บทความวิจัย

การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด ด้วยโซลเวอร์ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 และ 2019 กรณีศึกษาตัวแบบทางด้านสถิติศาสตร์

ปรารถนา มินเสน*
ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 9636 8394 อีเมล: pradthana_min@g.cmru.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.013
รับเมื่อ 25 พฤษภาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 6 กรกฎาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 20 กรกฎาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 24 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดในปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ 29 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มาจากปัญหาในตัวแบบทางด้านสถิติศาสตร์ 11 ตัวแบบ ด้วยโซลเวอร์ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 ที่ประกอบไปด้วย วิธีกำหนดการเชิงเส้น (LP_{2007}) วิธีนิวตัน-ราฟสัน (NR) และเกรเดียนต์สังยุค (CG) และโซลเวอร์ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ที่ประกอบไปด้วย วิธีกำหนดการเชิงเส้น (LP_{2019}) วิธีเกรเดียนต์ลดรูปแบบวางนัยทั่วไป (GRG) และเชิงวิวัฒน์ (EV) แยกกลุ่มในการทดลองเป็นปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ใช้วิธี LP_{2007} และ LP_{2019} ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และปัญหาตัวแบบไม่เชิงเส้นใช้วิธี NR, CG, GRG และ EV ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เกณฑ์การตัดสินใจ 2 วิธี คือ 1) ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุด ($MAE_{\min}$) และ 2) เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุด ($AT_{\min}$) เป็นตัวกำหนดวิธีการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยกำหนดปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่มีคำตอบที่แท้จริงจำนวน 7 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ใช้วิธีการตัดสินใจด้วยค่า $AT_{\min}$ และปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่เป็นตัวแบบสโตแคสติกไม่เชิงเส้นจำนวน 22 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ใช้วิธีการตัดสินใจด้วยค่า $MAE_{\min}$ และ $AT_{\min}$ ทำการทดลองซ้ำในแต่ละสถานการณ์จำนวน 100 รอบ ผลการวิจัยพบว่า 1) ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่มีคำตอบที่แท้จริง เมื่อปัญหาเป็นการเดินทางของพนักงานขาย LP_{2019} เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เร็วกว่า LP_{2007} แต่ในกรณีตัวแบบไวท์นอยส์ ตัวแบบเชิงเส้น ตัวแบบลอการิทึม ตัวแบบเลขชี้กำลัง และตัวแบบกำลัง ที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็น $RMSE$ วิธี NR และ CG ทำงานได้รวดเร็วกว่าวิธี GRG และ EV ในทุกปัญหา และ 2) ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่เป็นตัวแบบสโตแคสติกไม่เชิงเส้น เมื่อการตัดสินใจด้วยค่า $MAE_{\min}$ วิธี GRG และ EV เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดตามลำดับ และเมื่อการตัดสินใจที่ค่า $AT_{\min}$ พบว่า วิธี CG และ NR เป็นวิธีที่หาคำตอบได้เร็วมากที่สุดตามลำดับ

คำสำคัญ: โซลเวอร์ นิวตัน-ราฟสัน เกรเดียนต์สังยุค เกรเดียนต์ลดรูปแบบวางนัยทั่วไป เชิงวิวัฒน์

การอ้างอิงบทความ: ปรารถนา มินเสน, "การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด ด้วยโซลเวอร์ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 และ 2019 กรณีศึกษาตัวแบบทางด้านสถิติศาสตร์," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 3, หน้า 496–511, ก.ค.–ก.ย. 2564.

Research Article

Comparing Methods of Optimization in Solver of Microsoft Excel 2007 and 2019: A Case Study of Statistical Models

Pradthana Minsan*
Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University Chang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 9636 8394, E–mail: pradthana_min@g.cmru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.013
Received 25 May 2020 ; Revised 6 July 2020 ; Accepted 20 July 2020; Published online: 24 May 2021

Abstract

The objective of this research was to compare the methods to solve optimization in benchmark problems among 29 objective functions of 11 statistical models. The comparison were carried out by these methods: Linear Programming (LP_{2007}), Newton-Raphson (NR) and Conjugate Gradient (CG) in add-ins solver of Microsoft Excel 2007 and linear programming (LP_{2019}), Generalized Reduced Gradient (GRG) and Evolutionary (EV) in Microsoft Excel 2019. The experimental group was divided into linear programming problem using LP_{2007} and LP_{2019} methods for efficiency comparison. Likewise, nonlinear model problem using NR, CG, GRG and EV for efficiency comparison. The two decision criteria are the minimizing Mean Absolute Error ($MAE_{\min}$) and the minimizing mean time ($AT_{\min}$) for determining the most effective method for finding the answer. The benchmark problems come with exact solutions, exhibiting 7 objective functions utilizing decision method by $AT_{\min}$. The benchmark problems in relation to the stochastic-nonlinear model with 22 objective functions were performed with the decision method by $MAE_{\min}$ and $AT_{\min}$. For each scenario that was repeated 100 times, for the benchmark problems with exact solution, LP_{2019}, finding answers was faster than using the LP_{2007} with regard to traveling salesman problems. However, in cases of the white noise model, linear model, logarithmic model, exponential mode and power model that RMSE is objective function, NR and CG methods are found to work faster than GRG and EV methods in all of the problems. Meanwhile, for the benchmark problems of the stochastic-nonlinear model, the GRG and EV methods are the most effective respectively with decision by $MAE_{\min}$. Conversely, the CG method and NR method are the fastest means with the decision process by $AT_{\min}$.

Keywords: Solver, Newton-raphson, Conjugate Gradient, Generalized Reduced Gradient, Evolutionary

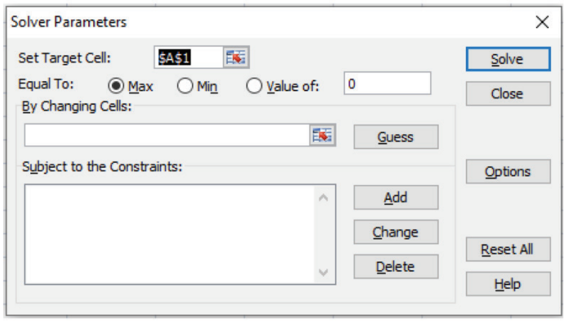
Please cite this article as: P. Minsan, "Comparing methods of optimization in solver of Microsoft Excel 2007 and 2019: A case study of statistical models," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 3, pp. 496–511, Jul.–Sep. 2021 (in Thai).

1. บทนำ

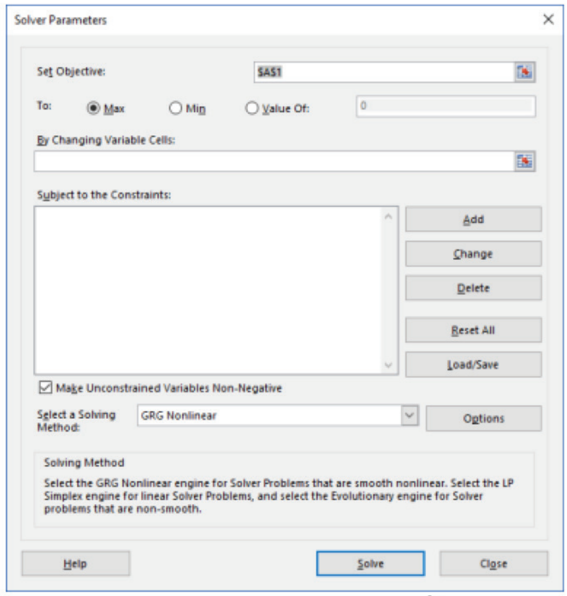
หลักสูตรสถิติประยุกต์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มีห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ 1 ห้อง เพื่อใช้ในการเรียนการสอน โดยมีจำนวนคอมพิวเตอร์สำหรับนักศึกษา 29 เครื่อง และสำหรับอาจารย์เพื่อใช้สอนหน้าห้องเรียน 1 เครื่อง โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมดนั้นติดตั้งโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ (Microsoft Office) เวอร์ชัน 2007 ส่วนอาจารย์ประจำหลักสูตรมีจำนวน 6 คน แต่ละคนมีเครื่องคอมพิวเตอร์ประจำตัวคนละ 1 เครื่อง โดย 2 เครื่อง ติดตั้งโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศเวอร์ชัน 2007 และอีก 4 เครื่อง ติดตั้งโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศเวอร์ชันที่สูงกว่า

ในชุดโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ มีโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ซึ่งเป็นโปรแกรมหนึ่งที่ใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชาในหลักสูตร เช่น เทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ และการวิจัยดำเนินงาน โดยทั้ง 2 รายวิชา ที่ยกตัวอย่างมานั้นได้ใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซลประกอบการเรียนการสอนทุกครั้ง เนื่องจากใช้คำนวณหาคำตอบจากข้อมูลที่เป็นกรณีศึกษาในห้องเรียนหลังจากที่เรียนภาคทฤษฎีจบในช่วงต้นคาบเรียน ซึ่งนอกจากใช้การคำนวณทั่วไปและฟังก์ชันทางสถิติแล้ว แอดอินส์ (Add-ins) ตัวเลือกชุดคำสั่ง โซลเวอร์ (Solver) ก็เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการเรียนการสอนมาโดยตลอด

โซลเวอร์ เริ่มพัฒนาตั้งแต่ ค.ศ. 1991 แต่มีการปรับปรุงครั้งใหญ่ และนำมาใช้อย่างแพร่หลายคือ ค.ศ. 1997, 2003 และ 2010 โดยไมโครซอฟท์เอ็กเซล 97 และ 2007 จะมีโครงสร้างโซลเวอร์เหมือนกันคือมีวิธีในการหาค่าเหมาะที่สุด 3 วิธี คือ 1) ค้นหาคำตอบโดยขั้นตอนวิธีการซิมเพล็กซ์ (Simplex Algorithm) เมื่อตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming; LP_{2007}) 2) นิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson; NR) และ 3) เกรเดียนต์สังยุค (Conjugate Gradient; CG) เมื่อตัวแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) มีลักษณะดังรูปที่ 1 ไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2010 ขึ้นไป มีโครงสร้างโซลเวอร์เหมือนกันโดยมีวิธีในการหาค่าเหมาะที่สุด 3 วิธี คือ 1) ค้นหาคำตอบโดยขั้นตอนวิธีการซิมเพล็กซ์ เมื่อตัวแบบ



รูปที่ 1 โซลเวอร์ 2007



รูปที่ 2 โซลเวอร์ 2010 ขึ้นไป

กำหนดการเชิงเส้น (LP_{2019}) 2) วิธีเกรเดียนต์ลดรูปแบบวางนัยทั่วไป (Generalized Reduced Gradient; GRG) และ 3) วิธีเชิงวิวัฒน์ (Evolutionary; EV) เมื่อตัวแบบไม่เชิงเส้นมีลักษณะดังรูปที่ 2

โซลเวอร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญถูกนำมาใช้งานทั่วไป รวมทั้งใช้ในการค้นหาคำตอบของงานวิจัยต่างๆ โดยตั้งแต่โซลเวอร์ 2007 ลงไป ได้ถูกใช้ในงานวิจัย เช่น พรรณธิภาและธัญญา [1] ได้วางแผนความต้องการทรัพยากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการส่งออก โดยใช้โซลเวอร์ช่วยหาคำตอบของกำหนดการเชิงเส้น มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์

(Objective Function) คือ เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมด้านแรงงานต่ำสุด ซึ่งใช้โซลเวอร์ตัวเลือกสมมุติตัวแบบเชิงเส้น (Assume Linear Model) หาคำตอบของปัญหาจนได้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด มนตรี [2] ได้ใช้โซลเวอร์ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการรีดเหล็กในแทนรีดหยาบ มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ค่าสัมประสิทธิ์การรีดที่ต่ำสุด โดยใช้โซลเวอร์ NR หาคำตอบของปัญหาจนได้คำตอบที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณในแบบจำลองของงานวิจัยต่อได้ นพมาศ [3] ใช้โซลเวอร์ตัวแบบไม่เชิงเส้น เพื่อหาผลลัพธ์ของปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อเพื่อนำมากำหนดนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมของวัตถุดิบ 7 รายการ จากนโยบายทั้งหมด 2,187 ทางเลือก โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้นทุนรวมต่ำที่สุดในกรณีปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอน ผลของงานวิจัยก็สามารถช่วยลดต้นทุนรวมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากนโยบายเดิมได้ร้อยละ 7.4 ต่อปี และอังกูร [4] ใช้โซลเวอร์ LP ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบรรจุสินค้าบนยานพาหนะ กรณีศึกษาบริษัท ศรีไทยซุปเปอร์แวร์ จำกัด โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดอรรถประโยชน์สูงสุด โดยผลการวิจัยสามารถใช้อรรถประโยชน์ของยานพาหนะได้เฉลี่ยเกินร้อยละ 90 ซึ่งมากกว่าการดำเนินการเดิมของบริษัท ที่ดำเนินการไว้

ในโซลเวอร์ 2010 ขึ้นไปได้ถูกใช้ในงานวิจัยดังนี้ พัชรพงษ์ และธนสาร [5] ได้ศึกษาการจัดการอะไหล่ภายใต้ความต้องการไม่แน่นอน กรณีศึกษาโรงงานผลิตไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด ใช้โซลเวอร์ตัวแบบไม่เชิงเส้น โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อผลรวมของค่าจัดเก็บและค่าสั่งซื้อรวมกับค่าสูญเสียโอกาสเมื่อขาดสต็อกต่ำที่สุด ผลการวิจัยทำให้ได้ปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ที่เหมาะสม สีฆศิษฏ์ [6] ได้ใช้โซลเวอร์ในการคำนวณสมการเคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านลำน้ำ (Muskingum) ตัวแบบเชิงเส้น โดยใช้ค่าการยอมรับได้ (Index of Agreement) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และใช้โซลเวอร์ในการคำนวณสมการ เคลื่อนตัวของน้ำหลากผ่านลำน้ำ ตัวแบบไม่เชิงเส้น โดยใช้ค่าประสิทธิภาพของ Nash เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ผลการวิจัยพบว่าการใช้โซลเวอร์ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีที่ศึกษาอีกหนึ่งวิธีคือ วิธีการสุ่มค่าพารามิเตอร์ ชลิตตา [7] ใช้โซลเวอร์ โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในกระบวนการเลี้ยงไก่เนื้อ มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 9 ตัวแปร และมีจำนวน 20 เงื่อนไขบังคับ (Constraints) และฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อรายรับมากที่สุดของกากของเสียจากกระบวนการผลิต โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 5 ตัวแปร และมีจำนวน 12 เงื่อนไขบังคับ ผลการวิจัยได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเท่ากับ 897,755.7 บาทต่อรุ่น และได้รายรับมากที่สุดเท่ากับ 185,940 บาทต่อรุ่น ตามลำดับ และนำผลลัพธ์ที่ได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ฟาร์มไก่เนื้อขนาดกลางต่อไป

นอกจากงานวิจัยที่กล่าวถึง ยังมีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเอาโซลเวอร์ทั้ง 2007 หรือสูงกว่า ไปใช้ประโยชน์ Naimy [8] และ Farida [9] ใช้โซลเวอร์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในตัวแบบ GARCH (1, 1) และ Vasilev [10] ใช้โซลเวอร์แก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP) โดยใช้วิธีการตัวแบบไม่เชิงเส้นในการแก้ปัญหา และกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรชนิดทั้งหมดแตกต่างกัน (Alldifferent) ใช้ฟังก์ชัน Index และ Vlookup ช่วยในการสร้างความสัมพันธ์ของปัญหา ผลการวิจัยทำให้ทราบวิธีการนี้มีโอกาสแก้ปัญหา TSP ให้หาค่าที่เหมาะที่สุดวงกว้าง (Global Optimization) ได้ โดยที่จำนวนตัวแปรตัดสินใจและเงื่อนไขบังคับที่ต้องค้นหาคำตอบลดลงเป็นอย่างมาก

จากการนำโซลเวอร์ไปใช้อย่างกว้างขวางนี้ ปรารถนา และวฐา [11] จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานโซลเวอร์ที่แตกต่างกันทั้ง 2 รูปแบบ 2007 และ 2019 ทดลองกับฟังก์ชันเกณฑ์การเปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmark Functions) 13 ฟังก์ชัน ที่เป็นตัวแบบไม่เชิงเส้น จากเกณฑ์การตัดสินใจ (Decision Method) 4 วิธี คือ 1) อัตราความสำเร็จมากที่สุด (Maximum Success Rate; $SR_{\max}$) 2) ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุด (Minimum Mean Absolute Error; $MAE_{\min}$) 3) อัตราความสำเร็จมากที่สุดและความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด ($SR_{\max}$ and Minimum Standard Deviation Absolute Error; $SR_{\max}$ และ $SAE_{\min}$) และ 4) เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุด (Minimum Average Time; $AT_{\min}$) พบว่า วิธีการ EV เป็นวิธีการค้นหา

คำตอบที่ดีที่สุดในเกณฑ์การตัดสินใจ 1) ถึง 3) และวิธีการ NR เป็นวิธีการที่หาคำตอบเร็วที่สุดจำนวน 8 ฟังก์ชัน CG 4 ฟังก์ชัน และ GRG 1 ฟังชัน ในงานวิจัยนี้ค่อนข้างชี้ชัดว่าการใช้โซลเวอร์รูปแบบปรับปรุง ค.ศ. 2010 ที่ติดตั้งบนติดตั้งไมโครซอฟท์ออฟฟิศ 2010, 2013, 2016 หรือ 2019 นั้นได้ผลลัพธ์ในการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าในเวอร์ชันเก่า แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีหน่วยงานทั้งภาคธุรกิจเอกชนและรัฐบาล รวมทั้งหน่วยงานภาคการศึกษา เช่น ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ยังมีโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศเวอร์ชัน 2007 ซึ่งต้องใช้โซลเวอร์เวอร์ชันนี้ในการใช้งาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงสนใจเปรียบเทียบวิธี LP_{2007} และ LP_{2019} ในปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น และ NR, CG, GRG และ EV ในปัญหาตัวแบบไม่เชิงเส้นกับปัญหาที่ใช้ในการเรียนการสอนจริงในกระบวนวิชาการวิจัยดำเนินงาน และเทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ จำนวน 5 ปัญหา แยกเป็นปัญหาย่อย (Sub Problem) จำนวน 9 ปัญหา และ 9 ปัญหานั้น แยกเป็นตัวแบบได้จำนวน 11 ตัวแบบ และจาก 11 ตัวแบบ แยกเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 29 ฟังก์ชัน เพื่อหาข้อสรุปว่าไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2007 ที่หลักสูตรมีใช้ในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2019 ว่ามีความสามารถเพียงพอที่จะใช้ในการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีของสาขาวิชาได้หรือไม่ โดยใช้วิธีการตัดสินใจ 2 วิธี ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2. ปัญหาเพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะ

ในงานวิจัยนี้สนใจวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด 6 วิธี โดยใช้ปัญหาจำนวน 5 ปัญหา ที่ใช้ในการเรียนการสอนกระบวนวิชาการวิจัยดำเนินงาน และเทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติดังนี้

2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP)

ปัญหาการเดินรถของพนักงานขายเป็นปัญหาที่ใช้ในการเรียนการสอนกระบวนวิชาการวิจัยดำเนินงาน เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน เพื่อพัฒนาวิธีการในการค้นหาคำตอบที่ดีในเวลาที่เหมาะสม โดยปัญหา TSP นี้ เป็นปัญหาที่ทำการตัดสินใจหาเส้นทางการเดินทางเมื่อมีเมือง หรือสถานที่ที่ต้องเดินทางไปจำนวน n เมือง การเดินทางจะเดินทางจากเมืองใดเมืองหนึ่งในจำนวน n เมือง โดยเส้นทางการเดินทางจะต้องเดินทางผ่านเมืองทุกเมืองในจำนวน n เมือง และกลับมาที่เมืองที่เป็นจุดเริ่มต้น เหมือนการเดินทางแบบวนรอบ ในงานวิจัยนี้ได้แบ่ง TSP ออกเป็น 2 ปัญหา คือ ปัญหาการเดินทาง 5 เมือง (TSP5) และปัญหาการเดินทาง 10 เมือง (TSP10) โดยทั้ง 2 ปัญหาใช้สูตรตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming Formulation) ของ Miller-Tucker-Zemlin [12] และ Sawik [13] ในการเขียนดังสมการที่ (1)

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j \neq i, j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

Subject to

$$\begin{array}{ll}
\sum_{i=1, i \neq j}^{n} x_{ij} = 1 & j = 1, \ldots, n; \\
\sum_{j=1, j \neq i}^{n} x_{ij} = 1 & i = 1, \ldots, n; \\
u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 & i, j = 2, \ldots, n, i \neq j; \\
0 \leq u_i \leq n - 1 & 2 \leq i \leq n; \\
x_{ij} \in \{0, 1\} & i, j = 1, \ldots, n; \\
u_i \in Z & i = 2, \ldots, n;
\end{array}$$

โดยที่ x_{ij} เป็นการตัดสินใจเดินทางจากเมือง i ไป j
c_{ij} เป็นระยะทางการเดินทางจากเมือง i ไป j
u_i เป็นตัวแปรดัมมี่ สำหรับ $i = 1, \ldots, n$
n เป็นจำนวนเมือง
Z เป็นเซตของจำนวนเต็ม

2.1.1 ปัญหา TSP5 มีเมทริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) ดังนี้

$$c_{ij} = \begin{bmatrix} & 50 & 39 & 6 & 7 \\ 50 & & 4 & 38 & 2 \\ 39 & 4 & & 3 & 5 \\ 6 & 38 & 3 & & 40 \\ 7 & 2 & 5 & 40 & \end{bmatrix}$$

ค่าต่ำสุดวงกว้าง (Global Minimum) คือ

$$\text{Min}\sum_{i=1}^{n=5}\sum_{j\neq i,j=1}^{n=5} c_{ij}x_{ij}^{*} = 22, \text{at}$$

$$x_{ij}^{*} = \begin{bmatrix} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \end{bmatrix} \quad \text{for } i, j = 1,\ldots,5$$

เมื่อนำปัญหานี้ใช้ในสเปรดชีตของเอ็กเซลจะมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 24 ตัวแปร และเงื่อนไขบังคับ 22 เซลล์

หมายเหตุ: ข้อจำกัดของการใช้งานโซลเวอร์ในเอ็กเซลอย่างหนึ่งก็คือ จำนวนตัวแปรตัดสินใจไม่เกิน 200 ตัว และเงื่อนไขบังคับไม่เกินจำนวน 100 เซลล์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นดังสมการที่ (2)

$$f(x_{ij})=\text{Min}\sum_{i=1}^{n=5}\sum_{j\neq i,j=1}^{n=5} c_{ij}x_{ij} \qquad (2)$$

2.1.2 ปัญหา TSP10 มีเมทริกซ์ระยะทางดังนี้

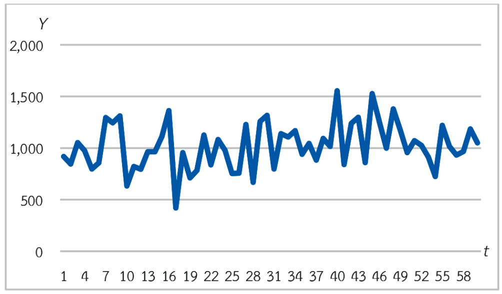
$$c_{ij} = \begin{bmatrix} & 71 & 92 & 412 & 131 & 225 & 227 & 109 & 140 & 207 \\ 71 & & 21 & 342 & 201 & 295 & 297 & 180 & 210 & 277 \\ 92 & 21 & & 349 & 222 & 182 & 318 & 201 & 231 & 298 \\ 412 & 342 & 349 & & 543 & 634 & 639 & 521 & 552 & 578 \\ 131 & 201 & 222 & 543 & & 94 & 176 & 141 & 214 & 337 \\ 225 & 295 & 182 & 634 & 94 & & 270 & 235 & 308 & 400 \\ 227 & 297 & 318 & 639 & 176 & 270 & & 118 & 191 & 282 \\ 109 & 180 & 201 & 521 & 141 & 235 & 118 & & 74 & 165 \\ 140 & 210 & 231 & 552 & 214 & 308 & 191 & 74 & & 100 \\ 207 & 277 & 298 & 578 & 337 & 400 & 282 & 165 & 100 & \end{bmatrix}$$

ค่าต่ำสุดวงกว้าง คือ

$$\text{Min}\sum_{i=1}^{n=10}\sum_{j\neq i,j=1}^{n=10} c_{ij}x_{ij}^{*} = 1,713, \text{at}$$

$$x_{ij}^{*} = \begin{bmatrix} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \end{bmatrix}$$

for $i, j = 1,\ldots,10$



รูปที่ 3 ตัวแบบไวน์นอยส์

เมื่อนำปัญหานี้ใช้ในสเปรดชีตของเอ็กเซลจะมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 99 ตัวแปร และเงื่อนไขบังคับ 92 เซลล์

หมายเหตุ: ปัญหา TSP10 ที่เขียนด้วยสูตร Miller-Tucker-Zemlin จะมีจำนวนเมืองมากที่สุดคือ 10 เมือง ที่โซลเวอร์ในชุดไมโครซอฟท์ออฟฟิศทั้ง 2007 และ 2019 จะสามารถใช้ได้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นดังสมการที่ (3)

$$f(x_{ij})=\text{Min}\sum_{i=1}^{n=10}\sum_{j\neq i,j=1}^{n=10} c_{ij}x_{ij} \qquad (3)$$

2.2 ปัญหาการพยากรณ์กรณีข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีส่วนประกอบแนวโน้มและฤดูกาล (WNP)

ปัญหาในการศึกษากำหนดตัวแบบความสัมพันธ์ตัวแปร Y_t ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ β_0 และค่า ε_t กำหนดสมการตัวแบบไวท์นอยส์ (White Noise Model) ดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 + \varepsilon_t, \; t = 1,\ldots, 60$

โดยที่ Y_t แทนค่าของข้อมูล ณ เวลา

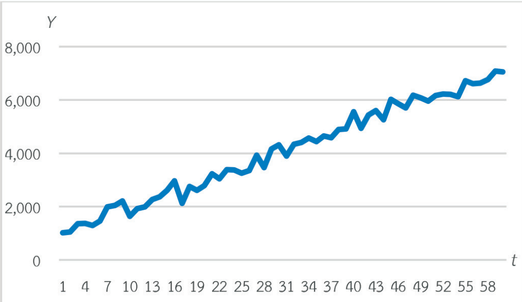
β_0 แทนค่าคงตัวตัดแกน Y

ε_t แทนค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา

t แทนช่วงของเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 60

กำหนด β_0=1,000, ε_t = IND (0, 40,000) นั่นคือ ε_t มีการแจกแจงปรกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 ความแปรปรวนเท่ากับ 40,000 และแต่ละค่าเป็นอิสระกัน (Independent Normal Distribution; IND) ได้ตัวแบบดังรูปที่ 3

การพยากรณ์ใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย (Simple Exponential Smoothing; SES) ดังสมการที่ (4)



รูปที่ 4 ตัวแบบเชิงเส้น

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_{t-1}, \quad t = 1,\ldots,60 \tag{4}$$

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+1 โดยที่ 1 แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

α เป็นค่าคงตัวการทำให้เรียบที่ต้องการประมาณมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.3 ปัญหาการพยากรณ์กรณีข้อมูลอนุกรมเวลามีส่วนประกอบแนวโน้ม (Trend)

ปัญหาที่ใช้ในการศึกษากำหนดตัวแบบความสัมพันธ์เป็น 4 ตัวแบบ คือ 1) ตัวแบบเชิงเส้น (Linear Model) 2) ตัวแบบลอการิทึม (Logarithmic Model) 3) ตัวแบบเลขชี้กำลัง (Exponential Model) และ 4) ตัวแบบกำลัง (Power Model) สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์แสดงดังนี้

Y_t แทนค่าของข้อมูล ณ เวลา t

β_0 แทนค่าคงตัวตัดแกน Y

β_1 แทนค่าคงตัวความชันของแนวโน้ม

ε_t แทนค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t

t แทนช่วงของเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 60

2.3.1 ตัวแบบเชิงเส้น

กำหนดสมการตัวแบบเชิงเส้นดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t, \varepsilon_1, t = 1,\ldots, 60$

กำหนด $\beta_0 = 1{,}000, \beta_1 = 100, \varepsilon_1 = IND\,(0, 49{,}000)$ และได้ตัวแบบลักษณะแนวโน้มดังรูปที่ 4

การพยากรณ์แบบที่ 1 ดังสมการที่ (5)

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 t, \quad t = 1,\ldots,60 \tag{5}$$

โดยที่ $\hat{Y}_1$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

b_0, b_1 เป็นค่าประมาณ β_0, β_1 ตามลำดับ

การพยากรณ์แบบที่ 2 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลสองครั้ง (Double Exponential Smoothing; DES) ดังสมการที่ (6)

$$\begin{aligned} &\hat{Y}_{t+1} = \hat{T}_t + \hat{\beta}_t, \quad t = 1,\ldots,60 \\ &\hat{T}_t = 2A_t - A'_t, \\ &\hat{\beta}_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(A_t - A'_t), \\ &A_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)A_{t-1}, \\ &A'_t = \alpha A_t + (1-\alpha)A'_{t-1} \end{aligned} \tag{6}$$

โดยที่ $\hat{Y}_{t+1}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+1 โดยที่ 1 แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$\check{T}_t$ แทนค่าประมาณจุดตัดแกน Y ณ เวลา t

$\hat{\beta}_t$ แทนค่าประมาณความชัน ณ เวลา t

A_t แทนค่าปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลครั้งที่ 1 ณ เวลา t

A'_t แทนค่าปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลครั้งที่ 2 ณ เวลา t

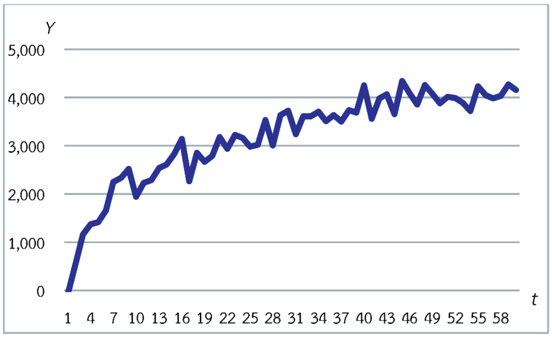
α เป็นค่าคงตัวการทำให้เรียบที่ต้องการประมาณมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

กำหนด $A_1, A'_1 = Y_1$

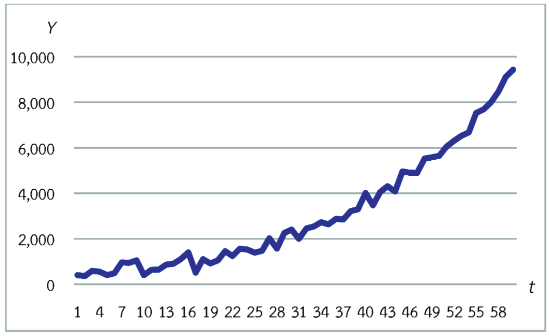
การพยากรณ์แบบที่ 3 วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลเชิงเส้น (Linear Exponential Smoothing; LES) ดังสมการที่ (7)

$$\begin{aligned} &\hat{Y}_{t+1} = \hat{T}_t + \hat{\beta}_t, \quad t = 1,\ldots,60 \\ &\hat{T}_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)\hat{Y}_{t-1}, \\ &\hat{\beta}_t = \gamma(\hat{T}_t - \hat{T}_{t-1}) + (1-\gamma)\hat{\beta}_{t-1} \end{aligned} \tag{7}$$

โดยที่ α, γ เป็นค่าคงตัวการทำให้เรียบที่ต้องการประมาณ



รูปที่ 5 ตัวแบบลอการิทึม



รูปที่ 6 ตัวแบบเลขชี้กำลัง

มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

กำหนด $\hat{T}_1 = Y_1, \hat{B}_1 = 0$

2.3.2 ตัวแบบลอการิทึม

กำหนดสมการตัวแบบลอการิทึมดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln(t) + \varepsilon_t, \quad t = 1,...,60$

การพยากรณ์ดังสมการที่ (8)

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 \ln(t), \quad t = 1,...,60 \tag{8}$$

โดยที่ b_0, b_1 เป็นค่าประมาณ β_0, β_1 ตามลำดับ

กำหนด $\beta_0 = 10, \beta_1 = 1{,}000, \varepsilon_1 = IND\,(0, 49{,}000)$

ได้ตัวแบบลักษณะแนวโน้มดังรูปที่ 5

2.3.3 ตัวแบบเลขชี้กำลัง

กำหนดสมการตัวแบบเลขชี้กำลังดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 e^{\beta_1 t} + \varepsilon_t, \quad t = 1,...,60$

การพยากรณ์ดังสมการที่ (9)

$$\hat{Y}_t = b_0 e^{b_1 t}, \; t = 1,...,60 \tag{9}$$

โดยที่ b_0, b_1 เป็นค่าประมาณ β_0, β_1 ตามลำดับ

กำหนด $\beta_0 = 467, \beta_1 = 0.05, \varepsilon_t = IND\,(0, 40{,}000)$

ได้ตัวแบบแนวโน้มดังรูปที่ 6

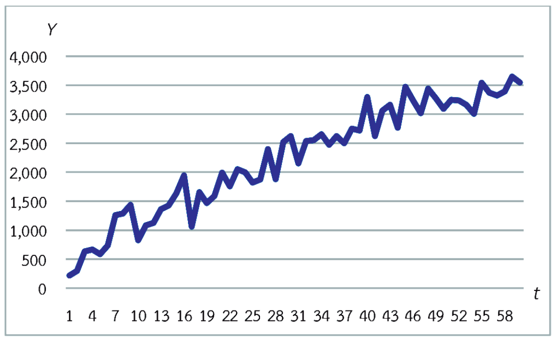
2.3.4 ตัวแบบกำลัง

กำหนดสมการตัวแบบกำลังดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 t^{\beta_1} + \varepsilon_t, \quad t = 1,...,60$

การพยากรณ์ดังสมการที่ (10)

$$\hat{Y}_t = b_0 t^{b_1}, \; t = 1,...,60 \tag{10}$$



รูปที่ 7 ตัวแบบกำลัง

โดยที่ b_0, b_1 เป็นค่าประมาณ β_0, β_1 ตามลำดับ

กำหนด $\beta_0 = 300, \beta_1 = 0.6, \varepsilon_t = IND\,(0, 40{,}000)$

ได้ตัวแบบแนวโน้มดังรูปที่ 7

2.4 ปัญหาการพยากรณ์กรณีข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับส่วนประกอบฤดูกาล (SP)

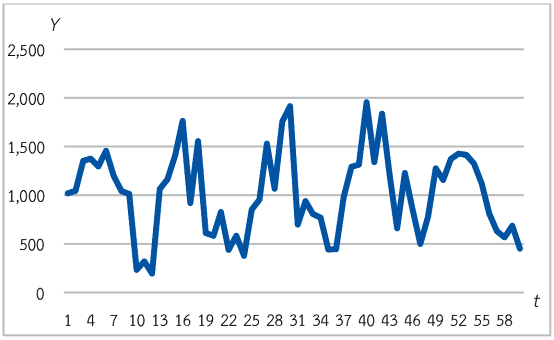
ปัญหาที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้กำหนดอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาลที่เป็นแบบบวก ตัวแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร Y_t ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ β_0 ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาลที่ S เมื่อกำหนดจำนวนฤดูกาลเท่ากับ 12 และค่า ε_t กำหนดสมการตัวแบบดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 + S_t + \varepsilon_t, \quad t = 1,...,60$

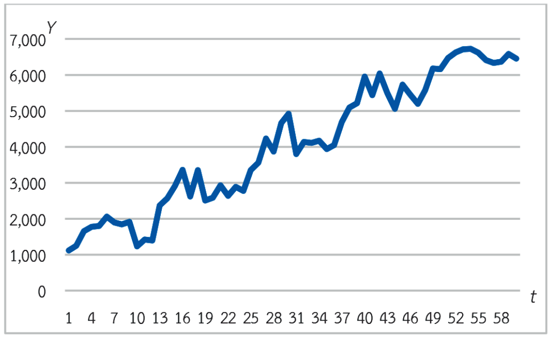
โดยที่ Y_t แทนค่าของข้อมูล ณ เวลา t

β_0 แทนค่าคงตัวตัดแกน Y

S_t แทนค่าอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t



รูปที่ 8 ตัวแบบฤดูกาล



รูปที่ 9 ตัวแบบแนวโน้มฤดูกาล

ε_t แทนค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t

t แทนช่วงของเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 60

กำหนด β_0=1,000 และพิจารณา t ใน S_t ว่า t ตกอยู่ในฤดูกาลที่ i ใด โดยกำหนดฤดูกาล t=1,...,12 อิทธิพลแต่ละฤดูกาลได้ดังนี้

$S_1 = 100, S_2 = 200, S_3 = 300, S_4 = 400, S_5 = 500,$
$S_6 = 600, S_7 = -100, S_8 = -200, S_9 = -300,$
$S_{10} = -400, S_{11} = -500, S_{12} = -600$ ส่วน
$\varepsilon_t = IND(0, 40,000)$ ได้ตัวแบบดังรูปที่ 8

การพยากรณ์ วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลฤดูกาล (Simple Seasonal Exponential Smoothing; SSES) ดังสมการที่ (11)

$$\hat{Y}_{t+1} = \hat{T}_t + \hat{S}_{t-12+1}, \quad t = 1,...,60 \tag{11}$$
$$\hat{T}_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-12}) + (1-\alpha)\hat{T}_{t-1},$$
$$\hat{S}_t = \delta(Y_t - \hat{T}_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-12}$$

โดยที่ $\hat{S}_{initial}$ เป็นการประมาณค่าอิทธิพลฤดูกาลชุดแรกมีสมการคือ $\hat{S}_i = Y_i - \bar{Y}; \bar{Y} = \sum_{i=1}^{12} \frac{Y_i}{12}; i = 1,...,12$

$$\hat{T}_{initial} = \hat{T}_{12} = \bar{Y}$$

และ α, δ เป็นค่าคงตัวการทำให้เรียบที่ต้องการประมาณมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.5 ปัญหาการพยากรณ์กรณีข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับส่วนประกอบแนวโน้มฤดูกาล (TrSP)

ปัญหาที่ใช้ในการศึกษากำหนดอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลที่เป็นแบบบวก ตัวแบบความสัมพันธ์ตัวแปร Y_t ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ค่าแนวโน้ม β_0 ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาลที่ เมื่อกำหนดจำนวนฤดูกาลมีค่าเท่ากับ 12 และค่า β_1 กำหนดสมการตัวแบบดังนี้

ตัวแบบ $Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + S_t + \varepsilon_t, \quad t = 1,...,60$

โดยที่ Y_t แทนค่าของข้อมูล ณ เวลา

β_0 แทนค่าคงตัวตัดแกน Y

β_1 แทนค่าคงตัวความชันของแนวโน้ม t

S_t แทนค่าอิทธิพลของฤดูกาล ณ เวลา t

ε_t แทนค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลา t

t แทนช่วงของเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 60

กำหนด β_0=1,000, β_1=100 และพิจารณา t ใน S_t ว่า t ตกอยู่ในฤดูกาลที่ i ใด โดยกำหนดฤดูกาล i=1,..., 2 อิทธิพลแต่ละฤดูกาลได้ดังนี้

$S_1 = 100, S_2 = 200, S_3 = 300, S_4 = 400, S_5 = 500,$
$S_6 = 600, S_7 = -100, S_8 = -200, S_9 = -300,$
$S_{10} = -400, S_{11} = -500, S_{12} = -600$ และ
$\varepsilon_t = IND(0, 40,000)$ ได้ตัวแบบดังรูปที่ 9

การพยากรณ์วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลของ Holt และ Winters (Holt-Winters Exponential

Smoothing; HWS) ดังสมการที่ (12)

$$\begin{aligned}\hat{Y}_{t+1} &= \hat{T}_t + \hat{\beta}_t + \hat{S}_{t-12+1}, \quad t = 1,...,60 \\ \hat{T}_t &= \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-12}) + (1-\alpha)(\hat{T}_{t-1} + \hat{\beta}_{t-1}), \\ \hat{\beta}_t &= \gamma(\hat{T}_t - \hat{T}_{t-1}) + (1-\gamma)\hat{\beta}_{t-1}, \\ \hat{S}_t &= \delta(Y_t - \hat{T}_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-12}\end{aligned} \quad (12)$$

โดยที่ $\hat{S}_{initial}$ เป็นการประมาณค่าอิทธิพลฤดูกาลชุดแรกมีสมการคือ $\hat{S}_i = Y_i - \bar{Y}; \bar{Y} = \sum_{i=1}^{12} \frac{Y_i}{12}; i = 1,...,12$

$\hat{T}_{initial} = \hat{T}_{12} = \bar{Y}, \hat{\beta}_{initial} = \hat{\beta}_{12} = 0$ และ α, γ, δ เป็นค่าคงตัวการทำให้เรียบที่ต้องการประมาณมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

รูปที่ 3 เป็นชุดข้อมูลในการทดลอง WNP รูปที่ 4 ถึง 7 เป็นชุดข้อมูลในการทดลอง Trend รูปที่ 8 เป็นชุดข้อมูลในการทดลอง SP และรูปที่ 9 เป็นชุดข้อมูลในการทดลอง TrSP ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.2 ถึง 2.5 และได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ 3 วิธี คือ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; *RMSE*) ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation; *MAD*) และค่าเฉลี่ยร้อยละของค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error; *MAPE*) ดังนั้นทุกปัญหาของการพยากรณ์จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นดังสมการที่ (13), (14) และ (15) รวมทุกกรณีเป็น 27 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min}(RMSE), RMSE = \sqrt{\frac{1}{60}\sum_{t=1}^{60}(\hat{Y}_t - Y_t)^2} \quad (13)$$

$$\text{Min}(MAD), MAD = \frac{1}{60}\sum_{t=1}^{60}\left|\hat{Y}_t - Y_t\right| \quad (14)$$

$$\text{Min}(MAPE), MAPE = \frac{1}{60}\sum_{t=1}^{60}\frac{\left|\hat{Y}_t - Y_t\right|}{Y_t} \quad (15)$$

3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้สนใจวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด 6 วิธี โดยใช้กับปัญหาที่ใช้ในการเรียนการสอนจริงในกระบวนวิชาเทคนิคการพยากรณ์เชิงสถิติ และการวิจัยดำเนินงาน จำนวน 5 ปัญหา แยกเป็นปัญหาย่อยจำนวน 9 ปัญหา แยกเป็นตัวแบบได้จำนวน 11 ตัวแบบ และแยกเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 29 ฟังก์ชัน เพื่อหาข้อสรุปว่า ไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2007 ที่หลักสูตรมีใช้ในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2019 ว่ามีความสามารถเพียงพอที่จะใช้ในการเรียนการสอนระดับปริญญาตรีของหลักสูตรได้หรือไม่ โดยในแต่ละสถานการณ์มีจำนวนครั้งการทำซ้ำ 100 รอบ และใช้ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุด (Minimum Mean Absolute Error: $MAE_{\min}$) หรือเวลาเฉลี่ยต่ำที่สุด (Minimum Average Time: $AT_{\min}$) เป็นวิธีการตัดสินใจ มีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

3.1 ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmark Problems)

จำนวน 5 ปัญหา แยกเป็นปัญหาย่อยจำนวน 9 ปัญหา แยกเป็นตัวแบบได้จำนวน 11 ตัวแบบ และแยกเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 29 ฟังก์ชัน มีรายละเอียดในการทดลองดังตารางที่ 1

3.2 จำนวนรอบในการทำซ้ำ (Replication; R)

กำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 100 รอบ โดยในแต่ละรอบกำหนดค่าปริยาย (Default) ของเวลาสูงสุด (Max Time) ในแต่ละวิธีการค้นหาคำตอบเท่ากับ 5,000 วินาที หรือประมาณ 83.33 นาที และมีค่าปริยายในโซลเวอร์ของไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2007 และ 2019 ไว้ดังนี้

3.2.1 ไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2007 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ กำหนดค่าปริยายในตัวเลือก (Options) ของโซลเวอร์ไว้ดังนี้

1) Precision: 0.000001
2) Use automatic scaling: true
3) Max time: 5,000 second
4) Convergence: 0.0001
5) Derivatives: forward
6) Estimates: tangent

ตารางที่ 1 การออกแบบปัญหา (Problem Design)

Problem	Sub Problem	Model	Objective Function	No. Decision Variables
1. TSP	TSP5	Eq. (1)	Eq. (2)	24, (x_{ij},u_i)
	TSP10	Eq. (1)	Eq. (3)	99, (x_{ij},u_i)
2. WNP	WNP	Eq. (4)	Eq. (13 – 15)	1, (α)
3. Trend	Linear	Eq. (5)	Eq. (13 – 15)	2, (b_0,b_1)
		Eq. (6)	Eq. (13 – 15)	1, (α)
		Eq. (7)	Eq. (13 – 15)	2, (α,γ)
	Logarithmic	Eq. (8)	Eq. (13 – 15)	2, (b_0,b_1)
	Exponential	Eq. (9)	Eq. (13 – 15)	2, (b_0,b_1)
	Power	Eq. (10)	Eq. (13 – 15)	2, (b_0,b_1)
4. SP	SP	Eq. (11)	Eq. (13 – 15)	2, (α,γ)
5. TrSP	TrSP	Eq. (12)	Eq. (13 – 15)	3, (α,γ,δ)

หมายเหตุ: Eq. หมายถึง สมการ

3.2.2 ไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2019 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ กำหนดค่าปริยายในตัวเลือกของโซลเวอร์ไว้ดังนี้

1) Constraint precision: 0.000001

2) Use automatic scaling: true

3) Solving limits: Max time = 5,000 second

4) Convergence: 0.0001

5) Population size: 100

6) Random seed: 0

7) Require bounds on variables: true

8) Maximum time without improvement: 30

9) สำหรับวิธี GRG กำหนด Derivatives: forward and use multistart: true

10) สำหรับวิธี EV กำหนด Mutation rate: 0.075

โดยทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำหนดตัวแปรตัดสินใจเริ่มต้นจากค่าสุ่ม (Random) ตามการแจกแจงเอกรูปต่อเนื่อง (Continuous Uniform Distribution) จากขอบเขตบน และขอบเขตล่าง

3.3 วิธีการตัดสินใจ (Decision Method)

3.3.1 ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error; MAE) โดยมีสูตรดังสมการที่ (16) และวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะเป็นค่าต่ำสุดของ MAE ดังสมการที่ (17)

$$MAE_k = \sum_{i=1}^{100} \frac{|f(x_1,x_2)_i - \bar{x}|}{100}, \tag{16}$$

k = NR, CG, GRG, EV

เมื่อ $f(x_{1,}x_2)_i$ คือ ค่าเหมาะที่สุดรอบที่ i

$i = 1,2,3....,100$

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ $f(x_{1,}x_2)_i$ 100 รอบ

$$MAE_{\min} = \mathrm{Min}(MAE_{\mathrm{NR}}, MAE_{\mathrm{CG}}, MAE_{\mathrm{GRG}}, MAE_{\mathrm{EV}}) \tag{17}$$

เมื่อ $MAE_{\min}$ คือ ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำสุด

ตารางที่ 2 สมการในตัวแบบเชิงเส้น ลอการิทึม เลขชี้กำลัง และแบบกำลัง

Sub Problem and Model	Equation	Linear Equation
Linear Eq. (5)	$\hat{Y}_1 = b_0+b_1t$	
Logarithmic Eq. (8)	$\hat{Y}_1 = b_0+b_1\text{In}(t)$	
Exponential Eq. (9)	$\hat{Y}_1 = b_0e^{b_1t}$	$\text{In}(\hat{Y}_1)=\text{In}(b_0)+b_1t$
Power Eq. (10)	$\hat{Y}_1 = b_0t^{b_1}$	$\text{In}(\hat{Y}_1)=\text{In}(b_0)+b_1\ \text{In}(t)$

หมายเหตุ: Eq. หมายถึง สมการ

3.3.2 เวลาเฉลี่ย (Average Time; AT)

เวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยมีสูตรดังสมการที่ (18) และวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะเป็นค่าต่ำสุดของดังสมการที่ (19)

$$AT_k = \frac{\sum_{i=1}^{100} T_i}{100}, \tag{18}$$

เมื่อ T_i คือ เวลาการค้นหาคำตอบรอบที่ i

i = 1,2,3....,100

k = NR, CG, GRG, EV ในปัญหาตัวแบบไม่เชิงเส้น หรือ LP_{2007}, LP_{2019} ในปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น

$$AT_{\min} = \text{Min}(AT_{\text{NR}}, AT_{\text{CG}}, AT_{\text{GRG}}, AT_{\text{EV}})$$

หรือ $\text{Min}(AT_{\text{LP}_{2007}}, AT_{\text{LP}_{2019}})$ (19)

เมื่อ $AT_{\min}$ คือ เวลาเฉลี่ยในการค้นหาคำตอบต่ำสุด

3.4 การพิจารณาวิธีการตัดสินใจกับปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ

การพิจารณาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.4.1 ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่มีคำตอบที่แท้จริง (Exact Solution)

ปัญหา TSP ทั้งกรณี TSP5 และ TSP10 ใช้วิธีการ LP ในการค้นหาคำตอบ และปัญหา WNP และ Trend ในกรณีปัญหาย่อย Linear Eq. (5), Logarithmic Eq. (8), Exponential Eq. (9) และ Power Eq. (10) ที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็น $RMSE$ ดังสมการ (13) ทั้งนี้ เพราะปัญหาย่อย Linear Eq. (5), Logarithmic Eq. (8), Exponential Eq. (9) และ Power Eq. (10) สามารถแปลงให้อยู่ในรูปเชิงเส้นเมื่อฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ดังตารางที่ 2

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์จำนวน 7 ฟังก์ชัน ที่มีคำตอบที่แท้จริงซึ่งใช้วิธีการตัดสินใจด้วยค่า $AT_{\min}$

3.4.2 ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่เป็นตัวแบบสโตแคสติกไม่เชิงเส้น (Stochastic-Nonlinear Model)

ประกอบไปด้วยจำนวน 22 ตัวแบบ ที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็น $RMSE$, MAD และ $MAPE$ ในสมการที่ (13) ถึง (15) ทั้งหมด ซึ่งในกรณีนี้ใช้วิธีการตัดสินใจด้วยค่า $MAE_{\min}$ และ $AT_{\min}$

3.5 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

CPU and Mainboard; เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel(R) Core(TM) i3 CPU 550 at 3.20 GHz/RAM 4 GB

4. ผลการทดลอง

การเปรียบเทียบวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 29 ฟังก์ชัน แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน

4.1 ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่มีคำตอบที่แท้จริง

แก้ปัญาด้วยโซลเวอร์วิธี LP_{2007} ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 และ LP_{2019} ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ได้ผลการวิจัยในตารางที่ 3

พบว่า TSP วิธี LP_{2019} ให้ค่า AT_{min} ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ค้นหาคำตอบได้เร็วที่สุดในปัญหา TSP ถ้าใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ในกรณีนี้คือ 99 ตัวแปร จะพบว่าใช้เวลาค้นหาคำตอบโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 245.79 วินาที หรือประมาณ 4 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่าโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ที่มีเวลาค้นหาคำตอบโดยเฉลี่ย 1.77 วินาทีอย่างมาก

ตารางที่ 3 ค่า AT (หน่วย: วินาที) ของวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของ TPS

Problem	Sub Problem	Objective Function	LP_{2007}	LP_{2019}
TSP	TPS5	Eq. (2)	0.1982	
	TPS10	Eq. (3)	245.79	1.77*

หมายเหตุ: Eq. หมายถึง สมการ และ * เป็นวิธีดีที่สุด

ผลการวิจัยในตารางที่ 4 พบว่า ปัญหา WNP และ Trend ในกรณีปัญหาย่อย Linear, Logarithmic, Exponential และ Power ที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็น $RMSE$ เมื่อใช้วิธี NR, CG, GRG และ EV ในการค้นหาคำตอบแทนการแปลงให้อยู่ในรูปเชิงเส้น พบว่า ทุกวิธีสามารถหาคำตอบที่แท้จริงได้ทุกครั้งในการทดลองทั้ง 100 รอบ และเมื่อพิจารณาค่า AT_{min} พบว่าโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 ที่ใช้วิธี NR และ CG ทำงานได้รวดเร็วกว่าเวอร์ชัน 2019 วิธี GRG และ EV ในทุกปัญหา โดยใช้เวลาไม่เกิน 1 วินาที ในการค้นหาคำตอบ

4.2 ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่เป็นตัวแบบสโตแคสติกไม่เชิงเส้น

แก้ปัญหาด้วยโซลเวอร์วิธี NR และ CG ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 และวิธี GRG และ EV ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ได้ผลการวิจัยตารางที่ 5 และ 6 ดังนี้

4.2.1 การตัดสินใจ MAP_{min} เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากตารางที่ 5 พบว่า วิธีที่ดีที่สุดคือ วิธี GRG ได้ค่า MAE_{min} จำนวน 18 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ วิธี EV ดีที่สุดอันดับสองได้ค่า MAE_{min} จำนวน 17 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และวิธี CG ดีที่สุดอันดับสามได้ค่า MAE_{min} จำนวน 13 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และอันดับสุดท้ายคือ วิธี NR ได้ค่า MAE_{min} จำนวน 11 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เมื่อพิจารณาภาพรวมของไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 และ 2019 มีเพียงปัญหา Trend Logarithmic, Eq. (8) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ Eq. (14) เท่านั้นที่ไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ไม่สามารถเอาชนะ 2007 ได้ ส่วนที่เหลือ 21 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นชนะทั้งหมด

4.2.2 การตัดสินใจ AT_{min} เป็นวิธีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากตารางที่ 6 พบว่า วิธีที่ดีที่สุดคือ วิธี CG ได้ค่า AT_{min} จำนวน 21 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รองลงมาเป็นวิธี NR ได้ค่า

ตารางที่ 4 ค่า AT (หน่วย: วินาที) ของวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของ WNP และ Trend

Problem	Sub Problem	Objective Function	NR	CG	GRG	EV
WNP	WNP	Eq. (13)				
	0.6734	0.5862*	1.5601	25.0960		
Trend	Linear	Eq. (13)	0.8478	0.7524*	24.9244	34.3186
	Logarithmic	Eq. (13)	0.6873*	0.8037	3.4179	27.6329
	Exponential	Eq. (13)	0.9735	0.8924*	263.2544	5.7807
	Power	Eq. (13)	0.9729	0.8990*	158.9005	35.0447

หมายเหตุ: Eq. หมายถึง สมการ และ * เป็นวิธีดีที่สุด

ตารางที่ 5 ค่า AT ของวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของแต่ละปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ

Problem	Sub Problem and Model	Objective Function	NR	CG	GRG	EV
WNP	WNP, Eq. (4)	Eq. (14)	182.2556*	182.2556*	182.2556*	182.2556*
		Eq. (15)	0.1855*	0.1855*	0.1855*	0.1855*
Trend	Linear, Eq. (5)	Eq. (14)	172.8022	173.2456	172.7281*	172.7287
		Eq. (15)	0.1058	0.1093	0.0537*	0.0537*
	Linear, Eq. (6)	Eq. (13)	263.7588*	263.7588*	263.7588*	263.7588*
		Eq. (14)	207.4674*	207.4674*	207.4674*	207.4674*
		Eq. (15)	0.0664*	0.0664*	0.0664*	0.0664*
	Linear, Eq. (7)	Eq. (13)	260.4814*	260.4814*	260.4814*	260.4814*
		Eq. (14)	206.6348	206.6422	206.6245	206.6214*
		Eq. (15)	0.0664*	0.0664*	0.0664*	0.0664*
	Logarithmic, Eq. (8)	Eq. (14)	177.253	173.5295*	177.2316	177.2316
		Eq. (15)	0.0417*	0.0417*	0.0417*	0.0417*
	Exponential, Eq. (9)	Eq. (14)	225.9925	214.36	177.0543*	177.0629
		Eq. (15)	0.1659	0.1925	0.1286*	0.1286*
	Power, Eq. (10)	Eq. (14)	173.7334	173.5492	173.4691*	173.4694
		Eq. (15)	0.141	0.1357	0.0979*	0.0979*
SP	SP, Eq. (11)	Eq. (13)	278.8277*	278.8277*	278.8277*	278.8277*
		Eq. (14)	222.109	222.0158*	222.0158*	222.017
		Eq. (15)	0.2518*	0.2518*	0.2518*	0.2518*
TrSP	TrSP, Eq. (12)	Eq. (13)	414.842*	414.842*	414.842*	414.842*
		Eq. (14)	319.152	319.1098	304.5101	304.466*
		Eq. (15)	0.0864	0.0869	0.0816	0.0815*

หมายเหตุ: Eq. หมายถึง สมการ และ * เป็นวิธีดีที่สุด

$AT_{\min}$ จำนวน 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 วิธี ใช้เวลาหาคำตอบในเวลาที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนวิธี GRG และ EV นั้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบนานกว่า CG ทุกฟังก์ชัน

5. อภิปรายผลและสรุป

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยโซลเวอร์ของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2007 และของโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 วิธี LP ไม่ว่าจะเป็นเวอร์ชันใดก็หาคำตอบที่ถูกต้องได้เสมอ ความแตกต่างของทั้ง 2 เวอร์ชัน อยู่ที่เวลาในการประมวลผล ซึ่งเวลาในการประมวลผลของ LP_{2019} จะเร็วกว่า LP_{2007} เล็กน้อยในกรณีจำนวนตัวแปรน้อย แต่จะเร็วกว่าอย่างมากในกรณีปัญหาขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปในส่วน LP ได้ว่าโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล 2019 ค้นหาคำตอบได้เร็วกว่า 2007

กรณีที่ปัญหามีที่มีคำตอบที่แท้จริงการใช้วิธี NR และ CG ในเวอร์ชัน 2007 ทำงานได้รวดเร็วกว่าในเวอร์ชัน 2019 ที่ใช้วิธี GRG และ EV ในทุกปัญหา ดังนั้นในกรณีที่ปัญหามีที่มีคำตอบที่แท้จริง การใช้เวอร์ชัน 2007 ก็เพียงพอต่อการใช้งานในปัญหาทั่วไปและปัญหาที่ใช้สอนในห้องเรียน และได้ผลการคำนวณที่รวดเร็ว อย่างไรก็ตามในงานวิจัย ปรารถนา และวรฐา [11] ที่ทำการทดลองกับฟังก์ชันเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่ใช้ฟังก์ชันทราบคำตอบที่แท้จริง คือทราบค่าต่ำสุดวงกว้าง

ตารางที่ 6 ค่า *AT* ของวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดของแต่ละปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ

Problem	Sub Problem and Model	Objective Function	NR	CG	GRG	EV
WNP	WNP, Eq. (4)	Eq. (14)	0.9826	0.9531*	1.6125	12.4698
		Eq. (15)	0.7572	0.6941*	1.1852	24.1853
Trend	Linear, Eq. (5)	Eq. (14)	0.9297	0.8647*	32.5738	34.5053
		Eq. (15)	0.9891	0.7653*	32.7685	34.8157
	Linear, Eq. (6)	Eq. (13)	0.6649	0.5737*	1.4694	34.2821
		Eq. (14)	1.2456	1.2185*	1.5086	34.2435
		Eq. (15)	1.3324	1.3185*	1.6935	34.1649
	Linear, Eq. (7)	Eq. (13)	0.9413	0.9256*	2.0657	34.2969
		Eq. (14)	1.7262	1.6356*	2.4081	34.1642
		Eq. (15)	1.7171*	1.7565	2.2251	34.2531
	Logarithmic, Eq. (8)	Eq. (14)	0.8214*	0.9248	34.3275	29.2533
		Eq. (15)	0.7022	0.6105*	34.8888	19.3054
	Exponential, Eq. (9)	Eq. (14)	0.9795	0.9146*	291.4063	11.9598
		Eq. (15)	1.0059	0.8385*	239.0688	6.9909
	Power, Eq. (10)	Eq. (14)	1.0655	1.0022*	184.8806	36.0481
		Eq. (15)	0.8599	0.8226*	159.529	34.8001
SP	SP, Eq. (11)	Eq. (13)	0.8274	0.7275*	1.7903	3.0657
		Eq. (14)	1.8733	1.8682*	2.4031	5.5096
		Eq. (15)	2.998	1.3951*	2.1472	4.2516
TrSP	TrSP, Eq. (12)	Eq. (13)	2.2372	1.8716*	4.6288	34.8873
		Eq. (14)	2.8063	2.1229*	17.0731	36.3339
		Eq. (15)	2.6471	1.504*	25.3032	34.4742

หมายเหตุ: Eq. หมายถึง สมการ และ * เป็นวิธีดีที่สุด

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอแนะให้ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชันที่สูงขึ้นกว่า 2007 ทั้งนี้ เนื่องจากสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าในฟังก์ชันเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่ฟังก์ชันเหล่านั้นส่วนใหญ่มีค่าต่ำสุดเฉพาะที่ (Local Minimum) จำนวนมาก เป็นฟังก์ชันที่หาคำตอบได้ยาก วิธีการในโซลเวอร์ของเวอร์ชัน 2007 จึงไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเวอร์ชัน 2019 ได้ ดังนั้นการใช้งานกับปัญหาที่มีคำตอบที่แท้จริงที่มีความซับซ้อนของปัญหาสูงการใช้เวอร์ชันที่สูงก็เป็นสิ่งจำเป็น

ปัญหาเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่เป็นตัวแบบสโตแคสติกไม่เชิงเส้นที่ปัญหาไม่ทราบคำตอบที่แท้จริง โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2019 ที่ใช้วิธี GRG และ EV สามารถหาคำตอบที่ดีกว่า NR และ CG ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลเวอร์ชัน 2007 โดยต้องแลกกับการใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่นานขึ้นกว่าเวอร์ชัน 2007 ในทุกปัญหาเช่นกัน

ถ้าไม่มีทางเลือกในการปรับเวอร์ชันของไมโครซอฟท์เอ็กเซล การใช้เวอร์ชัน 2007 ในการเรียนการสอนกับโจทย์ปัญหาในห้องเรียนนั้นเพียงพอต่อการเรียนการสอน เพราะเมื่อพิจารณาคุณภาพของคำตอบที่ได้จากตารางที่ 5 ก็จะพบว่าคำตอบที่ได้จากเวอร์ชัน 2007 นั้น คุณภาพของค่าต่ำสุดที่ได้ในแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นแตกต่างจากเวอร์ชัน 2019 ในระดับหลักหน่วยหรือทศนิยมของคำตอบเท่านั้น ในกรณีทำงานวิจัยปัญหามีความซับซ้อนมากและจำเป็นต้องใช้โซลเวอร์ในไมโครซอฟท์เอ็กเซลหาคำตอบ ก็แนะนำให้ปรับปรุงเวอร์ชันของไมโครซอฟท์เอ็กเซลในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลนั้นให้เป็นเวอร์ชันล่าสุดคือ

2019 เพื่อให้ผลลัพธ์ของงานวิจัยออกมามีคุณภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการในงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Labkerd and T. Wasusri, "Planning resource requirements to increase the efficiency of the export process," presented at the 9th Thai Value Chain Management & Logistics Conference, Chonburi, Thailand, 2009 (in Thai).

[2] M. Somboonrojchai, "The productivity improvement on steel roughing mill," M.S. thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2010 (in Thai).

[3] N. Sedtakomkul, "The applied Monte Carlo simulation method to reorder point and order quantity for purchasing under uncertainties of demand," M.S. thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2011 (in Thai).

[4] A. Chamklin, "Optimization of packing on vehicles: A case study of Srithai Superware Ltd.," ndependent study, School of Business, The University of the Thai Chamber of Commerce, 2013 (in Thai).

[5] P. Penpakkol and T. Intarakumthornchai, "Inventory management of spare parts under uncertain demand: A case study of particle board manufacturer," *The Journal of KMUTNB,* vol 28, no.1, pp. 9–22, 2018 (in Thai).

[6] S. Wititpan, "Application of excel solver to determine optimized parameter for hydrological model," M.S. thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2015 (in Thai).

[7] C. Theppakdee, "Pollution management guideline for medium-sized integarted close system broiler farm," M.S. thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2017 (in Thai).

[8] V.Y. Naimy, "Parameterization of GARCH(1,1) for Paris stock market," *American Journal of Mathematics and Statistics,* vol 3, no. 6, pp 357–361, 2013.

[9] F. Farida, "A simplified approach to estimating parameter of the GARCH (1,1) model," *Applied Science and Engineering Progress,* vol 12, no. 3, pp. 158–163, 2019.

[10] J. Vasilev, "Solving the traveling salesman problem with the alldifferent constraint in MS Excel," in *Proceedings 5th International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE-2015),* 2015, pp. 420–423.

[11] P. Minsan and W. Minsan, "Comparing methods of optimization in solver of Microsoft Excel 2007 and 2019," *UTK Research Journal*, vol 13, no. 2, pp. 144–161, 2019 (in Thai).

[12] C.E. Miller, A.W. Tucker, and R.A. Zemlin, "Integer programming formulations and traveling salesman problems,"*Journal of Association for Computing Machinery 7*, pp. 326–329, 1960.

[13] T. Sawik, "A note on the Miller-Tucker-Zemlin model for the asymmetric traveling salesman problem," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, vol. 64, no. 3, pp. 517–520, 2016.