หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

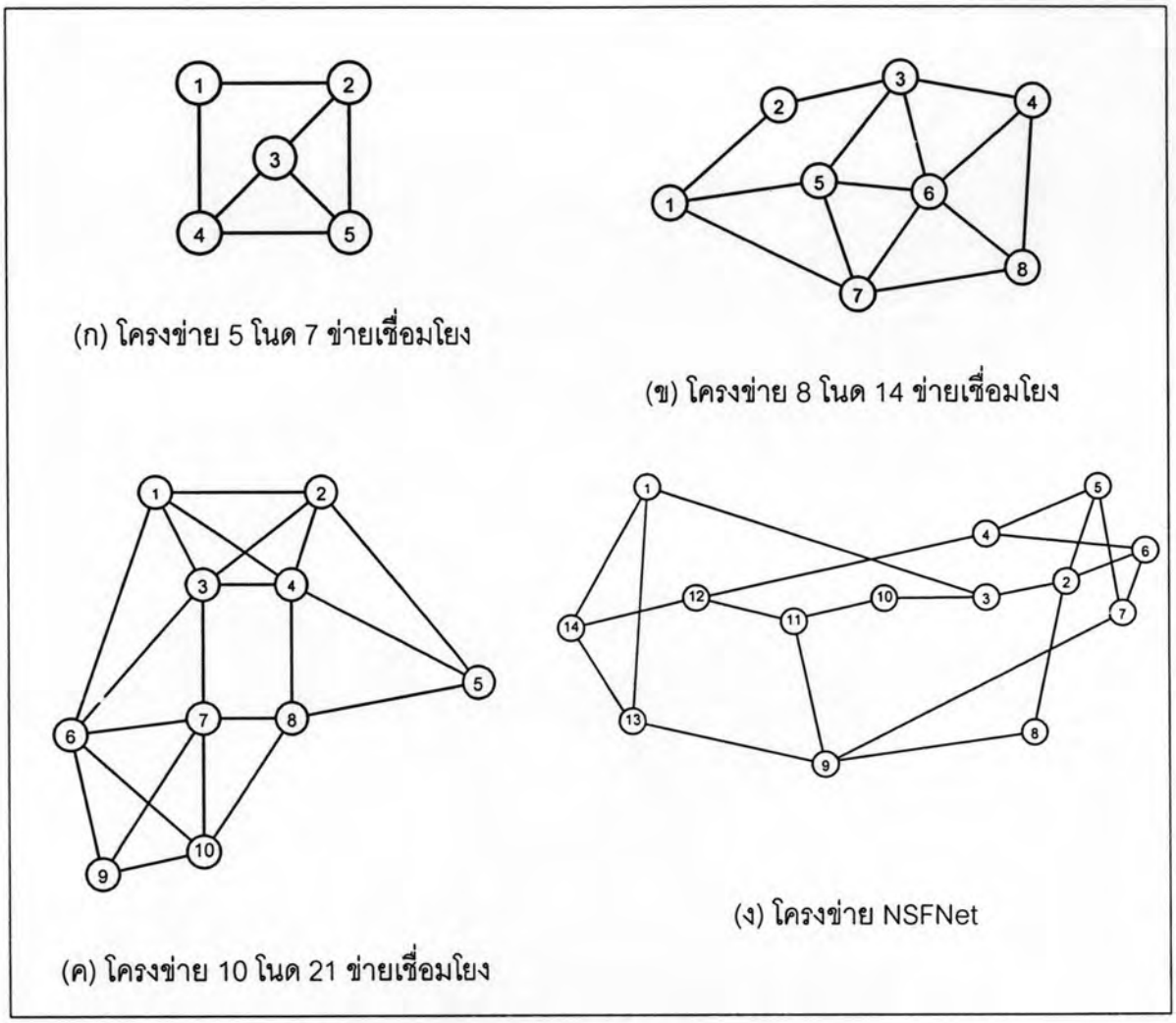
บทที่ 4

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติก

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติก โดยอัลกอริทึมฮิวริสติกแต่ละวิธีนั้นจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการพัฒนาคำตอบของผลเฉลยดังที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะมุ่งเน้นวิเคราะห์พารามิเตอร์เฉพาะในอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และ TS เท่านั้น ส่วนแบบ LS ไม่มีพารามิเตอร์ใด ๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาคำตอบจึงไม่ขอกล่าวถึง

4.1 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ทดสอบอัลกอริทึมฮิวริสติก

โครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบอัลกอริทึมฮิวริสติกมีด้วยกัน 4 โครงข่ายโดยแบ่งเป็นประเภทโครงข่ายทดสอบ ได้แก่ โครงข่าย 5 โนด 7 ข่ายเชื่อมโยง (5N_7L) โครงข่าย 8 โนด 14 ข่ายเชื่อมโยง (8N_14L) โครงข่าย 10 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง (10N_21L) และโครงข่ายที่มีใช้งานจริง ได้แก่ โครงข่าย NSFNet (The National Science Foundation Network) ขนาด 14 โนด 21 ข่ายเชื่อมโยง โครงข่ายทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.1 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 โทโพโลยีโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 แบบจำลองทราฟฟิกที่ใช้ทดสอบอัลกอริทึมฮิวริสติก

ทราฟฟิกของโนดสมาชิกในแต่ละมัลติคาสต์เซสชันที่ใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ นิยามให้เป็นความต้องการใช้ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลจากโนดหนึ่งไปยังโนดปลายทางกลุ่มหนึ่ง และมีลักษณะคงตัวไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา (Static traffic) ลักษณะโครงข่าย WDM ที่ใช้หาจำนวนเส้นใยนำแสงทั้งหมดที่โครงข่ายต้องการถูกแทนด้วย กราฟที่ไม่มีทิศทาง (Undirected graph) โดยมีชุดทราฟฟิกที่ใช้ทดสอบสำหรับโทโพโลยีโครงข่ายแต่ละแบบดังตารางที่ 4.1

I8287N086

ตารางที่ 4.1 ทราฟฟิกที่ใช้ในการทดสอบ (ก) สำหรับโครงข่าย 5N_7L (ข) สำหรับโครงข่าย 8N_14L และ (ค) สำหรับโครงข่าย 10N_21L และ โครงข่าย NSFNet

session	demand	source	destination
1	1	5	2 3
2	2	5	1 3 2
3	3	5	4 2
4	1	5	4 2 1 3
5	3	5	1 3

(ก)

session	demand	source	destination
1	3	1	4 5
2	2	1	2 3 7
3	3	1	4 6
4	4	1	4 5 7
5	2	1	5 6 7

(ข)

session	demand	source	destination
1	2	4	3 5 8 9
2	2	4	1 6 10
3	3	4	7 3 2 9
4	3	4	10
5	2	4	9 7
6	1	4	2 5 6
7	2	4	1 8

(ค)

4.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA

ในอัลกอริทึมการปรับปรุงการออกแบบโดยใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA ตัวแปรที่สำคัญในการตัดสินใจเพื่อยอมรับคำตอบที่ด้อย ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อย (P) ซึ่งจะถูกคำนวณในแต่ละรอบจากค่าคำตอบที่เปลี่ยนไปและค่าควบคุมอุณหภูมิ (c) ดังสมการที่ 4.2

$$\mathrm{P} = \exp\left(-\frac{f(j)-f(i)}{c}\right) \tag{4.2}$$

เมื่อ $f(i)$ และ $f(j)$ คือ ต้นทุนในอดีตและต้นทุนปัจจุบัน ตามลำดับ

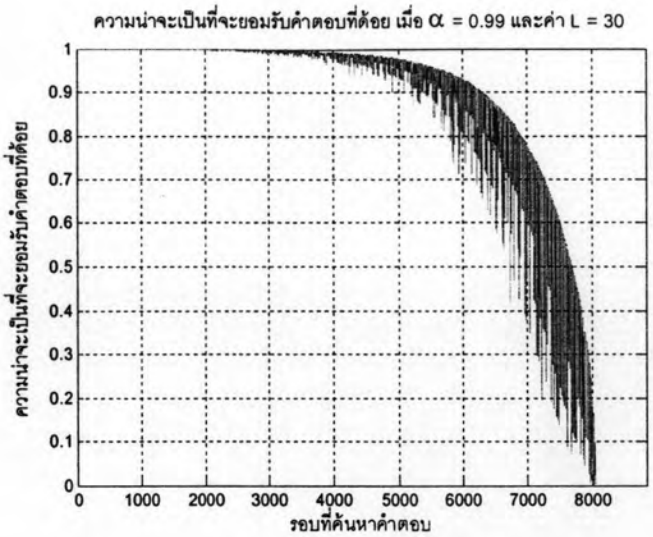
ค่าต้นทุนที่เปลี่ยนไปจะขึ้นอยู่กับกระบวนการค้นหาคำตอบ ส่วนค่าอุณหภูมิจะถูกลดค่าลงทุก ๆ L ครั้งที่มีการยอมรับคำตอบด้วยค่าคงที่สำหรับปรับลดอุณหภูมิ (α) ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อย จึงมี 3 ค่า ได้แก่ ค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น (c_0) ค่า L และค่า α การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่านี้ จึงต้องให้อัลกอริทึมสามารถค้นพบคำตอบที่มีค่าที่ดีภายในเวลาที่เหมาะสม แต่เนื่องจากไม่มีทฤษฎีใด ๆ บ่งชี้ว่าควรใช้ค่าพารามิเตอร์อย่างไรจึงจะดีสำหรับโครงข่ายหนึ่ง ๆ ดังนั้นจึงต้องทดสอบโดยใช้ค่าพารามิเตอร์หลาย ๆ แบบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับโครงข่ายหนึ่ง ๆ มากที่สุด

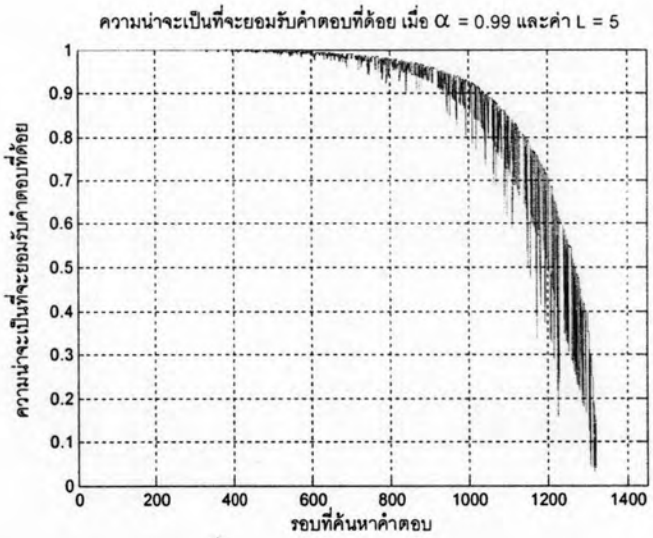
4.3.1 การวิเคราะห์ค่า α และค่า L

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์ค่า α และค่า L ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการลดลงของค่าอุณหภูมิโดยตรง จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 ในบทที่ 3 จะเห็นว่าค่า α และค่า L ที่น้อยจะทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยลดลงอย่างรวดเร็วกว่าค่า α และค่า L ที่มีค่ามาก รูปที่ 4.2 (ก) – (ง) แสดงให้เห็นลักษณะการลดลงของความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยตามค่า L สำหรับการปรับปรุงการออกแบบ เมื่อใช้ค่า α และค่า L ในการลดอุณหภูมิต่าง ๆ กัน (ค่า α และค่า L) เท่ากับ (0.99,30), (0.99,5), (0.8,30) และ (0.8,5) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ การทดสอบทำบนโครงข่าย NSFNet ขนาด 14 โนด 21 ช่ายเชื่อมโยง โดยใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) เมื่อ M = 1 และกำหนดให้ค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น (c_0) เป็น 10000

รูปที่ 4.2 (ก) แสดงความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อย เมื่อใช้ค่า α เท่ากับ 0.99 และค่า L เท่ากับ 30 จะเห็นได้ว่าในช่วง 3000 รอบแรกของการค้นหาคำตอบ ความน่าจะเป็นมีการลดลงไม่มากนักและมีค่าใกล้เคียง 1 เนื่องจากค่าควบคุมอุณหภูมิในรอบการทำงานนี้ยังมีค่าสูงอยู่ ในช่วงถัดมา คือ รอบที่ 3000 ถึงรอบที่ 8000 ของการค้นหาคำตอบ ค่าความน่าจะเป็นจะมีการแกว่งตัวมากและมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเข้าหาค่า 0 เนื่องจากค่าควบคุมอุณหภูมิในช่วงนี้มีค่าลดต่ำลงนั่นเอง ส่วนค่า L เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในส่วนของอัลกอริทึม Metropolis ซึ่งเป็นกระบวนการยอมรับคำตอบที่ด้อย ส่งผลให้รอบการทำงานสำหรับการเปลี่ยนสถานะสำหรับทดสอบมีหลายค่า นั่นก็หมายความว่าในการสุ่มหาคำตอบนั้นย่อมเพิ่มโอกาสในการค้นพบคำตอบที่ดีมีมากขึ้นด้วยเช่นกัน

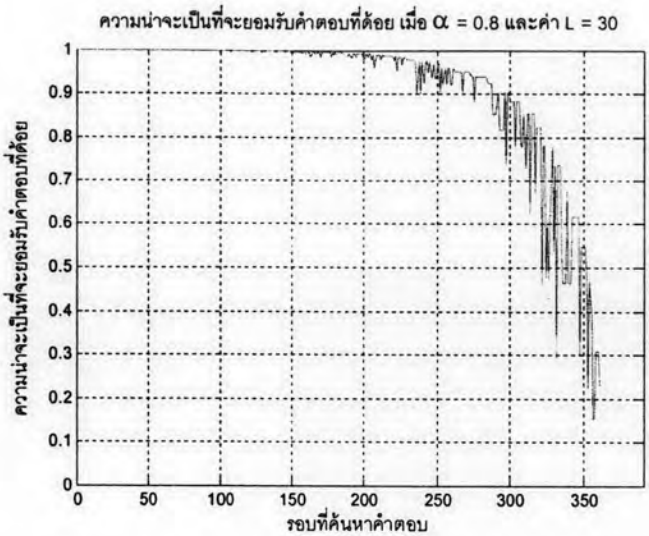


(ก) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ $\alpha = 0.99$ และค่า $L = 30$

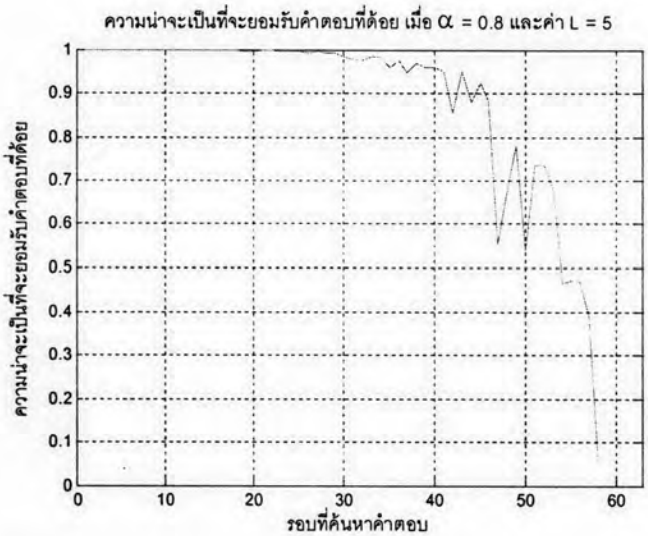


(ข) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ $\alpha = 0.99$ และค่า $L = 5$

รูปที่ 4.2 ลักษณะการลดลงของความน่าจะเป็นที่ยอมรับคำตอบที่ด้อย



(ค) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ α = 0.8 และค่า L = 30

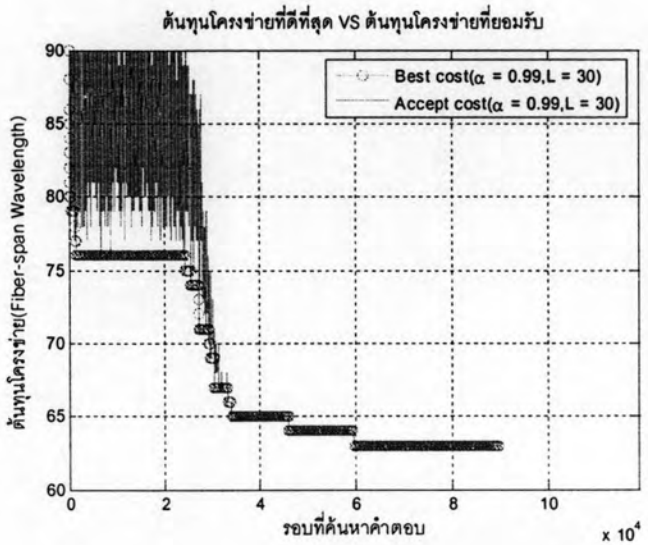


(ง) ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยเมื่อ α = 0.8 และค่า L = 5

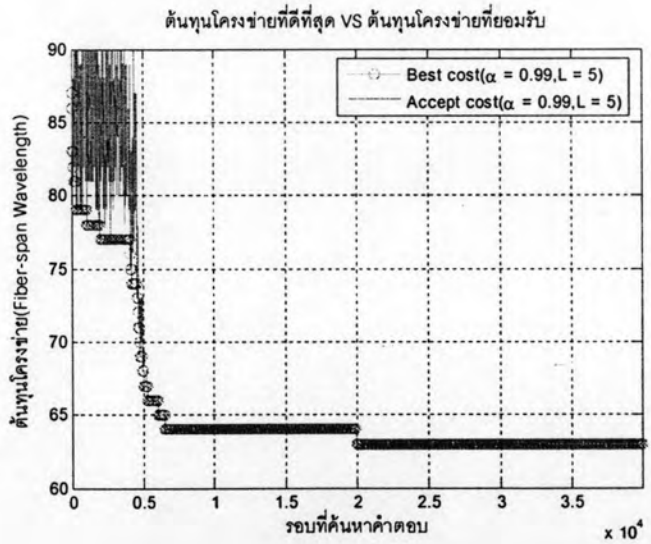
รูปที่ 4.2 (ต่อ) ลักษณะการลดลงของความน่าจะเป็นที่ยอมรับคำตอบที่ด้อย

รูปที่ 4.2 (ข) – (ง) แสดงลักษณะการลดลงของความน่าจะเป็นที่ยอมรับคำตอบที่ด้อย เมื่อใช้ค่า α และค่า L เป็น (0.99,5), (0.8,30) และ (0.8,5) ตามลำดับ จะพบว่ามีแนวโน้มของความน่าจะเป็นที่จะยอมรับค่าที่ด้อยลดลงลักษณะเดียวกับค่า α เท่ากับ 0.99 และค่า L เท่ากับ 30 คือ ในช่วงรอบแรก ๆ ของการค้นหาคำตอบ จะมีค่าใกล้เคียง 1 และจะลดลงอย่างช้ามาก จากนั้นจะลู่เข้าหา 0 อย่างรวดเร็วในช่วงถัดมา แต่จะแตกต่างจากรูปที่ 4.2 (ก) ตรงที่การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นรวดเร็วกว่า คือ ช่วงเวลาตั้งแต่ความน่าจะเป็นมีค่าเป็น 1 จนค่าลดลงเข้าใกล้ 0 จะสั้นกว่า

มาก โดยจะเกิดขึ้นภายในรอบที่ 1300, 370 และ 58 เมื่อใช้ค่า α และค่า L เป็น (0.99,5), (0.8,30) และ (0.8,5) ตามลำดับ ความแตกต่างของระยะเวลานี้จะส่งผลให้กระบวนการค้นหาคำตอบกินเวลาสั้นหรือยาวแตกต่างกันไป

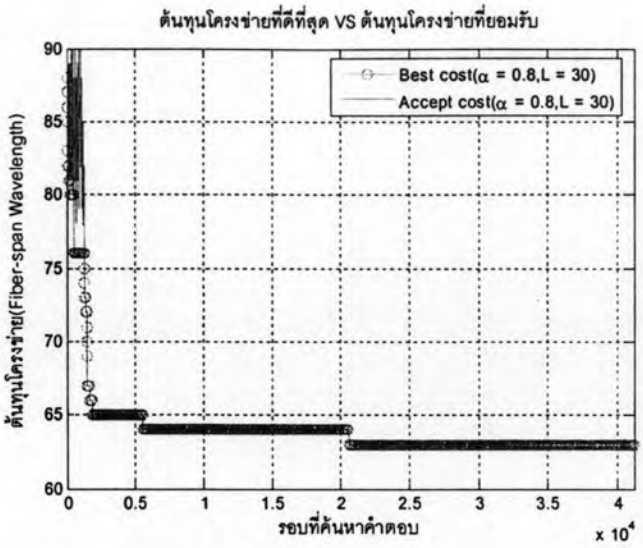


(ก) เมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 30

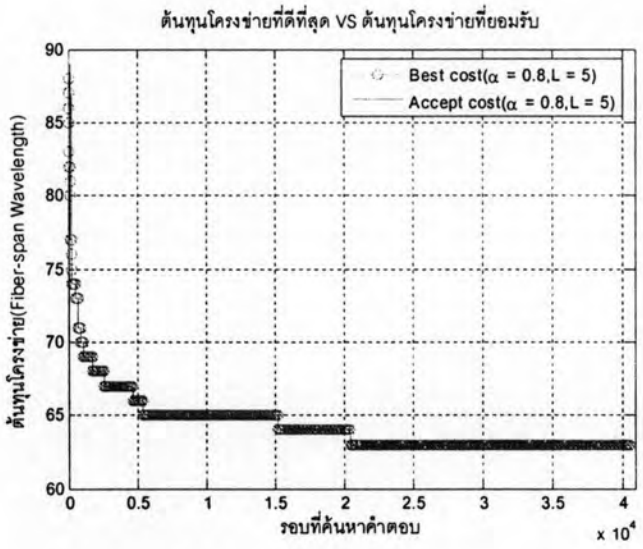


(ข) เมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 5

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่ดีที่สุดและต้นทุนการยอมรับคำตอบที่ด้อย



(ค) เมื่อ α เท่ากับ 0.8 และ L เท่ากับ 30



(ง) เมื่อ α เท่ากับ 0.8 และ L เท่ากับ 5

รูปที่ 4.3 (ต่อ) **เปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่ดีที่สุดและต้นทุนการยอมรับคำตอบที่ด้อย**

ในการเปรียบเทียบผลกระทบของความเร็วในการลดลงของความน่าจะเป็นที่มีต่อกระบวนการค้นหาคำตอบ จะแสดงเป็นค่าต้นทุนที่ได้รับการยอมรับในแต่ละรอบและต้นทุนที่ดีที่สุดหรือเหมาะที่สุดที่ค้นพบ ดังรูปที่ 4.3 โดยพิจารณาในช่วง 60000 รอบแรกของการค้นหาคำตอบ ทดสอบโดยเปรียบเทียบค่า α เป็น 0.99 เท่ากันและ L เป็น 30 และ 5 ของรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ พบว่าในช่วงแรกของการทำงานค่าต้นทุนที่ยอมรับคำตอบที่ด้อยมีการแกว่งตัวมาก แต่จะเริ่มแกว่งตัวน้อยลงจนถึงรอบที่ 35000 เมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 30 ได้

ต้นทุนเท่ากับ 65 Fiber-span Wavelength และรอบที่ 6000 เมื่อ α เท่ากับ 0.99 และ L เท่ากับ 5 ได้ต้นทุนเท่ากับ 64 Fiber-span Wavelength เนื่องจากความน่าจะเป็นในกระบวนการยอมรับคำตอบที่ด้อยเริ่มมีค่าลดลงนั่นเอง ดังนั้นเมื่อค่า L ต่างกัน นั่นก็หมายความว่ารอบการทำงานของกระบวนการในอัลกอริทึม Metropolis มีระยะเวลานานในการสุ่มหาเพื่อยอมรับคำตอบที่ด้อยต่างกันด้วย หลังจากนั้นเมื่อรอบการทำงานสูงมากขึ้น ค่าต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่เริ่มค้นพบอยู่ในรอบที่ 60000 และ 20000 ของรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ เท่ากับ 63 Fiber-span Wavelength

ในรูปที่ 4.3 (ค) และ (ง) เป็นการเปรียบเทียบค่า α เป็น 0.8 เท่ากันและ L เป็น 30 และ 5 ตามลำดับ พบว่าทั้งสองรูปดังกล่าวมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) คือ ช่วงแรกของการทำงานจะมีการแกว่งตัวมาก แต่จะเริ่มแกว่งตัวน้อยลงด้วยจำนวนรอบที่น้อยกว่า คือรอบที่ 2500 และ 5000 ได้ต้นทุนเท่ากับ 65 เท่ากัน หลังจากนั้นเมื่อรอบการทำงานสูงมากขึ้น ค่าต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่เริ่มค้นพบอยู่ในรอบที่ 21000 เท่ากับ 63 Fiber-span Wavelength ของรูปที่ 4.3 (ค) และ (ง)

พิจารณารูปที่ 4.3 (ก) และ (ค) เมื่อค่า α เป็น 0.99 และ 0.8 ตามลำดับ และค่า L เท่ากับ 30 เท่ากัน พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกับการวิเคราะห์ที่ผ่านมาคือช่วงรอบแรก ๆ ของการทำงานจะมีการแกว่งตัวค่อนข้างสูงแต่จะแกว่งตัวน้อยลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่า α มีค่าเท่ากับ 0.8 อันเนื่องมาจากค่าควบคุมอุณหภูมิมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่ด้อยมีค่าเข้าใกล้ 0 เร็วด้วย ทำให้มีการยอมรับคำตอบที่ด้อยไม่มากนัก ในขณะที่เมื่อ α เป็น 0.99 ค่าควบคุมอุณหภูมิมีการลดลงช้ากว่าทำให้การค้นหาคำตอบในช่วงรอบแรก ๆ ของการค้นหาได้คำตอบที่ดีที่สุดมีค่าคำตอบมากกว่า หรือค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่ด้อยมีการลดลงช้ากว่า ทำให้มีการยอมรับคำตอบที่ด้อยเป็นเวลานาน

รูปที่ 4.3 (ข) และ (ง) เมื่อค่า α เป็น 0.99 และ 0.8 ตามลำดับ และค่า L เท่ากับ 5 เท่ากันมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่จะยิ่งมีการแกว่งตัวในช่วงแรกน้อยลงค่อนข้างจะรวดเร็วมากกว่า เนื่องจากค่า L มีค่าน้อยนั่นเอง

จึงสรุปได้ว่าที่ α ค่าเดียวกันแต่ค่า L ต่างกัน สามารถค้นหาค่าต้นทุนที่เหมาะที่สุดได้รวดเร็วเมื่อค่า L มีค่าน้อย ๆ เนื่องจากกระบวนการยอมรับคำตอบที่ด้อยจะจบลงรวดเร็ว ส่งผลให้รอบการทำงานถัดไปมีโอกาสที่จะค้นพบคำตอบที่เหมาะที่สุดเกิดขึ้นรวดเร็วเช่นกัน แต่ในขณะที่ค่า L มีค่ามาก ๆ กระบวนการยอมรับคำตอบที่ด้อยจะจบลงอย่างช้า ๆ ทำให้มีการยอมรับต้นทุนที่ด้อยเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อรอบการทำงานสูงมากขึ้น การค้นหาตำตอบจะมีการยอมรับคำตอบที่ด้อยลดลง คงเหลือแต่ค่าคำตอบที่เหมาะที่สุดเท่านั้น

4.3.2 ค่า α และค่า L ที่มีความเหมาะสมกับการออกแบบโครงข่ายแต่ละแบบ

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้อัลกอริทึม SA เมื่อต้องการหยุดค้นหาคำตอบเมื่อไม่พบการพัฒนาของคำตอบภายใน 10000 รอบ ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะทำให้ต้นทุนมีค่าที่เหมาะที่สุด โดยจะทดสอบกับค่า α ต่าง ๆ กัน โดยจะแปรค่าไปทีละ 0.3 ตั้งแต่ 0.8 ถึง 0.99 ซึ่งเป็นค่าช่วงที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยสามารถให้คำตอบที่ดีได้ [13,14] โดยจะแปรค่า L ไปทีละ 5 รอบ ตั้งแต่ 5 รอบถึง 30 รอบ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10000 ในทุก ๆ กรณี การทดสอบจะทำบนโครงข่าย 5N_7L โครงข่าย 8N_14L โครงข่าย 10N_21L และโครงข่าย NSFNet ผลที่ได้จะแสดงเป็นต้นทุนของโครงข่ายเมื่อใช้อัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ SA และใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ก) - (ค) เมื่อ M มีค่าเป็น 1

ตารางที่ 4.2 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ก) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 5N_7L (ต้นทุนที่ได้จาก LS = 27)

ต้นทุนที่เหมาะที่สุด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	27	27	27	27	27	27	27	27
10	27	27	27	27	27	28	27	27
15	27	27	27	27	27	28	27	28
20	27	28	27	27	27	27	27	27
25	27	27	28	27	27	27	29	29
30	27	27	27	27	28	27	28	28

ตารางที่ 4.3 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 5N_7L

จำนวนรอบที่ใช้ทั้งหมด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	10419	12988	16029	10905	11034	11357	22459	18486
10	11070	14264	17495	17896	18953	12002	18664	19882
15	12071	18846	10971	15310	19952	13065	22106	13740
20	12262	11090	11299	11684	14936	15551	21333	26755
25	12155	16072	12236	14471	15892	14758	10085	17237
30	16067	18657	13350	16217	13688	15756	22444	17233

ตารางที่ 4.4 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ข) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 8N_14L (ต้นทุนที่ได้จาก LS = 47)

ต้นทุนที่เหมาะที่สุด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	48	48	48	50	49	48	48	46
10	47	48	48	47	48	48	49	49
15	49	50	47	47	49	47	48	59
20	47	49	49	47	49	49	49	48
25	48	49	47	48	48	49	48	56
30	48	47	47	46	50	48	48	57

ตารางที่ 4.5 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 8N_14L

จำนวนรอบที่ใช้ทั้งหมด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	19599	15446	15014	17489	21173	18086	24905	33704
10	25423	19214	25750	26443	15854	19404	25502	24553
15	13295	13600	28402	19185	19079	27858	29780	10801
20	25910	15421	16450	21357	16855	19364	24949	42708
25	18433	16352	26241	23812	17165	19605	24268	18456
30	23903	20347	28220	28358	16056	27648	33769	10489

ตารางที่ 4.6 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ค) ที่ M = 1 โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 10N_21L (ต้นทุนที่ได้จาก LS = 53)

ต้นทุนที่เหมาะที่สุด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	54	56	56	55	54	54	56	54
10	56	56	53	53	53	59	57	55
15	57	55	54	55	57	57	56	57
20	53	56	55	56	56	56	54	70
25	57	58	54	57	56	54	70	70
30	58	56	56	55	56	56	68	70

ตารางที่ 4.7 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ M = 1 โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย 10N_21L

จำนวนรอบที่ใช้ทั้งหมด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	22599	18106	14954	21445	22866	29768	20814	30466
10	23193	19954	30195	32576	30213	14741	20199	31653
15	12854	17189	37123	18454	15098	17134	25725	36261
20	31287	15282	17051	17612	22946	25831	32527	13174
25	12720	16576	38268	17086	23442	32271	10399	13410
30	19340	32665	20194	24245	29517	26586	11922	10579

ตารางที่ 4.8 ผลเฉลยต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ค) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย NSFNet (ต้นทุนที่ได้จาก LS = 63)

ต้นทุนที่เหมาะที่สุด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	64	65	64	65	63	64	65	63
10	65	64	65	64	65	64	65	65
15	64	65	64	64	63	65	64	64
20	64	63	64	64	65	64	63	76
25	64	63	64	63	64	64	64	76
30	64	64	66	63	65	64	64	75

ตารางที่ 4.9 จำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาต้นทุนที่เหมาะที่สุดโดยใช้อัลกอริทึม SA เมื่อใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1(ค) ที่ $M = 1$ โดยกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 10000 และจะหยุดการทำงานเมื่อไม่มีการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ สำหรับโครงข่าย NSFNet

จำนวนรอบที่ใช้ทั้งหมด								
L	Alpha							
	0.8	0.83	0.86	0.89	0.92	0.95	0.98	0.99
5	19182	15669	14715	18884	21741	17294	26616	31190
10	21473	19869	19706	27808	16251	13868	34693	22536
15	38184	31202	24023	26143	15914	16795	19927	30886
20	15217	21734	18035	28827	25319	22689	30630	10115
25	17492	20567	14724	15939	22736	21299	10186	17853
30	21359	19133	18793	24258	25206	20363	49663	11713

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้จากอัลกอริทึมแบบ SA กับต้นทุนที่ได้จากอัลกอริทึมแบบ LS จะเห็นว่าต้นทุนของอัลกอริทึมแบบ SA ในบางกรณีมีค่าต่ำกว่าต้นทุนของอัลกอริทึมแบบ LS แต่ในบางกรณีมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมแบบ SA ไม่จำเป็นต้องให้ต้นทุนที่ดีกว่าอัลกอริทึมแบบ LS เสมอไปในทุกค่า α และค่า L ที่ใช้ในอัลกอริทึมแบบ SA เพียงแต่เพิ่มโอกาสในการค้นพบคำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่พบใน LS เท่านั้น และหากต้องการหยุดค้นหาคำตอบเมื่อไม่

พบการพัฒนาคำตอบภายใน 10000 รอบ ไม่ควรเลือกใช้ค่า α และค่า L ที่สูงเกินไป พิจารณาได้จากตารางที่ 4.2, 4.4, 4.6 และ 4.8 จะเห็นว่าที่ค่า α เท่ากับ 0.99 และค่า L เท่ากับ 25 หรือ 30 ทุกโครงข่ายจะให้ค่าต้นทุนที่ยังไม่ถึงจุดที่จะลดลงสู่ค่าที่ต่ำ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ส่วนค่า α และค่า L ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโครงข่ายให้ลองพิจารณารอบการทำงานที่ใช้ทดสอบประกอบการตัดสินใจ ดังตารางที่ 4.3, 4.5, 4.7 และ 4.9

พิจารณาตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 สำหรับโครงข่าย NSFNet เมื่อ α เท่ากับ 0.8, 0.83 และค่า L เท่ากับ 20, 25 พบว่าที่ α เท่ากับ 0.8 เท่ากันและค่า L เท่ากับ 20, 25 จะได้ต้นทุนเท่ากับ 64 Fiber-span Wavelength และใช้จำนวนรอบในการค้นหาทั้งหมดเท่ากับ 15217 และ 17492 ตามลำดับ ขณะที่เมื่อ α เท่ากับ 0.83 เท่ากันและค่า L เท่ากับ 20, 25 จะได้ต้นทุนเท่ากับ 63 Fiber-span Wavelength และใช้จำนวนรอบในการค้นหาทั้งหมดเท่ากับ 21734 และ 20567 ตามลำดับ จะเห็นว่าแม้ว่าคำตอบที่ได้ในกรณีหลังจะได้ต้นทุนที่ต่ำกว่าในกรณีแรกซึ่งถือว่าไม่แตกต่างมากนัก แต่ต้องการระยะเวลานานกว่าในการค้นหาคำตอบ ซึ่งหากปัญหาที่พิจารณาต้องการระยะเวลาที่รวดเร็วในการแก้ปัญหาการเลือกใช้พารามิเตอร์ในกรณีแรกจะมีความเหมาะสมมากกว่าในกรณีหลัง ดังนั้นการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ดังกล่าวจึงต้องมีความเหมาะสมกันระหว่างต้นทุนที่เหมาะที่สุดและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของโครงข่ายแต่ละแบบ

4.3.3 การวิเคราะห์ค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น

ค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งซึ่งมีผลต่อกระบวนการค้นหาคำตอบ ในหัวข้อนี้จะศึกษาการกำหนดค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นให้เหมาะสมกับปัญหาในอัลกอริทึมแบบ SA จะกำหนดให้ค่าควบคุมอุณหภูมิมีค่าสูงมากในรอบแรกของการทำงาน คือ $c_0 >> f(j) - f(i)$ เพื่อให้ความน่าจะเป็นที่จะยอมรับคำตอบที่ด้อยมีค่าสูงและใกล้ 1 มากที่สุด ในการทดสอบจะใช้โครงข่าย NSFNet ใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ค) และ M มีค่าเป็น 1 โดยทดลองกับค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ กัน คือ 5000, 10000, 25000, 50000, 75000 และ 100000 โดยกำหนดค่า α เท่ากับ 0.99 และค่า L เป็น 30 และการลดลงของต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบในช่วง 120000 รอบของการค้นหาคำตอบ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบระหว่างค่าต้นทุนที่เหมาะที่สุดและระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเมื่อค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าต่างกัน

ค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น	ต้นทุนที่เหมาะที่สุด	จำนวนรอบที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ	เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ
5000	63	216684	27 นาที
10000	63	155655	16 นาที
25000	63	214721	34 นาที
50000	63	176894	20 นาที
75000	63	191780	27 นาที
100000	63	202517	31 นาที

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบการปรับค่าพารามิเตอร์ควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นที่แตกต่างกันสำหรับโครงข่าย NSFNet จะเห็นว่าค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นทุกค่าจะให้ค่าคำตอบของต้นทุนที่เหมาะที่สุดเท่ากันคือ 63 แต่จะแตกต่างกันที่ระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ พิจารณาสมการที่ 3.4 ในบทที่ 3 เมื่อค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าน้อย ๆ กระบวนการปรับลดอุณหภูมิจะกินระยะเวลาน้อย แต่เนื่องจากกระบวนการเป็นการสุ่มหาผลเฉลยจึงมีโอกาสที่จะพบคำตอบที่ด้อยได้มาก ดังนั้นเมื่อค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 5000 จึงใช้ระยะเวลานานถึง 216684 รอบ แต่เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่า ยิ่งค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น กระบวนการค้นหาคำตอบก็จะยิ่งใช้ระยะเวลานานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากการปรับลดอุณหภูมิลงจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ดังนั้นหากคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ จึงไม่ควรเลือกค่าควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นที่มีค่าสูง ๆ แต่ควรเลือกค่าที่สามารถให้ค่าต้นทุนที่ดีได้ภายในช่วงเวลาที่ต้องการ

4.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS

ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์สำหรับอัลกอริทึมฮิวริสติกแบบ TS พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึม คือ Tabu list ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งที่ห้ามให้กระบวนการค้นหาคำตอบเกิดความซ้ำซ้อนกับผลเฉลยที่เคยทำมาก่อนในอดีต โดยจะพิจารณาในแง่ประโยชน์ของ Tabu list ต่อต้นทุนของโครงข่าย และกำหนดให้ความยาว Tabu list ที่นำมาทดสอบเป็นแบบคงที่

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย 5N_7L และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน

ความยาว tabu list	5	6	7	8	9	10	11	12
ต้นทุน	27	27	27	27	27	27	27	27
จำนวนรอบที่ใช้	12562	10308	10525	10561	10472	10118	10021	12616

ตารางที่ 4.12 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย 8N_14L และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน

ความยาว tabu list	5	6	7	8	9	10	11	12
ต้นทุน	47	46	46	46	46	46	46	47
จำนวนรอบที่ใช้	15435	19499	12014	18683	15576	11872	22146	14402

ตารางที่ 4.13 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย 10N_21L และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน

ความยาว tabu list	5	6	7	8	9	10	11	12
ต้นทุน	53	52	53	53	51	53	53	53
จำนวนรอบที่ใช้	15787	15443	15758	13251	28980	14084	17743	11783

ตารางที่ 4.14 ต้นทุนที่เหมาะที่สุดที่ค้นพบของโครงข่าย NSFNet และจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นพบคำตอบเมื่อใช้ความยาวของ Tabu list ต่าง ๆ กัน

ความยาว tabu list	5	6	7	8	9	10	11	12
ต้นทุน	63	64	64	64	63	63	63	63
จำนวนรอบที่ใช้	23557	11156	13536	11166	11028	11792	17043	16445

ตารางที่ 4.11 – 4.14 แสดงผลของความยาวของ tabu list ที่ความยาวต่างกัน (ช่วงความยาวระหว่าง 5 ถึง 12 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลเฉลยมีความเหมาะสมมากในทางปฏิบัติ [13,15]) ต่อค่าต้นทุนของโครงข่ายและจำนวนรอบที่ได้คำตอบที่เหมาะที่สุดเมื่อทดสอบบนโครงข่าย 4 โครงข่าย ได้แก่ โครงข่าย 5N_7L โครงข่าย 8N_14L โครงข่าย 10N_21L และโครงข่าย NSFNet ใช้ทราฟฟิกตามตารางที่ 4.1 (ก) – (ค) เมื่อ M เป็น 1 และจะหยุดการค้นหาคำตอบเมื่อไม่มีการพัฒนาของคำตอบภายใน 10000 รอบ

จะเห็นว่าความยาว Tabu list มีผลต่อทั้งต้นทุนและจำนวนรอบทั้งหมดที่ใช้ค้นหาคำตอบต่างกันไปในแต่ละโครงข่าย โดยในแต่ละโครงข่าย ต้นทุนที่ต่ำที่สุดจากการทดสอบกำหนดขนาดของ Tabu list ให้มีความยาวต่าง ๆ กัน จะพบเมื่อใช้ความยาว Tabu list เท่ากับ 5,6,7,8,9,10,11 และ 12 สำหรับโครงข่าย 5N_7L ความยาวเท่ากับ 6,7,8,9,10 และ 11 สำหรับโครงข่าย 8N_14L ความยาวเท่ากับ 9 สำหรับโครงข่าย 10N_21L และความยาวเท่ากับ 5,9,10,11 และ 12 สำหรับโครงข่าย NSFNet ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างค่าต้นทุนของโครงข่ายกับความยาวของ Tabu list และค่าต้นทุนที่ค้นพบเมื่อกำหนดความยาว Tabu list ต่าง ๆ กันให้ค่าคำตอบที่ไม่แตกต่างกันมากด้วย ดังนั้นการกำหนดความยาว Tabu list ให้เหมาะสมสำหรับโครงข่ายแบบหนึ่ง ๆ จึงต้องอาศัยการทดสอบกับทุกกรณี

หลังจากทำการทดสอบปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอัลกอริทึมฮิวริสติกสำหรับแต่ละโครงข่ายแล้ว จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้นี้ ไปใช้ประกอบการประยุกต์ออกแบบการจัดสรรเส้นทางและกำหนดความยาวคลื่นในสภาวะทำงานปกติและการป้องกันโครงข่ายในสภาวะเมื่อหนึ่งข่ายเชื่อมโยงได้รับความเสียหาย ซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป