



การพยากรณ์ราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS3) ด้วยตัวแบบห้วงโซ่มาร์คอฟ

พิเชฐ พุ่มเกษร* อภิศักดิ์ วิทยาประภากร และ จุฑา พิชิตลำเค็ญ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 1457 1645 อีเมล: phichetp@kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.11.008

รับเมื่อ 15 พฤษภาคม 2561 แก้ไขเมื่อ 6 สิงหาคม 2561 ตอรับเมื่อ 31 สิงหาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 26 พฤศจิกายน 2561

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีพยากรณ์ราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3 ด้วยตัวแบบห้วงโซ่มาร์คอฟ โดยใช้ข้อมูลรายวันของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม 2557 ถึงเดือนมีนาคม 2559 จำนวนขนาดตัวอย่างทั้งหมด 536 ชุด งานวิจัยได้พิจารณาผลกระทบของขนาดตัวอย่างต่อความแม่นยำของตัวแบบ (536 ชุด และ 196 ชุด) และทดสอบผลในแต่ละอันตรภาคชั้น (ช่วงของราคา) ที่ระดับ 5, 10, 15, 20, 25, 30 อันตรภาคชั้น ผู้วิจัยสร้างทรานเซียนท์เมทริกซ์ และสุ่มช่วงของราคาเพื่อจำลองสถานการณ์ จำนวน 1,000 ค่า พบว่า ขนาดตัวอย่าง 536 ชุด ที่ระดับ 15 อันตรภาคชั้น และขนาดตัวอย่าง 196 ชุด ที่ระดับ 5 อันตรภาคชั้น มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน คือ 4 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การพยากรณ์, ยางแผ่นรมควันชั้น 3, ตัวแบบห้วงโซ่มาร์คอฟ



Price Forecasting of Ribbed Smoked Rubber Sheet No. 3 with a Markov Chain Model

Pichet Pumkaesorn*, Apisak Vittayaprapakorn and Juta Pichitlamken

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 1457 1645, E-mail: phichetp@kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.11.008

Received 15 May 2018; Revised 6 August 2018; Accepted 31 August 2018; Published online: 26 November 2018

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research proposes a Markov Chain model for forecasting the price of ribbed rubber sheet grade 3 (RSS3) in Thailand. The model was parameterized with daily prices from January 2014 to March 2016, with the sample size of 536 sets. This study also considers the effect of sample sizes (536 and 196) and the effect of the number of price interval was at 5, 10, 15, 20, 25, and 30. The transition matrix was parameterized for each case, and the daily prices were simulated for 1,000 values. The case of 536 samples and 15 intervals and the case of 196 samples at 5 intervals have the mean of absolute percentage error close to 4%.

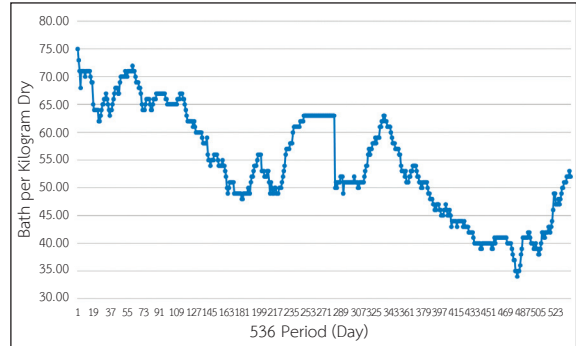
Keywords: Forecasting, Ribbed Rubber Sheet Grade 3, RSS3, Markov Chains Models

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยางไทยประกอบด้วยอุตสาหกรรมต้นน้ำ คือการผลิตน้ำยางพาราและไม้ยางพารา อุตสาหกรรมกลางน้ำ คือ การแปรรูปจากวัตถุดิบหรืออุตสาหกรรมต้นน้ำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมกลางน้ำ เช่น ยางแผ่น ยางแท่ง ยางลูกซุน (ยางก้อน) และไม้แปรรูป อุตสาหกรรมปลายน้ำ คือการแปรรูปจากอุตสาหกรรมกลางน้ำเป็นผลิตภัณฑ์จากยาง และการแปรรูปไม้แปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน เพื่อเพิ่มมูลค่าต่อไป [1]

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง และไม้ยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจประเทศที่สร้างรายได้จากการส่งออกไม่น้อยกว่าปีละหมื่นล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา ปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนการส่งออกของอุตสาหกรรมดังกล่าว คือ ประเทศไทยมีข้อได้เปรียบในด้านที่เป็นแหล่งวัตถุดิบไม้ยางพารา และยางธรรมชาติ โดยสามารถผลิตยางธรรมชาติได้มากเป็นอันดับ 1 ของโลก [2], [3]

สำหรับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมปลายน้ำจำเป็นต้องหาวิธีบริหารความเสี่ยง เพื่อลดความผันผวนของราคาต้นนโยบาย และปัจจัยต่างๆ ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติเป็นสินค้าเกษตรสำคัญที่ทำเงินตราเข้าประเทศเป็นอันดับ 4 โดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณยางแผ่นดิบที่ผลิตได้ในประเทศ และยางธรรมชาติถือว่าเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำของหลายๆ ผลิตภัณฑ์ เช่น ยางล้อยานพาหนะ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานทางวิศวกรรมหรืออุตสาหกรรม อุปกรณ์ที่ใช้ทางการแพทย์และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มียางเป็นองค์ประกอบ ด้วยเหตุที่ผลิตภัณฑ์ ยางธรรมชาติได้ถูกนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ชี้วัดถึงการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของทุกประเทศ จึงส่งผลทำให้ราคายางแผ่นรมควันมีความผันผวนตามการเปลี่ยนแปลงของภาวะเศรษฐกิจของประเทศผู้ผลิตอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [4] แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเคลื่อนไหวของราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางยางพาราอำเภอลาดใหญ่ ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวขึ้นลงที่แตกต่างกันในแต่ละวัน



รูปที่ 1 ข้อมูลอนุกรมเวลาราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางสินค้ายางพาราหาดใหญ่ (ม.ค. 2557-มี.ค. 2559)

ที่ผ่านมาเทคนิควิธีการพยากรณ์ราคายางธรรมชาติได้มีการพัฒนาและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การพยากรณ์ระยะสั้นแบบรายวันที่มีโครงสร้างข้อมูลเชิงเส้น [5] และวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ คือการพยากรณ์ราคาผลผลิตทางการเกษตรในตลาดซื้อขายล่วงหน้า กรณีศึกษายางพารา [6] การทดสอบประสิทธิภาพยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้า [7] การพยากรณ์ราคาในระยะสั้นของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้า แห่งประเทศไทย [8] ต่อมาได้มีการนำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks; ANNs) [9] ซึ่งเป็นเทคนิคการจำแนกรูปแบบข้อมูล และการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) [10] ซึ่งเทคนิคนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

สำหรับการพยากรณ์ยางแผ่นรมควันชั้น 3 และยางแผ่นดิบ พบว่า วิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความแม่นยำในการพยากรณ์ที่สูงกว่าวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ เมื่อเพิ่มข้อมูลปัจจัยนำเข้าแบบหลายตัวแปร (Multivariate) นั่นคือ การเพิ่มข้อมูลราคาน้ำมันดิบและอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราสกุลต่างประเทศ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างข้อมูลแบบไม่เชิงเส้นเข้าไปในชุดข้อมูล [11]

จากปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาของงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าเทคนิคในการสร้างตัวแบบพยากรณ์

สามารถรองรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา และแบบผสมผสานระหว่างแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นเพื่อความผันผวนตามการเปลี่ยนแปลงของภาวะเศรษฐกิจ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดนำตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟมาประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์ราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางสินค้าอาหารขนาดใหญ่ ตัวแบบดังกล่าวจะแสดงถึงความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลง ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนจากช่วงราคาหนึ่งไปยังอีกช่วงราคาหนึ่ง ด้วยสภาวะการเปลี่ยนแปลง (Transient State) ของราคา ลักษณะแบบลูกโซ่ อีกทั้งสภาวะคงตัว (Steady State) หรือการที่ไม่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงราคา เพื่อนำมาวางแผนการบริหารต้นทุนการผลิตหลักของอุตสาหกรรมปลาที่มีส่วนประกอบของยางแผ่นรมควันชั้น 3 เป็นหลักต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ และตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟ ดังนี้

1.1 ทฤษฎีตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟ [12], [13]

ตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟ คือ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปร เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมในอนาคตของตัวแปรนั้น เช่น การวิเคราะห์ส่วนแบ่งตลาด โดยมีหลักการแข่งขันภายในธุรกิจเดียวกัน ความน่าจะเป็นที่ผู้บริโภคใช้ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อเดิมไม่เปลี่ยนแปลง คุณสมบัติสำคัญของปัญหาที่จะนำตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟมาแก้ปัญหา

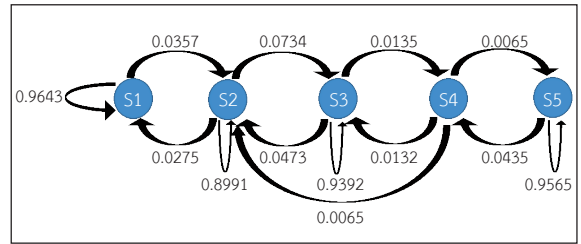
- 1) ปัญหาที่จำเป็นต้องมีผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่ง
- 2) ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดผลลัพธ์ต่างๆ ต้องมีค่าคงที่เสมอไม่เปลี่ยนแปลง

1.1.1 ลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) [14]

ลำดับของการเกิดเหตุการณ์ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้น

1) เหตุการณ์ (Event) สิ่งที่สามารถเกิดขึ้นหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

2) สภาวะหรือสถานะ (State) สภาพที่เป็นอยู่ในเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งสถานะนั้นๆ อาจจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่



รูปที่ 2 ตัวอย่างไดอะแกรมแสดงสถานะ (State Diagram)

เปลี่ยนแปลงก็ได้

Transition Probability จะใช้สัญลักษณ์ S แทนสถานะ j ใดๆ เมื่อ $j = 1, 2, 3 \dots n$ เช่น ช่วงของราคาขายแผ่นรมควัน (RSS3) สถานะจะเป็น $S_1 = 30.00 - 42.35$ บาทต่อกิโลกรัม $S_2 = 42.36 - 50.59$ บาทต่อกิโลกรัม $S_3 = 50.60 - 58.82$ บาทต่อกิโลกรัม $S_4 = 58.83 - 67.06$ บาทต่อกิโลกรัม และ $S_5 = 67.07 - 80.00$ บาทต่อกิโลกรัม

สัญลักษณ์ P_{ij} แทน ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก S_i ไป S_j เช่น $P_{12} = 0.0357$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก S_1 ไปเป็น S_2 มีค่าเท่ากับ 0.0357 และ $P_{21} =$ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก S_2 ไปเป็น S_1 มีค่าเท่ากับ 0.0275 และ P_{22} ความน่าจะเป็นของสภาวะคงตัว S_2 มีค่าเท่ากับ 0.8991 เป็นต้น โดยแสดงดังรูปที่ 2

สภาวะการเปลี่ยนแปลง คือ สภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง มีลักษณะเป็นลูกโซ่จากสภาวะเริ่มต้น

ค่าความน่าจะเป็นแบบทรานเซียนท์ หมายถึงค่าความน่าจะเป็นของการอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งของลูกโซ่มาร์คอฟก่อนที่จะเข้าสู่สถานะคงตัว แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการใช้ทรานเซียนท์เมทริกซ์ (Transition Matrix)

State	1	2	3	4	5
1	0.964	0.036	0.000	0.000	0.000
2	0.028	0.899	0.073	0.000	0.000
3	0.000	0.047	0.939	0.014	0.000
4	0.000	0.007	0.013	0.974	0.007
5	0.000	0.000	0.000	0.044	0.957

สภาวะคงตัว คือ สภาวะที่ก่อนเปลี่ยนกับหลังเปลี่ยนที่ค่าเท่ากัน นั่นคือเหตุการณ์ที่จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอีกแล้วหลังจากนี้

1.1.2 ห่วงโซ่มาร์คอฟ [5]

ห่วงโซ่มาร์คอฟมีความสำคัญในการใช้งานอยู่ 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ใช้ในการอธิบายระบบที่มีข้อมูลเป็นจำนวนมาก (Large Scale)

2) เป็นทฤษฎีที่ถูกพัฒนามาเป็นอย่างดีในการคำนวณ เช่น งานด้านเศรษฐศาสตร์ งานด้านกายภาพ และงานด้านสังคมศาสตร์ เป็นต้น

โดยมีองค์ประกอบสำคัญในการสร้างตัวแบบ คือ ตัวแปรของสถานะ (State Variable) เนื้อที่ของสถานะ (State Space) และแผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลง (Transition Diagram) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ห่วงโซ่มาร์คอฟแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Markov Chains; DTMC) หรือเรียกว่า ห่วงโซ่กระโดด (Jump Chain) ให้มีความสำคัญกับสิ่งที่สนใจว่ามีความน่าจะเป็นเท่าไรในการกระโดดจากสถานะหนึ่งไปยังสถานะถัดไป

- ห่วงโซ่มาร์คอฟแบบเวลาต่อเนื่อง (Continuous Time Markov Chains; CTMC) หรือเรียกว่า เวลาถือครอง (Holding Time) ให้มีความสำคัญกับสิ่งที่สนใจว่ามีเวลาถือครองเท่าไรในแต่ละสถานะ

1.1.3 YASAI Simulation [15]

YASAI ได้รับการพัฒนาโดย MSIS Department of Rutgers Business School ซึ่งการออกแบบมาสำหรับการสอนในการจำลอง Monte Carlo เบื้องต้น โดยใช้ Microsoft Excel

YASAI ให้ฟังก์ชัน Excel ที่ส่งคืนตัวเลขแบบสุ่มกับการแจกแจงที่ระบุ โดยทั่วไปแล้วค่าที่เลือกจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติทุกครั้งที่คุณคำนวณสเปรดชีตใหม่ ฟังก์ชันการสร้างเลขสุ่มแบบปัจจุบัน

GENTABLE (V, P): อาร์กิวเมนต์ V และ P เป็นกลุ่มของเซลล์หรือรายการ ตัวอย่างของข้อมูล คือ “{ 1, 3, 7 }” มีจำนวนเซลล์เท่ากัน ฟังก์ชันจะส่งกลับค่าแต่ละค่าใน V ด้วยความน่าจะเป็นโดยระบุที่องค์ประกอบเหมือนกันใน P ถ้า

อาร์กิวเมนต์ทั้งสองมีจำนวนเซลล์เท่ากัน แต่มีจำนวนแถวและคอลัมน์ที่แตกต่างกันการติดต่อกันจะถูกกำหนดโดยการสแกนในแถวแรก โดยข้ามแถวที่สองและแถวอื่นๆ

รายการที่ไม่ใช่ตัวเลขใน P จะถือว่าเป็นศูนย์ ถ้าอาร์กิวเมนต์ทั้งสองไม่มีจำนวนเซลล์เท่ากันหรือถ้า P มีตัวเลขเชิงลบหรือถ้า P มีเพียง 0 ค่าความผิดพลาดจะถูกส่งกลับถ้าค่าใน P ไม่รวมถึง 1 พวกเขาจะถูกปรับขนาดตามสัดส่วนเพื่อให้พวกเขาทำ

ตัวอย่างเช่น GENTABLE ({1,2,3}, {0.2, 0.5, 0.3}) จะส่งกลับค่า 1 ด้วยความน่าจะเป็น 0.2, 2 กับความน่าจะเป็น 0.5 และ 3 โดยมีค่าความน่าจะเป็น 0.3

1.1.4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) การหาความคลาดเคลื่อน (Error) ว่าการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการสรุปว่า การพยากรณ์มีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t}}{n} * 100 \quad (1)$$

เมื่อ X_t = ค่าสังเกต ณ เวลา t

F_t = ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

n = จำนวน t

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม [16] ที่เหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างเป็น 8-2-1 โดยมีจำนวนอินพุต 8 อินพุต จำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น จำนวนเอาต์พุต 1 เอาต์พุต กำหนดเป้าหมายการเรียนรู้เฉลี่ย 99% อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.1 การเรียนรู้มีค่าผิดพลาดเท่ากับ 0.9999 และข้อมูลทดสอบมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.493 เปอร์เซ็นต์ ผลการประเมินความพึงพอใจผลการประเมินโดยรวมเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46

การพยากรณ์ราคาขายพาราแผ่นรมควันชั้น 3 [11] ด้วย

วิธีการวิเคราะห์ทางเทคนิค 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 2) วิธีดัชนีกำลังสัมพันธ์ (RSI) 3) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ร่วมทาง/แยกทาง (MACD) ผลการศึกษา พบว่าวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ทั้ง 4 ระยะ ด้วยวิธี EMA โดยที่แนวโน้มระยะสั้น คือ ขนาด 5 วัน แนวโน้มระยะค่อนข้างปานกลาง คือ ขนาด 30 วัน แนวโน้มระยะกลาง คือ ขนาด 100 วัน และแนวโน้มระยะยาว คือ ขนาด 175 วัน สำหรับวิธี RSI คือ ขนาด 14 วัน และวิธี MACD คือ ขนาด 9 วัน

พยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแผ่นรมควันชั้น 1 ด้วยวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ [17] ใช้ข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556 รวมทั้งสิ้น 72 เดือน พบตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้คือ ตัวแบบ ARIMA(1,0,0) หรือ AR(1)

พยากรณ์ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้า [9] โดยวิธีดัชนีชี้้นำ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการพยากรณ์ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบการพยากรณ์ระหว่างวิธีดัชนีกำลังสัมพันธ์ (Relative Strength Index; RSI) และวิธีดัชนีปริมาณสะสม (On Balance Volume; OBV) พบว่า วิธีดัชนีปริมาณสะสมเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และในการตรวจสอบค่าพยากรณ์จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ช่วงเวลาการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคายางแผ่นรมควันชั้น 3 ในตลาดการซื้อขายล่วงหน้า คือ 5 วัน

แบบจำลองของห่วงโซ่มาร์คอฟสำหรับการพยากรณ์พลังงานลมระยะสั้น [18] วิธีการพยากรณ์พลังงานลมบนพื้นฐานการใช้แบบจำลองห่วงโซ่มาร์คอฟ แบบไม่ต่อเนื่อง โดยเริ่มพัฒนาจากชุดข้อมูลพลังงานลมตามอนุกรมเวลา ทำให้ได้รับข้อมูลโดยตรงด้วยวิธีที่ประมาณการอย่างง่ายตามหลักการกระจายพลังงานลมในระยะสั้น โดยไม่ต้องมีการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความน่าจะเป็นของการกระจายแรงลม ผลการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 พบว่า โมเดลห่วงโซ่มาร์คอฟเป็นทฤษฎีที่สามารถอธิบายการวิเคราะห์หรือพยากรณ์ได้ดี การประยุกต์ใช้วิธีการที่เสนอจะแสดงการอ้างอิงถึงชุดข้อมูลที่แท้จริง

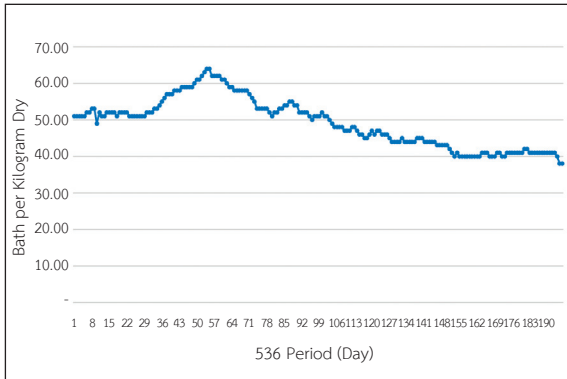


รูปที่ 3 ลำดับการดำเนินงานวิจัย

การสร้างแบบจำลองทางการตลาด และการคาดการณ์ โดยใช้แบบจำลองห่วงโซ่มาร์คอฟ และวิธีทางเลือก [19] บทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวน 4 แบบ สำหรับปัญหาส่วนแบ่งทางการตลาดเดียวกันกับสมมติฐานที่แตกต่างกัน ทั้ง 4 ตัวแบบ ทั้งแบบจำลองมาร์คอฟ และแบบจำลองที่ไม่ใช่มาร์คอฟ โดยใช้ตัวอย่างข้อมูลตัวเลขในอุตสาหกรรมการสื่อสารโทรคมนาคม เพื่อแสดงให้เห็นว่าทั้ง 4 โมเดล สามารถใช้ในการคาดการณ์การแบ่งส่วนแบ่งการตลาดได้ ถึงแม้ว่าโมเดลมาร์คอฟ จะเป็นที่นิยมกันในหมู่นักพยากรณ์ แต่ควรระมัดระวังในการเลือกใช้แบบจำลองดังกล่าว หรือแบบจำลองทางเลือกอื่นๆ เพื่อให้บรรลุผลพยากรณ์ที่ดีที่สุด ผู้พยากรณ์ควรมีความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับอุตสาหกรรม สภาพตลาดและแนวโน้มทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้พวกเขาตั้งสมมติฐานที่เหมาะสม และประยุกต์ใช้หรือแม้แต่การพัฒนาแบบที่เหมาะสมที่สุด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะมีลำดับในการศึกษา แสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 การเคลื่อนไหวของราคาขายแผ่นรมควันรายวันจำนวน 196 วัน (มี.ค.-ธ.ค. 2558)

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3 ณ ตลาดกลางยางพารา อำเภอหาดใหญ่ ในช่วงระยะเวลา ตั้งแต่เดือนมกราคม 2557 ถึง เดือนมีนาคม 2559 [20]

2.2 การออกแบบข้อมูลตัวอย่าง จำนวนทั้งหมด 536 ชุดข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟแสดง การเคลื่อนไหวของราคาขายรายวันแสดงดังรูปที่ 1 จำนวน 536 ชุดข้อมูล (ม.ค. 2557-มี.ค. 2559) จากการพิจารณา ข้อมูล พบว่า มีข้อมูลราคาที่ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา ที่ 340 ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการตัดชุดข้อมูลเหลือเพียง 196 ชุด ข้อมูล (มี.ค.-ธ.ค. 2558) แสดงดังรูปที่ 4 เพื่อทำการพยากรณ์ เปรียบเทียบผลระหว่างทั้งสองชุดข้อมูล

2.3 การกำหนดค่าอันตรายภาคชั้นที่ใช้ในการทดสอบ 5, 10, 15, 20, 25, 30 ชั้น ตามลำดับ

2.4 การสร้างทรานเซียนท์เมทริกซ์ พร้อมดำเนินการ ออกแบบโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

- State Variable คือ ช่วงของราคาขายแผ่นรมควัน ชั้น 3

- Time Step คือ วัน ณ ราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3

- State Space คือ การจำแนกช่วงของราคาขายแผ่น รมควันชั้น 3 โดยมีการกำหนดอันตรายภาคชั้นดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25, 30 ตามลำดับ

2.5 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะเปลี่ยนจาก จุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ [16]

1) กำหนดให้ c_{ij} เป็นจำนวนครั้งที่เปลี่ยนจากสถานะ i ไป j

2) กำหนดให้ c_i คือผลรวมของจำนวนครั้งที่เริ่มจาก สถานะ i ($c_i = \sum_{j=1}^n c_{ij}$)

3) หาค่าประมาณของ p_{ij} โดย $\hat{p}_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_i}$, $c_i > 0$ และ $\hat{p}_{ij} = 0$, $c_i = 0$

4) นำค่า \hat{p}_{ij} ไปสร้าง Transient Matrix ตารางทรานเซียนท์ เมทริกซ์เมทริกซ์ขนาด 10 อันตรายภาคชั้น แสดงดังตารางที่ 4 และตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟอันตรายภาคชั้น 10 จำนวน 21 ช่วงเวลา 536 ตัวอย่าง

2.6 สุ่มช่วงของราคาเพื่อจำลองสถานการณ์แบบ สม่าเสมอ (Uniform) จำนวน 1,000 ชุด ผู้วิจัยดำเนินการ จำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Yasai-Simulation ซึ่งเป็น Excel add in

2.7 กำหนด ณ ราคาขายแผ่นรมควันชั้น 3 ณ วันสุดท้าย ของข้อมูลทั้งหมด (31 มีนาคม 2016) เท่ากับ 52 บาท และ กำหนดช่วงเวลาในการพยากรณ์ล่วงหน้า 21 ช่วงเวลา

2.8 คำนวณหาค่าความผิดพลาด ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดแบบสัมบูรณ์ (MAPE) ในแต่ละ วิธีการแสดงดังตารางที่ 2 และสร้างตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟ อันตรายภาคชั้น 10 จำนวน 21 ช่วงเวลา 536 ตัวอย่าง แสดงดัง ตารางที่ 5

2.9 สรุปผลการวิจัย เปรียบเทียบค่าความแม่นยำใน แต่ละชุดข้อมูล ในแต่ละการกำหนดอันตรายภาคชั้น ด้วยการ สุ่มช่วงของราคาเพื่อจำลองสถานการณ์แบบยูนิฟอร์มจำนวน 1,000 ชุด

3. ผลการวิเคราะห์

จากผลการวิจัยสามารถสรุปค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สัมบูรณ์เฉลี่ยในแต่ละชุดข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3

จากรูปที่ 5 แสดงค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ ณ ขนาดข้อมูล 536 ตัวอย่าง ณ ระดับค่าอันตรายภาคชั้น 5, 10, 15, 20, 25, 30 จำแนกตามระดับค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ต่างๆ พบว่า ณ ระดับอันตรายภาคชั้น 15 ระดับเปอร์เซ็นต์ 95 มีความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 4%

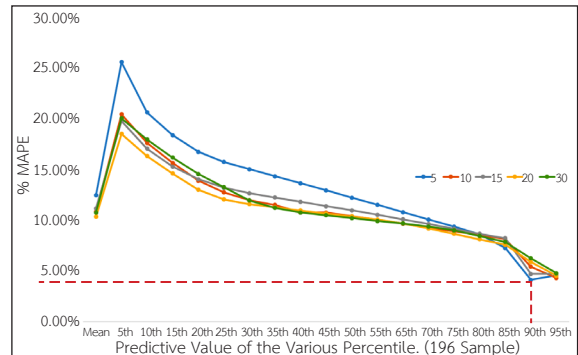
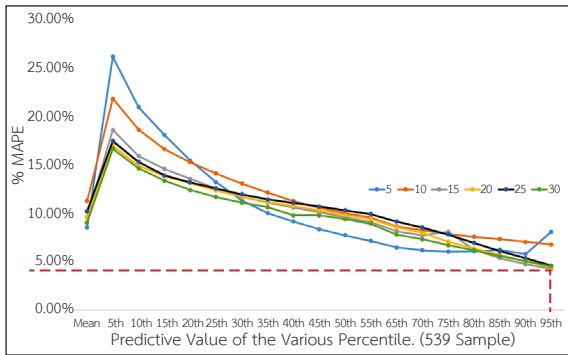


ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความผิดพลาด ขนาดข้อมูล 196 ตัวอย่าง ระดับอันตรายภาคชั้น 5

No.	Actual	Mean	Error	5th Percentile	Error	10th Percentile	Error	15th Percentile	Error	20th Percentile	Error	25th Percentile	Error	30th Percentile	Error	35th Percentile	Error	40th Percentile	Error	45th Percentile	Error
1	52.37	50.33	0.04	47.78	0.09	48.11	0.08	48.38	0.08	48.64	0.07	48.98	0.06	49.24	0.06	49.52	0.05	49.73	0.05	50.03	0.04
2	52.37	50.43	0.04	47.70	0.09	48.00	0.08	48.32	0.08	48.56	0.07	48.89	0.07	49.19	0.06	49.55	0.05	49.85	0.05	50.14	0.04
3	52.88	50.46	0.05	47.62	0.10	47.89	0.09	48.25	0.09	48.56	0.08	48.88	0.08	49.12	0.07	49.47	0.06	49.79	0.06	50.11	0.05
4	52.88	50.36	0.05	46.23	0.13	47.80	0.10	48.09	0.09	48.42	0.08	48.65	0.08	48.91	0.08	49.20	0.07	49.44	0.07	49.74	0.06
5	53.36	50.41	0.06	44.97	0.16	47.75	0.11	48.03	0.10	48.48	0.09	48.77	0.09	49.11	0.08	49.41	0.07	49.71	0.07	50.09	0.06
19	64.01	49.74	0.22	36.72	0.43	43.44	0.32	45.03	0.30	46.58	0.27	47.74	0.25	48.15	0.25	48.70	0.24	49.21	0.23	49.67	0.22
20	64.50	49.77	0.23	37.73	0.42	42.97	0.33	44.81	0.31	46.29	0.28	47.63	0.26	48.10	0.25	48.49	0.25	49.09	0.24	49.57	0.23
21	64.88	49.61	0.24	36.41	0.44	42.62	0.34	44.33	0.32	46.03	0.29	47.48	0.27	47.99	0.26	48.57	0.25	49.18	0.24	49.79	0.23
MAPE -->			12.34%		25.34%		20.44%		18.21%		16.58%		15.59%		14.89%		14.19%		13.52%		12.82%
50th Percentile	Error	55th Percentile	Error	60th Percentile	Error	65th Percentile	Error	70th Percentile	Error	75th Percentile	Error	80th Percentile	Error	85th Percentile	Error	90th Percentile	Error	95th Percentile	Error		
50.29	0.04	50.53	0.04	50.79	0.03	51.06	0.03	51.27	0.02	51.61	0.01	51.94	0.01	52.18	0.00	52.44	0.00	52.75	0.01		
50.40	0.04	50.73	0.03	51.04	0.03	51.31	0.02	51.55	0.02	51.91	0.01	52.12	0.00	52.40	0.00	52.63	0.00	53.53	0.02		
50.42	0.05	50.71	0.04	51.08	0.03	51.40	0.03	51.67	0.02	51.93	0.02	52.23	0.01	52.56	0.01	52.76	0.00	55.30	0.05		
50.08	0.05	50.38	0.05	50.88	0.04	51.22	0.03	51.47	0.02	51.83	0.02	52.18	0.01	52.57	0.01	53.93	0.02	56.13	0.06		
50.41	0.06	50.68	0.05	50.99	0.04	51.29	0.04	51.66	0.03	51.99	0.03	52.97	0.02	52.73	0.01	53.89	0.01	55.99	0.05		
50.24	0.22	50.72	0.21	51.14	0.20	51.69	0.19	52.30	0.18	51.80	0.18	54.33	0.15	55.76	0.13	57.06	0.11	58.63	0.08		
50.03	0.22	50.58	0.22	51.14	0.21	51.70	0.20	52.30	0.18	52.85	0.18	54.56	0.15	55.79	0.13	57.12	0.11	58.74	0.09		
50.22	0.23	50.63	0.22	51.21	0.21	51.73	0.20	52.28	0.18	52.97	0.18	54.29	0.16	55.83	0.14	57.14	0.12	58.72	0.09		
	12.09%		11.42%		10.69%		9.98%		9.29%		8.54%		7.18%		5.45%		4.08%		4.54%		

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลราคายางจำนวน 536 ตัวอย่าง

Class Interval	MAPE					
	5	10	15	20	25	30
Mean	0.123	0.108	0.111	0.102	0.107	0.109
5th	0.253	0.203	0.196	0.183	0.199	0.175
10th	0.204	0.175	0.169	0.162	0.178	0.155
15th	0.182	0.155	0.151	0.145	0.160	0.141
20th	0.166	0.138	0.139	0.129	0.144	0.130
25th	0.156	0.126	0.131	0.119	0.131	0.122
30th	0.149	0.118	0.125	0.115	0.118	0.117
35th	0.142	0.114	0.121	0.112	0.111	0.115
40th	0.135	0.107	0.117	0.109	0.107	0.113
45th	0.128	0.107	0.113	0.106	0.104	0.111
50th	0.121	0.103	0.109	0.103	0.101	0.110
55th	0.114	0.099	0.104	0.100	0.098	0.108
65th	0.107	0.096	0.100	0.096	0.096	0.105
70th	0.100	0.092	0.095	0.091	0.093	0.101
75th	0.093	0.088	0.091	0.086	0.089	0.096
80th	0.085	0.085	0.086	0.080	0.084	0.091
85th	0.072	0.081	0.081	0.075	0.078	0.086
90th	0.041	0.054	0.047	0.058	0.062	0.070
95th	0.045	0.043	0.047	0.045	0.047	0.054



รูปที่ 5 ค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ ขนาดข้อมูล 536 ตัวอย่าง ณ ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆ

รูปที่ 6 ค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ ขนาดข้อมูล 196 ตัวอย่าง ณ ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆ

ตารางที่ 4 ตัวอย่างทรานเซียนท์เมทริกซ์เมทริกซ์ขนาด 10 อัตรภาคขึ้น

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean Holding Times	
1	0.9000	0.1000	-	-	-	-	-	-	-	-	30.00	38.24
2	0.0135	0.9459	0.0405	-	-	-	-	-	-	-	38.25	42.35
3	-	0.0714	0.8571	0.0714	-	-	-	-	-	-	42.36	46.47
4	-	-	0.0448	0.8358	0.1194	-	-	-	-	-	46.48	50.59
5	-	-	-	0.0714	0.8878	0.0408	-	-	-	-	50.60	54.71
6	-	-	-	-	0.0800	0.8800	0.0400	-	-	-	54.72	58.82
7	-	-	-	-	-	0.0392	0.9020	0.0588	-	-	58.83	62.94
8	-	-	-	0.0099	-	-	0.0297	0.9505	0.0099	-	62.95	67.06
9	-	-	-	-	-	-	-	0.0541	0.8919	0.0541	67.07	71.17
10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3333	0.6667	71.18	80.00

ตารางที่ 5 ตัวอย่างตัวแบบห่วงโซ่มาร์คอฟอันดับ 10 จำนวน 21 ช่วงเวลา 536 ตัวอย่าง

n	Row of X(n-1)	Transition Prob to					Start Price = 52 Bath	
		1	2	3	4	5	X _n	Mean
0							5	50.69
1	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0714	0.8878	5	52.05
2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0714	0.8878	5	53.85
3	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0714	0.8878	4	47.81
4	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	48.31
5	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	47.55
6	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	48.70
7	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	49.24
8	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	48.25
9	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	5	51.14
10	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0714	0.8878	5	50.78
11	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0714	0.8878	4	47.40
12	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	48.88
13	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	47.01
14	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	50.10
15	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	49.98
16	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	47.25
17	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	48.59
18	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	47.11
19	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	49.41
20	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	50.18
21	4	0.0000	0.0000	0.0448	0.8358	0.1194	4	47.49

จากรูปที่ 6 แสดงค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ ณ ขนาดข้อมูล 196 ตัวอย่าง ณ ระดับค่าอันตรภาคชั้น 5, 10, 15, 20, 25, 30 จำแนกตามระดับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างๆ พบว่า ณ ระดับ อันตรภาคชั้น 5 ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90 มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 4%

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการวิจัยการพยากรณ์ราคาขายแผ่นรมควัน ชั้น 3 (RSS3) ด้วยตัวแบบห้วงโซ่มาร์คอฟ โดยใช้ข้อมูลรายวันตั้งแต่เดือนมกราคม 2557 ถึงเดือนมีนาคม 2559 จำนวนขนาดตัวอย่างราคาขายทั้งหมด 536 ชุด ด้วยตัวแบบห้วงโซ่มาร์คอฟ เมื่อพิจารณาข้อมูลทั้งหมด พบว่า ข้อมูลมีความผันผวนในช่วงเวลาที่ 340 ผู้วิจัยจึงได้ทำการคัดเลือกช่วงเวลา 2 ชุด คือ ขนาดตัวอย่างเป็น 536 ชุด และ 196 ชุด และแบ่งอันตรภาคชั้น (ตามความถี่ช่วงราคา สามารถแบ่งตามอันตรภาคชั้น ณ ที่ระดับ 5, 10, 15, 20, 25, 30)

ผู้วิจัยพิจารณาข้อมูลสุ่มในการพยากรณ์ 1,000 ตัวอย่าง พบว่า ขนาดตัวอย่าง 536 ชุด ที่อันตรภาคชั้น 15 และขนาดตัวอย่าง 196 ชุด ที่อันตรภาคชั้น 5 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 6 เมื่อผู้วิจัยพิจารณาในแต่ละกลุ่มขนาดตัวอย่าง พบว่าขนาดตัวอย่าง 536 ชุด พบว่า อันตรภาคชั้นที่ระดับแตกต่างกัน มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาในแต่ละระดับอันตรภาคชั้น จะเห็นได้ว่าการแบ่งอันตรภาคชั้นที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยการแบ่งอันตรภาคชั้นที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าความแม่นยำจะดีขึ้นตามลำดับ โดยจำนวนอันตรภาคชั้นที่ดีที่สุด สำหรับขนาดตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 15 อันตรภาคชั้น

ผู้วิจัยพิจารณาข้อมูลสุ่มในการพยากรณ์ 1,000 ตัวอย่าง พบว่า ค่าข้อมูลสุ่มในแต่ละเปอร์เซ็นต์ไทล์ มีผลต่อค่าความผิดพลาด ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ไทล์ เนื่องจากข้อมูลในอดีตที่นำมาพยากรณ์ มีลักษณะผันผวนในช่วงแรก และราคาขายแผ่นรมควันมีแนวโน้มลดลง จึงทำให้การสุ่มราคา ณ ระดับดังกล่าวให้ค่า

ความผิดพลาดดีที่สุด

ตารางที่ 6 สรุปผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดแบบสมบูรณ MAPE ณ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ดีที่สุดในแต่ละจำนวนชุดข้อมูล

N	Class Interval	MAPE		
		Mean	Percentile	
536	5	8.61%	5.37%	80th
536	20	9.22%	4.73%	95th
196	5	10.45%	3.87%	90th
196	20	10.75%	8.67%	70th

ขนาดตัวอย่าง 196 ชุด พบว่า การแบ่งอันตรภาคชั้นที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ค่าความผิดพลาด ที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาในแต่ละระดับอันตรภาคชั้น จะเห็นได้ว่าการแบ่งอันตรภาคชั้นที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยเมื่อทำการแบ่งอันตรภาคชั้นที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดแบบสมบูรณ MAPE จะมีค่าน้อยลง ทำให้ค่าแม่นยำในการพยากรณ์สูงขึ้นตามลำดับ โดยจำนวนอันตรภาคชั้นที่ดีที่สุด สำหรับขนาดตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 5 อันตรภาคชั้น

จากการวิเคราะห์ผล พบว่า ข้อมูลที่มีผันผวนมาก และการแบ่งอันตรภาคชั้นที่มากขึ้นจะส่งผลต่อค่าความแม่นยำต่อการพยากรณ์ แต่หากข้อมูลมีความผันผวนลดลง ค่าพยากรณ์ที่ ณ ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่สูง จะให้ค่าความแม่นยำสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] The Office of Industrial Economics, "On upgrading the industrial standards of rubber and wood products on par with international standards," Bangkok, Thailand, 2013.
- [2] Rubber Technology Research Centre "Research and development of rubber and Para-wood products under the cooperative network of manufacturers and research units," Rubber



- Technology Research Centre, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, Thailand, 2013.
- [3] The Office of Industrial Economic, "Introduction to industrial rubber and rubber products," Office of Industrial Economics, Bangkok, Thailand, 2014.
- [4] Y. Kanasawat, "Thailand board of investment," *Investment Promotion Journal*, vol. 23, no. 2, pp. 22–28, 2010.
- [5] P. Putzon, "The forecasting of export quantity of the rubber ribbed smoked sheet 1 by Box-Jenkins method," B. Sc., Department of Mathematics, Faculty of Science, Burapa University, 2013.
- [6] P. Tapparak and P. Payakkapong, "Forecasting of agricultural product price in the futures market: A case study of rubber," in *Proceedings of 42nd Kasetsart University Annual Conference*, 2003, pp. 125–131.
- [7] S. Romprasert "Market efficiency test on RSS3 in agricultural futures exchange," *Applied Economics Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 55–78, 2008.
- [8] S. Thongnok, "Forecasting short run price of smoked rubber no.3 in agricultural futures exchange of Thailand," M.S. thesis, Department of Graduate School, Chiang Mai University, 2010.
- [9] C. Sukpan, C. Chopaiad, and S. Chooduang, "Price forecasting of ribbed smoked rubber sheet no.3 in the agricultural futures market by leading indicators and artificial neural networks," *Thaksin University Journal*, vol. 18, no.1, pp. 32–40, 2015.
- [10] J. Sinthichok, "The unsmoke sheet rubber price forecasting model through support vector machine," M.S. thesis, Department of Information Technology Management, Faculty of Engineer, Prince of Songkla University, 2012.
- [11] C. Rattanavonsee, "Forecasting the price of rubber in the agricultural futures exchange of thailand," *Veridin E-Journal, Silpakorn University*, vol. 6, no. 1, pp. 840–846, 2013.
- [12] V.G. Kulkarni, *Introduction to Modeling and Analysis of Stochastic Systems*, 1st ed. Springer-Verlag New York, 2011.
- [13] R. Durrett, *Essentials of Stochastic Process*. Springer, Cham, 2011.
- [14] Y. Zhang, "Prediction of financial time series with hidden markov models" M.S. thesis, Department of School of Computing Science, Simon Fraser University, Canada, 2004.
- [15] J. Eckstein, (2002, Dec), YASAI: Yet Another Add-in for Teaching Elementary Monte Carlo Simulation in Excel [Online]. Available: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/ited.2.2.12>.
- [16] J. Chuinakhorn and M. Rattanasiriwoo, "The system of rubber price forecast using neural technique. A case study: Rubber Research Institute of Thailand," M.S. thesis, Department of Information Technology, Faculty of Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2008 (in Thai).
- [17] I. Aizenberg, L. Sheremetov, L. Villa-Vargas, and J. Martinez-Muñoz, "Multilayer neural network with multi-valued neurons in time series forecasting of oil production," *Neurocomputing*, vol. 175, Part B, pp. 980–989, 2016.
- [18] A. Carpinone, M. Giorgio, R. Langella, and A.



- Testa, "Markov chain modeling for very-short-term wind power forecasting," *Electric Power Systems Research*, vol. 122, pp. 152-158, 2015.
- [19] K. C. CHAN, "Market share modelling and forecasting using markov chain and alternative models," *International Journal of Innovative Computing*, vol. 11, no. 4, pp. 1205-1218, 2015.
- [20] S. Romprasert, "Forecasting of natural rubber ribbed smoked sheets no.3 (RSS3) price in the agricultural futures exchange of Thailand," Ph.D. dissertation, Department of School of Development Economics, National Institute of Development Administration, 2010.