

## บทที่ 4

### การทดสอบฮิวริสติกและการวิเคราะห์ผลงานวิจัย

การประเมินผลการจัดเส้นทางขนส่งที่ได้จากการหาคำตอบด้วยฮิวริสติกสำหรับปัญหาการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลาที่นำเสนอ จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม นอกจากนี้การวิเคราะห์และประเมินผลงานวิจัยยังทำให้ทราบถึงข้อบกพร่องของฮิวริสติกเพื่อนำไปปรับปรุงต่อไป ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์และประเมินงานวิจัยมีดังนี้

#### 4.1 วิธีการทดสอบฮิวริสติก

เนื่องจากการค้นหาคำตอบด้วยฮิวริสติกนั้น ไม่รับประกันว่าคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกจึงควรเปรียบเทียบกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัญหาเดียวกัน

สำหรับการสร้างปัญหาทดสอบ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับสร้างข้อมูลนำเข้าและสร้างเส้นทางขนส่ง แสดงรายละเอียดดังในภาคผนวก ก

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกนั้น ในขั้นต้นผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยได้ทำการสร้างปัญหาทดสอบจำนวน 7 ขนาด ขนาดละ 15 ปัญหาได้แก่ ปัญหาที่มีเวรระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น 6 ชั้น 7 ชั้น 8 ชั้น 9 ชั้น 10 ชั้น และ 11 ชั้น และทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งทำการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบเหล่านี้อีกครั้งหนึ่งโดยใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอ และทำการเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างวิธีทั้ง 2 วิธี

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น เนื่องจากว่าปัญหงานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาการรับและส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (PDPTW) ต่างกันเพียงเงื่อนไขทางด้านเวลาที่ใช้ในการรับและส่งสินค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาทดสอบสำหรับปัญหาการรับและส่งสินค้าภายในกรอบเวลาของ Li and Lim (2003) มา

ดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบปัญหาของงานวิจัยเพื่อทดสอบฮิวริสติกจำนวน 29 ปัญหา ซึ่งเป็นปัญหาทดสอบที่มีขนาด 100 โหนด (สินค้าที่ต้องทำการขนส่ง 50 รายการ)

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างปัญหาทดสอบไว้ 5 ขนาด ขนาดละ 2 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชิ้น 70 ชิ้น 80 ชิ้น 90 ชิ้น และ 100 ชิ้น เพื่อทดสอบฮิวริสติก โดยดูแนวโน้มของเวลาที่ฮิวริสติกใช้ในการหาคำตอบเมื่อเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่งเพิ่มมากขึ้น

#### 4.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับทดสอบฮิวริสติก

ฮิวริสติกที่นำเสนอมีพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 4 ตัว ได้แก่พารามิเตอร์  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $L$  และ  $MaxIT$  ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวมีผลอย่างมากต่อเวลาและทิศทางในการค้นหาคำตอบทั้งในด้านของ Intensification Strategy และ Diversification Strategy ถ้าหากพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัว ถูกกำหนดให้ มีค่ามากย่อมส่งผลให้การค้นหาคำตอบดีขึ้น แต่จะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบมากขึ้น

##### 4.2.1 พารามิเตอร์ $\alpha$

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่งทั้งสิ้น  $\bar{r}$  ชิ้น ในการใช้ PD-Shift Operator แต่ละครั้งเพื่อสร้างคำตอบข้างเคียงและทำ Local Search นั้น จะทำการสุ่มทั้งสิ้น  $\lfloor \alpha \bar{r} \rfloor$  รอบ ถ้าหากกำหนดให้พารามิเตอร์  $\alpha$  มีค่าน้อย จะส่งผลให้หาค้นหาคำตอบได้ไม่ทั่วถึงนัก แต่ถ้ากำหนดให้พารามิเตอร์  $\alpha$  มีค่ามาก จะส่งผลให้ใช้เวลาในการทำ PD-Shift Operator นานเช่นกัน ฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ผู้วิจัยกำหนดให้  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 0.40

##### 4.2.2 พารามิเตอร์ $\beta$

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่งทั้งสิ้น  $\bar{r}$  ชิ้น ในการใช้ PD-Exchange Operator แต่ละครั้งเพื่อสร้างคำตอบข้างเคียงและทำ Local Search นั้น จะทำการสุ่มทั้งสิ้น  $\lfloor \beta \bar{r} \rfloor$  รอบ ถ้าหากกำหนดให้พารามิเตอร์  $\beta$  มีค่าน้อย จะส่งผลให้หาค้นหาคำตอบได้ไม่ทั่วถึงนัก แต่ถ้ากำหนดให้พารามิเตอร์  $\beta$  มีค่ามาก จะส่งผลให้ใช้เวลาในการทำ PD-Exchange Operator นานเช่นกัน ฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ผู้วิจัยกำหนดให้  $\beta$  มีค่าเท่ากับ 0.40

#### 4.2.3 พารามิเตอร์ $L$

พารามิเตอร์  $L$  เป็นความยาวของตาบูลิสต์ ถ้าหาก  $L$  มีค่าเล็กเกินไปจะส่งผลให้ไม่สามารถค้นหาคำตอบได้ทั่วทั้ง Solution space แต่ถ้าหาก  $L$  มีค่าใหญ่เกินไป จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมีค่าสูงขึ้น ฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ผู้วิจัยจึงใช้พารามิเตอร์  $L$  มีค่าเท่ากับ 30

#### 4.2.4 พารามิเตอร์ $MaxIT$

พารามิเตอร์  $MaxIT$  คือจำนวนรอบสูงสุดที่ใช้สำหรับค้นหาคำตอบ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่า  $MaxIT$  ที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอจะหยุดค้นหาคำตอบก็ต่อเมื่อไม่มีการปรับปรุงคำตอบที่ดีที่สุด  $S_b$  เป็นจำนวน  $c$  ครั้งติดต่อกันดังนี้

กำหนดให้  $it = 1, 2, 3, \dots$

สำหรับค่า  $it$  ที่ทำให้

$$\sum_{i=1}^c |Cost(S_b^{(it+i-1)}) - Cost(S_b^{(it+i)})| \leq \varepsilon$$

โดยที่  $\varepsilon$  มีค่าที่เล็กมาก ๆ และไม่เป็นลบ  $Cost(S_b^{(it)})$  คือค่าขนส่งรวมของคำตอบ  $S_b$  ในรอบการคำนวณที่  $it$  จะได้ว่าพารามิเตอร์  $MaxIT$  ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการหยุดหาคำตอบมีค่าเท่ากับ  $it+c$

ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์  $MaxIT$  ที่เหมาะสมนั้น ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดค่า  $c$  ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า  $c$  สำหรับทดสอบหาค่าพารามิเตอร์  $MaxIT$  ที่เหมาะสม

ปัญหาทดสอบ	$c$
ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ถึง 11 ชั้น	20
ปัญหาทดสอบ PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นงานวิจัย (สินค้าที่ต้องทำการขนส่งจำนวน 50 รายการ)	80
ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น ถึง 100 ชั้น	80

จากผลการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัญหาทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ข ผู้วิจัยจะกำหนดให้ค่า *MaxIT* ที่สูงสุดของปัญหาทดสอบแต่ละขนาดเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทดสอบขนาดนั้น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสม

ปัญหาทดสอบ	<i>MaxIT</i>
<b>ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ถึง 11 ชั้น</b>	
5R	21
6R	25
7R	38
8R	26
9R	31
10R	29
11R	41
<b>ปัญหาทดสอบ PDPTW ที่ถูกตัดแปลงเป็นงานวิจัย</b>	
50R	371
<b>ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น ถึง 100 ชั้น</b>	
60R	218
70R	150
80R	170
90R	237
100R	147

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการทดลองหาค่า *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาแต่ละขนาด สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ถึง 11 ชั้น พบว่าจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่ทำให้คำตอบที่ดีที่สุดไม่มีการปรับปรุงเป็นจำนวน 20 ครั้งติดต่อกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 21 ถึง 41 ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ค่า *MaxIT* เท่ากับ 50 เป็นจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมและครอบคลุมสำหรับปัญหาทดสอบขนาด 5 ชั้น ถึง 11 ชั้น

สำหรับปัญหาทดสอบ PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นงานวิจัยนั้น พบว่าจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่ทำให้คำตอบที่ดีที่สุดไม่มีการปรับปรุงเป็นจำนวน 80 ครั้งติดต่อกัน มีค่าอยู่ที่ 371 รอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ค่า *MaxIT* เท่ากับ 400 เป็นจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมและครอบคลุมสำหรับปัญหาทดสอบทดสอบประเภทนี้

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น ถึง 100 ชั้น พบว่าจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่ทำให้คำตอบที่ดีที่สุดไม่มีการปรับปรุงเป็นจำนวน 80 ครั้งติดต่อกัน มีค่าอยู่ระหว่าง 147 ถึง 237 ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ค่า *MaxIT* เท่ากับ 250 เป็นจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมและครอบคลุมสำหรับปัญหาทดสอบขนาด 60 ชั้น ถึง 100 ชั้น

ค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่ผู้วิจัยจะนำไปใช้สำหรับทดสอบฮิวริสติกกับปัญหาทดสอบขนาดต่าง ๆ สรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ *MaxIT* ที่เหมาะสมสำหรับใช้ค้นหาคำตอบ

ปัญหาทดสอบ	<i>MaxIT</i>
ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ถึง 11 ชั้น	50
ปัญหาทดสอบ PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นงานวิจัย (สินค้าที่ต้องทำการขนส่งจำนวน 50 รายการ)	400
ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น ถึง 100 ชั้น	250

### 4.3 ผลการทดสอบฮิวริสติก

#### 4.3.1 การทดสอบฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างปัญหาทดสอบจำนวน 7 ขนาด ขนาดละ 15 ปัญหาได้แก่ ปัญหาที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น 6 ชั้น 7 ชั้น 8 ชั้น 9 ชั้น 10 ชั้น และ 11 ชั้น ปัญหาทดสอบแต่ละปัญหาประกอบไปด้วยหน่วยเวาระเบียนและหน่วยตรวจโรค จากนั้นทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 แล้วหาคำตอบโดยใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอด้วยพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

##### 4.3.1.1 ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ประกอบไปด้วยหน่วยเวาระเบียนและหน่วยตรวจโรค 3 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 267 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 0.589 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบโดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น

ปัญหาทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวนรถเซ็น	ระยะทางรวม	เวลา (วินาที)	จำนวนรถเซ็น	ระยะทางรวม	เวลา (วินาที)	จำนวนรถเซ็น	ระยะทางรวม
5R-1	1	89.34	0.44	1	89.34	0.11	0	0
5R-2	1	136.91	0.31	1	136.91	0.11	0	0
5R-3	1	79.86	0.22	1	79.86	0.11	0	0
5R-4	2	104.26	0.83	2	104.26	0.38	0	0
5R-5	2	91.91	2.19	2	91.91	0.38	0	0
5R-6	1	119.82	0.27	1	119.82	0.11	0	0
5R-7	1	73.51	0.25	1	73.51	0.11	0	0
5R-8	1	74.08	0.08	1	74.08	0.11	0	0
5R-9	1	51.96	0.20	1	51.96	0.11	0	0
5R-10	1	82.15	0.19	1	82.15	0.11	0	0
5R-11	1	42.56	0.17	1	42.56	0.11	0	0
5R-12	1	75.28	0.09	1	75.28	0.11	0	0
5R-13	1	71.06	2.88	1	71.06	0.11	0	0
5R-14	1	98.11	0.52	1	98.11	0.11	0	0
5R-15	1	70.86	0.19	1	70.86	0.11	0	0
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>1.133</b>	<b>84.111</b>	<b>0.589</b>	<b>1.133</b>	<b>84.111</b>	<b>0.146</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอและระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 15 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 0.146 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.589 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 4 เท่า

#### 4.3.1.2 ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 6 ชั้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 6 ชั้น ประกอบไปด้วย หน่วยเวชระเบียนและหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ ปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 367 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 0.850 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบ โดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 6 ชั้น

ปัญหา ทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม
6R-1	2	133.15	3.44	2	133.15	0.38	0	0
6R-2	1	124.32	0.61	1	124.32	0.11	0	0
6R-3	1	132.71	0.33	1	132.71	0.11	0	0
6R-4	2	139.44	0.56	2	139.44	0.38	0	0
6R-5	1	140.25	0.53	1	140.25	0.05	0	0
6R-6	1	124.61	0.66	1	124.61	0.11	0	0
6R-7	1	110.31	0.19	1	110.31	0.11	0	0
6R-8	1	77.77	0.28	1	77.77	0.11	0	0
6R-9	1	115.43	0.72	1	115.43	0.11	0	0
6R-10	1	106.55	0.44	1	106.55	0.11	0	0
6R-11	1	101.86	0.44	1	101.86	0.05	0	0
6R-12	1	89.03	2.70	1	89.03	0.11	0	0
6R-13	1	119.80	1.11	1	119.80	0.11	0	0
6R-14	1	148.03	0.38	1	148.03	0.11	0	0
6R-15	2	155.94	0.36	2	155.94	0.38	0	0
เฉลี่ย	1.200	121.280	0.850	1.200	121.280	0.156	0.000	0.000



จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอและระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 15 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 0.156 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.850 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 5 เท่า

#### 4.3.1.3 ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 7 ชั้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 7 ชั้น ประกอบไปด้วยหน่วยเวาระเบียบและหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 483 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 7.751 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบโดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 7 ชั้น

ปัญหาทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวนรถเข็น	ระยะทางรวม	เวลา (วินาที)	จำนวนรถเข็น	ระยะทางรวม	เวลา (วินาที)	จำนวนรถเข็น	ระยะทางรวม
7R-1	2	154.78	12.69	2	154.78	0.38	0	0
7R-2	1	128.09	2.52	1	128.09	0.11	0	0
7R-3	1	167.07	1.03	1	167.07	0.16	0	0
7R-4	2	147.62	10.42	2	147.62	0.38	0	0
7R-5	2	124.88	1.61	2	132.08	0.38	0	7.20
7R-6	1	130.10	0.92	1	130.10	0.11	0	0
7R-7	1	111.05	2.80	1	111.05	0.16	0	0
7R-8	1	84.83	7.47	1	84.83	0.11	0	0
7R-9	1	118.32	3.11	1	118.32	0.11	0	0
7R-10	1	113.12	1.95	1	113.12	0.16	0	0
7R-11	1	105.74	1.20	1	105.74	0.11	0	0
7R-12	1	89.03	22.91	1	89.03	0.11	0	0
7R-13	2	137.75	31.41	2	137.75	0.38	0	0
7R-14	2	155.59	11.63	2	155.59	0.38	0	0
7R-15	2	160.24	4.59	2	160.24	0.38	0	0
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.400</b>	<b>128.547</b>	<b>7.751</b>	<b>1.400</b>	<b>129.027</b>	<b>0.228</b>	<b>0.000</b>	<b>0.480</b>

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอและระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่ามีความแตกต่างกัน 0.373 % โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด 14 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 0.228 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 7.751 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 34 เท่า

#### 4.3.1.4 ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 8 ชั้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 8 ชั้น ประกอบไปด้วย หน่วยเวาระเบียงและหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ ปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 615 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 75.213 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบ โดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 8 ชั้น

ปัญหา ทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวน รถเซ็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเซ็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเซ็น	ระยะทาง รวม
8R-1	2	163.99	47.20	2	163.99	0.38	0	0
8R-2	1	139.80	7.31	1	139.80	0.16	0	0
8R-3	2	161.97	56.45	2	161.97	0.49	0	0
8R-4	2	174.01	204.88	2	174.01	0.38	0	0
8R-5	2	158.94	30.78	2	158.94	0.38	0	0
8R-6	1	130.33	13.00	1	130.33	0.11	0	0
8R-7	1	117.10	44.36	1	117.10	0.16	0	0
8R-8	1	84.83	75.03	1	84.83	0.11	0	0
8R-9	1	128.30	56.55	1	128.30	0.16	0	0
8R-10	2	124.06	97.48	2	124.06	0.38	0	0
8R-11	2	119.11	40.94	2	119.11	0.38	0	0
8R-12	1	97.03	75.56	1	97.03	0.16	0	0
8R-13	2	140.91	293.31	2	140.91	0.44	0	0
8R-14	2	156.71	57.70	2	156.71	0.44	0	0
8R-15	2	161.02	27.64	2	161.02	0.38	0	0
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.600</b>	<b>137.207</b>	<b>75.213</b>	<b>1.600</b>	<b>137.207</b>	<b>0.301</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 15 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 0.301 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 75.213 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 250 เท่า

#### 4.3.1.5 ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 9 ชิ้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 9 ชิ้น ประกอบไปด้วยหน่วยเวาระเบียนและหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 763 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 1185.581 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบโดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด  
สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 9 ชิ้น

ปัญหา ทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม
9R-1	2	166.06	647.53	2	166.06	0.49	0	0
9R-2	1	156.33	48.91	1	156.33	0.16	0	0
9R-3	2	175.52	894.94	2	183.60	0.44	0	8.08
9R-4	2	174.29	3375.45	2	174.29	0.44	0	0
9R-5	2	162.14	247.53	2	162.14	0.49	0	0
9R-6	2	154.78	722.78	2	154.78	0.88	0	0
9R-7	1	130.24	476.31	1	130.24	0.11	0	0
9R-8	2	111.94	7644.22	2	111.94	1.15	0	0
9R-9	1	148.56	388.92	1	148.56	0.16	0	0
9R-10	2	131.44	315.67	2	131.44	0.77	0	0
9R-11	2	119.11	324.64	2	119.11	0.49	0	0
9R-12	1	97.51	79.38	1	97.51	0.16	0	0
9R-13	2	140.93	2334.44	2	140.93	0.66	0	0
9R-14	2	169.09	139.52	2	172.75	0.49	0	3.66
9R-15	2	164.85	143.48	2	164.85	0.60	0	0
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.733</b>	<b>146.853</b>	<b>1185.581</b>	<b>1.733</b>	<b>147.635</b>	<b>0.500</b>	<b>0.000</b>	<b>0.783</b>

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่ามีค่าความผิดพลาดคิดเป็น 0.533 % โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด 13 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 0.500 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 1185.581 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 2370 เท่า

#### 4.3.1.6 ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 10 ชั้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 10 ชั้น ประกอบไปด้วย หน่วยเวชระเบียนและหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ ปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 927 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 3.5 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบโดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 10 ชั้น

ปัญหาทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวนรถเข็น	ระยะทางรวม	เวลา (วินาที)	จำนวนรถเข็น	ระยะทางรวม	เวลา (วินาที)	จำนวนรถเข็น	ระยะทางรวม
10R-1	2	173.38	16785.40	2	173.38	0.93	0	0
10R-2	2	178.95	2896.59	2	178.95	1.21	0	0
10R-3	2	176.04	5252.23	2	176.04	1.21	0	0
10R-4	2	188.78	17306.50	2	188.78	1.04	0	0
10R-5	2	175.95	5724.28	2	175.95	1.04	0	0
10R-6	2	165.78	11452.20	2	165.78	1.59	0	0
10R-7	1	143.18	695.61	1	143.18	0.16	0	0
10R-8	2	135.98	110509.00	2	135.98	1.87	0	0
10R-9	2	148.46	7639.98	2	148.46	1.59	0	0
10R-10	2	140.18	797.77	2	140.18	1.76	0	0
10R-11	2	124.66	1462.56	2	124.66	1.10	0	0
10R-12	1	97.51	4666.62	1	97.51	0.16	0	0
10R-13	2	147.23	3095.00	2	147.23	1.15	0	0
10R-14	2	171.08	106.19	2	176.86	0.93	0	5.78
10R-15	2	177.59	809.36	2	177.59	0.93	0	0
เฉลี่ย	1.867	156.317	12613.286	1.867	156.702	1.111	0.000	0.385

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่ามีค่าความผิดพลาดคิดเป็น 0.246 % โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด 14 ปัญหา โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดทั้ง 15 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 1.111 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 12613.286 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 11353 เท่า

#### 4.3.1.7 ปัญหาทดสอบที่มีเวรระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 11 ชิ้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวรระเบียบที่ต้องทำการขนส่ง 11 ชิ้น ประกอบไปด้วยหน่วยเวรระเบียบและหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาทดสอบโดยทำการแปลงปัญหาทดสอบให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่ามีจำนวนตัวแปรทั้งสิ้น 1107 ตัวแปร ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 64043.719 วินาทีโดยเฉลี่ย หรือประมาณ 18 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบโดยใช้ฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด จะทำการเปรียบเทียบทั้งจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางรวม และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จากการทดสอบทั้ง 15 ปัญหา ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่เหมาะสมที่สุด  
สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 11 ชิ้น

ปัญหา ทดสอบ	คำตอบที่เหมาะสมที่สุด			คำตอบโดยวิธีฮิวริสติก			ค่าความผิดพลาด	
	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม	เวลา (วินาที)	จำนวน รถเข็น	ระยะทาง รวม
11R-1	2	174.94	36448.30	2	174.94	1.32	0	0
11R-2	2	186.65	33179.50	2	186.65	1.54	0	0
11R-3	2	185.50	65307.00	2	185.50	1.65	0	0
11R-4	2	199.22	141033.00	2	199.22	1.43	0	0
11R-5	2	190.82	85716.20	2	190.82	1.81	0	0
11R-6	2	176.78	106497.00	2	176.78	2.14	0	0
11R-7	1	156.99	1702.12	1	156.99	0.22	0	0
11R-8	2	136.27	375202.00	2	136.27	1.87	0	0
11R-9	2	176.32	32319.00	2	176.32	2.25	0	0
11R-10	2	149.19	4095.45	2	149.19	2.86	0	0
11R-11	2	124.66	491.75	2	124.66	1.42	0	0
11R-12	1	103.05	6192.45	1	103.05	0.11	0	0
11R-13	2	147.23	56254.50	2	147.23	1.65	0	0
11R-14	2	180.85	3855.02	2	180.85	1.48	0	0
11R-15	2	177.59	12362.50	2	177.59	1.15	0	0
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.867</b>	<b>164.404</b>	<b>64043.719</b>	<b>1.867</b>	<b>164.404</b>	<b>1.527</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>

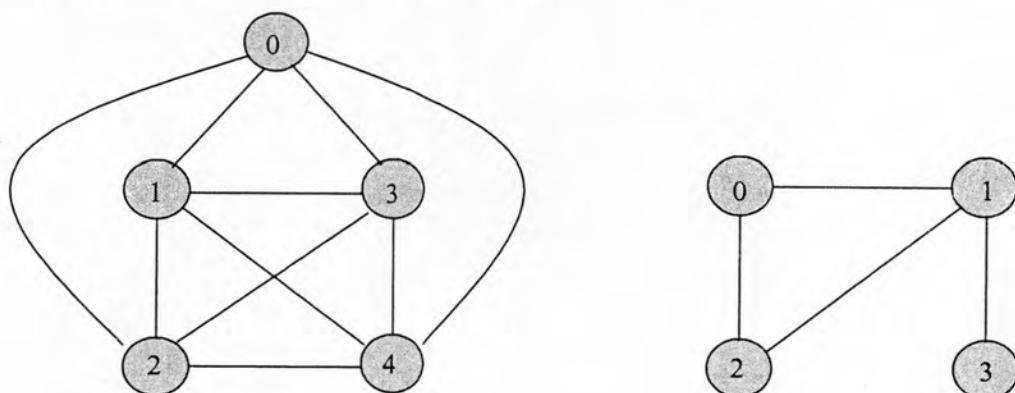
จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอและระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาทดสอบทั้ง 15 ปัญหา พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด 15 ปัญหา เมื่อพิจารณาความแตกต่างด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอคือ 1.527 วินาที ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 64043.719 วินาที ซึ่งฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าถึงประมาณ 41940 เท่า



#### 4.3.2 การทดสอบอิวิริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับงานวิจัยปัญหา PDPTW

ปัญหางานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาการรับและส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (PDPTW) โดยมีข้อแตกต่างกัน 2 ประการคือ

ประการที่หนึ่งคือรูปแบบการรับและส่งสินค้า เมื่อพิจารณาที่ปัญหาดั้งเดิม (Original Problem) สำหรับปัญหา PDPTW โหนดที่ใช้ในการรับและส่งสินค้าจะอยู่ต่างที่กันทั้งหมด ถ้ามีสินค้าที่ต้องทำการขนส่ง 2 รายการ จะมีโหนดที่เป็นต้นทางสำหรับรับสินค้า 2 โหนด และโหนดที่เป็นปลายทางสำหรับส่งสินค้า 2 โหนด สินค้าแต่ละรายการจะมีคู่ของโหนดที่เป็นต้นทางและปลายทางในการขนส่งสินค้า ซึ่งจะได้ว่าจำนวนโหนดที่ใช้ในการรับและส่งสินค้าขึ้นอยู่กับจำนวนสินค้า ในขณะที่ปัญหางานวิจัยนั้นโหนดหนึ่ง ๆ สามารถเป็นโหนดสำหรับรับหรือส่งสินค้าชิ้นใด ๆ ก็ได้ โดยที่จำนวนโหนดที่ใช้ในการรับและส่งสินค้าไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนสินค้า แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



ก) ปัญหา PDPTW :  
จำนวน โหนดขึ้นกับจำนวนสินค้า

ข) ปัญหางานวิจัย :  
จำนวนโหนดไม่ขึ้นกับจำนวนสินค้า

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบรูปแบบการรับและส่งสินค้า  
ของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย

จากรูปที่ 4.1 ก) แสดงตัวอย่างกราฟแทนปัญหา PDPTW ซึ่งประกอบไปด้วยโหนดจำนวน 5 โหนด โหนด 0 คือที่จอดรถ โหนด 1 และ 2 คือโหนดสำหรับรับสินค้ารายการที่ 1 และ 2 โหนด 3 และ โหนด 4 คือโหนดสำหรับส่งสินค้ารายการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

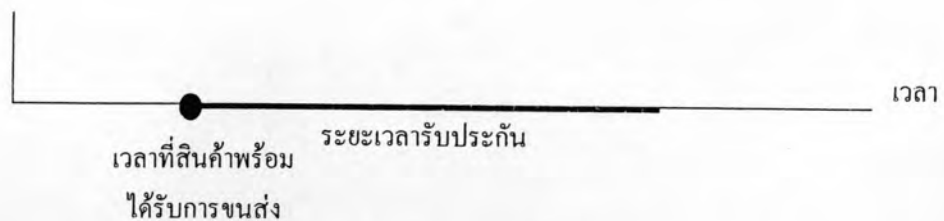
สำหรับรูปที่ 4.1 ข) แสดงตัวอย่างกราฟแทนปัญหางานวิจัย ประกอบไปด้วย 4 โหนด แต่ละโหนดสามารถเป็นได้ทั้งโหนดรับและส่งสินค้าสำหรับรายการใด ๆ

เมื่อพิจารณารูปแบบการรับและส่งสินค้าแล้ว จะเห็นว่าปัญหางานวิจัยอยู่ในรูปแบบทั่วไปมากกว่าของปัญหา PDPTW เนื่องจากโหนดหนึ่งสามารถใช้เป็นทั้งโหนดรับและส่งสินค้ารายการใด ๆ ก็ได้ จำนวนที่รายการก็ได้ ถ้าเรากำหนดให้โหนดของปัญหางานวิจัยใช้เป็นโหนดรับหรือส่งสินค้าเพียงอย่างเดียว และรับหรือส่งสินค้าเพียงรายการเดียว ก็จะทำให้รูปแบบการรับและส่งสินค้าของงานวิจัยมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปแบบการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ารูปแบบการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW เป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหางานวิจัย

ประการที่สองคือเงื่อนไขทางด้านเวลาที่ใช้ในการรับและส่งสินค้า ปัญหา PDPTW จะมีการกำหนดช่วงเวลาสำหรับรับและส่งสินค้าไว้ ซึ่งอาจทำให้มีช่องว่างระหว่างช่วงเวลารับและส่งสินค้าได้ ในขณะที่ปัญหางานวิจัยจะกำหนดเวลาที่สินค้าพร้อมได้รับการขนส่งและระยะเวลาที่รับประกันในการส่งสินค้า ดังรูปที่ 4.2



ก) เงื่อนไขเวลาในการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW



ข) เงื่อนไขเวลาในการรับและส่งสินค้าของปัญหางานวิจัย

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบเงื่อนไขเวลาในการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขทางด้านเวลาที่ใช้ในการรับและส่งสินค้าระหว่างทั้งสองปัญหา จะเห็นว่ามิลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่เงื่อนไขทางด้านเวลาของปัญหา PDPTW จะมีข้อจำกัดมากกว่าเงื่อนไขทางด้านเวลาของปัญหางานวิจัย

จากความคล้ายคลึงกันของทั้งสองปัญหา ผู้วิจัยจึงนำปัญหาทดสอบของปัญหา PDPTW มาดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบปัญหางานวิจัยโดยทำการขยายเงื่อนไขทางด้านเวลาที่ใช้ในการรับและส่งสินค้า แล้วจึงนำไปทดสอบอิวิริสติก

ผู้วิจัยได้นำปัญหาทดสอบสำหรับปัญหา PDPTW ของ Li and Lim (2003) จำนวน 29 ปัญหา มาดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบปัญหางานวิจัย ปัญหาทดสอบสำหรับปัญหา PDPTW ของ Li and Lim นั้นเป็นปัญหาทดสอบขนาด 100 โหนด (สินค้าที่ต้องทำการขนส่ง 50 รายการ) โครงสร้างข้อมูลของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย พร้อมทั้งวิธีดัดแปลงปัญหาทดสอบของปัญหา PDPTW ไปเป็นปัญหางานวิจัย เป็นดังรูปที่ 4.3

PDPTW	รับสินค้า (Pickup)				ส่งสินค้า (Delivery)				โหนด
	โหนด	เวลาให้บริการ	เวลาที่เร็วที่สุด	เวลาที่ช้าที่สุด	โหนด	เวลาให้บริการ	เวลาที่เร็วที่สุด	เวลาที่ช้าที่สุด	
	5	30	25	50	7	30	90	125	

$125 - 25 = 100$							
ปัญหางานวิจัย	รับสินค้า (Pickup)			ส่งสินค้า (Delivery)			โหนด
	โหนด	เวลาให้บริการ	เวลาที่พร้อมได้รับการขนส่ง	โหนด	เวลาให้บริการ	ระยะเวลาที่รับประกัน	
	5	30	25	7	30	100	

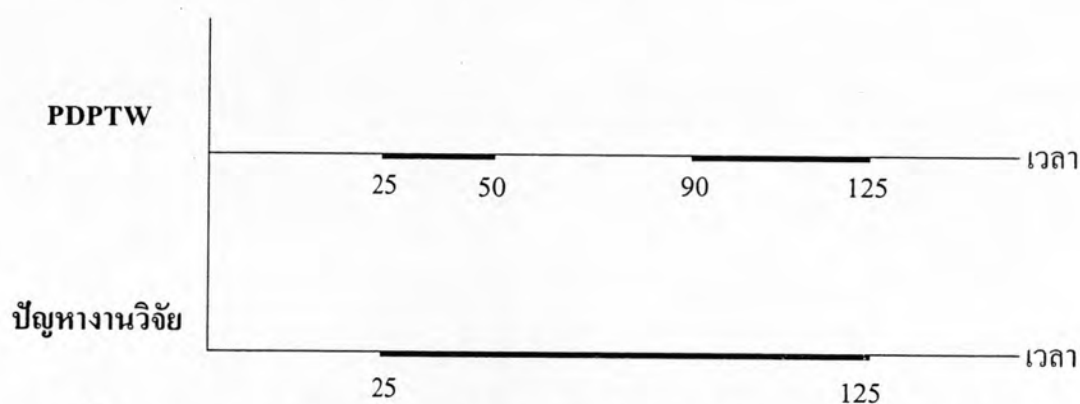
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการเปลี่ยนโครงสร้างข้อมูลจากปัญหาการรับและส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (PDPTW) เป็นปัญหางานวิจัย

จากรูปที่ 4.3 เป็นตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนโครงสร้างข้อมูลปัญหาทดสอบสำหรับปัญหา PDPTW เป็นปัญหาทดสอบสำหรับปัญหางานวิจัย จากปัญหา PDPTW สินค้าจะต้องถูกรับที่โหนด 5 ภายในช่วงเวลานาทีที่ 25 ถึงนาทีกี่ 50 และจะต้องนำไปส่งที่โหนด 7 ภายในช่วงเวลานาทีที่ 90 ถึงนาทีกี่ 125 จากลักษณะโครงสร้างข้อมูลของปัญหา PDPTW นี้ ผู้วิจัย

ได้นำมาทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขทางด้านเวลาให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับปัญหางานวิจัย โดยกำหนดให้

- 1) *เวลาพร้อมได้รับการขนส่ง* (Ready Time) คือเวลาเริ่มต้นที่เร็วที่สุดที่สามารถรับสินค้าได้ของปัญหา PDPTW
- 2) *ระยะเวลารับประกัน* (Guaranteed Time) คือเวลาช้าที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ลบกับเวลาเริ่มต้นที่เร็วที่สุดที่สามารถรับสินค้าได้ของปัญหา PDPTW

สามารถแสดงช่วงเวลาการรับและส่งสินค้าได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาการรับและส่งสินค้าของปัญหา PDPTW และปัญหางานวิจัย

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าหลังจากแปลงปัญหา PDPTW เป็นปัญหางานวิจัยแล้ว เวลาที่สินค้าพร้อมได้รับการขนส่งคือเวลาที่ 25 โดยมีระยะเวลารับประกันคือ 100 นาที ซึ่งมีความหมายว่าสามารถรับและส่งสินค้าได้ในช่วงเวลานาทีที่ 25 ถึงนาทีที่ 125 นั้นหมายถึงรวมถึงสามารถรับและส่งสินค้าภายในช่วงเวลานาทีที่ 50 ถึงนาทีที่ 90 ได้ด้วย ในขณะที่ปัญหา PDPTW จะต้องรับสินค้าในช่วงเวลานาทีที่ 25 ถึงนาทีที่ 50 และส่งสินค้าในช่วงเวลานาทีที่ 90 ถึงนาทีที่ 125 เท่านั้น

โดยการแปลงปัญหาเช่นนี้ จะทำให้ช่วงเวลาการรับและส่งสินค้าของปัญหางานวิจัยมีเงื่อนไขทางด้านเวลาคลายกว่าปัญหา PDPTW ดังนั้นหากนำฮิวริสติกมาทดสอบกับปัญหาที่ดัดแปลงแล้วนี้ ฮิวริสติกควรหาคำตอบได้เท่ากันหรือดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา PDPTW ผู้วิจัยจึงใช้หลักการนี้ในการทดสอบฮิวริสติกที่นำเสนอในอีกทางหนึ่ง ผลการทดสอบฮิวริสติกแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา PDPTW กับคำตอบที่  
อีวิริสติกหาได้เมื่อทดสอบกับปัญหา PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นปัญหางานวิจัย

ปัญหาทดสอบ ของปัญหา PDPTW	คำตอบที่ดีที่สุด		ปัญหาทดสอบที่ ถูกดัดแปลงเป็น ปัญหางานวิจัย	คำตอบที่หาได้		เวลา คำนวณ (วินาที)
	จำนวน รถ	ระยะทางรวม		จำนวน รถ	ระยะทางรวม	
LC101	10	828.94	GLC101	10	828.94	213
LC102	10	828.94	GLC102	10	828.07	740
LC103	9	1035.35	GLC103	9	841.26	1028
LC104	9	860.01	GLC104	9	855.76	2313
LC105	10	828.94	GLC105	10	828.94	351
LC106	10	828.94	GLC106	10	828.94	743
LC107	10	828.94	GLC107	10	828.94	662
LC108	10	826.44	GLC108	10	826.44	939
LC109	9	1000.60	GLC109	9	983.92	918
LR101	19	1650.80	GLR101	16	1533.00	212
LR102	17	1487.57	GLR102	14	1459.71	383
LR103	13	1292.68	GLR103	11	1280.98	271
LR104	9	1013.39	GLR104	9	1016.97	383
LR105	14	1377.11	GLR105	14	1359.71	284
LR106	12	1252.62	GLR106	12	1240.03	358
LR107	10	1111.31	GLR107	10	1108.11	312
LR108	9	968.97	GLR108	9	967.13	198
LR109	11	1208.96	GLR109	12	1210.23	347
LR110	10	1159.35	GLR110	11	1133.18	357
LR111	10	1108.90	GLR111	10	1115.31	291
LR112	9	1003.77	GLR112	9	1003.77	369
LRC101	14	1708.80	GLRC101	14	1614.20	176
LRC102	12	1558.07	GLRC102	12	1532.34	221
LRC103	11	1258.74	GLRC103	11	1248.85	397
LRC104	10	1128.40	GLRC104	10	1128.87	524
LRC105	13	1637.62	GLRC105	13	1704.63	204
LRC106	11	1424.73	GLRC106	11	1408.81	260
LRC107	11	1230.15	GLRC107	11	1198.81	344
LRC108	10	1147.43	GLRC108	10	1141.06	264
<b>เฉลี่ย</b>	<b>11.103</b>	<b>1158.499</b>		<b>10.897</b>	<b>1139.893</b>	<b>484.897</b>

จากผลการทดสอบฮิวริสติก พบว่าฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่เท่ากันหรือดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 23 ปัญหา (แสดงด้วยตัวอักษรหนา) ให้คำตอบที่ใช้จำนวนรลดเท่ากันแต่ระยะทางรวมยังไม่ดีเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุด จำนวน 4 ปัญหา (แสดงด้วยตัวอักษรเอียง) ส่วนอีก 2 ปัญหาที่เหลือได้คำตอบที่ต้องใช้รลดมากกว่าคำตอบที่ดีที่สุดหนึ่งคัน

#### 4.3.3 การทดสอบฮิวริสติกเพื่อดูแนวโน้มของเวลาในการค้นหาคำตอบ

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างปัญหาทดสอบ 5 ขนาด ขนาดละ 2 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาที่มีเขาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 60 คัน 70 คัน 80 คัน 90 คัน และ 100 คัน เพื่อทดสอบฮิวริสติกโดยพิจารณาแนวโน้มของเวลาที่ฮิวริสติกใช้ในการหาคำตอบเมื่อเขาระเบียงที่ต้องทำการขนส่งเพิ่มมากขึ้น โดยแต่ละปัญหาประกอบไปด้วยหน่วยเขาระเบียง และหน่วยตรวจโรค 5 หน่วย ทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 Mb ผลการทดสอบเวลาแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอสำหรับปัญหาขนาด 60 คัน ถึง 100 คัน

ปัญหาทดสอบ	จำนวนรถเข็น โดยเฉลี่ย	ระยะทางรวม โดยเฉลี่ย	เวลาค้นหาคำตอบ โดยเฉลี่ย (ชั่วโมง)
60R	4.000	530.375	1.008
70R	4.000	572.600	1.847
80R	4.000	637.020	3.112
90R	4.500	657.875	5.031
100R	5.500	682.195	6.675

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ สำหรับปัญหาทดสอบ 60 คัน คือ 1.008 ชั่วโมง 70 คัน คือ 1.847 ชั่วโมง 80 คัน คือ 3.112 ชั่วโมง 90 คัน คือ 5.031 ชั่วโมง และ 100 คัน คือ 6.675 ชั่วโมง

#### 4.4 การวิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบฮิวริสติกสำหรับปัญหาการรับและส่งสินค้าให้ส่งทันภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยใช้ปัญหาการรับและส่งเวชระเบียนภายในโรงพยาบาลเป็นกรณีศึกษา พบว่าการใช้ตามูเสริชซึ่งเป็นเมตาฮิวริสติกประเภทหนึ่ง เข้าร่วมกับใช้ฮิวริสติกการแทรกของโซโลมอนในการสร้างคำตอบเริ่มต้น ใช้ PD-Shift Operator PD-Exchange Operator และ Rearrange Operator ในการปรับปรุงคำตอบ ให้ประสิทธิภาพในการหาคำตอบอยู่ในเกณฑ์ดี

สำหรับการทดสอบฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ตารางสรุปผลการทดสอบฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบคำตอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

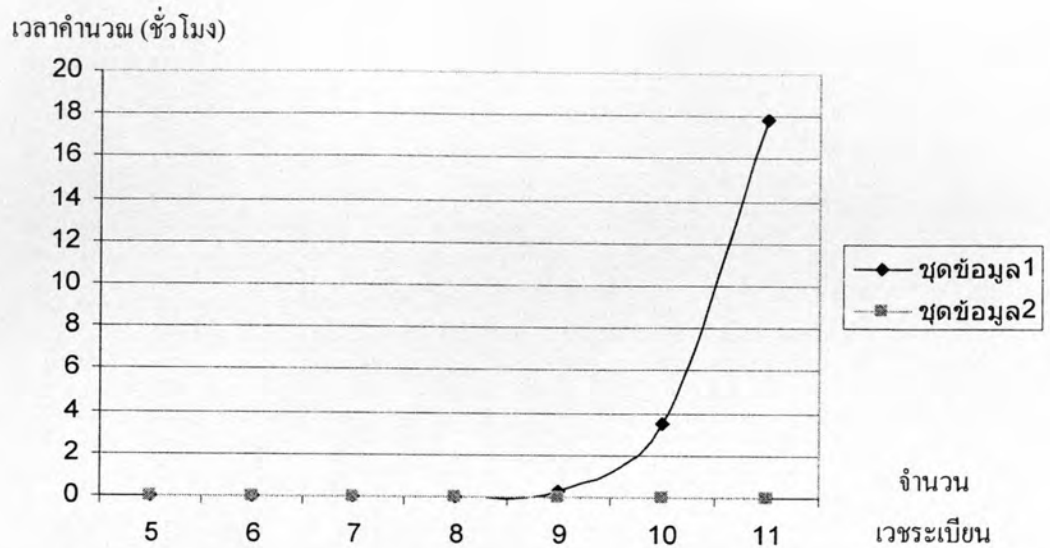
ปัญหาทดสอบ	จำนวนปัญหาทดสอบ	จำนวนปัญหาทดสอบที่ฮิวริสติกให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด	เวลาโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที)		ความผิดพลาดเฉลี่ย (%)
			วิธีที่เหมาะสมที่สุด	ฮิวริสติกที่นำเสนอ	
5R	15	15	0.589	0.146	0.000
6R	15	15	0.850	0.156	0.000
7R	15	14	7.751	0.228	0.373
8R	15	15	75.213	0.301	0.000
9R	15	13	1185.581	0.500	0.533
10R	15	14	12613.286	1.111	0.246
11R	15	15	64043.719	1.527	0.000
<b>รวม</b>	<b>105</b>	<b>101</b>	-	-	-

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าเมื่อใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีเวชระเบียน 5 ชั้นถึง 11 ชั้น จำนวน 105 ปัญหา พบว่าสามารถหาคำตอบได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดถึง 101 ปัญหา และใช้ระยะเวลาอันรวดเร็ว ถือได้ว่าฮิวริสติกมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี โดยสำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด 15 ปัญหา จากปัญหาทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา ภายในระยะเวลา 0.146 วินาทีโดยเฉลี่ย ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการค้นหา

คำตอบ 0.589 วินาทีโดยเฉลี่ย คิดเป็นอัตราส่วน 4 เท่า โดยประมาณ สำหรับปัญหาทดสอบที่มี  
 เวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 6 ชั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด  
 15 ปัญหา จากปัญหาทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา ภายในระยะเวลา 0.156 วินาทีโดยเฉลี่ย ซึ่ง  
 รวดเร็วกว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 0.850 วินาทีโดย  
 เฉลี่ย คิดเป็นอัตราส่วน 5 เท่าโดยประมาณ สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการ  
 ขนส่ง 7 ชั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด 14 ปัญหา จากปัญหา  
 ทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา ภายในระยะเวลา 0.228 วินาทีโดยเฉลี่ย ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีการค้นหา  
 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 7.751 วินาทีโดยเฉลี่ย คิดเป็นอัตราส่วน  
 34 เท่าโดยประมาณ โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยคิดเป็น 0.373 % สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวช  
 ระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 8 ชั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด 15  
 ปัญหา จากปัญหาทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา ภายในระยะเวลา 0.301 วินาทีโดยเฉลี่ย ซึ่งรวดเร็  
 วกว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 75.213 วินาทีโดยเฉลี่ย  
 คิดเป็นอัตราส่วน 250 เท่า โดยประมาณ สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการ  
 ขนส่ง 9 ชั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด 13 ปัญหา จากปัญหา  
 ทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา ภายในระยะเวลา 0.500 วินาทีโดยเฉลี่ย ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีการค้นหา  
 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 1185.581 วินาทีโดยเฉลี่ย หรือประมาณ  
 0.33 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย คิดเป็นอัตราส่วน 2370 เท่า โดยประมาณ โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยคิด  
 เป็น 0.533 % สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 10 ชั้น ฮิวริสติกที่  
 นำเสนอสามารถหาคำตอบได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด 14 ปัญหา จากปัญหาทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา  
 ภายในระยะเวลา 1.111 วินาทีโดยเฉลี่ย ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้  
 เวลาในการค้นหาคำตอบ 12613.286 วินาทีโดยเฉลี่ย หรือประมาณ 3.50 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย คิด  
 เป็นอัตราส่วน 11353 เท่า โดยประมาณ โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยคิดเป็น 0.246 % สำหรับ  
 ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 11 ชั้น ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบได้  
 ค่าที่เหมาะสมที่สุด 15 ปัญหา จากปัญหาทดสอบทั้งหมด 15 ปัญหา ภายในระยะเวลา 1.527 วินาที  
 โดยเฉลี่ย ซึ่งรวดเร็วกว่าวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ  
 64043.719 วินาทีโดยเฉลี่ย หรือประมาณ 17.79 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย คิดเป็นอัตราส่วน 41940 เท่า  
 โดยประมาณ

กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบระหว่างแบบจำลองกับฮิวริสติก แสดงดังรูป  
 ที่ 4.5

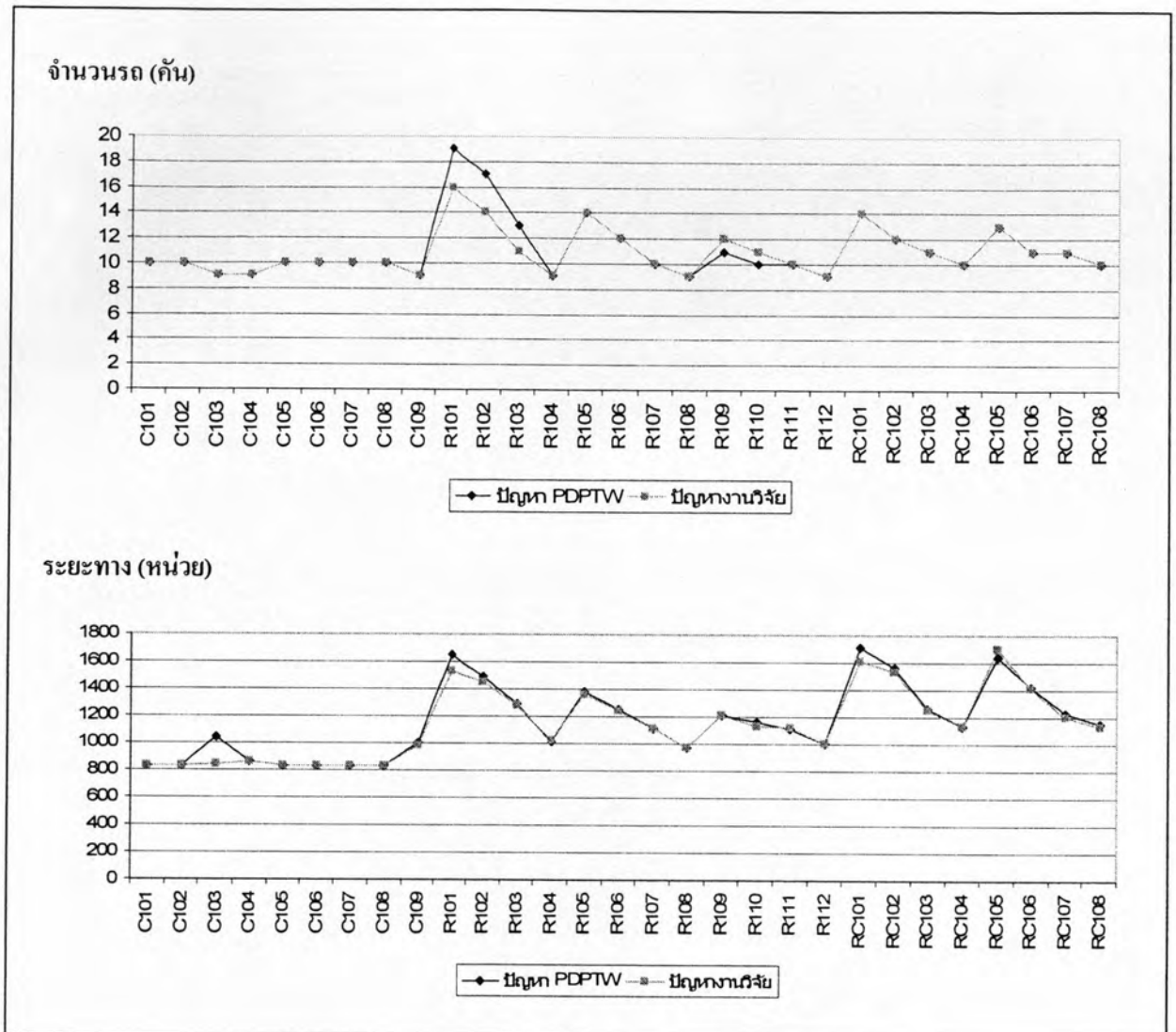




รูปที่ 4.5 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีที่เหมาะสมที่สุดและฮิวริสติกที่น่าเสนอ

จากรูปที่ 4.5 กราฟของชุดข้อมูลที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่งกับเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ CPLEX 8.0 จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีที่เหมาะสมที่สุด มีการเติบโตอย่างรวดเร็วแบบเอ็กโพเนนเชียล สำหรับกราฟของชุดข้อมูลที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่งกับเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยฮิวริสติกที่น่าเสนอ ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบมีการเติบโตช้ากว่าวิธีแรกอย่างมาก ซึ่งถือได้ว่าฮิวริสติกที่น่าเสนอมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับปัญหาที่มีเวาระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 5 ขึ้นถึง 11 ขึ้น

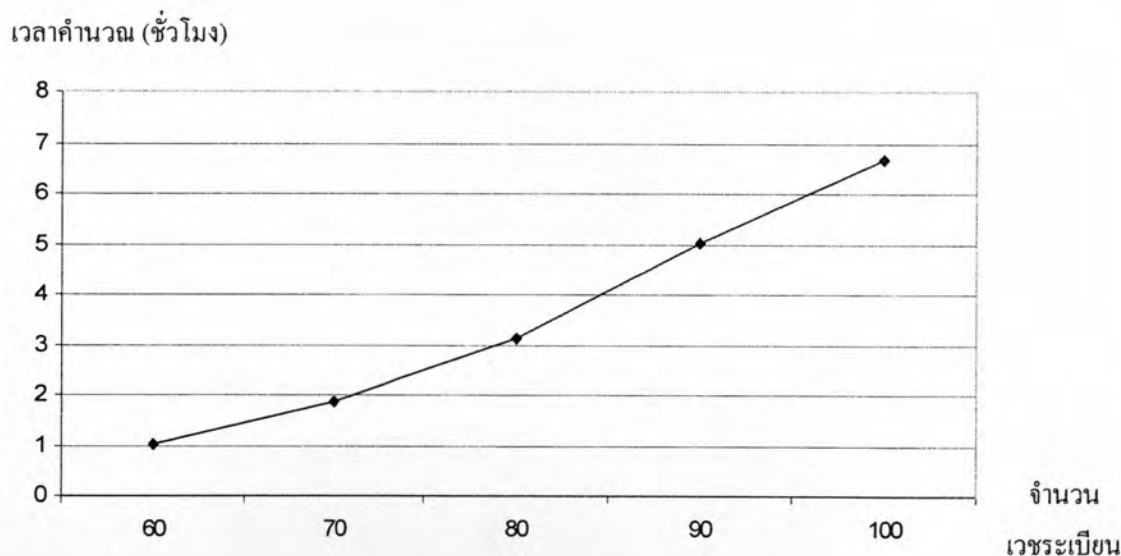
สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกกับปัญหาทดสอบของปัญหา PDPTW ที่ถูกดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบของปัญหางานวิจัย ซึ่งมีขนาด 100 โหนด (สินค้าที่ต้องทำการขนส่งจำนวน 50 รายการ) จำนวน 29 ปัญหา สามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา PDPTW กับคำตอบที่ฮิวริสติกที่น่าเสนอสามารถหาได้ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบคำตอบระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา PDPTW กับคำตอบที่ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาได้

จากรูปที่ 4.6 สามารถสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่เท่ากันหรือดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 23 ปัญหา ให้คำตอบที่ใช้จำนวนรถเท่ากันแต่ระยะทางรวมยังไม่ดีเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 4 ปัญหา และให้คำตอบที่ต้องใช้รถมากกว่าคำตอบที่ดีที่สุดหนึ่งคันจำนวน 2 ปัญหา ใช้เวลาในการหาคำตอบ 8 นาทีโดยเฉลี่ย ซึ่งถือได้ว่าฮิวริสติกมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบอยู่ในเกณฑ์ดีสำหรับปัญหขนาด 100 โหนด

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพฮิวริสติกที่นำเสนอเพื่อดูแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งทดสอบกับปัญหาทดสอบ 5 ขนาด ได้แก่ ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น 70 ชั้น 80 ชั้น 90 ชั้น และ 100 ชั้น จากการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกพบว่า สำหรับปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 1.008 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 70 ชั้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 1.847 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 80 ชั้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 3.112 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย ปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 90 ชั้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 5.031 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย และปัญหาทดสอบที่มีเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่ง 100 ชั้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ 6.675 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย จากผลของค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถนำไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่งและเวลาในการค้นหาคำตอบได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยฮิวริสติกที่นำเสนอ

จากกราฟในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของฮิวริสติกเมื่อจำนวนเวชระเบียนที่ต้องทำการขนส่งมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นในแนวเส้นตรง

ผลของฮิวริสติกที่ผู้วิจัยนำเสนอเมื่อทดสอบกับปัญหาทดสอบขนาดต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตารางสรุปผลการทดสอบฮิวริสติกที่นำเสนอกับปัญหาขนาดต่าง ๆ

ปัญหาทดสอบ	MaxIT ที่ใช้ค้นหาคำตอบ	จำนวนรถที่ใช้โดยเฉลี่ย (y)	ระยะทางรวมโดยเฉลี่ย (dist)	เวลาดำเนินการคำตอบโดยเฉลี่ย (วินาที)
<b>ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 5 ชั้น ถึง 11 ชั้น</b>				
5R	50	1.133	84.110	0.146
6R		1.200	121.280	0.156
7R		1.400	129.027	0.228
8R		1.600	137.207	0.301
9R		1.733	147.635	0.500
10R		1.867	156.702	1.111
11R		1.867	164.404	1.527
<b>ปัญหาทดสอบ PDPTW ที่ถูกดัดแปลงเป็นงานวิจัย</b>				
50R	400	10.897	1139.893	484.897
<b>ปัญหาทดสอบที่มีเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่ง 60 ชั้น ถึง 100 ชั้น</b>				
60R	250	4.000	530.375	3626.637
70R		4.000	572.600	6649.478
80R		4.000	637.020	11201.703
90R		4.500	657.875	18110.962
100R		5.500	682.195	24028.956

จากการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะเห็นว่านอกจากเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ MaxIT แล้ว ยังขึ้นอยู่กับจำนวนรอบที่สุ่มใน PD-Shift Operator และ PD-Exchange Operator อีกด้วย ซึ่งจำนวนรอบที่สุ่มในการทำ Operator แต่ละครั้งแปรผันตรงกับขนาดของปัญหา ส่งผลให้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้เวลาในการทำ Operator ทั้งสองมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้เวลาที่ใช้ไปในแต่ละรอบของการทำ Operator ทั้งสองนั้นยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเส้นทางด้วย ถ้าหากเส้นทางมีความหนาแน่นมาก (จำนวนเวาระเบียงที่ต้องทำการขนส่งในเส้นทางมีมาก) จะส่งผลให้ใช้เวลาในการทำ Operator ทั้งสองสูงขึ้นเช่นกัน

ความหนาแน่นของเส้นทางโดยเฉลี่ยของปัญหาทดสอบที่มีเวรระเบียบ  $\bar{r}$  ชั้นที่ต้องทำการขนส่งมีค่าเท่ากับ  $\frac{\bar{r}}{y}$  โดยที่  $y$  คือจำนวนรถเข็นที่ใช้ในการขนส่ง จะเห็นว่าความหนาแน่นของเส้นทางแปรผกผันกับจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง ถ้าหากปัญหาทดสอบใดใช้รถขนส่งเป็นจำนวนมาก ( $y$  มีค่ามาก) จะส่งผลให้ความหนาแน่นแต่ละเส้นทางโดยเฉลี่ยมีค่าน้อย ย่อมทำให้เวลาที่ใช้ในการทำ Operator ทั้งสองมีค่าน้อยกว่าปัญหาทดสอบที่ความหนาแน่นของเส้นทางมาก ซึ่งจะเห็นได้จากปัญหาที่ผู้วิจัยนำมาทดสอบ จากตารางที่ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบปัญหาขนาด 50R และ 60R พบว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหา 60R มีค่าสูงกว่าปัญหา 50R เป็นอย่างมากถึงแม้จะใช้ค่า *MaxIT* น้อยกว่าในการค้นหาคำตอบ ทั้งนี้เนื่องมาจากความหนาแน่นของเส้นทางโดยเฉลี่ยของปัญหา 60R (ความหนาแน่นเท่ากับ  $60/4 = 15$ ) มีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของเส้นทางโดยเฉลี่ยของปัญหา 50R (ความหนาแน่นเท่ากับ  $50/10.897 = 4.588$ ) เป็นอย่างมาก ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำ PD-Shift Operator และ PD-Exchange Operator ของปัญหา 60R มีค่าสูงมาก จึงทำให้เวลาโดยรวมในการหาคำตอบของปัญหา 60R มีค่ามากกว่าปัญหา 50R เป็นอย่างมากนั่นเอง