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 จะทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการของฮิวรีสติกส์หรือแม้กระทั้งด้วยวิธีการทางเมตาฮิวรีสติกส์ที่หลากหลาย

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 กระบวนการฮิวริสติกและเม-ตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นรูปแบบในการออกแบบอัลกอริทึมที่จะทำการทดลองมีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้น

จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการตรวจสอบวรรณกรรม เพื่อทำการคัดเลือกอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสม พบว่าการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นนั้นมีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากไม่พบเป็นการแพร่หลายในการประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทาง และสถานที่ตั้งแบบหลายลำดับขั้น หลายต้นกำเนิด และหลายจุดประสงค์นั้น มีเพียงบางงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีหลายจุดประสงค์ ดังนั้นจึงเป็นความท้าทายและได้รับแรงบันดาลใจเมื่อได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ ด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นเพื่อแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้

สำหรับงานวิจัยนี้ อัลกอริทึมที่พัฒนาในช่วงแรกนั้นเป็นแบบวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน โดยได้นำมาใช้ในการแก้ปัญหากับปัญหาขนาดเล็ก จากนั้นผู้วิจัยก็ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลของค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยที่ผลการทดลองนั้นได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมาก โดยค่าฟังก์ชั่นนั้นแตกต่างจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ 1.8% แต่เวลาที่ใช้ในการทดลองก็เร็วกว่าถึง 99.84%

จากนั้นก็ได้ทำการทดลองอัลกอริทึมจากวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ 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) ส่วนอัลกอริทึมจากวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบ

มาตรฐานนั้น ได้ค่าฟังก์ชั่นคำตอบแตกต่างจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ 9.1% แต่เวลาที่ใช้ในการทดลองก็เร็วกว่าถึง 99.22%

จากการทดลองปัญหาขนาดใหญ่ ด้วยอัลกอริทึมจากวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชั่นแบบมาตรฐาน พบว่าคำตอบที่ได้นั้นห่างไกลจากคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปอย่างมากถึง 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 เนื่องจากปัญหาเป็นแบบหลายวัตถุประสงค์จึงต้องมีกระบวนการที่จะช่วยในการแก้ปัญหา 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

ดังนั้นในการหาคำตอบของปัญหาหลายจุดประสงค์ก็จะมีคำตอบได้มากกว่าหนึ่งคำตอบเสมอขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ของแต่ละบุคคล 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 แสดงผลการทดสอบจากการเพิ่มน้ำหนักให้กับวัตถุประสงค์แต่ละด้าน

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

(หมายเหตุ: ตัวเลขหน้าวงเล็บคือตารางที่, ตัวเลขในวงเล็บคือลำดับที่)

7.2 ข้อเสนอแนะ

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 มีการเลือกใช้กลยุทธ์ที่หลากหลาย เช่น การกำหนดให้มีเวกเตอร์ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการกลายพันธุ์มากกว่า 3 เวกเตอร์ หรือการ

คัดเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุดเท่านั้นมาคำนวณ ก็จะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายและทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและรวดเร็วขึ้นด้วยเช่นกัน

นอกจากการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใหม่ เพื่อทำการทดลองกับปัญหากรณีศึกษาให้ได้คำตอบของฟังก์ชั่นที่ใกล้เคียง และเวลาทดลองที่น้อยแล้ว ยังมีแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาในอนาคต คือการนำอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ไปประยุกต์ใช้กับปัญหามาตรฐานต่างๆ ที่มีความใกล้เคียงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายเส้นทางการขนส่งแบบหลายขั้นตอน หลายจุดประสงค์ เช่นปัญหา P-median, Location-allocation, Location routing problem หรือ ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและมอบหมายเส้นทางแบบขั้นตอนเดียว เป็นต้น