

**การประยุกต์อัลกอริทึมของวิธีเลียนแบบการอบอุ่นและวิธีเลียนแบบการควนซึ่งสำหรับปัญหาพีมีเดีย
โดยมีนโยบายราคาเข้ามาเกี่ยวข้อง กรณีศึกษาการหาสถานที่ตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง**

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Application of Simulated Annealing and Simulated Quenching for the *p*-Median Problem with Step-Price

Policy: A Case Study in Native Starch Industry in the Northeastern of Thailand

สุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล¹, นัทธพงษ์ นันทสำเร้ง² และ สมบัติ สินธุชวนัน³

Sukonthip Sinwiwatthanakul, Natthapong Nanthasamreong and Sombat Sindhuchao

^{1,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
โทรศัพท์ (045) 288400-3, 288376-8 โทรสาร. (045) 288378

²สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
34000

โทรศัพท์ (045) 352000-29 ต่อ 1723 โทรสาร. (045) 262988

E-mail: somsin@rocketmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับวิธีการเลียนแบบการอบอุ่นและกระบวนการควนซึ่งเพื่อแก้ปัญหาพีมีเดียแบบมีนโยบายระดับราคาเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเป็นการแก้ปัญหาสำหรับกรณีศึกษาการหาสถานที่ตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งมีจำนวนลานมันที่มีศักยภาพสามารถเปิดเป็นโรงงานแป้งมันสำปะหลังได้จำนวนทั้งสิ้น แห่งโดยพิจารณาจากจำนวน 261 ารศึกษาวัตถุดิบและความต้องการแป้งมันในท้องตลาด ผลกและทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นมาพบว่าวิธีการเลียนแบบควนซึ่งสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการเลียนแบบการอบอุ่นทั้งในแง่ของคุณภาพคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

Abstract

This research involves the *p*-median problem with a step-price policy to locate native starch factories in the northeastern of Thailand. Candidate locations were selected from 261 material sources. A number of candidate locations were calculated by considering availability of cassava and

demand of starches on the market. Simulated quenching (SQ) and simulated annealing (SA) algorithms were proposed for solving the problem and the results of computer experiments were analyzed and showed that SQ has more effectiveness than SA.

1.บทนำ

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เป็นอุตสาหกรรมที่จัดได้ว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบพื้นฐานในการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย จากการสำรวจผลผลิตต่อไร่ในส่วนของหัวมันสำปะหลังสดที่จะนำไปแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังในประเทศไทยพบว่า ในปีพ.ศ.2554 ประเทศไทยมีปริมาณการปลูกมันสำปะหลังถึง 11,654,780 ตัน โดยพื้นที่การปลูกกว่า 54 % อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [1]

จากการวิเคราะห์ความสมดุลของปริมาณหัวมันสำปะหลังสด กับ จำนวนโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังพบว่าปัจจุบันมีสถานประกอบการที่ทำการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพียง 46 โรงงาน ซึ่งใช้วัตถุดิบเพียง 80 % ของวัตถุดิบในภูมิภาคที่มีอยู่ ดังนั้นจึงมี

โอกาสที่จะสามารถตั้งโรงงานงานผลิตแป้งมันสำปะหลังได้อีกอย่างน้อย 2 โรงงาน ทำให้สามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ในภาพรวมของประเทศลงได้ [2]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการหาคำตอบของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบพีมีเดียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขของระดับราคา โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากสองวิธีการคือ (1) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated annealing: SA) และ (2) วิธีการเลียนแบบการควนซึ่ง (Simulated Quenching: SQ)

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปัญหาพีมีเดียในการเลือกสถานที่ตั้ง

ปัญหาพีมีเดีย (p -median) เป็นปัญหาของการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานจำนวน p โดยการให้น้ำหนักด้านระยะทางบนโครงข่ายของจุดที่มีความต้องการสินค้า n จุด โดย Mladenovic และคณะ [3] ได้สำรวจวิธีการในการแก้ปัญหาพีมีเดีย และได้ค้นพบความหลากหลายในขั้นตอนต่างๆในการค้นหาสถานที่ตั้งโรงงานจากการศึกษานี้ ในขณะที่เดียวกัน Cadenas และคณะ [4] ก็ได้ศึกษาวิธีการเชิงพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาพีมีเดียฟัซซี่ (Fuzzy p -median) โดยได้เพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับอัตราการรุกราน (Invasion) และอัตราการผ่าเหล่า (Mutation rates) แล้วทำให้สามารถหาผลลัพธ์ของคำตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ได้ และได้คำตอบที่ดีขึ้น นอกจากนี้ Levanova และ Loreash [5] ก็ได้นำเสนอวิธีอาณานิคมมด และวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน เพื่อแก้ปัญหาและหาคำตอบสำหรับปัญหาพีมีเดียเช่นเดียวกัน โดยในการวิจัยนี้ได้้นำวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาพีมีเดียเช่นกัน แต่แตกต่างตรงที่มีนโยบายราคาเข้ามา ทั้งนี้เนื่องจากการรับซื้อผลิตผลทางการเกษตรจะเป็นการรับซื้อโดยเน้นปริมาณมากเพื่อประกันว่าจะมีวัตถุดิบเพียงพอต่อกำล้างการผลิตของโรงงาน ดังนั้นนโยบายระดับราคาจึงถูกนำมาใช้เพื่อจูงใจให้เกษตรกรรายใหญ่นำผลิตผลมาขายให้กับโรงงานซึ่งนอกจากจะเป็นการประกันความเสี่ยงต่อการขาดแคลนวัตถุดิบแล้ว ยังช่วยจำกัดจำนวน

ผู้ขายซึ่งทำให้ง่ายต่อการควบคุมคุณภาพในระยะยาวอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยของ Auckara-aree และ Boondiskulchok [6] ก็ได้แก้ปัญหาการหาสถานที่ตั้งของสถานีรับซื้อวัตถุดิบเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ด้านกำไรสูงสุดภายใต้ นโยบายระดับราคา ซึ่งผลจากการวิจัยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาจริงได้เป็นอย่างดี

2.2 วิธีการเลียนแบบการอบอ่อนและวิธีการเลียนแบบการควนซึ่ง

วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated annealing: SA) เป็นเมตาฮิวริสติกส์ที่ใช้อย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีภายใต้ข้อจำกัดของเวลา โดย Park และ Kim [7] ได้ค้นพบพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องใช้ในวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน โดยมีพารามิเตอร์หลักอยู่ 4 พารามิเตอร์ได้แก่ (1) อุณหภูมิเริ่มต้น (Initial temperature: T_i), (2) สมการการเย็นตัว (Cooling function: $F(T)$), (3) จำนวนรอบวนซ้ำภายใน (Epoch length: L), และ (4) เงื่อนไขการหยุดการค้นหาคำตอบ (Stopping Criterion) ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการใช้วิธีการดังกล่าวในการแก้ปัญหา รวมทั้งมีการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้วิธีการเลียนแบบการอบอ่อนมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น อาทิเช่น Tavares Martins และ Tsuzuki [8] ได้ทดลองใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน โดยประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาของการวางแผนเส้นทางหุ่นยนต์ ซึ่งพบว่าความไวของพารามิเตอร์แต่ละตัวมีความเกี่ยวข้องกับการกระจายความน่าจะเป็นของคำตอบ นอกจากนี้ Saraiva และคณะ [9] ก็ได้นำเสนอวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนเพื่อแก้ปัญหาการจัดการตารางการซ่อมบำรุงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและปัญหาการจัดเวลาในกระบวนการทำงาน

อย่างไรก็ตามวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนก็ยังมีจุดอ่อนหลายประการ โดยจุดอ่อนที่สำคัญประการหนึ่งคือหากต้องการคุณภาพของคำตอบที่ดีจะต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบมาก ซึ่ง Ingber [10] ได้แนะนำให้เพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนให้มีคุณสมบัติในการหาคำตอบที่ดีขึ้นและแก้ไขข้อด้อยหลายประการของวิธีการดังกล่าว และยังได้ออกแบบวิธีการเลียนแบบการควนซึ่ง (Simulated quenching: SQ) ซึ่งดัดแปลงมาจากจำลองการหลอมโดยการ

เพิ่มอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งในหลายตัวอย่างการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าวิธีเลียนแบบการควนซึ่ง สามารถค้นหาคำตอบได้เร็วกว่าวิธีเลียนแบบการอบอุ่นแบบดั้งเดิม จากนั้น Vasan และ Raju [11] ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีเลียนแบบการอบอุ่น, วิธีเลียนแบบการควนซึ่ง และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) สำหรับการแก้ปัญหาหระบบชลประทานให้ดีขึ้น โดยผลจากการเปรียบเทียบพบว่าวิธีการเลียนแบบการควนซึ่ง สามารถกำจัดข้อด้อยของวิธีการเลียนแบบการอบอุ่นในแง่ของเวลาการคำนวณได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นจากการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ซึ่งอ้างอิงจากปัญหาที่มีเงื่อนไขพื้นฐานและตัดแปลงให้เข้ากับนโยบายด้านราคาเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพปัญหาจริงในอุตสาหกรรมเป้งมันสำปะหลัง จากนั้นจึงประยุกต์ใช้วิธีการเลียนแบบการอบอุ่นและวิธีการเลียนแบบการควนซึ่ง โดยการกำหนดช่วงอุณหภูมิในการเย็นตัวให้เท่ากับอัตราการเย็นตัวของเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ที่ 910 องศาเซลเซียส ถึง 760 องศาเซลเซียส

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการเป้าหมายปรับปรุงจากสมการพีมีเดียพื้นฐานของ ReVelle และ Eiselt [12] และประยุกต์ใช้กับนโยบายระดับราคาของ Auckara-aree และ Boondiskulchok [6] โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

3.1 เขตของตัวแปร

- I คือเขตของลานมัน
- J คือเขตของลานมันที่มีศักยภาพเปิดเป็นโรงงานผลิตเป้งมันสำปะหลัง
- T คือเขตของระดับราคา

3.2 พารามิเตอร์

- d_{ij} คือต้นทุนค่าขนส่งระหว่าง i และ j
- P_s คือราคาต่อหน่วยวัตถุดิบ ณ เงินไขนั้นๆ $s, s \in T$

- q_s คือปริมาณต่ำสุด ณ ระดับราคานั้น $s, s \in T$
- W_j คือปริมาณเป้งมันสำปะหลังจากแต่ละลานมัน
- R คือปริมาณสูงสุดจากลานมัน

3.3 ตัวแปรการตัดสินใจ

- x_{ij} คือ 1 ถ้าวัตถุดิบถูกส่งจาก i ไป $j \ i \in I, j \in J$ และคือ 0 ถ้าเป็นกรณีอื่นๆ
- y_i คือ 1 ถ้าลานมันถูกเปิดเป็นโรงเป้งมันสำปะหลัง, $i \in I; 0$ อื่นๆ
- A_s คือปริมาณที่รับซื้อ ณ ระดับราคานั้น $s, s \in T$
- u_s คือ 1 ถ้าราคา s ถูกเลือก $s \in T, 0$ อื่นๆ

รูปแบบของปัญหาพีมีเดียที่มีนโยบายราคาเข้ามาเกี่ยวข้องสามารถออกแบบได้ดังนี้:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} P_s A_s y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

สมการเงื่อนไข;

$$\sum_{i \in I} 0.25 A_s y_i \geq \sum_{j \in J} W_j y_j \quad \forall i \forall j \in I, J \quad (2)$$

$$q_s u_s \leq A_s \leq q_{s+1} u_s \quad \forall s \in T \quad (3)$$

$$\sum_{s \in T} u_s = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} = y_i \quad \forall i \forall j \in I, J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \leq R \quad \forall i \forall j \in I, J \quad (6)$$

$$A_s \geq 0 \quad \forall s \in T \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \forall j \in I, J \quad (8)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$u_s \in \{0,1\} \quad \forall s \in T \quad (10)$$

สมการเป้าหมาย (1) มีวัตถุประสงค์คือการใช้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งหมายถึงผลรวมของต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนการขนส่ง ระหว่างลานมันและโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง สมการเงื่อนไข (2) ปริมาณมันสำปะหลังที่ซื้อทั้งหมด $\sum c_s$ ราคา s ที่เพียงพอต่อความต้องการของกำลังการผลิตของโรงงานแป้งมันสำปะหลังและค่า 0.25 เป็นประสิทธิภาพในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง กล่าวคือ หัวมันสด 100% จะถูกแปรสภาพเป็นแป้งได้เพียง 25% เท่านั้น

สมการเงื่อนไขที่ (3) บังคับให้ปริมาณที่ซื้อ $\sum c_s$ ราคานั้นต้องอยู่ในที่ระบุไว้ในนโยบายระดับราคา สมการเงื่อนไข (4) ประกันได้ว่าในการซื้อขายแต่ละครั้งต้องซื้อในราคาใดราคาหนึ่ง $\sum c_s$ ปริมาณที่กำหนดไว้ในนโยบายระดับราคา สมการเงื่อนไข (5) เพื่อให้มั่นใจว่าแหล่งวัตถุดิบจะส่งหัวมันสำปะหลังสดได้เพียงครั้งเดียว

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในสภาพอุตสาหกรรมที่แท้จริงนั้น มันสำปะหลังจะถูกใช้สำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ สมการเงื่อนไขที่ (6) จึงถูกเพิ่มเติมขึ้นมา

สมการเงื่อนไข (7) เป็นการจำกัดให้ตัวแปร A_s ให้มีค่าเป็นบวกเท่านั้น (Non-negativity) และทำยสุดสมการเงื่อนไขที่ (8) ถึง (10) เป็นการบังคับตัวแปร x_{ij}, y_i และ u_s ให้เป็นแบบไบนารี

เนื่องจากปัญหาแบบพีมีเดียเป็นปัญหาที่มีความยากในระดับ NP-Hard ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาที่จำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นต้องใช้วิธีเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ปัญหา

4. การออกแบบขั้นตอน

4.1 วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA)

เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกที่อาศัยหลักการหาคำตอบจากเซตคำตอบใกล้เคียงของคำตอบปัจจุบัน [13] โดยมีการออกแบบอัลกอริทึมจากการจำลองการควบคุมการเย็นตัวของวัตถุใน

อ่างความร้อน (Heat bath) ซึ่งในทางโลหะวิทยาเรียกกระบวนการนี้ว่าการอบอ่อน (Annealing)

ในกระบวนการอบอ่อนนั้น โลหะจะถูกให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งจากนั้นจึงปล่อยให้เย็นตัวลงช้าๆ ระหว่างที่โลหะเกิดการเย็นตัวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอะตอมในเนื้อโลหะ (Crystallization) และทำให้มีค่าความแข็งที่แตกต่างกัน ณ อัตราการเย็นตัว (Cooling rate) ที่แตกต่างกัน [14]

วิธีเลียนแบบการอบอ่อนมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดี โดยสามารถแก้ปัญหาการติดอยู่ในคำตอบที่ดีในพื้นที่คำตอบย่อยเดิม (Local optima) โดยอาศัยสมการการเปลี่ยนแปลงพลังงานของโบลทซ์แมน (Boltzmann) ดังแสดงในสมการที่ 11

$$h(\Delta E) = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \quad (11)$$

วิธีเลียนแบบการอบอ่อนจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงด้วยความน่าจะเป็นโดยอาจยอมรับคำตอบที่แย่กว่าคำตอบเดิมเพื่อนำมาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปพัฒนาเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีกว่าในพื้นที่ของคำตอบย่อยอื่นๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบขั้นตอนของวิธีเลียนแบบการอบอ่อนดังแสดงในรูปที่ 1 ด้านล่าง

ขั้นตอน: วิธีเลียนแบบการอบอ่อน

ออกแบบคำตอบเริ่มต้น, S

กำหนดให้การจัดส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานที่ใกล้ที่สุด

ให้ S เป็นคำตอบที่ดีที่สุด, S^*

ตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้น, T_i

ตั้งค่าอุณหภูมิสุดท้าย, T_f ; $T_i > T_f$

ตั้งค่ารอบของการวนซ้ำภายใน, k

ตั้งค่าระยวนรอบซ้ำ, L

วนรอบซ้ำ L ครั้ง;

Generate *Neighborhood Solution*, S' (local search, 2-opt)

$$\text{Let } \Delta = Z(S') - Z(S)$$

If $\Delta < 0$, let $S' \rightarrow S$ and if $Z(S') < Z(S^*)$, let $S' \rightarrow S^*$ also

If $\Delta > 0$, let $S' \rightarrow S$ with probability; $p = e^{-(\Delta/kT)}$
 และเมื่อถึงกำหนดตามเงื่อนไขการหยุดการหาคำตอบ, ให้หยุดหาคำตอบ
 กำหนดให้ $T_{k+1} = \alpha T_k - 1$ and $k = k + 1$

รูปที่ 1 รหัสเทียมของวิธีเลียนแบบการอบอุ่น

4.2 วิธีเลียนแบบการควENCHING (Simulated Quenching: SQ)

เป็นการจำลองวิธีการแก้ปัญหากระบวนการทำความเย็นของโลหะหลอมเหลวที่ผ่านการอบอุ่น อัลกอริทึมและการเปรียบเทียบของเทคนิคนี้ยังคงคล้ายกับวิธีเลียนแบบการอบอุ่น แตกต่างเพียงการประมวลผลหาคำตอบเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการดังกล่าว ซึ่งโดยปกติแล้ววิธีเลียนแบบการอบอุ่นจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ด้วยเหตุนี้เองนักวิจัยมีความจำเป็นเพื่อเพิ่มความเร็วในอัลกอริทึมได้อย่างรวดเร็วโดยการลดอุณหภูมิในระบบซึ่งเป็นพื้นฐานของวิธีเลียนแบบการควENCHING ในแง่ของเวลาการคำนวณผลกระทบที่เหมาะสม [7], [10]

พารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมการทำงานที่ประสบความสำเร็จของวิธีเลียนแบบการควENCHING คืออุณหภูมิเริ่มต้น อัตราการระบายความร้อนและจำนวนรอบวนซ้ำภายใน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีจำนวนการวนซ้ำที่การดำเนินการที่อุณหภูมิเดิมจะมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของคำตอบ [10]

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบขั้นตอนของวิธีเลียนแบบการควENCHING โดยมีพารามิเตอร์ดังระบุไว้ในรูปที่ 2

ขั้นตอน: วิธีเลียนแบบการควENCHING

- ออกแบบคำตอบเริ่มต้น, S
- กำหนดให้การจัดส่งวัตถุไปยังโรงงานที่ใกล้ที่สุด ให้ S เป็นคำตอบที่ดีที่สุด, S^*
- ตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้น, T_i
- ตั้งค่าอุณหภูมิสุดท้าย, T_f ; $T_i > T_f$
- ตั้งค่ารอบของการวนซ้ำภายใน, k
- ตั้งค่าระยวนรอบซ้ำ, L

วนรอบซ้ำ L ครั้ง;

ออกแบบคำตอบเริ่มต้นจากวิธีการใกล้ที่สุด, S' (local search, 2-opt)

Let $\Delta = Z(S') - Z(S)$

If $\Delta < 0$, let $S' \rightarrow S$ and if $Z(S') < Z(S^*)$, let $S' \rightarrow S^*$ also

If $\Delta > 0$, let $S' \rightarrow S$ with probability; $p = e^{-(\Delta/kT)}$
 และเมื่อถึงกำหนดตามเงื่อนไขการหยุดการหาคำตอบ, ให้หยุดหาคำตอบ

กำหนดให้ $T_{k+1} = n(\alpha T_k) - v$ and $k = k + 1$

รูปที่ 2 รหัสเทียมของวิธีเลียนแบบการควENCHING

คำตอบในเนเบอร์ฮูดของทั้งสองอัลกอริทึม ได้มาจากการค้นหาคำตอบใกล้เคียงโดยการสลับตำแหน่งของลูกค้าหรือในที่นี่คือตำแหน่งของลานมันบริวารที่ทำหน้าที่ส่งวัตถุดิบมายังลานมันที่เปิดเป็นโรงงานที่ละ 2 จุด (local search, 2-opt)

พารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบโดยวิธีเลียนแบบการอบอุ่นและวิธีเลียนแบบการควENCHING ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น, ระยวนรอบซ้ำภายใน และสำหรับวิธีการเลียนแบบการควENCHING จะมีการทดลองเปลี่ยนรูปแบบของอัตราการเย็นตัวเพิ่มขึ้นมาอีกด้วย

ข้อมูลที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจากข้อมูลการจดทะเบียนสถานที่ตั้งลานมัน 261 แห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยประมาณการจำนวนมันสำปะหลังแต่ละแห่งด้วยข้อมูลเงินทุนจดทะเบียนที่ได้ให้ไว้กับกรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม

ขั้นตอนวิธีการทั้งหมดถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา JAVA และทำการประมวลผลในคอมพิวเตอร์ CPU Intel ® Core™ GB i3@2.4GHz, 2.4GHz และ RAM 2 GB

5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

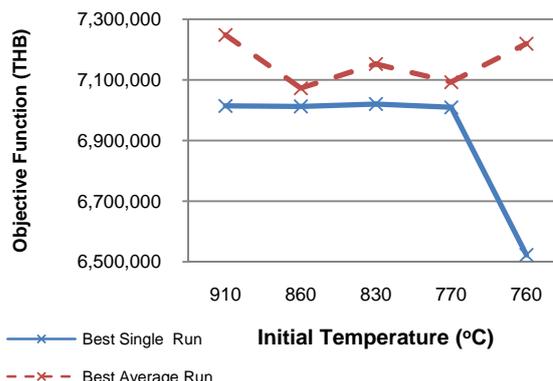
5.1 ผลการทดลองวิธีเลียนแบบการอบอ่อน

จากการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้น (T_1) จาก 910°C ถึง 760°C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อนเหล็กกล้าคาร์บอน และการทดลองเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบวนซ้ำภายใน (L) จาก 10 ถึง 50 ผลของการทดลองแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตาราง 1 ผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของวิธีเลียนแบบการอบอ่อน

T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	วิธีเลียนแบบการอบอ่อน		
	Z_{best} (บาท)	$Z_{\text{avg.}}$ (บาท)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
910	7,014,531.57	7,248,639.60	11.822
860	7,012,631.68	7,073,035.59**	11.873
830	7,020,515.13	7,152,784.19	11.313
770	7,009,794.75	7,093,011.96	11.155
760	6,522,998.58*	7,219,757.45	11.161

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าอุณหภูมิเริ่มต้นไม่มีผลกับคุณภาพของคำตอบมากนัก โดยหากพิจารณาจากค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเฉลี่ย ($Z_{\text{avg.}}$) จะพบว่าเมื่อค่าขึ้นลงไม่แปรผันตามอุณหภูมิเริ่มต้น แต่หากพิจารณาค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายที่ดีที่สุดจากการทดสอบ 5 รอบจะพบว่าเมื่อค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีค่าต่ำที่สุดที่อุณหภูมิเริ่มต้น 760°C ดังแสดงในรูปที่ 3

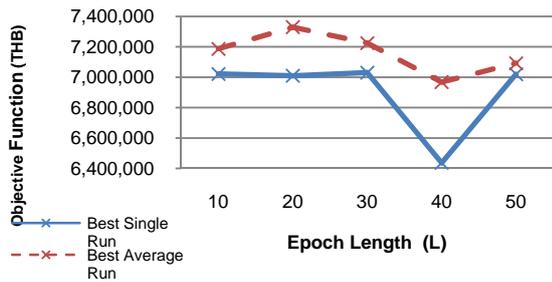


รูปที่ 3 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเริ่มต้นของวิธีเลียนแบบการอบอ่อน

ตารางที่ 2 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะวนรอบซ้ำภายในของวิธีเลียนแบบการอบอ่อน

L	วิธีเลียนแบบการอบอ่อน		
	Z_{best} (บาท)	$Z_{\text{avg.}}$ (บาท)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
10	7,022,141.24	7,186,722.05	11.906
20	7,010,140.03	7,329,074.68	23.478
30	7,030,173.78	7,224,522.38	33.313
40	6,436,625.60*	6,967,961.43**	44.433
50	7,019,618.61	7,092,349.27	56.543

จากตารางที่ 2 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะวนรอบซ้ำแสดงให้เห็นว่าระยะวนรอบซ้ำที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายมีค่าลดลง แต่เมื่อระยะวนรอบซ้ำเพิ่มขึ้นเป็น 50 รอบ จะพบว่าค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายกลับเพิ่มขึ้นมาอีก ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเมื่อเปลี่ยนค่าจำนวนรอบวนซ้ำภายในของวิธีเลียนแบบการอบอุ่น

5.2 ผลการทดลองวิธีเลียนแบบการควนซิ่ง

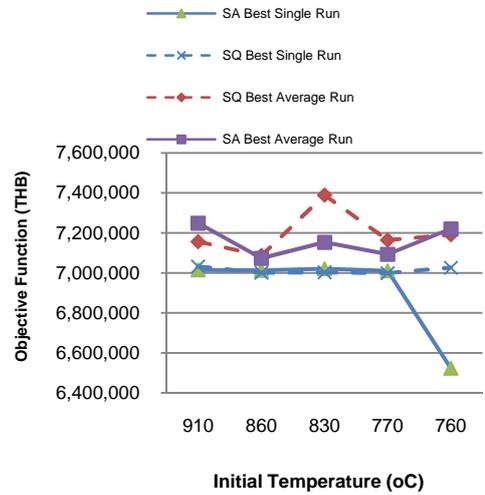
ในวิธีการเลียนแบบการควนซิ่ง จะมีการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นและจำนวนรอบวนซ้ำภายใน และออกแบบการทดลองเหมือนกับวิธีเลียนแบบการอบอุ่น แต่จะมีการเพิ่มพารามิเตอร์ขึ้นมาอีก 2 พารามิเตอร์คือความเร็วในการควนซิ่ง (Quenching velocity: v) และ อัตราการลดอุณหภูมิ (Cooling rate: n)

ตารางที่ 3 ผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของวิธีเลียนแบบการควนซิ่ง

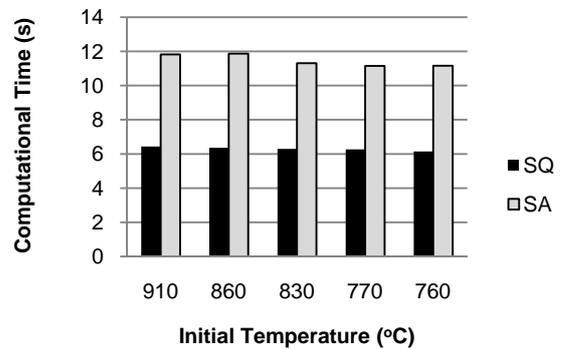
T ₁ (°C)	วิธีเลียนแบบการควนซิ่ง		
	Z _{best} (บาท)	Z _{avg.} (บาท)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
910	7,032,105.86	7,155,911.07	6.434
860	7,000,604.20	7,086,090.30**	6.364
830	7,002,250.35	7,388,747.36	6.291
770	6,998,870.82*	7,164,046.25	6.271
760	7,025,909.16	7,190,793.04	6.147

จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของวิธีเลียนแบบการควนซิ่งจะพบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นไม่มีผลต่อค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเช่นเดียวกันกับวิธี

เลียนแบบการอบอุ่น โดยรูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีการทั้งสองที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายที่อุณหภูมิเริ่มต้นแตกต่างกันระหว่างวิธีเลียนแบบการอบอุ่นกับวิธีเลียนแบบการควนซิ่ง



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบเวลาในการคำนวณระหว่างวิธีเลียนแบบการอบอุ่นและวิธีเลียนแบบการควนซิ่ง

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าเวลาในการคำนวณของวิธีการเลียนแบบควนซิ่งนั้นมีค่าน้อยกว่าวิธีเลียนแบบการอบอุ่นมาก โดยหากพิจารณาคุณภาพของคำตอบจากค่าที่ดีที่สุดในการทดสอบ 5 ครั้งจะพบว่าคำตอบของวิธีการทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียสที่คำตอบของวิธีเลียนแบบการอบอุ่นมีคุณภาพดีกว่า แต่หากพิจารณา

คำตอบเฉลี่ยจะพบว่าวิธีเลียนแบบการอบอุ่นมีคุณภาพคำตอบที่ดีกว่าเป็นส่วนใหญ่

เมื่อทำการทดลองถึงผลกระทบของระยะวนรอบซ้ำภายในของวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะวนรอบซ้ำภายในมีอิทธิพลต่อคุณภาพของคำตอบในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะที่ระยะวนรอบซ้ำมีค่ามากกว่า 30 ดังแสดงในตารางที่ 4

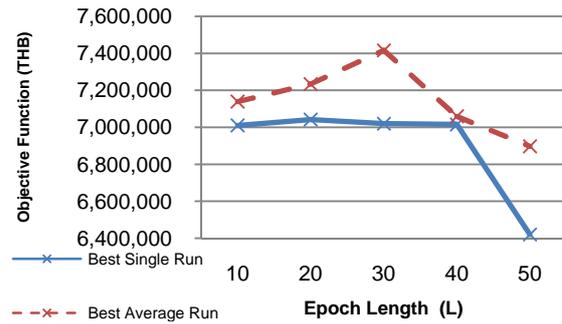
5.2 ผลการทดลองวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าเวลาในการคำนวณของวิธีการเลียนแบบควบซึ่งนั้นน้อยกว่าวิธีเลียนแบบการอบอุ่นมาก โดยหากพิจารณาคุณภาพของคำตอบจากค่าที่ดีที่สุดในการทดสอบ 5 ครั้งจะพบว่าคำตอบของวิธีการทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียสที่คำตอบของวิธีเลียนแบบการอบอุ่นมีคุณภาพดีกว่า แต่หากพิจารณาคำตอบเฉลี่ยจะพบว่าวิธีเลียนแบบการอบอุ่นมีคุณภาพคำตอบที่ดีกว่าเป็นส่วนใหญ่

เมื่อทำการทดลองถึงผลกระทบของระยะวนรอบซ้ำภายในของวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะวนรอบซ้ำภายในมีอิทธิพลต่อคุณภาพของคำตอบในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะที่ระยะวนรอบซ้ำมีค่ามากกว่า 30 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะวนรอบซ้ำภายในของวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง

L	วิธีเลียนแบบการควบซึ่ง		
	Z _{best} (บาท)	Z _{avg.} (บาท)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
10	7,009,782.85	7,138,498.30	6.562
20	7,041,977.94	7,233,838.06	12.169
30	7,019,717.69	7,416,091.47	18.320
40	7,015,369.40	7,059,187.33	22.123
50	6,420,532.75**	7,896,831.04	28.590



รูปที่ 7 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเมื่อเปลี่ยนค่าจำนวนรอบวนซ้ำภายในของวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่ารอบของการวนซ้ำภายใน มีผลต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง โดยจะเห็นว่าหากมีการเพิ่มรอบการวนซ้ำภายในให้มากขึ้นจะทำให้อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นสามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ โดยคำตอบที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่จำนวนรอบการวนซ้ำภายใน 50 รอบของวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทดลองการเปลี่ยนอัตราเร็วของการย่นตัวในสองรูปแบบคือ (1) ความเร็วในการควบซึ่ง และ (2) อัตราการลดอุณหภูมิ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการควบซึ่งของวิธีเลียนแบบการควบซึ่ง

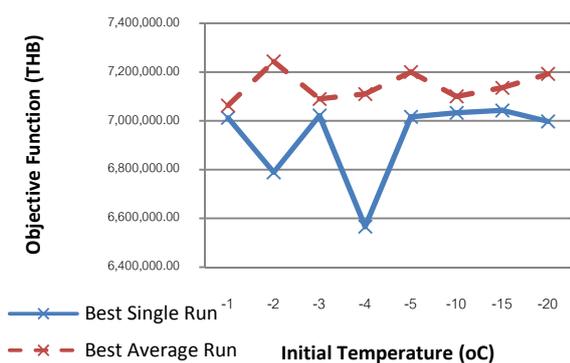
v	วิธีเลียนแบบการควบซึ่ง		
	Z _{best} (บาท)	Z _{avg.} (บาท)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	7,012,328.27	7,062,775.42	6.348
2	6,788,625.44	7,243,086.04	6.463
3	7,021,406.15	7,089,782.91	5.851
4	6,566,312.12	7,110,202.82	5.845
5	7,016,172.67	7,200,103.73	5.928
10	7,032,737.00	7,099,892.80	4.644
15	7,042,542.43	7,135,472.15	4.595
20	6,997,204.28	7,192,087.74	3.944

ตารางที่ 6 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการเย็นตัวของวิธีเลียนแบบการควENCH

n	วิธีเลียนแบบการควENCH		
	Z _{best} (บาท)	Z _{avg.} (บาท)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
0.8	7,019,762.22	7,119,744.01	6.519
0.7	7,016,491.95	7,204,086.69	4.703
0.6	6,432,723.06	6,861,606.18	3.199
0.5	6,969,971.56	7,213,382.37	2.306
0.4	7,072,864.49	7,400,511.11	1.784

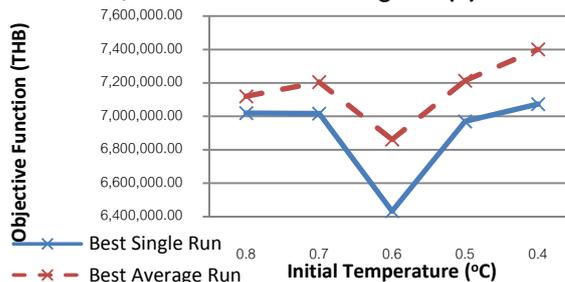
ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วในการควENCH และอัตราการเย็นตัวไม่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบเพราะเมื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากตารางที่ 1 และ 3 กับตารางที่ 5 และ 6 ให้คำตอบที่ดีกว่าและให้เวลาที่น้อยกว่า แต่จะช่วยลดเวลาในการคำนวณลงเท่านั้น โดยหากกำหนดระดับความเร็วในการควENCH สูงจะทำให้เวลาในการคำนวณสั้นลง แต่เวลาในการคำนวณจะไม่ลดลงมากเท่ากับการเปลี่ยนอัตราการเย็นตัวดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9

SQ with variation of quenching velocity (v)



รูปที่ 8 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเมื่อเปลี่ยนความเร็วในการควENCH ของวิธีเลียนแบบการควENCH

SQ with variation of cooling rate (n)



รูปที่ 9 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายเมื่อเปลี่ยนอัตราการเย็นตัวของวิธีเลียนแบบการควENCH

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสมการเป้าหมายสำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยประยุกต์ตัวแบบของปัญหาที่มีเงื่อนไขและนโยบายระดับราคา โดยได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมของวิธีเลียนแบบการอบอุ่นและวิธีเลียนแบบการควENCH เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

ผลของคำตอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีเลียนแบบการควENCH โดยกำหนดให้ค่าการวนรอบซ้ำภายในมีค่าเท่ากับ 50 รอบ ณ อุณหภูมิเดียวกัน สามารถให้ผลของคำตอบที่ดีกว่าโดยใช้เวลาคำนวณที่น้อยกว่าวิธีเลียนแบบการอบอุ่น โดยลานมันที่ถูกเลือกให้เป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังคือลานมันที่ตั้ง ณ ตำบลโคมประดิษฐ์ อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี และลานมันที่ตั้ง ณ ตำบลบ้านเล่า อำเภอมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ โดยมีต้นทุนอยู่ที่ 6,420,532.75 บาท

เอกสารอ้างอิง

[1] สมาคม โรงงาน ผู้ผลิตมัน สำปะ หลัง ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ. รายงานประจำปี พ.ศ.2553-2554. กรุงเทพฯ, 2555.

[2] สำนักสารสนเทศ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. รายงานสรุปจำนวนโรงงานผลิตแป้งมันปะหลังและกำลังการผลิตปี พ.ศ.2554. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม: กรุงเทพฯ, 2554.

- [3] N. Mladenovic, J.Brimberg, P .Hansen, and J.A. Moreno-Perez, "The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches," *European Journal of Operation Research*, 2007, Vol. 179 pp.927–939.
- [4] J.M.Cadenas, M.J.Canos, M.C.Garrido, C.Ivorra, V., "Soft-computing based heuristics for location on network: The p-median problem," *Applied Soft Computing*, , 2011, Vol. 11, pp.1540–1547.
- [5] T.V.Levanova, M.A.Loreash, "Algorithms of ant System and Simulated Annealing for the p-median Problem," *Automation and Remote Control*, 2009, Vol. 16, pp.113–130.
- [6] Kanya Auckara-aree, Rein Boondiskulchok, "Designing the raw material collection system for profit maximization under a step-price policy," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2010, Vol. 32 pp.581–588.
- [7] Moon-Won Park, Yeong-Dae Kim, "A systematic procedure for setting parameters in Simulated Annealing algorithms," *Computer Ops Res*, 1998, Vol. 25, pp.207–217.
- [8] R.S.Tavares, T.C. Martins, M.S.G.Tsuzuki, "Simulated annealing with adaptive neighborhood: A case study in off-line robot path planning," *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, pp.2951–2965.
- [9] Joao Tome Saraiva, Marcelo Leandro Pereira, Virgilio Torrado Mendes, Jose Carlos Sousa, "A Simulated Annealing based approach to solve the generator maintenance scheduling problem," *Electric Power Systems Research*, 2011, Vol. 81, pp.1283–1291.
- [10] Lester Ingber, "Simulated annealing: Practice versus theory" *Mathl.Comput.Modelling*, 1993, Vol. 18 pp.29–57.
- [11] A.Vasan, Komaragiri Srinivasa Raju, "Comparative analysis of Simulated Annealing, Simulated Quencing and Genetic Algorithms for optimal reservoir operation," *Applied soft Computing*, 2009, Vol. 9 pp.274–281.
- [12] Revell C.S. and Eiselt H.A., "Location Analysis: A synthesis and survey". *European Journal of Operations Research*, 2005, Volume 165, Issue 1, 16 August 2005, pp. 1-19.
- [3] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส.วิธีการเมตาฮีริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. 2554.
- [14] ผนกร อินทร์พยุง. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและโลจิสติกส์. ซีเอ็ดยูเคชั่น. กรุงเทพฯ. 2548.