ฮิวริสติกสำหรับการหาเส้นทางการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน

นายไตรภูมิ ปันกิติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2763-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A HEURISTIC METHODOLOGY TO CREATE PICKUP AND DELIVERY ROUTES WITH GUARANTEED TIME CONSTRAINT

Mr. Tripoom Punkiti

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2763-8

Copyright of Chulalongkorn University

491720

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ฮิวริสติกสำหรับการหาเส้นทางการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน
โดย	นายไตรภูมิ ปันกิติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรุง สินอภิรมย์สราญ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

ไตรภูมิ ปันกิติ : ฮิวริสติกสำหรับการหาเส้นทางการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน. (A HEURISTIC METHODOLOGY TO CREATE PICKUP AND DELIVERY ROUTES WITH GUARANTEED TIME CONSTRAINT) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 181 หน้า. ISBN 974-14-2763-8.

งานวิจัยนี้พิจารณาการหาเส้นทางการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน โดยพิจารณาจากลักษณะการรับและส่งเวชระเบียนภายในโรงพยาบาล ขอบเขตของงานวิจัยนี้ศึกษาภายใต้ระบบที่มีความแน่นอน โดยทราบข้อมูลทั้งหมดก่อนที่จะทำการจัดเส้นทางและข้อมูลเหล่านี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง การแก้ไขปัญหาได้พัฒนาเมตาฮิวริสติกเพื่อสร้างเส้นทางการขนส่งเวชระเบียนให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อใช้จำนวนรถน้อยที่สุด และจุดประสงค์รองคือระยะเดินทางรวมน้อยที่สุด กระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอประกอบไปด้วย 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งคือการสร้างเส้นทางเริ่มต้นโดยประยุกต์ใช้ฮิวริสติกการแทรกของโซโลมอน จากนั้นเข้าสู่ส่วนที่สองซึ่งจะทำการปรับปรุงคำตอบโดยใช้หลักการค้นหาคำตอบโดยวิธีตาบูเสริชและปรับปรุงเส้นทางโดยใช้ PD-Shift Operator PD-Exchange Operator และ Rearrange Operator ส่วนที่ 3 คือการสรุปผลสร้างเป็นเส้นทางการขนส่งพร้อมตารางเวลาการขนส่งสินค้า ผลการทดสอบของฮิวริสติกที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าสำหรับปัญหาทดสอบที่มีจำนวนเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชิ้น 6 ชิ้น 7 ชิ้น 8 ชิ้น 9 ชิ้น 10 ชิ้น และ 11 ชิ้นนั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยคิดเป็น 0.000% 0.000% 0.373% 0.000% 0.533% 0.246% และ 0.000% ผลการทดสอบของฮิวริสติกที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบคำตอบกับงานวิจัยปัญหา PDPTW ของ Li and Lim จำนวน 29 ปัญหา พบว่าฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่เท่ากันหรือดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 23 ปัญหา ให้คำตอบที่ใช้จำนวนรถเท่ากันแต่ระยะทางรวมยังไม่ดีเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 4 ปัญหา และให้คำตอบที่ต้องใช้รถมากกว่าคำตอบที่ดีที่สุด 1 คัน จำนวน 2 ปัญหา

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2549	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4770298021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: PICKUP AND DELIVERY PROBLEM / GUARANTEED TIME CONSTRAINT / TABU SEARCH

TRIPOOM PUNKITI : A METHODOLOGY TO CREATE PICKUP AND DELIVERY ROUTED WITH GUARANTEED TIME CONSTRAINT. THESIS ADVISOR : WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, 181 pp. ISBN 974-14-2763-8.

The research considers a methodology to create pickup and delivery routes with guaranteed time constraint. The case study of this research is the pickup and delivery patient records problem. All requests are known in advance. We develop a metaheuristic to create pickup and delivery routes with guaranteed time constraint. We consider objective functions prioritizing as follows: 1) to minimize the number of used vehicles and 2) to minimize the total distance. The proposed heuristic has 3 stages. The first stage generates the initial solution by adapting from Solomon's insertion heuristic. Then tabu search approach including PD-Shift operator, PD-Exchange operator and Rearrange operator are used to improve the solution in the second stage. The final stage concludes completely pickup and delivery routes including schedule time of transportation. The experimental result comparing with the optimal solution from a mathematical model indicates that for 5-patient records, 6-patient records, 7-patient records, 8-patient records, 9-patient records, 10-patient records and 11-patient records test problems, the proposed heuristic yields an average error of only 0.000%, 0.000%, 0.373%, 0.000%, 0.533%, 0.246% and 0.000%. The experimental result comparing with the benchmarking problems of 29 PDPTW problem instances from Li and Lim indicates that there are 23 out of 29 problems that yield the equal or better solutions, 4 out of problems are not better in term of the total travel distance, but they obtain the same number of used vehicles. Others require exactly one more vehicle.

Department	Industrial Engineering	Student's signature.....
Field of study	Industrial Engineering	Advisor's signature.....
Academic year	2006	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องฮิวริสติกสำหรับการหาเส้นทางการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน ได้จัดทำขึ้นเมื่อในช่วงเวลาตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ.2548 จนถึง ธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้การดูแล ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยความเมตตาตลอดการดำเนินการวิจัย นอกจากนี้ยังส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้วิจัยเขียนบทความเพื่อส่งเข้าร่วมงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ และยังช่วยแก้ไขปรับปรุงจนสำเร็จได้ด้วยดี ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการประชุมวิชาการอย่างมาก สำหรับคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ ปริญญาโทรหัส 47 ที่ร่วมเรียนกันมา ให้ความช่วยเหลือ เป็นห่วงซึ่งกันและกันมาโดยตลอด

สุดท้ายที่สำคัญมากที่สุดขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุน ดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยความรัก ความห่วงใย จนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอบคุณทุกคนครับ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 รูปแบบปัญหาของงานวิจัย 3

1.2.1 จุดประสงค์ของการจัดเส้นทาง 4

1.2.2 ข้อจำกัดของปัญหา 5

1.2.3 ขอบเขตและข้อสมมติ 5

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

1.5 แนวทางการดำเนินงานวิจัย 7

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 7

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.2 การแทนรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยกราฟ 14

2.2.1 การจัดเส้นทางเดินรถสำหรับส่งสินค้า 14

2.2.2 การจัดเส้นทางเดินรถสำหรับรับและส่งสินค้า 15

2.3 ขั้นตอนวิธีของไดสตรา (Dijkstra's Algorithm) 16

2.4 วิธีการหาคำตอบ 20

2.4.1 ขั้นตอนวิธีเหมาะสมที่สุด 20

บทที่ หน้า

2.4.2 ขั้นตอนวิธีฮิวริสติก..... 20
2.5 บทสรุป..... 28

3 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ..... 29
3.1 ลักษณะการรับและส่งเวชระเบียนสำหรับผู้ป่วยนอกภายในโรงพยาบาล..... 29
3.2 รูปแบบปัญหางานวิจัย..... 30
3.3 การเปลี่ยนรูปแบบปัญหางานวิจัย..... 32
3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหางานวิจัย..... 34
3.5 ฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหา..... 38
3.5.1 ตัวแทนคำตอบของปัญหา..... 38
3.5.2 ฮิวริสติก..... 39
3.6 การสร้างเส้นทางการขนส่งโดยละเอียด..... 56

4 การทดสอบฮิวริสติกและการวิเคราะห์ผลงานวิจัย..... 61
4.1 วิธีการทดสอบฮิวริสติก..... 61
4.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับทดสอบฮิวริสติก..... 62
4.2.1 พารามิเตอร์ α..... 62
4.2.2 พารามิเตอร์ β..... 62
4.2.3 พารามิเตอร์ L..... 63
4.2.4 พารามิเตอร์ $MaxIT$..... 63
4.3 ผลการทดสอบฮิวริสติก..... 66
4.3.1 การทดสอบฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 66
4.3.2 การทดสอบฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับงานวิจัยปัญหา PDPTW 77
4.3.3 การทดสอบฮิวริสติกเพื่อดูแนวโน้มของเวลาในการค้นหาคำตอบ..... 82
4.4 การวิเคราะห์ผล..... 83

5 สรุปผลงานวิจัย..... 90
5.1 สรุปผลงานวิจัย..... 90

บทที่ หน้า

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 91
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต..... 92

รายการอ้างอิง..... 93
ภาคผนวก..... 95
ภาคผนวก ก การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างข้อมูลนำเข้าและเส้นทางการขนส่ง..... 96
ภาคผนวก ข การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสม..... 97
ภาคผนวก ค แบบจำลองทางคณิตศาสตร์บน AMPL..... 104
ภาคผนวก ง โปรแกรมสร้างข้อมูลนำเข้าสำหรับทดสอบฮิวริสติก..... 106
ภาคผนวก จ โปรแกรมทดสอบฮิวริสติก..... 114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 181

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของสินค้า 4

ตารางที่ 2.1 วิธีการคำนวณหาระยะทางและทางเดินที่สั้นที่สุดโดยใช้ขั้นตอนวิธีของไดสตราสำหรับกราฟในรูปที่ 2.3 18

ตารางที่ 3.1 ต้นทางและปลายทางของเวชระเบียน 31

ตารางที่ 3.2 ทางเดินที่สั้นที่สุดและระยะทางระหว่าง 2 โหนดใด ๆ ของกราฟ G 32

ตารางที่ 3.3 การคำนวณหาเส้นทางที่ทำให้ระยะทางการขนส่งเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดหลังจากทำการแทรกเวชระเบียนชิ้นที่ 2 ลงในเส้นทางบางส่วนปัจจุบัน 44

ตารางที่ 3.4 เส้นทางที่ดีที่สุดหลังการแทรกเวชระเบียนแต่ละชิ้นลงในเส้นทางบางส่วนและระยะทางการขนส่งที่เพิ่มขึ้นที่น้อยที่สุด 45

ตารางที่ 3.5 การคำนวณค่าประหยัดของปัญหาตัวอย่าง 46

ตารางที่ 3.6 ตารางเวลาการรับส่งเวชระเบียนของปัญหาตัวอย่าง 59

ตารางที่ 4.1 ค่า c สำหรับทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสม 63

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสม 64

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับใช้ค้นหาคำตอบ 65

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชิ้น 67

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 6 ชิ้น 68

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 7 ชิ้น 70

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 8 ชิ้น 71

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 9 ชิ้น 73

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 10 ชิ้น 74

หน้า

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 11 ชิ้น..... 76
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา PDPTW กับคำตอบที่ฮิวริสติกหาได้เมื่อทดสอบกับปัญหา PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นปัญหางานวิจัย..... 81
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอสำหรับปัญหาขนาด 60 ชิ้น ถึง 100 ชิ้น..... 82
ตารางที่ 4.13 ตารางสรุปผลการทดสอบฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 83
ตารางที่ 4.14 ตารางสรุปผลการทดสอบฮิวริสติกที่นำเสนอกับปัญหาขนาดต่าง ๆ..... 88
ตารางที่ ก.1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างข้อมูลนำเข้า..... 96
ตารางที่ ก.2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างเส้นทางการขนส่ง..... 96

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	ตัวอย่างกราฟแทนปัญหาการรับและส่งสินค้าของงานวิจัย	3
รูปที่ 2.1	กราฟแทนปัญหาการส่งสินค้า	15
รูปที่ 2.2	กราฟแทนปัญหาการรับและส่งสินค้า	16
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างกราฟสำหรับหาระยะทางและทางเดินที่สั้นที่สุด	18
รูปที่ 2.4	Algorithm : Local Search	22
รูปที่ 2.5	Algorithm : Simulated Annealing	23
รูปที่ 2.6	Algorithm : Tabu Search	26
รูปที่ 2.7	Algorithm : Genetic Algorithms	27
รูปที่ 3.1	กราฟ G แทนปัญหาการรับและส่งเวชระเบียนให้ส่งทันภายในระยะเวลารับประกัน	31
รูปที่ 3.2	กราฟบริบูรณ์ G'	33
รูปที่ 3.3	กราฟบริบูรณ์ G''	33
รูปที่ 3.4	อาร์เรย์ 2 มิติ แสดงคำตอบของปัญหา	39
รูปที่ 3.5	เส้นทางการขนส่ง	39
รูปที่ 3.6	ฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหา	40
รูปที่ 3.7	เส้นทางเริ่มต้น	42
รูปที่ 3.8	เส้นทางเริ่มต้นสำหรับปัญหาตัวอย่าง	42
รูปที่ 3.9	เส้นทางการขนส่งที่ทดลองสร้างขึ้นใหม่สำหรับขนส่งเวชระเบียนชิ้นที่ r	45
รูปที่ 3.10	เส้นทางบางส่วนหลังการคำนวณรอบที่ 1	47
รูปที่ 3.11	คำตอบเริ่มต้นของปัญหา	47
รูปที่ 3.12	ตัวอย่างของ PD-Shift Operator	48
รูปที่ 3.13	ตัวอย่างของ PD-Exchange Operator	49
รูปที่ 3.14	ตัวอย่างของ Rearrange Operator	49
รูปที่ 3.15	ฟังก์ชัน *LocalSearch*()	50
รูปที่ 3.16	ตัวอย่างตาบูลิสท์	54
รูปที่ 3.17	การค้นหาคำตอบโดยใช้หลักการ Diversification และ Intensification Strategy	56
รูปที่ 3.18	เส้นทางการขนส่งเวชระเบียนสำหรับปัญหาตัวอย่าง	56

หน้า

รูปที่ 3.19 เส้นทางระบุลำดับของหน่วยที่ต้องเดินทางไปพร้อมด้วยลำดับการขนส่งที่เกิดขึ้นแต่ละหน่วย 57
รูปที่ 3.20 เส้นทางการขนส่งเวชระเบียนของปัญหาตัวอย่างโดยละเอียด 58
รูปที่ 3.21 กราฟแสดงเส้นทางการขนส่งเวชระเบียนของรถเข็นคันที่ 1 58
รูปที่ 3.22 กราฟแสดงเส้นทางการขนส่งเวชระเบียนของรถเข็นคันที่ 2 59
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบรูปแบบการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย 77
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบเงื่อนไขเวลาในการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย 78
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการเปลี่ยนโครงสร้างข้อมูลจากปัญหาการรับและส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (PDPTW) เป็นปัญหางานวิจัย 79
รูปที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย 80
รูปที่ 4.5 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีที่เหมาะสมที่สุดและฮิวริสติกที่นำเสนอ 85
รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบคำตอบระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา PDPTW กับคำตอบที่ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาได้ 86
รูปที่ 4.7 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยฮิวริสติกที่นำเสนอ 87
รูปที่ ข.1 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชิ้น 97
รูปที่ ข.2 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 6 ชิ้น 98
รูปที่ ข.3 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 7 ชิ้น 98
รูปที่ ข.4 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 8 ชิ้น 99
รูปที่ ข.5 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 9 ชิ้น 99
รูปที่ ข.6 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 10 ชิ้น 100
รูปที่ ข.7 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 11 ชิ้น 100

หน้า

รูปที่ ข.8 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบ PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นปัญหางานวิจัย..... 101
รูปที่ ข.9 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชิ้น..... 101
รูปที่ ข.10 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 70 ชิ้น..... 102
รูปที่ ข.11 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 80 ชิ้น..... 102
รูปที่ ข.12 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 90 ชิ้น..... 103
รูปที่ ข.13 การทดลองหาค่าของพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 100 ชิ้น..... 103