

การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบ  
สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง: กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี

นางสาวจิรัฐติกาล ทรัพย์สมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF POPULATION DISTRIBUTION MODEL USING LAND USE DATA BY  
SECOND-ORDER POLYNOMIAL REGRESSION: CASE STUDY OF SUPHANBURI

Miss Jirattikan Subsomboon



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Spatial Information System in

Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วย ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลี โนเมียลกำลังสอง: กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี
โดย	นางสาวจิรัฐติกา ททรัพย์สมบูรณ์
สาขาวิชา	ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.จงทิศ ฉายากุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.ธราวุธ ทิพย์เดโช)

จิรัฐติกาล ทรัพย์สมบูรณ์ : การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง: กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี (STUDY OF POPULATION DISTRIBUTION MODEL USING LAND USE DATA BY SECOND-ORDER POLYNOMIAL REGRESSION: CASE STUDY OF SUPHANBURI) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ, 136 หน้า.

ข้อมูลประชากรเชิงพื้นที่นับเป็นข้อมูลสำคัญในแบบจำลองการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่นำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ โดยเป็นตัวแทนปัจจัยในการศึกษาทำความเข้าใจกับลักษณะสภาพเศรษฐกิจและสังคม รวมไปถึงการนำไปประกอบการวางแผนปฏิบัติงานด้านต่าง ๆ ในพื้นที่ จนถึงปัจจุบัน ข้อมูลประชากรของประเทศไทยเกือบทั้งหมดได้ถูกสำรวจจัดเก็บอ้างอิงกับหน่วยพื้นที่เขตการปกครอง ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่เพียงพอที่จะตอบสนองการใช้งานในหลาย ๆ กรณี ที่ผ่านมามีผู้ศึกษาทดลองสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรเชิงพื้นที่ในรูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่ไว้แล้ว แต่สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้ยังให้ค่าการประมาณความหนาแน่นประชากรที่คลาดเคลื่อนพอสมควร โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้กับหน่วยพื้นที่ขนาดค่อนข้างเล็ก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากรดังกล่าว โดยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยใช้ข้อมูลพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นข้อมูลในงานวิจัย ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนดของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองที่ได้ มีค่าสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 5.0 % เมื่อเทียบกับการใช้สมการเชิงเส้น จึงนับเป็นอีกหนึ่งแนวทางเลือกที่จะสามารถนำไปใช้พัฒนาเครื่องมือวิเคราะห์ประมาณค่าการกระจายตัวของประชากรได้ต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทางวิศวกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5570144021 : MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING

KEYWORDS: POPULATION DISTRIBUTION MODEL / LAND USE / NON-LINEAR REGRESSION ANALYSIS / SPATIAL STATISTICS / SECOND-ORDER POLYNOMIAL REGRESSION.

JIRATTIKAN SUBSOMBOON: STUDY OF POPULATION DISTRIBUTION MODEL USING LAND USE DATA BY SECOND-ORDER POLYNOMIAL REGRESSION: CASE STUDY OF SUPHANBURI. ADVISOR: ASSOC. PROF.CHANIN TINNACHOTE, Ph.D., 136 pp.

Population data, the distribution of population and related attribute are very important in GIS data analysis models developed for many field of applications and also for planning in various types of field operation. It represents factors for understanding social and economic characteristics of an area. Currently, most of the population data in Thailand was surveyed or collected based on administrative area units which may not represent enough spatial resolution for many applications. Recently, a study of spatial population distribution model using spatial statistical analysis has been conducted in the form of linear correlation equation between population density and types of land use. The projected population density using that model does still, however, contain considerable error. The aim of this research is then set to study the possibility of enhancing that cited population distribution model by employing non-linear regression analysis. The population density and land use data of Suphanburi province were used to formulate a spatial population distribution model by means of second-order polynomial regression analysis. The resulted coefficient of determination of the resulted non-linear regression equations were found to be averagely 5 % higher when compared to the models using linear equation. This indicates that the land use based population distribution model in the form of second-order polynomial equation can be an alternative for further development of spatial population distribution model in Thailand.

Department: Survey Engineering                      Student's Signature .....

Field of Study: Spatial Information                      Advisor's Signature .....

System in Engineering

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้แนวคิด คำปรึกษา ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ธงทิศ ฉายากุล และ ดร.ธราวุธ ทิพย์เดโช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งนี้และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรุง สีนอภิมย์สรานู ภาควิชาคณิตศาสตร์ และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยสำหรับการให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในเรื่องซอฟต์แวร์ทางสถิติสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระ กุลสวัสดิ์ ผู้ช่วยคณบดี คณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ช่วยให้ความรู้ในเรื่องสถิติ สำหรับการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ เพื่อน นิสิตภาคภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา รวมถึงความช่วยเหลือด้านซอฟต์แวร์ทางสถิติ

ขอขอบพระคุณ รุ่นพี่ รุ่นน้อง โดยเฉพาะเพื่อนๆ ในชั้นปี ที่ให้คำแนะนำและแลกเปลี่ยนความรู้ในระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่ช่วยดูแลและอำนวยความสะดวกระหว่างการศึกษาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและก่อให้เกิดประโยชน์แก่ประเทศชาติต่อไป

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหางานวิจัย.....	3
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	3
1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1.1 การประมาณความหนาแน่นประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	9
2.1.2 แนวทางต่าง ๆ ในการประมาณค่าประชากร ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศทาง ภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกล.....	14
2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของประชากรกับปัจจัยต่าง ๆ.....	16
2.1.4 การสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีต่าง ๆ.....	17
2.2 ความรู้และข้อมูลพื้นฐาน.....	19

2.2.1 การกระจายตัวของประชากรในประเทศไทย .....	19
2.2.2 ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดสุพรรณบุรี.....	20
2.2.2.1 ที่ตั้งและอาณาเขต.....	20
2.2.2.2 การแบ่งเขตการปกครอง.....	21
2.2.2.3 ประชากรและครัวเรือน.....	21
2.2.2.4 ลักษณะภูมิประเทศ.....	21
2.2.2.5 ลักษณะภูมิอากาศ.....	22
2.2.2.6 สภาพพื้นที่และการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี .....	22
2.4.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	23
2.3 ทฤษฎีและเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
2.3.1 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis).....	31
2.3.2 ทฤษฎีสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Autocorrelation).....	34
2.3.3 รูปแบบเชิงพื้นที่ (Spatial pattern).....	34
2.3.4 สถิติเชิงพื้นที่ (Spatial statistics).....	35
2.4 เครื่องมือในการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่.....	36
2.4.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่ (The spatial statistics tools in the ArcGIS).....	36
2.4.1.1 Exploratory Regression โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 .....	36
2.4.1.2 เครื่องมือ Spatial Autocorrelation (Morans I) ในซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1.....	39
2.4.1.3 เครื่องมือ Ordinary Least Squares (OLS) ในซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 .....	41
2.4.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์การถดถอยในซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 (Regression Analysis tools in the RapidMiner 5.3).....	43
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย .....	47



3.1 การจัดเตรียมข้อมูลและการคำนวณค่าของข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผล.....	48
3.1.1 ข้อมูลตำแหน่งบ้าน.....	48
3.1.2 ข้อมูลประชากร.....	49
3.1.3 การเชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งบ้านกับข้อมูลประชากร และการปรับแก้ข้อมูลให้ ครบถ้วน.....	49
3.1.4 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	50
3.1.5 ข้อมูลขอบเขตการปกครอง.....	51
3.1.6 ข้อมูลขอบเขตป่า.....	52
3.1.7 การจัดสร้างหน่วยพื้นที่และเชื่อมโยงชั้นข้อมูลแผนที่ต่างๆ เข้าด้วยกันสำหรับการ วิเคราะห์ข้อมูล.....	52
3.1.8 การวิเคราะห์ค่าข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอยในแต่ละช่องกริด.....	55
3.2 การสร้างรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองของแต่ละหน่วยพื้นที่.....	55
3.3 การสร้างและวิเคราะห์ค่าข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) ในรูปแบบของสมการ ถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง.....	61
3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1.....	61
3.5 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียล กำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1.....	65
3.6 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3.....	68
3.7 การวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	72
3.7.1 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination, $R^2$ ) ของสมการถดถอย.....	72
3.7.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่น ประชากร.....	73

3.7.3 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้ กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบลที่ประมาณการได้.....	74
3.8 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner.....	74
3.9 การวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองฯ.....	74
3.9.1 การตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล.....	75
3.9.2 การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	75
3.9.3 การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร.....	76
3.9.4 การทดลองเพิ่มตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่ .....	76
3.9.5 การทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย .....	76
3.9.6 การทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road).....	77
3.9.7 การทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความชัน (Slope).....	77
3.9.8 การสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการ กระจายตัวของประชากร.....	78
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน .....	79
4.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจาก ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 .....	79
4.2 ผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียล กำลังสองโดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 .....	84
4.3 ผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลัง สอง โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3.....	90
4.4 ผลการวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง .....	97
4.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของ ประชากรที่ประมาณการได้.....	97
4.4.1.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์ ArcGIS.....	97

4.4.1.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์ RapidMiner.....	102
4.4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการ ได้กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบล .....	104
4.5 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner.....	107
4.6 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร.....	113
4.6.1 ผลการทดลองตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล .....	113
4.6.2 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ ที่ดิน.....	115
4.6.3 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร .....	119
4.6.4 ผลการทดลองเพิ่มตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่.....	121
4.6.5 ผลการทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย.....	122
4.6.6 ผลการทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road) .....	123
4.6.7 ผลการทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความชัน (Slope).....	123
4.6.8 ผลการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการ กระจายตัวของประชากร.....	124
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	126
5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย .....	126
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	127
5.2.1 การวิเคราะห์คัดเลือกตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	127
5.2.2 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ประเมิน ประสิทธิภาพของแบบจำลอง .....	128
5.2.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ .....	128

5.2.4 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของ ประชากร .....	129
5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย .....	130
5.4 ข้อเสนอแนะ .....	130
5.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....	131
รายการอ้างอิง .....	132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	136



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความหนาแน่นประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	12
ตารางที่ 2.2 สรุปประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2551 .....	25
ตารางที่ 2.3 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	29
ตารางที่ 3.1 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	50
ตารางที่ 3.2 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยพื้นที่.....	56
ตารางที่ 3.3 รูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยพื้นที่.....	57
ตารางที่ 3.4 แสดงการแบ่งระดับของร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด.....	75
ตารางที่ 3.5 แสดงการจัดระดับความหนาแน่นถนน.....	77
ตารางที่ 3.6 แสดงการจัดระดับความลาดชัน.....	78
ตารางที่ 4.1 แสดงตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรในหน่วยพื้นที่ต่าง ๆ .....	80
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS .....	85
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในสมการแบบจำลองฯ.....	88
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner.....	91
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในสมการแบบจำลองฯ.....	94
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยซอฟต์แวร์ ArcGIS .....	98
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นประชากรในแต่ละหน่วยพื้นที่.....	98

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยซอฟต์แวร์ RapidMiner .....	102
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบล .....	105
ตารางที่ 4.10 แสดงค่า $R^2$ และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยตัวแปรอิสระจากซอฟต์แวร์ RapidMiner โดยเครื่องมือวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS.....	109
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองและสมการถดถอยเชิงเส้น .....	110
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ที่เพิ่มตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่กับค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ตั้งต้น .....	121
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ที่ปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอยกับค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ตั้งต้น .....	122
ตารางที่ 4.14 แสดงค่า $R^2$ และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยการทดลองเพิ่มตัวแปรความหนาแน่นถนนเทียบกับแบบจำลองฯ สมการเชิงเส้น .....	123
ตารางที่ 4.15 แสดงค่า $R^2$ และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยการทดลองเพิ่มตัวแปรความชัน (Slope) เทียบกับแบบจำลองฯ สมการเชิงเส้น.....	124
ตารางที่ 4.16 แสดงค่า $R^2$ และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรจากการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก .....	125

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 บริเวณพื้นที่ศึกษา .....	3
รูปที่ 1.2 แผนที่ข้อมูลพื้นฐาน.....	5
รูปที่ 1.3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน .....	5
รูปที่ 1.4 แผนที่แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข .....	6
รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของแผนที่ค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของจำนวนประชากรในแต่ละช่องกริด ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณบนหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาด 2x2 ตารางกิโลเมตร .....	13
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของแผนที่ค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของจำนวนประชากรในแต่ละช่องกริด ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณบนหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาด 5x5 ตารางกิโลเมตร .....	13
รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ของสภาพพื้นที่ของจังหวัดสุพรรณบุรี .....	23
รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี.....	23
รูปที่ 2.5 แสดงแผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำแนกระดับ 1) .....	30
รูปที่ 2.6 แสดงแผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำแนกระดับ 2) .....	30
รูปที่ 2.7 แสดงการจัดแบ่ง Regression Analysis ตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการจะวิเคราะห์ .....	33
รูปที่ 2.8 การจำแนกรูปแบบของพื้นที่ (ESRI 2006).....	35
รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องมือ Exploratory Regression.....	37
รูปที่ 2.10 แสดงการเลือกจำนวนตัวแปรผลลัพธ์และการกำหนดค่าทางสถิติจากเครื่องมือ .....	37
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกจากเครื่องมือ Exploratory Regression ใน .....	38
รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง Summary of Variable Significance จากเครื่องมือ Exploratory Regression.....	38
รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง Summary of Multicollinearity จากเครื่องมือ Exploratory Regression...	39
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างผลลัพธ์จากเครื่องมือ Spatial Autocorrelation, or Global Moran's I .....	41
รูปที่ 2.15 เครื่องมือ Ordinary Least Squares.....	42

รูปที่ 2.16 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของซอฟต์แวร์ RapidMiner .....	43
รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบการทำงานของ RapidMiner5.3 .....	45
รูปที่ 2.18 แสดงค่าตัวชี้วัดทางสถิติของการประเมินสมการถดถอย.....	45
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย .....	47
รูปที่ 3.2 ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้าน.....	50
รูปที่ 3.3 ชั้นข้อมูลขอบเขตการปกครอง.....	51
รูปที่ 3.4 ชั้นข้อมูลขอบเขตอุทยานแห่งชาติและป่าสงวน .....	52
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างช่องกริดขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร .....	53
รูปที่ 3.6 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านลงบนชั้นข้อมูลตารางช่องกริด .....	53
รูปที่ 3.7 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินลงบนชั้นข้อมูลตารางช่องกริด.....	54
รูปที่ 3.8 ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านและชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ก่อนการซ้อนทับ .....	54
รูปที่ 3.9 ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านและชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน หลังการซ้อนทับ .....	55
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างตารางข้อมูลเชิงบรรยายที่ได้จัดสร้าง .....	61
รูปที่ 3.11 แสดงการเลือกตัวแปรในเครื่องมือ Exploratory Regression .....	62
รูปที่ 3.12 แสดงการกำหนดค่าทางสถิติต่าง ๆ ในเครื่องมือ Exploratory Regression .....	63
รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกจากเครื่องมือ Exploratory Regression ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร.....	63
รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ Summary of Variable Significance ของหน่วยพื้นที่ขนาด .....	64
รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ Summary of Multicollinearity ของหน่วยพื้นที่ขนาด.....	65
รูปที่ 3.16 แสดงการเลือกตัวแปรในเครื่องมือ Ordinary Least Squares .....	66
รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ Ordinary Least Squares.....	67
รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ค่าสถิติต่าง ๆ จากเครื่องมือ Ordinary Least Squares ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร.....	67
รูปที่ 3.19 แสดงรูปแบบกระบวนการทำงาน (Process) ของ RapidMiner .....	69



รูปที่ 3.20 แสดงการสร้างข้อมูลตัวแปร ด้วยโอเปอเรเตอร์ Generate Attribute.....	69
รูปที่ 3.21 แสดงการเลือกตัวแปรเพื่อสร้างแบบจำลอง ด้วยโอเปอเรเตอร์ Select Attributes .....	70
รูปที่ 3.22 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโอเปอเรเตอร์ Write Excel ของหน่วยพื้นที่ 5x5 ตาราง กิโลเมตร.....	71
รูปที่ 3.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแบบจำลอง ของหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร .....	71
รูปที่ 3.24 แสดงรายงานผลลัพธ์ค่าสถิติต่าง ๆ ของแบบจำลอง ของหน่วยพื้นที่ 5x5 ตาราง กิโลเมตร.....	72
รูปที่ 4.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 2x2 ตาราง กิโลเมตร.....	99
รูปที่ 4.2 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 5x5 ตาราง กิโลเมตร.....	100
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของความหนาแน่นของประชากรในช่วงต่าง ๆ	101
รูปที่ 4.4 แสดงระดับร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน MAPE จากแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 1x1 ตร.กม.....	101
รูปที่ 4.5 แสดงระดับร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน MAPE จากแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 2x2 ตร.กม.....	102
รูปที่ 4.6 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 2x2 ตาราง กิโลเมตร จากซอฟต์แวร์ RapidMiner .....	103
รูปที่ 4.7 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 5x5 ตาราง กิโลเมตร จากซอฟต์แวร์ RapidMiner .....	104
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแบบจำลองฯ กับการประมาณค่าจากข้อมูลราย ตำบล บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร .....	106
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ กับการประมาณค่าจากข้อมูลราย ตำบล บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร .....	106
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R^2$ ของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และ RapidMiner .....	107

รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์	108
รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์	108
รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R^2$ ของแบบจำลองฯ จากสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Nonlinear) และสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear)	111
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแบบจำลองฯ จากสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Nonlinear) และสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear)	111
รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ จากสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Nonlinear) และสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear)	112
รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R^2$ ของแบบจำลองฯ ก่อนตัดพื้นที่ป่าและหลังตัดพื้นที่ป่า	114
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE (%) ของแบบจำลองฯ ก่อนตัดพื้นที่ป่าและหลังตัดพื้นที่ป่าบนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร	114
รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ ก่อนตัดพื้นที่ป่าและหลังตัดพื้นที่ป่า	115
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R^2$ ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด	116
รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่า $R^2$ ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด	116
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด	117
รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด	117
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด	118

รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด ..... 118

รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของความหนาแน่นของประชากรในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด ..... 119

รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของความหนาแน่นของประชากรในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด ..... 120

รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของความหนาแน่นของประชากรในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด ..... 120



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ข้อมูลประชากรถือเป็นข้อมูลที่สำคัญ ในการประเมินการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ และเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการและประเมินโครงการต่าง ๆ ทั้งในภาครัฐและเอกชน รวมถึงการประยุกต์ใช้งานด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ซึ่งข้อมูลประชากรเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะสภาพเศรษฐกิจและสังคม และนำไปใช้ในแบบจำลองการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นความละเอียดถูกต้องของข้อมูลประชากรเชิงพื้นที่จึงมีความสำคัญอย่างมากเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งจะส่งผลให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้ได้เหมาะสมและพยากรณ์เหตุการณ์ต่าง ๆ ได้แม่นยำมากขึ้น

ปัจจุบันมีหน่วยงานของรัฐที่เป็นแหล่งบริการข้อมูลทางประชากรหลัก ๆ อยู่ 3 หน่วยงาน คือ สำนักงานสถิติแห่งชาติ สังกัดกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์ สังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข และสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง สังกัดกระทรวงมหาดไทยโดยมีการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ และเผยแพร่สู่สาธารณชน ซึ่งข้อมูลประชากรจากสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครองหรือรู้จักกันโดยทั่วไปในชื่อ ข้อมูลทะเบียนราษฎร์ เป็นข้อมูลจำนวนประชากรในทะเบียนบ้านแต่ละหลังและถูกจัดแบ่งตามพื้นที่เขตการปกครอง ซึ่งให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานหลาย ๆ ด้าน หากต้องการวิเคราะห์ข้อมูลประชากรในขอบเขตพื้นที่อื่นเพื่อการจัดการและวางแผนในพื้นที่โครงการต่าง ๆ นั้น ต้องอาศัยการประมาณค่าข้อมูล (interpolation) (Lam 1983) ซึ่งมักเกิดความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากการคำนวณความหนาแน่นของประชากรใช้สมมติฐานที่ว่าความหนาแน่นของประชากรมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งหน่วยพื้นที่ ซึ่งความจริงแล้วความหนาแน่นของประชากรมีความไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งพื้นที่ โดยเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่าง ๆ ทั้ง ด้านกายภาพ ด้านภูมิศาสตร์ ด้านเศรษฐกิจและวัฒนธรรม เป็นต้น ดังนั้นการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณค่าข้อมูลจะใช้วิธีการทำ Dasymetric Mapping ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้านแผนที่โดยนำข้อมูลเงื่อนไขหรือปัจจัยเชิงพื้นที่ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์และกระจายค่าจำนวนประชากรไปยังหน่วยพื้นที่ที่เล็กกว่า จนได้ข้อมูลประชากรที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสม่ำเสมอในแต่ละหน่วยพื้นที่ (Eicher and Brewer 2001, Mennis 2003, Nelson 2007)

แบบจำลองการกระจายตัวของประชากร (Population Distribution Model) เป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายเงื่อนไขของปัจจัยการกระจายตัวของความหนาแน่นของประชากร ซึ่งมี

ความสำคัญต่อการประมาณค่าจำนวนประชากรเชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องน่าเชื่อถือใกล้เคียงกับความ เป็นจริง และช่วยสนับสนุนการใช้งานด้าน GIS ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในโครงการต่าง ๆ อย่างมาก ส่วนใหญ่การศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของประชากรนั้น เป็นการศึกษารูปแบบการกระจายตัว ของประชากรในพื้นที่ (Bertaud and Malpezzi 2014, Martine 2005)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร เชิงพื้นที่โดยใช้ความสัมพันธ์กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์ (Tian et al. 2005) ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลการ กระจายตัวของประชากร คือการใช้ประโยชน์ที่ดินและสามารถใช้เป็นตัวแทนของปัจจัยทางภูมิศาสตร์ อื่น ๆ ได้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางภูมิศาสตร์อื่น ๆ แล้ว ซึ่งในประเทศไทยได้มีผู้นำ แนวคิดนี้มาศึกษาและทดลองสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรเชิงพื้นที่ ในรูปแบบ สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่เพื่อช่วยในการคัดเลือกประเภทการใช้ที่ดิน (พิชญา นิมิตร กุล 2556) โดยใช้จังหวัดสุพรรณบุรีเป็นพื้นที่ศึกษา แต่ผลของสมการความสัมพันธ์ที่ได้ยังให้ค่าการ ประมาณความหนาแน่นประชากรที่คลาดเคลื่อนพอสมควร โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้กับหน่วยพื้นที่ ขนาดค่อนข้างเล็ก แต่ในส่วนของหน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่มีความผิดพลาดน้อยลง

ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแบบจำลองการ กระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากร โดยการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของ ประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้รูปแบบสมการถดถอยโพลี โนเมียลกำลังสอง (Second-Order Polynomial Regression) จะเรียกฟังก์ชันการถดถอยแบบนี้ว่า พื้นผิวตอบสนอง (Response surface) ซึ่งทำให้เกิดแนวโน้มของการพยากรณ์ที่แม่นยำมากขึ้น และสามารถทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้ลดลง ซึ่งในส่วนของกรวิเคราะห์การถดถอยแบบ โพลีโนเมียลนั้นจะใช้ซอฟต์แวร์ทางด้าน DataMining เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยสนับสนุนในการวิเคราะห์ หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรร่วมกับซอฟต์แวร์ ArcGIS เพื่อให้ได้แบบจำลอง การกระจายตัวประชากรที่น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรในพื้นที่ ศึกษา บนปัจจัยข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง

1.2.2 ศึกษาและประเมินความเหมาะสมของการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของ ประชากรในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

#### 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาทางานวิจัย

ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองโดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยหลัก เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อ การกระจายตัวของประชากรนั้นมีความสัมพันธ์กับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

#### 1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ที่ใช้ในการวิจัย ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ 1.1 บริเวณพื้นที่ศึกษา

#### 1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือข้อมูลของจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1.3.3.1 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 มาตรฐาน 1:25000 ซึ่งได้จากการแปลแผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข มาตรฐาน 1:4000 มีลักษณะ

เป็นข้อมูลพื้นที่รูปปิด (Polygon) แบ่งเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน สัญลักษณ์ของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเนื้อที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ กรมพัฒนาที่ดินได้แบ่งระดับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 3 ระดับพร้อมด้วยรหัส เพื่อใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แต่ในบางประเภทการจำแนกอาจจะได้เพียงระดับที่ 1 หรือที่ 2 เท่านั้น โดยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี สามารถจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ดังนี้

- 1) พื้นที่อยู่อาศัย จำแนกเป็น ตัวเมืองและย่านการค้า หมู่บ้าน สถานที่ราชการ และสถาบันต่าง ๆ สถานีคมนาคม ย่านอุตสาหกรรม สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ
- 2) พื้นที่เกษตรกรรม จำแนกเป็น นาข้าว พืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน พืชหญ้า เลี้ยงสัตว์ โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พืชน้ำ
- 3) พื้นที่ป่าไม้
- 4) พื้นที่แหล่งน้ำ
- 5) พื้นที่อื่น ๆ จำแนกเป็น พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ลุ่ม บ่อลูกรัง บ่อทราย บ่อดิน พื้นที่ทิ้งขยะ ที่รกร้าง

1.3.3.2 ข้อมูลตำแหน่งบ้าน เป็นข้อมูลที่ทางสำนักงานจังหวัดสุพรรณบุรีจัดทำขึ้นจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:4000 (ถ่ายเมื่อปี พ.ศ. 2548) มีลักษณะเป็นข้อมูลจุด โดยมีจำนวนประมาณ 152,000 จุด และข้อมูลเชิงบรรยายแสดงหมายเลขประจำบ้านของจุดนั้น ๆ

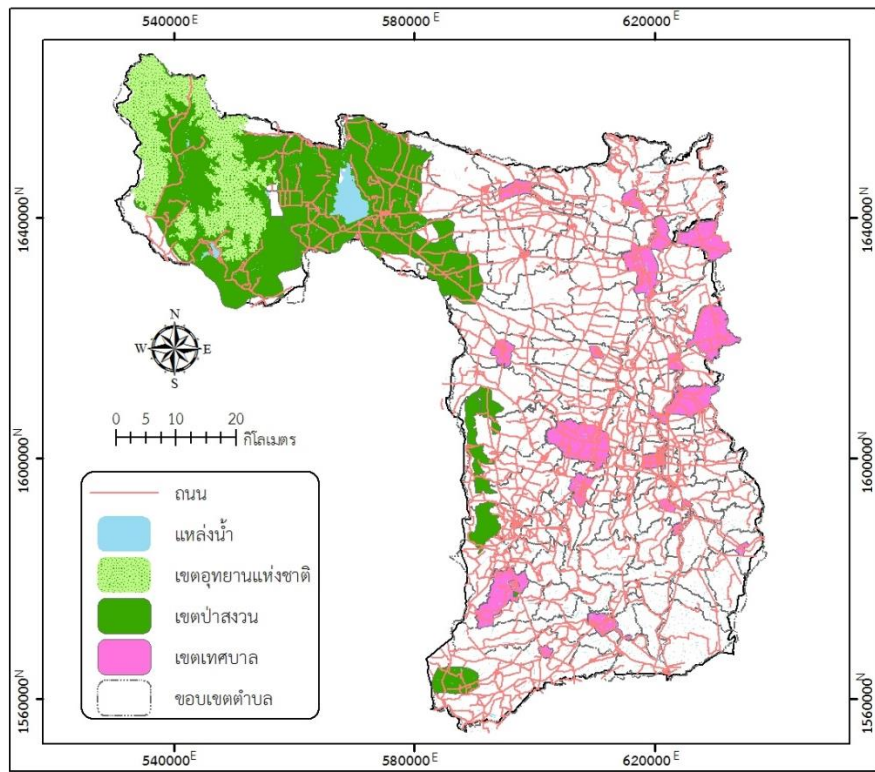
1.3.3.3 ข้อมูลจำนวนประชากรภายในบ้าน ในรูปของข้อมูลตาราง โดยเป็นข้อมูลประชากรจากทะเบียนราษฎรปี พ.ศ.2550 โดยมีข้อมูลเชิงบรรยายที่ระบุจำนวนประชากรในแต่ละบ้านตามเลขทะเบียนบ้าน เลขที่บ้าน ตำบล และอำเภอที่บ้านนั้น ๆ ตั้งอยู่

1.3.3.4 ข้อมูลขอบเขตการปกครอง เป็นข้อมูลรูปปิด (polygon) ประกอบด้วยขอบเขตการปกครองจังหวัดสุพรรณบุรี ขอบเขตอำเภอ ขอบเขตตำบล ขอบเขตเทศบาล และขอบเขตหมู่บ้าน

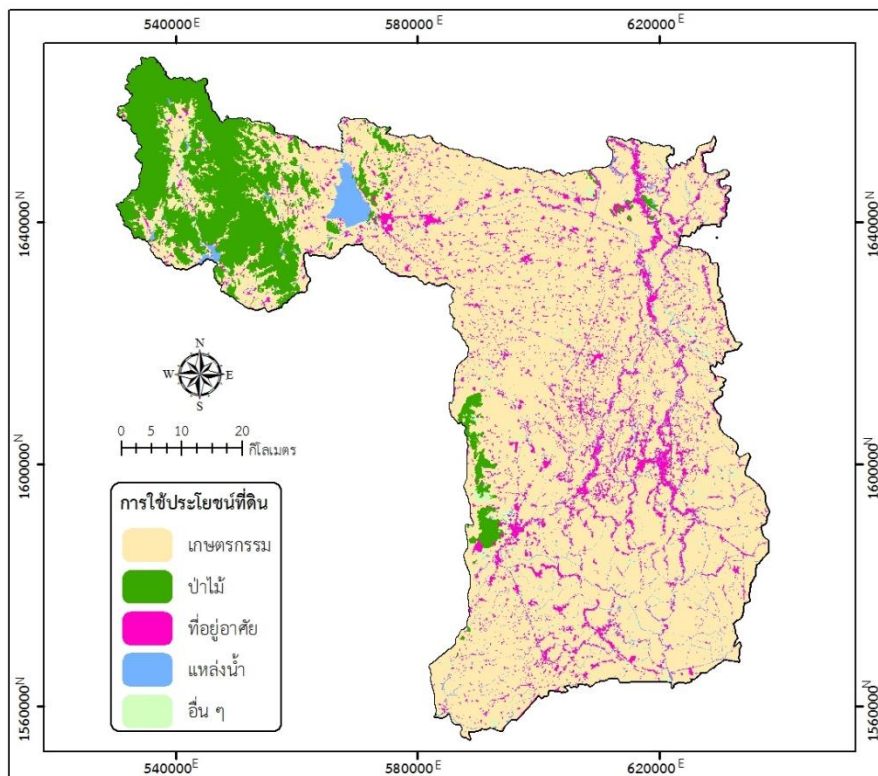
1.3.3.5 ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ป่า ประกอบด้วย เขตป่าสงวนที่ประกาศราชกิจจานุเบกษาในจังหวัดสุพรรณบุรี ปี พ.ศ. 2494-2527 และเขตอุทยานแห่งชาติในจังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2541 มีลักษณะเป็นข้อมูลพื้นที่รูปปิด (Polygon)

1.3.3.6 ข้อมูลโครงข่ายถนน เป็นข้อมูลเส้นทางโครงข่ายถนนในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี มีลักษณะเป็นข้อมูลเส้น (Line)

1.3.3.7 ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) จัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด หรือข้อมูลแรสเตอร์

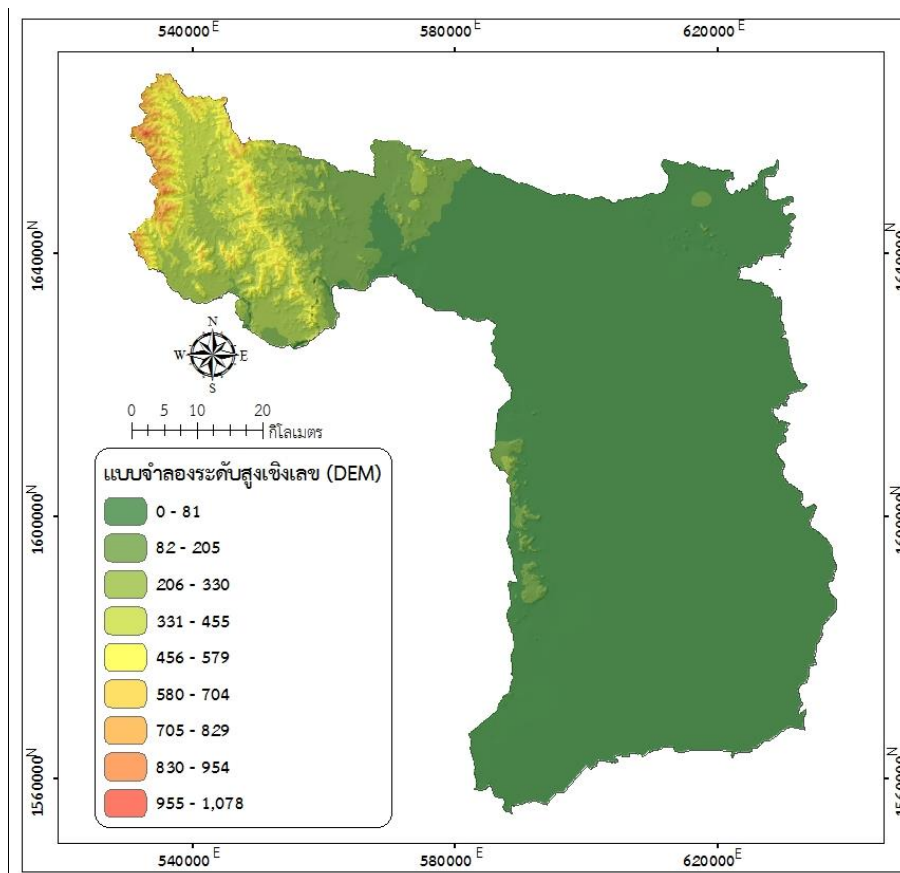


รูปที่ 1.2 แผนที่ข้อมูลพื้นฐาน



รูปที่ 1.3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน





รูปที่ 1.4 แผนที่แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### 1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

- ทฤษฎีต่าง ๆ
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของประชากรที่สัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหลัก และการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร
- การใช้สมการถดถอยในการจัดทำและวิเคราะห์แบบจำลองฯ

### 1.4.2 รวบรวมข้อมูล

- ประชากร
- การใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดสุพรรณบุรี
- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องให้พร้อมในการประมวลผล

### 1.4.3 รายละเอียดวิธีการจัดเตรียมหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร

- การเชื่อมโยงข้อมูลประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

- วิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูล ได้แก่ ค่าความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ (คนต่อตารางกิโลเมตร) และค่าร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท
- 1.4.4 สร้างรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองของแต่ละหน่วยพื้นที่
- จัดสร้างข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute) ให้อยู่ในรูปแบบของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง
  - วิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute)
- 1.4.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- ทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Global Moran's I) ในซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1
- 1.4.6 วิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง
- โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1
  - ซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3
- 1.4.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ
- ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination,  $R^2$ ) ของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง
  - ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)
  - ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นความหนาแน่นประชากรคนต่อตารางกิโลเมตร (Mean Absolute Error, MAE)
- 1.4.8 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เพื่อดูความสามารถและขีดจำกัด
- ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองจากซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 ซึ่งมีการคัดเลือกตัวแปรทำนาย
  - การคัดเลือกตัวแปรโดยการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Global Moran's I) และผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1
- 1.4.9 การวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองความหนาแน่นของประชากร
- 1.4.10 สรุปผลการวิจัย
- การวิเคราะห์ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

- การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง
- การทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองความหนาแน่นของประชากร

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงเทคนิควิธีการและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 และซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 เพื่อการจัดทำแบบจำลองฯ

1.5.2 ได้แบบจำลองฯ ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประชากรในพื้นที่จากการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง



## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้เกิดแนวคิดในการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นหลัก ซึ่งเอกสารงานวิจัยได้จัดแบ่งเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

##### 2.1.1 การประมาณความหนาแน่นประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากงานวิจัยของ Tian et al. (2005) Modeling population density using land cover data เป็นการสร้างแบบจำลองความหนาแน่นประชากรโดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลจากปัจจัยอื่น ที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของประชากร ทั้งปัจจัยทางธรรมชาติและทางสังคม เช่น ความสูงของภูมิประเทศ สภาพอากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ทางรถไฟ ตำแหน่งเมือง ซึ่งผลการวิเคราะห์บ่งชี้ว่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นปัจจัยหลักที่สะท้อนอิทธิพลของปัจจัยอื่นต่อการกระจายตัวของประชากร และถูกใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ของความหนาแน่นประชากรในสาธารณรัฐประชาชนจีน

ในงานวิจัยการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรในสาธารณรัฐประชาชนจีน (China's population distribution model, CPDM) ใช้ข้อมูลประชากรในระดับมณฑล แยกเป็นแบบจำลองฯ พื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท โดยพื้นที่ชนบทจะคำนวณสัมประสิทธิ์ความเป็นไปได้ของประชากรจากแบบจำลองเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก (Weighted linear model) และได้มีการแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) พื้นที่ที่ไม่ถูกใช้ในแบบจำลอง เช่น แหล่งน้ำและพื้นที่ที่ไม่ใช้ประโยชน์ มีค่าสัมประสิทธิ์เป็น 0

2) พื้นที่ที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แบ่งออกเป็น พื้นที่ที่อยู่อาศัยและพื้นที่ที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย ในการคำนวณสัมประสิทธิ์ และเลือกตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแต่ละเขตโดย stepwise regression และพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เกี่ยวข้องมาเป็นตัวแปรในการหาสัมประสิทธิ์ความน่าจะเป็น

เมื่อได้ตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายตัวของประชากรแล้ว จะทำการสร้างแบบจำลอง โดยใช้ Multivariate regression ดังสมการที่ 2.1

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (2.1)$$

เมื่อ  $y$  = ประชากรในชนบท

$x$  = พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ได้เลือกไว้

$\beta$  = ค่าพารามิเตอร์

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ โดยตรวจสอบจากผลลัพธ์ที่ได้จากการเลือกตัวแปรด้วย stepwise regression ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินกับจำนวนประชากร จึงสามารถให้น้ำหนักของการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ และน้ำหนักของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิดจะนำไปคำนวณจำนวนประชากรในพื้นที่ชนบทจากสมการที่ 2.2

$$V_{jr} = \sum_{n=1}^{10} A_{jn} W_{mn} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $V_{jr}$  = จำนวนประชากร

$A_{jn}$  = พื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิดในเขต  $j$

$W$  = น้ำหนักที่คำนวณจาก stepwise regression โดยน้ำหนักจะเปลี่ยนแปลงไปตามเขตและตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดิน

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์ในพื้นที่เมือง ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นประชากรจะขึ้นอยู่กับขนาดของเมือง โดยเมืองที่มีขนาดใหญ่จะมีความหนาแน่นมาก ซึ่งความหนาแน่นจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางเมือง จึงใช้แบบจำลองที่คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยปัจจัยขนาดของเมืองและระยะทางจากศูนย์กลางเมือง (รายละเอียดไม่ขอกล่าวไว้ในที่นี้ เนื่องจากพิจารณาแล้วเห็นว่าไม่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาซึ่งพื้นที่เมืองมีขนาดไม่ใหญ่มาก)

ในการตรวจสอบแบบจำลองฯ ใช้การสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของประชากรที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรทั้งในพื้นที่เมืองและพื้นที่ชนบท เพื่อให้ได้ความเชื่อมั่น 95% จึงต้องสุ่มตัวอย่าง 196 ตัวอย่างในพื้นที่ชนบท และ 112 ตัวอย่างในพื้นที่เมืองจากขนาดและชนิดของพื้นที่ที่แตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบกับข้อมูลจริง และผลจากการตรวจสอบแบบจำลองฯ พบว่าในพื้นที่ชนบทมีความถูกต้องมากกว่าพื้นที่เมือง เนื่องจากพื้นที่เมืองบางพื้นที่เป็นที่สูงหรือภูเขา ดังนั้นจะเกิดค่าคลาดเคลื่อนได้มาก เพราะข้อมูลภูมิศาสตร์ที่มีอยู่มีความละเอียดไม่เพียงพอ

จากงานวิจัยข้างต้น ประเทศไทยไม่เคยมีงานวิจัยที่นำแนวคิดเช่นเดียวกับ Tian มาใช้ในการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร ดังนั้น พิชญา นิมิตรกุล (2556) จึงได้ทำการศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยวิธีการสถิติเชิงพื้นที่ ซึ่งได้นำแนวคิดของ Tian มาศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของประชากรและข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัด

สุพรรณบุรี เพื่อจัดทำแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรเชิงพื้นที่ ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยมีการประยุกต์ใช้วิธีการสถิติเชิงพื้นที่ช่วยในการคัดเลือกประเภทการใช้ที่ดินที่จะนำมาใช้ในสมการ

การวิเคราะห์ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นการวิเคราะห์ระดับความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจำนวนประชากรและประเภทการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Liner regression analysis) โดยการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Global Moran's I) เพื่อนำผลลัพธ์มาใช้ในการคัดเลือกประเภทการใช้ที่ดินที่จะนำมาจัดทำแบบจำลอง โดยใช้เครื่องมือ Exploratory Regression ในซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1

การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ จากตัวแปรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่คัดเลือกมาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ Global Moran's I ข้างต้น นำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร ด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis) ดังสมการ (2.3)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (2.3)$$

เมื่อ	$y$	คือ ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ชองกริด (คน/ตร.กม.)
	$x_1, x_2, \dots$	คือ ร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่ถูกคัดเลือก
	$\beta_{1, \dots, n}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย
	$\beta_0$	คือ ค่าคงที่

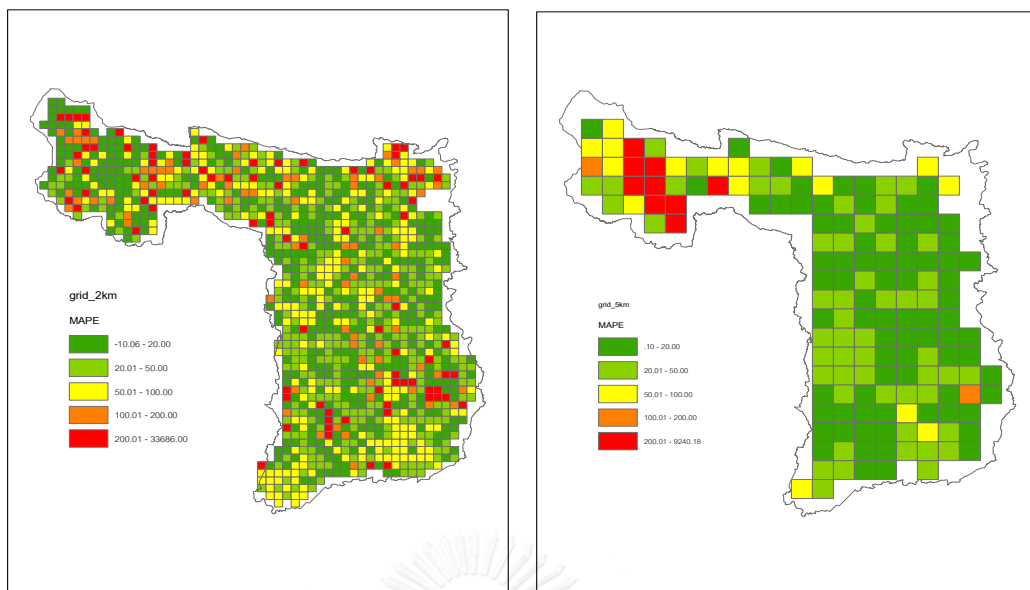
จากผลการวิเคราะห์จัดทำแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรด้วยตัวแปรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะเห็นว่าสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณนั้น ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการกำหนด ( $R^2$ ) ไม่ดีนัก โดยเฉพาะเมื่อใช้กับหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ชองกริดขนาดเล็ก และเมื่อเพิ่มขนาดหน่วยพื้นที่เป็นขนาดใหญ่จะได้สมการแบบจำลองที่มีค่า  $R^2$  สูงขึ้น ดังตารางที่ 2.1 นับเป็นผลกระทบจากมาตราส่วนที่หน่วยการวิเคราะห์ขนาดเล็กจะเกิดค่าผิดพลาดสูงกว่าหน่วยวิเคราะห์ขนาดใหญ่กว่า

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความหนาแน่นประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>	Mean Absolute Percentage Error (MAPE) (%)		Mean Absolute Error (MAE) (คน/ตร.กม.)
			MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	
1 x 1	Y = 10.43 +19.05(U2) +1.81(A9) +5.12(A4) +4.04(A5) +10.01(U3)+1.57(A7) +2.74(U5) – 0.16(F) +72.81(U1) +15.17(U4)	0.64	174.94	30.09	94.56
2 x 2	Y = 0.90 +19.83(U2) +1.91(A9) +5.37(A4) +4.57(A5) +7.87(U3) +3.75(U5) +9.53(A8) +20.98(U6) +72.37(U1) +48.55(U4)	0.78	146.67	4.97	63.17
3 x 3	Y = 3.60 +16.81(U2) +1.60(A9) +4.18(A4) +5.09(A5) +0.20(A1) +20.63(U3) +3.02(A7) +78.24(U1) +94.73(U4)	0.85	69.25	5.06	49.33
4 x 4	Y = 5.07 +16.81(U2) +1.75(A9) +3.67(A4) +11.37(A5) +19.33(U3) +4.79(A7) +7.45(U5) +76.22(U1) +128.69(U4)	0.88	55.30	5.53	44.69
5 x 5	Y = 20.14 +14.92(U2) +1.87(A9) +4.32(A4) +25.98(U3) -1.12(W) +6.71(A7) -4.31(A3) +43.73(U6) +84.35(U1) +139.85(U4)	0.90	143.48	-	35.99
6 x 6	Y = 3.07 +19.18(U2) +2.97(A9) +7.42(A4) +44.46(A8)+78.24(U6) +112.24(U1)	0.88	32.89	-	40.27
7 x 7	Y = 13.40 +15.97(U2) +2.46(A9) +0.54(A1) +87.78(U6) +153.54(U1) +138.96(U4)	0.93	61.26	-	33.83
8 x 8	Y = -16.38 +16.47(U2) -2.59(A9) -5.87(A4) +19.17(A5) +0.69(A1) +36.01(U3) +5.16(M) +58.75(A8) +91.35(U1) +231.64(U4)	0.97	29.23	-	21.65
9 x 9	Y = 8.23 +20.36(U2) +3.72(A9) +17.04(A5) +220.05(U6) +158.70(U1)	0.95	20.90	-	23.69
10 x10	Y = 365.19 +16.15(U2) -3.90(A1) -4.14(F) -3.53(A2) +107.74(U6) +133.38(U1)	0.96	15.64	-	19.88

\* เฉพาะสำหรับช่องกริดที่ไม่มีประชากรอยู่แล้ว

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้ ซึ่งนอกจากจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด Coefficient of Determination (R<sup>2</sup>) ของสมการถดถอยฯ ที่ได้ ยังมีการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของจำนวนประชากรที่ประมาณการได้ ทั้งค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดมาเป็นร้อยละของจำนวนประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิด



เป็นจำนวนคน (Mean Absolute Error, MAE) เพื่อใช้ในการประเมินระดับความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ ซึ่ง MAE เป็นการหาค่าเฉลี่ยของผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนโดยตรง

เมื่อพิจารณาภาพรวมของค่าคลาดเคลื่อน (ตารางที่ 2.1) พบว่าค่าคลาดเคลื่อนทั้งสองมีค่าลดลงเมื่อใช้หน่วยพื้นที่วิเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของแผนที่ค่าคลาดเคลื่อน MAE ของจำนวนประชากรในแต่ละช่องกริด ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณบนหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาด 2x2 ตารางกิโลเมตร

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของแผนที่ค่าคลาดเคลื่อน MAE ของจำนวนประชากรในแต่ละช่องกริด ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณบนหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาด 5x5 ตารางกิโลเมตร

และจากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาของ Loftin and Ward (1983) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของประชากรและความหนาแน่นของประชากร รวมถึงอธิบายและตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ สรุปได้ว่าแบบจำลองที่ปราศจากการพิจารณากระบวนการเชิงพื้นที่นั้นเป็นแบบจำลองที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับแบบจำลองจึงไม่แม่นยำ ด้วย Loftin and Ward จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองซึ่งรวมความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ หรือ สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) เข้าไว้ด้วยกัน พร้อมทั้งนำข้อมูลต่าง ๆ มาวิเคราะห์อีกครั้ง ผลสรุปแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความหนาแน่นประชากรจากอัตราการเกิดของประชากร และผลลัพธ์ที่ได้นั้นแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ศึกษามา จึงสรุปว่าการนำปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนพื้นที่มาพิจารณาถือเป็นการพิจารณาที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับหน่วยการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์



## 2.1.2 แนวทางต่าง ๆ ในการประมาณค่าประชากร ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศทาง ภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกล

จากวิธีการประมาณค่าความหนาแน่นของประชากรโดยการสร้างตารางกริด (grid) รวมถึงวิธีในการประมาณค่าความหนาแน่นของประชากรในงานวิจัยนี้ได้แนวคิดจากงานวิจัย Modeling the distribution of human population with night-time satellite imagery and gridded population of the world ของ Pozzi et al. (2002) ได้ศึกษาถึงการกระจายตัวของประชากรมนุษย์โดยใช้เทคนิค Gridded population of the world version 2 (GPW2) การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากรมนุษย์เป็นพื้นฐานในการพิจารณาผลกระทบทางด้านสังคมและการพัฒนาการมนุษย์ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนในการเปลี่ยนแปลงโลก ซึ่งชุดข้อมูลรายละเอียดประชากรโลกถือตามข้อมูลหน่วยขอบเขตการปกครอง แนวทางของการสร้างกริด (gridding) จะขึ้นอยู่กับสมมติฐานของการกระจายตัวเชิงพื้นที่ที่แบบสม่ำเสมอของประชากรในแต่ละหน่วยเขตการปกครองทั้ง 127,105 หน่วย ดังนั้นรายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลกริดจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลเขตการปกครอง ภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยการตรวจจับแสงไฟในเวลากลางคืนจะช่วยแก้ปัญหาการตั้งถิ่นฐานที่มีขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.7 กิโลเมตร ซึ่งจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้นในการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากรในพื้นที่ที่ขาดข้อมูลรายละเอียดการสำรวจสำมะโนประชากร

ในการศึกษานี้จะเน้นไปที่ชุดข้อมูลแสงไฟที่มีเสถียรภาพ ซึ่งหมายถึงการปรับแต่งรายละเอียดเชิงพื้นที่ชุดข้อมูลประชากร โดยทำการเทียบ  $\log_{10}$  ของความหนาแน่นของประชากรไปยังความถี่แสงไฟในเวลากลางคืนของตัวอย่างจากภูมิภาคของโลกด้วยรายละเอียดข้อมูลเขตการปกครองเชิงพื้นที่ พบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันระหว่างความหนาแน่นของประชากรและความถี่ของแสงไฟบนพื้นฐานของความสัมพันธ์นี้ ได้มีการพัฒนาฟังก์ชันการถ่ายโอนความสัมพันธ์ของความถี่แสงไฟกับความหนาแน่นของประชากรและอัลกอริทึมมวลอนุรักษ์ (mass-conserving algorithm) ซึ่งจะมีการย้ายตำแหน่งเศษของประชากรภายในหน่วยเขตการปกครองขนาดใหญ่ไปยังตำแหน่งของการตั้งถิ่นฐานตามแสงไฟ การจัดสรรใหม่ของประชากรบางส่วนเข้าสู่ศูนย์กลางเมืองแสดงให้เห็นการกระจายตัวของประชากรเชิงพื้นที่ชัดเจนมากขึ้นกว่า GPW2 แบบเดิม ในขณะที่สร้างข้อสมมติฐานน้อยที่สุดเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายของประชากร

Wu et al. (2005) ซึ่งได้ทำการศึกษาทบทวนวิธีการต่าง ๆ ในการประมาณค่าจำนวนประชากรโดยใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) และ การสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ที่มีอยู่ในปัจจุบัน วิธีการสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มวิธีการประมาณค่า

เชิงพื้นที่ (Areal interpolation methods) และ กลุ่มวิธีการสร้างแบบจำลองทางสถิติ (Statistical modeling methods)

1) วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่เป็นการประมาณค่าข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) จากหน่วยพื้นที่หนึ่ง ไปเป็นประชากรในหน่วยพื้นที่อื่นที่มีละเอียดมากกว่า โดยมีการเรียกหน่วยพื้นที่ทั้งสองว่าเป็น source zone และ target zone ตามลำดับ วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ ยังแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย ดังนี้

- การประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยปราศจากข้อมูลอื่น ๆ ร่วมด้วย ได้แก่ point based methods ซึ่งเป็นการประมาณค่าโดยกำหนดจุดควบคุมให้เป็นตัวแทนของแต่ละ source zone และ grid map จะถูกสร้างขึ้นโดยค่าของ grid point ที่ประมาณมาจากจุดควบคุม ในทางตรงกันข้าม areal-based methods จะใช้ source zone เป็นตัวแทน ดังนั้นการประมาณค่าของ area-based จึงตระหนักถึง volume preservation ด้วย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการประมาณค่าที่แม่นยำ

- การประมาณค่าเชิงพื้นที่โดยอาศัยข้อมูลอื่น ๆ ร่วมด้วย เนื่องจากประชากรมีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลอื่น ๆ เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน โครงข่ายการคมนาคม เป็นต้น ดังนั้นเพื่อผลลัพธ์ที่แม่นยำจึงควรใช้ข้อมูลอื่น ๆ ในการประมาณค่าร่วมด้วย เนื่องจากข้อมูลอื่น ๆ อาจสะท้อนให้เห็นถึงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากร วิธีการที่นิยมของการประมาณค่าเชิงพื้นที่คือ dasymetric method

2) การสร้างแบบจำลองทางสถิติ จะเน้นถึงความสัมพันธ์ระหว่างประชากรและตัวแปรอื่น ๆ ในการประมาณค่าประชากรรวมของพื้นที่ โดยไม่ใช้ข้อมูลสำมะโนประชากรโดยตรง แต่เป็นการใช้ประโยชน์จากตัวแปรลักษณะทางสังคมโดยข้อมูลสามารถสกัดได้จากข้อมูลการสำรวจระยะไกล และใช้ทฤษฎีของภูมิศาสตร์เมืองในการประมาณค่าประชากร การใช้แบบจำลองทางสถิติในการประมาณจำนวนประชากรเริ่มขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1950 เนื่องจากเกิดความต้องการข้อมูลประชากรในเวลาอันรวดเร็ว แต่มีค่าใช้จ่ายสูง จำนวนประชากรมาก จึงได้มีการนำแบบจำลองทางสถิติมาประยุกต์ใช้อย่างไรก็ตามวิธีนี้ได้นำมาใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการจำแนกประชากร

ในปีคริสต์ศักราช 1950 ตัวแปรทางเศรษฐกิจและสังคม เช่น ราคาบ้าน เริ่มมีการนำมาใช้ในการหาข้อมูลประชากรเช่นกัน ซึ่งนักวิจัยได้สร้างแบบจำลองไว้หลายแบบเพื่อประมาณจำนวนประชากรในมาตราส่วนที่ต่างกัน ด้วยข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกล โดยจำนวนประชากรจะมีความสัมพันธ์กับข้อมูล 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่เขตเมือง การใช้ประโยชน์ที่ดิน หน่วยที่อยู่อาศัย คุณลักษณะพิกเซลของภาพ และลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ หรือลักษณะทางสังคมและเศรษฐกิจ

งานวิจัย The Population Spatial Distribution Model Based on the Spatial Statistics in Shandong Province, China ของ Zhang and Zhu (2011) ได้ทำการศึกษา

แบบจำลองการกระจายตัวประชากรเชิงพื้นที่บนพื้นฐานของวิธีทางสถิติเชิงพื้นที่ในมณฑลซานตง (Shandong) ประเทศจีน โดยกล่าวถึงวิธีการทางสถิติแบบ quantile, การวิเคราะห์ทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และวิธีสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ทางสถิติ บทความนี้ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นประชากรแบบกริด โดยใช้วิธี Moran's I และ Local Moran's I เพื่อหาแนวโน้มการกระจายตัวของประชากร ศึกษาความสัมพันธ์และคุณลักษณะเชิงพื้นที่ระหว่างเมือง ตลอดจนวิธีสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ทางสถิติระหว่างเมือง ซึ่งจะทำการเลือกเมือง 17 เมืองของมณฑลซานตง เพื่อทำการวิเคราะห์การกระจายตัวประชากร โดยแบ่งส่วนเป็นรูปแบบพัด 3 ส่วน (3 fan-shaped) และพื้นที่เมืองจี้หนาน (Jinan) เป็นศูนย์กลาง

ผลการวิเคราะห์ในบทความนี้คือ การกระจายตัวของความหนาแน่นของประชากรเชิงพื้นที่ของทั้ง 17 เมือง ในมณฑลซานตง ปี 2009 โดยรูปแบบ 3 fan-shaped มีการรวมกันของพื้นที่ที่มีความหนาแน่นคล้ายคลึงกันในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรที่สูงที่สุดกระจายตัวอยู่บริเวณส่วนกลางค่อนข้างไปทางใต้ และพื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรต่ำสุดกระจายตัวอยู่ในส่วนเหนือ ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของความหนาแน่นประชากรในรูปแบบเกาะกลุ่ม (Cluster) โดยการรวมตัวเชิงพื้นที่ของประชากรในมณฑลซานตง มณฑลซานตงมีจำนวนประชากรมากและกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอในพื้นที่ที่แตกต่างกัน เมืองที่ยังไม่เจริญประกอบด้วย เมืองเหลียวเฉิง (Liaocheng), เหอเจ้อ (Heze), หลินอี้ (Linyi) รวมถึง จีหนิง (Jining), ไท้อัน (Taian) และ เจ้าจวง (Zaozhuang) เป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง ตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ของมณฑลซานตง จำเป็นต้องมีการลงทุนขนาดใหญ่ในพื้นที่นี้เพื่อปรับปรุงด้านการพัฒนาทางสังคมและเศรษฐกิจ บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์ของการผสมผสานการวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพื้นที่ด้วย GIS โดยสามารถใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันการวิเคราะห์ทางสถิติของการวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพื้นที่และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ Topology เชิงพื้นที่ และฟังก์ชันการสร้างภาพของ GIS ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและตามหลักวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายตัวของปรากฏการณ์ทางภูมิศาสตร์

### 2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของประชากรกับปัจจัยต่าง ๆ

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของประชากรได้มีการศึกษาอย่างยาวนาน ตัวอย่างได้แก่ งานวิจัยของ Pozzi and Small (2002) และ Fisher and Martinez (2009) โดย Pozzi และ Small ได้ศึกษาถึงการกระจายตัวของประชากรโลกและการใช้ประโยชน์ที่ดินในเมือง พบว่าการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากรนั้นเป็นผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในระบบนิเวศน์ การได้มาซึ่งข้อมูลประชากรนั้นสามารถทำได้โดยการสำมะโนประชากรและข้อมูลการตรวจจับแสงไฟในเวลากลางคืนโดยดาวเทียม แต่ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนคือ ตัวแทนการกระจายตัว

ของประชากรจากการสำมะโนประชากรบ่งชี้ว่าร้อยละ 37 ของพื้นที่โลกนั้นมีความหนาแน่นของประชากรมากกว่า 1 คนต่อตารางกิโลเมตร โดยร้อยละ 50 ของประชากรในปี 1990 มีพื้นที่อยู่อาศัยน้อยกว่าร้อยละ 3 ในขณะที่พื้นที่ที่ได้จากการตรวจจับแสงไฟโดยดาวเทียมให้ผลลัพธ์ที่บ่งชี้ว่าการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของการตั้งถิ่นฐานในเมืองส่งผลให้การใช้ประโยชน์ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก แสงสว่างที่ตรวจจับได้กว่า 60,000 พื้นที่นั้นอธิบายได้ว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่แสงสว่างเหล่านี้เกี่ยวข้องกับกิจกรรมตัวของเขตเมือง จะเห็นได้ว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินเกี่ยวเนื่องกับความหนาแน่นของประชากรเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อม และความแตกต่างของความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินในเมืองและชนบทยังเป็นตัวบ่งชี้ความแตกต่างของสิ่งแวดล้อมทางกายภาพอีกด้วย

สำหรับงานของ Fisher and Martinez นั้น เป็นการศึกษาการกระจายตัวของประชากรโลกเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของประชากร โดยได้มีการศึกษาถึงการกระจายตัวของประชากรโลกกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านชีววิทยา เช่น อัตราการเกิด อัตราการตาย และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม มีการใช้เทคนิคในการประมวลผลข้อมูลทางภูมิศาสตร์ต่าง ๆ กับทั้งปัจจัยด้านชีววิทยาและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของประชากรมากที่สุด มีการใช้วิธีทางสถิติในการทดสอบใน 15 ประเทศที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงสุดและต่ำสุด และจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่าปัจจัยทางชีววิทยานั้นมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของประชากรมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้

#### 2.1.4 การสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรโดยวิธีต่าง ๆ

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรที่หลากหลายดังเช่นงานวิจัย Classical models of urban population density. The case of Barcelona Metropolitan Area ของ Martori and Suriñach (2001) กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรแบบดั้งเดิมพื้นที่ศึกษานครหลวงบาร์เซโลนา โดยการวิเคราะห์ความหนาแน่นของเมือง เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของประชากรเชิงพื้นที่ภายในพื้นที่เขตเมืองและช่วยให้เข้าใจถึงการกระจายตัวของประชากรในปัจจุบันและความต้องการการบริการขั้นพื้นฐาน ตลอดจนสามารถวางแผนออกแบบโครงสร้างความหนาแน่นในอนาคตของพื้นที่ที่อยู่อาศัย การวิเคราะห์นี้จะให้ตัวชี้วัดที่เป็นประโยชน์เมื่อมีการตรวจสอบโครงสร้างของเมือง บทความนี้ศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงาน 16 ฟังก์ชันแบบดั้งเดิม เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและระยะทาง ในพื้นที่นครหลวงของบาร์เซโลนา กระบวนการคัดเลือกแบบจำลองสำหรับพื้นที่นครหลวงและเขตย่อย 11 เขต ที่กำหนดไว้บนพื้นฐานของวิธีการทางเลือก 2 วิธี คือ 1. ประกอบด้วยการใช้การแปลงของ Box-Cox เพื่อวิเคราะห์รูปแบบที่ง่ายที่สุด ที่เกี่ยวข้องกับหนึ่งตัวแปรภายนอกทั้ง lineal

semi-log และ double-log 2. ประกอบด้วยการประเมินแบบจำลองเมื่อไม่มีการจำกัดรูปแบบฟังก์ชัน ในส่วนนี้เป็นการใช้เครื่องมือทางสถิติและเลือกใช้สถิติ AIC เพื่อเปรียบเทียบผล นอกจากนี้ยังมีการทดสอบ Golfeld-Quandt test เพื่อทดสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน (heteroscedasticity), Ramsey test สำหรับความเป็นเชิงเส้น และ Jarque-Bera test สำหรับการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

เพื่อเป็นการง่ายต่อการศึกษาความหนาแน่นของประชากรในเขตเมืองและการเปรียบเทียบผลให้เป็นที่ไปตามมาตรฐานได้มีการเสนอสมมติฐาน 2 ข้อ คือ 1. ในเขตเมืองทั้งหมด (ไม่รวมพื้นที่ธุรกิจและพื้นที่การค้า) ความหนาแน่นของประชากรจะลดลงเมื่อออกมาจากศูนย์กลางเมือง และ 2. ส่วนใหญ่ของเมือง เมื่อเวลาผ่านไปความหนาแน่นจะลดลงในพื้นที่ศูนย์กลางเมืองและจะเพิ่มขึ้นในเขตชานเมือง ซึ่งถือเป็นการขยายตัวของเมือง สรุปได้ว่าความหนาแน่นของประชากรลดลงเมื่อระยะทางจากศูนย์กลางเมืองเพิ่มขึ้น ในบทความนี้มีการสำรวจแบบจำลองแบบดั้งเดิมของความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่เมือง ซึ่งมีปรากฏตั้งแต่ปี ค.ศ. 1947 มีหลายประเด็นที่ต้องมีการวิจัยเพิ่มเติม ในทางกลับกัน ความเป็นไปได้ในการประเมินรูปแบบฟังก์ชันการทำงานให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะต้องแนะนำผลกระทบเชิงพื้นที่ในแบบจำลองของความหนาแน่นของประชากรเมืองแบบดั้งเดิมด้วย

การสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรเป็นปัญหาอย่างยาวนาน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Burghes and Zielinski (2006) ได้มีการศึกษาการสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของประชากรเมือง โดยศึกษาทบทวนบทความต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในช่วงระหว่าง 30 ปีที่ผ่านมา นักวิจัยจำนวนมากได้มีการนำเสนอแบบจำลองความสัมพันธ์ของความหนาแน่นประชากรกับระยะทางจากศูนย์กลางเมือง ซึ่งในประวัติศาสตร์ได้มีการแนะนำแบบจำลองไว้ 2 ประเภท คือ แบบจำลองแกมมากำลังสอง (quadratic gamma) และ แบบจำลองดุลยภาพ (equilibrium) ในรูปแบบการถดถอยแบบจำลอง quadratic gamma จะใช้ข้อมูลรัศมีจากจุดศูนย์กลางเมือง แบบจำลอง equilibrium เป็นแบบจำลองที่ได้มาโดยใช้สมการ civic state ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของประชากรและค่าใช้จ่ายที่อยู่อาศัยและ สมการ equilibrium โดยมีการปรับปรุงและการตรวจสอบประเภทของแบบจำลองต่าง ๆ ที่ได้ และแบบจำลองจะถูกทดสอบและเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลของเมืองโคเวนทรี ซึ่งได้รับจากสำนักงานสำรวจประชากรและสำมะโนประชากร โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบ่งชี้ถึงแบบจำลองที่ดีที่สุด จากการวิเคราะห์พบว่า เป็นเรื่องยากที่จะให้ข้อสรุปที่ดีที่สุด โดยแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากจะมีแนวโน้มที่เหมาะสมที่สุด ทั้งยังขึ้นกับจำนวนตัวแปรในสมการอีกด้วย

## 2.2 ความรู้และข้อมูลพื้นฐาน

### 2.2.1 การกระจายตัวของประชากรในประเทศไทย

ความหนาแน่นของประชากร (Population density) หมายถึง จำนวนประชากรต่อหน่วยพื้นที่ พื้นที่ใดมีความหนาแน่นประชากรสูง แสดงว่ามีจำนวนประชากรมาก

ความหนาแน่นประชากร เป็นการวัดปริมาณประชากรในหน่วยพื้นที่หนึ่ง ๆ โดยขึ้นอยู่กับกลุ่มตัวอย่างที่เลือกนำมาสำรวจ เช่น ความหนาแน่นของประชากรในประเทศไทย หรือความหนาแน่นประชากรในเขตที่อยู่อาศัย และในบางครั้งจะเป็นการยากในการวัดที่ได้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอน หน่วยที่ใช้ในการวัดความหนาแน่น ได้แก่ จำนวนประชากรต่อตารางกิโลเมตร หรือ จำนวนบ้านต่อพื้นที่ตารางกิโลเมตร หรือในบางกรณีพิเศษจะใช้เป็นจำนวนประชากรต่อหน่วยความยาว เช่น จำนวนประชากรต่อบริเวณความยาวชายหาดความหนาแน่นของประชากรของประเทศไทยทั่วทั้งประเทศ (ต่อตารางกิโลเมตร)

การกระจายตัวของประชากรไทย หมายถึง ลักษณะการตั้งถิ่นฐานของประชากรในอาณาเขตบริเวณหนึ่ง ๆ ว่ามีประชาชนอาศัยอยู่ตามลักษณะภูมิศาสตร์หรือตามเขตการปกครองอย่างไร โดยปัจจัยที่กำหนดการกระจายตัวของประชากรไทย สามารถแบ่งตามปัจจัยทางกายภาพ รวมถึงปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและวัฒนธรรม ดังนี้

#### ปัจจัยทางกายภาพ

1) ลักษณะภูมิประเทศ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของประชากรมาก ถ้าเป็นบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำหรือที่ราบ การตั้งถิ่นฐานและการกระจายตัวของประชากรจะอยู่อย่างหนาแน่น แต่ลักษณะพื้นที่ที่เป็นภูเขาหรือที่ราบสูง การตั้งถิ่นฐานและการกระจายตัวของประชากรจะอยู่อย่างเบาบาง

2) ลักษณะภูมิอากาศ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของประชากร บริเวณที่มีลักษณะภูมิอากาศอบอุ่น จะพบว่าการกระจายตัวและการตั้งถิ่นฐานของประชากรจะมีอยู่อย่างหนาแน่น แต่ถ้าเป็นลักษณะภูมิอากาศแบบแห้งแล้ง ชุ่มชื้นตลอดทั้งปี จะพบว่าการกระจายตัวและการตั้งถิ่นฐานของประชากรมีอยู่อย่างเบาบาง

3) ทรัพยากรธรรมชาติ มีอิทธิพลต่อการตั้งถิ่นฐานและการกระจายตัวของประชากร บริเวณที่มีทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ จะพบว่ามี การตั้งถิ่นฐานและการกระจายตัวของประชากรอย่างหนาแน่น ส่วนบริเวณที่มีทรัพยากรธรรมชาติไม่อุดมสมบูรณ์ จะพบว่าการตั้งถิ่นฐานและการกระจายตัวของประชากรอยู่อย่างเบาบาง

#### ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและวัฒนธรรม

ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและวัฒนธรรม เช่น บริเวณที่เป็นศูนย์กลางทางการเมืองหรือการปกครอง เมืองหลวงของประเทศ หรือเป็นย่านนิคมอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะเป็นจุดรวมของประชากรและการตั้งถิ่นฐานอาศัยอยู่กันอย่างหนาแน่น เพราะเป็นแหล่งแรงงานที่สำคัญ ส่งผลให้เกิดการอพยพเข้าไปตั้งถิ่นฐานมากขึ้น

ลักษณะการกระจายตัวของประชากรในภูมิภาคต่าง ๆ ของไทยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างดังกล่าวมาแล้ว โดยสรุปบริเวณที่มีการตั้งถิ่นฐานและการกระจายตัวของประชากรอยู่อย่างหนาแน่น จะพบว่าในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกันออกไป โดยภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ ภาคเหนือจะมีการกระจายตัวหนาแน่นบริเวณที่ราบหุบเขา ภาคใต้และภาคตะวันออกจะมีการกระจายตัวของประชากรอย่างหนาแน่นบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเลส่วนมาก เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่อการประกอบอาชีพและมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบเหมาะแก่การตั้งถิ่นฐานของประชากร

## 2.2.2 ข้อมูลพื้นฐานจังหวัดสุพรรณบุรี

### 2.2.2.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นจังหวัดหนึ่งในเขตภาคกลางด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย ตั้งอยู่บนพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำท่าจีน หรือแม่น้ำสุพรรณบุรีไหลผ่านตามแนวยาวของจังหวัดจากเหนือจรดใต้ จังหวัดสุพรรณบุรีตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14 องศา 4 ลิปดา ถึง 15 องศา 5 ลิปดาเหนือ และระหว่างเส้นแวง 99 องศา 17 ลิปดา ถึง 100 องศา 16 ลิปดาตะวันออก อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 3-10 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 5,358.01 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3.3 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.2 ของพื้นที่ภาคกลาง อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 107 กิโลเมตร (ตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 340) โดยทางรถไฟประมาณ 142 กิโลเมตร

จังหวัดสุพรรณบุรี มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับจังหวัดอุทัยธานี และชัยนาท
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับจังหวัดอ่างทอง จังหวัดสิงห์บุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ทิศใต้	ติดต่อกับจังหวัดนครปฐม และกาญจนบุรี
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดอุทัยธานี

### 2.2.2.2 การแบ่งเขตการปกครอง

การปกครองจังหวัดสุพรรณบุรี แบ่งส่วนราชการออกเป็น 2 ส่วน คือการบริหารราชการส่วนภูมิภาค และการบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ซึ่งการบริหารราชการส่วนภูมิภาค แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 10 อำเภอ 110 ตำบล 1007 หมู่บ้าน และมีครัวเรือนทั้งสิ้น 225,623 ครัวเรือน ส่วนการบริหารราชการส่วนท้องถิ่น แบ่งเขตการปกครองออกเป็น องค์การบริหารส่วนจังหวัดจำนวน 1 แห่ง คือเทศบาลเมืองสุพรรณบุรี เทศบาลตำบล 35 แห่ง และองค์การบริหารส่วนตำบล 91 แห่ง

### 2.2.2.3 ประชากรและครัวเรือน

จากข้อมูลและสถิติประชากรตามทะเบียนราษฎร ณ เดือนมีนาคม 2552 จังหวัดสุพรรณบุรี มีประชากรทั้งสิ้น 843,454 คน เป็นชาย 409,351 คน หญิง 434,103 คน มีอัตราส่วนประชากรต่อครัวเรือนเท่ากับ 4 คน ความหนาแน่นของประชากรโดยเฉลี่ย 162 คน ต่อตารางกิโลเมตร อำเภอที่มีความหนาแน่นของประชากรมากที่สุด ได้แก่ อำเภอศรีประจันต์ ประมาณ 361 คนต่อ 1 ตารางกิโลเมตร และอำเภอที่มีความหนาแน่นของประชากรน้อยที่สุด ได้แก่ อำเภอด่านช้าง ประมาณ 54 คนต่อตารางกิโลเมตร

### 2.2.2.4 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสุพรรณบุรี แบ่งออกเป็น 2 เขต คือ

1) พื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มมีความลาดเทระหว่าง 0 – 3% ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดตลอดแนวทางตั้งแต่เหนือจรดใต้ บริเวณพื้นที่ต่ำสุดอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ คืออยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางเฉลี่ย 3 เมตร ส่วนทางตอนเหนือของจังหวัดอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางเฉลี่ยประมาณ 10 เมตร แม่น้ำสายสำคัญที่ไหลผ่านจากเหนือสุดถึงใต้สุด ได้แก่ แม่น้ำท่าจีนหรือแม่น้ำสุพรรณบุรี

2) บริเวณพื้นที่ลอนลาดสลับชันจนถึงเทือกเขา เริ่มตั้งแต่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภออู่ทอง ทอดขึ้นไปทางทิศเหนือ ขนานกับเส้นแบ่งเขตแดนระหว่างจังหวัดสุพรรณบุรี กับจังหวัดกาญจนบุรี มีลักษณะพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดมีความลาดเทระหว่าง 2 - 8% สลับเชิงเขา ส่วนทางด้านตะวันตกของอำเภอด่านช้างมีสภาพเป็นลูกคลื่นลอนลาดสลับซับซ้อน จนถึงเทือกเขาสูงชัน เป็นเทือกเขาที่ติดกับเขตตะนาวศรี ประกอบด้วยภูเขาสูง มียอดเขาสูงสุดอยู่ใกล้กับบ้านห้วยหินดำ สูงประมาณ 1,002 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางมีลำธารเล็ก ๆ ไหลผ่านและลงสู่ห้วยกระเสียว ซึ่งอยู่ในเขตที่ราบหุบเขาและบริเวณแห่งนี้ ปัจจุบันเป็น



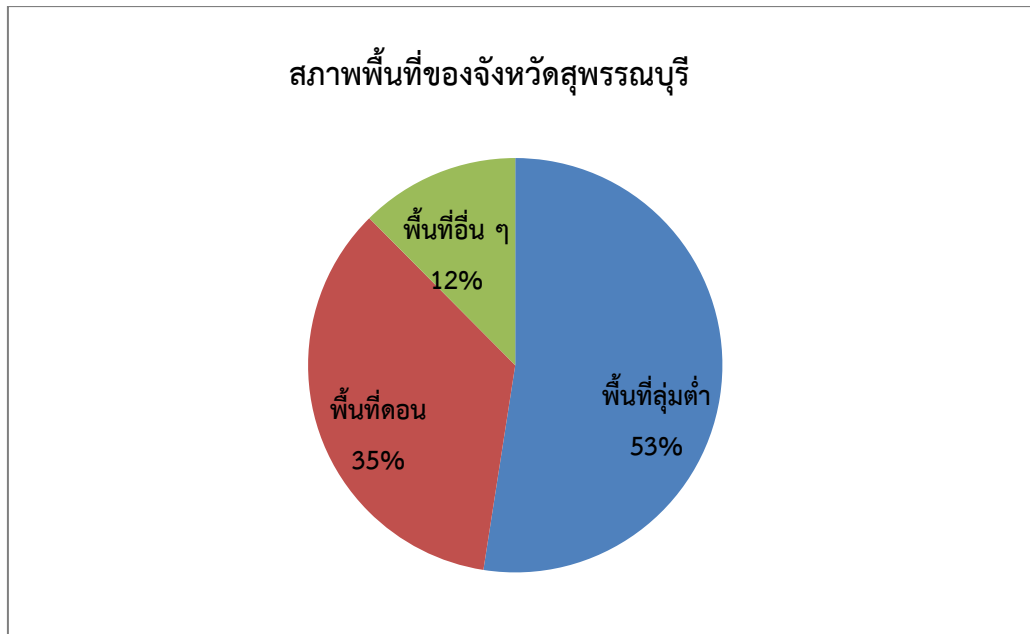
ที่ตั้งของเขื่อนขนาดใหญ่ คือเขื่อนกระเสียว พื้นที่ส่วนนี้จะครอบคลุมพื้นที่อำเภอด่านช้าง บางส่วนของอำเภอนองหญ้าไซ อำเภอดอนเจดีย์ อำเภอดงบังนางบวช และอำเภออุทุมพร

#### 2.2.2.5 ลักษณะภูมิอากาศ

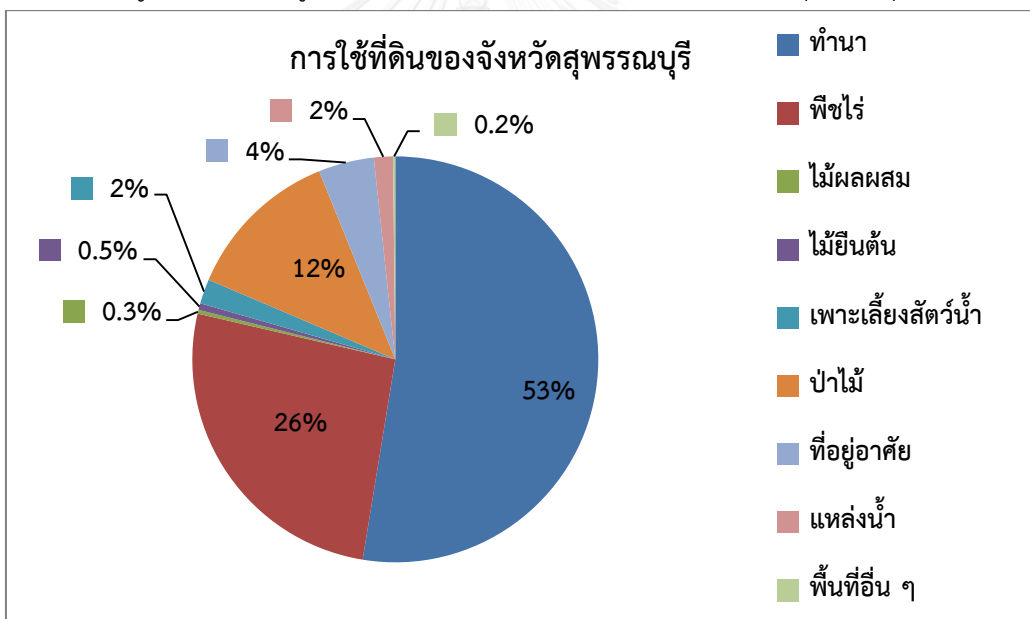
จังหวัดสุพรรณบุรี มีลักษณะคล้ายคลึงกับจังหวัดอื่น ๆ ในภาคกลาง กล่าวคือ ฤดูร้อน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จากทะเลจีนใต้พัดผ่านเข้ามาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ทำให้อากาศร้อนอบอ้าว ฤดูฝน มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดียพัดผ่านมาในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ทำให้อากาศมีความชุ่มชื้นมีฝนตกโดยทั่วไป ฤดูหนาว ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่านเข้ามาในช่วงเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้อากาศหนาวเย็น ในปี 2546 อุณหภูมิสูงสุด 39.3 องศาเซลเซียสในเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิต่ำสุด 15.7 องศาเซลเซียสในเดือนธันวาคม ปริมาณน้ำฝนทั้งปี วัดได้ 1,084.5 มิลลิเมตร จำนวนวันที่ฝนตก 107 วัน

#### 2.2.2.6 สภาพพื้นที่และการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี

จังหวัดสุพรรณบุรี มีเนื้อที่รวมทั้งหมดประมาณ 3,348,755 ไร่ มีการจัดแบ่งสภาพพื้นที่เป็นลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่ลุ่มต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ทำนาบางพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพโดยการยกร่องมาปลูกพืชไร่ พืชผัก หรือไม้ผล พื้นที่ดอน มีการปลูกพืชไร่ ไม้ผล พืชผัก ไม้ยืนต้นโตเร็ว เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเป็นป่าเบญจพรรณ และพื้นที่อื่น ๆ เช่น แหล่งน้ำ บ่อ ลูกรัง ดังรูปที่ 2.3 โดยมีการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี ได้แก่ ทำนา ปลูกพืชไร่ ไม้ผลผสม ไม้ยืนต้น ไม้โตเร็ว และเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ป่าไม้ ที่อยู่อาศัย แหล่ง และพื้นที่อื่น ๆ เช่น บ่อลูกรัง บ่อดิน บ่อทราย และเหมืองแร่ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ของสภาพพื้นที่ของจังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี

### 2.4.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) หมายถึง กิจกรรมของมนุษย์บนพื้นดินและสิ่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติบนแผ่นดิน ซึ่งจะรวมเอาสิ่งครอบคลุมดินด้วยเพื่อที่จะสามารถจัดจำแนกพื้นที่ได้ทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วลำดับชั้นของสิ่งคลุมดินมีด้วยกัน 3 ประการ คือ โครงสร้างทางกายภาพที่มนุษย์สร้างขึ้น ปรากฏการณ์ทางชีวภาพ และการพัฒนาการทุกประเภท สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

นับว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญอย่างหนึ่งต่อการวางแผน และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ โดยที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ดังนั้นการทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และอาจต้องมีการปรับปรุงบ่อยครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่น ๆ ที่ใช้ประกอบในการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน นิพนธ์ ตั้งธรรม (2525) ได้ให้ความหมายของคำว่า การใช้ประโยชน์ที่ดิน หมายถึง การใช้ที่ดินเพื่อบำบัดความต้องการของมนุษย์ เช่น ใช้ในการเกษตร ใช้เป็นพื้นที่ป่า เป็นพื้นที่แหล่งน้ำ เป็นที่ตั้งบ้านเรือนที่อยู่อาศัย และเป็นแหล่งที่ตั้งอุตสาหกรรม เป็นต้น

การแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยออกเป็น 5 ประเภท คือ (สถิตย์ วัชรกิตติ 2521)

- 1) เมืองและสิ่งก่อสร้าง (urban and built-up land) ได้แก่ ที่อยู่อาศัย ย่านการค้า ย่านอุตสาหกรรม คมนาคม และสถานที่ราชการอื่น ๆ
- 2) พื้นที่เกษตรกรรม (agriculture land) ได้แก่ พื้นที่ปลูกพืชล้มลุกและพืชถาวร เช่น สวน ผัก สวนผลไม้ พืชไร่ นาข้าว ทุ่งปศุสัตว์และไร่เลื่อนลอย (shifting cultivation)
- 3) ป่าไม้ (forest land) ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ทั่วไปและแยกย่อยไปตามประเภทของป่าไม้
- 4) แหล่งน้ำ (water bodies) ได้แก่ พื้นที่แม่น้ำ ลำธาร หนอง คลอง บึง ทะเลสาบ และแหล่งกักเก็บน้ำที่สร้างขึ้น
- 5) พื้นที่ว่างเปล่า (idle land) ได้แก่ พื้นที่ที่ปราศจากสิ่งปกคลุม

ด้านกรมพัฒนาที่ดินได้มีการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 5 ประเภท ดังกล่าว หากแต่ประเภทที่ 5 นั้นจะจำแนกเป็นพื้นที่อื่น ๆ (Miscellaneous Land) ซึ่งมีความหมายครอบคลุมมากกว่าพื้นที่ว่างเปล่า

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในงานวิจัยเป็นข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2551 จากกรมพัฒนาที่ดิน มีระดับความละเอียดในมาตราส่วน 1:25,000 ได้จากการแปลแผนที่ภาพถ่ายออร์โธรี มาตราส่วน 1:4,000 มีลักษณะเป็นพื้นที่รูปปิด (Polygon) พร้อมรหัสประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยระดับที่ 1 (5 ประเภท) และ ระดับที่ 2 (17 ประเภท) แสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ ซึ่งในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีมีการใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำแนกระดับที่ 3) รวม 96 ประเภท รวมถึงสัญลักษณ์ ประเภท และเนื้อที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรีโดยสรุป ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดสุพรรณบุรี ปี 2551

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
<b>U</b>	<b>พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง</b>	<b>179,912</b>	<b>5.37</b>
U1	ตัวเมืองและย่านการค้า	1,984	0.06
U201	หมู่บ้าน	124,367	3.71
U3	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ	25,536	0.76
U401	สนามบิน	236	0.01
U405	ถนน	10,699	0.32
U500	โรงงานอุตสาหกรรมร้าง	23	-
U502	โรงงานอุตสาหกรรม	14,629	0.44
U503	ลานตากและแหล่งรับซื้อ	727	0.02
U600	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจร้าง	139	-
U601	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	927	0.03
U603	สุสาน, ป่าช้า	594	0.02
U605	สถานีบริการน้ำมัน	51	-
<b>A</b>	<b>พื้นที่เกษตรกรรม</b>	<b>2,997,016</b>	<b>77.25</b>
<b>A1</b>	<b>นาข้าว</b>	<b>1,398,409</b>	<b>41.76</b>
A100	นาร้าง	27,111	0.81
A101	นา	1,371,298	40.95
<b>A2</b>	<b>พืชไร่</b>	<b>814,409</b>	<b>24.30</b>
A200	พืชไร่ร้าง	214	0.01
A201	พืชไร่ผสม	171	-
A202	ข้าวโพด	20,544	0.61
A203	อ้อย	710,651	21.21
A204	มันสำปะหลัง	67,835	2.03
A205	สับปะรด	9,260	0.28
A210	ถั่วลิสง	21	-
A219	มันเทศ	4,473	0.13
A220	แตงโม	416	0.01

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A229	พริก	509	0.01
A235	กระเจี๊ยบ	92	-
A236	เผือก	223	0.01
<b>A3</b>	<b>ไม้ยืนต้น</b>	<b>47,165</b>	<b>1.41</b>
A301	ไม้ยืนต้นผสม	6,072	0.18
A302	ยางพารา	1,916	0.06
A303	ปาล์มน้ำมัน	175	0.01
A304	ยูคาลิปตัส	23,333	0.7
A305	สัก	13,716	0.41
A306	สะเดา	922	0.03
A307	สนประดิพัทธ์	482	0.01
A308	กระถิน	47	-
A314	หม่อน	50	-
A315	ไผ่	387	0.01
A317	หมาก	3	-
A319	ดินเปิด	48	-
A322	กฤษณา	14	-
<b>A4</b>	<b>ไม้ผล</b>	<b>199,171</b>	<b>5.94</b>
A400	ไม้ผลผสมร้าง	257	0.01
A401	ไม้ผลผสม	141,647	4.23
A402	ส้ม	716	0.02
A405	มะพร้าว	669	0.02
A406	ลิ้นจี่	57	-
A407	มะม่วง	51,783	1.54
A408	มะม่วงหิมพานต์	523	0.02
A409	พุทรา	490	0.01
A410	น้อยหน่า	38	-
A411	กล้วย	417	0.01

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A412	มะขาม	338	0.01
A413	ลำไย	1,114	0.03
A414	ฝรั่ง	200	0.01
A415	มะละกอ	176	0.01
A416	ขนุน	61	-
A417	กระท้อน	6	-
A418	ชมพู่	74	-
A422	มะนาว	217	0.01
A424	มะขามเทศ	275	0.01
A426	แก้วมังกร	40	-
A427	ส้มโอ	73	-
<b>A5</b>	<b>พืชสวน</b>	<b>14,169</b>	<b>0.42</b>
A502	พืชผัก	12,989	0.39
A503	ไม้ดอก	1,134	0.03
A504	องุ่น	4	-
A510	นาหญ้า	42	-
<b>A7</b>	<b>ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์</b>	<b>16,529</b>	<b>0.50</b>
A700	โรงเรือนร้าง	69	-
A701	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	2,448	0.07
A702	โรงเรือนเลี้ยงโคกระบือและม้า	507	0.02
A703	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก	12,916	0.39
A704	โรงเรือนเลี้ยงสุกร	589	0.02
<b>A8</b>	<b>พืชไร่</b>	<b>2,677</b>	<b>0.08</b>
A801	พืชไร่ผสม	15	-
A802	กก	44	-
A803	บัว	1,630	0.05
A804	กระเจ็บ	59	-
A805	แห้ว	263	0.01

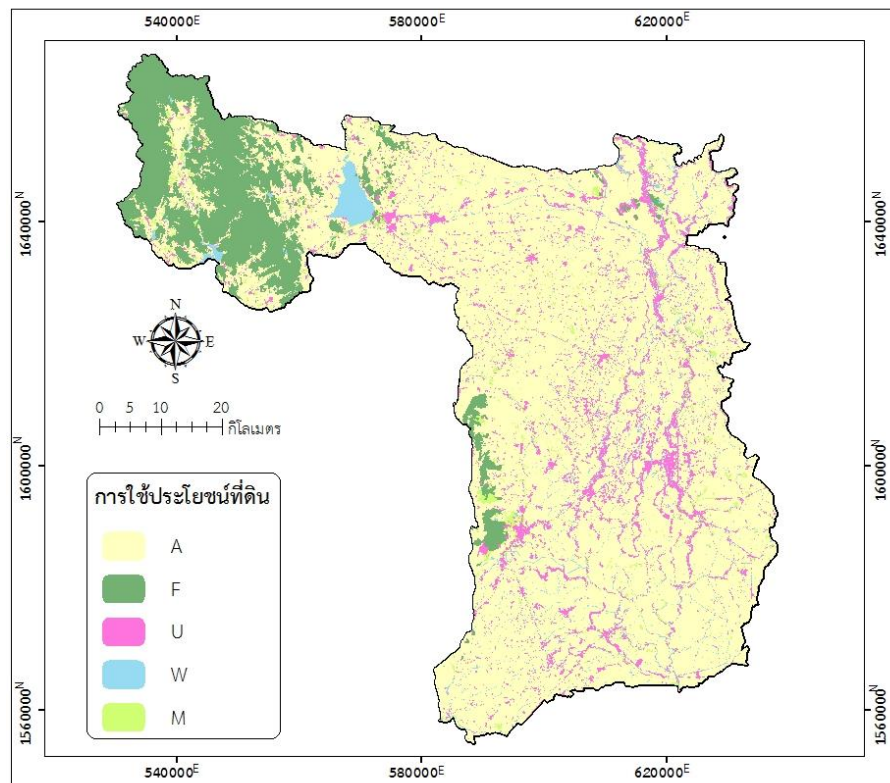
สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A806	ผักบุ้ง	666	0.02
<b>A9</b>	<b>สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ</b>	<b>95,029</b>	<b>2.84</b>
A900	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร้าง	6,026	0.18
A901	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผสม	395	0.01
A902	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	57,872	1.73
A903	สถานที่เพาะเลี้ยงกุ้ง	30,736	0.92
<b>F</b>	<b>ป่าไม้</b>	<b>409,458</b>	<b>12.22</b>
F200	ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	70	-
F201	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	409,301	12.22
F501	สวนป่าสมบูรณ์	87	-
<b>M</b>	<b>พื้นที่เบ็ดเตล็ด</b>	<b>72,746</b>	<b>2.18</b>
M101	ทุ่งหญ้า	31,691	0.95
M102	ไม้ละเมาะ	25,355	0.76
M2	พื้นที่ลุ่ม	5,044	0.15
M300	เหมืองเก่า บ่อขุด	6,589	0.2
M302	บ่อลูกรัง	2,160	0.06
M303	บ่อทราย	906	0.03
M304	บ่อดิน	559	0.02
M404	ที่ทิ้งขยะ	87	-
M405	พื้นที่ถม	355	0.01
<b>W</b>	<b>พื้นที่แหล่งน้ำ</b>	<b>99,081</b>	<b>2.98</b>
W101	แม่น้ำลำคลอง	29,632	0.89
W102	ทะเลสาบ บึง	2,029	0.06
W201	อ่างเก็บน้ำ	34,343	1.03
W202	บ่อน้ำในไร่นา	11,703	0.35
W203	คลองชลประทาน	21,374	0.65
<b>รวม</b>		<b>3,348,755</b>	<b>100.00</b>

จากตารางจะเห็นว่าหากจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินถึงระดับที่ 3 (96 ประเภท) จะทำให้ขนาดเนื้อที่ของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินบางประเภทมีสัดส่วนที่น้อยมาก ดังนั้นเพื่อให้สะดวกในการประมวลผล จึงยุบรวมพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเข้าเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับที่ 2 คือเหลือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 17 ประเภท ดังตารางที่ 2.3

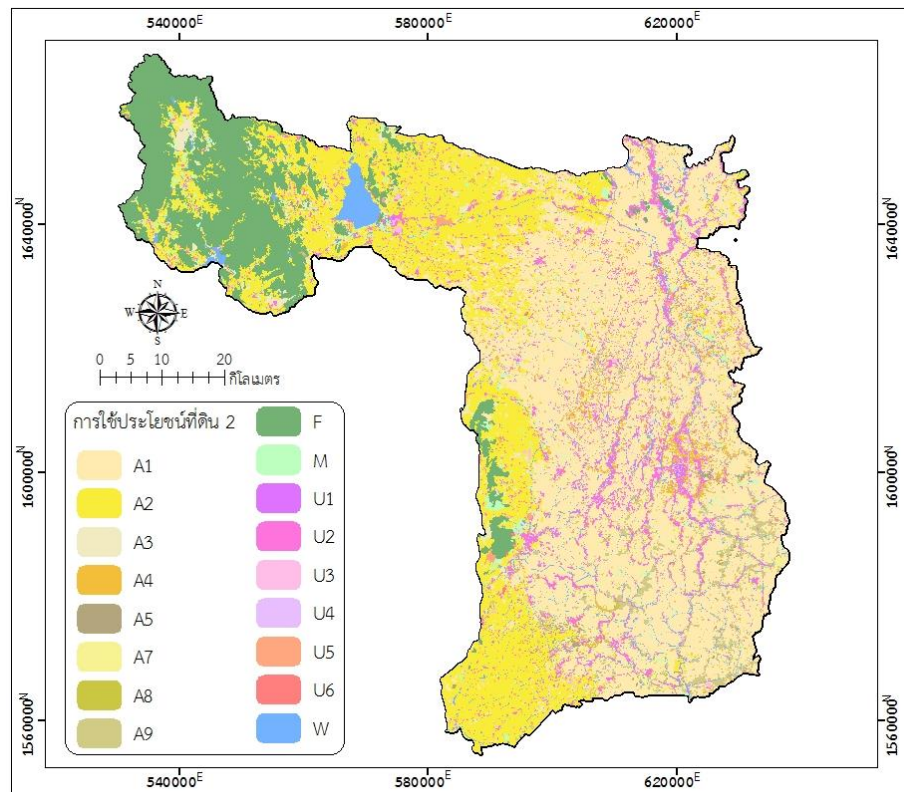
ตารางที่ 2.3 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีที่ใช้ในการวิเคราะห์

รหัส	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
U1	ตัวเมืองและย่านการค้า
U2	หมู่บ้าน
U3	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ
U4	ถนน, สนามบิน
U5	โรงงานอุตสาหกรรม, โรงงานอุตสาหกรรมร้าง, ลานตากและแหล่งรับซื้อ
U6	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ, สถานที่พักผ่อนหย่อนใจร้าง, สุสาน, ป่าช้า, สถานีบริการน้ำมัน
A1	นาข้าว
A2	พืชไร่
A3	ไม้ยืนต้น
A4	ไม้ผล
A5	พืชสวน
A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
A8	พืชน้ำ
A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
F	ป่าไม้
M	พื้นที่เบ็ดเตล็ด
W	พื้นที่แหล่งน้ำ





รูปที่ 2.5 แสดงแผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำแนกระดับ 1)



รูปที่ 2.6 แสดงแผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำแนกระดับ 2)

## 2.3 ทฤษฎีและเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.3.1 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การถดถอย (Regression) หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวหนึ่งที่เราเรียกว่าตัวแปรตาม (Dependent Variable) และอีกตัวแปรหนึ่งหรือตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ที่เรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

เป้าหมายของการถดถอย คือ

- (1) ขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ที่มีต่อตัวแปรตาม
- (2) แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม

ในการวิเคราะห์การถดถอย มักเรียกตัวแปรอิสระว่า ตัวแปรทำนาย (predictor) หรือตัวแปรกระตุ้น (stimulus variable) ส่วนตัวแปรตาม มักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรเกณฑ์ (criterion variable) ซึ่งเครื่องมือในการวิเคราะห์การถดถอยมีหลายแบบดังรูปที่ 2.7 ควรเลือกให้เหมาะกับข้อมูล โดยรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอาจเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นได้

#### 2.1.1.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น เป็นการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นตรง โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัว กับตัวแปรอิสระที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีผลต่อตัวแปรตาม และสร้างรูปแบบสมการพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยกลุ่มของตัวแปรอิสระที่ศึกษา ดังสมการ (2.4)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (\text{Larsen 2008}) \quad (2.4)$$

โดยที่  $y$  คือ ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรตาม  
 $x_1, x_2, \dots$  คือ ตัวแปรทำนาย (predictor) หรือตัวแปรอิสระ  
 $\beta_{1, \dots, n}$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยอันดับที่ 1 ถึงอันดับที่  $n$   
 $\beta_0$  คือ ค่าคงที่

#### 2.1.1.2 การวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้น (Non-linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยที่ไม่ใช่เชิงเส้นใช้ประโยชน์ใน 2 กรณีหลักคือ กรณีที่นักวิจัยทราบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างกันแบบไม่เป็นเส้นตรงหรือในกรณีที่นักวิจัยไม่ทราบ

ความสัมพันธ์ที่แน่นอนแต่ใช้ฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นในการสร้างสมการความสัมพันธ์ โดยในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงรูปแบบสมการถดถอยแบบพหุนามเมื่อยลเท่านั้น

2.1.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง รวมถึงกรณีมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว โดยสมการมีหลายรูปแบบดังนี้

(1) รูปแบบสมการถดถอยพหุนาม 1 ตัวแปร ยกกำลังอันดับที่  $n$  ( $n^{\text{th}}$  Order Polynomial Regression Models in One Variable) หากสมการมีการยกกำลังสองเพียง 1 ค่า จะเรียก สมการกำลังสอง (Quadratic model) ดังสมการ (2.5)

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \dots + \beta_nx^n \quad (\text{Larsen 2008}) \quad (2.5)$$

(2) รูปแบบสมการถดถอยพหุนาม 2 ตัวแปร หรือมากกว่า (Polynomial regression models in two or more Variable) (บุญอ้อม โฉมที่ 2554, Thomas 2009) โดยตัวอย่างรูปแบบสมการถดถอยพหุนาม 2 ตัวแปร แสดงดังสมการ (2.6)

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2\dots \quad (\text{Chen 2005}) \quad (2.6)$$

โดยที่  $y$  คือ ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรตาม  
 $x_1, x_2, \dots$  คือ ตัวแปรทำนาย (predictor) หรือตัวแปรอิสระ  
 $\beta_{1, \dots, n}$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยอันดับที่ 1 ถึงอันดับที่  $n$   
 $\beta_{12}, \dots$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยที่เกิดจากการปฏิสัมพันธ์  
 $\beta_0$  คือ ค่าคงที่

จากสมการพบว่ามีสัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นสมการเชิงเส้นตรงคือ  $\beta_1$  และ  $\beta_2$  สัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นสมการกำลังสองคือ  $\beta_{11}$  และ  $\beta_{22}$  จะมีลักษณะเป็นพาราโบลา และสัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้งสอง (interaction) คือ  $\beta_{12}$



วิเคราะห์การถดถอยฯ จึงเป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับจำนวนประชากรได้

### 2.3.2 ทฤษฎีสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Autocorrelation)

การวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่จากค่าของวัตถุนั้น โดยอยู่ภายใต้กฎข้อที่ 1 ของภูมิศาสตร์ คือ “ทุกสิ่งทุกอย่างเกี่ยวข้องกับสิ่งอย่างอื่น ซึ่งสิ่งที่อยู่ใกล้กันย่อมเกี่ยวข้องกันมากกว่าสิ่งที่อยู่ไกลออกไป” “Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things” (Tobler 1970) จะเห็นได้ว่าแนวความคิดนี้สอดคล้องกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น ภูมิอากาศในบริเวณหนึ่ง ๆ นั้น ย่อมมีความคล้ายคลึงกับภูมิอากาศในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงมากกว่าภูมิอากาศในบริเวณที่อยู่ไกลออกไป เป็นต้น ปรากฏการณ์ทางพื้นที่ที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า spatial autocorrelation โดยแสดงให้เห็นว่าการกระจายของค่าต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับกระจายเชิงพื้นที่ของวัตถุ ดังนั้นในแต่ละพื้นที่ที่สนใจ ข้อมูลสถิติต่างๆ สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ โดยการสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละคู่ของชุดข้อมูลในชุดข้อมูลทั้งหมด เพื่อหาค่าตัวแปรที่สนใจได้ โดยทฤษฎีสัมพันธ์เชิงพื้นที่นี้ จะเป็นแนวคิดพื้นฐานในการวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ และค่าตัวแปรที่นิยมใช้วัด ได้แก่ ค่าความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของมอแรน (Spatial Autocorrelation or Global Moran's I)

### 2.3.3 รูปแบบเชิงพื้นที่ (Spatial pattern)

(Jay and David 2001) ได้ศึกษาลักษณะรูปแบบของพื้นที่จากปัจจัยด้านกายภาพ หรือด้านวัฒนธรรมที่เปลี่ยนแปลงไปในโลก รูปแบบพื้นที่เป็นแนวคิดทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกระจายของพื้นที่ในเวลาหนึ่ง กระบวนการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่เป็นอีกแนวคิดหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นพลวัตในเวลาต่าง ๆ แต่ทั้งรูปแบบของพื้นที่และกระบวนการเปลี่ยนแปลงพื้นที่นั้นมีความสัมพันธ์กันในทางรูปแบบ สถิติของพื้นที่ (Spatial statistic) จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการอธิบายและวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ ดังนั้นการศึกษารูปแบบของความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial relationships) จะต้องมีการเปรียบเทียบรูปแบบนั้น ๆ ตามทฤษฎี จึงมีการแบ่งจำแนกรูปแบบตามโครงสร้างที่ทราบออกเป็น 3 แบบคือ แบบเกาะกลุ่ม (clustered) แบบกระจายตัว (dispersed) แบบสุ่ม (random) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การจำแนกรูปแบบของพื้นที่ (ESRI 2006)

ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ไม่มีตัวชี้วัดที่ชัดเจนในการแบ่งรูปแบบพื้นที่ว่าเป็น แบบเกาะกลุ่ม แบบกระจายตัว หรือแบบสุ่ม ซึ่งทำให้การตัดสินใจในการแบ่งรูปแบบทั้ง 3 แบบเป็นไปได้ยาก ในการจำแนกรูปแบบพื้นที่ให้เป็น แบบเกาะกลุ่ม แบบกระจายตัว หรือแบบสุ่ม นั้นสามารถเจาะลึกไปยังพื้นที่ต่างๆ เพื่อวัดความเหมือนหรือความแตกต่างกันของพื้นที่ใกล้เคียงกัน เมื่อทราบผลก็จะสรุปว่าเป็นรูปแบบพื้นที่เช่นไร ซึ่งก็จะมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ร่วมอยู่ด้วย (Odland 1988)

### 2.3.4 สถิติเชิงพื้นที่ (Spatial statistics)

สถิติเชิงพื้นที่เป็นการหารูปแบบและความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ช่วยให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบกลุ่มของ feature และแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่างๆ ในเชิงพื้นที่ ได้อย่างชัดเจน และสามารถคำนวณความน่าจะเป็นของรูปแบบหรือความสัมพันธ์ด้วย โดยได้มีการพัฒนาเครื่องมือ (GIS tool) ต่าง ๆ ที่ใช้ในการอธิบาย การกระจายของกลุ่ม การจำแนกรูปแบบ และการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง features เครื่องมือเหล่านี้จะใช้วิธีการทางสถิติเพื่อช่วยให้การแสดงผลที่เร็วขึ้น และได้รูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ถูกต้อง (Briggs 2010)

พื้นที่ (space) เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของสถิติเชิงพื้นที่ จึงทำให้สถิติเชิงพื้นที่แตกต่างจากสถิติแบบดั้งเดิม (traditional statistics) โดยสถิติเชิงพื้นที่จะมีตำแหน่งของ feature เข้ามาเกี่ยวข้อง รวมถึงใช้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่าง features เช่น ระยะทาง เข้ามาพิจารณา ซึ่งหากใช้สถิติแบบดั้งเดิมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ อาจทำให้สิ่งที่เกิดขึ้นนั้นผิดไปจากที่ควรเป็น

สถิติจะอธิบายหรือสรุปข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ และที่สำคัญที่สุดคือ สถิติช่วยยืนยันความถูกต้องของข้อสรุป เนื่องจากสถิติทำให้ทราบถึงค่าความน่าจะเป็นและค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลเหล่านั้นที่นำมาวิเคราะห์ การวิเคราะห์ข้อมูลภูมิศาสตร์ด้วยวิธีการทางสถิติ เป็นการใช่มุมมองทางคณิตศาสตร์ในการหาข้อสรุปเกี่ยวกับคุณลักษณะ รูปแบบ และความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์จะคล้ายกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลเชิงพื้นที่ เพียงแต่มีเรื่องของตำแหน่งเชิงพื้นที่เข้ามาพิจารณาร่วมด้วย

## 2.4 เครื่องมือในการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่

### 2.4.1 เครื่องมือในการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่ (The spatial statistics tools in the ArcGIS)

ซอฟต์แวร์ ArcGIS มีเครื่องมือประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติอยู่หลายเครื่องมือ ซึ่งช่วยในการตรวจสอบรูปแบบเชิงพื้นที่ เช่น การวัดกระบวนการเชิงพื้นที่ การกระจายตัวเชิงพื้นที่ และความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ทำให้สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ทางภูมิศาสตร์ ทราบถึงรูปแบบทางภูมิศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจง ช่วยเพิ่มระดับความมั่นใจในการตัดสินใจ และสถิติเชิงพื้นที่ยังเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับชุดข้อมูลขนาดใหญ่และสลับซับซ้อน

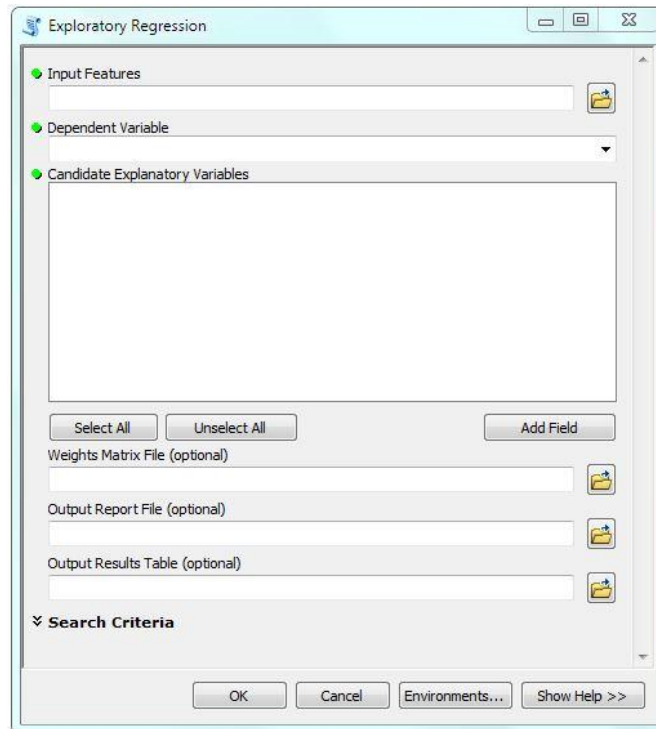
เครื่องมือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS ในงานวิจัยนี้ อยู่ภายใต้กล่องเครื่องมือชื่อ spatial statistics tools ดังนี้

#### 2.4.1.1 Exploratory Regression โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1

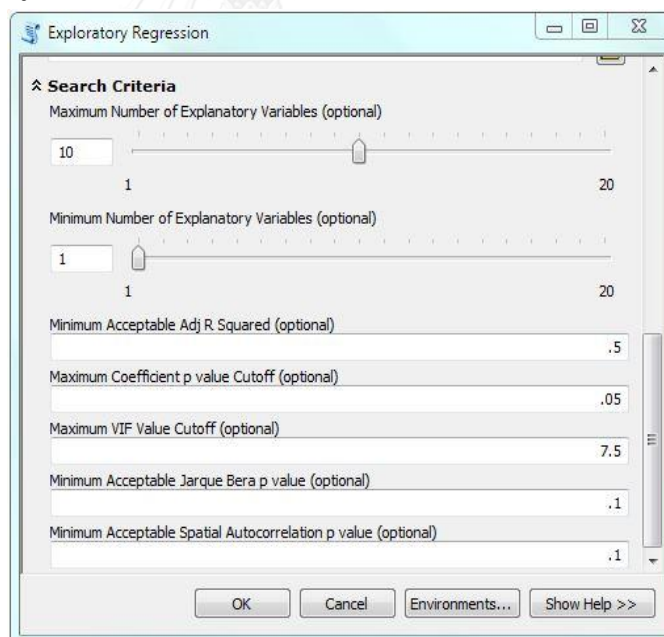
Exploratory Regression เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ โดยวิเคราะห์ระดับความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความหนาแน่นประชากรกับการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท ด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น เพื่อนำผลลัพธ์มาใช้ในการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่จะนำมาจัดสร้างแบบจำลองฯ

แบบจำลองการถดถอยที่ดีจะต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ ได้แก่ การคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือไม่ควรเกิดปัญหา Multicollinearity (เกิดความซ้ำซ้อนกันของตัวแปรอิสระที่มีหลายตัว) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และค่าความคลาดเคลื่อนควรมีการแจกแจงแบบปกติ โดยเครื่องมือ Exploratory Regression สามารถนำมาซึ่ง regression model ที่ดีและเหมาะสม

เครื่องมือ Exploratory Regression สามารถคัดเลือกตัวแปรสำหรับ regression models โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขการรวมกันที่เป็นไปได้ทั้งหมดของตัวแปร เพื่อให้ได้มาซึ่งตัวแปรที่มีนัยสำคัญสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แสดงเครื่องมือ Exploratory Regression



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องมือ Exploratory Regression



รูปที่ 2.10 แสดงการเลือกจำนวนตัวแปรผลลัพธ์และการกำหนดค่าทางสถิติจากเครื่องมือ

### Exploratory Regression

ขั้นตอนในการประมวลผล ต้องเลือกตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่สนใจทั้งหมด และสามารถเลือกจำนวนตัวแปรอิสระที่เป็นตัวแปรผลลัพธ์ตามจำนวนที่ต้องการได้ พร้อมทั้งกำหนดค่าทางสถิติที่ต่าง ๆ ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จากนั้นเครื่องมือจะประมวลผล



และเลือกแสดงผลสำหรับการรวมกันของตัวแปรที่ให้ค่า Adjusted R<sup>2</sup> สูงสุด 3 สมการ พร้อมแสดงกลุ่มตัวแปรที่ผ่านการทดสอบแล้วว่ามีความสำคัญทางสถิติซึ่งสามารถนำมาจัดทำแบบจำลองต่อไปได้ ดังรูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์

Choose 3 of 13 Summary								
Highest Adjusted R-Squared Results								
AdjR2	AICc	JB	K(BP)	VIF	SA	Model		
0.80	694.88	0.51	0.00	1.12	0.02	+JOBS***	+LOWEDUC***	-DST2URBCEN***
0.79	703.15	0.01	0.00	1.26	0.38	+LOWEDUC***	-DST2URBCEN***	+BUSINESSES***
0.78	703.64	0.00	0.00	1.37	0.16	-DST2URBCEN***	+RENTERS***	+BUSINESSES***
Passing Models								
AdjR2	AICc	JB	K(BP)	VIF	SA	Model		
0.744216	718.312716	0.808741	0.000627	3.071308	0.353285	+POP***	-DST2URBCEN***	-COLLGRADS***
0.741502	719.230902	0.206460	0.001030	2.304690	0.410183	+LOWEDUC***	-DST2URBCEN***	+UNEMPLOYED***
0.739595	719.870411	0.122854	0.001165	1.726983	0.337841	+POP***	+LOWEDUC***	-DST2URBCEN***
0.726676	724.082978	0.800352	0.000041	5.236337	0.110778	+POP***	-DST2URBCEN***	-ALCOHOLX***
0.668456	740.883005	0.126755	0.000000	1.013655	0.128735	+POP***	-DST2URBCEN***	-PERCOLLGRD***

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกจากเครื่องมือ Exploratory Regression ใน

ArcGIS Help 10.1

เครื่องมือ Exploratory Regression ยังมีการสรุปผลลัพธ์ค่าตัวชี้วัดที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

1) Global Summary แสดงร้อยละของค่าสถิติต่าง ๆ ของแบบจำลอง ซึ่งผ่านเงื่อนไขของ regression models ที่ดี

2) Summary of Variable Significance แสดงร้อยละของความมีนัยสำคัญของตัวแปร พร้อมทั้งแสดงเครื่องหมายความสัมพันธ์ในเชิงบวกหรือเชิงลบ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.12

Summary of Variable Significance			
Variable	% Significant	% Negative	% Positive
DST2URBCEN	100.00	100.00	0.00
RENTERS	96.98	0.00	100.00
LOWEDUC	94.58	0.00	100.00
BUSINESSES	91.06	0.00	100.00
JOBS	77.96	0.00	100.00
UNEMPLOYED	64.74	2.64	97.36
FORGNBORN	57.56	8.44	91.56
POP	52.64	7.56	92.44
MEDINCOME	50.88	90.05	9.95
POPENSITY	37.15	63.22	36.78
PERCOLLGRD	30.48	42.95	57.05
ALCOHOLX	26.20	62.85	37.15
COLLGRADS	24.06	55.67	44.33

รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง Summary of Variable Significance จากเครื่องมือ Exploratory Regression

3) Summary of Multicollinearity แสดงค่า Maximum Variance Inflation Factor (VIF) ซึ่งใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรอิสระตัวอื่นว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันจะมีค่า VIF มากกว่า (>) 7.50

และแสดงกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 2.13 ตัวอย่างค่าสถิติ Summary of Multicollinearity

Summary of Multicollinearity			
Variable	VIF	Violations	Covariates
POP	26.55	337	ALCOHOLX (75.97), COLLGRADS (50.64), LOWEDUC (0.86)
JOBS	2.42	0	-----
LOWEDUC	7.67	2	COLLGRADS (0.86), POP (0.86), ALCOHOLX (0.43)
DST2URBCEN	1.35	0	-----
RENTERS	5.49	0	-----
UNEMPLOYED	4.99	0	-----
BUSINESSES	2.60	0	-----
FORGNBORN	8.50	5	-----
ALCOHOLX	19.33	366	COLLGRADS (99.57), POP (75.97), LOWEDUC (0.43)
POPENSITY	1.90	0	-----
MEDINCOME	3.25	0	-----
COLLGRADS	25.26	315	ALCOHOLX (99.57), POP (50.64), LOWEDUC (0.86)

รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง Summary of Multicollinearity จากเครื่องมือ Exploratory Regression

4) Summary of Residual Normality (Jarque-Bera) แสดงค่าเพื่อตรวจสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดค่า JB ต้องมีค่ามากกว่า ( $>$ ) 0.10

5) Summary of Residual Spatial Autocorrelation (SA) แสดงค่าเพื่อตรวจสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระจากกันหรือไม่ โดยกำหนดค่า SA ต้องมีค่ามากกว่า ( $>$ ) 0.10

จะเห็นได้ว่าเครื่องมือ Exploratory Regression มีประโยชน์ในการช่วยคัดเลือกตัวแปรให้เหมาะสมเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อน โดยช่วยในขั้นตอนการทำงาน ซึ่งทำให้การทำงานมีความสะดวกมากขึ้น

#### 2.4.1.2 เครื่องมือ Spatial Autocorrelation (Morans I) ในซอฟต์แวร์

##### ArcGIS 10.1

การวิเคราะห์รูปแบบของพื้นที่ (spatial pattern) นิยมใช้วิธี Moran's I เพราะเป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลได้ดี (Cliff and Ord 1973)

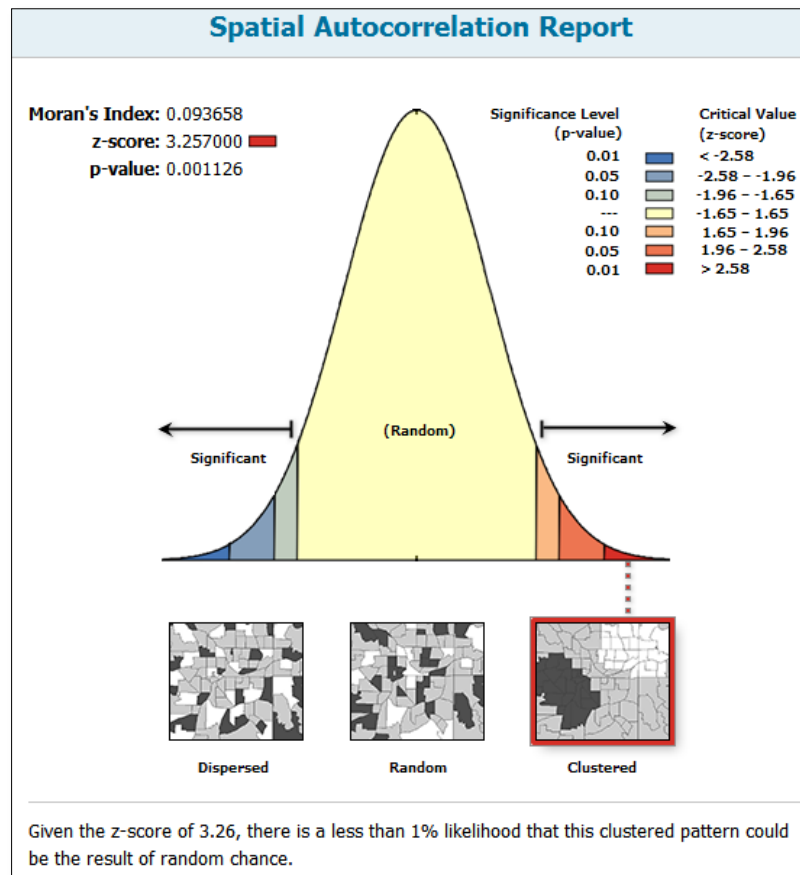
การวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นที่ที่อยู่ติดกัน จะพิจารณาจากค่าสถิติเป็นพื้นฐาน ถ้าพื้นที่ศึกษามีลักษณะเหมือนหรือใกล้เคียงกันและอยู่ติดกัน ค่าทางสถิติจะบ่งชี้ว่าพื้นที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในทิศทางเดียวกัน และถ้าพื้นที่ที่ศึกษามีลักษณะแตกต่างกัน ค่าสถิติจะบ่งชี้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในทิศทางตรงกันข้ามกัน (Jay and David 2001)

ค่าความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของมอแรน ใช้ชี้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจในพื้นที่ ซึ่งจะเปรียบเทียบค่าตัวแปรที่สนใจในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งกับค่าตัวแปรที่สนใจใน

ตำแหน่งอื่น ๆ ทั้งหมด แสดงผลลัพธ์จากเครื่องมือ Spatial Autocorrelation, or Global Moran's I ดังรูปที่ 2.14

Peter (2001) กล่าวว่า ถ้าค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ  $+1$  บ่งชี้ว่าพื้นที่มีรูปแบบพื้นที่แบบเกาะกลุ่มกัน (clustered) แต่ถ้าค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเข้าใกล้  $-1$  บ่งชี้ว่าพื้นที่มีรูปแบบกระจายตัว (dispersed) ถ้าค่าผลลัพธ์เข้าใกล้  $0$  บ่งชี้ว่าพื้นที่มีรูปแบบสุ่ม (random) หรือไม่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่แน่นอน เช่นเดียวกับ Moran (1950) ที่กล่าวว่า การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ควรมีการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูลทั้งในรูปแบบ 2 มิติ หรือมากกว่านั้น ซึ่งค่าผลลัพธ์ Moran's I ในช่วง  $+1$  เป็นรูปแบบของพื้นที่แบบเกาะกลุ่มกัน ช่วง  $-1$  มีรูปแบบกระจายตัว และ ช่วง  $0$  เป็นรูปแบบสุ่ม

ในงานวิจัยนี้จะนำเครื่องมือ Spatial Autocorrelation (Morans I) มาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (residual) จากแบบจำลองเชิงพื้นที่ เนื่องจากข้อสมมติฐานพื้นฐานของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดคือ ค่าคลาดเคลื่อนจะต้องไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างกัน ถ้าค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายที่ไม่เป็นอิสระแก่กันหรือมีสหสัมพันธ์ระหว่างกันนั้นถือว่าผิดข้อสมมติพื้นฐาน โดยค่าความคลาดเคลื่อนนี้ควรจะมีการกระจายตัวแบบสุ่ม โดยเครื่องมือจะทำงานร่วมกับเครื่องมือ Exploratory Regression



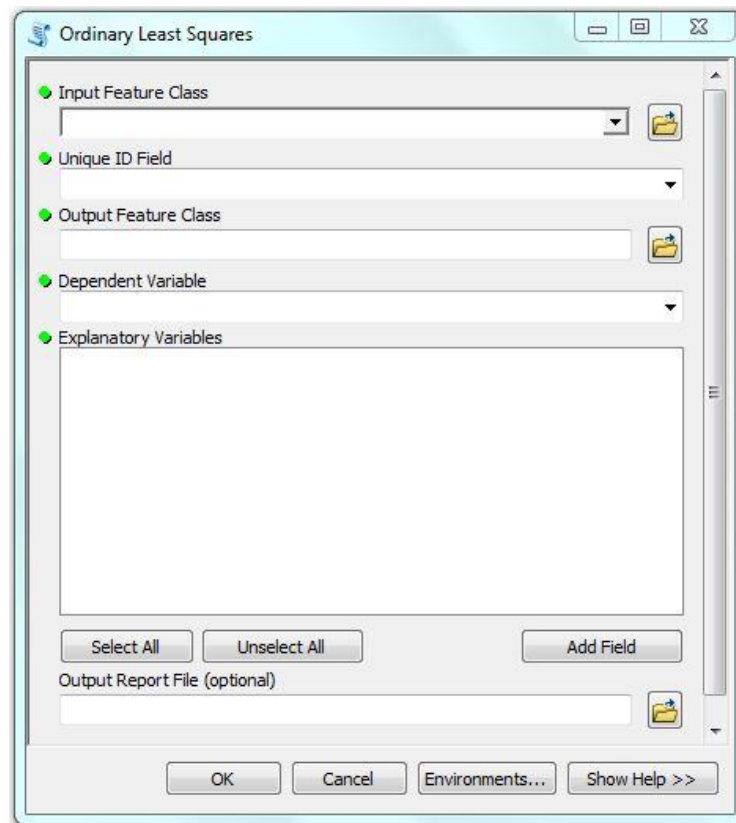
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างผลลัพธ์จากเครื่องมือ Spatial Autocorrelation, or Global Moran's I

### 2.4.1.3 เครื่องมือ Ordinary Least Squares (OLS) ในซอฟต์แวร์ ArcGIS

#### 10.1

เครื่องมือ Ordinary Least Squares ใช้วิเคราะห์หาสมการถดถอยจากตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยเลือกตัวแปรอิสระที่ผ่านการคัดเลือกจากเครื่องมือ Exploratory Regression แล้ว เครื่องมือ Ordinary Least Squares แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยให้ผลลัพธ์เป็น output feature class และรายงานผลลัพธ์ของสมการถดถอยเป็นค่าทางสถิติต่าง ๆ ดังนี้

1) ค่า Multiple R-Squared และ Adjusted R-Squared เป็นตัวประเมินความเหมาะสม (Model Performance) ในการนำแบบจำลองไปใช้ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง



รูปที่ 2.15 เครื่องมือ Ordinary Least Squares

2) ค่าจากตัวแปรอิสระในแบบจำลองมีดังนี้

สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวแสดงถึงความสัมพันธ์ที่ตัวแปรอิสระมีต่อตัวแปรตาม

ค่า T test ใช้ประเมินว่าตัวแปรอิสระนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยมีสมมติฐานศูนย์ (Null hypothesis) คือการที่ค่าสัมประสิทธิ์เป็นศูนย์และไม่มีผลกับแบบจำลอง สังเกตได้จาก probability หรือ robust probability หากมีค่าน้อยมาก แสดงว่าโอกาสที่ค่าสัมประสิทธิ์จะเป็นศูนย์ ก็น้อยตามไปด้วย

Variance Inflation Factor (VIF) วัดความซ้ำซ้อน (redundancy) ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกัน หาก VIF มีค่ามากกว่า 7.5 แสดงว่าเกิดความซ้ำซ้อนกันระหว่างตัวแปร ควรนำตัวแปรนั้นออกจากแบบจำลอง

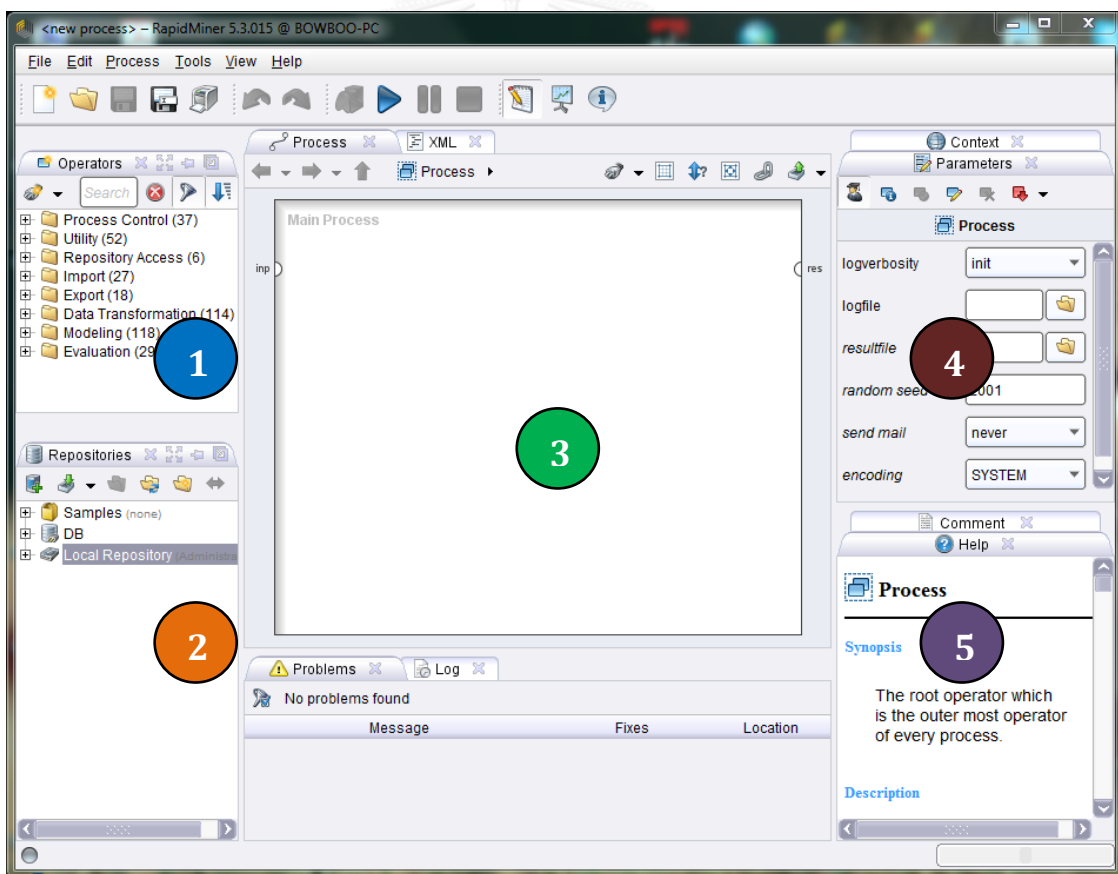
3) การประเมิน model bias

จากค่า Jarque-Bera statistic ที่ใช้ตรวจสอบว่า residuals นั้นมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยมีสมมติฐานศูนย์ (Null hypothesis) คือ residuals นั้นมีการกระจายแบบปกติ หาก residuals นั้นมีการกระจายแบบไม่ปกติ แสดงว่าแบบจำลองยังขาดตัวแปรอิสระที่เป็นตัวแปรหลักของแบบจำลองอยู่

## 2.4.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์การถดถอยในซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 (Regression Analysis tools in the RapidMiner 5.3)

RapidMiner เป็นซอฟต์แวร์ open source สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค data mining (Data Mining คือ การค้นหาความสัมพันธ์และรูปแบบ (Pattern) ทั้งหมด ซึ่งมีอยู่ในฐานข้อมูลแต่ได้ถูกซ่อนไว้ภายในข้อมูลจำนวนมาก Data Mining จะทำการสำรวจและวิเคราะห์อย่างอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ ในปริมาณข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในรูปแบบที่เต็มไปด้วยความหมายและอยู่ในรูปของกฎ (Rule) โดยความสัมพันธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความรู้ต่างๆ ที่มีประโยชน์ในฐานข้อมูล (Han and Kamber 2006)) ซอฟต์แวร์ RapidMiner นี้พัฒนาขึ้นด้วยภาษา Java ทำให้สามารถติดตั้งและทำงานได้บนทุกเครื่อง

ซอฟต์แวร์ RapidMiner มีหน้าจอการออกแบบ (Design perspective) ดังรูปที่ 2.16 สามารถแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ได้ 5 ส่วน ดังนี้



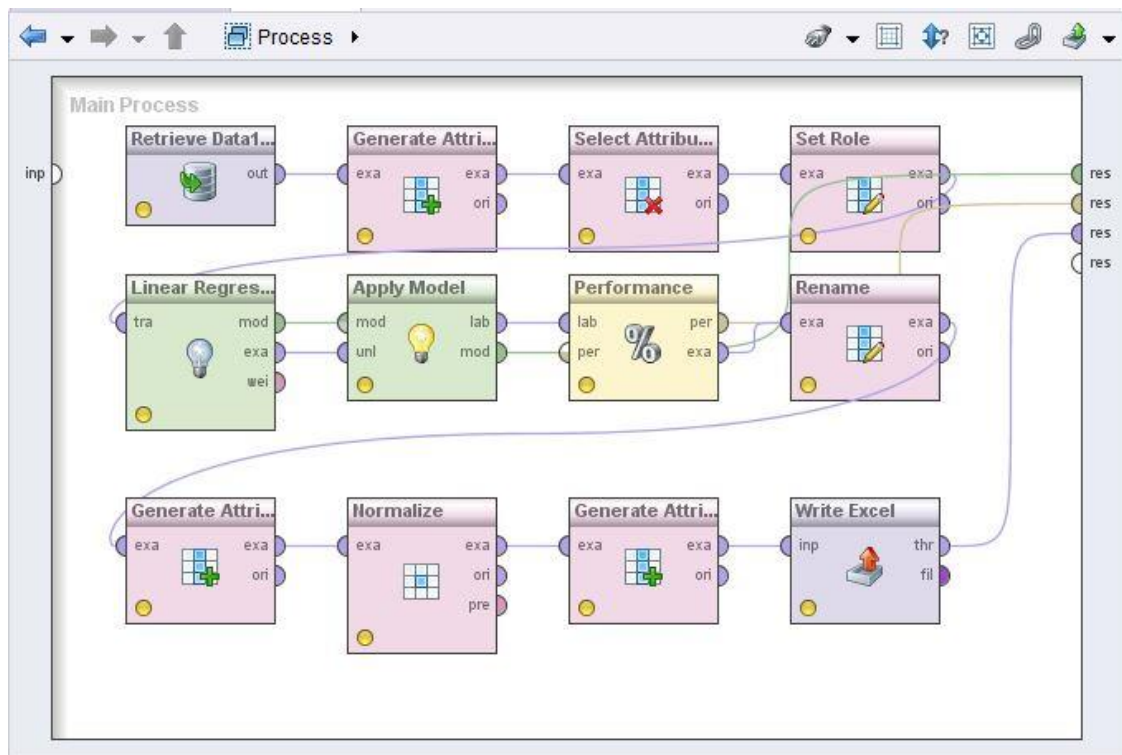
รูปที่ 2.16 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของซอฟต์แวร์ RapidMiner

- 1) Operators ส่วนนี้จะเก็บโอเปอเรเตอร์ในการใช้งานต่างๆ ไว้เป็นกลุ่มๆ ตามหน้าที่ที่คล้ายคลึงกัน เช่น โอเปอเรเตอร์สำหรับการอ่านข้อมูลจากไฟล์ประเภท CSV จะอยู่ใน

หมวด Import และหมวดย่อย Data นอกจากนี้ในส่วนของโอเปอเรเตอร์นี้ยังมีส่วน  
 สำหรับใช้ในการค้นหาชื่อของโอเปอเรเตอร์ต่างๆ ได้

- 2) Repositories ส่วนนี้จะใช้ในการจัดการไฟล์ต่างๆ หลักการของ RapidMiner นี้จะเก็บ  
 ไฟล์ข้อมูลหรือโพรเซสต่างๆ ไว้ในโพลเดอร์เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งานครั้งถัดไป  
 โพลเดอร์ที่ใช้เก็บไฟล์เหล่านี้จะเรียกว่าเป็น repository
- 3) Process ส่วนนี้เป็นอีกส่วนที่สำคัญของ RapidMiner เพราะหลักการทำงานของ  
 ซอฟต์แวร์นี้คือ การนำโอเปอเรเตอร์ต่างๆ มาประกอบกันให้เป็นโพรเซสขึ้นมา
- 4) Parameters ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่แสดงพารามิเตอร์ (parameter) ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละ  
 โอเปอเรเตอร์ เช่น โอเปอเรเตอร์ Write Excel สำหรับสร้างไฟล์ Excel จะมี  
 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ชื่อ Sheet เป็นต้น
- 5) Help ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่แสดงข้อความช่วยเหลือหรือรายละเอียดของโอเปอเรเตอร์ที่  
 เลือกใช้งานอยู่ ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดเบื้องต้น ความหมายของแต่ละพารามิเตอร์  
 เป็นต้น

โดยภาพรวมของเวอร์ชัน 5 นี้ได้เปลี่ยนแปลงการทำงานจากเดิมที่จะต้องเลือกฟังก์ชันการ  
 ทำงานมาต่อกันให้เป็น Tree กลายเป็นการนำฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มาเชื่อมต่อกันเป็นรูปแบบของ  
 Workflow ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบการทำงานของ RapidMiner5.3

## Performance Vector

PerformanceVector:

root\_mean\_squared\_error: 38.677 +/- 0.000

absolute\_error: 28.928 +/- 25.672

relative\_error: 181.06% +/- 1,223.44%

squared\_error: 1495.880 +/- 3380.088

correlation: 0.975

squared\_correlation: 0.951

รูปที่ 2.18 แสดงค่าตัวชี้วัดทางสถิติของการประเมินสมการถดถอย

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ๆ สมการถดถอยในซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยค่าตัวชี้วัดทางสถิติที่สำคัญต่าง ๆ มีดังนี้

- 1) Root Mean Squared Error (RMSE) “ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย” เป็นวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้น หากค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง



- 2) Absolute Error (AE) “ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย” หรือ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นจำนวนคน (Mean Absolute Error, MAE) เป็นวิธีการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง โดยหากค่า MAE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง
- 3) Relative Error (RE) “ค่าคลาดเคลื่อนความสัมพันธ์เฉลี่ย” หรือ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่เป็นค่าร้อยละของจำนวนประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)
- 4) Squared Error (SE) “ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย” โดยซอฟต์แวร์จะทำการรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ค่า MSE ยิ่งน้อย หมายถึง การพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ
- 5) Correlation (R) ค่าสหสัมพันธ์ เป็นสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)
- 6) Squared Correlation ( $R^2$ ) คือ ตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้นี้มีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อยอย่างไร หรือรู้จักกันในอีกความหมายหนึ่งว่าเป็น ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination)
- 7) Tolerance “วิธีพิจารณาจากค่าการยอมรับ” เป็นค่าจากตัวแปรอิสระในแบบจำลอง ค่า tolerance มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่า tolerance เข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรเป็นอิสระจากกัน แต่ถ้าค่า tolerance เข้าใกล้ 0 แสดงว่าเกิดปัญหา Multicollinearity

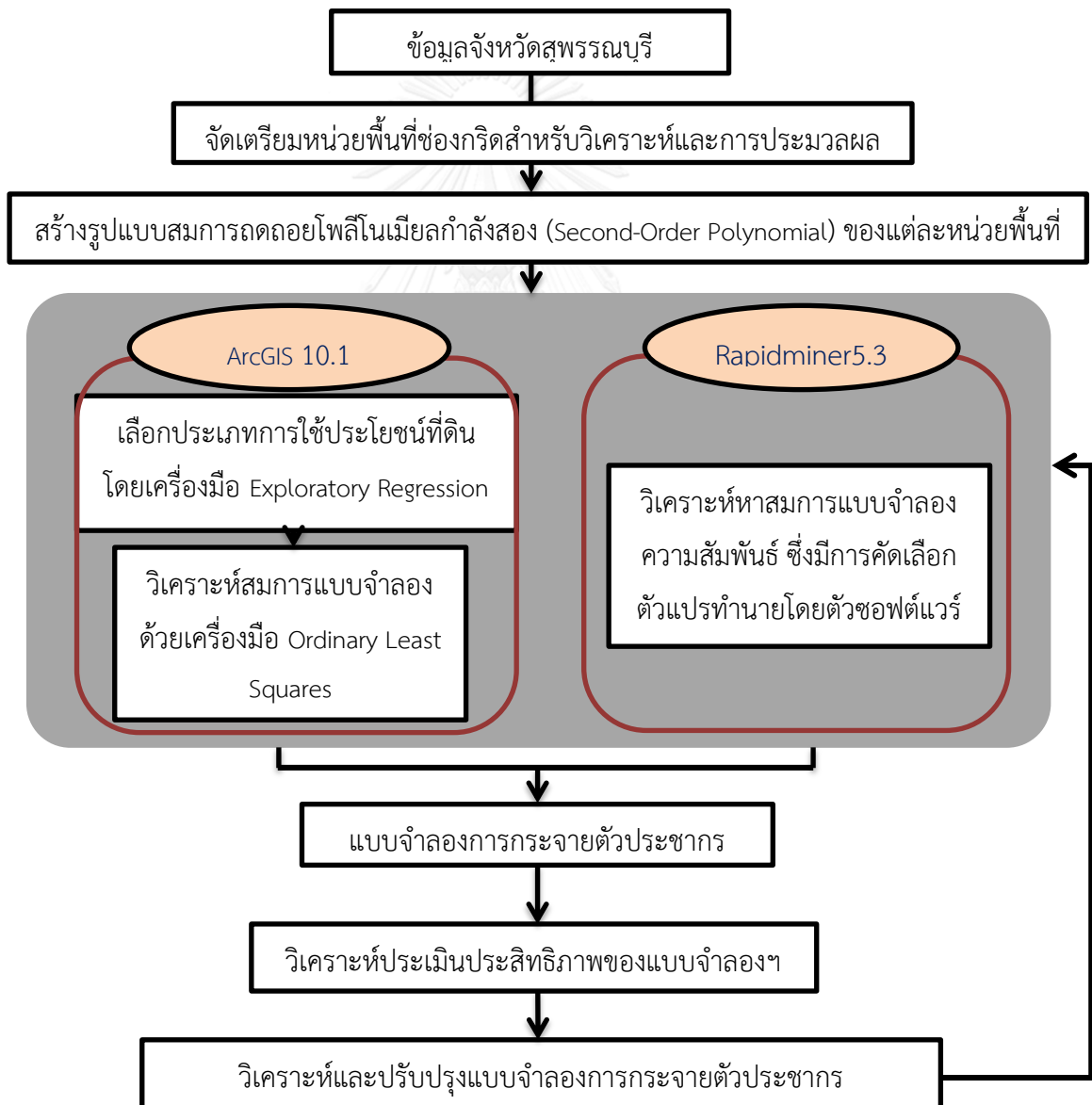
#### ข้อสังเกต

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ( $n$ ) และจำนวนของตัวแปรอิสระ ( $m$ ) มีอิทธิพลต่อค่า  $R^2$  ถ้าขนาดกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ในเทอมของ  $R$  จะประมาณค่าสหสัมพันธ์พหุคูณของประชากรได้ลำเอียง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการสุ่มตัวอย่าง และสัมประสิทธิ์การกำหนดปรับแก้ (Adjusted Coefficient of Multiple Determination) จะถูกนำมาใช้ในการอธิบายผลเมื่อจำนวนกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนมากขึ้นและมากกว่าจำนวนตัวแปรอิสระหลายเท่า ความลำเอียงในการประมาณค่าจะเกิดขึ้นน้อยและจะช่วยสรุปอ้างอิงไปยังประชากรได้ดีขึ้น

### บทที่ 3

#### การดำเนินงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยการศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง: กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี วัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรในพื้นที่ศึกษา บนปัจจัยข้อมูลสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้รูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในการวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 3.1 อธิบายถึงหัวข้อที่ 3.1 การจัดเตรียมข้อมูลและการคำนวณค่าของข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผล หัวข้อที่ 3.2 การสร้างรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองของแต่ละหน่วยพื้นที่ หัวข้อที่ 3.3 การสร้างและวิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) ในรูปแบบของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง 3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 หัวข้อที่ 3.5 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 หัวข้อที่ 3.6 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 หัวข้อที่ 3.7 การวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ หัวข้อที่ 3.8 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner และหัวข้อสุดท้าย 3.9 การวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองฯ

### 3.1 การจัดเตรียมข้อมูลและการคำนวณค่าของข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผล

ในการจัดเตรียมข้อมูลต่าง ๆ และการวิเคราะห์คำนวณค่าของข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผล ในส่วนนี้ ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับพิกศานา นิมิตรกุล (2556) จึงขอลงรายละเอียดคร่าว ๆ เพื่อให้เข้าใจถึงที่มาของข้อมูลต่าง ๆ ก่อนทำการประมวลผล ซึ่งข้อมูลทุกชั้นข้อมูลแผนที่ เป็นระบบพิกัดเดียวกัน คือระบบ UTM โซน 47 พื้นฐาน WGS84

#### 3.1.1 ข้อมูลตำแหน่งบ้าน

จัดทำขึ้นโดยสำนักงานจังหวัดสุพรรณบุรี มีลักษณะเป็นข้อมูลจุด โดยแต่ละจุดแสดงข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute) คาร์รหัสหมายเลขประจำบ้าน และพบว่าข้อมูลตำแหน่งบ้านที่มีอยู่นั้นยังไม่สมบูรณ์ อาจเกิดจากความผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูล ปัญหาที่พบคือข้อมูลบางส่วนมีคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านไม่ครบถ้วนและเกิดการซ้ำซ้อนกัน จึงได้มีการปรับแก้ข้อมูลตำแหน่งบ้าน ในส่วนคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านที่ไม่ครบถ้วนถ้าสามารถระบุถึงหมู่บ้าน ตำบล และอำเภอที่ตั้งอยู่ได้ จะเก็บข้อมูลตำแหน่งบ้านนั้นไว้ แต่หากคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านไม่สามารถระบุถึงตำแหน่งที่ตั้งได้ จะทำการลบข้อมูลออก ในส่วนการปรับแก้ข้อมูลตำแหน่งบ้านที่มีคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านซ้ำกัน มี 2 กรณี คือ กรณีที่คาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านซ้ำในตำแหน่งเดียวกัน สามารถลบข้อมูลจุดที่ซ้ำออกได้ และอีกกรณีคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านซ้ำกันแต่อยู่คนละตำแหน่ง จึงทำการนำคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านไปตรวจสอบกับข้อมูลประชากรจากสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง ว่าคาร์รหัสหมายเลขประจำบ้านที่ซ้ำกันอยู่ในขอบเขตของหมู่บ้าน ตำบล และอำเภอใด จึงสามารถลบข้อมูลจุดที่อยู่นอกขอบเขตที่แท้จริงออกได้ โดยข้อมูลตำแหน่งบ้านก่อนปรับแก้มีจำนวน 179,372 จุด และ

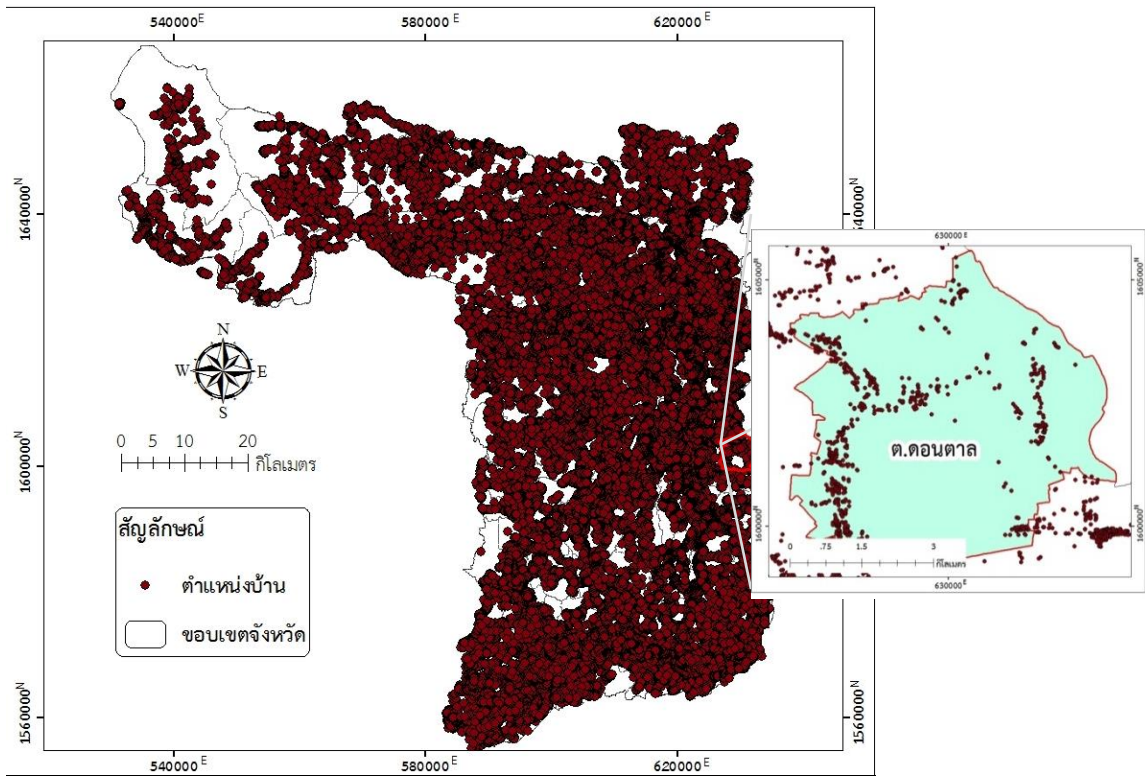
หลังปรับแก้มีจำนวน 167,240 จุด และยังพบว่ามีขอบเขตหมู่บ้าน 23 ขอบเขต จาก 1,009 ขอบเขตที่ไม่มีข้อมูลจุดตำแหน่งบ้าน จึงได้ทำการสร้างจุดตัวแทน (Centroid) ภายในพื้นที่รูปปิดของหมู่บ้านนั้นๆ เพื่อใช้เป็นตัวแทนตำแหน่งบ้าน ข้อมูลตำแหน่งหมู่บ้านแสดงดังรูปที่ 3.2

### 3.1.2 ข้อมูลประชากร

เป็นข้อมูลจากฐานข้อมูลสำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง อยู่ในรูปของข้อมูลตาราง โดยมีข้อมูลเชิงบรรยายที่ระบุหมายเลขรหัสประจำบ้าน บ้านเลขที่ หมู่ที่ ตำบล และอำเภอ ของประชากรในจังหวัดสุพรรณบุรีรายบุคคล การเตรียมข้อมูลจึงต้องมีการรวมหมายเลขรหัสประจำบ้านเดียวกันเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อแสดงจำนวนประชากรในบ้านแต่ละหลัง และพบปัญหาในส่วนข้อมูลประชากรของตำบลเขาดินที่ไม่ครบถ้วน ดังนั้นจึงไม่ขอนำข้อมูลของตำบลเขาดินมาใช้ในการประมวลผล โดยจำนวนประชากรทั้งหมดมี 886,118 คน และจำนวนบ้าน 202,326 หลัง

### 3.1.3 การเชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งบ้านกับข้อมูลประชากร และการปรับแก้ข้อมูลให้ครบถ้วน

การเชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งบ้านกับข้อมูลประชากร จะใช้ค่าหมายเลขรหัสประจำบ้านในการเชื่อมโยง เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงบรรยายของจำนวนคนในบ้านแต่ละหลัง และพบว่าข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถเชื่อมกันได้ เนื่องจากหมายเลขรหัสประจำบ้านไม่สอดคล้องกัน โดยหมายเลขรหัสประจำบ้านที่สามารถเชื่อมโยงได้มีจำนวน 152,725 หลัง จากปัญหาข้อมูลตำแหน่งบ้านที่มีความไม่ครบถ้วน การเชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งบ้านกับข้อมูลประชากรจึงไม่สมบูรณ์ ทำให้จำนวนประชากรรวมไม่เป็นไปตามจริง จึงมีการปรับแก้ข้อมูลจำนวนประชากรให้ครบถ้วนขึ้น โดยนับจำนวนประชากรรวมทั้งหมดในระดับหมู่บ้าน ทั้งจำนวนประชากรที่ได้จากข้อมูลตำแหน่งบ้าน และจำนวนประชากรจริงที่ได้จากสำนักทะเบียนกลาง จากนั้นคำนวณหาร้อยละของจำนวนประชากรที่ขาดหายไปในแต่ละหมู่บ้าน เพื่อกระจายค่าร้อยละของจำนวนประชากรเข้าไปในแต่ละบ้านภายในหมู่บ้านนั้น ๆ ส่วนหมู่บ้านที่มีการสร้างจุดตัวแทน จะใช้จำนวนประชากรรวมของหมู่บ้านเป็นจุดตัวแทนนั้น ๆ หลังจากการปรับแก้แล้ว จะได้จำนวนประชากรรวมของจังหวัดสุพรรณบุรีตามจริง



รูปที่ 3.2 ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้าน

### 3.1.4 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

เป็นข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน มีลักษณะเป็นพื้นที่รูปปิด (Polygon) และข้อมูลเชิงบรรยายที่แสดงค่ารหัสประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับที่ 3 รวม 96 ประเภท แต่เพื่อความสะดวกในการประมวลผล จึงยุบรวมพื้นที่เหลือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน 17 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 3.1

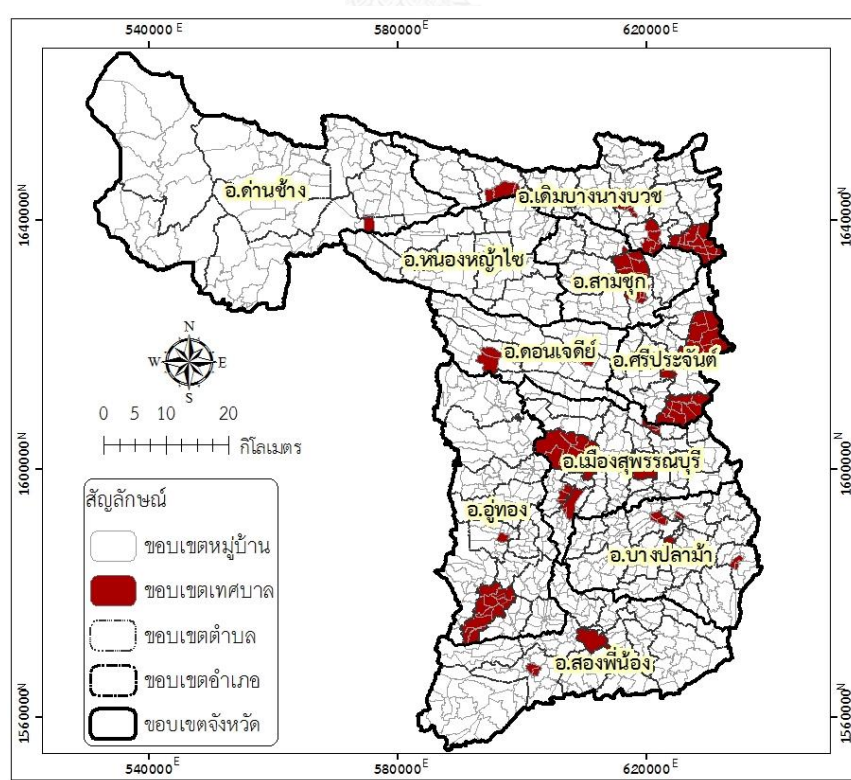
ตารางที่ 3.1 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีที่ใช้ในการวิเคราะห์

รหัส	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
U1	ตัวเมืองและย่านการค้า
U2	หมู่บ้าน
U3	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ
U4	สนามบิน, ถนน
U5	โรงงานอุตสาหกรรม, โรงงานอุตสาหกรรมร้าง, ลานตากและแหล่งรับซื้อ
U6	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ, สถานที่พักผ่อนหย่อนใจร้าง, สุสาน, ป่าช้า, สถานีบริการน้ำมัน

รหัส	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
A1	นาข้าว
A2	พืชไร่
A3	ไม้ยืนต้น
A4	ไม้ผล
A5	พืชสวน
A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์
A8	พืชน้ำ
A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
F	ป่าไม้
M	พื้นที่เปิดเตล็ด
W	พื้นที่แหล่งน้ำ

### 3.1.5 ข้อมูลขอบเขตการปกครอง

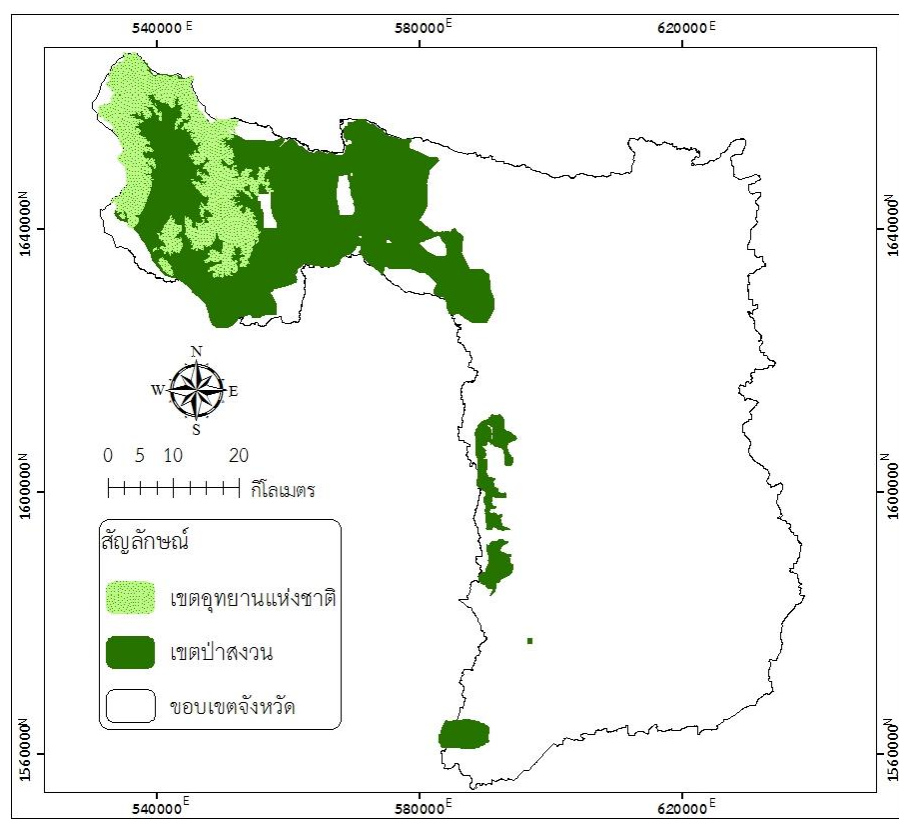
ประกอบด้วยขอบเขตหมู่บ้าน ขอบเขตเทศบาล ขอบเขตตำบล ขอบเขตอำเภอ และขอบเขตจังหวัด ของจังหวัดสุพรรณบุรี ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชั้นข้อมูลขอบเขตการปกครอง

### 3.1.6 ข้อมูลขอบเขตป่า

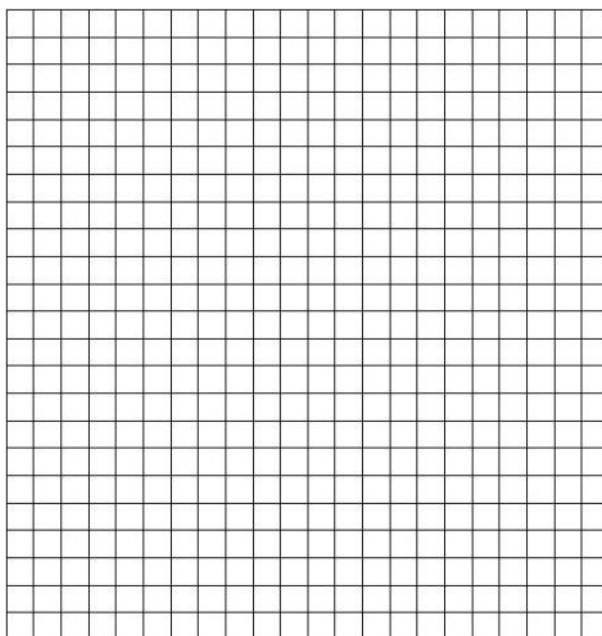
ประกอบด้วย พื้นที่เขตป่าสงวนที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา และเขตอุทยานแห่งชาติใน จังหวัดสุพรรณบุรี มีลักษณะเป็นข้อมูลพื้นที่รูปปิด ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชั้นข้อมูลขอบเขตอุทยานแห่งชาติและป่าสงวน

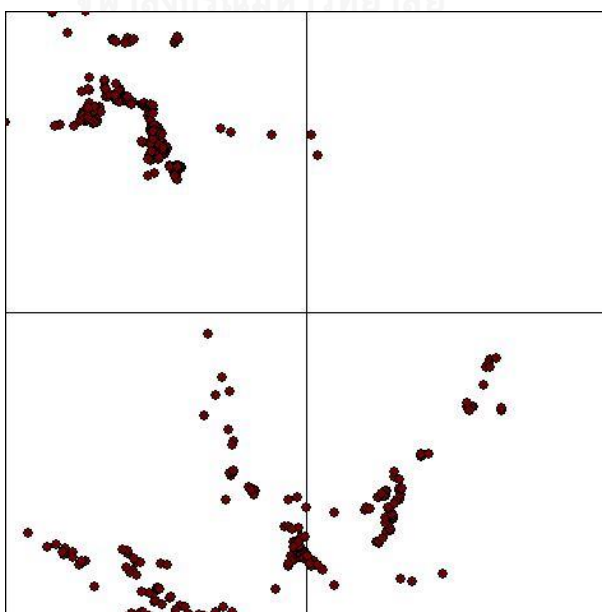
### 3.1.7 การจัดสร้างหน่วยพื้นที่และเชื่อมโยงชั้นข้อมูลแผนที่ต่างๆ เข้าด้วยกันสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

สร้างหน่วยพื้นที่โดยการสร้างพื้นที่รูปปิดเป็นตารางช่องกริดขนาด  $1 \times 1$  ถึง  $10 \times 10$  ตารางกิโลเมตร โดยใช้เครื่องมือ Create Fishnet ของซอฟต์แวร์ ArcGIS สร้างครอบคลุมพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้เชื่อมโยงข้อมูลประชากรและข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 3.5



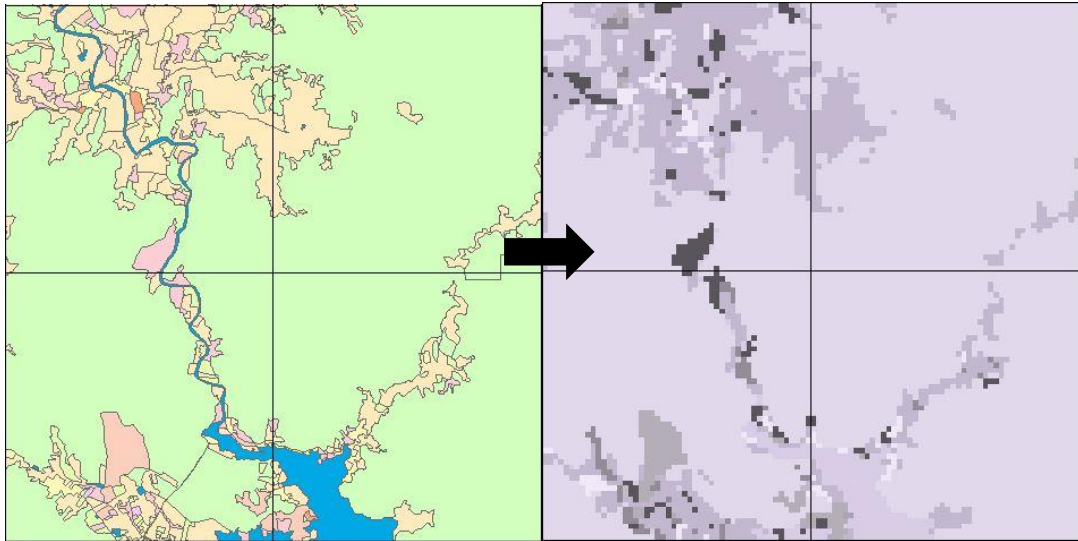
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างช่องกริดขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

และทำการวิเคราะห์การซ้อนทับ (overlay) ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านลงบนชั้นข้อมูลช่องกริด ดังรูปที่ 3.6 และชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้มีการแปลงจากข้อมูลเวกเตอร์เป็นข้อมูลราสเตอร์ ดังรูปที่ 3.7 ลงบนชั้นข้อมูลช่องกริดขนาด 1x1 ถึง 10 x 10 ตารางกิโลเมตร ใช้เป็นหน่วยพื้นที่ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยฟังก์ชันในซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 เพื่อทำการเชื่อมโยงข้อมูลเชิงบรรยายมาที่ช่องกริด ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9

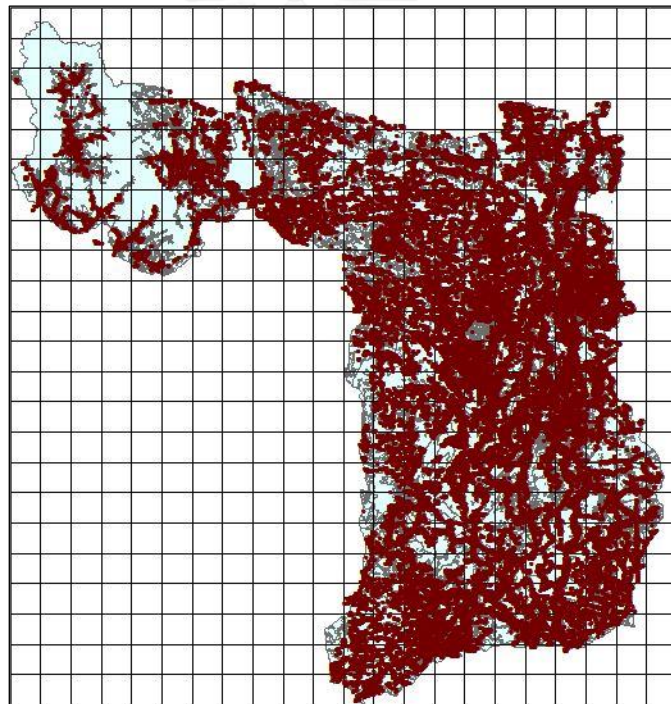


รูปที่ 3.6 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านลงบนชั้นข้อมูลตารางช่องกริด

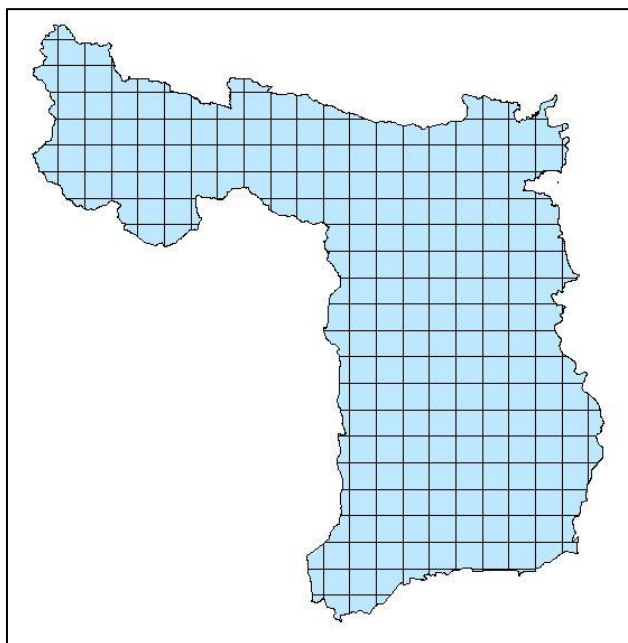




รูปที่ 3.7 แสดงการซ้อนทับชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินลงบนชั้นข้อมูลตารางช่องกริด



รูปที่ 3.8 ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านและชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ก่อนการซ้อนทับลงบนชั้นข้อมูลตารางช่องกริดขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 3.9 ชั้นข้อมูลตำแหน่งบ้านและชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน หลังการซ้อนทับ  
ลงบนชั้นข้อมูลตารางช่องกริดขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

### 3.1.8 การวิเคราะห์ค่าข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอยในแต่ละช่องกริด

ค่าข้อมูลที่ได้จากการคำนวณเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่ (คนต่อตารางกิโลเมตร) และค่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท เป็นค่าข้อมูลเชิงบรรยายของแต่ละช่องกริด และใช้ค่าความหนาแน่นของประชากรต่อหน่วยพื้นที่เป็นตัวแปรตาม ส่วนค่าสัดส่วนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน 17 ประเภทที่ผ่านการคัดเลือกแล้วเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์

### 3.2 การสร้างรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองของแต่ละหน่วยพื้นที่

จากงานวิจัยของพิชญา นิมิตรกุล (2556) ที่ได้มีการวิเคราะห์ระดับความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจำนวนประชากรกับการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท โดยผ่านการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Global Moran's I) และได้มีการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญสูงสุดในการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ ในแต่ละหน่วยพื้นที่ 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงขอใช้ตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้ทำการคัดเลือกแล้วเป็นตัวแปรตั้งต้นในการสร้างรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง เนื่องจากตัวแปรได้ผ่านการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญมาแล้วจึงถือว่ามีความเหมาะสม ซึ่งตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกของ

ทุกหน่วยพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในแต่ละหน่วยพื้นที่ 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยพื้นที่

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	ตัวแปรของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	จำนวนตัวแปร
1 x 1	U2, A9, A4, A5, U3, A7, U5, F, U1, U4	10
2 x 2	U2, A9, A4, A5, U3, U5, A8, U6, U1, U4	10
3 x 3	U2, A9, A4, A5, A1, U3, A7, U1, U4	9
4 x 4	U2, A9, A4, A5, U3, A7, U5, U1, U4	9
5 x 5	U2, A9, A4, U3, W, A7, A3, U6, U1, U4	10
6 x 6	U2, A9, A4, A8, U6, U1	6
7 x 7	U2, A9, A1, U6, U1, U4	6
8 x 8	U2, A9, A4, A5, A1, U3, M, A8, U1, U4	10
9 x 9	U2, A9, A5, U6, U1	5
10 x10	U2, A1, F, A2, U6, U1	6



ตารางที่ 3.3 รูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยพื้นที่

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	รูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	จำนวนพจน์ของสมการ*
1 x 1	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + A_5 + U_3 + A_7 + U_5 + F + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4A_5 + a_5U_3 + a_6A_7 + a_7U_5 + a_8F + a_9U_1 + a_{10}U_4 + a_{11}U_2^2 + a_{12}A_9^2 + a_{13}A_4^2 + a_{14}A_5^2 + a_{15}U_3^2 + a_{16}A_7^2 + a_{17}U_5^2 + a_{18}F^2 + a_{19}U_1^2 + a_{20}U_4^2 + a_{21}U_2A_9 + a_{22}U_2A_4 + a_{23}U_2A_5 + a_{24}U_2U_3 + a_{25}U_2A_7 + a_{26}U_2U_5 + a_{27}U_2F + a_{28}U_2U_1 + a_{29}U_2U_4 + a_{30}A_9A_4 + a_{31}A_9A_5 + a_{32}A_9U_3 + a_{33}A_9A_7 + a_{34}A_9U_5 + a_{35}A_9F + a_{36}A_9U_1 + a_{37}A_9U_4 + a_{38}A_4A_5 + a_{39}A_4U_3 + a_{40}A_4A_7 + a_{41}A_4U_5 + a_{42}A_4F + a_{43}A_4U_1 + a_{44}A_4U_4 + a_{45}A_5U_3 + a_{46}A_5A_7 + a_{47}A_5U_5 + a_{48}A_5F + a_{49}A_5U_1 + a_{50}A_5U_4 + a_{51}U_3A_7 + a_{52}U_3U_5 + a_{53}U_3F + a_{54}U_3U_1 + a_{55}U_3U_4 + a_{56}A_7U_5 + a_{57}A_7F + a_{58}A_7U_1 + a_{59}A_7U_4 + a_{60}U_5F + a_{61}U_5U_1 + a_{62}U_5U_4 + a_{63}FU_1 + a_{64}FU_4 + a_{65}U_1U_4$	66
2 x 2	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + A_5 + U_3 + U_5 + A_8 + U_6 + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4A_5 + a_5U_3 + a_6U_5 + a_7A_8 + a_8U_6 + a_9U_1 + a_{10}U_4 + a_{11}U_2^2 + a_{12}A_9^2 + a_{13}A_4^2 + a_{14}A_5^2 + a_{15}U_3^2 + a_{16}U_5^2 + a_{17}A_8^2 + a_{18}U_6^2 + a_{19}U_1^2 + a_{20}U_4^2 + a_{21}U_2A_9 + a_{22}U_2A_4 + a_{23}U_2A_5 + a_{24}U_2U_3 + a_{25}U_2U_5 + a_{26}U_2A_8 + a_{27}U_2U_6 + a_{28}U_2U_1 + a_{29}U_2U_4 + a_{30}A_9A_4 + a_{31}A_9A_5 + a_{32}A_9U_3 + a_{33}A_9U_5 + a_{34}A_9A_8 + a_{35}A_9U_6 + a_{36}A_9U_1 + a_{37}A_9U_4 + a_{38}A_4A_5 + a_{39}A_4U_3 + a_{40}A_4U_5 + a_{41}A_4A_8 + a_{42}A_4U_6 + a_{43}A_4U_1 + a_{44}A_4U_4 + a_{45}A_5U_3 + a_{46}A_5U_5 + a_{47}A_5A_8 + a_{48}A_5U_6 + a_{49}A_5U_1 + a_{50}A_5U_4 + a_{51}U_3U_5 + a_{52}U_3A_8 +$	66

หน่วย พื้นที่ (ตร.กม.)	รูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	จำนวน พจน์ ของ สมการ*
	$a_{53}U_3U_6 + a_{54}U_3U_1 + a_{55}U_3U_4 + a_{56}U_5A_8 + a_{57}U_5U_6 + a_{58}U_5U_1 + a_{59}U_5U_4 + a_{60}A_8U_6 + a_{61}A_8U_1 + a_{62}A_8U_4 + a_{63}U_6U_1 + a_{64}U_6U_4 + a_{65}U_1U_4$	
3 x 3	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + A_5 + A_1 + U_3 + A_7 + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4A_5 + a_5A_1 + a_6U_3 + a_7A_7 + a_8U_1 + a_9U_4 + a_{10}U_2^2 + a_{11}A_9^2 + a_{12}A_4^2 + a_{13}A_5^2 + a_{14}A_1^2 + a_{15}U_3^2 + a_{16}A_7^2 + a_{17}U_1^2 + a_{18}U_4^2 + a_{19}U_2A_9 + a_{20}U_2A_4 + a_{21}U_2A_5 + a_{22}U_2A_1 + a_{23}U_2U_3 + a_{24}U_2A_7 + a_{25}U_2U_1 + a_{26}U_2U_4 + a_{27}A_9A_4 + a_{28}A_9A_5 + a_{29}A_9A_1 + a_{30}A_9U_3 + a_{31}A_9A_7 + a_{32}A_9U_1 + a_{33}A_9U_4 + a_{34}A_4A_5 + a_{35}A_4A_1 + a_{36}A_4U_3 + a_{37}A_4A_7 + a_{38}A_4U_1 + a_{39}A_4U_4 + a_{40}A_5A_1 + a_{41}A_5U_3 + a_{42}A_5A_7 + a_{43}A_5U_1 + a_{44}A_5U_4 + a_{45}A_1U_3 + a_{46}A_1A_7 + a_{47}A_1U_1 + a_{48}A_1U_4 + a_{49}U_3A_7 + a_{50}U_3U_1 + a_{51}U_3U_4 + a_{52}A_7U_1 + a_{53}A_7U_4 + a_{54}U_1U_4$	55
4 x 4	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + A_5 + U_3 + A_7 + U_5 + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4A_5 + a_5U_3 + a_6A_7 + a_7U_5 + a_8U_1 + a_9U_4 + a_{10}U_2^2 + a_{11}A_9^2 + a_{12}A_4^2 + a_{13}A_5^2 + a_{14}U_3^2 + a_{15}A_7^2 + a_{16}U_5^2 + a_{17}U_1^2 + a_{18}U_4^2 + a_{19}U_2A_9 + a_{20}U_2A_4 + a_{21}U_2A_5 + a_{22}U_2U_3 + a_{23}U_2A_7 + a_{24}U_2U_5 + a_{25}U_2U_1 + a_{26}U_2U_4 + a_{27}A_9A_4 + a_{28}A_9A_5 + a_{29}A_9U_3 + a_{30}A_9A_7 + a_{31}A_9U_5 + a_{32}A_9U_1 + a_{33}A_9U_4 + a_{34}A_4A_5 + a_{35}A_4U_3 + a_{36}A_4A_7 + a_{37}A_4U_5 + a_{38}A_4U_1 + a_{39}A_4U_4 + a_{40}A_5U_3 + a_{41}A_5A_7 + a_{42}A_5U_5 + a_{43}A_5U_1 + a_{44}A_5U_4 + a_{45}U_3A_7 + a_{46}U_3U_5 + a_{47}U_3U_1 + a_{48}U_3U_4 + a_{49}A_7U_5 + a_{50}A_7U_1 + a_{51}A_7U_4 + a_{52}U_5U_1 + a_{53}U_5U_4 + a_{54}U_1U_4$	55

หน่วย พื้นที่ (ตร.กม.)	รูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	จำนวน พจน์ ของ สมการ*
5 x 5	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + U_3 + W + A_7 + A_3 + U_6 + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4U_3 + a_5W + a_6A_7 + a_7A_3 + a_8U_6 + a_9U_1 + a_{10}U_4 + a_{11}U_2^2 + a_{12}A_9^2 + a_{13}A_4^2 + a_{14}U_3^2 + a_{15}W^2 + a_{16}A_7^2 + a_{17}A_3^2 + a_{18}U_6^2 + a_{19}U_1^2 + a_{20}U_4^2 + a_{21}U_2A_9 + a_{22}U_2A_4 + a_{23}U_2U_3 + a_{24}U_2W + a_{25}U_2A_7 + a_{26}U_2A_3 + a_{27}U_2U_6 + a_{28}U_2U_1 + a_{29}U_2U_4 + a_{30}A_9A_4 + a_{31}A_9U_3 + a_{32}A_9W + a_{33}A_9A_7 + a_{34}A_9A_3 + a_{35}A_9U_6 + a_{36}A_9U_1 + a_{37}A_9U_4 + a_{38}A_4U_3 + a_{39}A_4W + a_{40}A_4A_7 + a_{41}A_4A_3 + a_{42}A_4U_6 + a_{43}A_4U_1 + a_{44}A_4U_4 + a_{45}U_3W + a_{46}U_3A_7 + a_{47}U_3A_3 + a_{48}U_3U_6 + a_{49}U_3U_1 + a_{50}U_3U_4 + a_{51}WA_7 + a_{52}WA_3 + a_{53}WU_6 + a_{54}WU_1 + a_{55}WU_4 + a_{56}A_7A_3 + a_{57}A_7U_6 + a_{58}A_7U_1 + a_{59}A_7U_4 + a_{60}A_3U_6 + a_{61}A_3U_1 + a_{62}A_3U_4 + a_{63}U_6U_1 + a_{64}U_6U_4 + a_{65}U_1U_4$	66
6 x 6	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + A_8 + U_6 + U_1)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4A_8 + a_5U_6 + a_6U_1 + a_7U_2^2 + a_8A_9^2 + a_9A_4^2 + a_{10}A_8^2 + a_{11}U_6^2 + a_{12}U_1^2 + a_{13}U_2A_9 + a_{14}U_2A_4 + a_{15}U_2A_8 + a_{16}U_2U_6 + a_{17}U_2U_1 + a_{18}A_9A_4 + a_{19}A_9A_8 + a_{20}A_9U_6 + a_{21}A_9U_1 + a_{22}A_4A_8 + a_{23}A_4U_6 + a_{24}A_4U_1 + a_{25}A_8U_6 + a_{26}A_8U_1 + a_{27}U_6U_1$	28
7 x 7	$Y = (U_2 + A_9 + A_1 + U_6 + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_1 + a_4U_6 + a_5U_1 + a_6U_4 + a_7U_2^2 + a_8A_9^2 + a_9A_1^2 + a_{10}U_6^2 + a_{11}U_1^2 + a_{12}U_4^2 + a_{13}U_2A_9 + a_{14}U_2A_1 + a_{15}U_2U_6 + a_{16}U_2U_1 + a_{17}U_2U_4 + a_{18}A_9A_1 + a_{19}A_9U_6 + a_{20}A_9U_1 + a_{21}A_9U_4 + a_{22}A_1U_6 + a_{23}A_1U_1 + a_{24}A_1U_4 + a_{25}U_6U_1 + a_{26}U_6U_4 + a_{27}U_1U_4$	28

หน่วย พื้นที่ (ตร.กม.)	รูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	จำนวน พจน์ ของ สมการ*
8 x 8	$Y = (U_2 + A_9 + A_4 + A_5 + A_1 + U_3 + M + A_8 + U_1 + U_4)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_4 + a_4A_5 + a_5A_1 + a_6U_3 + a_7M + a_8A_8 + a_9U_1 + a_{10}U_4 + a_{11}U_2^2 + a_{12}A_9^2 + a_{13}A_4^2 + a_{14}A_5^2 + a_{15}A_1^2 + a_{16}U_3^2 + a_{17}M^2 + a_{18}A_8^2 + a_{19}U_1^2 + a_{20}U_4^2 + a_{21}U_2A_9 + a_{22}U_2A_4 + a_{23}U_2A_5 + a_{24}U_2A_1 + a_{25}U_2U_3 + a_{26}U_2M + a_{27}U_2A_8 + a_{28}U_2U_1 + a_{29}U_2U_4 + a_{30}A_9A_4 + a_{31}A_9A_5 + a_{32}A_9A_1 + a_{33}A_9U_3 + a_{34}A_9M + a_{35}A_9A_8 + a_{36}A_9U_1 + a_{37}A_9U_4 + a_{38}A_4A_5 + a_{39}A_4A_1 + a_{40}A_4U_3 + a_{41}A_4M + a_{42}A_4A_8 + a_{43}A_4U_1 + a_{44}A_4U_4 + a_{45}A_5A_1 + a_{46}A_5U_3 + a_{47}A_5M + a_{48}A_5A_8 + a_{49}A_5U_1 + a_{50}A_5U_4 + a_{51}A_1U_3 + a_{52}A_1M + a_{53}A_1A_8 + a_{54}A_1U_1 + a_{55}A_1U_4 + a_{56}U_3M + a_{57}U_3A_8 + a_{58}U_3U_1 + a_{59}U_3U_4 + a_{60}MA_8 + a_{61}MU_1 + a_{62}MU_4 + a_{63}A_8U_1 + a_{64}A_8U_4 + a_{65}U_1U_4$	66
9 x 9	$Y = (U_2 + A_9 + A_5 + U_6 + U_1)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_9 + a_3A_5 + a_3U_6 + a_4U_1 + a_5U_2^2 + a_6A_9^2 + a_7A_5^2 + a_8U_6^2 + a_9U_1^2 + a_{10}U_2A_9 + a_{11}U_2A_5 + a_{12}U_2U_6 + a_{13}U_2U_1 + a_{14}A_9A_5 + a_{15}A_9U_6 + a_{16}A_9U_1 + a_{17}A_5U_6 + a_{18}A_5U_1 + a_{19}U_6U_1$	20
10 x 10	$Y = (U_2 + A_1 + F + A_2 + U_6 + U_1)^2$ $Y = a_0 + a_1U_2 + a_2A_1 + a_3F + a_4A_2 + a_5U_6 + a_6U_1 + a_7U_2^2 + a_8A_1^2 + a_9F^2 + a_{10}A_2^2 + a_{11}U_6^2 + a_{12}U_1^2 + a_{13}U_2A_1 + a_{14}U_2F + a_{15}U_2A_2 + a_{16}U_2U_6 + a_{17}U_2U_1 + a_{18}A_1F + a_{19}A_1A_2 + a_{20}A_1U_6 + a_{21}A_1U_1 + a_{22}FA_2 + a_{23}FU_6 + a_{24}FU_1 + a_{25}A_2U_6 + a_{26}A_2U_1 + a_{27}U_6U_1$	28

\* จำนวนพจน์ของสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งรวมค่าคงที่ในสมการแล้ว

$a_{0...n}$  คือ สัมประสิทธิ์ลำดับที่  $n$

### 3.3 การสร้างและวิเคราะห์ค่าข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) ในรูปแบบของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง

จัดสร้างข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) ให้อยู่ในรูปแบบของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง ดังตารางที่ 3.3 และวิเคราะห์ค่าจำนวนค่าโดยใช้ฟังก์ชัน Field Calculator ของซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 ในหน่วยพื้นที่ 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร เพื่อให้พร้อมกับการวิเคราะห์ต่อไป ตัวอย่างตารางข้อมูลเชิงบรรยายที่ได้จัดสร้างแสดงดังรูปที่ 3.10 (A3\_2 แทน  $A_3^2$  และ U2A9 แทน  $U_2 \times A_9$ )

	A3_2	U6_2	U1_2	U4_2	U2A9	U2A4	U2U3
▶	0	0	0	0	.080000	1.92	.320000
	.001600	0	0	0	.460800	.768000	.384000
	0	0	0	0	0	1.3248	.345600
	.040000	0	0	0	1.9888	4.1584	.180800
	0	0	0	.129600	16.592	14.152	35.136
	.1024	0	0	.0144	81.7152	32.1024	9.4848
	0	0	0	0	85.5456	5.4672	3.216
	.006400	0	0	0	1.5552	1.152	.633600

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างตารางข้อมูลเชิงบรรยายที่ได้จัดสร้าง

### 3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1

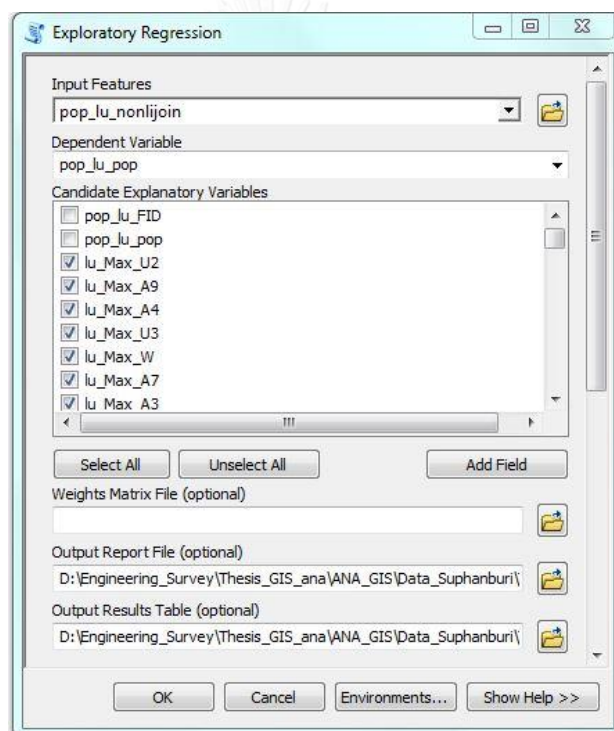
เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อดูระดับความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสอง โดยการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Global Moran's I) ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องมือ Exploratory Regression จากซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

เครื่องมือ Exploratory Regression เป็นวิธีการวิเคราะห์ถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear regression) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการสร้างข้อมูลเชิงบรรยายให้อยู่ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3 โดยเป็นการใช้เครื่องมือ Ordinary Least Square (OLS) และ Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) ในการคัดเลือกตัวแปร โดยใช้การรวมกันที่

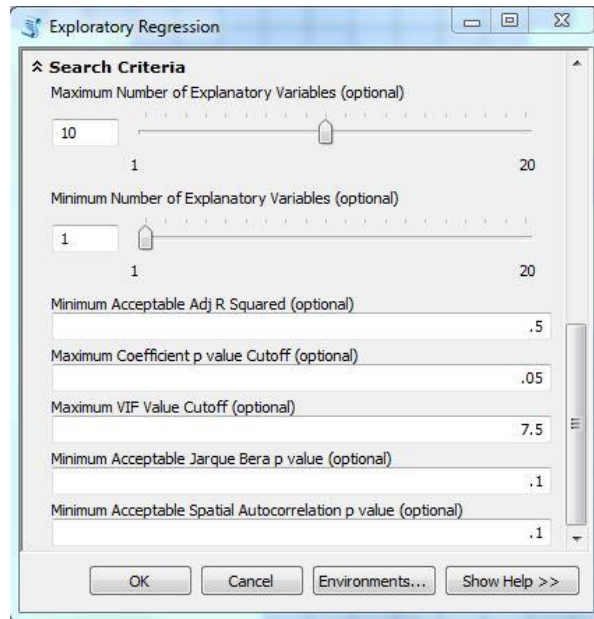


เป็นไปได้ของตัวแปรทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้เป็นกลุ่มตัวแปรที่มีนัยสำคัญจำนวน 3 กลุ่ม และอยู่ในรูปแบบของข้อมูลที่เป็นข้อความ (Text Document: .txt)

ขั้นตอนการประมวลผล ต้องใส่ค่าตัวแปรตามที่เป็นค่าความหนาแน่นประชากรและตัวแปรอิสระคือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองทั้งหมดที่สนใจ โดยเครื่องมือนี้สามารถเลือกประเภทตัวแปรอิสระได้ตามความต้องการเพื่อนำมาวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.11 และมีเกณฑ์ในการกำหนดค่าสถิติต่าง ๆ สำหรับแบบจำลอง พร้อมทั้งสามารถกำหนดจำนวนตัวแปรอิสระที่มากที่สุดและต่ำสุดได้ซึ่งเป็นจำนวนตัวแปรผลลัพธ์ที่ต้องการระหว่าง 1 ถึง 10 ตัวแปร (การเลือกจำนวนตัวแปรนั้น ขึ้นอยู่กับศักยภาพของเครื่องที่ใช้ในการประมวลผลอีกด้วย) ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงการเลือกตัวแปรในเครื่องมือ Exploratory Regression



รูปที่ 3.12 แสดงการกำหนดค่าทางสถิติต่าง ๆ ในเครื่องมือ Exploratory Regression

หลังจากเครื่องมือประมวลผลสำเร็จจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นการจัดกลุ่มของตัวแปรที่ให้ค่า Adjusted  $R^2$  สูงสุด 3 กลุ่ม พร้อมทั้งแสดงค่าทางสถิติต่างๆ ของกลุ่มตัวแปรที่ทำให้แบบจำลองผ่านเกณฑ์การพิจารณา ดังตัวอย่างผลลัพธ์ในรูปที่ 3.13

```

Choose 4 of 65 Summary
      Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2  AICc  JB K(BP)  VIF  SA  Model
0.91 1727.70 0.00 0.00 3.16 0.00 +LU_MAX_U2*** +A9U1*** +U3A7*** +U3U4***
0.91 1729.04 0.00 0.00 3.26 0.00 +LU_MAX_U2*** +U2U1*** +U3A7*** +U3U4***
0.91 1731.76 0.00 0.00 2.86 0.00 +LU_MAX_U2*** +U3A7*** +U3U1*** +U3U4***

      Passing Models
AdjR2  AICc  JB K(BP)  VIF  SA  Model
*****

Choose 5 of 65 Summary
      Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2  AICc  JB K(BP)  VIF  SA  Model
0.92 1719.08 0.00 0.00 3.17 0.00 +LU_MAX_U2*** +U6_2*** +A9U1*** +U3A7*** +U3U4***
0.92 1719.85 0.00 0.00 2.27 0.00 +LU_MAX_U2*** +U6_2*** +A9U1*** +A4U4*** +U3A7***
0.92 1720.42 0.03 0.00 4.64 0.00 +LU_MAX_U2*** +LU_MAX_U4*** +A9U1*** +U3A7*** -WU4**
  
```

รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกจากเครื่องมือ Exploratory Regression ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

เครื่องมือ Exploratory Regression มีการสรุปค่าตัวชี้วัดที่สำคัญทางสถิติที่นำมาใช้ในการพิจารณาคัดเลือกตัวแปรเพื่อจัดสร้างแบบจำลองในครั้งนี้ ได้แก่ Summary of Variable Significance และ Summary of Multicollinearity ดังนี้

Summary of Variable Significance แสดงร้อยละของความมีนัยสำคัญของตัวแปรอิสระที่นำเข้ามาประมวลผลทั้งหมดในแต่ละหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ พร้อมทั้งแสดงเครื่องหมายความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงบวกและเชิงลบ ซึ่งค่ารายงานทางสถิตินี้จะนำมาใช้ในการคัดเลือกตัวแปร ดังรูปที่ 3.14

Summary of Variable Significance			
Variable	% Significant	% Negative	% Positive
LU_MAX_U2	99.74	0.00	100.00
U2A4	97.97	0.27	99.73
U2U3	97.90	0.05	99.95
LU_MAX_A3	96.93	99.64	0.36
U3U4	94.88	0.90	99.10
A4U3	94.08	1.46	98.54
U2_2	93.50	2.60	97.40
LU_MAX_U3	91.74	5.25	94.75
U2A9	91.11	0.91	99.09
LU_MAX_U4	89.87	1.21	98.79
A3_2	89.85	93.02	6.98

รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ Summary of Variable Significance ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

Summary of Multicollinearity แสดงค่า Variance Inflation Factor (VIF) ซึ่งใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมดที่นำเข้ามาประมวลผล โดยตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันเองจะมีค่า VIF มากกว่า 7.50 (หรือแล้วแต่กำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมในงานวิจัยนั้น ๆ) พร้อมทั้งแสดงตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 3.15

Summary of Multicollinearity*			
Variable	VIF	Violations	Covariates
LU_MAX_U2	14.29	41728	U2_2 (100.00), U2U1 (0.99), U3U1 (0.99), LU_MAX_U1 (0.99)
LU_MAX_A9	20.41	12975	A9_2 (7.27), LU_MAX_A7 (0.16), U2U1 (0.12), U3U1 (0.12)
LU_MAX_A4	14.84	13336	A4_2 (31.40), U2U1 (0.99), U3U1 (0.99), LU_MAX_U1 (0.99)
LU_MAX_U3	14.10	16530	U3_2 (28.23), U3U1 (0.78), A9U1 (0.75), U2U1 (0.72), U2A7 (0.00)
LU_MAX_W	76.11	41968	W_2 (100.00), U2U1 (0.99), U3U1 (0.99), LU_MAX_U1 (0.99)
U2A7	11.61	17	LU_MAX_A7 (0.00)
U2A3	5.65	0	-----
U2U6	41.79	53158	U3U6 (100.00), LU_MAX_U6 (9.16), U6_2 (2.11), U3U1 (1.10), U2U1 (1.10)
U2U1	997.05	250802	U3U1 (98.94), A7U1 (98.47), U1_2 (98.42), U1U4 (98.33), A4U1 (98.33)
U2U4	41.94	88213	LU_MAX_U4 (100.00), U4_2 (99.99), A4U4 (8.18), U3U4 (7.00)
A9A4	3.61	0	-----
A9U3	5.83	0	-----

รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ Summary of Multicollinearity ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

หลังจากวิเคราะห์ผลและได้กลุ่มตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองแล้ว จะนำกลุ่มตัวแปรเหล่านี้ ไปทำการสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์และประเมินค่าคลาดเคลื่อนต่อไป

### 3.5 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1

จากการวิเคราะห์ประมวลผลในหัวข้อ 3.4 ทำให้ได้ตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกคัดเลือกมา โดยจะนำมาวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสอง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ (Multiple liner regression analysis) ดังสมการที่ 3.1

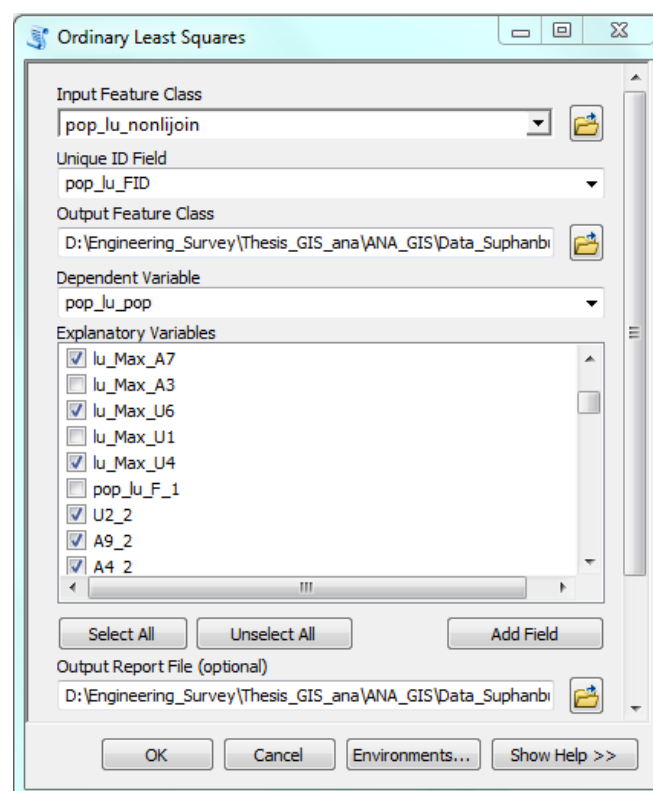
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (3.1)$$

โดยที่  $y$  คือ ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ชองกริต (คน/ตร.กม.)  
 $x_1, x_2, \dots$  คือ ร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่ผ่านการคัดเลือก  
 $\beta_{1, \dots, n}$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย  
 $\beta_0$  คือ ค่าคงที่

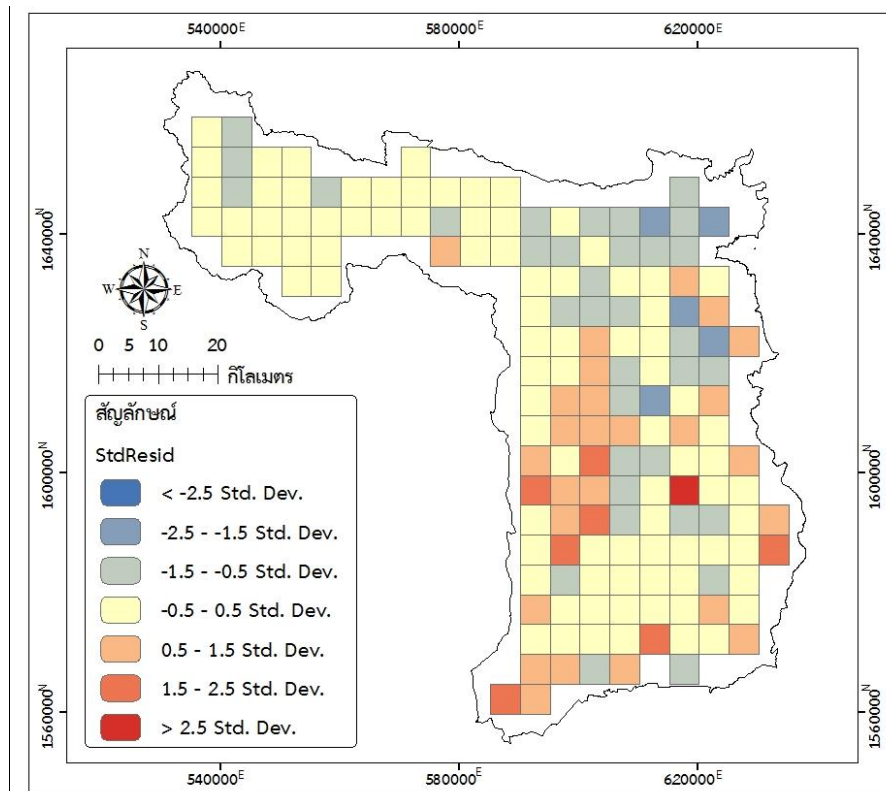
ขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องมือ Ordinary Least Squares (OLS) จากซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 ซึ่ง จะทำการนำเข้าข้อมูล (Feature) ที่ได้ทำการวิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูลของตัวแปรตามคือค่าความ

หนาแน่นประชากรและตัวแปรอิสระคือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการถดถอยที่เหมาะสมกับแบบจำลอง ได้จากตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ได้ผ่านการคัดเลือกแล้วในหัวข้อข้างต้น

ในการประมวลผลด้วยเครื่องมือ Ordinary Least Squares (OLS) เริ่มด้วยการเลือกตัวแปรตามและตัวแปรอิสระที่ต้องการใช้ในการจัดทำแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 3.16 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปชั้นข้อมูล (feature) ของค่าคลาดเคลื่อน ดังรูปที่ 3.17 และรายงานผลลัพธ์ค่าทางสถิติต่าง ๆ ของสมการถดถอย ตัวอย่างดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 แสดงการเลือกตัวแปรในเครื่องมือ Ordinary Least Squares



รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ค่าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ Ordinary Least Squares ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

Summary of OLS Results - Model Variables								
Variable	Coefficient [a]	StdError	t-Statistic	Probability [b]	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr [b]	VIF [c]
Intercept	-23434.29379	3672.281570	-6.381399	0.000000*	4430.373649	-5.289462	0.000001*	-----
LU_MAX_U2	5684.316092	1278.673597	4.445479	0.000023*	1028.427319	5.527193	0.000000*	34.248590
LU_MAX_A9	-1718.760390	1215.408712	-1.414142	0.160126	1277.742370	-1.345154	0.181323	28.584797
LU_MAX_A4	-1477.499624	1706.567268	-0.865773	0.388474	1237.398412	-1.194037	0.235009	32.947898
LU_MAX_U3	3639.353970	7747.158980	0.469766	0.639451	5222.300631	0.696887	0.487327	29.455709
LU_MAX_A7	247.673880	3150.071638	0.078625	0.937465	2261.291353	0.109528	0.912975	20.114425
LU_MAX_U6	-48973.74227	70591.209106	-0.693765	0.489275	85867.667092	-0.570340	0.569603	226.864167
LU_MAX_U4	5319.132408	42525.122760	0.125082	0.900678	25703.861953	0.206939	0.836436	62.964772
U2_2	-234.338944	80.047587	-2.927495	0.004148*	54.479432	-4.301420	0.000040*	58.645761
A9_2	82.241743	37.213274	2.210011	0.029150*	42.031638	1.956663	0.052898	14.260329
A4_2	73.491467	108.093694	0.679887	0.497989	66.390354	1.106960	0.270701	42.365634

รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ค่าสถิติต่าง ๆ จากเครื่องมือ Ordinary Least Squares ของหน่วยพื้นที่ขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการประมวลผลโดยเครื่องมือ Ordinary Least Squares (OLS) สามารถนำมาจัดสร้างแบบจำลองได้ เนื่องจากตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวแปรที่ผ่านการ

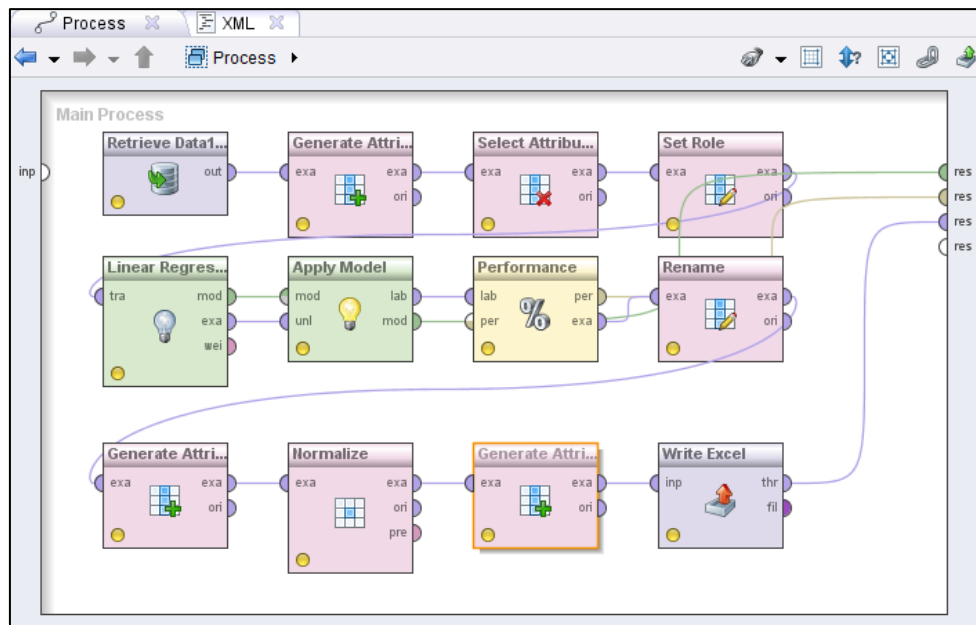
คัดเลือกจาก Exploratory Regression แล้ว ค่าสถิติต่างๆ ที่ได้ถือว่าผ่านการประเมินว่ามีนัยสำคัญทางสถิติและถือว่ามีเหมาะสมในการจัดสร้างแบบจำลองฯ

### 3.6 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ RapidMiner เหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และจำนวนมาก เพื่อค้นหารูปแบบ หรือความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความหนาแน่นประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองนั้นมีตัวแปรอิสระและข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ ซอฟต์แวร์ RapidMiner ในการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร อีกวิธีหนึ่งเพื่อช่วยในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเครื่องมือของซอฟต์แวร์ ArcGIS และช่วยสนับสนุนผลการวิเคราะห์ให้แม่นยำมากขึ้น

RapidMiner สามารถนำฟังก์ชันการทำงาน (Operators) ต่างๆ มาสร้าง workflow ประกอบกันให้เป็นโพรเซสขึ้นมา ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลอยู่ในรูปแบบของข้อมูลที่เป็นตาราง Excel และรายการค่าทางสถิติต่าง ๆ

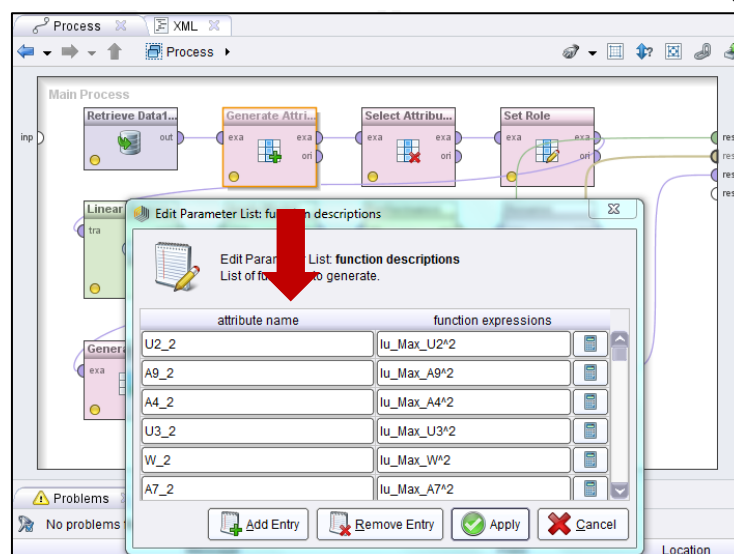
ก่อนเข้าขั้นตอนการประมวลผลควรเตรียมข้อมูลให้พร้อม ซึ่งในงานวิจัยนี้นำเข้าข้อมูลในรูปแบบตาราง Excel (.xlsx) เป็นข้อมูลเชิงบรรยายของชั้นข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูลของตัวแปรตามคือค่าความหนาแน่นประชากรและตัวแปรอิสระคือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 3.2 หลังจากนำเข้าข้อมูล ขั้นตอนในการประมวลผลจะนำโอเปอเรเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาเชื่อมกันเป็นโพรเซส ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงรูปแบบกระบวนการทำงาน (Process) ของ RapidMiner  
บนหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร

รายละเอียดของโอเปอเรเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบกันเป็นกระบวนการ Workflow โดยจะกล่าวในส่วนโอเปอเรเตอร์หลัก ๆ ดังนี้

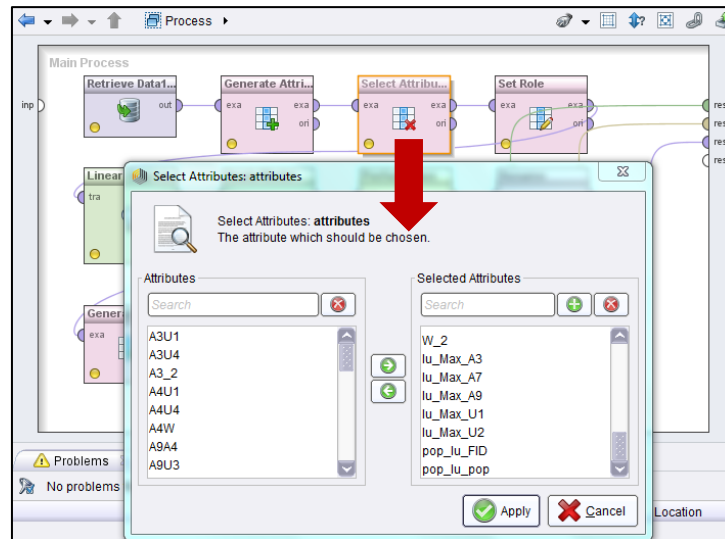
- 1) การสร้างข้อมูลและคำนวณค่าตัวแปรอิสระให้อยู่ในรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณเมื่อยกกำลังสอง ดังตารางที่ 3.3 โดยใช้โอเปอเรเตอร์ Generate Attributes และในส่วนการตั้งค่าของ พารามิเตอร์ จะจัดสร้างตามจำนวนพจน์ของสมการ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงการสร้างข้อมูลตัวแปร ด้วยโอเปอเรเตอร์ Generate Attribute



- 2) การเลือกตัวแปรอิสระเพื่อจัดสร้างแบบจำลอง ด้วยโอเปอเรเตอร์ Select Attributes โดยเข้าไปในส่วนตั้งค่าพารามิเตอร์ และเลือกตัวแปรอิสระทั้งหมดที่สนใจ รวมถึงตัวแปรตามที่เป็นค่าความหนาแน่นประชากร และ ID ของช่องกริด ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงการเลือกตัวแปรเพื่อสร้างแบบจำลอง ด้วยโอเปอเรเตอร์ Select Attributes

- 3) การตั้งค่าบทบาทของแอตทริบิวต์ (role of attribute) ด้วยโอเปอเรเตอร์ Set Role ตั้งค่าแอตทริบิวต์เป้าหมายเป็นค่าความหนาแน่นประชากร (ตัวแปรตาม) และตั้งค่าบทบาทแอตทริบิวต์เพิ่มเติมของค่า ID ช่องกริด เพื่อกำหนดบทบาทการทำงานร่วมกัน
- 4) การเลือกรูปแบบและตั้งค่าสมการถดถอยด้วยโอเปอเรเตอร์ Linear Regression เนื่องจากข้อมูลได้มีการจัดสร้างแอตทริบิวต์ให้อยู่ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองแล้วเพื่อการสะดวกในการประมวลผล (สมการไม่เชิงเส้นสามารถแปลงรูปแบบให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ รายละเอียดนำเสนอในบทที่ 2) และการตั้งค่าพารามิเตอร์ในส่วนระดับความมีนัยสำคัญสามารถกำหนด % ของค่าความเชื่อมั่นได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดค่าแอลฟาที่ 0.05
- 5) การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง ด้วยโอเปอเรเตอร์ Performance (Regression) ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ สามารถเลือกค่าทางสถิติต่าง ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ตามความเหมาะสม ซึ่งงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าหลัก ได้แก่ squared correlation, correlation, root mean squared error, relative error และ absolute error

- 6) การสร้างข้อมูลตาราง Excel ด้วยโอเพอเรเตอร์ Write Excel สามารถเลือกสถานที่จัดเก็บข้อมูลนำออก การกำหนดรูปแบบไฟล์นามสกุล และการตั้งชื่อ Sheet เป็นต้น

หลังจากซอฟต์แวร์ประมวลผลสำเร็จจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นรูปแบบไฟล์ข้อมูล Excel (.xlsx) ตามที่ได้ตั้งค่าพารามิเตอร์ไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งแสดงค่าทางสถิติต่างๆ ของตัวแปร ดังตัวอย่างผลลัพธ์ในรูปที่ 3.22 รวมถึงแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแบบจำลองที่ผ่านเกณฑ์การพิจารณา ดังรูปที่ 3.23 และรายงานผลลัพธ์ค่าทางสถิติต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร ดังรูปที่ 3.24

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
1	A7U1	A7U4	A3U6	U6U4	pop_lu_pop	pop_lu_FID	Prediction	Residual	MAE
2		.0	.0	.0	132.0	33.0	59.4	72.6	72
3		.0	.0	.0	107.0	34.0	56.5	50.5	50
4		.0	.0	.0	77.2	56.0	52.3	24.9	24
5		.0	.0	.0	160.5	57.0	108.7	51.8	51
6		.0	.1	.0	341.7	58.0	323.8	18.0	18
7		.0	.1	.0	227.9	59.0	232.4	-4.5	4
8		.0	.0	.0	189.4	61.0	178.1	11.2	11
9		.0	.0	.0	54.2	78.0	56.8	-2.6	2
10		.0	.0	.0	173.1	79.0	123.5	49.5	49
11		.0	.0	.0	214.1	80.0	181.9	32.1	32
12		.0	.0	.0	380.5	81.0	363.1	17.4	17

รูปที่ 3.22 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโอเพอเรเตอร์ Write Excel ของหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร

Attribute	Coefficient	Std. Error	Std. Coeffi...	Tolerance	t-Stat	p-Value	Code
lu_Max_U2	19.843	1.007	15.935	0.537	19.698	0	****
lu_Max_A9	7.092	1.964	13.838	0.998	3.611	0.000	****
lu_Max_A7	-20.715	4.404	-42.729	0.988	-4.704	0.000	****
lu_Max_U1	138.324	21.584	1102.407	0.551	6.409	0	****
lu_Max_A9^2	-0.182	0.075	-0.632	1.000	-2.424	0.019	**
lu_Max_A4^2	0.436	0.116	1.157	0.489	3.763	0.000	****
lu_Max_W^2	0.159	0.023	1.306	0.985	6.766	0	****
lu_Max_U2*lu_Max_W	-2.891	0.305	-5.958	0.867	-9.490	0	****
lu_Max_U2*lu_Max_U4	13.012	1.487	38.758	0.436	8.749	0	****
lu_Max_A9*lu_Max_U1	168.981	18.686	1375.841	0.501	9.043	0	****
lu_Max_A9*lu_Max_U4	-25.863	8.092	-80.641	0.825	-3.196	0.002	***
lu_Max_A4*lu_Max_U3	-3.353	1.158	-9.011	0.309	-2.896	0.005	***

รูปที่ 3.23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแบบจำลอง ของหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร

## Performance Vector

```
PerformanceVector:
root_mean_squared_error: 38.677 +/- 0.000
absolute_error: 28.928 +/- 25.672
relative_error: 181.06% +/- 1,223.44%
squared_error: 1495.880 +/- 3380.088
correlation: 0.975
squared_correlation: 0.951
```

รูปที่ 3.24 แสดงรายงานผลลัพธ์ค่าสถิติต่าง ๆ ของแบบจำลอง ของหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ RapidMiner จะทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญ และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ทำให้แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์การพิจารณา

### 3.7 การวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ

การวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด Coefficient of determination ( $R^2$ ) ซึ่งจะได้จากสมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้ และนอกจากนี้ยังใช้ค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้ ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นความหนาแน่นของประชากร คนต่อตารางกิโลเมตร (Mean Absolute Error, MAE) เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

#### 3.7.1 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination, $R^2$ ) ของสมการถดถอยฯ

ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination,  $R^2$ ) เกิดจากการนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง สัญลักษณ์ที่ใช้คือ  $R^2$  ใช้แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตาม (Y) โดยมีผลเนื่องมาจากตัวแปรอิสระ (X) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ศึกษาว่าสมการการประมาณค่าที่ได้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากหรือน้อยเพียงใด ค่าที่ได้จากการคำนวณจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1

กรณีที่ค่า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ (X) มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (Y) อย่างมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก และในอีกกรณีคือ

ค่า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวแปรอิสระ (X) มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (Y) น้อยมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้น้อย

โดยทั่วไปแล้ว ค่า  $R^2$  ที่สูง หมายความว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นดี (เหมาะสมกับ ข้อมูล)

### 3.7.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่น ประชากร

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่น ประชากรที่ประมาณการได้ เพื่อใช้ในการประเมินระดับความถูกต้องของแบบจำลองฯ ค่าที่ใช้ในการ ประเมิน ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าความหนาแน่นของ ประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) เป็นการหาเปอร์เซ็นต์ความ คลาดเคลื่อนเพื่อใช้ในการสรุปว่า การพยากรณ์มีความแม่นยำเพียงพอหรือไม่ ค่า MAPE สามารถ คำนวณได้ดังสมการที่ 3.2 และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นความหนาแน่นของประชากรคน ต่อตารางกิโลเมตร (Mean Absolute Error, MAE) ดังสมการที่ 3.3 การเลือกใช้ MAE แทนการใช้ Root Mean Square Error (RMSE) เนื่องจากค่า RMSE มีการยกกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน เมื่อ ค่าคลาดเคลื่อนมีขนาดใหญ่จะส่งผลกระทบต่อ RMSE มากกว่า MAE ขณะที่ค่า MAE เป็นการหา ค่าเฉลี่ยของผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนโดยตรง หากพบค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ จะไม่ส่งผล กระทบต่อค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากนัก (Willmott and Matsuura 2005)

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{(A_t - F_t)}{A_t} \right| \quad (3.2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |A_t - F_t| \quad (3.3)$$

โดยที่  $A_t$  = ค่าความหนาแน่นของประชากรที่แท้จริง

$F_t$  = ค่าความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณได้จากแบบจำลอง

$n$  = จำนวนช่องกริดที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวประเมินความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ดีคือตัวที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

### 3.7.3 การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้ กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบลที่ประมาณการได้

เป็นการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ บนสมมติฐานที่ว่า ความหนาแน่นของประชากรมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ (Uniform Density) โดยทำการประมาณค่าความหนาแน่นของประชากรในแต่ละชองกริตจากข้อมูลความหนาแน่นของประชากรรายตำบลที่เท่ากันทั่วทั้งตำบล และคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้จากแบบจำลอง

### 3.8 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner

ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างซอฟต์แวร์ ArcGIS กับซอฟต์แวร์ RapidMiner เพื่อดูความสามารถในการประมวลผล การคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมวลผล รวมถึงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าคลาดเคลื่อนของสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองกับสมการแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงเส้น

### 3.9 การวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองฯ

เป็นการทดลองหาแนวทางในการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรนำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางที่ทำให้แบบจำลองฯ มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น คือการทดลองตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ และการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาแนวทางปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรของสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ได้แก่ การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร การทดลองจัดแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประเภทใหม่ การปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย การทดลองเพิ่มข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road) รวมถึงการทดลองเพิ่มข้อมูลความชัน (Slope) และการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของประชากร ดังนี้

### 3.9.1 การตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการสังเกตผลการวิเคราะห์สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง ทำให้ทราบถึงค่าผิดปกติในพื้นที่เขตป่าตามกฎหมาย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรน้อยมากหรือไม่มีประชากรเลย ดังนั้นจึงมีการทดลองตัดพื้นที่เขตป่าตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะเลือกข่งกริดที่อยู่นอกเขตป่าตามกฎหมายมาวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ และเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้

### 3.9.2 การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการสังเกตพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่คิดเป็นค่าร้อยละ ซึ่งเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามีความหนาแน่นพื้นที่ตั้งแต่ร้อยละ 0-100 ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองแบ่งระดับร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินให้มีระดับที่หยาบขึ้น กล่าวคือการปรับความละเอียดให้น้อยลงเพื่อดูว่าการปรับสัดส่วนร้อยละให้มีความหยาบขึ้นนั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด โดยมีการแบ่งช่วงชั้นแต่ละชั้นให้มีความกว้าง 5 คือ พื้นที่ร้อยละ 0.1-5.0 เป็นระดับ 1, พื้นที่ร้อยละ 5.1-10.0 เป็นระดับ 2 และแบ่งจนครบพื้นที่ร้อยละ 95.1-100 ระดับที่ 20 จะเห็นว่าระดับพื้นที่ร้อยละที่ทำการจัดแบ่งพื้นที่ใหม่มีตั้งแต่ระดับ 1-20 ดังตารางที่ 3.4 โดยได้วิเคราะห์ผลทั้งรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองและรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้

ตารางที่ 3.4 แสดงการแบ่งระดับของร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด

ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด	ระดับคะแนน
0 – 5	1
5 - 10	2
10 – 15	3
15 – 20	4
20 – 25	5
25 – 30	6
30 – 35	7
35 – 40	8
40 – 45	9
45 – 50	10
50 – 55	11
55 – 60	12
60 – 65	13
65 – 70	14

ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด	ระดับคะแนน
70 – 75	15
75 – 80	16
80 – 85	17
85 – 90	18
90 – 95	19
95 - 100	20
รวม	20

### 3.9.3 การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร

จากข้อสังเกตที่ว่า การวิเคราะห์ค่าข้อมูลที่มีความละเอียดและค่าข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมากนั้น จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าข้อมูลที่มีระดับหยาบกว่า ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองวิเคราะห์แบบจำลองความสัมพันธ์ฯ ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น โดยแบ่งระดับความหนาแน่นของประชากร ในแต่ละช่วงชั้นให้มีขนาดความกว้าง 5 โดยจัดแบ่งเช่นเดียวกับข้อ 3.9.2 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองฯ

### 3.9.4 การทดลองเพิ่มตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่

การวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น (พิชญา นิมิตรกุล 2556) ได้ใช้การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับ 2 แบ่งเป็น 17 ประเภท และมีการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญสูงสุด เพื่อทำการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองฯ ทำให้ได้ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่หลากหลายจึงอาจไม่สามารถสะท้อนความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากร ดังนั้นจึงได้ทดลองนำประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ได้ทำการคัดเลือก รวมกันเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินใหม่ และทำการวิเคราะห์ร่วมกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ได้จากการคัดเลือกนั้น เพื่อวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ และเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้

### 3.9.5 การทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย

จากการวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มีการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญสูงสุด ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ทำให้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอยนั้นไม่ครบ 100 % เนื่องจากขาดประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญน้อยถึงไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละช่องกริดให้ครบ 100 % ตามสัดส่วนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ต่อไป

### 3.9.6 การทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road)

จากการวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน อย่างเดียวนั้น อาจยังไม่ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมดได้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาข้อมูลของถนนร่วมด้วย เนื่องจากเส้นทางถนนทำให้เกิดการเข้าถึงสาธารณูปโภคต่าง ๆ มากมาย จึงอาจส่งผลต่อความหนาแน่นประชากร ดังนั้นจึงนำข้อมูลถนนมาวิเคราะห์เป็นความหนาแน่นถนนในแต่ละชองกริด และจัดระดับความหนาแน่นถนน ดังตารางที่ 3.5 บนหน่วยพื้นที่ตัวอย่างขนาด 4x4 ตารางกิโลเมตร ซึ่งถือเป็นหน่วยพื้นที่ที่มีขนาดเหมาะสมในการนำมาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ และนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้

ตารางที่ 3.5 แสดงการจัดระดับความหนาแน่นถนน

ความหนาแน่นถนน (ก.ม.)	ระดับ
0 – 0.4	0
0.5 – 1.4	1
1.5 – 2.4	2
2.5 – 3.4	3
3.5 – 4.4	4

### 3.9.7 การทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความชัน (Slope)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ผ่านมา ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาถึงระดับความลาดชันของพื้นที่ว่ามีผลต่อการกระจายตัวของประชากรมากน้อยเพียงใด ในความเป็นจริงระดับความลาดชันมีผลกระทบต่อจำนวนประชากร ซึ่งพื้นที่ราบลุ่มที่มีระดับความลาดชันน้อยจะมีความหนาแน่นประชากรมาก ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความลาดชันร่วมกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยจัดระดับความลาดชัน 5 ระดับ ดังตารางที่ 3.6 โดยวิเคราะห์บนหน่วยพื้นที่ตัวอย่างขนาด 4x4 ตารางกิโลเมตร เพื่อวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ และเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้



ตารางที่ 3.6 แสดงการจัดระดับความลาดชัน

ความลาดชัน (%)	ระดับ
0 - 3	1
3 - 8	2
8 - 16	3
16 - 35	4
> 35	5

### 3.9.8 การสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของประชากร

จากการทดลองปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวประชากรที่ผ่านมา ให้ผลค่าคลาดเคลื่อนและค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ไม่ดีขึ้นนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดทดลองสร้างแบบจำลองของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ที่ส่งผลต่อค่าคลาดเคลื่อนประชากร โดยจัดแบ่งพื้นที่เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ๆ 4 ประเภท คือ พื้นที่ป่าสงวน-เขตอุทยานแห่งชาติ (Conserved Forest Area, CF) พื้นที่เขตเทศบาล (Urban Area, UA) พื้นที่นอกเขตเทศบาล (Rural Area, RA) และพื้นที่แบบผสม (Mix Area, MX) คือพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินนอกเหนือจาก 3 ประเภทข้างต้น โดยนำแต่ละพื้นที่เข้าทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Exploratory Regression) และคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญมาวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ (Ordinary least square) เพื่อดูผลค่าคลาดเคลื่อนและค่า  $R^2$  ของแบบจำลองแต่ละพื้นที่ ว่าแต่ละพื้นที่มีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใดกับการกระจายตัวของประชากร

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 และซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 ในการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

จากขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลและการคำนวณค่าของข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลชุดเดียวกับงานวิจัยของพิชญา นิมิตรกุล (2556) ตลอดจนการจัดสร้างและวิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute) ให้อยู่ในรูปแบบของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง (ตารางที่ 3.3) ของแต่ละหน่วยพื้นที่ ดังหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.3 เพื่อใช้ในการประมวลผล ทำให้ได้ข้อมูลที่พร้อมนำมาวิเคราะห์และหาสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner ต่อไป

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลความหนาแน่นของประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเครื่องมือ Exploratory Regression เพื่อดูระดับความมีนัยสำคัญพบปัญหาในระหว่างการวิเคราะห์ตัวแปร ดังนี้

1. จำนวนตัวแปรที่สนใจที่ใช้ในการคัดเลือกเพื่อทำการเปรียบเทียบระดับความมีนัยสำคัญมีจำนวนมาก เมื่อกำหนดจำนวนตัวแปรผลลัพธ์ที่ต้องการจำนวน 10 ตัวแปร (วิธีดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12) ทำให้การประมวลผลใช้ระยะเวลาหลายวันและซอฟต์แวร์เกิดการผิดพลาด ซึ่งในขั้นนี้แก้ปัญหาโดยเลือกจำนวนตัวแปรผลลัพธ์ที่ต้องการเพียง 3 - 5 ตัวแปร (ขึ้นอยู่กับแต่ละหน่วยพื้นที่) หลังจากนั้นนำผลที่ได้จากการรายงานค่าทางสถิติ Summary of Variable Significance มาช่วยในการตัดสินใจเพื่อคัดเลือกตัวแปรเป็นหลักและร่วมด้วยค่าสถิติ Summary of Multicollinearity ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (ESRI 2012) รวมถึงการใช้ผลการวิเคราะห์หาสมการจากซอฟต์แวร์ RapidMiner มาช่วยในการพิจารณาเพื่อคัดเลือกตัวแปรอีกทางเมื่อเกิดปัญหาตัวแปรมีความซ้ำซ้อนหลายตัว



	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	รวม
U1 <sup>2</sup>		✓					✓			✓	3
U2 <sup>2</sup>	✓	✓					✓			✓	4
U3 <sup>2</sup>	✓		✓	✓							3
U4 <sup>2</sup>		✓	✓					✓			3
U5 <sup>2</sup>				✓							1
U6 <sup>2</sup>									✓		1
A1 <sup>2</sup>			✓					✓		✓	3
A2 <sup>2</sup>											-
A3 <sup>2</sup>											-
A4 <sup>2</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	✓					6
A5 <sup>2</sup>		✓									1
A7 <sup>2</sup>											-
A8 <sup>2</sup>								✓			1
A9 <sup>2</sup>				✓	✓	✓	✓		✓		5
F <sup>2</sup>	✓									✓	2
M <sup>2</sup>											-
W <sup>2</sup>					✓						1
U1U4		✓									1
U2U1	✓	✓						✓	✓		4
U2U3	✓	✓	✓	✓				✓			5
U2U4	✓	✓		✓	✓			✓			5
U2U5	✓	✓		✓							3
U2U6		✓				✓			✓		3
U2A2										✓	1
U2A4	✓	✓	✓								3
U2A5	✓	✓	✓					✓	✓		5
U2A7	✓		✓								2
U2A8		✓						✓			2
U2A9	✓	✓	✓	✓			✓	✓			6

	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	รวม
U2M								✓			1
U2W					✓						1
U3U1	✓										1
U3U4		✓	✓	✓							3
U3U5	✓	✓									2
U3U6		✓									1
U3A7	✓		✓	✓							3
U3W					✓						1
U5U1	✓										1
U5U4		✓									1
U5F	✓										1
U6U4					✓						1
A1U3			✓								1
A1U4			✓					✓			2
A1U6							✓				1
A1A2										✓	1
A1F										✓	1
A2U6										✓	1
A3U6					✓						1
A4U1		✓									1
A4U3	✓	✓	✓	✓	✓			✓			6
A4U4		✓	✓								2
A4U5	✓	✓		✓							3
A4U6					✓						1
A4A7				✓	✓						2
A4A8						✓		✓			2
A4F	✓										1
A5U3		✓	✓								2
A5U4		✓		✓							2

	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	รวม
A5U5	✓	✓		✓							3
A5U6									✓		1
A5A7				✓							1
A5F	✓										1
A6U1						✓					1
A7U1			✓		✓						2
A7U4			✓	✓	✓						3
A8U6						✓					1
A9U1		✓		✓	✓						3
A9U3	✓	✓	✓	✓							4
A9U4			✓	✓	✓						3
A9U5	✓	✓		✓							3
A9U6						✓	✓		✓		3
A9A4	✓	✓		✓		✓					4
A9A5									✓		1
A9A7			✓	✓							2
A9A8		✓									1
FU6										✓	1
FA2										✓	1
WU6					✓						1
WA3					✓						1
WA7					✓						1
	34	38	26	28	22	11	9	17	10	15	

จากตารางเมื่อพิจารณาในส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 17 ประเภท จะเห็นว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรมากกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น คือพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทตัวหมู่บ้าน (U2) นั้นมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรในทุกหน่วยพื้นที่การวิเคราะห์ และการใช้ประโยชน์ที่ดินในส่วนพื้นที่เกษตรกรรมบางประเภท เช่น สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) มี

ความสัมพันธ์ในแบบจำลองฯ เป็นส่วนใหญ่จากการวิเคราะห์ในแต่ละหน่วยพื้นที่เช่นเดียวกัน การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ (F) และพื้นที่การเกษตรกรรมบางประเภทนั้นมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นประชากรค่อนข้างน้อย และพื้นที่ที่ไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นประชากรในทุกหน่วยพื้นที่การวิเคราะห์ ได้แก่ พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) และ พื้นที่แหล่งน้ำ (W) (ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมประเภทไม้ยืนต้น (A3) ไม่มีในงานวิจัยนี้ เนื่องจากไม่ผ่านการคัดเลือกจากงานวิจัยของพิชญา นิมิตรกุล (2556))

ในขณะที่เมื่อพิจารณาในส่วนประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีปฏิสัมพันธ์ (interactive) กัน จะเห็นว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) และ พื้นที่เกษตรกรรม (A) บางประเภทยังคงมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรเป็นส่วนใหญ่ในแต่ละหน่วยพื้นที่

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองโดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1

การประมวลผลวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์บนหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึงหน่วยพื้นที่ 10x10 ตารางกิโลเมตร โดยแต่ละหน่วยพื้นที่ช่องกริดจะใช้ตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีนัยสำคัญที่ได้จากเครื่องมือ Exploratory Regression ที่ผ่านการคัดเลือกโดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ Summary of Variable Significance และนำเข้าประมวลผลในเครื่องมือ Ordinary least square ให้ผลลัพธ์เป็นสมการถดถอยพหุคูณที่ให้ค่า  $R^2$  สูงสุด ซึ่งผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>
1 x 1	$Y = 49.07 + 11.06U_2 + 0.82A_9 + 0.22A_4 + 6.37U_3 + 1.17A_7 - 0.79U_5 - 1.66F + 136.90U_1 - 26.89U_4 + 0.14U_2^2 + 0.08A_4^2 - 0.24U_3^2 + 0.01F^2 + 0.11U_2A_9 + 0.14U_2A_4 + 0.35U_2A_5 + 0.30U_2U_3 + 0.04U_2A_7 + 0.07U_2U_5 - 1.70U_2U_1 + 1.02U_2U_4 + 0.04A_9A_4 + 0.49A_9U_3 + 1.00A_9U_5 + 0.67A_4U_3 + 1.57A_4U_5 - 0.04A_4F + 3.62A_5U_5 - 0.76A_5F + 0.24U_3A_7 + 1.55U_3U_5 - 0.69U_3U_1 - 0.02U_5F - 6.17U_5U_1$	0.68
2 x 2	$Y = 29.64 + 14.28U_2 + 2.00A_9 - 2.65A_4 + 9.10A_5 + 11.40U_3 + 288.93U_1 + 38.92U_4 + 0.11U_2^2 + 0.33A_4^2 - 0.73A_5^2 + 55.26U_1^2 - 30.92U_4^2 - 0.17U_2A_9 + 0.21U_2A_4 + 0.32U_2A_5 - 0.21U_2U_3 + 0.44U_2U_5 - 1.57U_2A_8 - 2.55U_2U_6 + 18.49U_2U_1 + 5.91U_2U_4 - 0.12A_9A_4 + 0.65A_9U_3 + 4.41A_9U_5 + 0.52A_9A_8 + 2068.65A_9U_1 - 0.95A_4U_3 + 1.20A_4U_5 - 75.54A_4U_1 - 3.50A_4U_4 + 5.00A_5U_3 + 5.00A_5U_5 - 0.96A_5U_4 - 0.26U_3U_5 + 15.26U_3U_6 + 21.12U_3U_4 - 40.57U_5U_4 + 49.91U_1U_4$	0.84
3 x 3	$Y = 14.04 + 10.68U_2 + 1.05A_5 + 1.68A_1 + 44.23U_3 + 414.87U_4 + 0.39A_4^2 - 0.01A_1^2 - 13.46U_3^2 + 80.14U_4^2 - 0.16U_2A_9 - 0.38U_2A_4 + 1.90U_2A_5 + 2.63U_2U_3 + 1.11U_2A_7 + 5.90A_9U_3 - 0.89A_9A_7 - 25.52A_9U_4 + 3.17A_4U_3 - 13.10A_4U_4 - 14.35A_5U_3 + 0.01A_1U_3 - 5.32A_1U_4 - 4.39U_3A_7 - 10.70U_3U_4 + 518.82A_7U_1 + 124.05A_7U_4$	0.90



หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>
4 x 4	$Y = 22.37 + 11.76U_2 + 10.87A_9 + 4.98A_4 + 22.69U_3 + 31.70U_4 - 0.21A_9^2 + 0.20A_4^2 - 3.75U_3^2 - 0.71U_5^2 - 0.20U_2A_9 + 2.23U_2U_3 + 0.99U_2U_5 - 3.85U_2U_4 - 0.48A_9A_4 - 3.90A_9U_3 - 1.13A_9A_7 + 8.54A_9U_5 + 417.47A_9U_1 - 41.06A_9U_4 - 2.71A_4U_3 + 0.45A_4A_7 - 3.54A_4U_5 + 1.82A_5A_7 + 11.09A_5U_5 + 97.53A_5U_4 + 13.88U_3A_7 + 92.29U_3U_4 + 150.63A_7U_4$	0.94
5 x 5	$Y = 24.04 + 19.84U_2 + 7.09A_9 - 20.71A_7 + 138.32U_1 - 0.18A_9^2 + 0.44A_4^2 + 0.16W^2 - 2.89U_2W + 13.01U_2U_4 + 168.98A_9U_1 - 25.86A_9U_4 - 3.35A_4U_3 + 2.89A_4A_7 + 9.43A_4U_6 + 18.43U_3W + 8.84WA_7 - 2.74WA_3 - 45.07WU_6 - 136.90A_7U_1 + 95.29A_7U_4 + 23.65A_3U_6 + 447.18U_6U_4$	0.95
6 x 6	$Y = 21.27 + 17.09U_2 + 11.85A_9 + 254.03U_1 - 0.58A_9^2 + 0.48A_4^2 + 7.85U_2U_6 - 0.06A_9A_4 + 13.12A_9U_6 + 16.74A_4A_8 + 57.48A_8U_6 + 1873.13U_6U_1$	0.93
7 x 7	$Y = 2.19 + 25.97U_2 + 13.39A_9 + 184.72U_4 - 0.51U_2^2 - 0.35A_9^2 + 38.09U_1^2 - 0.92U_2A_9 + 137.85A_9U_6 - 0.52A_1U_6$	0.96
8 x 8	$Y = 3.24 + 12.39U_2 + 9.39A_9 + 1.96A_1 + 825.53A_8 - 0.02A_1^2 - 524.47A_8^2 + 817.09U_4^2 + 0.81U_2A_9 + 2.64U_2A_5 + 7.32U_2U_3 + 1.20U_2M - 58.24U_2A_8 + 1.24U_2U_1 - 40.14U_2U_4 - 5.29A_4U_3 - 26.32A_4A_8 + 3.67A_1U_4$	0.99
9 x 9	$Y = 7.96 + 18.56U_2 + 21.08A_9 - 1.48A_9^2 + 1022.19U_6^2 + 6.27U_2A_5 - 20.89U_2U_6 + 10.82U_2U_1 - 4.51A_9A_5 + 47.54A_9U_6 - 308.19A_5U_6$	0.97

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>
10 x10	$Y = 1391.57 + 0.22U_2 - 30.92A_1 - 37.69F - 13.21A_2 - 859.63U_6 + 0.93U_2^2 + 0.19A_1^2 + 0.26F^2 + 64.53U_1^2 - 0.32U_2A_2 + 0.43A_1F + 0.18A_1A_2 + 0.17FA_2 + 30.68FU_6 + 24.14A_2U_6$	0.99

เมื่อ Y คือความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ช่องกริด (คน/ตร.กม.)

U<sub>i</sub>, A<sub>i</sub>, F, M, W คือ ร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่ผ่านการคัดเลือก

จากผลการวิเคราะห์การสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในตารางที่ 4.2 พบว่าสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณนั้น หน่วยพื้นที่วิเคราะห์ข้อมูลช่องกริดขนาดเล็กโดยเฉพาะหน่วยพื้นที่ 1x1 และ หน่วยพื้นที่ 2x2 ยังให้ค่า R<sup>2</sup> ไม่ดีนัก และเมื่อเพิ่มขนาดหน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ช่องกริดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น สมการแบบจำลองฯ ที่ได้มีค่า R<sup>2</sup> สูงขึ้น อาจเนื่องจากหน่วยพื้นที่ขนาดเล็กครอบคลุมประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่หลากหลาย จึงไม่สามารถสะท้อนความสัมพันธ์กับจำนวนประชากรในหน่วยพื้นที่นั้นได้ดีนัก ในขณะที่หน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่มีโอกาสครอบคลุมประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินได้หลากหลายประเภทมากกว่า จึงสามารถสะท้อนถึงความสัมพันธ์ของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินกับความหนาแน่นของประชากรได้ดีกว่า ซึ่งเป็นผลกระทบจากขนาดมาตราส่วน (Scale effect) ที่หน่วยการวิเคราะห์ขนาดเล็กจะเกิดค่าความผิดพลาดสูงกว่าหน่วยการวิเคราะห์ขนาดใหญ่

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ ในสมการแบบจำลองฯ โดยการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์แต่ละตัวแปร ดังตารางที่ 4.3 พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทตัวเมืองและย่านการค้า (U1) และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทถนน, สนามบิน (U4) มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นประชากร โดยบ่งชี้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรมาก และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรน้อย ได้แก่ พืชสวน (A5) ไม้ผล (A4) และสถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรในเชิงลบหรือกล่าวคือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลให้ความหนาแน่นของประชากรลดลง ได้แก่ พื้นที่นาข้าว (A1) พืชไร่ (A2) ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ (A7)



	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	Avg.
W <sup>2</sup>	-	-	-	-	0.16	-	-	-	-	-	0.16
U1U4	-	49.91	-	-	-	-	-	-	-	-	49.91
U2U1	-1.70	18.49	-	-	-	-	-	1.24	10.82	-	7.21
U2U3	0.30	-0.21	2.63	2.23	-	-	-	7.32	-	-	2.45
U2U4	1.02	5.91	-	-3.85	13.01	-	-	-40.14	-	-	-4.81
U2U5	0.07	0.44	-	0.99	-	-	-	-	-	-	0.50
U2U6	-	-2.55	-	-	-	7.85	-	-	-20.89	-	-5.20
U2A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.32	-0.32
U2A4	0.14	0.21	-0.38	-	-	-	-	-	-	-	-0.01
U2A5	0.35	0.32	1.90	-	-	-	-	2.64	6.27	-	2.30
U2A7	0.04	-	1.11	-	-	-	-	-	-	-	0.58
U2A8	-	-1.57	-	-	-	-	-	-58.24	-	-	-29.91
U2A9	0.11	-0.17	-0.16	-0.20	-	-	-0.92	0.81	-	-	-0.09
U2M	-	-	-	-	-	-	-	1.20	-	-	1.20
U2W	-	-	-	-	-2.89	-	-	-	-	-	-2.89
U3U1	-0.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.69
U3U4	-	21.12	-10.70	92.29	-	-	-	-	-	-	34.24
U3U5	1.55	-0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65
U3U6	-	15.26	-	-	-	-	-	-	-	-	15.26
U3A7	0.24	-	-4.39	13.88	-	-	-	-	-	-	3.24
U3W	-	-	-	-	18.43	-	-	-	-	-	18.43
U5U1	-6.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6.17
U5U4	-	-0.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.96
U5F	-0.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.76
U6U4	-	-	-	-	447.18	-	-	-	-	-	447.18
A1U3	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.01
A1U4	-	-	-5.32	-	-	-	-	3.67	-	-	-0.83
A1U6	-	-	-	-	-	-	-0.52	-	-	-	-0.52
A1A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18	0.18
A1F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43	0.43
A2U6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.14	24.14
A3U6	-	-	-	-	23.65	-	-	-	-	-	23.65
A4U1	-	-75.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-75.54
A4U3	0.67	0.95	3.17	-2.71	-3.35	-	-	-5.29	-	-	-1.09
A4U4	-	-3.50	-13.10	-	-	-	-	-	-	-	-8.30
A4U5	1.57	1.20	-	-3.54	-	-	-	-	-	-	1.39
A4U6	-	-	-	-	9.43	-	-	-	-	-	9.43
A4A7	-	-	-	0.45	2.89	-	-	-	-	-	1.67
A4A8	-	-	-	-	-	16.74	-	-26.32	-	-	-4.79

	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	Avg.
A4F	-0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.04
A5U3	-	5.00	-14.35	-	-	-	-	-	-	-	-4.68
A5U4	-	-0.96	-	97.53	-	-	-	-	-	-	48.29
A5U5	3.62	5.00	-	11.09	-	-	-	-	-	-	6.57
A5U6	-	-	-	-	-	-	-	-	-308.19	-	-308.19
A5A7	-	-	-	1.82	-	-	-	-	-	-	1.82
A5F	-0.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.76
A6U1	-	-	-	-	-	1873.13	-	-	-	-	1873.13
A7U1	-	-	518.82	-	-136.90	-	-	-	-	-	190.96
A7U4	-	-	124.05	150.63	95.29	-	-	-	-	-	123.32
A8U6	-	-	-	-	-	57.48	-	-	-	-	57.48
A9U1	-	2068.62	-	417.47	168.98	-	-	-	-	-	2655.07
A9U3	0.49	0.65	5.90	-3.90	-	-	-	-	-	-	0.79
A9U4	-	-	-25.52	-41.06	-25.86	-	-	-	-	-	-30.81
A9U5	1.00	4.41	-	8.54	-	-	-	-	-	-	4.65
A9U6	-	-	-	-	-	13.12	137.85	-	47.54	-	66.17
A9A4	0.04	0.12	-	-0.48	-	-0.06	-	-	-	-	-0.10
A9A5	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.51	-	-4.51
A9A7	-	-	-0.89	-1.13	-	-	-	-	-	-	-1.01
A9A8	-	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52
FU6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.68	30.68
FA2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.17	0.17
WU6	-	-	-	-	-45.07	-	-	-	-	-	-45.07
WA3	-	-	-	-	-2.74	-	-	-	-	-	-2.74
WA7	-	-	-	-	8.84	-	-	-	-	-	8.84

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เป็นผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ของความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยซอฟต์แวร์ RapidMiner บนหน่วยพื้นที่ของกริดขนาดเริ่มต้น 1x1 ตารางกิโลเมตร จนถึงหน่วยพื้นที่ขนาด 10x10 ตารางกิโลเมตร โดยมีการนำเข้าข้อมูลเชิงบรรยายที่ได้ทำการวิเคราะห์คำนวณค่าข้อมูลของตัวแปรตามคือค่าความหนาแน่นประชากรและตัวแปรอิสระคือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินดังตารางที่ 3.2 และทำการสร้างข้อมูลคำนวณค่าตัวแปรอิสระให้อยู่ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง ดังตารางที่ 3.3 หลังจากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้เป็นสมการถดถอยพหุคูณที่ให้ค่า  $R^2$  สูงสุด

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>
1 x 1	$Y = 46.28 + 11.21U_2 + 1.28A_9 + 6.33U_3 + 3.00A_7 - 1.60U_5 - 1.27F + 114.93U_1 + 37.06U_4 + 0.13U_2^2 + 0.09A_4^2 - 0.24U_3^2 + 0.01F^2 + 0.67U_1^2 + 0.11U_2A_9 + 0.15U_2A_4 + 0.41U_2A_5 + 0.26U_2U_3 + 0.35U_2U_5 - 0.15U_2F - 1.34U_2U_1 + 0.44U_2U_4 - 0.13A_9A_5 + 0.55A_9U_3 - 0.12A_9A_7 + 1.07A_9U_5 - 2.70A_9U_4 + 0.67A_4U_3 + 1.78A_4U_5 + 0.22A_4U_1 - 1.74A_4U_4 + 4.31A_5U_5 - 6.26A_5U_4 + 1.82U_3U_5 - 1.34U_3U_1 - 1.28A_7U_5 - 6.60U_5U_1 - 7.06U_5U_4 - 2.09U_1U_4$	0.68
2 x 2	$Y = 27.25 + 14.41U_2 + 6.23A_9 - 2.98A_4 + 8.15A_5 + 11.94U_3 - 19.60U_6 + 601.38U_1 + 32.62U_4 + 0.07U_2^2 - 0.11A_9^2 + 0.31A_4^2 - 0.46A_5^2 - 0.30U_3^2 - 0.29U_5^2 + 4.30U_6^2 - 11.46U_1^2 - 35.28U_4^2 - 0.18U_2A_9 + 0.21U_2A_4 + 0.63U_2A_5 + 0.87U_2U_5 - 7.91U_2A_8 - 3.26U_2U_6 - 41.99U_2U_1 + 7.92U_2U_4 - 0.38A_9A_4 - 0.32A_9A_5 + 4.48A_9U_5 + 1.16A_9A_8 + 13.82A_9U_6 + 415.14A_9U_1 + 0.90A_4U_5 + 6.37A_4A_8 - 59.03A_4U_1 - 2.73A_4U_4 + 4.16A_5U_5 + 5.64A_5A_8 + 21.42U_3A_8 + 7.73U_3U_6 + 243.61U_3U_1 + 5.43U_3U_4 + 39.76U_5U_1 - 49.60U_5U_4 - 23.99A_8U_6 + 77.90U_6U_4 - 205.84U_1U_4$	0.85
3 x 3	$Y = 16.97 + 10.85U_2 + 14.07A_9 - 4.12A_4 + 23.57A_5 + 1.32A_1 + 31.01U_3 + 292.59U_4 - 0.16A_9^2 + 0.46A_4^2 - 1.84A_5^2 - 0.01A_1^2 - 9.95U_3^2 + 1.03U_1^2 + 72.36U_4^2 - 0.34U_2A_9 - 0.33U_2A_4 + 1.43U_2A_5 + 3.32U_2U_3 + 0.90U_2A_7 - 2.87U_2U_1 + 2.93U_2U_4 - 0.77A_9A_5 - 0.12A_9A_1 + 4.43A_9U_3 - 1.53A_9A_7 + 4.66A_9U_1 - 27.49A_9U_4 + 0.05A_4A_1 + 2.48A_4U_3 - 0.80A_4A_7 - 1.40A_4U_1 - 10.24A_4U_4 -$	0.91

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>
	$0.08A_5A_1 - 11.32A_5U_3 + 2.19A_5A_7 + 10.31A_5U_4 + 0.13A_1A_7 + 2.07A_1U_1 - 3.76A_1U_4 - 4.60U_3A_7 + 16.02U_3U_1 - 35.38U_3U_4 + 122.87A_7U_4 - 11.41U_1U_4$	
4 x 4	$Y = 13.62 + 13.15U_2 + 11.24A_9 + 5.09A_4 + 13.84A_5 + 43.05U_3 - 12.16A_7 + 22.48U_5 + 200.46U_4 - 0.19U_2^2 - 0.22A_9^2 + 1.94A_5^2 - 7.07U_3^2 + 0.98A_7^2 - 3.41U_5^2 + 0.17U_1^2 + 179.07U_4^2 + 0.32U_2A_4 + 0.36U_2A_5 + 2.96U_2U_3 + 2.82U_2U_5 - 8.06U_2U_4 - 0.82A_9A_4 - 1.17A_9A_5 - 2.36A_9U_3 - 1.30A_9A_7 + 6.73A_9U_5 - 38.60A_9U_4 + 2.89A_4A_5 - 5.91A_4U_3 + 1.25A_4A_7 - 5.40A_4U_5 - 4.32A_4U_1 + 10.29A_4U_4 - 14.95A_5U_3 + 4.45A_5A_7 + 136.03A_5U_4 + 10.96U_3A_7 - 10.55U_3U_5 + 17.45U_3U_1 + 96.55U_3U_4 + 177.50A_7U_4 + 27.32U_5U_4$	0.95
5 x 5	$Y = 20.14 + 27.23U_2 + 7.85A_9 - 7.68A_4 - 18.22U_3 - 34.40A_7 - 300.42U_6 + 63.29U_1 + 60.22U_4 - 0.33U_2^2 - 0.18A_9^2 + 0.98A_4^2 + 0.20W^2 - 0.60A_3^2 + 34.23U_6^2 + 166.96U_4^2 - 0.47U_2A_9 - 0.41U_2A_4 + 1.96U_2U_3 - 3.40U_2W + 0.97U_2A_7 + 7.23U_2U_6 + 14.27U_2U_4 + 2.24A_9U_3 - 24.59A_9U_6 + 94.53A_9U_1 - 28.98A_9U_4 - 6.57A_4U_3 + 3.68A_4W + 3.39A_4A_7 + 21.49A_4U_6 - 5.16A_4U_4 + 13.96U_3W + 13.69U_3A_7 + 8.10U_3A_3 + 159.01U_3U_6 - 81.75U_3U_4 + 8.42WA_7 - 3.10WA_3 - 72.86WU_6 + 5.26A_7A_3 - 463.09A_7A_1 + 85.30A_7U_4 + 78.40A_3U_6 + 29.88A_3U_1 - 154.32A_3U_4 - 1189.85U_6U_1 + 662.01U_6U_4$	0.96
6 x 6	$Y = 18.38 + 20.88U_2 + 15.50A_9 - 2.97A_4 - 65.71A_8 - 95.77U_6 - 0.64A_9^2 + 1.01A_4^2 + 31.66A_8^2 - 53.92U_6^2 - 38.99U_1^2 - 0.55U_2A_9 - 0.70U_2A_4 + 26.46U_2U_6 + 2.24U_2U_1 + 23.85A_9U_6 + 51.84A_9U_1 + 23.57A_4A_8 +$	0.94

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	สมการถดถอยพหุคูณ	R <sup>2</sup>
	13.04A <sub>4</sub> U <sub>1</sub>	
7 x 7	Y = 7.05 + 16.19U <sub>2</sub> + 34.51A <sub>9</sub> + 1.38A <sub>1</sub> - 136.72U <sub>6</sub> + 433.10U <sub>4</sub> - 0.41A <sub>9</sub> <sup>2</sup> - 0.01A <sub>1</sub> <sup>2</sup> + 369.99U <sub>6</sub> <sup>2</sup> - 26.12U <sub>1</sub> <sup>2</sup> - 85.94U <sub>4</sub> <sup>2</sup> - 1.07U <sub>2</sub> A <sub>9</sub> - 6.96U <sub>2</sub> U <sub>6</sub> + 9.68U <sub>2</sub> U <sub>1</sub> - 10.33U <sub>2</sub> U <sub>4</sub> - 0.3A <sub>9</sub> A <sub>1</sub> + 153.14A <sub>9</sub> U <sub>6</sub> - 8.58A <sub>9</sub> U <sub>1</sub> - 1.33A <sub>1</sub> U <sub>6</sub> + 2.04A <sub>1</sub> U <sub>1</sub> - 1.59A <sub>1</sub> U <sub>4</sub> - 284.21U <sub>6</sub> U <sub>4</sub>	0.97
8 x 8	Y = 8.06 + 7.91U <sub>2</sub> + 12.41A <sub>9</sub> - 0.92A <sub>4</sub> - 10.31A <sub>5</sub> + 2.08A <sub>1</sub> + 872.70A <sub>8</sub> - 9.69U <sub>4</sub> + 0.28A <sub>5</sub> <sup>2</sup> - 0.02A <sub>1</sub> <sup>2</sup> - 491.23A <sub>8</sub> <sup>2</sup> + 1288.27U <sub>4</sub> <sup>2</sup> + 1.23U <sub>2</sub> A <sub>9</sub> + 1.05U <sub>2</sub> A <sub>4</sub> + 9.30U <sub>2</sub> A <sub>5</sub> + 10.90U <sub>2</sub> U <sub>3</sub> - 71.58U <sub>2</sub> A <sub>8</sub> - 65.89U <sub>2</sub> U <sub>4</sub> - 15.13A <sub>4</sub> A <sub>5</sub> - 14.66A <sub>4</sub> U <sub>3</sub> + 1.29A <sub>4</sub> M - 15.04A <sub>4</sub> U <sub>4</sub> - 0.56A <sub>5</sub> A <sub>1</sub> + 63.21A <sub>5</sub> U <sub>3</sub> + 153.24A <sub>5</sub> U <sub>4</sub> - 1.12A <sub>1</sub> U <sub>1</sub> + 5.70A <sub>1</sub> U <sub>4</sub>	0.99
9 x 9	Y = 7.96 + 18.56U <sub>2</sub> + 21.08A <sub>9</sub> - 1.48A <sub>9</sub> <sup>2</sup> + 1022.19U <sub>6</sub> <sup>2</sup> + 6.27U <sub>2</sub> A <sub>5</sub> - 20.89U <sub>2</sub> U <sub>6</sub> + 10.82U <sub>2</sub> U <sub>1</sub> - 4.51A <sub>9</sub> A <sub>5</sub> + 47.54A <sub>9</sub> U <sub>6</sub> - 308.19A <sub>5</sub> U <sub>6</sub>	0.97
10 x 10	Y = 3344.78 + 21.14U <sub>2</sub> - 79.48A <sub>1</sub> - 79.94F - 59.74A <sub>2</sub> - 3506.59U <sub>6</sub> + 0.71U <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 0.49A <sub>1</sub> <sup>2</sup> + 0.49F <sup>2</sup> + 0.27A <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 1009.92U <sub>6</sub> <sup>2</sup> + 0.33U <sub>2</sub> A <sub>1</sub> - 26.5U <sub>2</sub> U <sub>6</sub> - 28.8U <sub>2</sub> U <sub>1</sub> + 1.10A <sub>1</sub> F + 0.74A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> + 28.40A <sub>1</sub> U <sub>6</sub> + 9.59A <sub>1</sub> U <sub>1</sub> + 0.69FA <sub>2</sub> + 71.16FU <sub>6</sub> + 54.38A <sub>2</sub> U <sub>6</sub>	0.99

เมื่อ Y คือความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ช่งกริด (คน/ตร.กม.)

U<sub>i</sub>, A<sub>j</sub>, F, M, W คือ ร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่ผ่านการคัดเลือก

จากผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ของความหนาแน่นประชากรด้วยตัวแปรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง โดยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณนั้น ให้ค่า R<sup>2</sup> ไม่ดีขึ้น ในหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ข้อมูลช่งกริดขนาดเล็ก แต่จะให้ค่า R<sup>2</sup> ที่สูงขึ้น ในหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ช่งกริดขนาดใหญ่





	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	Avg.
$W^2$	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	-	0.20
U1U4	-2.09	-205.84	-11.41	-	-	-	-	-	-	-	-73.11
U2U1	-1.34	-41.99	-2.87	-	-	2.24	9.68	-	10.82	-28.80	-7.47
U2U3	0.26	-	3.32	2.96	1.96	-	-	10.90	-	-	3.88
U2U4	0.44	7.92	2.93	-8.06	14.27	-	-10.33	-65.89	-	-	-8.39
U2U5	0.35	0.87	-	2.82	-	-	-	-	-	-	1.35
U2U6	-	-3.26	-	-	7.23	26.49	-6.96	-	-20.89	-26.50	-3.98
U2A1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33	0.33
U2A4	0.15	0.21	-0.33	0.32	-0.41	-0.70	-	1.05	-	-	0.04
U2A5	0.41	0.63	1.43	0.36	-	-	-	9.30	6.27	-	3.07
U2A7	-	-	0.90	-	0.97	-	-	-	-	-	0.94
U2A8	-	-7.91	-	-	-	-	-	-71.58	-	-	-39.75
U2A9	0.11	-0.18	-0.34	-	-0.47	-0.55	-1.07	1.23	-	-	-0.18
U2F	-0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.15
U2W	-	-	-	-	-3.40	-	-	-	-	-	-3.40
U3U1	-1.34	243.61	16.02	17.45	-	-	-	-	-	-	68.94
U3U4	-	5.43	-35.38	96.56	-81.75	-	-	-	-	-	-3.79
U3U5	1.82	-	-	-10.56	-	-	-	-	-	-	-4.37
U3U6	-	7.73	-	-	159.01	-	-	-	-	-	83.37
U3A3	-	-	-	-	8.10	-	-	-	-	-	8.10
U3A7	-	-	-4.60	10.96	13.69	-	-	-	-	-	6.68
U3A8	-	21.42	-	-	-	-	-	-	-	-	21.42
U3W	-	-	-	-	13.96	-	-	-	-	-	13.96
U5U1	-6.60	39.76	-	-	-	-	-	-	-	-	16.58
U5U4	-7.06	-49.60	-	27.32	-	-	-	-	-	-	-9.78
U6U1	-	-	-	-	-1189.85	-	-	-	-	-	-1189.85
U6U4	-	77.90	-	-	662.01	-	-284.21	-	-	-	151.90
A1U1	-	-	2.07	-	-	-	2.04	-1.12	-	9.59	3.15
A1U4	-	-	-3.76	-	-	-	-1.59	5.70	-	-	0.12
A1U6	-	-	-	-	-	-	-1.33	-	-	28.40	13.54
A1A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.74	0.74
A1A7	-	-	0.13	-	-	-	-	-	-	-	0.13
A1F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.10	1.10
A2U6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54.38	54.38
A3U1	-	-	-	-	29.88	-	-	-	-	-	29.88
A3U4	-	-	-	-	-154.32	-	-	-	-	-	-154.32
A3U6	-	-	-	-	78.40	-	-	-	-	-	78.40
A4U1	0.22	-59.03	-1.40	-4.32	-	13.04	-	-	-	-	-10.30
A4U3	0.67	-	2.48	-5.91	-6.57	-	-	-14.66	-	-	-4.80

	1X1	2X2	3X3	4X4	5X5	6X6	7X7	8X8	9X9	10X10	Avg.
A4U4	-1.74	-2.73	-10.24	10.29	-5.16	-	-	-15.04	-	-	-4.10
A4U5	1.78	0.90	-	-5.40	-	-	-	-	-	-	-0.91
A4U6	-	-	-	-	21.49	-	-	-	-	-	21.49
A4A1	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	0.05
A4A5	-	-	-	2.89	-	-	-	-15.13	-	-	-6.12
A4A7	-	-	-0.80	1.25	3.39	-	-	-	-	-	1.28
A4A8	-	6.37	-	-	-	23.57	-	-	-	-	14.97
A4M	-	-	-	-	-	-	-	1.29	-	-	1.29
A4W	-	-	-	-	3.68	-	-	-	-	-	3.68
A5U3	-	-	-11.32	-14.95	-	-	-	63.21	-	-	12.31
A5U4	-6.26	-	10.31	136.03	-	-	-	153.24	-	-	73.33
A5U5	4.31	4.16	-	-	-	-	-	-	-	-	4.24
A5U6	-	-	-	-	-	-	-	-	-308.20	-	-308.20
A5A1	-	-	-0.08	-	-	-	-	-0.56	-	-	-0.32
A5A7	-	-	2.19	4.45	-	-	-	-	-	-	3.32
A5A8	-	5.64	-	-	-	-	-	-	-	-	5.64
A7U1	-	-	-	-	-463.09	-	-	-	-	-	-463.09
A7U4	-	-	122.87	177.50	85.30	-	-	-	-	-	128.56
A7U5	-1.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.28
A7A3	-	-	-	-	5.26	-	-	-	-	-	5.26
A8U6	-	-23.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-23.99
A9U1	-	415.14	4.66	-	94.53	51.84	-8.58	-	-	-	111.52
A9U3	0.55	-	4.43	-2.36	2.24	-	-	-	-	-	1.22
A9U4	-2.70	-	-27.49	-38.60	-28.98	-	-	-	-	-	-24.44
A9U5	1.07	4.48	-	6.73	-	-	-	-	-	-	4.09
A9U6	-	13.82	-	-	-24.59	23.85	153.14	-	47.54	-	42.75
A9A1	-	-	-0.12	-	-	-	-0.30	-	-	-	-0.21
A9A4	-	-0.38	-	-0.82	-	-	-	-	-	-	-0.60
A9A5	-0.13	-0.32	-0.77	-1.17	-	-	-	-	-4.51	-	-1.38
A9A7	-0.12	-	-1.53	-1.30	-	-	-	-	-	-	-0.98
A9A8	-	1.16	-	-	-	-	-	-	-	-	1.16
FU6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71.16	71.16
FA2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.69	0.69
WU6	-	-	-	-	-72.86	-	-	-	-	-	-72.86
WA3	-	-	-	-	-3.10	-	-	-	-	-	-3.10
WA7	-	-	-	-	8.42	-	-	-	-	-	8.42
term	38	46	44	42	47	18	21	26	10	20	

\* ตัวแปรที่เพิ่มขึ้นจากซอฟต์แวร์ RapidMiner เมื่อเทียบกับตัวแปรจากซอฟต์แวร์ ArcGIS

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักประเภทต่างๆ พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นประชากร ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทตัวเมืองและย่านการค้า (U1) และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทถนน, สนามบิน (U4) เป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรมาก และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรน้อย ได้แก่ พืชสวน (A5) ไม้ผล (A4) สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) และพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม (U5) การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของประชากรในเชิงลบหรือทำให้ความหนาแน่นของประชากรลดลง ได้แก่ พื้นที่นาข้าว (A1) พืชไร่ (A2) ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ (A7) และพื้นที่ป่าไม้ (F)

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

##### 4.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้

การวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้น จะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination,  $R^2$ ) ที่ได้จากสมการถดถอยฯ และค่าคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้จากความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้ โดยมีการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นความหนาแน่นประชากรคนต่อตารางกิโลเมตร (Mean Absolute Error, MAE) ส่วนในกรณีหน่วยพื้นที่ที่ช่องกริดมีจำนวนประชากรเป็นศูนย์จะไม่สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ จึงทำการคำนวณค่า MAE แทนสำหรับช่องกริดที่มีจำนวนประชากรเป็นศูนย์ และแสดงประกอบกับค่า MAPE โดยเกิดขึ้นเฉพาะหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาด 1X1 ตารางกิโลเมตร จนถึง 4X4 ตารางกิโลเมตร ซึ่งการแสดงผลการวิเคราะห์จะแบ่งเป็นผลการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner ดังนี้

##### 4.4.1.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์ ArcGIS

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ แสดงผลดังตารางที่ 4.6 และค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของประชากรที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นความหนาแน่นประชากรคนต่อตารางกิโลเมตร (MAE) ในแต่ละหน่วยพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยซอฟต์แวร์

ArcGIS

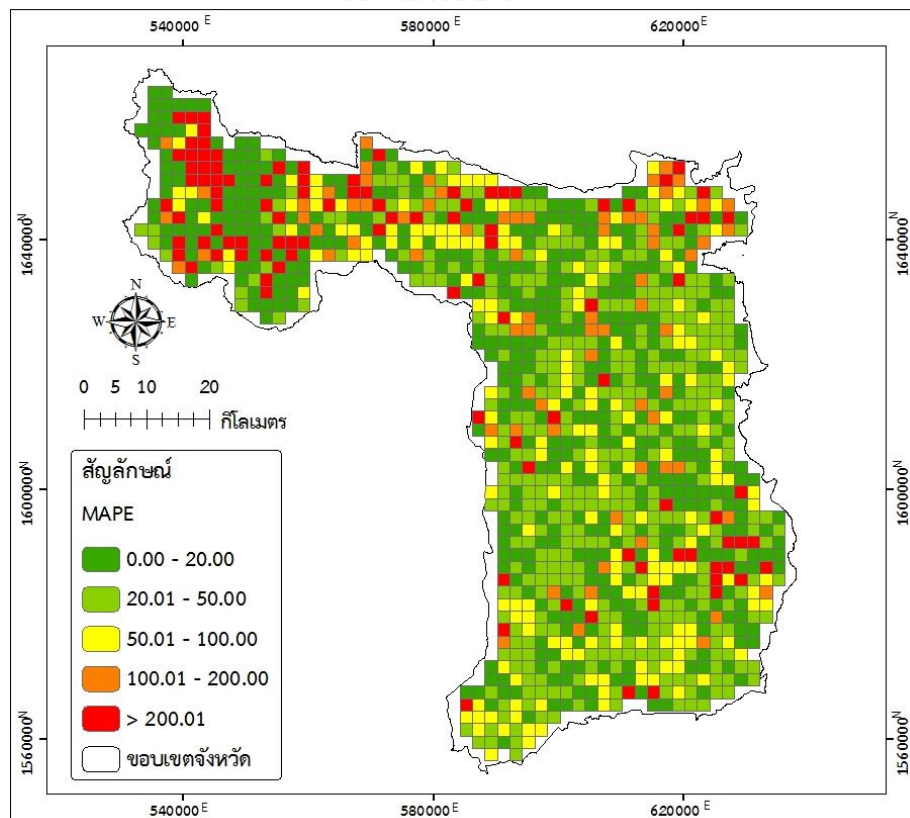
หน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ตร.กม.)	R <sup>2</sup>	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		Mean Absolute Error (MAE) (คน/ตร.กม.)
		MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	
1 x 1	0.68	199.49	42	93
2 x 2	0.84	211.67	31	60
3 x 3	0.90	116.93	14	46
4 x 4	0.94	130.16	23	37
5 x 5	0.95	181.06	-	29
6 x 6	0.93	49.89	-	33
7 x 7	0.96	26.98	-	27
8 x 8	0.99	10.99	-	10
9 x 9	0.97	16.68	-	18
10 x 10	0.99	6.55	-	9

\*สำหรับช่องกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

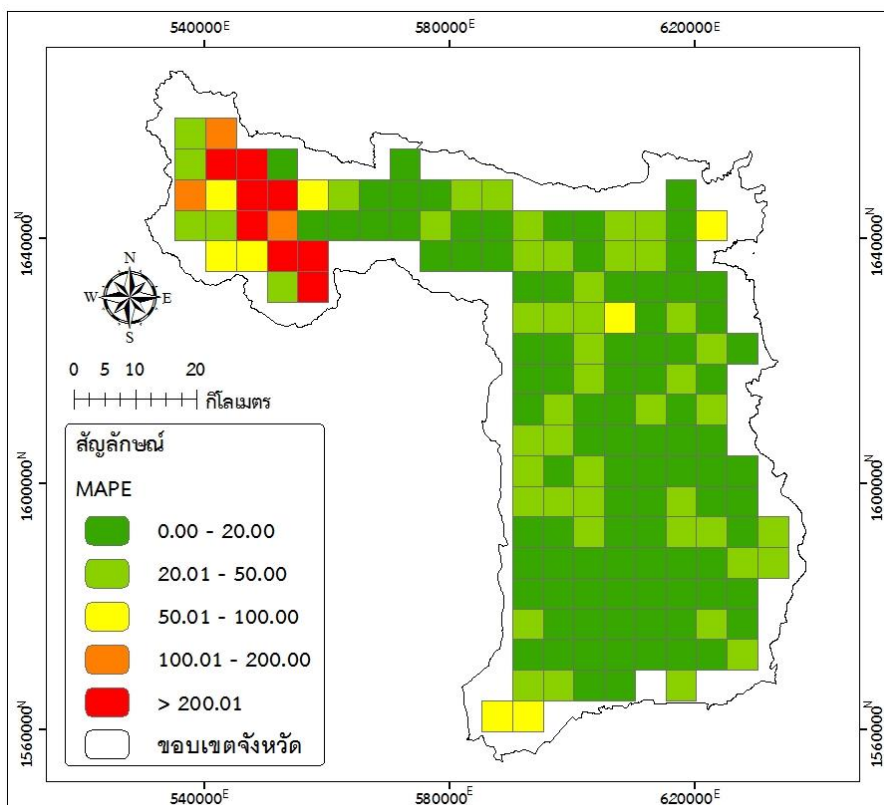
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นประชากรในแต่ละหน่วยพื้นที่

หน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ตร.กม.)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นประชากร (ตร.กม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Standard Deviation
1 x 1	168	320
2 x 2	173	241
3 x 3	176	205
4 x 4	183	205
5 x 5	184	174
6 x 6	189	173
7 x 7	196	170
8 x 8	200	175
9 x 9	204	143
10 x 10	199	140

จากการพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร พบว่าเมื่อขนาดหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ใหญ่ขึ้น ค่าคลาดเคลื่อนทั้ง MAPE และ MAE มีค่าลดลงเรื่อย ๆ แต่ในหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาดเล็กค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามหากกำหนดว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ยอมรับได้คือประมาณร้อยละ 30 หน่วยพื้นที่ที่สามารถใช้ได้และเหมาะสมต้องมีขนาดถึง 7x7 ตารางกิโลเมตร ซึ่งถือว่าเป็นหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่เทียบเท่าขนาดเฉลี่ยของเขตตำบลของจังหวัดสุพรรณบุรี ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองฯ ที่ประมาณการได้ ยังให้ผลลัพธ์ไม่แม่นยำพอที่จะสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากนัก ตัวอย่างค่าคลาดเคลื่อน MAPE จากแบบจำลองฯ แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



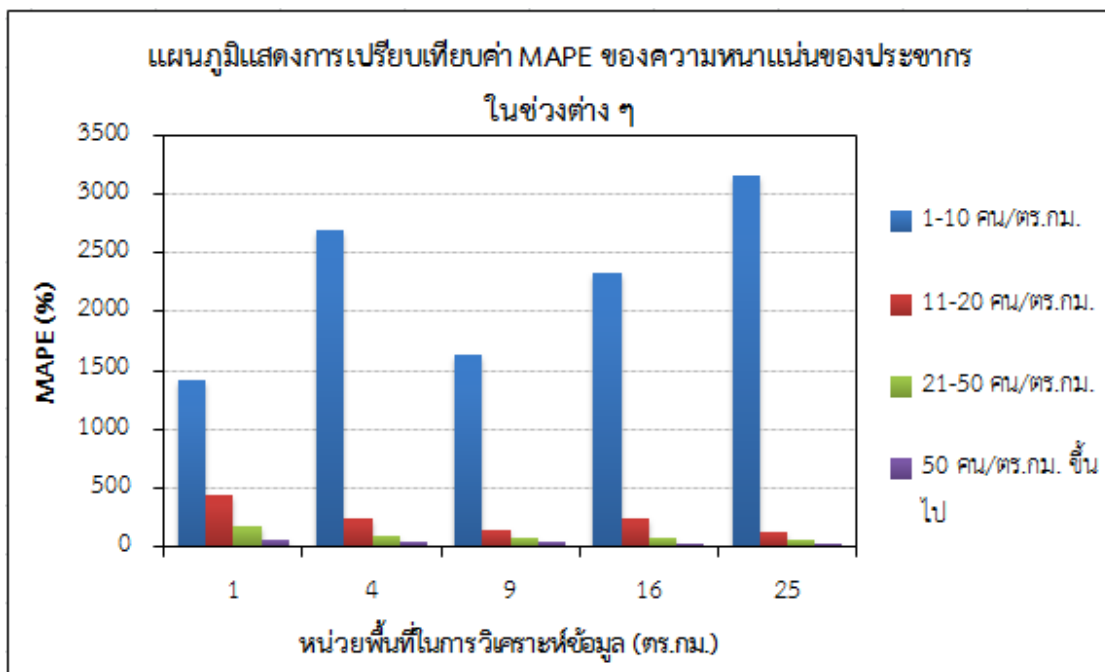
รูปที่ 4.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 2x2 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร

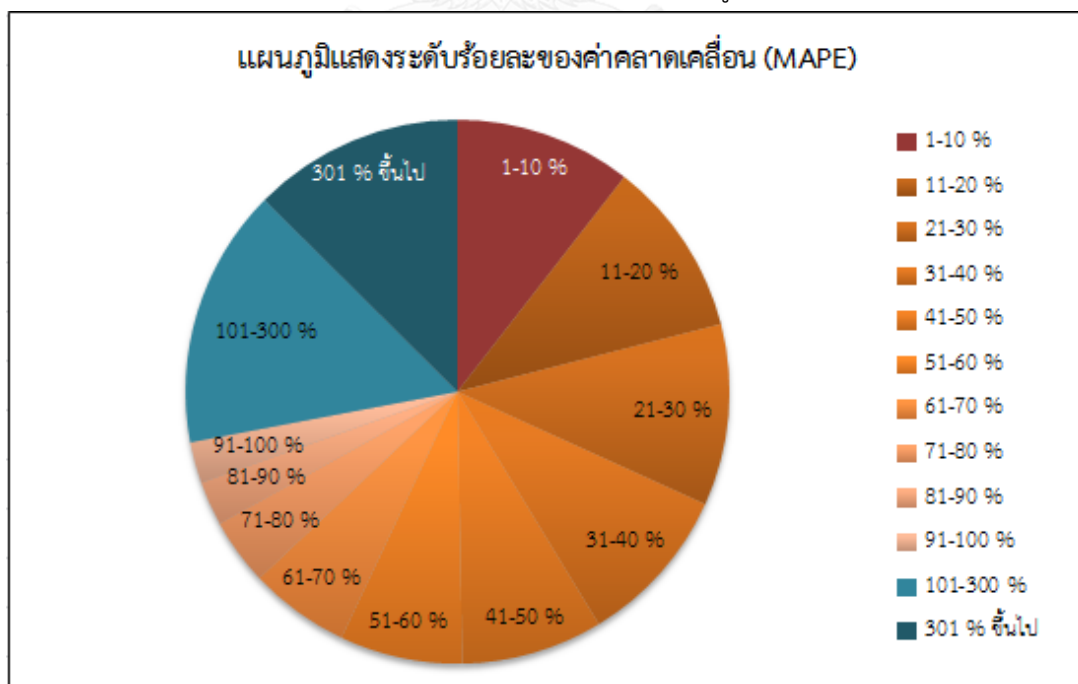
จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เป็นแผนที่แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของความหนาแน่นประชากรในแต่ละชองกริต ที่ได้จากการวิเคราะห์สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองบนหน่วยพื้นที่ขนาด 2x2 ตารางกิโลเมตร และขนาด 5x5 ตารางกิโลเมตร จะเห็นรูปแบบเชิงพื้นที่ของค่าคลาดเคลื่อนบนหน่วยพื้นที่ทั้งสอง โดยเฉพาะหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร บริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดสุพรรณบุรี มีค่าคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เขตป่าสงวนแห่งชาติและเขตอุทยานแห่งชาติ

เมื่อพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติและเขตอุทยานแห่งชาติ จะเห็นว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่มี ความหนาแน่นประชากรหรือมีความหนาแน่นประชากรค่อนข้างน้อย จึงส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้มีค่าสูง และเมื่อนำมาคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าที่ได้จะสูงกว่าปกติในบริเวณชองกริตนั้น ๆ แสดงดังรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของความหนาแน่นของประชากรในช่วงต่าง ๆ



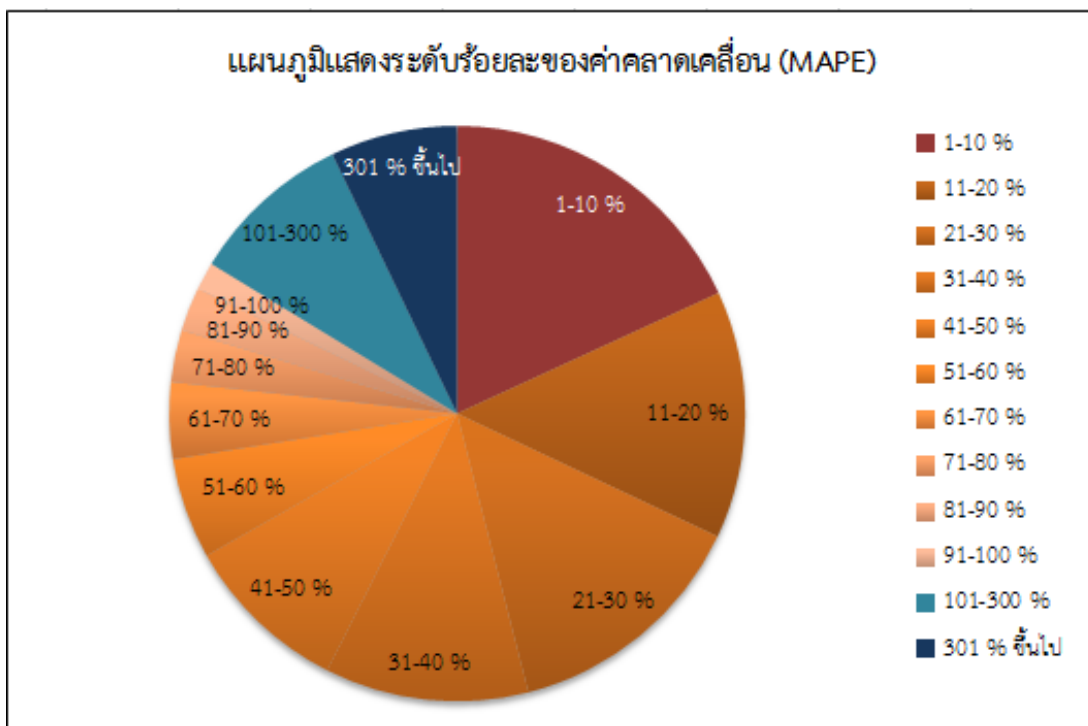
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของความหนาแน่นของประชากรในช่วงต่าง ๆ

เมื่อวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนโดยละเอียด พบว่าค่าคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง ที่ส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (MAPE) มีค่าสูงนั้น มีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของค่าคลาดเคลื่อนที่ปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงระดับร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน MAPE จากแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 1x1 ตร.กม





รูปที่ 4.5 แสดงระดับร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน MAPE จากแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 2x2 ตร.กม

4.4.1.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์ RapidMiner สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพและความถูกต้องของแบบจำลองฯ แสดงดังตารางที่ 4.8

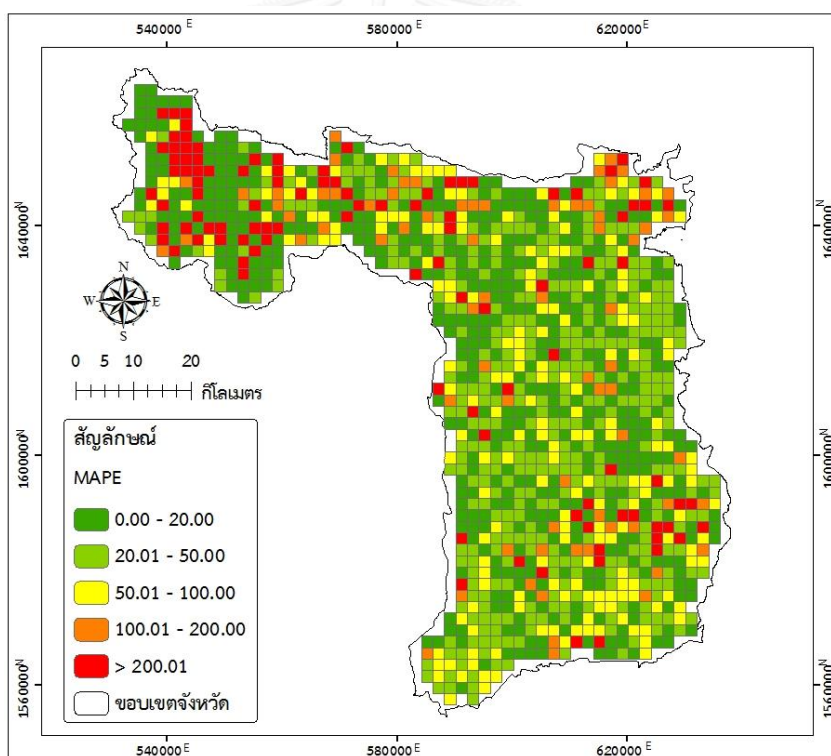
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยซอฟต์แวร์ RapidMiner

หน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ตร.กม.)	R <sup>2</sup>	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		Mean Absolute Error (MAE) (คน/ตร.กม.)
		MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	
1 x 1	0.68	192.71	42	92
2 x 2	0.85	237.40	30	59
3 x 3	0.91	125.52	16	41
4 x 4	0.95	92.51	14	33
5 x 5	0.96	149.44	-	25
6 x 6	0.94	43.94	-	30
7 x 7	0.97	35.42	-	23
8 x 8	0.99	10.93	-	8

หน่วยพื้นที่ในการ วิเคราะห์ข้อมูล (ตร.กม.)	R <sup>2</sup>	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		Mean Absolute Error (MAE) (คน/ตร.กม.)
		MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	
9 × 9	0.97	16.68	-	17
10 × 10	0.99	5.09	-	7

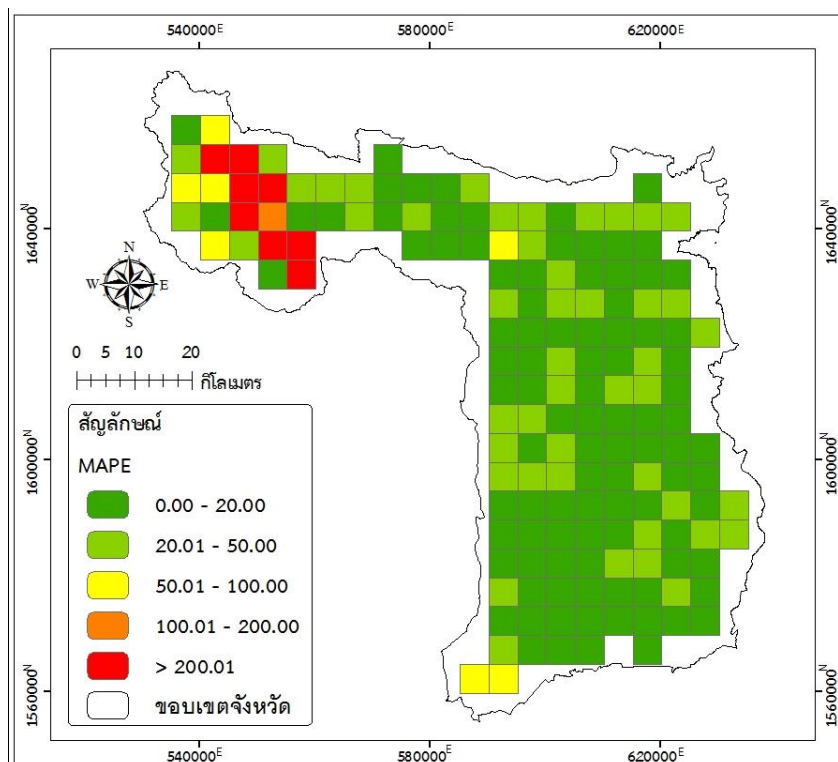
\*สำหรับชองกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

จากตารางเมื่อพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนในภาพรวม พบว่าในหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาดใหญ่ จะให้ค่าคลาดเคลื่อนทั้งค่า MAPE และ MAE ลดลง แต่ยังคงกล่าวได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ยังมีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะหน่วยพื้นที่ชองกริดขนาดเล็ก ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลองฯ ของซอฟต์แวร์ RapidMiner เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากซอฟต์แวร์ ArcGIS แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 2x2 ตารางกิโลเมตร

จากซอฟต์แวร์ RapidMiner



รูปที่ 4.7 แสดงค่าคลาดเคลื่อน MAPE ของสมการแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ 5x5 ตารางกิโลเมตร จากซอฟต์แวร์ RapidMiner

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างค่าคลาดเคลื่อน MAPE บนหน่วยพื้นที่ 2x2 และ 5x5 ตารางกิโลเมตร จะเห็นว่าบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดสุพรรณบุรี มีค่าคลาดเคลื่อนสูงกว่าพื้นที่อื่น ซึ่งมีรูปแบบเชิงพื้นที่ในภาพรวมคล้ายกันกับค่าคลาดเคลื่อน จากซอฟต์แวร์ ArcGIS

#### 4.4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบล

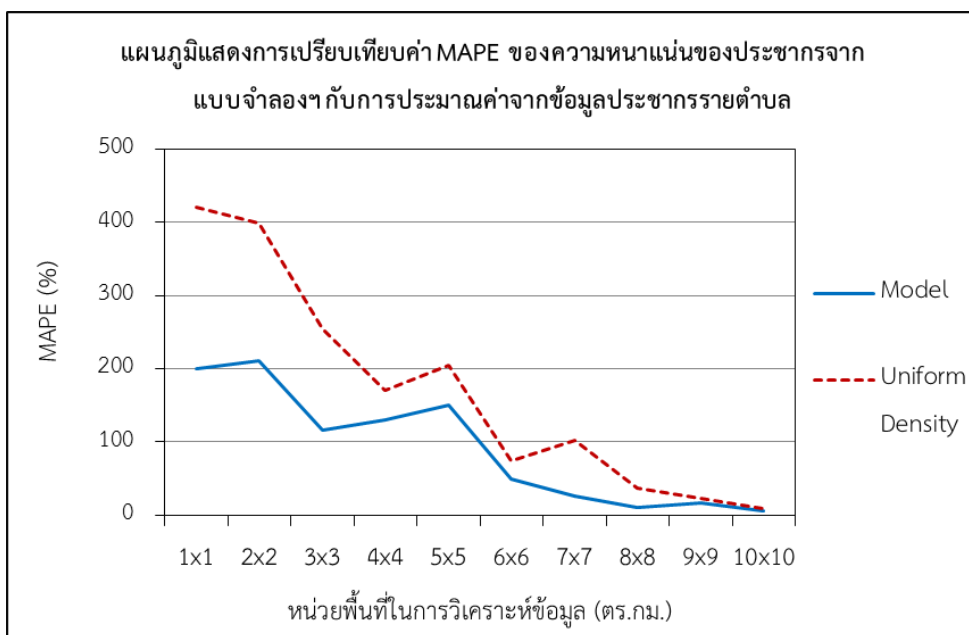
ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบล แสดงดังตารางที่ 4.9 จากสมมติฐานที่ว่าความหนาแน่นของประชากรมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งหน่วยพื้นที่ (Uniform Density) จึงได้มีการทำการทดลองคำนวณค่าความหนาแน่นของประชากรในแต่ละช่องกริด จากข้อมูลความหนาแน่นของประชากรที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ตำบล และคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากร เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้จากแบบจำลองฯ โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้กับค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรรายตำบล

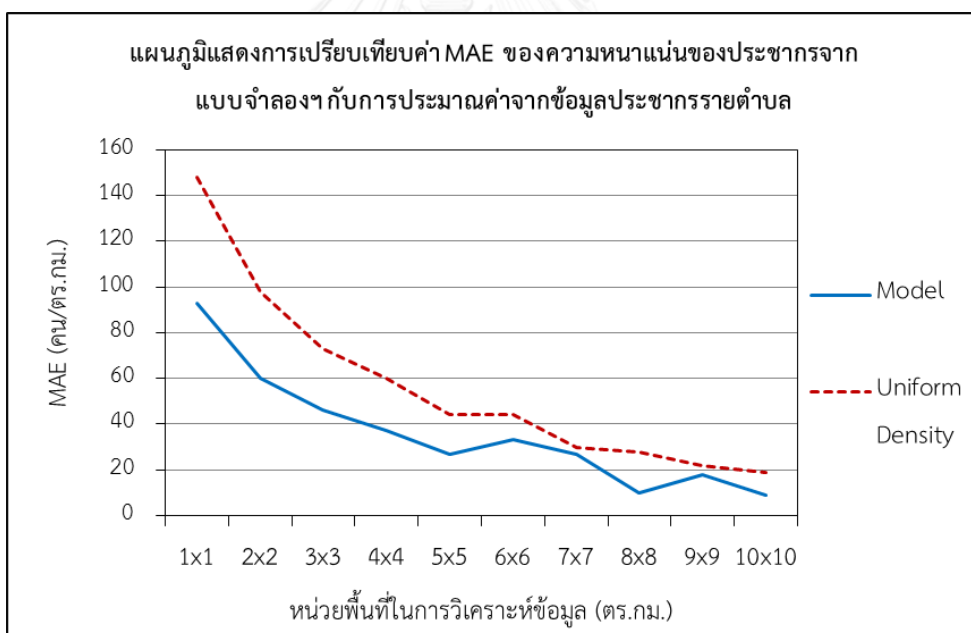
หน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ ข้อมูล (ตร.กม.)	แบบจำลองฯ			ความหนาแน่นรายตำบล (Uniform Density)		
	MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	MAE (คน/ตร.กม.)	MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	MAE (คน/ตร.กม.)
1 x 1	199.49	42	93	421.36	107	148
2 x 2	211.67	31	60	398.54	64	98
3 x 3	116.93	14	46	255.15	35	73
4 x 4	130.16	23	37	171.11	41	60
5 x 5	181.06	-	29	205.18	-	44
6 x 6	49.89	-	33	75.02	-	44
7 x 7	26.98	-	27	101.85	-	30
8 x 8	10.99	-	10	37.02	-	28
9 x 9	16.68	-	18	22.69	-	22
10 x 10	6.55	-	9	9.62	-	19

\*สำหรับช่องกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

จากตาราง พบว่าค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าจากข้อมูลประชากรรายตำบลที่คำนวณอยู่ มีค่าคลาดเคลื่อนที่สูงมากกว่าค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ในหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนในหน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่ทั้ง 2 วิธี มีแนวโน้มลดลงมากใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแบบจำลองฯ กับการประมาณค่าจากข้อมูลรายตำบล บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร

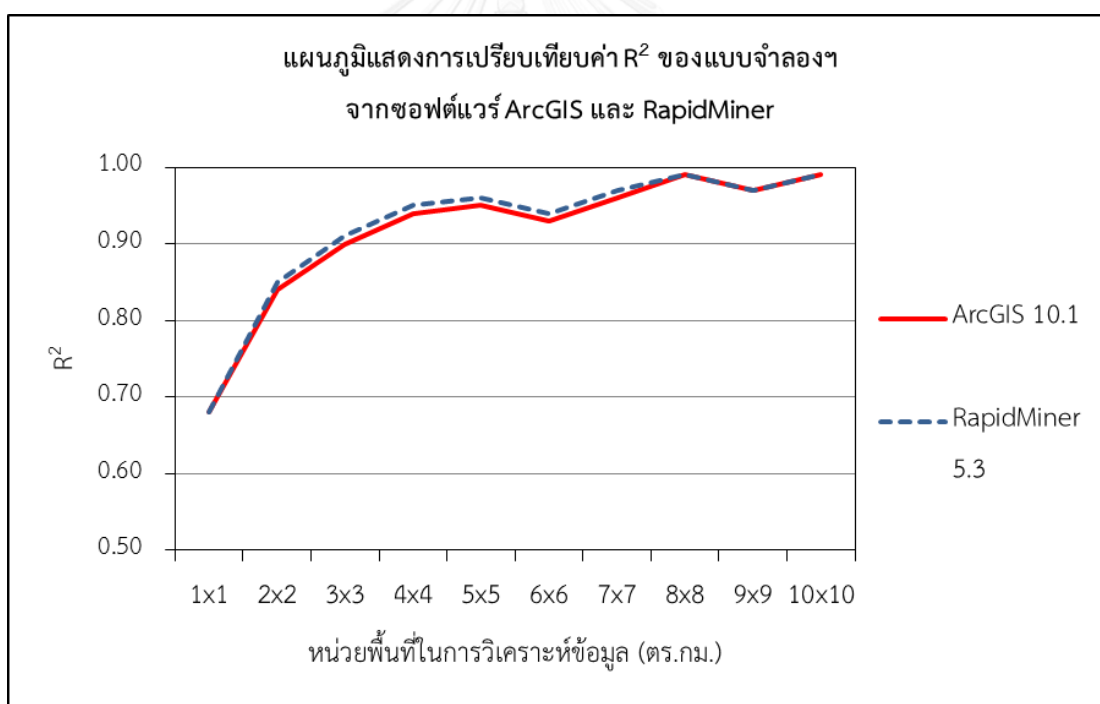


รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ กับการประมาณค่าจากข้อมูลรายตำบล บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร

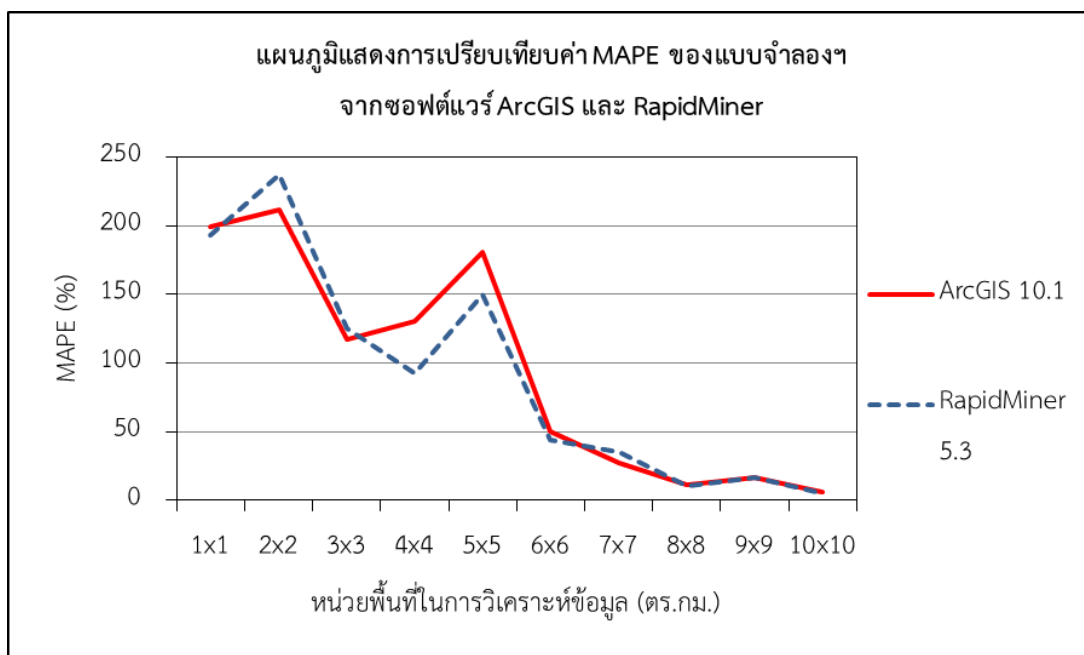
#### 4.5 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner

จากผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองโดยซอฟต์แวร์ ArcGIS และ ซอฟต์แวร์ RapidMiner จะพบปัญหาในส่วนของ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญ โดยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 ในเรื่องจำนวนตัวแปรอิสระทั้งหมดที่สนใจนั้น เกินขีดจำกัดความสามารถของซอฟต์แวร์หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ จึงเป็นผลให้ผู้วิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ทางเลือกอย่าง RapidMiner มาช่วยในการวิเคราะห์และสนับสนุนผลการวิเคราะห์ครั้งนี้

เมื่อพิจารณาค่า  $R^2$  ที่ได้จากสมการถดถอยฯ ค่าคลาดเคลื่อน MAPE และ MAE ที่คำนวณได้จากความหนาแน่นของประชากรของแบบจำลองฯ ทั้งสองซอฟต์แวร์ แสดงดังรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

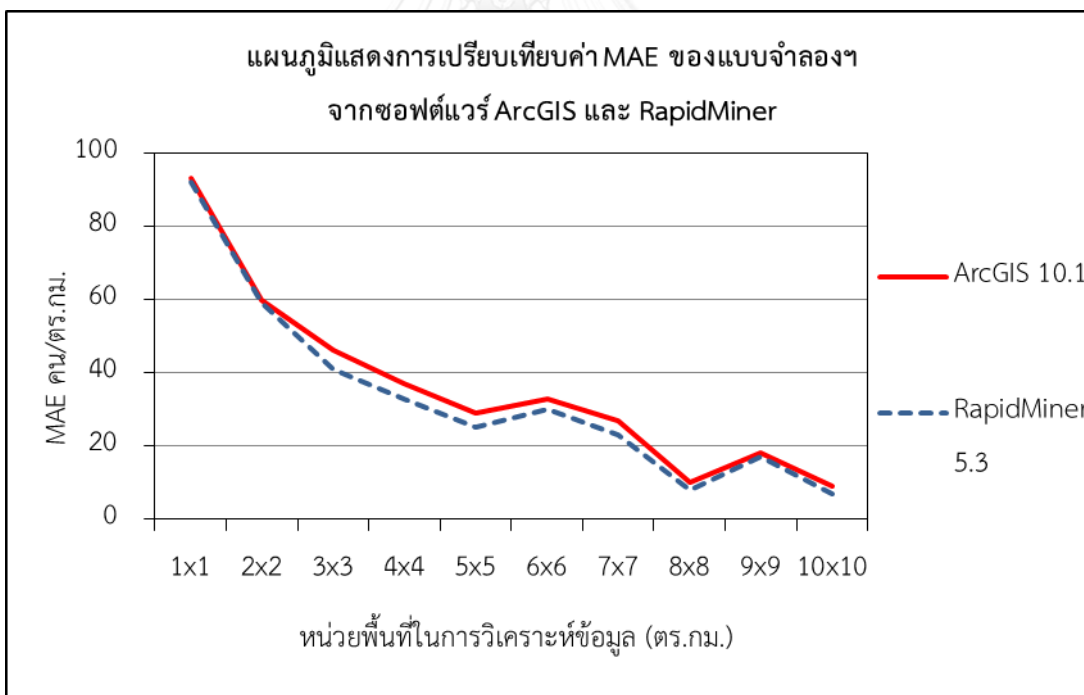


รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และ RapidMiner



รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์

ArcGIS และ RapidMiner



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ จากซอฟต์แวร์

ArcGIS และ RapidMiner

จากรูปจะเห็นว่าค่า  $R^2$  ของทั้งสองซอฟต์แวร์มีค่าใกล้เคียงกันมากแตกต่างกันเพียงทศนิยมตำแหน่งที่สอง ส่วนค่าคลาดเคลื่อน MAPE และ MAE ของซอฟต์แวร์ RapidMiner มีค่าน้อยกว่าผล

จากซอฟต์แวร์ ArcGIS ในบางหน่วยพื้นที่ เนื่องจากซอฟต์แวร์ทางสถิติอาจไม่คำนึงถึงรูปแบบเชิงพื้นที่มากนัก จึงทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่า

และได้มีการทดลองนำตัวแปรที่ได้จากสมการแบบจำลองความสัมพันธ์จากซอฟต์แวร์ RapidMiner นำเข้าวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Ordinary least square ของซอฟต์แวร์ ArcGIS เพื่อดูผลลัพธ์และความเป็นไปได้ของค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อน MAPE และ MAE ของซอฟต์แวร์ทั้งสอง แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า  $R^2$  และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยตัวแปรอิสระจากซอฟต์แวร์ RapidMiner โดยเครื่องมือวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS

หน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ตร.กม.)	$R^2$	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)		Mean Absolute Error (MAE) (คน/ตร.กม.)
		MAPE (%)	MAE* (คน/ตร.กม.)	
1 x 1	0.68	192.71	42	92
2 x 2	0.84	237.39	30	59
3 x 3	-	-	-	-
4 x 4	0.93	92.51	14.26	33
5 x 5	-	-	-	-
6 x 6	-	-	-	-
7 x 7	-	-	-	-
8 x 8	0.99	10.93	-	8
9 x 9	0.96	16.68	-	18
10 x 10	0.97	5.09	-	7

\*สำหรับช่องกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

จากตารางแสดงค่า  $R^2$  และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยตัวแปรอิสระจากซอฟต์แวร์ RapidMiner โดยเครื่องมือวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS พบว่าในบางหน่วยพื้นที่ไม่สามารถคำนวณค่าได้ เนื่องจากตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเองสูง และซอฟต์แวร์ ArcGIS มีการตรวจสอบเชิงพื้นที่ที่มีเกณฑ์สูงกว่าโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทั่วไป แต่ทั้งนี้สามารถนำข้อดีของซอฟต์แวร์ RapidMiner เรื่องการคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์มาปรับใช้เพื่อสนับสนุนการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่สนใจด้วยเครื่องมือ Exploratory Regression ของซอฟต์แวร์ ArcGIS ได้



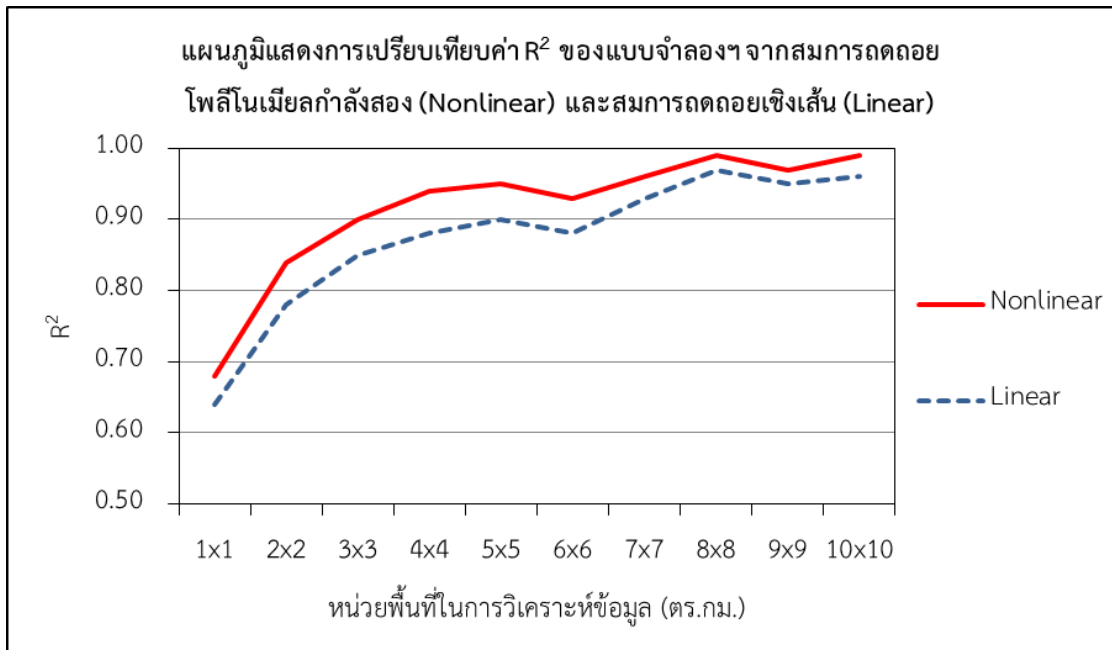
เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของการใช้สมการความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของประชากรด้วยสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในการประมาณค่า ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ค่า  $R^2$  ค่าคลาดเคลื่อน MAPE และ MAE ที่คำนวณได้จากความหนาแน่นของประชากรของแบบจำลองฯ ทั้งสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองและสมการถดถอยเชิงเส้นของซอฟต์แวร์ ArcGIS เท่านั้น แสดงผลดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองและสมการถดถอยเชิงเส้น

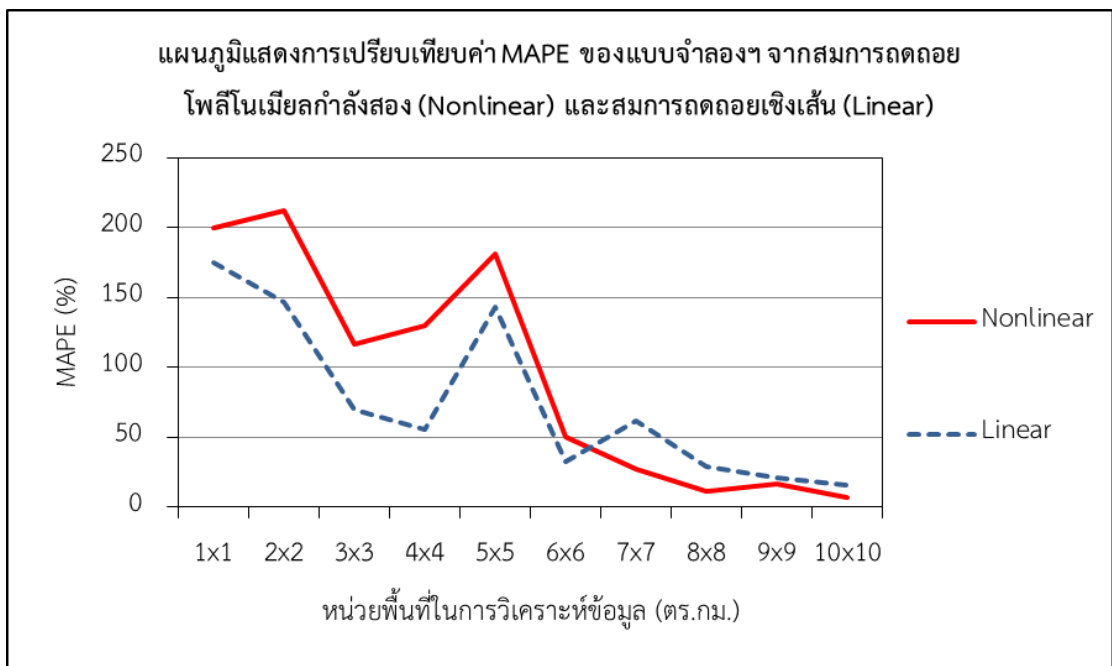
หน่วยพื้นที่ ในการ วิเคราะห์ ข้อมูล (ตร.กม.)	สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง				สมการถดถอยเชิงเส้น				$R^2$ ** เพิ่มขึ้น (%)
	$R^2$	MAPE (%)	MAE* (คน/ตร. กม.)	MAE (คน/ตร. กม.)	$R^2$	MAPE (%)	MAE* (คน/ตร. กม.)	MAE (คน/ตร. กม.)	
1 x 1	0.68	199.49	42	93	0.64	174.94	30	95	6
2 x 2	0.84	211.67	31	60	0.78	146.67	5	63	8
3 x 3	0.90	116.93	14	46	0.85	69.25	5	49	6
4 x 4	0.94	130.16	23	37	0.88	55.30	6	45	7
5 x 5	0.95	181.06	-	29	0.90	143.48	-	36	6
6 x 6	0.93	49.89	-	33	0.88	32.89	-	40	6
7 x 7	0.96	26.98	-	27	0.93	61.26	-	34	3
8 x 8	0.99	10.99	-	10	0.97	29.23	-	22	2
9 x 9	0.97	16.68	-	18	0.95	20.90	-	24	2
10 x 10	0.99	6.55	-	9	0.96	15.64	-	20	3

\* สำหรับช่องกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

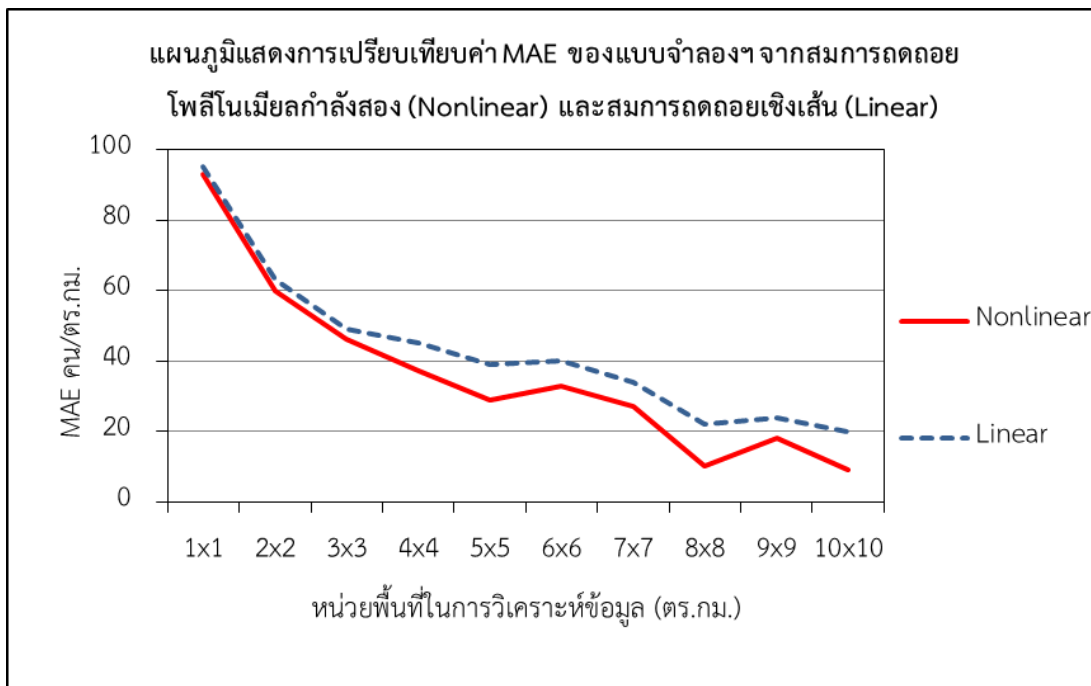
\*\* ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดของสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดของสมการเชิงเส้น



รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของแบบจำลองฯ จากสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Nonlinear) และสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear)



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ของแบบจำลองฯ จากสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Nonlinear) และสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear)



รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ จากสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง (Nonlinear) และสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear)

จากรูปจะเห็นว่าการใช้สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในการประมาณค่าให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีขึ้นสำหรับค่า  $R^2$  และ ค่า MAE โดยค่า  $R^2$  ของทุกหน่วยพื้นที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5.0 % และในหน่วยพื้นที่ขนาดเล็กจะมี % เพิ่มขึ้นมากกว่าหน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่ จากค่า  $R^2$  สรุปได้ว่าการใช้สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองสามารถช่วยปรับปรุงผลการประมาณค่าให้ดีขึ้นในหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ส่วนค่า MAE ดีขึ้นโดยเห็นได้ชัดในหน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่ตั้งแต่ 4x4 ตารางกิโลเมตร ขึ้นไป แต่ในหน่วยพื้นที่ขนาดเล็กค่าคลาดเคลื่อนจากสมการทั้งสองรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่า MAPE นั้น ถือว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่ามากในระดับหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะในหน่วยพื้นที่ขนาด 5x5 ตารางกิโลเมตรให้ค่าคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าปกติ พิจารณาได้จาก รูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่เขตป่าสงวนแห่งชาติและเขตอุทยานแห่งชาติ ทำให้ความหนาแน่นของประชากรในแต่ละช่องกริดของบริเวณนั้นมีความหนาแน่นน้อยมาก จึงให้ค่าคลาดเคลื่อนที่มีค่าสูงเมื่อคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย รวมถึงการใช้รูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองที่ซับซ้อนขึ้นในการประมาณค่า และค่า MAPE จะดีกว่าในช่วงหน่วยพื้นที่ ขนาดตั้งแต่ 7x7 ตารางกิโลเมตรขึ้นไป

อาจกล่าวได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ไม่เหมาะในการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองฯ ในหน่วยพื้นที่ที่ช่องกริดมีความหนาแน่นของประชากรน้อยหรืออาจไม่มีความหนาแน่น

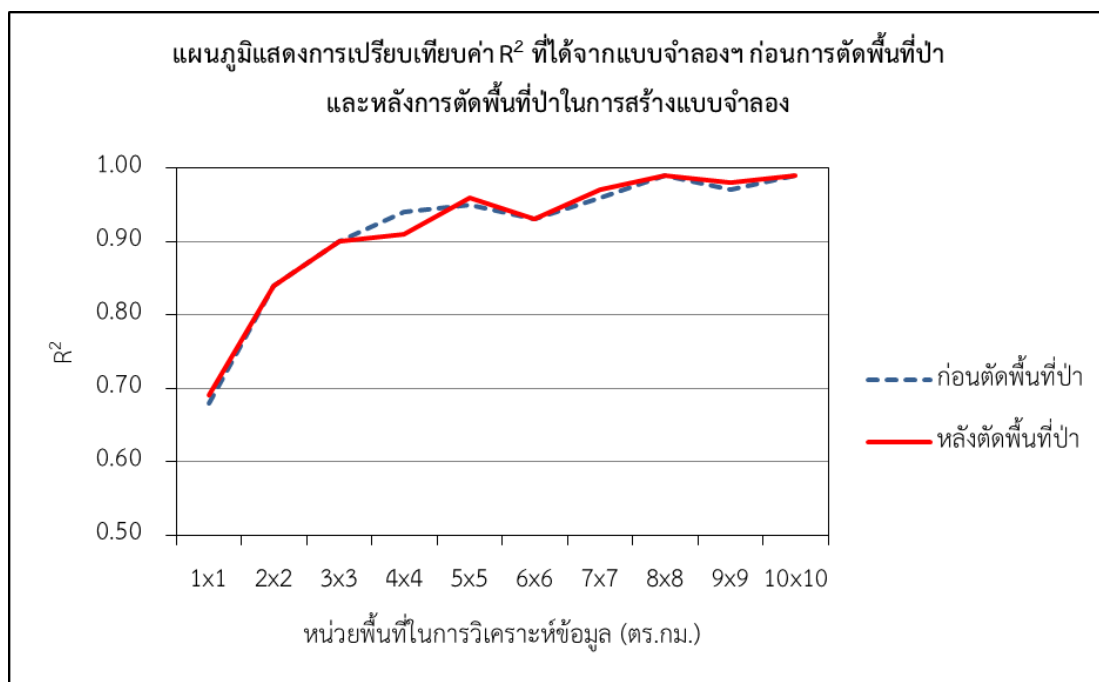
ของประชากรเลย แต่อาจกำหนดขั้นต่ำของความหนาแน่นของประชากรในการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นประชากรจริงได้

#### 4.6 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร

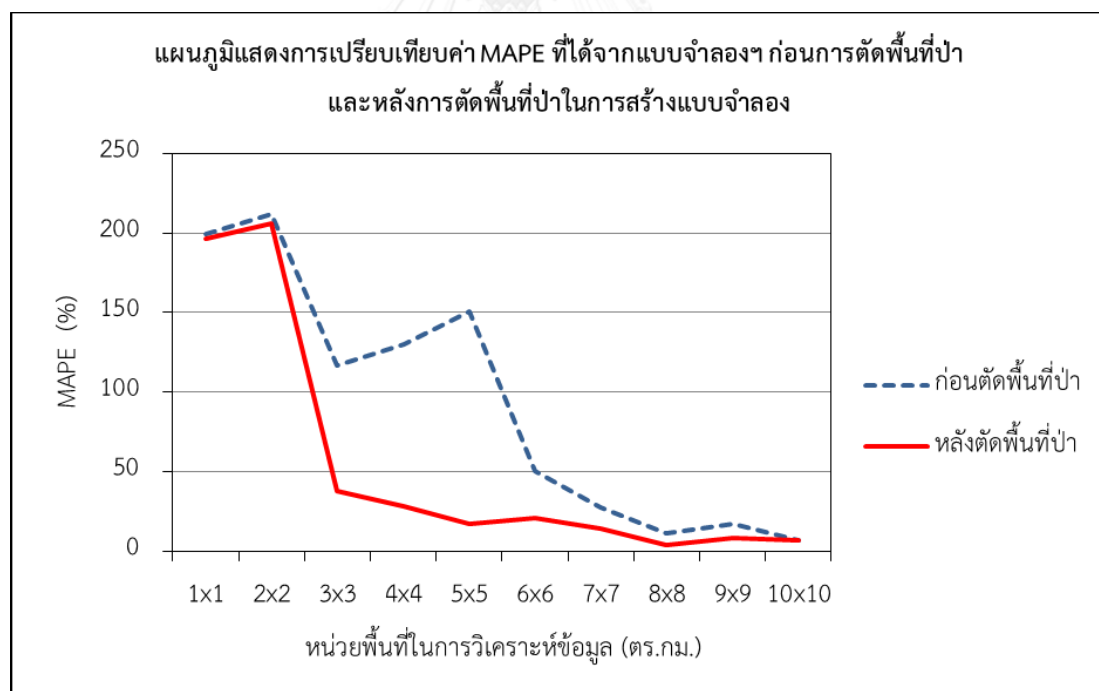
จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองฯ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองที่ได้ ยังให้ค่า  $R^2$  ที่ค่อนข้างต่ำ และมีค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองค่อนข้างสูงในหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนและเพิ่มเติมตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากร นำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางที่จะทำให้แบบจำลองฯ มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ได้แก่ การทดลองตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล และการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองนั้น ให้ผลการศึกษาที่มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทดลองหาแนวทางปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นอีกรูปแบบ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ผล ได้แก่ การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร การทดลองจัดแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประเภทใหม่ การปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย การทดลองเพิ่มข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road) รวมถึงการทดลองเพิ่มข้อมูลความชัน (Slope) และการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของประชากร ดังนี้

##### 4.6.1 ผลการทดลองตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล

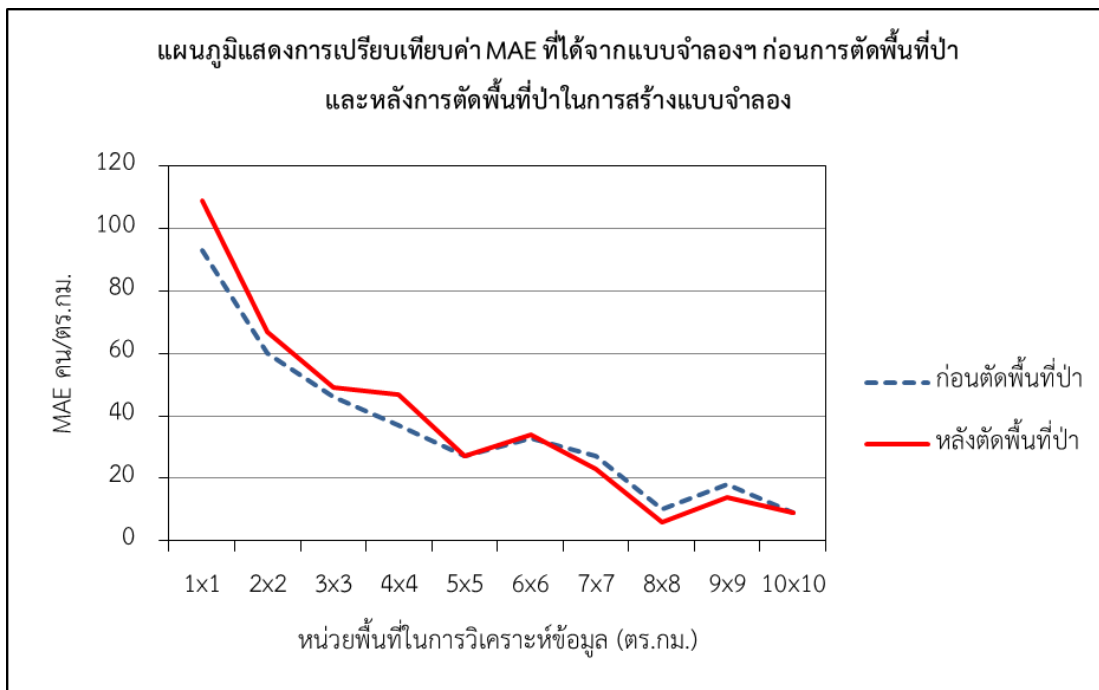
จากผลการวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากรจริง (MAPE) ในบริเวณพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติและเขตอุทยานแห่งชาติทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดสุพรรณบุรี (ดังรูปที่ 4.2 และ 4.7) มีค่าที่ค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงแบบจำลองฯ โดยการทดลองตัดพื้นที่เขตป่าตามกฎหมายออก ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่า ค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อน MAE ที่ได้จากการตัดพื้นที่ป่าตามกฎหมายออกนั้น ไม่แตกต่างกับค่าที่ได้จากแบบจำลองฯ เดิมมากนัก ดังรูปที่ 4.16 และ 4.18 ในขณะที่ค่าคลาดเคลื่อน MAPE จะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนตั้งแต่หน่วยพื้นที่ขนาด 2x2 ตารางกิโลเมตร จนถึง 7x7 ตารางกิโลเมตร ดังรูปที่ 4.17 จึงสรุปได้ว่าพื้นที่เขตป่าตามกฎหมายมีผลต่อแบบจำลองฯ ซึ่งเมื่อตัดเขตป่าตามกฎหมายออกจะทำให้แบบจำลองฯ มีความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ของแบบจำลองฯ ก่อนตัดพื้นที่ป่าและหลังตัดพื้นที่ป่า บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร



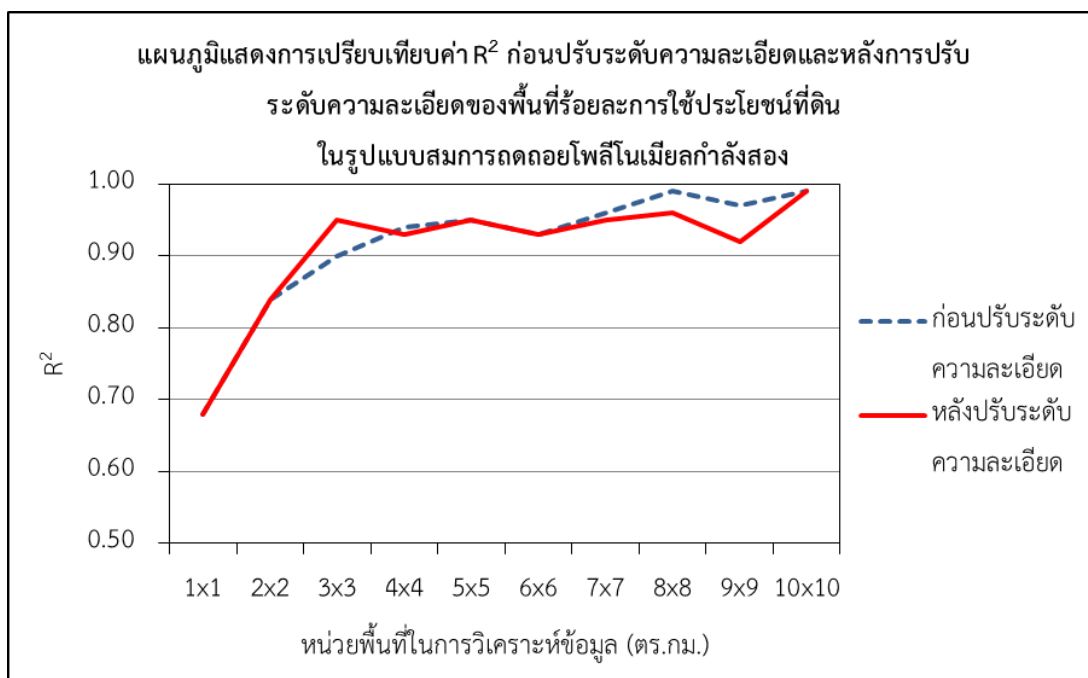
รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE (%) ของแบบจำลองฯ ก่อนตัดพื้นที่ป่าและหลังตัดพื้นที่ป่าบนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร



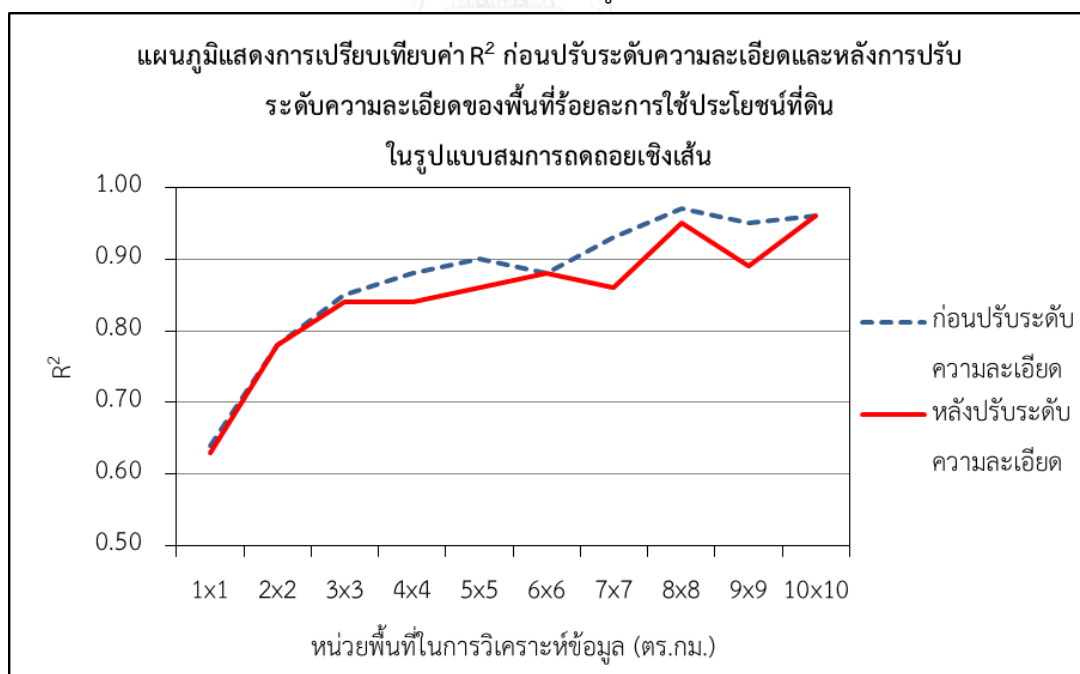
รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ของแบบจำลองฯ ก่อนตัดพื้นที่ป่าและหลังตัดพื้นที่ป่า บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร

#### 4.6.2 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน

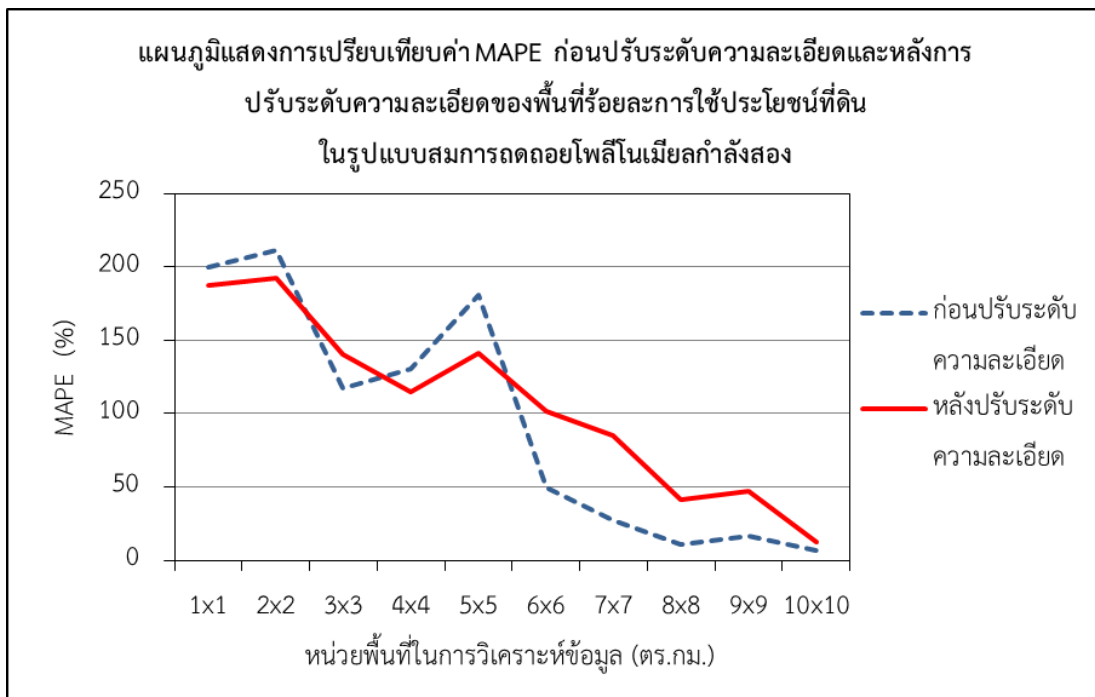
จากการสังเกตเรื่องพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่คิดเป็นค่าร้อยละ ซึ่งเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ จะเห็นว่ามีความละเอียดตั้งแต่ร้อยละ 0-100 ซึ่งในแต่ละช่องกริดมีค่าร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันเล็กน้อย ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองแบ่งระดับร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินให้มีระดับที่หยาบขึ้น กล่าวคือการปรับความละเอียดให้น้อยลงเพื่อดูว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด โดยแบ่งช่วงชั้นแต่ละชั้นให้มีขนาดความกว้าง 5 ซึ่งการจัดแบ่งพื้นที่ใหม่มีตั้งแต่ระดับ 1-20 โดยได้วิเคราะห์ผลทั้งรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองและรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น ดังรูปที่ 4.19 ถึง รูปที่ 4.24 จากการวิเคราะห์พบว่า ค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ ให้ค่าไม่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับแบบจำลองฯ ตั้งต้น



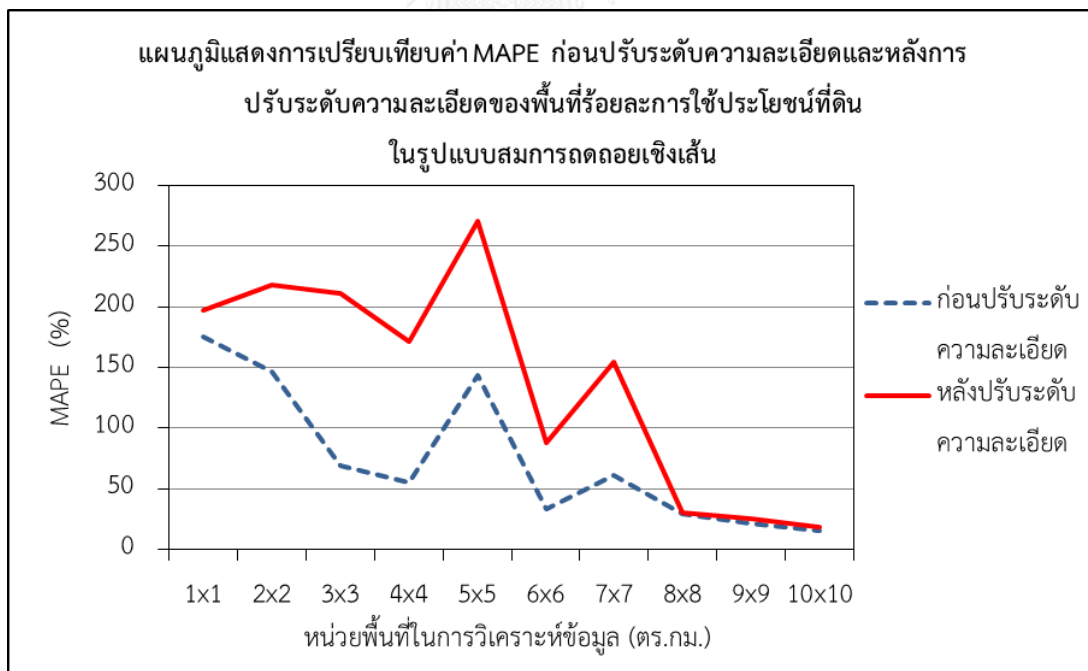
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น

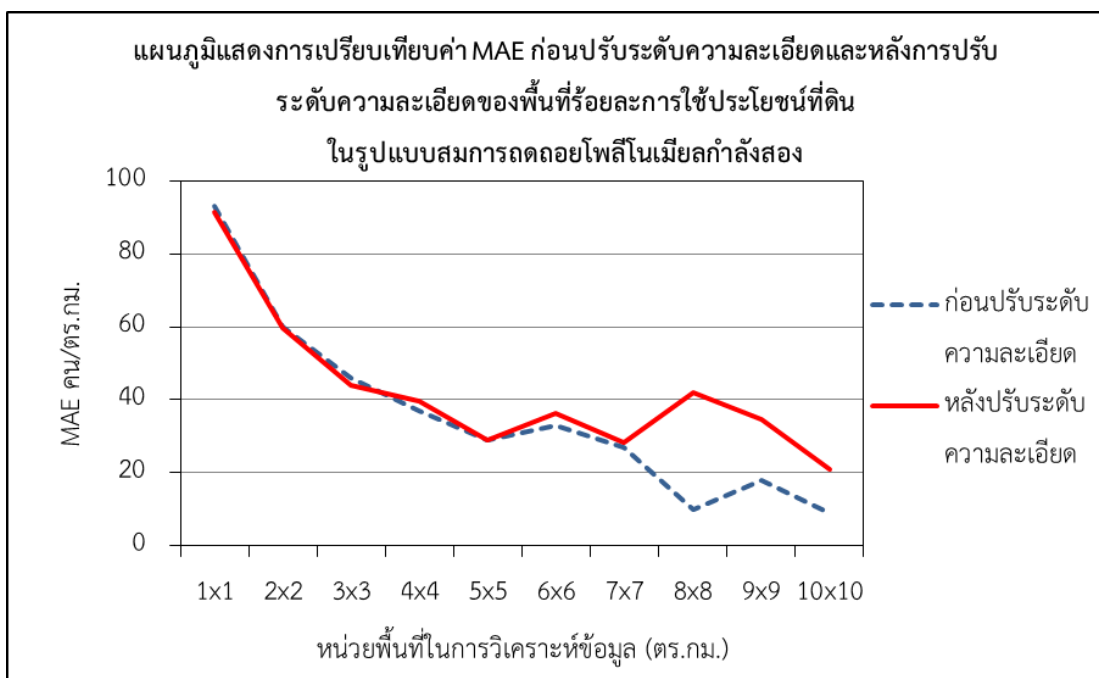


รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง

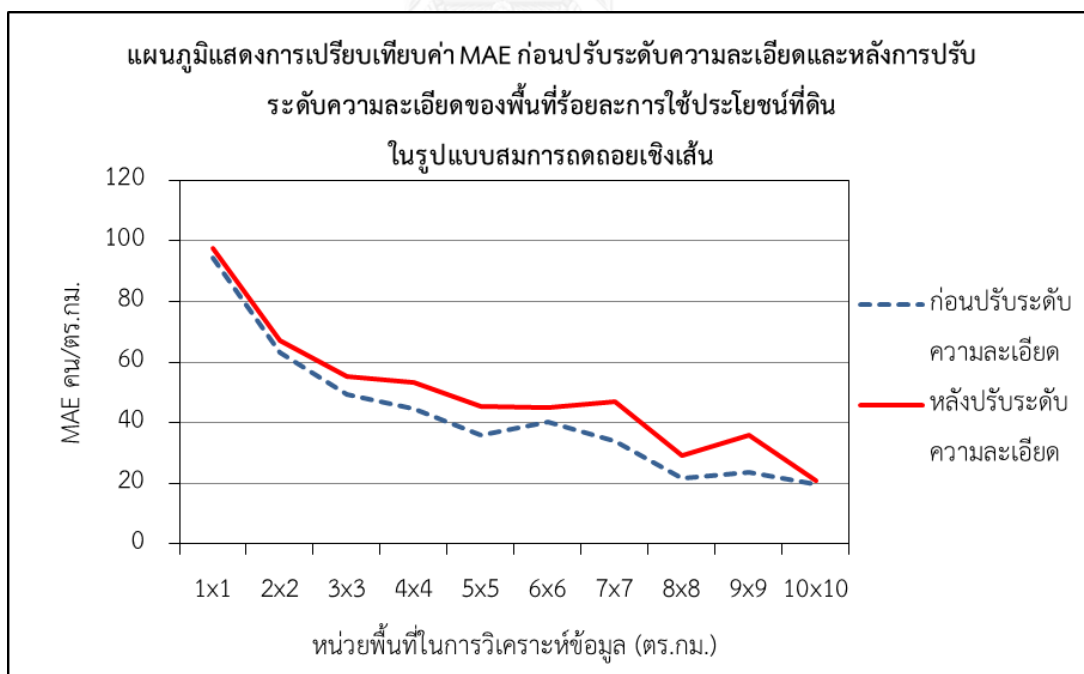


รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น





รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่รอยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง

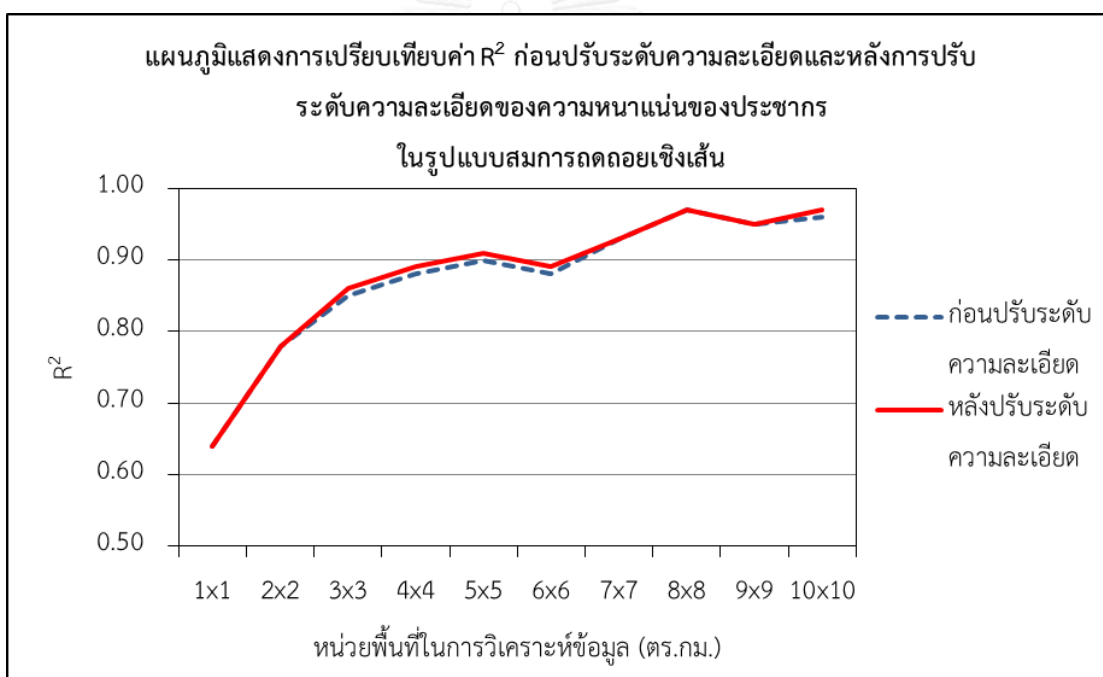


รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของพื้นที่รอยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น

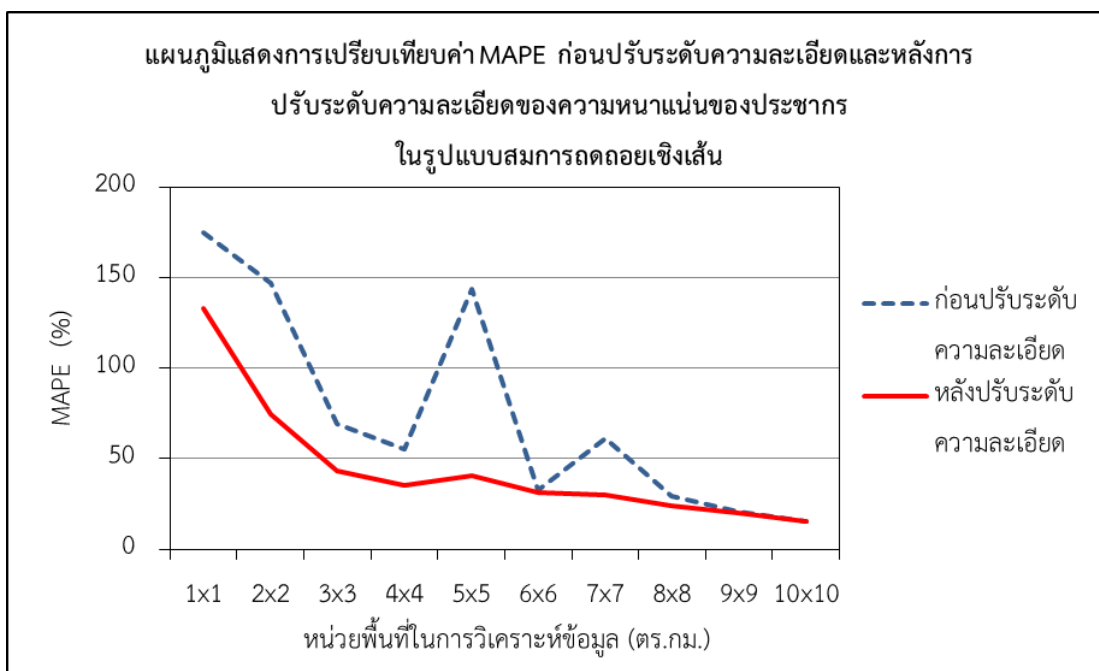
จากรูปจะเห็นว่า ค่าคลาดเคลื่อน MAPE หลังการทดลองปรับระดับความละเอียดของพื้นที่ ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น มีค่าสูงมากแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.22 จึงสรุปได้ว่าระดับ ความหยาบหรือละเอียดของค่าข้อมูลตัวแปรอิสระหรือค่าร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละ ประเภทไม่อาจส่งผลต่อแบบจำลองฯ ให้มีความแม่นยำหรือทำให้ค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ดีขึ้นได้

#### 4.6.3 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร

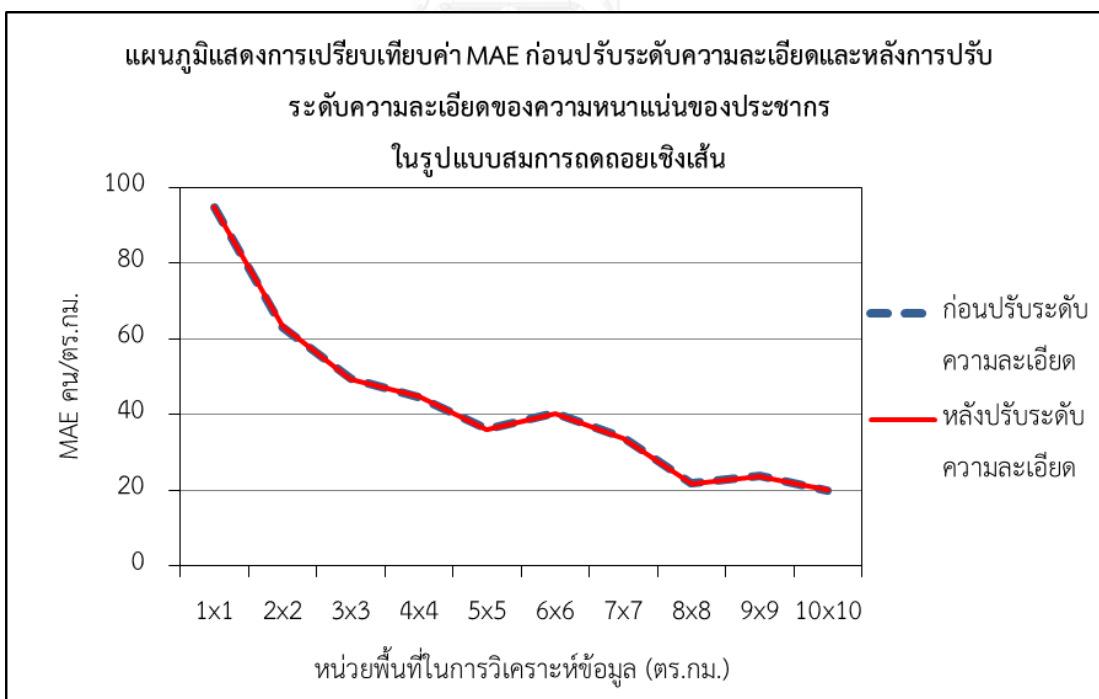
จากข้อสังเกตที่ว่าข้อมูลที่มีระดับความละเอียดและข้อมูลที่มีค่าแตกต่างกันมาก เมื่อนำมา วิเคราะห์จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่สูงกว่าข้อมูลที่มีระดับหยาบหรือข้อมูลที่มีค่าแตกต่างกันน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร โดยแบ่ง ระดับความหนาแน่นของประชากร ให้มีช่วงชั้นที่มีขนาดความกว้าง 5 ซึ่งมีตั้งแต่ระดับ 1-453 ผลการ วิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.25 ถึง 4.27



รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความ ละเอียดของความหนาแน่นของประชากรในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAPE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของความหนาแน่นของประชากรในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า MAE ก่อนปรับระดับความละเอียดและหลังการปรับระดับความละเอียดของความหนาแน่นของประชากรในการสร้างแบบจำลองฯ บนหน่วยพื้นที่ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร ถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร ของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น

จากกราฟจะเห็นว่า ค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อน MAE ที่ได้จากการวิเคราะห์ ให้ค่าที่ไม่แตกต่างจากแบบจำลองฯ ตั้งต้น ส่วนค่าคลาดเคลื่อน MAPE นั้นมีค่าที่ลดลงมากเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองฯ ตั้งต้น เมื่อพิจารณาภาพรวมสรุปได้ว่าระดับความหนาแน่นของประชากรไม่อาจส่งผลให้แบบจำลองฯ ดีขึ้นมากนัก แต่อาจบ่งชี้ได้ว่าสมการจะประมาณการได้ดีขึ้นบนพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรที่สม่ำเสมอทั้งพื้นที่ หรืออาจมีความหนาแน่นของประชากรไม่แตกต่างกันมากเมื่อพิจารณาเพียงค่าคลาดเคลื่อน MAPE

#### 4.6.4 ผลการทดลองเพิ่มตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่

การวิเคราะห์แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ได้มีการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญสูงสุด เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองฯ ทำให้ได้ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่หลากหลาย จึงอาจไม่สามารถสะท้อนความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากร ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทดลองนำประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ได้ทำการคัดเลือก รวมกันเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินใหม่ และทำการวิเคราะห์ร่วมกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ได้จากการคัดเลือกนั้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ที่เพิ่มตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่ กับค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ตั้งต้น

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลองฯ ใหม่			แบบจำลองฯ ตั้งต้น		
	$R^2$	MAPE (%)	MAE (คน/ตร.กม.)	$R^2$	MAPE (%)	MAE (คน/ตร.กม.)
1 x 1	-	-	-	0.64	174.94	95
2 x 2	0.19	469.68	168	0.78	146.67	63
3 x 3	0.86	66.58	49	0.85	69.25	49
4 x 4	-	-	-	0.88	55.30	45
5 x 5	-	-	-	0.90	143.48	36
6 x 6	0.89	33.05	40	0.88	32.89	40
7 x 7	0.94	41.36	33.03	0.93	61.26	34
8 x 8	0.97	29.26	21.65	0.97	29.23	22
9 x 9	0.96	21.96	24	0.95	20.90	24
10 x 10	-	-	-	0.96	15.64	20

- ไม่สามารถคำนวณผลได้

จากผลการทดลองรวมประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ได้ทำการคัดเลือกเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินใหม่ บางพื้นที่ไม่สามารถวิเคราะห์คำนวณค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ได้ เนื่องจากพบว่าตัวแปรใหม่ที่น่าเข้าไปวิเคราะห์นั้น เกิดความสัมพันธ์ซ้ำซ้อนกันระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ (Multicollinearity) จึงอาจบอกได้ว่า การนำประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 17 ประเภท มาทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดนั้น ไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ให้ดีขึ้นได้ ดังนั้นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญจึงถือว่าดีกว่าการใช้ตัวแปรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด

#### 4.6.5 ผลการทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย

จากการวิเคราะห์แบบจำลองฯ ด้วยสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ที่มีการคัดเลือกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญสูงสุด เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ ทำให้พื้นที่ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอยนั้นไม่ครบ 100 % เนื่องจากขาดประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีระดับนัยสำคัญน้อยถึงไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละช่องกริดให้ครบ 100 % ตามสัดส่วนร้อยละของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ที่ปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอยกับค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลองฯ ตั้งต้น

หน่วยพื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลองฯ ใหม่			แบบจำลองฯ ตั้งต้น		
	$R^2$	MAPE (%)	MAE (คน/ตร.กม.)	$R^2$	MAPE (%)	MAE (คน/ตร.กม.)
1 × 1	0.30	345.33	141	0.64	174.94	95
2 × 2	0.34	440.76	116	0.78	146.67	63
3 × 3	0.57	314.40	90	0.85	69.25	49
4 × 4	0.54	69.12	88	0.88	55.30	45
5 × 5	0.74	311.53	63	0.90	143.48	36
6 × 6	0.46	255.07	93	0.88	32.89	40
7 × 7	0.68	66.02	61	0.93	61.26	34
8 × 8	-	-	-	0.97	29.23	22
9 × 9	0.45	158.28	82	0.95	20.90	24
10 × 10	-	-	-	0.96	15.64	20

- ไม่สามารถคำนวณผลได้

จากตารางจะเห็นว่าผลการวิเคราะห์ ให้ค่า  $R^2$  ที่ต่ำกว่าค่าที่ได้แบบจำลองฯ ตั้งต้น และค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ มีค่าค่อนข้างสูง สรุปได้ว่าการทดลองปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละช่องกริดให้ครบ 100 % นั้น ไม่ส่งผลให้แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรมีความแม่นยำขึ้น

#### 4.6.6 ผลการทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างเดียวนั้น อาจยังไม่ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมดได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองข้อมูลของถนนร่วมด้วย เนื่องจากเส้นทางถนนทำให้เกิดการเข้าถึงสาธารณูปโภคต่าง ๆ มากมาย จึงอาจส่งผลต่อความหนาแน่นประชากร ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า  $R^2$  และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยการทดลองเพิ่มตัวแปรความหนาแน่นถนนเทียบกับแบบจำลองฯ สมการเชิงเส้น

หน่วยพื้นที่ ตัวอย่าง (ตร.กม.)	แบบจำลองการ กระจายตัวของ ประชากร	$R^2$	MAPE		MAE (คน/ตร.กม.)
			MAPE (%)	MAE*	
4x4	แบบจำลองฯ + ความหนาแน่น ถนน	0.89	68.35	8	45
	แบบจำลองฯ เชิง เส้น	0.88	55.30	6	45

\*สำหรับช่องกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

จากตารางพบว่า ค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่ได้จากแบบจำลองฯ มีค่าไม่แตกต่างกันจากการวิเคราะห์แบบจำลองฯ ด้วยสมการเชิงเส้น กล่าวได้ว่าข้อมูลความหนาแน่นถนนนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลองฯ

#### 4.6.7 ผลการทดลองเพิ่มตัวแปรข้อมูลความชัน (Slope)

จากข้อสังเกตเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของประชากร ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาถึงระดับความลาดชันของพื้นที่นั้น ส่งผลต่อความหนาแน่นของประชากรมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความลาดชันร่วมกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยจัดระดับความลาดชัน 5 ระดับ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า  $R^2$  และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรโดยการทดลองเพิ่มตัวแปรความชัน (Slope) เทียบกับแบบจำลองฯ สมการเชิงเส้น

หน่วยพื้นที่ ตัวอย่าง (ตร.กม.)	แบบจำลองการ กระจายตัวของ ประชากร	$R^2$	MAPE		MAE (คน/ตร.กม.)
			MAPE (%)	MAE*	
4 x 4	แบบจำลองฯ + Slope	0.89	65.47	7	44
	แบบจำลองฯ + Slope + Road	0.89	43.21	5	44
	แบบจำลองฯ เชิง เส้น	0.88	55.30	6	45

\*สำหรับข้อกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองฯ ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นประชากรกับการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับข้อมูลความลาดชัน พบว่าค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ ยังให้ค่าไม่แตกต่างจากค่าแบบจำลองฯ สมการถดถอยเชิงเส้น และเมื่อทำการทดลองโดยการวิเคราะห์ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับความลาดชันและความหนาแน่นถนน ค่าคลาดเคลื่อน MAPE ลดลงมาแต่ไม่ถึงกับดีขึ้นมาก เพราะเมื่อดูค่า  $R^2$  และค่า MAE ประกอบจะเห็นว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองนั้นไม่แตกต่างกับแบบจำลองฯ สมการถดถอยเชิงเส้น จึงสรุปได้ว่าปัจจัยด้านความลาดชันไม่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของประชากรมากนัก

#### 4.6.8 ผลการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของประชากร

จากการทดลองปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวประชากรที่ผ่านมา ยังให้ผลค่าคลาดเคลื่อนและค่า  $R^2$  ไม่ดีขึ้นนัก ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดทดลองสร้างแบบจำลองของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเฉพาะที่ส่งผลต่อค่าคลาดเคลื่อนประชากร โดยจัดแบ่งพื้นที่เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ๆ 4 ประเภท คือ พื้นที่ป่าสงวน-เขตอุทยานแห่งชาติ (Conserved Forest Area, CF) พื้นที่เขตเทศบาล (Urban Area, UA) พื้นที่นอกเขตเทศบาล (Rural Area, RA) และพื้นที่แบบผสม (Mix Area, MX) บนหน่วยพื้นที่ตัวอย่างขนาด 3x3 และ 7x7 ตารางกิโลเมตร ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า  $R^2$  และคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรจากการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก

หน่วยพื้นที่ ตัวอย่าง (ตร.กม.)	แบบจำลองการกระจายตัว ของประชากร	$R^2$	MAPE		MAE (คน/ตร.กม.)
			MAPE (%)	MAE*	
3 x 3	แบบจำลองฯ Conserved Forest Area	0.77	158.81	4	14
	แบบจำลองฯ Urban Area	0.90	39.91	5	83
	แบบจำลองฯ Rural Area	0.75	39.94	6	47
	แบบจำลองฯ Mix Area	-	-	-	-
7 x 7	แบบจำลองฯ Conserved Forest Area	0.99	18.42	-	4
	แบบจำลองฯ Urban Area	0.97	12.34	-	25
	แบบจำลองฯ Rural Area	0.97	5.42	-	6
	แบบจำลองฯ Mix Area	-	-	-	-

\*สำหรับช่องกริดที่ไม่มีจำนวนประชากรอยู่

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า บนหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก 3x3 ตารางกิโลเมตร แบบจำลองฯ ของพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) จะมีความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งให้ค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนที่ดี เนื่องจากบนหน่วยพื้นที่ขนาดเล็กจะครอบคลุมพื้นที่เขตเมือง จึงสรุปได้ว่าพื้นที่เขตเมืองส่งผลต่อความหนาแน่นของประชากร ในขณะที่หน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่ 7x7 ตารางกิโลเมตร แบบจำลองฯ ของพื้นที่นอกเขตเทศบาล (Rural Area) จะแม่นยำที่สุด และให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ดีกว่าแบบจำลองอื่น ๆ ซึ่งหน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่จะครอบคลุมพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลากหลายประเภทมากกว่าหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก สังเกตได้จากค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่หน่วยพื้นที่ขนาดใหญ่ให้ค่าที่ดีกว่าหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก ในส่วนพื้นที่แบบผสม (Mix Area) เกิดความสัมพันธ์ซ้ำซ้อนกันของตัวแปรการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก (Multicollinearity) ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแบบจำลองในพื้นที่แบบผสมได้



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร ในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสอง เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของประชากรกับข้อมูลประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้ทำการจัดสร้างให้อยู่ในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสอง โดยทำการทดลองวิเคราะห์ด้วยหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาดตั้งแต่ 1x1 จนถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร โดยขั้นตอนเริ่มต้นจากการสร้างรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสอง ระหว่างความหนาแน่นประชากรกับประเภทการใช้ที่ดินที่ได้เคยถูกคัดเลือกไว้จากผลการศึกษาแบบจำลองความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้นก่อนหน้านี้ แล้วจึงนำสมการพหุคูณกำลังสองมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้นเพื่อการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ มีการทดลองประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ 2 ตัวคือ ArcGIS 10.1 และ RapidMiner 5.3 เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์และประเมินประสิทธิภาพความเหมาะสมของซอฟต์แวร์ทั้งสอง

ในส่วนของการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 นั้น เริ่มด้วยการใช้เครื่องมือ Exploratory Regression ทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติ Summary of Variable Significance รวมทั้งค่าบ่งชี้การเกิดภาวะร่วมเส้นตรง (Multicollinearity) ระหว่างตัวแปรอิสระดังกล่าว จากนั้นนำตัวแปรอิสระที่ผ่านการคัดเลือกมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแบบจำลองฯ ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณ โดยเครื่องมือ Ordinary Least Square สำหรับการประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 นั้น จะเป็นการคัดเลือกตัวแปรและนำมาสร้างแบบจำลองฯ ด้วยตัวซอฟต์แวร์เอง

จากนั้นจะทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ โดยวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination;  $R^2$ ) ของสมการถดถอยฯ ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นความหนาแน่นประชากร (Mean Absolute Error, MAE) และทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ ArcGIS และซอฟต์แวร์ RapidMiner รวมถึงเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นของประชากรที่ประมาณการได้จากแบบจำลองฯ ในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสองกับแบบจำลองฯ สมการถดถอยเชิงเส้น

นอกจากการศึกษาความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยพหุคูณกำลังสองซึ่งเป็นประเด็นความสนใจหลักข้างต้นแล้ว ยังได้มีการทดลองแนวทางต่าง ๆ ในการปรับปรุงแบบจำลองการ

กระจายตัวของประชากร ได้แก่ การทดลองตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร การทดลองจัดแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประเภทใหม่ การปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย การทดลองเพิ่มข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road) รวมถึงการทดลองเพิ่มข้อมูลความชัน (Slope) และการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของประชากร

## 5.2 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

### 5.2.1 การวิเคราะห์คัดเลือกตัวแปรอิสระจากประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการศึกษาพบว่า ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นเป็นข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ ทางภูมิศาสตร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในการวิเคราะห์ทดสอบความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากร โดยเครื่องมือ Exploratory Regression จากซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 ในการคัดเลือกตัวแปร ทำให้ได้ตัวแปรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีนัยสำคัญสำหรับแบบจำลองฯ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรมากที่สุดคือ ประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) และรองลงมาคือ พื้นที่ประเภทเกษตรกรรม (A) ส่วนประเภทพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) และ พื้นที่แหล่งน้ำ (W) จากการวิเคราะห์ในครั้งนี้ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากรในทุกหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์ RapidMiner

ซึ่งในส่วนการคัดเลือกตัวแปรประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่ในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง ทำให้มีจำนวนตัวแปรที่ค่อนข้างมากและเกินขีดจำกัดของเครื่องมือ Exploratory Regression ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่จะให้กลุ่มของตัวแปรที่มีนัยสำคัญสูงสุด ดังนั้นจึงได้ใช้วิธีเลือกตัวแปรที่สนใจทั้งหมด หลังจากนั้นจะทำการกำหนดจำนวนผลลัพธ์เพียง 5 ตัวแปร และใช้รายงานค่าทางสถิติ Summary of Variable Significance ในการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกตัวแปรเป็นหลัก รวมถึงการใช้ผลจากการคัดเลือกตัวแปรจากซอฟต์แวร์ RapidMiner มาพิจารณาร่วมด้วย

## 5.2.2 การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ประเมิน

### ประสิทธิภาพของแบบจำลอง

จากการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง ด้วยซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 และซอฟต์แวร์ RapidMiner 5.3 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของสมการถดถอย อยู่ในช่วง 0.68 ถึง 0.99 บนหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาด 1x1 ตารางกิโลเมตร จนถึง 10x10 ตารางกิโลเมตร โดยผลการวิเคราะห์บนหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาดใหญ่จะให้ค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง น้อยกว่าหน่วยพื้นที่ช่องกริดขนาดเล็ก ซึ่งหน่วยการวิเคราะห์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้จากผลการวิเคราะห์ คือหน่วยพื้นที่ขนาด 7x7 ตารางกิโลเมตร ซึ่งให้ค่าคลาดเคลื่อน MAPE เพียงร้อยละ 26.98 แต่หน่วยพื้นที่ขนาด 7x7 ตารางกิโลเมตร นั้นมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดพื้นที่เฉลี่ยรายตำบลของจังหวัดสุพรรณบุรี จึงถือได้ว่าไม่มีประโยชน์มากนักในทางปฏิบัติ ถ้าพิจารณาหน่วยพื้นที่ในการวิเคราะห์ที่มีขนาดเล็กกว่าและเหมาะสมสำหรับการสร้างแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ คือหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาด 4x4 ตารางกิโลเมตร ถึงแม้จะให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูงแต่เมื่อเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณค่าความหนาแน่นของประชากรที่คำนวณได้จากข้อมูลประชากรรายตำบลถือว่ามีความผิดพลาดน้อยกว่า

เมื่อพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนโดยละเอียด พบว่าบริเวณที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง มีค่าสูงคือพื้นที่เขตป่าสงวนแห่งชาติและเขตอุทยานแห่งชาติ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่นของประชากรในแต่ละช่องกริดน้อยมาก เมื่อคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จึงให้ค่าคลาดเคลื่อนที่มีค่าสูง ถ้าพิจารณาแค่ค่าคลาดเคลื่อนที่สูงเกิน 300 % ขึ้นไป จะพบว่ามีส่วนน้อยเท่านั้น แต่มีค่าคลาดเคลื่อนที่สูงมาก ส่งผลให้เมื่อทำการเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทั้งพื้นที่ จะได้ค่าที่ค่อนข้างสูง กล่าวได้ว่าค่าคลาดเคลื่อน MAPE ไม่เหมาะในการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง ในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรน้อยหรืออาจไม่มีความหนาแน่นของประชากรเลย อย่างไรก็ตามในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง อาจแก้ปัญหาโดยการกำหนดขั้นต่ำของความหนาแน่นของประชากรในการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาแน่นประชากรจริงได้

### 5.2.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์

การวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลกำลังสองโดยซอฟต์แวร์ ArcGIS และ ซอฟต์แวร์ RapidMiner พบว่าค่า  $R^2$  ของซอฟต์แวร์ทั้งสองให้ค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ซอฟต์แวร์ RapidMiner ให้ค่าที่น้อยกว่าผลจากซอฟต์แวร์ ArcGIS ในบางหน่วยพื้นที่ เนื่องจากซอฟต์แวร์ทางสถิติอาจไม่คำนึงถึงรูปแบบเชิงพื้นที่มากนัก อย่างไรก็ตามสามารถนำข้อดีของซอฟต์แวร์ RapidMiner ในเรื่องการคัดเลือกตัวแปรที่มีจำนวนมาก มาปรับใช้เพื่อ

สนับสนุนการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่สนใจกับเครื่องมือ Exploratory Regression ของซอฟต์แวร์ ArcGIS ที่มีข้อจำกัดได้

การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการใช้สมการความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของประชากรในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองเทียบกับรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น พบว่าการใช้สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในการประมาณค่าให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีขึ้น กล่าวคือได้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) ของสมการถดถอยฯ สูงขึ้นโดยเฉลี่ย 5% แต่ยังคงมีค่าคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นประชากรจากแบบจำลองค่อนข้างสูงในหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาดเล็ก เช่นเดียวกับสมการถดถอยเชิงเส้น โดยค่า MAPE ที่ได้ยังมีค่าสูงในระดับหน่วยพื้นที่วิเคราะห์ขนาดเล็ก ซึ่งพื้นที่มีจำนวนความหนาแน่นประชากรน้อย แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมถือว่าการใช้สมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในการวิเคราะห์ยังให้ผลการวิเคราะห์ในระดับที่น่าพอใจ

อย่างไรก็ตามแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง เป็นทางเลือกหนึ่งในการตัดสินใจเพื่อการประมาณการความหนาแน่นของประชากรกับตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบไม่เป็นเส้นตรง

#### 5.2.4 ผลการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร

การทดลองหาแนวทางการปรับปรุงแบบจำลองการกระจายตัวของประชากร พบว่าการตัดพื้นที่เขตป่าไม้ตามกฎหมายออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถทำให้แบบจำลองฯ มีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการตัดพื้นที่เขตป่าตามกฎหมายทำให้ความหนาแน่นของประชากรที่น้อยนั้นถูกตัดออกไปจากการวิเคราะห์ครั้งนี้ด้วย สำหรับการทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของพื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทดลองปรับเปลี่ยนระดับความละเอียดของความหนาแน่นประชากร การทดลองจัดแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประเภทใหม่ การปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดินในสมการถดถอย การปรับแก้จำนวนประชากรตามการปรับแก้พื้นที่ร้อยละการใช้ประโยชน์ที่ดิน การทดลองเพิ่มข้อมูลความหนาแน่นถนน (Road) รวมถึงการทดลองเพิ่มข้อมูลความชัน (Slope) พบว่าไม่สามารถเพิ่มความแม่นยำให้แก่แบบจำลองฯ ได้ และการสร้างแบบจำลองฯ ของกลุ่มพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของประชากร ทำให้ทราบว่าแบบจำลองของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินลักษณะเฉพาะ สามารถประมาณการได้แม่นยำมากขึ้นและแตกต่างกันไปในแต่ละหน่วยพื้นที่

### 5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ พบข้อจำกัดและปัญหาต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลองฯ ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลประชากรและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการทดสอบความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ด้วยเครื่องมือ Exploratory Regression ทำให้ทราบข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ ArcGIS ในขั้นตอนการเลือกตัวแปรอิสระที่สนใจ ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีจำนวนมากตั้งแต่ 20-65 ตัวแปร เมื่อทำการกำหนดจำนวนตัวแปรที่จะเป็นตัวแปรผลลัพธ์ตามจำนวนที่ต้องการ (จำนวน 10 ตัวแปร ขึ้นไป) และทำการประมวลผล ผลปรากฏว่าเครื่องมือไม่สามารถประมวลผลได้ หรืออีกปัญหาหนึ่งคือใช้ระยะเวลาในการประมวลผลและผลที่ได้รับไม่สมบูรณ์ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ (ซึ่งตัวแปรผลลัพธ์ที่สามารถกำหนดได้สูงสุดในฟังก์ชันนี้ถึง 20 ตัวแปร แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถกำหนดได้)
2. เนื่องจากการสร้างแบบจำลองฯ ใช้การทดสอบจากความเป็นจริงกลับมาหาความสัมพันธ์ จึงอาจทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนขึ้นได้ และแบบจำลองฯ อาจนำไปใช้ได้ไม่ทุกพื้นที่ ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายจังหวัดสุพรรณบุรีเท่านั้น
3. การใช้ข้อมูลประชากรจากทะเบียนราษฎร อาจไม่สะท้อนการกระจายตัวของประชากรที่แท้จริง เนื่องจากมีการย้ายถิ่นฐานของประชากรเข้าสู่เมืองที่มีอัตราการจ้างงานสูงโดยไม่มี การย้ายสำเนาทะเบียนบ้าน ทำให้เป็นการยากที่จะได้ข้อมูลประชากรที่แท้จริง

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยซึ่งให้ผลที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด แต่เพื่อให้แบบจำลองการกระจายตัวของประชากรมีความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการปรับปรุงและเพิ่มเติมข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสองในพื้นที่ศึกษาอื่น ทั้งพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายกันและพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันกับจังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อดูความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้
2. ในขั้นตอนการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญเพื่อนำตัวแปรไปจัดสร้างแบบจำลองโดยซอฟต์แวร์ ArcGIS ควรเพิ่มซอฟต์แวร์ทางสถิติ อื่น ๆ ที่ช่วยสนับสนุนผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อความถูกต้องมากขึ้น

3. ข้อมูลประชากรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัย ควรเลือกใช้ข้อมูลจำนวนประชากรจริงที่มีความถูกต้องมากกว่าข้อมูลทะเบียนราษฎร เพื่อช่วยให้ผลการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองดีขึ้นได้
4. เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณการได้ของแบบจำลองฯ มีค่าค่อนข้างสูง แต่เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาค่าคลาดเคลื่อนอย่างละเอียดและปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนสูงขึ้นได้

#### 5.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. แนวคิดในการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประชากรในพื้นที่จากการใช้ประโยชน์ที่ดินและสามารถประมาณค่าความหนาแน่นของประชากรได้ค่อนข้างดี
2. ทำให้ทราบขีดจำกัดของซอฟต์แวร์ ArcGIS 10.1 ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความหนาแน่นของประชากรกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความหลากหลายทางตัวแปรจำนวนมาก

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

จังหวัดสุพรรณบุรี (2552). สภาพทั่วไปจังหวัด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.suphanburi.go.th/suphan/ProvinceGeneral.php>. [2556, 10 มิถุนายน].

นิพนธ์ ตั้งธรรม (2525). รายงานผลกระทบของวิวัฒนาการการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อลักษณะและ

คุณภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญอ้อม โฉมทิ (2554). การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple Regression). กรุงเทพฯ: ภาควิชา

สถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรสิน สุภวาลย์ (2556). การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis): การวิเคราะห์การถดถอย

เชิงเส้นพหุ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

พิชญา นิมิตรกุล (2556). "การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรจากข้อมูลการใช้

ประโยชน์ที่ดินโดยวิธีการสถิติเชิงพื้นที่ : กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี." การประชุมวิชาการ

วิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 18, 18: หน้า 49-54.

สถิตย์ วัชรกิตติ (2521). ระบบการแบ่งแยกประเภทการใช้ที่ดิน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการจัดการป่าไม้

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2553). ข้อมูลสถิติ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

[http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/TopTen/Top\\_pophouse.html](http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/TopTen/Top_pophouse.html). [2556, 9

มิถุนายน].

### ภาษาอังกฤษ

Bertaud, A. and S. Malpezzi (2014). "The Spatial Distribution of Population in 57 World

Cities: The Role of Markets, Planning, and Topography." World Bank Research.

Briggs, R. (2010). Spatial Statistics: Introduction to Concepts. ed. H. U. University of

Texas at Dallas, School of Environment and Planning.

Burghes, D. N. and C. Zielinski (2006). "Urban population density models."

International Journal of Mathematical Education in Science and Technology,

10(3): pp. 373-385.

Chen, R.-B. (2005). Regression Models: Polynomial Regression Models. Institute of

Statistics, National University of Kaohsiung.

- Cliff, A. D. and J. K. Ord (1973). "Spatial autocorrelation." *Progress in Human Geography*, 19: pp. 245-249.
- Eicher, C. L. and C. A. Brewer (2001). "Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation." *Cartography and Geographical Information Science*, 28(2): pp. 125-138.
- ESRI (2006). Understanding Spatial Statistics in ArcGIS 9.
- (2012). ArcGIS 10.1 Help : Interpreting Exploratory Regression results.
- Fisher, A. and S. Martinez (2009). "Global Population Distribution Analysis."
- Han, J. and M. Kamber (2006). Data Mining: Concepts and Techniques. University of Illinois at Urbana-Champaign: Morgan Kaufmann.
- Jay, L. and W. S. W. David (2001). Statistical with ArcView GIS. United States of America.
- Lam, N. S.-N. (1983). "Spatial Interpolation Methods: A Review." *The American Cartographer*, 10(2): pp. 129-149.
- Larsen, P. V. (2008). Master of applied statistics: Regression and analysis of variance. University of Southern Denmark.
- Loftin, C. and S. K. Ward (1983). "A Spatial Autocorrelation Model of the Effects of Population Density on Fertility." *American Sociological Review*, 48(1): pp. 121-128.
- Martine, G. (2005). "Population/Development/Environment Trends In A Globalized Context: Challenges For The 21st Century." *Rome*.
- Martori, J. C. and J. Suriñach (2001). "Classical models of urban population density. The case of Barcelona Metropolitan Area." *Congress of the European Regional Science Association*, 41.
- Mennis, J. (2003). "Generating Surface Models of Population Using Dasymetric Mapping." *The Professional Geographer*, 55(1): pp. 31-42.
- Moran, P. A. P. (1950). "Notes on continuous stochastic phenomena." *Biometrika*: pp. 17-23.
- Nelson, J. (2007). Mapping Population Density: Integrating census data and land cover. Tufts University.
- Odland, J. (1988). "Spatial Autocorrelation." *New Bury Tark: CA*, 9.



- Peter, A. R. (2001). Statistical Methods for GeoGraphy. Los Angeles: SAGE.
- Pozzi, F. and C. Small (2002). "Vegetation and Population Density in Urban and Suburban Areas in The U.S.A.". International Symposium of Remote Sensing of Urban Areas.
- Pozzi, F., C. Small and G. Yetman (2002). "Modeling the Distribution of Human Population With Night-Time Satellite Imagery and Gridded Population of the World." Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale. Pecora 15/Land Satellite Information IV Conference.
- Thomas, P. R. (2009). Modern Regression Methods. John Wiley & Sons Inc. New Jersey.
- Tian, Y., T. Yue, L. Zhu and N. Clinton (2005). "Modeling population density using land cover data." Ecological Modelling, 189(1-2): pp. 72-88.
- Tobler, W. R. (1970). "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region." Economic Geography, 46: pp. 234-240.
- Willmott, C. J. and K. Matsuura (2005). "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance." Climate Research, 30: pp. 79-82.
- Wu, S.-s., X. Qiu and L. Wang (2005). "Population Estimation Methods in GIS and Remote Sensing: A Review." GIScience and Remote Sensing, 42(1): pp. 58-74.
- Zhang, J. and Y. Zhu (2011). "The Population Spatial Distribution Model Based on the Spatial Statistics in Shandong Province, China." Geoinformatics, 19: pp. 1-4.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- ชื่อ: นางสาวจิรัฐติกาล ทรัพย์สมบูรณ์
- วันเดือนปีเกิด: 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530
- คุณวุฒิทางการศึกษา:  
 พ.ศ. 2548-2552 วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป  
 สาขาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ประสบการณ์ทำงาน:  
 พ.ศ. 2552-2556 นักสารสนเทศศาสตร์/นักธรณีฟิสิกส์  
 บริษัท แอ็ดวานซ์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแต้นส์ จำกัด
- พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน ผู้ช่วยนักวิจัย (ประจำโครงการ) ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ผลงานทางวิชาการ:บทความตีพิมพ์

จิรัฐติกาล ทรัพย์สมบูรณ์ และ ชรินทร์ ทินนโชติ (2557). "การศึกษาแบบจำลองการกระจายตัวของประชากรด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบสมการถดถอยโพลีโนเมียลกำลังสอง: กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี." การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, 14-16 พฤษภาคม 2557, โรงแรมพลิวแมน ขอนแก่น ราชธานี ออคิด จังหวัดขอนแก่น.