การทำนายปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

PREDICTION OF WATER CONSUMPTION IN SERVICE AREA OF METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY

ปัญญวี เย็นอังกูร
PANYAWEE YENANGKUL

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2568
KMITL-2025-SC-M-050-044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREDICTION OF WATER CONSUMPTION IN SERVICE AREA OF METROPOLITAN WATERWORKS AUTHORITY

PANYAWEE YENANGKUL

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN STATISTICS
AND BUSINESS ANALYTICS
DEPARTMENT OF STATISTICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2025
KMITL-2025-SC-M-050-044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2025
SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ การทำนายปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง
ชื่อนักศึกษา ปัญญวี เย็นอังกูร
รหัสประจำตัว 65056060
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ)
ภาควิชา สถิติ
พ.ศ. 2568
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง ซึ่งได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ และสร้างสมการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยเป็นข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปา ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง รวมถึงข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำประปา โดยมีรูปแบบข้อมูลเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 รวมทั้งสิ้น 84 เดือน โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน ซึ่งข้อมูลส่วนแรกใช้เพื่อสร้างตัวแบบการทำนายทั้งสิ้น 72 เดือน และส่วนที่สองใช้สำหรับการตรวจสอบการทำนายเพื่อวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ทั้งสิ้น 12 เดือน จากการวิเคราะห์พบว่า มีปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปา จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนประชากร และอุณหภูมิสูงสุด โดยจำนวนประชากรเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำมากกว่า เมื่อพิจารณาจากค่า Standardized Coefficients Beta และทั้ง 2 ปัจจัยเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณการใช้น้ำประปา กล่าวคือ เมื่อจำนวนประชากรและอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำประปาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากลักษณะของพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับชุมชนเมือง ซึ่งสัมพันธ์ใกล้ชิดกับขนาดของประชากรโดยตรง กล่าวคือ เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคย่อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย รวมถึงอุณหภูมิสูงสุดเป็นตัวแปรที่สะท้อนถึงสภาพอากาศในช่วงวันที่มีอุณหภูมิร้อนจัด ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการใช้น้ำ เช่น การอาบน้ำบ่อยขึ้น หรือการใช้น้ำเพื่อระบายความร้อน ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว และเมื่อนำสมการถดถอยมาทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยใช้ค่าของตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวในปี พ.ศ. 2566 ได้ค่า Adjusted R-squared เท่ากับ 0.435 กล่าวคือ ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ 43.5%

คำสำคัญ : การคัดเลือกตัวแปรแบบแบบขั้นตอน, การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ, ปริมาณการใช้น้ำประปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Independent Study Title	Prediction of Water Consumption in Service Area of Metropolitan Waterworks Authority
Student Name	Panyawee Yenangkul
Student ID	65056060
Degree	Master of Science (Statistics and Business Analytics)
Department	Statistic
Year	2025
Independent Study Advisor	Asst.Prof.Dr.Sittichai Charoensettasilp

Abstract

The purpose of this research was to analyze the factors influencing water consumption in the Metropolitan Waterworks Authority's service area by using Multiple Linear Regression Analysis to develop a predictive model for water consumption. The selection of independent variables was carried out using the Stepwise Selection. The data used in the study consisted of secondary data, specifically water consumption in the Metropolitan Waterworks Authority's service area. This data spanned from January 2017 to December 2023, comprising a total of 84 months. The data was divided into two parts: 72 months for creating the predictive model and 12 months for testing the predictions and measuring prediction errors. The resulting regression model included 2 independent variables. These variables were population size and maximum temperature, with population size having a greater impact as indicated by the standardized coefficients beta. Both factors exhibited a positive relationship with water consumption, indicating that increases in population and maximum temperature are associated with higher water consumption. This may be attributed to urban water use behaviors, which are closely linked to population size, as a larger population increases the demand for water for domestic use. Additionally, higher maximum temperatures reflect extreme weather conditions, influencing behaviors such as more frequent bathing or increased water use for cooling, thereby raising water consumption during such periods. The predictive equation, when applied using the 2023 values of the two independent variables, yielded an adjusted R-squared of 0.435, indicating that the independent variables explained 43.5% of the variance in the dependent variable.

Keywords : Stepwise Selection, Multiple Linear Regression Analysis, water consumption

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขปัญหาข้อผิดพลาด ข้อบกพร่อง ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งงานการค้นคว้าอิสระนี้เสร็จสมบูรณ์ ทางผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการ ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ และ ผศ.ดร.กนกกรรณ์ ลิ้โรจนาประภา ที่เมตตาให้คำปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อนำมาแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้การค้นคว้าอิสระนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ การประปานครหลวง กรมการปกครอง กรมการจัดหางาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้เผยแพร่ข้อมูลออนไลน์ให้ผู้จัดทำได้ใช้ศึกษาในการค้นคว้าอิสระนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในการศึกษา รวมถึงกำลังใจและความช่วยเหลือที่ดีเสมอมาจากครอบครัว เพื่อนร่วมคณะ และเพื่อนร่วมงาน จนทำให้การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ปัญญวี เย็นอังกูร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....ก
ABSTRACT .....ข
กิตติกรรมประกาศ .....ค
สารบัญ .....ง
สารบัญตาราง .....ฉ
สารบัญรูป .....ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 สมมติฐานการวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 3
1.7 กรอบแนวคิด 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการประปานครหลวง 4
2.2 ความรู้เกี่ยวกับจำนวนประชากร 6
2.3 ความรู้เกี่ยวกับแรงงานต่างชาติ 6
2.4 ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 7
2.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 7
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 24
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 24
3.2 การเตรียมข้อมูล 24
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล 25
3.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 26
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ.....26
4.2 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 27
4.3 การตรวจสอบข้อตกลงของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 29
4.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 33
4.5 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 ค่าการทำนายปริมาณความต้องการน้ำประปาแบบช่วง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2568 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568 34
4.7 การอภิปรายผล 35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 34
5.1 สรุปผลการวิจัย 36
5.2 สรุปผลตามวัตถุประสงค์การวิจัย 36
5.3 การสรุปผลเพื่อนำไปใช้ 37
5.4 ข้อเสนอแนะ 37
5.5 ข้อจำกัดในงานวิจัย 37
บรรณานุกรม 38
ภาคผนวก 40
ภาคผนวก ก 41
ประวัติผู้เขียน 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ ANOVA 12
2.2 ตารางสูตรในการคำนวณค่าพารามิเตอร์การวิเคราะห์ความแปรปรวน 17
4.1 ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ.....26
4.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม 27
4.3 ตัวแปรอิสระที่เข้ามาในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน 28
4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ 28
4.5 ตัวแปรอิสระที่เข้ามาในสมการถดถอยโดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน 29
4.6 การทดสอบการแจกแจงปรกติของค่าคลาดเคลื่อนโดยใช้การทดสอบ Lilliefors 30
4.7 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของตัวแปร 30
4.8 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธี Durbin-Watson 31
4.9 การทดสอบตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ 31
4.10 ค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 32
4.11 การคำนวณรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 33
4.12 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 34
4.13 ค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการน้ำประปา ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2568 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2568 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย 3
2.1 กระบวนการผลิตน้ำของการประปานครหลวง 5
4.1 แผนภาพกระจายของค่าคลาดเคลื่อน 30
4.2 แผนภาพกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อน จากค่า Cook's Distance 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทรัพยากรน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและระบบเศรษฐกิจทั้งทางตรงในด้านของการเป็นปัจจัยการผลิต และทางอ้อมที่ส่งผลต่อการอุปโภคบริโภคของประชาชนที่เป็นทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค (เฉลิมวุฒิ, 2563) โดยการใช้น้ำในประเทศไทยอาจแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ 1) การใช้น้ำเพื่อการเกษตรชลประทานและการปศุสัตว์ 2) การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค 3) การใช้น้ำในโรงงานอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว 4) การใช้น้ำในการผลิตไฟฟ้า และ 5) การใช้น้ำในการรักษาสมดุลนิเวศท้ายน้ำ โดยการใช้น้ำในสามประเภทแรกถือเป็นกิจกรรมหลักของการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคภายในประเทศ (เฟิลแคร์, 2562)

สถาบันจัดการน้ำระหว่างประเทศ (IWMI) ประมาณการว่าในราวปี ค.ศ. 2025 (พ.ศ.2568) ประชากร 4,000 ล้านคน ใน 48 ประเทศ (2 ใน 3 ของประชากรโลก) จะเผชิญกับปัญหาความขาดแคลนน้ำ ขณะที่องค์การสหประชาชาติ (ยูเอ็น) ระบุว่า ความต้องการใช้น้ำจืดของคนทั่วโลกจะมีมากกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ 40% ภายในปี 2030 (พ.ศ.2573) จากหลายปัจจัยประกอบกัน คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การกระทำของมนุษย์ และการขยายตัวของจำนวนประชากร (กองบรรณาธิการเว็บไซต์ citizenthaipbs, 2565) โดยปกติสถานการณ์ทรัพยากรน้ำของประเทศไทยในแต่ละฤดูจะประสบกับปัญหาที่แตกต่างกัน คือ ปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง และปัญหาน้ำล้นเกินในฤดูฝน (ณิชา, 2555) แต่ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนน้ำเกิดขึ้นนอกฤดูกาล โดยวิกฤตน้ำที่กำลังเผชิญอยู่มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ทั้งการขาดประสิทธิภาพในการบริหารจัดการน้ำ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปริมาณความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้นจากทุกภาคส่วน และสถานการณ์แหล่งน้ำสะอาดถูกคุกคามจากผู้ก่อมลพิษ (เฟิลแคร์, 2562) สำหรับภาคกลาง โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพฯ จากข้อมูลงานวิจัยฯ ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ระบุว่า คนกรุงเทพฯ ซึ่งมีจำนวนมากกว่า 8 ล้านคน มีความต้องการน้ำใช้เฉลี่ยวันละ 200 ลิตรต่อคน เมื่อเทียบกับคนต่างจังหวัดที่ใช้น้ำเฉลี่ยต่อคนวันละ 50 ลิตร ขณะที่แหล่งน้ำเพื่อการบริโภคของคนกรุงเทพฯ มาจากน้ำประปา และซื้อน้ำดื่มเป็นหลัก รวมถึงการกระจุกตัวของประชากร ก็ส่งผลให้ความต้องการน้ำค่อย ๆ ทวีจำนวนมากขึ้นทุกปี คาดว่าในอีก 16 ปีข้างหน้า ความต้องการใช้น้ำของคนกรุงเทพฯ จะเพิ่มขึ้นกว่า 11.9 % คือ จาก 692 ล้านลูกบาศก์เมตรในปี 2563 เป็น 754 ล้านลูกบาศก์เมตรในปี 2581 (กองบรรณาธิการเว็บไซต์ citizenthaipbs, 2565)

จากวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำจากสาเหตุต่าง ๆ อาทิ ความสมดุลของทรัพยากรน้ำระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนไม่สมดุล การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การขยายตัวของจำนวนประชากร รวมถึงปริมาณความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้นจากทุกภาคส่วน ทำให้สถานการณ์การใช้น้ำของประเทศไทยเข้าสู่ภาวะตึงเครียดและเกิดปัญหาการจัดสรรน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล หน่วยงานหลักที่มีหน้าที่ในการจัดหาน้ำให้กับประชากรในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล คือ การประปานครหลวง และอาจกล่าวได้ว่าน้ำประปาเป็นแหล่งน้ำเดียวของประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ การประปานครหลวง ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงมหาดไทย มีภารกิจหลักในการจัดหาแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการประปา ผลิต จัดส่ง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำหน่ายน้ำประปาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ (การประปานครหลวง, 2565) มีความจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนการดำเนินการด้านการผลิตน้ำประปาให้พอเพียง และสามารถรองรับความต้องการของประชาชนได้อย่างทั่วถึง

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ อันจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำของการประปานครหลวงและนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1) ศึกษาและตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

1.2.2) เพื่อสร้างตัวแบบที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเก็บรวบรวมจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ได้แก่ การประปานครหลวง กรมการปกครอง กรมการจัดหางาน และกรมอุตุนิยมวิทยา

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

การศึกษานี้ครอบคลุมพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

1.3.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาครั้งนี้เก็บรวบรวมข้อมูลเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 และใช้ระยะเวลาในการค้นคว้าอิสระ ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2568

1.3.4 ตัวแปรที่ใช้ศึกษา

ประกอบด้วยตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ดังนี้

1) ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ได้แก่
   - X_1 : จำนวนผู้ใช้น้ำประปา (ราย)
   - X_2 : จำนวนประชากร (คน)
   - X_3 : จำนวนแรงงานต่างด้าว (คน)
   - X_4 : อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)
   - X_5 : อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
   - X_6 : ปริมาณน้ำฝนรวม (มิลลิเมตร)
   - X_7 : จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)
2) ตัวแปรตาม (Dependent Variables) คือ ปริมาณการใช้น้ำประปา (ลูกบาศก์เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สมมติฐานการวิจัย

จำนวนผู้ใช้น้ำ จำนวนประชากร อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยต่อเดือน ปริมาณน้ำฝนรวม และจำนวนวันที่ฝนตก เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางให้กับการประปานครหลวง ได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาของประชาชนในพื้นที่รับผิดชอบ รวมถึงสามารถนำตัวแบบที่ได้มาใช้ในการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปาในอนาคต เพื่อให้สามารถวางแผนการบริหารจัดการน้ำให้เพียงพอกับความต้องการ และนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

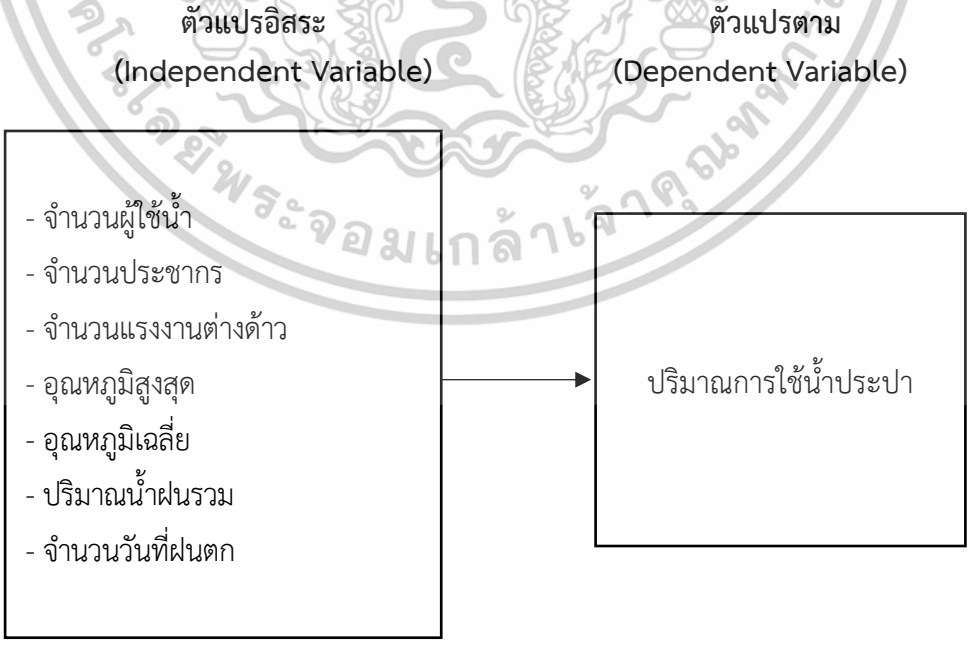
1.6.1) การขาดแคลนน้ำ หมายถึง ความไม่เพียงพอของน้ำที่มีอยู่ตามแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ และไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้น้ำในพื้นที่หรือภูมิภาคนั้น

1.6.2) ผู้ใช้น้ำ หมายถึง บุคคลที่ได้ยื่นคำขอรับบริการติดตั้งประปาซึ่งการประปานครหลวงได้ติดตั้งประปาและขึ้นทะเบียนเป็นผู้ใช้น้ำแล้ว

1.6.3) จำนวนผู้ใช้น้ำ หมายถึง จำนวนมาตรวัดน้ำซึ่งติดตั้ง ณ สถานที่ใช้น้ำ

1.6.4) พื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง หมายถึง พื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

1.7 กรอบแนวคิด



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความต้องการน้ำประปา ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง มีรายละเอียดของการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการประปานครหลวง
2.2 ความรู้เกี่ยวกับจำนวนประชากร
2.3 ความรู้เกี่ยวกับแรงงานต่างชาติ
2.4 ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
2.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการประปานครหลวง

การประปานครหลวง (กปน.) เป็นรัฐวิสาหกิจภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงมหาดไทย เริ่มดำเนินกิจการนับตั้งแต่วันที่ 16 สิงหาคม 2510 ตามพระราชบัญญัติการประปานครหลวง พ.ศ. 2510 โดยมีภารกิจหลักในการจัดหาแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการประปา ผลิต จัดส่ง และจำหน่ายน้ำประปาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ ดำเนินธุรกิจอื่นที่เกี่ยวเนื่องกับหรือเป็นประโยชน์แก่การประปา

ในปัจจุบัน กปน. มีพื้นที่รับผิดชอบรวมทั้งหมด 3,195 ตารางกิโลเมตร โดยใช้น้ำดิบจาก 2 แหล่ง ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา และเขื่อนแม่กลอง

1) แม่น้ำเจ้าพระยา รับน้ำเข้าคลองประปาฝั่งตะวันออกที่สถานีสูบน้ำดิบสำแล จังหวัดปทุมธานี ส่งมายังโรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน และโรงงานผลิตน้ำธนบุรี

2) เขื่อนแม่กลอง รับน้ำเข้าคลองประปาฝั่งตะวันตกที่จุดรับน้ำดิบท่าม่วง เหนือเขื่อนแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี ส่งมายังโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

กระบวนการผลิตน้ำประปา

กปน. มีกระบวนการผลิตน้ำที่สำคัญ ดังนี้ (การประปานครหลวง, 2564)

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ: น้ำดิบที่ไหลมาตามคลองประปา เกิดการปรับปรุงคุณภาพตามธรรมชาติจากการสัมผัสอากาศและแสงแดด รวมทั้งการตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วง และที่โรงสูบน้ำดิบของโรงงานยังมีการติดตั้งตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียดเพื่อกำจัดขยะขนาดใหญ่

2. การเติมสารเคมี: ก่อนน้ำเข้าสู่ถังตกตะกอน มีการเติมสารเคมี ได้แก่ ปูนขาว (Lime) เพื่อปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ช่วยให้สารตกตะกอนทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เรียกว่า Pre-lime และคลอรีน (Chlorine) เพื่อกำจัดสี กลิ่น ตะไคร่ เรียกว่า Pre-Chlorination

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตกตะกอน: ก่อนน้ำเข้าสู่ถังตกตะกอน (Clarifier) มีการเติมสารส้ม (Alum) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบในแต่ละฤดู เมื่อน้ำเข้าสู่ถังตกตะกอน (Clarifier) น้ำจะถูกกวนให้สารเคมีสัมผัส/ทำปฏิกิริยากับตะกอนในน้ำ จับเป็นก้อนขนาดเล็กแล้วค่อยๆ มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกลงสู่ก้นถัง น้ำใสจะไหลไปยังบ่อกรอง (Filter) ต่อไป

4. การกรอง: น้ำใสที่เข้าสู่บ่อกรองไหลผ่านผงถ่านแอนทราไซต์และทรายกองเป็นสารกรอง น้ำจากบ่อกรองมีความขุ่นไม่เกิน 0.9 NTU

5. การฆ่าเชื้อโรค: ในขั้นตอนนี้จะมีการเติมคลอรีน (Post-chlorination) เพื่อฆ่าเชื้อโรค ซึ่งสามารถกำจัดเชื้อโรคได้เกือบทุกชนิด ทำลายสารอินทรีย์ กลิ่น สี และเหล็กได้ และยังมีคลอรีนหลงเหลือ (Free Residual Chlorine) เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนมาภายหลังได้อีกด้วย

6. การปรับปรุงคุณภาพน้ำประปา: หลังการฆ่าเชื้อโรคแล้วจะมีการเติมปูนขาว (Post-lime) เล็กน้อย เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ป้องกันการกัดกร่อนของเส้นท่อประปา

7. การสูบจ่ายน้ำ: น้ำประปาที่ผลิตได้จะสูบส่งเข้าสู่อุโมงค์ส่งน้ำและท่อส่งน้ำขนาดใหญ่ไปยังสถานีสูบจ่ายน้ำ แล้วสูบจ่ายเข้าท่อประธานและท่อจ่ายน้ำ ส่งให้บริการประชาชนต่อไป

8. การควบคุมคุณภาพน้ำ: ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำมีนักวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรีย เพื่อควบคุมให้ได้ตามมาตรฐานก่อนสูบจ่ายให้บริการแก่ประชาชน

รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตน้ำของการประปานครหลวง

สำหรับลูกค้าในปัจจุบันของ กปน. คือ ลูกค้าที่ใช้น้ำในพื้นที่รับผิดชอบ โดยแบ่งตามพฤติกรรมการใช้น้ำประปา (Behavior) ประเภทหรือขนาดของธุรกิจ (Firmographics) และความต้องการ ความคาดหวัง (Needs) แบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1. Residential กลุ่มที่พักอาศัย ใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคโดยตรงในที่พักอาศัย ส่วนใหญ่ใช้มากในช่วงเช้าและช่วงเย็นถึงค่ำ

2. Commercial กลุ่มธุรกิจหรือองค์กร ใช้น้ำในเชิงการค้าหรือในองค์กร มีรูปแบบการใช้น้ำตามเวลาทำการของแต่ละประเภทธุรกิจหรือองค์กร

3. Industrial กลุ่มอุตสาหกรรม ใช้น้ำในเชิงอุตสาหกรรม เช่น การผลิต มีรูปแบบการใช้ที่ต่อเนื่อง และบางอุตสาหกรรมมีการใช้น้ำตลอด 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความรู้เกี่ยวกับจำนวนประชากร

จำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร หมายถึง จำนวนบุคคลที่มีชื่อปรากฏอยู่ในทะเบียนบ้านตามที่ลงทะเบียนไว้กับกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย โดยครอบคลุมทั้งบุคคลสัญชาติไทยและชาวต่างชาติที่มีถิ่นที่อยู่ถาวรในประเทศไทยอย่างถูกต้องตามกฎหมาย การนับจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎรไม่จำเป็นต้องสะท้อนถึงจำนวนประชากรที่พำนักอยู่จริงในแต่ละพื้นที่ แต่เป็นการนับตามที่อยู่ทางทะเบียนเท่านั้น

ข้อมูลจำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎรถูกรวบรวมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องผ่านระบบทะเบียนราษฎรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นระบบฐานข้อมูลกลางที่ดำเนินการโดยสำนักงานทะเบียนกลาง กรมการปกครอง ข้อมูลนี้มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการภาครัฐ เช่น การจัดสรรงบประมาณ การวางแผนบริการสาธารณะ และการจัดทำแผนนโยบายระดับท้องถิ่นและระดับชาติ (กรมการปกครอง, 2567)

ขนาดของประชากรจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (Population Dynamics) ซึ่งมีปัจจัยที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การเกิด การตาย การอพยพเข้า และการอพยพออก ปัจจัยเหล่านี้มีผลทำให้ประชากรเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากรไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง อาจกล่าวได้ว่าเป็นการเติบโตของประชากร (Population Growth) ดังนั้น การเติบโตของประชากรในช่วงเวลาหนึ่งจึงหาได้จากจำนวนประชากรที่เกิดหรืออพยพเข้าทั้งหมด ลบออกด้วยจำนวนประชากรที่ตาย หรืออพยพออกในช่วงเวลานั้น

2.3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับแรงงานต่างด้าว

คนต่างด้าวที่ได้รับอนุญาตทำงานในประเทศไทย ตามพระราชกำหนดการบริหารจัดการการทำงานของคนต่างด้าว พ.ศ. 2560 แก้ไขเพิ่มเติมโดย พระราชกำหนดการบริหารจัดการการทำงานของคนต่างด้าว (ฉบับ 2) พ.ศ.2561 และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ (กรมการจัดหางาน, 2567)

1. คนต่างด้าวตลอดชีพ ได้แก่ คนต่างด้าวที่ได้รับอนุญาตให้อยู่ในราชอาณาจักรและทำงานตามประกาศของคณะปฏิวัติ ฉบับที่ 322 ลงวันที่ 13 ธันวาคม 2515

2. คนต่างด้าวมาตรา 59 (ประเภททั่วไป) ได้แก่ คนต่างด้าวที่มีถิ่นที่อยู่ในราชอาณาจักร หรือได้รับอนุญาตให้เข้ามาในราชอาณาจักรเป็นการชั่วคราวตามกฎหมายว่าด้วยคนเข้าเมืองโดยมิใช่ได้รับอนุญาตให้เข้ามาในฐานะนักท่องเที่ยว หรือผู้เดินทางผ่าน และไม่มีลักษณะต้องห้ามตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

3. คนต่างด้าวมาตรา 59 (ประเภทนำเข้าตาม MoU) ได้แก่ คนต่างด้าวสัญชาติเมียนมา ลาว กัมพูชา และเวียดนาม ที่เขามาทำงานตามความตกลงระหว่างรัฐบาลไทย กับ รัฐบาลประเทศคู่ภาคี

4. คนต่างด้าวมาตรา 62 (ประเภทสงเสริมการลงทุน) ได้แก่ คนต่างด้าวที่เข้ามาทำงานในราชอาณาจักรตามกฎหมายว่าด้วยการสงเสริมการลงทุน (พระราชบัญญัติสงเสริมการลงทุน พ.ศ. 2520) หรือกฎหมายอื่น ได้แก่ พระราชบัญญัตินิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2522 และพระราชบัญญัติโตรเลียม พ.ศ. 2514 เช่น นักลงทุน ช่างฝีมือ ผู้ชำนาญการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คนต่างด้าวมาตรา 63/1 (ประเภทชนกลุ่มน้อย) ได้แก่ คนต่างด้าวที่ไม่ได้รับสัญชาติไทยตามกฎหมายว่าด้วยสัญชาติ และกระทรวงมหาดไทยได้ออกเอกสารเพื่อรอพิสูจน์สถานะยื่นขอใบอนุญาตทำงาน

6. คนต่างด้าวมาตรา 64 ได้แก คนต่างด้าวสัญชาติเมียนมา ลาว และกัมพูชา ที่เข้ามาทำงานบริเวณชายแดนในลักษณะไป – กลับ หรือตามฤดูกาลในพื้นที่ความตกลงว่าด้วยการสัญจรข้ามแดนระหว่างราชอาณาจักรไทย กับประเทศที่ติดกับราชอาณาจักรไทย

7. คนต่างด้าวมาตรา 63/2 ได้แก่ แรงงานต่างด้าวสัญชาติกัมพูชา ลาว เมียนมา และเวียดนาม ที่ได้รับอนุญาตให้อยู่ในราชอาณาจักร และอนุญาตใหทำงานเป็นการชั่วคราวตามมติคณะรัฐมนตรีซึ่งได้แก่ กลุมคนต่างด้าวตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ 2566 และกลุ่มคนต่างด้าวตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 3 ตุลาคม 2566

2.4 ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปแบบสภาพอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยในระยะยาว ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลและการตัดไม้ทำลายป่า กิจกรรมเหล่านี้ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ กักเก็บความร้อนและนำไปสู่ภาวะโลกร้อน ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อแหล่งน้ำมีขอบเขตกว้างไกลและซับซ้อน (NuWater, 2566)

ผลกระทบสำคัญประการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อแหล่งน้ำคือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการตกตะกอน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น บางภูมิภาคจะมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่บางภูมิภาคจะประสบกับภัยแล้งที่ยาวนาน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะรบกวนสมดุลตามธรรมชาติของน้ำที่มีอยู่ ส่งผลให้บางพื้นที่ขาดแคลนน้ำ และมีความเสี่ยงต่อน้ำท่วมเพิ่มขึ้นในพื้นที่อื่น รวมถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งการระเหยของน้ำ ส่งผลให้น้ำจากทะเลสาบ แม่น้ำ และอ่างเก็บน้ำสูญเสียไปมากขึ้น ส่งผลให้น้ำจืดสำหรับการบริโภคของมนุษย์ เกษตรกรรม และกิจกรรมอุตสาหกรรมมีปริมาณลดลง

2.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่ง จากตัวแปรอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าของตัวแปรอื่นๆ ล่วงหน้า ในที่นี้เรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independence Variable) จึงจะทำให้ทราบค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ซึ่งในที่นี้เรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependence Variable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด โดยลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวมรวมมาจะต้องเป็นข้อมูลที่มาจากหน่วยตัวอย่างเดียวกัน

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สำหรับตัวสถิติที่ใช้วัดค่าสหสัมพันธ์อย่างง่ายว่ามีความสัมพันธ์มากหรือน้อยเพียงใด คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งในกรณีของสหสัมพันธ์อย่างง่าย สถิตินี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Coefficient) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ หรือ ρ_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าพารามิเตอร์ และ r หรือ r_{xy} ในกรณีที่เป็นค่าสถิติ โดยที่ ρ และ r จะไม่มีหน่วย และมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

1. ความหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีความหมายดังนี้

1) ถ้า ρ และ r มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก หมายความว่า ถ้าตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปร Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือถ้าตัวแปร X มีค่าลดลง ตัวแปร Y จะมีค่าลดลง

2) ถ้า ρ และ r มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบ หมายความว่า ถ้าตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปร Y จะมีค่าลดลง หรือถ้าตัวแปร X มีค่าลดลง ตัวแปร Y จะมีค่าเพิ่มขึ้น

3) ถ้า ρ และ r มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ (Perfect positive correlation)

4) ถ้า ρ และ r มีค่าเท่ากับ -1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างสมบูรณ์ (Perfect negative correlation)

5) ถ้า ρ และ r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวก และมีความสัมพันธ์มาก

6) ถ้า ρ และ r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบ และมีความสัมพันธ์มาก

7) ถ้า ρ และ r มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

8) ถ้า ρ และ r มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปร X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น

2. วิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลหรือตัวแปร เช่น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ฟี สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน คิดค้นโดย คาร์ล เพียร์สัน (Karl Pearson) บางครั้งอาจเรียกว่า Pearson Product moment correlation Coefficient ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณ หรือตัวแปรแบบต่อเนื่อง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ρ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\rho = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \qquad \text{หรือ} \qquad \rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \tag{2.1}$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu_x)^2 \sum_{i=1}^{N}(y_i - \mu_y)^2}} \tag{2.2}$$

โดยที่ ρ แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

cov(x,y) หรือ σ_{xy} แทนความแปรปรวนร่วมของตัวแปร x และ Y

σ_x , σ_y แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร X และ Y

μ_x , μ_y แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปร X และ Y

ในทางปฏิบัติจะเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่าง ดังนั้นจะประมาณ ρ ด้วย r โดยที่

$$r = \frac{cov(x,y)}{s_x s_y} \tag{2.3}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N} y_i - \bar{y})^2}} \tag{2.4}$$

$$= \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n}(x_i)^2 - (\sum_{i=1}^{n} x_i)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n}(y_i)^2 - (\sum_{i=1}^{n} y_i)^2\right]}} \tag{2.5}$$

โดยที่ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

cov(x,y) แทนความแปรปรวนร่วมของตัวแปร x และ Y

s_x , s_y แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร X และ Y

$\bar{x}$, $\bar{y}$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปร X และ Y

n แทนจำนวนตัวอย่าง

3. ข้อตกลงเบื้องต้นของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน เป็นดังนี้

1) ตัวแปร 2 ตัว เป็นตัวแปรแบบต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

2) ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรเป็นเส้นตรง (Linear Relationship)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ร่วมกันทำนายหรือพยากรณ์ หรืออธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยวิธีนี้เป็นการเพิ่มตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องเข้าในการวิเคราะห์ ทำให้ความถูกต้องของการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้นและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวประมาณค่า (standard error of estimates) ลดลง

การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์หรือสร้างสมการทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) หนึ่งตัว จากกลุ่มตัวแปรอิสระ (X) หลายตัวนั้น ตัวแปรอิสระที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีหลักฐานตามทฤษฎีหรือรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องว่าเป็นตัวแปรต้นเหตุที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม

วิธีการคัดเลือกตัวแปร (วาโร, 2550)

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการ เพื่อให้สมการสมารถพยากรณ์ตัวแปรมีเกณฑ์ได้สูงสุด มีวิธีการคัดเลือกตัวแปรหลายวิธีในที่นี้จะได้นำเสนอ 4 วิธี

1. วิธีการเลือกแบบคัดเลือกเข้า (Enter Selection)

การเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าสมการด้วยการวิเคราะห์เพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นการคัดเลือกโดยใช้วิจารณญาณของผู้วิจัยเองว่า จะคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ใดบ้างเข้าสมการ เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์มาศึกษา เมื่อคัดเลือกและเก็บข้อมูลแล้ว ทำการวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อนและใช้สถิติพื้นฐานโดยเฉพาะค่าความแปรปรวนหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรพยากรณ์และระหว่างตัวแปรพยากรณ์ด้วยกันในการคัดเลือก ควรคัดเลือกตัวแปรที่มีความแปรปรวนมากๆ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแรกเกณฑ์กับตัวแปรพยากรณ์มีค่าสูงๆ และมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ด้วยกันมีค่าน้อยและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อคัดเลือกแล้วจะใช้ตัวแปรพยากรณ์ทุกตัวที่เลือกวิเคราะห์พร้อม ๆ กันทุกตัวแปรเข้าสมการหมด

2. วิธีการเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection)

การเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อน ส่วนตัวแปรที่เหลือจะมีการคำนวณหาสหสัมพันธ์แบบแยกส่วน (Partial Correlation) โดยเป็นความสัมพันธ์เฉพาะตัวแปรที่เหลือตัวนั้นกับตัวแปรตาม โดยขจัดอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ออก ถ้าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็จะนำเข้าสมการต่อไป จะทำแบบนี้จนกระทั่งสหสัมพันธ์แบบแยกส่วนระหว่างตัวแปรอิสระที่ไม่ได้นำเข้าสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตาม มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะหยุดการคัดเลือกและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection)

การนำตัวแปรพยากรณ์ทั้งหมดเข้าสมการจากนั้นก็จะค่อยๆ ขจัดตัวแปรพยากรณ์ออกทีละตัว โดยจะหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตาม เมื่อขจัดตัวแปรพยากรณ์อื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะขจัดออกจากสมการแล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์แต่ละตัวกับตัวแปรตาม เมื่อขจัดตัวแปรอิสระอื่นๆ ออกแล้วพบว่า มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือก และได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

4. วิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection)

การผสมผสานระหว่างวิธีการคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ทั้งแบบก้าวหน้าและแบบถอยหลังเข้าด้วยกัน ในขั้นแรกจะเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อน จากนั้นก็จะทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่ามีตัวแปรใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในการสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection) และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่า ตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการตัวใดมีโอกาสที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้ในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ถูกคัดออกจากสมการและไม่มีตัวแปรใดที่จะถูกนำเข้าสมการ กระบวนการก็จะยุติและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสามารถจัดอยู่ในรูปเส้นตรงได้สำหรับกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว (X_1 และ X_2) ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามแล้วสมการถดถอยสามารถวาดอยู่ในรูประนาบ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้ (พรสิน, 2556)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \ldots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \qquad (2.6)$$

โดยที่ Y_i คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรตามของประชากร

x_{1i} คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรอิสระที่ j ของประชากร

β_0 คือ จุดตัด Y เมื่อกำหนดให้ $x_{1i} = x_{2i} = \ldots = x_{ki} = 0$

β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยบางส่วน (Partial Regression Coefficient) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ x_{ki} เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยกำหนดตัวแปรอิสระอื่นๆ ให้คงที่

ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ i เมื่อ i = 1,2,...,n

การทดสอบสมการถดถอย

การทดสอบนัยสำคัญของสมการถดถอยเป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรตาม Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวหรือไม่ ซึ่งต้องอาศัยข้อกำหนดเบื้องต้นสัมประสิทธิ์ถดถอยแต่ละตัว ในที่นี้สามารถกำหนดสมมติฐานของการทดสอบได้เป็น (พรสิน, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_k = 0$
$H_1 = \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ตัว โดยที่ I = 1,2,...,k

การทดสอบนี้จัดเป็นกรณีทั่วไปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย โดยแบ่งความผันแปรทั้งหมดของ Y ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย และส่วนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย แสดงในรูปของผลรวมกำลังสองได้ ดังนี้

$$SST = SSR + SSE \tag{2.7}$$

หาก H_0 เป็นจริงแล้ว จะได้ว่า

$$\frac{SST}{\sigma^2} \sim \chi_k^2 \tag{2.8}$$

ซึ่งจำนวนองศาความเป็นอิสระของ χ_k^2 มีค่าเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระนั่นเอง ทำนองเดียวกันจะได้ว่า

$$\frac{SST}{\sigma^2} \sim \chi_{n-k-1}^2 \tag{2.9}$$

โดย SSR และ SSE เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานหลักทำได้โดยคำนวณสถิติทดสอบ

$$F_c = \frac{\mathrm{SSR}/_k}{SSE/_{n-k-1}} = \frac{MSR}{MSE} \tag{2.10}$$

โดยจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F_c > F_{n-k-1(\alpha)}$ ซึ่งแสดงว่ามี β_i อย่างน้อย 1 ค่า ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีอิทธิพลต่อตัวแบบอย่างมีนัยสำคัญ ขั้นตอนการทดสอบสามารถสรุปในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ ANOVA

ANOVA				
Model	df	SS	MS	p-value
Regression	k	SSR	MSR	$F_c = \frac{MSR}{MSE}$
Error	n-k-1	SSE	MSE	
Total	n-1	SST		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SST (Sum Square of Total) คือ ผลรวมกำลังสองทั้งหมด หรือค่า S_n เป็นการวัดความแปรผันในค่าสังเกตทั้งหมด หากค่าสังเกตทุกค่าเท่ากันหมดแล้ว SST=0 ดังนั้น เมื่อค่าสังเกตมีค่าแตกต่างกันมากค่า SST จะใหญ่ขึ้น โดยที่

$$SST = SS_{yy} = Y'Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2}{n} \tag{2.11}$$

เนื่องจาก $$SST = \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2}{n} \tag{2.12}$$

โดย $$Y'Y = \sum_{i=1}^{n} Y_i^2 \tag{2.13}$$

และ $$\left(\frac{1}{n}\right) Y'JY = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i^2}{n} \tag{2.14}$$

SSR (Sum Square of Regression) คือ ผลรวมกำลังสองถดถอยเป็นการวัดความแปรผันในค่าสังเกตที่สามารถอธิบายได้ โดยสมการถดถอยหากค่า SSR ใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับ SST แสดงว่าสมการถดถอยสามารถอธิบายความแปรผันในค่าสังเกตได้ดี โดยที่

$$SSR = b'Y'Y - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Y_i\right)^2}{n} \tag{2.15}$$

SSE (Sum Square of Error) คือ ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (error sum of squares) เป็นการวัดความแปรผันที่ไม่สามารถอธิบายได้โดยสมการถดถอยหรือตัวแปร X หากสมการถดถอยสามารถอธิบายค่าสังเกตได้ดี ค่าพยากรณ์ทุกค่าจะมีค่าเท่ากับค่าสังเกตทำให้ SSE = 0 โดยที่

$$SSE = SST - SSR \tag{2.16}$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบถดถอย

จะประมาณค่า Y_i ด้วย $\hat{Y}_i$ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \ldots + b_k x_{ki} \; ; i = 1,2,\ldots,n \tag{2.17}$$

สมการนี้ เรียกว่า สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของตัวอย่างสุ่ม โดยที่ $\hat{Y}_i$ เป็นค่าประมาณของ Y_i และ $b_0, b_1, b_2, \ldots, b_k$ เป็นค่าประมาณของ

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \ldots + b_k x_{ki} \; ; i = 1,2,\ldots,n \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาตัวประมาณ $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ ของพารามิเตอร์ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ จะหาได้โดยวิธี กำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ผลบวกของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง $\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i{}^2$ มีค่าต่ำสุด ซึ่งตัวประมาณค่า $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ ที่หาได้ด้วยวิธีนี้จะเป็นตัวประมาณค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ นั้นคือ เป็นตัวประมาณค่าที่คุณสมบัติเป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียงและมีความแปรปรวนต่ำสุด (Best Linear Unbiased Estimator : BLUE) โดยค่าคลาดเคลื่อน (Residuals) เขียนในรูป

$$e_i = Y_i - \widehat{Y}_i \tag{2.19}$$

$$e_i = Y_i - (b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_k x_{ki}) \tag{2.20}$$

ให้ $$\phi = \sum_{i=1}^{n} e_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_k x_{ki})^2 \tag{2.21}$$

ซึ่งเป็นค่าผลบวกกำลังสองของค่าประมาณที่เบี่ยงเบนไปจากค่าที่แท้จริง โดยตัวประมาณค่า $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ นี้ จะทำให้ ϕ มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งจะหาได้ ดังนี้

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{b_0} = -2 \sum_{i=1}^{n} (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_k x_{ki}) = 0 \tag{2.22}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{b_1} = -2 \sum_{i=1}^{n} x_{1i} (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - \dots - b_k x_{ki}) = 0 \tag{2.23}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{b_k} = -2 \sum_{i=1}^{n} x_{ki} (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - \dots - b_k x_{ki}) = 0 \tag{2.24}$$

นั่นคือ ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัวในสมการ จะได้สมการจำนวน k+1 ซึ่งเรียกว่าสมการปกติ (Normal Equation) ดังต่อไปนี้

$$n b_0 + b_1 \sum_{i=1}^{n} x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^{n} x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^{n} x_{ki} = \sum_{i=1}^{n} Y_i \tag{2.25}$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{n} x_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^{n} x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^{n} x_{1i} x_{2i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^{n} x_{1i} x_{ki} = \sum_{i=1}^{n} x_{1i} Y_i \tag{2.26}$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{n} x_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^{n} x_{1i} x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^{n} x_{2i}^2 + \dots + b_k \sum_{i=1}^{n} x_{2i} x_{ki} = \sum_{i=1}^{n} x_{2i} Y_i \tag{2.27}$$

$$\vdots$$

$$b_0 \sum_{i=1}^{n} x_{ki} + b_1 \sum_{i=1}^{n} x_{1i} x_{ki} + b_2 \sum_{i=1}^{n} x_{2i} x_{ki} + \dots + b_k \sum_{i=1}^{n} x_{1i} x_{ki} = \sum_{i=1}^{n} x_{ki} Y_i \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจะใช้เมทริกซ์เป็นเครื่องมือ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์สะดวกมากขึ้น โดยกำหนด

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \cdots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \cdots & X_{kn} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

โดยที่ Y คือ เวกเตอร์ขนาด n x 1 ของค่าตัวแปรตาม
X เป็นเมทริกซ์ขนาด 2 x n ของตัวแปรอิสระ
β เป็นเวกเตอร์ขนาด 2 x 1 ของพารามิเตอร์
ε เป็นเวกเตอร์ขนาด n x 1 ของตัวแปรสุ่มค่าความคลาดเคลื่อน

ดังนั้น ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ สามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ ได้ดังนี้

$$Y = X\beta + \varepsilon \tag{2.29}$$

และข้อกำหนดของ ε สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\varepsilon \sim N_n(0, \sigma_i^2) \tag{2.30}$$

ซึ่งหมายความว่า $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$ เป็นอิสระกัน และมีการแจกแจงแบบปรกติที่มีค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวนคงที่ คือ σ^2 และสมการปรกติในเทอมของเมทริกซ์ จะเขียนได้ดังนี้

$$X'xb = X'Y \tag{2.31}$$

การแก้สมการหาค่า b จะสมมติว่าหาเมทริกซ์ผกผันของเมทริกซ์ $X'X$ เพราะฉะนั้นตัวประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุด คือ

$$b = (X'X)^{-1}X'Y \tag{2.32}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่หรือ H_0: $\beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_{p-1} = 0$ และ H_1: อย่างน้อย 1 ตัวที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 ใช้การทดสอบ F เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย หากปฏิเสธสมมติฐาน หลักแสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถคำนวณในรูปของเมทริกซ์ได้โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ ผลรวมกำลังสอง ดังนี้

1. ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน

ผลรวมกำลังสองทั้งหมด (SST) เขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$SST = Y'Y - \left[\frac{1}{n}\right] Y'Y \tag{2.33}$$

หรือ
$$= Y'Y - \left[1 - \left[\frac{1}{n}\right] J\right] Y \tag{2.34}$$

โดย SST มีองศาเสรีเท่ากับ n-p

2. ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน

ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (SSE) เขียนในรูปแบบเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$SSE = Y'Y - b'X'Y \tag{2.35}$$

หรือ
$$= Y'[1 - H]Y \tag{2.36}$$

โดย SSE องศาเสรีเท่ากับ n-p

3. ผลรวมกำลังสองถดถอย

ผลรวมกำลังสองถดถอย (SSR) เขียนในรูปแบบเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$SSR = b'X'Y - \left[\frac{1}{n}\right] Y'JY \tag{2.37}$$

หรือ
$$= Y' \left[1 - \left[\frac{1}{n}\right] J\right] Y \tag{2.38}$$

โดย SSR มีองศาเสรีเท่ากับ p-1 เนื่องจากมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด p ค่าตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถเขียนได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางสูตรในการคำนวณค่าพารามิเตอร์การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variation	SS	df	MS	F
Regression	$SSR = b'X'Y - \left[\frac{1}{n}\right]Y'JY$	p-1	$MSR = \frac{SSR}{p-1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Error	$SSE = Y'Y - b'X'Y$	n-p	$MSE = \frac{SSE}{n-p}$	
Total	$SST = Y'Y - \left[\frac{1}{n}\right]Y'Y$	n-1		

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว

ในสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายนั้นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มาจากตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัว แต่ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะถูกเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว (coefficient of multiple determination) หรือ R^2 ซึ่งยังคงเป็นการวัดสัดส่วนของความแปรผันทั้งหมดของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้โดยการใช้ตัวแปรอิสระในสมการถดถอย สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \tag{2.39}$$

ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือ $0 < R^2 < 1$ โดยที่กำหนดว่าค่า R^2 เท่ากับ 0 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทุกตัวมีค่าเป็น 0 และมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อค่าของตัวแปรตามทุกค่ามีค่าเท่ากับค่าพยากรณ์หรือ $Y_i - \hat{Y}_i$ สำหรับข้อมูลทั้ง n ค่า

เนื่องจากค่า R^2 ได้มาจากการใช้ข้อมูลในการคำนวณ ดังนั้น ช่วงพิสัยของตัวแปรอิสระจะมีผลต่อค่า R^2 การที่ค่า R^2 มีค่าสูงนั้นมิได้หมายความว่าสมการถดถอยนั้นเหมาะสมกับทุกช่วงค่าของตัวแปรอิสระ หากพยากรณ์นอกช่วงค่าของตัวแปรอิสระที่เก็บข้อมูลมา (extrapolation) แล้วสมการถดถอยอาจไม่เหมาะสมก็ได้ นั่นคือ ค่าพยากรณ์ที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้

การเพิ่มจำนวนตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการอาจทำให้ค่า R^2 เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า SSE อาจ มีค่าลดลงได้ แต่ค่า SST มีค่าเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลงโดยที่ตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปนั้น อาจไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามก็ได้ ดังนั้น จึงมีการปรับค่า R^2 โดยการหารค่า SSE และ SST ด้วยองศาเสรีของมัน เรียกค่า R^2 นี้ว่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว (adjusted coefficient of multiple determination) หรือ R^2_{adj} สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\frac{SSE}{n-p}}{\frac{SST}{n-1}} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right)\frac{SSE}{SST} \tag{2.40}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R^2_{adj} จะไม่เพิ่มขึ้นหากตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปไม่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตาม แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตามเข้าไปในสมการ เนื่องจาก SSE อาจลดลงมากกว่า ค่าองศาเสรี

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายมีประโยชน์และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยแต่การที่จะใช้ตัวแบบการถดถอยให้มีความถูกต้องและมีอำนาจการทดสอบที่สูงนั้น ตัวแบบจำเป็นต้องเป็นไปตามข้อตกลง (assumption) ข้อตกลงที่กำหนดไว้ มี 5 ข้อ (Montgomery & Peck, 1992) ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y เป็นเส้นตรงหรือมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง
2. ความคลาดเคลื่อน ($\boldsymbol{\varepsilon}$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0
3. ความคลาดเคลื่อน ($\boldsymbol{\varepsilon}$) มีความแปรปรวนคงที่เท่ากับ $\boldsymbol{\sigma}^2$
4. ความคลาดเคลื่อนแต่ละค่าเป็นอิสระต่อกัน
5. ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ข้อตกลงดังกล่าวมีความจำเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะในการทดสอบสมมติฐานและการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หากตัวแบบไม่เป็นไปตามข้อตกลงแล้วอาจทำให้การตัดสินใจผิดพลาดได้ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$e_i = Y_i - \widehat{Y}_i \tag{2.41}$$

หากตัวแบบการถดถอยที่ได้ไม่เป็นไปตามข้อตกลงแล้วจะพบว่าส่วนเหลือจะเบี่ยงเบนไปจากข้อตกลง ดังนั้นการวิเคราะห์ส่วนเหลือจึงเป็นการวิเคราะห์ตัวแบบที่ง่ายและมีประโยชน์มาก

การตรวจสอบข้อตกลงของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

1. การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปรกติหรือไม่

ข้อสมมติของตัวแบบการถดถอยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติจากการวิเคราะห์การถดถอย หากพบว่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติจะทำให้ผลสรุปที่ได้ผิดพลาด การทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ในตัวแบบไม่ถูกต้อง การทดสอบสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบของ Lillifors (อุมาพร, 2542) Lillifors ได้ปรับปรุงการทดสอบของ Kolmogorov-Smirnov ในกรณีที่ต้องทดสอบเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปรกติที่ไม่ระบุค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน การทดสอบของ Lilliefors จะเหมือนกับการทดสอบของ Kolmogorov-Smirnov เกือบทุกประการยกเว้นการใช้คะแนนมาตรฐาน (Normalized Value) แทนคะแนนดิบ

สมมติฐานของการทดสอบ คือ

H_0 : ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปรกติ

H_1 : ค่าคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติทดสอบ คือ

$$D\ max = |F(x) - S(x)| \quad (2.42)$$

เมื่อ F(x) คือ ความน่าจะเป็นสะสมของตัวอย่าง

S(x) คือ ความน่าจะเป็นสะสมภายใต้สมมติฐานหลัก

ค่าวิกฤตของ D หาได้จากตาราง Lillifors และทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อ D คำนวณ > D ตาราง

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าความคลาดเคลื่อน

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบของ Durbin-Watson เป็นการทดสอบความสัมพันธ์ของ e_i กับ e_{i-1}

สมมติฐานของการทดสอบ คือ

H_0 : ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

H_1 : ค่าคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกัน

สถิติทดสอบ คือ

$$d = \frac{\sum_{i=1}^{n}(e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{n} e_i^2} \quad (2.43)$$

โดยที่ e_i คือ ค่าของค่าคลาดเคลื่อนที่ i

e_{i-1} คือ ค่าของค่าคลาดเคลื่อนที่ i-1

สำหรับค่าวิกฤตของ Durbin-Watson จะขึ้นอยู่กับขนาดตัวอย่าง (n) และจำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย สรุปได้ดังนี้ (กัลยา, 2548)

ถ้าค่า Durbin Watson มีค่าใกล้ 2 คือ อยู่ระหว่าง 1.5 – 2.5 จะสรุปได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

ถ้าค่า Durbin Watson <1.5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกันและอยู่ในทิศทางบวก หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันมาก

ถ้าค่า Durbin Watson > 2.5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกันและอยู่ในทิศทางลบ หากมีค่าเข้าใกล้ 4 แสดงว่าคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันมาก

3. การตรวจสอบความคงที่ของความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน (Heteroscedasticity)

การที่ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนไม่คงที่นั้นคือ $V_{(\varepsilon i)} \neq \sigma^2$ ซึ่งจะส่งผลทำให้การหาช่วงความเชื่อมั่นและการทดสอบสมมติฐานทำได้ไม่ถูกต้อง การทดสอบความคงที่ของ ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนทำได้โดยพล็อตค่ามาตรฐานของค่าคลาดเคลื่อน กับ ค่าประมาณ ค่า ถ้าพบว่าจุดต่างๆ ในภาพเป็นการกระจายแบบสุ่ม ขนานกับแกนแนวนอน จะสรุปได้ว่า ความแปรปรวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่าคลาดเคลื่อนคงที่แต่ถ้าพบว่าจุดต่างๆ ในภาพมีการกระจายเป็นรูปปากแตร จะสรุป ได้ว่าความแปรปรวนของค่าความคลาแคลื่อนไม่คงที่ (ทรงศิริ, 2548)

4. การตรวจสอบความเป็นอิสระของตัวแปรอิสระ

ตัวแบบการทดสอบที่ดี ตามข้อสมมติของตัวแบบการถดถอย ตัวแปรอิสระทุกตัวต้องเป็นอิสระกัน การที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กัน เรียกว่า เกิดสหสัมพันธ์ร่วม (multicollinearity) การตรวจสอบว่า ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ร่วมหรือไม่นั้น ได้พิจารณาค่า VIF (Variance Inflation Factor) และค่า Tolerance ซึ่งค่า Tolerance นั้น เป็นส่วนกลับของค่า VIF อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งทศนิยมเกิดขึ้น การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกพิจารณาจากค่า VIF เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น ดังนี้

$$VIF = \frac{1}{1-R_i^2} \tag{2.44}$$

สำหรับ i = 1, 2,..., k = โดยที่ R_i^2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ใช้สัดส่วนของความผันแปรของ X_i ที่อธิบายตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่ไม่ร่วม X_i

ค่า VIF มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง ∞ ถ้าค่า VIF มีค่ามาก หมายความว่า ตัวแปร X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มาก โดยปกติจะใช้เกณฑ์ว่าเมื่อ (VIF)j มีค่าไม่เกิน 10 แสดงว่าตัวแปรอิสระจะไม่มีความสัมพันธ์กัน (ทรงศิริ, 2548)

ตรวจสอบค่าผิดปรกติโดยพิจารณาจากค่า Cook's Distance

ค่าผิดปรกติที่อยู่ในชุดข้อมูลตัวอย่างซึ่งถูกนำมาสร้างแบบจำลอง จะส่งผลให้ข้อสมมติเกี่ยวกับการแจกแจงปรกติของสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณผิดจากที่ควรจะเป็น หรือส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยมีค่าเบี่ยงไปจากค่าที่ดีที่สุด โดยในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธี Cook's distance เป็นเครื่องมือที่ตรวจสอบความผิดปรกติของข้อมูล เนื่องจากเป็นค่าสถิติที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบค่าผิดปรกติ เมื่อค่าผิดปรกติอยู่ทั้งในตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม (วนิดาและแพรวนภา, 2560) Cook's Distance เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนเมื่อตัดข้อมูลชุดใดชุดหนึ่งออกไป โดยหากค่า Cook's Distance มีค่ามากกว่า 1 ต้องตัดรายการข้อมูลนั้นออกจากาการวิเคราะห์ (ชัชชญา, 2560)

ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)

เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่งแสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก วิธีการคำนวณคือจะเป็นการนำค่า MSE มาหารากที่สอง ดังสมการ (สุชาฎาและสุภัทรา, 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (2.45)$$

โดยที่ n คือ จำนวนของข้อมูลที่ใช้
Y_t คือ ค่าจริงที่ t ใดๆ
$\hat{Y}_t$ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ t ใดๆ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณินาพรรณ์ เมฆไพบูลย์, อดิชัย พรพรหมินทร์, สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, เอกชัย ศิริกิจพาณิชย์กูล, ยุทธนา ตาละลักษมณ์, ดนย์ปภพ มะณี และ ณัฐ มาแจ้ง (2561) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้น้ำประปากับอุณหภูมิในพื้นที่ให้บริการของการประปานครหลวง โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (Simple Linear Regression) และใช้ข้อมูลระหว่างเดือนตุลาคม 2551 ถึงเดือนกันยายน 2559 รวม 8 ปี จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณการใช้น้ำประปาที่เพิ่มขึ้น โดยทุกๆ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ความต้องการใช้น้ำประปาเพิ่มขึ้นประมาณ 44,400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือคิดเป็นประมาณ 1.3% ของความต้องการใช้น้ำเฉลี่ยรายเดือน ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความต้องการใช้น้ำในเขตเมือง และการนำข้อมูลนี้ไปใช้ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ จะช่วยให้การคาดการณ์ความต้องการใช้น้ำในอนาคตมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและบริหารจัดการระบบประปาอย่างยั่งยืนในภาวะที่เมืองมีการขยายตัวและอุณหภูมิสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน

ธรรมรักษ์ เติมทองสุขสกุล (2557) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำขายของการประปานครหลวง โดยเน้นกลุ่มครัวเรือนเป็นหลัก ปัจจัยที่นำมาศึกษาจะเป็นปัจจัยทางประชากรศาสตร์ เช่น อายุ เพศ อาชีพ ระดับการศึกษา รายได้ ลักษณะที่อยู่อาศัย ขนาดครอบครัว ตลอดจนความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้น้ำ และทัศนคติเกี่ยวกับราคาค่าน้ำประปา โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล และใช้การวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เกี่ยวกับการใช้น้ำประปา กับปริมาณน้ำขายของการประปานครหลวง โดยผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านอายุ อาชีพ และขนาดครอบครัวส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ผู้มีความรู้เรื่องการประหยัดน้ำมีแนวโน้มใช้น้ำน้อยลง ส่วนทัศนคติต่อราคาค่าน้ำไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณการใช้น้ำ

มาร์ก เฟิลแคร์, ธีรนงค์ สกุลศรี และ ธีรนุช ก้อนแก้ว (2562) ได้ศึกษาโครงการแนวโน้มประชากรและความต้องการน้ำในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสานทั้งการวิจัยเอกสาร การวิจัยภาคสนาม และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยเฉพาะการสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพื่อประเมินปัจจัยกำหนดความต้องการใช้น้ำในครัวเรือน ผลการวิเคราะห์พบว่าจำนวนผู้ใช้น้ำครัวเรือน สามารถพยากรณ์ได้ด้วยจำนวนประชากรและขนาดครัวเรือน ที่ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (Adjusted R^2) ระดับ 0.990 โดยจำนวนประชากรมีผลกระทบเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อจำนวนผู้ใช้น้ำในขณะที่ขนาดครัวเรือนมีผลกระทบเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สชิลา ลีลาชัย (2563) ศึกษาการประเมินความต้องการใช้น้ำกลุ่มที่พักอาศัยในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวงแบบรายพื้นที่ โดยมุ่งเน้นการประเมินความต้องการใช้น้ำของกลุ่มที่พักอาศัย เนื่องจากเป็นกลุ่มผู้ใช้น้ำที่มีสัดส่วนสูงที่สุดในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำจากฐานข้อมูลของการประปานครหลวงย้อนหลัง 7 ปี (ปี พ.ศ. 2555 – 2561) และพิจารณาควบคู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ จำนวนประชากรตามทะเบียนราษฎร์ ลักษณะอสังหาริมทรัพย์ (แนวดิ่ง/แนวราบ) ในพื้นที่ และจำนวนประชากรแฝงในรูปแบบของแรงงานธุรกิจบริการ และได้แบ่งพื้นที่ที่อยู่อาศัยออกเป็น 6 กลุ่มตามลักษณะการใช้ที่ดินและพฤติกรรมการใช้น้ำ พบว่า อัตราการใช้น้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 125 – 263 ลิตรต่อคนต่อวัน โดยกลุ่มที่พักอาศัยแนวราบขนาดใหญ่มีการใช้น้ำสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มแนวราบขนาดเล็กมีอัตราการเติบโตของผู้ใช้น้ำสูงที่สุด คาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2580 ความต้องการใช้น้ำของกลุ่มที่พักอาศัยจะเพิ่มขึ้นจาก 1.86 เป็น 2.17 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

Abdulkadir Yasar, Mehmet Bilgili and Erdogan Simsek (2012) ได้ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการน้ำในเมืองอาดานา ประเทศตุรกี โดยใช้วิธีการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Regression) โดยใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) โดยปัจจัยที่นำมาศึกษาได้แก่ ค่าน้ำเฉลี่ยรายเดือน จำนวนผู้ใช้น้ำ อุณหภูมิชั้นบรรยากาศ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน รังสีจากดวงอาทิตย์ ระยะเวลาแสงแดด ความเร็วลม และความกดอากาศ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2000 – 2009 ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ จำนวนผู้ใช้น้ำ และอุณหภูมิชั้นบรรยากาศ ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 6.96% โดยคาดการณ์ว่าปริมาณการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้นจาก 3.84 ล้านลูกบาศก์เมตรในปี พ.ศ. 2009 เป็น 4.99 ล้านลูกบาศก์เมตรในปี พ.ศ. 2020

Mohamed M. Mohamed and Aysha A. Al-Mualla (2010) ได้ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำในรัฐอุมม์อัลกุเวน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ โดยใช้ IWR-MAIN ในการสร้างแบบจำลองและคาดการณ์ความต้องการน้ำในระยะยาว โดยใช้ฐานข้อมูลสองชุด ได้แก่ ข้อมูลรายปีตั้งแต่ปี 1980 และข้อมูลรายเดือนตั้งแต่ปี 2000 และใช้ข้อมูลจำนวนประชากร อุณหภูมิเฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย เป็นตัวแปรอิสระในการพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่าประชากรเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดที่มีผลต่อการใช้น้ำในพื้นที่นี้ โดยแบบจำลองที่ปรับเทียบแล้วสามารถคาดการณ์ได้ว่าความต้องการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้น 50% ภายในปี 2015 และจะเพิ่มเป็นสองเท่าของปัจจุบันก่อนปี 2025 นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยด้านรายได้และการอพยพเข้ามาใหม่จากการพัฒนาเมืองจะส่งผลต่อความต้องการใช้น้ำในอนาคต

M. Bakker, H. van Duist, K. van Schagen, J. Vreeburg and L. Rietveld (2014) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำ โดยการนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศมาใช้เป็นตัวแปรร่วมในแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง 3 แบบ ได้แก่ Adaptive Heuristic model, Transfer/-noise model และ Multiple Linear Regression model ทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ผลการศึกษาพบว่า การนำข้อมูลสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน มาใช้ร่วมกับแบบจำลอง สามารถลดข้อผิดพลาดสูงสุดในการพยากรณ์ได้ถึง 11% และลดค่าเฉลี่ยของข้อผิดพลาดได้ 7% งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลสภาพอากาศร่วมกับแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการน้ำ ช่วยเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการบริหารจัดการระบบประปา โดยเฉพาะในสภาวะที่สภาพอากาศมีความผันผวนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านประชากรศาสตร์ ได้แก่ อายุ อาชีพ และขนาดครอบครัว จำนวนประชากร จำนวนผู้ใช้น้ำ และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ดังนั้น ผู้วัจัยจึงสนใจที่จะนำตัวแปร จำนวนประชากร จำนวนผู้ใช้น้ำ และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการการประปานครหลวง ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่องการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การเตรียมข้อมูล

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาปัญหาและกำหนดหัวข้อ
2) ศึกษาข้อมูล เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3) กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และสมมติฐาน
4) รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์
5) วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล
6) สรุปผลการศึกษา
7) รายงานผลการศึกษา

3.2 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทำการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยเป็นข้อมูลรายเดือนของปริมาณการใช้น้ำประปา รวมถึงข้อมูลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง ซึ่งได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยเก็บรวบรวมตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 เป็นระยะเวลา 84 เดือน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเก็บรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง เก็บรวบรวมข้อมูลจากการประปานครหลวง
2. จำนวนผู้ใช้น้ำประปา เก็บรวบรวมข้อมูลจากการประปานครหลวง
3. จำนวนประชากร เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมการปกครอง
4. จำนวนแรงงานต่างด้าว เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมการจัดหางาน
5. อุณหภูมิสูงสุด เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา
6. อุณหภูมิเฉลี่ย เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา
7. ปริมาณน้ำฝนรวม เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา
8. จำนวนวันที่ฝนตก เก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้เพื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติอื่นๆ โดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

3.3.1 การแบ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวม แบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน ซึ่งข้อมูลส่วนแรกใช้เพื่อสร้างตัวแบบการทำนายทั้งสิ้น 72 เดือน และส่วนที่สองใช้สำหรับการตรวจสอบการทำนายเพื่อวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ทั้งสิ้น 12 เดือน

3.3.2 การสร้างตัวแบบด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS ช่วยในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. นำตัวแปรอิสระแต่ละตัวแปรทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรตาม
2. ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งหมด
3. ทดสอบตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีผลต่อตัวแบบโดยใช้การทดสอบ t-test
4. การตรวจสอบข้อตกลงของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

4.1 ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0

4.2 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปรกติหรือไม่

4.3 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่หรือไม่

4.4 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า Durbin Watson

4.5 ทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยพิจารณาจากค่า Tolerance หรือ ค่า VIF

4.6 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีค่าผิดปกติหรือไม่ พิจารณาจาก Cook's Distance

3.4.3 หากได้ตัวแบบที่เหมาะสมแล้วจึงนำตัวแบบที่ได้มาทำนายปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

3.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

พิจารณาเลือกตัวแบบที่เหมาะสมด้วยข้อมูลชุดที่ 1 จากนั้นทำการวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายที่ได้ด้วยข้อมูลชุดที่ 2 เมื่อพิจารณาแล้วจะได้ค่าการทำนายที่มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากน้อยเพียงใด ทำการคำนวณค่าวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายโดยใช้รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจาก การประปานครหลวง กรมการปกครอง กรมการจัดหางาน และกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและเลือกตัวแปรอิสระด้วยการเลือกตัวแปรด้วยวิธีทีละขั้นตอน (Stepwise Regression) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS ในการวิเคราะห์ ได้ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรตามและตัวแปรอิสระโดยใช้สถิติเชิงพรรณา ด้วยค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าต่ำสุด (Min) และค่าสูงสุด (Max) ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ปริมาณการใช้น้ำประปา (Y)	115,331,932.17	104,871,061.00	126,799,293.00
จำนวนผู้ใช้น้ำ (X_1)	2,459,595	2,297,558	2,615,906
จำนวนประชากร (X_2)	8,208,348	8,145,333	8,281,704
จำนวนแรงงานต่างด้าว (X_3)	786,849	349,689	1,111,796
อุณหภูมิสูงสุด (X_4)	36.3	34.0	39.9
อุณหภูมิเฉลี่ย (X_5)	29.1	24.8	31.9
ปริมาณน้ำฝนรวม (X_6)	384.4	0	1,370.0
จำนวนวันที่ฝนตก (X_7)	11	0	24

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาสถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรตามและตัวอิสระ พบว่า

ปริมาณการใช้น้ำประปา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 115,331,932.17 ลูกบาศก์เมตร โดยมีปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 104,871,061.00 ลูกบาศก์เมตร และมากที่สุดเท่ากับ 126,799,293.00 ลูกบาศก์เมตร

จำนวนผู้ใช้น้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,459,595 ราย โดยมีจำนวนผู้ใช้น้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 2,297,558 ราย และมากที่สุดเท่ากับ 2,615,906 ราย

จำนวนประชากร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8,208,348 คน โดยมีจำนวนประชากรน้อยที่สุดเท่ากับ 8,145,333 คน และมากที่สุดเท่ากับ 8,281,704 คน

จำนวนแรงงานต่างด้าว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 786,849 คน โดยมีจำนวนแรงงานต่างด้าวน้อยที่สุดเท่ากับ 349,689 คน และมากที่สุดเท่ากับ 1,111,796 คน

อุณหภูมิสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.3 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิสูงสุดน้อยที่สุดเท่ากับ 34.0 องศาเซลเซียส และมากที่สุดเท่ากับ 39.9 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเฉลี่ย มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 29.1 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 24.8 องศาเซลเซียส และมากที่สุดเท่ากับ 31.9 องศาเซลเซียส

ปริมาณน้ำฝนรวม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 384.4 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำฝนรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 0 มิลลิเมตร และมากที่สุดเท่ากับ 1,370.0 มิลลิเมตร

จำนวนวันที่ฝนตก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11 วัน โดยมีจำนวนวันที่ฝนตกน้อยที่สุดเท่ากับ 0 วัน และมากที่สุดเท่ากับ 24 วัน

4.2 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

4.2.1 ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณการใช้น้ำประปา (Y) กับปัจจัยต่างๆ (X_i) จากข้อตกลงเบื้องต้น คือ ตัวแปรอิสระต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Pearson Correlation	1	-.338**	.575**	.263*	.448**	.288*	-.208	-.125
Sig. (2-tailed)		.004	.000	.026	.000	.014	.080	.294

จากตารางที่ 4.2 พบว่าตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณการใช้น้ำประปา ได้แก่ จำนวนวผู้ใช้น้ำ (X_1) จำนวนประชากร (X_2) จำนวนแรงงานต่างด้าว (X_3) อุณหภูมิสูงสุด (X_4) และอุณหภูมิเฉลี่ย (X_5) ส่วนตัวแปรอิสระที่เหลือไม่มีความสัมพันธ์รูปแบบใดๆ ต่อตัวแปรตาม ดังนั้น จึงทำการตัดตัวแปรอิสระนั้นทิ้ง ไม่นำมาพิจารณา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน (X_6) และ จำนวนวันที่ฝนตก (X_7)

4.2.2 การหาสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection)

ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ คือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_7 X_{7i} + \varepsilon_i \qquad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรอิสระที่เข้ามาในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน

Coefficients[a]					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-459066972.600	93062829.560		-4.933	.000
X_2	64.441	11.504	.509	5.601	.000
X_4	1229885.653	317498.170	.352	3.874	.000

จากตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์กำลังสองระหว่างตัวแปร X และ Y มีค่า Adjusted R-squared อยู่ที่ 0.435 ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายความแปรปรวนในตัวแปรตาม ได้ 43.5% เมื่อพิจารณาจากค่า Unstandardized Coefficients จะได้ตัวแบบสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยวิธีการเลือกตัวแปรด้วยวิธีทีละขั้นตอน คือ

$$\hat{Y}_t = -459066972.600 + 64.441X_2 + 1229885.653X_4 \quad (4.2)$$

โดย $\hat{Y}_t$ คือ ปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

X_2 คือ จำนวนประชากร

X_4 คือ อุณหภูมิสูงสุด

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 4.4

การทดสอบความแปรปรวนของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ สมมติฐาน คือ

$H_0 : \beta_2 = \beta_4 = 0$

$H_1 : \beta_i$ อย่างน้อย 1 ตัว $\neq 0$

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ

ANOVA					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Regression	7.194E+14	2	3.597E+14	28.299	.000
Residual	8.770E+14	69	1.271E+13		
Total	1.596E+15	71			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวสถิติทดสอบ

$$F = \frac{MSR}{MSE} = 28.299 \quad (4.3)$$

จากตารางที่ 4.4 จากการวิเคราะห์มีค่า p-value = 0.000 < 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงวา ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอย่างน้อย 1 ตัวที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 ดังนั้นจึงทำการทดสอบตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีผลต่อตัวแบบ โดยใช้การทดสอบ t-test ได้ดังนี้

สมมติฐาน คือ

$H_0 : \beta_i = 0 , i = 2, 4$

$H_1 : \beta_i \neq 0 , i = 2, 4$

ตารางที่ 4.5 ตัวแปรอิสระที่เข้ามาในสมการถดถอยโดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน

Coefficients[a]					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-459066972.600	93062829.560		-4.933	.000
X_2	64.441	11.504	.509	5.601	.000
X_4	1229885.653	317498.170	.352	3.874	.000

จากตารางที่ 4.5 ตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่า p-value < 0.05 จึงทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยไม่เท่ากับ 0 ได้แก่ จำนวนประชากร (X_2) และอุณหภูมิสูงสุด (X_4)

4.3 การตรวจสอบข้อตกลงของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

4.3.1 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปรกติหรือไม่

สมมติฐาน คือ

H_0 : ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปรกติ

H_1 : ค่าคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การทดสอบการแจกแจงปรกติของค่าคลาดเคลื่อนโดยใช้การทดสอบ Lilliefors

Tests of Normality			
Kolmogorov-Smirnov[a]			
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	.056	72	.200*

a. Lilliefors Significance Correction

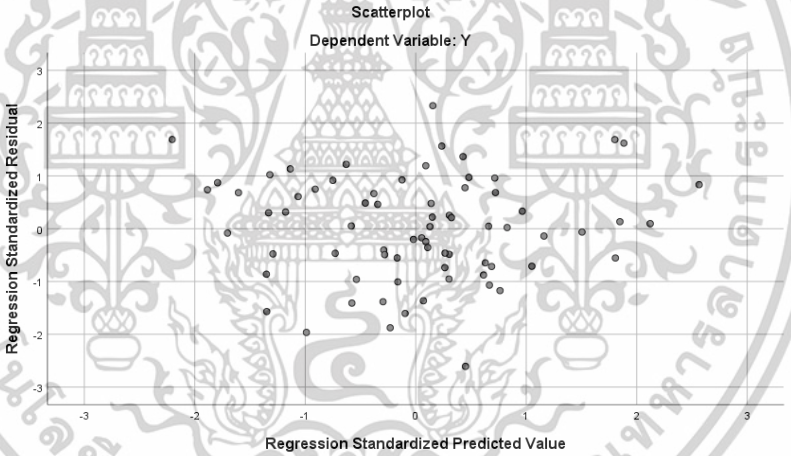
จากตารางที่ 4.6 พบว่าวิธี Lilliefors มี p-value เท่ากับ 0.200 > 0.05 จึงทำการยอมรับสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปรกติ

4.3.2 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่หรือไม่

สมมติฐาน คือ

H_0 : ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีคาคงที่

H_1 : ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีคาไม่คงที่



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพกระจายของค่าคลาดเคลื่อน

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ เนื่องจากกราฟมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อทดสอบด้วยวิธี Breusch-Pagan จะได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของตัวแปร

ANOVA[a]					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-value
Regression	7.511E+26	2	3.755E+26	1.452	.241
Residual	1.784E+28	69	2.585E+26		
Total	1.859E+28	71			

a. Dependent Variable : resid_sq

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.7 พบว่ามี p-value เท่ากับ 0.241 ซึ่งมากกว่า 0.05 คือ ไม่พบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ของความคลาดเคลื่อน (Heteroscedasticity)

4.3.3 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า Durbin-Watson

สมมติฐาน คือ

H_0 : ค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

H_1 : ค่าคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระกัน

ตารางที่ 4.8 การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธี Durbin-Watson

	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
Unstandardized Residual	.671	.451	.435	3565112.703	2.160

จากตารางที่ 4.8 ได้ค่าสถิติ Durbin-Watson เท่ากับ 2.160 จะได้ว่าค่า Durbin-Watson อยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2.5 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.4 ทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยพิจารณาจากค่า Tolerance หรือจากค่า VIF

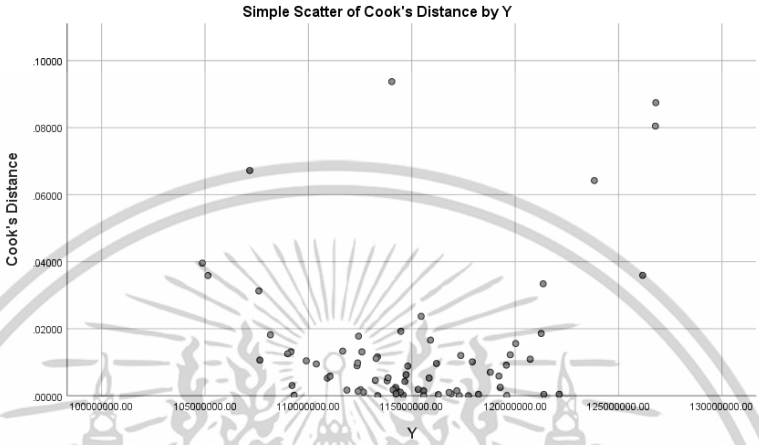
ตารางที่ 4.9 การทดสอบตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันหรือไม่

Coefficients[a]							
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	-459066972.600	93062829.560		-4.933	.000		
X_2	64.441	11.504	.509	5.601	.000	.964	1.037
X_4	1229885.653	317498.170	.352	3.874	.000	.964	1.037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาค่า VIF ของตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 10 ดังนี้ จำนวนประชากร (X_2) มีค่า VIF อยู่ที่ 1.037 และ อุณหภูมิสูงสุด (X_4) มีค่า VIF อยู่ที่ 1.037 แสดงว่าไม่เกิดภาวะ Multicollinearity ดังนั้น ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อย

4.3.5 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมีค่าผิดปรกติหรือไม่ โดยพิจารณาจาก Cook's Distance



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อน จากค่า Cook's Distance

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีค่า Cook's Distance อยู่ระหว่าง 0.00001 ถึง 0.09372 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 1 จึงไม่มีปัญหาค่าคลาดเคลื่อนเป็นค่าผิดปรกติ

การสร้างตัวแบบและตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น จะได้ว่าตัวแบบนี้มีความเหมาะสมกับวิธีการวิเคราะห์เชิงเส้นพหุคูณแล้ว ดังนั้นจะได้ค่าการทำนายตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566

เดือน	ค่าการทำนาย
มกราคม	109,685,741.30
กุมภาพันธ์	111,303,087.12
มีนาคม	111,533,469.61
เมษายน	113,891,331.56
พฤษภาคม	114,908,527.24
มิถุนายน	112,484,198.30
กรกฎาคม	112,805,349.02
สิงหาคม	112,274,630.14
กันยายน	110,710,054.12
ตุลาคม	109,465,569.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566

เดือน	ค่าการทำนาย
พฤศจิกายน	110,185,006.03
ธันวาคม	110,079,158.68

4.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

การวัดความคลาดเคลื่อนของการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยใช้รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การคำนวณรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566

t	Y_i	$\hat{Y}_i$	$Y_i - \hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$
มกราคม	112,579,004.00	109,685,741.30	2,893,262.70	8,370,969,040,446.43
กุมภาพันธ์	108,397,019.00	111,303,087.12	-2,906,068.12	8,445,231,933,293.50
มีนาคม	120,280,131.00	111,533,469.61	8,746,661.39	76,504,085,437,510.60
เมษายน	119,384,000.00	113,891,331.56	5,492,668.44	30,169,406,625,094.30
พฤษภาคม	122,962,758.00	114,908,527.24	8,054,230.76	64,870,633,186,069.50
มิถุนายน	119,534,672.00	112,484,198.30	7,050,473.70	49,709,179,439,195.90
กรกฎาคม	119,582,959.00	112,805,349.02	6,777,609.98	45,935,997,066,943.30
สิงหาคม	118,662,894.00	112,274,630.14	6,388,263.86	40,809,915,108,219.70
กันยายน	115,637,966.00	110,710,054.12	4,927,911.88	24,284,315,471,090.80
ตุลาคม	115,858,119.00	109,465,569.11	6,392,549.89	40,864,694,154,435.80
พฤศจิกายน	114,019,416.00	110,185,006.03	3,834,409.97	14,702,699,847,932.10
ธันวาคม	118,989,084.00	110,079,158.68	8,909,925.32	79,386,769,241,353.80
รวม				484,053,896,551,586.00
RMSE				6,351,206.56

จากตัวแบบการถดถอยที่ได้มีตัวแปรอิสระทั้งหมด 2 ตัวแปร เมื่อนำสมการถดถอยมาทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยใช้ค่าของตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวแปรในปี พ.ศ. 2566 ได้รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 6,351,206.56 ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

สมมติฐาน คือ

$H_0 : \mu_{Yi} - \mu\hat{Y}_i = 0$

$H_1 : \mu_{Yi} - \mu\hat{Y}_i \neq 0$

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566

Paired Samples Test						
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)
Pair 1 $Y_i - \hat{Y}_i$	5546824.982	3231192.969	932765.065	5.947	11	.000

จากการวิเคราะห์ Paired Sample T-test ระหว่างค่าจริง และค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2566 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 พบว่า ค่าสถิติทดสอบ t(11) เท่ากับ 5.947 และมีค่า p-value < 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก โดยสามารถสรุปได้ว่า ค่าจริงและค่าการทำนายของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.6 ค่าการทำนายปริมาณความต้องการน้ำประปาแบบช่วง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568

ตารางที่ 4.13 ค่าการทำนายปริมาณความต้องการน้ำประปาแบบช่วง ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2568 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568

เดือน	ช่วงคาดการณ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	
	ขีดจำกัดล่าง	ขีดจำกัดบน
มกราคม	100,535,275.13	115,345,872.60
กุมภาพันธ์	103,073,698.02	117,726,992.33
มีนาคม	105,394,827.05	120,325,405.90
เมษายน	106,476,888.81	121,703,115.46
พฤษภาคม	106,090,667.81	120,918,378.48
มิถุนายน	102,517,100.13	117,112,632.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การอภิปรายผล

จากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปา ในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง จำนวน 7 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้ใช้น้ำประปา จำนวนประชากร จำนวนแรงงานต่างด้าว อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรวม และจำนวนวันที่ฝนตก โดยเมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและเลือกตัวแปรอิสระด้วยการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) พบว่ามีตัวแปรอิสระเพียง 2 ตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปา ได้แก่ จำนวนประชากร และอุณหภูมิสูงสุด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากลักษณะของพฤติกรรมการใช้น้ำในระดับชุมชนเมือง ซึ่งมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับขนาดของประชากรโดยตรง กล่าวคือ เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคย่อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ **Mohamed M. Mohamed and Aysha A. Al-Mualla** ที่พบว่า จำนวนประชากรเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำในรัฐอุมม์อัลกุเวน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นตัวแปรที่สะท้อนถึงสภาพอากาศในช่วงวันที่มีอุณหภูมิร้อนจัด ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการใช้น้ำ เช่น การอาบน้ำบ่อยขึ้น การรดน้ำต้นไม้ หรือการใช้น้ำเพื่อระบายความร้อน เป็นต้น ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ **ณินาพรรณ์ เมฆไพบูลย์ และคณะ** ที่พบว่าปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ของการประปานครหลวงจะเพิ่มขึ้นประมาณ 44,400 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 1.3% ของความต้องการใช้น้ำเฉลี่ยรายเดือน เช่นเดียวกับ **Bakker et al.** ที่ชี้ว่าการนำข้อมูลอุณหภูมิและสภาพอากาศมาใช้ในแบบจำลองสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์และเพิ่มความแม่นยำในการบริหารจัดการน้ำได้

สำหรับตัวแปรอื่นๆ เช่น จำนวนผู้ใช้น้ำประปา จำนวนแรงงานต่างด้าว อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรวม และจำนวนวันที่ฝนตก ไม่สามารถอธิบายปริมาณการใช้น้ำประปาได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้น อาจเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเหล่านั้นไม่เพียงพอที่จะส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้น้ำในภาพรวม รวมทั้งผลกระทบจากฝนอาจไม่เด่นชัดในพื้นที่ที่เป็นเขตชุมชนเมืองที่มีโครงสร้างพื้นฐานด้านการประปาและพฤติกรรมการใช้น้ำที่คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามฝนหรือตัวแปรภูมิอากาศอื่นมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง และสร้างตัวแบบที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทำนายปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง โดยจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในการสร้างตัวแบบ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปา ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปา ได้แก่ จำนวนประชากร และอุณหภูมิสูงสุด โดยเมื่อพิจารณาจากค่า Standardized Coefficients Beta พบว่า จำนวนประชากรเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปามากกว่า โดยมีค่า Standardized Coefficients Beta เท่ากับ 0.509 รองลงมา คือ อุณหภูมิสูงสุด มีค่า Standardized Coefficients Beta เท่ากับ 0.352

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากค่า Unstandardized Coefficients จะสามารถสร้างตัวแบบสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของปริมาณการใช้น้ำประปา โดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอนได้ดังนี้

$$\hat{Y}_t = -459066972.600 + 64.441X_2 + 1229885.653X_4 \quad (5.1)$$

โดย $\hat{Y}_t$ คือ ปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง
X_2 คือ จำนวนประชากร
X_4 คือ อุณหภูมิสูงสุด

โดยมีค่า Adjust R-squared เท่ากับ 0.435 ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ 43.5% และเมื่อนำสมการถดถอยมาทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา โดยใช้ค่าตัวแปรอิสระทั้ง 2 ตัวในปี พ.ศ. 2566 ได้รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 6,351,206.56 ลูกบาศก์เมตร

5.2 สรุปผลตามวัตถุประสงค์การวิจัย

5.2.1 ศึกษาและตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

จากการวิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง จากตัวแปรอิสระทั้งหมด 7 ตัวแปร พบว่า มีเพียง 2 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำประปา ได้แก่ จำนวนประชากร และอุณหภูมิสูงสุด โดยจำนวนประชากรเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำมากกว่า เมื่อพิจารณาจากค่า Standardized Coefficients Beta

5.2.2 เพื่อสร้างตัวแบบที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณการใช้น้ำประปา

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณของปริมาณการใช้น้ำประปา สามารถสร้างตัวแบบได้ดังนี้

$$\hat{Y}_t = -459066972.600 + 64.441X_2 + 1229885.653X_4 \quad (5.2)$$

โดย $\hat{Y}_t$ คือ ปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

X_2 คือ จำนวนประชากร

X_4 คือ อุณหภูมิสูงสุด

5.3 การสรุปผลเพื่อนำไปใช้

จากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง ได้แก่ จำนวนประชากร และอุณหภูมิสูงสุด โดยทั้ง 2 ปัจจัยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณการใช้น้ำประปา กล่าวคือ เมื่อจำนวนประชากรและอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำประปาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ควรให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรเป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปามากกว่าเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น

5.4 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การศึกษามีความครอบคลุมและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ควรพิจารณาเพิ่มตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำประปา เช่น ประชากรแฝงในรูปแบบต่างๆ อาทิ ผู้ที่เดินทางเข้ามาทำงานในพื้นที่เฉพาะช่วงเวลากลางวันหรือเวลากลางคืน นักเรียนหรือนักศึกษาที่อาศัยอยู่แต่ไม่ได้ย้ายทะเบียนราษฎร์ ระดับความหนาแน่นของประชากร ลักษณะการใช้ที่ดิน หรือกิจกรรมทางเศรษฐกิจในพื้นที่ รวมถึงการพัฒนาแบบจำลองการทำนายปริมาณการใช้น้ำที่เหมาะสมกับบริบทของแต่ละพื้นที่และแต่ละช่วงเวลา

5.5 ข้อจำกัดในงานวิจัย

ตัวแปรบางตัวมีข้อมูลที่จัดเก็บในระดับรายปีเท่านั้น อาทิ ข้อมูลประชากรแฝง ข้อมูลทางด้านเศรษฐกิจ ส่งผลให้ไม่สามารถนำตัวแปรเหล่านั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงมีข้อจำกัดในด้านการวิเคราะห์ความต้องการน้ำประปารายพื้นที่ อาทิ การหาปริมาณความต้องการน้ำประปาตามพื้นที่ให้บริการของแต่ละสาขา หรือโรงงานผลิตน้ำแต่ละแห่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. สถิติสำหรับงานวิจัย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การประปานครหลวง. 2565. **รายงานความเชื่อมั่นคุณภาพน้ำประปาประจำปี 2564.** [Online]. Available : https://www.mwa.co.th/wp-content/uploads/2022/12/2021-Annual-Water-Quality-Report-%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2.pdf.

การประปานครหลวง. 2565. **รายงานประจำปี 2565.** [Online]. Available : https://www.mwa.co.th/wp-content/uploads/2023/07/Annual-Report-MWA-2565-TH.pdf.

กองบรรณาธิการเว็บไซต์ citizenthaipbs.net. 2565. **ฟังเสียงประเทศไทย : อนาคตน้ำ คน เมือง.** [Online]. Available : http://www.thecitizen.plus/node/57022.

เฉลิมวุฒิ คำเมือง. 2563. “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้น้ำประปา กรณีศึกษาเทศบาลเมืองบุรีรัมย์”. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 29(1) : 50-59.

ชัชชญา เสริมพงษ์พันธ์. 2560. “การพยากรณ์ความต้องการปูซีเมนต์ในประเทศไทย”. การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ณินาพรรณ์ เมฆไพบูลย์, อดิชัย พรพรหมินทร์, สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, เอกชัย ศิริกิจพาณิชย์กูล, ยุทธนา ตาละลักษมณ์, ดนย์ปภพ มะณี และณัฐ มาแจ้ง. 2561. “ความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้น้ำประปากับอุณหภูมิในพื้นที่ให้บริการของการประปานครหลวง”. หน้า 319-325. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56.** กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ณิชา สุภาพิมพ์ และสุเมธ แก่นมณี. 2555. “การพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในอนาคต โดยใช้แบบจำลองอารีมาและแบบลองการ์ช”. *วารสารวิจัย มข. ฉบับสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*. 11(1) : 45-55.

ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2548. การวิเคราะห์การถดถอย. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธรรมรักษ์ เติมทองสุขสกุล. 2557. “ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำขายของการประปานครหลวง”. การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พรสิน สุภวาลย์. 2556. การวิเคราะห์การถดถอย. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

เฟิลแคร์, มาร์ก. ธีรนงค์ สกุลศรี และธีรนุช ก้อนแก้ว. 2562. “โครงการแนวโน้มประชากรและความต้องการน้ำประปาในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล: รายงานฉบับสมบูรณ์”. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

วาโร เพ็งสวัสดิ์. 2550. “ปัจจัยทางการบริหารบางประการที่มีอิทธิพลต่อความเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ของโรงเรียนขนาดเล็กในประเทศไทย”. *วารสารวิทยบริการ*. 18(1) : 1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

สขิลา ลีลาชัย. 2563. “การประเมินความต้องการใช้น้ำกลุ่มที่พักอาศัยในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวงแบบรายพื้นที่”. *การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ*. 25(25) : WRE09.

สุชาฎา เลี่ยวกุล และสุภัทรา คงคุณ. 2564. “การพยากรณ์น้ำท่ารายวันโดยใช้วิธีการขับเคลื่อนด้วยข้อมูล กรณีศึกษาสถานีวัดน้ำท่า จังหวัดกาญจนบุรี”. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. 2563. **น้ำคือชีวิต.** [Online]. Available : https://www.researchcafe.tsri.or.th/water-is-life/.

กรมการปกครอง. 2566. สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร(รายเดือน). [Online]. Available : https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMONTH/statmonth/#/view.

กรมการจัดหางาน. 2567. **สถิติจำนวนคนต่างด้าวที่ได้รับอนุญาตทำงานคงเหลือทั่วราชอาณาจักร**. [Online]. Available : https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/alien_th/d17f1a83f2a14f2db5502d3ad0dc3cdf.pdf.

อมร สุมขำ. 2539. “อุปสงค์การใช้น้ำในเขตความรับผิดชอบของการประปานครหลวง กรณีศึกษา ผู้ใช้น้ำประเภทผู้อยู่อาศัย”. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

อุมาพร จันทศร. 2542. สถิติที่ไม่ใช้พารามิเตอร์, บริษัท ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพมหานคร.

Abdulkadir Yasar, Mehmet Bilgili and Erdogan Simsek. 2012. “Water Demand Forecasting Based on Stepwise Multiple Nonlinear Regression Analysis”. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 37 : 2333-2341.

Bakker, M. Duist, H. V. Schagen, K. V. Vreeburg, J. and Rietveld, L. 2014. “Improving the Performance of Water Demand Forecasting Models by Using Weather Input”. *Procedia Engineering*. 70 : 93-102.

Mohamed, M.M. and Al-Mualla, A.A. 2010. “Water Demand Forecasting in Umm Al-Quwain (UAE) Using the IWR-MAIN Specify Forecasting Model”. *Water Resources Management*. 24 : 4093–4120.

NuWater. 2566. **ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อแหล่งน้ำ: การปรับตัวให้เข้ากับความท้าทายที่รออยู่ข้างหน้า**. [Online]. Available : https://nuwater.com/th/the-impact-of-climate-change-on-water-sources/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางภาคผนวก ก-1 ปริมาณการใช้น้ำประปาในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวง

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	113,807,783	110,381,615	114,446,358	119,277,833	113,354,409	112,402,406	112,579,004
กุมภาพันธ์	109,153,064	107,599,972	113,339,307	118,225,399	107,160,892	105,140,300	108,397,019
มีนาคม	123,828,745	119,570,967	126,780,316	126,165,219	121,257,648	114,803,107	120,280,131
เมษายน	117,292,615	114,662,271	122,125,248	121,385,351	116,286,285	112,381,460	119,384,000
พฤษภาคม	121,352,456	115,576,810	126,799,293	118,799,452	112,588,408	115,453,653	122,962,758
มิถุนายน	112,518,194	114,581,102	119,594,472	115,837,664	114,099,086	111,047,900	119,534,672
กรกฎาคม	117,367,817	117,927,595	120,727,281	113,274,453	114,237,279	114,471,628	119,582,959
สิงหาคม	117,180,641	116,194,338	120,023,238	113,850,948	108,162,730	111,859,103	118,662,894
กันยายน	114,261,714	113,237,243	114,725,919	110,916,532	104,871,061	109,307,657	115,637,966
ตุลาคม	115,573,789	116,902,657	117,738,918	112,661,676	109,211,317	111,659,919	115,858,119
พฤศจิกายน	109,897,107	114,220,124	116,805,485	108,995,319	107,652,863	112,426,070	114,019,416
ธันวาคม	115,905,054	119,212,018	119,762,075	115,307,828	112,354,841	114,032,983	118,989,084

ตารางภาคผนวก ก-2 จำนวนผู้ใช้น้ำ

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	2,297,558	2,343,984	2,390,854	2,440,654	2,488,582	2,529,701	2,573,949
กุมภาพันธ์	2,301,300	2,348,301	2,395,782	2,445,135	2,491,432	2,533,491	2,578,031
มีนาคม	2,305,479	2,351,270	2,399,877	2,449,384	2,494,976	2,536,825	2,581,800
เมษายน	2,309,946	2,355,312	2,404,407	2,454,351	2,499,978	2,540,927	2,586,815
พฤษภาคม	2,313,612	2,357,982	2,407,367	2,458,024	2,503,771	2,543,943	2,590,236
มิถุนายน	2,317,700	2,361,926	2,411,511	2,463,093	2,507,561	2,546,993	2,593,916
กรกฎาคม	2,321,162	2,366,646	2,415,680	2,468,925	2,510,312	2,550,946	2,598,092
สิงหาคม	2,324,582	2,371,047	2,419,287	2,474,527	2,514,627	2,554,738	2,601,886
กันยายน	2,328,598	2,375,490	2,423,540	2,479,547	2,517,486	2,558,418	2,606,167
ตุลาคม	2,332,677	2,379,054	2,427,803	2,484,320	2,520,483	2,562,169	2,609,904
พฤศจิกายน	2,336,088	2,383,159	2,431,874	2,488,011	2,522,979	2,565,147	2,612,872
ธันวาคม	2,340,237	2,387,171	2,436,822	2,485,641	2,525,185	2,569,004	2,615,906

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก-3 จำนวนประชากร

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	8,194,041	8,225,217	8,251,119	8,278,988	8,215,903	8,171,252	8,150,362
กุมภาพันธ์	8,197,638	8,227,557	8,254,741	8,281,035	8,215,401	8,170,464	8,150,649
มีนาคม	8,200,812	8,232,012	8,257,372	8,281,704	8,214,306	8,167,337	8,150,407
เมษายน	8,200,920	8,230,905	8,256,006	8,280,638	8,210,132	8,162,097	8,146,917
พฤษภาคม	8,200,979	8,231,980	8,255,683	8,272,893	8,202,321	8,159,991	8,145,525
มิถุนายน	8,203,955	8,234,024	8,257,974	8,250,815	8,196,602	8,159,104	8,146,075
กรกฎาคม	8,207,877	8,236,681	8,259,048	8,248,024	8,192,145	8,158,497	8,145,333
สิงหาคม	8,211,520	8,239,359	8,260,841	8,233,023	8,185,625	8,157,925	8,146,640
กันยายน	8,215,789	8,242,436	8,262,441	8,217,592	8,180,558	8,156,717	8,150,989
ตุลาคม	8,218,131	8,244,456	8,262,673	8,218,918	8,177,033	8,155,408	8,152,671
พฤศจิกายน	8,220,085	8,248,243	8,262,580	8,217,034	8,174,137	8,152,302	8,152,384
ธันวาคม	8,222,916	8,249,551	8,276,526	8,216,446	8,173,080	8,151,075	8,152,650

ตารางภาคผนวก ก-4 จำนวนแรงงานต่างด้าว

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	402,628	559,924	803,305	996,501	735,183	762,860	1,107,903
กุมภาพันธ์	455,499	589,214	816,242	990,493	727,084	763,582	920,962
มีนาคม	387,624	574,884	1,053,723	1,041,589	726,462	770,513	922,950
เมษายน	383,993	655,335	1,111,796	887,897	756,931	644,470	924,488
พฤษภาคม	392,968	613,556	1,102,147	870,616	763,031	706,667	925,007
มิถุนายน	411,943	701,882	1,057,793	850,940	785,990	738,749	926,146
กรกฎาคม	412,753	690,615	1,040,877	833,278	779,907	770,975	934,428
สิงหาคม	349,689	775,903	1,021,108	817,262	770,272	794,170	886,267
กันยายน	469,525	787,811	1,027,449	825,523	778,412	814,403	890,872
ตุลาคม	475,588	814,769	981,271	841,306	770,518	885,338	883,788
พฤศจิกายน	502,840	823,207	1,007,024	850,968	764,452	954,835	886,277
ธันวาคม	534,792	835,461	990,055	843,274	770,474	998,007	888,131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก-5 อุณหภูมิสูงสุด

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	34.7	36.0	34.7	35.5	34.8	35.6	35.4
กุมภาพันธ์	36.5	35.1	36.0	35.9	37.5	35.2	36.7
มีนาคม	37.5	35.7	38.8	39.5	37.5	36.5	36.9
เมษายน	38.8	37.3	39.7	37.7	37.0	38.4	39.0
พฤษภาคม	37.7	35.8	39.1	38.0	37.8	36.3	39.9
มิถุนายน	36.5	35.5	38.0	37.2	37.6	37.4	37.9
กรกฎาคม	35.1	34.9	35.9	36.6	37.5	35.9	38.2
สิงหาคม	36.9	34.1	35.2	37.0	36.4	35.9	37.7
กันยายน	37.1	35.6	35.5	35.8	35.6	35.0	36.2
ตุลาคม	35.3	35.6	36.0	35.4	35.0	34.6	35.1
พฤศจิกายน	34.7	35.3	34.7	36.0	35.0	35.0	35.7
ธันวาคม	34.0	35.7	35.0	35.1	34.4	34.0	35.6

ตารางภาคผนวก ก-6 อุณหภูมิเฉลี่ย

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	27.8	27.0	27.6	29.1	25.2	28.6	26.5
กุมภาพันธ์	28.1	26.9	29.9	29.1	28.5	28.4	28.0
มีนาคม	30.2	28.8	30.9	30.6	30.2	30.1	29.5
เมษายน	31.1	28.8	31.3	31.0	30.4	28.7	31.7
พฤษภาคม	30.0	29.8	27.5	30.8	30.0	29.2	31.9
มิถุนายน	29.6	29.7	30.9	30.2	30.6	30.2	31.0
กรกฎาคม	29.2	29.3	30.0	29.9	30.7	29.6	30.7
สิงหาคม	30.0	28.8	29.6	30.0	29.8	29.5	30.9
กันยายน	30.2	29.9	29.6	29.8	29.6	29.3	29.6
ตุลาคม	28.9	29.4	29.7	28.3	28.9	28.3	29.4
พฤศจิกายน	28.5	28.2	28.4	28.5	28.5	28.0	28.0
ธันวาคม	24.8	28.9	26.1	26.7	26.6	25.9	27.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวก ก-7 ปริมาณน้ำฝนรวม

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	112.6	407.6	2	19.9	0	88.9	6
กุมภาพันธ์	1.3	254.1	15	1.2	100.8	216.2	104.1
มีนาคม	162.3	210	5.2	79.4	22.6	221.2	65
เมษายน	133.7	742.1	194.7	176.7	506.1	187.5	125.9
พฤษภาคม	1235.3	509.4	462.6	320.3	441.6	732.6	213.7
มิถุนายน	662.2	308.3	450.6	562.4	290.2	546.2	350.6
กรกฎาคม	624.4	398.6	360	719.1	619.2	637.7	500.7
สิงหาคม	732.1	408.5	259.1	844.9	774.9	869.2	479
กันยายน	585.7	835.7	776.6	733.6	1127.6	1370	839.3
ตุลาคม	1099.6	675.7	417.4	876.9	743.6	745	454.2
พฤศจิกายน	105.5	35.1	48	79	142.1	368.4	328.7
ธันวาคม	49.1	311.7	0.2	0	8.8	6.5	47.8

ตารางภาคผนวก ก-8 จำนวนวันที่ฝนตก

	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566
มกราคม	4	5	2	1	0	2	1
กุมภาพันธ์	2	7	2	1	1	8	1
มีนาคม	6	7	2	1	3	7	1
เมษายน	6	13	4	6	15	5	3
พฤษภาคม	22	20	15	9	12	14	9
มิถุนายน	20	15	17	16	11	17	11
กรกฎาคม	19	22	12	21	21	19	13
สิงหาคม	21	18	19	18	17	21	16
กันยายน	20	20	19	21	21	24	20
ตุลาคม	19	18	12	18	18	13	17
พฤศจิกายน	7	2	1	4	6	11	8
ธันวาคม	4	4	1	0	1	3	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวปัญญวี เย็นอังกูร
วัน เดือน ปีเกิด	31 สิงหาคม พ.ศ. 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	2128 ถนนประชาร่วมใจ เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510
ประวัติการศึกษา	(2561) บริหารธุรกิจบัณฑิต ภาควิชาบริหารธุรกิจ เกรดเฉลี่ย 3.47 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้