศไทยให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงความปลอดภัย จำเป็นต้องศึกษาวิเคราะห์ รวมทั้งต้องมีข้อมูลที่ครบถ้วนสำหรับประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดเป็นนโยบายและแผนการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน และเพื่อเป็นการแก้ปัญหาราคาน้ำมันแพง การขาดแคลนเชื้อเพลิง เอทานอลจึงเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่เป็นพลังงานทางเลือก ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานสะอาด ผลิตจากกระบวนการหมัก (Fermentation) พืชทุกชนิด และผลิตภัณฑ์ของพืชบางชนิด ได้แก่ อ้อย น้ำตาล แป้ง มันสำปะหลัง มันเทศ รวมทั้งธัญพืชต่างๆ อาทิเช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวเหนียว ข้าวฟ่างหวาน และผลไม้ชนิดต่าง ๆ

จากข้อมูลการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ภายในประเทศพบว่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา แสดงให้เห็นว่าจะเกิดการขาดแคลนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ขึ้นในประเทศ ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากภาวะขาดแคลนน้ำมันอย่างมาก เนื่องจากระบบเศรษฐกิจของประเทศต้องพึ่งพาการขนส่งทางรถยนต์ค่อนข้างมาก จากความต้องการใช้พลังงานปี พ.ศ.2548 พบว่าประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงคิดเป็นมูลค่า 700,000 ล้านบาท ซึ่งความพยายามในการลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ทำให้

คณะรัฐมนตรีได้มีการจัดทำยุทธศาสตร์พลังงานแห่งชาติ ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2546 ซึ่งส่งเสริมให้มีการใช้เชื้อเพลิงจากพืชหรือเชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนน้ำมัน โดยสนับสนุนให้มีการผลิตเอทานอลจากผลิตผลทางการเกษตร เพื่อนำไปเป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซินและจำหน่ายให้กับประชาชนทั่วไปในชื่อของน้ำมันแก๊สโซฮอลล์



ภาพที่ 1.1 ยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน

ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐ จึงได้ส่งเสริมให้มีการสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นในทุกภูมิภาคของประเทศไทย และจากข้อมูลของกระทรวงพลังงาน ปี 2550 พบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีโรงงานที่ได้รับอนุญาตให้เปิดดำเนินการถึง 13 โรงงานจากทั้งหมด 24 โรงงานที่ได้รับอนุญาตทั้งหมดในประเทศไทย แต่ถ้าหากพิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลในปัจจุบันก็จะพบว่าโรงงานต่างๆ ก็จะเลือกใช้วัตถุดิบสองชนิดคือ กากน้ำตาลกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองต่างก็มีความสำคัญ และมีความต้องการสูงในอุตสาหกรรมอื่นๆ ด้วย ดังนั้นผลกระทบที่จะตามมาคือการขาดแคลนวัตถุดิบที่จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นตามมา งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากวัตถุดิบต่อเนื่องจากการผลิตน้ำตาลและแป้งมัน นั่นคือชานอ้อยและ

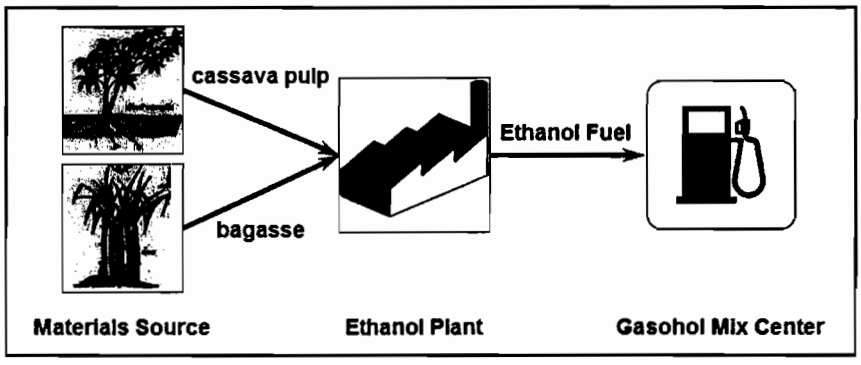
กากมัน โดยงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นภายใต้วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงความปลอดภัย

นอกจากการศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากชานอ้อย และกากมันแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาการเลือกที่ตั้งแบบสองระดับ เป็นการกำหนดต้นกำเนิดของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลสองระดับ รวมถึงการเลือกเส้นทางการขนส่งแบบสองระดับ และในงานวิจัยครั้งนี้ยังได้กำหนดกรอบปัญหาให้เป็นแบบหลายจุดประสงค์เพื่อให้สะท้อนและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการตัดสินใจ และเพื่อกำหนดเป็นนโยบายแผนการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนต่อไป

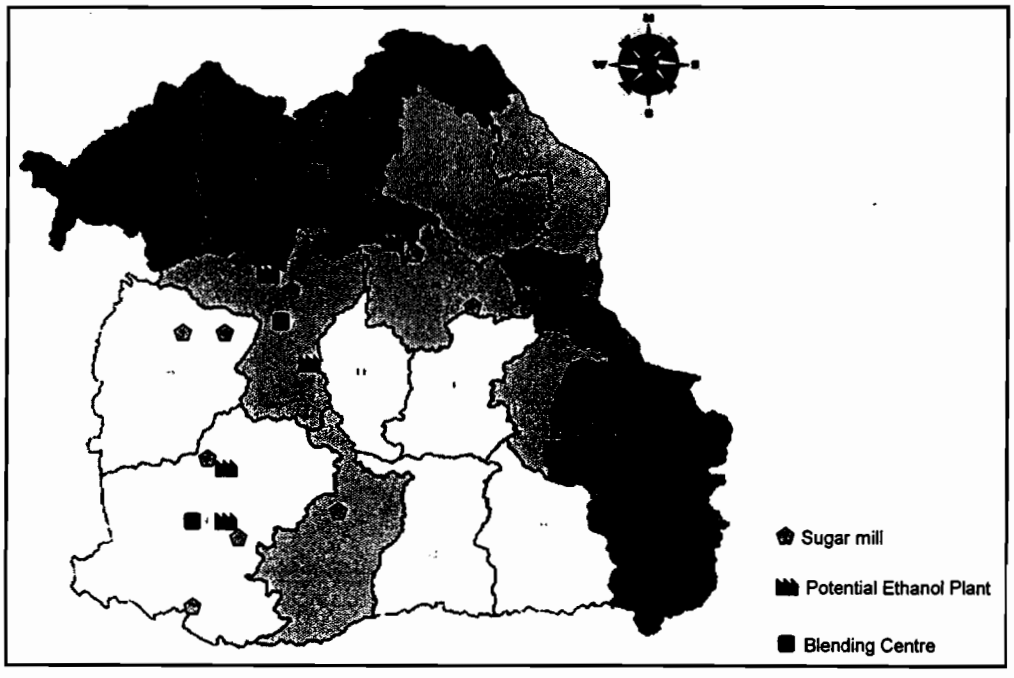
Buddadee et al. (2008, 2009) ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อย โดยศึกษาถึงผลของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ

นัทธพงศ์ นันทสำเริง และคณะ (2551, 2552) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยแบบหลายจุดประสงค์ (multi-objectives) โดยที่การระบุปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะ 4 ประการ คือ 1) ที่ตั้งของลูกค้าที่มีที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้ว 2) ที่ตั้งโรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้งเอง 3) ที่ตั้งที่ลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ 4) ระยะทางในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า (ReVelle and Eiselt, 2005) นอกจากนี้การศึกษายังเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location routing problem) โดยที่ Jacobsen and Madsen (1980) ได้เสนอไว้ในปัญหาการขนส่งหนังสือพิมพ์ ซึ่งประกอบด้วย 1) การหาสถานที่ตั้งของจุดกระจายสินค้า 2) การออกแบบเส้นทางของยานพาหนะจากโรงงานผลิตไปยังจุดกระจายสินค้า 3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดกระจายสินค้า และ 4) การออกแบบเส้นทางยานพาหนะที่ออกจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อยต่าง ๆ

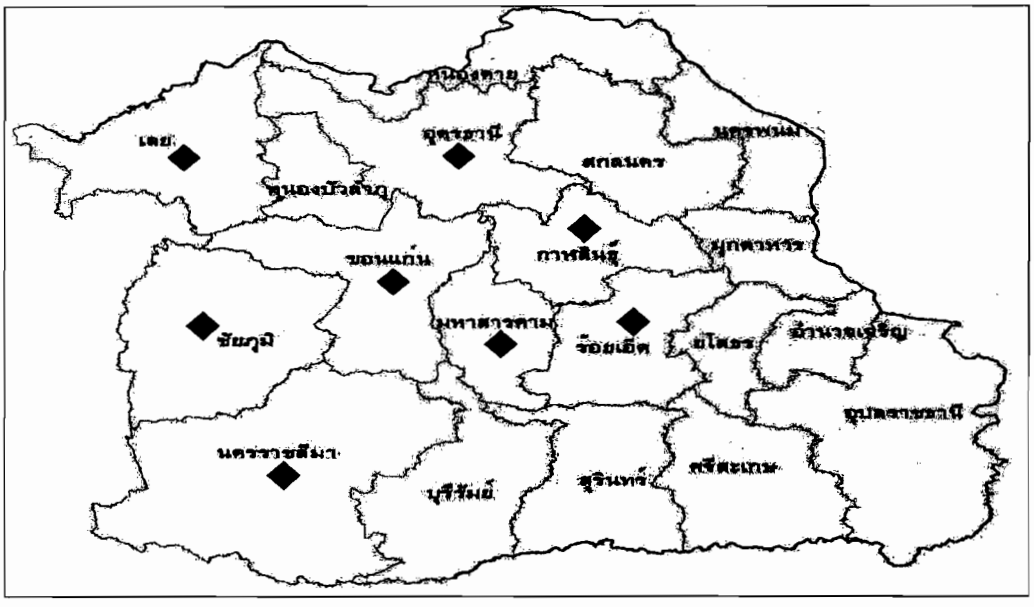
Thongpoon Thongdee and Repeepan Pitakaso (2012) ได้ทำการศึกษาในปัญหาเดียวกันกับนัทธพงศ์ นันทสำเริง แต่ขยายรูปแบบของปัญหาเป็นการเพิ่มแหล่งของวัตถุดิบเป็นหลายแหล่ง (Multi-Source) กล่าวคือมีการพิจารณาถึงแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตเอทานอลเป็นชานอ้อยและกากมัน โดยปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11.0



ภาพที่ 1.2 รูปแบบโซ่อุปทานการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลล์



ภาพที่ 1.3 ตำแหน่งของโรงงานน้ำตาล, จุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลและโรงผสมน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 1.4 ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานแป้งมันภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

อย่างไรก็ตามการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11 นั้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนขนาดของแหล่งวัตถุดิบและจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลให้มีจำนวนมากยิ่งขึ้น พบว่าไม่สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11 ในการแก้ปัญหาได้เนื่องจากหน่วยความจำสำรองของโปรแกรมไม่เพียงพอกับความซับซ้อนของปัญหาที่เพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์ จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการแก้ปัญหาการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานตลอดจนออกแบบเส้นทางขนส่งเพื่อตอบสนองต่อข้อจำกัดที่มีหลากหลายทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ตลอดจนการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์ ที่ทำการศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายตามกรอบที่ได้ศึกษาเท่านั้น

1.3.1 แหล่งวัตถุดิบชานอ้อยในการผลิตเอทานอลมีตั้งแต่ 1 แห่งแต่ไม่เกิน 16 แห่งตามสถานที่ตั้งของโรงงานน้ำตาล

1.3.2 แหล่งวัตถุดิบกากมันในการผลิตเอทานอลมีตั้งแต่ 1 แห่งแต่ไม่เกิน 46 แห่งตามสถานที่ตั้งของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

1.3.3 โรงงานเอทานอลที่จะจัดตั้งมีจำนวนตั้งแต่ 1 แห่งแต่ไม่เกิน 5 แห่งตามสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอลเดิมที่เปิดดำเนินการผลิตอยู่แล้ว

1.3.4 โรงผสมน้ำมันแก๊สโซฮอลล์หรือคลังน้ำมันที่โรงงานเอทานอลต้องจัดส่งให้มีจำนวนตั้งแต่ 1 แห่งแต่ไม่เกิน 4 แห่งตามสถานที่ตั้งของคลังน้ำมันเดิมที่เปิดดำเนินการอยู่แล้ว

1.3.5 วัตถุดิบสำหรับโรงงานเอทานอลมีสองชนิด คือชานอ้อยและกากมันที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาลและแป้งมันสำปะหลังตามลำดับ

1.3.6 โรงผสมน้ำมันแก๊สโซฮอลล์หรือคลังน้ำมันต้องการสินค้าจากโรงงานผลิตเอทานอลเพียงอย่างเดียวคือเอทานอลบริสุทธิ์เท่านั้น

1.3.7 ความสามารถในการรับเอทานอลของโรงผสมน้ำมันแก๊สโซฮอลล์หรือคลังน้ำมันเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและรับได้ไม่จำกัดจำนวน

1.3.8 ความสามารถในการรับวัตถุดิบของโรงงานเอทานอลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและรับได้ไม่จำกัดจำนวน รวมทั้งปริมาณวัตถุดิบที่ต้องไปรับจากแหล่งวัตถุดิบมีจำนวนที่แน่นอน

1.3.9 จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของทุกเส้นทางของยานพาหนะคือโรงงานเอทานอล

1.3.10 ปริมาณวัตถุดิบที่บรรทุกรวมในเส้นทางไม่เกินเงื่อนไขควบคุมที่กำหนด

1.3.11 ปริมาณเอทานอลที่บรรทุกรวมในเส้นทางไม่เกินเงื่อนไขควบคุมที่กำหนด

1.3.12 การขนส่งทั้งวัตถุดิบและเอทานอลไม่มีเงื่อนไขด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง

1.3.13 งานวิจัยจัดทำขึ้นภายใต้สมมุติฐานที่ต้องการกำหนดการวางแผนเชิงกลยุทธ์ (Strategic Planning) ของโรงงานเอทานอลที่มีอยู่แล้วเท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงผลการปฏิบัติงานจริงตามกระบวนการผลิตจริงที่มีอยู่แล้ว

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยจะเริ่มจากการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหา การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ จากนั้นจึงเสนอวิธีเมตาฮิวรีสติกพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเตรียมการ ระยะดำเนินการออกแบบอัลกอริทึม และระยะหลังดำเนินการ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

1.5.1 ศึกษาเอกสารงานวิจัยเกี่ยวกับการวิจัยดำเนินงาน ในเรื่องที่เกี่ยวกับการแก้ปัญหาการมอบหมายเส้นทางและสถานที่ตั้ง (Location allocation problem) แบบหลายลำดับขั้น (Multi-stage) หลายต้นกำเนิด (Multi-source) และหลายจุดประสงค์ (Multi-objective)

1.5.2 กำหนดสถานะของปัญหา โดยกำหนดเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของกำหนดการเชิงเส้นที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ที่มีจุดประสงค์เพื่อหาทำเลที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล

1.5.2.1 มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด

1.5.2.2 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.5.2.3 มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด

1.5.3 รวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.5.4 ทำการทดลอง ประมวลผลเบื้องต้นจากข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมดด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO V.11.0 และพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลและเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์แบบหลายวัตถุประสงค์

1.5.5 ทดสอบอัลกอริทึมที่ได้กับกรณีศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

1.5.6 สรุป อภิปรายผลการทดลอง และจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5.7 เผยแพร่บทความวิจัยในวารสารวิชาการที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ

1.6 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานของการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวางแผนให้มีความสอดคล้องกับวิธีดำเนินงานวิจัยและกรอบของทุนที่สนับสนุนการวิจัยซึ่งแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2553				2554				2555			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1. ศึกษาเอกสารงานวิจัยเกี่ยวข้อง		■	■									
2. กำหนดสถานะของปัญหาเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์		■	■									
3. รวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย			■	■	■							
4. ทำการทดลองและประมวลผลจากข้อมูลที่รวบรวมได้					■	■	■	■				
5. สรุป อภิปรายผลการทดลอง และเผยแพร่บทความวิจัยและ/หรือตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับนานาชาติ									■	■	■	■

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากชานอ้อยและกากมันที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด รวมทั้งเป็นประโยชน์สูงสุดต่อการตัดสินใจเพื่อกำหนดเป็นนโยบายและแผนการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน โดยที่สามารถสรุปออกมาเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1.7.1 ได้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์และอัลกอริทึมสำหรับการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลและเส้นทางการขนส่งสำหรับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เอทานอล

1.7.2 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ผู้ประกอบการขนส่ง โรงงานเอทานอล โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมันสำปะหลัง ตลอดจนเกษตรกรผู้ผลิตวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจและวางแผนในการลงทุนเกี่ยวกับธุรกิจพลังงานได้

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ (Location-Allocation Problem; LAP) ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Problems) ฮิวรีสติก และเมตาฮิวรีสติก (Heuristics and Meta-heuristics) สำหรับการแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์

2.1 การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม (Selection of Plant Location)

การเลือกทำเลที่ตั้งเป็นโรงงานอุตสาหกรรม เป็นเรื่องสำคัญสำหรับผู้บริหาร เพราะการค้นหาว่าจะตั้งโรงงานอุตสาหกรรมอยู่ที่ใดที่หนึ่ง จะมีผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายทั้งที่เป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน ซึ่งผลกำไรจากบริษัทจะได้รับผลกระทบทันทีหากตัดสินใจเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมไม่เหมาะสม ผู้บริหารก็จะต้องตัดสินใจวางแผนเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดำเนินการดังนี้

2.1.1 การลงทุน (Investment) ปกติการลงทุนในสถานที่ อาคาร เครื่องจักร และอุปกรณ์ จะต้องใช้เงินลงทุนสูงและเคลื่อนย้ายยาก ซึ่งผู้บริหารต้องตัดสินใจเกี่ยวกับการเช่าหรือซื้อขาดว่าทางเลือกใดมีความเหมาะสมกว่ากัน

2.1.2 ต้นทุนการบริหาร (Management Cost) การตัดสินใจเลือกที่ตั้งมีผลกระทบต่อการจัดการทางการเงินและต้นทุนการดำเนินงาน เนื่องจากที่ตั้งแต่ละแห่งมีต้นทุนที่แตกต่างกัน เช่น ค่าขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ การติดต่อสื่อสาร และค่าจ้างแรงงาน เป็นต้น

2.1.3 การขยายกิจการ (Growth) การขยายตัวในอนาคตขององค์การทั้งด้านการดำเนินงานหรือตลาด ซึ่งผู้บริหารจะต้องพิจารณาข้อเปรียบเทียบของแต่ละทางเลือก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความคับแคบในการดำเนินงานหรือให้บริการในอนาคต แต่ถ้าธุรกิจจัดเตรียมพื้นที่มากเกินไปจะเป็นการลงทุนที่ไม่มีผลตอบแทน ตลอดจนก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงในการดำเนินงาน

2.1.4 ความได้เปรียบในการแข่งขัน (Competitive Advantage) เป็นประเด็นสำคัญในการตัดสินใจของผู้บริหาร ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของธุรกิจ ที่ตั้งที่เหมาะสมช่วยให้ต้นทุนการดำเนินงานของธุรกิจต่ำ ทั้งต้นทุนทางตรงและทางอ้อม ตลอดจนที่ตั้งที่เหมาะสมช่วยดึงดูดผู้บริโภค ซึ่งจะช่วยสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับธุรกิจ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกที่ตั้งโรงงานมีอยู่มากมาย อย่างไรก็ตามมักปรากฏอยู่เสมอว่า มีเพียงปัจจัยไม่กี่อย่างที่มีผลสำคัญต่อการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของโรงงานผลิตสินค้า ปัจจัยที่มีผลอย่างสำคัญต่อการเลือกที่ตั้งประกอบด้วย ความพร้อมทางด้านพลังงาน เส้นทางการขนส่ง และแหล่งวัตถุดิบ ตัวอย่างเช่น โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กกล้าต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงานคือไฟฟ้า โรงงานปูนซีเมนต์ต้องอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบ เป็นต้น นอกจากนี้เส้นทางการขนส่งทั้งทางน้ำ บก และอากาศ ก็จะมีผลอย่างสำคัญต่อต้นทุนการผลิตและจำหน่าย ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกที่ตั้งของโรงงาน อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่เกี่ยวกับทรัพยากรการผลิต และปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม โดยปัจจัยที่เกี่ยวกับทรัพยากรการผลิต ประกอบด้วย วัตถุดิบ ตลาดสินค้า แรงงาน ที่ดิน การขนส่ง แหล่งพลังงาน และสาธารณูปโภคที่ใช้ในการผลิต

การวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อมีการศึกษาปัจจัยในการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว บางครั้งอาจจะมีทำเลให้เลือกหลายทำเล ซึ่งการที่จะตัดสินใจเลือกเอาทำเลใดทำเลหนึ่งเป็นทำเลที่ตั้งโรงงานนั้นก็เป็นเรื่องที่ยากที่จะตัดสินใจได้ง่าย ๆ หากไม่มีการวิเคราะห์ปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน เพื่อช่วยให้ตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานได้ง่ายขึ้น การวิเคราะห์ปัจจัยเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานทำกัน 5 วิธี คือ

(1) วิธีให้คะแนน (Rating Plan)

(2) วิธีเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย (Cost Comparison)

(3) วิธีวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของทำเลที่ตั้ง (Location break-even analysis)

(4) วิธีเปรียบเทียบระยะทาง (Distance Comparison)

(5) วิธีวิเคราะห์ด้วยตัวแบบการขนส่ง (Transportation Model)

ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะวิธีที่ 1 เท่านั้น เพราะจะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยโดยเฉพาะวิธีให้คะแนน (Rating Plan) วิธีนี้มีการชั่งน้ำหนักปัจจัยต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการผลิต ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดก็จะได้รับคะแนนมากที่สุด เช่น สมมติว่า ปัจจัยที่ตั้งทำเลใกล้แหล่งวัตถุดิบสำคัญที่สุด ก็จะกำหนดให้คะแนน 400 คะแนน ส่วนสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญน้อยก็จะให้คะแนนเต็ม 50 คะแนน เมื่อมีทำเลให้เลือก 3 ทำเล ผู้วิเคราะห์ก็จะให้คะแนนครบทุกทำเลในความเป็นจริงในการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีด้วยกันหลายปัจจัย ผู้วิเคราะห์ก็จะต้องให้คะแนนทุกปัจจัย และทุกทำเลที่ตั้งนำมาวิเคราะห์

หลังจากให้คะแนนเต็มของแต่ละปัจจัยแล้ว ต่อไปผู้วิเคราะห์ก็จะพิจารณาว่า แต่ละทำเลนั้นควรจะได้คะแนนมากน้อยแตกต่างกันเพียงใด และนำมาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนดังตัวอย่าง ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบทำเลที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีใช้คะแนน

ปัจจัย	คะแนนเต็ม	ทำเล ก	ทำเล ข	ทำเล ค
1. ใกล้แหล่งวัตถุดิบ	400	300	250	150
2. ใกล้แหล่งตลาด	300	150	200	250
3. แรงงานหาง่าย	275	150	225	175
4. การขนส่งสะดวก	125	125	100	125
5. น้ำประปาสะดวกพอเพียง	200	100	150	175
6. ไฟฟ้าสะดวก	200	150	150	100
7. การระบายสิ่งโสโครก	100	50	75	75
8. ค่าที่ดินและสิ่งก่อสร้าง	70	60	50	50
9. สิ่งแวดล้อม	50	25	40	35
รวม	1,720	1,110	1,240	1,135

2.2 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะเป็นการแก้ปัญหาที่มีจุดประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งซึ่งเป็นปัญหาหลัก แต่ในขณะเดียวกันก็มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะซึ่งเป็นปัญหารองด้วย รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะจะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง และในขณะเดียวกันก็จะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะด้วย โดยหากเราให้ลูกค้าทุกรายเชื่อมต่อกับโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าที่จะตั้งขึ้นมา ปัญหานั้นก็จะเป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบมาตรฐาน แต่หากเรากำหนดที่ตั้งของโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าไว้เลยตั้งแต่เริ่มต้น ปัญหานั้นก็จะลดรูปลงมาเป็นเพียงปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะธรรมดานั่นเอง

ในมุมมองทางคณิตศาสตร์แล้ว ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภท NP-Hard อย่างไม่ต้องสงสัย เนื่องจากเป็นการรวมเอาปัญหา NP-Hard สองปัญหาคือ 1) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง และ 2) ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะเข้าด้วยกัน

Jozefowiez et al. (2008) ได้สำรวจรูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันออกเป็นกลุ่มๆ ตามโครงสร้างของปัญหา ชนิดของข้อมูล ช่วงเวลาในการวางแผน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า โครงสร้างของเส้นทาง ฯลฯ โดยผลการสำรวจพบว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันโดยมากอยู่ในรูปแบบของการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อที่จะส่งสินค้าไปยังลูกค้าจำนวนหนึ่งโดยมีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบดีเทอร์มินีสติก และใช้วิธีการแบบฮิวรีสติกส์ในการแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านการลดต้นทุนในการดำเนินงานให้มากที่สุด

ในส่วนของวิธีการแก้ปัญหาแบบทางตรง (Exact method) สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะโดยทั่วไปจะอยู่บนพื้นฐานของการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้อัลกอริทึมแบบบรานช์-แอนด์-บาวน์ (Branch-and bound), บรานช์-แอนด์-คัท (Branch-and-cut), ทฤษฎีกราฟ (Graph theoretical) เป็นต้น ซึ่งการแก้ปัญหาแบบทางตรงดังกล่าวจะมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของปัญหา โดยการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางตรงจะเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็กหรือมีจำนวนศูนย์กระจายสินค้าไม่เกิน 40 ศูนย์

วิธีฮิวรีสติกส์ (Heuristics) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยวิธีฮิวรีสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีการหลัก ๆ คือ 1) การแก้ปัญหาแบบลำดับขั้น (Sequential method) 2) การแก้ปัญหาแบบจัดกลุ่ม (Cluster-based method) 3) การแก้ปัญหาแบบทำซ้ำ (Iterative method) และ 4) การแก้ปัญหาแบบตามลำดับชั้น (Hierarchical method) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จะได้สรุปรูปแบบของปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีตรงและวิธีฮิวรีสติกส์

2.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบหลายลำดับขั้น

Buddadee et al. (2008) ; Buddadee et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อย โดยศึกษาถึงผลของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ

นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2551) ; นัทธพงศ์ นันทสำเริง ระพีพันธ์ ปีตาคะโส และบรรชา บุดดาดี (2552) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยแบบหลายจุดประสงค์ (multi-objectives) โดยที่การระบุปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะ 4 ประการ คือ 1) ที่ตั้งของลูกค้าที่มีที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้ว 2) ที่ตั้งโรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้งเอง

3) ที่ตั้งที่ลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ 4) ระยะทางในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า นอกจากนี้ การศึกษายังเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location routing problem) โดยที่ได้เสนอไว้ในปัญหาการขนส่ง ซึ่งประกอบด้วย 1) การหาสถานที่ตั้งของโรงงานเอทานอล 2) การออกแบบเส้นทางของยานพาหนะจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล 3) การจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละจุดของโรงงานเอทานอล และ 4) การออกแบบเส้นทางยานพาหนะที่ออกจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ตารางที่ 2.2 สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีทางตรงและฮิวรีสติกส์ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะ

ประเภทของปัญหา	วิธีการแก้ปัญหา	ผู้วิจัย	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า (คน)
General deterministic LRP	Cutting planes	Laporte et.al. (1983)	40	40
	Branch-and-bound	Laporte et.al. (1988)		
	Clustering-based	Barreto et.al. (in press)	15	318
	Iterative	Salhi and Fraser (1996)	199	199
	Hierarchical	Nagy and Salhi (1996)	400	400
	Hierarchical	Albareda-Sambola et.al. (2005)	10	30
	Hierarchical	Melechovsky et.al. (2005)	20	240
Round-trip location	Numerical optimization	Drezner (1982)	3	80
Eulerian location	Brand-and-cut	Ghiani and Laporte (1999)	50	200
Minimax TS location	Graph theoretical	Averbakh and Berman (2002)	1	ไม่ระบุ

ตารางที่ 2.2 สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีทางตรงและฮิวรีสติกส์ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะ (ต่อ)

ประเภทของปัญหา	วิธีการแก้ปัญหา	ผู้วิจัย	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า (คน)
Plant cycle location	Branch-and-cut	Labbé et.al. (2004)	30	120
	Clustering-based	Billionnet et.al. (2005)	6	70
Planar LRP	Iterative	Salhi and Nagy (in review)	ไม่จำกัด	199

2.4 ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์

โดยทั่วไปแล้วการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์อาจมีวัตถุประสงค์เพียงอย่างเดียวเช่น เพื่อลดระยะทางในการขนส่ง, ลดเวลาในการขนส่ง, ลดขนาดของยานพาหนะ หรือ, เพิ่มผลกำไรจากการดำเนินการ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากเป็นการตัดสินใจในวัตถุประสงค์ที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ (Multiple objectives) สิ่งที่มักเกิดขึ้นก็คือวัตถุประสงค์บางอย่างจะเกิดความขัดแย้งกันเองภายใน ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนมุมมองของปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective)

Jozefowiez และคณะ (2008) ได้ระบุรูปแบบของปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective problem; MOP) ไว้ดังแสดงในสมการ (2.1)

$$\text{MOP} = \begin{cases} \text{Min } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \ldots f_n(x)) \\ s.t.\ x \in D, \end{cases} \tag{2.1}$$

เมื่อ n = จำนวนวัตถุประสงค์ของปัญหา, สำหรับปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ $n \geq 2$

x = $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, เป็นเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

D = พื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้

$F(x)$ = เวคเตอร์ของวัตถุประสงค์

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ณกร อินทร์พยุง (2548) ได้ให้คำนิยามของโลจิสติกส์ หมายถึง การจัดการลำเลียงขนส่งสินค้าเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด โดยเริ่มจากกระบวนการจัดหาวัตถุดิบไปจบที่ผู้บริโภค โดยมีการจัดการวางแผน การจัดสายงาน การควบคุมกิจกรรมในส่วนที่มีการเคลื่อนย้ายและไม่มีการเคลื่อนย้าย รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในกระบวนการไหลสินค้า

คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปของเซตพาเรโต (Pareto set) โดยในการแก้ปัญหาจะกระทำได้สามแนวทางคือ 1) แนวทาง *a priori* ซึ่งผู้ตัดสินใจจะกำหนดความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ไว้ตั้งแต่เริ่มต้น 2) แนวทาง *interactive* ซึ่งผู้ตัดสินใจจะเลือกให้ความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ระหว่างกระบวนการแก้ปัญหากำลังดำเนินการอยู่ และ 3) แนวทาง *a posteriori* ซึ่งเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะได้รับการนำเสนอเพื่อให้ผู้ตัดสินใจเลือก

ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจีสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์ได้ถูกนำไปประยุกต์ในหลายทางด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็น 1) การขยายปัญหาขอบเขตของปัญหาดั้งเดิมเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เช่น เพิ่มวัตถุประสงค์ด้านเวลา (Time window) หรือวัตถุประสงค์ด้านความพึงพอใจของลูกค้า (Customer satisfaction) เป็นต้น และ 2) การประยุกต์ปัญหาเข้ากับกรณีศึกษาในชีวิตจริง (Real-life cases) เช่น ปัญหาการขนส่งวัตถุอันตรายซึ่งจะมีวัตถุประสงค์ด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยเพิ่มเติมเข้าไปด้วย

Buddadee et al. (2008) ; Buddadee et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยมองถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยในการผลิตเอทานอลมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2551) ซึ่งสอดคล้องกับ นัทธพงศ์ นันทสำเริง ระพีพันธ์ ปิตาคะโส และบรรชา บุดดาดี (2552) ได้ศึกษาปัญหาเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากวัตถุดิบชานอ้อย แบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งได้แก่ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านความเสี่ยง ด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าการให้น้ำหนักของสมการเป้าหมายที่ต่างกันจะส่งผลให้การเปิดโรงงานเอทานอลในพื้นที่และจำนวนที่ต่างกัน

ปัญหาการตัดสินใจด้านโลจิสติกส์แบบหลายวัตถุประสงค์ได้ถูกนำไปประยุกต์ในหลายด้านด้วยกันไม่ว่าจะเป็น

(1) การขยายปัญหาขอบเขตปัญหาดั้งเดิมเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เช่น เพิ่มวัตถุประสงค์ด้านเวลา หรือวัตถุประสงค์ด้านความพึงพอใจของลูกค้า

(2) ประยุกต์ปัญหาเข้ากับกรณีศึกษาจริง เช่น ปัญหาการหาที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม อาจจะต้องมีวัตถุประสงค์ที่เพิ่มในเรื่องของสิ่งแวดล้อมของคนในพื้นที่ด้วย

2.5 ทฤษฎีทางด้านการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Theory)

การหาค่าความเหมาะสม เป็นสาขาวิชาหนึ่งของคณิตศาสตร์ประยุกต์ ซึ่งเราสามารถนำศาสตร์ของวิชาการหาค่าความเหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับงานหลากหลายสาขาวิชา โดยการกำหนดปัญหาที่ต้องการคำตอบในรูปแบบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ และใช้เทคนิคการแก้ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสม (Optimization Algorithm) โดยผ่านขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

(1) ขั้นตอนสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

(2) ขั้นตอนจำลองสถานการณ์ (Model Simulation)

(3) ขั้นตอนหาค่าความเหมาะสม (Optimization)

2.5.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

เป็นการจำลองตัวเลขแทนสถานการณ์จากความจริงที่เกิดขึ้น แทนด้วยสมการที่อธิบายฟังก์ชัน ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าคงที่ ตัวแปร และ พารามิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อแทนค่าแล้วจะให้คำตอบใดคำตอบหนึ่งตามสมการวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้น

2.5.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

เมื่อได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกกำหนดสมการที่อธิบายฟังก์ชัน ตรงตามวัตถุประสงค์แล้ว การทดลองเปลี่ยน ค่าคงที่ ตัวแปร และ พารามิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ (Decision variables) ที่ส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ตามสมการวัตถุประสงค์ หลาย ๆ ครั้งซ้ำแล้วซ้ำอีก เพื่อค้นผลลัพธ์ ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นเรื่องยากและใช้เวลามากที่จะกำหนด หรือคาดหมายตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ ด้วยวิธีลองผิดลองถูก จึงต้องมีระเบียบวิธีค้นหา (Search Algorithm)

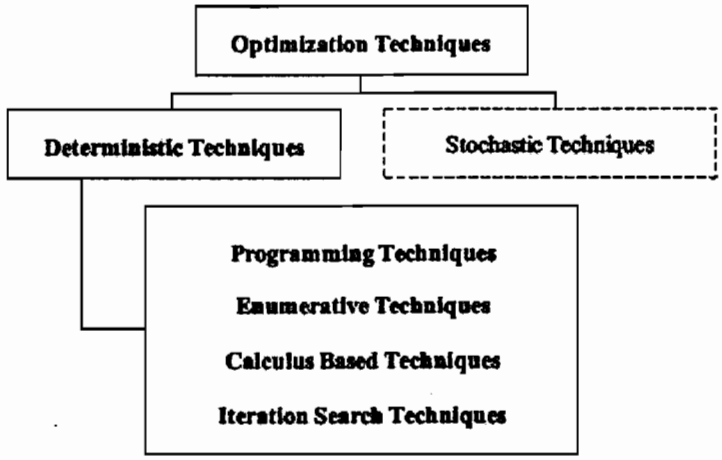
2.5.3 การหาค่าความเหมาะสมด้วยระเบียบวิธี (Optimization Algorithm)

จากการจำลองสถานการณ์เพื่อค้นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งต้องกำหนดหรือคาดหมายตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ จึงต้องมีระเบียบวิธีค้นหา ซึ่งมีกลวิธีต่าง ๆ มากมายตามแต่ลักษณะปัญหา เพื่อการค้นพบเป้าหมายคำตอบอย่างชาญฉลาด และใช้เวลาไม่นานกระบวนการดำเนินการทางด้านวิศวกรรมที่สำคัญมากที่สุดคือ การคิดคำนวณสร้างสรรค์งานใด ๆ บนพื้นฐานความถูกต้องตามหลักวิชาการแล้วนั้น ยังจะต้องคำนึงถึงประสิทธิผลสูงสุดประหยัดที่สุด หมายถึงการใช้ทรัพยากรเป็นต้นทุนการผลิตน้อยที่สุดโดยก่อให้เกิดประโยชน์ที่มุ่งหวังมากที่สุดด้วย หรือความต้องการสูงสุดทั้งทางด้านประสิทธิภาพ และประสิทธิผล นับเป็นความหมายของการหาค่าความ

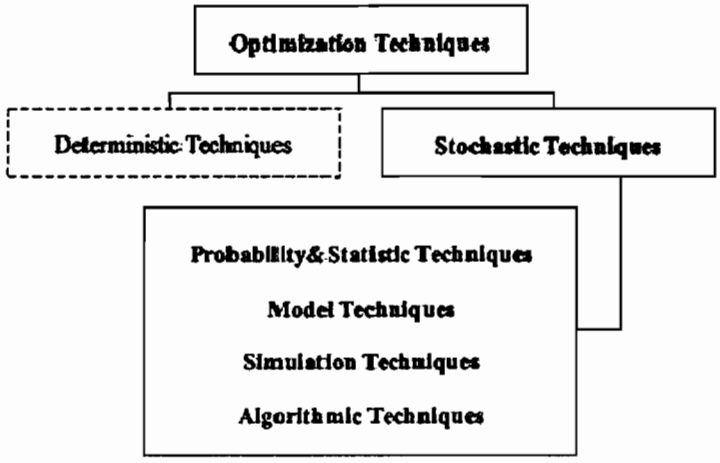
เหมาะสมทางด้านวิศวกรรม จากการศึกษาเรียนรู้วิธีการหาค่าความเหมาะสมนับตั้งแต่อดีต สามารถจำแนกวิธีหลักได้ 2 วิธี คือ

2.5.3.1 วิธีดีเทอร์มินิสติค (Deterministic)

2.5.3.2 ธีสโตคาสติค หรือวิธีพรอบาบิลิสติค (Stochastic, Probabilistic)



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิการหาค่าความเหมาะสมวิธีดีเทอร์มินิสติค



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิการหาค่าความเหมาะสมวิธีสโตคาสติค หรือวิธีพรอบาบิลิสติค

2.6 ฮิวรีสติกและเมตาฮิวรีสติก

วิธีฮิวรีสติกเป็นวิธีหาคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาที่จำกัดสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะปัญหาการตัดสินใจที่อยู่ในคลาส NP ซึ่งเมื่อตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหา

มีจำนวนมากขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมใด ๆ ที่จะมาหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาที่จำกัด (ณกร อินทร์พยุง, 2548) ได้สรุปว่าปัญหาที่เหมาะสำหรับการแก้ด้วยวิธีฮิวรีสติกจะมีลักษณะต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ (Structured problem) 2) ปัญหาที่ผู้วิจัยพยายามทำให้เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างสมบูรณ์แต่ได้ละเลยเงื่อนไขของปัญหาบางอย่างหรือทำให้ง่ายขึ้น 3) ปัญหาที่มีตัวแปรการตัดสินใจและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก และ 4) ปัญหาที่ไม่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด (Good feasible solution)

วิธีฮิวริสติก หมายถึง วิธีการคิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งไม่มีแบบแผนที่แน่นอนตายตัว โดยการสร้างฮิวริสติกนั้นมักต้องอาศัยความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหานั้นๆ เป็นอย่างดี ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาอีกปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง แต่สามารถได้คำตอบในเวลาที่รวดเร็ว หรือสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถเขียนเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้ วิธีฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของวิธีการในการสร้างคำตอบให้แก่ 1) วิธีฮิวริสติกแบบสร้างคำตอบ วิธีนี้จะเริ่มสร้างคำตอบโดยเริ่มจากการค่อยๆ เพิ่มลูกค้าในเส้นทางทีละรายหรือเพิ่มโหนดทีละโหนดจนประกอบกันเป็นคำตอบที่สมบรูณ์ เช่น วิธี Saving, Matching Based, Nearest Insertion, Nearest Neighbor เป็นต้น 2) วิธีฮิวริสติกแบบค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighbourhood Search Heuristic) เป็นวิธีสร้างคำตอบขึ้นมาคำตอบหนึ่งที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วนำคำตอบนั้นมาทำการสลับตำแหน่งไปเรื่อย ๆ เพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิม ตามรอบที่กำหนดที่ได้ออกแบบไว้ เช่น วิธี Cluster First-Route Second วิธี Route First- Cluster second, Sweep วิธี Petal เป็นต้น ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยโลจิสติกส์ เช่น วิธี Saving วิธี Matching Based วิธี Nearest Insertion วิธี Nearest Neighbor และวิธี Local Search เป็นต้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกจึงถูกพัฒนาให้มีความยืดหยุ่นรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เรียกว่า เมต้าฮิวริสติก (Meta-Heuristic)

ตัวอย่างของวิธีฮิวรีสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านโลจีสติกส์ เช่น วิธีในกลุ่มของ Contructive เช่น วิธีละโมบ (Greedy) และวิธีประหยัด (Saving), วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood- search) หรือวิธีโลคอล (Local search) สำหรับวิธีเมตาฮิวรีสติกเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นมากและสามารถดัดแปลงในการหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2550) และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2554) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวรีสติกไว้ว่า 1) เมตาฮิวรีสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible region)2) เมตาฮิวรีสติกมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบ

ที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด 3) วิธีการทางเมตาฮิวรีสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน 4) เมตาฮิวรีสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ 5) เมตาฮิวรีสติกอาจเกิดจากการรวมกันของหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ 6) เมตาฮิวรีสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา 7) เมตาฮิวรีสติกสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย 8) เมตาฮิวรีสติกอาจเป็นคำบรรยายโดยย่อหรือเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ก็ได้ และ 9) เมตาฮิวรีสติกส์บางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวเพื่อจำคำตอบเดิมซึ่งเป็นประโยชน์ในการค้นหาคำตอบใหม่ที่ไม่แตกต่างไปจากเดิม

นอกจากนี้ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2554) ยังได้เสนอวิธีการจำแนกเมตาฮิวรีสติกออกเป็น 5 วิธีได้แก่ 1) เมตาฮิวรีสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจทางธรรมชาติ (เช่น วิธีระบบมด,วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และไม่เกิดจากแรงบันดาลใจทางธรรมชาติ (เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ) 2) เมตาฮิวรีสติกแบบใช้ประชากร (เช่นระบบมด วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และไม่ใช้ประชากร (วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ) 3) เมตาฮิวรีสติกแบบเป้าหมายคงที่ (เช่น วิธีการระบบมด, วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และแบบเปลี่ยนสมการเป้าหมาย (เช่น วิธี Guide local search ฯลฯ) 4) เมตาฮิวรีสติกแบบที่มีการเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียง (เช่น วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข ฯลฯ) และแบบที่วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ (เช่น วิธีระบบมด วิธีการทางพันธุกรรม ฯลฯ) และ 5) เมตาฮิวรีสติกที่มีการใช้หน่วยความจำ (เช่นวิธีระบบมด วิธีการค้นหาต้องห้าม ฯลฯ) และไม่ใช้หน่วยความจำ (เช่น วิธีการค้นหาในพื้นที่บางส่วนของพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้แบบวนรอบ)

Yong (2010) นำเสนอวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของขนาดปัญหา โดยวิธีฮิวริสติกที่นำมาใช้เป็นวิธีการประมาณการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่ม ๆ เรียกว่า "Cluster-Based" ในการจัดสรรลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้า และขั้นตอนต่อจากนั้นจะเป็นการสร้างเส้นทางด้วยวิธี Clarke and Wright Saving Heuristic ต่อมาได้นำเสนอวิธีทาบูเซิร์ช (Tabu Search) แบบสองเฟสเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งที่มีขนาดของปัญหา 200 ลูกค้า โดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้และเวลาที่ใช้กับวิธีฮิวริสติกแบบ Saving ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าวิธี Tabu Search ที่ออกแบบมาได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี Saving แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า

Liu และ Lampinen (2005) ทำการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายขนาด โดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กลางการกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทางฮิวริสติกจัดเรียงลำดับของค่าประหยัด (Saving) และเชื่อมเส้นทางต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องการใช้และปริมาณสินค้าในแต่ละคัน จากการคำนวณค่าเวลาหรือระยะทางใช้จ่ายในการขนส่งที่ประหยัดสูงที่สุด นอกจากวิธีฮิวริสติกที่กล่าวมา ในอดีตที่ผ่านมามีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบโดยใช้วิธี

ฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม วิธี GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) วิธี SA (Simulated Annealing) เป็นต้น

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์ (2549) ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีทางพันธุกรรม เพื่อแก้ไขปัญหาการเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่ง จากการใช้วิธีดังกล่าวพบว่าคำตอบและเวลาในการหาคำตอบมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม

สุพรรณ สุดสนธิ์ และคณะ (2550) ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธี อาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ เพื่อแก้ไขปัญหาการเลือกตั้งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและจัดการเส้นทางการขนส่ง จากการใช้วิธีดังกล่าวพบว่าคำตอบและเวลาในการหาคำตอบมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม

2.7 สรุประเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมของเมตาฮิวริสติก

การศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบ มาจากชานอ้อยและกากมัน ที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด มีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Stochastic แล้วนำมาหาระเบียบวิธีเพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดค่าคำตอบที่มีความเหมาะสมที่สุด มีระเบียบวิธีที่นำมาพิจารณามากมาย และตัดสินใจเลือกใช้เป็นเครื่องมือศึกษา ดังนี้

2.7.1 Ant colony optimization (ACO) เป็นระเบียบวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาแหล่งอาหารของมดจากแหล่งที่อยู่อาศัยคือรังมด โดยใช้สารที่ปล่อยจากก้นเป็นเส้นทางเดิน (Agents) เมื่อเข้าใกล้หรือเจอเป้าหมายมดจะปล่อยสารจากก้นจำนวนมากขึ้นและถี่ขึ้น เมื่อนำพฤติกรรมการหาเป้าหมายอาหารของมดมาหาเป้าเชิงเลข ระเบียบวิธีนี้ จะให้ผลดีในค่าคำตอบเหมาะสมปรากฏเฉพาะที่ (Local Optima) มีข้อจำกัดการประยุกต์ใช้ที่การกำหนดข้อจำกัด หากฟังก์ชันมีค่า Local Optima จำนวนมาก และเป็นค่าที่เท่าๆ กันหรือใกล้เคียงกัน อาจจะไม่เจอ Global Optima เช่นเดียวกับพฤติกรรมมดที่เจออาหารในขนาดปริมาณที่เท่าๆ กันหลายจุด มดจะตอมเฉพาะจุดที่เจอก่อนเป็นจำนวนมาก แทนที่จะตอมในปริมาณที่เท่า ๆ กัน ต่อเมื่อใช้รอบการค้นมากพอก็จะเจอ Global Optima ได้เช่นกัน จึงเป็นวิธีที่ต้องระมัดระวังในการใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ค่อนข้างมาก

2.7.2 Bacteriologic Algorithms (BA) เป็นระเบียบวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมสภาพแวดล้อมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย รวมถึง การปรับตัวของแบคทีเรีย มีเป้าหมายเฉพาะที่ซึ่งแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี ก็จะพัฒนาจำนวนไปในทิศทางนั้น นำมาประยุกต์ใช้หาค่าคำตอบเหมาะสมเชิงเลขในสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่กว้างเกินจะหาเจอได้ นับเป็น Global Search Techniques

ประเภทหนึ่ง ที่ได้มีผู้ประยุกต์ใช้กับการวางเสาอากาศเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ การศึกษาการกระจายความเจริญชุมชนเมือง

2.7.3 Cross-entropy method The Cross-entrap (CE) เป็นระเบียบวิธีที่ค้นหาคำตอบของกฎการออกคำสั่งที่เหมาะสม เพื่อการควบคุมระบบการทำงานใดๆ ที่เหมาะสมอีกที จะได้เทคโนโลยีควบคุมที่รัดกุมมากที่สุดแต่ออกคำสั่งน้อยสุด ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของความน่าจะเป็นมาเกี่ยวข้องมีขั้นตอนคัดเลือกค่าที่ดีกว่าและดีที่สุดตามวิธีวิวัฒน์ เชิงเลขเป็นจำนวนจริง

2.7.4 Extremal optimization (EO) เป็นระเบียบวิธีที่ตรงข้ามกับ GAs แต่ต่างก็ดำเนินการด้วยการเลือกเฟ้นจากกลุ่มประชากรของคำตอบเช่นกัน EO จะค้นหาค่าที่แย่ที่สุดจากการค้นได้ ไปปรับปรุงองค์ประกอบของฟังก์ชันที่ให้กำเนิดกลุ่มประชากรคำตอบอย่างสุ่ม จนกว่าจะได้ค่าที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งต่างกับ GA ค้นหาค่าที่ดีและดีกว่าจนได้ใกล้ค่าที่ดีที่สุด

2.7.5 Interactive genetic algorithms (IGA) เป็นระเบียบวิธีที่ใช้หลักของ genetic algorithms แต่มาประยุกต์ใช้กับพฤติกรรมความรู้สึกตอบสนองทางด้านสุนทรีภาพ (aesthetic) ของมนุษย์ ซึ่งยากมากที่จะแปลงค่าเชิงเลขลงในระบบคอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่นความนิยมในรูปภาพความชอบในดนตรี เพื่อพัฒนาผลงานด้านศิลปที่มนุษย์ชื่นชอบมากที่สุด ซึ่งต้องพัฒนาโดยการโต้ตอบกับความรู้สึกของมนุษย์

2.7.6 Memetic algorithm (MA) หรืออีกชื่อเรียกว่า hybrid genetic algorithm เป็นระเบียบวิธีที่ซึ่งประยุกต์ค่า local search ในวงรอบกระบวนการเชิงวิวัฒน์ แนวคิด memetic algorithms มาจากคำว่า memes ซึ่งไม่เหมือนกับ genes ที่ต้องอาศัย genes แหล่งอื่น มาผ่าเหล่ากลายพันธุ์ แต่จะผ่าเหล่ากลายพันธุ์ได้ด้วยตัวเอง สำหรับเพียงในบางปัญหาเท่านั้นที่ชี้ให้เห็นว่าดีกว่ากลยุทธ์เชิงวิวัฒน์แบบธรรมดา

2.7.7 Simulated annealing (SA) เป็นระเบียบวิธีหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic ที่ใช้แนวคิดจากการหล่อหลอมโลหะ อะตอมโลหะจะอยู่ในข่ายมีพลังงานศักย์ต่ำสุดเมื่ออุณหภูมิเย็นถึงจุดเยือกแข็ง และการที่อะตอมจำนวนมากและความเป็นไปได้ในการจัดเรียงตัวของอะตอมทำให้สภาวะสุดท้าย มีพลังงานต่ำสุดเฉพาะที่ แทนที่ทุกอะตอมจะอยู่ในสภาวะพลังงานต่ำสุดทั้งหมด โดยวิธีการเพิ่มความร้อนทีละน้อยและทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ จะทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะพลังงานต่ำสุดทั้งหมด

2.7.8 Tabu search (TS) เป็นระเบียบวิธีที่คล้ายกันกับ Simulated Annealing คือเป็นระเบียบวิธีประเภทเชิงเรียนรู้ประสบการณ์ Tabu Search ซึ่งใช้วิธีหาคำตอบที่ดีกว่าโดยจดจำและป้องกันค่าเดิม ๆ ที่แย่กว่า ใน Tabu list ซึ่งจะช่วยทำการปรับปรุงรอบการค้นต่อ ๆ ไปจนกว่าจะถึง

เกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่วิธีนี้อาศัยหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องค่อนข้างมาก ทำให้มีการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อน

2.7.9 Artificial Neural Networks (Anns) เป็นระบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบในการเรียนรู้และพยากรณ์ เป็นปัญญาประดิษฐ์ เรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียม เป็นแนวความคิดที่ถูกออกแบบให้ทำงานเช่นเดียวกับเซลล์สมอง เพียงแต่การรวบรวมข้อมูล Input และ Output ไว้เป็นคู่ โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง Input กับ Output ซึ่งอยู่ในรูปของสมการ Explicit โดยกระบวนการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีอยู่ มีประโยชน์ในการคาดการณ์ล่วงหน้าหรือการพยากรณ์

2.7.10 Particle Sworm Optimization (PSO) เป็นระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic ได้เสนอโดย Kennedy and Eberhart ในปี ค.ศ.1995 ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจจากพฤติกรรมการฟูงกระจายอนุภาคเป็นกลุ่ม เช่นกลุ่มของฝูงนกที่กำลังบินตามจ่าฝูง กลุ่มของหมู่ปลาในทะเลว่ายน้ำตามจ่าฝูง แม้กระทั่งพฤติกรรมของมนุษย์ในสังคมที่มักจะทำตามผู้นำเพียงไม่กี่คน PSO ประกอบด้วย กลุ่มของอนุภาคที่กำลังเคลื่อนที่ในหลายมิติ เป็นการค้นหาคำตอบของการแก้ปัญหาบนพื้นฐานจำนวนจริงแต่ละอนุภาคมีตำแหน่งจุดพิกัดถูกนำมาประยุกต์เชิงเลขความเร็วในจุดพิกัด เก็บในหน่วยความจำ เปรียบเทียบกับอนุภาคที่อยู่ใกล้กัน (neighbor particle) แล้วคัดเลือกศึกษาอนุภาคที่มีศักยภาพความเร็วและจุดพิกัดที่เป็นจุดพิกัดนำ เคลื่อนตัวไปในทิศทางใหม่ๆ จนกว่าจะได้จุดพิกัดคำตอบครอบคลุม

2.7.11 Genetic Algorithms (GAs) เป็นระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic โดยมีแนวคิดสมมุติฐานเชิงพันธุกรรม เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evolution) ตั้งอยู่บนพื้นฐานแนวคิดการคัดเลือกเผ่าพันธุ์ตามธรรมชาติ ได้ถูกนำมาประยุกต์เชิงเลขในการค้นหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจที่มีความสลับซับซ้อน มีตัวแปรและเงื่อนไขจำนวนมากได้ดี

2.7.12 Differential Evolution (DE) เป็นระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบ Stochastic และเป็น Random base Global Search Space ซึ่งทำการสุ่มหาคำตอบแบบครอบคลุม โดยมีแนวคิดสมมุติฐานเชิงพันธุกรรมเช่นเดียวกับ GAs แต่มีข้อดีที่โดดเด่นกว่าคือ มีโครงสร้างของระเบียบวิธีที่ ซับซ้อนน้อยกว่า มีความยืดหยุ่นมาก (Generalisation) นอกจากนั้นยังสามารถใช้ค่าจำนวนจริง (Floating Point Real Number) ในการคำนวณโดยไม่จำเป็นต้องแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจ เป็นเลขฐานสอง (Bit-String Encoding) จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้วิธีการ DE มีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง (Robustness) ในการค้นหาคำตอบกว่าวิธีอื่น และเหมาะสมมากสำหรับปัญหาประเภท Non-Linear และ Non-Differentiate function

2.8 การหาความเหมาะสมด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยส่วนต่าง (Differential Evolution Algorithm)

การหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล อีโวลูชัน จัดเป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบสโตคาสติค โดยมีระเบียบวิธีแบบกลยุทธวิวัฒนาการ (ESA: Evolutionary Strategic Algorithms) ซึ่งมีพื้นฐานระเบียบวิธีการ ดังนี้

2.8.1 การสุ่มตัวแปรตัดสินใจ เพื่อหากลุ่มประชากรของคำตอบต่างๆ (Initial Random Selection)

2.8.2 การกำเนิดตัวแปรตัดสินใจใหม่ จากประชากรกลุ่มคำตอบเดิม (reproduction) มีขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน คือ

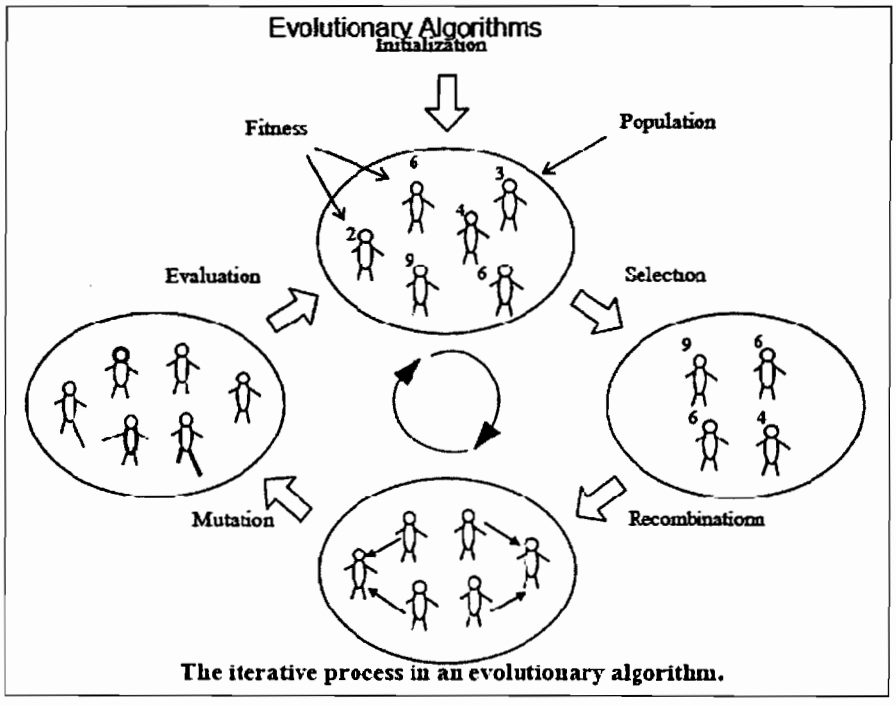
2.8.2.1 การผสมสายพันธุ์ (Recombination) หรืออีกชื่อหนึ่งคือ crossover

2.8.2.2 การผ่าเหล่า กลายพันธุ์ (mutation)

2.8.2.3 การเฟ้นหาสายพันธุ์ที่ดีกว่า (Evaluation)

2.8.2.4 การคัดเลือกสายพันธุ์คำตอบที่ดีและดีกว่า จนถึงดีที่สุด (selection and survival of the fittest)

2.8.3 ทำวนซ้ำ (Iteration) ย้อนกลับในขั้นตอน reproduction จนกว่าจะได้สายพันธุ์คำตอบที่ดีที่สุด ตามเกณฑ์การหยุดที่กำหนดไว้ (Stop Criteria) จึงหยุดวนซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แผนผังรอบการคำนวณโดยระเบียบวิธีวิวัฒนาการ

การหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล อิโวลูชั่น คือการค้นหาคำตอบโดยระเบียบวิธีวิวัฒนาการโดยส่วนต่าง จะได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบจริงมากที่สุด ซึ่งอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ถูกต้องที่สุด แต่ก็เป็นคำตอบที่ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่กำหนดความพึงพอใจไว้ใกล้เคียงกับคำตอบจริงมากเท่าที่ต้องการ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Heuristic Algorithm ซึ่งมักจะตั้งวิธีการค้นหาเป็นลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละปัญหา ความพิเศษของการหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียล อิโวลูชั่น อีกประการคือ สามารถใช้เป็นรูปแบบมาตรฐานในการค้นหา นำไปใช้กับลักษณะปัญหาต่างๆได้ไม่จำเพาะเจาะจงแต่ละปัญหา จึงจัดอยู่ในประเภท Meta Heuristic Algorithm อีกด้วย

Price and Storn (1995) ได้เสนอระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสม โดยวิธี Differential Evolution (DE) มีพัฒนาการต่อยอดมาจากระเบียบวิธีการหาค่าความเหมาะสมจาก Genetic Algorithm ซึ่งในขั้นตอน reproduction, mutation, recombination อาศัยการแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจให้เป็นเลขฐาน 2 โดยเปรียบเทียบเสมือนหนึ่งเป็น gene ในเซลล์ให้กำเนิดในชีวภาพ แต่วิธี Differential Evolution อาศัยการ Mutation ด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Scaling Factor หรือ Weighting Factor : F แทน ทำให้ลดทอนขั้นตอนในการคำนวณได้มาก จึงเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญที่ทำให้การค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution มีความรวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพสูงมาก และเหมาะมากที่จะนำมาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาใน class NP หรือ Non-deterministic polynomial time algorithm ที่มีคำตอบย่อยหลายๆคำตอบ (Local Optima) อีกนัยหนึ่งคือเป็นการ ค้นหาคำตอบแบบภาพรวมครอบคลุม (Global Optimization)

ขั้นตอนและหลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution ที่เสนอโดย Price and Storn (2005) มีขั้นตอนและหลักการ ซึ่งแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนที่สำคัญ ได้ดังนี้

(1) Initial population คือขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขตข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็น Decision Vector กลุ่มหนึ่งนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ เรียกว่า Cost Value หรือ Fitness Value หรือ Function Value ในความหมายเดียวกัน

(2) Mutation คือ ขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า กลายพันธุ์ ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรก มีขั้นตอนย่อย ดังนี้

(2.1) ทำการกำหนด Target Vector (Xi,G) โดยที่ i = 1,2,3, … , NP

(2.2) สุ่มเลือกจำนวน 3 Vector (Xr1,G, Xr2,G, Xr3,G) จากประชากรตั้งต้นที่ไม่ซ้ำกับ Target Vector

(2.3) ทำการคำนวณหา Mutant Vector (Vi,G+1) จากความสัมพันธ์

$$Vi,G+1 = Xr1,G + F(Xr2,G - Xr3,G) \quad (2.2)$$

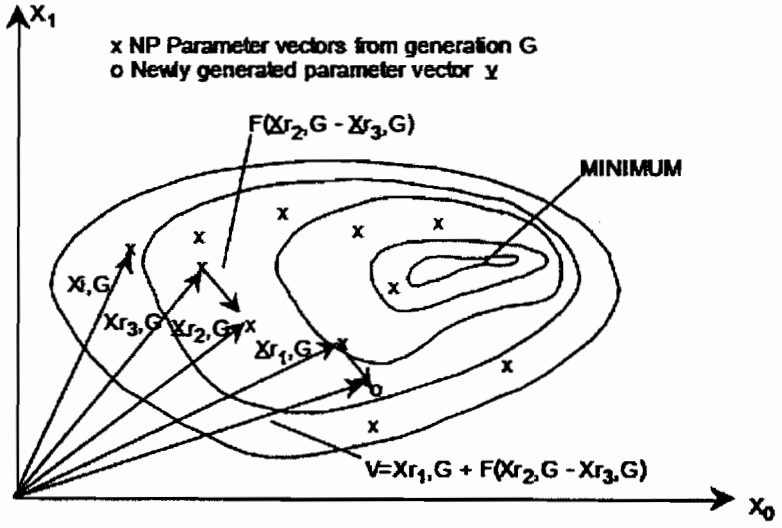
เมื่อ

Xi,G = Target Vector

Vi,G+1 = Mutant Vector

Xr1,G, Xr2,G, Xr3,G = Random Vector

F = Weighting Factor มีค่าระหว่าง 0 ถึง 2



ภาพที่ 2.4 การค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชั่น 2 ตัวแปร

(3) Crossover หรือ Recombination คือขั้นตอนการประสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อเฟ้นหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ ๆ ซึ่งจะได้ Trial Vector (Ui,G+1)

เมื่อ

$$Ui,G+1 = (U1i,G+1 , U2i,G+1 , \dots , UDi,G+1) \quad (2.3)$$

และ

$$Ui,G+1 = \begin{cases} Vji,G+1 \text{ if } (randb(j) \le CR) \text{ or } j = rnbr(i) \\ Xji,G \text{ if } (randb(j) > CR) \text{ or } j \neq rnbr(i) \end{cases} \quad (3)$$

เมื่อ

Uji,G+1 = Trial Vector

Vji,G+1 = Mutant Vector

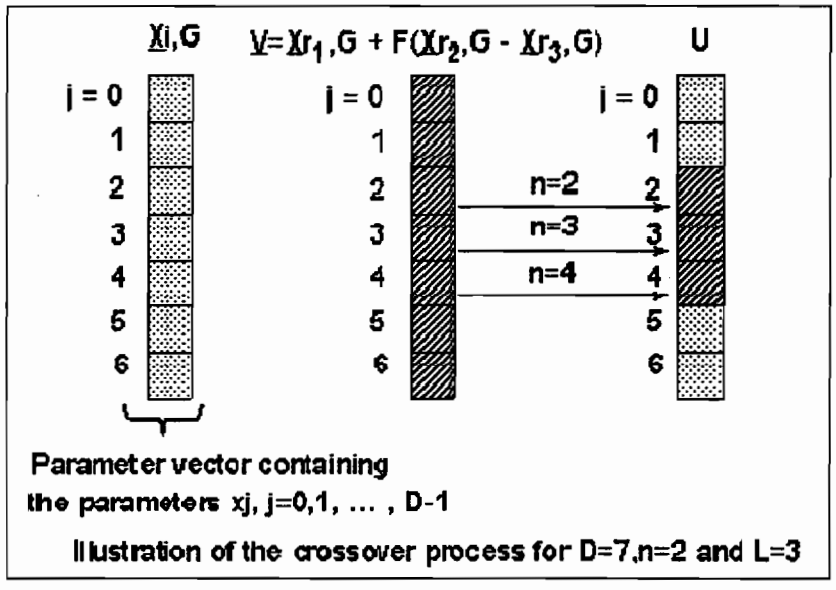
Xji,G = Target Vector

randb(j) = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover Constant จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1

rnbr(i) = Index จากการสุ่มเลือก จำนวนเต็ม 1,2, … ,D

j = 1,2, … ,D



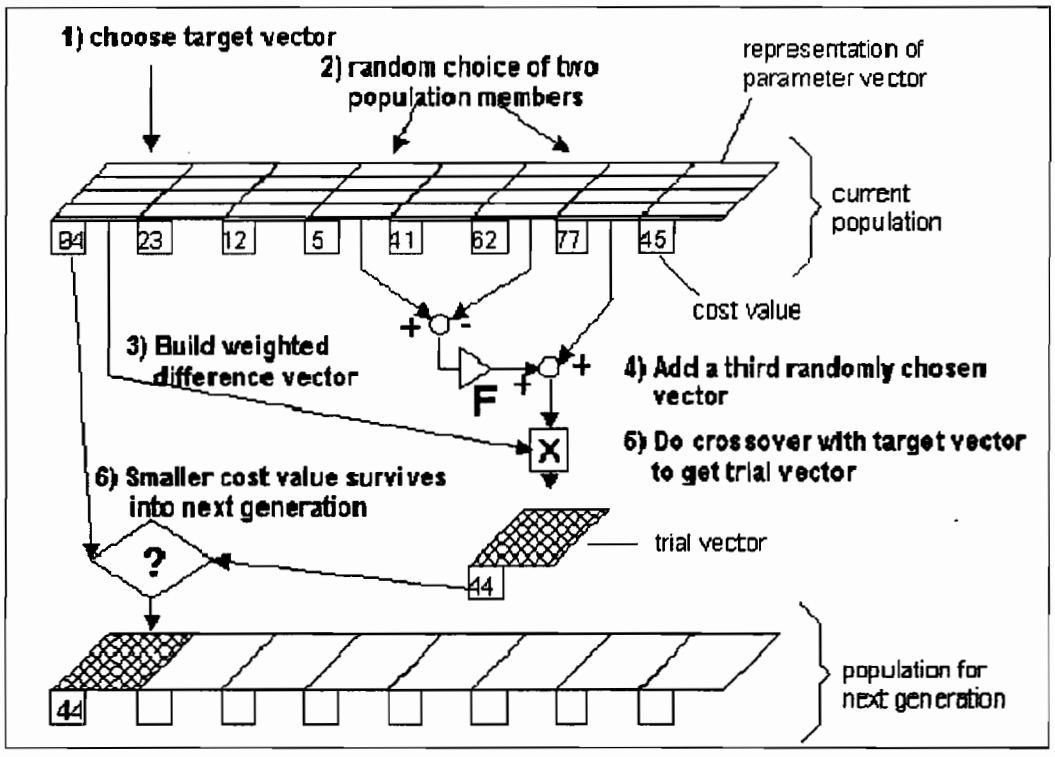
ภาพที่ 2.5 การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า D=7

(4) Selection คือขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบ Function Value หรือ Cost Value ของ Trial Vector กับ Target Vector ในกรณีที่ค่า Function Value ของ Trial Vector ดีกว่า Target Vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial Vector ในรุ่นต่อไป

(5) Evaluation & Re-Generation ดำเนินการซ้ำจากข้อ 2 ถึง ข้อ 4 โดยเปลี่ยน Target Vector จนถึง i = NP

(6) Reach Convergence Tolerance นำ Target Vector ที่ได้จากข้อ 4 มาทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดจนครบตามความต้องการ โดยแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นการแสดงขั้นตอนการหาค่าความ

เหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution สำหรับปัญหาการหาค่าต่ำสุด (Minimum Optimization Problem)



ภาพที่ 2.6 กระบวนการหาค่าความเหมาะสมโดยวิธี Differential Evolution จากขั้นที่ 1 ถึง 4

2.9 การหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง และวิธีสำหรับการหาค่าเหมาะสุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง เป็นดังต่อไปนี้

2.9.1 ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง (Multi-objective Optimization Problem, MOOP) จะมีวัตถุประสงค์ซึ่งอาจจะต้องการให้มีค่าน้อยสุดหรือมากสุด โดยที่ MOOP อธิบายอยู่ในรูปแบบทั่วไปได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize/Maximize } f_m(x),\ m = 1,2,\ldots, M$$

$$\text{subject to } g_j(x) = 0,\ j = 1,2,\ldots, J$$

$$\text{and } h_k(x) > \text{or} < 0,\ k = 1,2,\ldots, K \quad (1)$$

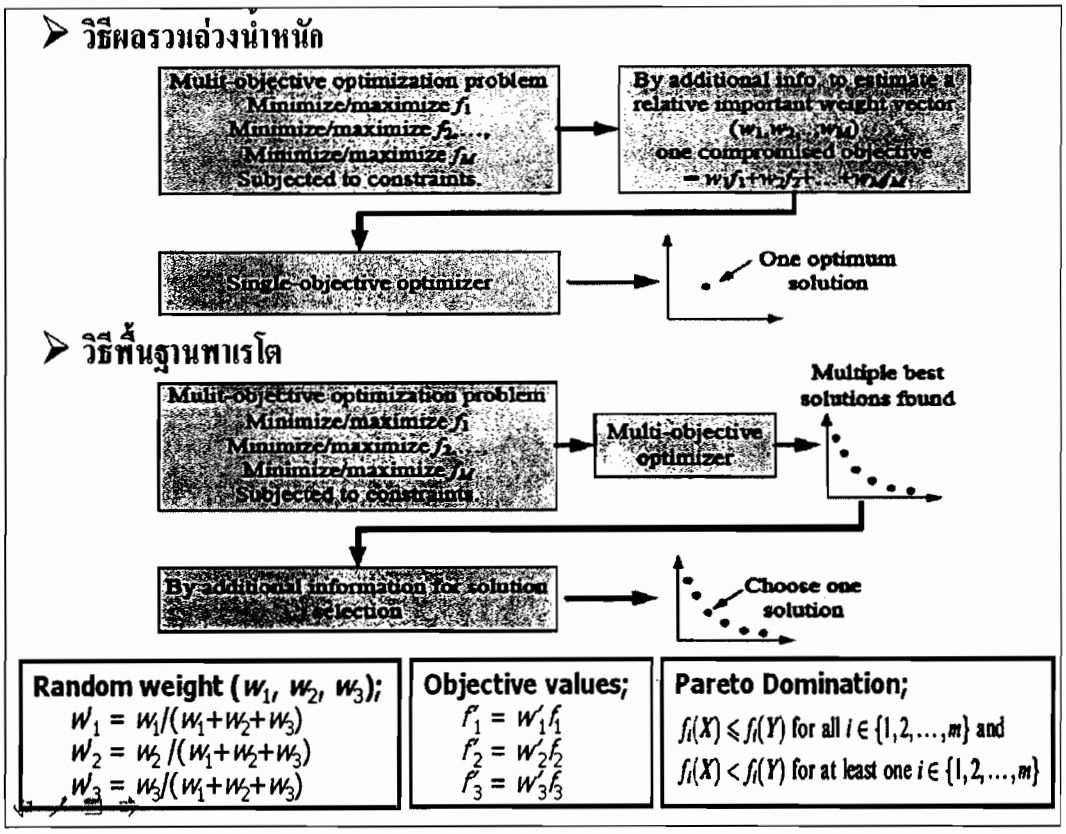
คำตอบ x เป็นเวคเตอร์ซึ่งประกอบด้วย จำนวนตัวตัวแปรตัดสินใจ n ตัว จะได้ว่า x = $\{x_1,x_2,..,x_n\}$ โดยมี M วัตถุประสงค์แทนด้วยเวคเตอร์ f = $\{f_1(x), f_2(x), ..., f_M(x)\}$ โดยแต่ละวัตถุประสงค์ต้องการให้เป็นค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุด สำหรับกลุ่มของข้อบังคับแบบเท่ากัน J เงื่อนไข และข้อบังคับแบบไม่เท่ากัน K เงื่อนไข โดย $g_j(x)$ และ $h_k(x)$ เป็นฟังก์ชันเงื่อนไขแบบเท่ากันและไม่เท่ากันตามลำดับ โดยขอบเขตของตัวแปร แต่ละตัวแปรตัดสินใจ x_i จะต้องมีค่าอยู่ระหว่างขอบล่าง x_i^L และขอบบน x_i^U

2.9.2 วิธีสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง

สำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่างจะมี 2 วิธีหลัก ๆ ที่ใช้ ซึ่งก็คือ วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted-sum Approach) และวิธีพื้นฐานพาเรโต (Pareto-based Approach) โดยกระบวนการของวิธีทั้งสองจะอธิบายดังรูปที่ 2.7 สำหรับวิธีผลรวมถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นวิธีหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่างแบบดั้งเดิม ทุกวัตถุประสงค์จะจับมารวมกันโดยถ่วงน้ำหนักจนเหลือเพียงวัตถุประสงค์เดียว หลังจากนั้นก็ใช้ตัวหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์เดียวในการหาคำตอบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ก็จะได้คำตอบเหมาะที่สุดเพียงคำตอบเดียว แต่ก็จะเป็นคำตอบที่ขึ้นอยู่ความคิดส่วนตัวของผู้ใช้เนื่องจากการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก แม้ว่าจะมีคำตอบแบบกลาง ๆ (Compromised Solution) ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว เทคนิคนี้ก็ค่อนข้างเป็นที่นิยมเนื่องจากง่ายในการใช้เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่ปัญหาหลายจุดประสงค์จะมีเพียงคำตอบเดียว ที่ให้วัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดพร้อมกันทุกวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาวัตถุประสงค์หลายอย่าง ดังนั้นกลุ่มคำตอบที่เหมาะที่สุดของปัญหานี้คือคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเมื่อเปรียบเทียบคำตอบทั้งหมด ซึ่งคำตอบนี้สามารถหาได้โดยวิธีแบบพาเรโตซึ่งเป็นหลักการ "การครอบงำแบบพาเรโต (Pareto Domination)" คือ คำตอบ x ใด ๆ จะครอบงำหรือดีกว่าคำตอบ y ถ้าเงื่อนไขทั้งสองข้อต่อไปนี้เป็นความจริง

2.9.2.1 ไม่มีวัตถุประสงค์ใด ที่คำตอบ x แย่กว่าคำตอบ y

2.9.2.2 มีอย่างน้อย 1 วัตถุประสงค์ ที่คำตอบ x ดีกว่าคำตอบ y

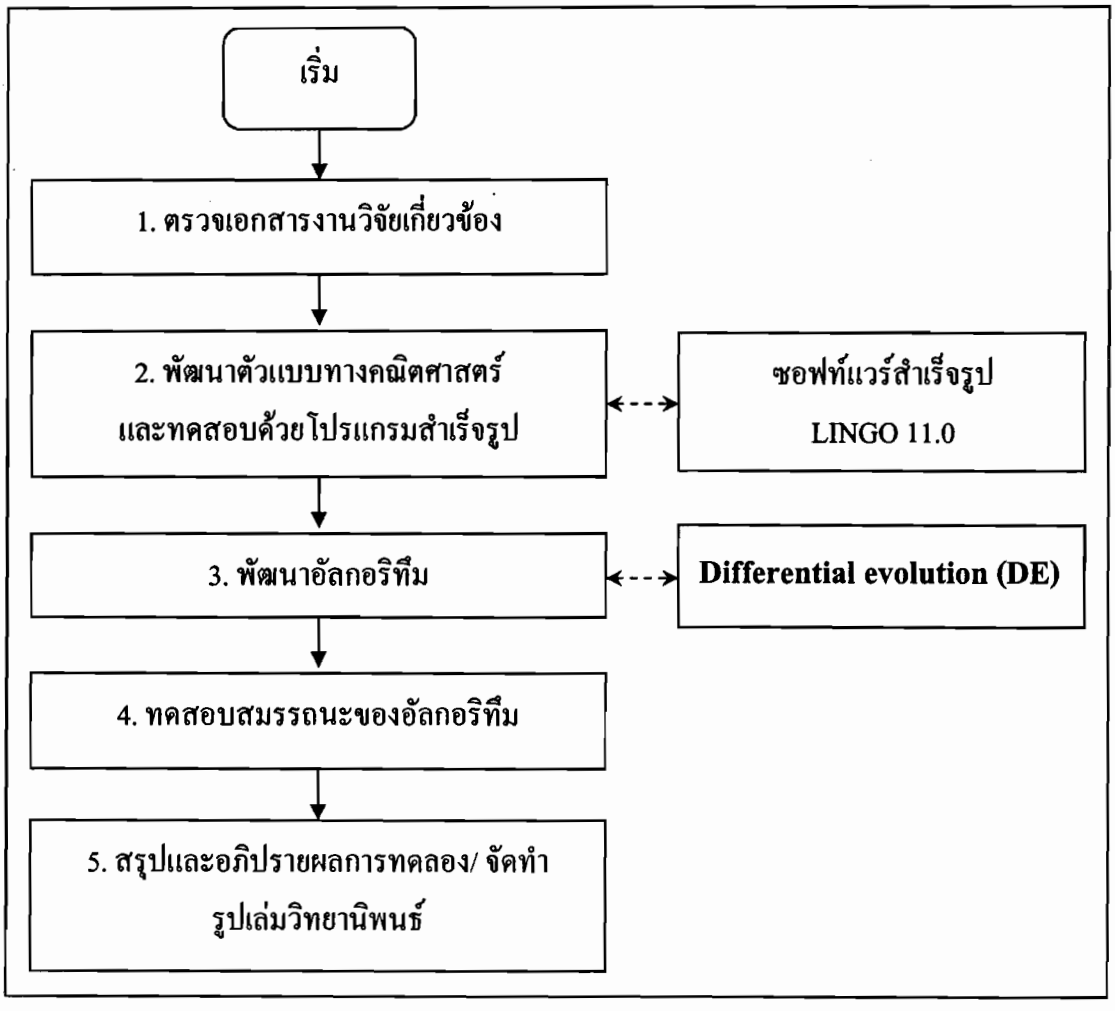


ภาพที่ 2.7 หลักการสุ่มน้ำหนักและจัดทำพาเรโตฟร้อนของกรณีศึกษา

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

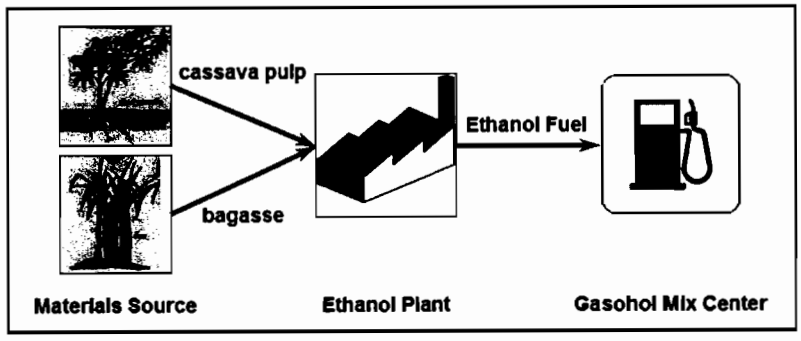
งานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเตรียมการ ระยะดำเนินการออกแบบอัลกอริทึม และระยะหลังดำเนินการ โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 รูปแบบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

รูปแบบของปัญหาในส่วนของการขนส่ง การกำหนดสถานะปัญหาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รูปแบบโซ่อุปทานการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ลักษณะของการขนส่งแบบหลายระดับในกรณีศึกษา

ดังนั้น จะสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย สำหรับกรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ดังแสดงในหัวข้อ 4.1

3.3 กรณีศึกษาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์ ของโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

โรงงานน้ำตาลจำนวน 16 โรง และโรงงานแป้งมัน 46 โรง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งวัตถุดิบซึ่งกระจายตัวอยู่ในจังหวัดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 แต่สำหรับงานวิจัยนี้ในเบื้องต้นเพื่อเป็นการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ว่าถูกต้อง และให้เกิดความรวดเร็วในการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและแป้งมันมาอย่างละ 5 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 5 อันดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.4

การให้คะแนน (Rating Plan) การคัดเลือกที่ตั้งโรงงานในเบื้องต้นนั้น จะมีการชั่งน้ำหนักปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อการผลิต ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดก็จะได้รับคะแนน

มากที่สุด เช่น สมมติว่า ปัจจัยที่ตั้งทำเลใกล้แหล่งวัตถุดิบสำคัญที่สุด ก็จะกำหนดให้คะแนน 400 คะแนน ส่วนสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญน้อยก็จะให้คะแนนเต็ม 50 คะแนน

สำหรับงานวิจัยนี้ ให้ความสำคัญเท่าเทียมกันในทุกๆ ปัจจัย คือทุก ๆ ปัจจัยจะถูกให้คะแนนเต็ม 400 คะแนน สำหรับการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันอย่างละ 5 โรงงานนั้น ได้ถูกออกแบบและกำหนดให้มีปัจจัยต่างๆ ในการให้คะแนนดังข้างล่าง ซึ่งกฎเกณฑ์ในการกำหนดน้ำหนักแต่ละปัจจัยที่ได้นั้น มาจากการให้ผู้ทรงคุณวุฒิต่าง ๆ ประเมินด้วยแบบสอบถาม

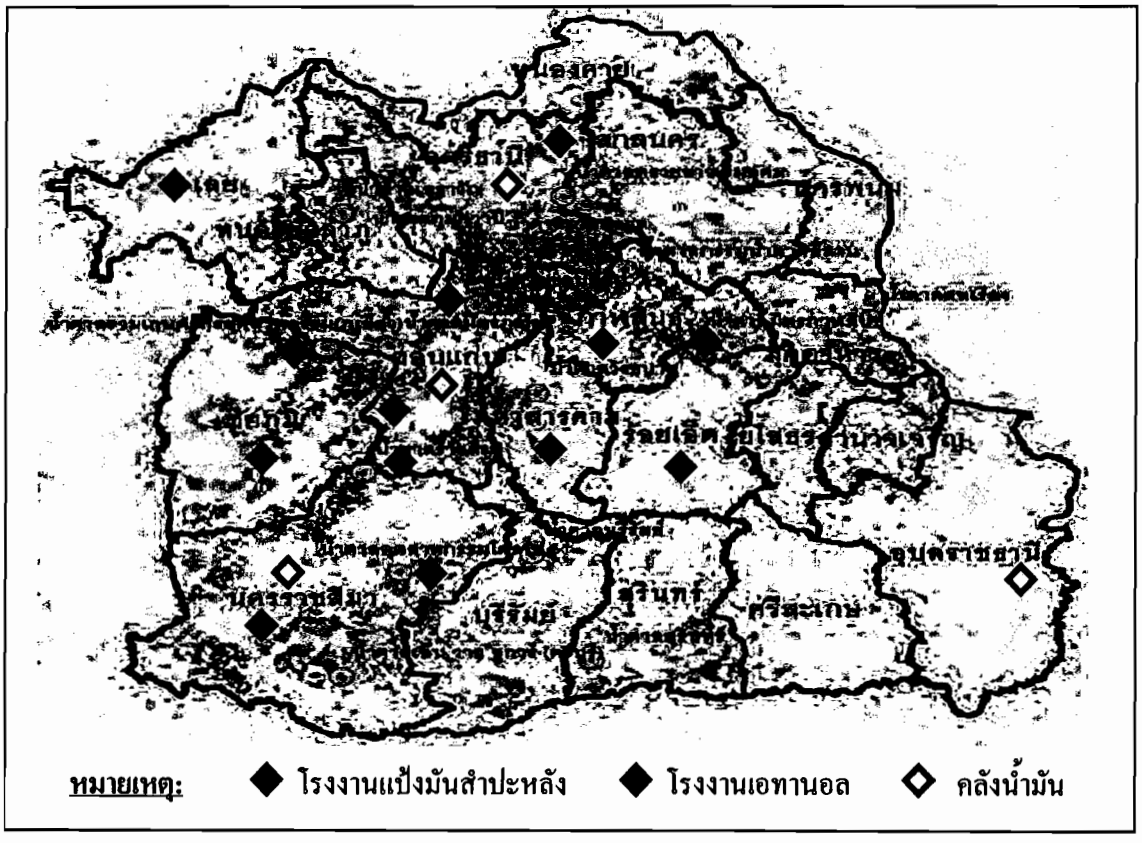
(1) แหล่งวัตถุดิบ/ ปริมาณวัตถุดิบมีมาก น้ำหนัก 40% คะแนน 400
(2) ใกล้แหล่งตลาด/ การขนส่งสะดวก น้ำหนัก 15% คะแนน 400
(3) แรงงานหาง่าย/ ประชากรในพื้นที่ น้ำหนัก 15% คะแนน 400
(4) ไฟฟ้า น้ำประปาสะดวก/ เพียงพอ น้ำหนัก 10% คะแนน 400
(5) ความต้องการ/ ความพอใจของชุมชน น้ำหนัก 20% คะแนน 400

งานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกโรงงานเอทานอลที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ทำการผลิตอยู่จริง เพื่อมาทำการพัฒนาและต่อเติมเทคโนโลยีการผลิตให้สามารถใช้วัตถุดิบจากชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลได้ โดยยังคงกำลังการผลิตไว้เท่าเดิม ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.5 – 3.12

สำหรับข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลนั้น ประกอบด้วยข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ และข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้มาจากงานวิจัยที่ทำการปรับปรุงจาก Buddadee (2008) และ นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2552) ดังตารางที่ 3.9 ส่วนข้อมูลด้านความปลอดภัยที่เกิดจากความเสี่ยงของการรั่วไหลเอทานอลนั้น อ้างอิงจาก Energy Response Guidebook for flammable liquid (2004) ที่ระบุไว้ว่าการรั่วไหลจะเกิดแถบความเสี่ยงที่ 800 เมตรในทุกทิศทาง ดังนั้นความเสี่ยงนี้ก็จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ ในพื้นที่จังหวัดต่าง ๆ โดยมีข้อสมมุติฐานที่ว่าประชากรในพื้นที่แต่ละจังหวัดนั้นมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อรวบรวมข้อมูลจนครบสมบูรณ์แล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะนำไปใช้ในการประมวลผลด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 ด้วยหน่วยประมวลผล Intel Pentium M (1400 MHz) และหน่วยความจำ (RAM) 512 MB

การพิจารณาเพื่อเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะสำหรับกรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้นจะเป็นการแก้ปัญหาเพื่อให้บรรลุ 3 วัตถุประสงค์ด้วยกัน กล่าวคือ 1) วัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วยการลดต้นทุนด้านการขนส่งและการสร้างโรงงาน 2) วัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากกระบวนทั้งหมดทั้งการผลิตและ

การขนส่ง และ 3) วัตถุประสงค์ด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัย ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับประชาชนที่อยู่ในบริเวณรอบ ๆ เส้นทางขนส่งเอทานอลหากมีการรั่วไหลเกิดขึ้น ส่วนความพึงพอใจของชุมชนนั้นได้ทำการออกแบบและกำหนดให้เป็นปัจจัยการคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) ตั้งแต่แรก ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดของการคัดเลือกนั้นแสดงได้ตามตารางที่ 3.1 และ 3.2



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน โรงงานเอทานอล และคลังน้ำมันผสมแก๊สโซฮอล์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 3.1 การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานน้ำตาลด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan)

ลำดับ	โรงงาน	ปัจจัยในการให้คะแนน					คะแนน (Rating Plan)
		ปริมาณวัตถุดิบ	การขนส่งสะดวก	แรงงานหาง่าย	ไฟฟ้าน้ำประปา	ความพอใจชุมชน	
1	โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม	41	25	16	25	39	32.78
2	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียน	35	25	22	25	27	29.11
3	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	35	25	22	25	27	29.01
4	โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	35	25	29	25	21	28.88
5	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	34	25	29	25	21	28.39
6	โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	27	25	23	25	26	25.61
7	โรงงานน้ำตาลเอื้นวาย (ครบุรี)	24	25	22	25	27	24.68
8	โรงงานน้ำตาลเอราวัณ	24	25	23	25	27	24.55
9	โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	24	25	25	25	25	24.44
10	โรงงานน้ำตาลสุรินทร์	24	25	30	25	20	24.42
11	โรงงานน้ำตาลเกษตรผล	21	25	23	25	26	23.19
12	โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี	20	25	23	25	26	23.13
13	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน	14	25	25	25	25	20.60
14	โรงงานน้ำตาลวังขนาย	14	25	31	25	19	20.55

ตารางที่ 3.1 การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานน้ำตาลด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) (ต่อ)

ลำดับ	โรงงาน	ปัจจัยในการให้คะแนน					คะแนน (Rating Plan)
		ปริมาณวัตถุดิบ	การขนส่งสะดวก	แรงงานหาง่าย	ไฟฟ้าน้ำประปา	ความพอใจชุมชน	
15	โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์	14	25	26	25	23	20.49
16	โรงงานน้ำตาลสหเรือง	13	25	31	25	19	20.16

ที่มา : 1. ปริมาณวัตถุดิบ = $\frac{\text{(คะแนนเต็ม x ปริมาณวัตถุดิบแต่ละแห่ง)}}{\text{ปริมาณวัตถุดิบรวมทุกแห่ง}}$

2. การขนส่งสะดวก = (คะแนนเต็ม x ค่าเฉลี่ยของจำนวนโรงงานที่ศึกษา)

3. แรงงานหาง่าย = $\frac{\text{(คะแนนเต็ม x ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่แต่ละแห่ง)}}{\text{ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่รวมทุกแห่ง}}$

4. ไฟฟ้าน้ำประปา = (คะแนนเต็ม x ค่าเฉลี่ยของจำนวนโรงงานที่ศึกษา)

5. ความพอใจชุมชน = $\frac{\text{(คะแนนเต็ม x สัดส่วนความไม่เสี่ยงแต่ละแห่ง)}}{\text{สัดส่วนความไม่เสี่ยงรวมทุกแห่ง}}$

ตารางที่ 3.2 ปริมาณชานอ้อยที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	โรงงาน	จังหวัด	ปริมาณชานอ้อย (ตันต่อปี)	คะแนน (Rating Plan)
1	โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม	ชัยภูมิ	104,983	32.78
2	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียน	นครราชสีมา	89,952	29.11
3	โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	นครราชสีมา	89,330	29.01
4	โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	ขอนแก่น	90,239	28.88
5	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	ขอนแก่น	87,092	28.39
		รวม	461,596	

หมายเหตุ : ลำดับที่ 1 – 5 จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ และให้เกิดความรวดเร็วประหยัดเวลาในการประมวลผล

ตารางที่ 3.3 การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแป้งมันด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan)

ลำดับ	โรงงาน	ปัจจัยในการให้คะแนน					คะแนน (Rating Plan)
		ปริมาณวัตถุดิบ	การขนส่งสะดวก	แรงงานหาง่าย	ไฟฟ้าน้ำประปา	ความพอใจชุมชน	
1	บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด	34	9	8	9	9	18.91
2	บริษัท แก่นเจริญ จำกัด	25	9	11	9	7	15.22
3	บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	23	9	8	9	9	14.33
4	บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด	23	9	8	9	9	14.33
5	บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด	18	9	11	9	7	12.47
6	บริษัท ไทยคอนติเนนตัลฟีด จำกัด	16	9	8	9	9	11.58
7	บริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์ จำกัด	16	9	9	9	8	11.54
8	บริษัท เพชรธารา จำกัด	14	9	8	9	9	10.66
9	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันราชสีมา จำกัด	14	9	8	9	9	10.66
10	บริษัท แป้งมันเอี่ยมเฮงอุตสาหกรรม จำกัด	12	9	8	9	9	10.11
11	บริษัท เอี่ยมเฮง โมดิฟาย สตาร์ช จำกัด	12	9	8	9	9	10.11
12	บริษัท เชาวน์ดีสตาร์ช (2004) จำกัด	11	9	8	9	9	9.75
13	บริษัท โชคยืนยงอุตสาหกรรม จำกัด	11	9	8	9	9	9.75

ตารางที่ 3.3 การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแป้งมันด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) (ต่อ)

ลำดับ	โรงงาน	ปัจจัยในการให้คะแนน					คะแนน (Rating Plan)
		ปริมาณวัตถุดิบ	การขนส่งสะดวก	แรงงานหาง่าย	ไฟฟ้าน้ำประปา	ความพอใจชุมชน	
14	บริษัท เอี่ยมศิริแป้งมัน จำกัด	11	9	11	9	7	9.72
15	บริษัท อุบลเกษตรพลังงาน จำกัด	9	9	8	9	10	8.89
16	โรงงานแป้งมันชัยเจริญ	9	9	12	9	6	8.84
17	บริษัท โรงงานแป้งมันตระกูลเล็ก จำกัด	9	9	12	9	6	8.84
18	บริษัท อี เอช สตาร์ช จำกัด	9	9	8	9	9	8.83
19	บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด	9	9	8	9	9	8.65
20	บริษัท แป้งมันแสงเพชร จำกัด	8	9	6	9	12	8.55
21	แป้งมันเมืองเลย	4	9	4	9	20	8.20
22	บริษัท ชัยภูมิพืชผล จำกัด	7	9	8	9	9	7.91
23	บริษัท โรงงานแป้งมันอุดมชัย จำกัด	7	9	8	9	9	7.91
24	บริษัท แป้งมันสมเด็จ จำกัด	7	9	9	9	8	7.88
25	บริษัท สยาม ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด	5	9	6	9	12	7.36
26	บริษัท พรีเมียร์ ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด	5	9	12	9	6	7.01

ตารางที่ 3.3 การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแป้งมันด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) (ต่อ)

ลำดับ	โรงงาน	ปัจจัยในการให้คะแนน					คะแนน (Rating Plan)
		ปริมาณวัตถุดิบ	การขนส่งสะดวก	แรงงานหาง่าย	ไฟฟ้าน้ำประปา	ความพอใจชุมชน	
27	บริษัท คาสซาวากรีน จำกัด	5	9	12	9	6	7.01
28	บริษัท ที.เอช.แพลเล็ท จำกัด	5	9	8	9	9	7.00
29	บริษัท แป้งตะวันออกเฉียงเหนือ (1987) จำกัด	5	9	8	9	9	7.00
30	บริษัท ยูนิเวอร์แซล สตาร์ช จำกัด(มหาชน)	5	9	8	9	9	7.00
31	บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด	5	9	8	9	9	7.00
32	บริษัท ออส-ไทย สตาร์ชเซส จำกัด	5	9	8	9	9	7.00
33	บริษัท สงวนวงษ์ สตาร์ช จำกัด	5	9	8	9	9	7.00
34	บริษัท เอเชียโมดิไฟด์ สตาร์ช จำกัด	5	9	8	9	9	7.00
35	บริษัท ไทยนำมัน สำปะหลัง จำกัด	5	9	9	9	8	6.98
36	บริษัท สยามโปรดักส์ (1994) จำกัด	5	9	9	9	8	6.96
37	บริษัท เอเชียโมดิไฟด์ สตาร์ช จำกัด	5	9	9	9	8	6.96

ตารางที่ 3.3 การคัดเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานแป้งมันด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) (ต่อ)

ลำดับ	โรงงาน	ปัจจัยในการให้คะแนน					คะแนน (Rating Plan)
		ปริมาณวัตถุดิบ	การขนส่งสะดวก	แรงงานหาง่าย	ไฟฟ้าน้ำประปา	ความพอใจชุมชน	
38	บริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด	2	9	6	9	12	6.44
39	บริษัท แป้งมันอิสาน จำกัด	3	9	8	9	9	6.26
40	บริษัท เอ็น.ไอ.ซี แป้งมันสำเร็จรูป จำกัด	3	9	8	9	9	6.26
41	บริษัท ปทุมไรซมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน)	2	9	8	9	9	6.08
42	บริษัท เอ็น. อี. อินดัสทรี จำกัด	2	9	8	9	9	6.08
43	บริษัท อุดรเพิ่มผล จำกัด	2	9	9	9	8	6.06
44	บริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เคมิเคิล (ไทยแลนด์) จำกัด	2	9	9	9	8	6.05
45	บริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด	2	9	9	9	8	6.05
46	โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	2	9	8	9	9	5.81

ที่มา : 1. ปริมาณวัตถุดิบ = $\frac{\text{(คะแนนเต็ม x ปริมาณวัตถุดิบแต่ละแห่ง)}}{\text{ปริมาณวัตถุดิบรวมทุกแห่ง}}$

2. การขนส่งสะดวก = (คะแนนเต็ม x ค่าเฉลี่ยของจำนวนโรงงานที่ศึกษา)

3. แรงงานหาง่าย = $\frac{\text{(คะแนนเต็ม x ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่แต่ละแห่ง)}}{\text{ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่รวมทุกแห่ง}}$

4. ไฟฟ้าน้ำประปา = (คะแนนเต็ม x ค่าเฉลี่ยของจำนวนโรงงานที่ศึกษา)

5. ความพอใจชุมชน = $\frac{\text{(คะแนนเต็ม x สัดส่วนความไม่เสี่ยงแต่ละแห่ง)}}{\text{สัดส่วนความไม่เสี่ยงรวมทุกแห่ง}}$

ตารางที่ 3.4 ปริมาณกากมันที่เหลือจากโรงงานผลิตแป้งมันในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	จังหวัด	ปริมาณกากมัน (ตันต่อปี)	คะแนน (Rating Plan)
1	บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด	นครราชสีมา	21,600	18.91
2	บริษัท แก่นเจริญ จำกัด	ขอนแก่น	15,840	15.22
3	บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	นครราชสีมา	14,400	14.33
4	บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด	นครราชสีมา	14,400	14.33
5	บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด	ศรีสะเกษ	11,520	12.47
		รวม	77,760	

หมายเหตุ : ลำดับที่ 1 – 5 จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ และให้เกิดความรวดเร็วประหยัดเวลาในการประมวลผล

ตารางที่ 3.5 ปริมาณเอทานอลที่ทำการผลิตในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	จังหวัด	กำลังผลิต (ลิตร/วัน)
1	บริษัท ขอนแก่น แอลกอฮอล์ จำกัด	ขอนแก่น	150,000
2	บริษัท ไทยง้วน เอทานอล จำกัด (มหาชน)	ขอนแก่น	130,000
3	บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	100,000
4	บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์)	กาฬสินธุ์	200,000
5	บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (ชัยภูมิ)	ชัยภูมิ	200,000
6	รวม		780,000

ตารางที่ 3.6 ตำแหน่งที่ตั้งของคลังน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	โรงงาน	ที่อยู่
1	คลังน้ำมันอุบลราชธานี	302 ถ.กองทาง ต.วารินชำราบ อ.วารินชำราบ
2	คลังน้ำมันอุดรธานี	15/1 ถ.หน้าสถานีรถไฟ ต.หมากแข้ง อ.เมือง
3	คลังน้ำมันนครราชสีมา	2/4 ถ.พิบูลละเอียด ต.ในเมือง อ.เมือง
4	คลังน้ำมันขอนแก่น	110/1 ถนนรถไฟ แขวงในเมือง อำเภอเมือง

ตารางที่ 3.7 ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน

ลำดับที่	วัตถุดิบ	มูลค่าที่สร้างโรงงานใหม่ (ล้านบาท: 150,000 ลิตร/วัน)	มูลค่าที่สร้างเพิ่มเติมจากโรงงานเดิม (ล้านบาท: 150,000 ลิตร/วัน)
1	ชานอ้อย (Bagasse)	1,000	500
2	กากมัน (Cassava Pulp)	940	440

ตารางที่ 3.8 จำนวนเอทานอลที่ผลิตได้จากชานอ้อยและกากมัน

ลำดับที่	วัตถุดิบ (1 ตัน)	Ethanol Yield (ลิตร)	ราคา (บาท/ตัน)
1	ชานอ้อย (Bagasse)	70[1]	300
2	กากมัน (Cassava Pulp)	85[2]	3,000

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัยที่ใช้การตัดสินใจ

กระบวนการ	ข้อมูล	แหล่งข้อมูล
การขนส่ง	• ต้นทุนค่าขนส่ง	1. Truck and trailer supplier
	• ต้นทุนค่าซ่อมบำรุงยานพาหนะ	2. Japan Transport Cooperation Association, 2004
	• ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง	3. PTT, 2006
	• ต้นทุนค่าจ้างพนักงานขับรถ	4. SimaPro V5.1 (LCA software)
	• ขนาดความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง	5. Emergency Response Guidebook, 2005
	• ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากยานพาหนะในการขนส่ง	6. สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2008
การสร้างโรงงานผลิตเอทานอล	• ต้นทุนในการสร้างโรงงาน	1. Kadam, 2002
	• การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอล	2. Wooley et al., 1999
		3. Aden et al., 2002
		4. SimaPro V5.1 (LCA software)

ตารางที่ 3.10 ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน และคลังน้ำมัน

ระยะทาง (กิโลเมตร)		โรงงานเอทานอล				
		1	2	3	4	5
โรงงานน้ำตาล	1. โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม	78	81	120	205	12
	2. โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	48	62	114	171	35
	3. โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียน	127	50	34	204	76
	4. โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	188	102	42	228	147
	5. โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	5	84	145	131	86
โรงงานแป้งมัน	1. บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด	651	638	646	518	706
	2. บริษัท แก่นเจริญ จำกัด	671	692	723	541	745
	3. บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	638	628	639	504	695
	4. บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด	609	602	614	475	667
	5. บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด	867	865	879	732	929
คลังน้ำมัน	1. คลังน้ำมันอุบลราชธานี	877	880	898	741	942
	2. คลังน้ำมันอุดรธานี	603	596	608	468	661
	3. คลังน้ำมันนครราชสีมา	641	671	706	516	718
	4. คลังน้ำมันขอนแก่น	642	657	684	509	713

ตารางที่ 3.11 โอกาสความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบบริเวณโรงงานเอทานอล

โรงงานเอทานอล	จังหวัด	ประชากร[1] (คน)	พื้นที่[2] (ตร.ม.)	ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่[3]	ความเสี่ยง[4]
1. บริษัท ขอนแก่น แอลกอฮอล์ จำกัด	ขอนแก่น	1,752,414	10,885	160.99	323.83
2. บริษัท ไทยง้วน เอทานอล จำกัด	ขอนแก่น	1,752,414	10,885	160.99	323.83
3. บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	2,552,894	20,494	124.57	250.56
4. บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์)	กาฬสินธุ์	977,508	7,055	138.55	278.69
5. บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (ชัยภูมิ)	ชัยภูมิ	1,119,597	12,778	88.62	178.25

ที่มา : 1. กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย "ประกาศสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง เรื่องจำนวนราษฎรทั่วราชอาณาจักร ตามหลักฐานการทะเบียนราษฎร ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2552"

2. ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและงานปกครอง กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย "ข้อมูลการปกครอง 18 เมษายน 2553"

3. ผลคำนวณจาก (1 / 2)

4. ผลคำนวณจาก ($3 \times \pi r^2$) เมื่อ รัศมีความกว้างของการระเบิดเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.12 โอกาสความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากการขนส่งจากโรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน

โอกาสความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น		โรงงานเอทานอล									
		ความเสี่ยงเฉลี่ยระหว่างโรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน[1]					ความเสี่ยงจากการขนส่งจากโรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน[2]				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
คลังน้ำมัน	1	276	276	239	253	203	241,924	176,649	184,074	207,868	241,924
	2	293	293	257	271	220	242,883	174,617	192,614	212,795	242,883
	3	287	287	251	265	214	214,845	156,056	176,929	196,398	214,845
	4	324	324	287	301	251	187,874	126,587	136,586	153,374	187,874

ที่มา : 1. ผลคำนวณจากความเสี่ยงเฉลี่ยโรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน
(ประชากรเฉลี่ยต่อพื้นที่ x πr^2) เมื่อ รัศมีความกว้างของการระเบิดเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์
2. ผลคำนวณจาก (1 x ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลกับคลังน้ำมัน)

บทที่ 4
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทาง แบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์

4.1 การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย Lingo

จากรูปที่ 3.2 รูปแบบของโซ่อุปทานการผลิตเอทานอลเพื่อนำไปผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ ลักษณะของการขนส่ง แบบหลายระดับ จะสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทาง แบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และความเสี่ยงด้านความปลอดภัย จากกรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ดังแสดงข้างล่าง ซึ่งอ้างอิงจาก: Buddadee และคณะ (2008) และ Nanthasamroeng และคณะ (2008)

4.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ

O_{ij}^{ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง ชานอ้อยไปโรงงานเอทานอล (i, j): หน่วยตัน

O_{ij}^{Ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่ขนส่งระหว่างเส้นทาง กากมันไปโรงงานเอทานอล (t, j): หน่วยตัน

e_{jk} = ปริมาณเอทานอลที่ขนส่งระหว่างโรงงานเอทานอลไปคลังน้ำมัน (j, k): หน่วยลิตร

H_i^{ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบชานอ้อย i: หน่วยตัน

H_t^{Ω} = ปริมาณวัตถุดิบที่มี ณ แหล่งวัตถุดิบกากมัน t: หน่วยตัน

4.1.2 พารามิเตอร์

i = จำนวนโรงงานน้ำตาล (โรง)

j = จำนวนโรงงานเอทานอล (โรง)

k = จำนวนคลังน้ำมัน (โรง)

t = จำนวนโรงงานแป้งมัน (โรง)

$m1$ = ราคาวัตถุดิบต่อหน่วยของชานอ้อย (บาท/ตัน)

$m2$ = ราคาวัตถุดิบต่อหน่วยของกากมัน (บาท/ตัน)

θ = ต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบต่อหน่วย (บาท/กิโลเมตร/ตัน)

a = ต้นทุนการขนส่งเอทานอลต่อหน่วย (บาท/กิโลเมตร/ลิตร)

d_{ij}^{ω} = ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบชานอ้อยถึงโรงงานเอทานอล (i, j): หน่วยกิโลเมตร

d_{ij}^{Ω} = ระยะทางระหว่างแหล่งวัตถุดิบกากมันถึงโรงงานเอทานอล (t, j): หน่วยกิโลเมตร

r_{jk} = ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังน้ำมัน (j, k): หน่วยกิโลเมตร

$POTR_{jk}$ = โอกาสความเสี่ยงที่เกิดจากการขนส่งเอทานอล (j, k): หน่วยคนต่อพื้นที่

$POFR_j$ = โอกาสความเสี่ยงที่เกิดจากโรงงานเอทานอล (j): หน่วยคนต่อพื้นที่

FBC_j = ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอล กรณีรับวัตถุดิบทั้งชานอ้อยและกากมัน (บาท)

FB_j = ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอล กรณีรับวัตถุดิบเฉพาะชานอ้อย (บาท)

FC_j = ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอล กรณีรับวัตถุดิบเฉพาะกากมัน (บาท)

KBC_j = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีรับวัตถุดิบทั้งชานอ้อยและกากมัน (ตัน)

KB_j = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีรับวัตถุดิบเฉพาะชานอ้อย (ตัน)

KC_j = จำนวนวัตถุดิบสูงสุดที่ส่งไปโรงงานเอทานอลกรณีรับวัตถุดิบเฉพาะกากมัน (ตัน)

γ = emission factor สำหรับการขนส่งทั้งจาก (i, j), (t, j) และ (j, k) (บาท/กิโลเมตร/ตัน)

b = emission factor สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง ทั้งจาก (i, j), (t, j) และ (j, k) (บาท/กิโลเมตร/ตัน)

f = emission factor สำหรับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)

g = emission factor ของ CO2 จากการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)

h = emission factor ของ CH4 จากการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)

δ = emission factor การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล (บาท/ตัน)

v = offset emission factor ของ E10 ที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็น แก๊สโซฮอลล์ (บาท/ตัน)

w = offset emission factor ของ gasoline ที่เกิดจากการผลิตเอทานอล เพื่อนำมาใช้เป็น แก๊สโซฮอลล์ (บาท/ตัน)

u = ต้นทุนความเสี่ยงต่อหน่วย (บาท/หน่วยคนต่อพื้นที่)

λ_1 = production efficiency factor สำหรับการเปลี่ยนชานอ้อยให้เป็นเอทานอล (ลิตร/ตัน)

λ_2 = production efficiency factor สำหรับการเปลี่ยนกากมันให้เป็นเอทานอล (ลิตร/ตัน)

4.1.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

4.1.3.1 สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic objectives)

Minimize

$$m1\times(\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}O_{ij}^{\omega}y_{ij})+m2\times(\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}O_{ij}^{\Omega}s_{tj})+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\theta O_{ij}^{\omega}d_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\theta O_{ij}^{\Omega}d_{ij}^{\Omega}s_{tj}+$$
$$\sum_{j=1}^{J}FBC_jQ_j^{bc}+\sum_{j=1}^{J}FB_jQ_j^{b}+\sum_{j=1}^{J}FC_jQ_j^{c}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}ae_{jk}r_{jk}x_{jk} \qquad (4.1)$$

4.1.3.2 สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (Environment objectives)

Minimize

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\gamma d_{ij}^{\omega}O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}bd_{ij}^{\omega}O_{ij}^{\omega}y_{ij}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}fO_{ij}^{\omega}y_{ij}+$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} gO_{ij}^{\omega} y_{ij} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} hO_{ij}^{\omega} y_{ij} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} \delta O_{ij}^{\omega} y_{ij} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} \gamma r_{jk} e_{jk} x_{jk} +$$
$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} br_{jk} e_{jk} x_{jk} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} vO_{ij}^{\omega} y_{ij} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} wO_{ij}^{\omega} y_{ij} +$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} \gamma d_{tj}^{\Omega} O_{tj}^{\Omega} s_{tj} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} bd_{tj}^{\Omega} O_{tj}^{\Omega} s_{tj} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} fO_{tj}^{\Omega} s_{tj} +$$
$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} gO_{tj}^{\Omega} s_{tj} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} hO_{tj}^{\Omega} s_{tj} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} \delta O_{tj}^{\Omega} s_{tj} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} vO_{tj}^{\Omega} s_{tj} + v\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} wO_{tj}^{\Omega} s_{tj} \quad (4.2)$$

or

Minimize

$$(\gamma + b)\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} d_{ij}^{\omega} O_{ij}^{\omega} y_{ij} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} d_{tj}^{\Omega} O_{tj}^{\Omega} s_{tj} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} r_{jk} e_{jk} x_{jk}\right] +$$
$$(f + g + h + \delta + v + w)\left[\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} O_{ij}^{\omega} y_{ij} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} O_{tj}^{\Omega} s_{tj}\right]$$

4.1.3.3 สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (Social risk objective)

Minimize

$$\sum_{k=1}^{K} \mu POTR_{jk} x_{jk} + \sum_{j=1}^{J} \mu POFR_j Q_j^{bc} + \sum_{j=1}^{J} \mu POFR_j Q_j^{b} + \sum_{j=1}^{J} \mu POFR_j Q_j^{c} \quad (4.3)$$

4.1.3.4 สมการขอบข่าย (Constraints)

Subject to;

$$\sum_{i=1}^{I} H_i^{\omega} + \sum_{t=1}^{T} H_t^{\Omega} \le Q_j^{bc} KBC_j + Q_j^{b} KB_j + Q_j^{c} KC_j \qquad \forall j \quad (4.4)$$

$$\lambda 1 \sum_{i=1}^{I} H_i^{\omega} + \lambda 2 \sum_{t=1}^{T} H_t^{\Omega} \le \sum_{k=1}^{K} e_{jk} \qquad \forall j \quad (4.5)$$

$$Q_j^{bc} + Q_j^{b} + Q_j^{c} \le 1 \qquad \forall j \quad (4.6)$$

$$Q_j^{bc} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j is open for two sources} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.7)$$

$$Q_j^{b} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j is open for bagasse} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.8)$$

$$Q_j^{c} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j is open for cassava pulp} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j \qquad (4.9)$$

$$\sum_{i=1}^{I} O_{ij}^{\omega} y_{ij} = H_i^{\omega} \qquad \forall i$$

(4.10)

$$\sum_{i=1}^{I} y_{ij} \geq 1 \qquad \forall j$$

(4.11)

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if bagasse from node i send material to ethanol plant j} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j$$

(4.12)

$$\sum_{t=1}^{T} O_{tj}^{\Omega} s_{tj} = H_t^{\Omega} \qquad \forall t$$

(4.13)

$$\sum_{t=1}^{T} s_{tj} \geq 1 \qquad \forall j$$

(4.14)

$$s_{tj} = \begin{cases} 1 & \text{if cassava pulp from node t send material to ethanol plant j} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall j$$

(4.15)

$$\sum_{k=1}^{K} x_{jk} \geq 1 \qquad \forall k$$

(4.16)

$$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{if ethanol plant j send ethanol to blending centre k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \forall k$$

(4.17)

$$y_{ij} \le Q_j^{bc} + Q_j^{b} \qquad \forall i, j$$

(4.18)

$$s_{tj} \le Q_j^{bc} + Q_j^{c} \qquad \forall t, j$$

(4.19)

สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ (4.1) ประกอบด้วย 4 พจน์หลัก คือ 1) สมการต้นทุนวัตถุดิบซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและราคาวัตถุดิบ 2) สมการต้นทุนด้านการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบ ระยะทาง และราคาต่อหน่วยของการขนส่งวัตถุดิบ โดยพจน์ที่ (1) และ (2) มี 2 ส่วน คือวัตถุดิบจากชานอ้อยและกากมัน 3) ต้นทุนการสร้างโรงงานเอทานอลซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตต่อวัน โดยในพจน์นี้มี 3 ส่วนซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการสร้างโรงงานที่รับวัตถุดิบเป็นชานอ้อยอย่างเดียว กากมันอย่างเดียว และจากทั้งสองส่วน 4) สมการต้นทุนการขนส่งเอทานอลซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเอทานอล ระยะทาง และราคาต่อหน่วยของการขนส่งเอทานอล

สมการเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม (4.2) อ้างอิงจากการศึกษาของ นัทธพงศ์ (2552) ซึ่งเป็นการอ้างอิงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกจากกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย 2 พจน์หลักใหญ่ ๆ คือ 1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการขนส่งและปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง ซึ่งในพจน์นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณชานอ้อย กากมัน เอทานอลที่ทำการขนส่ง และระยะทางในการขนส่ง 2) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้สารเคมีในการผลิตเอทานอล, ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตเอทานอล ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากมีเทนจากการผลิตเอทานอล ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล ค่าชดเชยของการนำเอาชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อนำมาไปใช้เป็นแก๊สโซฮอลล์ และค่าชดเชยของการนำเอาชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอลเพื่อนำมาใช้เป็นแก๊สโซฮอลล์แทนที่จะใช้น้ำมันเบนซินปกติ ซึ่งในพจน์นี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของชานอ้อยและกากมันเป็นหลัก

สมการเป้าหมายด้านความปลอดภัย (4.3) นั้นจะอ้างอิงจาก นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2552) กล่าวคือ จะใช้จำนวนประชากรที่จะได้รับผลกระทบจากการรั่วไหลระหว่างเส้นทางการขนส่งเอทานอลจากโรงงานผลิตไปยังคลังน้ำมัน และจะใช้ความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วย

พื้นที่รอบโรงงานผลิตเอทานอลที่จะได้รับผลกระทบหากเกิดการรั่วไหลหรือระเบิดของเอทานอลบริเวณโรงงานผลิต

สมการขอบข่ายประกอบด้วย (4.4) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบชานอ้อยและกากมันไม่ให้ส่งไปเกินในโรงงานทั้งสามประเภท (4.5) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลเอทานอลที่เกิดจากชานอ้อยและกากมันไม่ให้เกินจำนวนเอทานอลที่ส่งไปทั้งหมด สมการขอบข่าย (4.6) (4.7) (4.8) และ (4.9) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะเปิดโรงงานแบบใดซึ่งประกอบด้วย การใช้ชานอ้อยหรือกากมันเป็นวัตถุดิบอย่างเดียวหรือการใช้ทั้งสองส่วนเป็นวัตถุดิบในการผลิต (4.10) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบชานอ้อยเพื่อให้มั่นใจว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิต สมการขอบข่าย (4.11) และ (4.12) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบชานอ้อยจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดหรือไม่ (4.13) สมการข้อจำกัดด้านสมดุลมวลวัตถุดิบกากมันเพื่อให้มั่นใจว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิต สมการขอบข่าย (4.14) และ (4.15) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าแหล่งวัตถุดิบกากมันจะส่งวัตถุดิบให้โรงงานเอทานอลที่เปิดหรือไม่ สมการขอบข่าย (4.16) และ (4.17) เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าโรงงานเอทานอลที่เปิดจะส่งเอทานอลไปคลังน้ำมันใดบ้าง (4.18) สมการขอบข่ายที่กำหนดให้การส่งชานอ้อยไปยังโรงงานที่รับชานอ้อยอย่างเดียวและที่รับจากทั้งสองส่วน (4.19) สมการขอบข่ายที่กำหนดให้การส่งกากมันไปยังโรงงานที่รับกากมันอย่างเดียวและที่รับจากทั้งสองส่วน

หลังจากที่ได้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้ว สิ่งที่สำคัญคือการพิสูจน์ว่าตัวแบบนั้นถูกต้องหรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้มีการพิสูจน์ด้วย 2 แนวทางคือ 1) พิสูจน์ด้วยการทดลองในโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ซึ่งผลที่ได้นั้น โปรแกรมสามารถรันผลออกมาได้โดยไม่มีปัญหาข้อบกพร่องใด ๆ เลย แต่ก็ไม่ใช่ว่าตัวแบบนั้นจะไม่มีข้อผิดพลาดเลย ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจจึงต้องพิสูจน์ด้วยอีกวิธีคือ 2) การทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) โดยผลการทดลองทั้งหมดนั้นทดสอบด้วยการคำนวณด้วยมือโดยใช้โปรแกรม Excel เป็นตัวช่วย ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.1 โดยผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดนั้นพบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้

4.2 ผลการวิจัย

เมื่อทำการทดลองโดยที่กำหนดให้สมการเป้าหมายแต่ละตัวมีค่าน้ำหนักเท่ากัน ผลการทดสอบพบว่า บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด จังหวัดนครราชสีมา จะเปิดรับกากมันอย่างเดียวมาผลิตเป็นเอทานอล และบริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์) จังหวัด กาฬสินธุ์ จะเปิดรับทั้งชานอ้อยและกากมันมาผลิตเป็นเอทานอล โดยที่รายละเอียดการส่งวัตถุดิบจากโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมัน

ไปยังโรงงาน เอทานอลทั้งสอง รวมทั้งการแสดงผลการส่งเอทานอลจากโรงงานเอทานอลทั้งสองไปยังคลังน้ำมันย่อย แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.2

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยอาจจะไม่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริงในปัจจุบันของโรงงานเอทานอลที่ทำการผลิตในขณะนี้ เนื่องจากงานวิจัยที่จัดทำขึ้นอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ต้องการกำหนดแผนงานเชิงกลยุทธ์ (Strategic Planning) ของโรงงานเอทานอลที่มีอยู่แล้วเท่านั้น เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจหรือวางแผนในอนาคตหากต้องการที่จะขยายการลงทุนสำหรับโรงงานเอทานอลที่เปิดดำเนินการผลิตอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์

สมการ	สิ่งที่ควรจะเป็น	การทดสอบ	ผลการทดสอบ	บทสรุป
(4.1) (4.2) (4.3)	สมการเป้าหมายทั้งสาม หน่วยวัดต้องเป็นหน่วยเดียวกัน	แทนค่าทุกพารามิเตอร์เข้าไปในสมการเป้าหมายทั้งสาม	ได้หน่วยวัดเป็นบาทเหมือนกันทั้งสามสมการเป้าหมาย	ถูกต้อง
(4.1) (4.2)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณวัตถุดิบและระยะทาง	สลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งวัตถุดิบที่มีปริมาณมากๆ ให้ส่งในระยะทางที่ใกล้ๆ กับโรงงานเอทานอล	สมการเป้าหมายทั้งสองมีมูลค่าที่ลดลง	ถูกต้อง
(4.3)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณความหนาแน่นของประชากร	สลับสับเปลี่ยนเส้นทางการขนส่งเอทานอลในที่ที่มีประชากรน้อยๆ ไปยังคลังน้ำมัน	สมการเป้าหมายมีมูลค่าที่ลดลง	ถูกต้อง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์ (ต่อ)

สมการ	สิ่งที่ควรจะเป็น	การทดสอบ	ผลการทดสอบ	บทสรุป
(4.5)	ผลผลิตเอทานอลที่ได้ต้องไม่เกินปริมาณที่มีการขนส่งจากการตัดสินใจ	นำผลที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาทวนสอบโดยนำวัตถุดิบมาแปลงเป็นเอทานอลแล้วเปรียบเทียบกับการขนส่งไปคลังน้ำมัน	ผลผลิตเอทานอลที่ได้ไม่เกินปริมาณที่มีการขนส่งไปคลังน้ำมัน	ถูกต้อง
(4.6) (4.7) (4.8) (4.9)	จะต้องไม่มีโรงงานเอทานอลที่ตัดสินใจมากกว่าหนึ่งทางเลือก	แทนค่าในสมการขอบข่าย หากสมการ (4.7) (4.8) (4.9) = 1 ทั้งหมดจะทำให้สมการ (4.6) เป็นเท็จทันที	โรงงานเอทานอลตัดสินใจทางเลือกเดียวคือรับชานอ้อย, รับกากมัน หรือทั้งสองอย่าง อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น	ถูกต้อง

4.3 สรุปและอภิปรายผล

ผลการวิจัยที่ได้ เป็นการทดสอบเพื่อทำการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลการทดลองด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป สรุปได้ว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้สามารถนำไปใช้งานได้ และงานวิจัยนี้เป็นการคัดเลือกหาสถานที่ตั้งที่หลายจุดประสงค์ จากค่าวัตถุประสงค์ที่คำนวณได้จะพบว่าสมการเป้าหมายด้านความเสี่ยงความปลอดภัยมีผลกระทบต่อต้นทุนรวมน้อยที่สุด โดยที่สมการเป้าหมายที่มีผลกระทบสูงสุดในต้นทุนรวมคือ สมการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาแล้วผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเอทานอลและจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมัน ดังนั้นทำให้สรุปผลได้ว่าที่โปรแกรมได้เลือกโรงงานเอทานอลทั้งสองนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่งทั้งระบบ ทั้งนี้การทดลองที่ได้เพียงแค่นำข้อมูลบางส่วนมาใช้ทดสอบเท่านั้น แต่สำหรับแนวทางในการวิจัยต่อไปจะต้องนำข้อมูลโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันทั้งหมดมาใช้ในการวิจัย

การทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทดลอง ซึ่งในแต่ละกรณีต้องใช้เวลาอย่างน้อย 27 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย และยิ่งต้องเพิ่มจำนวนโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันเข้าไปอีกเป็นจำนวนมาก การทดลองก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นจำนวนมาก ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 และเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นดังนั้นการทดลองจะต้องเลือกใช้วิธีการที่สูงขึ้น คือ กระบวนการเมตาฮิวริสติก ซึ่งรูปแบบในการออกแบบอัลกอริทึมและผลการทดลองที่ได้นั้น ได้แสดงในบทที่ 5 ต่อไป

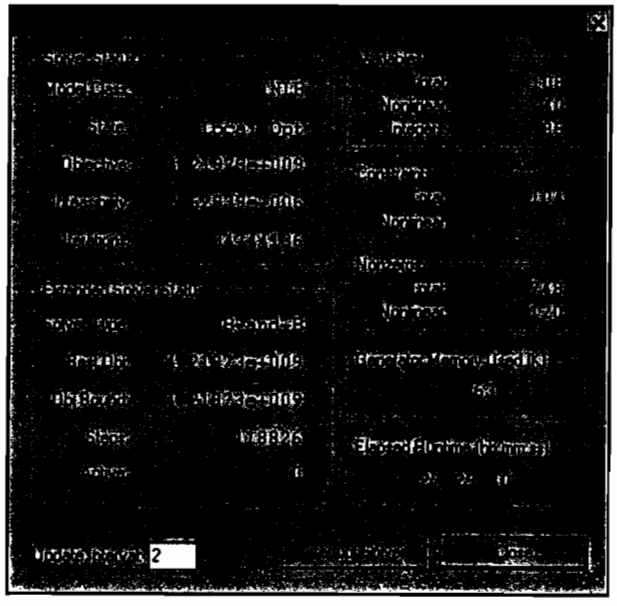
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน

แหล่งวัตถุดิบ			แหล่งผลิตเอทานอล	แหล่งรับเอทานอล		ค่าฟังก์ชั่นของสมการเป้าหมาย
โรงงาน	ปริมาณส่ง (ตัน)	ประเภทวัตถุดิบ	โรงงาน	คลังน้ำมัน	ปริมาณรับเอทานอล (ลิตร)	
3.4(1)	21,600	กากมัน	3.5(3)	อุดรธานี	3,060,000	ECON = 24,336 ล้านบาท
3.4(4)	14,400	กากมัน				
3.2(1)	104,983	ชานอ้อย	3.5(4)	อุดรธานี	12,000,000	ENRO = 17,860.4 ล้านบาท
3.2(2)	90,239	ชานอ้อย				
3.2(3)	89,952	ชานอ้อย				
3.2(4)	89,330	ชานอ้อย		นครราชสีมา	11,861,320	SRISK = 0.6 ล้านบาท
3.2(5)	87,092	ชานอ้อย				
3.4(2)	15,840	กากมัน				TOTAL = 42,197 ล้านบาท
3.4(3)	14,400	กากมัน		ขอนแก่น	12,000,000	
3.4(5)	11,520	กากมัน				

หมายเหตุ : ตัวเลขหน้าวงเล็บคือตารางที่ ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่

ตารางที่ 4.3 สรุปขนาดของปัญหาที่ทำทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0

Variables	Nonlinear	40
	Integers	85
	Total	108
Constraints	Nonlinear	3
	Total	104
Elapsed Runtime	(hh:mm:ss)	27:29:40



ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0

บทที่ 5
การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

Storn and Price (1995) ได้ทำการศึกษาค้นหาและพัฒนาระเบียบวิธี Differential Evolution (วิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง) เพื่อทำการค้นหาค่าของฟังก์ชั่นเชิงเลขแบบที่ไม่ชัดแจ้ง หรือหลักการทางสถิติ (Stochastic numerical function) สำหรับหาค่าความเหมาะสมที่ครอบคลุมในวงกว้าง (Global optimization) ในหัวข้อ Differential Evolution – A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces ซึ่งพัฒนาในข้อดีต่อเนื่องมาจากวิธี Adaptive simulated annealing โดยใช้วิธีการทดสอบเปรียบเทียบระเบียบวิจัย 4 แบบ คือ

(1) Annealed version of the Nelder & Mead strategy (ANM) เป็นวิธีของ Press (1992)

(2) Adaptive simulated annealing (ASA) เป็นวิธีของ Ingber (1993)

(3) Scheme DE1 เป็นวิธีของ Storn and Price (1995)

(4) Scheme DE2 เป็นวิธีของ Storn and Price (1995)

พบว่า Scheme DE2 ให้คำตอบถูกต้องเช่นเดียวกันกับทุกวิธีแต่มีจำนวนการตรวจสอบประเมินคำตอบ (Number of Function Evaluations: NFE) น้อยกว่าทุกฟังก์ชั่นและทุกวิธี ซึ่งหมายถึงค้นหาคำตอบได้น้อยครั้งกว่า และรวดเร็วกว่า

Chakraborty et al. (2006) ได้ศึกษาระเบียบวิธี Differential Evolution ในกรณีหาค่าความเหมาะสมหลายๆ วัตถุประสงค์พร้อมๆ กัน ในฟังก์ชั่นหรือแบบจำลองเดียวกัน ในหัวข้อ Vector evaluated differential evolution for multi objective optimization โดยการกำหนดทิศทางในการคำนวณค้นหาคำตอบ (Vector) หลายๆ ทิศทางทีละ Vector หมุนวนผลัดรอบเวรคู่ขนานกันไป (Parallel multi population) เรียกว่าวิธี Vector evaluated differential evolution: VEDE พบว่าสามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ทั้งในกรณีที่ขึ้นต่อกัน (Dominate) และไม่ขึ้นต่อกันได้

Vesterstrom and Thomsen (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระเบียบวิธี (Algorithm) ในหัวข้อ A comparative Study of Differential Evolution, Particle Swarm Optimization, and Evolutionary Algorithms on Numerical Benchmark Problems โดยใช้ฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ประเภท Non-Linear จำนวน 23 ฟังก์ชั่นเพื่อค้นหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุดในช่วงข้อจำกัดที่กำหนดเป็นตัวชี้วัด พบว่าระเบียบวิธี Differential Evolution มีความโดดเด่นทั้งในด้านความรวดเร็ว และ

ความถูกต้องที่ให้ค่าความละเอียดในทุกฟังก์ชั่นมากกว่าระเบียบวิธี Particle Swarm Optimization และ Evolutionary Algorithms

จากการตรวจสอบวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย พบว่าการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นนั้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางและสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์นั้นไม่พบเป็นการแพร่หลาย มีเพียงบางงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีหลายจุดประสงค์ ดังนั้นจึงเป็นความท้าทายและได้รับแรงบันดาลใจเมื่อได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกส์แล้ว ดังตารางที่ 5.1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นเพื่อแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปงานวิจัยที่ทำการทบทวนวรรณกรรมเพื่อสรุปผลการเลือกอัลกอริทึม

Problem (MOSS-LAP)	**Differential evolution (DE)**	**Genetic algorithm (GA)**	**Tabu search (TS)**	**Particle swam optimization (PSO)**	**Ant Colony Optimization (ACO)**	**Simulated Annealing (SA)**	**Iterated Local Search (ILS)**	**Total Article Review**
Multi-objective		13	6	2	1	1	1	24
Multi-source								0
Multi-stage							1	4
Location-allocation		17	6		1	4	2	30
Total Score	0	30	12	2	2	5	4	58
Selection Ranking	A			B	C			

5.1 การพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น

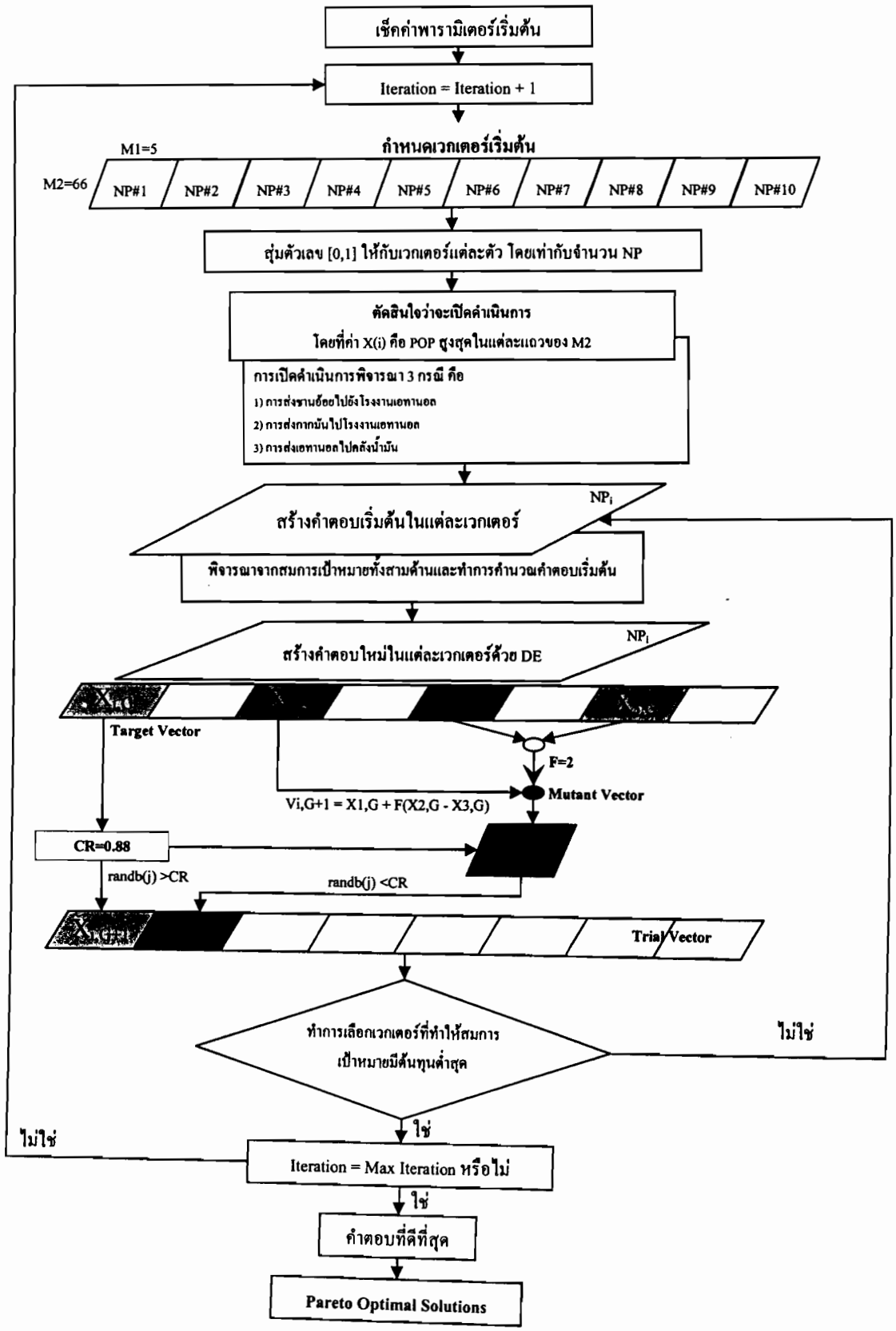
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมในสองส่วนด้วยกันคือ 1) อัลกอริทึมในส่วนของการหาคำตอบเริ่มต้น โดยกำหนดเลือกตำแหน่งที่จะเปิดโรงงาน และกำหนดเส้นทางที่จะทำการขนส่งวัตถุดิบและสินค้าที่เป็นเอทานอล 2) อัลกอริทึมในส่วนของการปรับปรุงคำตอบที่ได้

กระบวนการในการพัฒนาอัลกอริทึม และวิธีการคำนวณหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากชานอ้อยและกากมันที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยเสนอวิธีการพัฒนาเมตาฮิวริสติกส์เพื่อใช้ในการคำนวณหาที่ตั้งซึ่งแสดงได้ตามขั้นตอนของ Flow Chart ตามรูปที่ 5.2 และแสดงรหัสเทียม (Pseudo-Code) ในการนำไปใช้งานเพื่อใช้เขียนโปรแกรม C++ ซึ่งจะทำให้การหาคำตอบได้รวดเร็วยิ่งขึ้นนั้นแสดงได้ตามรูปที่ 5.1

Pseudo-code for the DE algorithm

Begin
  Set CR = 0.88, F = 2 and NP = 10
  G = 0
  Generate the initial population $X_{i,g}$ $\forall i$, *i=1,...,NP*
  Evaluate the fitness (function value) for each individual $f(X_{i,g})$ $\forall i$, *i=1,...,NP*
  While *stopping criterion (100 Loop) is not satisfied* **Do**
    For *i=1 to NP* **Do**
      Select uniform randomly r1 ≠ r2 ≠ r3 ≠ i
      j_{rand} = *randint [1,*M_1*,*M_2*]*
      For *j=1 to [*M_1*,*M_2*]* **Do**
        If ($rand_j$ *[0,1] < CR or j=*j_{rand}) **Then**
          $U_{j,i,g+1} = X_{j,r1,g} + F(X_{j,r2,g} - X_{j,r3,g})$
        Else
          $U_{j,i,g+1} = X_{j,i,g}$
        End If
      End For
    End For
    For *i=1 to NP* **Do**
      Evaluate the fitness (function value) for each individual f(Ui,g+1) $\forall i$, *i=1,...,NP*
      If ($f(U_{i,g+1})$ *is better than or equal to* $f(X_{i,g})$) **Then**
        Replace $X_{i,g+1}$ *with* $U_{i,g+1}$
      Else
        Replace $X_{i,g+1}$ *with* $X_{i,g}$
      End If
    End For
    G = G+1
  End While
End

ภาพที่ 5.1 รหัสเทียม (Pseudo-Code) การนำไปใช้เขียนโปรแกรม C++



ภาพที่ 5.2 Flow Chart กระบวนการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น

5.1.1 การหาคำตอบเริ่มต้น

ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้กระบวนการหาคำตอบเริ่มต้น ซึ่งได้แรงบันดาลใจจากวิธีหาคำตอบของวิธี Genetic Algorithm (GA) โดยการกำหนดให้มีจำนวนของพาร์ติเคิลที่เป็นโครโมโซมเท่ากับจำนวนของโรงงานเอทานอลที่มีศักยภาพที่ทำการเปิดดำเนินการอยู่แล้ว และสามารถที่จะต่อเติมในการรับวัตถุดิบเพิ่มเติมเพื่อผลิตเป็นเอทานอล โดยพาร์ติเคิลที่ข้ามกัน (Cross) ในโครโมโซมนั้นจะมีส่วนของโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน และคลังน้ำมัน ที่เป็นเซลล์ในแนวนอน ส่วนโรงงานเอทานอลเป็นเซลล์ในแนวตั้ง โดยตัวอย่างของโครโมโซมที่ใช้หาคำตอบเริ่มต้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

สำหรับการหาคำตอบเริ่มต้นของอัลกอริทึมนั้น หลังจากที่ได้ทำการกำหนดโครโมโซมเริ่มต้นแล้ว จะเริ่มด้วยการสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 0.0 – 1.0 ให้กับเซลล์ต่างๆ ที่อยู่ในโครโมโซมโดยผ่านกระบวนการทำงานตามหลักของการสุ่มตัวเลข ซึ่งเริ่มจากการสร้างเซลล์ที่มีจำนวนคอลัมน์ $M_1 = 5$ และข้ามกับ $M_2 = 66$ จากนั้นจึงทำการสุ่มค่าตั้งแต่ 0.0 – 1.0 ลงไปในแต่ละเซลล์ เมื่อได้ค่าของแต่ละเซลล์แล้วจึงจะเริ่มทำการเปรียบเทียบค่า โดยที่เซลล์ใดมีค่าสูงสุดในแต่ละแถว (M_2) จะถูกเลือกให้เปิดดำเนินการหรือให้มีการขนส่งระหว่างกันเกิดขึ้น ซึ่งเป็นตัวตัดสินใจว่าจะเปิดหรือไม่เปิดโรงงานเอทานอลนั่นเอง โดยตัวอย่างการหาคำตอบเริ่มต้นแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 โดยที่รายละเอียดในตารางที่ทำการระบายสีไว้นั้น หมายความว่าได้มีการเลือกให้เปิดโรงงานเอทานอลและมีการจัดส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานเหล่านั้นด้วย และบอกความสัมพันธ์ว่าจะส่งเอทานอลไปยังคลังน้ำมันใดบ้าง และในตอนท้ายของตารางจะบอกถึงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่คำนวณออกมาได้ว่ามีค่าเท่าไหร่ ยกตัวอย่างเช่นในตารางที่ 5.2 ถ้ามีการเปิดโรงงานเอทานอลตามที่ระบายสี มีการจัดส่งทั้งวัตถุดิบและเอทานอลไปคลังน้ำมันที่ระบุไว้นั้น จะต้องใช้เงินทั้งสิ้น 120,309.6 ล้านบาท เป็นต้น

ตารางที่ 5.2 โครโมโซมในการหาคำตอบเริ่มต้น

	$X_{(i)}$ (POP if Max, then Open)				
	Chromosome: G, NP.1 (Target Vector)				
	j1	j2	j3	j4	j5
i1	0.47	0.41	0.14		0.67
i2	0.21	0.12	0.17		0.06
i3	0.37	0.00		0.02	0.12
i4		0.59	0.53	0.52	0.83
i5	0.68	0.15	0.57	0.82	
i6		0.04	0.46	0.14	0.46
i7	0.57		0.47	0.34	0.73
i8		0.16	0.36	0.47	0.62
i9	0.03	0.32	0.17	0.02	
i10	0.88	0.75	0.31	0.73	
i11	0.32	0.13	0.27		0.02
i12	0.06	0.70	0.14	0.25	
i13	0.74		0.60	0.01	0.72
i14	0.09	0.05	0.24	0.30	
i15		0.19	0.12	0.17	0.86
i16		0.39	0.74	0.19	0.59
t1	0.47		0.15	0.89	0.58
t2	0.80	0.81	0.65	0.36	
t3	0.89	0.22	0.30	0.60	
t4	0.64	0.06	0.82		0.43
t5	0.19	0.78	0.65	0.36	
t6	0.50	0.33	0.25	0.00	
t7		0.12	0.12	0.85	0.54
t8	0.43	0.02	0.41		0.84
t9		0.66	0.80	0.50	0.11
t10	0.02		0.32	0.59	0.46
t11	0.05	0.67	0.57		0.18
t12	0.87		0.52	0.84	0.28
t13	0.29	0.03	0.42		0.44
t14		0.44	0.00	0.57	0.38
t15		0.48	0.04	0.47	0.13
t16	0.38		0.45	0.59	0.36
t17	0.76	0.47	0.34		0.18
t18	0.63	0.06	0.01	0.45	

ตารางที่ 5.2 โครโมโซมในการหาคำตอบเริ่มต้น (ต่อ)

	$X_{(i)}$ (POP if Max, then Open)				
	Chromosome: G, NP.1 (Target Vector)				
	j1	j2	j3	j4	j5
t19	0.19	0.12	0.72		0.45
t20	0.26	0.08	0.44		0.80
t21	0.38	0.32	0.32	0.13	
t22	0.37		0.22	0.92	0.90
t23		0.74	0.29	0.53	0.03
t24	0.39	0.03	0.13	0.23	
t25	0.77	0.04	0.71		0.10
t26	0.23	0.05	0.58		0.13
t27	0.36		0.37	0.03	0.11
t28	0.20	0.25	0.72	0.56	
t29		0.80	0.66	0.23	0.58
t30	0.13	0.52	0.89		0.71
t31	0.28	0.38	0.04		0.01
t32	0.25		0.33	0.16	0.66
t33	0.41	0.59	0.07	0.19	
t34		0.69	0.12	0.25	0.44
t35	0.61	0.56		0.88	0.39
t36	0.47	0.25	0.47		0.10
t37	0.74		0.34	0.04	0.96
t38	0.59	0.84	0.06	0.76	
t39	0.52	0.64	0.32	0.78	
t40	0.53	0.02	0.48		0.44
t41	0.59	0.77		0.56	0.34
t42	0.43	0.06	0.35	0.65	
t43	0.40	0.41	0.59		0.47
t44	0.48	0.69	0.05	0.19	
t45	0.12	0.38	0.08	0.76	
t46		0.53	0.26	0.42	0.58
k1	0.54	0.57	0.02		0.40
k2	0.61	0.35	0.28		0.08
k3	0.37	0.25	0.30	0.59	
k4		0.93	0.30	0.16	0.49

5.1.2 การปรับปรุงคำตอบที่ได้ด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น

ผู้วิจัยเลือกวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น (Differential evolution, DE) เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความท้าทายและได้รับแรงบันดาลใจเมื่อได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ ดังตารางที่ 5.1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นเพื่อแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ เนื่องจากลักษณะของปัญหาดังกล่าวยังพบว่ามีผู้วิจัยที่นำไปประยุกต์ใช้ค่อนข้างน้อยมาก รวมทั้งเป็นอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อนและให้ผลเฉลยของคำตอบที่ยอมรับได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ยังพบว่าเป็นอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาคำตอบได้เร็วกว่าอัลกอริทึมวิธีอื่นๆ โดยขั้นตอนของอัลกอริทึมดังกล่าวจะเริ่มต้นจากการสร้างคำตอบเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้จะใช้อัลกอริทึมแบบ RBS ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา จากนั้นจึงเริ่มสู่กระบวนการปรับปรุงคำตอบเริ่มจาก กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) จากนั้นก็เข้าสู่ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ (Crossover) และท้ายที่สุดคือกระบวนการคัดเลือก (Selection)

5.1.2.1 กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation)

เริ่มต้นที่วิวัฒนาการที่ได้กลายพันธุ์ โดยได้รวบรวมเวกเตอร์เป้าหมายเพื่อเริ่มผลิตเวกเตอร์ที่กลายพันธุ์ ในเวกเตอร์เป้าหมายแต่ละตัวคือ Xi,g ซึ่งเป็นเวกเตอร์ในรุ่น g สำหรับเวกแตอร์ที่กลายพันธุ์ คือ Vi,g โดยได้ถูกสร้างขึ้นตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_{i,j} = X_{r1,g} + F\left(X_{r2,g} - X_{r3,g}\right) \tag{5.1}$$

มีข้อสังเกตว่า X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ได้ถูกสุ่มเลือกจากเวกเตอร์ของประชากร ซึ่งแตกต่างจากเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) Xi,g ส่วน F เป็นระดับปัจจัยที่ควบคุมระดับความแตกต่างของเวกเตอร์ระหว่าง X_{r2}, X_{r3} แล้วเพิ่มไปที่เวกเตอร์พื้นฐานซึ่งก็คือ X_{r1}

สมการ 5.1 เป็นสมการที่จะนำไปใช้ในการกลายพันธุ์ของ Vector ที่ได้จากการกำหนดคำตอบเริ่มต้น ซึ่งเมื่อคำตอบเริ่มต้นนั้นได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะทำให้เราได้ค่าของ Vector ใหม่เกิดขึ้น ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า Mutant Vector โดยที่ Mutant Vector นั้นจะเกิดจากการสุ่มค่าของ Vector X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ที่อยู่ในแต่ละแถวของ M_2 โดยที่ลักษณะการสุ่มในแต่ละแถวนั้นจะแตกต่างกันไปและเป็นอิสระต่อกัน หลังจากนั้นก็จะแทนค่าในสมการซึ่งจะได้คำตอบใหม่ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการกลายพันธุ์

	F	2	Vi,G+1 = Xr1,G + F(Xr2,G - Xr3,G)		
	Mutant Vector (Vi,G+1)				
	j1	j2	j3	j4	j5
i1	1.01	-0.71	0.19	1.10	0.01
i2	0.12	-1.42	1.95	0.64	-0.02
i3	-0.36	0.70	0.15	-0.47	0.13
i4	1.06	0.60	-0.09	0.30	0.00
i5	-0.16	-0.35	0.50	1.17	0.63
i6	-0.34	0.69	-0.17	0.02	0.36
i7	1.13	1.02	-0.30	0.64	0.52
i8	0.30	-0.05	0.04	0.29	-0.08
i9	0.34	0.61	-1.51	1.68	1.13
i10	1.75	-0.09	-0.12	0.87	-0.19
i11	0.03	-1.07	1.98	0.27	-0.07
i12	1.18	0.47	-0.81	1.58	0.88
i13	1.49	2.15	-0.82	-0.04	0.43
i14	-0.28	-0.08	-0.40	1.37	0.92
i15	1.02	0.08	-1.26	0.13	-0.66
i16	0.27	1.49	-0.06	-0.58	0.12
t1	2.03	-0.56	0.76	1.11	-0.07
t2	1.13	1.38	-0.28	0.39	0.51
t3	0.71	-0.38	-0.49	0.83	-0.17
t4	-0.89	-0.03	1.69	0.45	0.80
t5	0.45	1.38	-0.60	1.93	1.90
t6	0.66	0.83	-1.32	0.58	0.29
t7	0.87	-1.34	0.73	0.18	-0.97
t8	-0.35	-1.02	0.59	1.75	0.80
t9	0.54	1.26	1.57	-0.90	0.08
t10	0.63	0.09	0.58	1.48	1.07
t11	0.25	0.15	1.88	1.10	1.23
t12	1.80	0.34	1.66	-0.34	-0.42
t13	-0.50	-0.36	0.78	0.93	0.71
t14	1.86	-0.69	0.38	-0.63	-1.57
t15	1.37	-0.38	0.73	-0.24	-0.76
t16	1.23	0.60	0.91	0.56	0.51
t17	1.02	-0.50	1.62	-0.34	-0.67
t18	0.74	-0.83	-1.01	1.11	-0.29

ตารางที่ 5.3 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการกลายพันธุ์ (ต่อ)

	F	2	Vi,G+1 = Xr1,G + F(Xr2,G - Xr3,G)		
	Mutant Vector (Vi,G+1)				
	j1	j2	j3	j4	j5
t19	-1.00	0.06	1.33	1.28	1.51
t20	-0.46	-0.69	0.49	1.88	1.14
t21	0.38	0.70	-0.84	0.81	0.60
t22	1.90	-0.43	0.26	1.99	0.60
t23	1.71	0.24	1.30	-1.04	-1.03
t24	0.18	-0.16	-0.37	0.39	-0.05
t25	-0.58	-0.53	2.50	-0.34	-0.01
t26	-0.83	-0.70	2.20	0.77	0.83
t27	0.61	1.18	0.21	-0.47	0.13
t28	-0.75	0.57	0.00	1.99	1.96
t29	1.18	1.67	-0.05	-0.39	0.12
t30	-0.62	0.32	1.46	2.15	2.23
t31	0.97	-1.06	1.53	0.23	-0.47
t32	1.24	1.15	-0.66	0.98	0.82
t33	1.45	0.36	-1.37	1.20	0.24
t34	2.04	0.44	-0.26	-0.67	-1.11
t35	-0.06	0.58	1.87	0.44	0.95
t36	0.02	0.20	1.27	-0.25	0.10
t37	2.00	1.57	-1.50	0.46	0.15
t38	2.15	-0.55	-0.21	1.35	-0.17
t39	1.16	-0.27	0.08	1.54	0.50
t40	-0.38	-0.11	0.70	0.35	0.33
t41	0.45	1.34	1.30	0.06	0.85
t42	-0.15	-0.54	0.28	1.15	0.52
t43	0.05	-0.35	1.57	1.11	0.85
t44	1.78	0.41	-1.55	1.19	0.11
t45	0.72	-0.97	0.00	2.10	0.72
t46	1.32	0.21	-0.07	0.01	-0.47
k1	1.66	-0.80	0.62	0.43	-0.65
k2	0.75	-0.92	1.95	-0.14	-0.58
k3	0.26	-0.33	-0.09	1.43	0.66
k4	2.23	1.19	-0.35	-0.80	-0.85

5.1.2.2 ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ (Crossover)

เป็นวิวัฒนาการที่เกิดจากการประสมพันธุ์แบบครอสโอเวอร์ระหว่าง Xi,g และ Vi,g ในการสร้างเวกเตอร์การทดลองซึ่งก็คือ Ui,g ที่ได้จากโครโมโซมชุดของคำตอบเริ่มต้นกับ โครโมโซมชุดของคำตอบที่มาจากการกลายพันธุ์ โดยมีหลักการคือการสุ่มเลือกตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ให้กับชุดของโครโมโซมเริ่มต้นกระบวนการครอสโอเวอร์ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Trial Vector ซึ่งลักษณะการสุ่มเลือกนั้นเป็นลักษณะที่คล้ายกันกับการกำหนดชุดคำตอบเริ่มต้น โดยตัวอย่างที่ทำการสุ่มเลือกได้นั้นแสดงได้ตามตารางที่ 5.4

สำหรับวิวัฒนาการแบบคลาสสิคนี้มีรูปแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมและเวกเตอร์การทดลองที่ถูกสร้างตามสมการด้านล่างนี้

$$u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g}, \text{if } u_j \le c_r \text{ or } j = j_u \\ x_{j,i,g}, \text{otherwise} \end{cases} \tag{5.2}$$

เมื่อ C_r (Crossover Rate) เป็นค่าค่งที่มีค่าตั้งแต่ [0,1]

$i = 1,2,.....N;\ j = 1,2,.....D$

โดยที่สมการ 5.2 นั้นอธิบายได้ว่าเมื่อทำการสุ่มเลือกค่าให้แต่ละ array ในโครโมโซมแล้วซึ่งเป็นตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่สุ่มเลือกได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ C_r (Crossover Rate) ให้เลือกค่าของเวกเตอร์ที่มาจากเวกเตอร์กลายพันธุ์ (Mutant Vector) และถ้าเป็นอย่างอื่นให้เลือกค่าของเวกเตอร์ที่มาจากเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector)

เมื่อดำเนินการสุ่มค่า 0 ถึง 1 ให้กับโครโมโซมแต่ละ array แล้วซึ่งได้ค่าตามตารางที่ 5.4 นั้น จากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการประสมพันธุ์ โดยเงื่อนไขนั้นเป็นไปตามสมการที่ 5.2 โดยที่จะต้องทำการเปรียบเทียบกันในแต่ละตำแหน่ง array ระหว่างโครโมโซมที่เป็นชุดของคำตอบเริ่มต้นกับโครโมโซมของชุดคำตอบที่ได้จากการกลายพันธุ์ โดยเมื่อดำเนินการจนเสร็จสิ้นในทุกๆ array แล้ว จะทำให้ได้ชุดของคำตอบใหม่ซึ่งเป็นโครโมโซมของชุดคำตอบใหม่ที่ต่อไปจะเรียกว่า Trial Vector จากนั้นจะต้องทำการคำนวณหาผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้ตามฟังก์ชั่นของสมการเป้าหมายเพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ว่าดีกว่าหรือแย่กว่าของโครโมโซมคำตอบเริ่มต้น โดยรายละเอียดทั้งหมดแสดงได้ตามตารางที่ 5.5 ที่แสดงโครโมโซมของ Trial Vector

ตารางที่ 5.4 โครโมโซมที่สุ่มจำนวนจริง 0 ถึง 1 ก่อนการทำครอสโอเวอร์

	randb(j) = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1				
	Trial Vector (Uji,G+1)				
	j1	j2	j3	j4	j5
i1	0.46	0.50	0.06	0.43	0.70
i2	0.65	0.74	0.02	0.86	0.38
i3	0.37	0.58	0.14		0.08
i4	0.12	0.35	0.17	0.41	0.75
i5	0.63	0.11	0.02	0.51	0.28
i6	0.55	0.45	0.73		0.25
i7	0.64	0.15		0.28	0.27
i8	0.35		0.77	0.22	0.32
i9	0.70	0.67	0.88		0.01
i10	0.41	0.52	0.29	0.50	0.39
i11	0.32	0.21	0.30	0.40	0.21
i12	0.21		0.34	0.30	0.22
i13	0.61	0.29	0.54	0.81	0.69
i14	0.61	0.83	0.50	0.61	0.72
i15	0.55	0.78	0.07	0.63	
i16	0.79	0.28	0.17	0.04	0.06
t1	0.60	0.23	0.30		0.66
t2	0.85	0.82	0.45	0.53	0.47
t3	0.38	0.52	0.06	0.60	0.47
t4	0.61	0.02	0.22	0.55	0.24
t5	0.13	0.77	0.02	0.41	0.20
t6	0.16	0.58	0.81	0.38	0.07
t7	0.33	0.12	0.83	0.17	0.25
t8	0.63	0.27	0.09	0.57	0.46
t9	0.34	0.31	0.64	0.28	
t10	0.23	0.36	0.73	0.86	0.58
t11	0.15	0.50	0.60	0.59	
t12	0.56	0.34	0.42	0.41	0.29
t13	0.83		0.37	0.86	
t14		0.63	0.63	0.57	
t15	0.51	0.80	0.14	0.81	0.61
t16	0.56	0.72	0.56	0.42	0.47
t17	0.48	0.77	0.50	0.84	
t18	0.65	0.70	0.29	0.62	0.00

ตารางที่ 5.4 โครโมโซมที่สุ่มจำนวนจริง 0 ถึง 1 ก่อนการทำครอสโอเวอร์ (ต่อ)

	randb(j) = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1				
	Trial Vector (Uji,G+1)				
	j1	j2	j3	j4	j5
t19	0.28	0.54		0.47	0.33
t20	0.51		0.18		0.82
t21	0.71	0.88	0.49		
t22	0.20	0.57		0.10	0.14
t23	0.57	0.75	0.17	0.55	0.79
t24	0.67	0.55	0.71	0.01	0.18
t25	0.73	0.27	0.57	0.61	0.68
t26	0.74		0.23	0.71	0.43
t27	0.58	0.74	0.28	0.21	0.72
t28	0.65	0.12	0.54	0.48	0.44
t29	0.40	0.82	0.31	0.46	0.40
t30	0.53	0.11	0.77	0.74	0.56
t31	0.28	0.32		0.36	
t32	0.37	0.87	0.63	0.84	0.52
t33	0.58	0.87	0.45	0.26	0.63
t34	0.37	0.41	0.84	0.30	
t35	0.02	0.53	0.36	0.39	0.16
t36	0.20	0.34	0.58		0.68
t37	0.15	0.21	0.04		0.11
t38	0.26	0.85	0.02	0.44	0.85
t39	0.01	0.37	0.37	0.30	0.10
t40		0.36		0.51	0.77
t41	0.49	0.62		0.65	0.81
t42	0.43			0.30	0.06
t43	0.16	0.67	0.06	0.47	0.21
t44	0.38	0.52	0.63	0.42	0.71
t45	0.27	0.88	0.75	0.22	0.37
t46		0.30	0.39	0.71	0.67
k1	0.43	0.40		0.03	
k2		0.09		0.61	0.83
k3	0.29	0.53	0.36	0.47	0.23
k4	0.34	0.44		0.48	0.41

ตารางที่ 5.5 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์

	0.88		CR = Crossover Rate		
	Trial Vector (Uji,G+1)				
	j1	j2	j3	j4	j5
i1	1.01	-0.71	0.19		0.01
i2	0.12	-1.42		0.64	-0.02
i3	-0.36		0.15	0.02	0.13
i4		0.60	-0.09	0.30	0.00
i5	-0.16	-0.35	0.50		0.63
i6	-0.34		-0.17	0.14	0.36
i7		1.02	0.47	0.64	0.52
i8		0.16	0.04	0.29	-0.08
i9	0.34	0.61	-1.51	0.02	
i10		-0.09	-0.12	0.87	-0.19
i11	0.03	-1.07		0.27	-0.07
i12	1.18	0.70	-0.81		0.88
i13	1.49		-0.82	-0.04	0.43
i14	-0.28	-0.08	-0.40		0.92
i15		0.08	-1.26	0.13	0.86
i16	0.27		-0.06	-0.58	0.12
t1		-0.56	0.76	0.89	-0.07
t2	1.13		-0.28	0.39	0.51
t3	0.71	-0.38	-0.49		-0.17
t4	-0.89	-0.03		0.45	0.80
t5	0.45	1.38	-0.60		1.90
t6	0.66		-1.32	0.58	0.29
t7		-1.34	0.73	0.18	-0.97
t8	-0.35	-1.02	0.59		0.80
t9	0.54	1.26		-0.90	0.11
t10	0.63	0.09	0.58		1.07
t11	0.25	0.15		1.10	0.18
t12		0.34	1.66	-0.34	-0.42
t13	-0.50	0.03	0.78		0.44
t14		-0.69	0.38	-0.63	0.38
t15		-0.38	0.73	-0.24	-0.76
t16		0.60	0.91	0.56	0.51
t17	1.02	-0.50		-0.34	0.18
t18	0.74	-0.83	-1.01		-0.29

ตารางที่ 5.5 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์ (ต่อ)

	0.88		CR = Crossover Rate		
	Trial Vector (Uji,G+1)				
	j1	j2	j3	j4	j5
t19	-1.00	0.06	0.72	1.28	
t20	-0.46	0.08	0.49	0.82	
t21	0.38	0.70	-0.84	0.13	
t22	1.90	-0.43	0.22		0.60
t23		0.24	1.30	-1.04	-1.03
t24	0.18	-0.16	-0.37		-0.05
t25	-0.58	-0.53		-0.34	-0.01
t26	-0.83	0.05		0.77	0.83
t27	0.61		0.21	-0.47	0.13
t28	-0.75	0.57	0.00		1.96
t29	1.18		-0.05	-0.39	0.12
t30	-0.62	0.32	1.46	2.15	
t31		-1.06	0.04	0.23	0.01
t32		1.15	-0.66	0.98	0.82
t33		0.36	-1.37	1.20	0.24
t34		0.44	-0.26	-0.67	0.44
t35	-0.06	0.58		0.44	0.95
t36	0.02	0.20		0.50	0.10
t37		1.57	-1.50	0.04	0.15
t38		-0.55	-0.21	1.35	-0.17
t39	1.16	-0.27	0.08		0.50
t40		-0.11	0.48	0.35	0.33
t41	0.45		0.84	0.06	0.85
t42	-0.15	0.06	0.35		0.52
t43	0.05	-0.35		1.11	0.85
t44		0.41	-1.55	1.19	0.11
t45	0.72	-0.97	0.00		0.72
t46		0.21	-0.07	0.01	-0.47
k1		-0.80	0.02	0.43	0.40
k2		-0.92	0.28	-0.14	-0.58
k3	0.26	-0.33	-0.09		0.66
k4		1.19	0.30	-0.80	-0.85

5.1.2 3 การคัดเลือก (Selection)

เป็นกระบวนการคัดสรรคำตอบ ซึ่ง vector ที่ให้คำตอบที่ดีกว่าจะอยู่รอดต่อไป วิธีการคือเปรียบเทียบ function value ของ trial vector กับ target vector ในกรณีที่ trial vector ให้ค่า function value ที่ดีกว่า มันก็จะแทนที่ target vector ใน generation ต่อไป จากนั้น ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5.1.2.1 ถึง 5.1.2.3 จนครบทุก vector ใน current generation จากนั้นแทนที่ current generation ด้วย next generation ถ้าหาก function value ที่ได้นั้นดีกว่า แล้วทำซ้ำกระบวนการทั้งหมดจนถึง stopping criteria

การดำเนินการคัดเลือกได้กำหนดเป้าหมายเวกเตอร์แต่ละตัวไว้ที่ Xi,g และเวกเตอร์การทดลองที่สอดคล้องกันคือ Ui,g ซึ่งใช้ทดลองเวกเตอร์เปรียบเทียบผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย กับการมีชีวิตรอดเพื่อเป็นทายาทรุ่นต่อไป และเวกเตอร์ Xi,g+1 จะถูกเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} U_{i,g}, \text{if } f(U_{i,g}) \le f(x_{i,g}) \\ x_{i,g}, \text{otherwise} \end{cases} \tag{5.3}$$

เมื่อดำเนินการตามเงื่อนไขของสมการที่ 5.3 โดยการแทนค่าของ function value ที่เป็นสมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ที่อยู่ในบทที่ 4 โดยเป็นการศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบมาจากชานอ้อยและกากมันที่มีต้นทุนการดำเนินการต่ำที่สุด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยต่ำที่สุดแล้ว จะต้องทำการเปรียบเทียบค่าของ function value ที่ได้ โดยชุดของโครโมโซมคำตอบเริ่มต้นที่ได้นั้นเท่ากับ 120,309 ล้านบาท ส่วนชุดของโครโมโซมคำตอบที่ได้จากการทำ Trial Vector นั้นเท่ากับ 120,707 ล้านบาท ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่า ชุดของคำตอบหรือโครโมโซมของ Generation ถัดไป (G+1) นั้นจะเป็นชุดของโครโมโซมที่เป็นคำตอบเริ่มต้นเนื่องจาก function value นั้นต่ำกว่าชุดโครโมโซมของ Trial Vector โดยที่รายละเอียดแสดงการคัดเลือกนั้นเป็นไปตามตารางที่ 5.6

กระบวนการคัดเลือกที่แสดงนั้นเป็นเพียงตัวอย่างที่แสดงเพียงแค่การเปรียบเทียบแค่โครโมโซมเดียวเท่านั้น แต่ถ้าหากมีชุดของโครโมโซมที่มากกว่าหนึ่ง จะต้องทำการเปรียบเทียบทั้งหมดด้วย เช่นตาม Flow Chart ที่แสดงในรูปที่ 5.1 นั้น จะเห็นว่าการกำหนดคำตอบเริ่มต้นนั้นจะกำหนดให้มี 10 โครโมโซม นั้นหมายความว่าในแต่ละรอบของการคำนวณจะต้องนำ Target Vector 10 โครโมโซมเปรียบเทียบกับ Trial Vector 10 โครโมโซม ในแต่ละ NP ก่อน

จากนั้นจึงนำชุดของโครโซมคำตอบแต่ละ NP (1,2,.....10) มาเปรียบเทียบกันจึงจะได้คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการคำนวณ

ตารางที่ 5.6 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก

	Selection Process				
	Chromosome: G+1, NP.1				
	j1	j2	j3	j4	j5
i1	0.47	0.41	0.14		0.67
i2	0.21	0.12	0.17		0.06
i3	0.37	0.00		0.02	0.12
i4		0.59	0.53	0.52	0.83
i5	0.68	0.15	0.57	0.82	
i6		0.04	0.46	0.14	0.46
i7	0.57		0.47	0.34	0.73
i8		0.16	0.36	0.47	0.62
i9	0.03	0.32	0.17	0.02	
i10	0.88	0.75	0.31	0.73	
i11	0.32	0.13	0.27		0.02
i12	0.06	0.70	0.14	0.25	
i13	0.74		0.60	0.01	0.72
i14	0.09	0.05	0.24	0.30	
i15		0.19	0.12	0.17	0.86
i16		0.39	0.74	0.19	0.59
t1	0.47		0.15	0.89	0.58
t2	0.80	0.81	0.65	0.36	
t3	0.89	0.22	0.30	0.60	
t4	0.64	0.06	0.82		0.43
t5	0.19	0.78	0.65	0.36	
t6	0.50	0.33	0.25	0.00	
t7		0.12	0.12	0.85	0.54
t8	0.43	0.02	0.41		0.84
t9		0.66	0.80	0.50	0.11
t10	0.02		0.32	0.59	0.46
t11	0.05	0.67	0.57		0.18
t12	0.87		0.52	0.84	0.28
t13	0.29	0.03	0.42		0.44
t14		0.44	0.00	0.57	0.38

ตารางที่ 5.6 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก (ต่อ)

	Selection Process				
	Chromosome: G+1, NP.1				
	j1	j2	j3	j4	j5
t15		0.48	0.04	0.47	0.13
t16	0.38		0.45	0.59	0.36
t17	0.76	0.47	0.34		0.18
t18	0.63	0.06	0.01	0.45	
t19	0.19	0.12	0.72		0.45
t20	0.26	0.08	0.44		0.80
t21	0.38	0.32	0.32	0.13	
t22	0.37		0.22	0.92	0.90
t23		0.74	0.29	0.53	0.03
t24	0.39	0.03	0.13	0.23	
t25	0.77	0.04	0.71		0.10
t26	0.23	0.05	0.58		0.13
t27	0.36		0.37	0.03	0.11
t28	0.20	0.25	0.72	0.56	
t29		0.80	0.66	0.23	0.58
t30	0.13	0.52	0.89		0.71
t31	0.28	0.38	0.04		0.01
t32	0.25		0.33	0.16	0.66
t33	0.41	0.59	0.07	0.19	
t34		0.69	0.12	0.25	0.44
t35	0.61	0.56		0.88	0.39
t36	0.47	0.25	0.47		0.10
t37	0.74		0.34	0.04	0.96
t38	0.59	0.84	0.06	0.76	
t39	0.52	0.64	0.32	0.78	
t40	0.53	0.02	0.48		0.44
t41	0.59	0.77		0.56	0.34
t42	0.43	0.06	0.35	0.65	
t43	0.40	0.41	0.59		0.47
t44	0.48	0.69	0.05	0.19	
t45	0.12	0.38	0.08	0.76	
t46		0.53	0.26	0.42	0.58
k1	0.54	0.57	0.02		0.40
k2	0.61	0.35	0.28		0.08

ตารางที่ 5.6 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก (ต่อ)

	Selection Process				
	Chromosome: G+1, NP.1				
	j1	j2	j3	j4	j5
k3	0.37	0.25	0.30	0.59	
k4		0.93	0.30	0.16	0.49

การพัฒนาอัลกออัลกอริทึมในหัวข้อที่ 5.1 นั้นเป็นเพียงการใช้กระบวนการของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐานเท่านั้น ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงหรือเพิ่มความได้เปรียบใดๆ ทั้งสิ้น ซึ่งผลของวัตถุประสงค์เป้าหมายนั้นยังห่างไกลของคำตอบที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก ดังนั้นเพื่อให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะต้องทำการปรับปรุงและเพิ่มความได้เปรียบตามที่แสดงในหัวข้อที่ 5.2

5.2 การปรับปรุงอัลกอริทึม

5.2.1 ปรับปรุงกระบวนการโมดิฟายดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น (MODDE)

จากสมการที่ 5.2 เป็นเพียงแค่กระบวนการการกลายพันธุ์ (Crossover หรือ Recombination) แบบพื้นฐานของ DE เท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงกระบวนการนี้โดยที่ค่า CR นั้นถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED) เช่นเดียวกับค่า F และได้รับแรงบันดาลใจจากกระบวนการผสมสายพันธุ์ใน GA โดยปกตินั้นจะใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูลของโครโมโซมที่แตกต่างกันแต่ DE ไม่ใช้ ดังนั้นจึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนากระบวนการผสมสายพันธุ์ของ DE ดังสมการที่ 5.4

$$U_{j,i,g} = V_{j,i,g} + A(V_{gbest}) + B(V_{ibest}) + C(V_{friend}) \qquad (5.4)$$

เมื่อ u_j (ค่าที่สุ่มได้) > CR_1+CR_2 ; X_{ij} (จะใช้ตำตอบเริ่มต้น)

u_j (ค่าที่สุ่มได้) > CR_1 ; $GbestX_{ij}$ (จะใช้ตำตอบที่ดีที่สุด)

u_j (ค่าที่สุ่มได้) < CR_1 ; U_{ij} (จะใช้ตำตอบล่าสุด)

ตัวอย่างการคำนวณ สมมติว่าถ้าเรากำหนดให้ CR1=0.4, CR2=0.5 และจากนั้นทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.45 ซึ่งมีค่ามากกว่า CR1 และถ้ายกตัวอย่างที่ตำแหน่งเซลล์ i1:j1 ดังนั้นเราจะต้องเลือกคำตอบที่ดีที่สุดก็คือตัวเลข 1.01 จากคำตอบทั้งหมดสำหรับ Trial Vector เช่นเดียวกันหากเป็นตำแหน่ง i1:j3 ถ้าทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.97 ซึ่งมีค่ามากกว่า CR1+CR2 ดังนั้นเราจะต้องเลือกตัวเลข 0.14 ซึ่งมาจากคำตอบเริ่มต้นสำหรับเป็นคำตอบของ Trial Vector รายละเอียดดังภาพที่ 5.3

Random Number

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	0.45	0.93	0.97	0.06	0.74

Trial Vector by Recombination as MODDE

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	1.01	0.41	0.14		0.67

ภาพที่ 5.3 การทำงานของอัลกอริทึมกระบวนการ Recombination ของ MODDE

5.2.2 ปรับปรุงกระบวนการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบฝูงอนุภาค (DE-PSO)

เมื่อทำการพัฒนาอัลกออัลกอริทึมในหัวข้อที่ 5.2.1 แล้วและทำการทดสอบกับกรณีศึกษา พบว่าคำตอบที่ได้นั้นดีขึ้นมากกว่าการใช้อัลกอริทึมดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน แต่ผลของวัตถุประสงค์เป้าหมายนั้นก็ยังห่างไกลของคำตอบที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก ดังนั้นเพื่อให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะต้องทำการปรับปรุงและเพิ่มความได้เปรียบตามที่แสดงในหัวข้อที่ 5.2.2

เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่า F ซึ่งถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED) โดยการปรับค่าตามประชากรของคำตอบที่ถูกออกแบบไว้สามระดับคือ สูง กลาง ต่ำ จากนั้นค่า F จะมีการปรับระดับค่ากลางตามค่าของกลุ่มประชากรที่ได้คำตอบดีที่สุด

ทำการปรับปรุงกระบวนการกลายพันธ์ (Crossover หรือ Recombination) เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.2.1 แต่เพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรม ที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ PSO จะมีความเร่งในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้างๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการปรับปรุงกระบวนการนี้โดยที่ค่า CR นั้นถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED)

เช่นเดียวกับค่า F ดังนั้นจึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนากระบวนการผสมสายพันธุ์ของ DE ดังสมการที่ 5.5

$$U_{j,i,g} = (X_{j,i} \text{ or } U_{j,i}) + V_{j,i,g} \tag{5.5}$$

โดยคำนวณหาความเร่งทำได้จาก

$$V_{j,i,g} = (W_1 X_{j,i}) + (W_2 P_{best} X_{j,i} - X_{j,i}) + (W_3 G_{best} X_{j,i} - X_{j,i}) \text{ or } U_{j,i}$$

เมื่อ u_j (ค่าที่สุ่มได้) > CR ; X_{ij} (จะใช้คำตอบเริ่มต้น)

u_j (ค่าที่สุ่มได้) < CR ; U_{ij} (จะใช้คำตอบล่าสุด)

ตัวอย่างการคำนวณ สมมติว่าถ้าเรากำหนดให้ CR=0.8 และจากนั้นทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.45 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า CR และถ้ายกตัวอย่างที่ตำแหน่งเซลล์ i1:j1 ดังนั้นเราจะต้องเลือกคำตอบล่าสุดก็คือตัวเลข 1.01 มาใช้คำนวณตามสูตรของ PSO และจะกลายเป็นคำตอบของ Trial Vector เช่นเดียวกันหากเป็นตำแหน่ง i1:j3 ถ้าทำการสุ่มตัวเลขสุ่มขึ้นมา สมมติว่าสุ่มได้ 0.97 ซึ่งมีค่ามากกว่า CR ดังนั้นเราจะต้องเลือกตัวเลข 0.14 ซึ่งมาจากคำตอบเริ่มต้นมาใช้คำนวณตามสูตรของ PSO และจะกลายเป็นคำตอบของ Trial Vector และถ้าเรากำหนดให้ W1=2, W2=3, W3=4 ดังนั้นผลที่ได้ก็จะเป็นดังภาพที่ 5.4

Random Number

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	0.45	0.93	0.97	0.06	0.74

The number to select to PSO calculation

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	1.01	0.41	0.14	1.10	0.01

Trial Vector by Recombination as DE-PSO

	j1	j2	j3	j4	j5
i1	2.01	-4.17	0.66		-0.02

ภาพที่ 5.4 การทำงานของอัลกอริทึมกระบวนการ Recombination ของ DE-PSO

5.3 ผลการทดสอบอัลกอริทึม

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมโดยการออกแบบการทดสอบด้วยการคำนวณแบบ Manual จากโปรแกรม Excel พบว่าคำตอบที่ได้นั้นมีค่าของ function value ที่ลดลงซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ต้องการหาค่าที่ minimize ที่สุด แต่ด้วยเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่มาก เพราะประกอบไปด้วย array ทั้งหมดที่สามารถจะเป็นคำตอบได้ถึง 330 array หรือสามารถอธิบายได้ว่าจะมีชุดโครโมโซมของคำตอบที่เป็นไปได้ถึง 330! ดังนั้นเพื่อให้ง่ายและรวดเร็วในการคำนวณหาคำตอบนั้น จึงจำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมเพื่อมาช่วยในการหาคำตอบ โดยจะต้องใช้พื้นฐานของการสร้างโปรแกรมตามขั้นตอนของ DE ซึ่งเป็นไปตาม Flow Chart ในรูปที่ 5.2 และรหัสเทียมในรูปที่ 5.1

ผลการวิจัยที่ได้ตามตารางที่ 5.7 สรุปได้ว่ากระบวนการเมตาฮิวริสติกสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากได้เป็นอย่างดี และการออกแบบอัลกอริทึมด้วยวิธีการโมดิฟายขั้นตอนครอสโอเวอร์ของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นนั้นให้คำตอบต้นทุนสูงกว่าประมาณ 5% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา ทั้งนี้ในงานวิจัยก่อนที่จะทำการปรับปรุงอัลกอริทึมนั้น ก็ได้ทำการทดสอบปัญหากับอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตฐานเช่นกัน ซึ่งให้คำตอบและใช้เวลาได้ไม่ดีเท่ากับแบบที่โมดิฟายแล้ว แต่ทั้งนี้ MODDE ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 5% ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรม ที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ

PSO จะมีความเร่งในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้างๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้น

ส่วนผลการวิจัยที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับปรุงขั้นตอนครอสโอเวอร์ด้วยระเบียบวิธีของ PSO นั้นให้คำตอบต้นทุนที่แตกต่างประมาณ 2% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา แต่ทั้งนี้ DE-PSO ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 2% ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มกลยุทธ์ความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรมการกลายพันธุ์ (Mutation) มาใช้ ซึ่งงานวิจัยยังคงใช้แบบมาตรฐานอยู่ เพียงแต่มีการปรับปรุงค่า F แบบอัตโนมัติเท่านั้น ซึ่งหากปรับปรุงตามวิธีใหม่นี้จะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายและทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้นด้วย

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน

แหล่งวัตถุดิบ		แหล่งผลิตเอทานอล	แหล่งรับเอทานอล	
โรงงาน	ส่ง (ตัน)		ปริมาณ (ลิตร)	คลังน้ำมัน
โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	89,330	บริษัท ขอนแก่น แอลกอฮอล์ จำกัด	2.38E+07	คลังน้ำมัน ขอนแก่น
โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	68,129			
โรงงานน้ำตาลสุรินทร์	61,628			
โรงงานน้ำตาลวังขนาย	34,150			
บริษัท ซี พี เอส สตาร์ช จำกัด	11,520			
บริษัท แป้งมันกาฬสินธุ์ จำกัด	10,080			
บริษัท เพชรธารา จำกัด	8,640			
บริษัท แป้งมันเอี่ยมเฮงอุตสาหกรรม จำกัด	7,776			
บริษัท เอี่ยมเฮง โมดิฟาย สตาร์ช จำกัด	7,776			
บริษัท เชาวน์ดีสตาร์ช (2004) จำกัด	7,200			
บริษัท โชคยืนยงอุตสาหกรรม จำกัด	7,200			
บริษัท อุบลเกษตรพลังงาน จำกัด	5,760			
โรงงานแป้งมันชัยเจริญ	5,760			
บริษัท เอเชียโมดิไฟด์สตาร์ช จำกัด	2,880			
บริษัท ชัยภูมิสตาร์ช จำกัด	1,728			
โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	89,952	บริษัท ไทยง้วน เอทานอล จำกัด (มหาชน)	1.08E+07	คลังน้ำมัน อุดรธานี
บริษัท วี พี สตาร์ช (2000) จำกัด	21,600			
บริษัท แก่นเจริญ จำกัด	15,840			
บริษัท อุตสาหกรรมแป้งโคราช จำกัด	5,472			
บริษัท โรงงานแป้งมันอุดมชัย จำกัด	4,320			
บริษัท พรีเมียร์ ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด	2,880			
บริษัท สงวนวงษ์สตาร์ช จำกัด	2,880			
บริษัท ไทยนำมันสำปะหลัง จำกัด	2,880			

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน (ต่อ)

แหล่งวัตถุดิบ		แหล่งผลิตเอทานอล	แหล่งรับเอทานอล	
โรงงาน	ส่ง (ตัน)		ปริมาณ (ลิตร)	คลังน้ำมัน
โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	61,259	บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์)	1.28E+07	คลังน้ำมันอุบลราชธานี
โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี	52,303			
บริษัท พี.วี.ดี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	4,400			
บริษัท ไทยคอนติเนนตัลฟีด จำกัด	10,080			
บริษัท โรงงานแป้งมันตระกูลเล็ก จำกัด	5,760			
บริษัท อี เอช สตาร์ช จำกัด	5,760			
บริษัท แป้งมันแสงเพชร จำกัด	4,320			
แป้งมันเมืองเลย	4,752			
บริษัท แป้งมันสมเด็จ จำกัด	2,880			
บริษัท สยาม ควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด	2,880			
บริษัท คาสซาวากรีน จำกัด	2,880			
บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด	2,880			
บริษัท เอ็น.ไอ.ซี แป้งมันสำเร็จรูป จำกัด	1,440			
บริษัท เนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เคมิเคิล	1,440			
บริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด	1,440			
โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม	104,983	บริษัท เคไอเอทานอล จำกัด	2.49E+07	คลังน้ำมันนครราชสีมา
โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมอ่างเวียน	90,239			
โรงงานน้ำตาลเกษตรผล	52,631			
โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์	36,408			
โรงงานน้ำตาลสหเรือง	36,663			
บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันราชสีมา จำกัด	8,640			
บริษัท ชัยภูมิพืชผล จำกัด	4,320			
บริษัท ที.เอช.แพลเล็ท จำกัด	2,880			

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยและกากมัน (ต่อ)

แหล่งวัตถุดิบ		แหล่งผลิตเอทานอล	แหล่งรับเอทานอล	
โรงงาน	ส่ง (ตัน)		ปริมาณ (ลิตร)	คลังน้ำมัน
บริษัท แป้งตะวันออกเฉียงเหนือ (1987)	2,880			
บริษัท ยูนิเวอร์แซล สตาร์ช จำกัด(มหาชน)	2,880			
บริษัท ออส-ไทย สตาร์ชเซส จำกัด	2,880			
บริษัท เอเชียโมดิไฟด์สตาร์ช จำกัด	1,728			
บริษัท ปทุมไรซมิล แอนด์ แกรนารี จำกัด	2,304			
บริษัท เอ็น. อี. อินดัสทรี จำกัด	1,440			
โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	1,008			
โรงงานน้ำตาลอุตสาหกรรมโคราช	87,092	บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (ชัยภูมิ)	5.22E+06	คลังน้ำมันอุบลราชธานี
โรงงานน้ำตาลเอ็นวาย (ครบุรี)	61,628			
โรงงานน้ำตาลเอราวัณ	61,259			
โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน	36,663			
บริษัท สงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด	14,400			
บริษัท เอี่ยมศิริแป้งมัน จำกัด	7,200		1.42E+07	คลังน้ำมันอุดรธานี
บริษัท สยามโปรดักส์ (1994) จำกัด	2,880			
บริษัท แป้งมันอิสาน จำกัด	1,440			
บริษัท อุดรเพิ่มผล จำกัด	1,440			

5.4 การทดสอบสมรรถนะอัลกอริทึม

จากตารางที่ 5.8 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมโดยออกแบบการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ การจำลองปัญหาขนาดเล็ก (I5-T5-J5-K4) ปัญหาขนาดกลาง (I10-T26-J5-K4) และปัญหาขนาดใหญ่ (I16-T46-J5-K4) โดยสรุปผลได้ดังนี้

สำหรับการกำหนดว่าเป็นปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่นั้นได้จากการเรียงลำดับจากการให้คะแนนของโรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน จากตารางที่ 3.1 และ 3.3 ตามลำดับ โดยปัญหาขนาด

เล็กเลือกโรงงานน้ำตาลมา 5 โรงงาน โรงงานแป้งมันมา 5 โรงงาน ซึ่งกฎเกณฑ์ในการกำหนดก็จะมาจากการใช้ตัวเลขของโรงงานทั้งหมดหารด้วยจำนวนของปัญหาที่ต้องการระบุ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ เล็ก กลาง ใหญ่ ดังนั้นจึงใช้ตัวเลขสามมาหาร เช่นปัญหาขนาดเล็ก โรงงานน้ำตาลมีทั้งหมด 16 โรง หากหารด้วย 3 จะได้ประมาณ 5 กว่า ๆ แต่เพื่อให้เป็นจำนวนเต็มเพราะจำนวนโรงงานหลักเป็นทศนิยมไม่ได้ จึงได้กำหนดเป็น 5 โรงงานเป็นต้น สำหรับปัญหาขนาดกลางและใหญ่ก็ใช้กฎเกณฑ์เช่นเดียวกันในการระบุว่านี้คือปัญหาขนาดกลางและใหญ่

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบและผลการทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึม

Case Study (Problem)	LINGO 11.0			DE		Comparison	
	Value (MB)	Time (sec)	Value (MB)[3]	Value (MB)	Time (sec)	Value	Time
I5-T5-J5-K4	42,197[1a]	50,400[1a]	43,883	43,685[2a]	80.831[2a]	1.8%	- 99.84%
			43,883	43,339[2b]	65.520[2b]	1.0%	- 99.87%
			43,883	43,086[2c]	55.440[2c]	0.4%	- 99.89%
I10-J26-K5-T4	4.968e+006[1b]	9,700[1b]	Unknown	5.288e+006[2a]	110.949[2a]	6.5%	- 98.86%
			Unknown	5.129e+006[2b]	107.659[2b]	3.3%	- 98.89%
			Unknown	5.032e+006[2c]	105.064[2c]	1.3%	- 98.92%
I16-T46-J5-K4	5.850e+006[1c]	16,988[1c]	Unknown	6.381e+006[2a]	133.066[2a]	9.1%	- 99.22%
			Unknown	6.142e+006[2b]	129.797[2b]	5.0%	- 99.24%
			Unknown	5.967e+006[2c]	114.688[2c]	2.0%	- 99.32%

หมายเหตุ: [1a]Lingo test by State : *Local Opt* (runtime 27:29:40, hh:mm:ss)

[1b]Lingo test by State : *Feasible* (runtime 2:41:40, hh:mm:ss)

[1c]Lingo test by State : *Feasible* (runtime 4:43:08, hh:mm:ss)

[2]DE test by Dev-C++ Program ([2a]DE STD, [2b]MODDE, [2c]DE-PSO)

[3]Lingo test by State : *Feasible* (Lingo runtime = DE runtime)

สำหรับคำตอบที่นำมาแสดงในตารางที่ 5.8 เป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น จากการทดสอบอัลกอริทึมทั้งหมด 10 ครั้ง เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 และหากต้องการผลการทดลองทั้งหมด รวมทั้งระหัสของโปรแกรม C++ ทั้งหมดสามารถอ้างอิงได้จากข้อมูลที่แสดงในภาคผนวก

(1) ปัญหาขนาดเล็ก (I5-T5-J5-K4)

เป็นการทดสอบโดยการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและแป้งมันมาอย่างละ 5 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 5 อันดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.4 จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมสามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) แต่ก็ใช้เวลานานในการทดลอง ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 27 ชั่วโมง 29 นาที โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

จากนั้นผู้วิจัยก็ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลของค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งอัลกอริทึมที่พัฒนาในช่วงแรกนั้นเป็นแบบวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน โดยที่ผลการทดลองนั้นได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก โดยค่าฟังก์ชั่นนั้นแตกต่างจากโปรแกรมที่ 1.8% แต่เวลาที่ใช้ในการทดลองก็เร็วกว่าถึง 99.87%

(2) ปัญหาขนาดกลาง (I10-T26-J5-K4)

เป็นการทดสอบโดยการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลมา 10 โรงงาน และแป้งมันมา 26 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 10 และ 26 ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.4 จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมไม่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากจนโปรแกรมไม่สามารถที่จะทดสอบได้ แต่ก็ได้ทำการทดสอบด้วยการกำจัดเวลาในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 41 นาที โดยที่คำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ไม่ดีที่สุด (Objective Bound) และขั้นตอนของการทดสอบนั้นยังอยู่ใน State : Feasible (คำตอบที่เหมาะสม) โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 5.8

(3) ปัญหาขนาดใหญ่ (I16-T46-J5-K4)

เป็นการทดสอบโดยการนำโรงงานทั้งหมดที่เปิดดำเนินการอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในตอนนี้มาทำการทดสอบ โดยโรงงานน้ำตาล 16 โรง และโรงงานแป้งมัน 46 โรง ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.3 จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมไม่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากจนโปรแกรมไม่สามารถที่จะทดสอบได้ แต่ก็ได้ทำการทดสอบด้วยการกำจัดเวลาในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง 43 นาที โดยที่คำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ไม่ดีที่สุด (Objective Bound) และขั้นตอนของการทดสอบนั้นยังอยู่ใน State : Feasible (คำตอบที่เหมาะสม) โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 5.8

จากนั้นผู้วิจัยก็ได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมา เพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลของโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งอัลกอริทึมที่พัฒนาในช่วงแรกนั้นเป็นแบบวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐานเช่นเดียวกันกับปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งผลของคำตอบที่ได้นั้นก็ไม่ดีนัก ดังนั้นจึงทำการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการโมดิฟายขั้นตอนครอสโอเวอร์ของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นนั้น ซึ่งให้คำตอบต้นทุนสูงกว่าประมาณ 5% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา แต่ทั้งนี้ MODDE ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 5% ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรม ที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ PSO จะมีความเร่งในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้าง ๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้น

ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับปรุงขั้นตอนครอสโอเวอร์ ด้วยระเบียบวิธีของ PSO นั้นให้คำตอบต้นทุนที่แตกต่างประมาณ 2% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา โดยที่ผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงในตารางที่ 5.8

บทที่ 6
การทดลองวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างตามเทคนิคพาเรโต

6.1 การวิเคราะห์ผลกระทบหลายจุดประสงค์ด้วยเทคนิคพาเรโต

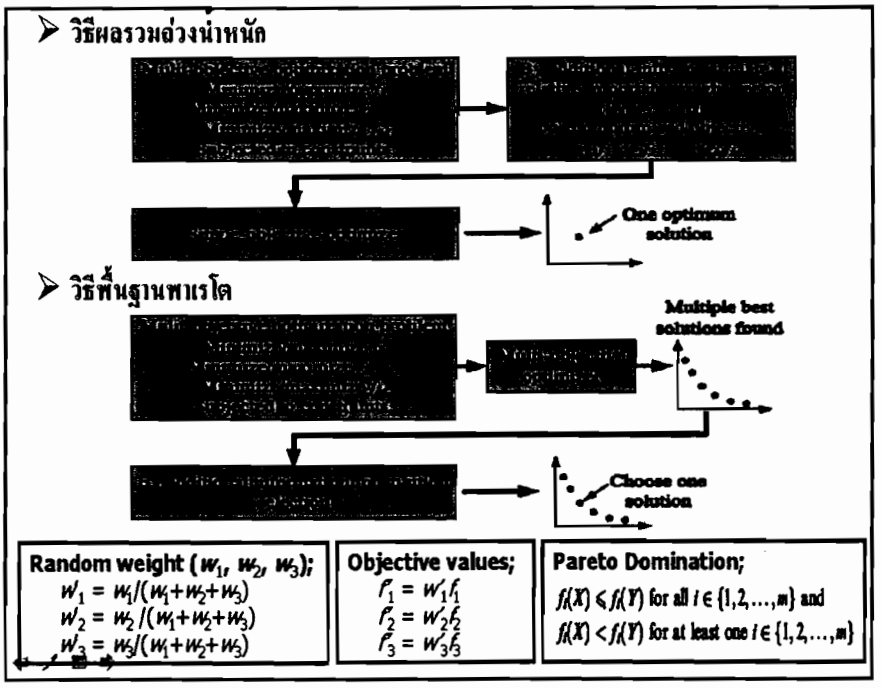
สำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่างจะมี 2 วิธีหลักๆ ที่ใช้ ซึ่งก็คือ วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted-sum Approach) และวิธีพื้นฐานพาเรโต (Pareto-based Approach) เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่จะมีเพียงคำตอบเดียวที่ให้วัตถุประสงค์ดีที่สุดพร้อมกันทุกวัตถุประสงค์ สำหรับปัญหาวัตถุประสงค์หลายอย่าง กลุ่มคำตอบที่เหมาะสุดของปัญหานี้คือคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเมื่อเปรียบเทียบคำตอบทั้งหมด ซึ่งคำตอบนี้สามารถหาได้โดยวิธีแบบพาเรโตซึ่งเป็นหลักการ "การครอบงำแบบพาเรโต (Pareto Domination)" คือ คำตอบ x ใดๆ จะครอบงำหรือดีกว่าคำตอบ y ถ้าเงื่อนไขทั้งสองข้อต่อไปนี้เป็นความจริง

(1) ไม่มีวัตถุประสงค์ใด ที่คำตอบ x แย่กว่าคำตอบ y

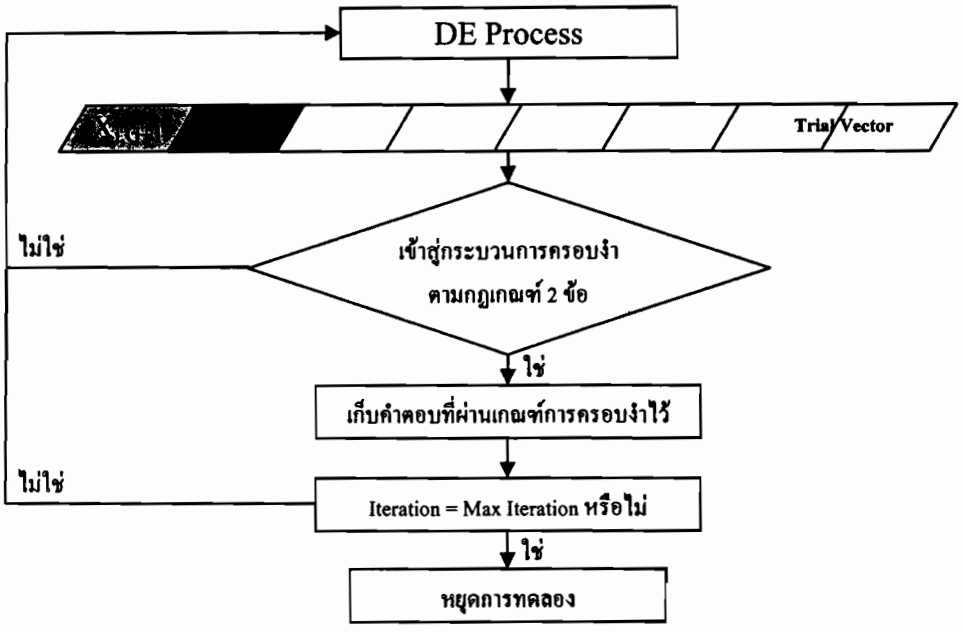
(2) มีอย่างน้อย 1 วัตถุประสงค์ ที่คำตอบ x ดีกว่าคำตอบ y

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคของพาเรโตเช่นกัน โดยการกำหนดน้ำหนักให้แต่ละวัตถุประสงค์ก่อน โดยค่าน้ำหนักที่ได้นั้นมาจากการสุ่มในแต่ละรอบของการคำนวณ ซึ่งหลักการที่ใช้แสดงได้ตามรูปที่ 6.1 จากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการของการครอบงำจนได้คำตอบที่หลากหลาย แล้วนำมาทำกราฟเพื่อกำหนดขอบเขตที่ไม่มีการครอบงำ โดยขั้นตอนแสดงได้ตาม Flow Chart รูปที่ 6.2

จากรูปที่ 6.1 แต่ละรอบของการทดลองในการหาคำตอบหลายวัตถุประสงค์ อัลกอริทึมจะกำหนดให้มีการสุ่มน้ำหนักขึ้นมาเท่ากับจำนวนของวัตถุประสงค์ เช่น ในกรณีศึกษามี 3 วัตถุประสงค์ อัลกอริทึมก็จะสุ่มเลือกน้ำหนักมา 3 ค่า (w_1, w_2, w_3) จากนั้นก็จะนำค่าน้ำหนักมาคำนวณ เช่น $w'_1 = w_1/(w_1+w_2+w_3)$ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณก็จะนำไปคูณกับฟังก์ชั่นเป้าหมาย เช่น วัตถุประสงค์ที่ 1 ($f'_1 = w'_1 * f_1$) หลักการที่ทำเช่นนี้จะทำให้ได้คำตอบของหลายวัตถุประสงค์ เป็นคำตอบเดียวที่มีการกำหนดน้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์แล้ว โดยที่ค่าน้ำหนักที่ได้ก็จะนำไปใช้ในแต่ละวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในกรณีศึกษา



ภาพที่ 6.1 หลักการสุ่มน้ำหนักแต่ละวัตถุประสงค์ของกรณีศึกษา



ภาพที่ 6.2 ขั้นตอน Flow Chart การใช้เทคนิคพาเรโต

สำหรับการหาคำตอบโดยใช้หลักการพาเรโต้ฟร้อนนั้น มักจะมีคำถามที่ตามมาคือ พาเรโตนั้นมีคุณภาพมากน้อยแค่ไหน การเปรียบเทียบผลที่ได้จากอัลกอริทึมแต่ละตัวนั้น พาเรโตฟร้อนตัวไหนที่ให้คุณภาพที่ดีกว่ากัน ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่พยายามจะทำการเปรียบเทียบคุณภาพของ

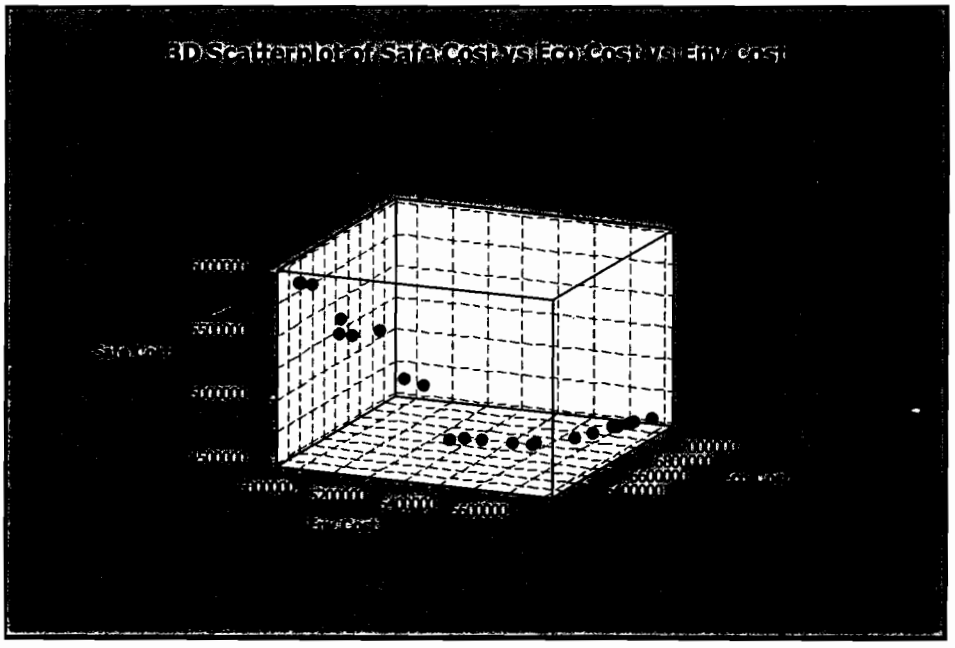
พาเรโตฟร้อน โดยจะทำการเปรียบเทียบ 2 ค่า คือ 1) จำนวนของคำตอบเฉลี่ยที่ได้จากการครอบงำด้วยเทคนิคพาเรโตฟร้อน (Average Number of Pareto-Optimal Solutions) และ 2) จำนวนสัดส่วนของคำตอบเฉลี่ยที่ได้จากการครอบงำด้วยเทคนิคพาเรโตฟร้อน (Average Ratio of Pareto-Optimal Solutions) โดยที่วิธีการในการคำนวณนั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.3

	Test#1	Test#2	Test#3	Test#4	Test#5	Test#6	Test#7	Test#8	Test#9	Test#10
กลุ่มของคำตอบจากการทดสอบแต่ละรอบ										
จำนวนรอบการทดสอบ (Max Iteration)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
จำนวนคำตอบ (Pareto-Optimal Solutions)	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	n_6	n_7	n_8	n_9	n_{10}
Average Number of Pareto-Optimal Solutions	$\frac{n_1 + n_2 + \ldots\ldots n_{10}}{10}$									
Average Ratio of Pareto-Optimal Solutions	$\frac{(n_1/N) + (n_2/N) + \ldots\ldots (n_{10}/N)}{10}$									

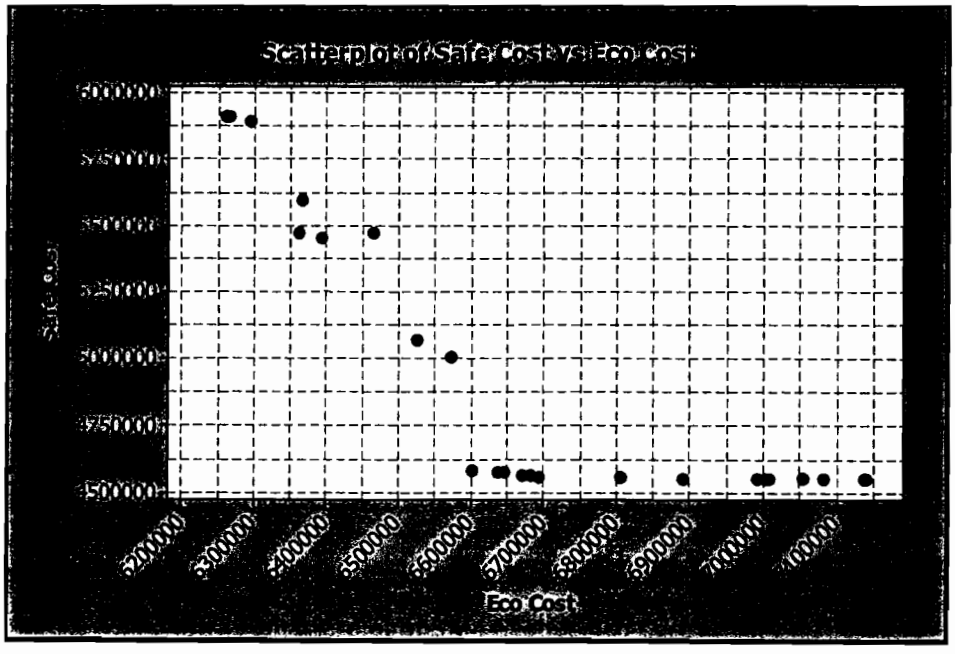
ภาพที่ 6.3 วิธีการเปรียบเทียบคุณภาพพาเรโตฟร้อนของกรณีศึกษา

6.2 ผลการทดลองจากเทคนิคพาเรโต

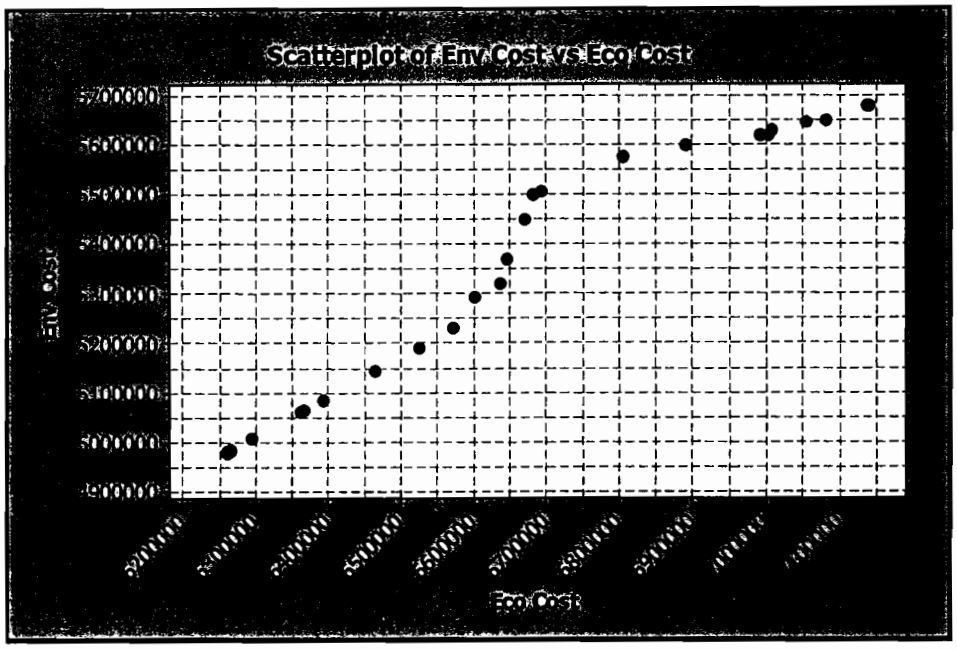
จากกราฟที่ได้จากรูปที่ 6.4 สรุปได้ว่าวัตถุประสงค์ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้แปรผันตรงกับผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม นั้นคือเมื่อวัตถุประสงค์ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีค่าที่สูงขึ้นจะทำให้วัตถุประสงค์ด้านผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นไปด้วยเช่นกัน ผลกระทบในด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยนั้นมีความแตกต่างออกไป คือ วัตถุประสงค์ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงขึ้น ส่วนผลกระทบในด้านความเสี่ยงด้านความปลอดภัยก็จะลดลง ซึ่งสามารถดูได้จากกราฟที่แสดงดังรูปที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.4 พาเรโตฟร้อนการหาค่าเหมาะสมที่สุดของปัญหาหลายจุดประสงค์



ภาพที่ 6.5 พาเรโตฟร้อนเปรียบเทียบ SAFE กับ ECO



ภาพที่ 6.6 พาเรโตฟร้อนเปรียบเทียบ ENV กับ ECO

จากตารางที่ 6.1 เป็นผลที่ได้จากเปรียบเทียบคุณภาพของการทำพาเรโตของแต่ละอัลกอริทึม ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองปรากฏว่าอัลกอริทึมของ DE-PSO มีคุณภาพสูงที่สุดในบรรดาอัลกอริทึมทั้งหมดที่ทำการพัฒนาขึ้นมา โดยดูได้จากค่าสัดส่วนของคำตอบเฉลี่ยที่ได้จากการครอบงำด้วยเทคนิคพาเรโตที่อยู่ประมาณ 0.45 นั้นหมายความว่า DE-PSO มีโอกาสถึง 45% ที่สามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพได้จากการทำเทคนิคพาเรโตฟร้อน ซึ่งสูงกว่า DE-STD ที่มีโอกาสแค่ 37% และ DE-MOD ที่มีโอกาสแค่ 32% ตามลำดับ นั้นหมายความว่ากราฟที่ได้จากรูปที่ 6.4 นั้นจะเป็นพาเรโตฟร้อนเฉพาะของอัลกอริทึม DE-PSO เท่านั้น เนื่องจากเป็นพาเรโตที่มีการครอบงำทั้งพาเรโตที่ได้จาก DE-STD และ DE-MOD นั้นเอง

ผู้วิจัยค้นพบว่าการทำพาเรโตนั้น ช่วยให้ผู้ที่ทำการตัดสินใจมีทางเลือกในการตัดสินใจที่มากขึ้น เนื่องจากในปัญหาหลายจุดประสงค์นั้น โอกาสที่ทุกจุดประสงค์จะดีที่สุดนั้นเป็นไปได้ยากมากในความเป็นจริง ดังนั้นในบางครั้งจึงมีการกำหนดน้ำหนักให้ความสำคัญในบางจุดประสงค์แล้วแต่ละบุคคลจะเลือกไปใช้งานหรือให้ความสำคัญ หรือขึ้นกับปัจจัยบางอย่างที่จำเป็นต้องหลีกเลี่ยงเป็นต้น

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบคุณภาพพาเรโตของแต่ละอัลกอริทึม

Algorithms	Iteration	Pareto-Optimal										Average Number of Pareto-Optimal Solutions	Average Ratio of Pareto-Optimal Solutions
		T# 1	T# 2	T# 3	T# 4	T# 5	T# 6	T# 7	T# 8	T# 9	T# 10		
DE-STD	200	77	70	69	75	72	70	77	80	79	78	74.7	0.37
DE-MOD	200	65	60	62	68	70	64	60	63	66	62	64.0	0.32
DE-PSO	200	94	90	93	95	89	85	92	93	86	89	90.6	0.45

ผลจากการเปลี่ยนน้ำหนักของวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้พบว่าเมื่อให้น้ำหนักกับวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อมจำนวนมากๆ โรงงานเอทานอลมีแนวโน้มที่จะเปิดรับวัตถุดิบทั้งชานอ้อยและกากมันจำนวนหลายโรงงาน เนื่องจากหากไม่คำนึงความเสี่ยงในการขนส่งแล้ว จะพบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายคือระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปิดหลายๆ โรงงานให้เกิดระยะทางการขนส่งที่สั้นๆ ส่วนด้านสิ่งแวดล้อมหากโรงงานเอทานอลเปิดจำนวนมากๆ ก็จะทำให้เกิดการใช้วัตถุดิบทั้งชานอ้อยและกากมันจำนวนมาก ซึ่งก็จะไปลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงด้วยเช่นกัน

สำหรับการเพิ่มน้ำหนักให้กับวัตถุประสงค์ในด้านความเสี่ยง ผู้วิจัยพบว่าจะมีผลที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงกับทั้งสองวัตถุประสงค์ด้านบน ซึ่งสังเกตได้จากกราฟในรูปที่ 6.5 และ 6.6 ที่สวนทางกันอย่างเห็นได้ชัด จะพบว่าหากให้ความสำคัญกับความเสี่ยงในการรั่วไหลแล้ว จำนวนโรงงานงานเอทานอลที่เลือกให้เปิดก็จะมีจำนวนลดน้อยลง รวมทั้งโรงงานเอทานอลที่เลือกให้เปิดก็จะเน้นไปยังพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ต่ำๆ การส่งมอบเอทานอลจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมันก็เช่นกัน ก็จะเลือกเส้นทางที่มีความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงจากการรั่วไหล ดังนั้นในการหาคำตอบของปัญหาหลายจุดประสงค์ก็จะมีคำตอบได้มากกว่าหนึ่งคำตอบเสมอ ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ของแต่ละบุคคล รวมทั้งขึ้นอยู่กับปัจจัยข้อจำกัดต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ประกอบในการตัดสินใจในแต่ละช่วงเวลาด้วย

บทที่ 7
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง และการมอบหมายเส้นทางในการขนส่งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายวัตถุประสงค์นั้น จัดได้ว่าเป็นปัญหาระดับ NP-Hard เนื่องจากว่าแค่ตัวปัญหาของการเลือกสถานที่ตั้ง หรือ การมอบหมายเส้นทางในการขนส่งนั้นก็เป็นปัญหาในระดับ NP-Hard อยู่แล้ว ซึ่งในกรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาปัญหาในทั้ง 2 กรณีด้วย ดังนั้นจึงปฏิเสธไม่ได้ว่าปัญหาของกรณีศึกษานี้เป็นระดับ NP-Hard ซึ่งจะนำมาสู่กระบวนการในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนในการแก้ปัญหาโดยเฉพาะในระดับ NP-Hard จะทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการของฮิวริสติกส์หรือแม้กระทั่งด้วยวิธีการทางเมตาฮิวริสติกส์ที่หลากหลาย

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาในปัญหาเดียวกันกับนัทธพงศ์แต่ขยายรูปแบบของปัญหาเป็นการเพิ่มแหล่งของวัตถุดิบเป็นหลายแหล่ง (Multi-Source) มีการพิจารณาถึงแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตเอทานอลเป็นชานอ้อยและกากมัน

การทดลองในเบื้องต้นเป็นแค่การทดสอบเพื่อทำการพิสูจน์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยการทดลองเป็นเพียงแค่นำข้อมูลบางส่วนมาใช้ทดสอบเท่านั้น ซึ่งจากโรงงานน้ำตาลจำนวน 16 โรง และโรงงานแป้งมัน 46 โรง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งวัตถุดิบซึ่งกระจายตัวอยู่ในจังหวัดต่างๆ โดยการทดลองทำการคัดเลือกโรงงานน้ำตาลและแป้งมันมาอย่างละ 5 โรงงาน โดยคัดเลือกจากการวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน ด้วยวิธีการให้คะแนน (Rating Plan) และเลือกโรงงานที่ได้คะแนนมากสุดใน 5 อันดับ ซึ่งการทดสอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 มีข้อจำกัดเรื่องเวลาในการทดลอง โดยที่แต่ละกรณีต้องใช้เวลาอย่างน้อย 27 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย และยิ่งต้องเพิ่มจำนวนโรงงานน้ำตาลและโรงงานแป้งมันเข้าไปอีกเป็นจำนวนมาก การทดลองก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นจำนวนมาก หรือไม่ก็ไม่สามารถทดลองด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป LINGO 11.0 ได้เลย

สำหรับปัญหาในระดับ NP-Hard นั้นนอกเหนือจากผลเฉลยที่ได้แล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้วย ซึ่งก็คือระยะเวลาในการแก้ปัญหานั้นเอง และเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นดังนั้นการทดลองจะต้องเลือกใช้วิธีการที่สูงขึ้น คือ กระบวนการ

ฮิวริสติกและเม-ตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นรูปแบบในการออกแบบอัลกอริทึมที่จะทำการทดลองมีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้น

จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการตรวจสอบวรรณกรรม เพื่อทำการคัดเลือกอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสม พบว่าการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นนั้นมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากไม่พบเป็นการแพร่หลายในการประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทาง และสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์นั้น มีเพียงบางงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีหลายจุดประสงค์ ดังนั้นจึงเป็นความท้าทายและได้รับแรงบันดาลใจเมื่อได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ ด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นเพื่อแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้

สำหรับงานวิจัยนี้ อัลกอริทึมที่พัฒนาในช่วงแรกนั้นเป็นแบบวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน โดยได้นำมาใช้ในการแก้ปัญหากับปัญหาขนาดเล็ก จากนั้นผู้วิจัยก็ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลของค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยที่ผลการทดลองนั้นได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก โดยค่าฟังก์ชั่นนั้นแตกต่างจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ 1.8% แต่เวลาที่ใช้ในการทดลองก็เร็วกว่าถึง 99.84%

จากนั้นก็ได้ทำการทดลองอัลกอริทึมจากวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐานกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งก็คือนำข้อมูลทั้งหมดของกรณีศึกษามาทำการทดลอง และผลของคำตอบที่ได้นั้นก็ไม่ดีนัก การทดสอบเป็นการนำโรงงานทั้งหมดที่เปิดดำเนินการอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในตอนนี้มาทำการทดสอบ โดยโรงงานน้ำตาล 16 โรง และโรงงานแป้งมัน 46 โรง จากนั้นก็ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11.0 ซึ่งผลการทดลองนั้นโปรแกรมไม่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Solution) เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากจนโปรแกรมไม่สามารถที่จะทดสอบได้ แต่ก็ได้ทำการทดสอบด้วยการกำจัดเวลาในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง 43 นาที โดยที่คำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ไม่ดีที่สุด (Objective Bound) และขั้นตอนของการทดสอบนั้นยังอยู่ใน State : Feasible (คำตอบที่เหมาะสม) ส่วนอัลกอริทึมจากวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐานนั้น ได้ค่าฟังก์ชั่นคำตอบแตกต่างจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ 9.1% แต่เวลาที่ใช้ในการทดลองก็เร็วกว่าถึง 99.22%

จากการทดลองปัญหาขนาดใหญ่ ด้วยอัลกอริทึมจากวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐานพบว่าคำตอบที่ได้นั้นห่างไกลจากคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมากถึง 9.1% ดังนั้นจึงทำการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการโมดิฟายขั้นตอนครอสโอเวอร์วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น ซึ่งกระบวนการเดิมนั้น เป็นเพียงแค่กระบวนการการกลายพันธุ์ (Crossover หรือ

Recombination) แบบพื้นฐานของ DE เท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้ทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงกระบวนการนี้โดยที่ค่า CR นั้นถูกออกแบบให้มีการปรับค่าได้ด้วยตัวเอง (SELF ADJUSTED) เช่นเดียวกับค่า F และได้รับแรงบันดาลใจจากกระบวนการผสมสายพันธุ์ใน GA โดยปกตินั้นจะใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูลของโครโมโซมที่แตกต่างกันแต่ DE ไม่ใช้ ดังนั้นจึงเป็นข้อได้เปรียบในการพัฒนากระบวนการผสมสายพันธุ์ของ DE และจากผลการทดลองให้คำตอบต้นทุนสูงกว่าประมาณ 5% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99.24% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา แต่ทั้งนี้ MODDE ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่า Lingo อยู่ถึง 5%

ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจึงได้มองหาหรือเพิ่มความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรม ที่ดีของ PSO มาใช้ในการพัฒนาคือ PSO จะมีความเร่งในการวิ่งเข้าหาคำตอบ โดยที่ DE จะมองหากลุ่มคำตอบอย่างกว้างๆ แล้ว PSO จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มนั้นๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและเร็วขึ้น ซึ่งผลการวิจัยที่ได้จากการออกแบบอัลกอริทึมด้วยการปรับปรุงขั้นตอนครอสโอเวอร์ ด้วยระเบียบวิธีของ PSO นั้นให้คำตอบต้นทุนที่แตกต่างประมาณ 2% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo 99.32% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา และจากผลการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมทั้งหมดตั้งแต่ วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน (DE-STD), วิธีกระบวนการโมดิฟายดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น (MODDE) และ วิธีกระบวนการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบฝูงอนุภาค (DE-PSO) พบว่าผลที่ได้จากวิธี DE-PSO นั้นเป็นอัลกอริทึมที่ให้คำตอบของฟังก์ชั่นและเวลาในการแก้ปัญหาดีที่สุด เมื่อเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างทั้งด้านประสิทธิผลและประสิทธิภาพเทียบกับการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูป

สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมต่อ เนื่องจากปัญหาเป็นแบบหลายวัตถุประสงค์ จึงต้องมีกระบวนการที่จะช่วยในการแก้ปัญหา สำหรับการหาค่าเหมาะที่สุด วัตถุประสงค์หลายอย่างจะมี 2 วิธีหลักๆ ที่ใช้ ซึ่งก็คือ วิธีผลรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted-sum Approach) และวิธีพื้นฐานพาเรโต (Pareto-based Approach) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคของพาเรโตฟร้อน ด้วยการกำหนดน้ำหนักให้แต่ละวัตถุประสงค์ โดยค่าน้ำหนักที่ได้นั้นมาจากการสุ่มในแต่ละรอบของการคำนวณ จากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการครอบงำ จนทำให้ได้คำตอบที่หลากหลาย แล้วนำมาทำกราฟเพื่อกำหนดขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ไม่มีการครอบงำ ซึ่งสรุปได้ว่าวัตถุประสงค์ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้แปรผันตรงกับผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ก็คือเมื่อวัตถุประสงค์ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีค่าที่สูงขึ้นจะทำให้วัตถุประสงค์ด้านผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นไปด้วยเช่นกัน ส่วนผลกระทบด้านความเสี่ยงความปลอดภัยนั้นมีความแตกต่างออกไป นั้นคือวัตถุประสงค์ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงขึ้น ผลกระทบในด้านความเสี่ยงความปลอดภัยก็จะลดลง

สำหรับการเพิ่มน้ำหนักให้กับวัตถุประสงค์ในด้านความเสี่ยง ผู้วิจัยพบว่าจะมีผลที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงกับทั้งวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม จะพบว่าหากให้ความสำคัญกับความเสี่ยงในการรั่วไหลแล้ว จำนวนโรงงานงานเอทานอลที่เลือกให้เปิดก็จะมีจำนวนน้อยลง รวมทั้งโรงงานเอทานอลที่เลือกให้เปิดก็จะเน้นไปยังพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ต่ำ การส่งมอบเอทานอลจากโรงงานเอทานอลไปยังคลังน้ำมันก็เช่นกัน ก็จะเลือกเส้นทางที่มีความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ต่ำ และหากให้ความสำคัญกับวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม จำนวนโรงงานงานเอทานอลที่เลือกให้เปิดก็จะมีจำนวนมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นในการหาคำตอบของปัญหาหลายจุดประสงค์ก็จะมีคำตอบได้มากกว่าหนึ่งคำตอบเสมอ ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ของแต่ละบุคคล รวมทั้งขึ้นอยู่กับปัจจัย ข้อจำกัดต่างๆ ที่จะนำมาใช้ประกอบในการตัดสินใจในแต่ละช่วงเวลาของการตัดสินใจด้วย ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 7.1 จะพบว่า หากเรากำหนดให้น้ำหนักด้านความเสี่ยงของการรั่วไหลมากที่สุดจะพบว่า ตัวแบบการตัดสินใจแนะนำให้เปิดโรงงานเอทานอลเพียงแค่ 3 โรงงานเท่านั้น คือ 1) บริษัท เคไอ เอทานอล จำกัด (นครราชสีมา) ส่งเอทานอลไปยังคลังน้ำมันนครราชสีมา 2) บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (กาฬสินธุ์) ส่งเอทานอลไปยังคลังน้ำมันขอนแก่น และ 3) บริษัท เพโทรกรีน จำกัด (ชัยภูมิ) จะส่งเอทานอลไปยังคลังน้ำมันอุบลราชธานีและอุดรธานี ซึ่งจะแตกต่างจากการให้น้ำหนักด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมมากโดยสิ้นเชิงที่แนะนำให้เปิดโรงงานเอทานอลถึง 5 โรงงาน

ตารางที่ 7.1 ผลการทดสอบจากการเพิ่มน้ำหนักให้กับวัตถุประสงค์แต่ละด้าน

กรณีศึกษา	โรงงานเอทานอล	ประเภทโรงงาน	คลังน้ำมัน	ค่าใช้จ่ายรวม
0.8ECON +	3.11 (1)	ผลิตเอทานอลจาก	3.6 (4)	5,967,000
0.1ENVI + 0.1SAFE	3.11 (2)	ชานอ้อยและกาก	3.6 (2)	ล้านบาท
	3.11 (3)	มัน	3.6 (3)	
	3.11 (4)		3.6 (1)	
	3.11 (5)		3.6 (1), 3.6 (2)	
0.1ECON +	3.11 (1)	ผลิตเอทานอลจาก	3.6 (4)	5,967,000
0.8ENVI + 0.1SAFE	3.11 (2)	ชานอ้อยและกาก	3.6 (2)	ล้านบาท
	3.11 (3)	มัน	3.6 (3)	
	3.11 (4)		3.6 (1)	
	3.11 (5)		3.6 (1), 3.6 (2)	
0.1ECON +	3.11 (3)	ผลิตเอทานอลจาก	3.6 (3)	5,962,920
0.1ENVI + 0.8SAFE	3.11 (4)	ชานอ้อยและกาก	3.6 (4)	ล้านบาท
	3.11 (5)	มัน	3.6 (1), 3.6 (2)	

หมายเหตุ : ตัวเลขหน้าวงเล็บคือตารางที่ ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

สำหรับผลที่ได้จากวิธีกระบวนการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบฝูงอนุภาค ด้วยระเบียบวิธีของ PSO นั้นให้คำตอบต้นทุนที่แตกต่างประมาณ 2% แต่ใช้เวลาเร็วกว่า Lingo ประมาณ 99% ซึ่งประหยัดเวลาในการแก้ปัญหา แต่ทั้งนี้ DE-PSO ก็ยังไม่ดีพอเนื่องจากคำตอบที่ได้ยังสูงกว่าการทดสอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo อยู่ถึง 2%

ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปจะต้องมองหาหรือเพิ่มกลยุทธ์ความได้เปรียบของ DE ด้วยการนำพฤติกรรมการกลายพันธุ์ (Mutation) มาใช้ โดยงานวิจัยที่ทำยังคงใช้แบบมาตรฐานอยู่ เพียงแต่มีการปรับปรุงค่า F แบบอัตโนมัติเท่านั้น ซึ่งหากปรับปรุงตามวิธีใหม่นี้ มีการเลือกใช้กลยุทธ์ที่หลากหลายเช่น การกำหนดให้มีเวกเตอร์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกลายพันธุ์มากกว่า 3 เวกเตอร์ หรือการคัดเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุดเท่านั้นมาคำนวณ ก็จะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายและทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและรวดเร็วขึ้นด้วยเช่นกัน

นอกจากการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใหม่ เพื่อทำการทดลองกับปัญหากรณีศึกษาให้ได้คำตอบของฟังก์ชั่นที่ใกล้เคียง และเวลาทดลองที่น้อยแล้ว ยังมีแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาในอนาคตคือการนำอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ไปประยุกต์ใช้กับปัญหามาตรฐานต่างๆ ที่มีความใกล้เคียงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายเส้นทางการขนส่งแบบหลายขั้นตอนหลายจุดประสงค์ เช่นปัญหา P-median, Location-allocation, Location routing problem หรือ ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทางแบบขั้นตอนเดียว เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมการปกครอง, กระทรวงมหาดไทย. "จำนวนราษฎรทั่วราชอาณาจักร แยกเป็นกรุงเทพมหานครและจังหวัดต่าง ๆ ตามหลักฐานการทะเบียนราษฎร ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2552", ประกาศสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง. http://www.203.113. 86. 149/stat/y_stat.html. 30 ตุลาคม, 2555.

_____. "ข้อมูลการปกครอง", ศูนย์สารสนเทศเพื่อการบริหารและงานปกครอง. http://www.dopa.go.th/padmic/jungwad76/jungwad76.htm. 18 ตุลาคม, 2555.

ณกร อินทร์พยุง. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.

นัทธพงศ์ นันทสำเริง. ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากวัตถุดิบชานอ้อย แบบหลายวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.

นัทธพงศ์ นันทสำเริง ระพีพันธ์ ปีตาคะโส และบรรชา บุดดาดี. "การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายจุดประสงค์และหลายลำดับขั้น : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อย ในภาคตะวันเฉียงเหนือ", วารสารวิจัย มข. 14(3) : 291-301, 2552.

ระพีพันธ์ ปีตาคะโส. เอกสารประกอบการสอนวิชา เมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการวางแผนการผลิตและโลจิสติก. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

_____. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และคณะ. "วิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับปัญหาสถานที่ตั้ง ศูนย์วิจัยสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง", ใน การสรุปการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2550. น. 81. คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2550.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและลอจิสติกส์", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น. 101. กรุงเทพมหานคร : โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, 2549.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Altiparmak Fulya, Mitsuo Gen, Lin Lin, Turan Paksoy. "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", Computers & Industrial Engineering. 51: 196–215, 2006.

Bancha Buddadee and et al. "The development of multi-objective optimization model for excess bagasse utilization: A case study for Thailand", Environmental Impact Assessment Review. 28(6): 380- 391, 2008.

_____. "Environmental system optimization of excess bagassse utilization for sugar mills in the Northeastern of Thailand", Thai environmental engineering journal. 24(2): 1-13, 2009.

Bergey, P. K. & Ragsdale, C. "Modified differential evolution: a greedy random strategy for genetic recombination", Omega. 33(3): 255-265, 2005.

Chakraborty, U.K., Das, S., & Konar, A. "Differential evolution with local neighborhood", in IEEE Congress on Evolutionary Computation. New Jersey: IEEE Press, 2006.

Farahani, R.Z., SteadieSeifi, M., and Asgari, N. "Multiple criteria facility location problems: A survey", Applied Mathematical Modelling. 34: 1689-1709, 2010.

Jacobsen, S.K. and Madsen, O.B.G,L. "A comparative study of heuristics for a two level routing – location problem", European Journal of Operational Research. 6: 378 – 387, 1980.

Jozefowiez, N., Semet, F. and Talbi, E. "Multi-objective vehicle routing problems", European Journal of Operational Research. 189: 293-309; 2008.

Kittipong Boonlong. "Genetic Algorithms for Multi-objective Optimization", Burapha Sci. J., 16 (1): 107-114, 2011.

Liu, J. & Lampinen, J. "A fuzzy adaptive differential evolution algorithm", Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies, and Applications. 9(6): 448–462, 2005.

Minnesota Pollution Control Agency. Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minnesota. Minnesota: St. Paul, Minn: Minnesota Pollution Control Agency, 2007.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Nanthasamroeng Natthapong, Rapeepan Pitakaso and Bancha Buddadee. "A multiobjectivge model for multi-echelon location problem: Application in ethanol plant location analysis in Thailand", Proceeding in International Conference on Intelligent Manufacturing and Logistics 2008. P.62. Waseda University; 2008.

National Statistical Office of Thailand. "Population and Housing Census 2000", Key Indicators and important tables from Final Report by Provinces. http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/service/serv_poph43.html. October 30, 2012.

Price, K., Storn, R.M., and Lampinen, J.A. A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series). New York: Springer, 2005.

ReVell,C.S.,Eiselt,H.A. "Location analysis: A synthesis and srvey", European Journal of perational Research. 165: 1-19, 2005.

Storn, R. and Price, K. "Differential evolution – a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces", Technical Report TR-95-012, International Computer Science. University of California: Berkeley, 1995.

Thongpoon Thongdee and Rapeepan Pitakaso. "Solving a multi-objective, source & stage location-allocation problem. A case study of a bagasse and cassava pulp ethanol plant in northeastern", KKU Res. J. 17(1): 71-87, 2012.

_____. "Solving a Multi-Objective, Source & Stage Location-Allocation Problem Using Differential Evolution", in Proceeding of the 13th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2012). P.1053-1060. Phuket: Thailand, 2012.

Vesterstrom, J. and Thomsen R. "A Comparative Study of Differential Evolution, Particle Swarm Optimization, and Evolutionary Algorithms on Numerical Benchmark Prob-Lems", In Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation. P.1980-1987. Portland Oregon: USA., 2004.

Xin-She Yang. "Engineering Optimization", An Introduction with Metaheuristic Applications. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2010.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ผลการทดสอบอัลกอริทึมปัญหาขนาดเล็ก (I5-T5-J5-K4)

Algorithms	Test#1		Test#2		Test#3		Test#4		Test#5	
	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time
DE-STD	59,843	101.69	61,896	111.56	55,748	99.38	51,368	100.24	60,743	99.65
DE-MOD	52,803	79.21	59,926	85.32	54,057	78.82	50,612	81.15	55,923	80.12
DE-PSO	49,879	72.01	54,244	62.81	50,403	63.75	48,094	64.40	49,083	65.36
Algorithms	Test#6		[illegible]		Test#8		Test#9		Test#10	
	Value	Time	[illegible]		Value	Time	Value	Time	Value	Time
DE-STD	50,931	104.27	[illegible]		49,345	93.84	48,425	88.77	51,737	87.18
DE-MOD	47,991	79.34	[illegible]		48,540	75.41	47,570	71.14	51,007	67.44
DE-PSO	46,619	64.81	[illegible]		46,177	61.42	43,659	60.08	46,420	56.30

หมายเหตุ Value : หน่วยล้านบาท, Time : หน่วยวินาที

ผลการทดสอบอัลกอริทึมปัญหาขนาดกลาง (I10-T26-J5-K4)

Algorithms	Test#1		[illegible]		Test#3		Test#4		Test#5	
	Value	Time	[illegible]		Value	Time	Value	Time	Value	Time
DE-STD	7.244	139.57	[illegible]		6.748	136.40	6.218	137.59	7.353	136.78
DE-MOD	6.249	130.16	[illegible]		6.397	129.51	5.990	133.33	6.618	131.64
DE-PSO	5.825	136.46	[illegible]		5.887	120.81	5.617	122.03	5.732	123.86
Algorithms	Test#6		Test#7		Test#8		Test#9		Test#10	
	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time
DE-STD	6.165	143.12	6.700	142.48	5.973	128.80	5.862	121.85	6.263	119.66
DE-MOD	5.680	130.37	6.125	135.93	5.745	123.91	5.630	116.90	6.037	110.81
DE-PSO	5.445	122.82	5.345	125.72	5.393	116.38	5.099	113.86	5.421	106.69

หมายเหตุ Value : หน่วยล้านล้านบาท, Time : หน่วยวินาที

ผลการทดสอบอัลกอริทึมปัญหาขนาดใหญ่ (I16-T46-J5-K4)

Algorithms	Test#1		Test#2		Test#3		Test#4		Test#5	
	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time
DE-STD	8.741	167.40	9.041	183.65	8.143	163.60	7.503	165.02	6.381	151.05
DE-MOD	7.483	156.92	8.493	169.03	7.661	156.14	7.173	160.75	6.142	129.79
DE-PSO	6.908	148.96	7.512	129.93	6.980	131.88	6.661	133.21	5.967	104.66

Algorithms	Test#6		Test#7		Test#8		Test#9		Test#10	
	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time	Value	Time
DE-STD	7.439	171.65	8.085	170.88	7.208	154.48	7.073	146.14	7.557	143.51
DE-MOD	6.801	157.18	7.335	163.88	6.879	149.39	6.742	140.93	7.229	133.59
DE-PSO	6.456	134.07	6.338	137.24	6.395	127.04	6.046	124.29	6.429	116.46

หมายเหตุ Value : หน่วยล้านล้านบาท, Time : หน่วยวินาที

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายทองพูน ทองดี
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2549
	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2545
	ทุนศึกษาเพื่อวิจัย กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน แผนพลังงานทดแทน ประจำปี 2553
ประวัติการวิจัย	การพัฒนาแผนที่เส้นทางความสัมพันธ์เกี่ยวกับความพึงพอใจของลูกค้า กรณีศึกษาบริษัทอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง พ.ศ. 2545
	การพัฒนาแผนที่เส้นทางความสัมพันธ์เกี่ยวกับผลการดำเนินงานตามระบบลีนที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า พ.ศ. 2555
	การออกแบบระบบการผลิตแบบลีนเพื่อประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องตามวัฒนธรรมไทยและตอบสนองอุตสาหกรรมการผลิตของคนไทย พ.ศ. 2555
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2555, FES Specialist, Faurecia Emission Control (Thailand) Co., Ltd.
	พ.ศ. 2554, Lean Manager, Parker Hannifin (Thailand) Co., Ltd.
	พ.ศ. 2553, Production Manager, Summit Auto Seat Co., Ltd.
	พ.ศ. 2552, GM, Precise Electric MFG. Co., Ltd.