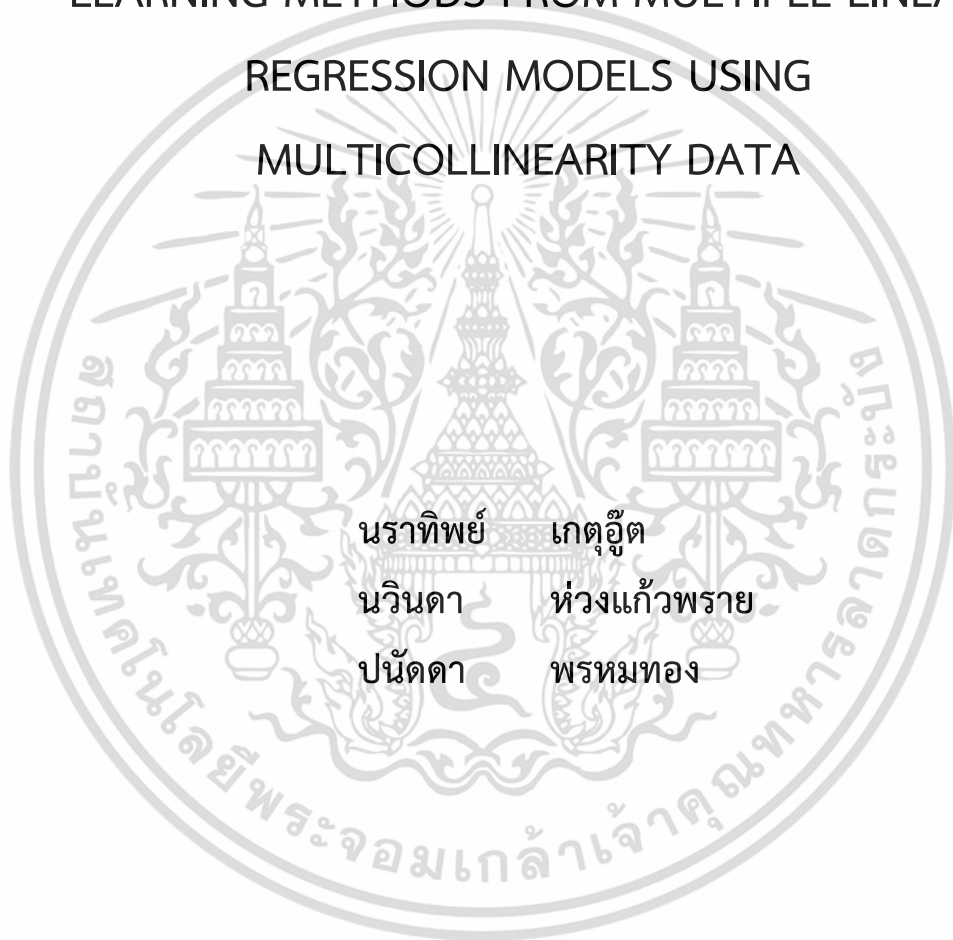


การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง
จากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูล
มีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ

A COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF MACHINE
LEARNING METHODS FROM MULTIPLE LINEAR
REGRESSION MODELS USING
MULTICOLLINEARITY DATA



นราทิพย์ เกตุอู๊ด
นวินดา ห่วงแก้วพราย
ปนัดดา พรหมทอง

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2566 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF MACHINE
LEARNING METHODS FROM MULTIPLE LINEAR
REGRESSION MODELS USING
MULTICOLLINEARITY DATA



NARATIP KATEUT
NAVINDA HAUNGKAWPRAY
PANUTDA PROMTHONG

A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED STATISTICS)
DEPARTMENT OF STATISTICS, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนเวสสำหรับกรเซงานเพอกรศษทอานน ไมอนุญาตหน้ไปเซประยชนดอานการค้
ไม่วกรณใดๆ ทั้งล้ัน อีกรทั้งห้มมิให้ดัดแอเอกสารทุกคร้งที่มการน้ไปใช้

ACADEMIC YEAR 2023

หัวข้อปัญหาพิเศษ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ
A Comparison of the Performance of Machine Learning Methods from Multiple Linear Regression Models Using Multicollinearity Data

ชื่อนักศึกษา นางสาวราทิพย์ เกตุอุ๊ต รหัสนักศึกษา 63050634
นางสาววินดา ห่วงแก้วพราย รหัสนักศึกษา 63050635
นางสาวปนัดดา พรหมทอง รหัสนักศึกษา 63050640

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถิติประยุกต์)

ภาควิชา สถิติ

ปีการศึกษา 2566

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัชฌา อระวีพร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สายชล สิ้นสมบูรณ์ทอง ประธานกรรมการ	
ดร.อริศา จิรธรรมประดับ กรรมการ	
รศ.ดร.อัชฌา อระวีพร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวราทิพย์	เกตุอุต์	รหัสนักศึกษา 63050634
	นางสาววินดา	ห้วงแก้วพราย	รหัสนักศึกษา 63050635
	นางสาวปนัดดา	พรหมทอง	รหัสนักศึกษา 63050640
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)		
ภาควิชา	สถิติ		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อัชฌา อระวีพร		

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ โดยวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้ง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (DNN) วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ (KNN) วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนท์ (SGD) และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (SVM) โดยทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ 0.1 และ 1 จากเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบค่าคงที่ และรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิกซ์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.1, 0.5 และ 0.9 ซึ่งมีตัวแปรอิสระสองกลุ่มคือตัวแปรอิสระกลุ่มขนาดเล็ก ได้แก่ 10, 30 และ 50 กลุ่มที่สองคือตัวแปรอิสระกลุ่มขนาดใหญ่ ได้แก่ 70, 100 และ 150 วิธีการดำเนินงานวิจัยจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น ชุดข้อมูลฝึกหัด 70% และชุดข้อมูลทดสอบ 30% โดยจะใช้โปรแกรมอาร์สตูดิโอในการจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลโดยทำซ้ำเป็นจำนวน 1000 รอบและทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ค่าที่ต่ำที่สุดเพื่อแสดงว่าวิธีใดดีที่สุด ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ จะพบว่า วิธี SGD คือวิธีที่ดีที่สุด และเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิกซ์ จะพบว่า วิธี SVM คือวิธีที่ดีที่สุด

คำสำคัญ : วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Comparison of the Performance of Machine Learning Methods from Multiple Linear Regression Models Using Multicollinearity Data		
Students	Miss.Naratip	Kateut	StudentID 63050634
	Miss.Navinda	Haungkawpray	StudentID 63050635
	Miss.Panutda	Promthong	StudentID 63050640
Degree	Bachelor of Science (Applied Statistics)		
Department	Statistics		
School	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2023		
Advisor	Assoc. Prof. Dr.Autcha Araveeporn		

Abstract

This special problem aims to study a comparison of the performance of machine learning from multiple linear regression models using multicollinearity data. The five machine learning methods are analyzed by Deep Neural Network Regression (DNN), K-Nearest Neighbor Regression (KNN), Random Forest Regression, Stochastic Gradient Descent Regression (SGD) and Support Vector Regression (SVM). The comparison of the regression coefficients is considered of 0.1 and 1 from the covariance matrix with a constant correlation pattern and Toeplitz correlation pattern which has correlation coefficient values of 0.1, 0.5 and 0.9. The independent variables have two groups namely small groups of independent variables (10, 30 and 50) and a large group of independent variables (70, 100 and 150). The research method is to divide the data into 70% training data set and 30% test data set. The R studio program is used for simulation and analyzed the data by repeating 1000 rounds and finding the mean square error and the mean absolute percentage error then minimum average is the best method. The results show the SGD is the best method when the covariance matrix is the constant pattern. And the results show the SVM is the best method when the covariance matrix is the Toeplitz pattern.

Keywords : Deep Neural Network Regression, K-Nearest Neighbor Regression, Random Forest Regression, Stochastic Gradient Descent Regression and Support Vector Regression

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเรื่องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบ ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี มีความละเอียดและความถูกต้องในเนื้อหาเนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.อชฌา อระวีพร อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ เสนอแนวคิด รวมไปถึงความเอื้อเฟื้อ ให้นำหนังสือและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนติดตามผลงานทุกขั้นตอน จนกระทั่งการดำเนินงานปัญหาพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์จึงขอขอบพระคุณด้วยความเคารพเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.สายชล สีนสมบูรณ์ทอง และดร.อริศา จิรธรรมประดับ ที่ให้เกียรติร่วมเป็นกรรมการปัญหาพิเศษ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ให้คำแนะนำแนวคิด วิธีการและข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับปัญหาพิเศษฉบับนี้ทั้งหมด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาสถิติ บุคลากรภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และได้ทำการเรียนการสอน ให้คำแนะนำรวมถึงการให้ความช่วยเหลือที่นำมาต่อยอดในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

ขอขอบความกตัญญูตเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจ ส่งเสริมและสนับสนุนในทุกๆด้าน รวมถึงเพื่อนๆ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือในการทำงานมา โดยตลอดจนปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ ทั้งบุคคลที่ได้กล่าวถึงไปแล้วข้างต้นและยังไม่ได้กล่าวถึงหากมีสิ่งใดบกพร่องผู้จัดทำจึงได้ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาปัญหาพิเศษฉบับนี้ และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังอย่างยิ่งว่าปัญหาพิเศษฉบับนี้จะสามารถเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

นราทิพย์	เกตุอู๊ด
นวินดา	ห้วงแก้วพราย
ปนัดดา	พรหมทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 การแจกแจงปรกติหลายตัวแปร (Multivariate Normal Distribution).....	9
2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity).....	13
2.3 การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression).....	19
2.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network).....	20
2.4.1 ประเภทของการเรียนรู้เชิงลึก.....	21
2.4.2 การถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network Regression).....	23
2.5 วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ (K-Nearest Neighbor: KNN).....	25
2.5.1 วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ.....	25
2.5.2 การถดถอยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ (K-Nearest Neighbor Regression).....	27
2.6 วิธีป่าสุ่ม (Random Forest).....	27
2.6.1 วิธีการถดถอยป่าสุ่ม (Random Forest Regression).....	28
2.7 วิธีสโตแคสติกเกรเดียนเตสเซนท์ (Stochastic Gradient Descent).....	30
2.7.1 วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเตสเซนท์ (Stochastic Gradient Descent Regression).....	31
2.8 วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM).....	32
2.8.1 วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน.....	32
2.8.2 วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Regression).....	36
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	39
3.1 การวางแผนการดำเนินงานวิจัย.....	39
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.3 ขั้นตอนทางโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
3.4 แผนผังแสดงกรณีทั้งหมด.....	42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	43
4.1 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เท่ากับ 0.1.....	44
4.1.1 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่.....	44
4.1.2 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์.....	59
4.2 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เท่ากับ 1.....	73
4.2.1 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่.....	73
4.2.2 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์.....	87
4.3 อภิปราย.....	101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	103
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	104
เอกสารอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก.....	109
ภาคผนวก ก.....	110
ภาคผนวก ข.....	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	16
2.2 ผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์.....	17
2.3 ผลลัพธ์ของค่า Tolerance และ VIF.....	18
2.4 ผลการจำแนกประเภทด้วยค่า k ต่างๆ.....	26
4.1 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	44
4.2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100,$ 150 และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	47
4.3 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	49
4.4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100,$ 150 และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	51
4.5 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	53
4.6 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100,$ 150 และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	55
4.7 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็กเมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	57
4.8 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	58
4.9 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10,$ $30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	59
4.10 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70,$ $100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	62

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 100% ไม่ลอกเลียนแบบให้ไปใช้ประโยชน์ด้วย 62
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	64
4.12 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	66
4.13 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	68
4.14 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	70
4.15 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	72
4.16 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	72
4.17 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	73
4.18 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	76
4.19 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	78
4.20 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	80
4.21 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.22 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	84
4.23 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	86
4.24 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	86
4.25 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	87
4.26 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	90
4.27 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	92
4.28 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	94
4.29 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	96
4.30 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	98
4.31 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	100
4.32 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ).....	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
4.33	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วม รูปแบบความสัมพันธ์คงที่และโทพลิช เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 และ 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ (rho).....	102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์แสดงค่า x_i	10
2.2	เมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่.....	11
2.3	เมทริกซ์ค่าความน่าจะเป็นของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่.....	11
2.4	เมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์.....	12
2.5	เมทริกซ์ค่าความน่าจะเป็นของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์.....	13
2.6	ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่.....	14
2.7	ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_3 และ X_4 เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่.....	15
2.8	ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์.....	15
2.9	ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_3 และ X_4 เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์.....	16
2.10	ภาพเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 (ซ้าย) กับตัวแปร X_3 และ X_4 (ขวา) เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่.....	17
2.11	ภาพเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 (ซ้าย) กับตัวแปร X_3 และ X_4 (ขวา) เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์.....	18
2.12	การทำงานของการเรียนรู้เชิงลึก.....	20
2.13	การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก.....	21
2.14	การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ.....	22
2.15	การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน.....	22
2.16	โครงข่ายประสาทเทียม 3 ชั้น.....	24
2.17	ปริภูมิตัวอย่าง.....	25
2.18	หลักการของวิธี Bagging และ วิธี Boosting.....	28
2.19	การแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง.....	28
2.20	ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree).....	29
2.21	การสร้างการถดถอยป่าแบบสุ่ม.....	29
2.22	วิธีต่างๆ ของวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์ทั้ง 3 รูปแบบ.....	30
2.23	เปรียบเทียบวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์และวิธีสโตแคสติกเกรเดียนต์เดสเซนท์.....	31
2.24	ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 1 มิติ.....	32
2.25	ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 2 มิติ.....	33
2.26	ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 3 มิติ.....	33

เอกสารนี้ 2.25 ก ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 2 มิติ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ต่วนก 33
 ไม่ว่าจะ 2.26 ก ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 3 มิติ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไป 33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.27	ระนาบเกินที่สามารถแบ่งข้อมูล 2 คลาส.....	34
2.28	ระนาบเกินที่เกิดปัญหาประสิทธิภาพดีกว่าความเป็นจริง.....	34
2.29	เวกเตอร์ซัพพอร์ต.....	35
2.30	เปรียบเทียบแบบจำลองวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและวิธีการถดถอยซัพพอร์ต เวกเตอร์.....	36
3.1	ขั้นตอนทางโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
3.2	แผนผังกรณีทั้งหมด.....	42
4.1	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ n = 100, 150, 200 เมื่อ $\rho = 0.1$	45
4.2	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ n = 100, 150, 200 เมื่อ $\rho = 0.1$	45
4.3	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ n = 100, 150, 200 เมื่อ $\rho = 0.1$	46
4.4	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ n = 300, 350, 400 เมื่อ $\rho = 0.1$	47
4.5	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	48
4.6	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	48
4.7	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ n = 100, 150, 200 เมื่อ $\rho = 0.5$	49
4.8	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ n = 100, 150, 200 เมื่อ $\rho = 0.5$	50
4.9	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบ ความสัมพันธ์ที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ n = 100, 150, 200 เมื่อ $\rho = 0.5$	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	51
4.11 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	52
4.12 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	52
4.13 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	53
4.14 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	54
4.15 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	54
4.16 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	55
4.17 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	56
4.18 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	56
4.19 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	60
4.20 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	61
4.22 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	62
4.23 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	63
4.24 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	63
4.25 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	64
4.26 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	65
4.27 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	65
4.28 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	66
4.29 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	67
4.30 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	67
4.31 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	69
4.33 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	69
4.34 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	70
4.35 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0. โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	71
4.36 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	71
4.37 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	74
4.38 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	74
4.39 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	75
4.40 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	76
4.41 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	77
4.42 กราฟค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	78
4.44 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	79
4.45 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	79
4.46 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	80
4.47 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	81
4.48 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	81
4.49 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	82
4.50 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	83
4.51 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	83
4.52 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	84
4.53 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.54	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	85
4.55	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	88
4.56	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	88
4.57	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$	89
4.58	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	90
4.59	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	91
4.60	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$	91
4.61	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	92
4.62	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	93
4.63	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$	93
4.64	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.65 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	95
4.66 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$	95
4.67 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	96
4.68 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	97
4.69 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$	97
4.70 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	98
4.71 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	99
4.72 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน โลกเต็มไปด้วยข่าวสารที่หลากหลาย ทำให้เกิดการรวบรวมข้อมูลอยู่ในปริมาณมากหรือเรียกว่า ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ซึ่งได้จากแหล่งต่างๆ เช่น ข้อมูลในโรงพยาบาล ธุรกิจออนไลน์ ธนาคาร การขนส่ง รวมถึงสื่อสังคมออนไลน์และอื่นๆ ทำให้เป็นเรื่องยากที่จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีปริมาณ (Volume) มาก รูปแบบของข้อมูลแต่ละประเภทที่มีความหลากหลาย (Variety) และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง (Velocity) (ชุตินุช, 2561) ดังนั้นการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลแบบดั้งเดิมนั้น จึงยากที่จะรับมือกับชุดข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ เรียกว่า การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) (Rahul et al., 2023) ซึ่งจะช่วยค้นหารูปแบบ และคาดการณ์ เพื่อจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนเหล่านี้

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มีหลักการคล้ายมนุษย์ที่จำเป็นต้องเรียนรู้จากประสบการณ์ โดยการป้อนชุดข้อมูลพื้นฐานและชุดคำสั่งให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ จำแนกวัตถุต่างๆ รวมถึงบุคคลหรือสิ่งของ เพื่อให้เกิดพัฒนาการทำให้ระบบคิดได้เอง โดยไม่ต้องมีมนุษย์คอยกำกับ ซึ่งหลักการทำงานแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ฝึกสอนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้การใส่ข้อมูลเข้าไป แล้วนำข้อมูลไปจำแนกที่ไม่มีความต่อเนื่อง (Classification) หรือวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง (Regression) ส่วนการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) ฝึกสอนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยการป้อนเฉพาะข้อมูล โดยให้เครื่องเรียนรู้และค้นพบรูปแบบด้วยตัวเอง การเรียนรู้แบบนี้มักถูกนำไปใช้เพื่อการจัดกลุ่ม (Clustering) และเมื่อต้องการทำนายตัวแปรเชิงปริมาณ การเรียนรู้ของเครื่องในรูปแบบการถดถอย จึงเป็นวิธีที่เหมาะสม (รุจิรา และคณะ, 2566)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) เพื่อต้องการหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด และสามารถนำมาใช้ในการทำนายตัวแปรตาม ตามค่าของตัวแปรอิสระซึ่งมีหลายรูปแบบ ในกระบวนการนี้มีตัวแปรตาม 1 ตัวแปร ส่วนตัวแปรอิสระจะมีกี่ตัวก็ได้ ถ้าหากมีตัวเดียวจะเรียกว่าการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) หากมีตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปจะเรียกว่าการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) (สฤกษ์เทพ, 2565) เนื่องด้วยการวิเคราะห์การถดถอยมีข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) ได้แก่ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามต้องมีความสัมพันธ์กัน (Linearity) ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน (Independent) ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนต้องคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญ่าตเอนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณใดๆ ทั้งสน ออกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

(Homogeneity of Variance) ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Normality) และตัวแปรอิสระไม่ควรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (No Multicollinearity) (บุญเลี้ยง, 2565) ซึ่งข้อตกลงเบื้องต้นนี้ถ้าไม่ได้ตรวจสอบข้อมูลให้เป็นไปตามเงื่อนไข อาจทำให้การทำนายผิดพลาดได้ (นัจรีภรณ์, 2561)

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เป็นการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระหลายๆตัว ซึ่งการวิเคราะห์นี้มีข้อตกลงที่ว่าตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่บ่อยครั้งมักมีตัวแปรอิสระมากกว่าสองตัวที่มีความสัมพันธ์กัน จะเรียกว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity) ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ เพราะตัวแปรอิสระมีค่าคงที่ที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่คลาดเคลื่อน ซึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณนั้น จะต้องไม่มีภาวะความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุเกิดขึ้นระหว่างตัวแปรอิสระ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ตัวแปรอิสระจะต้องเป็นอิสระจากกัน (นัจรีภรณ์, 2561)

เพื่อลดปัญหาของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน จึงพิจารณาวิธีที่ไม่ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น โดยเลือกใช้วิธีเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ยกตัวอย่างเช่น วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network Regression) วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ (K-Nearest Neighbor Regression) วิธีการถดถอยป่าสุ่ม (Random Forest Regression) วิธีการถดถอยสโตเคสติกเกรเดียนเดสเซนท (Stochastic Gradient Descent Regression) และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Regression)

อัชมา และคณะ (2565) ศึกษาการเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบถดถอยพหุคูณ เมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์และไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ซึ่งพบว่าวิธีเบสให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุดที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 5 แต่เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนักให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด เมื่อตัวแปรอิสระมีและไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ

Belmokre et al. (2019) ตรวจสอบความปลอดภัยของเขื่อนผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลการซึมพฤติกรรมน้ำทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ของโครงสร้างเขื่อน ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลองการถดถอยป่าสุ่ม (Random Forest Regression) ให้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ของ FL-175 เท่ากับ 0.0629 และ FR-175 เท่ากับ 0.1332 ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Regression) ที่ให้ค่า RMSE ของ FL-175 เท่ากับ 0.0969 และ FR-175 เท่ากับ 0.1532

Islam et al. (2018) ศึกษาแบบจำลองการถดถอยด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network Regression) สำหรับการทำนายความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้โปรไฟล์เมทิลเลชัน DNA รวมถึงอีพีจีโนม แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการถดถอยด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกมีค่า RMSE เท่ากับ 47.4 ซึ่งประสิทธิภาพการทำนายดีกว่าวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ที่มีค่า RMSE เท่ากับ 48.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kibtia et al. (2020) เปรียบเทียบวิธีป่าสุ่มกับวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการทำนายความบกพร่องทางสติปัญญาในผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน จากการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่สามารถทำนายความบกพร่องทางสติปัญญาได้ดีกว่าวิธีการถดถอยป่าสุ่มโดยวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ให้ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error, MAE) เท่ากับ 0.076 ทั้งชุดฝึกอบรมและชุดทดสอบ และค่า RMSE เท่ากับ 0.542 ในการทำนายความบกพร่องทางสติปัญญา

Mas'ud (2022) เปรียบเทียบโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องสามแบบสำหรับการทำนายการส่งออกพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์เป็นรายชั่วโมงในซาอุดีอาระเบีย วิธีในการทำนายคือ วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเค้านด์ (KNN), วิธีการถดถอยพหุคูณและวิธีการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Regression) โดยวิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเค้านด์มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่นๆ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error : MSE) ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) และค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ทำให้เป็นปรกติ (Normalized Root Mean Square Error) คือ 18.68%, 80.6% และ 13.2% ตามลำดับ

Singh (2022) ทำนายหุ้นชื่อ Nifty 50 โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง 8 วิธี คือ อะแดปทีฟบูสต์ (Adaptive Boost: AdaBoost) วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดเค้านด์ วิธีการถดถอยเชิงเส้น วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียม วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ และวิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (Stochastic Gradient Descent Regression) การทดสอบจากตารางที่ 13 วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ มีค่า MSE = 1802.542, RMSE = 42.456, MAE = 29.093 และค่า $R^2 = 0.999$ มีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องของผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการถดถอยของข้อมูลเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุด้วยวิธีเรียนรู้ด้วยเครื่อง ประกอบไปด้วยวิธีการ 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network Regression) วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเค้านด์ (K-Nearest Neighbor Regression: KNN) วิธีการถดถอยป่าสุ่ม (Random Forest Regression) วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (Stochastic Gradient Descent Regression) และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Regression) โดยพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) เป็นเกณฑ์ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง และการเปรียบเทียบวิธีการเหล่านี้จะเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุด้วยวิธี

เรียนรู้ด้วยเครื่อง
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการถดถอยของข้อมูลเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตนแคสติงเกรเดียนเตสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถดถอยของข้อมูลเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตนแคสติงเกรเดียนเตสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ทำการสุ่มค่าคลาดเคลื่อน (*Error*, ε) ของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคุณจากข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $E(\varepsilon) = \mu$ และ $Var(\varepsilon) = \sigma^2$ งานวิจัยนี้กำหนดให้ ค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 0 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 1

1.3.2 ทำการสร้างตัวแปรอิสระ (x_i) สำหรับขนาดเล็ก ได้แก่ 10, 30 และ 50 ตัว และขนาดใหญ่ ได้แก่ 70, 100 และ 150 จากการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (Multivariate Normal Distribution) กำหนดให้ ค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 1 และค่าความแปรปรวนร่วม (Σ) โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นดังนี้

$$f(x_i | \mu, \Sigma) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2}(x_i - \mu)^T \Sigma^{-1}(x_i - \mu)\right\}}{\sqrt{(2\pi)^p |\Sigma|}}$$

เมื่อ

$$\underline{x}_i = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \dots \\ x_{ip} \end{bmatrix}, \underline{\mu} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \dots \\ \mu_p \end{bmatrix} \text{ โดยที่ } i = 1, 2, \dots, n$$

และเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Σ) แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 รูปแบบความสัมพันธ์แบบค่าคงที่ (Constant Correlation Model) เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ที่ทุกตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เท่ากัน โดยเมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

รูปแบบที่ 2 รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์ (Toeplitz Correlation Model) ลักษณะความสัมพันธ์ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์ คือตัวแปรอิสระที่อยู่ใกล้กันจะมีความสัมพันธ์กันสูง และความสัมพันธ์จะลดน้อยลงเมื่อตัวแปรอิสระอยู่ห่างกันมาก โดยเมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบดังนี้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \cdots & \rho^{p-1} \\ \rho & 1 & \rho & \cdots & \rho^{p-2} \\ \rho^2 & \rho & 1 & \cdots & \rho^{p-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho^{p-1} & \rho^{p-2} & \rho^{p-3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เท่ากับ 0.1, 0.5 และ 0.9

1.3.3 กำหนดค่าคงที่ $\beta_0 = 100$ ของสมการถดถอย และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย β_j ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุเป็น 0.1 และ 1 โดยที่ $j = 1, 2, \dots, p$

1.3.4 กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) และจำนวนตัวแปรอิสระ (p)

กลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก			กลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่		
$p = 10$	$p = 30$	$p = 50$	$p = 70$	$p = 100$	$p = 150$
$n = 100$	$n = 100$	$n = 100$	$n = 300$	$n = 300$	$n = 300$
$n = 150$	$n = 150$	$n = 150$	$n = 350$	$n = 350$	$n = 350$
$n = 200$	$n = 200$	$n = 200$	$n = 400$	$n = 400$	$n = 400$

1.3.5 นำข้อมูลจากข้อ 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3 และ 1.3.4 มาประมาณค่าตัวแปรตาม

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \cdots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & \cdots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}_{n \times (p+1)} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}_{(p+1) \times 1} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, \dots, n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ $j = 1, 2, \dots, p$ ไปใช้

เมื่อ Y_i คือ ค่าของตัวแปรตาม
 X_{ij} คือ ค่าของตัวแปรอิสระ
 β_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย
 β_j คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระ
 ε_i คือ ค่าคลาดเคลื่อน (Error)

1.3.6 ในการสร้างโมเดลเพื่อทำนาย จะทำการรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลเหล่านั้นมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ชุดข้อมูลฝึกฝน (Train Data) 70% และชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data) 30% (Nguyen et al., 2021)

1.3.6.1 ชุดข้อมูลฝึกฝนใช้การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (นัทธมน และคณะ, 2563)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่าง

Y_i คือ ค่าที่สังเกตได้จริงของตัวแปรตาม

\hat{Y}_i คือ ค่าที่ทำนายของตัวแปรตามที่ได้รับจากการประมาณค่าจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

1.3.6.2 ชุดข้อมูลทดสอบใช้การคำนวณค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (นัทธมน และคณะ, 2563)

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \right) \times 100$$

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่าง

Y_i คือ ค่าที่สังเกตได้จริงของตัวแปรตาม

\hat{Y}_i คือ ค่าที่ทำนายของตัวแปรตามที่ได้รับจากการประมาณค่าจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

1.3.7 ใช้โปรแกรมอาร์ (R Program) ในการจำลองทั้งหมด 1,000 ครั้ง แล้วทำการหาค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วิธีการถดถอยด้วยการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตนแคสติงเกรเดียนเตสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

1.4.2 เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพในวิธีการถดถอยด้วยการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตนแคสติงเกรเดียนเตสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

1.5 นิยามศัพท์ (ราชบัณฑิตยสภา, 2561)

1.5.1 ข้อมูลมหัต (Big Data) หมายถึง เซตข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนมาก ประกอบด้วยลักษณะอย่างน้อย 3 ประการคือ มีปริมาตร (Volume) มาก มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง (Velocity) และมีความหลากหลายในโครงสร้างข้อมูล (Variety) นอกจากนี้ อาจมีองค์ประกอบอื่นเพิ่มเติม เช่น มีความแปรผันสูงและมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากอยู่ในรูปแบบต่างๆ ทั้งที่มีโครงสร้างที่แน่นอน เช่น เมทริกซ์ข้อมูล หรือไม่มีโครงสร้าง เช่น ข้อความ อีเมล วิดีทัศน์ หรือรวบรวมมาจากหลายแหล่ง

1.5.2 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หมายถึง สาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนามาจากการศึกษาการรู้จำแบบ เกี่ยวข้องกับการศึกษาและการสร้างขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่สามารถเรียนรู้ข้อมูลและทำนายข้อมูลได้ ขั้นตอนวิธีนั้นจะทำงานโดยอาศัยแบบจำลองที่สร้างมาจากชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อการทำนายหรือตัดสินใจโดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมไว้อย่างชัดเจน การเรียนรู้ของเครื่องต้องอาศัยวิธีการทางสถิติศาสตร์เป็นอย่างมาก โดยเชื่อมโยงกับองค์ความรู้อื่นที่ต้องการนำไปประยุกต์ เช่น การแพทย์ ชีวสารสนเทศศาสตร์ เคมีสารสนเทศศาสตร์

1.5.3 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) หมายถึง วิธีการวัดความคลาดเคลื่อน การใช้วิธีการนี้จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง เนื่องจากการนำความคลาดเคลื่อน ณ เวลาใดเวลาหนึ่งมายกกำลังสอง ก่อนที่จะหาผลรวมแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง

1.5.4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เป็นวิธีวัดความแม่นยำโดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการพยากรณ์ ซึ่งไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย และค่าที่ได้ต่ำมีความแม่นยำสูง

1.5.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity) หมายถึง สถานการณ์ที่ตัวแปรอิสระในสมการถดถอยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นสูง ซึ่งหากตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันสูงมาก ทำให้ดีเทอร์มิแนนต์ของ $X'X$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยไม่เสถียรหรือมีเอกสารนี้ เครื่องหมายผิดจากที่ควรจะเป็น และค่าคลาดเคลื่อนของสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนจริงทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.6 การถดถอย (Regression Analysis) หมายถึง วิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระชุดหนึ่งโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะอธิบายหรือทำนายตัวแปรตาม

ถ้าตัวแปรสุ่ม Y ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน ส่วนแรกขึ้นกับตัวแปร X และส่วนที่สองขึ้นกับค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม (ε) กล่าวคือ $Y = f(x) + \varepsilon$ แล้ว การถดถอยของ Y บน X คือ สมการที่ได้จากการหาค่าคาดหวังของสมการข้างต้น เมื่อตรึงค่าตัวแปร X ทั้งนี้เรียก X ว่า ตัวแปรอิสระ ตัวแปรอธิบาย ตัวแปรทำนาย หรือตัวแปรถดถอย ส่วนตัวแปรสุ่ม Y คือ ตัวแปรตาม

1.5.7 การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) หมายถึง เป็นวิธีการทางสถิติสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ภายในระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัว โดยอาศัยหลักของความสัมพันธ์เชิงบวกแบบเส้นตรง ซึ่งเป็นแบบที่ตัวแปรอิสระหลายตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน

1.5.8 ชุดข้อมูลฝึกฝน (Training Data Set) หมายถึง ข้อมูลที่สุ่มหรือเลือกจากชุดข้อมูลที่ทำ การวิเคราะห์เพื่อใช้ในการพัฒนาตัวแบบ โดยคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนด รวมทั้ง การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

1.5.9 ชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Data Set) หมายถึง ข้อมูลที่สุ่มจากชุดข้อมูลที่ทำ การวิเคราะห์ซึ่งไม่ได้ใช้ในการพัฒนาตัวแบบและตรวจสอบตัวแบบ แต่นำมาทดสอบตัวแบบที่ผ่านการ ตรวจสอบจากวิธีต่างๆ เพื่อคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมไปใช้งาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำปัญหาพิเศษนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการถดถอยของข้อมูลเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง โดยวัดจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ การศึกษามุ่งเน้นไปที่วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง 5 วิธี ได้แก่ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตนแคสติงเกรเดียนเดสเซนท์ และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ ซึ่งรายละเอียดของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของแต่ละวิธีมีดังต่อไปนี้

2.1 การแจกแจงปรกติหลายตัวแปร (Multivariate Normal Distribution)

การแจกแจงปรกติหลายตัวแปร เป็นข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญของวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มมากกว่า 1 ตัว โดยที่ตัวแปรสุ่มแต่ละตัวมีการแจกแจงปรกติ ในกรณีที่มีตัวแปรสุ่ม p ตัว ($p \geq 2$) ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นร่วม ดังสมการที่ (2.1) (งานราชบัณฑิตยสภา, 2561)

$$f(x_i | \mu, \Sigma) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2}(x_i - \mu)^T \Sigma^{-1}(x_i - \mu)\right\}}{\sqrt{(2\pi)^p |\Sigma|}} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$x_i = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \dots \\ x_{ip} \end{bmatrix}, \mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \dots \\ \mu_p \end{bmatrix} \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, \dots, n$$

เมื่อ x_i คือ เวกเตอร์ขนาด $p \times 1$

μ คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยประชากรขนาด $p \times 1$

Σ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรขนาด $p \times p$

$|\Sigma|$ คือ ดีเทอร์มิแนนต์ของ Σ

โดยแสดง x_i จากโปรแกรมอาร์ได้ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
1	1.309568297	-0.0201841679	1.14287921	1.05733025	0.09895782	-2.06534109	2.422049651	-0.17391525	0.18162494	0.04721629
2	-0.132389954	-0.5715963863	0.02018754	0.65967804	1.12628722	-0.68119304	-0.499919744	-0.62017179	0.07596057	0.30504589
3	2.088142503	-1.0267820721	-0.01767783	-0.39528975	-0.83800847	1.10996922	-0.360580485	0.59907843	-1.02459494	1.11452826
4	-0.314441515	-0.1061755067	0.26667752	0.44312424	0.56782169	0.51644935	-1.592227555	0.72636559	0.91507392	0.53771794
5	0.588154640	0.1192013710	1.89315049	0.57939669	1.42858358	0.22903440	-1.630177306	1.04551258	0.93280718	-1.13170519
6	1.223804112	-0.4252130022	1.68649628	-0.66551569	1.29356348	1.56377237	0.463409535	-0.87065929	-0.85086395	-1.14572906
7	0.263893325	0.1031060484	0.11800359	-1.00227524	1.36669282	-0.50570027	-1.978915654	0.65279846	0.39923789	-0.35044353
8	0.778626864	-0.5623441185	-0.01944761	-0.38607344	-0.61067430	0.62708156	1.948618894	1.01262392	-1.09109191	-0.10782738
9	0.404206770	-0.6921408194	-1.85832212	0.37001769	1.25729708	-1.24681941	-0.493354137	-1.07769939	0.75359904	0.78891276
10	0.375290879	-3.2299360705	-0.78251910	-0.42773931	-0.98533752	-2.50149074	-2.411697445	-0.75319464	0.03563906	-1.36721551
11	2.086859564	-0.0083526151	0.24757895	-0.51038646	0.21561285	-1.00309774	-0.302201853	1.88329170	2.13477933	-0.79474761
12	-1.813604863	-0.4062851476	0.09397249	-2.40808259	-0.45605734	-0.82112423	-0.527483130	-1.37630918	-0.74126101	-0.22465291
13	0.775731959	1.1565940525	-0.67840113	0.42783044	0.42984702	0.28445340	-0.307184015	1.19066736	1.86169094	-0.19165101
14	-0.655419170	0.0599446851	-0.20103383	0.24348570	-0.68738090	0.66754836	-0.462290096	-0.43541639	-0.45418659	1.77122830
15	1.181601959	2.8187769756	1.84311654	3.10528761	-0.32861485	0.12072139	2.199519031	2.11512495	2.19938605	-0.01614840
16	-0.246046967	-0.8529867901	2.00380852	-1.08545885	1.51979165	1.21919404	-0.068793706	0.66086721	1.52659343	-0.09184036
17	-1.549871066	-0.4812002324	0.80814821	-0.08915332	0.69963232	1.16241303	-0.036612231	-1.39126589	-0.83799278	-0.26398075
18	-0.636919787	-2.3356932439	0.15726026	-2.02856233	-1.86997852	-1.34112584	-0.407535575	-0.58993661	-3.20660821	-2.51949371
19	-0.249156536	-1.3415738649	0.16998840	-0.14374103	-1.22935940	-0.02318707	-0.362786707	-1.38655244	-2.00176122	-0.17119732
20	0.407633759	-0.6760132194	-0.37805159	-1.29299610	0.12415302	0.30830527	-0.819582453	1.60730485	0.02535737	0.31074868

Showing 1 to 20 of 100 entries, 10 total columns

รูปที่ 2.1 ผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์แสดงค่า x_i

จากรูปที่ 2.1 เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) = 100 (แสดง 20 ค่าจาก 100 ค่า) ตัวแปรอิสระ (p) = 10 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.9 แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์ เมื่อ x_i เป็นเมทริกซ์ที่มี 10 สดมภ์ 100 แถว

2.1.1 รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ

1. รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่ (Constant Correlation Model)

เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ที่ทุกตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เท่ากัน โดยเมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบดังนี้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

แสดงเมทริกซ์ความสัมพันธ์โดยค่า ρ ประมาณจากค่า $r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$ จาก

โปรแกรมอาร์ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

> corr.test(xm[1:10])
Call:corr.test(x = xm[1:10])
Correlation matrix
  X1  X2  X3  X4  X5  X6  X7  X8  X9  X10
X1  1.00 0.91 0.91 0.91 0.91 0.92 0.90 0.92 0.92 0.91
X2  0.91 1.00 0.89 0.89 0.90 0.92 0.91 0.92 0.93 0.90
X3  0.91 0.89 1.00 0.89 0.90 0.89 0.89 0.91 0.91 0.90
X4  0.91 0.89 0.89 1.00 0.92 0.90 0.89 0.91 0.88 0.88
X5  0.91 0.90 0.90 0.92 1.00 0.90 0.90 0.92 0.90 0.90
X6  0.92 0.92 0.89 0.90 0.90 1.00 0.91 0.92 0.91 0.91
X7  0.90 0.91 0.89 0.89 0.90 0.91 1.00 0.93 0.91 0.91
X8  0.92 0.92 0.91 0.91 0.92 0.92 0.93 1.00 0.90 0.92
X9  0.92 0.93 0.91 0.88 0.90 0.91 0.91 0.90 1.00 0.90
X10 0.91 0.90 0.90 0.88 0.90 0.91 0.91 0.92 0.90 1.00
Sample size
[1] 100

```

รูปที่ 2.2 เมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่

จากรูปที่ 2.2 เมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่ เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) = 100 จำนวนตัวแปรอิสระ (p) = 10 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) = 0.9 ซึ่งผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ที่ทุกตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เท่ากัน โดยแสดงค่า p-value จากการทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันที่ใช้

สถิติทดสอบที่ (t - test) $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$, $df = n - 2$ เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 2 ตัว

จากโปรแกรมอาร์ดจรูปที่ 2.3

สมมติฐาน

$H_0 : \rho = 0$ (ตัวแปรอิสระสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ตัวแปรอิสระสองตัวมีความสัมพันธ์กัน)

```

Probability values (Entries above the diagonal
are adjusted for multiple tests.)
  X1  X2  X3  X4  X5  X6  X7  X8  X9  X10
X1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X2  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X3  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X4  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X5  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X6  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X7  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X8  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X9  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
X10 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

```

รูปที่ 2.3 เมทริกซ์ค่าความน่าจะเป็นของความสัมพัทธ์ของตัวแปรอิสระ
ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า p-value = 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกกรณีหมายความว่า ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นทุกคู่ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิทซ์ (Toeplitz Correlation Model)

เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ที่มีลักษณะ คือตัวแปรอิสระที่อยู่ใกล้กันจะมีความสัมพันธ์กันสูง และความสัมพันธ์จะลดน้อยลงเมื่อตัวแปรอิสระอยู่ห่างกันมาก โดยเมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบดังนี้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \cdots & \rho^{p-1} \\ \rho & 1 & \rho & \cdots & \rho^{p-2} \\ \rho^2 & \rho & 1 & \cdots & \rho^{p-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho^{p-1} & \rho^{p-2} & \rho^{p-3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

แสดงเมทริกซ์ความสัมพันธ์โดยค่า ρ ประมาณจากค่า $r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$ จาก

โปรแกรมอาร์ดังรูปที่ 2.4

```
> corr.test(xm[1:10])
Call:corr.test(x = xm[1:10])
Correlation matrix
  X1  X2  X3  X4  X5  X6  X7  X8  X9  X10
X1 1.00 0.93 0.86 0.78 0.71 0.64 0.56 0.54 0.42 0.28
X2 0.93 1.00 0.91 0.84 0.77 0.67 0.60 0.57 0.46 0.33
X3 0.86 0.91 1.00 0.92 0.83 0.74 0.66 0.62 0.53 0.42
X4 0.78 0.84 0.92 1.00 0.92 0.83 0.76 0.72 0.62 0.51
X5 0.71 0.77 0.83 0.92 1.00 0.91 0.81 0.76 0.67 0.56
X6 0.64 0.67 0.74 0.83 0.91 1.00 0.90 0.82 0.72 0.63
X7 0.56 0.60 0.66 0.76 0.81 0.90 1.00 0.91 0.83 0.72
X8 0.54 0.57 0.62 0.72 0.76 0.82 0.91 1.00 0.91 0.81
X9 0.42 0.46 0.53 0.62 0.67 0.72 0.83 0.91 1.00 0.89
X10 0.28 0.33 0.42 0.51 0.56 0.63 0.72 0.81 0.89 1.00
Sample Size
[1] 100
```

รูปที่ 2.4 เมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิทซ์

จากรูปที่ 2.4 เมทริกซ์ความสัมพันธ์มีรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิทซ์ เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) = 100 จำนวนตัวแปรอิสระ (p) = 10 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) = 0.9 ซึ่งตัวแปรอิสระที่อยู่ใกล้กันจะมีความสัมพันธ์กันสูง และความสัมพันธ์จะลดน้อยลงเมื่อตัวแปรอิสระอยู่ห่างกันมาก โดยแสดงค่า p-value จากการทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันที่ใช้สถิติ

ทดสอบที่ (t - test) $t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$, $df = n-2$ เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 2 ตัวจาก

เอกสารนี้โปรแกรมอาร์ดังรูปที่ 2.5 วิชาการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐาน

$H_0 : \rho = 0$ (ตัวแปรอิสระสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ตัวแปรอิสระสองตัวมีความสัมพันธ์กัน)

Probability values (Entries above the diagonal are adjusted for multiple tests.)										
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 2.5 เมทริกซ์ค่าความน่าจะเป็นของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ
ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า p-value = 0 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกกรณีหมายความว่า ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ

2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเป็นรูปแบบที่ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร เพื่อทำนายค่าของตัวแปรตาม แต่การใช้ตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการถดถอยทำให้ค่าทำนายที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงและอาจเกิดปัญหาตัวแปรอิสระบางตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ทำให้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้มีค่าไม่เสถียรและมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง (นิศาชลและจิราวัลย์, 2556) โดยวิธีตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุทำได้หลายวิธี จึงยกตัวอย่างวิธีการตรวจสอบ 2 วิธี ดังนี้

1. พิจารณาจากสถิติวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation)
2. พิจารณาจาก Tolerance และ VIF

2.2.1 พิจารณาจากสถิติวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation)

การเลือกใช้สถิติเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ให้เหมาะสม พิจารณาจากมาตรวัดของตัวแปรตัวที่ 1 และ 2 ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นมาตรวัดแบบอันตรภาค (Interval Scale) หรือมาตรวัดอัตราส่วน (Ratio Scale) ดังนั้นสถิติเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ได้แก่ สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเป็นเทคนิคสถิติที่ใช้หาขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรที่มีมาตรวัดแบบอันตรภาค หรือมาตรวัดอัตราส่วน หรือเรียกตัวแปรประเภทนี้ว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Metrics Variables) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคือ r ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุขัดแย้งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้น คือ r สำหรับตัวอย่าง และ ρ สำหรับประชากร กำลังสองของ r (r^2) แทนค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่าตัวแปรตัวหนึ่งอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรอีกตัวหนึ่งได้ประมาณร้อยละเท่าไร สูตรในการคำนวณ r คือ $r = \frac{cov_{xy}}{s_x s_y}$ แต่สูตรที่นิยม

$$\text{ใช้คำนวณ คือ } r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

$$\text{หรือ } r = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{[n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}}$$

ยกตัวอย่างการทดสอบสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปร X_1 และ X_2 กับตัวแปร X_3 และ X_4 สถิติทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่ โดยมีสมมติฐาน

H_0 : ตัวแปร X_1 และ X_2 ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : ตัวแปร X_1 และ X_2 มีความสัมพันธ์กัน

แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์ดังรูปที่ 2.6

```
> cor.test(X[,1], X[,2])
Pearson's product-moment correlation
data: X[, 1] and X[, 2]
t = 20.535, df = 98, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.8557917 0.9322637
sample estimates:
cor
0.9007929
```

รูปที่ 2.6 ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่

จากรูปที่ 2.6 เนื่องจาก $p\text{-value} < 2.2e-16$ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าตัวแปร X_1 และ X_2 มีความสัมพันธ์กัน

สถิติทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_3 และ X_4 กำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่ โดยมีสมมติฐาน

H_0 : ตัวแปร X_3 และ X_4 ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : ตัวแปร X_3 และ X_4 มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์ดรูปที่ 2.7

```
> cor.test(X[,3], X[,4])

Pearson's product-moment correlation

data: X[, 3] and X[, 4]
t = 21.7, df = 98, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.8685962 0.9385031
sample estimates:
cor
0.9097959
```

รูปที่ 2.7 ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_3 และ X_4
เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่

จากรูปที่ 2.7 เนื่องจาก $p\text{-value} < 2.2e-16$ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าตัวแปร X_3 และ X_4 มีความสัมพันธ์กัน

สถิติทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 กำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์ โดยมีสมมติฐาน

H_0 : ตัวแปร X_1 และ X_2 ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : ตัวแปร X_1 และ X_2 มีความสัมพันธ์กัน

แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์ดรูปที่ 2.8

```
> cor.test(X[,1], X[,2])

Pearson's product-moment correlation

data: X[, 1] and X[, 2]
t = 22.681, df = 98, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.8781722 0.9431397
sample estimates:
cor
0.9165036
```

รูปที่ 2.8 ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2
เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิตซ์

จากรูปที่ 2.8 เนื่องจาก $p\text{-value} < 2.2e-16$ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าตัวแปร X_1 และ X_2 มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_3 และ X_4 กำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิช์ โดยมีสมมติฐาน

H_0 : ตัวแปร X_3 และ X_4 ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : ตัวแปร X_3 และ X_4 มีความสัมพันธ์กัน

แสดงผลลัพธ์จากโปรแกรมอาร์ดังรูปที่ 2.9

```
> cor.test(X[,3], X[,4])

Pearson's product-moment correlation

data: X[, 3] and X[, 4]
t = 21.668, df = 98, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.8682663 0.9383429
sample estimates:
cor
0.9095644
```

รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_3 และ X_4

เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิช์

จากรูปที่ 2.9 เนื่องจาก $p\text{-value} < 2.2e-16$ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าตัวแปร X_3 และ X_4 มีความสัมพันธ์กัน

การจะแปลความหมายว่าตัวแปรทั้งสองสัมพันธ์กันมากหรือน้อยต้องนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เทียบกับตารางการแปลความหมายซึ่งกำหนดเป็นช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไว้หลายแบบ

การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Best and Kahn, 1977) แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		ระดับความสัมพันธ์
ค่าสหสัมพันธ์ทางลบ	ค่าสหสัมพันธ์ทางบวก	
-0.81 ถึง -1	0.81 ถึง 1	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
-0.61 ถึง -0.80	0.61 ถึง 0.80	มีความสัมพันธ์กันสูง
-0.41 ถึง -0.60	0.41 ถึง 0.60	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
-0.21 ถึง -0.40	0.21 ถึง 0.40	มีความสัมพันธ์กันต่ำ
0 ถึง -0.2	0 ถึง 0.2	มีความสัมพันธ์กันต่ำมาก

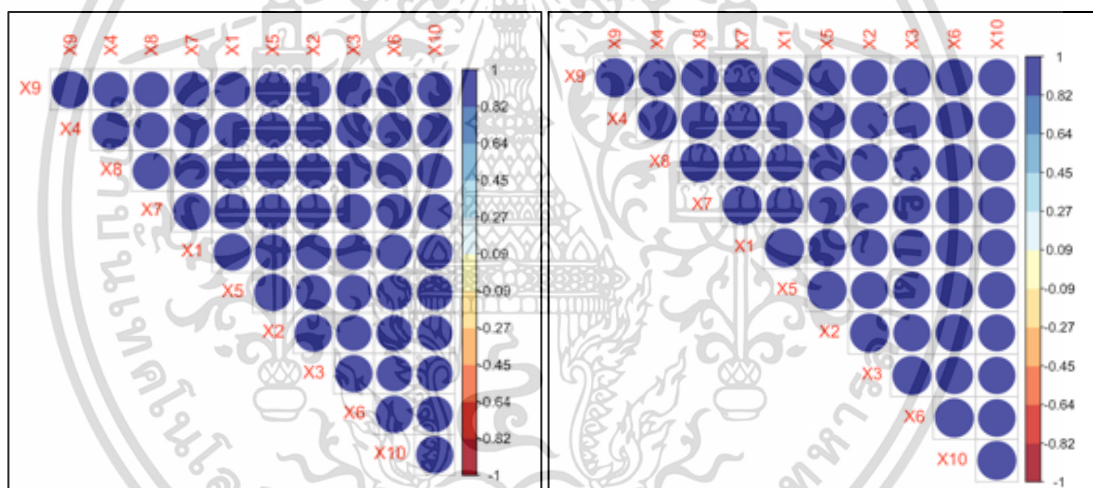
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จากรูปที่ 2.6 – 2.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังตารางที่ 2.2

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

รูปแบบความสัมพันธ์	รูปที่	r	ระดับความสัมพันธ์
แบบคงที่	2.6	0.9008	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
แบบคงที่	2.7	0.9098	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
แบบโทพลิทซ์	2.8	0.9165	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
แบบโทพลิทซ์	2.9	0.9096	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

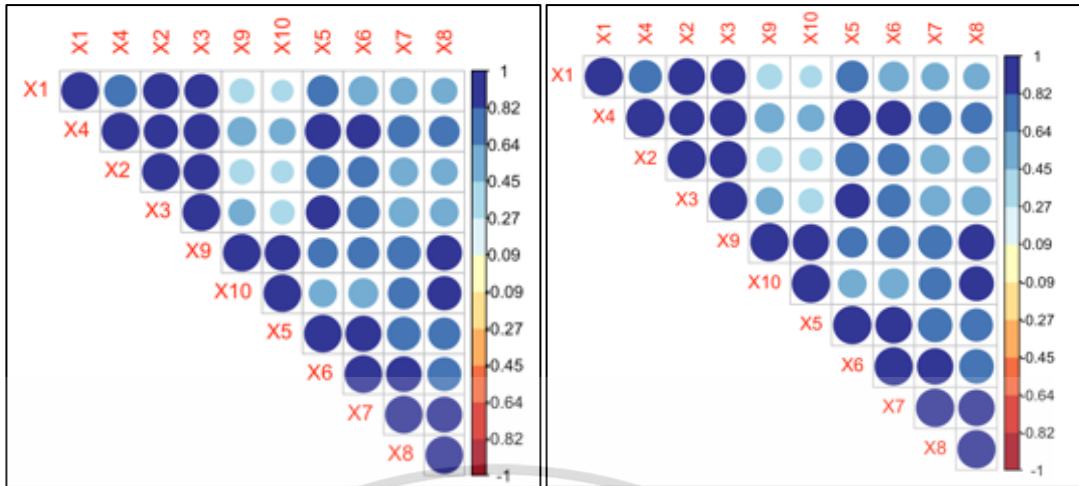
จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันของตัวแปรทั้งสอง ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่จากรูปที่ 2.6-2.7 และรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิทซ์จากรูปที่ 2.8-2.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 0.81 ถึง 1 หมายความว่า มีความสัมพันธ์กันสูงมาก หรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ และสามารถแสดงเมทริกซ์สหสัมพันธ์โดยใช้คอร์เรโลแกรม (Correlation Matrix using Correlogram) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรดังรูปที่ 2.10-2.11



รูปที่ 2.10 ภาพเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 (ซ้าย) กับตัวแปร X_3 และ X_4 (ขวา) เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าตัวแปร X_1 และ X_2 กับตัวแปร X_3 และ X_4 ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบคงที่มีสีน้ำเงินเข้ม หมายความว่าทุกตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ภาพเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 และ X_2 (ซ้าย) กับตัวแปร X_3 และ X_4 (ขวา) เมื่อกำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิกซ์

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าตัวแปร X_1 และ X_2 กับตัวแปร X_3 และ X_4 ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิกซ์ โดยสีน้ำเงินเข้มเป็นตัวแปรอิสระที่อยู่ใกล้กันจะมีความสัมพันธ์กันสูง และสีจะค่อยๆ อ่อนลงซึ่งความสัมพันธ์จะลดน้อยลงเมื่อตัวแปรอิสระอยู่ห่างกันมาก

2.2.2 พิจารณาจาก Tolerance และ VIF

จากข้อ 2.2.1 พัฒนาตัวตรวจสอบเพิ่มขึ้นมาได้อีก 2 ตัวคือ

1. พิจารณาจากค่าการยอมรับ (Tolerance) จากสูตร $Tolerance_j = 1 - r_j^2$ หาก Tolerance มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ
2. พิจารณาจากองค์ประกอบความแปรปรวนที่สูงเกินความเป็นจริง (Variance Inflation factor : VIF) จากสูตร $VIF_j = \frac{1}{1 - r_j^2}$ หาก $VIF > 4$ แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Pedhazur, 1997)

จากรูปที่ 2.6 – 2.9 แสดงค่า Tolerance และ VIF ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลลัพธ์ของค่า Tolerance และ VIF

รูปแบบความสัมพันธ์	รูปที่	r	Tolerance	VIF	ทดสอบความสัมพันธ์
แบบคงที่	2.6	0.9008	0.1886	5.3034	มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นพหุ
แบบคงที่	2.7	0.9098	0.1723	5.8050	มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นพหุ
แบบโทพลิกซ์	2.8	0.9165	0.1600	6.2489	มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นพหุ
แบบโทพลิกซ์	2.9	0.9096	0.1726	5.7928	มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นพหุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องขออภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกท่านที่พิมพ์ไว้

จากตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าจากการตรวจสอบค่า Tolerance ของตัวแปรทั้งสองมีค่าเข้าใกล้ 0 และการตรวจสอบค่า VIF ของตัวแปรทั้งสองมีค่า $VIF > 4$ ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบคองที่จากรูปที่ 2.6-2.7 และรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลีทซ์จากรูปที่ 2.8-2.9 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุจากวิธีการตรวจสอบทั้ง 2 วิธี แสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ

2.3 การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอย คือ กระบวนการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยมีเป้าหมาย 2 ประการ คือ เพื่อทำนายค่าของตัวแปรตามและเพื่อศึกษาปัจจัยสาเหตุของตัวแปรตาม ผลการศึกษานำไปสู่การใช้ประโยชน์ที่ต่างกันคือ ในกรณีศึกษาเพื่อการทำนายเราจะนำผลการทำนายไปใช้กำหนดค่าของตัวแปรตามเมื่อตัวแปรอิสระมีค่าอื่นตามกำหนด หรือเพื่อกำหนดค่าอนาคตของตัวแปรเมื่อตัวแปรอิสระมีค่าอื่นที่คาดว่าจะเป็นไปได้ในภายหน้า (มนตรี, 2544)

2.3.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระหลายตัวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + \varepsilon_i \quad (2.2)$$

$$= \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{ij} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

และสามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ (Matrix Approach) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}_{n \times 1} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \dots & X_{np} \end{bmatrix}_{n \times (p+1)} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}_{(p+1) \times 1} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

เมื่อ Y_i คือ ตัวแปรตาม

$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$ คือ ตัวแปรอิสระ

β_0 คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอย

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ

ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนข้อมูลชุดที่ i โดยที่ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

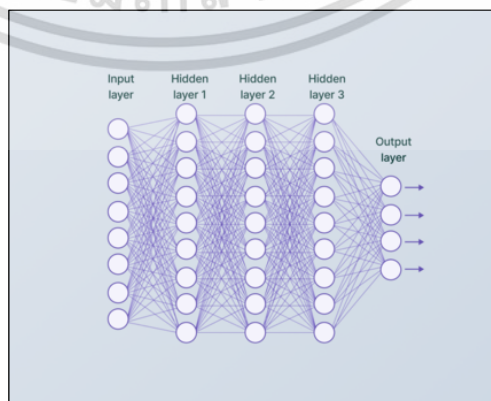
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

1. ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีมาตราวัดเป็นอันตรภาค (Interval Scale) ขึ้นไป ถ้ามีตัวแปรอิสระบางตัวมีมาตราวัดนามบัญญัติ (Nominal Scale) หรือมาตราวัดเรียงอันดับ (Ordinal Scale) ต้องทำการเปลี่ยนตัวแปรอิสระที่มีมาตราวัดนามบัญญัติหรือมาตราวัดเรียงอันดับเหล่านั้นเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) และทำการวิเคราะห์การถดถอยโดยใช้ตัวแปรหุ่นที่เกิดขึ้นแทนตัวแปรเดิมที่มี
2. ข้อมูลของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะต้องสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ
3. ตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง การเกิดความสัมพันธ์กันเองของตัวแปรอิสระ เรียกว่า การเกิดความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity)
4. ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม
5. ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทำนายมีข้อกำหนดดังนี้
 - 5.1 มีการแจกแจงปกติ (Normality)
 - 5.2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0
 - 5.3 มีความแปรปรวนคงที่ (Homogeneity of Variance)
 - 5.4 ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน (No Autocorrelation)
 (กิตติวัฒน์ และคณะ, 2564)

2.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network)

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่มีพื้นฐานจากโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ซึ่งมีโครงสร้างที่หลากหลายและแตกต่างกันจำนวนมาก เช่น โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network : DNNs) โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Networks: RNNs) โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks: CNNs) และอื่นๆ (ราชฤทธา, 2562)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 2.12 การทำงานของการเรียนรู้เชิงลึกทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 จะพบว่าการเรียนรู้เชิงลึกในยุคเริ่มแรกประกอบเพียงแค่ 3 ชั้น เท่านั้น ในยุคต่อมาระบบเริ่มมีความซับซ้อนมากขึ้น ระบบเริ่มมีขนาดที่ใหญ่และมีความสามารถและความซับซ้อนมากขึ้น

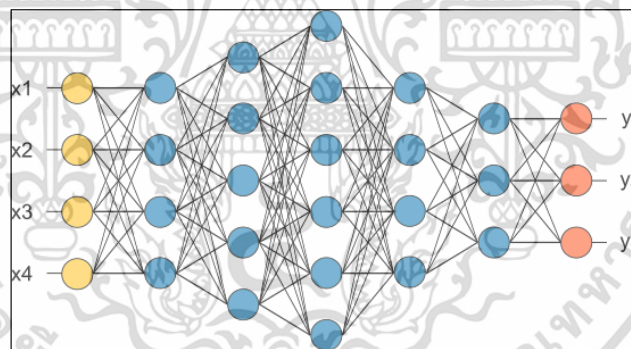
แต่ในปัจจุบันการเรียนรู้เชิงลึกเริ่มเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในช่วงที่ผ่านมาและในปัจจุบันจากความสามารถที่สูงในการประยุกต์และใช้งานที่หลากหลาย เช่น ความสามารถในการรับรู้และแยกแยะเสียงในธรรมชาติ (Natural Voice and Speech Recognition) การประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) และอื่นๆ อีกมากมาย ทำให้การเรียนรู้เชิงลึกถูกศึกษาค้นคว้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การศึกษาเหล่านี้ทำให้เกิดการเรียนรู้เชิงลึกที่เป็นที่รู้จักมากมายหลายระบบ เช่น GoogleNet, Resnet และ Alexnet (ราชทูธา, 2562)

2.4.1 ประเภทของการเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้เชิงลึกแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network: DNNs)

โครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกประกอบด้วยชั้นนำเข้า (Input Layer) ชั้นส่งออก (Output Layer) และชั้นที่ซ่อนอยู่ (Hidden Layers) ดังรูปที่ 2.13



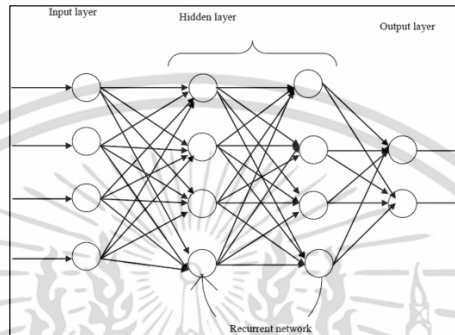
รูปที่ 2.13 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก

จากรูปที่ 2.13 จะพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแต่ละชั้นมีหลายโหนด การเพิ่มประสิทธิภาพของโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจำนวนชั้นและโหนดของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก และปรับพารามิเตอร์ให้เหมาะสมที่สุด เครือข่ายการเลือกโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็นงานที่เหมาะสมที่สุดและวิธีการลองผิดลองถูก จึงจำเป็นต้องกำหนดจำนวนชั้นและปรับจำนวนโหนดให้เหมาะสม (Chen et al., 2023)

2. โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ (Recurrent Neural Networks: RNNs)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำใช้เพื่อทำงานกับเสียงพูด ข้อความ อนุกรมเวลา ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นลำดับ (Sequence) ทุกประเภท มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการแปลด้วยเครื่อง การ

สร้างข้อความ และการวิเคราะห์ภาษาธรรมชาติ แต่โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำจะไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างโหนดที่อยู่ไกลกันมากเนื่องจากการทำการแพร่ย้อนกลับ (Back propagation) ซึ่งเป็นการย้อนความผิดพลาดกลับมาเพื่อปรับค่าน้ำหนักจะถูกทำให้หายไป (Vanish) (โสธยา และคณะ, 2563) หากเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสองแบบข้างต้นจะพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบ จากข้อมูลวนซ้ำจะดีกว่าเพราะเหมาะสมกับการเอาไปใช้งานกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีการใช้อย่างแพร่หลายมากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก

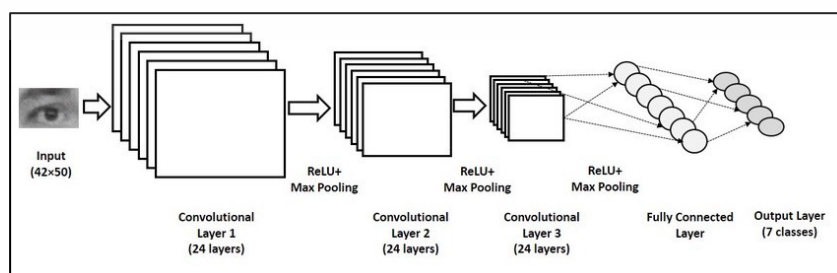


รูปที่ 2.14 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ

จากรูปที่ 2.14 จะพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำทำงานโดยการส่งข้อมูลตามลำดับที่ได้รับไปยังชั้นที่ซ่อนอยู่ที่ละชั้นตอน เครือข่ายที่เกิดซ้ำ (Recurrent Networks) ถูกเรียกว่าเซลล์ (Cell) โดยเซลล์นั้นมีส่วนของชั้นที่ซ่อนอยู่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์จากข้อมูลในชุดที่ผ่านมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ของตัวถัดไป

3. โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks: CNNs)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันถูกออกแบบมาเพื่อการเพิ่มความสามารถในการสกัดเอาลักษณะที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จากข้อมูลนิยมใช้ในข้อมูลที่เป็นรูปภาพที่ซับซ้อนได้ (โสธยา และคณะ, 2563) ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการประมวลผลภาพและการจัดประเภท รวมถึงงานต่างๆ เช่น การจดจำวัตถุ การแบ่งส่วนภาพ และการตรวจจับใบหน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.15 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ตรงที่มีกรณำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) ที่สลับกัน ทำหน้าที่ในการสกัดลักษณะ (Feature) ออกมาจากรูปภาพ ชั้นรวมกลุ่ม (Pooling) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ในการปรับขนาดและปริมาณของข้อมูลตัวอย่าง และชั้นที่เชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ (Fully-connected Layer) ประกอบด้วยระบบเปอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron : MLP) ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้มาจาก 2 ชั้นก่อนหน้านี้ เพื่อวิเคราะห์และทำการแยกแยะรูปภาพออกเป็นหมวดหมู่

2.4.2 วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Network Regression)

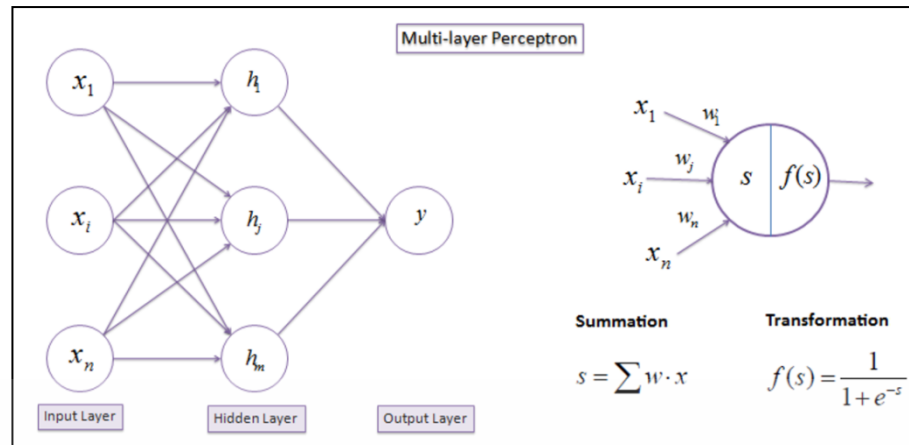
การถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยถูกใช้เป็นฟังก์ชันการสูญเสีย โดยวัดผลต่างกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าที่คาดการณ์ไว้กับค่าจริงของตัวแปรเป้าหมาย ฟังก์ชันการสูญเสียจะคำนวณผลต่างกำลังสองระหว่างค่าคาดการณ์แต่ละค่า ($y_{pred}^{(i)}$) กับค่าจริงที่สอดคล้องกัน ($y_{true}^{(i)}$) แล้วรวมผลต่างกำลังสองเหล่านี้จากจุดข้อมูลทั้งหมด จากนั้นหาค่าเฉลี่ยค่าผลลัพธ์แสดงถึงขนาดเฉลี่ยของข้อผิดพลาดหรือค่าคงเหลือในการทำนาย จากสูตรการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) (Baldisseri, 2023)

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) เป็นโครงสร้างเครือข่ายที่ประกอบด้วยหน่วยที่เชื่อมต่อหลายหน่วย มีหน่วยอยู่ 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นนำเข้า ชั้นที่ซ่อนอยู่ และชั้นส่งออก (ดังรูปที่ 2.16) การกำหนดค่าโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกกำหนดโดยลักษณะการเชื่อมต่อหน่วยต่างๆ เมื่อจำนวนของชั้นซ่อนอยู่มากกว่า หรือเรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก การแพร่กระจายของเครือข่ายในแต่ละชั้นทำได้สำเร็จตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: ผลรวมถ่วงน้ำหนักจะถูกคำนวณที่เซลล์ประสาทแต่ละอัน นั่นคือค่าส่งออกของเซลล์ประสาทแต่ละอันในชั้นเครือข่ายที่กำลังดำเนินการคูณด้วยน้ำหนักตามลำดับของการเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทนั้น

ขั้นตอนที่ 2: จากนั้นฟังก์ชันการแปลง $f(s)$ จะถูกนำไปใช้กับผลรวมถ่วงน้ำหนักนี้เพื่อกำหนดค่าส่งออกของเซลล์ประสาท

ขั้นตอนที่ 3: ค่าข้อมูลส่งออก y สามารถแสดงเป็นฟังก์ชันของค่าส่งออกและน้ำหนักเครือข่ายได้ (Bayraci et al, 2019)



รูปที่ 2.16 โครงข่ายประสาทเทียม 3 ชั้น

จากรูปที่ 2.16 จะพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็นสองสมการ คือ ฟังก์ชันผลรวมและฟังก์ชันการแปลง ฟังก์ชันผลรวม (Summation Function) ดังสมการที่ (2.3)

$$s = \sum w \cdot x \quad (2.3)$$

ฟังก์ชันการแปลง (Transformation Function) ดังสมการที่ (2.4)

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}} \quad (2.4)$$

การถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกดังสมการที่ (2.5)

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (2.5)$$

โดยที่ \hat{y} คือ ค่าทำนาย

w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักหรือค่าความชัน (Slope)

x_i คือ ตัวแปรอิสระ

b คือ ค่าจุดตัดแกน Y

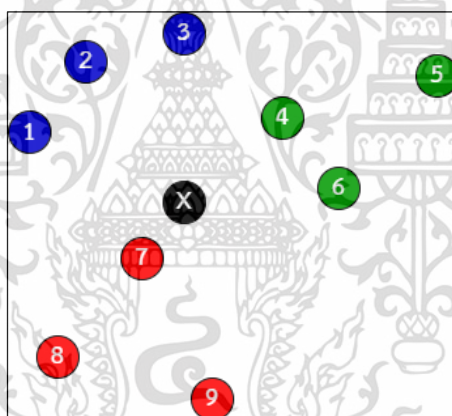
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ (K-Nearest Neighbor: KNN)

วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับเป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงและมักจะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอันดับแรกในการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง หลักการสำคัญของขั้นตอนวิธีนี้คือการค้นหาตัวอย่างจำนวนหนึ่ง (จำนวน k ตัวอย่าง) จากปริภูมิตัวอย่างที่ปรากฏใกล้เคียงที่สุดกับสิ่งที่ต้องการจำแนกกลุ่ม ตัวอย่างเช่น การจัดกลุ่มภาพยนตร์ หากต้องการที่จะระบุว่าภาพยนตร์ประเภทหนึ่งเป็นหนังประเภทความรัก (Romance) หรือประเภทบู๊ (Action) ซึ่งหนังประเภทบู๊บางครั้งก็มีบทรักเช่นเดียวกับหนังรักซึ่งบางครั้งก็มีฉากบู๊ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีตัววัด (Measure) ปริมาณบางอย่างที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ ในปัญหานี้อาจใช้วิธีแก้ปัญหาย่างง่ายคือ ถ้าภาพยนตร์เรื่องนี้บทรักมากกว่าบู๊ให้นับเป็นหนังรักและหากมีฉากบู๊มากกว่าบทรักให้เป็นหนังบู๊ ซึ่งวิธีคิดเรียบง่ายขึ้นนี้เป็นพื้นฐานของวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับดังต่อไปนี้ (ปริญา, 2562)

2.5.1 วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ

กำหนดให้ชุดข้อมูลหนึ่งประกอบด้วยตัวอย่างที่ทราบกลุ่มจำนวน 9 ตัวอย่าง (1-9) และมีตัวอย่างที่ไม่ทราบกลุ่ม (X) จำนวน 1 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ปริภูมิตัวอย่าง

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นว่าตัวอย่างที่ 1-3 เป็นกลุ่ม B (สีน้ำเงิน) ตัวอย่างที่ 4-6 เป็นกลุ่ม G (สีเขียว) และตัวอย่างที่ 7-9 เป็นกลุ่ม R (สีแดง) เมื่อต้องการกลุ่มของ X ด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ สามารถแสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลการจำแนกกลุ่มด้วยค่า k ต่างๆ

k	ผลการจำแนกกลุ่ม
1	R
2	R หรือ G
3	G
4	G
5	G หรือ B
6	B
7	B
8	B หรือ R
9	R หรือ G หรือ B

จากตารางที่ 2.5 สามารถวิเคราะห์ได้โดยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า k หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ใกล้เคียงที่สุด k ตัว โดยจะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงขนาดตัวอย่าง (ในที่นี้มีขนาดตัวอย่างเท่ากับ 9)

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดวิธีการวัดความใกล้เคียงหรือความเหมือน (Similarity) โดยทั่วไปมักวัดจากระยะห่างของระยะทาง (Distance) ระหว่างตัวอย่างดังสมการที่ (2.6)

$$dist(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2.6)$$

โดยที่ $dist(x_i, x_j)$ คือ ระยะห่างระหว่างตัวอย่าง x_i กับตัวอย่าง x_j

n คือ จำนวนคุณลักษณะทั้งหมดของตัวอย่าง

$x_{i,k}$ คือ คุณลักษณะที่ k ของตัวอย่าง x_i

$x_{j,k}$ คือ คุณลักษณะที่ k ของตัวอย่าง x_j

ขั้นตอนที่ 3 นับจำนวนตัวอย่างที่ใกล้เคียงที่สุด k ตัว โดยหากจำนวนตัวอย่างกลุ่มใดมีมากที่สุด ใน k ตัว ให้กำหนดกลุ่มของตัวอย่างที่ต้องการทราบเป็นกลุ่มเดียวกับกลุ่มตัวอย่างที่มีมากที่สุด โดยที่คำตอบจะแตกต่างกันตามค่า k ที่เลือก

2.5.2 วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ (K-Nearest Neighbor Regression)

จากที่กล่าวไปข้างต้นจะพบว่าวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกหรือแยกข้อมูลเป็นกลุ่ม แต่สำหรับข้อมูลที่เป็นข้อมูลการถดถอยนั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงวิธีการเล็กน้อยเพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลประเภทดังกล่าว โดยวิธีการนั้นจะคล้ายคลึงกันกับวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอันดับ จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อกำหนดค่า k เรียบร้อยแล้วจะทำการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลดังกล่าวควรมีค่าเป็นเท่าใดดังสมการที่ (2.7) (Imandoust and Bolandraftar, 2013)

$$\hat{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i \quad (2.7)$$

โดยที่ \hat{y} คือ ค่าทำนาย

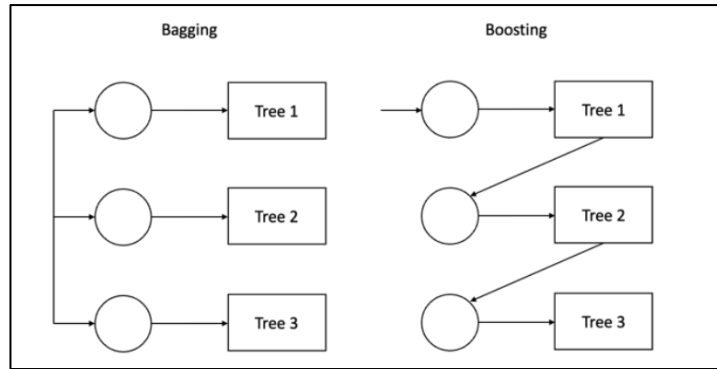
k คือ ตัวอย่างการฝึกอบรมที่มีระยะใกล้กับข้อมูลชุดใหม่มากที่สุด

y_i คือ ค่าเป้าหมายที่แท้จริงของตัวอย่างที่ i

2.6 วิธีป่าสุ่ม (Random Forest)

วิธีป่าสุ่มเป็นวิธีการที่มีรากฐานจากวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ที่ทำการแบ่งช่องว่างของตัวแปรอิสระออกเป็นหลายๆ สับเซต (Subset) และทำนายผลในแต่ละสับเซตไปยังค่า Y เดียวกัน โดยท้ายสุดสามารถเขียนออกมาเป็นต้นไม้ได้ ซึ่งต้นไม้ตัดสินใจแบบปกตินั้นมีจุดอ่อนคือความแปรปรวนที่สูงมาก นั่นคือเมื่อข้อมูลเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ต้นไม้อาจต่างจากเดิมโดยสิ้นเชิง วิธีป่าสุ่มแก้ปัญหานี้โดยการสร้างต้นไม้ตัดสินใจหลายๆ ต้น โดยในแต่ละต้นจะทำการสุ่มตัวแปรอิสระมาเพียง m ตัว จากทั้งหมด k ตัว ซึ่งนิยมกำหนด $m \approx \sqrt{k}$ ซึ่งหลังจากได้ต้นไม้ตัดสินใจทั้งหมดแล้ววิธีป่าสุ่มจะเลือกกลุ่มที่ต้นไม้ส่วนใหญ่ทำนายได้ (พรทิพย์ และคณะ, 2565)

ถึงแม้ว่าต้นไม้ตัดสินใจจะสามารถเข้าใจได้ง่าย แต่ก็พบว่ามักจะไม่มีความเสถียร (Unstable) ควบคุมขนาดได้ยาก และอาจเจอปัญหาที่ตัวแบบขณะฝึกสอน (Train) มีประสิทธิภาพดีกว่าความเป็นจริง (Overfitting) จึงได้มีการพัฒนาขั้นตอนวิธี (Algorithm) ป่าสุ่มมาเพื่อแก้ปัญหานี้ ถือเป็นแนวทางการเรียนรู้แบบทั้งชุด คือการรวมหลายตัวแบบเข้าด้วยกันสำหรับแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสามารถใช้ได้ทั้งการจำแนก (Classification) และการถดถอย (Regression) วิธีป่าสุ่มแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ Bagging และ Boosting

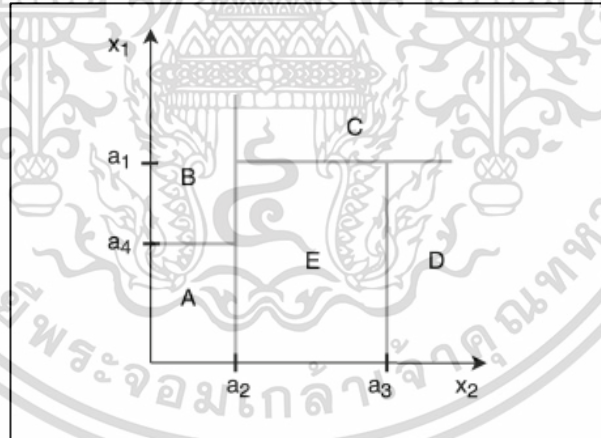


รูปที่ 2.18 หลักการของวิธี Bagging และ วิธี Boosting

จากรูปที่ 2.18 จะพบว่า Bagging เป็นการเรียนรู้แบบแยกจากกันโดยอิสระแล้วจึงนำมาประมวลผลในตอนสุดท้าย และ Boosting เป็นการเรียนรู้แบบที่จะทำการเรียนรู้และปรับปรุงแบบจำลองไปที่ละขั้นตอน (วีรภักดิ์ และคณะ, 2565)

2.6.1 วิธีการถดถอยป่าสุ่ม (Random Forest Regression)

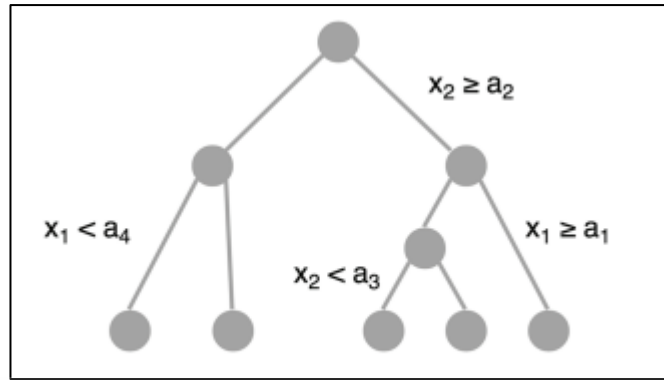
เนื่องจากวิธีป่าสุ่มมีพื้นฐานมาจากวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ซึ่งโดยปกติในการทำต้นไม้ตัดสินใจ ค่าของตัวแปรอิสระต้องเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete variables)



รูปที่ 2.19 การแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง

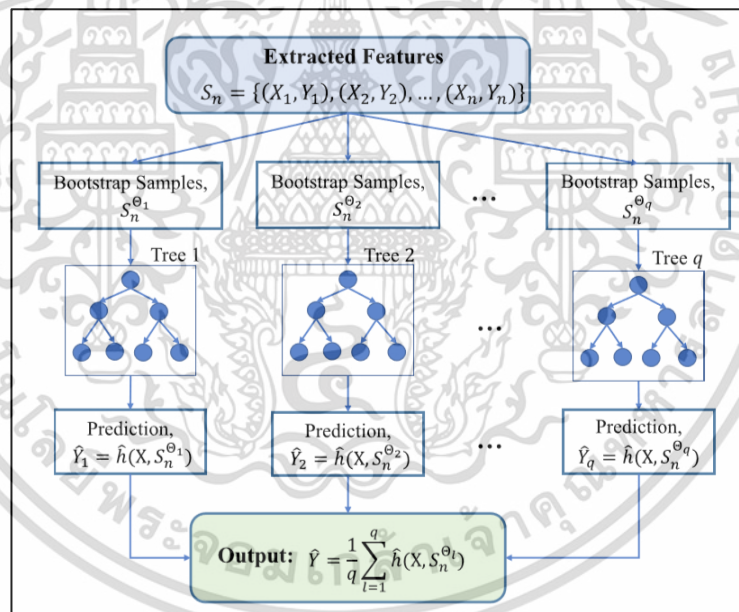
จากรูปที่ 2.19 ในกรณีที่ค่าของตัวแปรอิสระมีค่าต่อเนื่อง (Continuous variables) จำเป็นจะต้องแบ่งค่าของข้อมูลออกเป็นช่วงๆ เพื่อให้ค่าของตัวแปรอิสระมีค่าไม่ต่อเนื่องก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

จากรูปที่ 2.20 จะพบว่าเมื่อทำการแบ่งข้อมูลเป็นช่วงได้แล้วก็จะทำการสร้างต้นไม้ตัดสินใจหลายต้นแบบสุ่มหรือที่เรียกว่าป่าสุ่ม และทำการหาต้นไม้ตัดสินใจที่ดีที่สุด ในที่นี่จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเป็นตัววัดประสิทธิภาพของต้นไม้ตัดสินใจ (Schonlau and Zou, 2020)



รูปที่ 2.21 การสร้างการถดถอยป่าสุ่ม

จากรูปที่ 2.21 ตัวอย่าง $S_n^{o1}, \dots, S_n^{oq}$ ใช้ขั้นตอนการตัดสินใจเกี่ยวกับแผนผังตัวอย่างเพื่อสร้างชุดแผนผังการทำนาย สร้างข้อมูลทั้งชุดที่สอดคล้องกับต้นไม้แต่ละต้นเพื่อทำนาย q ต้น จาก $\hat{Y}_1 = \hat{h}(X; S_n^{o1}), \hat{Y}_2 = \hat{h}(X; S_n^{o2}), \dots, \hat{Y}_q = \hat{h}(X; S_n^{oq})$ จากนั้นจึงทำการรวมกลุ่มโดยการหาผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของต้นไม้ทั้งหมด ดังนั้นการประมาณค่า \hat{Y} ของผลลัพธ์จึงสามารถหาได้ดังสมการที่ (2.8) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูยาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (Li et al., 2018) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{Y} = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q \hat{h}(X; S_n^{o_i}) \quad (2.8)$$

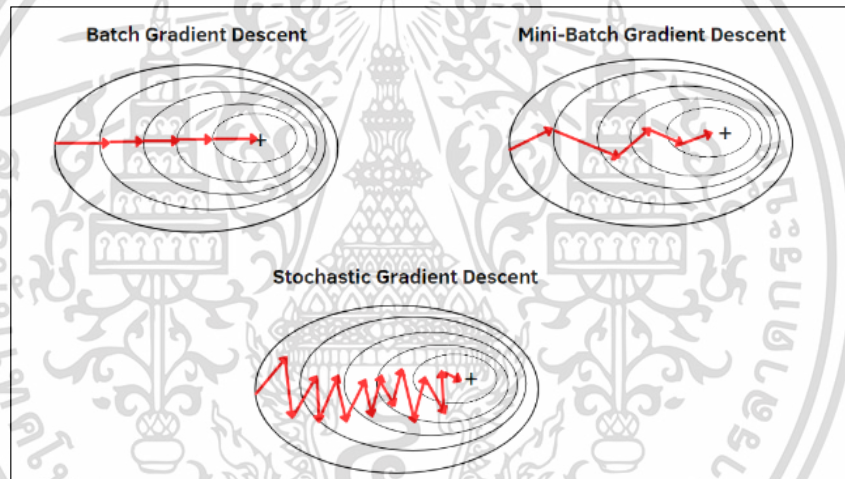
โดยที่ \hat{Y} คือ ค่าทำนาย

$\hat{h}(X; S_n^{o_i})$ คือ เป็นเวกเตอร์สุ่มอิสระที่มีการกระจายเหมือนกันและ X เป็นเวกเตอร์นำเข้า

q คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของต้นไม้อ่อนเพื่อทำนาย \hat{Y}

2.7 วิธีสโตแคสติกเกรเดียนต์เดสเซนท์ (Stochastic Gradient Descent)

วิธีการปรับให้เหมาะสมลำดับแรก (First-Order Optimization Methods) คือ วิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์ (Gradient Descent) โดยมีตัวแบบของวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์ 3 รูปแบบ ดังนี้ Batch Gradient Descent (BGD), Mini-batch gradient descent และ Stochastic Gradient Descent (SGD) โดยแต่ละวิธีมีลักษณะ



รูปที่ 2.22 วิธีต่างๆ ของวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์ทั้ง 3 รูปแบบ

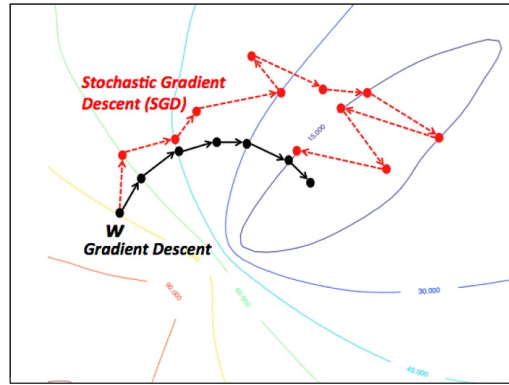
จากรูปที่ 2.22 จะพบว่าตัวแบบแต่ละตัวแตกต่างกันไปตามปริมาณของข้อมูล มีการแลกเปลี่ยนระหว่างความถูกต้องของการปรับปรุงพารามิเตอร์และเวลาในการดำเนินการปรับปรุง (Haji and Abdulazeez, 2021)

ซึ่งวิธีสโตแคสติกเกรเดียนต์เดสเซนท์นั้นถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำการฝึกฝนในวิธีการเรียนรู้เชิงลึก (Cai et al., 2019) และอีกหนึ่งเหตุผลเมื่อเทียบกับวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์แล้วนั้น จะเห็นว่าปัญหาคือวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์ต้องการหน่วยความจำค่อนข้างมาก ทำให้ไม่ค่อยได้รับความนิยม จึงเกิดวิธีสโตแคสติกเกรเดียนต์เดสเซนท์โดยวิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งของวิธีเกรเดียนต์เดสเซนท์ที่ใช้ตัวอย่าง

ข้อมูลแบบสุ่มแทนที่จะเป็นชุดข้อมูลทั้งหมดดังรูปที่ 2.23 (Abu-Shaira and Speegle, 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 เปรียบเทียบวิธีเกรเดียนเดสเซนส์และวิธีสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์

จากรูปที่ 2.23 จะพบว่าวิธีสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์คือขั้นตอนวิธีที่มีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในทุก ๆ ชุดข้อมูลฝึกฝนซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่สามารถประมวลผลได้ค่อนข้างไว และมีการปรับปรุงเพียง 1 ครั้งต่อการฝึกสอน 1 รอบ (พิศิษฐ์และวรภัทร, 2565) โดยในทุกครั้งที่มีการปรับปรุง ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับปรุงจะมีค่าความแปรปรวนสูงและส่งผลกระทบต่อค่าฟังก์ชันการสูญเสีย (Loss Function) และแปรผันไปตามความหนาแน่นที่แตกต่างกัน (Different Intensities) โดยขั้นตอนเหล่านี้ช่วยให้ค้นพบค่าที่น้อยที่สุดได้

2.7.1 วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (Stochastic Gradient Descent Regression)

ปัญหาการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) มีจุดประสงค์คือ การทำให้ข้อผิดพลาดเกิดขึ้นลดน้อยลงที่สุดโดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) หรือที่เรียกว่าค่าฟังก์ชันการสูญเสียในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการดังต่อไปนี้

1. สมการการถดถอยเชิงเส้นดังสมการที่ (2.9)

$$\hat{y} = wx + b \quad (2.9)$$

เมื่อ \hat{y} คือ ค่าทำนาย

w คือ เวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weight)

b คือ ค่าความเอนเอียง (Bias)

x คือ เวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า แสดงในรูปของเวกเตอร์สตมภ์ $(x_1, \dots, x_n)^T$ ขนาด

เท่ากับ $n; x_i \in R; i = 1, \dots, n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สมการค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) ค่าฟังก์ชันการสูญเสีย ดังสมการที่ (2.10)

$$J(\mathbf{w}, \mathbf{b}) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (\hat{y} - y_i)^2 \quad (2.10)$$

- เมื่อ \hat{y} คือ ค่าทำนาย
 m คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ฝึกฝน
 x_i คือ คุณสมบัติของตัวอย่างที่ i
 y_i คือ ค่าเป้าหมายที่แท้จริงของตัวอย่างที่ i

2.8 วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM)

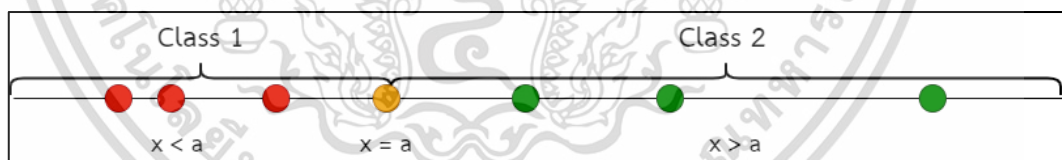
วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจำแนก (Classification) ที่นิยมมากในงานที่หลากหลายในปัจจุบัน เช่น การจัดหมวดหมู่เอกสาร และการรู้จำใบหน้า เป็นต้น ซึ่งมักจะทำให้ประสิทธิภาพที่ดี ทั้งนี้เนื่องจากวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีการจดจำข้อมูลที่อยู่บริเวณขอบของแต่ละคลาส (Class) หรือที่เรียกว่า เวกเตอร์ซัพพอร์ต (Support Vector) อีกทั้งวิธีดังกล่าวสามารถใช้กับข้อมูลที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น (ปริญา, 2562)

2.8.1 วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีขั้นตอนการทำงานต่อไปนี้

2.8.1.1 ระนาบเกิน (Hyperplane)

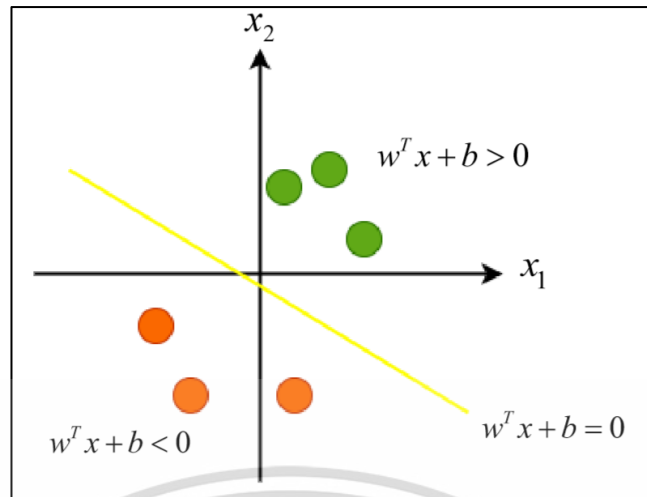
เพื่อความเข้าใจขอยกตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิมิติต่างๆ ให้พิจารณาดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.24 ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 1 มิติ

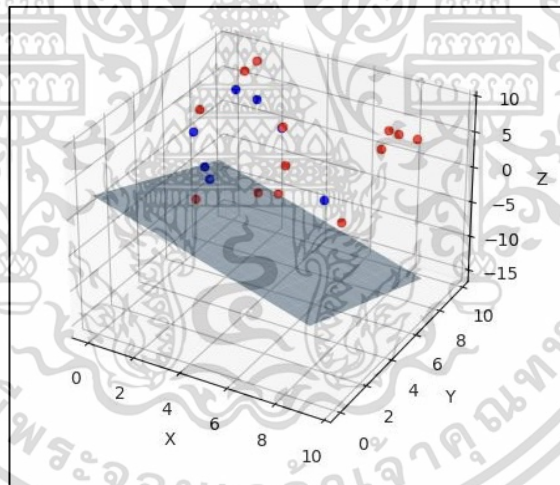
จากรูปที่ 2.24 ในปริภูมิ 1 มิติ สามารถใช้จุดเพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส คือ คลาสที่ 1 มี $x < a$ และคลาสที่ 2 มี $x > a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 2 มิติ

จากรูปที่ 2.25 ในปริภูมิ 2 มิติ สามารถใช้เส้นเพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส คือ คลาสที่ 1 มี $w^T x + b > 0$ และคลาสที่ 2 $w^T x + b < 0$



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างระนาบเกินในปริภูมิ 3 มิติ

จากรูปที่ 2.26 ในปริภูมิ 3 มิติ สามารถใช้ระนาบเพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส
จากรูปที่ 2.24 - 2.26 พบว่าระนาบเกินไม่ว่าจะอยู่ในปริภูมิที่มีมิติก็ตาม สามารถเขียนสมการของ
ระนาบเกินในรูปแบบเวกเตอร์ได้เหมือนกัน ดังสมการที่ (2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

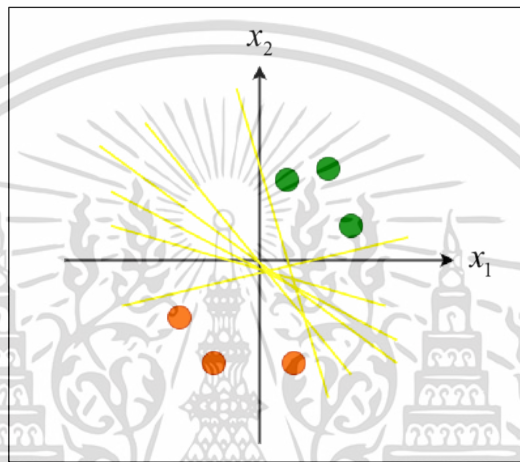
$$w^T x + b = 0 \quad (2.11)$$

โดย b คือ ค่าความเอนเอียงหรือระยะเลื่อนขนานจากจุดกำเนิด

w คือ เวกเตอร์ปรกติ (Normal Vector) ซึ่งเวกเตอร์นี้จะตั้งฉากกับระนาบ
เกินและมีมิติเท่ากับมิติของปริภูมินั้นๆ

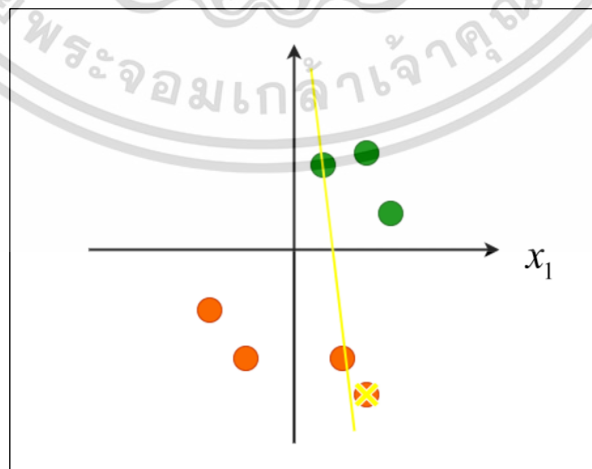
2.8.1.2 ระนาบเกินแบบบัญญัติ (Canonical Hyperplane)

คำถามที่มักเกิดขึ้นในการใช้ระนาบเกินในการแบ่งแยกข้อมูลออกเป็น 2 คลาส ก็คือ
ระนาบเกินแบบไหนจะดีที่สุดที่สุด พิจารณาได้จากตัวอย่างดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ระนาบเกินที่สามารถแบ่งข้อมูล 2 คลาส

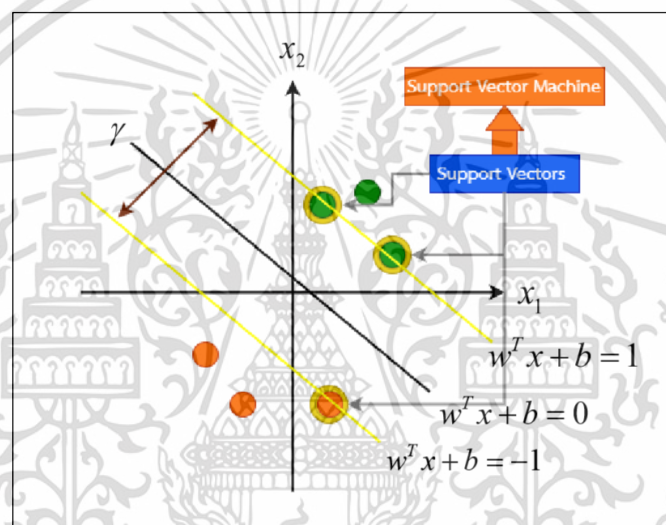
จากรูปที่ 2.27 จะพบว่าทุกระนาบเกินสามารถแบ่งข้อมูลชุดนี้ได้ถูกต้องทั้งหมด แต่หากมี
ข้อมูลเพิ่มเข้ามาใหม่ในกรณีดังรูปที่ 2.28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.28 ระนาบเกินที่เกิดปัญหาประสิทธิภาพดีกว่าความเป็นจริง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.28 จะพบว่าข้อมูลใหม่ถูกตัดสินผิดพลาด ซึ่งเรียกระนาบเกินรูปแบบนี้ว่าเกิดปัญหาประสิทธิภาพดีกว่าความเป็นจริง (Overfitting) ดังนั้นระนาบเกินรูปแบบนี้จึงไม่ควรเลือกใช้ กล่าวคือระนาบเกินที่ต้องการควรทำให้ใช้ทั่วไป (Generalize) ได้มากกว่านี้

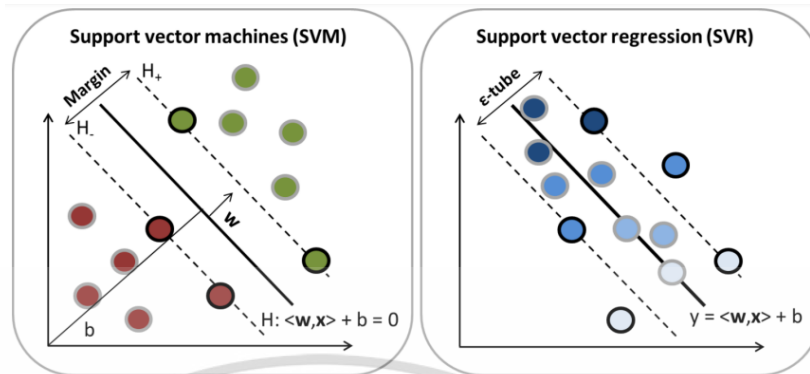
เนื่องจากในวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนนิยมใช้การหาระนาบเกินที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Hyperplane) ในการจำแนกข้อมูลสองประเภท (บวก และ ลบ) ในการสร้างระนาบเกิน ถึงแม้ว่าการจำแนกข้อมูลจะสามารถสร้างได้หลายแบบด้วยกัน แต่จะมีระนาบเกินที่เหมาะสมที่สุดเพียงระนาบเดียวเท่านั้นที่สามารถรักษาระยะห่างมากที่สุดระหว่างข้อมูลสองประเภทที่ใกล้กันมากที่สุดได้ และเวกเตอร์ข้อมูลที่อยู่บริเวณขอบของแต่ละคลาสจะเรียกว่า เวกเตอร์ซัพพอร์ต ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 เวกเตอร์ซัพพอร์ต

จากรูปที่ 2.29 จะพบว่า γ คือ ระยะขอบ และข้อมูลบริเวณขอบแต่ละคลาสที่อยู่ภายในเครื่องหมายวงกลมทั้งหมดคือเวกเตอร์ซัพพอร์ต และเป็นที่มาของชื่อซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

2.8.2 วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Regression)



รูปที่ 2.30 เปรียบเทียบแบบจำลองวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

จากรูปที่ 2.30 จะพบว่าวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกหรือแยกข้อมูลเป็นกลุ่มโดยใช้ระยะขอบในการแบ่งข้อมูลออกจากกัน แต่สำหรับวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์จะใช้ระยะขอบในการทำนายค่าการถดถอย โดยให้ระยะขอบทำหน้าที่เหมือนกับขอบเขตของเส้นการถดถอยและให้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ภายใต้ขอบเขตของระยะขอบ ดังสมการที่ (2.12) (นัทธมน และคณะ, 2563)

$$\hat{y} = wx + b \quad (2.12)$$

โดยที่ \hat{y} คือ ค่าทำนาย

w คือ เวกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก (Weight)

b คือ ค่าความเอนเอียง (Bias)

x คือ เวกเตอร์ข้อมูลนำเข้า (Input data) แสดงในรูปของเวกเตอร์สดมภ์

$(x_1, \dots, x_n)^T$ ขนาดเท่ากับ $n; x_i \in R; i = 1, \dots, n$

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Belmokre et al. (2019) ตรวจสอบความปลอดภัยของเขื่อนผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลการซึมพฤติกรรมน้ำทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ความสมบูรณ์ของโครงสร้างเขื่อน วิธีการเปรียบเทียบที่ใช้กับกรณีศึกษาในการทำนายอัตราการไหลของน้ำซึมโดยใช้สองวิธี คือ แบบจำลองการถดถอยป่าสุ่ม (Random Forest Regression, RFR) และ แบบจำลองการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support Vector Regression, SVR) โดยใช้ 2 วิธีนี้กับเขื่อนที่ชื่อเบอนี อาโรน (Beni Haroun) เป็นเขื่อนคอนกรีตอัดแรงลูกกลิ้ง โดยมีอุณหภูมิของน้ำ ความแปรผันของระดับน้ำ และผลกระทบด้านเวลาเป็น

ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง มีการประเมินความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับข้อมูลที่บันทึกไว้ สุดท้ายได้ทำการประเมินความสำคัญของแต่ละตัวแปรในกลไกการซึม

ของน้ำ ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลองการถดถอยป่าสุ่มให้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ของ FL-175 เท่ากับ 0.0629 และ FR-175 เท่ากับ 0.1332 ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ ที่ให้ค่า RMSE ของ FL-175 เท่ากับ 0.0969 และ FR-175 เท่ากับ 0.1532

Islam et al. (2018) ศึกษาแบบจำลองการถดถอยด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกสำหรับการทำนายความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้โปรไฟล์เมทิลเลชัน DNA รวมถึงอีพิจีโนม ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (DNN) กับวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก เพื่อทำนายความเข้มข้นของไตรกลีเซอไรด์ขึ้นอยู่กับโปรไฟล์ของดีเอ็นเอเมทิลเลชัน (DNA methylation : DNAm) ของเอพิจีโนมไวด์ (Epigenome-wide) ของแต่ละบุคคล สำหรับแต่ละตัวอย่างมีซีพีจี 463,995 แห่ง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ดีเอ็นเอเมทิลเลชันของซีพีจีในแต่ละแห่งส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในกลุ่มตัวอย่าง ส่วนในวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาประสิทธิภาพดีกว่าความเป็นจริง ในแบบจำลองการถดถอยหากเราใช้ซีพีจีทั้งหมด 463,995 แห่ง มาฝึกแบบจำลอง ดังนั้นเราจึงเลือกออกมาหลายร้อยรายการในซีพีจี ที่เป็นตัวหลักที่มีความแปรปรวนระหว่างแต่ละบุคคลมากขึ้นของดีเอ็นเอเมทิลเลชัน เพื่อมาสร้างแบบจำลองการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ มีการใช้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองของวิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก และ วัดมาตรฐานของวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยมี Gal และ Ghahramani ยังได้ใช้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเพื่อวัดประสิทธิภาพของการถดถอยของเครื่องมือพื้นฐานการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning – Based) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก มีค่า RMSE เท่ากับ 47.4 ซึ่งประสิทธิภาพการทำนายดีกว่าวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนที่มีค่า RMSE เท่ากับ 48.7

Kibtia et al. (2020) เปรียบเทียบวิธีป่าสุ่ม (RF) กับวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) สำหรับการทำนายความบกพร่องทางสติปัญญาในผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน โดยวิธี SVM และ วิธี RF ถูกนำไปใช้ในการหาค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error, MAE) และค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ใช้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายของทั้ง 2 วิธีที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้ง วิธี SVM และ วิธี RF ทำงานได้ดีในการทำนาย ความบกพร่องทางสติปัญญาในผู้ป่วย PD จากการทดลองสรุปได้ว่าวิธี SVM ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่สามารถทำนายความบกพร่องทางสติปัญญาได้ดีกว่าวิธี RF โดยวิธี SVM ให้ค่า MAE 0.076 ทั้งชุดฝึกอบรมและชุดทดสอบ และค่า RMSE เท่ากับ 0.542 ในการทำนายความบกพร่องทางสติปัญญา

Mas'ud. (2022) เปรียบเทียบแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องสามแบบสำหรับการทำนายการส่งออกพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์เป็นรายชั่วโมงในซาอุดีอาระเบีย วิธีในการทำนาย คือ วิธีเพื่อน

บ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์ดับ (KNN) วิธีการถดถอยพหุคูณและวิธีการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Regression) ในการศึกษาข้อมูลการปฏิบัติงานของแผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic : PV) และอุดมศึกษาสำหรับเมืองจูเบล (Jubail) ใช้สำหรับชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลทดสอบขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 แบบ เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองต่างๆ ที่กำหนดไว้ล่วงหน้ามีการใช้เมตริกซึ่งรวมถึงการใช้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ทำให้เป็นปกติ (Normalized Root Mean Square Error : NRMSE) และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดพหุคูณ (Coefficient of Multiple Determination : R^2) ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเป็นตัวกำหนดความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงและข้อมูลทำนาย การทำนายความแม่นยำคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ในขณะที่ RMSE จะแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อผิดพลาดในการทำนาย ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ทำให้เป็นปกติก็คือ ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ปรับให้เป็นมาตรฐานตามความจุที่ระบุของระบบแผงโซลาร์เซลล์ และชุดข้อมูลจะถูกแยกออกเป็นชุดข้อมูลฝึกฝนและชุดข้อมูลทดสอบ โดย 70% ของชุดข้อมูลถูกใช้เพื่อการฝึกฝน ในขณะที่เหลืออีก 30% เป็นชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์ดับมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่นๆ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และรากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ทำให้เป็นปกติ คือ 18.68%, 80.6% และ 13.2% ตามลำดับ

Singh. (2022) ทำนายหุ้นชื่อ Nifty 50 โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง 8 วิธี คือ อะแดปทีฟบูสต์ (Adaptive Boost: AdaBoost) วิธีป่าสุ่ม วิธีต้นไม้ตัดสินใจ วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดเคอ์ดับ วิธีการถดถอยเชิงเส้น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และวิธีสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (Stochastic Gradient Descent) ในชุดข้อมูลการฝึกอบรวมถูกนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลอง และชุดข้อมูลการทดสอบถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในการทดสอบอัตราส่วนในแต่ละชุดข้อมูลจะเลือกใช้ข้อมูลฝึกอบรวม 80% และข้อมูลการตรวจสอบ 20% จากชุดข้อมูลที่ 4 การทดสอบจากรางที่ 13 (Testing Data) วิธีสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ มีค่า $MSE = 1802.542$, $RMSE = 42.456$, $MAE = 29.093$ และค่า $R^2 = 0.999$ เห็นได้ว่าเนื่องจากขนาดของชุดข้อมูลนั้นเพิ่มขึ้น วิธีสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์จะมีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้เป็นการทำปัญหาพิเศษเชิงทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ โดยมีวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนต์เดสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ โดยการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้จะศึกษาจากการจำลองข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โปรแกรมอาร์ (R Program) เวอร์ชัน 4.3.1 เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยต่อไป ในบทนี้กล่าวถึงการวางแผนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การวางแผนการดำเนินงานวิจัย

การวางแผนการดำเนินงานของการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ศึกษาการประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ โดยมีวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง 5 วิธี

3.1.1 ทำการสุ่มค่าคลาดเคลื่อน (*Error, ϵ*) ของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจากข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $E(\epsilon) = \mu$ และ $Var(\epsilon) = \sigma^2$ งานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 0 และความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 1

3.1.2 สร้างตัวแปรอิสระ (x_j) สำหรับขนาดเล็ก ได้แก่ 10, 30 และ 50 ตัว และ ขนาดใหญ่ ได้แก่ 70, 100 และ 150 จากการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (Multivariate Normal Distribution) กำหนดให้ค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนร่วม (Σ) จากเมทริกซ์สองรูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 รูปแบบความสัมพันธ์แบบค่าคงที่ รูปแบบที่ 2 รูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิทซ์

3.1.3 กำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นรูปแบบค่าคงที่และรูปแบบความสัมพันธ์แบบโทพลิทซ์ 0.1, 0.5 และ 0.9

3.1.4 กำหนดค่าคงที่ $\beta_0 = 100$ ของสมการถดถอย และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย β_j ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุเป็น 0.1 และ 1 โดยที่ $j = 1, 2, \dots, p$

3.1.5 กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) และจำนวนตัวแปรอิสระ (p)

กลุ่มตัวแปรอิสระขนาดเล็ก			กลุ่มตัวแปรอิสระขนาดใหญ่		
$p = 10$	$p = 30$	$p = 50$	$p = 70$	$p = 100$	$p = 150$
$n = 100$	$n = 100$	$n = 100$	$n = 300$	$n = 300$	$n = 300$
$n = 150$	$n = 150$	$n = 150$	$n = 350$	$n = 350$	$n = 350$
$n = 200$	$n = 200$	$n = 200$	$n = 400$	$n = 400$	$n = 400$

3.1.6 โปรแกรมที่ใช้ในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ทั้งหมดเขียนด้วยโปรแกรมอาร์ (R Program) ซึ่งทำการจำลอง 1,000 ครั้ง

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ทำการจำลองข้อมูลตัวแปรอิสระจากการแจกแจงปกติหลายตัวแปรที่ใช้ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ด้วยโปรแกรมอาร์ มีค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนร่วม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าคงที่ของระยะตัดแกน ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ขนาดตัวอย่าง และตัวแปรอิสระเป็นไปตามขอบเขตการศึกษา

3.2.2 สร้างข้อมูลตัวแปรตามจากฟังก์ชันถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ

3.2.3 ในการสร้างโมเดลเพื่อทำนาย จะทำการรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลเหล่านั้นมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งจะเป็นชุดข้อมูลฝึกฝน 70 เปอร์เซ็นต์ กับชุดข้อมูลทดสอบ 30 เปอร์เซ็นต์

3.2.4 นำเอาชุดข้อมูลฝึกฝนของตัวแปรตาม (y) และตัวแปรอิสระ (x_i) มาผ่านการสร้างเกณฑ์ด้วยวิธี 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ็นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์

3.2.4.1 วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก กำหนดให้ชั้นนำเข้า (Input Layer) p โหนด ชั้นที่ซ่อนอยู่มี (Hidden Layer) 3 ชั้น (5,3,1) โดยชั้นที่ 1 มี 5 โหนด ชั้นที่ 2 มี 3 โหนด และชั้นที่ 3 มี 1 โหนด และชั้นส่งออก (Output Layer) 1 โหนด

3.2.4.2 วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ็นดับ กำหนดให้ค่า k เป็นแบบสุ่ม โดยแต่ละรอบจะสุ่ม k ที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด

3.2.5 ชุดข้อมูลฝึกฝนใช้การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และชุดข้อมูลทดสอบใช้การคำนวณค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์

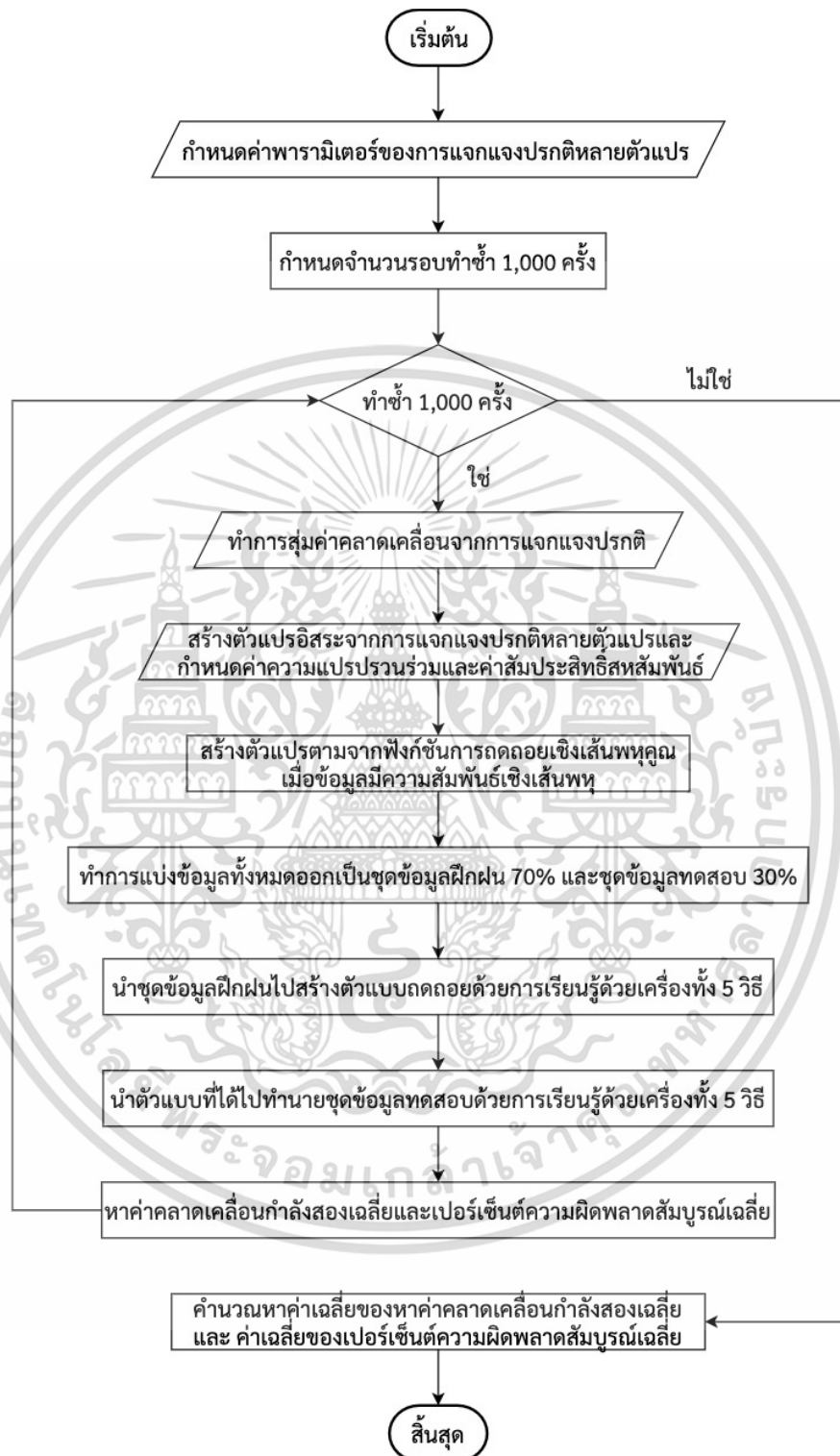
3.2.6 ทำการทำซ้ำตั้งแต่ 3.2.1-3.2.5 เป็นจำนวน 1,000 รอบ

3.2.7 หาค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์

3.2.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละตัวแบบในวิธีการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี เพื่อหาข้อสรุปว่าวิธีใดมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ที่ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

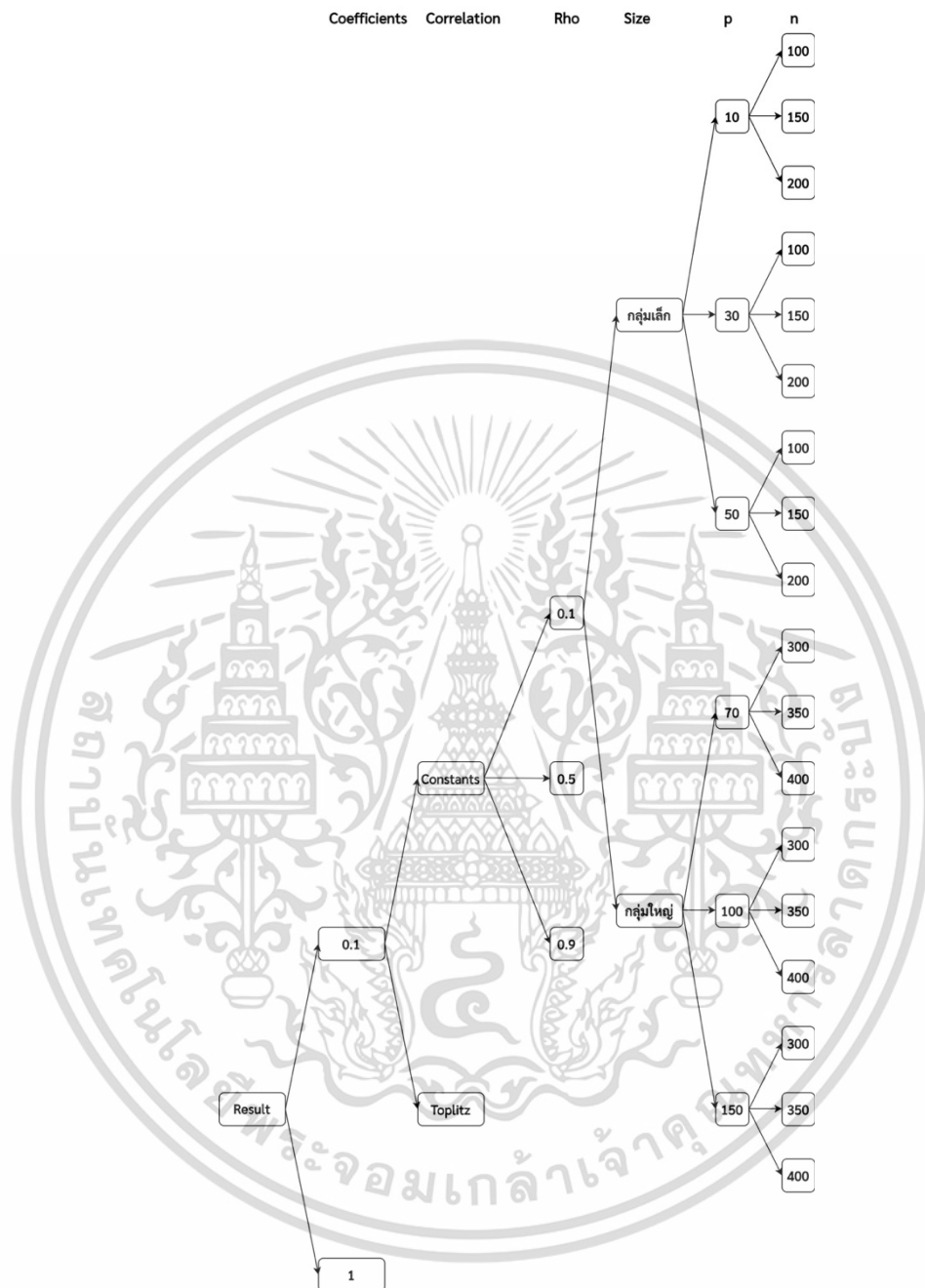
3.3 ขั้นตอนทางโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนทางโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนผังแสดงกรณีทั้งหมด



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงกรณีทั้งหมด

จากรูปที่ 3.2 แสดง 18 กรณี จาก 216 กรณี แบ่งตามค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เท่ากับ 0.1 และ 1, เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ และ โทพลิทซ์, ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1, 0.5 และ 0.9, โดยกลุ่มเล็กกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ และ กลุ่มใหญ่กำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง จากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ โดยมีวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเค้นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนตเดสเซนท์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ โดยวัดจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ โดยจะทำการจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรมอาร์ (R Program) ทำซ้ำ 1000 ครั้ง โดยกำหนดสัญลักษณ์

DNN	หมายถึง	วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก
KNN	หมายถึง	วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเค้นดับ
RF	หมายถึง	วิธีการถดถอยป่าสุ่ม
SGD	หมายถึง	วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนตเดสเซนท์
SVM	หมายถึง	วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์
MSE	หมายถึง	ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย
MAPE	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์
n	หมายถึง	ขนาดตัวอย่าง
p	หมายถึง	จำนวนตัวแปรอิสระ
rho	หมายถึง	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เท่ากับ 0.1

4.1.1 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่

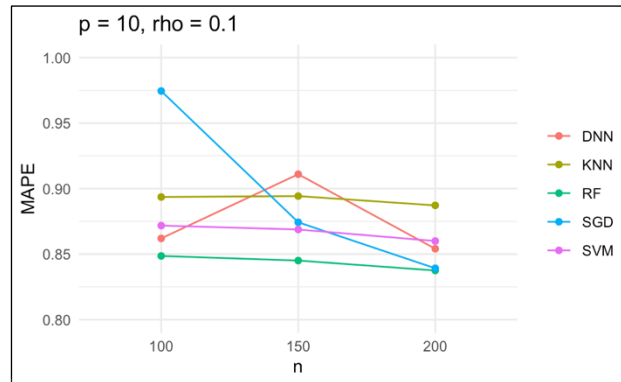
กำหนดค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนร่วม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ขนาดตัวอย่าง และตัวแปรอิสระเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัย แสดงผลดังตาราง 4.1-4.12 และ รูปที่ 4.1-4.36

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	0.862	0.911	0.8541	1.0782	1.1192	1.036	1.3871	1.4357	1.2836
KNN	0.8936	0.8943	0.8872	0.9752	0.9627	0.9609	1.0874	1.0677	1.0587
RF	0.8486	0.8451	0.8375	0.963	0.9376	0.9287	1.1778	1.1474	1.1209
SGD	0.9745	0.8743	0.8392	4.8234	2.0392	1.2733	14.8627	6.1341	3.1887
SVM	0.8718	0.8688	0.86	0.9318	0.9062	0.8994	1.0343	0.9836	0.9529

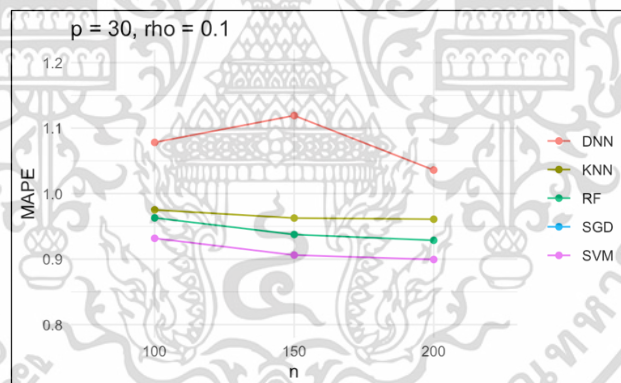
หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10$ ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF และที่ $p = 30$ และ $p = 50$ ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.3



รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.1 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SGD ที่ $n = 100$, วิธี DNN ที่ $n = 150$ และ วิธี KNN ที่ $n = 200$

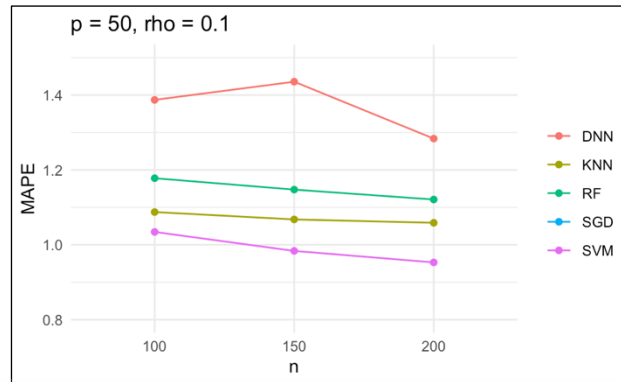


หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.2 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.3 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

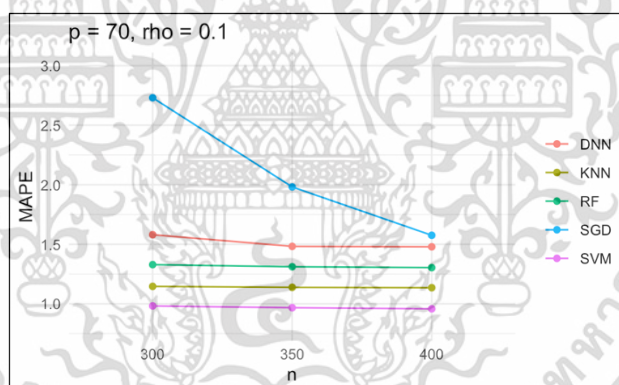
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	1.5805	1.4822	1.4787	2.0338	1.9151	1.8912	2.8384	2.7461	2.6932
KNN	1.1462	1.1384	1.1353	1.3254	1.3033	1.2973	1.6037	1.5834	1.5726
RF	1.3287	1.3112	1.3039	1.725	1.6956	1.683	2.4357	2.3929	2.3664
SGD	2.7301	1.9815	1.5753	6.0596	4.2275	3.1264	14.5742	10.6711	7.8661
SVM	0.9821	0.9675	0.9581	1.0655	1.0412	1.0253	1.2281	1.1837	1.1528

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

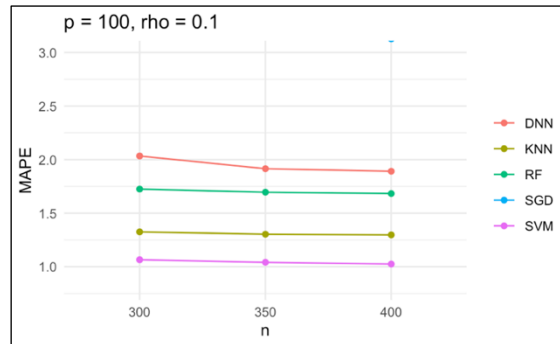
จากตารางที่ 4.2 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.4 – 4.6



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.4 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

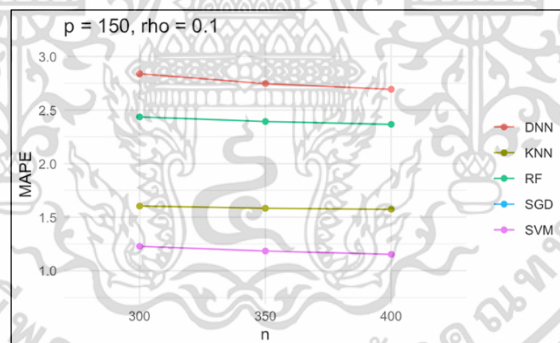
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.5 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.6 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

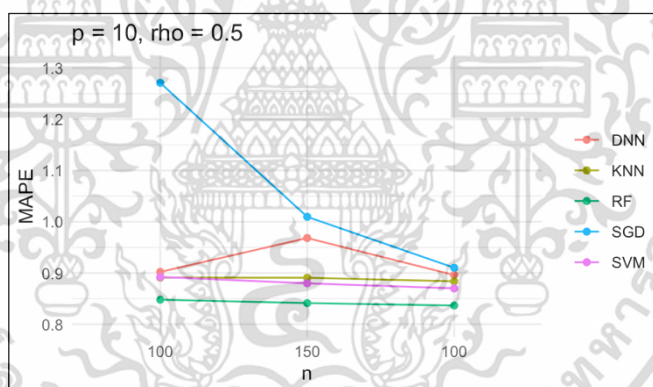
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	0.9021	0.9683	0.896	1.3797	1.4694	1.3568	2.0434	2.1975	1.9809
KNN	0.8911	0.8908	0.8838	0.951	0.9364	0.9284	1.0378	1.0155	0.9928
RF	0.848	0.8413	0.8366	0.9485	0.9159	0.9039	1.1634	1.1096	1.07
SGD	1.2711	1.0097	0.9103	5.1467	2.7717	1.8453	11.6796	6.1396	3.8792
SVM	0.8924	0.8799	0.8701	1.0084	0.974	0.9632	1.1459	1.0914	1.045

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

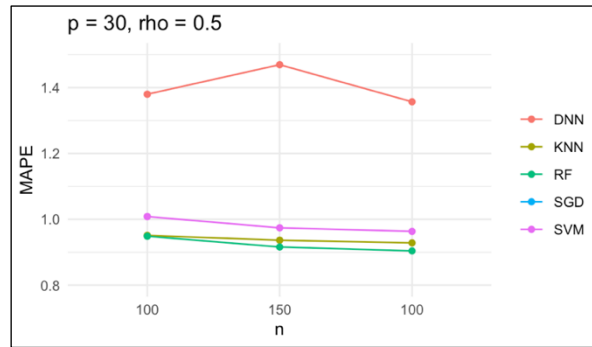
จากตารางที่ 4.3 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF และ วิธี KNN แสดงดังรูปที่ 4.7 – 4.9



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.7 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุดคือ วิธี SGD

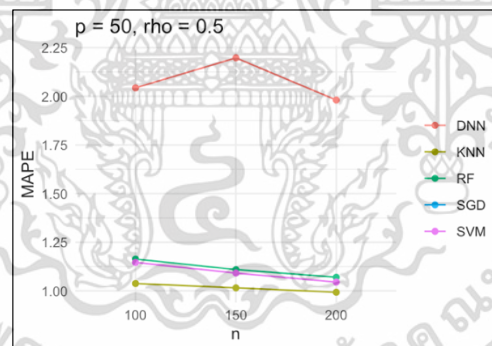
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.8 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุดคือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.9 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี KNN และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุดคือ วิธี SGD

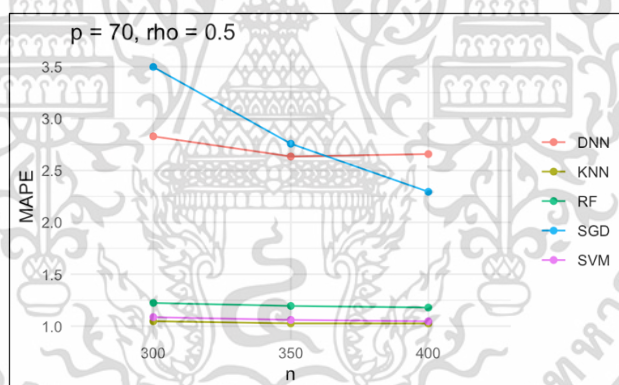
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	2.8284	2.6346	2.658	3.9322	3.706	3.6901	5.8443	5.5748	5.535
KNN	1.0475	1.027	1.0261	1.1577	1.1371	1.1227	1.3559	1.3329	1.3079
RF	1.2238	1.1949	1.1794	1.5618	1.5209	1.4907	2.2053	2.1344	2.078
SGD	3.4967	2.7576	2.2947	6.1541	4.7659	3.8658	11.5852	9.2285	7.41
SVM	1.0869	1.0604	1.0472	1.1918	1.1617	1.1342	1.4026	1.3537	1.3092

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

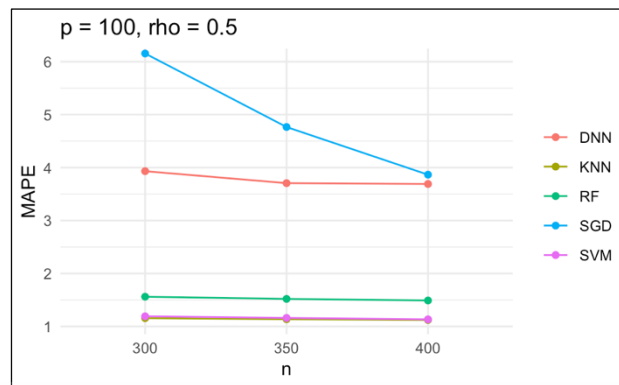
จากตารางที่ 4.4 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี KNN แสดงดังรูปที่ 4.10 – 4.12



รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

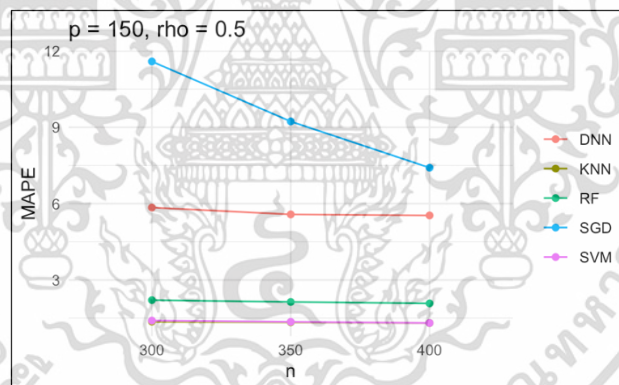
จากรูป 4.10 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี KNN และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SGD ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี DNN ที่ $n = 200$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.11 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี KNN และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.12 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี KNN และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

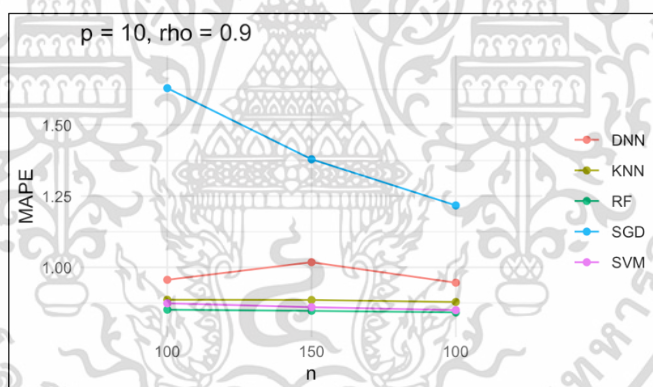
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	0.9562	1.0179	0.9461	1.6908	1.8133	1.6569	2.5987	2.8025	2.5539
KNN	0.8861	0.8853	0.8783	0.9311	0.9134	0.907	1.0026	0.9689	0.9428
RF	0.8512	0.847	0.8417	0.8715	0.8523	0.8498	0.9203	0.9049	0.8823
SGD	1.6292	1.3795	1.2175	3.3275	2.4954	2.0533	5.0789	3.6368	2.9264
SVM	0.8736	0.8601	0.8497	0.9571	0.9253	0.915	1.047	1.0092	0.9684

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

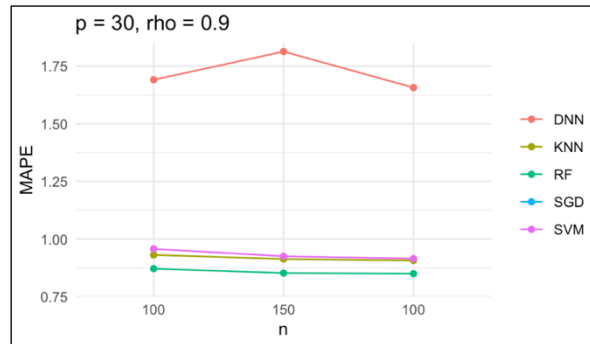
จากตารางที่ 4.5 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF แสดงดังรูปที่ 4.13 - 4.15



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.13 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

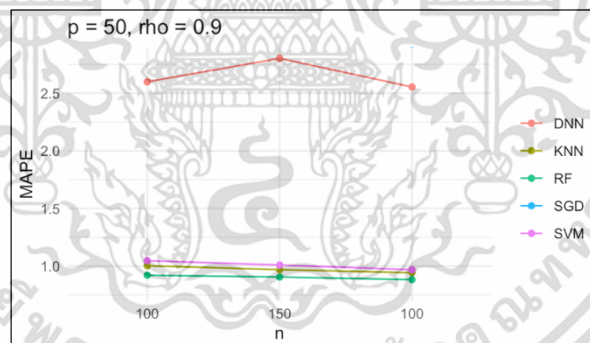
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.14 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.15 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

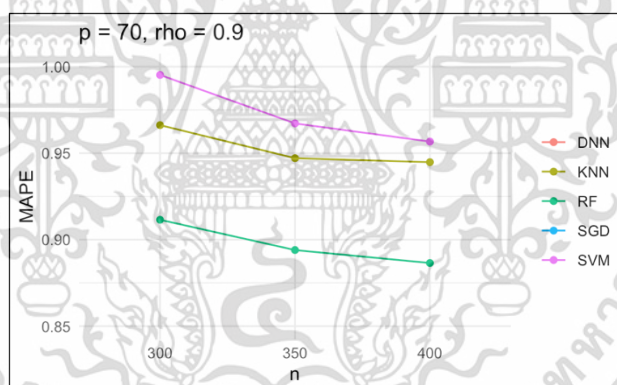
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	3.7232	3.494	3.4473	5.273	4.9256	4.9265	7.9335	7.5706	7.5281
KNN	0.9662	0.9471	0.9448	1.026	1.0078	0.9934	1.1455	1.1222	1.0969
RF	0.9115	0.894	0.8865	0.9897	0.9723	0.9604	1.172	1.1448	1.1157
SGD	2.819	2.5225	2.3227	3.6862	3.2593	2.9608	5.1233	4.5512	4.0685
SVM	0.9952	0.9672	0.9567	1.0547	1.0292	1.0079	1.1875	1.1547	1.1141

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.6 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF และ วิธี KNN แสดงดังรูปที่ 4.16 – 4.18

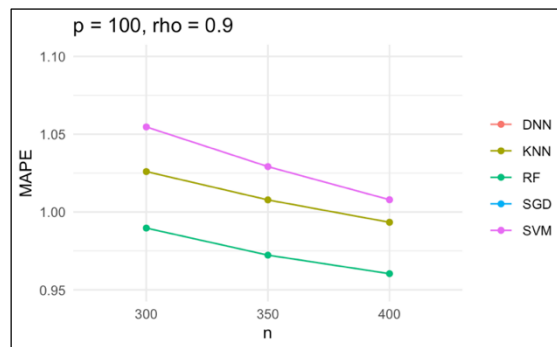


หมายเหตุ : วิธี SGD และ วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.16 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

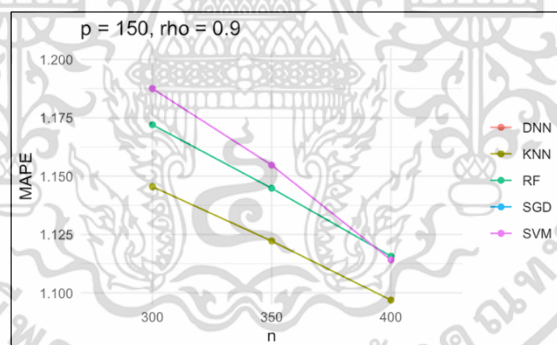
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD และ วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.17 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD และ วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.18 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี KNN และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 – 4.6 แล้วจะสามารถเขียนตารางสรุปผลลัพธ์ของวิธีที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.7-4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	$\rho = 0.1$			$\rho = 0.5$			$\rho = 0.9$		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
p = 10	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF
p = 30	SVM	SVM	SVM	RF	RF	RF	RF	RF	RF
p = 50	SVM	SVM	SVM	KNN	KNN	KNN	RF	RF	RF

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.1 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM เป็นส่วนมาก ต่อมาเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.5 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี RF เป็นส่วนใหญ่ และเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี RF

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	300	350	400	300	350	400	300	350	400
p = 70	SVM	SVM	SVM	KNN	KNN	KNN	RF	RF	RF
p = 100	SVM	SVM	SVM	KNN	KNN	KNN	RF	RF	RF
p = 150	SVM	SVM	SVM	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN	KNN

จากตารางที่ 4.8 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM ต่อมาเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.5 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี KNN และเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี RF เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์

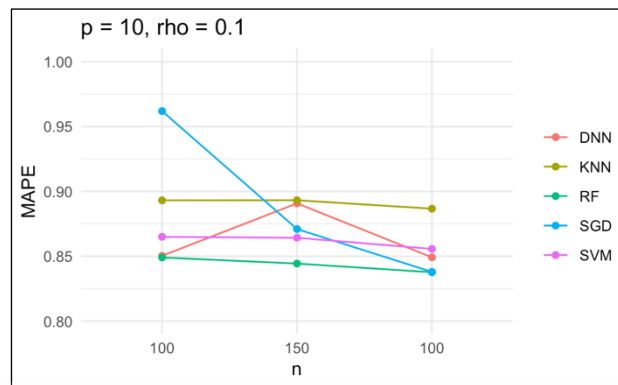
กำหนดค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนร่วม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ขนาดตัวอย่าง และตัวแปรอิสระเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัย แสดงผลดังตาราง 4.9-4.14 และรูปที่ 4.19-4.36

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิตซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	0.8504	0.8908	0.8492	0.938	0.986	0.9399	1.0219	1.0936	1.0218
KNN	0.8931	0.8932	0.8867	0.953	0.9464	0.9474	1.0249	1.018	1.0133
RF	0.8491	0.8444	0.8377	0.9077	0.8972	0.8911	0.9844	0.9691	0.9589
SGD	0.9619	0.871	0.838	4.7352	1.9484	1.2233	15.2529	6.0782	3.066
SVM	0.865	0.8643	0.8557	0.896	0.8811	0.8732	0.9594	0.9346	0.9134

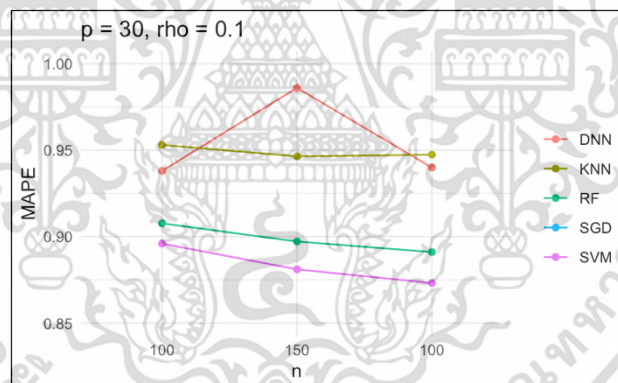
หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.9 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10$ ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF และที่ $p = 30$ และ $p = 50$ ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.19 – 4.21



รูปที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.19 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SGD ที่ $n = 100$ และ วิธี KNN ที่ $n = 150$ และ $n = 200$



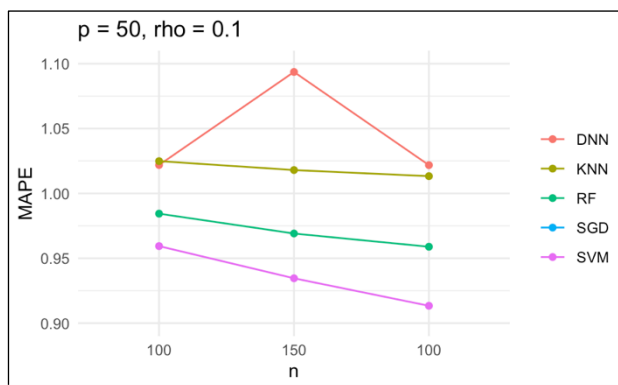
หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.20 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE

สูงที่สุด คือ วิธี SGD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลีทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.21 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

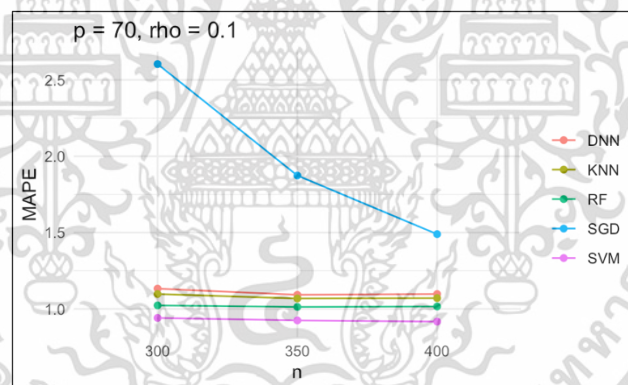
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	1.1329	1.0924	1.0975	1.2522	1.196	1.2008	1.3943	1.3519	1.3462
KNN	1.0975	1.0682	1.0706	1.174	1.1654	1.1644	1.3218	1.3155	1.3139
RF	1.0228	1.0131	1.016	1.1242	1.1132	1.1163	1.2743	1.268	1.2621
SGD	2.6038	1.8738	1.4896	5.9616	4.0857	2.9814	14.9705	10.7805	7.8365
SVM	0.9409	0.9247	0.9169	1.0206	0.9971	0.9848	1.1608	1.133	1.1102

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

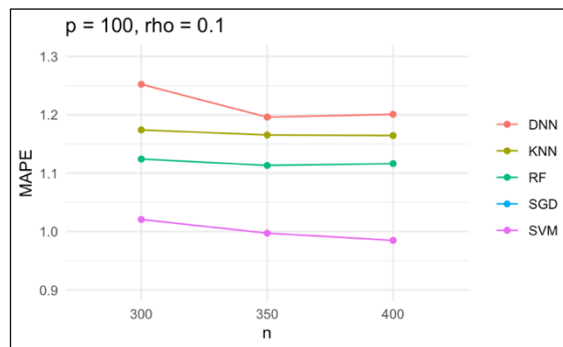
จากตารางที่ 4.10 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.22 – 4.24



รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.22 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

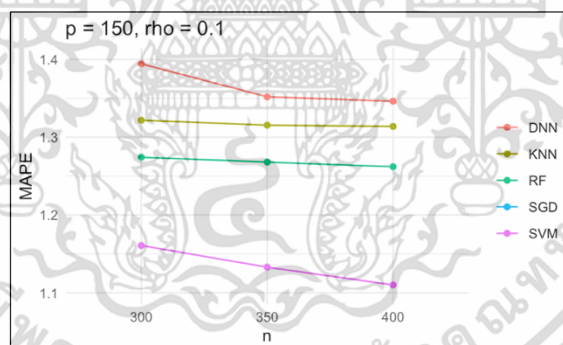
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.23 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.24 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

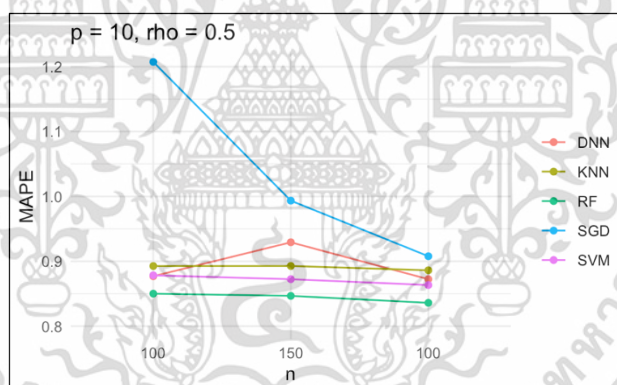
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าการนี้ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	0.877	0.9293	0.8724	1.0659	1.115	1.0629	1.24	1.3058	1.2293
KNN	0.8927	0.8928	0.8861	0.9774	0.9632	0.9614	1.0894	1.0797	1.0657
RF	0.8501	0.8467	0.836	0.9473	0.9283	0.9201	1.0841	1.0672	1.0446
SGD	1.2073	0.9935	0.9078	4.855	2.4984	1.673	12.4457	5.8861	3.5398
SVM	0.8784	0.8724	0.8634	0.9184	0.8994	0.8911	1.0061	0.9625	0.9276

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

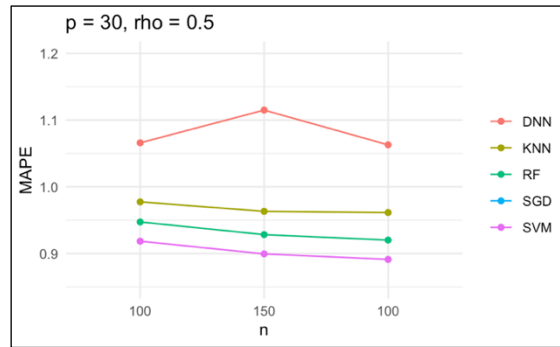
จากตารางที่ 4.11 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF และ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.25 – 4.27



รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.25 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

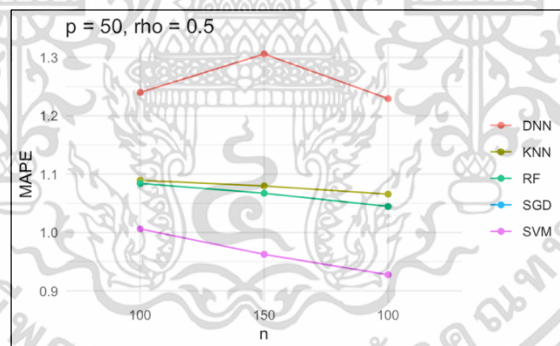
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.26 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.27 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

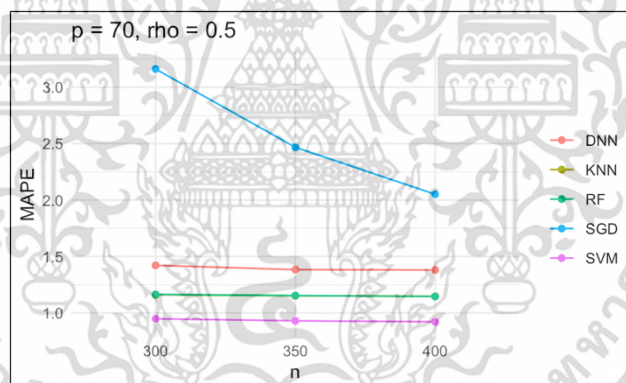
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	1.4215	1.3832	1.38	1.6207	1.5864	1.5758	1.912	1.8717	1.8636
KNN	1.1605	1.1514	1.1471	1.3199	1.3105	1.2989	1.5761	1.5609	1.5585
RF	1.164	1.1533	1.1453	1.3436	1.3397	1.3247	1.6201	1.6118	1.6015
SGD	3.1614	2.4675	2.0511	5.828	4.3975	3.4894	12.1859	9.2812	7.1867
SVM	0.9477	0.9298	0.9211	1.0266	1.0014	0.9758	1.2115	1.1592	1.1187

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.12 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.28 – 4.30

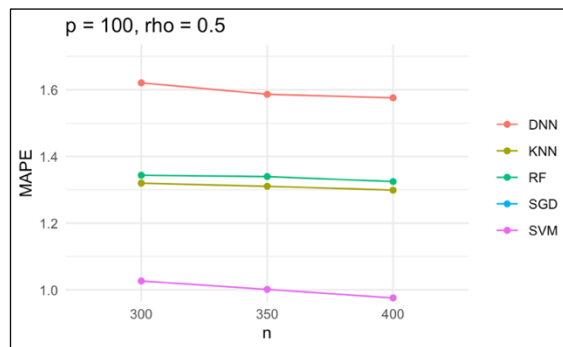


หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.28 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

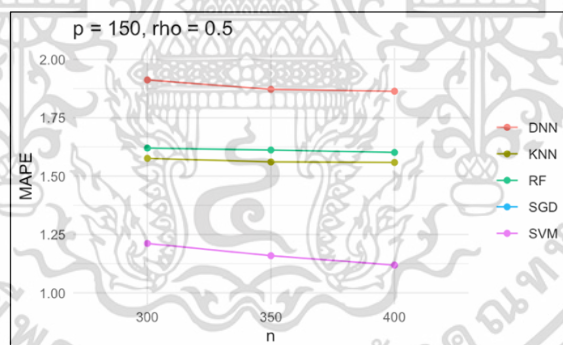
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.29 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.30 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

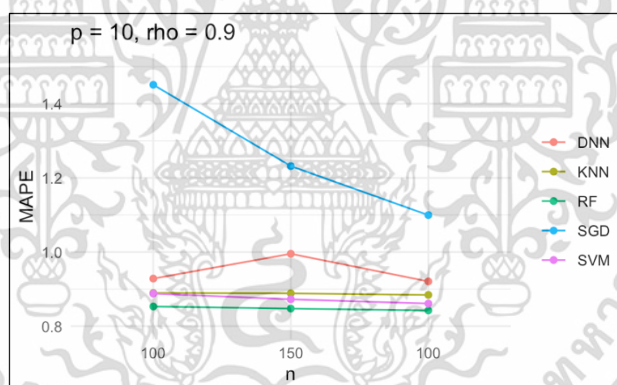
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	0.9283	0.9953	0.9207	1.3845	1.4815	1.3518	1.929	2.0078	1.8199
KNN	0.8896	0.8885	0.8843	0.9758	0.9633	0.942	1.1525	1.1137	1.0778
RF	0.8531	0.8475	0.8424	0.9639	0.9336	0.9163	1.2298	1.1726	1.117
SGD	1.4511	1.2318	1.0995	3.1489	2.234	1.8021	5.4961	3.5073	2.6823
SVM	0.8879	0.8725	0.8611	1.0091	0.9826	0.958	1.1608	1.1095	1.0573

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

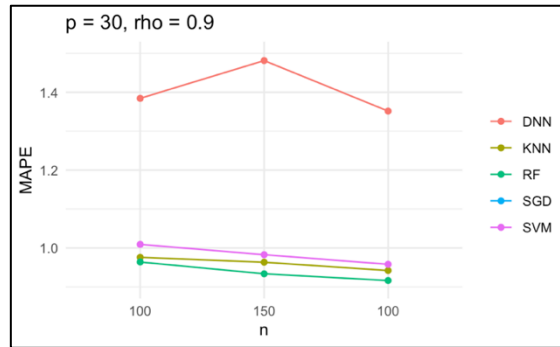
จากตารางที่ 4.13 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ได้แก่ วิธี RF, วิธี KNN และ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.31 - 4.33



รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.31 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

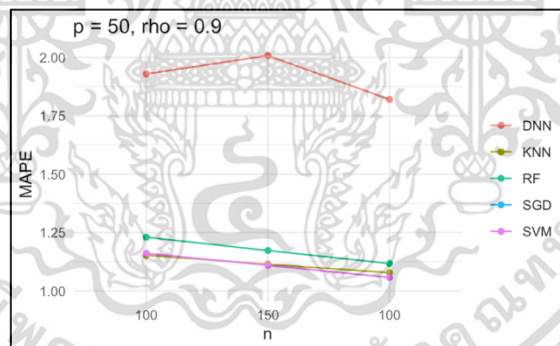
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.32 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.33 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี KNN ที่ $n = 100$ และ วิธี SVM ที่ $n = 150$ และ $n = 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

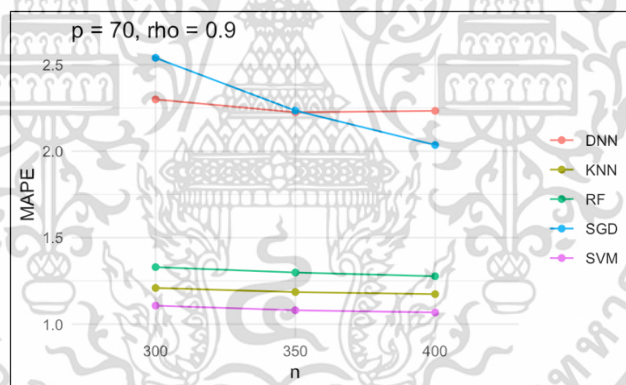
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	2.2991	2.2243	2.233	2.921	2.8256	2.8231	3.7637	3.7259	3.7297
KNN	1.2093	1.1856	1.1736	1.4891	1.4577	1.4349	2.0034	1.9614	1.9293
RF	1.3298	1.2986	1.277	1.7365	1.7048	1.6646	2.4242	2.378	2.3356
SGD	2.5394	2.2343	2.0356	3.5097	3.0126	2.6816	5.3701	4.5619	3.9264
SVM	1.1071	1.0804	1.0678	1.2356	1.209	1.1823	1.4075	1.3779	1.3547

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

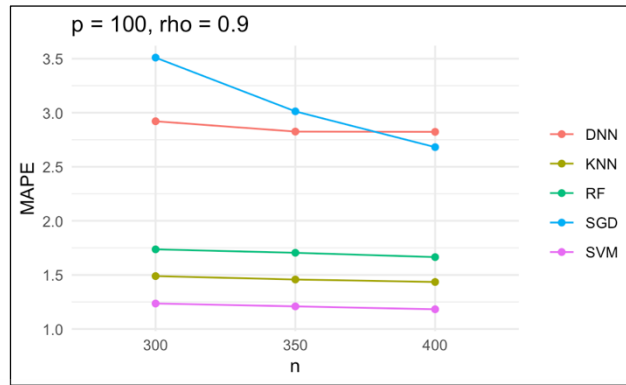
จากตารางที่ 4.124 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.34 – 4.36



รูปที่ 4.34 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

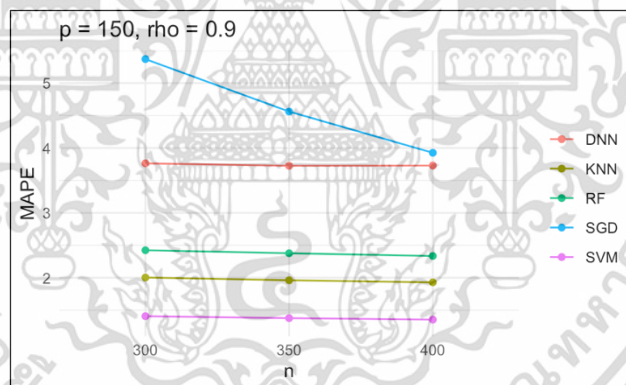
จากรูป 4.34 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ วิธี SGD ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี DNN ที่ $n = 200$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.35 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ วิธี SGD ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี DNN ที่ $n = 200$



รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.36 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี SGD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.9 – 4.14 แล้วจะสามารถเขียนตารางสรุปผลลัพธ์ของวิธีที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.15 – 4.16

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
p = 10	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF	RF
p = 30	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	RF	RF	RF
p = 50	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	KNN	SVM	SVM

จากตารางที่ 4.15 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM เป็นส่วนมาก ต่อมาเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.5 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM เป็นส่วนมาก และเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี RF เป็นส่วนมาก

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	300	350	400	300	350	400	300	350	400
p = 70	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM
p = 100	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM
p = 150	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM

จากตารางที่ 4.16 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย เท่ากับ 1

4.2.1 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่

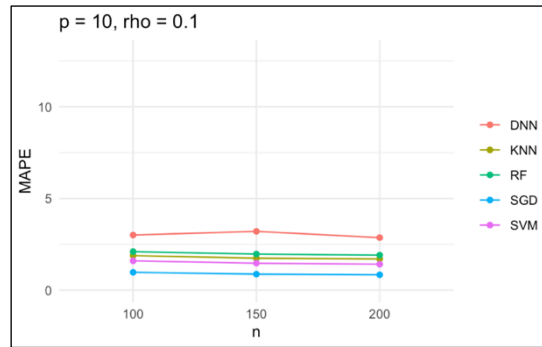
กำหนดค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนร่วม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ขนาดตัวอย่าง และตัวแปรอิสระเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัย แสดงผลดังตาราง 4.17-4.22 และ รูปที่ 4.37-4.54

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วม รูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	3.0065	3.2076	2.8656	7.5139	7.4633	6.6691	11.8878	12.9252	11.3525
KNN	1.8849	1.7426	1.703	4.4447	4.1924	4.0239	6.8652	6.5257	6.2586
RF	2.0998	1.9724	1.9126	5.697	5.3827	5.2128	9.5083	9.1179	8.8031
SGD	0.9766	0.8761	0.8407	4.8871	2.0629	1.2888	15.3212	6.3277	3.2887
SVM	1.6037	1.4747	1.4194	3.5392	2.9515	2.7112	5.9955	4.8982	4.1776

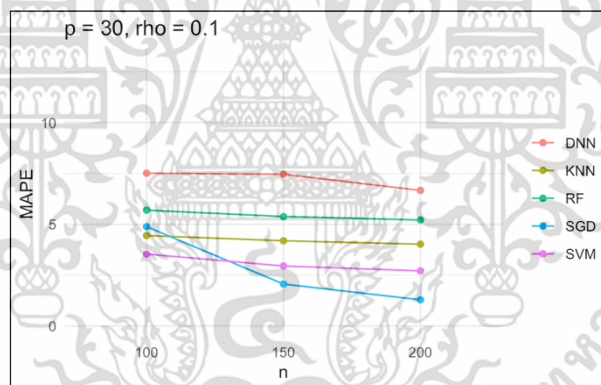
หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.17 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10$ และ $p = 30$ ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD และที่ $p = 50$ ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.37 - 4.39



รูปที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

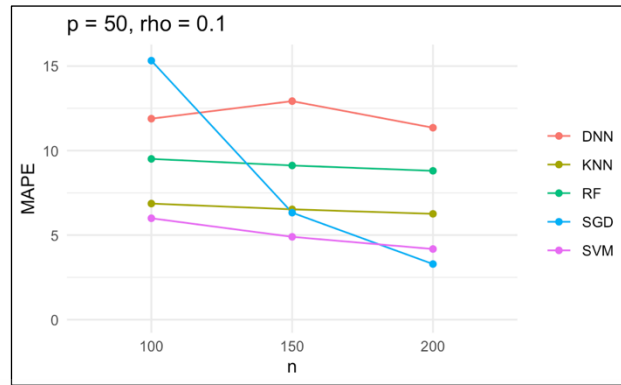
จากรูป 4.37 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.38 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.38 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100$ และ SGD ที่ $n = 150$ และ 200 และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.39 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี SGD ที่ $n = 200$ และ เส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SGD ที่ $n = 100$ และ วิธี DNN ที่ $n = 150, 200$

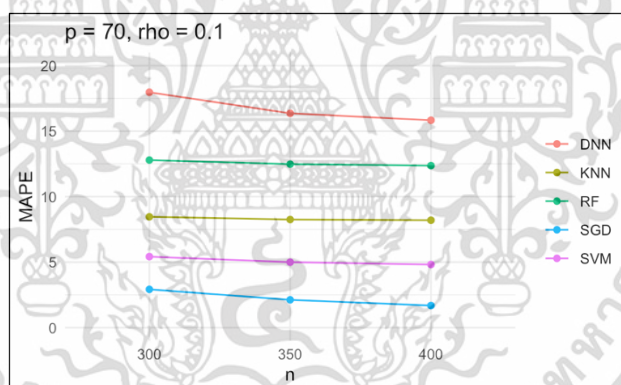
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	17.9658	16.3585	15.83	61.5742	46.9872	39.4824	201.8195	233.5663	180.6325
KNN	8.4615	8.251	8.1979	24.8717	19.891	17.1795	70.7895	77.6531	62.8127
RF	12.7885	12.48	12.3657	45.0291	32.2455	28.5395	141.6338	148.3609	125.6435
SGD	2.9229	2.1221	1.685	8.2349	5.6977	4.2145	49.2418	38.3307	22.4824
SVM	5.4205	4.9979	4.8177	27.0583	18.5288	14.5286	70.1739	62.2805	55.8255

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

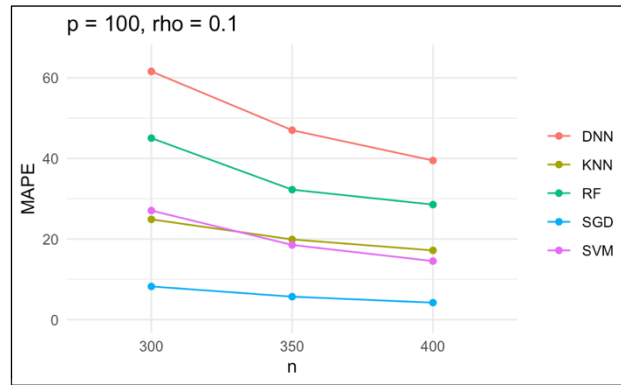
จากตารางที่ 4.18 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD แสดงดังรูปที่ 4.40 – 4.42



รูปที่ 4.40 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

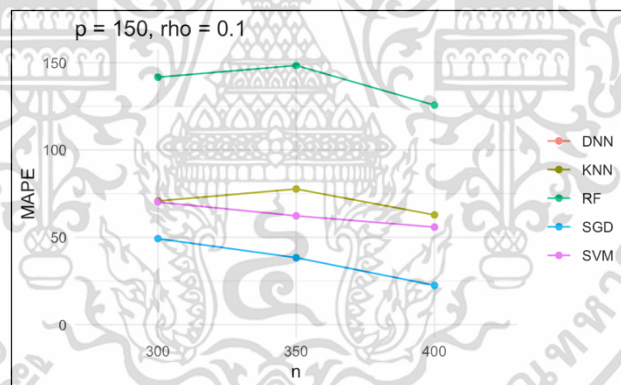
จากรูป 4.40 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.41 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.42 กราฟค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.42 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

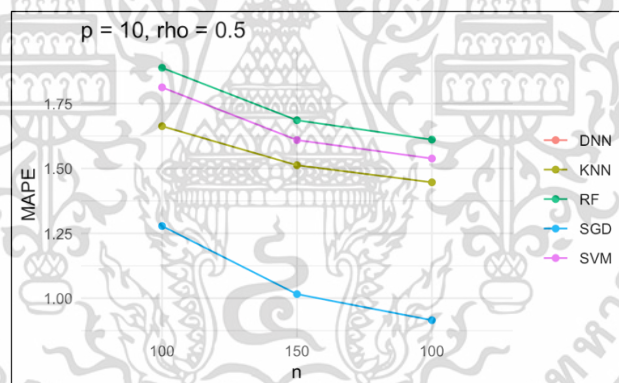
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	4.1727	4.3677	3.9166	13.7432	13.8099	12.2974	74.705	49.122	39.4964
KNN	1.6629	1.5124	1.4466	4.0216	3.643	3.4205	21.4674	15.9746	11.2791
RF	1.8879	1.6857	1.6111	5.8948	5.3501	5.0152	34.0841	22.1068	17.2117
SGD	1.2783	1.0157	0.9153	5.442	2.9207	1.9485	17.3121	9.4094	5.5002
SVM	1.8124	1.6095	1.5383	4.6895	4.0615	3.7993	40.2442	27.8635	19.0515

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.19 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD แสดงดังรูปที่ 4.43 - 4.45

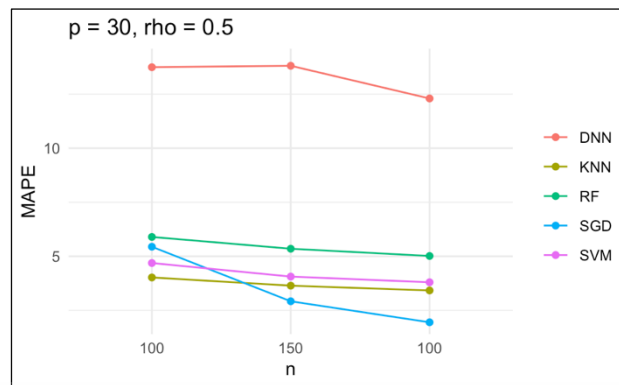


หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.43 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

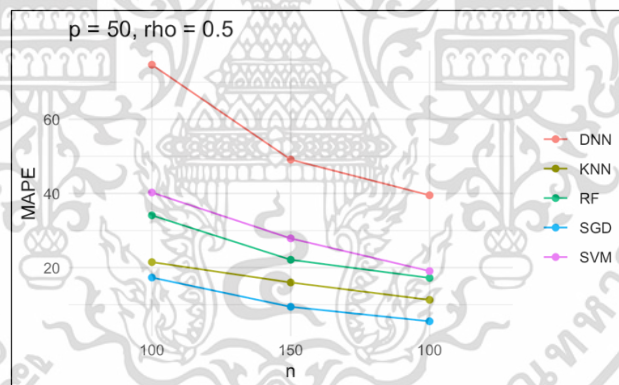
จากรูป 4.43 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.44 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี KNN ที่ $n = 100$ และ วิธี SGD ที่ $n = 150, 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.45 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.45 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

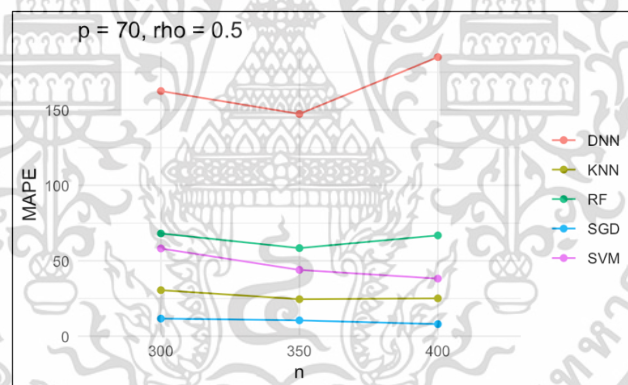
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	$p = 70$			$p = 100$			$p = 150$		
	$n = 300$	$n = 350$	$n = 400$	$n = 300$	$n = 350$	$n = 400$	$n = 300$	$n = 350$	$n = 400$
DNN	162.4943	147.3304	184.9979	218.8268	295.2126	216.6889	247.0293	151.9458	150.9452
KNN	30.5351	24.5398	25.0979	40.177	46.0023	40.1275	62.7455	52.415	45.4557
RF	68.1168	58.4109	66.8388	94.6544	125.9236	97.7436	139.1999	115.0357	98.0462
SGD	11.701	10.532	8.0439	30.1296	38.6355	20.1295	87.2687	56.1203	45.6126
SVM	58.1694	43.9621	38.1882	36.0583	48.6208	36.4012	49.7508	42.0574	42.5791

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

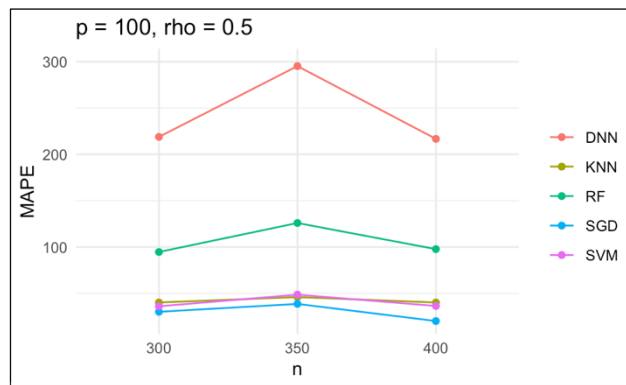
จากตารางที่ 4.20 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD และ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.46 – 4.48



รูปที่ 4.46 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

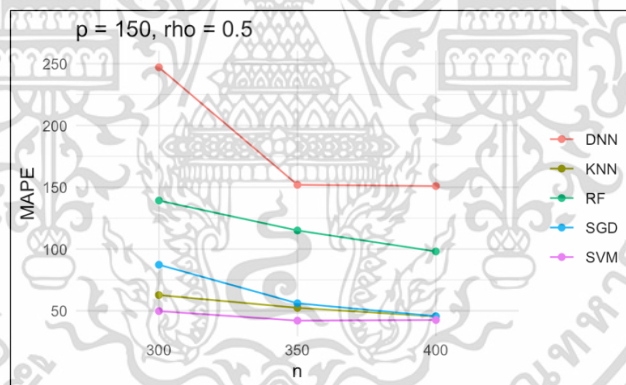
จากรูป 4.46 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.47 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.48 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.48 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

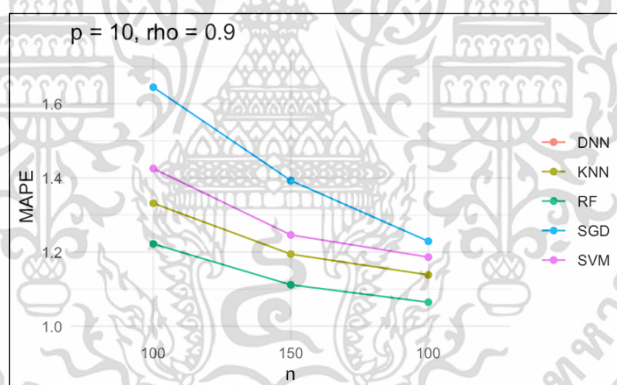
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	5.2786	5.4254	5.028	31.5087	23.8743	32.7234	1348.894	161.1206	111.3748
KNN	1.3316	1.1943	1.1383	10.8998	4.8042	10.5287	191.1318	20.6463	11.049
RF	1.2221	1.1116	1.0645	9.7333	4.5381	9.6837	202.6538	24.7536	13.2449
SGD	1.6444	1.3928	1.229	3.986	2.8544	2.4674	139.9878	10.6124	7.7839
SVM	1.4253	1.2461	1.1863	18.2501	7.6662	19.7617	248.9937	37.0265	16.7616

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.21 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี RF และ วิธี SVM ดังรูปที่ 4.49 – 4.51

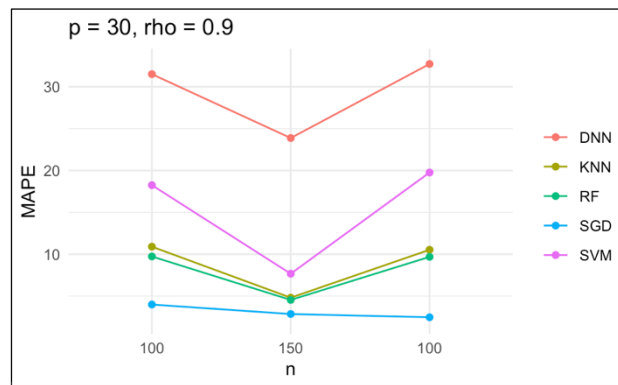


หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.49 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

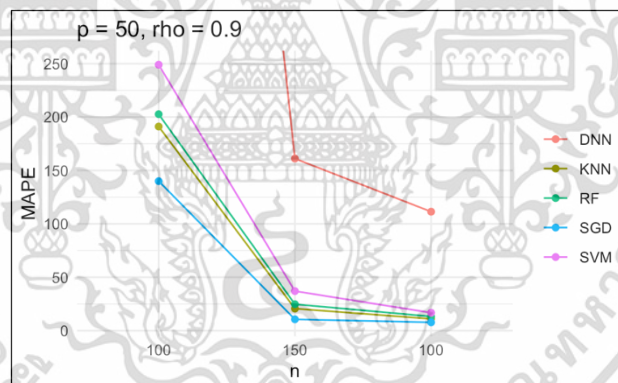
จากรูป 4.49 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี RF และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.50 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



หมายเหตุ : วิธี DNN ที่ $n = 100$ มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.51 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.51 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE

สูงที่สุด คือ วิธี DNN

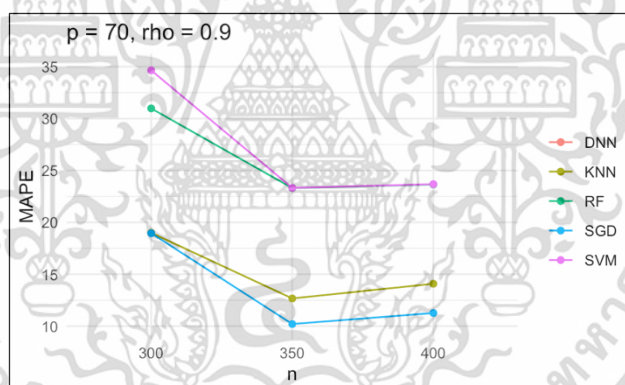
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	249.7985	211.8197	229.0479	232.1578	186.2081	170.2627	222.306	165.3112	159.225
KNN	18.9976	12.6698	14.0887	35.2235	19.9415	19.3064	25.6211	25.7601	24.6896
RF	30.9789	23.3044	23.6453	46.6145	31.1362	24.1693	31.7221	31.5659	27.5649
SGD	18.9514	10.207	11.2693	28.4607	23.874	17.5905	23.9781	25.1957	26.1012
SVM	34.6466	23.322	23.683	83.789	58.3575	47.9112	76.6472	69.0556	61.1995

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.22 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ได้แก่ วิธี SVM และ วิธี KNN แสดงดังรูปที่ 4.52 - 4.54

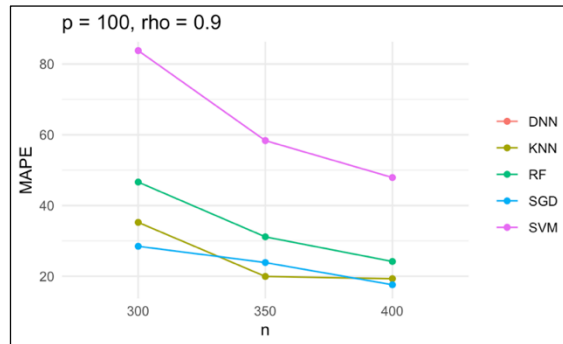


หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.52 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.52 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

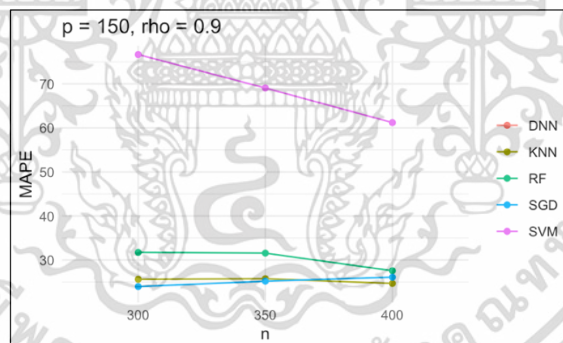
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.53 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.53 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SGD ที่ $n = 100, 200$ และ วิธี KNN ที่ $n = 150$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.54 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.54 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SGD ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี KNN ที่ $n = 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.17 – 4.22 แล้วจะสามารถเขียนตารางสรุปผลลัพธ์ของวิธีที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.23-4.24

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
p = 10	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	RF	RF	RF
p = 30	SVM	SGD	SGD	KNN	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
p = 50	SVM	SVM	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD

จากตารางที่ 4.23 พบว่า พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD เป็นส่วนมาก

ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	300	350	400	300	350	400	300	350	400
p = 70	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
p = 100	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	KNN	SGD
p = 150	SGD	SGD	SGD	SVM	SVM	SVM	SGD	SGD	KNN

จากตารางที่ 4.24 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD เป็นส่วนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์

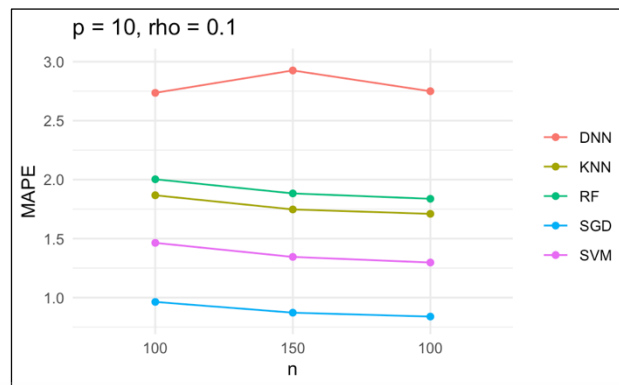
กำหนดค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนร่วม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ขนาดตัวอย่าง และตัวแปรอิสระเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัย แสดงผลดังตาราง 4.25-4.30 และรูปที่ 4.55-4.72

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	2.7357	2.9253	2.7493	4.8847	5.2081	4.9106	6.3949	6.813	6.3824
KNN	1.8674	1.7472	1.71	3.8807	3.7702	3.6793	5.4057	5.2853	5.2042
RF	2.003	1.883	1.8376	4.1001	3.9977	3.9094	5.625	5.5092	5.3965
SGD	0.9634	0.8721	0.8389	4.7586	1.9556	1.2278	15.3459	6.1072	3.0857
SVM	1.464	1.3447	1.2973	3.1141	2.5859	2.2533	4.7963	4.1501	3.6092

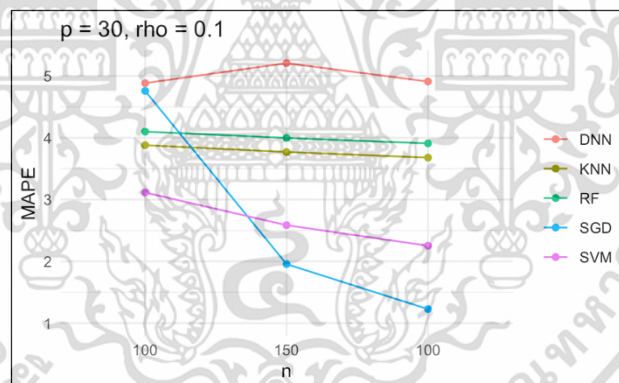
หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.25 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD แสดงดังรูปที่ 4.55 - 4.57



รูปที่ 4.55 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

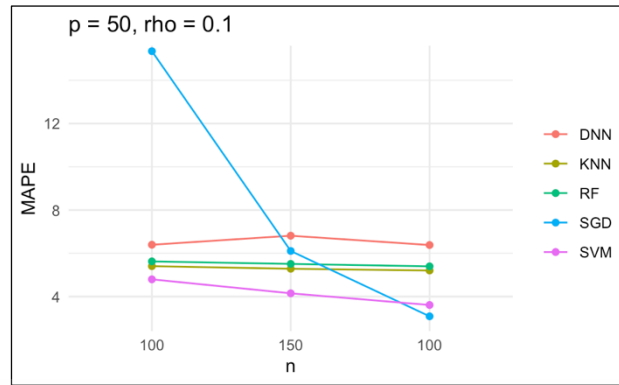
จากรูป 4.55 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี DNN



รูปที่ 4.56 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.56 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100$ และ วิธี SGD ที่ $n = 150, 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.57 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี SGD ที่ $n = 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ วิธี SGD ที่ $n = 100$ และ วิธี DNN ที่ $n = 150, 200$

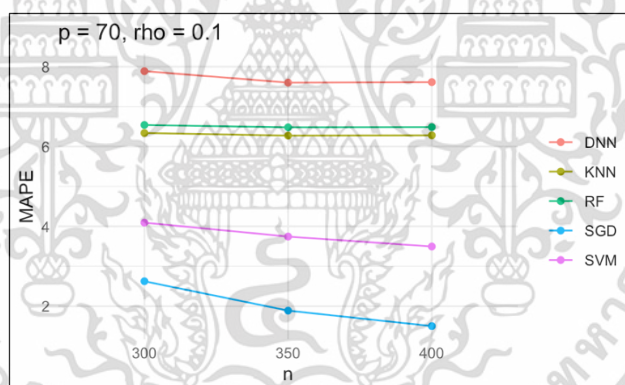
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	7.8877	7.6002	7.6122	9.484	9.171	9.1525	11.7016	11.3507	11.283
KNN	6.3379	6.2727	6.2801	7.962	7.925	7.8847	10.2607	10.2421	10.1903
RF	6.5394	6.4806	6.4866	8.1216	8.0752	8.0595	10.3396	10.3183	10.2463
SGD	2.6252	1.8902	1.5021	6.0402	4.145	3.0163	15.2407	10.9916	7.9848
SVM	4.093	3.7439	3.4953	5.8111	5.4057	5.0519	8.3534	7.9513	7.5208

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

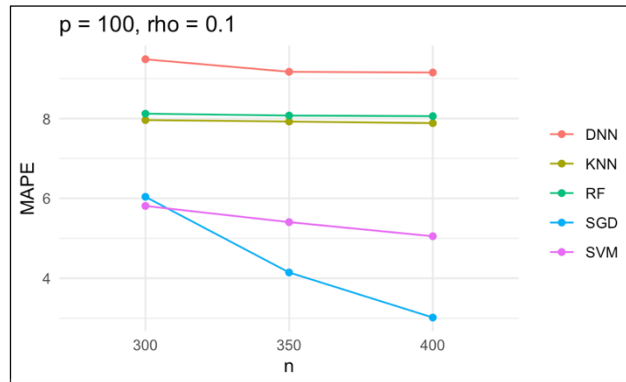
จากตารางที่ 4.26 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD แสดงดังรูปที่ 4.58 – 4.60



รูปที่ 4.58 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.58 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

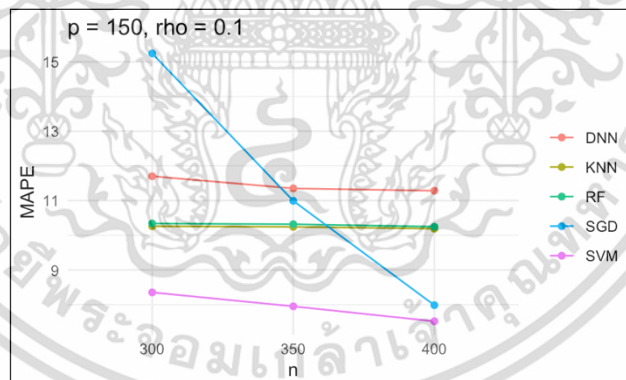
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ : วิธี SGD มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.59 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.59 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100$ และ วิธี SGD ที่ $n = 150, 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.60 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

จากรูป 4.60 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SVM และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ วิธี SGD ที่ $n = 100$ และ วิธี DNN ที่ $n = 150, 200$

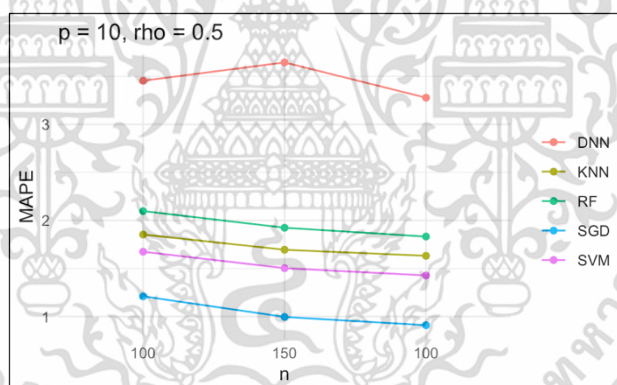
เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	3.4532	3.6439	3.2773	7.1472	7.4985	7.074	9.7883	10.531	9.7938
KNN	1.8537	1.6951	1.632	4.5126	4.2373	4.0868	6.7109	6.4626	6.2436
RF	2.0973	1.9243	1.8321	5.2642	5.0138	4.8306	7.6837	7.4691	7.2208
SGD	1.2106	0.9962	0.91	4.8905	2.5201	1.6878	12.6401	5.9797	3.5943
SVM	1.6745	1.5037	1.4279	3.3136	2.7801	2.5186	5.3486	4.3599	3.7027

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

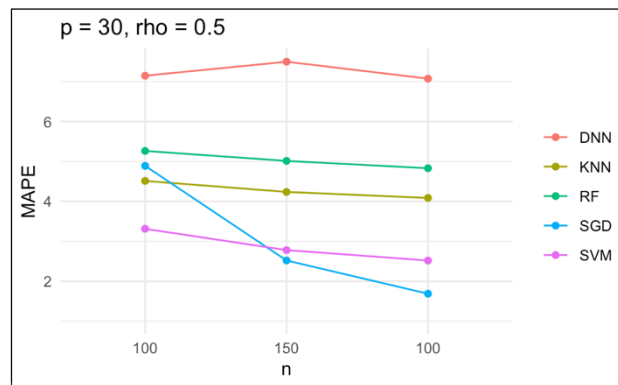
จากตารางที่ 4.27 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ได้แก่ วิธี SGD และ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.61 – 4.63



รูปที่ 4.61 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

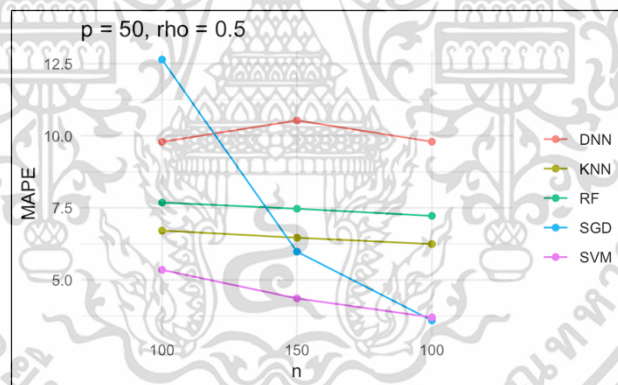
จากรูป 4.61 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.62 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100$ และ วิธี SGD ที่ $n = 150, 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.63 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.63 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี SGD ที่ $n = 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด ได้แก่ วิธี SGD ที่ $n = 100$ และ วิธี DNN ที่ $n = 150, 200$

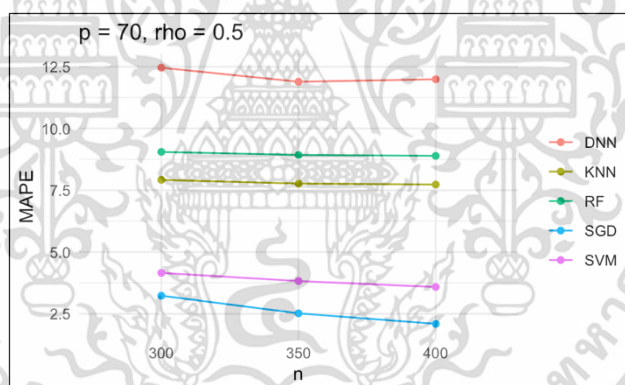
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	12.4569	11.8888	11.989	15.2318	14.7287	14.6475	19.5122	19.0212	18.8371
KNN	7.9193	7.7684	7.7307	10.4685	10.3142	10.2358	14.3909	14.2958	14.2237
RF	9.0512	8.9268	8.89	11.7086	11.6288	11.4996	15.7684	15.7532	15.6148
SGD	3.2318	2.5187	2.0946	6.0057	4.5323	3.5995	12.7932	9.7763	7.5614
SVM	4.1558	3.8252	3.5859	5.9934	5.4762	5.0631	9.4382	8.6957	8.03

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

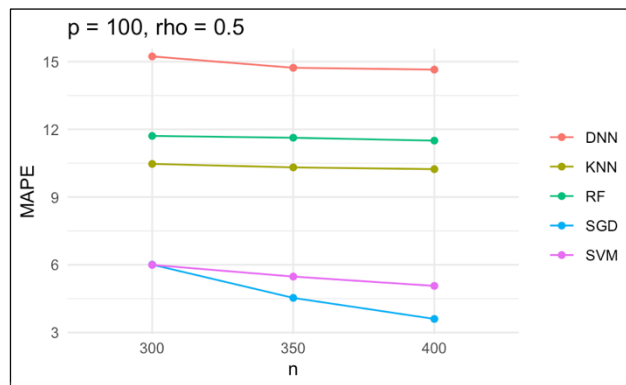
จากตารางที่ 4.28 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ได้แก่ วิธี SGD และ วิธี SVM แสดงดังรูปที่ 4.64 - 4.66



รูปที่ 4.64 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

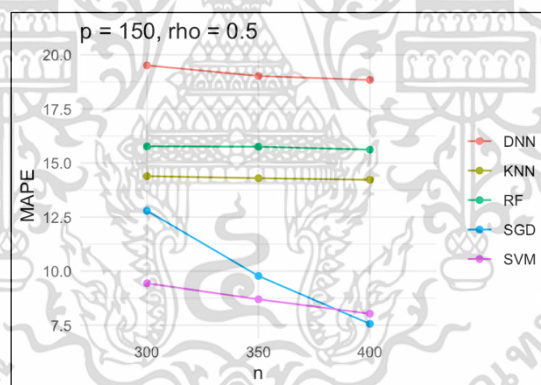
จากรูป 4.64 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.65 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.65 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100$ และ วิธี SGD ที่ $n = 150, 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.66 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.5$

จากรูป 4.66 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด ได้แก่ เส้นกราฟของวิธี SVM ที่ $n = 100, 150$ และ วิธี SGD ที่ $n = 200$ และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

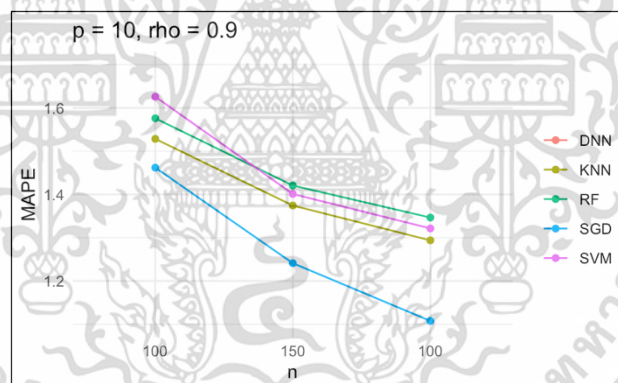
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	4.7578	4.937	4.5068	13.4353	14.0463	12.1364	24.2936	26.1684	24.3092
KNN	1.5284	1.3743	1.2938	4.5853	4.1336	3.7962	9.3105	9.0054	8.5139
RF	1.576	1.4206	1.3465	5.8393	5.2816	4.8796	12.017	11.5776	10.9871
SGD	1.4619	1.241	1.1075	3.284	2.3393	1.8859	6.1263	3.9596	3.0077
SVM	1.6259	1.4011	1.3214	4.4918	3.9063	3.5093	9.2525	9.0709	8.5914

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.29 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุที่ $p = 10, 30$ และ 50 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD แสดงดังรูปที่ 4.67 - 4.69

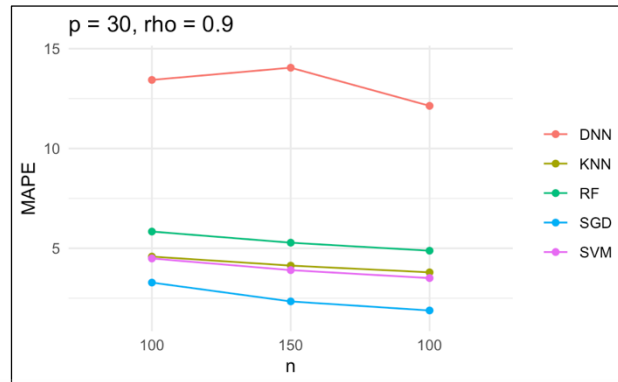


หมายเหตุ : วิธี DNN มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่าวิธีอื่นอย่างเห็นได้ชัดจึงตัดออกจากการสร้างกราฟแสดงผล

รูปที่ 4.67 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 10$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

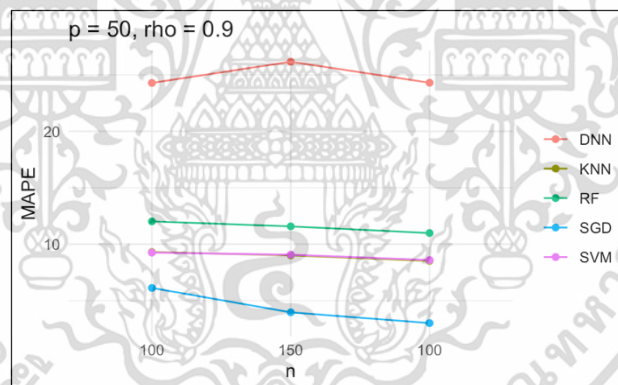
จากรูป 4.67 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 30$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.68 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.69 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.69 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

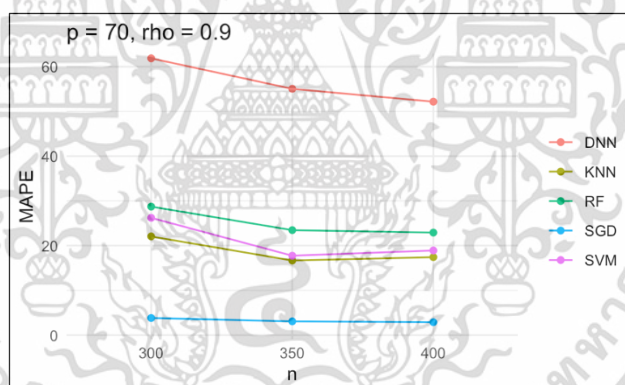
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	61.8622	55.0451	52.1733	140.9814	278.8848	124.5567	261.7849	264.2975	292.0928
KNN	22.0562	16.6751	17.4305	52.4802	95.9781	41.3821	106.0971	111.1227	97.7083
RF	28.7291	23.4617	22.9171	70.9935	144.7795	57.0781	143.5692	137.8632	146.5984
SGD	3.8328	3.072	2.8861	7.7915	9.1165	4.9599	16.2779	15.6297	13.3291
SVM	26.2132	17.7481	18.914	52.5167	150.9186	42.3139	80.2227	74.5795	68.321

หมายเหตุ : ตัวหนา หมายถึง ค่าที่มีค่าต่ำที่สุด

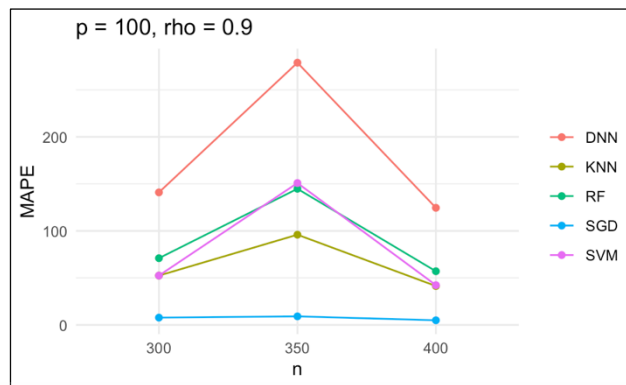
จากตารางที่ 4.30 พบว่าผลลัพธ์ของตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ที่ $p = 70, 100$ และ 150 ค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD แสดงดังรูปที่ 4.70 – 4.72



รูปที่ 4.70 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 70$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

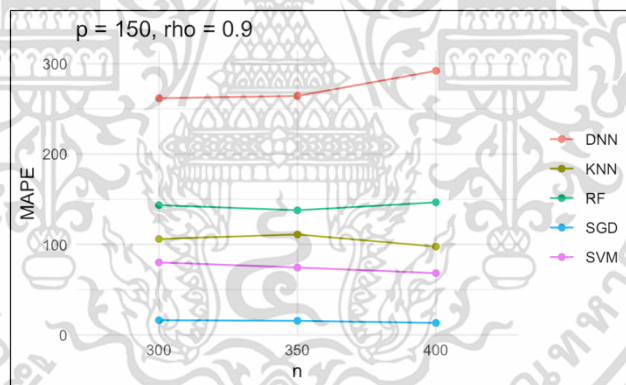
จากรูป 4.70 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.71 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 100$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.71 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN



รูปที่ 4.72 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทลิทซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดให้ $p = 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.9$

จากรูป 4.72 แสดงให้เห็นกราฟพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่าง (n) เพิ่มขึ้น ค่า MAPE จะลดลง โดยเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ เส้นกราฟของวิธี SGD และเส้นกราฟที่แสดงค่า MAPE สูงที่สุด คือ วิธี DNN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.25 – 4.30 แล้วจะสามารถเขียนตารางสรุปผลลัพธ์ของวิธีที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.31-4.32

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็ก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
p = 10	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
p = 30	SVM	SGD	SGD	SVM	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
p = 50	SVM	SVM	SGD	SVM	SVM	SGD	SGD	SGD	SGD

จากตารางที่ 4.31 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD เป็นส่วนมาก

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9

จำนวนตัวแปรอิสระ	ขนาดตัวอย่าง								
	rho = 0.1			rho = 0.5			rho = 0.9		
	300	350	400	300	350	400	300	350	400
p = 70	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
p = 100	SVM	SGD	SGD	SVM	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
p = 150	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SGD	SGD	SGD	SGD

จากตารางที่ 4.32 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (rho) = 0.1, 0.5 และ 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD เป็นส่วนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อภิปรายผล

จากการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ โดยมีวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยวัดจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ โดยกำหนดค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนร่วม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ขนาดตัวอย่าง และตัวแปรอิสระเป็นไปตามขอบเขตของงานวิจัย ผลการวิจัยพบว่าส่วนใหญ่ วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์เป็นวิธีที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh (2022). ที่ทำนายหุ้นชื่อ Nifty 50 โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง 8 วิธี คือ อะแดปทีฟ บูสต์ (Adaptive Boost: AdaBoost) วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยต้นไม้ตัดสินใจ วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดเคอ์นดับ วิธีการถดถอยเชิงเส้น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ และวิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (Stochastic Gradient Descent Regression) ซึ่งเมื่อเพิ่มขนาดของชุดข้อมูลวิธีสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์มีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ โดยจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์จากตารางที่ 4.7-4.8 ตารางที่ 4.15-4.16 ตารางที่ 4.23-4.24 และตารางที่ 4.31-4.32 แสดงดังตาราง 4.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1-4.32 สามารถเขียนตารางสรุปผลลัพธ์ของวิธีที่ดีที่สุดที่ให้ค่าที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ (MAPE) ของความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่และโทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 และ 1 โดยกำหนดกลุ่มตัวแปรอิสระ (p) ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.1, 0.5 และ 0.9

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย	จำนวนตัวแปรอิสระ	รูปแบบความสัมพันธ์คงที่			รูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์		
		$\rho=0.1$	$\rho=0.5$	$\rho=0.9$	$\rho=0.1$	$\rho=0.5$	$\rho=0.9$
$\beta = 0.1$	p=10	RF	RF	RF	RF	RF	RF
	p=30	SVM	RF	RF	SVM	SVM	RF
	p=50	SVM	KNN	RF	SVM	SVM	SVM
	p=70	SVM	KNN	RF	SVM	SVM	SVM
	p=100	SVM	KNN	RF	SVM	SVM	SVM
	p=150	SVM	KNN	KNN	SVM	SVM	SVM
$\beta = 1$	p=10	SGD	SGD	RF	SGD	SGD	SGD
	p=30	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
	p=50	SVM	SGD	SGD	SVM	SVM	SGD
	p=70	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
	p=100	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD	SGD
	p=150	SGD	SVM	SGD	SVM	SVM	SGD

จากตารางที่ 4.33 พบว่า เมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.1 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SVM ต่อมาเมื่อกำหนดใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) = 0.5 และ 0.9 วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสมบูรณ์ต่ำที่สุด คือ วิธี SGD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง จากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ โดยมีวิธีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง 5 วิธี คือ วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเค้นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ โดยวัดจากค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ โดยจะทำการจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรมอาร์ (R Program) ทำซ้ำ 1000 ครั้ง ได้ผลสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กรณีพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

พิจารณาเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 0.1 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่าวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (SVM) คือวิธีที่ดีที่สุด

พิจารณาเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 1 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่าวิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (SGD) คือวิธีที่ดีที่สุด

5.1.2 กรณีพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์

พิจารณาเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์ที่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่า วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (SGD) คือวิธีที่ดีที่สุด

พิจารณาเมื่อเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิช เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่า วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (SVM) คือวิธีที่ดีที่สุด

5.1.3 กรณีพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

พิจารณาเมื่อ $\rho = 0.1$ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่าวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (SVM) คือวิธีที่ดีที่สุด

พิจารณาเมื่อ $\rho = 0.5$ และ 0.9 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่า วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (SGD) คือวิธีที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 กรณีพิจารณาจำนวนตัวแปรอิสระ (p) และขนาดตัวอย่าง (n)

พิจารณากลุ่มตัวแปรอิสระขนาดเล็ก เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่า วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์ (SGD) คือวิธีที่ดีที่สุด

พิจารณากลุ่มตัวแปรอิสระขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ให้ค่าต่ำที่สุด จะพบว่า วิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ (SVM) คือวิธีที่ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เพื่อให้ได้ข้อสรุปของผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยอาจเพิ่มขนาดตัวอย่าง (n) และตัวแปรอิสระ (p) ให้มากกว่านี้ได้เพื่อจะหาข้อสรุปที่ชัดเจนขึ้น

5.2.2 การแจกแจงยังมีการแจกแจงอื่นๆ ที่สามารถนำมาศึกษาเพิ่มเติมได้ เช่น การแจกแจงแกมมาหลายตัวแปร (Multivariate Gamma Distribution) การแจกแจงทีหลายตัวแปร (Multivariate t-distribution) และการแจกแจงอนกนาม (Multinomial Distribution) เป็นต้น

5.2.3 ผู้ที่มีความประสงค์ที่จะนำไปใช้ในการวิจัยควรทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้โปรแกรมอื่นๆ นอกเหนือจากโปรแกรมอาร์ (R Program) ในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ภาษาไพธอน (Python) เป็นต้น

5.2.4 ควรมีการกำหนดชุดข้อมูลฝึกฝน (Train Data) กับ ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Data) ของข้อมูลตัวอย่างให้เหมาะสม เช่น ชุดข้อมูลฝึกฝน 60%, 80%, 90% และ ชุดข้อมูลทดสอบ 40%, 20%, 10%

5.2.5 เป็นแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจการเปรียบเทียบประสิทธิภาพนอกจากจะมีวิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก วิธีการถดถอยเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดเคอ็นดับ วิธีการถดถอยป่าสุ่ม วิธีการถดถอยสโตแคสติกเกรเดียนเดสเซนส์และวิธีการถดถอยซัพพอร์ตเวกเตอร์ ยังมีวิธีอื่นๆ เช่น วิธีการถดถอยโครงข่ายประสาทเทียม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข, ทศพล เกียรติเจริญผล, ฮนุฟ ไวยรูป, ทัดพล กุลวงศ์ และลัคน์สิริ ตีรานันรุจน์. 2564. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสปรอยเลอร์ ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ. Naresuan University Engineering Journal. 16: 167-187.
- ชุตินุช อินทรประสิทธิ์. 2561. การสอบบัญชีในยุค Big Data. วารสารสุทธิปริทัศน์. 103: 189-202.
- นัจรีภรณ์ สิมมาธ. 2561. ภาวะ Multicollinearity กับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ. วารสารการวัดผลการศึกษา. 16: 23-29.
- นัทธมน พลายอินทร์, ชนาพันธุ์ ชนาเนตร และวิภาดา ผาพันธ์. 2563. การพยากรณ์ค่า Scale ของ แผ่น PCB ชนิด Multilayer โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 39: 693-701.
- นิศาชล งามประเสริฐสิทธิ์ และจิราวัลย์ จิตรถเวช. 2556. การเปรียบเทียบการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีปัญหาสหสัมพันธ์เชิงเส้นพหุด้วยวิธีการถดถอยแบบบริดจ์และการค้นหาแบบต้องห้าม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2: 76-89.
- บุญเลี้ยง ทุมทอง. 2565. การวิเคราะห์ตัวแปรพหุคูณทางการศึกษา: สรุปผังความคิดรวบยอด. วารสารครุศาสตร์สาร. 2: 60-76.
- ปริญญา สงวนสัตย์. 2562. Artificial Intelligence with Machine Learning AI สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิง. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี. อินโฟเพรส.
- พรทิพย์ เดชพิชัย, ลัทธพล โชครัตน์ประภา, สุพิชฌ์ ศรีแพทย์ และณรรฐคุณ วิรุฬห์ศรี. 2565. การเปรียบเทียบตัวแบบการทำนายระดับและการเปลี่ยนระดับคุณค่าของลูกค้าในระยะยาว. วารสารการจัดการสมัยใหม่. 2: 113-142.
- พิศิษฐ์ บวรเลิศสุธี และวรภัทร ไพรีเกรง. 2565. ตัวแบบการวิเคราะห์ความรู้สึกทางอารมณ์สำหรับจำแนกประเภทบทความแนะนำสินค้าออนไลน์. Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT). 10: 71-79.
- ราชฤทธา รัตนวรกานต์. 2562. การหาค่าเหมาะสมที่สุดของการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้อัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ราชบัณฑิตยสภา. 2561. พจนานุกรมศัพท์สถิติศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักงานราชบัณฑิตยสภา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- รุจิรา อธิบาย, หทัยรัตน์ โกษิยาภรณ์, ชานีดา วิริยาทร, อานนท์ คุณากรจรัสพงศ์ และระพีพงศ์ สุพรรณไชยมาตย์. 2566. อัลกอริทึมของการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับงานวิจัยด้านสุขภาพ. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 3: 391-392.
- วิราภรณ์ กิตติบรรกุล, ศรายุทธ นนท์ศิริ และพิชิตชัย คำอินทร์. 2565. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์สำหรับเครื่องยนต์อากาศยาน. วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท.). 1: 1-14.
- มนตรี พิริยะกุล. 2544. เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอย. วารสารรวมคำแหง สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2: 67-81.
- ไสรยา แพสุวรรณ, สมพร ปันโกษา และบำรุง พ่วงเกิด. 2563. การพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ โดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก. การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15. 1: 2606-2617.
- สฤกษ์เทพ สุขแก้ว. 2565. วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. วารสารการวัด ประเมินผลสถิติ และการวิจัยทางสังคมศาสตร์. 1: 1-10.
- อัชฌา อระวีพร, ณัฐพล ใจผ่อง และอาทิมา อินพรม. 2565. การเปรียบเทียบการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบถดถอยพหุคูณเมื่อตัวแปรอิสระมีและไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 4: 1-14.
- Abu-Shaira, M. and Speegle, G. 2023. Online Linear Regression Based on Weighted Average. arXiv. Null: 2-14.
- Baldisseri, F., Wrona, A., Menegatti, D., Pietrabissa, A., Battilotti, S., Califano, C., Cristofaro, A., Di Giamberardino, P., Facchinei, F. and Palagi, L. 2023. Deep Neural Network Regression to Assist Non-Invasive Diagnosis of Portal Hypertension. Healthcare. 11: 1-12.
- Bayraci, A. and Susuz, O. 2019. A Deep Neural Network (DNN) Based Classification Model in Application to Loan Default Prediction. Theoretical and Applied Economics. 4: 75-84.
- Belmokre, A., Mihoubi, M. and Santillanb, D. 2019. Seepage and Dam Deformation Analyses with Statistical Models: Support Vector Regression Machine and Random Forest. Procedia Structural Integrity. 17: 698-703.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Best, J. and Kahn, J. 1977. **Research in Education**. 3rd ed. Englewood cliffs: N.J.: Prentice-Hall Inc.
- Cai, T., Gao, R. Hou, J. Chen, S. Wang, D. He, D. Zhang, Z. and Wang, L. 2019. **A Gram-Gauss-Newton Method Learning Overparameterized Deep Neural Networks for Regression Problems**. arXiv: 1905.11675.
- Chen, C.-H., Lai, J.-P., Chang, Y.-M., Lai, C.-J. and Pai, P.-F. 2023. **A Study of Optimization in Deep Neural Networks for Regression**. *Electronics*. 12: 1-17.
- Haji, S. and Abdulazeez, A. 2021. **Comparison of Optimization on Techniques Base on Gradient Descent Algorithm: A Review**. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology (PJAEE)*. 18(4): 2715-2743.
- Imandoust, S. and Bolandraftar, M. 2013. **Application of K-Nearest Neighbor (KNN) Approach for Predicting Economic Events: Theoretical Background**. *Journal of Engineering Research and Applications*. 3: 605-610.
- Islam, M., Tian, Y., Cheng, Y., Wang, Y. and Hu, P. 2018. **A Deep Neural Network Based Regression Model for Triglyceride Concentrations Prediction Using Epigenome-wide DNA Methylation Profiles**. *BioMed Central Proceedings*. 12: 55-60.
- Kibtia, H., Abdullah, s and Bustamam, A. 2020. **Comparison of Random Forest and Support Vector Machine for Prediction of Cognitive Impairment in Parkinson's Disease**. *The International Conference on Science and Applied Science*. 2296: 1-6.
- Li,Y., Zou, C., Berecibara, M., Nanini-Mauryc, E., Chand C.-W, J., Bosschea, P., Mierloa, J. and Omara, N. 2018. **Random forest regression for online capacity estimation of lithium-ion batteries**. *Applied Energy* 232: 197–210.
- Mas'ud, A. 2022. **Comparison of Three Machine Learning Models for The Prediction of Hourly PV Output Power in Saudi Arabia**. *Ain Shams Engineering Journal*. 13: 1-9.
- Nguyen, Q., Ly, H., Ho, L., Ansari, N., Le, H., Tran, V., Prakash, I. and Pham, B. 2021. **Influence of Data Splitting on Performance of Machine Learning Models in Prediction of Shear Strength of Soil**. *Hindawi*. 2021: 1-15.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Pedhazur, E.J. 1997. **Multiple Regression in Behavioral Research: An Explanation and Prediction**. Stamford. 14: 1002-1033.
- Rahul, K., Banyal, R. and Arora, N. 2023. **A Systematic Review on Big Data Applications and Scope for Industrial Processing and Healthcare Sectors**. Journal of Big Data. 10: 1-35.
- Schonlau, M and Zou, R. 2020. **The Random Forest Algorithm for Statistical Learning**. The Stata Journal. 1: 3-29.
- Singh, G. 2022. **Machine Learning Models in Stock Market Prediction**. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 3: 2278-3075.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	1.1659	1.2993	1.1475	1.8299	2.0069	1.6926	3.0451	3.2479	2.6347
KNN	1.2570	1.2540	1.2352	1.4915	1.4609	1.4496	1.8648	1.8031	1.7663
RF	1.1284	1.1218	1.0992	1.4524	1.3827	1.3581	2.1826	2.0719	1.9809
SGD	1.5590	1.2023	1.1094	42.9243	7.3657	2.6805	369.2791	64.6236	17.4168
SVM	1.1921	1.1858	1.1635	1.3726	1.3028	1.2829	1.7393	1.5776	1.4722

ตารางที่ ก-2 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	3.9882	3.5061	3.5286	6.7393	5.7283	5.7896	12.8202	11.6855	11.228
KNN	2.0728	2.04	2.0347	2.7734	2.6883	2.652	4.0865	3.9909	3.9403
RF	2.7854	2.707	2.6795	4.6997	4.545	4.4637	9.3071	9.0252	8.8172
SGD	12.3498	6.4365	4.0523	59.9182	29.1915	15.9931	338.259	182.3181	99.3268
SVM	1.6047	1.5388	1.5105	1.9941	1.9001	1.8208	2.9447	2.7424	2.5697

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 ที่ได้จาก การเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	1.1334	1.2495	1.1297	1.3794	1.5337	1.3857	1.6383	1.8447	1.6269
KNN	1.2533	1.2527	1.2315	1.4233	1.4094	1.4053	1.6496	1.6244	1.6065
RF	1.1306	1.1232	1.1	1.2914	1.2604	1.2463	1.5188	1.4754	1.4403
SGD	1.5146	1.193	1.1063	41.757	6.7354	2.463	390.4325	63.7326	16.1481
SVM	1.1748	1.1729	1.1513	1.2563	1.2188	1.1979	1.4469	1.3726	1.3106

ตารางที่ ก-4 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 0.1 ที่ได้จาก การเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	2.0121	1.8749	1.8922	2.4696	2.2439	2.2565	3.0527	2.8668	2.8436
KNN	1.8087	1.7913	1.7978	2.1592	2.1263	2.1228	2.7387	2.7112	2.7045
RF	1.6387	1.6115	1.6214	1.9816	1.9475	1.9502	2.5462	2.5206	2.4998
SGD	11.2697	5.7696	3.6201	58.3712	27.4225	14.6165	359.2467	187.4985	99.2886
SVM	1.389	1.3419	1.3223	1.6359	1.5636	1.5206	2.1113	2.0143	1.9371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	14.6969	16.7725	13.0437	87.3083	97.1892	71.4196	237.3439	258.5496	198.3362
KNN	5.7602	4.9112	4.6838	30.6209	27.2887	25.2971	68.4325	62.2789	57.2275
RF	7.1099	6.2242	5.859	48.9294	44.2461	41.5073	127.2032	117.5733	108.8416
SGD	1.5596	1.2023	1.1094	42.9795	7.3717	2.6801	369.4818	64.7123	17.4158
SVM	5.1398	4.2147	3.9038	25.7281	19.4791	16.9499	65.9135	49.4551	38.1259

ตารางที่ ก-6 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์คงที่ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	418.9705	343.0691	317.3623	893.6211	788.6762	752.8189	2082.194	1903.8639	1812.8361
KNN	88.6658	85.3042	83.5559	156.0023	150.1237	145.9169	290.6845	280.677	274.4572
RF	193.5071	186.0609	182.3091	385.7389	373.843	364.2974	857.4691	830.1139	808.3107
SGD	12.353	6.4368	4.0524	59.9122	29.2261	15.9881	338.3167	182.3591	99.2885
SVM	53.0247	46.0069	42.6232	97.8288	87.4605	77.9828	206.056	182.9794	161.6703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 10, 30, 50$ และ $n = 100, 150, 200$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 10			p = 30			p = 50		
	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200	n = 100	n = 150	n = 200
DNN	11.7873	13.8717	11.9082	36.9241	41.9718	37.1857	62.5247	72.6089	62.3068
KNN	5.549	4.8794	4.6626	23.3276	22.1193	21.1286	45.0455	43.0758	41.2348
RF	6.3528	5.6187	5.3593	25.8814	24.7358	23.7501	48.7391	46.6502	44.4873
SGD	1.5156	1.1931	1.1061	41.851	6.7515	2.4631	390.3942	63.649	16.162
SVM	3.9262	3.2485	3.0311	15.7413	11.3787	8.943	36.1798	27.4081	20.7874

ตารางที่ ก-8 ตัวอย่างตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE)

กำหนดให้ความแปรปรวนร่วมรูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย = 1 ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 70, 100, 150$ และ $n = 300, 350, 400$ เมื่อ $\rho = 0.1$

วิธี	p = 70			p = 100			p = 150		
	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400	n = 300	n = 350	n = 400
DNN	93.617	87.3292	86.659	132.4558	124.9757	124.0293	200.3178	187.035	186.5595
KNN	61.2945	59.9007	59.4391	95.0833	93.5063	92.8726	154.4772	152.6666	152.676
RF	64.9544	63.7376	62.9705	98.2388	97.1607	96.2304	156.2521	154.0863	153.6588
SGD	11.2818	5.7727	3.619	58.3752	27.5465	14.6112	359.7698	187.7465	99.4125
SVM	26.5089	22.5308	19.4569	51.2483	44.6054	39.0842	102.4245	92.2605	83.6536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คำสั่งโปรแกรม R Studio ที่ใช้ในปัญหาพิเศษ

```

*****
คำสั่งสำหรับการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความ
ผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้  $p = 10$ ,  $\rho = 0.1$ 
และ  $n = 100$  เมื่อรูปแบบความสัมพันธ์คงที่
*****

set.seed(99)

m = 1000

#####

n = 100
pSet = 10
rhoSet = 0.1

#####

library("MASS")
library(neuralnet)
library(rpart)
library(class)
library(e1071)
library(caTools)
library(randomForest)
library(deepnet)
library(caret)
library(kknn)

#####

mse_dnn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_dnn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_dnn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_dnn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_knn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_knn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_knn_test_vec <- vector('numeric', length = m)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mape_knn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_rf_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_rf_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_rf_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_rf_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_sgd_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_sgd_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_sgd_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_sgd_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_svm_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_svm_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_svm_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_svm_test_vec <- vector('numeric', length = m)
#####
gradDesc <- function(df, x, y, alpha, max_iter) {
  n <- nrow(df)
  x0 <- rep(1, nrow(df))
  x1 <- df[, x]
  x <- as.matrix(cbind(x0, x1))
  y <- df[[y]]

  b <- runif(ncol(x), 0, 1) #random 0-1
  yhat <- x %*% b
  mse <- (1 / n) * sum((y - yhat)** 2)
  converged <- F
  iteration <- 0
  while (converged == F) {
    iteration <- iteration + 1
    b_new <- b - alpha * (1 / n * t(x) %*% (yhat - y))
    b <- b_new
    yhat <- x %*% b
    mse_new <- (1 / n) * sum((y - yhat)** 2)
    if (iteration == max_iter) {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

converged <- T
return(b)
}
}
}

#####
for (j in 1:m) {
  cat("Round : ", j, "\n")
  set.seed(j)
  p <- pSet
  mu <- rep(0, p)
  rho = rhoSet
  error <- rnorm(n, mean = 0, sd = 1)
  R = matrix(rep(rho, p * p), ncol = p, nrow = p)
  diag(R) <- 1
  Cor <- matrix(c(R), ncol = p) #Constant
  X <- mvrnorm(n = n, mu = mu, Cor)
  Y = 100
  for (i in 1:p) {
    Y = Y + (0.1 * X[, i])
  }
  Y = Y + error

  data = data.frame(Y, X)
  sample <- sample(c(T, F), nrow(data), replace = T, prob = c(0.7, 0.3))

  train <- data[sample,]
  train_x <- subset(train, select = -Y)
  train_y <- train$Y
  test <- data[!sample,]
  test_x <- subset(test, select = -Y)
  test_y <- test$Y
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
##### SGD #####
col_name <- colnames(train)[2:ncol(train)]
weights_gd <- gradDesc(train, x = col_name, y = "Y", alpha = 0.01, max_iter = 1000)
predict_train_gd <- rep(weights_gd[1], nrow(train))
for (i in 1:length(col_name)) {
  predict_train_gd <- predict_train_gd + (train[[col_name[i]]] * weights_gd[i + 1])
}
mse_sgd_train_vec[j] <- mean((train$Y - predict_train_gd) ** 2)
mape_sgd_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - predict_train_gd) / train$Y)) * 100

predict_test_gd <- rep(weights_gd[1], nrow(test))
for (i in 1:length(col_name)) {
  predict_test_gd <- predict_test_gd + (test[[col_name[i]]] * weights_gd[i + 1])
}
mse_sgd_test_vec[j] <- mean((test$Y - predict_test_gd) ** 2)
mape_sgd_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - predict_test_gd) / test$Y)) * 100

##### KNN #####
model_knn = knnreg(train_x, train_y)

model_knn_train <- predict(model_knn, train_x)
model_knn_test <- predict(model_knn, test_x)

mse_knn_train_vec[j] <- mean((train$Y - model_knn_train) ^ 2)
mape_knn_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - model_knn_train) / train$Y)) * 100
mse_knn_test_vec[j] <- mean((test$Y - model_knn_test) ^ 2)
mape_knn_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - model_knn_test) / test$Y)) * 100

##### SVM #####
model_svm <- svm(train_x, train_y)
train_svm <- predict(model_svm, train_x)
mse_svm_train_vec[j] <- mean((train$Y - train_svm) ^ 2)
mape_svm_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - train_svm) / train$Y)) * 100
```

```

test_svm <- predict(model_svm, test_x)
mse_svm_test_vec[j] <- mean((test$Y - test_svm) ^ 2)
mape_svm_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - test_svm) / test$Y)) * 100

##### RF #####
model_rf <- randomForest(Y ~ ., data = train)
train_rf <- predict(model_rf, train)
mse_rf_train_vec[j] <- mean((train$Y - train_rf) ^ 2)
mape_rf_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - train_rf) / train$Y)) * 100

test_rf <- predict(model_rf, test)
mse_rf_test_vec[j] <- mean((test$Y - test_rf) ^ 2)
mape_rf_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - test_rf) / test$Y)) * 100

trainIndex <- createDataPartition(data$Y, p = .7, list = FALSE)
trainData <- data[trainIndex,]
testData <- data[-trainIndex,]

##### DNN #####
train_x_matrix <- as.matrix(subset(train, select = -Y))
train_y_vector <- train$Y
test_x_matrix <- as.matrix(subset(test, select = -Y))

model_dnn <- dbn.dnn.train(train_x_matrix, train_y_vector, hidden = c(5, 3, 1),
output = 'linear', numepochs = 200)
prediction_dnn <- nn.predict(model_dnn, test_x_matrix)
mse_dnn_test_vec[j] <- mean((test$Y - prediction_dnn) ^ 2)
mape_dnn_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - prediction_dnn) / test$Y)) * 100

prediction_dnn_train <- nn.predict(model_dnn, train_x_matrix)
mse_dnn_train_vec[j] <- mean((train$Y - prediction_dnn_train) ^ 2)
mape_dnn_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - prediction_dnn_train) / train$Y)) * 100

```

```

}
mse_dnn_train_mean <- mean(mse_dnn_train_vec)
mape_dnn_train_mean <- mean(mape_dnn_train_vec)
mse_dnn_test_mean <- mean(mse_dnn_test_vec)
mape_dnn_test_mean <- mean(mape_dnn_test_vec)

mse_knn_train_mean <- mean(mse_knn_train_vec)
mape_knn_train_mean <- mean(mape_knn_train_vec)
mse_knn_test_mean <- mean(mse_knn_test_vec)
mape_knn_test_mean <- mean(mape_knn_test_vec)

mse_rf_train_mean <- mean(mse_rf_train_vec)
mape_rf_train_mean <- mean(mape_rf_train_vec)
mse_rf_test_mean <- mean(mse_rf_test_vec)
mape_rf_test_mean <- mean(mape_rf_test_vec)

mse_sgd_train_mean <- mean(mse_sgd_train_vec)
mape_sgd_train_mean <- mean(mape_sgd_train_vec)
mse_sgd_test_mean <- mean(mse_sgd_test_vec)
mape_sgd_test_mean <- mean(mape_sgd_test_vec)

mse_svm_train_mean <- mean(mse_svm_train_vec)
mape_svm_train_mean <- mean(mape_svm_train_vec)
mse_svm_test_mean <- mean(mse_svm_test_vec)
mape_svm_test_mean <- mean(mape_svm_test_vec)

cat("\n MSE DNN (Train):", mse_dnn_train_mean)
cat("\n MAPE DNN (Train):", mape_dnn_train_mean)
cat("\n MSE DNN (Test):", mse_dnn_test_mean)
cat("\n MAPE DNN (Test):", mape_dnn_test_mean)

```

cat("\n MSE KNN (Train):", mse_knn_train_mean)
cat("\n MAPE KNN (Train):", mape_knn_train_mean)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่มีเหตุอันสมควร และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cat("\n MSE KNN (Test):", mse_knn_test_mean)
cat("\n MAPE KNN (Test):", mape_knn_test_mean)
```

```
cat("\n MSE RF (Train):", mse_rf_train_mean)
cat("\n MAPE RF (Train):", mape_rf_train_mean)
cat("\n MSE RF (Test):", mse_rf_test_mean)
cat("\n MAPE RF (Test):", mape_rf_test_mean)
```

```
cat("\n MSE SGD (Train):", mse_sgd_train_mean)
cat("\n MAPE SGD (Train):", mape_sgd_train_mean)
cat("\n MSE SGD (Test):", mse_sgd_test_mean)
cat("\n MAPE SGD (Test):", mape_sgd_test_mean)
```

```
cat("\n MSE SVM (Train):", mse_svm_train_mean)
cat("\n MAPE SVM (Train):", mape_svm_train_mean)
cat("\n MSE SVM (Test):", mse_svm_test_mean)
cat("\n MAPE SVM (Test):", mape_svm_test_mean)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งสำหรับการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ $p = 10$, $\rho = 0.1$ และ $n = 100$ เมื่อ รูปแบบความสัมพันธ์โทพลิกซ์

```

set.seed(99)

m = 1000

#####

n = 100

pSet = 10

rhoSet = 0.1

#####

library("MASS")
library(neuralnet)
library(rpart)
library(class)
library(e1071)
library(caTools)
library(randomForest)
library(deepnet)
library(caret)
library(kknn)

#####

mse_dnn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_dnn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_dnn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_dnn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_knn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_knn_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_knn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_knn_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_rf_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_rf_train_vec <- vector('numeric', length = m)

```

```

mse_rf_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_rf_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_sgd_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_sgd_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_sgd_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_sgd_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_svm_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_svm_train_vec <- vector('numeric', length = m)
mse_svm_test_vec <- vector('numeric', length = m)
mape_svm_test_vec <- vector('numeric', length = m)
#####
gradDesc <- function(df, x, y, alpha, max_iter) {
  n <- nrow(df)
  x0 <- rep(1, nrow(df))
  x1 <- df[, x]
  x <- as.matrix(cbind(x0, x1))
  y <- df[[y]]

  b <- runif(ncol(x), 0, 1) #random 0-1
  yhat <- x %*% b
  mse <- (1 / n) * sum((y - yhat) ** 2)
  converged <- F
  iteration <- 0
  while (converged == F) {
    iteration <- iteration + 1
    b_new <- b - alpha * (1 / n * t(x) %*% (yhat - y))
    b <- b_new
    yhat <- x %*% b
    mse_new <- (1 / n) * sum((y - yhat) ** 2)
    if (iteration == max_iter) {
      converged <- T
      return(b)
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
}

#####

for (j in 1:m) {
  cat("Round : ", j, "\n")
  set.seed(j)
  p <- pSet
  mu <- rep(0, p)
  rho = rhoSet
  error <- rnorm(n, mean = 0, sd = 1)
  R = matrix(rep(rho, p * p), ncol = p, nrow = p)
  diag(R) <- 1
  Cor <- outer(1:p, 1:p, function(x,y){rho^abs(x-y)}) # Toeplitz
  X <- mvrnorm(n = n, mu = mu, Cor)
  Y = 100
  for (i in 1:p) {
    Y = Y + (0.1 * X[, i])
  }
  Y = Y + error

  data = data.frame(Y, X)
  sample <- sample(c(T, F), nrow(data), replace = T, prob = c(0.7, 0.3))

  train <- data[sample,]
  train_x <- subset(train, select = -Y)
  train_y <- train$Y
  test <- data[!sample,]
  test_x <- subset(test, select = -Y)
  test_y <- test$Y

##### SGD #####
  col_name <- colnames(train)[2:ncol(train)]
  weights_gd <- gradDesc(train, x = col_name, y = "Y", alpha = 0.01, max_iter = 1000)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ขงขงใจของเอกสารทุกสิ่งที่มีกรนไป

```

predict_train_gd <- rep(weights_gd[1], nrow(train))
for (i in 1:length(col_name)) {
  predict_train_gd <- predict_train_gd + (train[[col_name[i]]] * weights_gd[i + 1])
}
mse_sgd_train_vec[j] <- mean((train$Y - predict_train_gd) ** 2)
mape_sgd_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - predict_train_gd) / train$Y)) * 100

predict_test_gd <- rep(weights_gd[1], nrow(test))
for (i in 1:length(col_name)) {
  predict_test_gd <- predict_test_gd + (test[[col_name[i]]] * weights_gd[i + 1])
}
mse_sgd_test_vec[j] <- mean((test$Y - predict_test_gd) ** 2)
mape_sgd_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - predict_test_gd) / test$Y)) * 100

##### KNN #####
model_knn = knnreg(train_x, train_y)
model_knn_train <- predict(model_knn, train_x)
model_knn_test <- predict(model_knn, test_x)

mse_knn_train_vec[j] <- mean((train$Y - model_knn_train) ^ 2)
mape_knn_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - model_knn_train) / train$Y)) * 100
mse_knn_test_vec[j] <- mean((test$Y - model_knn_test) ^ 2)
mape_knn_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - model_knn_test) / test$Y)) * 100

##### SVM #####
model_svm <- svm(train_x, train_y)
train_svm <- predict(model_svm, train_x)
mse_svm_train_vec[j] <- mean((train$Y - train_svm) ^ 2)
mape_svm_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - train_svm) / train$Y)) * 100

test_svm <- predict(model_svm, test_x)
mse_svm_test_vec[j] <- mean((test$Y - test_svm) ^ 2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามและประทับตราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังฝ่ายของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mape_svm_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - test_svm) / test$Y)) * 100

##### RF #####
model_rf <- randomForest(Y ~ ., data = train)
train_rf <- predict(model_rf, train)
mse_rf_train_vec[j] <- mean((train$Y - train_rf) ^ 2)
mape_rf_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - train_rf) / train$Y)) * 100

test_rf <- predict(model_rf, test)
mse_rf_test_vec[j] <- mean((test$Y - test_rf) ^ 2)
mape_rf_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - test_rf) / test$Y)) * 100

trainIndex <- createDataPartition(data$Y, p = .7, list = FALSE)
trainData <- data[trainIndex,]
testData <- data[-trainIndex,]

##### DNN #####
train_x_matrix <- as.matrix(subset(train, select = -Y))
train_y_vector <- train$Y
test_x_matrix <- as.matrix(subset(test, select = -Y))

model_dnn <- dbn.dnn.train(train_x_matrix, train_y_vector, hidden = c(5, 3, 1),
output = 'linear', numepochs = 200)
prediction_dnn <- nn.predict(model_dnn, test_x_matrix)
mse_dnn_test_vec[j] <- mean((test$Y - prediction_dnn) ^ 2)
mape_dnn_test_vec[j] <- mean(abs((test$Y - prediction_dnn) / test$Y)) * 100

prediction_dnn_train <- nn.predict(model_dnn, train_x_matrix)
mse_dnn_train_vec[j] <- mean((train$Y - prediction_dnn_train) ^ 2)
mape_dnn_train_vec[j] <- mean(abs((train$Y - prediction_dnn_train) / train$Y)) * 100
}

mse_dnn_train_mean <- mean(mse_dnn_train_vec)
mape_dnn_train_mean <- mean(mape_dnn_train_vec)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีเหตุอันสมควร และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mse_dnn_test_mean <- mean(mse_dnn_test_vec)
mape_dnn_test_mean <- mean(mape_dnn_test_vec)
```

```
mse_knn_train_mean <- mean(mse_knn_train_vec)
mape_knn_train_mean <- mean(mape_knn_train_vec)
mse_knn_test_mean <- mean(mse_knn_test_vec)
mape_knn_test_mean <- mean(mape_knn_test_vec)
```

```
mse_rf_train_mean <- mean(mse_rf_train_vec)
mape_rf_train_mean <- mean(mape_rf_train_vec)
mse_rf_test_mean <- mean(mse_rf_test_vec)
mape_rf_test_mean <- mean(mape_rf_test_vec)
```

```
mse_sgd_train_mean <- mean(mse_sgd_train_vec)
mape_sgd_train_mean <- mean(mape_sgd_train_vec)
mse_sgd_test_mean <- mean(mse_sgd_test_vec)
mape_sgd_test_mean <- mean(mape_sgd_test_vec)
```

```
mse_svm_train_mean <- mean(mse_svm_train_vec)
mape_svm_train_mean <- mean(mape_svm_train_vec)
mse_svm_test_mean <- mean(mse_svm_test_vec)
mape_svm_test_mean <- mean(mape_svm_test_vec)
```

```
cat("\n MSE DNN (Train):", mse_dnn_train_mean)
cat("\n MAPE DNN (Train):", mape_dnn_train_mean)
cat("\n MSE DNN (Test):", mse_dnn_test_mean)
cat("\n MAPE DNN (Test):", mape_dnn_test_mean)
```

```
cat("\n MSE KNN (Train):", mse_knn_train_mean)
cat("\n MAPE KNN (Train):", mape_knn_train_mean)
cat("\n MSE KNN (Test):", mse_knn_test_mean)
```

```
cat("\n MAPE KNN (Test):", mape_knn_test_mean)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลวงแผ่นดิน หรือเอกสารเชิงนโยบายหรือเอกสารที่อื่นนั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cat("\n MSE RF (Train):", mse_rf_train_mean)
cat("\n MAPE RF (Train):", mape_rf_train_mean)
cat("\n MSE RF (Test):", mse_rf_test_mean)
cat("\n MAPE RF (Test):", mape_rf_test_mean)
```

```
cat("\n MSE SGD (Train):", mse_sgd_train_mean)
cat("\n MAPE SGD (Train):", mape_sgd_train_mean)
cat("\n MSE SGD (Test):", mse_sgd_test_mean)
cat("\n MAPE SGD (Test):", mape_sgd_test_mean)
```

```
cat("\n MSE SVM (Train):", mse_svm_train_mean)
cat("\n MAPE SVM (Train):", mape_svm_train_mean)
cat("\n MSE SVM (Test):", mse_svm_test_mean)
cat("\n MAPE SVM (Test):", mape_svm_test_mean)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****
คำสั่งสำหรับกราฟค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ได้จากการเรียนรู้ของ
เครื่องทั้ง 5 วิธี โดยกำหนดให้ p = 10, rho=0.1 และ n = 100, 150, 200 เมื่อรูปแบบความสัมพันธ์
คงที่
*****

library(ggplot2)

data <- data.frame(
  Model = c("DNN", "KNN", "RF", "SGD", "SVM"),
  n_100 = c(0.862, 0.8936, 0.8486, 0.9745, 0.8718),
  n_150 = c(0.911, 0.8943, 0.8451, 0.8743, 0.8688),
  n_200 = c(0.8541, 0.8872, 0.8375, 0.8392, 0.86)
)

data_long <- reshape2::melt(data, id.vars = "Model", variable.name = "n", value.name
= "MAPE")

gg <- ggplot(data_long, aes(x = as.factor(n), y = MAPE, group = Model, color = Model))
+
  geom_line() +
  geom_point() +
  labs(x = "n", y = "MAPE", title = "p = 10, rho = 0.1") +
  theme_minimal() +
  scale_x_discrete(labels = c("100", "150", "200")) +
  scale_color_discrete(name = "") +
  guides(color = guide_legend(title = NULL))

gg + coord_cartesian(ylim = c(0.8, 1))
*****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มปัญหาพิเศษ

วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2567

ข้าพเจ้า	นางสาวนราทิพย์	เกตอุ๊ต	รหัสนักศึกษา	63050634
	นางสาวนวินดา	ห้วงแก้วพราย	รหัสนักศึกษา	63050635
	นางสาวปนัดดา	พรหมทอง	รหัสนักศึกษา	63050640

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา สถิติประยุกต์ ภาควิชา สถิติ
ขอรับรองว่าปัญหาพิเศษ เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง
จากตัวแบบถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเมื่อข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ
A Comparison of The Performance of Machine Learning Methods
from Multiple Linear Regression Models Using Multicollinearity Data

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้วและได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
ปัญหาพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ 0.48%

ลงชื่อ นราทิพย์ เกตุอุ๊ต ลงชื่อ พิชชา ห่วงแก้วพราย ลงชื่อ ปนัดดา พรหมทอง
(นางสาวนราทิพย์ เกตุอุ๊ต) (นางสาวนวินดา ห่วงแก้วพราย) (นางสาวปนัดดา พรหมทอง)
นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร.อัชฌา อระวีพร อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ได้ตรวจสอบปัญหาพิเศษ ของ
นักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้

ลงชื่อ อิม อระวีพร เป็นหลักฐาน
(รศ.ดร.อัชฌา อระวีพร)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้