การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากร
สำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยา

นางสาวศุภรา สุขเกษม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELLING OF POPULATION MOVEMENT FOR EPIDEMIOLOGICAL STUDY

Ms. Supara Sukkasem

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยา
โดย	นางสาวศุภรา สุขเกษม
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.วิริชดา ปานงาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ ดร.วิริชดา ปานงาม)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ โคตรจรัส)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.แพทย์หญิง สารนาถ ล้อพูลศรี)

ศุภรา สุขเกษม : การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยา. (DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELLING OF POPULATION MOVEMENT FOR EPIDEMIOLOGICAL STUDY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.เศรษฐา ปานงาม, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ.ดร.วิริชดา ปานงาม, 67 หน้า.

แบบจำลองพื้นฐานในการวิเคราะห์การแพร่ระบาดของโรค SIR เป็นการทำนายการแพร่ระบาดโดยไม่คำนึงถึงข้อมูลทางด้านประชากรศาสตร์ เช่น การเกิด การตาย และการย้ายถิ่น ซึ่งในความเป็นจริงประชากรมีการเดินทางอยู่ตลอดเวลา ผู้เป็นพาหะของโรคสามารถแพร่เชื้อจากพื้นที่หนึ่งไปยังอีกพื้นที่หนึ่งได้ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรเพื่อทำนายการแพร่ระบาดของโรคในประเทศไทยทั้งในระยะสั้นและระยะยาวโดยการนำข้อมูลการย้ายเข้า ย้ายออก อัตราการเกิด อัตราการตายของประชากรไทย รวมไปถึงการแพร่ระบาดเมื่อเพิ่มปัจจัยของวันหยุดเทศกาลมาพิจารณาในแบบจำลอง ผลจากการทดสอบการคำนวณการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธ์ใหม่ชนิดเอในปี พ.ศ. 2552 จากแบบจำลองโดยเทียบกับข้อมูลผู้ป่วยจริงในระยะเวลาหนึ่งปีทั้งในรายภาคและรายจังหวัด พบว่าสัปดาห์ที่เริ่มมีการแพร่ระบาดมีความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลจริงประมาณสองสัปดาห์ และสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงประมาณสองสัปดาห์ ในขณะที่การคำนวณจำนวนผู้ป่วยสูงสุดโดยแบบจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนสูง แบบจำลองที่ได้รับการปรับปรุงและนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงผลกระทบของการเคลื่อนย้ายประชากรต่อการระบาดของโรค หากจะนำไปใช้ในการทำนายการระบาดของโรคใดโรคหนึ่งจึงควรมีการพัฒนาในระดับต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต..

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..................

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.................

537 05012 21 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS : simulation / mathematical modelling / population / population movement

SUPARA SUKKASEM: DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELLING OF POPULATION MOVEMENT FOR EPIDEMIOLOGICAL STUDY. ADVISOR: ASST.PROF. SETHA PAN-NGUM PH.D., CO-ADVISOR: WIRICHADA PAN-NGUM PH.D., 67 pp.

The simplest modelling for analyzing infectious disease called the SIR model ignores population demography such as births, deaths and migration. In fact people have interaction between subpopulation all the time and carriers of disease increase from one person to another. This research aims to simulate the migration population of Thailand to estimate infectious diseases in short and long term for one year. We added three terms of demography, statistic of emigration and immigration of population for migration rate by province, birth and death rate of Thailand and festive migration in Thailand holiday into the model. The model was evaluated against the Thai epidemic of H1N1 in 2009 on both levels of regions and provinces. We found that the spread of infectious predicted by the model was two week slower than the actual report. While the number of sick people predicted by the model was significantly different from the data. The week of peak number of infectious predicted by the model was within two week difference compared with the actual report. The research has demonstrated the importance of population movement in modelling of infectious disease. The model still requires further adjustments to reach high level of accuracy for quantitative prediction.

Department : Computer Engineering	Student's Signature ....
Field of Study : Computer Engineering	Advisor's Signature ....
Academic Year : 2011	Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความเมตตา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เศรษฐา ปานงาม และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร.วิริชดา ปานงาม ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการศึกษา ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านผู้อยู่เบื้องหลังการให้ทุนสนับสนุนโครงการเพิ่มศักยภาพสู่ความเป็นเลิศทางด้านวิศวกรรม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ ในการช่วยเหลือค่าเล่าเรียนในระหว่างที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิษณุ คนองชัยยศ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ โคตรจรัส, อาจารย์ ดร.แพทย์หญิง สารนาถ ล้อพูลศรี และ อาจารย์ ดร.ปัทพร สุคนธมาน ที่ได้ให้คำแนะนำและแนวคิดอันมีคุณค่าในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ทีมงานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทุกท่าน จาก The Mahidol Oxford Tropical Medicine Research Unit (MORU) ที่ได้ให้โอกาส คำแนะนำ และประสบการณ์ที่ดีจากการวิจัย ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อคอมพิวเตอร์ และห้องปฏิบัติการในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณเพื่อน พี่และอาจารย์ในห้องปฏิบัติการ สำหรับการต้อนรับและข้อแนะนำที่ดี ขอขอบคุณคุณปีเตอร์ ไดตันเมสัน ผู้ให้คำแนะนำในด้านภาษาอังกฤษ และความดีอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดา มารดา ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านที่ได้กล่าวถึง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ... จ
กิตติกรรมประกาศ.. ฉ
สารบัญ... ช
สารบัญตาราง.. ฌ
สารบัญรูป... ญ

บทที่ 1 บทนำ.. 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.. 2
ขอบเขตของการวิจัย.. 2
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.. 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง... 4
2.1 ประชากร.. 4
2.1.1 ทฤษฎีประชากรโดยทั่วไป.. 4
2.1.2 องค์ประกอบของประชากร... 4
2.1.3 การกระจายและความหนาแน่นของประชากร.. 5
2.1.4 โครงสร้างประชากร... 8
2.1.5 องค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงของประชากร...................................... 11
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.. 13
2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบาดวิทยาและการเคลื่อนย้ายประชากร.......... 14
2.4 แบบจำลองเชิงพื้นที่ 15
2.5 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.. 17
2.5.1 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.. 17

หน้า

2.5.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และระบาดวิทยา.. 18

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 20

3.1 แบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากร.. 20

3.2 แบบจำลองทางระบาดวิทยากับการเคลื่อนย้ายประชากร.. 24

บทที่ 4 แนวทางการวิจัย.. 31

4.1 การสร้างแบบจำลอง.. 32

4.1.1 วิธีการคำนวณอัตราการย้ายถิ่นของประชากรรายจังหวัด................................ 32

4.1.2 สร้างแบบจำลองวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายประชากรด้วย MatLab และ R.......... 33

4.2 การปรับปรุงแบบจำลอง.. 35

4.2.1 การใช้ข้อมูลอัตราการเกิด และการตายของประชากรไทย............................... 35

4.2.2 การเดินทางตามเทศกาลต่างๆของประเทศไทย... 39

4.2.3 การเดินทางไปกลับระหว่างวัน... 41

4.2.4 ข้อมูลของแบบจำลอง... 42

บทที่ 5 การทดลองและสรุปผล.. 45

5.1 แบบจำลองเพื่อการศึกษาทางระบาดวิทยาของไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ......... 46

5.1.1 การเปรียบเทียบแบบรายภาค.. 50

5.1.2 การเปรียบเทียบแบบรายจังหวัด.. 52

5.2 แหล่งที่มาของข้อมูล.. 62

รายการอ้างอิง... 63

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์... 67

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความหนาแน่นของประชากร.. 6
ตารางที่ 2 รูปแบบค่าตัวแปรสำหรับใช้ในแบบจำลอง.. 43
ตารางที่ 3 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง.. 46
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง........................ 51
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง......................... 51
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบอัตราการป่วยจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง..................................... 52
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยแบบรายจังหวัด.. 53
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลลัพธ์สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดแบบรายจังหวัด................................ 54
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบอัตราการป่วยแบบรายจังหวัด.. 56

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของประชากรในระบบเปิด.. 5

รูปที่ 2.2 ความหนาแน่นประชากรระดับจังหวัดจากสำมะโนประชากรและเคหะปี พ.ศ. 2543.. 6

รูปที่ 2.3 กราฟปิรามิดประชากรแสดงโครงสร้างประชากรในลักษณะต่างๆ...................... 9

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างโครงสร้างของประชากรของประเทศไทยปี พ.ศ. 2503-2563 10

รูปที่ 2.5 เริ่มต้นการบันทึกการแพร่กระจายของโรคพิษสุนัขบ้าในนิวยอร์ก........................ 15

รูปที่ 2.6 การแพร่ระบาดของโรคพิษสุนัขบ้าในนิวยอร์ก.. 16

รูปที่ 2.7 ภาพข้อมูลที่ถูกจัดเก็บเป็นชั้นภายในคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมโยงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์.. 17

รูปที่ 2.8 การเสียชีวิตด้วยโรคพิษสุนัขบ้าในประเทศไทย พ.ศ. 1994-2003....................... 18

รูปที่ 3.1 ระบบเครือข่ายแสดงการเดินทางของประชากรจากที่หนึ่งไปสู่สามจุดหมายปลายทาง... 24

รูปที่ 3.2 การย้ายถิ่นออก การย้ายถิ่นเข้าและระดับการแพร่ระบาดของมาลาเรียพลาสโมเดียม ฟาลซิปารัมในแอฟริกาและคาบสมุทรอาหรับ............................... 27

รูปที่ 3.3 การเคลื่อนย้ายของประชากรที่มีความเชื่อมต่อกันโดยแสดงด้วยค่าสีที่แตกต่างกัน... 27

รูปที่ 4.1 แนวทางการวิจัย... 31

รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการหาอัตราการย้ายถิ่นของประชากรไทยรายจังหวัด........................ 33

รูปที่ 4.3 การแสดงผลเบื้องต้นจากการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับศึกษาทางระบาดวิทยา.. 34

รูปที่ 4.4 สมการ SIR Metapopulation บน Matlab ของ Keeling.. 35

รูปที่ 4.5 ปรับฟังก์ชั่นในการคำนวณของแบบจำลองเมื่อเพิ่มปัจจัยอัตราการเกิด และอัตราการตายของประชากร.. 37

รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่พิจารณา และไม่พิจารณาปัจจัยการเกิด การตาย แบบรายภาค... 38

รูปที่ 4.7 ปรับฟังก์ชั่นสำหรับใช้ในการคำนวณการเคลื่อนย้ายตามเทศกาล........................ 39

หน้า

รูปที่ 4.8 กำหนดค่าตัวแปรสำหรับการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล………….......... 40
รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบของการคำนวณโดยพิจารณา และไม่พิจารณาการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล……………………... 41
รูปที่ 4.10 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยา………………………………………………….................................. 42
รูปที่ 5.1 จำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ (H1N1) ปี พ.ศ. 2552 แบบรายภาค... 45
รูปที่ 5.2 แผนที่แสดงผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่รายภาคและรายจังหวัดในปี พ.ศ. 2552 จากการคำนวณโดยแบบจำลอง C... 49
รูปที่ 5.3 กราฟผลลัพธ์จากแบบจำลอง A... 49
รูปที่ 5.4 กราฟผลลัพธ์จากแบบจำลอง B.. 49
รูปที่ 5.5 จำนวนผู้ป่วยและระยะของการเกิดไข้หวัดใหญ่ในปี พ.ศ. 2552 จากการคำนวณโดยแบบจำลอง C.. 50
รูปที่ 5.6 สัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยจากแบบจำลองกับข้อมูลผู้ป่วยจากสถิติแบบรายจังหวัด.... 53
รูปที่ 5.7 สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดจากแบบจำลองกับข้อมูลผู้ป่วยจากสถิติแบบรายจังหวัด..... 54
รูปที่ 5.8 อัตราการป่วยจากแบบจำลองแบบรายจังหวัด.. 55
รูปที่ 5.9 อัตราการป่วยจากข้อมูลสถิติแบบรายจังหวัด... 55
รูปที่ 5.10 การแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ปี พ.ศ. 2552 โดยคำนวณจากแบบจำลอง และกำหนดให้มีผู้ป่วยเริ่มต้นที่กรุงเทพมหานคร……………………………………… 58
รูปที่ 5.11 การเตรียมข้อมูลสำหรับทำนายการแพร่ระบาดของโรคในอนาคต………………….. 59
รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ.2560……………………………………………………………… 60

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความรู้ทางการแพทย์สามารถควบคุม ป้องกัน และกำจัดโรคระบาดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากในปัจจุบัน การศึกษาทางด้านระบาดวิทยาช่วยให้เข้าใจการกระจายและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคในประชากร สามารถประมาณอัตราการป่วย และอัตราการตาย เข้าใจถึงลักษณะตามธรรมชาติของโรค และระบุสาเหตุของโรค โดยการสังเกตการเกิดโรคตามธรรมชาติ การวิเคราะห์ทางสถิติ และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งนำไปสู่การเฝ้าระวัง และควบคุมการระบาดอย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตามการกำจัดโรคหนึ่งให้หมดไปยังมีปัจจัยที่เป็นอุปสรรคบางประการ เช่น การเคลื่อนย้ายของประชากร ซึ่งแม้ว่าโรคระบาดจะหมดไปจากพื้นที่หนึ่ง แต่ในความเป็นจริงการเคลื่อนที่ของประชากรจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งเกิดขึ้นตลอดเวลา และการเดินทางของผู้ติดเชื้อหรือเป็นพาหะสามารถแพร่เชื้อไปสู่ผู้อื่น อันเป็นสาเหตุให้โรคติดต่อนั้นยังคงมีอยู่ เป็นต้น โดยเฉพาะในปัจจุบัน การเดินทาง การคมนาคมมีความสะดวกมากขึ้นและค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก เช่น การเดินทางโดยเครื่องบินระหว่างประเทศ รถตู้มวลชน ทำให้คนเดินทางเพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายประชากรส่งผลในการแพร่กระจายของโรคระบาดจากชุมชนหนึ่งไปยังอีกชุมชนหนึ่งเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นการศึกษาเพื่อให้เข้าใจและสามารถทำนายการเคลื่อนย้ายของประชากรด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น การย้ายบ้าน การท่องเที่ยว การเดินทางไปทำงาน เป็นต้น และนำไปประยุกต์ให้เข้ากับการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาจะสามารถช่วยแก้ปัญหา และลดการแพร่ระบาดของโรคจากกลุ่มคนซึ่งมีการเดินทาง หรือย้ายถิ่นฐาน และนำโรคติดต่อมาสู่ประชากรในพื้นที่อื่นได้ใกล้เคียงความเป็นจริงยิ่งขึ้น

แม้ว่างานวิจัยจำนวนหนึ่งได้วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากรควบคู่ไปกับการระบาดของโรค [1, 2, 3] แต่รูปแบบการจำลองการเคลื่อนย้ายของประชากรดังกล่าวยังไม่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับประเทศไทย ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์กับโรคอื่น ๆ หรือเมื่อสภาพภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงไป

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการทำนายการเคลื่อนย้ายของประชากร เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ และแสดงถึงความแตกต่างในการเคลื่อนย้ายของประชากรในแต่ละพื้นที่ด้วยปัจจัยที่แตกต่างกัน โดยสามารถกำหนดปัจจัยต่างๆตามความเหมาะสม เช่น อายุ เพศ สภาพภูมิประเทศ อาชีพ และความหนาแน่นของประชากร เป็นต้น เพื่อให้สามารถทำนายผลได้ตามความเหมาะสมของโรคที่สนใจ โดยการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้เน้นความสนใจไปที่การพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทย โดยสามารถกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับโรคที่ต้องการวิเคราะห์ และใช้ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่มีรองรับอยู่แล้ว ซึ่งมีความละเอียด สามารถแปลและสื่อความหมายได้ง่าย มาใช้ประกอบในแบบจำลอง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและทันยุคทันสมัยยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของประชากรภายในประเทศไทยในระดับจังหวัดโดยมุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้ในเชิงระบาดวิทยาและแสดงข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ขอบเขตของการวิจัย

1. จำลองพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทยเท่านั้น
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของประชากรไม่รวมถึงปัจจัยทางธรรมชาติซึ่งไม่สามารถทำนายการเกิดล่วงหน้าได้
3. แสดงข้อมูลในระดับภาคและระดับจังหวัด
4. แบบจำลองจะทำนายในหน่วยเวลาเป็น (วัน เดือน ปี)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของประชากร ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้ายประชากร และความสัมพันธ์ของการเคลื่อนย้ายประชากรกับการแพร่ระบาดของโรคติดต่อ เช่น ไข้หวัด มาลาเรีย ไข้เลือดออก เป็นต้น

2. ศึกษาการการอ่านข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง
3. ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของประชากร
4. ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น กับข้อมูลประชากรทางสถิติในระยะ 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2552
5. สรุปผลการพัฒนาแบบจำลอง และนำเสนอแนวทางการนำไปใช้ในทางระบาดวิทยา และการปรับแบบจำลองเพื่อไปใช้กับข้อมูลของประเทศอื่นๆ หรือใช้ในระดับทวีป
6. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย ซึ่งสามารถระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายของประชากร
2. เป็นต้นแบบในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายของประชากร เพื่อนำไปใช้ในงานอื่นๆ นอกเหนือจากระบาดวิทยา
3. ได้แบบจำลองที่ส่งเสริมให้การศึกษาการแพร่ระบาดของโรคติดต่อใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น ทำให้การวางแผนยุทธวิธีการเฝ้าระวัง และป้องกันการระบาดของโรคมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการ ในหัวข้อเรื่อง “Simulation of Thai Population Migration for Epidemiological Study” โดย ศุภรา สุขเกษม , เศรษฐา ปานงาม และ วิริชดา ปานงาม ในงานประชุมวิชาการของ “2011 International Conference on Computer and Computational Intelligence (ICCCI 2011)” ที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในระหว่างวันที่ 2-3 ธันวาคม พ.ศ. 2554

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 **ประชากร** (Population)

ในทางระบาดวิทยาความเข้าใจเรื่องประชากรถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการศึกษาเกี่ยวกับโรคติดต่อ การเปลี่ยนแปลงของประชากรมีผลต่อการแพร่ระบาดของเชื้อโรค ทั้งนี้รวมไปถึงการรวมกลุ่มของประชากร สภาพแวดล้อมของแหล่งที่อยู่อาศัยและความหนาแน่น ซึ่งโรคแต่ละโรคนั้นจะมีปัจจัยที่ต้องนำไปพิจารณาแตกต่างกันไป เช่นไข้หวัดใหญ่ สามารถติดต่อระหว่างบุคคล ปัจจัยที่นำมาพิจารณาคือความใกล้ชิดของบุคคล ความถี่ในการติดต่อ และระยะเวลาในการติดต่อ ส่วนมาลาเรีย สามารถติดต่อโดยสัตว์ที่เป็นพาหะ จึงให้ความสนใจในเรื่องของยุง พื้นที่ป่าไม้และแม่น้ำ เป็นต้น

2.1.1 **ทฤษฎีประชากรโดยทั่วไป**

ประชากรศาสตร์ (Demography) เป็นการศึกษาเชิงปริมาณเกี่ยวกับประชากร โดยใช้ข้อมูลจากการสำมะโนประชากร (Census) เพื่อศึกษาจำนวนของประชากร ความหนาแน่นของประชากร และการกระจายตัวของประชากร [4]

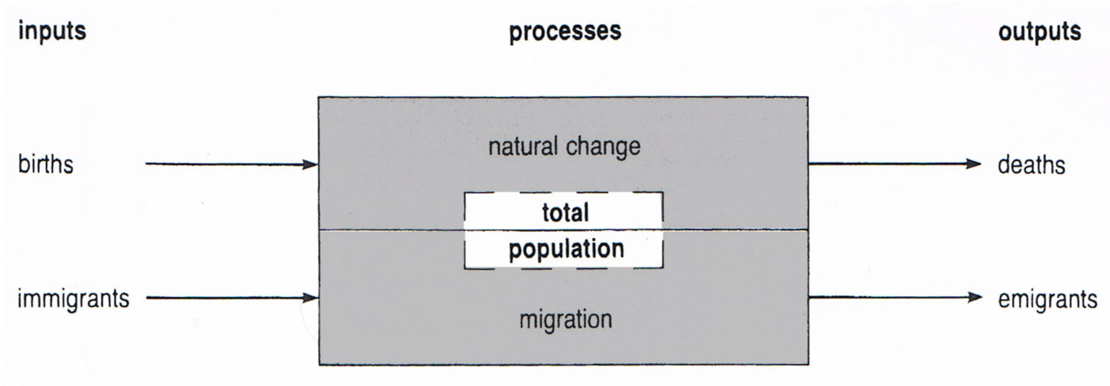
ราชบัณฑิตยสถาน [5] ให้คำนิยามของคำว่า “ประชากร” ไว้ 2 ความหมายดังนี้

- ในวิชาประชากรศาสตร์ (Demography) หมายถึง จำนวนคนทั้งหมดในพื้นที่แห่งหนึ่งในช่วงระยะเวลา หนึ่งหรือในขณะใดขณะหนึ่ง
- ในวิชาสถิติ หมายถึง คน หรือ สัตว์ หรือ สิ่งของ ซึ่งอยู่ในข่ายที่จะได้รับการศึกษา หรือสุ่มตัวอย่าง

2.1.2 **องค์ประกอบของประชากร** (Population composition)

องค์ประกอบของประชากร หมายถึง ลักษณะที่สำคัญทางสังคมและองค์ประกอบทางชีวภาพของประชากร เช่น เพศ อายุ เชื้อชาติ ที่อยู่อาศัย สถานภาพสมรส ขนาดครัวเรือน อาชีพ

และรายได้ เป็นต้น [4] ตัวอย่างเหล่านี้มีผลต่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่หนึ่งๆที่เราสนใจ โดยทั่วไปการศึกษาอัตราการเติบโตของประชากร สามารถพิจารณาได้จาก อัตราการเกิด อัตราการตาย และการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ [6] ซึ่งแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของประชากรในระบบเปิดดังรูปที่ 2.1

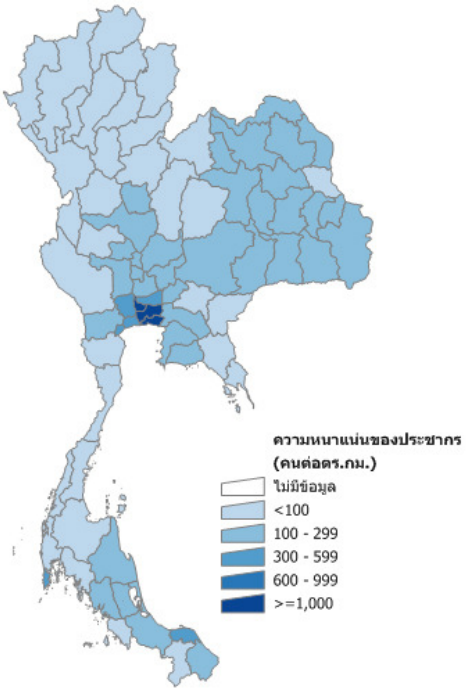


รูปที่ 2.1 **การเปลี่ยนแปลงของประชากรในระบบเปิด** [6]

ในสังคมหนึ่ง ๆ สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงของประชากรดังรูปที่ 2.1 ในขณะที่มีประชากรเกิดในสังคม ก็จะมีประชากรจำนวนหนึ่งที่ตายไป รวมไปถึงการย้ายถิ่นมีการย้ายเข้าและย้ายออก ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อการศึกษาถึงความหนาแน่นของประชากร และโอกาสการแพร่ระบาดของโรค

2.1.3 **การกระจายและความหนาแน่นของประชากร**

การกระจายและความหนาแน่นของประชากร เป็นการวัดปริมาณประชากรในหน่วยพื้นที่หนึ่ง ๆ ซึ่งสำรวจจากกลุ่มตัวอย่าง โดยหน่วยที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นของประชากร ได้แก่จำนวนประชากรต่อตารางกิโลเมตร หรือจำนวนครัวเรือนต่อตารางกิโลเมตร โดยการนำเสนอข้อมูลสถิติเชิงพื้นที่ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความหนาแน่นประชากรระดับจังหวัดจากสำมะโนประชากรและเคหะปี พ.ศ. 2543 [7]

จากรูปที่ 2.2 การนำเสนอข้อมูลสถิติเชิงพื้นที่แสดงให้เห็นภาพการกระจายตัว หรือการกระจุกตัวได้ชัดเจน และเข้าใจง่าย มากกว่าการพิจารณาจากตารางสถิติ สามารถใช้ประโยชน์ในการวางแผน กำหนดนโยบาย การติดตามประเมินผลโครงการ การจัดสรรงบประมาณ ในระดับท้องถิ่น ตลอดจน การบริหารจัดการเชิงพื้นที่

การเข้าใจถึงลักษณะโดยทั่วไปของการรวมกลุ่มหรือการกระจายของประชากรมีส่วนสำคัญในการสร้างแบบจำลองที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของประชากร ปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งนำไปสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นของประชากรที่แตกต่างกันสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยต่าง ๆที่มีผลต่อความหนาแน่นของประชากร [6]

	บริเวณที่มีประชากรเบาบาง	**บริเวณที่มีประชากรหนาแน่น**
ลักษณะทางกายภาพ	- พื้นที่ขรุขระบริเวณภูเขาไฟ การลดลงของอุณหภูมิ และความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเลซึ่งเป็นอุปสรรคในการพัฒนา - ที่ราบสูง บริเวณที่สูงมากๆ เช่น ทิเบต (Tibet)	- ที่ราบ, พื้นที่ต่ำและกว้าง สวยงามเป็นที่น่าดึงดูดสำหรับชุมชนเล็กๆ ในบางพื้นที่ล้อมรอบด้วยภูเขาไฟ เช่น เอทนา (Etna)

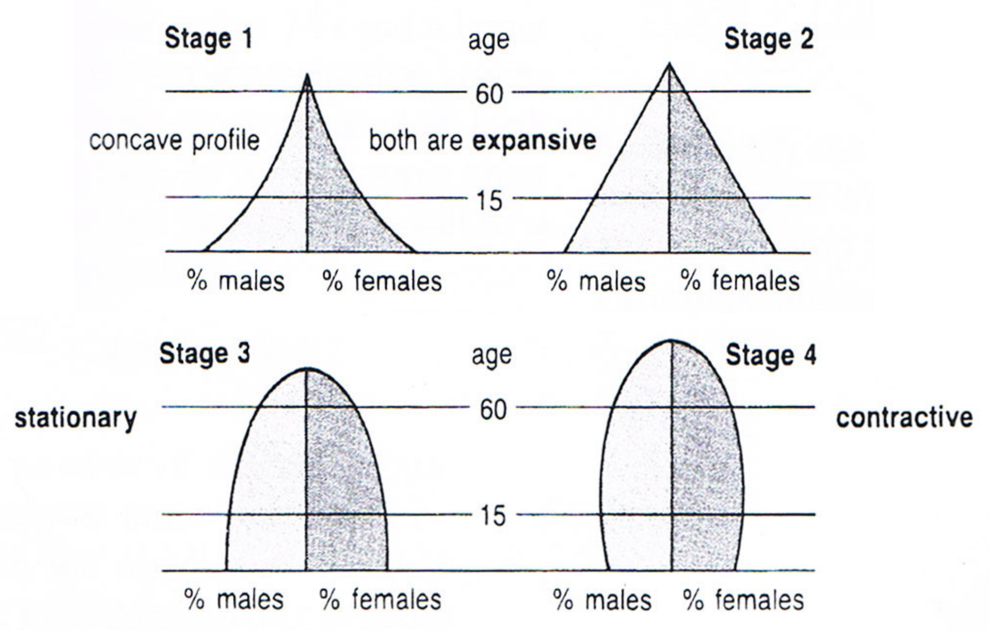
	บริเวณที่มีประชากรเบาบาง	บริเวณที่มีประชากรหนาแน่น
สภาพอากาศ	- ในระหว่างปีมีฝนตกน้อย - มีฤดูแล้งที่ยาวนาน ฝนตกไม่สม่ำเสมอ - มีความชื้นสูง หรือมีอุณหภูมิต่ำตลอดทั้งปี	- มีฝนตกสม่ำเสมอ อุณหภูมิไม่รุนแรง มีฤดูกาลเพาะปลูกนาน - มีสภาพอากาศที่ดึงดูดนักท่องเที่ยว
พื้นที่ป่าไม้	- ป่าสนและป่าหนาทึบมีผู้อาศัยอยู่อย่างถาวรค่อนข้างน้อย	- บริเวณทุ่งหญ้ามีแนวโน้มที่จะมีประชากรหนาแน่นกว่าบริเวณที่เป็นป่าทึบหรือทะเลทราย
ดิน	- พื้นที่ขนาดใหญ่แต่ดินไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก รวมไปถึงดินบริเวณขั้วโลก ดินบนภูเขาและป่าทึบ - พื้นที่ที่เกิดการพังทลายของดินอย่างรุนแรงจากการตัดไม้ทำลายป่า	- ดินที่เกิดจากการสลายตัวของพืชและสัตว์ ซึ่งเหมาะแก่การเพาะปลูก
แหล่งน้ำ	- มีแหล่งน้ำที่ไม่สะอาด	- ประชากรส่วนมากชอบอยู่ในบริเวณที่มีแหล่งน้ำสะอาด และสามารถใช้น้ำสะอาดได้ตลอดทั้งปี
โรคและสัตว์	- บริเวณที่มีโรคหรือมีสัตว์ ซึ่งเป็นพาหะนำโรค อาจจะถูกจำกัดบริเวณที่อยู่อาศัยหรือลดจำนวนประชากรบริเวณนั้นๆ	- บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคน้อย หรือมีผู้ที่มีความชำนาญทางการแพทย์
ทรัพยากร	- บริเวณพื้นที่ที่ขาดแคลนแร่ธาตุและแหล่งพลังงาน	- บริเวณที่เต็มไปด้วยแร่ธาตุและแหล่งพลังงาน ซึ่งสามารถทำอุตสาหกรรมได้
การสื่อสารและคมนาคม	- พื้นที่ซึ่งห่างไกลและยากต่อการติดต่อสื่อสาร เช่น ภูเขา ป่า และทะเลทราย	- บริเวณที่มีการคมนาคมสะดวก สามารถติดต่อกับคนภายในประเทศและต่างประเทศได้ง่าย

	บริเวณที่มีประชากรเบาบาง	บริเวณที่มีประชากรหนาแน่น
เศรษฐกิจ	- มีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจน้อย มีพื้นที่กว้าง แต่สามารถรองรับจำนวนประชากรได้น้อย	- พื้นที่ซึ่งมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม และสามารถรองรับคนจำนวนมากๆในพื้นที่จำกัด
การเมือง	- รัฐที่มีความล้มเหลวทางด้านการเงิน หรือการสนับสนุนทางด้านการพัฒนาสิ่งต่างๆ รวมไปถึงความล้มเหลวทางด้านเศรษฐกิจและสังคม	- การพัฒนาสิ่งต่างๆมีผลต่อการกระจายของประชากร เช่น การสร้างเมืองใหม่ หรือการริเริ่มสิ่งใหม่ๆ

การเปรียบเทียบจากตารางที่ 1 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เศรษฐกิจและการเมืองมีผลต่อความหนาแน่นของประชากรซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือบริเวณที่มีประชากรเบาบาง และบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น โดยสภาพแวดล้อมของบริเวณต่าง ๆ เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ซึ่งมีผลต่อการย้ายถิ่นฐานของประชากร

2.1.4 **โครงสร้างประชากร**(Population Structure)

การเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากอัตราการเกิด อัตราการตาย เป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาลักษณะการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของประชากร การศึกษาโครงสร้างประชากรของประเทศหนึ่ง ๆ จะพิจารณา เพศและอายุไปพร้อม ๆ กัน โดยแสดงในรูปของกราฟปิรามิดประชากร (Population pyramid) แต่ละแท่งกราฟปิรามิดจะแสดงถึงกลุ่มประชากร (Age cohort) เป็นจำนวนร้อยละ โดยกำหนดให้ด้านซ้ายเป็นข้อมูลอายุของเพศชายและด้านขวาเป็นข้อมูลอายุของเพศหญิง [6] แสดงให้เห็นอัตราส่วน และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากรในอนาคต ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถทำนายได้ว่าในอนาคตโครงสร้างประชากรของสังคมจะเป็นเช่นใด



รูปที่ 2.3 **กราฟปิรามิดประชากรแสดงโครงสร้างประชากรในลักษณะต่างๆ** [6]

รูปที่ 2.3 โครงสร้างประชากร ระยะที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างประชากรที่มีอัตราการเกิดสูง มีอัตราการตายสูงทำให้ผู้ที่มีอายุมากขึ้น ลดลงอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาของการมีชีวิตอยู่สั้น ระยะที่ 2 ยังคงมีอัตราการเกิดสูง มีอัตราการตายมากในวัยกลางคน ช่วงเวลาของการมีชีวิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ระยะที่ 3 มีอัตราการเกิดลดลง อัตราการตายต่ำ ประชากรส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุที่มากขึ้น ระยะที่ 4 อัตราการเกิดต่ำ อัตราการตายต่ำ ช่วงเวลาการมีชีวิตยาวขึ้น ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศและมีผลต่อลักษณะเฉพาะของโรคระบาดที่แตกต่างกัน

ประชากรในประเทศไทย

ประชากรไทยมีทั้งหมดประมาณ 64 ล้านคน ประมาณ 9.3 ล้านคนอาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล 94% ของประชากรเป็นชาวพุทธที่พูดภาษาไทย และไทยก็เป็นภาษาทางการของประเทศ มีภาษาท้องถิ่นสี่ภาษาที่ใช้พูดกันในภาคกลาง เหนือ ใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือ [8]

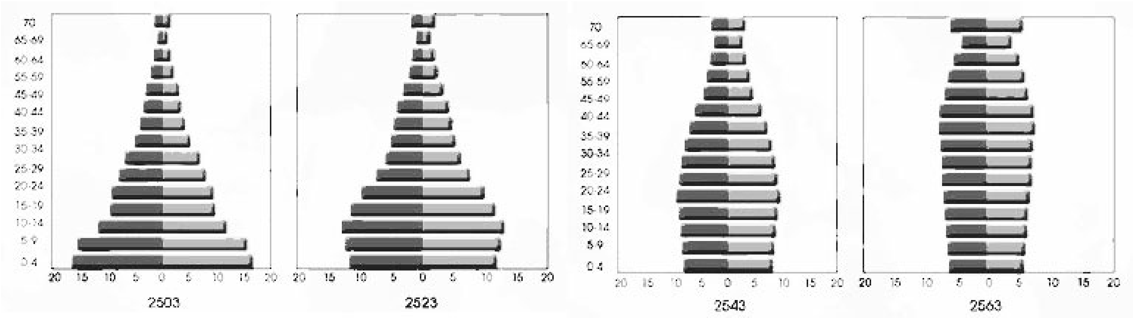
นับตั้งแต่ พ.ศ. 2390 จนถึงสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง มีกลุ่มผู้อพยพจากจีนย้ายถิ่นฐานเข้ามาอยู่ในประเทศไทยอย่างไม่ขาดสาย และสร้างตัวจากอาชีพค้าขายและงานช่างฝีมือทั่วประเทศ ปัจจุบันมีประชากรเชื้อสายจีนคิดเป็น 10-15% ของประชากรทั้งหมด ซึ่งคนเหล่านี้ได้ซึมซับวัฒนธรรมไทยและพูดภาษาไทย

กรุงเทพฯ เป็นเมืองหลวงของไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2325 ซึ่งเป็นเขตเมืองที่สำคัญที่สุดในประเทศไทย รายได้ต่อหัวในกรุงเทพฯ มากกว่าสามเท่าของ จังหวัดใหญ่ที่สุดรองจากกรุงเทพฯ เช่นนครราชสีมาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีประชากรเพียง 2.5 ล้านคน

แนวโน้มประชากร

ในช่วงเวลากว่า 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ประชากรของประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อัตราการเพิ่มประชากรลดลงจากระดับสูง คือ ประมาณร้อยละ 3.0 ต่อปี ในช่วงปี พ.ศ. 2503 มาสู่ระดับที่ค่อนข้างต่ำ ประมาณร้อยละ 1.1 ต่อปี เมื่อพิจารณาจากภาวะการตาย จะเห็นได้ว่า การลดระดับการตายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่องตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 ขณะที่ภาวะเจริญพันธุ์ หรือภาวะการเกิดนั้นยังคงอยู่ในระดับสูง เป็นเหตุให้จำนวนประชากรไทยในอดีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันอัตราการตายของประชากรของประเทศ ได้ลดลงมาอยู่ในระดับประมาณ 5-6 ต่อประชากรพันคนต่อปี [9]

ประชากรในประเทศไทยมีลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบจากอดีตที่ผ่านมา ดังรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นโครงสร้างของประชากรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 และแนวโน้มของประชากรในปี พ.ศ. 2563 เห็นได้ว่าประชากรในวัยเด็กมีสัดส่วนลดลง แต่ประชากรในวัยกลางคนและผู้สูงอายุมีจำนวนมากขึ้น



รูปที่ 2.4 **ตัวอย่างโครงสร้างของประชากรของประเทศไทยปี พ.ศ.** 2503-2563 [9]

การลดลงของภาวะการตายของประชากรไทยเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ ส่วนหนึ่งเป็นผลจากการนำเอาวิทยาการทางการแพทย์สมัยใหม่มาใช้ และการดำเนินงานทางด้านการสาธารณสุข ไม่ว่าจะเป็นการขยายบริการทางการแพทย์ หรือการมีโครงการสาธารณสุขขั้นมูลฐาน

และการดำเนินการควบคุมโรคติดต่อที่สำคัญ อีกส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการศึกษาและความสามารถในการใช้จ่ายทางด้านป้องกันสุขภาพมากขึ้น

จากความเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของประชากรในประเทศไทยปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2563 ส่งผลให้การย้ายถิ่นของประชากรมีความเปลี่ยนแปลงไป โดยผู้อพยพส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงวัยรุ่นถึงวัยกลางคน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงจำนวนผู้อพยพย้ายถิ่นที่เพิ่มมากขึ้น

2.1.5 องค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงของประชากร

องค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงของประชากรมีส่วนสำคัญในการทำนายความหนาแน่นของประชากรที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละพื้นที่ด้วยปัจจัยที่แตกต่างกันไป เพื่อช่วยให้แบบจำลองการเคลื่อนย้ายของประชากรใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จึงต้องอาศัยความรู้พื้นฐานเหล่านี้ในการระบุเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการย้ายถิ่นฐานซึ่งมีส่วนในการก่อให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคติดต่อ

2.1.5.1 การเกิด (Birth)

ภาวะเจริญพันธุ์ (Fertility) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยทางสังคมและชีวภาพที่มีผลต่อการเกิดของประชากร ซึ่งโดยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับปัจจัยทางชีวภาพมากกว่า โดยจะศึกษาถึงอัตราการเจริญพันธุ์จากสตรีในช่วงอายุ 14-44 ปี หรือ 15-49 ปี [4]

อัตราเกิด (Birth rate) หมายถึง จำนวน คนเกิดในเขตพื้นที่หนึ่งหรือในกลุ่ม ประชากรหนึ่งในเวลา 1 ปี ต่อประชากร 1,000 คน [4] ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

จำนวนเด็กเกิดที่มีชีวิตอยู่ในปีนั้น x 1,000 คน/จำนวนประชากรกลางปี (หรือเฉลี่ย)

2.1.5.2 การตาย (Mortality)

อัตราตาย (Death rate) หมายถึง จำนวนคนตายในเขตพื้นที่หนึ่ง หรือในกลุ่มประชากรหนึ่งในระยะเวลา 1 ปี ต่อ ประชากร 1,000 คน [4] ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

จำนวนคนตายทั้งหมดใน1ปี x1,000 คน/จำนวนประชากรกลางปี(หรือเฉลี่ย)

อัตราการตายของเด็กเกิดใหม่ (Neonatal mortality rate) หมายถึง อัตราการตายของเด็กที่มีอายุน้อยกว่า 1 เดือน ส่วนอัตราการตายของทารก (Infant mortality rate) คือ อัตราการตายของเด็กที่มี อายุน้อยกว่า 1 ปี [4]

ระยะเวลาของการมีชีวิตอยู่ (Life expectancy) หมายถึง อายุโดยเฉลี่ยของประชากรที่คาดว่าจะมีชีวิตอยู่ ส่วน อายุขัย (Life span) คือ อายุสูงสุดของ ประชากรที่มีชีวิตอยู่ [4]

2.1.5.3 **การย้ายถิ่น** (Migration)

การย้ายถิ่น หมายถึง การเคลื่อนย้ายทางประชากรจากพื้นที่หนึ่งไปอยู่ยังอีกพื้นที่หนึ่ง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากร

การย้ายถิ่นเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงประชากร มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและขนาดของประชากร รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านสังคม เศรษฐกิจ การเมือง และ วัฒนธรรม [10] ในแต่ละวันมีการเดินทางและการเปลี่ยนแปลงของประชากรอยู่ตลอดเวลา ซึ่งมีสาเหตุและปัจจัยในการเดินทางแตกต่างกันตามแบบจำลองการย้ายถิ่นของ Ravenstein [11]

Ravenstein กล่าวถึงกฎการย้ายถิ่นเจ็ดข้อ ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยที่ทำให้ประชากรย้ายถิ่นในประเทศอังกฤษ ปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญต่อความเข้าใจพฤติกรรมการย้ายถิ่นซึ่งในบางส่วนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการระบุเงื่อนไขของแบบจำลองการย้ายถิ่นของประชากรไทย ดังนี้

1. ผู้อพยพส่วนใหญ่เดินทางระยะสั้นและมีการเดินทางลดลงเมื่อระยะทางมากขึ้น
2. ลักษณะของการเคลื่อนย้าย เมื่อมีกลุ่มที่ย้ายออกไปจะมีอีกกลุ่มย้ายเข้ามา
3. ประชากรที่ย้ายออกจะแปรผกผันกับประชากรใหม่ที่เดินทางเข้ามา
4. การย้ายถิ่นส่วนใหญ่จะคำนึงถึงสองทาง คือการย้ายเข้า และการย้ายออก โดยอัตราการย้ายเข้าหรือออกสุทธิจะมีความสมดุลกัน
5. การเดินทางเป็นระยะเวลานานๆ ส่วนมากผู้อพยพจะหยุดที่ศูนย์กลางอุตสาหกรรมหรือการค้าขาย
6. ชาวเมืองมีโอกาสย้ายถิ่นน้อยกว่าชาวชนบท
7. ผู้หญิงมีโอกาสอพยพมากกว่าผู้ชาย ผู้ชายส่วนมากจะย้ายไปยังที่ไกล ๆ

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยพื้นฐานอื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อการย้ายถิ่นโดยไม่ได้เฉพาะเจาะเพียงแค่ในประเทศอังกฤษเท่านั้น ซึ่งอาจจะใกล้เคียงกับความเป็นจริงสำหรับบางพื้นที่แต่ไม่ได้ครอบคลุมทั้งหมด

8. ลักษณะการอพยพจะเป็นไปตามลำดับ จากระดับหมู่บ้านไปยังเมืองใหญ่ มากกว่าการย้ายแบบกระโดด
9. ผู้คนออกจากชนบทเพิ่มขึ้น
10. คนส่วนใหญ่ย้ายด้วยเหตุผลทางเศรษฐกิจ อาชีพและโอกาสที่จะได้เงินมากขึ้น
11. ผู้อพยพส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงอายุ 20-34 ปี
12. ในประเทศที่พัฒนาแล้ว มีผู้ชายเดินทางในระยะสั้นมากขึ้น ในหลาย ๆ สังคมผู้หญิงจะอยู่บ้านและดูแลครอบครัว
13. มีจำนวนผู้อพยพมากขึ้น และคนเหล่านั้นไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับที่ ๆ พวกเขาย้ายเข้าไป

การย้ายถิ่นของประชากรในประเทศไทย

การย้ายถิ่นในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นการ ย้ายถิ่นภายในประเทศ (Internal migration) [12] และเป็นการย้ายถิ่นจากชนบทสู่เมือง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเกือบทุก ๆ ประเทศที่มีการเปลี่ยนแปลงเศรษฐกิจจากเกษตรกรรมเป็นอุตสาหกรรม โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากสำมะโนประชากรและเคหะใน 3 ทศวรรษที่ผ่านมา (พ.ศ. 2523 พ.ศ. 2533 และ พ.ศ. 2543) แสดงให้เห็นภาพการย้ายถิ่นในประเทศของคนไทยอย่างชัดเจน โดยส่วนใหญ่เป็นการย้ายจากภาคต่าง ๆ เข้ามาสู่เมืองหลักและเมืองรอง และเป็นการย้ายถิ่นเข้ากรุงเทพมหานครมากที่สุด

2.2 **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์** (Mathematical Models)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) คือ การใช้คณิตศาสตร์สำหรับอธิบายระบบใด ๆ ที่เรากำลังสนใจ เป็นการแสดงส่วนสำคัญของระบบที่มีอยู่ หรือระบบที่กำลังถูกสร้างเพื่อแสดงสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบและสามารถนำมาใช้งานได้ [13]

มีหลากหลายวิธีในการจำแนกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [14] ระดับของการสุ่มแบบจำลองเป็นอีกทางหนึ่งที่สามารถจำแนกประเภทของแบบจำลอง โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic) และ แบบจำลองเฟ้นสุ่ม (Stochastic) ซึ่ง

แบบจำลองเชิงกำหนดเป็นแบบจำลองที่เราสามารถทราบค่าที่แน่นอน ได้ผลลัพธ์แบบเดียวกันจากการประมวลผลในหลาย ๆ รูปแบบ ส่วนแบบจำลองที่ไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอน ได้แก่ แบบจำลองเฟ้นสุ่ม หรือ การจำลองเชิงน่าจะเป็น (Probabilistic) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นตัวกำหนดในการประมวลผล

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบาดวิทยาและการเคลื่อนย้ายของประชากร

ในทางระบาดวิทยาได้ประยุกต์แบบจำลองมาใช้ศึกษาการแพร่ระบาดของโรคเพื่อควบคุมให้ดีขึ้นจนในที่สุดโรคนั้น ๆ ได้หมดไปจากประชากร แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงสามารถกำหนด หรือจำกัดข้อมูลเฉพาะในส่วนที่เราสนใจ และสามารถแสดงลักษณะของระบบนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแบบจำลองมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับข้อมูลจำเพาะของโรคนั้น ๆ ตั้งแต่แบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากต้องการผู้ที่มีความชำนาญในการสร้างและการปรับปรุงแก้ไข ไปจนถึงแบบจำลองที่ง่ายต่อการเข้าใจ

หลายแบบจำลองในทางระบาดวิทยาไม่ได้พิจารณาเรื่องของการเคลื่อนย้ายประชากร [15, 16] ในขณะเดียวกันมีงานวิจัยซึ่งได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเคลื่อนย้ายของประชากรต่อการแพร่ระบาดของโรค การติดเชื้อโรคและการเกิดใหม่ของโรค [17] ระยะการแพร่ระบาดของโรค [18] และขั้นตอนการกำจัดโรค [19] โดยงานวิจัยเหล่านี้ไม่มีแบบจำลองตายตัวเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูล และสร้างแบบจำลองตามลักษณะเฉพาะของโรค แม้ว่าแบบจำลองทางระบาดวิทยาจะมาจากพื้นฐานเดียวกัน แต่เมื่อสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์โรค ๆ หนึ่งแล้วยังคงไม่สามารถนำมาใช้ร่วมกับโรคอื่น ๆ ได้ งานวิจัยนี้จึงสร้างแบบจำลองที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรเพื่อให้สามารถวิเคราะห์โรคระบาดได้หลากหลายในแบบจำลองเดียว

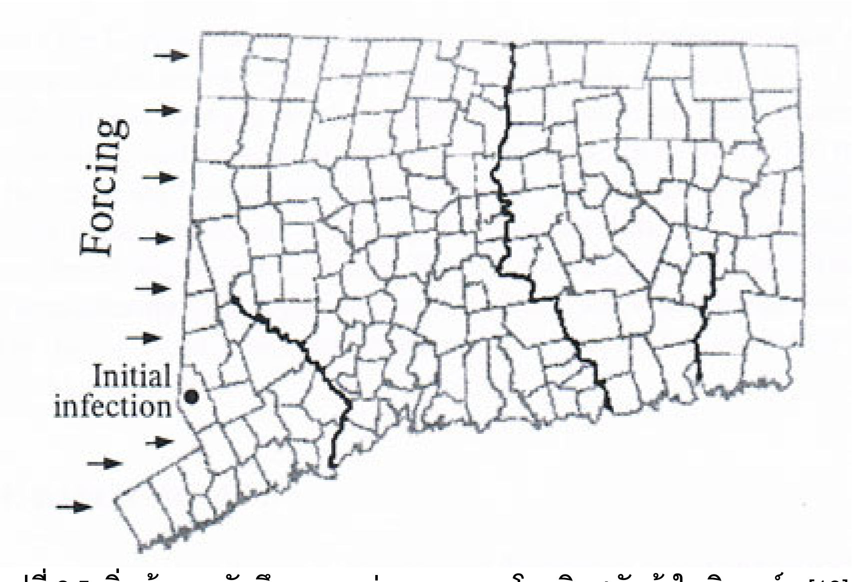
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาด้านระบาดวิทยามีหลายประเภท ได้แก่ แบบจำลองเอสไอเอส (SIS) และ แบบจำลองเอสไออาร์ (SIR), มัลติแพทโทเจน (Multi-Pathogen) มัลติโฮสแพทโทเจน (Multi-Host models), แบบจำลองเฟ้นสุ่ม (Stochastic), แบบจำลองเชิงกำหนด (Dynamics), แบบจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial Models) เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองเชิงพื้นที่ สามารถนำข้อมูลการเคลื่อนย้ายของประชากรมาประกอบการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากรในแต่ละจังหวัดได้อย่างชัดเจนเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์การแพร่ระบาดของโรค

ทั้งนี้ทั้งนั้นแบบจำลองเองมีข้อจำกัดบางประการ มีสถานการณ์บางอย่างที่เราไม่รู้หรือไม่อาจจะรู้ได้ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง เช่นการเคลื่อนย้ายของประชากรแบบชั่วคราวหรือแบบไปเช้าเย็นกลับ การเดินทางระหว่างชุมชนหรือภายในจังหวัด สภาพอากาศหรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ภัยธรรมชาติ เป็นต้น

2.4 แบบจำลองเชิงพื้นที่

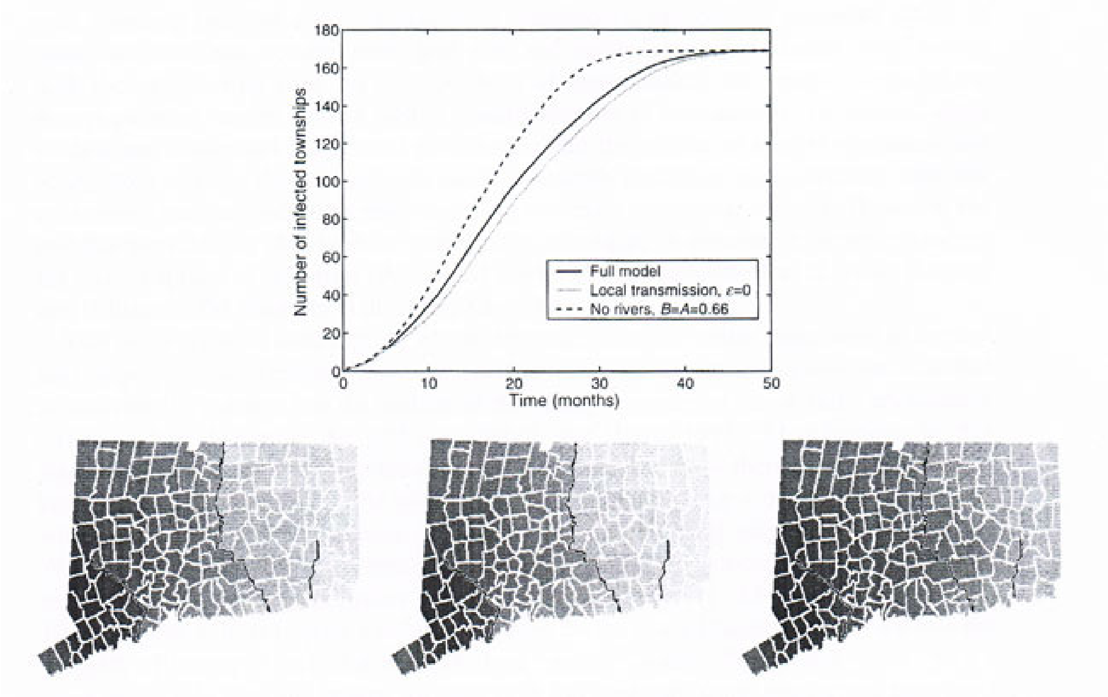
แบบจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial Models) คือ การวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์รูปแบบหนึ่งซึ่งสนใจการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ ทางระบาดวิทยาการแพร่กระจายของโรคจากที่หนึ่งไปสู่ที่หนึ่งเป็นฐานความรู้ที่สำคัญในความหลากหลายทางด้านความหนาแน่นของประชากรในแต่ละพื้นที่ เช่น ในเขตเมือง ชนบท หรือความแตกต่างทางภูมิศาสตร์ มีผลต่อการแพร่ระบาดของโรคแตกต่างกันไป จึงได้มีการนำเทคนิคทางภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่มาใช้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การแพร่ระบาดระหว่างประชากรในบริเวณที่แตกต่างกัน ลักษณะการวิเคราะห์ข้อมูลแบบการจำลองเชิงพื้นที่ มีการแบ่งพิจารณาพื้นที่เป็นหน่วยเล็ก ๆ และใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการสื่อความหมาย เช่น จุด เส้น หรือพื้นที่ ซึ่งสัญลักษณ์เหล่านี้ มีความสอดคล้องและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

แบบจำลอง Smith et al. [13] ศึกษาการแพร่กระจายของโรคพิษสุนัขบ้าในสุนัขจิ้งจอกของนิวยอร์ก โดยสร้างแบบจำลองในลักษณะแบบจำลองเชิงพื้นที่



รูปที่ 2.5 เริ่มต้นการบันทึกการแพร่กระจายของโรคพิษสุนัขบ้าในนิวยอร์ก [13]

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการแพร่ระบาดของโรคพิษสุนัขบ้าในสุนัขจิ้งจอกโดยสังเกตจากข้อมูลเชิงพื้นที่ ในเบื้องต้นจะเห็นได้ว่า อาจจะมีการเริ่มติดต่อจากเพื่อนบ้าน และมีตำแหน่งของแม่น้ำทำหน้าที่เป็นกำแพงธรรมชาติ



รูปที่ 2.6 การแพร่ระบาดของโรคพิษสุนัขบ้าในนิวยอร์ก [13]

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงการแพร่ระบาดที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนหมู่บ้านที่ติดเชื้อตั้งแต่เริ่มเพาะเชื้อจนสามารถติดต่อไปยังชุมชนอื่น จากภาพซ้ายไปขวาแสดงผลลัพธ์การแพร่ระบาดจากการกำหนดเงื่อนไขที่ต่างกัน คือ การแพร่ระบาดแบบปกติทั่วไป การแพร่ระบาดโดยแม่น้ำมีผลในการชะลอการแพร่กระจายของโรค และการแพร่ระบาดโดยไม่คำนึงถึงแนวกั้นของแม่น้ำ

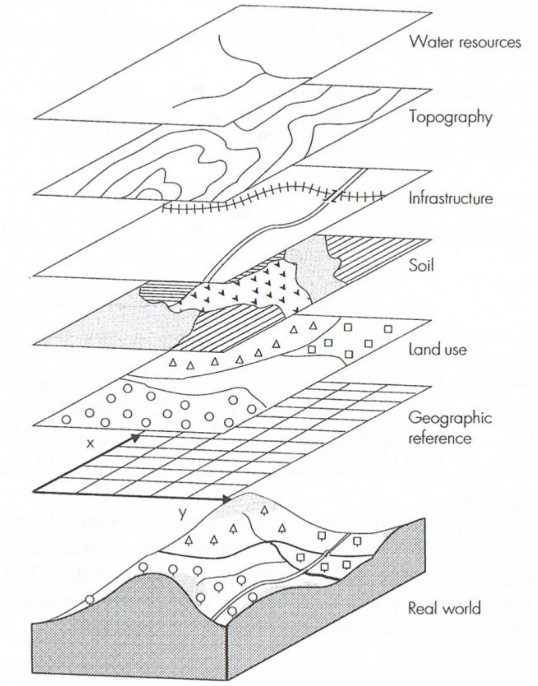
จากตัวอย่างดังกล่าวการศึกษาเชิงพื้นที่ ช่วยให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจโรคระบาด เช่นเดียวกันกับแบบจำลองการเคลื่อนที่ของประชากรการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ อีกทั้งยังสามารถกำหนดและแสดงผลในเงื่อนไขที่เราต้องการศึกษาอีกด้วย

2.5 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

ในยุคที่มีการใช้คอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลาย การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ และแสดงผลสามารถทำได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) คือเทคนิคในการนำข้อมูลทางภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ โดยการแปลงข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในรูปแบบดิจิตอล สามารถเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล รวมไปถึงการวิเคราะห์และการแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลในระบบนั้นมีความสัมพันธ์ในเชิงพื้นที่ (Spatial data) และสัมพันธ์กับตำแหน่งจริงบนโลก สามารถอ้างอิงพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ [20, 21, 22]

2.5.1 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ลักษณะทางกายภาพของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นโลก เช่น ถนน แม่น้ำ ภูเขา อาคาร สถานที่ สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม ระดับความสูงหรือความลึก เป็นต้น โดยข้อมูลเหล่านี้จะแสดงอยู่ใน 3 ลักษณะคือ จุด (point) เส้น (line) และพื้นที่รูปหลายเหลี่ยม (Area) เพื่อเป็นประโยชน์ในการค้นหาข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลที่สามารถอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ [20, 21]



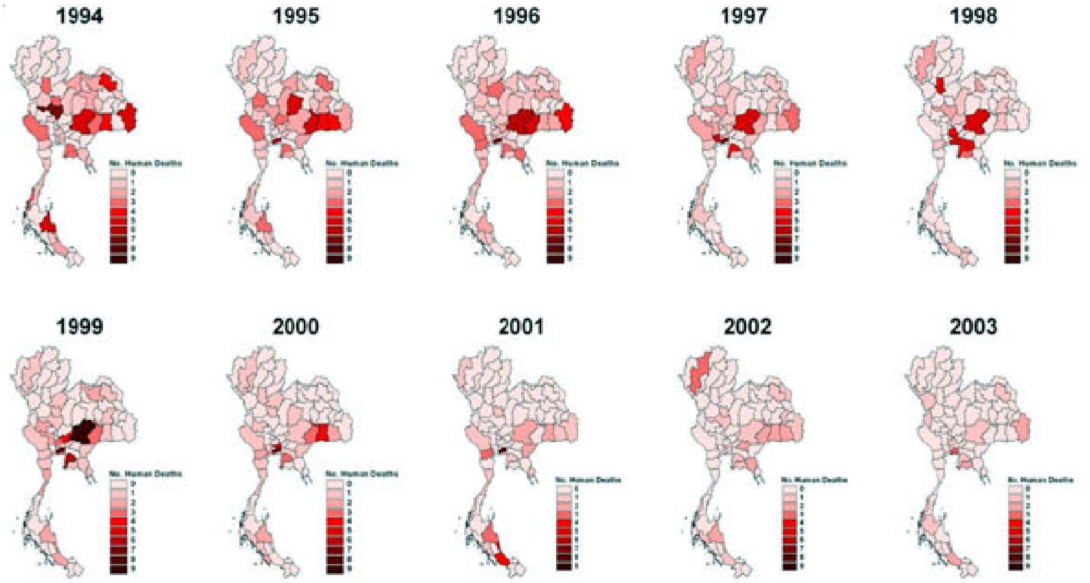
รูปที่ 2.7 ภาพข้อมูลที่ถูกจัดเก็บเป็นชั้นภายในคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมโยงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ [23]

การใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการเก็บข้อมูลและนำข้อมูลมาวิเคราะห์ มีลักษณะในการเก็บเป็นชั้น ๆ ดังรูปที่ 2.7 และแสดงข้อมูลที่สนใจในรูปแบบของจุด เส้น และรูปทรง ซึ่งรูปแบบในการแสดงข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางระบาดวิทยา

2.5.2 **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และระบาดวิทยา** (GIS and Epidemiology)

ระบาดวิทยาพยายามเข้าใจเรื่องการกระจายของโรคด้วยพื้นที่และเวลา ในหลาย ๆ กรณีการระบาดของโรคสามารถระบุตำแหน่งซึ่งสัมพันธ์กับแผนที่ สามารถระบุสถานที่ของผู้ที่ได้รับผลกระทบจากโรค หรือมีการเกิดโรค เมื่อเวลาผ่านไปสามารถนำตำแหน่งที่ระบุเหล่านั้นมาศึกษาการแพร่ระบาดของโรค เพื่อนำไปสู่การป้องกันและกำจัดโรค เมื่อเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีส่วนช่วยในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลทำได้สะดวกมากยิ่งขึ้นสามารถระบุปัจจัยต่าง ๆ ที่สนใจ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโรคและประชากรได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์โรคระบาด จากงานวิจัยของ Ruankaew [24] นำเสนอการวิเคราะห์การเสียชีวิตจากโรคพิษสุนัขบ้าแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 **การเสียชีวิตด้วยโรคพิษสุนัขบ้าในประเทศไทยปี ค.ศ.** 1994-2003 [24]

จากรูปที่ 2.8 โดยรวมการเสียชีวิตด้วยโรคพิษสุนัขบ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง ส่วนสำคัญสำหรับงานวิจัยนี้คือการศึกษาลักษณะการแสดงผลลัพท์ในแบบแผนที่ แนวทางในการนำแผนที่ประเทศไทยมาใช้ในส่วนของการแสดงผลของแบบจำลอง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้แสดงข้อมูลเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ด้วยค่าสีที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่ง สามารถดูลักษณะการเกิดโรคและการแพร่กระจายของโรคตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งข้อมูลเหล่านี้สามารถเก็บลงในฐานข้อมูล และนำมาวิเคราะห์ตามปัจจัยที่สนใจ ทำให้สามารถออกแบบวิธีการป้องกันและควบคุมโรคได้สะดวกยิ่งขึ้น อีกทั้งกระบวนการในการวิเคราะห์โรคระบาดในทางระบาดวิทยาได้นำระบบภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้อยู่ก่อนแล้ว การแสดงผลข้อมูลในเชิงพื้นที่จึงมีความสะดวกต่อการนำไปใช้ในทางระบาดวิทยาต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแบบจำลองในการเคลื่อนย้ายประชากร โดยการแสดงผลเชิงพื้นที่ตามแนวทางดังกล่าวข้างต้น ซึ่งการแสดงผลไม่ซับซ้อน ชัดเจน และเพียงพอในการนำมาวิเคราะห์การแพร่ระบาดของโรค

บทที่ 3

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นสองส่วน ในส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรจากผลงานของผู้อื่น และแนวทางในการนำข้อมูลเชิงสถิติมาใช้สร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากร เพื่อให้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยในขั้นตอนต่อไป

การทำงานส่วนที่สองเป็นการนำแนวทางจากขั้นตอนที่หนึ่งมาปรับปรุงหรือเพิ่มเติม โดยการเพิ่มปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย เช่น การเดินทางตามเทศกาล เพื่อให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเหมาะสมกับการนำมาใช้วิเคราะห์การแพร่ระบาดของโรคในประเทศไทย

โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งหมวดหมู่ของแบบจำลองที่นำมาพิจารณาในขั้นตอนที่หนึ่ง จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

3.1 แบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากร

แบบจำลองการเคลื่อนที่ต่าง ๆ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ในศตวรรษหลังนี้แบบจำลองการเคลื่อนย้ายสำหรับวิเคราะห์ทางด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือสัญญาณไร้สาย ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการจำลองการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของประชากรดังนี้

Camp [25] ได้ทำการสำรวจแบบจำลองการเคลื่อนย้ายในรูปแบบต่างๆเช่น แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบเดินสุ่ม (Random Walk Mobility Model) ซึ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนย้ายอย่างง่ายขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วในการสุ่ม แบบจำลองการเคลื่อนย้ายแบบเวย์พอยต์ (Random Waypoint Mobility Model) เป็นการจำลองที่มีช่วงเวลาหยุดพักระหว่างการเปลี่ยนแปลงระยะทางและความเร็ว แบบจำลองการเคลื่อนย้ายแบบสุ่มทิศทาง (Random Direction Mobility Model) เป็นแบบจำลองซึ่งมีการเคลื่อนที่ไปยังขอบของพื้นที่จำลองก่อนมีการเปลี่ยนทิศทางและความเร็วเป็นต้น

จากการสำรวจแบบจำลองการเคลื่อนย้ายต่าง ๆ ของ Camp หนึ่งในแบบจำลองที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายประชากรคือ แบบจำลองการเคลื่อนย้ายเกาส์-มาร์คอร์ฟ (Gauss-Markov Mobility Model) ซึ่งกล่าวไว้ในงานวิจัยของ Joumaa [26]

Joumaa เสนอการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลองการเคลื่อนย้าย โดยจำลองสภาพแวดล้อม ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันเพื่อนำมาทดสอบกับแบบจำลองการเคลื่อนย้ายที่หลากหลาย และแสดงผลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งมีข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สังคม และเศรษฐกิจร่วมด้วย โดยผลลัพธ์ที่ได้เป็นการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบการย้ายถิ่นด้วยปริมาณของประชากรเชิงเมทริกซ์ในแต่ละแบบจำลอง

งานวิจัยของ Joumaa วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากร โดยจำลองสภาพแวดล้อมของเมืองแบลฟอร์ (Belfort) ประเทศฝรั่งเศส ด้วยการแบ่งแบบจำลองเป็นสองหมวดหลักคือ แบบจำลองแบบสุ่ม (Random models) และแบบจำลองแบบคำนวณตามสภาพภูมิประเทศ (Terrain aware models) ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยจำนวนคน 75,877 คนซึ่งเป็นจำนวนที่มีความใกล้เคียงกับประชากรที่แท้จริงในภูมิภาค เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เป็นระยะเวลาสิบแปดชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองแบบคำนวณตามสภาพภูมิประเทศ แบบจำลองการเคลื่อนย้ายมาร์คอฟ (Normal Markovian Mobility Model) [27] ได้ตำแหน่งของประชากรที่มีคุณภาพดีกว่าแบบสุ่ม

จากงานสำรวจแบบจำลองของ Camp และงานวิจัยของ Joumaa เป็นการศึกษาแนวทางในการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากรในรูปแบบต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทย ถึงแม้ว่าจะไม่ได้นำสมการหรือตัวแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในงานวิจัยนี้โดยตรง

นอกจากแบบจำลองการเคลื่อนย้ายมาร์คอฟที่กล่าวถึงในข้างต้นแล้ว แบบจำลองแบบถ่วงน้ำหนัก (Gravity Model) มีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายประชากรในระดับชุมชน หรือระดับจังหวัด โดยการใช้ข้อมูลทางด้านความหนาแน่นของประชากร และระยะทาง ในการพิจารณาจำนวนประชากรในชุมชนหนึ่ง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป

บทความของ Rosenberg [23] กล่าวถึงการประยุกต์กฎแรงดึงดูดของนักสังคมศาสตร์ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เพื่อการทำนายความเคลื่อนไหวของประชากรระหว่างเมือง หรือการติดต่อสื่อสารต่าง ๆ ระหว่างทวีป โดยคำนึงถึงจำนวนประชากรของสองพื้นที่ และระยะทาง ตามสมการที่ 1

$$\text{Gravity between two places} = \frac{\text{population}_1 * \text{population}_2}{\text{distance}^2} \qquad (1)$$

จากสมการที่ 1 Population1 คือจำนวนประชากรของเมืองที่หนึ่ง Population2 คือจำนวนประชากรของเมืองที่สอง distance คือระยะทางระหว่างทั้งสองเมือง ซึ่งเป็นการรวมคุณลักษณะของการดึงดูดประชากร เมืองที่มีจำนวนประชากรมากจะดึงดูดประชากรของเมืองที่มีประชากรน้อยกว่า และเมืองที่มีระยะทางใกล้กว่าจะมีการดึงดูดจำนวนประชากรมากกว่าเมืองที่อยู่ไกล

จากบทความของ Rosenberg งานวิจัยของ Lewer [28] คือตัวอย่างหนึ่งซึ่งพัฒนาแบบจำลองของการย้ายเข้าเมืองจากแบบจำลองแรงดึงดูดดังกล่าว โดยทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลของ OECD 16 ประเทศตั้งแต่ปี ค.ส. 1991 ถึงปี ค.ส. 2000 พบว่าแบบจำลองที่ Lewer ได้พัฒนา สามารถใช้ในเรื่องของการตรวจคนเข้าเมือง การแลกเปลี่ยนค้าขายระหว่างประเทศ และสามารถใช้ทำนายแนวโน้มการการย้ายถิ่นเข้ามาในประเทศ แม้ว่ามีตัวแปรอื่นเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยก็ตาม

จากแนวทางการวิจัยของ Lewer การหาอัตราการเคลื่อนย้ายของประชากรแบบแรงดึงดูดสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาการแพร่ระบาดของโรคได้เช่นกัน แต่ไม่มีการนำมาทดสอบและแสดงผลสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดว่าการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย มีความสอดคล้องกับทฤษฏีการเคลื่อนย้ายแบบแรงดึงดูดมากน้อยเพียงใด มีประชากรจำนวนมากเมื่อเทียบเป็นอัตราการเดินทางแบบรายจังหวัด เดินทางเข้าสู่ภาคกลาง และกรุงเทพมหานคร แม้ว่าระยะทางจะไกลก็ตาม

นอกจากการศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนย้ายต่าง ๆ แล้ว การศึกษาทางด้านทางด้านสถิติและด้านประชากรศาสตร์มีส่วนช่วยในการวิเคราะห์ การคาดประมาณประชากร ความเปลี่ยนแปลงของประชากร รวมไปถึงการย้ายถิ่นของประชากรในภูมิภาคนั้น ๆ งานวิจัยของเกื้อ [29] ได้ศึกษาการคาดประมาณของประชากรในประเทศไทยและศึกษาเรื่องการย้ายถิ่นจากงานวิจัยของ ฉลองภพ และยงยุทธ [30] โดยปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดในการย้ายถิ่นของประชากรในประเทศไทย เช่น ระยะทางพื้นที่ต้นทางกับพื้นที่ปลายทาง ความหนาแน่น อัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ และปัจจัยควบคุมอื่น ๆ ตามแนวทางการศึกษาของ Todaro [31] และกำหนดให้การย้ายถิ่นสุทธิขึ้นกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบเหล่านั้น เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ได้สมการการย้ายถิ่นสุทธิชายและหญิง โดยใช้ข้อมูลจากสำมะโนประชากรและเคหะ พ.ศ. 2533 ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ และข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัด รายได้ต่อหัวรายจังหวัด ปี พ.ศ. 2524-2534 ของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และข้อมูลอื่นๆเพื่อให้

ได้ความสัมพันธ์ของการย้ายถิ่นสุทธิกับกลุ่มตัวแปรต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยการย้ายถิ่น เพื่อนำสมการดังกล่าวไปใช้ในการคาดประมาณจำนวนผู้ย้ายถิ่นต่อไปในอนาคต

แบบจำลองในการประมาณการย้ายถิ่นในระดับจังหวัด ซึ่งสร้างขึ้นจากฐานข้อมูลรายจังหวัดของสำมะโนประชากรและเคหะ ตามฐานของเมทริกซ์การย้ายถิ่นในปี พ.ศ. 2528-2533 และ พ.ศ. 2538-2543 ตัวแบบในการกำหนดการย้ายถิ่นสุทธิระหว่างจังหวัดแสดงดังสมการที่ 2

$$Net_Mig = X\beta + \varepsilon \qquad (2)$$

โดยกำหนดให้ Net_Mig คืออัตราการย้ายถิ่นสุทธิระหว่างภาค ซึ่งหมายถึงจำนวนผู้ย้ายถิ่นสุทธิต่อค่าเฉลี่ยจำนวนประชากรในช่วงเวลาที่นำมาวิเคราะห์ β คือค่าประมาณสัมประสิทธิ์ในตัวแบบ และ ε คือความคลาดเคลื่อน โดยที่ X เป็นเมทริกซ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการย้ายถิ่นสุทธิซึ่งประกอบด้วยตัวแปรที่สนใจ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการย้ายถิ่นสุทธิในประเทศไทยประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

1. ภาวะความยากจนรายจังหวัด
2. ผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติรายจังหวัด
3. จำนวนประชากรและอัตราเพิ่มรายภาค รายจังหวัด
4. รายได้ต่อหัวรายจังหวัด
5. ความหนาแน่นของประชากรรายจังหวัด
6. พื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทยรายจังหวัด

ช่วงเวลาที่ใช้ในการประมาณการประกอบด้วยสองช่วงเวลาคือ ปี พ.ศ. 2528-2533 และปี พ.ศ. 2538-2543 โดยใช้เทคนิคของอนุกรมเวลา (Time Series) และข้อมูลผสม (Cross Section Pooling) ประมาณการโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนัยทั่วไป (Generalised Least Square) กรณีของตัวแบบคงที่ (Fixed Effect) ไม่ถ่วงน้ำหนัก โดยใช้วิธี White Heteroskedasticity-Consistent Standard Errors Covarience ในการประมาณการใช้จำนวนตัวแปรภาคตัดขวาง 76 จังหวัด

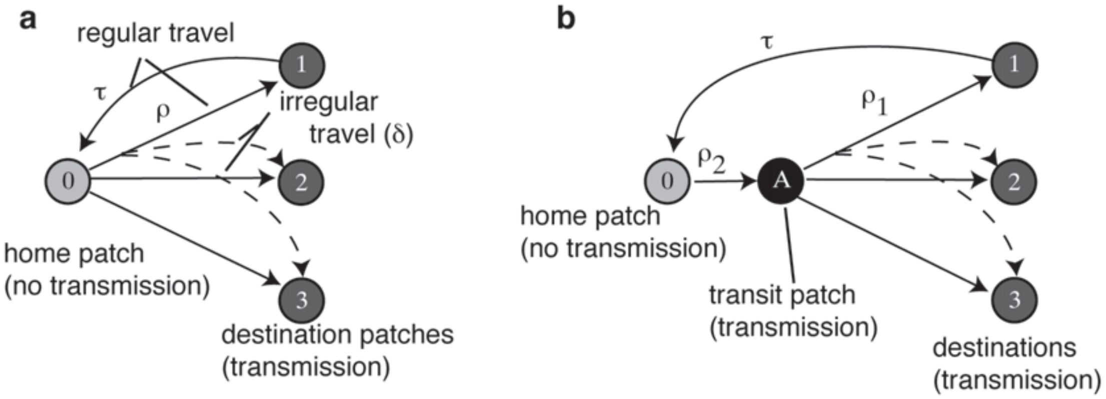
จากงานวิจัยของเกื้อมีการคำนึงถึงปัจจัยที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของประเทศไทยเช่น ภาวะความยากจนรายจังหวัด รายได้ต่อหัวรายจังหวัด ความหนาแน่นของประชากรรายจังหวัด และพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น เนื่องจากแบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้มีตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณาคือความหนาแน่นของประชากร ซึ่งไม่รวมถึง ภาวะความยากจน รายได้ และความแตกต่างทาง

ภูมิประเทศ ดังนั้นจึงไม่ได้ใช้วิธีตามแนวทางดังกล่าวทั้งหมด จากงานวิจัยการคาดประมาณของประชากรในประเทศไทยของเกื้อ สามารถนำมาศึกษาในส่วนของการทำวิธีการถดถอย (Regression) เหมาะกับการศึกษาการเกิดโรคระบาดในระยะยาว โดยพิจารณาจากข้อมูลประชากรย้อนหลังและสามารถทำนายแนวโน้มการแพร่ระบาดของโรคในปีอื่น ๆ ในอนาคต งานวิจัยนี้ได้แสดงตัวอย่างการทำนายแนวโน้มของโรคระบาดที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตในที่นี้คือปี พ.ศ.2560 ในช่วงสุดท้ายของการรายงาน สำหรับการประเมินแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองกับข้อมูลจริงจะแสดงเฉพาะการคำนวณผู้ป่วยจากการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ชนิดเอที่เกิดขึ้นในประเทศไทยในปี พ.ศ.2552 ซึ่งเป็นการพิจารณาผลลัพธ์ในระยะสั้น จึงไม่มีการทำวิธีการถดถอย (Regression) ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์

3.2 แบบจำลองทางระบาดวิทยากับการเคลื่อนย้ายประชากร

งานวิจัยในทางระบาดวิทยาจำนวนหนึ่ง[1, 2, 3] ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากรซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายของโรคติดต่อไปยังพื้นที่อื่น

ในเขตพื้นที่ที่มีการเดินทางบ่อยและกว้างขวางมีรูปแบบในการเดินทางแตกต่างกันไป งานวิจัยของ Adams [1] ให้ความสนใจในลักษณะการเคลื่อนที่ของมนุษย์ในทางระบาดวิทยาการติดต่อของโรคจากสัตว์ไปสู่คน เช่นไข้เลือดออก การวิเคราะห์จะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลทางด้านประชากรมนุษย์ซึ่งมีการเคลื่อนที่ มีการติดต่อสัมพันธ์กับปริมาณที่คงที่ของยุงกลุ่มหนึ่ง โดย Adams ได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณการติดเชื้อ กลุ่มยุง และประชากรที่มีการเดินทางจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่ง โดยวิเคราะห์จากโครงสร้างดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบเครือข่ายแสดงการเดินทางของประชากรจากที่หนึ่งไปสู่สามจุดหมายปลายทาง [1]

รูปแบบการเดินทางแบบพื้นฐาน 3.1a แสดงการเดินทางโดยตรงจากต้นทางไปยังปลายทางและกลับสู่ต้นทาง ในส่วนของ 3.1b แสดงการเดินทางโดยผ่านจุดหมายอื่นก่อนที่จะไปยังปลายทางในที่นี้คือจุด A หรือ แทรนซิทแพช (Transit patch) โดยแสดงการเดินทางแบบปกติด้วยเส้นทึบ งานวิจัยนี้ได้บันทึกผลของการเกิดไข้เลือดออก เมื่อประชากรมีการเดินทางตามรูปแบบดังกล่าว โดยกำหนดค่าตัวแปรในแบบจำลองให้มีการกระจายของประชากรตั้งแต่หนึ่งสาม ไปจนถึงห้าสิบปลายทางและรายงานผลความสัมพันธ์ของโรคไข้เลือดออก กลุ่มยุง และประชากรที่เดินทางจากต้นทางไปยังปลายทางในลักษณะเส้นกราฟ

จากบทสรุปและผลลัพธ์ของงานวิจัยดังกล่าว ซึ่งพิจารณาจำนวนยุงในระดับกลุ่ม และกำหนดให้มีการเชื่อมต่อสัมพันธ์กันอย่างสม่ำเสมอ ค้นพบว่า รูปแบบการเดินทางแบบพื้นฐาน ดังรูป 3.1a โอกาสในการสูญพันธุ์ของเชื้อโรคมีน้อยลง เมื่อการเคลื่อนที่ของมนุษย์มีมากขึ้นและถูกพัฒนาให้ดีขึ้น แม้ว่าในความเป็นจริงประชากรยุงกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างที่มีการแพร่เชื้อโรค ส่วนการเดินทางผ่านจุดหมายอื่นดังรูปที่ 3.1b พบว่า หากประชากรไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทาง และไม่มีการติดต่อโดยตรงระหว่างกลุ่มประชากรย่อย (subpopulation) โครงสร้างนี้มีส่วนสำคัญที่ทำให้การคงอยู่ของโรคเพิ่มมากขึ้น แต่หากประชากรมีการเดินทางที่แตกต่างหลากหลาย ผลกระทบที่เกิดจากการเดินทางผ่านจุดอื่น ๆ จะถูกลบล้างออกไป ผลจากโครงสร้างนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของประชากรมีผลอย่างมากต่อการติดเชื้อ และแพร่เชื้อของโรคระบาด

ตามแนวทางการจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรของ Adams มีความเกี่ยวข้องในทางระบาดวิทยาโดยตรง และแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเคลื่อนย้ายประชากรและพาหะเช่นยุงต่อการระบาดของไข้เลือดออก

จากการพิจารณางานวิจัยของ Adams ในส่วนของโครงสร้าง รูปแบบการเคลื่อนย้ายประชากรในงานวิจัยของ Adams มีความสอดคล้องกับแบบจำลอง เมื่อพิจารณาการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทยซึ่งเป็นข้อมูลจริง ประชากรมีรูปแบบการเดินทางที่หลากหลาย การใช้โครงสร้างตามรูปแบบการเดินทางพื้นฐาน 3.1a คือเดินทางไปยังจุดหมายโดยตรง จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองมากกว่าโครงสร้างตามรูปที่ 3.1b เมื่อพิจารณาจากผลลัทธ์การทดลองของ Adams ดังที่กล่าวมาในข้างต้น

แต่ในส่วนของสมการแบบจำลองจากงานวิจัยดังกล่าวยังคงไม่ได้นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยาในประเทศไทย เนื่องจากงานวิจัยของ Adams กล่าวถึงความสัมพันธ์ของการ

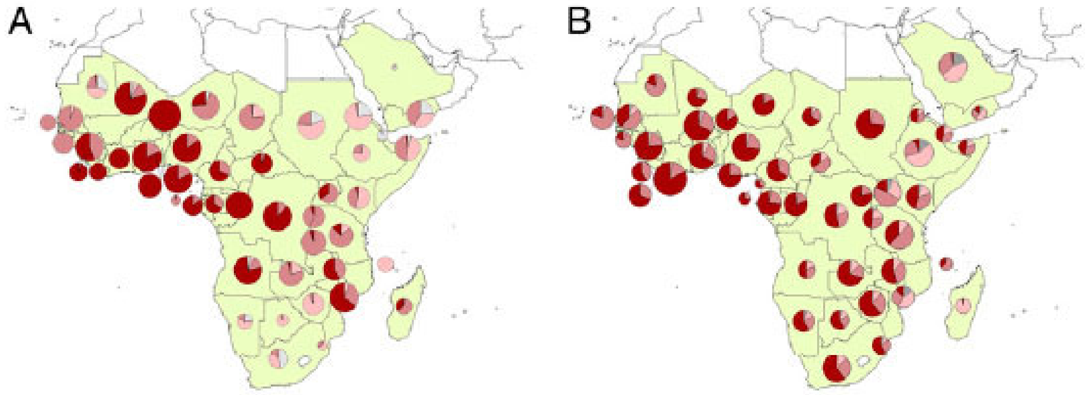
เคลื่อนย้ายของมนุษย์และยุง ซึ่งมีผลต่อโรคมาลาเรีย อย่างเฉพาะเจาะจงในการคำนวณหาความสัมพันธ์ดังกล่าว มีหลายตัวแปรที่ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องกับแบบจำลองในงานวิจัยนี้ เช่น การแพร่เชื้อผ่านพาหะ อัตราการกัดของยุง จำนวนยุง และอัตราการตายของยุง เป็นต้น

ในบางครั้งพื้นที่ซึ่งไม่มีความเชื่อมต่อกันสามารถสร้างสมการการเปลี่ยนแปลงของประชากรเพื่อแสดงการแพร่ระบาดของโรค งานวิจัยของ Arino [2] เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการวิเคราะห์การเดินทางของประชากรในลักษณะเดียวกับ Adams ซึ่งเสนอสมการในการอธิบายการแพร่ระบาดของโรคโดยสภาพแวดล้อมที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยยกตัวอย่างกรณีศึกษาการติดโรคระบาดของประเทศที่อยู่ห่างไกลกัน ซึ่งการเคลื่อนย้าย และการเดินทางของประชากรเป็นส่วนหนึ่งในการอธิบายการแพร่ระบาดของโรคนั้นๆ

เนื่องจากงานวิจัยของ Arino ได้วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากร ต่อการแพร่ระบาดของโรคโดยการกำหนดจุดหมายในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของ Adams ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดและสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณการกำหนดจุดหมายต่าง ๆ ของการเคลื่อนย้ายประชากร ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ไม่ได้นำสมการดังกล่าวมาใช้ แต่เป็นการนำรูปแบบแนวคิด โดยพิจารณาเฉพาะรูปแบบโครงสร้างการเดินทางของประชากร และนำมาเป็นแนวทางการสร้างแบบจำลองโดยการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลลัพธ์ต่อไป

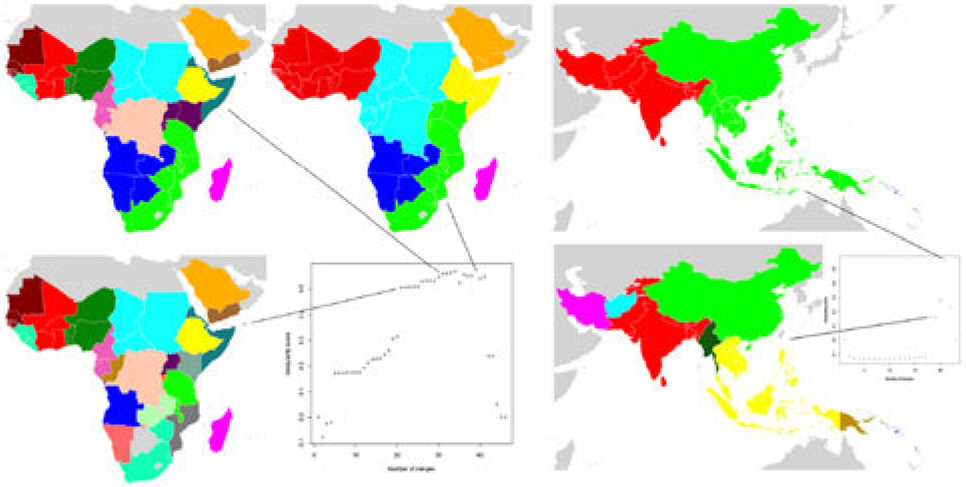
ดังนั้นในหัวข้อรูปแบบการเคลื่อนย้ายประชากร งานวิจัยนี้จึงได้เลือกเฉพาะโครงสร้างการเคลื่อนย้ายของประชากรในรูปแบบการเดินทางพื้นฐาน 3.1a ตามแนวทางของ Adams เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองและนำผลลัพธ์การเกิดโรคจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเกิดโรคของประชากรจริงในประเทศไทย

นอกจากการพิจารณาถึงรูปแบบการเคลื่อนย้ายประชากรแล้ว วิธีการนำข้อมูลมาใช้และการแสดงผลก็มีส่วนสำคัญด้วยเช่นกัน งานวิจัยของ Tatem [3] เสนอการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายประชากรระหว่างประเทศสู่กลยุทธ์การกำจัดโรคมาลาเรียชนิดพลาสโมเดียม ฟาลซิปารัมในระดับภูมิภาค ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลการย้ายถิ่นจากสำมะโนประชากร ข้อมูลการแพร่ระบาดของมาลาเรียพลาสโมเดียม ฟาลซิปารัม และฐานข้อมูลของประชากรโลกซึ่งแสดงความเชื่อมโยงและการติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศ รวมไปถึงเมืองสำคัญหรือแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งมีผลอย่างมากต่อความเคลื่อนไหวของมาลาเรีย พลาสโมเดียม ฟาลซิปารัม



รูปที่ 3.2 การย้ายถิ่นออก การย้ายถิ่นเข้าและระดับการแพร่ระบาดของมาลาเรีย พลาสโมเดียม ฟาลซิปารัมในแอฟริกาและคาบสมุทรอาหรับ [3]

จากรูปที่ 3.2 A แสดงการย้ายออก และ B แสดงการย้ายเข้าด้วยระดับการแพร่เชื้อที่แตกต่างกัน โดยแสดงความเสี่ยงจากน้อยไปหามาก ตามลำดับความเข้มของสีที่แสดง Tatem ได้วิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากร และระดับการแพร่ระบาดของมาลาเรีย พลาสโมเดียม ฟาลซิปารัมด้วยการแสดงผลแบบเมทริกซ์ร่วมกับแผนที่และข้อมูลประชากร การเคลื่อนย้ายของประชากร หรือการเดินทางระหว่างประเทศในงานวิจัยของ Tatem ได้ใช้โครงสร้างและหลักการของการเดินแบบสุ่ม โดยใช้วิธีการเดินสุ่มแบบถ่วงน้ำหนัก [32] การสุ่มโดยกำกับเส้นทาง [26, 33] และการสุ่มด้วยคุณภาพของเส้นทาง [34]



รูปที่ 3.3 การเคลื่อนย้ายของประชากรที่มีความเชื่อมต่อกันโดยแสดงด้วยค่าสีที่แตกต่างกัน[3]

จากรูปที่ 3.3 ผลจากการวิจัยพบว่ากลุ่มประเทศในแถบตะวันตกของแอฟริกาและเอเชียกลางมีการติดต่อสื่อสารระหว่างกันค่อนข้างสูงและพบความเคลื่อนไหวของการติดเชื้อมาลาเรียพ

ลาสโมเดียม ฟาลซิปารัมมากกว่ากลุ่มประเทศอื่น ๆ ในทางตรงกันข้ามบางประเทศเช่น เอธิโอเปีย และพม่า การแสดงผลความเคลื่อนไหวของการติดเชื้อแยกออกจากกลุ่มประเทศอื่นอย่างชัดเจน โดยแผนที่เหล่านี้สามารถออกแบบข้อมูลเพื่อใช้ในกลยุทธ์ของการกำจัดมาลาเรียด้วยการระบุภูมิภาคที่มีการติดต่อสื่อสารกัน ซึ่งสามารถควบคุม และป้องกันการแพร่ระบาดของโรคจากการย้ายถิ่นของประชากรได้ โดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นความสำคัญของการเคลื่อนย้ายของประชากร และควบคุมการระบาดของมาลาเรียในมาตราส่วนกว้าง ๆ

การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทยได้แนวคิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลการย้ายถิ่นจากสำมะโนประชากร และข้อมูลการแพร่ระบาดของมาลาเรียจากฐานข้อมูลประชากรในงานวิจัยของ Tatem ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดโรคมาลาเรียโดยการวิเคราะห์จากการเคลื่อนย้ายประชากรในระดับประเทศ รวมถึงการหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของกลุ่มคนที่เดินทางไปมาระหว่างประเทศอีกด้วย

ในส่วนสุดท้ายของการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นหัวใจหลักของการสร้างแบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายของประชากรรวมไปถึงสามารถนำไปใช้ในการทำนายการแพร่ระบาดของโรคในทางระบาดวิทยา ซึ่ง Keeling [13] เรียกแบบจำลองในลักษณะดังกล่าวนี้ว่า SIR Metapopulation

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการวิเคราะห์การแพร่ระบาดของโรคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันโรค หลายงานวิจัยได้กล่าวถึงความสำคัญในการเคลื่อนย้ายของประชากรต่อการแพร่ระบาดของโรค[1, 2, 3] ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์การระบาดมีความใกล้เคียงกับความจริงมากขึ้น แต่เนื่องจากการแพร่ระบาดของโรคมีลักษณะที่แตกต่างกันไปในแต่ละโรค และสภาพแวดล้อมก็มีผล ต่อการแพร่ระบาดเช่นกัน ในการนำแบบจำลองเพื่อมาปรับใช้กับประเทศไทยจึงไม่เลือกแบบจำลองที่มีความเฉพาะเจาะจงในเรื่องสภาพแวดล้อม อีกทั้งยังมุ่งเน้นการสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้กับโรคต่าง ๆ โดยไม่เฉพาะเจาะจง สามารถระบุปัจจัยที่สำคัญของการระบาดในโรคนั้น ๆ ได้ ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลอง SIR Metapopulation สำหรับมนุษย์ของ Keeling โดยกล่าวถึงการแพร่ระบาดของโรคจากการเดินทางของมนุษย์ โดยผู้เดินทางอาศัยอยู่ในเขตหนึ่งและมีการเดินทางไปยังพื้นที่อื่น ๆ เป็นบางครั้งบางคราว แสดงไว้ดังสมการที่ 3

$$\frac{dX_{ii}}{dt} = v_{ii} - \beta_i X_{ii} \frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} - \sum_j l_{ji} X_{ii} + \sum_j r_{ji} X_{ji} - \mu_{ii} X_{ii},$$
$$\frac{dX_{ij}}{dt} = v_{ij} - \beta_i X_{ij} \frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} + l_{ij} X_{jj} - r_{ij} X_{ij} - \mu_{ij} X_{ij},$$
$$\frac{dY_{ii}}{dt} = \beta_i X_{ii} \frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} - \gamma Y_{ii} - \sum_j l_{ji} Y_{ii} + \sum_j r_{ji} Y_{ji} - \mu_{ii} Y_{ii}, \qquad (3)$$
$$\frac{dY_{ij}}{dt} = \beta_i X_{ij} \frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} - \gamma Y_{ij} + l_{ij} Y_{jj} - r_{ij} Y_{ij} - \mu_{ij} Y_{ij},$$
$$\frac{dN_{ii}}{dt} = v_{ii} - \sum_j l_{ji} N_{ii} + \sum_j r_{ji} N_{ji} - \mu_{ii} N_{ii},$$
$$\frac{dN_{ij}}{dt} = v_{ij} + l_{ij} N_{jj} - r_{ij} N_{ij} - \mu_{ij} N_{ij}.$$

จากสมการที่ 3 X_{ij} , Y_{ij} และ N_{ij} คือจำนวนคนที่มีโอกาสติดโรค , จำนวนคนที่ติดโรค และกลุ่มคนทั้งหมดของ i ที่อาศัยอยู่ในเมือง j ตามลำดับ ในขณะที่ ν คืออัตราการเกิด โดย ν_{ij} แสดงถึงคนที่เกิดในเมือง i แต่อาศัยอยู่ที่เมือง j , μ คืออัตราการตาย, β และ γ คือ อัตราการแพร่เชื้อ และอัตราการฟื้นตัว ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละโรค ส่วนค่า l และ r คืออัตราการเดินทางออกจากเมือง และการเดินทางกลับเข้าเมือง ซึ่งใช้ข้อมูลการเดินทางของผู้ไปกลับเป็นประจำ แต่เนื่องจากข้อมูลการเดินทางไปกลับของประชากรในประเทศไทยยังไม่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถที่จะนำแบบจำลองนี้มาจำลองการแพร่ระบาดของโรคจากการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทยได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีการเคลื่อนย้ายของประชากรในรูปแบบต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้สามารถนำมาปรับใช้กับแบบจำลอง SIR Metapopulation และนำมาศึกษาการแพร่ระบาดของโรคในประเทศไทยได้ โดยแนวทางการนำข้อมูลต่าง ๆ มาปรับใช้ ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4 แนวทางการวิจัยในบทต่อไป

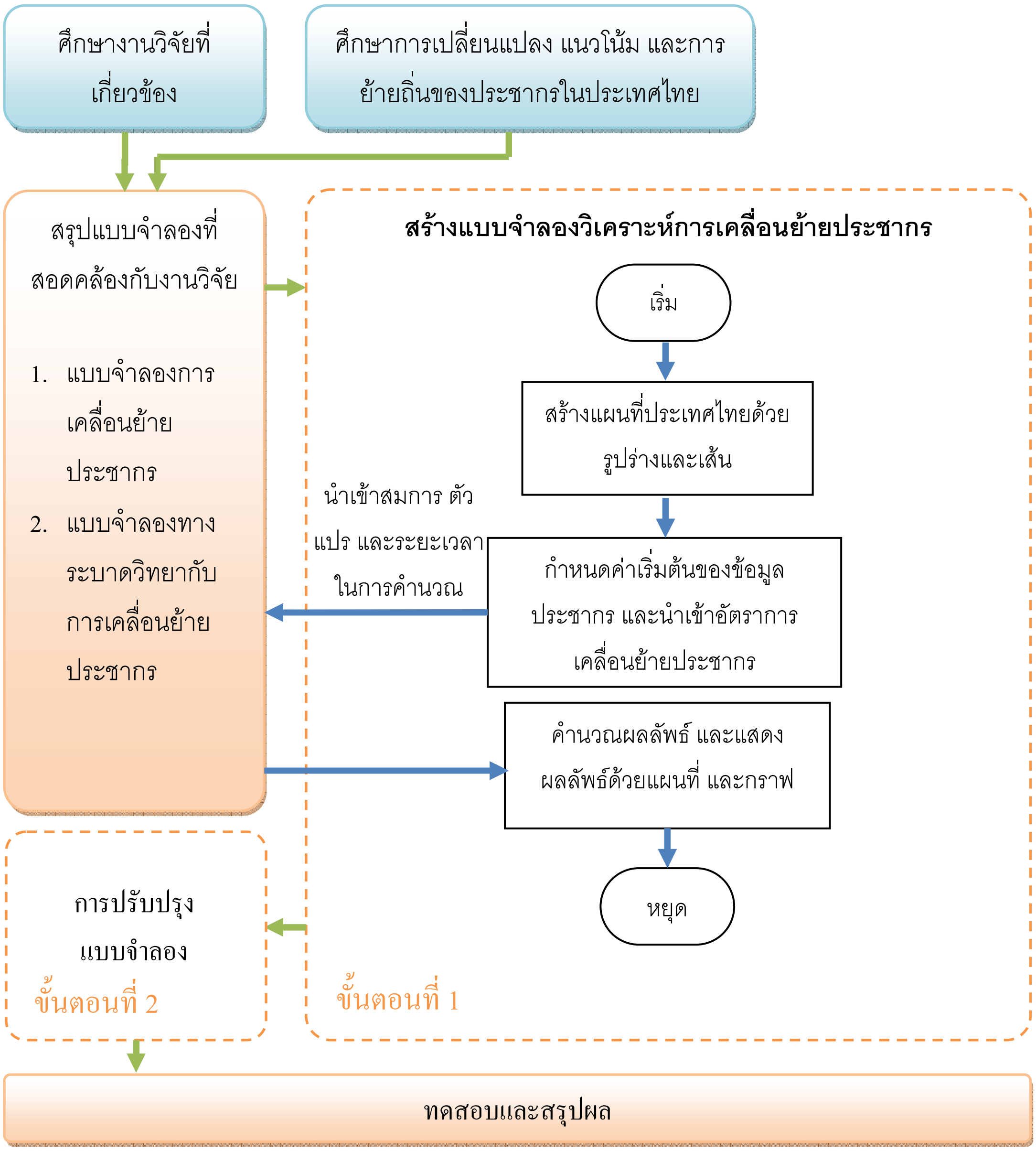
จากงานวิจัยทั้งสองหัวข้อดังกล่าว ในการดำเนินงานในขั้นตอนแรก แบบจำลอง SIR Metapopulation ของ Keeling เป็นส่วนหลักในการนำมาใช้พัฒนาการจำลองการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย โดยใช้รูปแบบการเดินทางประชากรแบบเดินทางไปยังจุดหมายโดยตรงโดยไม่ผ่านจุดอื่น ๆ จากงานวิจัยของ Adams และนำแนวคิดในการใช้ข้อมูลสำมะโนประชากรมาวิเคราะห์โดยแสดงผลในลักษณะแผนที่ตามแนวทางของ Tatem ในส่วนของงานวิจัยแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรตามหัวข้อที่ 3.1 ไม่ได้นำแนวทางของ Camp และ Jaumaa ซึ่งเป็น

ลักษณะการสุ่มการเคลื่อนที่มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง แต่ใช้แนวทางในการทำนายแนวโน้มประชากรจากสถิติของเกื้อ มาพัฒนาในส่วนของการทำนายแนวโน้มการเกิดโรคในอนาคต โดยสมการของ Keeling และองค์ประกอบทั้งหมดที่ได้ศึกษาดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ให้สามารถใช้กับประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ แล้วนำมาสร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทยในขั้นตอนต่อไป

บทที่ 4

แนวทางการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายของประชากรภายในประเทศไทยในระดับจังหวัดโดยแสดงข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อสามารถนำผลลัพธ์ของแบบจำลองไปทำการศึกษาการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการแพร่ระบาดของโรคเนื่องจากการเคลื่อนย้ายของประชากร มีแนวทางดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แนวทางการวิจัย

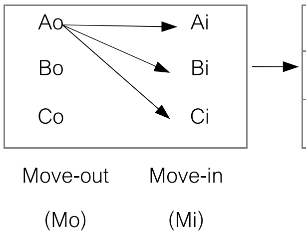
4.1 การสร้างแบบจำลอง (ขั้นตอนที่ 1)

การสร้างแบบจำลองในการเคลื่อนย้ายประชากรซึ่งนำไปใช้ทางระบาดวิทยา ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างทั่วไปของประชากรในพื้นที่บริเวณที่เราสนใจ ซึ่งในที่นี้เป็นการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย รวมไปถึงความเข้าใจในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของประชากร แนวโน้มประชากร การย้ายถิ่น และสาเหตุของการย้ายถิ่น[8, 9] ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในหัวข้อที่ 3 งานวิจัยของ Keeling [13] มีความสอดคล้องกับการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการแพร่ระบาดของโรคในประเทศไทยมากที่สุด โดยแบบจำลองไม่ได้เฉพาะเจาะจงที่โรคใดโรคหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมา เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับศึกษาทางระบาดวิทยาในงานวิจัยนี้ ซึ่งการคำนวณพื้นฐานของโปรแกรมเป็นไปตามสมการที่ 3 โดย Keeling ได้สมมติตัวอย่างของค่าตัวแปรต่าง ๆ ไว้เพื่อศึกษาส่วนหนึ่ง และเมื่อนำแบบจำลองมาปรับใช้กับข้อมูลในประเทศไทย พบว่ามีข้อมูลบางส่วนซึ่งใช้ในการคำนวณการระบาดของโรคที่ไม่สามารถหาได้ในประเทศไทย คือ อัตราการเดินทางไปกลับเป็นประจำของประชากรในประเทศไทยรายจังหวัด ดังนั้นจึงได้มีการนำข้อมูลการย้ายถิ่นของประชากรรายปี จากกรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย มาประยุกต์ใช้ในการทำงานของแบบจำลอง โดยวิธีการประยุกต์ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1

4.1.1 วิธีการคำนวณอัตราการย้ายถิ่นของประชากรรายจังหวัด

จากแบบจำลอง SIR Metapopulation ในสมการที่ 3 เป็นแบบจำลองเพื่อศึกษาการระบาดของโรคโดยมีปัจจัยการเคลื่อนที่ของประชากรเข้ามาเกี่ยวข้อง ในที่นี้คือ การเดินทางไปกลับของประชากรในแต่ละจังหวัด (l, r) และเพื่อให้แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้ในการทำนายโรคระบาดในประเทศไทยได้นั้น จึงต้องมีการนำข้อมูลการเดินทางไปกลับระหว่างจังหวัดของประชากรในประเทศไทยเข้ามาใช้ด้วย จากการพิจารณางานวิจัยทั้งสองประเภทที่กล่าวไว้ข้างต้นในหัวข้อที่ 3 จึงได้มีกระบวนการในการหาตารางการย้ายถิ่นฐานของประชากรในประเทศไทย หรือ leaving rate (l) ดังรูปที่ 4.2



	A	B	C
A	0	Ao*Bi/(sum(Mi)-Ai)	Ao*Ci/(sum(Mi)-Ai)
B	Bo*Ai/(sum(Mi)-Bi)	0	Bo*Ci/(sum(Mi)-Bi)
C	Co*Ai/(sum(Mi)-Ci)	Co*Bi/(sum(Mi)-Ci)	0

Leaving rate (*l*)

รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการหาอัตราการย้ายถิ่นของประชากรไทยรายจังหวัด[i]

จากรูปที่ 4.2 อัตราการย้ายถิ่นของประชากร (l) สามารถหาได้โดยการจับคู่ข้อมูลการย้ายเข้า และย้ายออกของแต่ละจังหวัด โดยข้อมูลการย้ายถิ่นของประชากรสามารถหาได้จากแหล่งบริการข้อมูลทางสถิติของกรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย ยกตัวอย่างให้ Ao คือจำนวนประชากรที่ย้ายออกจากจังหวัด A โดยจำนวนประชากร Ao จะถูกแบ่งออกไปในทุกจังหวัดตามอัตราการย้ายเข้าของแต่ละจังหวัด ในที่นี่คือ Ai, Bi และ Ci ทำเช่นเดียวกับ Ao ไปจนครบทั้ง 76 จังหวัดจนได้ตารางอัตราการย้ายถิ่นที่สมบูรณ์ ในลักษณะดังตารางด้านขวามือของรูปที่ 4.2

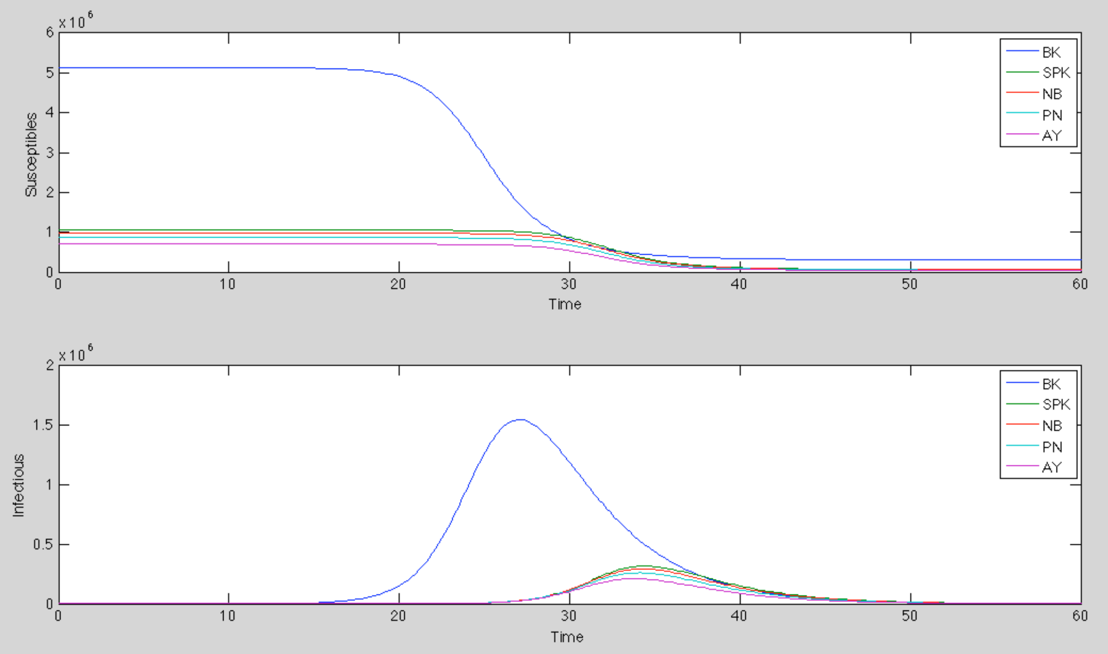
4.1.2 สร้างแบบจำลองวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายประชากรด้วย Matlab และ R

Matlab เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมไปถึงการแสดงผลด้วยแผนภูมิ และแผนที่ซึ่งมีความสวยงาม สะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งยังสามารถนำผลลัพธ์ ออกไปใช้ร่วมกับแบบจำลองอื่น ๆ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในระบาดวิทยา

ภาษา R เป็นภาษาที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับงานลักษณะเดียวกับ Matlab แต่ภาษา R ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่นในด้านการคำนวณทางสถิติ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในส่วนของการจัดการข้อมูลทางสถิติในงานวิจัยนี้ เช่น การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลรายปี โดยกระบวนการทำงานของแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรเป็นดังรูปที่ 4.1

หลังจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทราบตัวแปรที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองแล้ว จึงทำการพัฒนาแบบจำลองบน Matlab ตามสมการที่ 3 รวมถึงการใช้ข้อมูลอัตราการย้ายถิ่นของ

ประชากรไทยรายจังหวัดปี พ.ศ. 2552 ในหัวข้อที่ 4.1.1 สามารถแสดงผลลัพท์ของผู้มีโอกาสติดเชื้อ และผู้ที่ติดเชื้อเบื้องต้นได้ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การแสดงผลเบื้องต้นจากการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับศึกษาทางระบาดวิทยา

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์เบื้องต้นของจำนวนผู้ที่มีโอกาสติดเชื้อและจำนวนผู้ติดเชื้อจากการพัฒนาแบบจำลองบน Matlab โดยยึดตามหลักการของ SIR Metapopulation ตามสมการที่ 3 โดยปรับให้มีการอ่านค่าตัวแปรจากเอกสาร Excel แทนการกำหนดค่าในโปรแกรม และใช้จำนวนประชากร 5 จังหวัดในปี พ.ศ. 2552 คือ กรุงเทพมหานคร (BK) , สมุทรปราการ (SPK), นนทบุรี(NB), ปทุมธานี(PN) และอยุธยา(AY) รวมไปถึงอัตราการย้ายถิ่น 5 จังหวัดดังกล่าว ซึ่งใช้วิธีการคำนวณตามหัวข้อที่ 4.2 ส่วนค่าตัวแปรอื่น ๆ ยังคงกำหนดตามตัวอย่างแบบจำลอง SIR Metapopulation ได้แก่ อัตราการแพร่ของโรค(β) เท่ากับ 1 , อัตราการฟื้นตัว (γ) เท่ากับ 0.3, อัตราการเดินทางกลับของประชากร(r) เท่ากับ 2 เป็นต้น

จากรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงผลเบื้องต้นจากการพัฒนาแบบจำลองบน Matlab เป็นเพียงส่วนแรกของงานวิจัย โดยในหัวข้อต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงการนำแบบจำลองมาปรับ เพื่อประยุกต์ใช้กับประเทศไทย สามารถประมวลผลรายจังหวัด ทั้งหมด 76 จังหวัด และมีการปรับเปลี่ยนสมการเพื่อเพิ่มปัจจัยการเกิด การตายของประชากร รวมไปถึงการแสดงผลโดยใช้ข้อมูลของโรคไข้หวัดใหญ่ชนิดเอ (H1N1) อีกด้วย

4.2 การปรับปรุงแบบจำลอง (ขั้นตอนที่ 2)

ในขั้นตอนแรกของงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์ เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลการเคลื่อนย้ายของประชากรเมื่อนำมาทดลองใช้กับประเทศไทย ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองในเบื้องต้นสามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 4.3 สามารถบอกจำนวณของผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ติดเชื้อได้ โดยผลลัพท์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไป

ในส่วนของหัวข้อนี้ได้มีการนำแบบจำลองมาปรับปรุง เพื่อให้แบบจำลองมีควาวมสอดคล้อง และเหมาะสมในการนำมาใช้กับประเทศไทยมากที่สุด รวมถึงสามารถแสดงผลลัพธ์ในลักษณะของแผนที่ และกราฟ โดยปัจจัยที่ถูกเพิ่มในแบบจำลองมีดังนี้

4.2.1 การใช้ข้อมูลอัตราการเกิด และการตายของประชากรไทย

แบบจำลองการทำนายการแพร่ระบาดของโรคโดยพื้นฐานทั่วไป ไม่ได้พิจารณาในเรื่องของประชากรศาสตร์ เช่น อัตราการเกิด อัตราการตาย และการย้ายถิ่นของประชากร แม้ว่าแบบจำลอง SIR Metapopulation [13] จะเพิ่มเติมในส่วนของการเคลื่อนย้ายของประชากร อัตราการเกิดและการตาย โดยมีตัวแปรเหล่านี้อยู่ในสมการที่ 3 แล้ว แต่ยังคงมีการกำหนดค่าตัวแปรการเกิดและตายเป็นศูนย์ โดยสมการการคำนวณผลลัพธ์บน Matlab ไม่มีการนำค่าตัวแปรของอัตราการเกิดและการตายมาใช้ดังรูปที่ 4.4

```
% First do the off diagonals.
dX = -X.*((beta.*sumY./sumNN)*ones(1,n))...
    + l.*(ones(n,1)*diag(X)') - r.*X;
dY = X.*((beta.*sumY./sumNN)*ones(1,n)) - Y.*(gamma*ones(1,n))...
    + l.*(ones(n,1)*diag(Y)')    - r.*Y;
dNN =  l.*(ones(n,1)*diag(NN)')    - r.*NN;

% Now do diagonals
DX = -diag(X).*(beta.*sumY./sumNN) - sum(l)'.*diag(X) + sum(r.*X)';
DY = diag(X).*(beta.*sumY./sumNN) - diag(Y).*gamma - sum(l)'.*diag(Y)...
    + sum(r.*Y)';
DNN = - sum(l)'.*diag(NN) + sum(r.*NN)';

dX = dX - diag(diag(dX)) + diag(DX);
dY = dY - diag(diag(dY)) + diag(DY);
dNN = dNN - diag(diag(dNN)) + diag(DNN);

dPop=reshape([dX dY dNN],3*n*n,1);
```

รูปที่ 4.4 **สมการ** SIR Metapopulation **บน** Matlab **ของ** Keeling

จากรูปที่ 4.4 แสดงแบบจำลอง SIR Metapopulation ของ Keeling บนโปรแกรม Matlab ตามสมการที่ 3 โดยสมการคำนวณค่า X คือจำนวนของผู้มีโอกาสได้รับเชื้อ sumY คือจำนวนผู้ป่วย sumNN คือจำนวนประชากรทั้งหมดที่อยู่ในเขตนั้น ๆ ในขณะที่ n คือจำนวนกลุ่มประชากรที่พิจารณา สำหรับงานวิจัยนี้แบ่งการพิจารณาเป็นสองระดับได้แก่ ระดับภาคสี่ภาคตามการแบ่งข้อมูลรายภาคของสำนักงานสถิติแห่งชาติ n จะมีค่าเป็น 4 ในการคำนวณระดับภาค และการแบ่งเป็นระดับจังหวัด ค่า n มีค่าเป็น 76 ตามข้อมูล 76 จังหวัดของปี พ.ศ. 2552 ส่วนค่า beta gamma l และ r คืออัตราการแพร่ระบาดของโรค อัตราการฟื้นตัวของโรค อัตราการย้ายถิ่นของประชากร และอัตราการเดินทางกลับของประชากรตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าไม่มีการรับค่า และนำอัตราการเกิด และการตายมาคำนวณด้วย ดังนั้นจึงมีการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมเพื่อรับค่าอัตราการเกิดและการตายของประชากรมาคำนวณ และปรับอัตราการเกิด การตายจากสมการที่ 3 ดังสมการที่ 4

$$
\begin{aligned}
\frac{dX_{ii}}{dt} &= v_i X_{ii} - \beta_i X_{ii}\frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} - \sum_j l_{ji} X_{ii} + \sum_j r_{ji} X_{ji} - \mu_i X_{ii}, \\
\frac{dX_{ij}}{dt} &= v_i X_{ij} - \beta_i X_{ij}\frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} + l_{ij} X_{jj} - r_{ij} X_{ij} - \mu_i X_{ij}, \\
\frac{dY_{ii}}{dt} &= \beta_i X_{ii}\frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} - \gamma Y_{ii} - \sum_j l_{ji} Y_{ii} + \sum_j r_{ji} Y_{ji} - \mu_i Y_{ii}, \\
\frac{dY_{ij}}{dt} &= \beta_i X_{ij}\frac{\sum_j Y_{ij}}{\sum_j N_{ij}} - \gamma Y_{ij} + l_{ij} Y_{jj} - r_{ij} Y_{ij} - \mu_i Y_{ij}, \\
\frac{dN_{ii}}{dt} &= v_i N_{ii} - \sum_j l_{ji} N_{ii} + \sum_j r_{ji} N_{ji} - \mu_i N_{ii}, \\
\frac{dN_{ij}}{dt} &= v_i N_{ij} + l_{ij} N_{jj} - r_{ij} N_{ij} - \mu_i N_{ij}.
\end{aligned} \tag{4}
$$

ในสมการที่ 4 จากสมการเดิมค่าตัวแปรอัตราการเกิดและการตายเป็นจำนวนรวมการเกิดและการตายทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานให้ประชากรบางกลุ่มไม่ติดเชื้อหรือมีภูมิคุ้มกันอยู่แล้ว ดังนั้นสมการจึงถูกปรับอัตราการเกิด เป็นอัตราของผู้ที่เกิดและมีโอกาสเป็นโรค ส่วนอัตราการตายปรับจาก μ_{ii} และ μ_{ij} เป็นค่า μ_i เพียงค่าเดียวเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลอัตราการตายที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยค่าเหล่านี้จะถูกปรับในทุก ๆ สถานะของการเกิดโรค ส่วนกระบวนการการคำนวณหาผู้ป่วย dY_{ii}/dt และ dY_{ij}/dt ไม่มีการเพิ่มเติมเนื่องจากโอกาสที่เด็กทารกแรกเกิดจะติดเชื้อในทันทีมีน้อยมาก โดยโอกาสของการติดเชื้อในทารกแรกเกิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโรคที่นำมาวิเคราะห์ และอัตราการเกิดของทารกจากกลุ่มผู้ที่ติดเชื้อมีจำนวน

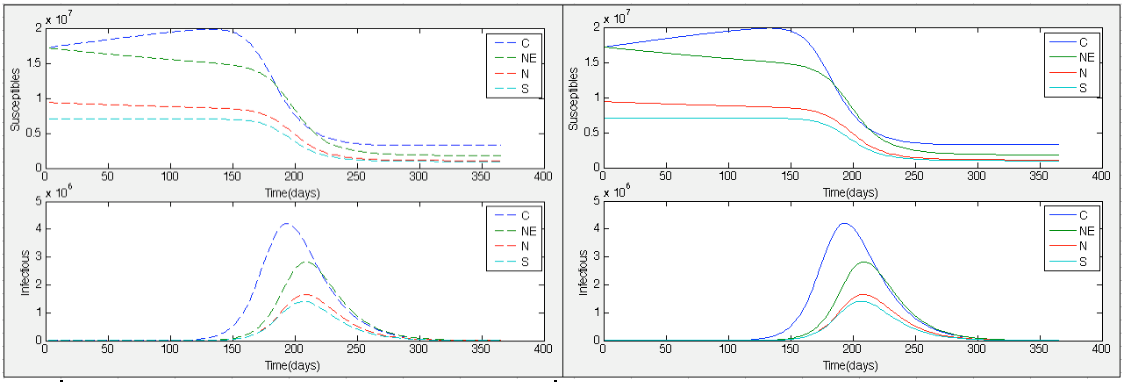
น้อยเมื่อเทียบสัดส่วนของทารกแรกเกิด เมื่อพิจารณาระยะเริ่มต้นของกระบวนการ จาก $v_i X_{ii}$, v_i คืออัตราการเกิดของประชากรในจังหวัด *i* และ X_{ii} คือจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อของจังหวัด *i* และยังคงอาศัยอยู่ในจังหวัด *i* ส่วน X_{ij} คือจำนวนผู้ที่มีโอกาสติดเชื้อซึ่งมาจากจังหวัด *j* แต่อาศัยอยู่ในจังหวัด *i* ในทำนองเดียวกันกับ Y_{ij}และ N_{ij} ซึ่งก็คือ จำนวนผู้ติดเชื้อ และจำนวนประชากรที่มาจากจังหวัด *j* แต่อาศัยอยู่ในจังหวัด *i* ตามลำดับ ส่วน μ_i คืออัตราการตายของประชากรในจังหวัด *i* จากการปรับสมการดังกล่าวนี้ สามารถปรับฟังก์ชั่นการคำนวณได้ดังรูปที่ 4.5

```
%---Including Birth and Death---
dX = diag(vi).*X - X.*((beta_i.*sumY./sumNN)*ones(1,n))...
    + l.*(ones(n,1)*diag(X)') - r.*X - diag(ui).*X;
dY = X.*((beta_i.*sumY./sumNN)*ones(1,n)) - Y.*(gamma*ones(1,n))...
    + l.*(ones(n,1)*diag(Y)') - r.*Y - diag(ui).*Y;
dNN =  diag(vi).*NN + l.*(ones(n,1)*diag(NN)') - r.*NN - diag(ui).*NN;

DX = vi.*diag(X) - diag(X).*(beta_i.*sumY./sumNN)...
    - sum(l)'.*diag(X) + sum(r.*X)' - ui.*diag(X);
DY = diag(X).*(beta_i.*sumY./sumNN) - diag(Y).*gamma...
    - sum(l)'.*diag(Y) + sum(r.*Y)' - ui.*diag(Y);
DNN = vi.*diag(NN) - sum(l)'.*diag(NN) + sum(r.*NN)' - ui.*diag(NN);

dX = dX - diag(diag(dX)) + diag(DX);
dY = dY - diag(diag(dY)) + diag(DY);
dNN = dNN - diag(diag(dNN)) + diag(DNN);
```

รูปที่ 4.5 ปรับฟังก์ชั่นในการคำนวณของแบบจำลองเมื่อเพิ่มปัจจัยอัตราการเกิด และอัตราการตายของประชากร

จากรูปที่ 4.5 เป็นการปรับแบบจำลองซึ่งพัฒนาบน Matlab โดยแสดงการคำนวณหาจำนวนประชากรที่ติดเชื้อ เมื่อมีการเพิ่มปัจจัย อัตราการเกิด(vi) และอัตราการตาย(ui) ของประชากร โดยการคำนวณในส่วนอื่น ๆ ยังคงเป็นไปตามแบบจำลอง SIR Metapopulation เดิม ซึ่งได้อธิบายความหมายไว้บางส่วนในรูปที่ 4.4 อัตราการแพร่เชื้อ(beta) และอัตราการฟื้นตัว (gamma) มีการใช้ข้อมูลเฉพาะของโรคแต่ละโรค ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามโรคที่เราสนใจ ในส่วนของการเคลื่อนย้ายประชากรคือ อัตราการเดินทางกลับของประชากร(r) และอัตราการย้ายถิ่น (l) ได้ใช้วิธีการคำนวณดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.1

จากการเพิ่มปัจจัยอัตราการเกิด และอัตราการตาย ลงไปในแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรดังกล่าว จึงมีการทดลองเปรียบเทียบผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองที่พิจารณา และไม่พิจารณาปัจจัยการเกิด การตาย แบบรายภาค

จากรูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างแบบจำลอง SIR Metapopulation ซึ่งไม่ได้นำข้อมูลจริงของการเกิดและการตายมาพิจารณา กับแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรซึ่งมีต้นแบบมาจากแบบจำลอง SIR Metapopulation แต่ถูกปรับให้เพิ่มปัจจัยอัตราการเกิด และอัตราการตายของประชากร ดังสมการที่ 4 และรูปที่ 4.5 เป็นการพิจารณาในระดับภาค โดยใช้ข้อมูลสถิติจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ และกรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย ซึ่งได้แก่ จำนวนประชากร อัตราการเกิด อัตราการตาย การย้ายเข้า ย้ายออกของประชากรในปี พ.ศ.2552 ส่วนค่าเฉพาะของโรคระบาดได้พิจารณาโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ โดยอัตราการแพร่เชื้อเป็น 0.2 อัตราการฟื้นตัว เป็น 0.07 และพิจารณาการแพร่ระบาดของโรคเป็นแบบรายวัน เป็นระยะเวลา 365 วัน

จากการพิจารณาผลลัพท์ดังกล่าว ซึ่งเส้นประคือ แบบจำลอง SIR Metapopulation เดิมไม่ได้สนใจข้อมูลสถิติ อัตราการเกิดและการตาย เส้นทึบคือผลลัพท์จากสมการที่ถูกปรับ และมีการเพิ่มข้อมูลทางสถิติของอัตราการเกิดและการตายของแต่ละภาค จะเห็นได้ว่าเส้นทึบและเส้นประมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก หากนำสองกราฟนี้มาซ้อนทับกันจะเห็นเป็นกราฟเดียวกัน เนื่องจากอัตราการเกิดของประชากรในหนึ่งปีมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรทั้งภาค แต่เมื่อมีการพิจารณาถึงจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ป่วย พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเกิดและการตาย มีผลทำให้กราฟของผู้มีโอกาสติดเชื้อเพิ่มสูงขึ้น กลุ่มคนเหล่านั้นสามารถติดเชื้อและกลายเป็นผู้ป่วย ซึ่งมีผลให้กราฟด้านล่างซึ่งแสดงจำนวนผู้ป่วยสูงขึ้นด้วย และสูงกว่าแบบจำลองที่ไม่ได้ถูกปรับ เนื่องจากจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อมีมากกว่า และยังสังเกตได้ว่า หลังจากที่หมดระยะของการติดเชื้อไปแล้ว เส้นประของกราฟแรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ในขณะที่เส้นทึบยังคงเพิ่มขึ้น เนื่องจากประชากรยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในขณะเดียวกัน เมื่อ

พิจารณาเรื่องของระยะเวลาของการแพร่ระบาดของโรค จะเห็นได้ว่า เส้นทึบและเส้นประ เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมาก

สรุปการเปรียบเทียบผลลัพท์ระหว่างแบบจำลองที่พิจารณา และไม่พิจารณาอัตราการเกิด การตายได้ว่า เมื่อเพิ่มการพิจารณาปัจจัยของอัตราการเกิด และอัตราการตายของประชากร มีผลทำให้ผู้ที่มีโอกาสในการติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อเพิ่มขึ้น แต่จำนวนการเพิ่มประชากรดังกล่าวนั้นน้อยมาก และส่งผลในการเพิ่มผู้ป่วยน้อยมากเมื่อเทียบกับประชากรทั้งหมดในหนึ่งปี แต่ไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการแพร่เชื้อของโรคไข้หวัดใหญ่แต่อย่างใด

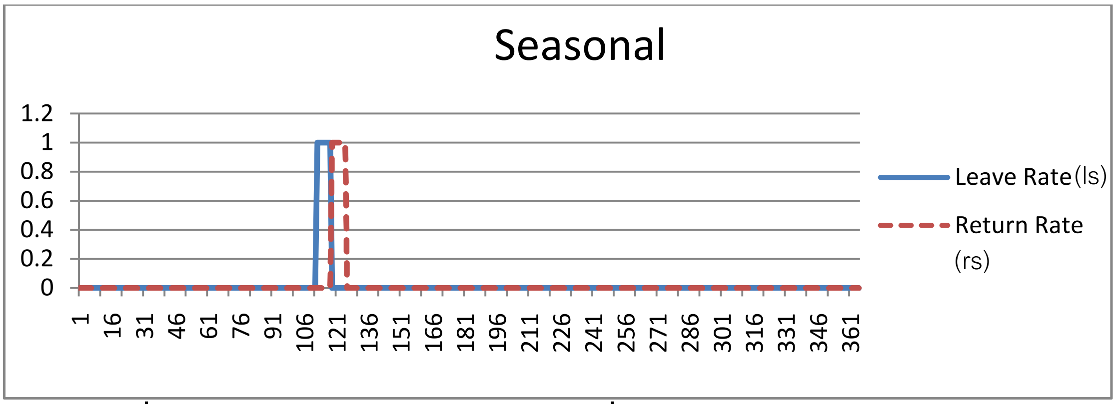
4.2.2 การเดินทางตามเทศกาลต่าง ๆ ของประเทศไทย

ในเทศกาลและวันสำคัญต่าง ๆ ของไทย เช่น วันขึ้นปีใหม่ หรือวันสงกรานต์ มีประชากรจำนวณมากเดินทางกลับภูมิลำเนาของตนเอง ซึ่งมีผลให้ปริมาณการเคลื่อนย้ายประชากรมากกว่าปกติ และอาจมีผลทำให้การแพร่ระบาดของโรคเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแบบจำลองได้ถูกปรับให้รองรับการทำงานในส่วนนี้ด้วย โดยมีการเพิ่มการคำนวณดังรูปที่ 4.7

```
%people leave their home district on National holidays
if ismember(int16(t),sIndex) == 1

    %---Including Birth and Death & seasonal ls---
    dX = diag(vi).*X - X.*((beta_i.*sumY./sumNN)*ones(1,n))...
        + (1+ls).*(ones(n,1)*diag(X)') - r.*X - diag(ui).*X;
    dY = X.*((beta_i.*sumY./sumNN)*ones(1,n)) - Y.*(gamma*ones(1,n))...
        + (1+ls).*(ones(n,1)*diag(Y)') - r.*Y - diag(ui).*Y;
    dNN =  diag(vi).*NN + (1+ls).*(ones(n,1)*diag(NN)') - r.*NN...
        - diag(ui).*NN;

    DX = vi.*diag(X) - diag(X).*(beta_i.*sumY./sumNN)...
        - sum((1+ls))'.*diag(X) + sum(r.*X)' - ui.*diag(X);
    DY = diag(X).*(beta_i.*sumY./sumNN) - diag(Y).*gamma...
        - sum((1+ls))'.*diag(Y) + sum(r.*Y)' - ui.*diag(Y);
    DNN = vi.*diag(NN) - sum((1+ls))'.*diag(NN) + sum(r.*NN)'...
        - ui.*diag(NN);

%people return to their home district on National holidays
elseif ismember(int16(t),rsIndex) == 1

    %---Including Birth and Death & seasonal rs---
    dX = diag(vi).*X - X.*((beta_i.*sumY./sumNN)*ones(1,n))...
        + 1.*(ones(n,1)*diag(X)') - ((r+rs).*X) - diag(ui).*X;
    dY = X.*((beta_i.*sumY./sumNN)*ones(1,n)) - Y.*(gamma*ones(1,n))...
        + 1.*(ones(n,1)*diag(Y)') - (r+rs).*Y - diag(ui).*Y;
    dNN =  diag(vi).*NN + 1.*(ones(n,1)*diag(NN)') - (r+rs).*NN...
        - diag(ui).*NN;

    DX = vi.*diag(X) - diag(X).*(beta_i.*sumY./sumNN)...
        - sum(1)'.*diag(X) + sum((r+rs).*X)' - ui.*diag(X);
    DY = diag(X).*(beta_i.*sumY./sumNN) - diag(Y).*gamma...
        - sum(1)'.*diag(Y) + sum((r+rs).*Y)' - ui.*diag(Y);
    DNN = vi.*diag(NN) - sum(1)'.*diag(NN) + sum((r+rs).*NN)'...
        - ui.*diag(NN);
```

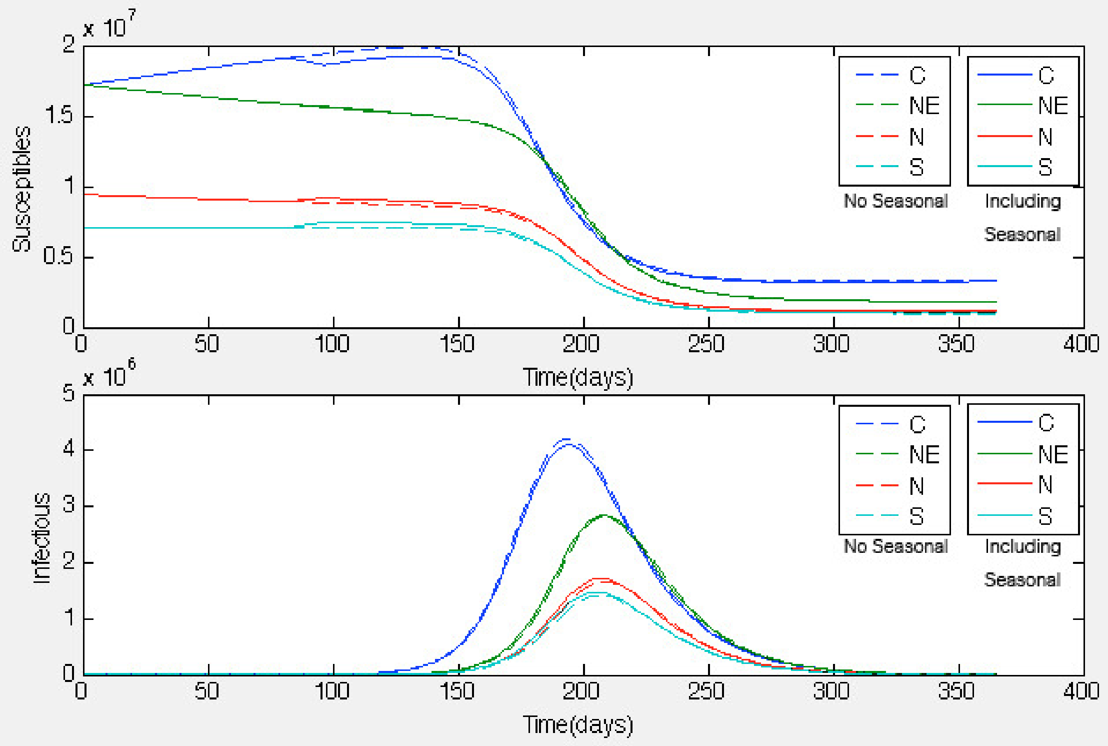
รูปที่ 4.7 ปรับฟังก์ชั่นสำหรับใช้ในการคำนวณการเคลื่อนย้ายตามเทศกาล

รูปที่ 4.7 แสดงการปรับฟังก์ชั่นเพื่อใช้ในการคำนวณการเคลื่อนย้ายประชากรตามเทศกาล โดยมีการเพิ่มอัตราการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล ls และอัตราการเดินทางกลับของประชากรหลังเทศกาล rs โดยปรับให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร สามารถกรอกค่าผ่านทางเอกสาร Excel ซึ่งอธิบายรายละเอียดของเอกสารและการใส่ค่าตัวแปรไว้ในหัวข้อที่ 4.2.4 โดยเพิ่มหน้าเอกสารในการส่งค่าตัวแปรอีกสี่หน้า ได้แก่ l_s คืออัตราการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล ซึ่งเก็บข้อมูลในรูปแบบเมตริกขนาด 76*76 เช่นเดียวกับ l_ij และหน้าสำหรับกำหนดวันที่มีการเคลื่อนย้ายประชากร กำหนดค่าเป็น 1 สำหรับวันเทศกาลที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดค่า 0 เมื่อต้องการประชากรเคลื่อนย้ายตามอัตราปกติ ส่วนหน้า r_s คือ อัตราการเดินทางกลับของประชากรหลังเทศกาล สามารถกำหนดวันเดินทางกลับได้เช่นเดียวกับอัตราการเดินทางออกคือกำหนดวันเดินทางกลับให้มีค่าเป็น 1 ในเอกสารเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ แสดงตัวอย่างเทศกาลสงกรานต์ โดยกำหนดให้เดือนเมษายน มีการเคลื่อนย้ายของประชากรเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับเดือนอื่น ๆ แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กำหนดค่าตัวแปรสำหรับการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล

จากรูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างการคำนวณการแพร่ระบาดของโรคเมื่อเพิ่มการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล กำหนดให้ช่วงเทศกาลที่ต้องการวิเคราะห์มีค่าเป็น 1 ในที่นี้กำหนดให้วันที่ 112-118 เป็น 1 และวันอื่น ๆ มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายถึงช่วงเทศกาลสงกรานต์ เดือนเมษายน โดยแสดงเป็นเส้นทึบดังรูป และกำหนดให้มีประชากรเดินทางกลับในวันที่ 119-125 คือหนึ่งสัปดาห์หลังช่วงเทศกาล ในที่นี้แสดงเป็นเส้นประ หลังจากที่ทำการคำนวณการเคลื่อนย้ายประชากรดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบผลลัพท์ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 **ผลการเปรียบเทียบของการคำนวณโดยพิจารณา และไม่พิจารณาการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล**

จากรูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองที่คำนวณและไม่คำนวณการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล โดยเส้นประคือแบบจำลองปกติที่กำหนดให้ค่าตัวแปรเทศกาลเป็น 0 ทั้ง 365 วัน ส่วนเส้นทึบคือ การเพิ่มการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาลสงกรานต์และปีใหม่ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่า กราฟของผู้มีโอกาสในการติดเชื้อมีลักษณะบิดเบี้ยวไปจากเดิมเล็กน้อย โดยภาคกลางมีจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อน้อยลงในช่วงวันที่ 80 เมื่อเทียบกับการคำนวณแบบปกติ ส่วนภาคเหนือ และภาคใต้มีจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเทศกาลมีประชากรเดินทางออกจากภาคกลางไปยังภาคอื่น ๆ เพิ่มขึ้น และจากเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลให้จำนวนของผู้ติดเชื้อในภาคกลางลดลง ในขณะที่ภาคอื่น ๆ มีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้พิจารณาการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล

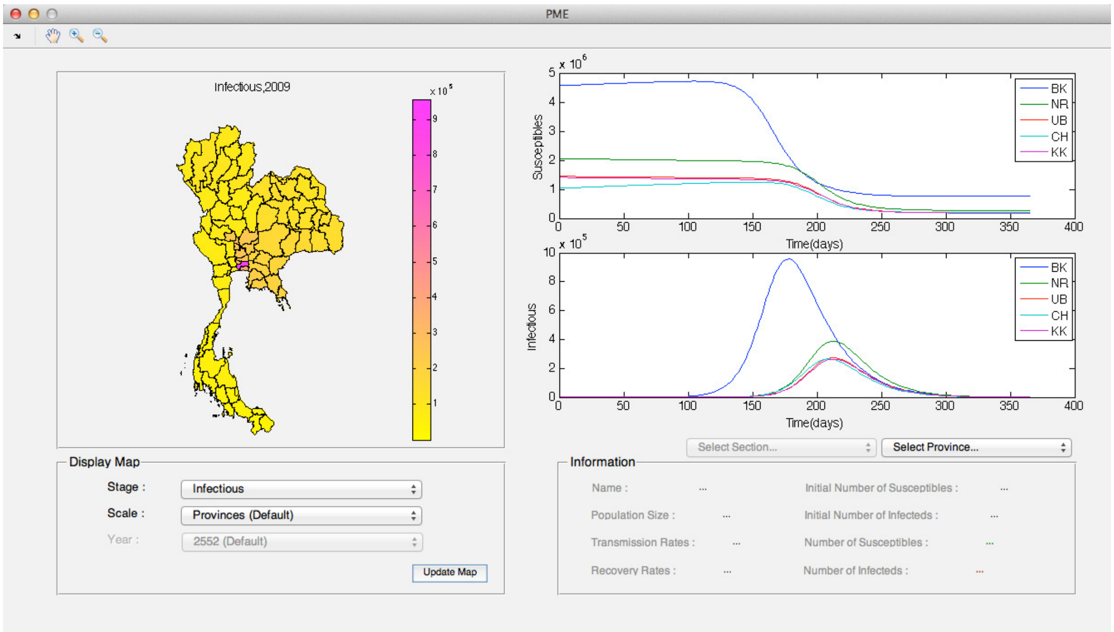
4.2.3 **การเดินทางไปกลับระหว่างวัน**

ในแต่ละวันประชากรมีการเดินทางไปมาภายในจังหวัดหรือ ข้ามจังหวัด ด้วยจุดประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่นการเดินทางไปทำงาน เรียน หรือประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งการเคลื่อนย้าย

ประชากรในลักษณะนี้ก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการระบาดของโรค ตัวอย่างแบบจำลองของการระบาดของไข้หวัดใหญ่ใน Ferguson [35] มีการพิจารณาการเดินทางไปกลับระหว่างวันซึ่งได้มีการนำหลักการของแบบจำลองแบบถ่วงน้ำหนัก (Gravity Model) มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งพบว่าในประเทศไทยยังไม่มีการสำรวจข้อมูลของการเดินทางเหล่านี้อย่างเป็นทางการ อีกทั้งการเดินทางไปเรียน หรือไปทำงานในแต่ละวัน โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการเดินทางภายในจังหวัด ซึ่งการแสดงผลในแบบจำลองเป็นการแสดงผลแบบรายจังหวัด และรายภาค ดังนั้นการแพร่ระบาดจากการเดินทางไปมาระหว่างวันจึงมีผลเพียงจังหวัดที่อยู่ใกล้เคียงหรือมีผลเล็กน้อยเมื่อพิจารณาในระดับจังหวัดและระดับภาค ดังนั้นการเดินทางไปกลับระหว่างวันจึงไม่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

4.2.4 **ข้อมูลของแบบจำลอง**

จากปัจจัยทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้น ในหัวข้อที่ 4.2.1-4.2.3 ซึ่งมีความสอดคล้องกับวัฒนธรรมและความเป็นอยู่ของประชากรในประเทศไทย สามารถช่วยให้แบบจำลองจากขั้นตอนแรกมีประสิทธิภาพและมีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ขั้นต้น (User Interface) เพื่อให้สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรม สามารถดูข้อมูลแบบรายจังหวัด รวมถึงแสดงผลแบบกราฟ และแบบแผนที่ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 **แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยา**

จากรูปที่ 4.10 แสดงแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยา ซึ่งรันบนระบบปฏิบัติการ Mac OS X 10.7.3, Processor 2.5 GHz Intel Core i5, Memory 4GB ใช้เวลาในการโหลดโปรแกรมครั้งแรกโดยเฉลี่ย 5.124 วินาที และใช้เวลาในการเปลี่ยนกราฟและแผนที่โดยเฉลี่ย 3.247 วินาที จากการทดสอบความเร็วทั้งหมด 50 ครั้ง ทั้งนี้แบบจำลองสามารถแสดงแผนที่แบบรายภาค และรายจังหวัด เช่นเดียวกันกับกราฟ รวมทั้งสามารถดูรายละเอียดของตัวแปร จำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ที่ติดเชื้อสูงสุดแบบรายจังหวัด โดยการโหลดโปรแกรมครั้งแรก แผนที่จะถูกกำหนดให้แสดงค่าสีตามความหนาแน่นของประชากรในแต่ละจังหวัด กราฟแสดงจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ป่วย 5 จังหวัด โดยใช้ค่าเฉพาะของโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ ในปี พ.ศ. 2552 และข้อมูลประชากรในปี พ.ศ. 2552 โดยรายละเอียดค่าตัวแปรต่างๆถูกกำหนดไว้ดังต่อไปนี้

เอกสาร Excel ที่เก็บค่าตัวแปรถูกแบ่งไว้เป็นสองส่วน ซึ่งทั้งสองไฟล์นี้ใช้ร่วมกัน ได้แก่ parameters76_2009.xls ซึ่งเก็บค่าแบบรายจังหวัด และ parameters4Sections_2009.xls มีการเก็บค่าแบบรายภาค โดยรูปแบบการเก็บมีรูปแบบการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบค่าตัวแปรสำหรับใช้ในแบบจำลอง

ชื่อหน้า	ขนาดตารางข้อมูล	ความหมาย
N	1 x 1	จำนวนกลุ่มประชากร n กลุ่ม
beta_i	1 x n	อัตราการแพร่เชื้อของโรคในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน
gamma_i	1 x n	อัตราการฟื้นตัวของโรคในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน
l_ij	n x n	อัตราการย้ายถิ่นของประชากรในแต่ละกลุ่มต่อวัน
r_ij	n x n	อัตราการเดินทางกลับของประชากรในแต่ละกลุ่มต่อวัน
N0	1 x n	จำนวนประชากรรวมในหนึ่งปีของแต่ละกลุ่ม
X0	1 x n	จำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อเริ่มต้นรวมในหนึ่งปีของแต่ละกลุ่ม
Y0	1 x n	จำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มประชากร
MaxTime	1 x 1	ระยะเวลาในการคำนวณกำหนดในระดับวัน
pCode	1 x n	รหัสจังหวัดสำหรับระบุชื่อกราฟ
vi	1 x n	อัตราการเกิดในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน
ui	1 x n	อัตราการตายในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน
l_s	n x n	อัตราการย้ายถิ่นของประชากรในช่วงเทศกาล
seasonal	1 x 365	การกำหนดวันที่ประชากรเดินทางออกในช่วงเทศกาล
r_s	n x n	อัตราการเดินทางกลับของประชากรที่เดินทางในช่วงเทศกาล

ชื่อหน้า	ขนาดตารางข้อมูล	ความหมาย
dateReturn	1 x 365	การกำหนดวันที่ประชากรเดินทางกลับหลังเทศกาล

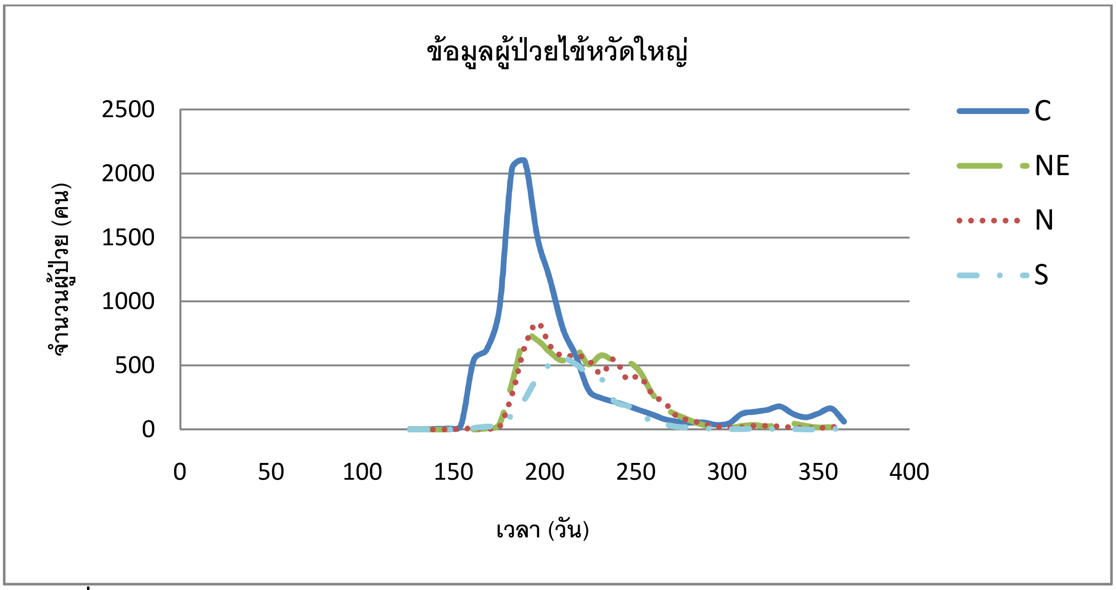
จากตารางที่ 2 ค่า n คือจำนวณกลุ่มประชากรที่นำมาพิจารณาในแบบจำลอง หากต้องการพิจารณาแบบรายจังหวัด ค่าเริ่มต้นจะถูกกำหนดไว้เป็น 76 ตามจำนวนจังหวัดของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2552 ส่วนการพิจารณาเป็นแบบรายภาค ค่าตัวแปร n จะเป็น 4 เนื่องจากข้อมูลต่าง ๆ ถูกแบ่งออกเป็น 4 ภาคตามข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ

จากการพัฒนาแบบจำลองดังที่กล่าวมาในข้างต้น แบบจำลองจะทำการคำนวณการแพร่ระบาด และนำผลลัพท์มาเปรียบเทียบกับข้อมูลไข้หวัดใหญ่ในปี พ.ศ. 2552 ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 5

การทดลองและสรุปผลการวิจัย

ในปี พ.ศ. 2552 มีการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธ์ใหม่ชนิดเอ (H1N1) ในหลายประเทศทั่วโลกซึ่งรวมไปถึงประเทศไทย ผู้ป่วยจำนวนหนึ่งเข้ารับการรักษาและมีการบันทึกข้อมูลผู้ โดยข้อมูลของผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่ชนิดเอ (H1N1) ที่เข้ารับการรักษาในปี พ.ศ. 2552 ถูกนำมาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 จำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ (H1N1) ปี พ.ศ. 2552 แบบรายภาค

จากรูปที่ 5.1 แสดงกราฟจากข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ ปี พ.ศ. 2552 โดยทั่วประเทศมีผู้ป่วยที่ถูกบันทึกข้อมูลทั้งหมด 30,954 คน พบที่ภาคกลาง (C) 13,001 คน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) 7,186 คน ภาคเหนือ (N) 6,822 คน และภาคใต้ (S) 3,945 คน โดยผู้ป่วยรายแรกที่ได้รับการบันทึกมาจากกรุงเทพมหานคร ซึ่งเริ่มต้นในสัปดาห์ที่ 18 หรือประมาณวันที่ 126 หลังจากนั้นประมาณสองสัปดาห์หรือสัปดาห์ที่ 22 มีการบันทึกผู้ป่วยในภาคต่าง ๆ คือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ โดยสัปดาห์ที่ 27 ภาคกลางมีผู้ป่วยสูงสุดจำนวน 2096 คน ในสัปดาห์เดียวกันภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนผู้ป่วยสูงสุด 723 คน ในสัปดาห์ที่ 28 ภาคเหนือมีผู้ป่วยสูงสุด 834 คน และในสัปดาห์ที่ 30 ภาคใต้มีผู้ป่วยสูงสุด 558 คน

5.1 แบบจำลองเพื่อการศึกษาทางระบาดวิทยาของไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากรสำหรับการศึกษาทางระบาดวิทยารูปที่ 4.10 มีส่วนช่วยในการศึกษาการแพร่ระบาดของโรคที่เกิดขึ้นในประเทศไทย สามารถทำนายระยะเวลาการเกิดของโรค และจำนวนของผู้ป่วย เมื่อระบุอัตราการแพร่ระบาด และอัตราการฟื้นตัวของโรคนั้น ๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแบบจำลองกับโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ ในปี พ.ศ. 2552 ทั้งแบบรายภาคและรายจังหวัด เปรียบเทียบกับผลสำรวจผู้ป่วยจริงในปีเดียวกัน จากผลการคำนวนของแบบจำลอง สามารถนำค่าที่ได้จากการคำนวณตามแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ ที่เข้ารับการรักษาในปี พ.ศ.2552 โดยแสดงการเปรียบเทียบอย่างละเอียดของผลการทดลองของแบบจำลองกับข้อมูลจริงดังตารางที่ 4-8 โดยมีการกำหนดชื่อของแบบจำลองต่าง ๆ ดังนี้

แบบจำลอง A คือ แบบจำลองพื้นฐานทางระบาดวิทยาซึ่งไม่มีการพิจารณาการเคลื่อนย้ายประชากร

แบบจำลอง B คือ แบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทยสำหรับศึกษาทางระบาดวิทยา

แบบจำลอง C คือ แบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทยสำหรับศึกษาทางระบาดวิทยา รวมทั้งข้อมูลอัตราการเกิด การตายของประชากรไทย และเพิ่มการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล

โดยค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลองเพื่อศึกษาการระบาดของไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ถูกกำหนดขึ้นตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง

ชื่อหน้า	ขนาดตารางข้อมูล	ความหมาย	ค่าตัวแปรแบบจำลอง A	ค่าตัวแปรแบบจำลอง B	ค่าตัวแปรแบบจำลอง C
N	1 x 1	จำนวนกลุ่มประชากร n กลุ่ม	4	4	4
beta_i	1 x 4	อัตราการแพร่เชื้อของโรคในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน	0.2	0.2	0.2

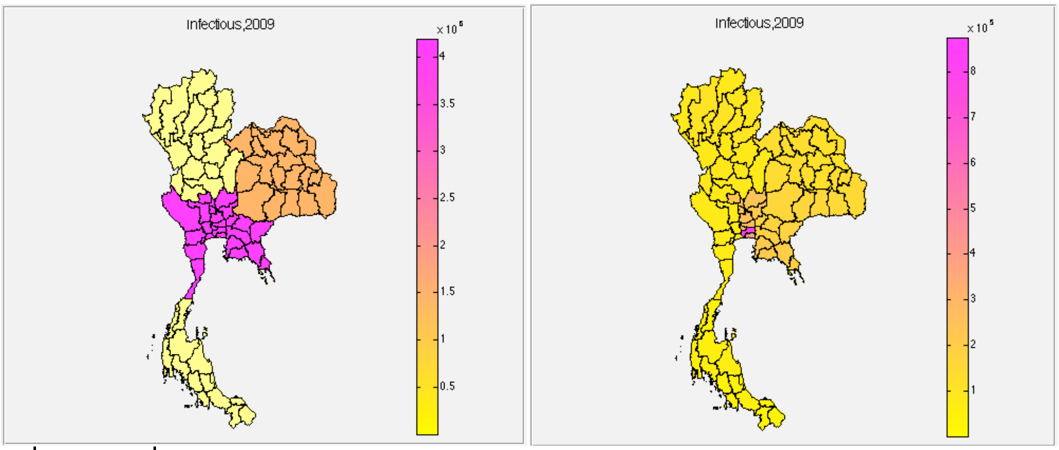
ชื่อหน้า	ขนาดตารางข้อมูล	ความหมาย	ค่าตัวแปรแบบจำลอง A	ค่าตัวแปรแบบจำลอง B	ค่าตัวแปรแบบจำลอง C
gamma_i	1 x 4	อัตราการฟื้นตัวของโรคในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน	0.07	0.07	0.07
l_ij	4 x 4	อัตราการย้ายถิ่นของประชากรในแต่ละกลุ่มต่อวัน	คำนวนตามหัวข้อที่ 4.1.1	คำนวนตามหัวข้อที่ 4.1.1	คำนวนตามหัวข้อที่ 4.1.1
r_ij	4 x 4	อัตราการเดินทางกลับของประชากรในแต่ละกลุ่มต่อวัน	0	0	0
N0	1 x 4	จำนวนประชากรรวมในหนึ่งปีของแต่ละกลุ่ม	จำนวนประชากรรายภาคปี พ.ศ. 2552	จำนวนประชากรรายภาคปี พ.ศ. 2552	จำนวนประชากรรายภาคปี พ.ศ. 2552
X0	1 x 4	จำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อเริ่มต้นรวมในหนึ่งปีของแต่ละกลุ่ม	ร้อยละ 80 ของจำนวนประชากร	ร้อยละ 80 ของจำนวนประชากร	ร้อยละ 80 ของจำนวนประชากร
Y0	1 x 4	จำนวนผู้ติดเชื้อเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มประชากร	1 (เฉพาะภาคที่พิจารณา)	1 (เฉพาะภาคกลาง)	1 (เฉพาะภาคกลาง)
MaxTime	1 x 1	ระยะเวลาในการคำนวณกำหนดในระดับวัน	365	365	365
pCode	1 x 4	รหัสสำหรับระบุชื่อกราฟ	อักษรย่อระบุภาค	อักษรย่อระบุภาค	อักษรย่อระบุภาค
vi	1 x 4	อัตราการเกิดในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน	-	-	อัตราการเกิดรายภาค
ui	1 x 4	อัตราการตายในแต่ละกลุ่มประชากรต่อวัน	-	-	อัตราการตายรายภาค
l_s	4 x 4	อัตราการย้ายถิ่นของประชากรในช่วงเทศกาล	-	อัตราการย้ายถิ่นของประชากร	อัตราการย้ายถิ่นของประชากร
seasonal	1 x 365	การกำหนดวันที่ประชากรเดินทางออกในช่วงเทศกาล	-	-	วันที่ 112-118 เป็น 1 และวันอื่น ๆ เป็น 0

ชื่อหน้า	ขนาดตารางข้อมูล	ความหมาย	ค่าตัวแปรแบบจำลอง A	ค่าตัวแปรแบบจำลอง B	ค่าตัวแปรแบบจำลอง C
r_s	4 x 4	อัตราการเดินทางกลับของประชากรที่เดินทางในช่วงเทศกาล	-	-	อัตราการย้ายถิ่นของประชากรในช่วงเทศกาล (*l_s = r_s*)
dateReturn	1 x 365	การกำหนดวันที่ประชากรเดินทางกลับหลังเทศกาล	-	-	วันที่ 119-125 เป็น 1 และวันอื่น ๆ เป็น 0

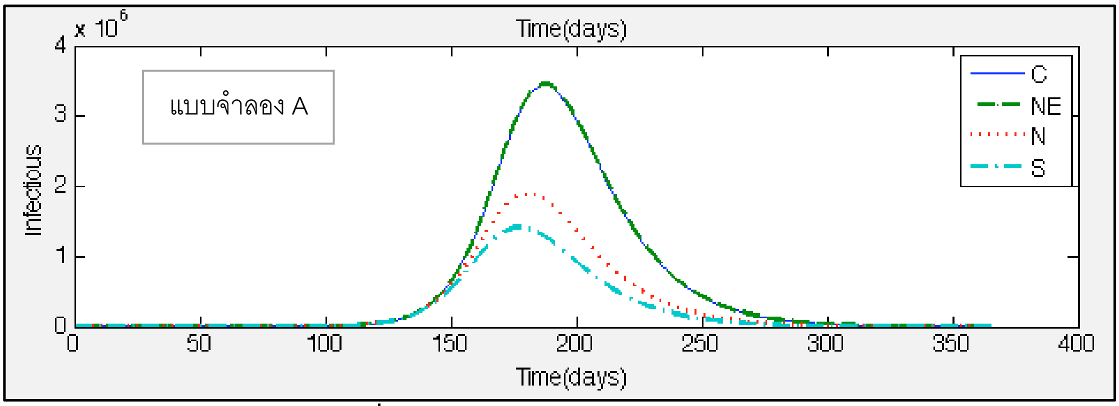
จากตารางที่ 3 แบบจำลองประมวลผลการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ แบบรายภาค โดยกำหนดการคำนวนเป็น 4 ภาคดังกล่าว อัตราการแพร่เชื้อของโรคไข้หวัดใหญ่เป็น 0.2 และอัตราการฟื้นตัวของโรคคือ 1/ระยะเวลาของโรค ซึ่งโรคไข้หวัดใหญ่ใช้ระยะเวลา 14 วัน จึงมีค่าเป็น 1/14 = 0.07 ต่อวัน ส่วนอัตราการย้ายถิ่นของประชากรสามารถใช้ข้อมูลการย้ายถิ่นของประชากรจากกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย มาคำนวณดังหัวข้อที่ 4.1.1 และกำหนดอัตราการเดินทางกลับของประชากรต่อวันเป็น 0 เนื่องจากข้อมูลที่นำมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองเป็นอัตราเฉลี่ยจากข้อมูลการย้ายถิ่นรายปี ดังนั้นใน 365 วันจึงไม่มีประชากรทางกลับมาสู่จังหวัดที่ย้ายออกไปในตอนเริ่มต้น

จำนวนข้อมูลประชากรหรือสถิติต่าง ๆ ในการทดลองนี้ใช้ข้อมูลของปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบกับข้อมูลการแพร่ระบาดของไข้หวัดใหญ่ในปีเดียวกัน ดังนั้นจำนวนประชากรและผู้ที่มีโอกาสติดเชื้อจึงอ้างอิงจากข้อมูลสถิติในปี พ.ศ. 2552 ในขณะที่ผู้ติดเชื้อเริ่มต้นกำหนดให้ภาคกลางมีค่าเป็น 1 ซึ่งหมายถึงกำหนดให้เชื้อโรคนั้นเริ่มต้นแพร่ระบาดจากภาคกลางโดยอ้างอิงจากข้อมูลสถิติของโรคไข้หวัดใหญ่ ซึ่งพบว่ามีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในสัปดาห์แรกที่เกิดการระบาดของโรคเป็นคนในกรุงเทพ ส่วนภาคอื่น ๆ กำหนดให้เป็น 0 ในส่วนของระยะเวลาในการพิจารณาโรคกำหนดให้เป็นหนึ่งปี หรือ 365 วัน และการคำนวนการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ นั้นไม่มีการใช้ข้อมูลการเกิดจากสถิติ และไม่คำนวณการตายที่เกิดจากเหตุผลอื่น ๆ ดังนั้นจึงให้ค่า vi และ ui เป็นศูนย์

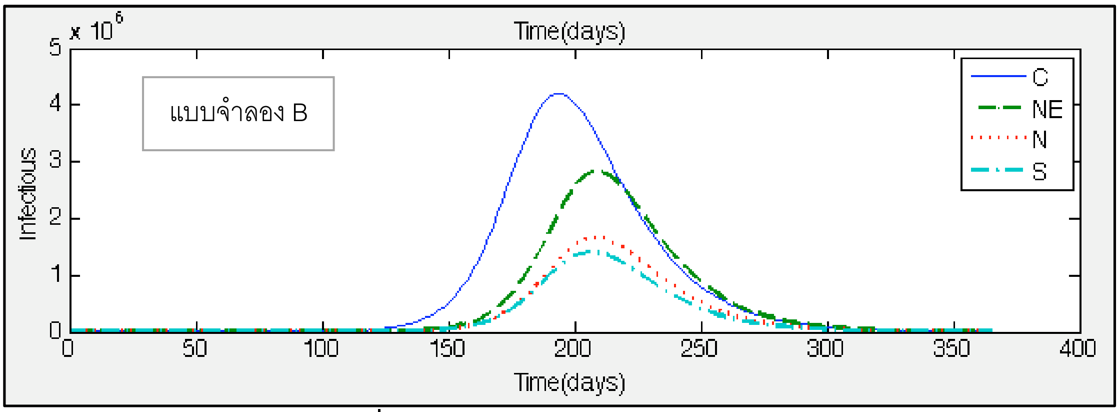
การแสดงผลของแบบจำลองเป็นการแสดงผลในลักษณะกราฟเส้น ตารางผลการคำนวณของแบบจำลอง และแผนที่แสดงผู้ป่วยรายภาค รายจังหวัด ดังต่อไปนี้



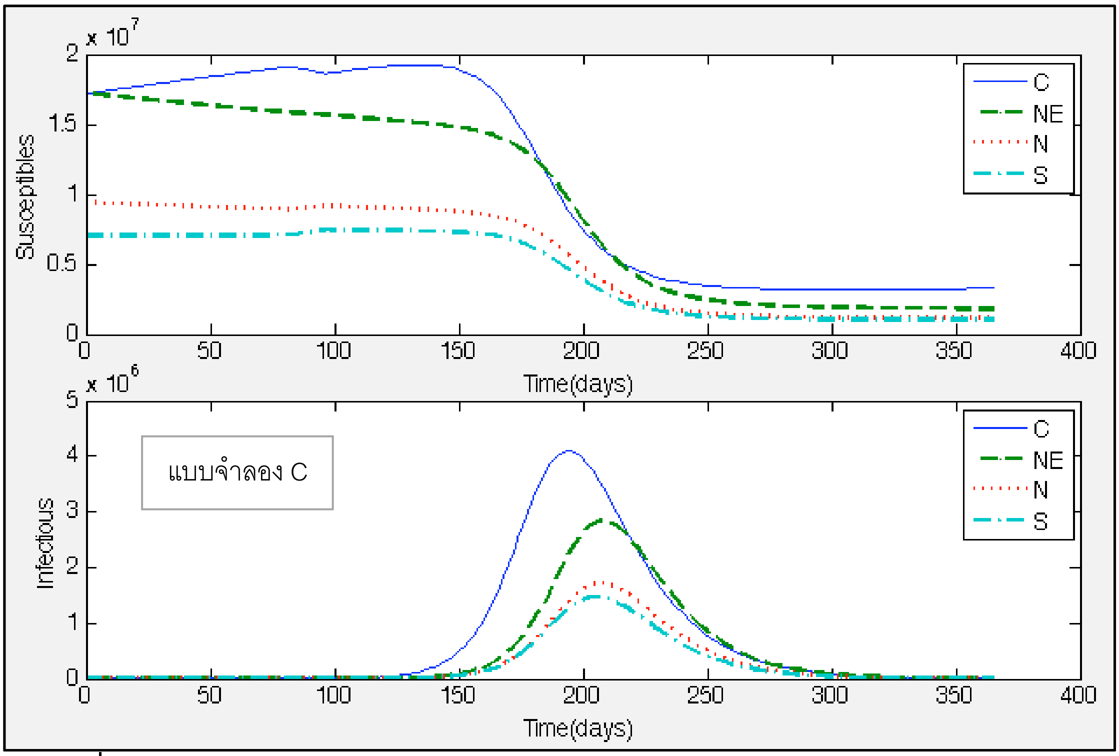
รูปที่ 5.2 แผนที่แสดงผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่รายภาคและรายจังหวัดในปี พ.ศ. 2552 จากการคำนวณโดยแบบจำลอง C



รูปที่ 5.3 กราฟผลลัพธ์จากแบบจำลอง A



รูปที่ 5.4 กราฟผลลัพธ์จากแบบจำลอง B



รูปที่ 5.5 จำนวนผู้ป่วยและระยะของการเกิดไข้หวัดใหญ่ในปี พ.ศ. 2552 จากการคำนวณโดยแบบจำลอง C

จากรูปที่ 5.2-5.5 กราฟแสดงการคำนวณไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ ซึ่งแพร่ระบาดในปี พ.ศ. 2552 โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนย้ายประชากรแบบรายภาค ซึ่งแบ่งภาคตามข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ คือ ภาคกลาง (C) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ภาคเหนือ (N) และภาคใต้ (S) สามารถพิจารณากราฟได้สองส่วนดังตัวอย่างรูปที่ 5.5 ส่วนบนของกราฟคือจำนวนผู้ที่มีโอกาสติดเชื้อ ในส่วนด้านล่างของกราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อ โดยแสดงผลลัพธ์แบบตาราง และเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองในแบบต่าง ๆ ในลำดับต่อไป

5.1.1 การเปรียบเทียบแบบรายภาค

การเปรียบเทียบแบบรายภาคได้มีการแบ่งภาคตามข้อมูลประชากรของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ภาค คือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ โดยได้ทำการทดสอบสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วย สัปดาห์ที่มีจำนวนผู้ป่วยสูงสุด และอัตราการป่วยสูงสุดในแต่ละภาค ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง

สัปดาห์ที่เริ่มต้น	แบบจำลอง A	แบบจำลอง B	แบบจำลอง C	ข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ H1N1 ปี พ.ศ. 2552
ภาคกลาง	16	17	17	18
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	16	20	20	22
ภาคเหนือ	16	20	20	22
ภาคใต้	16	20	20	22

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง

สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุด	แบบจำลอง A	แบบจำลอง B	แบบจำลอง C	ข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ H1N1 ปี พ.ศ. 2552
ภาคกลาง	27	27	27	27
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	27	29	29	27
ภาคเหนือ	26	29	29	28
ภาคใต้	25	29	29	30

จากตารางที่ 4-5 เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์สัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยและสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดแบบรายภาค แบบจำลอง B สามารถทำนายช่วงเวลาที่มีการติดเชื้อ ได้ใกล้เคียงมากกว่าแบบจำลอง A และเมื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง C กับแบบจำลอง B ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อพิจารณาในระดับสัปดาห์ และยังไม่สามารถเปรียบเทียบความละเอียดในระดับวันเนื่องจากข้อมูลผู้ป่วยที่จำกัด เมื่อพิจารณาจากข้อมูลผู้ป่วยของตารางที่ 4-5 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้เริ่มมีการติดเชื้อในสัปดาห์เดียวกัน แต่มีจำนวนผู้ป่วยสูงสุดในสัปดาห์ที่แตกต่างกัน โดยเริ่มจากภาคกลางไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ตามลำดับ ในขณะที่การทำนายจากแบบจำลอง C พบว่ามีผู้ป่วยติดเชื้อสูงสุดในสัปดาห์เดียวกันทั้งสามภาค ซึ่งในส่วนนี้จะมีการพิจารณานำไปพิจารณาในระดับจังหวัดต่อไป

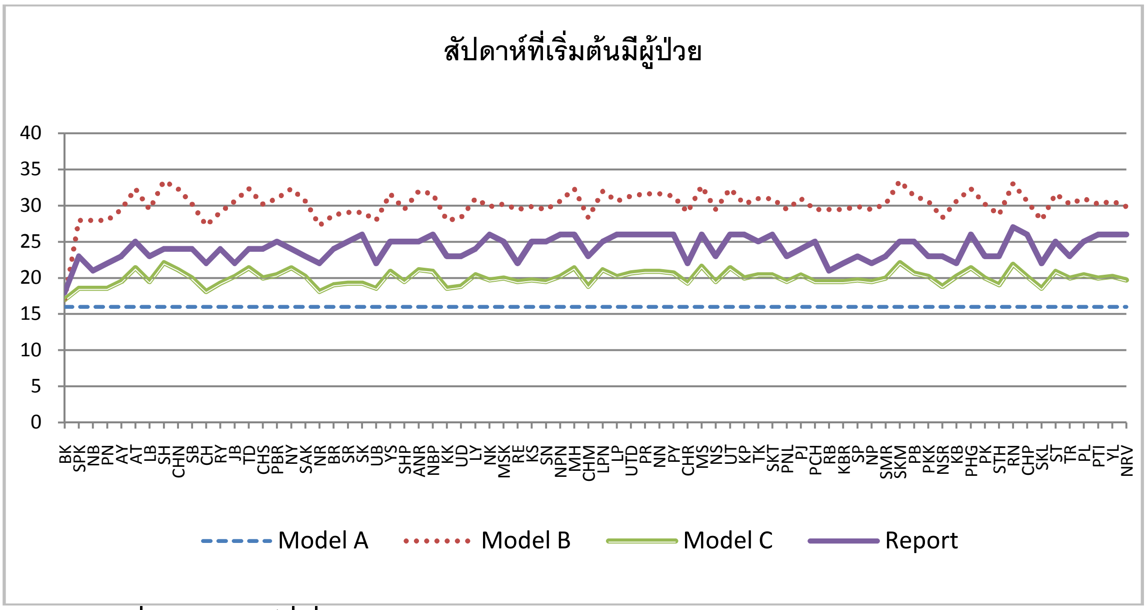
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบอัตราการป่วยจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง

จำนวนผู้ป่วยในสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุด (คน)	แบบจำลอง A [การจัดลำดับ]	แบบจำลอง B [การจัดลำดับ]	แบบจำลอง C [การจัดลำดับ]	ข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ H1N1 ปี พ.ศ. 2552 [การจัดลำดับ]
ภาคกลาง	16.067 [2]	19.572 [1]	19.116 [1]	0.009 [1]
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	16.067 [1]	13.129 [4]	13.189 [4]	0.003 [4]
ภาคเหนือ	16.042 [3]	14.099 [3]	14.595 [3]	0.007 [2]
ภาคใต้	16.041 [4]	15.940 [2]	16.673 [2]	0.006 [3]

จากตารางที่ 6 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยต่อจำนวนประชากรในแต่ละภาคจากแบบจำลองมีความแตกต่างกับจำนวนผู้ป่วยจริงค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างภาค แบบจำลอง B และ C มีลักษณะใกล้เคียงกว่าแบบจำลอง A สังเกตุได้จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเดิมมีค่าใกล้เคียงกับภาคกลาง ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง C ซึ่งปรับอัตราการเกิดการตาย และเพิ่มการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล ประชากรที่ติดเชื้อในภาคกลางลดลง และเพิ่มมากขึ้นในภาคอื่น ๆ เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง B เนื่องจากมีการเดินทางออกจากภาคกลางไปยังภาคต่าง ๆ ของประชากรในช่วงเทศกาล

5.1.2 การเปรียบเทียบแบบรายจังหวัด

การเปรียบเทียบรายจังหวัดอ้างอิงจากข้อมูลสถิติ และรหัสจังหวัดในปี พ.ศ. 2552 ซึ่งมีทั้งหมด 76 จังหวัด ทดสอบสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วย สัปดาห์ที่มีจำนวนผู้ป่วยสูงสุด และอัตราการป่วยสูงสุดรายจังหวัด ดังตารางที่ 7-9 และรูปที่ 5.6-5.9

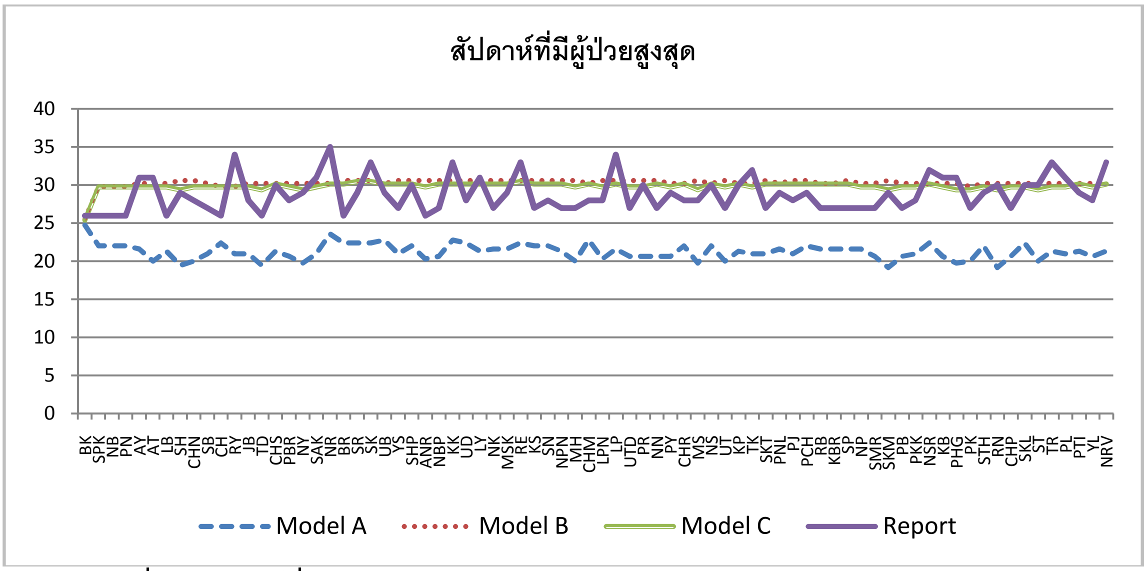


รูปที่ 5.6 สัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยจากแบบจำลองกับข้อมูลผู้ป่วยจากสถิติแบบรายจังหวัด

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยแบบรายจังหวัด

สัปดาห์ที่เริ่มต้น	แบบจำลอง A	แบบจำลอง B	แบบจำลอง C	ข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ H1N1 ปี พ.ศ. 2552
กรุงเทพฯ	16	17	17	18
สิงห์บุรี	16	33	22	24
จันทบุรี	16	30	20	22
ราชบุรี	16	29	19	21
กระบี่	16	30	20	22

จากรูปที่ 5.6 แสดงสัปดาห์ที่เริ่มต้นมีผู้ป่วยจากการคำนวณของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลสถิติผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่ แบบจำลอง A มีลักษณะเป็นเส้นตรงเนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ไม่มีปัจจัยการเคลื่อนย้ายประชากรทุกจังหวัดจึงเริ่มต้นในสัปดาห์เดียวกัน โดยแบบจำลองทั้งสามได้มีการกำหนดให้เริ่มต้นในสัปดาห์ที่ 16 ของปี ซึ่งอ้างอิงมาจากข้อมูลสถิติไข้หวัดใหญ่ชนิดเอในปี พ.ศ. 2552 จากกราฟจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง C มีค่าใกล้เคียงข้อมูลมากกว่าแบบจำลอง A และ B จากตารางที่ 7 ซึ่งแสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงข้อมูลสถิติที่สุด 5 จังหวัด แบบจำลอง C มีค่าความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลจริงประมาณ 2 สัปดาห์



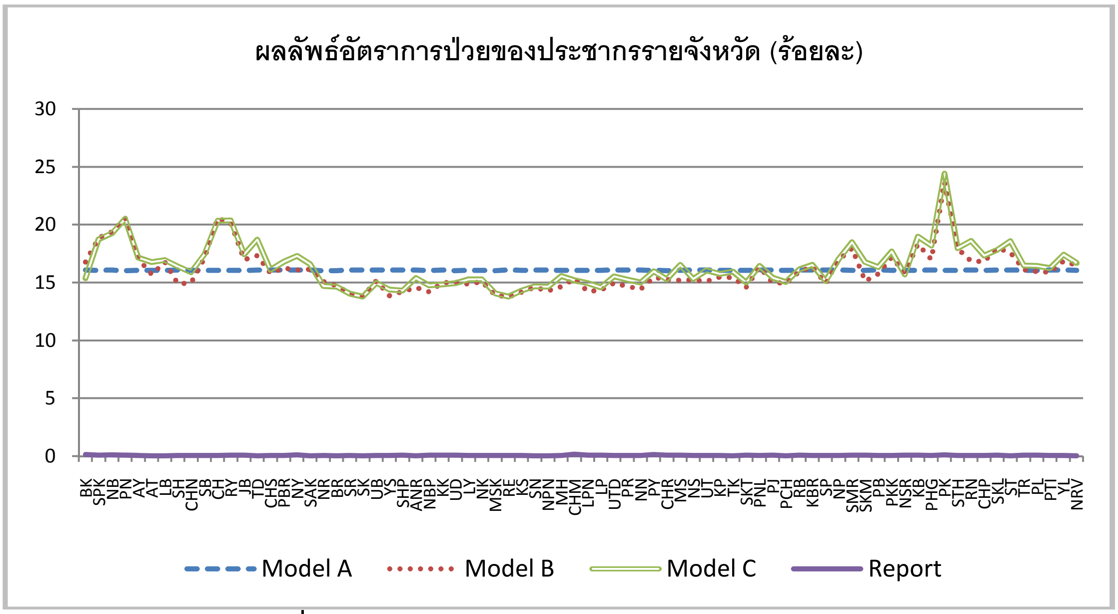
รูปที่ 5.7 สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดจากแบบจำลองกับข้อมูลผู้ป่วยจากสถิติแบบรายจังหวัด

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลลัพธ์สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดแบบรายจังหวัด

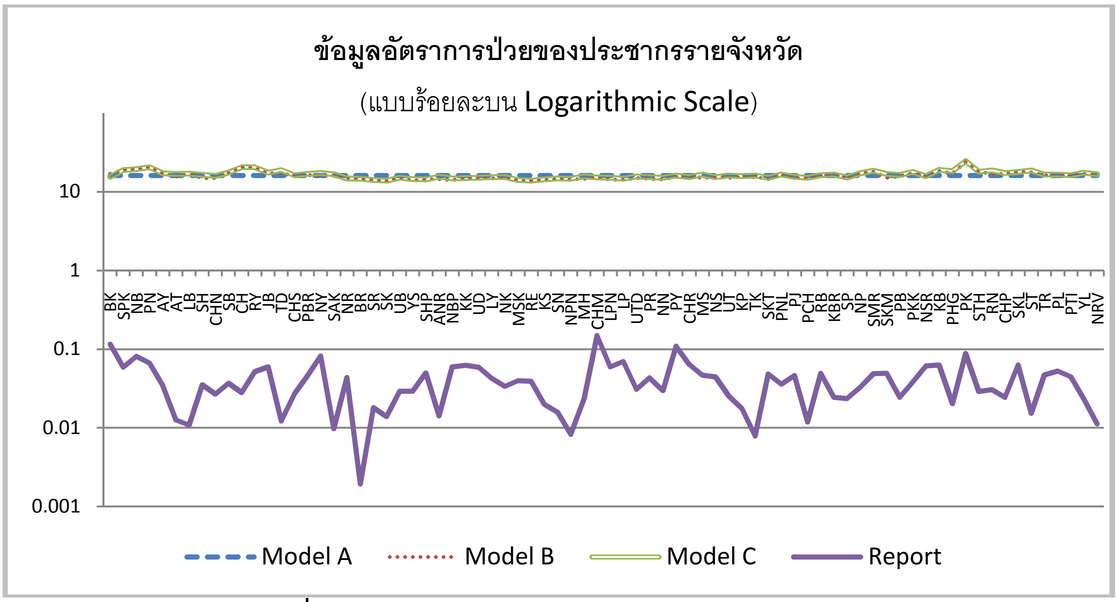
สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุด	แบบจำลอง A	แบบจำลอง B	แบบจำลอง C	ข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ H1N1 ปี พ.ศ. 2552
สิงห์บุรี	19	30	29	29
ฉะเชิงเทรา	21	30	30	30
นครนายก	19	30	29	29
ชัยภูมิ	22	30	30	30
พะเยา	20	30	29	29

จากรูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดจากแบบจำลองกับข้อมูลผู้ป่วย แบบจำลอง B และ C มีความใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่าแบบจำลอง A เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 8 ซึ่งเปรียบเทียบสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดโดยการคำนวนจากแบบจำลอง กับข้อมูลผู้ป่วยแบบรายจังหวัด โดยยกตัวอย่าง 5 จังหวัดที่มีผลลัพธ์ถูกต้องมากที่สุดจากแบบจำลองที่ปรับปรุงเสร็จสมบูรณ์ จากแบบจำลองพื้นฐานทางระบาดวิทยา สัปดาห์ที่มีผู้ป่วยมากสุดแตกต่างจากข้อมูลจริงค่อนข้างมาก และเมื่อมีการนำปัจจัยการเคลื่อนย้ายประชากรของประเทศไทยไปใช้ในแบบจำลองพบว่า สัปดาห์ของผู้ป่วยสูงสุดมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากยิ่งขึ้น โดยบางจังหวัดสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ เช่น จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งมีผู้ป่วยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 30 เช่นเดียวกันกับข้อมูลจริง และหลังจากที่มีการเพิ่มปัจจัยอัตราการเกิด การตายในประเทศไทย และเพิ่มปัจจัยการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาลลงใน

แบบจำลอง พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลลัพธ์ได้แม่นยำมากขึ้นในหลายจังหวัด ในที่นี้ได้แก่ สิงห์บุรี นครนายก และพะเยา ผลลัพธ์มีความถูกต้องหลังจากปรับแบบจำลอง คือมีผู้ป่วยสูงสุดในสัปดาห์ที่ 29 เช่นเดียวกับข้อมูลผู้ป่วยจริง



รูปที่ 5.8 อัตราการป่วยจากแบบจำลองแบบรายจังหวัด



รูปที่ 5.9 อัตราการป่วยจากข้อมูลสถิติแบบรายจังหวัด

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบอัตราการป่วยแบบรายจังหวัด

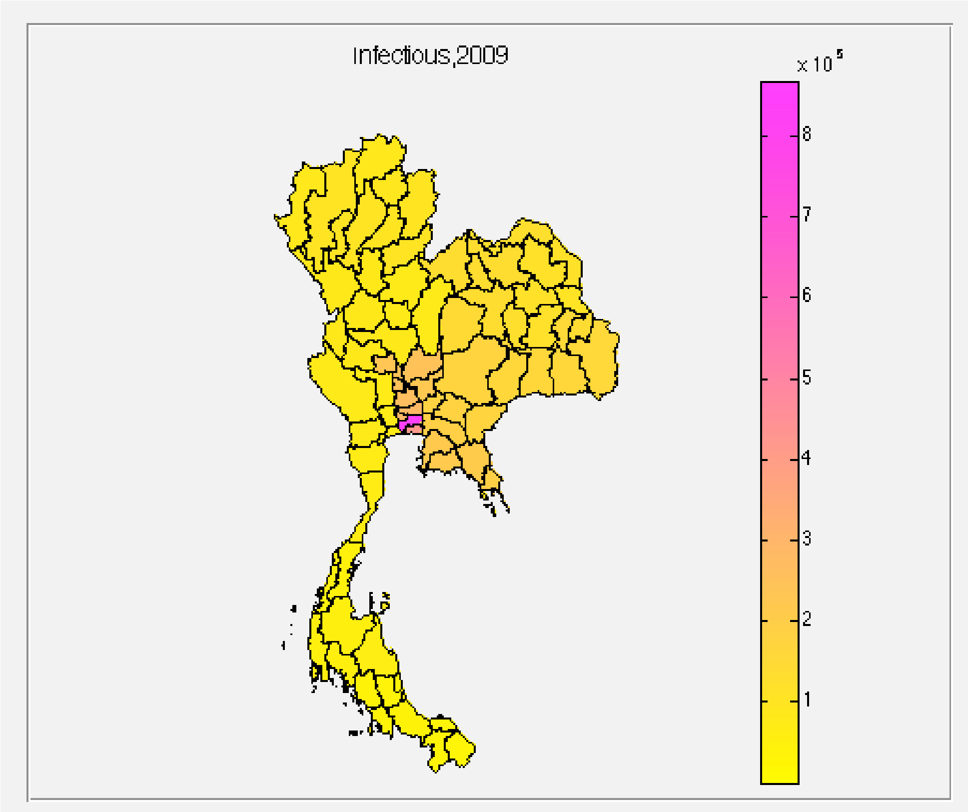
จำนวนผู้ป่วยสูงสุด (คน)	แบบจำลอง A (ร้อยละ)	แบบจำลอง B (ร้อยละ)	แบบจำลอง C (ร้อยละ)	ข้อมูลผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ H1N1 ปี พ.ศ. 2552 (ร้อยละ)
นครราชสีมา	16.040	15.079	14.716	0.043
บุรีรัมย์	16.033	14.728	14.656	0.001
ขอนแก่น	16.066	14.971	14.832	0.062
มหาสารคาม	16.037	13.892	14.079	0.040
ร้อยเอ็ด	16.061	13.750	13.793	0.039

จากรูปที่ 5.8-5.9 แสดงอัตราการป่วย ซึ่งได้มาจากจำนวนผู้ป่วยต่อจำนวนประชากรในแต่ละจังหวัด โดยเปรียบเทียบผลจากการคำนวนจากแบบจำลองกับข้อมูลสถิติของผู้ป่วย การคำนวนจากแบบจำลองทั้งสามมีค่าสูงกว่าอัตราการป่วยจากข้อมูล แบบจำลอง B และ C มีลักษณะใกล้เคียงกัน เมื่อนำค่าผลลัพธ์มาพิจารณาดังตารางที่ 9 ซึ่งแสดงจำนวนผู้ป่วยรายจังหวัด โดยแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของ 5 จังหวัดที่มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด คือ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดบุรีรัมย์ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งอัตราการป่วยสูงสุดจากการคำนวณของแบบจำลองยังคงมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับบันทึกข้อมูลผู้ป่วย โดยความแม่นยำของแต่ละจังหวัดเป็นอิสระต่อกัน ในบางจังหวัดมีความแม่นยำมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มการเคลื่อนย้ายของประชากรในประเทศไทย การเกิด การตาย และการย้ายถิ่นในช่วงเทศกาล เช่น จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดขอนแก่น โดยมีจำนวนผู้ป่วยลดลงเมื่อเทียบกับแบบจำลอง A และ B ส่วนในบางจังหวัดมีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ต่างจากข้อมูลจริงมากยิ่งขึ้น ในที่นี้คือจังหวัดมหาสารคาม และจังหวัดร้อยเอ็ด เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลอง B และ C อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการปรับปรุงแบบจำลองโดยการเพิ่มอัตราการเกิด อัตราการตายของประชากรในประเทศไทย และการเคลื่อนย้ายประชากรตามเทศกาล พบว่ามีผู้ป่วยสูงสุดรายจังหวัดเพิ่มขึ้น ยกเว้นบางจังหวัดในภาคกลางที่มีจำนวนผู้ป่วยลดลง เนื่องจากมีการเพิ่มในส่วนของการเคลื่อนย้ายประชากรในช่วงเทศกาล ซึ่งประชากรในภาคกลางส่วนใหญ่ได้เดินทางกลับภูมิลำเนา จึงเป็นการเพิ่มโอกาสของการแพร่เชื้อจากภาคกลางไปยังจังหวัดอื่น

จากผลการเปรียบเทียบดังกล่าว ระยะเวลาการแพร่ระบาดของโรคระหว่างการคำนวณโดยแบบจำลองกับข้อมูลของผู้ที่เข้ารับการรักษามีความใกล้เคียงกัน แต่ในส่วนจำนวนผู้ป่วยจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าข้อมูลจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากหลายสาเหตุดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณอัตราการย้ายถิ่นของประชากร นอกจากการคำนวนอัตราการย้ายถิ่นด้วยข้อมูลจริงซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างแล้ว แนวคิดในการคำนวณหาตารางอัตราการย้ายถิ่นรายจังหวัดของประชากรสามารถทำได้หลายวิธี โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอเพียงแนวคิดเดียว คือการคำนวณด้วยข้อมูลการย้ายเข้าและย้ายออกของประชากร
2. ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม ซึ่งในภาค หรือจังหวัดต่าง ๆ มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมีผลให้จำนวนผู้ที่มีโอกาส หรือไวต่อการติดเชื้อแตกต่างกัน เช่น พื้นที่ป่าไม้มีผลต่อโรคมาลาเรีย [36] พื้นที่นามีผลต่อโรคฉี่หนู [37] เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคำนวณผลลัพธ์ด้วยอัตราการแพร่ระบาดของโรคค่าเดียวเท่ากันทุกจังหวัด ซึ่งในความเป็นจริงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการแพร่ระบาดของโรคในแต่ละพื้นที่อาจจะไม่เท่ากัน
3. ความคลาดเคลื่อนของการบันทึกข้อมูลของผู้ป่วย ผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่บางรายอาจไม่ได้ถูกบันทึกและไม่ได้เข้ารับการรักษา จากงานวิจัยของ White [38] กล่าวว่าการรายงานจำนวนผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่ชนิดเอ(H1N1) ในช่วงที่มีการระบาดนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึงร้อยละ 33 เนื่องจากระยะของการป่วยในมีหลายระยะ เช่น เป็นในระยะเริ่มต้นซึ่งมีลักษณะเหมือนไข้หวัดธรรมดา หรือระยะสุดท้ายผู้ป่วยใกล้จะเสียชีวิต เป็นต้น มีผลให้ผู้ป่วยบางรายไม่ทราบว่าได้รับเชื้อไข้หวัดใหญ่ชนิดนี้
4. ข้อมูลข่าวสารและการป้องกัน หลังจากที่เริ่มมีการแพร่ระบาดของโรค ประชากรส่วนหนึ่งได้รับข่าวสารและป้องกันการเกิดโรค ซึ่งมีผลให้การแพร่ระบาดจริงของโรคอาจไม่รุนแรงเท่าการคำนวนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากหลายปัจจัยที่กล่าวในข้างต้นมีผลให้การแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่จากข้อมูลจริงมีจำนวนผู้ป่วยน้อยกว่าการคำนวนโดยแบบจำลอง แต่แบบจำลองได้แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายของประชากรมีผลอย่างมากต่อการแพร่ระบาดของโรค จากการที่กำหนดให้กรุงเทพมหานคร หรือภาคกลางเป็นจุดเริ่มต้นในการแพร่ระบาดของโรค พบว่ามีการแพร่ระบาดเริ่มจากจังหวัดรอบข้างก่อน และจึงกระจายออกไปในภาคอื่น ๆ เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการแสดงผลแบบแผนที่รายจังหวัดของแบบจำลองดังรูปที่ 5.10

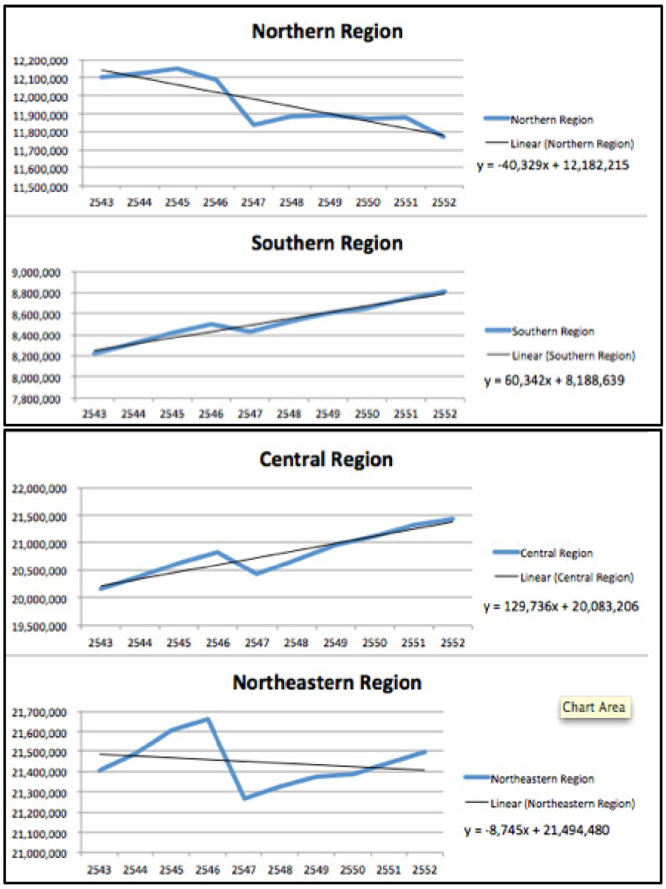


รูปที่ 5.10 การแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ปี พ.ศ. 2552 โดยคำนวณจากแบบจำลอง และกำหนดให้มีผู้ป่วยเริ่มต้นที่กรุงเทพมหานคร

จากรูปที่ 5.10 แสดงจำนวนผู้ป่วยของโรคไข้หวัดใหญ่ ในช่วงที่มีผู้ป่วยสูงสุด แบบแผนที่รายจังหวัด โดยกำหนดให้ผู้ป่วยเริ่มต้นอยู่ที่กรุงเทพมหานคร จะเห็นได้ว่าที่จังหวัดกรุงเทพมหานครมีปริมาณสีเข้มมากที่สุด และลดลำดับไปยังจังหวัดใกล้เคียง เมื่อพิจารณาในระดับภาคจะเห็นได้ว่า ภาคกลางมีสีเข้มมากที่สุด รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเคลื่อนย้ายประชากรโดยวิธีคำนวณตามหัวข้อที่ 4.1.1 จะเห็นได้ว่าการแพร่ระบาดมีความสอดคล้องกับการเคลื่อนย้ายของประชากร โดย ประชากรที่ออกจากภาคกลาง (C) ไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ร้อยละ 0.001251 ต่อวัน ออกไปยังภาคเหนือ (N) และภาคใต้ (S) ร้อยละ 0.000748 และ 0.000741 ตามลำดับ ซึ่งมีผลให้จำนวนผู้ติดโรคแพร่ระบาดจากภาคกลางไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่าภาคอื่น ๆ และมีจำนวนผู้ติดโรคในภาคใต้น้อยที่สุด เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายของประชากรไปยังภาคใต้น้อยที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงของผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ ดังรูปที่ 5.1 พบว่ามีจำนวนผู้ป่วยในภาคกลางมากที่สุด และจากนั้นจึงแพร่ระบาดไปยังจังหวัดอื่น ๆ โดยภาค

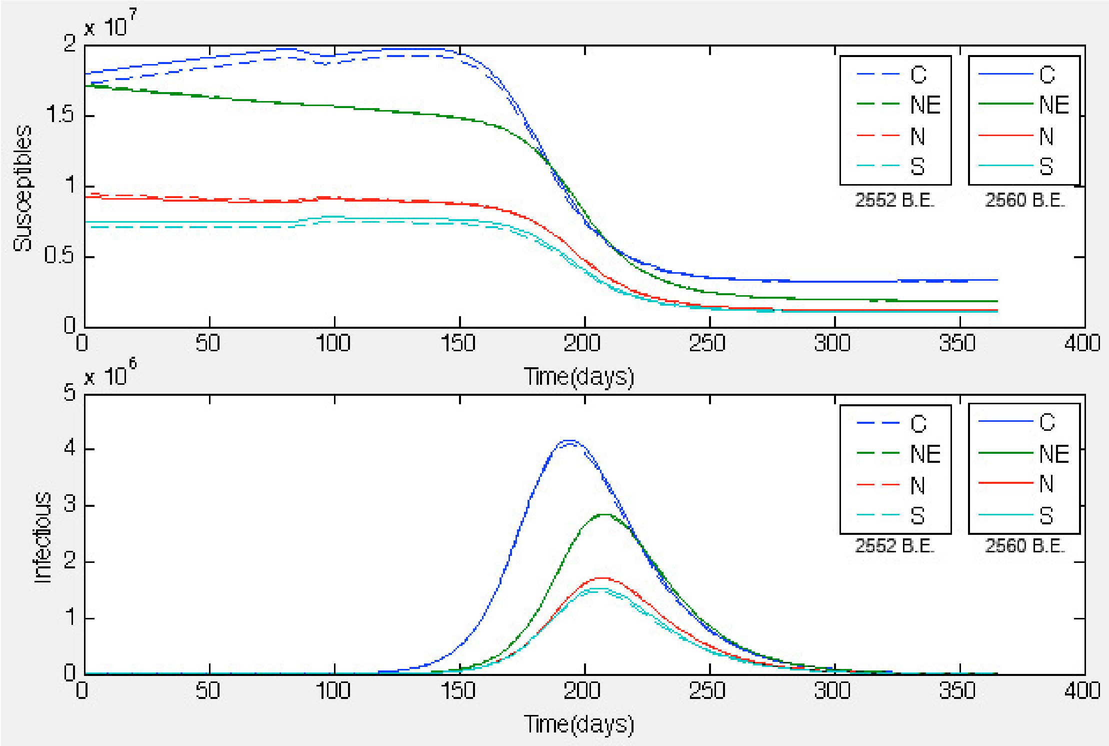
ตะวันออกเฉียงเหนือมีผู้ป่วยมากเป็นอันดับรองลงมา และภาคใต้มีจำนวนผู้ป่วยน้อยที่สุดซึ่งมีความสอดคล้องกับแบบจำลอง

จากการทดลองข้างต้นเป็นการแสดงผลที่เกิดขึ้นในระยะสั้นในที่นี้คือทำนายการเกิดในเวลาหนึ่งปี เมื่อนำมาพิจารณาแบบระยะยาวหรือทำนายแนวโน้มของผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ป่วยในอนาคต สามารถทำได้โดยการทำการถดถอย (Regression) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของเกื้อดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 ในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำการทำนายแนวโน้มดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงแต่มีการแสดงตัวอย่างการทำนายในระดับภาคดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การเตรียมข้อมูลสำหรับทำนายการแพร่ระบาดของโรคในอนาคต

จากรูปที่ 5.11 การพิจารณาข้อมูลประชากรย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2552 เพื่อใช้ในการทำนายการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ที่อาจจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2560 โดยการคำนวณจากสมการเชิงเส้นซึ่งได้เพิ่มเติมเข้าไปในการคำนวณแบบระดับภาค แสดงผลลัพธ์เป็นดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบจำนวนผู้มีโอกาสติดเชื้อ และจำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ปี พ.ศ. 2552 และปี พ.ศ.2560

จากรูปที่ 5.12 การคำนวณผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่ในปี พ.ศ. 2560 โดยแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย เนื่องจากจำนวนประชากรในช่วง 8 ปีมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก สามารถอธิบายได้จากกราฟ ซึ่งเส้นประแสดงการคำนวณผลลัพธ์ของการแพร่ระบาดที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2552 เส้นทึบ แสดงการทำนายการแพร่ระบาดซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2560 จากปัจจัยของจำนวนประชากร เมื่อนำข้อมูลปี พ.ศ. 2543-2552 มาวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าจำนวนประชากรของภาคกลาง และภาคใต้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือมีแนวโน้มลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับการทำนายการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ดังรูปที่ 5.12 หากมีการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ในปี พ.ศ. 2560 จำนวนผู้ป่วยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในภาคกลางและภาคใต้ ส่วนภาคอื่น ๆ ยังคงมีความเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับผลการคำนวณในปี พ.ศ. 2552

ในความเป็นจริงหากมีการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2560 การแพร่ระบาดของโรคอาจไม่ได้เป็นไปตามผลลัพธ์จากการคำนวณของแบบจำลอง เนื่องด้วยปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการแพร่ระบาดของโรค เช่น เทคโนโลยีทางการแพทย์มีความก้าวหน้ามากขึ้น มียา

รักษาโรคมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการให้ความรู้ในการป้องกันโรคระบาดกับประชากรที่ดีขึ้น เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลให้ผู้ป่วยจากโรคไข้หวัดใหญ่มีอัตราลดลงได้เช่นกัน

จากผลการทดลองทั้งหมดกล่าว งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการเคลื่อนย้ายประชากรในประเทศไทย โดยสามารถทำนายผลในระดับภาคและจังหวัด และได้นำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในทางระบาดวิทยา สามารถแสดงจำนวนผู้ที่มีโอกาสติดเชื้อ จำนวนผู้ป่วย รวมไปถึงการวิเคราะห์ช่วงระยะเวลาการแพร่ระบาดของโรค และช่วงที่มีการแพร่ระบาดสูงสุด แบบจำลองพื้นฐานทางระบาดวิทยาสามารถทำนายการแพร่ระบาดในระดับหนึ่ง แต่เมื่อนำแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรดังกล่าวมาคำนวณการแพร่ระบาดพบว่า สามารถทำนายสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดได้ถูกต้องใน 7 จังหวัด และเมื่อมีการปรับปรุงแบบจำลองโดยเพิ่มอัตราการเกิด อัตราการตายของประชากรในประเทศไทย และเพิ่มปัจจัยการเดินทางในช่วงเทศกาลพบว่าผลลัพธ์ของสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดตรงกับข้อมูลจริงเพิ่มขึ้นเป็น 11 จังหวัด และระยะเวลาของความคลาดเคลื่อนลดลง คือ แบบจำลองพื้นฐานทางระบาดวิทยา ทำนายสัปดาห์ที่มีผู้ป่วยสูงสุดคลาดเคลื่อนกับข้อมูลจริงโดยเฉลี่ยประมาณ 7 สัปดาห์ ส่วนแบบจำลองการเคลื่อนย้ายประชากรความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลจริงโดยเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 2-3 สัปดาห์ และแบบจำลองซึ่งได้มีการนำมาปรับปรุงและเพิ่มการเดินทางเทศกาลมีความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลจริงโดยเฉลี่ยประมาณ 2 สัปดาห์

ในส่วนของการทำนายจำนวนของผู้ป่วย มีความเป็นไปได้ที่จะมีจำนวนผู้ป่วยตามการคำนวณของแบบจำลอง โดยเจ้าหน้าที่ระดับสูงขององค์การอนามัยโลก (WHO) ซึ่งดูแลเรื่องการระบาดของไวรัสไข้หวัดใหญ่สายพันธ์ใหม่ชนิดเอ (H1N1) คาดว่า ไวรัสสายพันธ์นี้อาจจะทำให้ยอดผู้ติดเชื้อมีจำนวนสูงถึงร้อยละ 20-40 ของประชากรโลก โดยแต่ละประเทศอาจจะมีความรุนแรงไม่เท่ากัน แต่ก็ยังคงมีความเป็นไปได้ที่จะมีผู้ติดเชื้อสูงสุดได้ถึงร้อยละ 30-40 ของประชากรในประเทศเช่นกัน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลผู้ป่วยจริง การทำนายจากแบบจำลองมีจำนวนผู้ป่วยสูงกว่าข้อมูลผู้ป่วยจริง 133,219 คนโดยเฉลี่ย

นอกจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่ได้กล่าวถึงในข้างต้นแล้ว แบบจำลองยังมีข้อจำกัดในเรื่องของลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันในโรคแต่ละโรค และการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่ป่าไม้มีผลต่อโรคมาลาเรีย พื้นที่นามีผลต่อโรคฉี่หนู เป็นต้น แบบจำลองนี้ไม่สามารถทำนายผลโดยระบุปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เหล่านี้ได้ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ช่วยในการทำนายแนวโน้ม และความเป็นไปได้ ในการแพร่

ระบาดของโรค และการศึกษาพฤติกรรมของโรค การแพร่ระบาดของโรคนั้นจะรุนแรงหรือไม่นั้น ยังคงมีปัจจัยประกอบอีกมากมาย เช่น การป้องกันของประชากร การให้การรักษาอย่างรวดเร็ว และทั่วถึง การติดต่อซึ่งอาจจะเกิดจากพาหะที่ไม่ใช่มนุษย์ เป็นต้น

5.2 แหล่งที่มาของข้อมูล

แหล่งที่มาของข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้สำหรับการทดสอบแบบจำลองนี้ ได้แก่ ข้อมูลประชากร การเกิด และตาย จากสำนักงานสถิติแห่งชาติ (www.nso.go.th), ข้อมูลการย้ายเข้าและออก รายจังหวัด จากกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย (www.dopa.go.th) โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2552 และข้อมูลผู้ป่วยไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ใหม่ชนิดเอ (H1N1) ปี พ.ศ. 2552 จากหน่วยงาน FETP สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

รายการอ้างอิง

[1] Adams, B., and Kapan, D.D. Man Bites Mosquito: Understanding the Contribution of Human Movement to Vector-Borne Disease Dynamics. PLoS ONE 4(8) (August 2009): e6763.

[2] Arino, J., and Driessche, P.V. Disease spread in metapopulations, Fields Institute Communications, 2006.

[3] Tatem, A.J., and Smith, D.L. International population movements and regional Plasmodium falciparum malaria elimination strategies. Proceedings of the National Academy of Sciences 107 (July 2010): 12222-12227.

[4] ฝ่ายจัดการระบบฐานข้อมูล ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ, กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. ความหมายของประชากร [ออนไลน์]. 2545. แหล่งที่มา: http://www.dpt.go.th/ITCitdb/txt/pop/pop1.htm [กรกฎาคม 2553]

[5] คณะกรรมการชำระพจนานุกรม ราชบัณฑิตยสถาน. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2524. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ, 2524.

[6] Waugh, D. Geography: an integrated approach. United Kingdom: Nelson Thornes, 2000.

[7] กลุ่มภูมิสารสนเทศ ศูนย์สารสนเทศยุทธศาสตร์ภาครัฐ, สำนักงานสถิติแห่งชาติ. ระบบภูมิสารสนเทศสถิติ [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://sgis.nso.go.th/sgis/ [ตุลาคม 2553]

[8] UN Resident Coordinator Office: Inter - Agency Support Unit. United Nations Thailand. Thailand Information [Online]. 2008. Available from: http://www.un.or.th/thai/thailand/population.html. [2010, August]

[9] วิพรรณ ประจวบเหมาะ. เอกสารประกอบการอภิปราย เรื่อง "การส่งเสริมสุขภาพกับปีสากลว่าด้วยผู้สูงอายุปี 2542". สำนักส่งเสริมสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2542.

[10] Rakchanyaban, U. Internal Migration Measurement. Journal of Population and Social Studies 11 (January 2003): 154.

[11] Ravenstein, E.G. The Laws of Migration. Journal of the Royal Statistical Society 52 (June 1889): 241-305.

[12] สำมะโนประชากรและเคหะ, สำนักงานสถิติแห่งชาติ. การย้ายถิ่น [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://popcensus.nso.go.th/topic.php?cid=5 [ตุลาคม 2553]

[13] Keeling, M.J., and Rohani, P. Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2008.

[14] Kosmidou, K., and Zopounidis, C. Reference for Business, Encyclopedia of business, 2nd ed. Models and Modeling [Online]. Available from: http://www.referenceforbusiness.com/management/Mar-No/Models-and-Modeling.html [2010, October]

[15] Pongtavornpinyo, W., *et al.*, Spread of anti-malarial drug resistance: Mathematical model with implications for ACT drug policies. Malaria Journal 7 (November 2008): 229.

[16] Griffin, J.T., *et al.*, Reducing Plasmodium falciparum Malaria Transmission in Africa: A Model-Based Evaluation of Intervention Strategies. PLoS Med 7 (August 2010): e1000324.

[17] Wilson, M.E. Population Movements and Emerging Diseases. Journal of Travel Medicine 4 (July 2006): 183-186.

[18] Nepal, P. Migration and spread of HIV/AIDS: A view from medical geography. CNAS Journal 29 (July 2002): 311-324.

[19] Cosner, C., *et al.*, The effects of human movement on the persistence of vector-borne diseases. Journal of Theoretical Biology 258 (June 2009): 550-560.

[20] Bernhardsen, T. Geographic Information Systems: An Introduction, 3rd edition. New York: Wiley, 2002.

[21] Watershed Conservation and Management Office. Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation. GIS [Online]. Available from: www.dnp.go.th/watershed/knowledge_files/GIS_b.pdf [2010, August]

[22] Geo-Information Center for Thailand. Faculty of Science, Chulalongkorn University. Geographic Information System (GIS) [Online]. Available from: http://www.gisthai.org/about-gis/gis.html [2010, July]

[23] Rosenberg, M.T., About.com/Geography. Gravity Model : Predict The Movement of People and Ideas Between Two Places [Online]. Available from: http://geography.about.com/library/weekly/aa031601a.htm [2010, October]

[24] Ruankaew, N. GIS and Epidemiology. Journal of the Medical Association of Thailand 88 (November 2005): 1735-1738.

[25] Camp, T., Boleng, J. and Davies V. A survey of mobility models for ad hoc network research. Wireless Communications and Mobile Computing 2 (2002): 483-502.

[26] Joumaa, C., Moalic L., Lamrous S. and Caminada A. A simulation based mobility models comparative study. Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (2009): Article No.41.

[27] Bar-Noy, A., Kessler, I., and Sidi, M. Mobile users: to update or not to update? Wireless Networks 1 (1995):175-185.

[28] Lewer, J., and Van den Berg, H. A gravity model of immigration. Economics Letters 99 (April 2008): 164-167.

[29] เกื้อ วงศ์บุญสิน, สุวาณี สุรเสียงสังข์, จินตนา เพชรานนท์, ปรียา มิตรานนท์ และกิตติ ลิ่มสกุล. การคาดประมาณประชากรของประเทศไทย (พ.ศ. 2543-2568): ผลต่อการกำหนดทิศทางนโยบายประชากรในอนาคต. วิทยาลัยประชากรศาสตร์ อาคารวิศิษฐ์ประจวบเหมาะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

[30] Sussangkarn, C., and Chalamwong, Y. Development Strategies and Their Impacts on Labour Market and Migration: Thai Case Study. OECD Workshop on Development Strategy, Employment, and Migration, France, 11-12 July 1994.

[31] Easterlin, R.A. Population and Economic Change in Developing Countries: a survey, pp. 361-390. Chicago: University of Chicago Press, 1987.

[32] Pons, P., and Latapy, M. Computing Communities in Large Networks Using Random Walks. Computer and Information Sciences - ISCIS 2005 3733 (December 2005): 284-293.

[33] Kim, Y., Son, S., and Jeong, H. Finding communities in directed networks. Physical Review E 81 (January 2010): 016103.

[34] Newman, M.E.J., and Girvan, M. Finding and evaluating community structure in networks. Physical Review E 69 (2004): 026113.

[35] Ferguson, N.M., *et al.*, Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia. Nature 437 (September 2005): 209-214.

[36] Erhart, A., *et al.*, Epidemiology of forest malaria in central Vietnam: a large scale cross-sectional survey. Malaria Journal, doi: 10.1186/1475-2875-4-58, 2005.

[37] Victoriano, A.FB., *et al.*, Leptospirosis in the Asia Pacific region. BMC Infectious Diseases 9 (September 2009): 147.

[38] White, L.F., and Pagano, M. Reporting errors in infectious disease outbreaks, with an application to Pandemic Influenza A/H1N1. Epidemiologic Perspectives & Innovations 7 (December 2010): 12.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศุภรา สุขเกษม เกิดวันอาทิตย์ที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2528 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี ในปีการศึกษา 2551 เข้าทำงานในตำแหน่งโปรแกรมเมอร์ ที่บริษัทเอ็มซอฟต์ไทยแลนด์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นระยะเวลาสองปี