บทที่ 4

ผลงานวิจัย และการวิเคราะห์ผลงานวิจัย

การประเมินผลของวิธีการทางฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น สำหรับปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่งที่นำเสนอ เพื่อจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาประยุกต์ใช้ นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลงานวิจัยยังจะทำให้ทราบถึงข้อบกพร่องของฮิวริสติกเพื่อการปรับปรุง ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลงานวิจัยมีดังนี้

4.1 วิธีการทดสอบฮิวริสติก

เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่า ฮิวริสติกสำหรับวิธีการแก้ปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่งโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่ดี โดยทำการศึกษาผลของวิธีการทางฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับ การแก้ไขปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่ง แยกจากกัน เป็นสองปัญหา คือ ปัญหาการกำหนดที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า (Facility Location problem : FLP) และปัญหาการกำหนดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านกรอบเวลา (Vehicle routing problem with time window :VRPTW) โดยทำการแก้ปัญหาแต่ละชนิดด้วยวิธีการทางฮิวริสติก ซึ่งฮิวริสติกที่นำมาใช้แก้ปัญหาทั้งสองนั้นเป็นฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดีในเวลาอันรวดเร็ว คือ ใช้ เจเนติกส์ อัลกอริทึ่ม (Genetic Algorithms : GAs) ในการแก้ปัญหาการกำหนดที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า [45] และใช้ 2-interchange local search method ในการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านกรอบเวลา [46]

ในการนำฮิวริสติกที่ใช้แก้ปัญหาการกำหนดที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า และปัญหาการกำหนดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านกรอบเวลา มาใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบกับฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องทำการสร้างฮิวริสติกเหล่านั้นขึ้นมาโดยทำการเขียนโปรแกรม และเพื่อเป็นการตรวจสอบว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นเป็นฮิวริสติกที่นำมาเปรียบเทียบนั้นมีความสามารถในการแก้ปัญหาไม่แตกต่างจากฮิวริสติกดั้งเดิมที่ได้เลือกมาใช้ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาของฮิวริสติกที่เขียนขึ้นมากับผลลัพธ์ที่ได้จากฮิวริสติกดั้งเดิม โดยจะตรวจสอบในแง่ของค่าใช้จ่ายของฮิวริสติกที่เขียนขึ้นมากับฮิวริสติกดั้งเดิม โดยนำฮิวริสติกที่เขียนขึ้นมานำมาแก้ปัญหามาตรฐานซึ่งเป็นปัญหาเดียวกับที่ฮิวริสติกดั้งเดิมได้ทำเอาไว้ ซึ่งรายละเอียดของปัญหามาตรฐานที่หยิบยกมาทำการทดสอบนี้แสดงอยู่ในภาคผนวกที่ ก ปัญหามาตรฐาน สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความถูกต้องของฮิวริสติกที่นำมาเปรียบเทียบของการแก้ปัญหาการกำหนดที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า

ปัญหาทดสอบ	ค่าจากฮิวริสติกที่เขียนขึ้น	ค่าจากฮิวริสติกดั้งเดิม	ผลต่าง (%)
cap41	1065859.00	1040444.38	2.44
cap42	1120859.00	1098000.45	2.08
cap43	1175859.00	1153000.45	1.98
cap44	1258359.00	1235500.45	1.85
cap51	1031578.00	1025208.23	0.62
cap61	941773.80	932615.75	0.98
cap62	982949.50	977799.40	0.53
เฉลี่ยค่าความแตกต่างของค่าใช้จ่าย			1.50

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความถูกต้องของฮิวริสติกที่นำมาเปรียบเทียบของการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านกรอบเวลา

ปัญหาทดสอบ	ค่าจากฮิวริสติกที่เขียนขึ้น	ค่าจากฮิวริสติกดั้งเดิม	ผลต่าง (%)
r101	1,774.686	1,847.370	-3.934458176
r102	1,605.000	1,720.460	-6.710995896
r103	1,345.092	1,551.340	-13.29482899
r104	1,268.680	1,184.380	7.117648052
r105	1,729.360	1,671.940	3.434333768
r106	1,537.853	1,439.000	6.869562196
r107	1,210.000	1,390.550	-12.98407105
เฉลี่ยค่าความแตกต่างของค่าใช้จ่าย			-2.786115728

จากผลทดสอบปรากฏว่าฮิวริสติกที่เขียนขึ้นมามีความสามารถในการแก้ปัญหาใกล้เคียงกับฮิวริสติกดั้งเดิม

4.2 ปัจจัยในการทดสอบฮิวริสติก

เพื่อเป็นการประเมินความสามารถของฮิวริสติกสำหรับสำหรับปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่งที่นำเสนอ ว่าความสามารถในการหาคำตอบนั้นจะเป็นเช่นไร

ภายใต้ปัจจัยต่างๆของระบบการกระจายสินค้า ในการทดสอบฮิวริกสติกทำภายใต้ปัจจัยต่างๆนั้น ได้มีการคัดเลือกปัจจัยโดยศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต[1] และสำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบฮิวริสติกภายใต้ปัจจัยต่างๆดังนี้

4.2.1 จำนวนโนดความต้องการ

จำนวนโนดความต้องการนั้นมีความสัมพันธ์กับขนาดของปัญหาซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพิจารณาแบ่งแยกว่าในระดับปัญหาที่มีขนาดเล็กถึงกลางนั้นจะมีจำนวนโนดอยู่ในช่วง 25-50 โนด [1] ซึ่งก็สามารถตีความหมายได้ว่าปัญหาที่มีขนาดของโนดมากกว่านั้นเป็นปัญหาที่มีขนาดเหนือกว่าระดับกลางหรือ กล่าวได้ว่ามีขนาดค่อนข้างใหญ่หรือใหญ่ ทั้งจากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งอ้างว่าทำการแก้ปัญหาขนาดที่ใหญ่สำหรับปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่ง (LRP)นั้นก็ทำการทดลองที่ขนาดประมาณ 100 – 200 โนดความต้องการ[1] สำหรับงานวิจัยนี้ซึ่งต้องการทดสอบความสามารถของฮิวริสติกในการแก้ขนาดปัญหาที่อยู่ในระดับที่ใหญ่หรือค่อนข้างใหญ่จึงได้กำหนดระดับปัจจัยทั้งหมด 3 ระดับดังนี้

ก. 75 โนด

ข. 100 โนด

ค. 125 โนด

4.2.2 จำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

เช่นเดียวกับจำนวนโนดความต้องการที่สะท้อนถึงขนาดของปัญหา จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้ก็เป็นสิ่งที่สะท้อนถึงขนาดของปัญหาเช่นกัน อีกทั้งสัมพันธ์กับพารามิเตอร์เรื่องความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้ และพารามิเตอร์เรื่องขนาดความต้องการของลูกค้าแต่ละราย โดยกำหนดระดับปัจจัยเริ่มต้นที่ 7 ศูนย์เพราะเป็นขนาดที่เล็กที่สุดที่อาจรองรับความต้องการทั้งหมดได้ในกรณีที่ความสามารถในการให้บริการมีค่าน้อยที่สุดคือ 400 หน่วยและปริมาณความต้องการมากที่สุดที่ 20 หน่วยและระดับอื่นๆกำหนดเพื่อความเหมาะสมไม่ให้เกิดสถานที่ส่วนเกินมากเกินไปและน้อยเกินไปจึงได้กำหนดระดับปัจจัยทั้งหมด 3 ระดับดังนี้

ก. 7 ศูนย์

ข. 10 ศูนย์

ค. 13 ศูนย์

4.2.3 จำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

เป็นปัจจัยที่สะท้อนถึงลักษณะการกระจายตัวของโนดความต้องการเพื่อทดสอบว่าในลักษณะการกระจายตัวแบบต่างๆจะมีผลต่อการแก้ปัญหาของฮิวริสติกอย่างไร ซึ่งในปัจจัยนี้ก็เพื่อเป็นการทดสอบด้วยว่าการแก้ปัญหาในระบบที่มีลักษณะเป็นเมืองซึ่งจะมีจุดที่มีประชากรอยู่อย่างหนาแน่นกว่าบริเวณอื่นๆ ฮิวริสติกที่นำเสนอจะสามารถปัญหาได้เป็นอย่างไร โดยในงานวิจัยนี้กำหนดระดับปัจจัยทั้งหมด 2 ระดับคือ

ก. 0 หรือการกระจายตัวของโนดความต้องการเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณที่พิจารณา

ข. 1 หรือมีแหล่งที่มีความหนาแน่นของโนดความต้องการจำนวน 1 แห่ง

4.2.4 ร้อยละของโนดความต้องการที่อยู่ในบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

เช่นเดียวกับปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงที่มีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของโนดความต้องการ ปัจจัยร้อยละของโนดความต้องการที่อยู่ในบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงก็มีผลต่อการกระจายตัวของโนดความต้องการเช่นเดียวกัน ซึ่งค่านี้ยิ่งมากหมายความว่ามีประชากรอยู่อย่างหนาแน่นมากในเขตเมือง ทว่าปัจจัยนี้จะมีผลในกรณีที่มีแหล่งที่มีความหนาแน่นของโนดความต้องการเท่านั้น ดังนั้นในการทดสอบจึงทำการทดสอบภายใต้ปัจจัยนี้เฉพาะกรณีที่มีแหล่งที่มีความหนาแน่นของโนดความต้องการ ในการกำหนดระดับของปัจจัยนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งใช้ระดับที่ 75% และ 100% [1] โดยในงานวิจัยนี้กำหนดระดับปัจจัยทั้งหมด 2 ระดับคือ

ก. 70%

ข. 90%

โดยในการทดสอบนั้นทำการด้วยจำนวนซ้ำของปัญหา (Replicate) เท่ากับ 3 ครั้ง

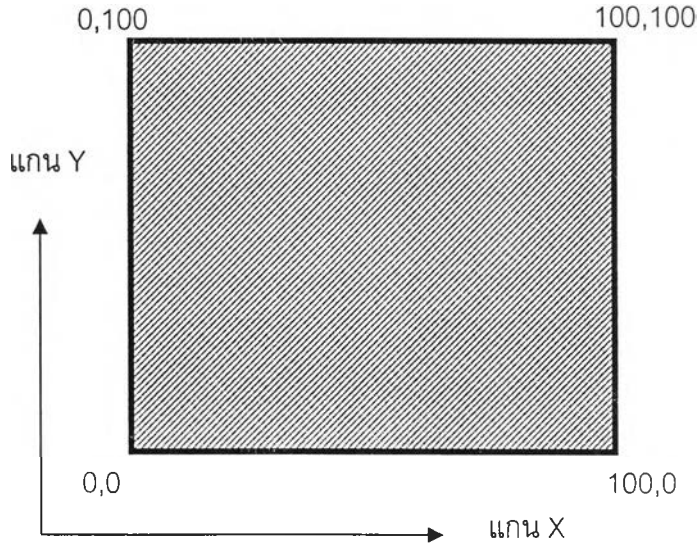
4.3 ข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดลอง

4.3.1 ขั้นตอนในการสร้างข้อมูลนำเข้า

เพื่อเป็นการสะดวกในการทำความเข้าใจต่อปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติก เนื้อหาในส่วนนี้จะอธิบายถึงวิธีการในการสร้างข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติก ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพื้นที่ที่ทำการพิจารณาในระบบโดยกำหนดขอบเขตของพื้นที่ให้เป็นลักษณะกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาด 100 คูณ 100 มีหน่วยเป็นหน่วยของระยะทาง เช่น 100 กิโลเมตร คูณ 100 กิโลเมตร เป็นต้น ขอบเขตของพื้นที่จะ

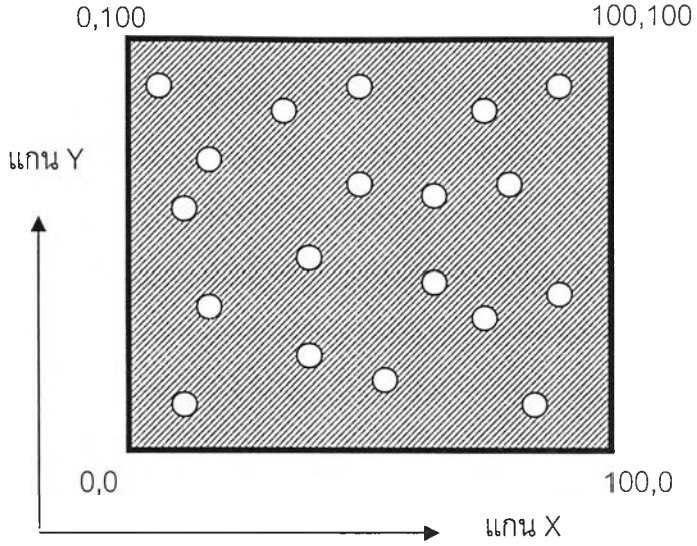
สามารถอธิบายได้ในลักษณะของคู่ลำดับ (CO-Ordinate) โดยมีจุดเริ่มต้นของพื้นที่คือจุดที่ 0,0 หรือคู่ลำดับ 0,0 ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงในระบบด้วย และขอบเขตของพื้นที่นั้นจะมีขอบเขตจนถึงจุด 100,100 หรือคู่ลำดับ 100,100 ซึ่งเป็นจุดที่มีระยะห่างจากจุดเริ่มต้นที่ 0,0 ตามแนวแกน X เท่ากับ 100 หน่วยและระยะห่างจากจุดเริ่มต้นที่ 0,0 ตามแนวแกน Y เท่ากับ 100 หน่วย ซึ่งพื้นที่ที่นำมาพิจารณาในระบบนั้นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.1 โดยบริเวณที่แรเงาคือขอบเขตที่พิจารณาในระบบ



รูปที่ 4.1 ขอบเขตพื้นที่ที่นำมาพิจารณาในระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการกำหนดตำแหน่งที่อยู่ของโนดความต้องการและโนดของโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า โดยกำหนดให้อยู่ภายใต้กรอบพื้นที่ที่พิจารณาที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาแล้ว ซึ่งในการกำหนดตำแหน่งของโนดเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงด้วย โดยที่การกำหนดจะสามารถแบ่งเป็นกรณีได้ดังนี้

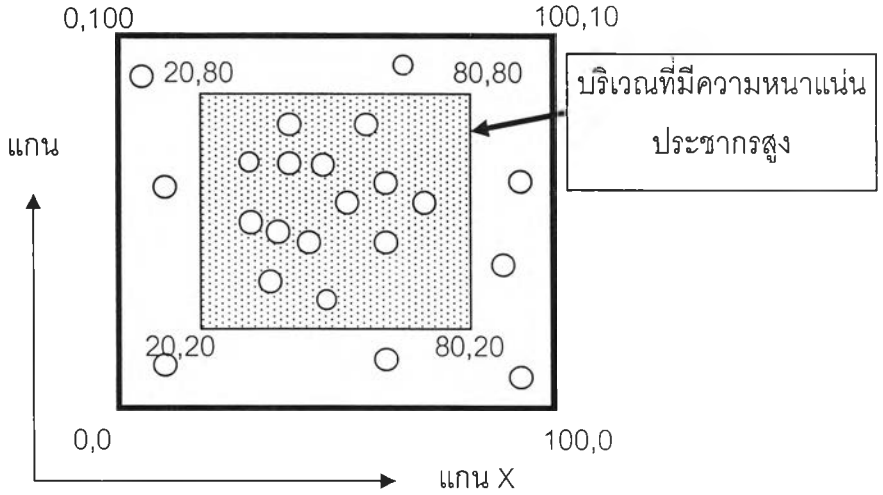
<u>กรณีที่ 1</u> เมื่อไม่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง จะกำหนดตำแหน่งด้วยค่าสุ่ม โดยมีกระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ทั่วทั้งพื้นที่ที่พิจารณาคือ ให้ตำแหน่งในแนวแกน X และในแนวแกน Y ของแต่ละโนดมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 ด้วยการกระจายแบบสม่ำเสมอซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยรูปวงกลมขนาดเล็กในรูปแสดงถึงลักษณะที่ตั้งของโนดในระบบ



รูปที่ 4.2 ลักษณะของตำแน่งที่ตั้งของโนดในระบบในกรณีที่ไม่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

<u>กรณีที่ 2</u> เมื่อมีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง การกำหนดตำแหน่งจะมีความแตกต่างจากกรณีแบบแรกคือ จากเดิมที่เราพิจารณาพื้นที่เฉพาะในขอบเขตระหว่างจุดเริ่มต้นของพื้นที่คือจุดที่ 0,0 หรือคู่ลำดับ 0,0 และจุดสิ้นสุดของขอบเขตของพื้นที่ซึ่งก็คือจุด 100,100 หรือคู่ลำดับ 100,100 เท่านั้น แต่ในกรณีนี้เราจะมีพื้นที่ที่เราพิจารณาเพิ่มเติมขึ้นมาอีกส่วนก็คือพื้นที่ที่จะเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง :ซึ่งกำหนดให้มีอาณาเขตซึ่งมีขนาดเท่ากับ 60 คูณ 60 หน่วยระยะทางเช่นเป็น 60 คูณ 60 กิโลเมตร โดยมีขอบเขตอยู่ในกรอบระหว่างจุดที่ 20,20 หรือคู่ลำดับ 20,20 จนถึงจุดที่ 80,80 หรือคู่ลำดับ 80,80 ในขอบเขตนี้จะมีปริมาณของพื้นที่เป็นร้อยละ 36 ของพื้นที่ทั้งหมด ลำหรับการกำหนดตำแหน่งของโนดต่างๆในปัญหาในกรณีในนี้ จะกำหนดให้โนดต่างๆมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ภายในกรอบของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงนี้ มีจำนวนเท่ากับร้อยละของโนดความต้องการที่อยู่ในบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง เช่น ในกรณีที่ร้อยละของโนดความต้องการที่อยู่ในบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงมีค่าเท่ากับ 70% ก็หมายความว่ากำหนดให้มีจำนวนโนดอยู่ในกรอบระหว่างจุดที่ 20,20 หรือคู่ลำดับ 20,20 จนถึงจุดที่ 80,80 หรือคู่ลำดับ 80,80 เท่ากับ 70% ของจำนวนโนดทั้งหมดในระบบ โดยการกำหนดตำแหน่งด้วยค่าสุ่ม โดยมีการกระจายแบบสม่ำเสมอใน

กรอบบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงนี้ คือ ให้ตำแหน่งในแนวแกน X และในแนวแกน Y ของแต่ละโนดในกรอบนี้มีค่าระหว่าง 20 ถึง 80 ส่วนที่เหลืออีก 30% จะอยู่นอกกรอบของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง โดยการกำหนดตำแหน่งด้วยการกระจายแบบสม่ำเสมอให้อยู่นอกกรอบบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง คือ ให้ตำแหน่งในแนวแกน X และในแนวแกน Y ของแต่ละโนดในกรอบนี้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 แต่อยู่นอกกรอบคู่ลำดับ 20,20 และ 80,80 เพื่อความเข้าใจมากขึ้นสามารถแสดงลักษณะของตำแหน่งที่ตั้งของโนดในกรณีได้ดังรูปที่ 4.3 โดยรูปวงกลมขนาดเล็กในรูปแสดงถึงลักษณะที่ตั้งของโนดในระบบ และกรอบลายจุดเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง



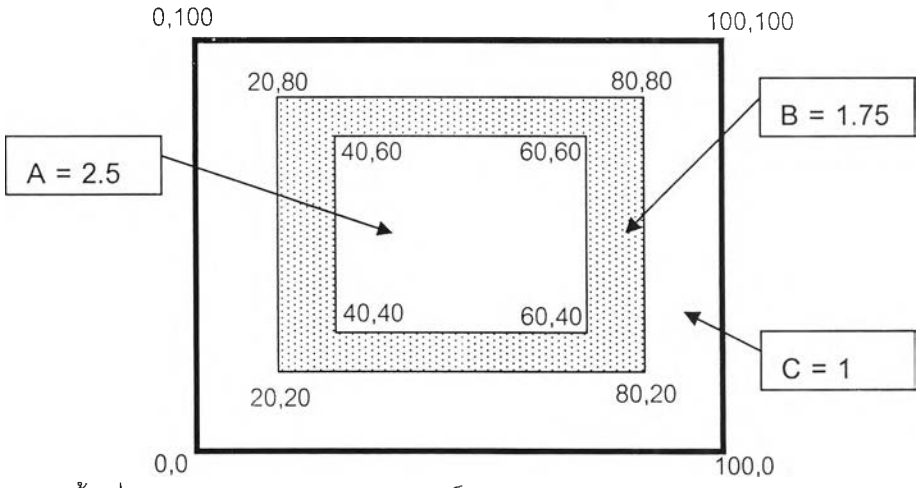
รูปที่ 4.3 ลักษณะของตำแน่งที่ตั้งของโนดในระบบในกรณีที่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณค่าระยะทางระหว่างกันของโนดแต่ละโนดในระบบนั้นจะคิดระยะทางแบบยูคิเดียน (Euclidian) แต่ในกรณีที่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง ค่าระยะทางนั้นจะต่างออกไปโดยที่ค่าระยะทางในกรณีนี้จะคำนวนจากเอาค่าระยะทางแบบยูคิเดียนตามปกติมาคูณกับค่าเผื่อความหนาแน่นของการจราจรโดยค่าเผื่อความหนาแน่นของการจราจรนี้คิดจากค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจรของโนด 2 โนดที่นำมาคิดระยะทางระหว่างกันซึ่งการกำหนดค่าสัมประ

สิทธ์ความหนาแน่นของจราจรของโนดนี้จะกำหนดตามพื้นที่ที่โนดนั้นตั้งอยู่ดังนี้

1. กรณีที่ตั้งของโนดนั้นอยู่ในกรอบที่มีจุดเริ่มต้นที่ 40,40 หรือคู่ลำดับ 40,40 จนถึงจุดที่ 60,60 หรือคู่ลำดับ 60,60 ซึ่งขอเรียกว่าพื้นที่ A ค่าของสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจรมีค่าเท่ากับ 2.5 หรือหมายความว่าระยะทางที่ใช้ในการเดินทางมีค่าเป็น 2.5 เท่าของระยะทางแบบปกติ
2. กรณีที่ตั้งของโนดนั้นอยู่ในกรอบที่มีจุดเริ่มต้นที่ 20,20 หรือคู่ลำดับ 20,20 จนถึงจุดที่ 80,80 หรือคู่ลำดับ 80,80 แต่อยู่นอกกรอบระหว่างคู่ลำดับที่ 40,40 ถึงคู่ลำดับ 60,60 ซึ่งขอเรียกว่าพื้นที่ B ค่าของสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจรมีค่าเท่ากับ 1.75 หรือหมายความว่าระยะทางที่ใช้ในการเดินทางมีค่าเป็น 1.75 เท่าของระยะทางแบบปกติ
3. กรณีอื่นๆ ซึ่งขอเรียกว่าพื้นที่ C ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจรมีค่าเท่ากับ 1

ซึ่งกรอบพื้นที่ต่างๆนั้นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.4 ดังนี้



รูปที่ 4.4 กรอบพื้นที่สำหรับกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจรของโนดในระบบในกรณีที่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

สำหรับการคำนวนค่าระยะทางระหว่างโนดนั้นสามารถแสดงเป็นตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

สมมุติว่า โนดหมายเลขที่ 1 มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่คู่ลำดับที่ 50,50 ซึ่งอยู่ภายในกรอบพื้นที่ A ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจร

I21558073

เท่ากับ 2.5 โนดหมายเลขที่ 2 มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ที่คู่ลำดับที่ 10,10 ซึ่งอยู่ภายในกรอบพื้นที่ C ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจรเท่ากับ 1 ในการคิดระยะทางระหว่างสองโนดนี้นั้น ในกรณีที่ไม่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงจะคำนวนจากระยะทางแบบยูคิเดียนมีค่าเท่ากับ (สมมุติหน่วยเป็นกิโลเมตร)

ระยะทางระหว่างโนด $= \sqrt{(50-10)^2+(50-10)^2}$

$= 56.56$ กิโลเมตร

ในกรณีที่มีบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงจะคำนวนจากระยะทางโดยคูณค่าเผื่อความหนาแน่นของการจราจรด้วยโดยค่านี้คำนวนจากค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของจราจร ซึ่งสามารถแสดงการคำนวนได้ดังนี้

ค่าเผื่อความหนาแน่นของการจราจร $= (2.5+1)/2$

$= 1.75$ เท่า

สำหรับระยะทางระหว่างสองโนดจะคำนวนจากระยะทางแบบยูคิเดียนคูณกับค่าเผื่อความหนาแน่นของการจราจร ค่าระยะทางในกรณีนี้จะมีค่าเท่ากับ

ระยะทางระหว่างโนด $= 56.56 \times 1.75$

$= 98.98$ กิโลเมตร

<u>หมายเหตุ</u> หน่วยของระยะทางระหว่างโนดนั้นสามารถแสดงเป็นระยะเวลาในการเดินทางระหว่างโนดแทนก็ได้ทั้งนี้การเปลี่ยนเป็นระยะเวลาในการเดินทางเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะปัญหาที่นำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้มีข้อจำกัดของกรอบเวลาซึ่งในกระบวนการหาคำตอบจำเป็นต้องใช้ข้อมูลด้านเวลาในการเดินทางระหว่างโนดดังนั้นการแสดงระยะทางระหว่างโนดให้อยู่ในรูปของระยะเวลาในการเดินทางระหว่างโนดแทนนั้นเป็นสิ่งที่เหมาะสมกว่า ซึ่งในปัญหาที่ทำการทดสอบทั้งหมดสมมุติให้ เวลาที่ใช้ในระบบมีหน่วยเป็นนาที อัตราเร็วที่ใช้เดินทางในระบบเท่ากับ 1 กิโลเมตรต่อนาที ซึ่งทำให้ระยะทางระหว่างโนดสามารถแปลงเป็นระยะเวลาในการเดินทางระหว่างโนดได้โดยคูณ 1 เข้าไปทั้งนี้เพื่อให้เป็นหน่วยเดียวกับกรอบเวลา

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากกำหนดค่าของระยะทางระหว่างโนดแล้ว ก็จะทำการกำหนดปริมาณความต้องการให้กับโนดความต้องการโดยสร้างจากค่าสุ่มกำหนดให้มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ(Uniform Distribution) โดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 หน่วยของความต้องการอาจเป็นหน่วยนับเช่น ชิ้น อัน กล่อง ทั้งนี้หน่วยของความต้องการนี้จะเป็นหน่วยเดียวกันกับหน่วยของความสามารถในการให้บริการ (Capacity) ของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและเป็นหน่วยเดียวกับความจุของยานพาหนะ

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดค่าของความสามารถในการให้บริการของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า ก็จะทำการโดยสร้างจากค่าสุ่มกำหนดให้มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ(Uniform Distribution) โดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 400 ถึง 500 หน่วย ทั้งนี้หน่วยของความสามารถในการให้บริการของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า นี้จะเป็นหน่วยเดียวกันกับหน่วยของปริมาณความต้องการและเป็นหน่วยเดียวกับความจุของยานพาหนะ

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดกรอบเวลาของโนดความต้องการซึ่งกรอบเวลาจะเป็นกำหนดการที่โนดความต้องการต้องได้รับสินค้าในเวลาที่กำหนดดังกล่าวซึ่งกำหนดค่าโดยค่าสุ่ม โดยมีการกระจายแบบสม่ำเสมอมีค่าระหว่าง 150 ถึง 300 หน่วยเวลาเช่นเป็น นาที ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งหน่วยเวลานี้เป็นหน่วยเดียวกับระยะทางระหว่างโนดที่แปลงมาจากค่าระยะทางทางกายภาพอย่างเช่น กิโลเมตรมาเป็นหน่วยนาที ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดอัตราเร็วในการเดินทางเท่ากับ 1 กิโลเมตรต่อนาทีซึ่งจะใช้ค่าอัตราเร็วนี้แปลงค่าระยะทางมาเป็นค่าระยะเวลาโดยคูณอัตราเร็วกับระยะทางกลายเป็นค่าระยะเวลา และกรอบเวลานี้กำหนดจุดเริ่มต้นของเวลาพร้อมกันทุกโนดที่เวลาเท่ากับ 0 ซึ่งนับเป็นเวลาเริ่มต้นของระบบในทางปฏิบัติแล้วอาจเป็นเวลาในการเริ่มทำงาน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 7 กำหนดค่าใช้จ่ายในการตั้งศูนย์กระจายสินค้าของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งกำหนดให้มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) อยู่ในช่วง 100 ถึง 200 หน่วยเป็นหน่วยของเงินตราเช่นเป็นบาท ดอลลาร์ พันบาท เป็นต้น ซึ่งหน่วยนี้เป็นหน่วยเดียวกับค่าใช้จ่ายในการจัดส่งโดยหลักการกำหนดค่าเหล่านี้เป็นการ

กำหนดเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านการจัดส่งได้อย่างสมดุลไม่เหลื่อมกันจนเกินไป

ขั้นตอนที่ 8 กำหนดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยต่อระยะเวลาในการเดินทางเป็นหน่วยของเงินตราต่อเวลาเช่นเป็นบาทต่อนาที ดอลลาร์ต่อนาที พันบาทต่อนาที เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 9 สำหรับค่าความจุของยานพาหนะกำหนดให้ท่ากับ 150 หน่วย ทั้งนี้หน่วยของความจุของยานพาหนะนี้จะเป็นหน่วยเดียวกันกับหน่วยของปริมาณความต้องการและเป็นหน่วยเดียวกับความสามารถในการให้บริการของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

4.4 ผลของการหาคำตอบ

ผลของคำตอบนั้นสามารถสรุปได้เป็นสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ที่ถูกเปิดเป็นศูนย์กระจายสินค้า และเส้นทางการขนส่งสำหรับลูกค้าที่รับบริการจากศูนย์นั้นๆ ซึ่งทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าด้วย ซึ่งจะแสดงตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าของปัญหาและผลคำตอบของปัญหา เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอมีความสามารถในการแก้ปัญหาได้โดยไม่ละเมิดข้อจำกัดของระบบ

4.4.1 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้า

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นลักษณะของข้อมูลนำเข้าของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งความหมายของหัวตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. Site หมายถึง สถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าในที่นี้มี 10 แห่งมีหมายเลขประจำตัวตั้งแต่ 1 ถึง 10

ข. X หมายถึง ตำแหน่งในแนวแกน X ของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

ค. Y หมายถึง ตำแหน่งในแนวแกน Y ของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า ทั้งนี้ตำแหน่งของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้านั้นจะระบุเป็นคู่ลำดับ (CO-Ordinate) ของ X และ Y ซึ่งก็คือตำแหน่งในแนวแกน X และ Y ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนๆ

ง. Capacity หมายถึง ความสามารถในการให้บริการของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

จ. Cost หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการตั้งศูนย์กระจายสินค้าของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

Site	X	Y	Capacity	Cost
1	5	98	428	104
2	83	77	449	192
3	20	4	446	180
4	30	62	458	176
5	8	38	486	110
6	61	93	438	148
7	67	33	460	143
8	84	27	400	104
9	78	80	485	107
10	31	50	414	170

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นลักษณะของข้อมูลนำเข้าของโนดความต้องการ ซึ่งความหมายของหัวตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. Customer หมายถึง โนดความต้องการในที่นี้มี 125 แห่งมีหมายเลขประจำตัวตั้งแต่ 11 ถึง 135

ข. X หมายถึง ตำแหน่งในแนวแกน X ของโนดความต้องการ

ค. Y หมายถึง ตำแหน่งในแนวแกน Y ของโนดความต้องการ ทั้งนี้ตำแหน่งของโนดความต้องการนั้นจะระบุเป็นคู่ลำดับ (CO-Ordinate) ของ X และ Y ซึ่งก็คือตำแน่งในแนวแกน X และ Y ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนๆ

ง. Demand หมายถึง ปริมาณความต้องการของโนดความต้องการ

จ. Duedate หมายถึง กรอบเวลาของโนดความต้องการ

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของโนดความต้องการ

Customer	X	Y	Demand	Duedate
11	46	92	19	134
12	67	45	17	133
13	74	96	16	102
14	55	40	10	100
15	57	32	17	127

Customer	X	Y	Demand	Duedate
16	94	40	16	110
17	26	39	10	131
18	54	40	19	91
19	7	76	11	102
20	26	1	11	105
21	23	59	20	100
22	21	17	19	118
23	99	86	14	88
24	95	50	15	80
25	51	95	19	86
26	94	1	15	89
27	89	38	17	96
28	19	91	15	137
29	52	81	12	102
30	27	81	18	126
31	62	32	14	89
32	50	9	16	126
33	14	93	18	130
34	38	53	10	117
35	78	36	16	134
36	32	23	10	99
37	32	5	17	87
38	59	72	19	104
39	23	40	17	128
40	49	37	12	96
41	49	34	13	99
42	86	1	16	133
43	62	3	18	131
44	72	84	19	117
45	10	93	12	107

Customer	X	Y	Demand	Duedate
46	29	58	15	106
47	85	5	15	96
48	12	82	17	93
49	12	42	13	82
50	61	72	17	109
51	57	95	19	136
52	68	82	16	93
53	55	34	16	110
54	72	28	13	83
55	73	44	15	139
56	80	17	18	117
57	89	69	17	126
58	13	20	12	93
59	2	93	15	93
60	75	53	11	122
61	64	41	12	119
62	51	99	12	118
63	40	3	13	119
64	21	39	12	119
65	86	89	10	109
66	15	24	19	85
67	61	5	13	80
68	74	56	14	135
69	58	50	14	112
70	51	11	12	132
71	63	50	10	92
72	28	70	14	129
73	37	4	18	109
74	66	87	13	104
75	24	62	17	132

Customer	X	Y	Demand	Duedate
76	69	77	18	138
77	82	26	19	80
78	84	32	17	119
79	44	80	19	130
80	19	57	16	130
81	1	38	18	93
82	90	37	16	121
83	5	20	20	118
84	90	24	18	91
85	6	56	17	93
86	86	51	13	89
87	10	12	15	140
88	35	73	16	120
89	60	42	12	109
90	36	29	17	124
91	43	61	18	102
92	93	33	12	91
93	27	53	20	112
94	18	85	19	126
95	13	90	15	102
96	45	14	12	113
97	23	91	12	96
98	77	41	15	115
99	4	93	10	102
100	58	63	11	129
101	65	54	12	115
102	68	75	15	90
103	29	83	20	134
104	41	4	17	136
105	22	86	16	129

Customer	X	Y	Demand	Duedate
106	12	75	14	111
107	76	45	18	93
108	89	99	17	90
109	65	23	11	96
110	45	87	17	95
111	61	85	12	126
112	40	89	14	114
113	17	51	20	119
114	66	62	17	83
115	75	77	16	123
116	17	51	17	115
117	87	11	15	121
118	36	15	19	91
119	86	42	17	105
120	90	39	11	105
121	86	54	15	110
122	39	67	13	139
123	97	54	20	137
124	63	42	19	120
125	55	65	18	94
126	5	18	10	103
127	45	60	12	114
128	49	23	17	122
129	48	29	16	104
130	33	25	10	102
131	9	67	19	94
132	77	41	12	95
133	35	88	14	112
134	46	63	12	110
135	11	65	18	87

4.4.2 ตัวอย่างผลคำตอบ

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าว่าตั้งอยู่ที่ตำแหน่งใด ยกตัวอย่างเช่น ศูนย์กระจายสินค้าแห่งที่ 1 ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 ศูนย์กระจายสินค้าแห่งที่ 2 ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าที่ 5 เป็นต้น และยังแสดงถึงความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่ง เปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการที่ศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งให้บริการ ว่ามีค่าไม่เกินความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลคำตอบที่ได้เป็นไปตามข้อจำกัดด้านความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 4.5 ผลคำตอบของสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า

ศูนย์ฯที่	ที่ตั้ง	ความสามารถในการให้บริการ	ปริมาณความต้องการที่ศูนย์ฯให้บริการ
1	1	428	242
2	5	486	437
3	6	438	436
4	7	460	458
5	8	400	331

จากตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจัดเส้นทางการเดินรถและแสดงถึงเวลาที่โนดความต้องการแต่ละแห่งต้องการที่จะได้รับสินค้า และแสดงถึงเวลาที่ยานพาหนะเดินทางไปถึงโนดความต้องการแต่ละแห่ง ยกตัวอย่างเช่น ในศูนย์กระจายสินค้าแห่งที่ 1 รอบการเดินรถที่ 1 ซึ่งในตารางแสดงเป็น Route 1 มีเส้นทางการเดินรถคือ -1-45-95-94-103-88-30-105-28-33-1 หมายความว่า เริ่มเดินทางจาก 1 คือศูนย์กระจายสินค้าซึ่งมีเลขประจำตัวคือ 1 เดินเวียนไปตามเส้นทางคือโนดความต้องการที่ 45 โนดความต้องการที่ 95 ไปเรื่อยๆจนกลับมาที่ 1 คือศูนย์กระจายสินค้าอีกครั้ง และในตารางยังแสดงถึงข้อมูลด้านเวลาของแต่ละโนดความต้องการเช่น โนดความต้องการที่ 45 มีเวลาที่โนดที่ 45 นี้ต้องการที่จะได้รับสินค้า เท่ากับ 107 และเวลาที่ยานพาหนะเดินทางไปถึงโนดความต้องการที่ 45 นั้นเท่ากับ 7.07 เป็นต้น ซึ่งทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่าเส้นทางการเดินรถที่เป็นผลคำตอบจากฮิวริสติกที่นำเสนอนั้น ไม่ละเมิดข้อจำกัดด้านเวลาในการส่งมอบ

ตารางที่ 4.6 ผลคำตอบของเส้นทางการเดินรถ

ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 เลขประจำตัวเท่ากับ 1				
เส้นทางที่	ลำดับการขนส่ง	ลูกค้า	เวลาที่ต้องการ	เวลาที่ไปถึง
1	-1-45-95-94-103-88-30-105-28-33-1	45	107	7.071068
		95	102	11.31371
		94	126	18.38478
		103	134	29.56512
		88	120	41.22702
		30	126	52.54073
		105	129	59.6118
		28	137	65.44275
		33	130	70.82791
2	-1-99-59-48-19-106-72-97-1	99	102	5.09902
		59	93	7.09902
		48	93	21.96509
		19	102	29.77534
		106	111	34.87436
		72	129	51.63741
		97	96	73.22444
ศูนย์ฯที่ 2 เลขประจำตัวเท่ากับ 5				
เส้นทางที่	ลำดับการขนส่ง	ลูกค้า	เวลาที่ต้องการ	เวลาที่ไปถึง
1	-5-37-20-22-58-66-87-126-83-39-5	37	87	40.80441
		20	105	48.01551
		22	118	64.77856
		58	93	73.32257
		66	85	77.79471
		87	140	90.79471
		126	103	98.60496
		83	118	100.605
		39	128	127.5122
2	-5-73-36-130-90-17-64-116-113-75-80-5	73	109	44.68781

		36	99	64.33469
		130	102	66.57076
		90	124	71.57076
		17	131	85.71289
		64	119	90.71289
		116	115	103.362
		113	119	103.362
		75	132	116.4004
		80	130	123.4715
3	-5-85-131-135-21-46-93-49-81-5	85	93	18.11077
		131	94	29.51253
		135	87	32.34095
		21	100	45.75736
		46	106	51.84013
		93	112	57.22529
		49	82	75.82637
		81	93	87.53107
4	-5-34-5	34	117	33.54102
ศูนย์ฯที่ 3 เลขประจำตัวเท่ากับ 6				
เส้นทางที่	ลำดับการขนส่ง	ลูกค้า	เวลาที่ต้องการ	เวลาที่ไปถึง
1	-6-23-65-13-44-76-52-74-111-51-6	23	88	38.63936
		65	109	51.98102
		13	102	65.87347
		44	117	78.03899
		76	138	85.65477
		52	93	90.75379
		74	104	96.13895
		111	126	101.5241
		51	136	112.2944
2	-6-91-134-122-79-133-112-11-110-29-100-6	91	102	36.71512
		134	110	40.32067

		122	139	48.38293
		79	130	62.31132
		133	112	74.35291
		112	114	79.45193
		11	134	86.16014
		110	95	91.25916
		29	102	100.4787
		100	129	119.4524
3	-6-108-115-102-50-125-38-62-6	108	90	28.63564
		115	123	54.71245
		102	90	61.99256
		50	109	69.60834
		125	94	78.82788
		38	104	86.89014
		62	118	115.0504
4	-6-57-25-6	57	126	36.87818
		25	86	82.92163

ศูนย์ฯที่ 4 เลขประจำตัวเท่ากับ 7

เส้นทางที่	ลำดับการขนส่ง	ลูกค้า	เวลาที่ต้องการ	เวลาที่ไปถึง
1	-7-118-96-128-129-41-18-53-15-31-7	118	91	35.8469
		96	113	44.90228
		128	122	54.75114
		129	104	60.8339
		41	99	65.93292
		18	91	73.74317
		53	110	79.82594
		15	127	82.65437
		31	89	87.65437
2	-7-67-32-70-109-54-55-12-61-124-89-7	67	80	28.63564
		32	126	40.34034

		70	132	42.57641
		109	96	61.0155
		54	83	69.61783
		55	139	85.64905
		12	133	91.73181
		61	119	96.73181
		124	120	98.14603
		89	109	101.146
3	-7-114-68-60-107-132-98-101-71-69-14-7	114	83	29.01724
		68	135	39.01723
		60	122	42.17951
		107	93	50.24177
		132	95	54.36487
		98	115	54.36487
		101	115	72.05668
		71	92	76.52882
		69	112	81.52882
		14	100	91.96912
4	-7-63-104-127-7	63	119	40.36087
		104	136	41.77509
		127	114	97.91776
ศูนย์ฯที่ 5 เลขประจำตัวเท่ากับ 8				
เส้นทางที่	ลำดับการขนส่ง	ลูกค้า	เวลาที่ต้องการ	เวลาที่ไปถึง
1	-8-40-35-78-77-84-117-56-42-8	40	96	36.40055
		35	134	65.41779
		78	119	72.62889
		77	80	78.95345
		84	91	87.19965
		117	121	100.5413
		56	117	109.7609

		42	133	126.8489
2	-8-27-16-24-121-86-119-120-82-92-47-8	27	96	12.08305
		16	110	17.46821
		24	80	27.51809
		121	110	37.36694
		86	89	40.36694
		119	105	49.36694
		120	105	54.36694
		82	121	56.36694
		92	91	61.36694
		47	96	90.48738
3	-8-26-43-123-8	26	89	27.85678
		43	131	59.91922
		123	137	121.7739

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ยานพาหนะไปส่งสินค้า ณ โนดความต้องการแต่ละแห่งไม่เกินไปกว่ากรอบเวลาของโนดความต้องการนั้นๆและความต้องการรวมที่ศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งให้บริการนั้นมีค่าไม่เกินความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้านั้นๆ ซึ่งแสดงถึงว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกนั้นเป็นคำตอบที่ถูกต้องไม่ละเมิดข้อจำกัดของระบบทั้งด้านความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าและกรอบเวลาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ที่พัฒนาวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อหาคำตอบของ ปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่ง) โดยพิจารณาถึงความสามารถในการให้บริการ (Capacity) ของศูนย์กระจายสินค้าและต้องส่งให้ทันตามกรอบเวลา (Time window constraints) ที่กำหนด

4.5 การวิเคราะห์ผล

การทดสอบฮิวริสติกนั้นทำการทดสอบภายใต้ปัจจัย 4 ปัจจัยดังที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาโดยในการสร้างฮิวริสติกที่นำมาเปรียบเทียบและฮิวริสติกที่นำเสนอนั้นใช้โปรแกรม วิชวลเบสิก 6 สร้างขึ้น และการทดสอบกระทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel Celeron Processor 1.3 GHz และ หน่วยความจำ 256/266 Mb DDR Ram

จากการทดสอบความสามารถของฮิวริสติกในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยในทุกๆระดับดังที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อที่ 4.2 โดยทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองเชิง

แฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งมีปัญหาทดสอบทั้งหมด 29 ปัญหาแต่ละปัญหามีจำนวนครั้งของการทำซ้ำเท่ากับ 3 ครั้ง ผลการทดสอบปรากฏว่าฮิวริสติกที่นำเสนอได้ค่าคำตอบโดยเฉลี่ยแล้วดีกว่าฮิวริสติกที่เปรียบเทียบอยู่ 10.78% สำหรับผลการทดสอบที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้สามารถประหยัดตั้งแต่ 0.85% ถึง 24.15% และสำหรับปัญหาที่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นนั้นมี 1 ปัญหา โดยมีค่าใช้จ่ายมากกว่าอยู่เท่ากับ 0.06% ซึ่งทั้งนี้อาจเกิดจากกระบวนการทางฮิวริสติกที่ใช้นั้นในส่วนของคำตอบเริ่มต้นหามาจากการสุ่มซึ่งอาจจะได้คำตอบที่ดีไม่มากและประกอบกับขั้นตอนในการค้นหาคำตอบนั้นมีการใช้ First-Best Strategy ซึ่งเป็น Blind Search ซึ่งอาจทำให้คำตอบติดที่ Local Optimal ที่ไม่ดีนักอาจจะทำให้ไม่อาจค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ภายใต้เกณฑ์การหยุดค้นหาซึ่งต้องการให้มีความรวดเร็วอาจทำให้คำตอบที่ได้อาจจะไม่ดีนัก แต่หากมองที่ค่าเฉลี่ยจะเห็นว่าคำตอบที่ได้ก็มีการประหยัดที่ดีซึ่งสามารถนับว่าฮิวริสติกนี้สามารถหาคำตอบที่ดีได้ สำหรับด้านของเวลานั้นฮิวริสติกที่นำเสนอใช้เวลามากกว่า 235.13% โดยเฉลี่ยและปัญหาที่ใช้เวลามากกว่าสูงสุดคือมากกว่าอยู่ 661.79% และปัญหาที่ใช้เวลามากกว่าน้อยที่สุดคือมากกว่าอยู่ 23.27% ทั้งนี้ก็เป็นไปตามธรรมชาติของปัญหาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและเส้นทางการขนส่ง ที่งานวิจัยในอดีต[1] กล่าวถึงว่าเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนใช้เวลาหาคำตอบที่นาน อีกทั้งในการเปรียบเทียบผลนั้นผู้วิจัยก็ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับฮิวริสติกด้วยกันซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกนั้นใช้เวลาที่น้อยกว่าวิธีการแบบแม่นตรงอยู่มาก อีกทั้งฮิวริสติกที่นำมาเปรียบเทียบก็เป็นฮิวริสติกที่ดีใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่น้อยด้วยแล้วการที่ผลการทดลองที่ออกมาแสดงให้เห็นว่าเวลาที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่เป็นที่น่าแปลกใจแต่ประการใด แม้ว่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบอาจจะนานแต่ก็สามารถหาคำตอบที่ดีได้ในเวลาที่รวดเร็วคือเวลาที่มากที่สุดที่ใช้ในการหาคำตอบจากการทดลองมีค่าเพียง 7.52 วินาทีเท่านั้นซึ่งยังสามารถนำไปใช้งานได้ โดยผลการทดลองทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบฮิวริสติก

บริเวณความหนาแน่น	ร้อยละของความหนาแน่น	จำนวนสถานที่ตั้ง	จำนวนโนดความต้องการ	FLP+VRP		LRP		ผลต่าง	
				ค่าใช้จ่าย	เวลา (วินาที)	ค่าใช้จ่าย	เวลา (วินาที)	ค่าใช้จ่าย	เวลา
0	70	7	75	2039.23	0.86	1695.95	2.82	16.42	-234.54
0	70	7	100	2414.78	2.31	2307.33	3.72	4.44	-71.21
0	70	7	125	3312.45	3.87	2742.25	5.20	17.07	-35.13
0	70	10	75	2144.95	0.78	1625.40	3.33	23.91	-338.49
0	70	10	100	2599.08	1.67	2383.74	4.14	8.71	-134.23
0	70	13	75	2173.87	0.49	1837.52	3.55	15.56	-661.80
0	70	13	100	2696.09	1.12	2177.40	6.61	19.79	-524.11

บริเวณความหนาแน่น	ร้อยละของความหนาแน่น	จำนวนสถานที่ตั้ง	จำนวนโนดความต้องการ	FLP+VRP		LRP		ผลต่าง	
				ค่าใช้จ่าย	เวลา (วินาที)	ค่าใช้จ่าย	เวลา (วินาที)	ค่าใช้จ่าย	เวลา
1	70	7	75	2407.63	0.79	2272.14	2.51	5.66	-216.68
1	70	7	100	3220.43	2.34	2826.96	3.70	12.21	-60.54
1	70	7	125	4107.66	3.15	3260.50	4.71	20.63	-49.58
1	70	10	75	2273.76	0.77	2071.32	3.59	8.57	-398.14
1	70	10	100	3025.03	1.48	2641.78	4.34	12.52	-206.37
1	70	10	125	3568.12	2.78	3476.35	3.37	2.53	-23.27
1	70	13	75	2470.69	0.68	1847.14	3.95	24.15	-499.22
1	70	13	100	2867.91	1.28	2702.80	5.38	5.30	-365.85
1	70	13	125	3488.62	2.53	3423.84	4.83	1.77	-93.16
1	90	7	75	2462.83	1.01	2379.98	1.90	2.86	-94.03
1	90	7	100	3303.10	2.59	2736.05	3.70	15.71	-42.35
1	90	7	125	3031.70	3.24	3005.53	4.23	0.85	-30.52
1	90	10	75	2655.89	0.70	2216.05	2.75	15.40	-344.67
1	90	10	100	2748.02	1.54	2540.99	4.81	7.50	-209.47
1	90	10	125	3350.92	2.47	3292.06	4.60	1.55	-85.01
1	90	13	100	2963.38	1.03	2492.06	6.79	15.25	-561.19
1	90	13	125	3369.76	1.85	3189.54	7.53	5.33	-340.42
เฉลี่ยรวม				2843.33	1.73	2536.98	4.31	10.78	-235.13

ในการทดลองเพื่อวัดความสามารถในการแก้ปัญหาของฮิวริสติกที่นำเสนอ เพื่อทดสอบในแง่มุมของค่าใช้จ่ายให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงทำการทดสอบโดยให้ฮิวริสติกเปรียบเทียบใช้เวลาในการหาคำตอบใกล้เคียงกับฮิวริสติกที่นำเสนอโดยให้ใช้เวลาในการค้นหาต่างกันไม่เกิน 10% ฮิวริสติกที่นำเสนอก็ยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 1.14%โดยเฉลี่ยซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของฮิวริสติกทั้งสองเมื่อใช้เวลาหาคำตอบใกล้เคียงกัน

ปัญหาที่	LRP	FLP+VRP	ผลต่าง (%)
	ค่าใช้จ่าย	cost	cost
1	3289.73	3369.28	2.36
2	2831.54	2922.65	3.12
3	2145.02	2145.02	0.00
4	3355.03	3467.07	3.23
5	3680.02	3561.62	-3.32
6	1986.81	1986.81	0.00
7	2648.97	2719.59	2.60
เฉลี่ย			1.14

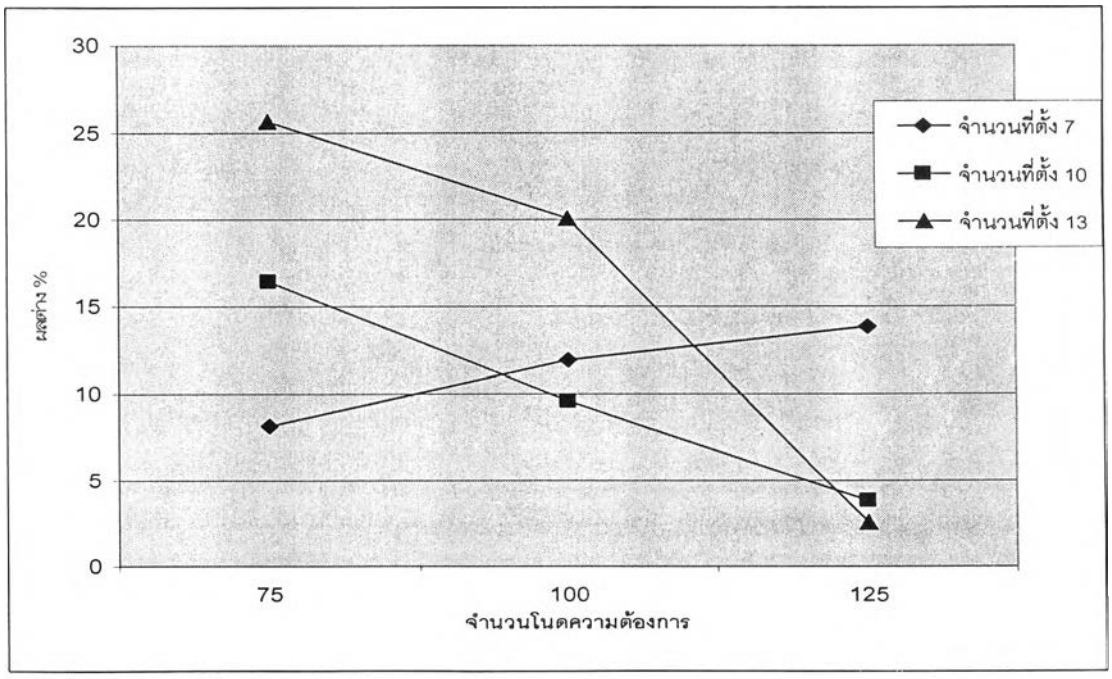
การทดสอบฮิวริสติกความสามารถของฮิวริสติกในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยโดยในการวิเคราะห์ผลนั้น กระทำโดยสังเกตุผลของปัจจัยทั้ง 4 ทีละปัจจัยโดย กำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ อยู่ภายใต้สภาวะเดียวกัน สำหรับผลของแต่ละปัจจัยนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.5.1 จำนวนโนดความต้องการ

เมื่อจำนวนโนดความต้องการมีค่าสูงขึ้นผลต่างของค่าใช้จ่ายมีแนวโน้มลดลงเว้นแต่ในกรณีที่จำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าเท่ากับ 7 กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเป็นผลของอันตรกิริยา (Interaction) สำหรับเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีแนวโน้มขึ้นตามจำนวนโนดความต้องการที่สูงขึ้น โดยแสดงผลในตารางที่ 4.9 ถึง 4.12 และรูปที่ 4.5 ถึง 4.8

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

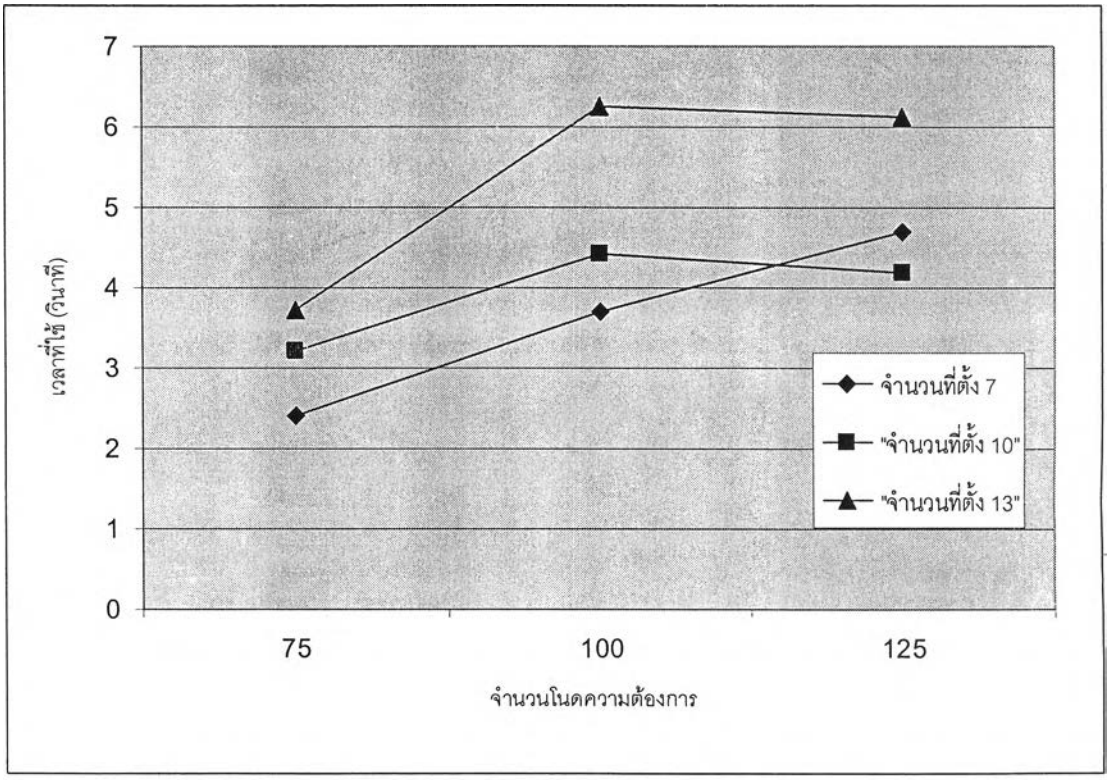
ฮิวริสติก	จำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า								
	7			10			13		
	จำนวนโนดความต้องการ								
	75	100	125	75	100	125	75	100	125
FLP+VRP	2303.23	2979.44	3483.93	2358.20	2790.71	3241.68	2376.15	2842.46	3214.21
LRP	2116.02	2623.45	3002.76	1970.92	2522.17	3118.29	1766.26	2270.63	3130.12
ผลต่าง(%)	8.13	11.95	13.81	16.42	9.62	3.81	25.67	20.12	2.62



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 4.10 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

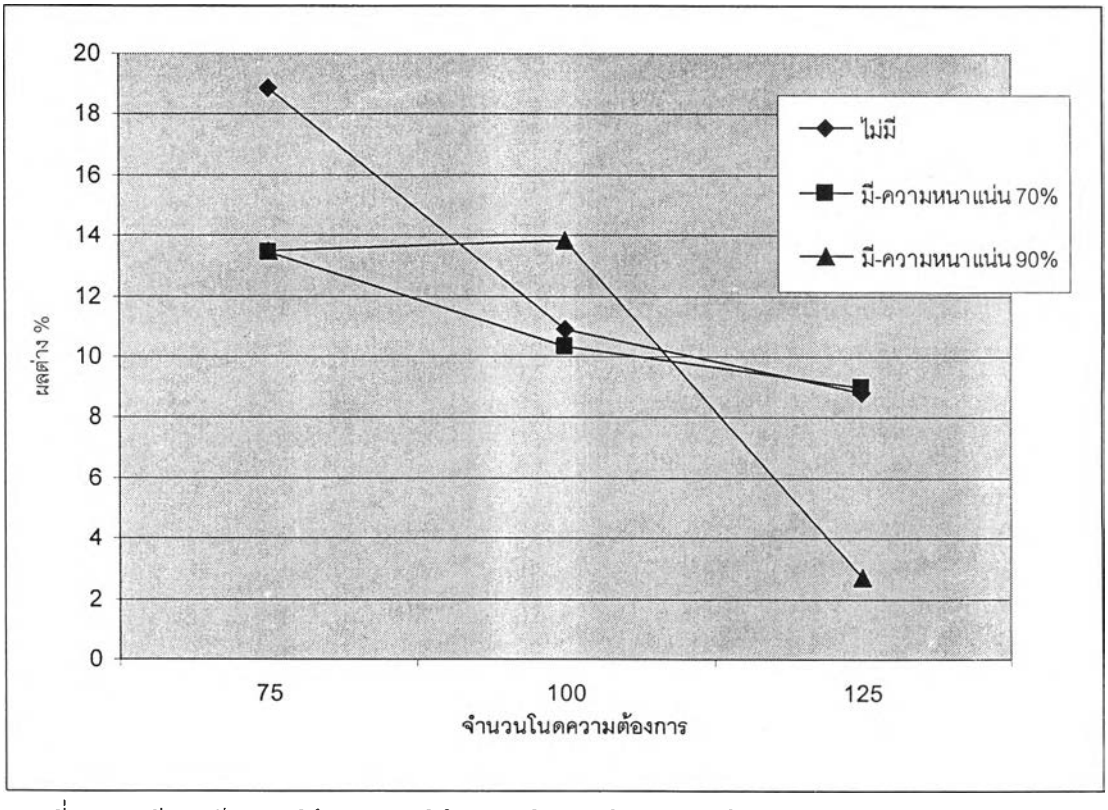
	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7			10			13		
	จำนวนโนดความต้องการ								
	75	100	125	75	100	125	75	100	125
เวลา)วินาที(	2.41	3.70	4.71	3.22	4.43	4.20	3.72	6.26	6.13



รูปที่ 4.6 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

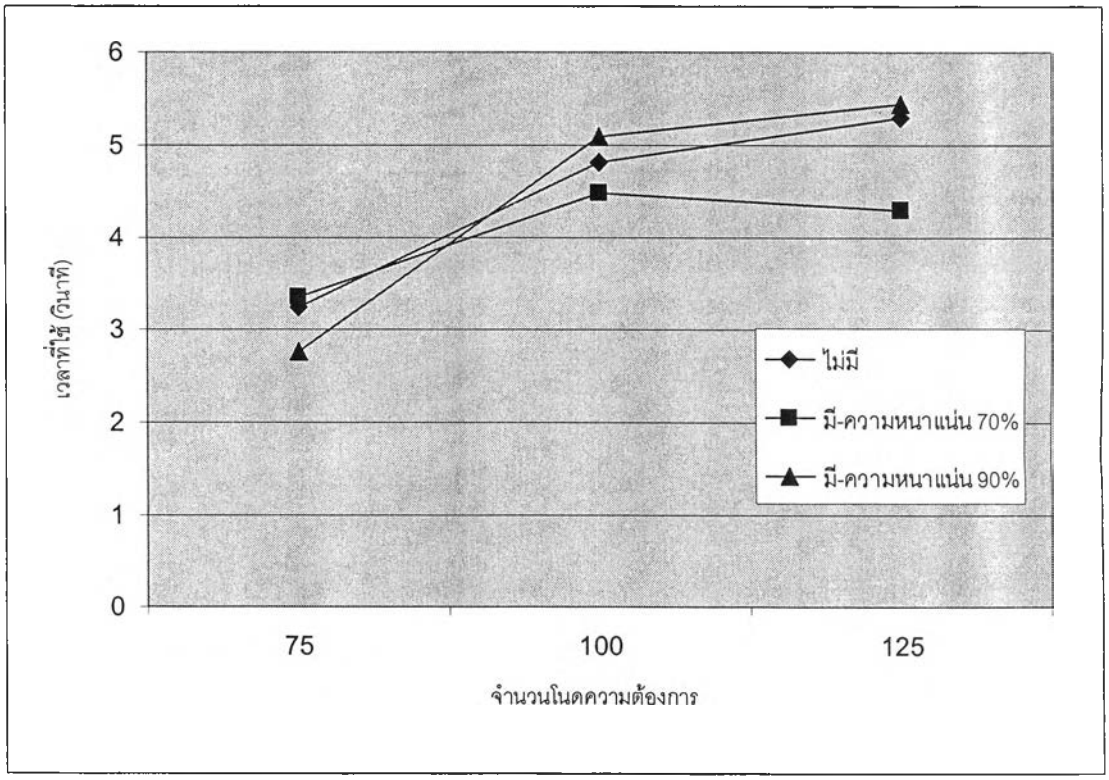
อิวริสติก	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี(			1 - 70% (มี ความหนาแน่น 70 %)			1 - 90% (มี ความหนาแน่น 90%)		
	จำนวนโนดความต้องการ								
	75	100	125	75	100	125	75	100	125
FLP+VRP	2119.35	2569.99	2967.57	2384.03	3037.79	3721.47	2534.20	3004.83	3250.79
LRP	1719.62	2289.49	2705.65	2063.53	2723.85	3386.90	2191.73	2589.70	3162.38
ผลต่าง(%)	18.86	10.91	8.83	13.44	10.33	8.99	13.51	13.82	2.72



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

ตารางที่ 4.12 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี(			1 - 70% (มี ความหนาแน่น 70 %)			1 - 90% (มี ความหนาแน่น 90%)		
	จำนวนโนดความต้องการ								
	75	100	125	75	100	125	75	100	125
เวลา)วินาที(	3.24	4.82	5.29	3.35	4.47	4.30	2.76	5.10	5.45



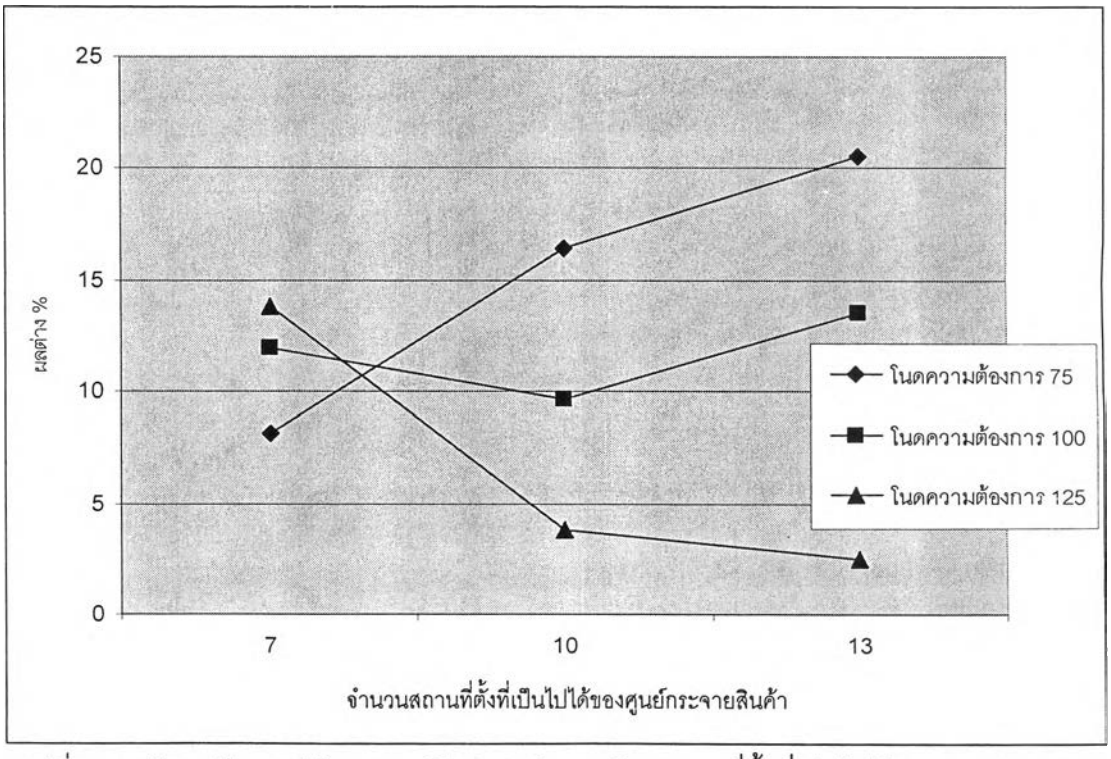
รูปที่ 4.8 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

4.5.2 จำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

เมื่อจำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้มีค่าสูงขึ้นผลต่างของค่าใช้จ่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเว้นแต่ในกรณีที่จำนวนโนดความต้องการกระจายสินค้าเท่ากับ 125 กลับมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้อาจเป็นผลของอันตรกิริยา ละในกรณีที่มีปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงมาเกี่ยวข้องด้วยนั้นค่าใช้จ่ายมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ สำหรับเวลาในการแก้ปัญหาแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าปัจจัยที่สูงขึ้น สำหรับผลของปัจจัยนี้แสดงในตารางที่ 4.13 ถึง 4.16 และรูปที่ 4.9 ถึง 4.12

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

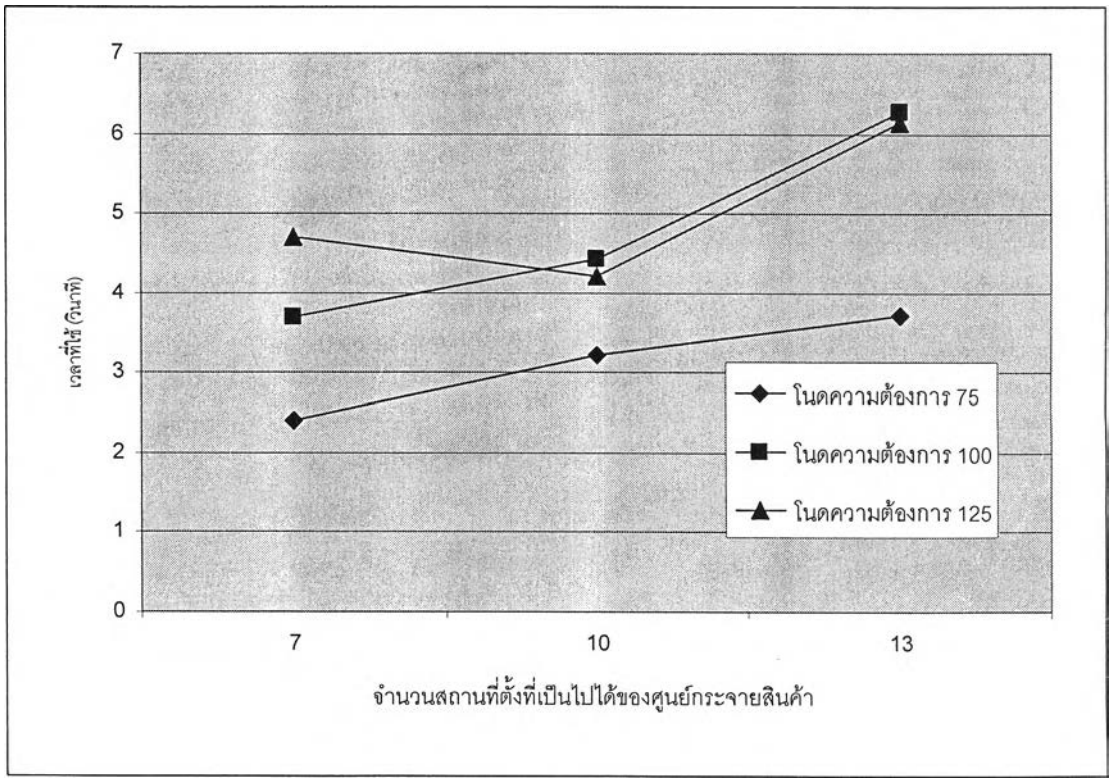
อิวริสติก	จำนวนโนดความต้องการ								
	75			100			125		
	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7	10	13	7	10	13	7	10	13
FLP+VRP	2303.23	2358.20	2376.15	2979.44	2790.71	2842.46	3483.93	3241.68	3214.21
LRP	2116.02	1970.92	1887.94	2623.45	2522.17	2457.42	3002.76	3118.29	3133.87
ผลต่าง(%)	8.13	16.42	20.55	11.95	9.62	13.55	13.81	3.81	2.50



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

ตารางที่ 4.14 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

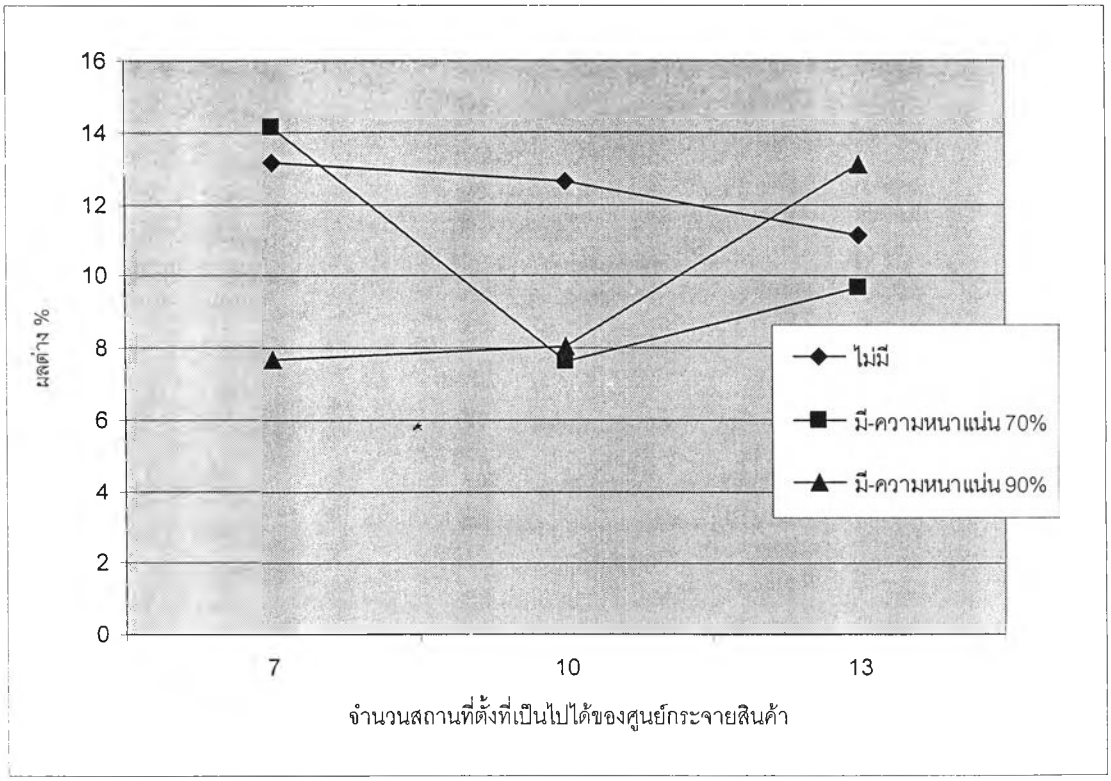
	จำนวนโนดความต้องการ								
	75			100			125		
	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7	10	13	7	10	13	7	10	13
เวลา (วินาที)	2.41	3.22	3.72	3.70	4.43	6.26	4.71	4.20	6.13



รูปที่ 4.10 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

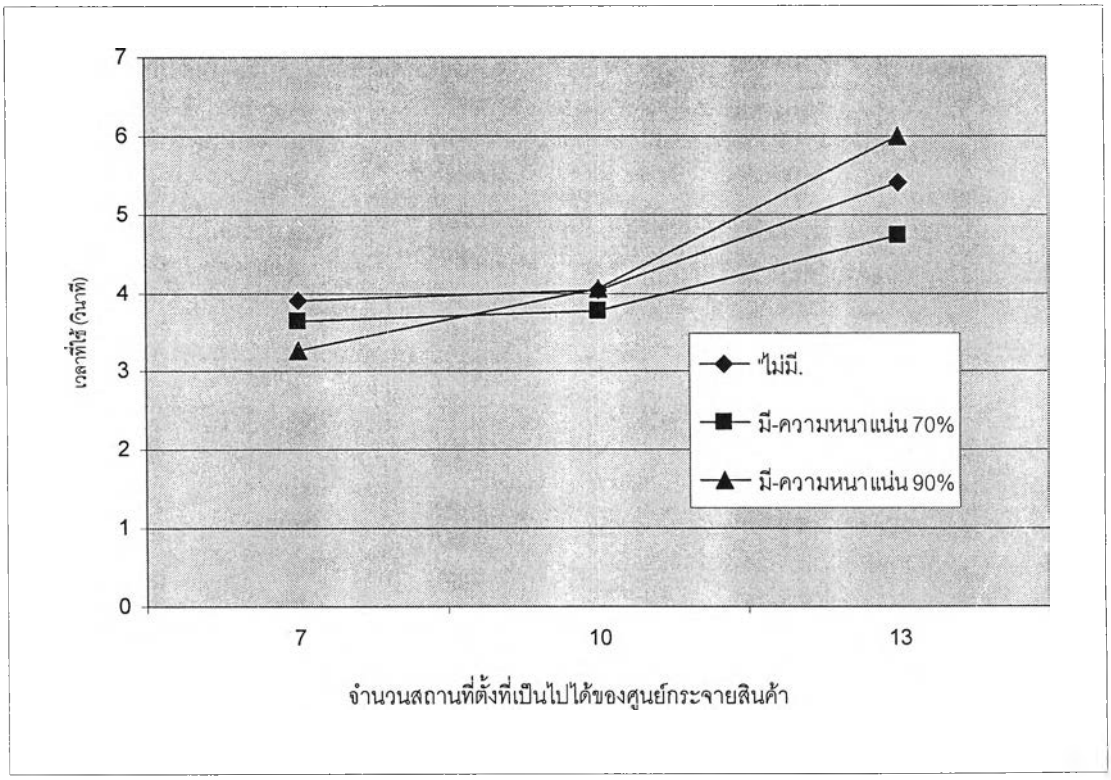
ฮิวริสติก	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี)			1 - 70% (มี ความหนาแน่น 70 %)			1 - 90% (มี ความหนาแน่น 90%)		
	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7	10	13	7	10	13	7	10	13
FLP+VRP	2588.82	2516.67	2551.41	3245.24	2955.63	2942.41	2932.54	2918.27	2939.01
LRP	2248.51	2198.53	2267.72	2786.53	2729.82	2657.93	2707.19	2683.03	2553.59
ผลต่าง(%)	13.15	12.64	11.12	14.13	7.64	9.67	7.68	8.06	13.11



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

ตารางที่ 4.16 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี)			1 - 70% (มี ความหนาแน่น 70 %)			1 - 90% (มี ความหนาแน่น 90%)		
	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7	10	13	7	10	13	7	10	13
เวลา (วินาที)	3.91	4.03	5.40	3.64	3.77	4.72	3.28	4.05	5.99



รูปที่ 4.12 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าและภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

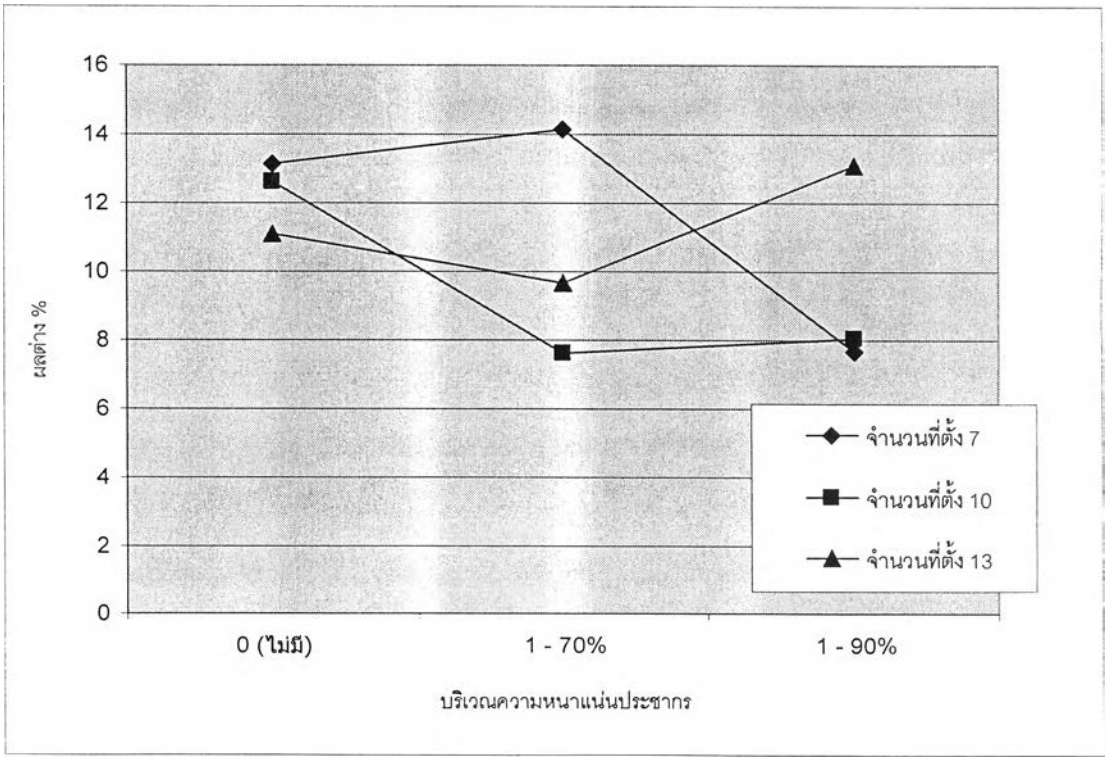
4.5.3 จำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูง

สำหรับปัจจัยนี้จะพิจารณาร่วมกับปัจจัยร้อยละของโนดความต้องการที่อยู่ในบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงไปด้วยในคราวเดียวกัน

เมื่อจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงมีค่าสูงขึ้นคำตอบที่ได้จะมีผลต่างของค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยลดลงเว้นแต่ในกรณีที่จำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้าเท่ากับ 13 แนวโน้มไม่ชัดเจนเช่นเดียวกับกรณีที่จำนวนโนดความต้องการเท่ากับ 100 ซึ่งอาจเป็นผลของอันตรกิริยา สำหรับเวลาในการแก้ปัญหาค่อนข้างคงที่ โดยแสดงผลในตารางที่ 4.17 ถึง 4.20 และรูปที่ 4.13 ถึง 4.16

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

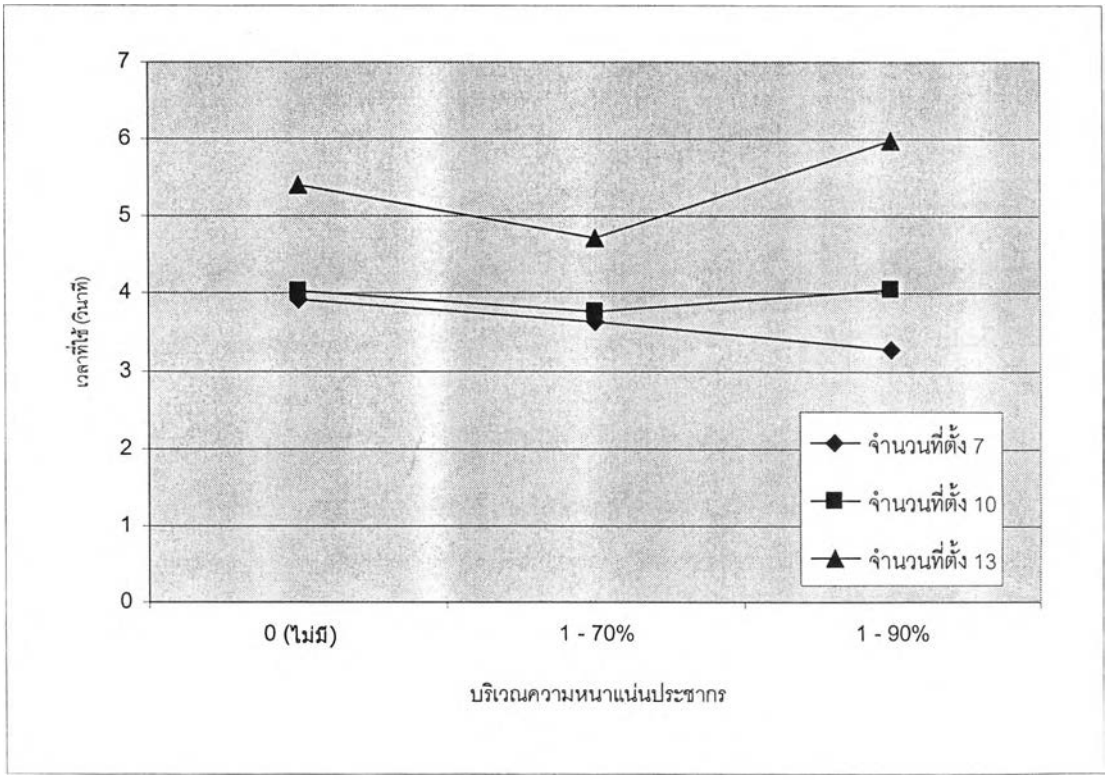
ฮิวริสติก	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7			10			13		
	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%
FLP+VRP	2588.82	3245.24	2932.54	2516.67	2955.63	2918.27	2551.41	2942.41	2939.01
LRP	2248.51	2786.53	2707.19	2198.53	2729.82	2683.03	2267.72	2657.93	2553.59
ผลต่าง(%)	13.15	14.13	7.68	12.64	7.64	8.06	11.12	9.67	13.11



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 4.18 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

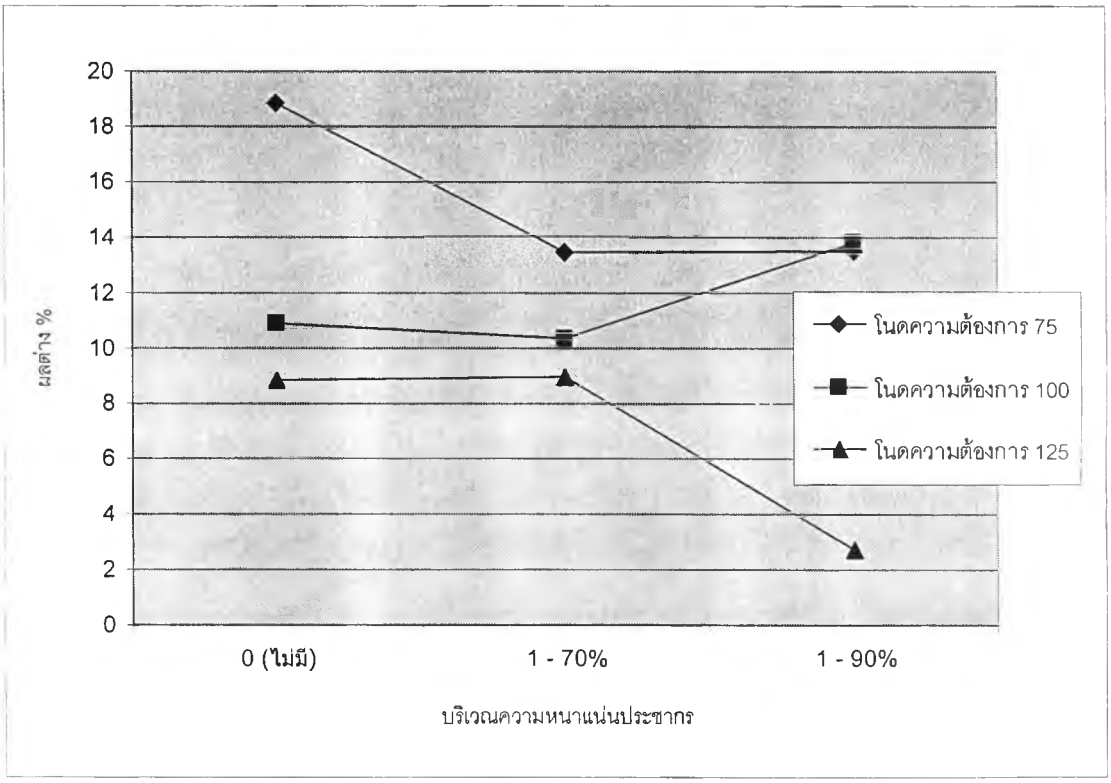
	จำนวนโนดสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้								
	7			10			13		
	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%
เวลา (วินาที)	3.91	3.64	3.28	4.03	3.77	4.05	5.40	4.72	5.99



รูปที่ 4.14 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

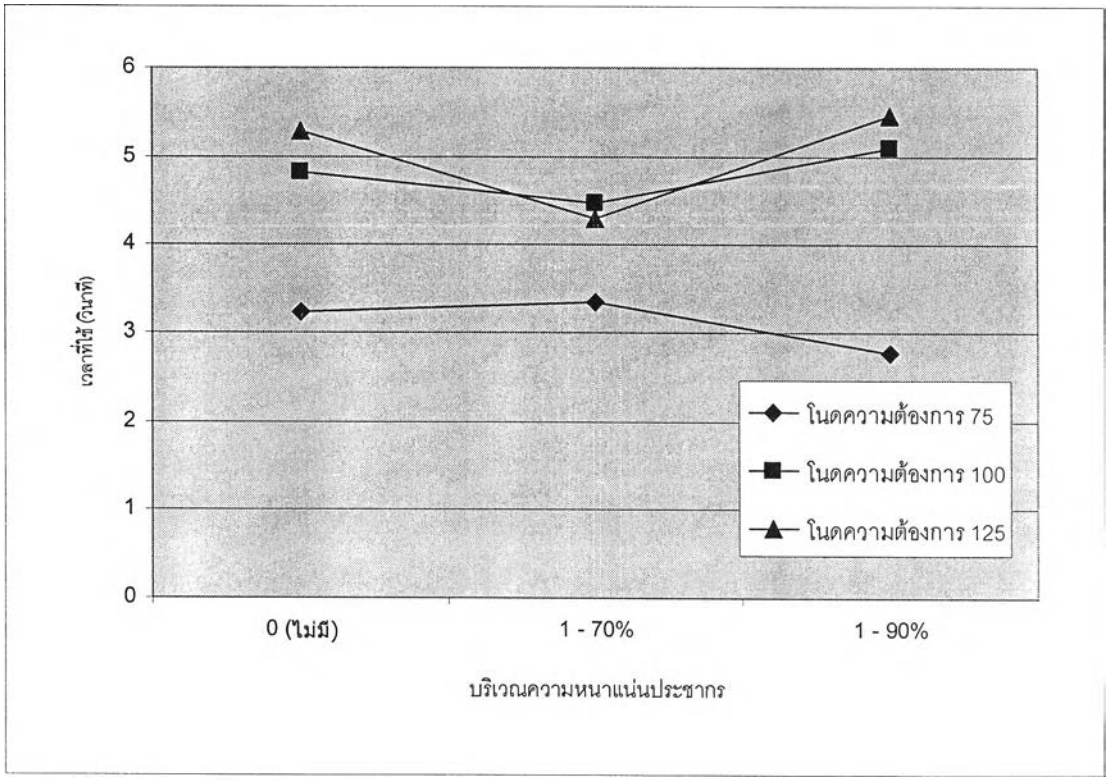
ฮิวริสติก	จำนวนโนดความต้องการ								
	75			100			125		
	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%
FLP+VRP	2119.35	2384.03	2534.20	2569.99	3037.79	3004.83	2967.57	3721.47	3250.79
LRP	1719.62	2063.53	2191.73	2289.49	2723.85	2589.70	2705.65	3386.90	3162.38
ผลต่าง(%)	18.86	13.44	13.51	10.91	10.33	13.82	8.83	8.99	2.72



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

ตารางที่ 4.20 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ

	จำนวนโนดความต้องการ								
	75			100			125		
	บริเวณความหนาแน่นประชากร								
	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%	0 (ไม่มี)	1 - 70%	1 - 90%
เวลา (วินาที)	3.24	3.35	2.76	4.82	4.47	5.10	5.29	4.30	5.45



รูปที่ 4.16 เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาภายใต้ปัจจัยจำนวนของบริเวณที่มีความหนาแน่นประชากรสูงและภายใต้ปัจจัยจำนวนโนดความต้องการ