

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลโดยแบคทีเรียดื้อยา
แบบแยกบุคคลากรเป็นสามประเภท

นายอภิวัฒน์ ชื่นจำลอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
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.

MATHEMATICAL MODELING FOR HOSPITAL INFECTIONS BY ANTIBIOTIC
RESISTANT BACTERIA FOR THREE TYPES OF HEALTH CARE WORKERS

Mr.Apiwat Chuenjumlong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาล

โดยแบบที่เรียดื้อยาแบบแยกบุคคลากรเป็นสามประเภท

โดย

นายอภิวัฒน์ ชื่นจำลอง

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชญาน์พันธ์ วิรุฬห์ศรี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ.ชาญวิทย์ ตีรพทุธรัตน์)

อภิวัฒน์ ชื่นจำลอง: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลโดย
แบบที่เรียกดื้อยาแบบแยกบุคลากรเป็นสามประเภท. (MATHEMATICAL MODELING
FOR HOSPITAL INFECTIONS BY ANTIBIOTIC RESISTANT BACTERIA FOR
THREE TYPES OF HEALTH CARE WORKERS)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ.ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 74 หน้า.

โรคติดเชื้อดื้อยาในโรงพยาบาลเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้อัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วย
ในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้โรงพยาบาลในกรุงเทพฯ มีจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคติดเชื้อดื้อยาใน
โรงพยาบาลค่อนข้างสูง สาเหตุการแพร่กระจายของโรคติดเชื้อแบบที่เรียกดื้อยานั้น เนื่องมาจาก
การสัมผัสระหว่างบุคลากรทางการแพทย์กับผู้ป่วย เมื่อบุคลากรทำหัตถการกับผู้ป่วยที่มีเชื้อ
แบบที่เรียกดื้อยา จากนั้นย้ายไปทำหัตถการกับผู้ป่วยรายอื่นที่ไม่ได้มีเชื้ออยู่ในร่างกาย โดยที่
บุคลากรนั้นยังไม่ได้ล้างมือหรือล้างมือไม่ถูกวิธี ทำให้เกิดโอกาสที่ผู้ป่วยนั้นๆ ได้รับเชื้อ
แบบที่เรียกดื้อยา ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆตามมา เช่น ค่ารักษาที่เพิ่มมากขึ้น และโรคแทรกซ้อน
ต่างๆที่จะเกิดจากเชื้อแบบที่เรียกดื้อยา ดังนั้นการลดจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคติดเชื้อดื้อยาจึงมี
ความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อ
ในโรงพยาบาลโดยแบบที่เรียกดื้อยาแบบแยกบุคลากรเป็น 3 ประเภท คือ แพทย์, พยาบาล, และ
บุคลากรอื่นๆ (เช่น นักศึกษาแพทย์, นักกายภาพบำบัด เป็นต้น) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
นั้นใช้ในการทำนายจำนวนผู้ป่วยในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลเบื้องต้นจากโรงพยาบาล โดยแยก
ผู้ป่วยออกเป็น 3 ประเภท คือ ผู้ป่วยที่ไม่ติดเชื้อแบบที่เรียกดื้อยา, ผู้ป่วยที่มีเชื้อแบบที่เรียกดื้อยา
แฝงอยู่ในร่างกาย, และ ผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบบที่เรียกดื้อยา จากนั้นทำการเทียบเคียงผลลัพธ์จาก
แบบจำลองกับข้อมูลจริงที่ได้สำรวจจากทางโรงพยาบาล ซึ่งผลลัพธ์จากแบบจำลองมีความ
ผิดพลาดจากข้อมูลจริงเล็กน้อย และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำแบบจำลองไป
ประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5170725321 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORDS : MATHEMATICAL MODELING / HOSPITAL INFECTIONS / ANTIBIOTIC RESISTANT BACTERIA

APIWAT CHUENJUMLONG: MATHEMATICAL MODELING FOR HOSPITAL INFECTIONS BY ANTIBIOTIC RESISTANT BACTERIA FOR THREE TYPES OF HEALTH CARE WORKERS. ADVISOR: PROF.PRAMOTE DECHAUMPHAI, Ph.D., 74 pp.

Infection by antibiotic resistant bacteria is a cause of increasing of mortality of patients in a hospital. In Bangkok, a number of infected patients in hospital is high. The bacterial transmission causes by contacting between Health Care Workers (HCWs) and patients. The transmission is happened when HCWs visit to infected patients and then visit to uninfected patients without washing hands or improper hand washing. The infection by antibiotic resistant bacteria leads to many problems such as more expensive medical treatment and incurring disease. Accordingly, decreasing the transmission of antibiotic resistant bacteria is very important. This research focuses on creating mathematical model for hospital infections by antibiotic resistant bacteria for 3 types of HCWs which are doctors, nurses, and other HCWs (such as medical students, physiotherapists, etc.). The mathematical model is used for prediction of the numbers of patients by apply initial data from hospital. The patients are divided into 3 types which are uninfected patients, colonized patients, and infected patients. Then, the results are compared using the model with the collected data from hospital. The results from the model have slight numerical inaccuracy that could be acceptable. Thus, the model can be further applied to the real situation.

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

Field of Study : Mechanical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :.....2011.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย คือ “ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ” ซึ่งได้มอบความรู้ และคำแนะนำต่างๆ ทั้งในด้านของการทำงานวิจัยและด้านการดำเนินชีวิต พร้อมทั้งคอยให้กำลังใจ และคอยผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานจนมาถึงจุดหมายที่คาดหวังได้สำเร็จ ส่วนอาจารย์อีกท่านหนึ่ง คือ “ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ.ชาญวิทย์ ตริพุทธรัตน์” ท่านคอยให้คำปรึกษาทางด้านการติดเชื้อภายในโรงพยาบาล ซึ่งความรู้เกี่ยวกับการติดเชื้อภายในโรงพยาบาลทั้งหมดของผู้วิจัยนั้น ได้อาจารย์ชาญวิทย์เป็นผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้ง 2 ท่านนี้เป็นอย่างสูงตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา

งานวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือทางด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลการติดเชื้อดื้อยาภายในโรงพยาบาลจาก อาจารย์ นพ.ธวัชชัย จริยเศรษฐพงศ์ และ พี่พยาบาลศิริพร แสงสว่าง จากแผนกอายุรกรรม โรงพยาบาลราชวิถี ทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จได้เป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณทั้ง 2 ท่าน ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ที่ผู้วิจัยได้รับการเลี้ยงดูทั้งกายและใจมาโดยตลอด บุคคลผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจในยามท้อแท้ และคอยผลักดันเพื่อให้ผู้วิจัยสามารถก้าวเดินไปข้างหน้าต่อไปได้ และพร้อมที่จะสนับสนุนผู้วิจัยตลอดไป ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ คุณพ่อ และคุณแม่ของผู้วิจัยเอง นายสมชาย และนางสุนีย์ ชื่นจำลอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แบบจำลองของการติดเชื้อโรคทั่วไป หรือ SIR model.....	4
2.2 ผลเฉลยทางทฤษฎีของ SIR model.....	6
2.3 แบบจำลองของการติดเชื้อดื้อยา หรือ Antibiotic resistance model.....	7
บทที่ 3 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	10
3.1 การหาผลเฉลยทางทฤษฎีของ SIR model.....	10
3.2 การหาผลเฉลยจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของ SIR model.....	14
3.2.1 ระเบียบวิธีของออยเลอร์.....	14

	หน้า
3.2.2 ระเบียบวิธีของรุ่งเงอ-คูททาอันดับสี่.....	15
3.3 การหาค่า Δt ที่เหมาะสม.....	17
3.4 การหาผลเฉลยของ Antibiotic resistance model.....	23
บทที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลโดยแบคทีเรียดื้อยา Methicillin-Resistant <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA).....	26
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบ ไม่แยกบุคคลากร.....	27
4.2 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบไม่แยกบุคคลากร.....	31
4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบ แยกบุคคลากรเป็น 3 ประเภท.....	33
4.4 ข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองจากโรงพยาบาล.....	37
4.5 การเปรียบเทียบข้อมูลจากทางโรงพยาบาลกับผลเฉลยของแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.1 สรุปผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคคลากรเป็น 3 ประเภท.....	43
รายการอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก.....	57
ภาคผนวก ข.....	66
ข.1 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการเปรียบเทียบผลเฉลยเพื่อหาค่า Δt ที่ เหมาะสมด้วย MATLAB.....	66

ข.2 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการหาผลเฉลยของ Antibiotic resistance model ด้วย MATLAB.....	68
ข.3 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบไม่แยกบุคคลากร.....	69
ข.4 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคคลากรเป็น 3 ประเภท.....	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	74

สารบัญญัตราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบ.....	12
3.2	แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในการทดสอบว่า $\Delta t = 0.01$ เหมาะสม.....	21
3.3	แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในการทดสอบ Antibiotic resistance model.....	24
4.1	ค่าตัวแปรที่ใช้ในระบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดย แบบที่เรีย MRSA แบบไม่แยกบุคคลากร ($U = 0.8$, $C = 0.2$, และ $I = 0$).....	31
4.2	แสดงข้อมูลที่เก็บจากโรงพยาบาลราชวิถี ระหว่างวันที่ 7-11 มีนาคม พศ. 2554	37
5.1	ค่าตัวแปร $U(0)$, $C(0)$, และ $I(0)$ โดย กำหนดให้ $I(0)$ คงที่.....	46
5.2	ค่าตัวแปร $U(0)$, $C(0)$, และ $I(0)$ โดย กำหนดให้ $C(0)$ คงที่.....	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงแผนผังของ SIR model.....	4
3.1	กราฟของ S และ I จากผลเฉลยทางทฤษฎี.....	13
3.2	หลักการระเบียบวิธีของออยเลอร์.....	14
3.3	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.5$	17
3.4	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.5$	18
3.5	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.1$	18
3.6	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.1$	19
3.7	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.05$	19
3.8	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.05$	20
3.9	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.01$	20
3.10	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.01$	21
3.11	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.01$ จากค่าในตารางที่ 3.2.....	22
3.12	กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.01$ จากค่าในตารางที่ 3.2.....	23
3.13	กราฟผลเฉลยของ Antibiotic resistance model ที่ค่า $\Delta t = 0.01$	25
3.14	กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อคือยาทั้งหมด ($I_R + I_{NR} + I_{RS}$).....	25
4.1	แผนภาพของการติดเชื้อ MRSA ในโรงพยาบาล.....	27
4.2	แผนภาพแสดงการติดเชื้อ MRSA โดยบุคลากรทางการแพทย์.....	28
4.3	ผลลัพธ์ของจำนวนผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย (U).....	32
4.4	ผลลัพธ์ของจำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงอยู่แต่ไม่ติดเชื้อ (C).....	32
4.5	ผลลัพธ์ของจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA (I).....	33
4.6	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะของบุคลากรทางการแพทย์.....	34

ภาพที่		หน้า
4.7	จำนวนผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย (U)	41
4.8	จำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงแต่ไม่ติดเชื้อ (C).....	42
4.9	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA (I).....	42
5.1	$Hw_D=0.6$, และ $Hw_N = Hw_O = 1$	45
5.2	$Hw_N=0.6$, และ $Hw_D = Hw_O = 1$	45
5.3	$Hw_O=0.6$, และ $Hw_D = Hw_N = 1$	46
5.4	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ด้วยค่าในตารางที่ 5.1.....	47
5.5	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ด้วยค่าในตารางที่ 5.1.....	47
5.6	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย I ด้วยค่าในตารางที่ 5.1.....	48
5.7	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y	48
5.8	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y	49
5.9	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ด้วยค่าในตารางที่ 5.2.....	50
5.10	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ด้วยค่าในตารางที่ 5.2.....	51
5.11	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย I ด้วยค่าในตารางที่ 5.2.....	51
5.12	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y	52
5.13	แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย I ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

โดยธรรมชาติแล้ว มนุษย์ทุกคนย่อมมีการเจ็บป่วย การรักษาอาการเจ็บป่วยเพื่อให้มนุษย์สามารถดำรงชีพต่อไปได้นั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ถ้าอาการเจ็บป่วยไม่ร้ายแรงนัก เพียงใช้ยาสามัญประจำบ้านหรือไปพบแพทย์ จะสามารถบรรเทาอาการเจ็บป่วยได้ แต่ถ้าอาการเจ็บป่วยรุนแรง โรงพยาบาลจึงเป็นเพียงทางออกเดียวสำหรับการรักษาอาการเจ็บป่วยนั้น สำหรับอาการเจ็บป่วยที่รุนแรง ส่วนมากจำเป็นต้องได้รับการรักษาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ป่วยจำเป็นต้องรักษาตัวที่โรงพยาบาลเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยมี Health Care Workers (HCWs) หรือ บุคลากรทางการแพทย์ ทำหน้าที่ดูแลคนไข้ทั้งหมดในหอผู้ป่วยของโรงพยาบาล กิจกรรมที่บุคลากรเหล่านี้มีหน้าที่ดูแล เช่น การวัดไข้, การทำความสะอาดร่างกาย, ฉีดยา, และกิจกรรมอื่นๆ ตามอาการของผู้ป่วย ซึ่งเรียกโดยรวมได้ว่า การทำหัตถการ ทั้งนี้การทำหัตถการนั้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โรคติดเชื้อจากแบคทีเรียดื้อยาภายในโรงพยาบาลแพร่กระจายจากคนไข้สู่อื่นๆ ได้

เชื้อแบคทีเรียดื้อยา คือ เชื้อแบคทีเรียที่มีภูมิต้านทานต่อยาชนิดใดชนิดหนึ่ง ทำให้เมื่อผู้ป่วยได้รับยาชนิดที่แบคทีเรียมีภูมิต้านทานแล้ว ไม่สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียให้ตายได้ ตัวอย่างของกรณีภายนอกโรงพยาบาล เช่น เมื่อแพทย์ให้ยาปฏิชีวนะหรือยาฆ่าเชื้อ แพทย์มักกำชับเสมอว่าให้ทานยาให้หมดตามที่สั่ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันเชื้อโรคเกิดการดื้อยา ซึ่งนอกจากทำให้อาการป่วยไม่บรรเทาแล้ว ยังทำให้ยาชนิดเดิมใช้ไม่ได้ผลด้วย สำหรับกรณีภายในโรงพยาบาลนั้น จะแตกต่างจากกรณีภายนอก โดยที่การติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยานั้น จะเกิดจากการที่บุคลากรทางการแพทย์เป็นผู้นำเชื้อแบคทีเรียจากผู้ป่วยคนหนึ่ง ไปแพร่ให้แก่ผู้ป่วยคนอื่นๆ จากการทำหัตถการโดยไม่ได้ล้างมือ หรือล้างมือไม่ถูกวิธี ทำให้การติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยามักจะเกิดขึ้นภายในโรงพยาบาลมากกว่า

ในปัจจุบัน มีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลแล้วได้รับเชื้อแบคทีเรียดื้อยาเป็นจำนวนมาก ซึ่งข้อเสียของการติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยามีมากมาย เช่นการรักษาทำได้ยากขึ้น, เสีย

ค่าใช้จ่ายมากขึ้น, ต้องรักษาต่อเนื่องในโรงพยาบาลนานขึ้น, ที่ร้ายแรงที่สุดคือ ทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิต เหตุการณ์เหล่านี้เป็นผลเสียต่อทั้งตัวผู้ป่วยเอง, โรงพยาบาล, รวมไปถึงประเทศชาติ การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเชื้อแบคทีเรียดื้อยาเพื่อลดจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาในโรงพยาบาล จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเชื้อแบคทีเรียดื้อยาทำได้ 2 ทาง คือ การทดลองและเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยโดยตรงและวิธีการทดลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นแนวทางที่ดีที่สุด จากเหตุผลที่ว่า การทดลองกับผู้ป่วยโดยตรงนั้นมีข้อจำกัดจำนวนมาก ได้แก่ ต้องใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูล, ข้อมูลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ, เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลสูง, และข้อที่สำคัญที่สุดคือ ขัดหลักจรรยาแพทย์

การทำนายจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น จำเป็นต้องมีการประมาณค่าตัวแปรที่ใกล้เคียงความจริงมากเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง ซึ่งผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงทำให้สามารถวางแผน เพื่อลดจำนวนผู้ป่วยที่จะติดเชื้อดื้อยาให้น้อยลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาแบบแยกบุคลากรเป็น 3 ประเภท คือ แพทย์, พยาบาล, และบุคลากรอื่นๆ (เช่น นักศึกษาแพทย์, นักกายภาพบำบัด เป็นต้น)
- 1.2.2 ทดลองและวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้ด้วยข้อมูลที่เก็บจากโรงพยาบาล เพื่อช่วยในการวางแผนการลดจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาโดยบุคลากร 3 ประเภท คือ แพทย์, พยาบาล, และบุคลากรอื่นๆ
- 1.3.2 นำแบบจำลองที่ได้มาประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3.3 ทำการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อดูว่าตัวแปรตัวไหนมีผลต่อจำนวนผู้ป่วย
อย่างไรบ้าง ถ้าเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรเหล่านั้น จะทำให้จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อ
ยาลดลงหรือไม่

1.4 วิธีดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาแบบจำลองของการติดเชื้อโรคต่างๆไป (SIR model)

1.4.2 ศึกษาแบบจำลองของการติดเชื้อดื้อยา (Antibiotic resistance model)

1.4.3 สร้างแบบจำลอง เพื่อใช้ทำนายจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาโดยบุคลากร 3
ประเภท คือ แพทย์, พยาบาล, และบุคลากรอื่นๆ

1.4.4 นำแบบจำลองที่ได้มาประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.5 ทำการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.7 สรุปผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยเรื่องการติดเชื้อโรคต่างๆ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.2 เข้าใจลักษณะทางกายภาพของแบบจำลองการติดเชื้อ และสามารถทำนายจำนวนผู้ป่วยที่
ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาได้

1.5.3 สามารถลดจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแบคทีเรียดื้อยาในโรงพยาบาลได้

บทที่ 2

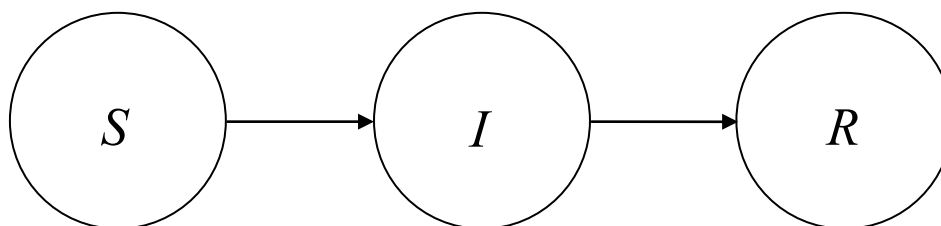
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทนำว่า การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำนายจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อคือยาเป็นแนวทางที่ดีที่สุด ทั้งนี้แบบจำลองดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ตามสมมติฐานและเป้าหมายที่ต้องการทำนาย ดังนั้นเพื่อเป็นการเริ่มต้นสร้างแบบจำลองที่ต้องการการศึกษาแบบจำลองของการติดเชื้อโรคทั่วไป หรือ SIR model และแบบจำลองของการติดเชื้อคือยา หรือ Antibiotic resistance model จึงเป็นสิ่งสำคัญเป็นอันดับแรก เนื่องจากทั้ง 2 แบบจำลองนี้มีแนวคิดที่เป็นประโยชน์สำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยแนวคิดทางทฤษฎี โดยในบทนี้จะเป็นการสรุปใจความของแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งมีใจความดังต่อไปนี้

2.1 แบบจำลองของการติดเชื้อโรคทั่วไป หรือ SIR model

Kermack WO และ McKendrick AG [1]

SIR model หรืออีกชื่อหนึ่งคือ Kermack – McKendrick model เป็นแบบจำลองแรกและเป็นต้นแบบของการศึกษาการแพร่กระจายของเชื้อโรคด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยที่รูปแบบของสมการเป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงได้ แนวคิดของแบบจำลองสามารถแสดงด้วยแผนผังดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแผนผังของ SIR model

โดย S (Susceptible) คือ คนที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันโรค (คน)

I (Infectious) คือ คนที่ติดเชื้อและสามารถแพร่กระจายเชื้อให้กับ S ได้

R (Removed) คือ คนที่มีภูมิคุ้มกันโรคแล้ว (คน)

ซึ่ง SIR model นั้นตั้งอยู่บนสมมติฐาน 3 ประการ คือ

1. คนที่ติดเชื้อจะแพร่กระจายเชื้อด้วยอัตรา βN ต่อหน่วยเวลา โดย N หมายถึง จำนวนคนทั้งหมดในระบบ หรือเขียนเป็นสมการได้ คือ $N = S + I + R$
2. คนที่ติดเชื้อจะรักษาหายด้วยอัตรา αI ต่อหน่วยเวลาและกลายเป็นคนที่มีภูมิคุ้มกันโรค
3. จำนวนคนทั้งหมดในระบบคงที่ (N คงที่)

จากสมมติฐานเหล่านี้ สามารถเขียนเป็นขั้นตอนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

1. เนื่องจากคนที่ติดเชื้อแพร่กระจายเชื้อด้วยอัตรา βN ดังนั้นคนที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันโรคซึ่งคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ S/N จะมีโอกาสติดเชื้อด้วยอัตรา $(\beta N)(S/N)$
2. เมื่อคนที่ติดเชื้อมีจำนวน I คน คนเหล่านี้จะแพร่กระจายเชื้อด้วยอัตรา βNI คนที่ไม่มีภูมิคุ้มกันโรคจะมีโอกาสติดเชื้อด้วยอัตรา $(\beta NI)(S/N) = \beta SI$ ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนคนที่ไม่มีภูมิคุ้มกันจะเท่ากับ $-\beta SI$
3. คนที่ติดเชื้อจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา βSI และจะรักษาหายด้วยอัตรา αI ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของคนที่ติดเชื้อจะเท่ากับ $\beta SI - \alpha I$

ขั้นตอนทั้งหมดนี้สามารถเขียนเป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (2.1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \alpha I \quad (2.2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha I \quad (2.3)$$

โดย β คือ อัตราในการแพร่กระจายของเชื้อ (ต่อคนต่อวัน)

α คือ อัตราในการรักษาโรคให้หาย (1/วัน)

$1/\alpha$ คือ ระยะเวลาของการติดเชื้อ (วัน)

2.2 ผลเฉลยทางทฤษฎี ของ SIR model

Biazar J [2]

สำหรับผลเฉลยทางทฤษฎีของ SIR model J. Biazar ได้ใช้วิธี Adomian decomposition method ซึ่งสมมติให้ผลเฉลยของ S , I , และ R ในรูปของอนุกรมอนันต์ คือ

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} S_n, \quad I = \sum_{n=0}^{\infty} I_n, \quad R = \sum_{n=0}^{\infty} R_n$$

จากนั้นจึงทำการจัดรูปสมการด้วยการอินทิเกรตเทียบเวลาทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถเขียน SIR model ในรูป $S(t)$, $I(t)$, และ $R(t)$ ได้ดังนี้

$$S(t) = S(t=0) - \beta \int_0^t S(t)I(t)dt \quad (2.4)$$

$$I(t) = I(t=0) + \beta \int_0^t S(t)I(t) - \alpha I(t)dt \quad (2.5)$$

$$R(t) = R(t=0) + \alpha \int_0^t I(t)dt \quad (2.6)$$

Biazar J, Babolian E, Kember G, Nouri A, และ Islam R [3]

ได้ให้ระเบียบวิธีการหาผลลัพท์ของสมการพหุนามไว้ซึ่งเมื่อประยุกต์เข้ากับสมการที่ 2.4 ถึง 2.6 จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$S(t) = S_0 - \beta \int_0^t \sum_{i=0}^n [S_i(t)I_{n-i}(t)]dt \quad (2.7)$$

$$I(t) = I_0 + \beta \int_0^t \sum_{i=0}^n [S_i(t)I_{n-i}(t)] - \alpha I_n(t)dt \quad (2.8)$$

$$R(t) = R_0 + \alpha \int_0^t I_n(t)dt \quad (2.9)$$

2.3 Antibiotic resistance model

D'Agata EM, Magal P, Olivier D, Ruan S, Webb GF, et al. [4]

แบบจำลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การปนเปื้อนเชื้อโรคของบุคคลากรที่เกิดจากการสัมผัสผู้ป่วย และการติดเชื้อของผู้ป่วยที่เกิดจากการทำหัตถการของบุคคลากร โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานเช่นเดียวกับ SIR model คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนคนในระบบ เขียนสมการได้ดังนี้

ระบบสมการของการปนเปื้อนเชื้อโรคของบุคคลากรที่เกิดจากการสัมผัสผู้ป่วย

$$\frac{dH_U}{dt} = -vP_C[I_N + I_{NR} + I_R]H_U + c[H_N + H_{NR} + H_R] \quad (2.10)$$

$$\frac{dH_N}{dt} = vP_C I_N H_U - vP_C [I_{NR} + I_R]H_N - cH_N \quad (2.11)$$

$$\frac{dH_{NR}}{dt} = vP_C [I_N + I_R]H_N + vP_C I_{NR} H_U + vP_C [I_N + I_{NR}]H_R - cH_{NR} \quad (2.12)$$

$$\frac{dH_R}{dt} = -vP_C [I_N + I_{NR}]H_R + vP_C I_R H_U - cH_R \quad (2.13)$$

$$H_U + H_N + H_{NR} + H_R = 1 \quad (2.14)$$

ระบบสมการของการติดเชื้อของผู้ป่วยที่เกิดจากการทำหัตถการของบุคคลากร

$$\frac{dU}{dt} = -v\beta P_I [H_R + H_{NR} + H_N]U \quad (2.15)$$

$$\frac{dI_N}{dt} = v\beta P_I H_N U - v\beta P_I [H_R + H_{NR}]I_N \quad (2.16)$$

$$\frac{dI_{RS}}{dt} = v\beta P_I [H_R + H_{NR}]I_N \quad (2.17)$$

$$\frac{dI_R}{dt} = v\beta P_I H_R U \quad (2.18)$$

$$\frac{dI_{NR}}{dt} = v\beta P_I H_{NR} U \quad (2.19)$$

โดย U คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ไม่ติดเชื้อใดๆ

I_N คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่ไม่ดี้อยา

I_R คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ติดเชื้อดี้อยา

I_{RS} คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ติดเชื้อไม่ดีย่อก่อนและดี้อยาทีหลัง

I_{NR} คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ติดเชื้อทั้งดี้อยาและไม่ดี้อยา

H_U คือ สัดส่วนของบุคลากรที่ไม่ปนเปื้อนเชื้อโรค

H_N คือ สัดส่วนของบุคลากรที่ปนเปื้อนเชื้อที่ไม่ดี้อยา

H_R คือ สัดส่วนของบุคลากรที่ปนเปื้อนเชื้อดี้อยา

H_{NR} คือ สัดส่วนของบุคลากรที่ปนเปื้อนทั้งเชื้อดี้อยาและไม่ดี้อยา

A_v คือ เวลาเฉลี่ยของการตรวจผู้ป่วย

A_c คือ เวลาเฉลี่ยของการปนเปื้อน

v คือ อัตราที่บุคลากรทำการตรวจผู้ป่วยเสร็จ (1/วัน) หาได้จาก $1/A_v$

c คือ อัตราที่บุคลากรจะหายจากการปนเปื้อน (1/วัน) หาได้จาก $1/A_c$

β คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วย 1 คนถูกตรวจโดยบุคลากร 1 คน หาได้จากจำนวนบุคลากรทั้งหมดหารด้วยจำนวนผู้ป่วยทั้งหมด

P_C คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดการปนเปื้อนขณะทำการตรวจ

P_I คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วยติดเชื้อจากการตรวจ

ทั้งนี้ผู้แต่งได้ให้ข้อสังเกตไว้ว่า สเกลเวลาของการเปลี่ยนแปลงการปนเปื้อนเชื้อในบุคคลากร นั้นน้อยกว่าสเกลเวลาของการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (2.10) ถึงสมการ (2.14) ใหม่ได้เป็นดังนี้

$$0 = -vP_C[I_N + I_{NR} + I_R]H_U + c[H_N + H_{NR} + H_R] \quad (2.20)$$

$$0 = vP_C I_N H_U - vP_C [I_{NR} + I_R] H_N - cH_N \quad (2.21)$$

$$0 = vP_C [I_N + I_R] H_N + vP_C I_{NR} H_U + vP_C [I_N + I_{NR}] H_R - cH_{NR} \quad (2.22)$$

$$0 = -vP_C [I_N + I_{NR}] H_R + vP_C I_R H_U - cH_R \quad (2.23)$$

บทที่ 3

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากบทที่ผ่านมา มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ทำการศึกษาอยู่ 2 แบบจำลองด้วยกัน คือ แบบจำลองของการติดเชื้อโรคทั่วไป หรือ SIR model และแบบจำลองของการติดเชื้อดื้อยา หรือ Antibiotic resistance model ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบแบบจำลอง ด้วยผลเฉลยทางทฤษฎี และผลเฉลยที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยผลเฉลยทางทฤษฎีจะหาด้วยวิธี Adomian decomposition method และ ผลเฉลยจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจะหาจากระเบียบวิธีของออยเลอร์และระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททาอันดับสี่ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลเฉลยทั้งสามที่ค่า Δt ต่างๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

3.1 การหาผลเฉลยทางทฤษฎี ของ SIR model

ในหัวข้อนี้ ผลเฉลยที่สนใจมีเพียง S และ I เท่านั้น จึงทำการทดสอบแค่เพียง 2 สมการ คือ สมการ (2.1) และ (2.2)

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (2.1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \alpha I \quad (2.2)$$

เมื่อทำการประยุกต์ Adomian decomposition method กับสมการดังกล่าว ได้เป็นสมการ (2.7) และ (2.8) ดังนี้

$$S(t) = S_0 - \beta \int_0^t \sum_{i=0}^n [S_i(t) I_{n-i}(t)] dt \quad (2.7)$$

$$I(t) = I_0 + \beta \int_0^t \sum_{i=0}^n [S_i(t) I_{n-i}(t)] - \alpha I_n(t) dt \quad (2.8)$$

ซึ่งเมื่อกระจายพจน์ของสมการ (2.7) และ (2.8) ผลเฉลยของสมการทั้งสองจะอยู่ในรูปของอนุกรมอนันต์ดังนี้

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} S_n = S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

$$I = \sum_{n=0}^{\infty} I_n = I_0 + I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

เมื่อ S_0 และ I_0 เป็นค่าเริ่มต้น ดังนั้นจะได้ว่า

$$S_1 = -\beta S_0 I_0 t$$

$$I_1 = \beta S_0 I_0 t - \alpha I_0 t$$

$$S_2 = -\frac{1}{2} \beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) t^2$$

$$I_2 = \frac{1}{2} (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) t^2$$

$$S_3 = -\frac{1}{3} \beta \left(\frac{1}{2} (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) \right. \\ \left. - \beta S_0 I_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \frac{1}{2} \beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) I_0 \right) t^3$$

$$I_3 = \frac{1}{3} \beta \left(\frac{1}{2} (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) \right. \\ \left. - \beta S_0 I_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \frac{1}{2} \beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) I_0 \right) \\ \left. - \frac{1}{2} \alpha (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) \right) t^3$$

$$S_n = \dots$$

$$I_n = \dots$$

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบ

S_0	20
I_0	15
β	0.01
α	0.02

จากตารางที่ 3.1 ทำการแทนค่าตัวแปรในตารางลงในผลเฉลยที่ได้จากการกระจายสมการ (2.7) และ (2.8) จะได้ผลเฉลยของ S และ I ในแต่ละพจน์ และมีจำนวนพจน์เป็นอนันต์ ทั้งนี้ผลบวกของผลเฉลยของ S และ I นั้นจะมีลักษณะลู่เข้า ซึ่งหมายถึงยิ่งจำนวนพจน์ที่ใช้บวกกันมากขึ้น ผลเฉลยก็จะยิ่งแม่นยำมากขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งในที่นี้จะทำการหาผลเฉลยตั้งแต่พจน์ที่ 1 จนถึงพจน์ที่ 20

ผลเฉลยของ S และ I ตั้งแต่พจน์ที่ 1 ถึงพจน์ที่ 20 มีดังนี้ (รายละเอียดวิธีการหาผลเฉลยแสดงไว้ในภาคผนวก ก)

$$\begin{array}{ll}
 S_1 = -3.0000t & I_1 = 2.7000t \\
 S_2 = -0.0450t^2 & I_2 = 0.0180t^2 \\
 S_3 = 0.02805t^3 & I_3 = -0.02817t^3 \\
 S_4 = 7.9538 \times 10^{-4}t^4 & I_4 = -6.5452 \times 10^{-4}t^4 \\
 S_5 = -3.1655 \times 10^{-4}t^5 & I_5 = 3.1917 \times 10^{-4}t^5 \\
 S_6 = -1.2531 \times 10^{-5}t^6 & I_6 = 1.1467 \times 10^{-5}t^6 \\
 S_7 = 3.5960 \times 10^{-6}t^7 & I_7 = -3.6288 \times 10^{-6}t^7 \\
 S_8 = 1.8462 \times 10^{-7}t^8 & I_8 = -1.7555 \times 10^{-7}t^8 \\
 S_9 = -4.0513 \times 10^{-8}t^9 & I_9 = 4.0930 \times 10^{-8}t^9 \\
 S_{10} = -2.5992 \times 10^{-9}t^{10} & I_{10} = 2.5174 \times 10^{-9}t^{10} \\
 S_{11} = 4.5119 \times 10^{-10}t^{11} & I_{11} = -4.5577 \times 10^{-10}t^{11} \\
 S_{12} = 3.5402 \times 10^{-11}t^{12} & I_{12} = -3.4642 \times 10^{-11}t^{12} \\
 S_{13} = -4.9573 \times 10^{-12}t^{13} & I_{13} = 5.0106 \times 10^{-12}t^{13}
 \end{array}$$

$$S_{14} = -4.7006 \times 10^{-13} t^{14}$$

$$I_{14} = 4.6290 \times 10^{-13} t^{14}$$

$$S_{15} = 5.3609 \times 10^{-14} t^{15}$$

$$I_{15} = -5.4227 \times 10^{-14} t^{15}$$

$$S_{16} = 6.1154 \times 10^{-15} t^{16}$$

$$I_{16} = -6.0476 \times 10^{-15} t^{16}$$

$$S_{17} = -5.6882 \times 10^{-16} t^{17}$$

$$I_{17} = 5.7594 \times 10^{-16} t^{17}$$

$$S_{18} = -7.8223 \times 10^{-17} t^{18}$$

$$I_{18} = 7.7583 \times 10^{-17} t^{18}$$

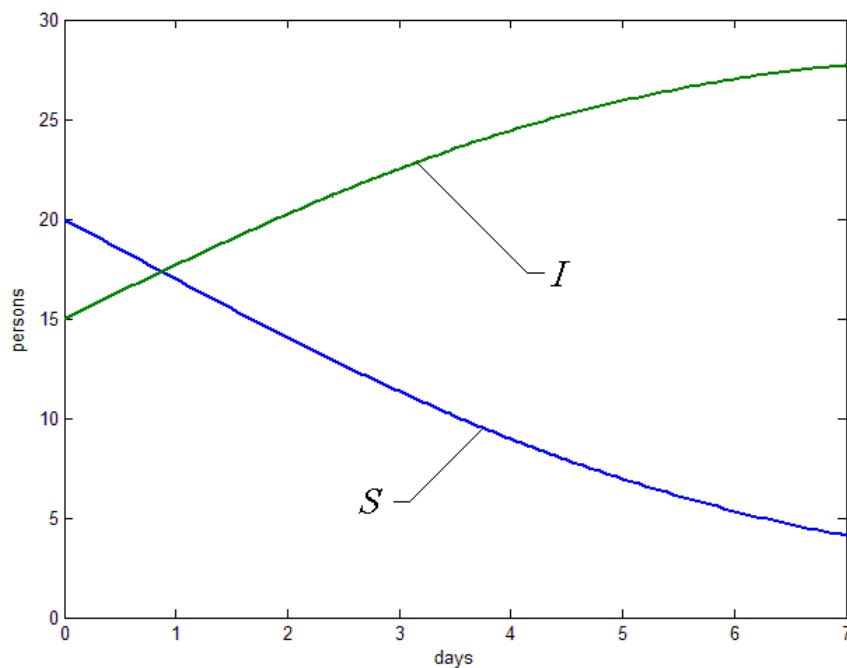
$$S_{19} = 5.8942 \times 10^{-18} t^{19}$$

$$I_{19} = -5.9759 \times 10^{-18} t^{19}$$

$$S_{20} = 9.8611 \times 10^{-19} t^{20}$$

$$I_{20} = -9.8014 \times 10^{-19} t^{20}$$

เมื่อได้ผลเฉลยของ S และ I จึงนำมาพลอตกราฟโดยให้แกน x เป็นเวลา และ แกน y เป็นจำนวนคนดังกราฟดังรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของจำนวนคนที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันโรคลดลง ส่วนแนวโน้มของคนที่ยังติดเชื้อมันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.1 กราฟของ S และ I จากผลเฉลยทางทฤษฎี

3.2 การหาผลเฉลยจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของ SIR model

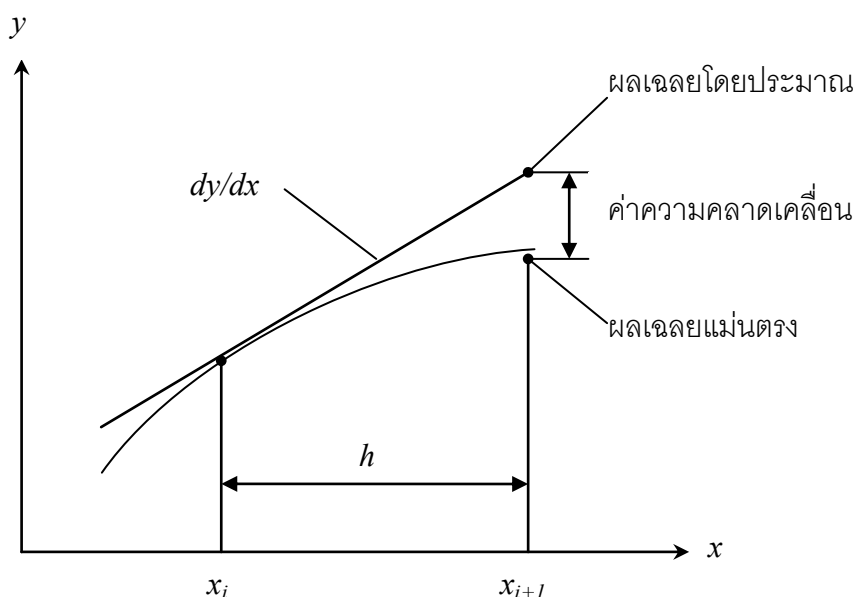
ในหัวข้อนี้เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาช่วยในการหาผลเฉลยของ SIR model จากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่างผลเฉลยที่ได้กับผลเฉลยทางทฤษฎีในหัวข้อที่แล้ว ด้วยระเบียบวิธีของออยเลอร์ และระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททาอันดับสี่ [5]

3.2.1 ระเบียบวิธีของออยเลอร์

ระเบียบวิธีของออยเลอร์จัดได้ว่าเป็นระเบียบวิธีที่ง่ายที่สุดในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ โดยมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (3.1)$$

หลักการที่ใช้ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์นี้สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หลักการระเบียบวิธีของออยเลอร์

จากรูปที่ 3.2 จะหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของ y_{i+1} ที่ x_{i+1} จากผลลัพธ์ y_i ซึ่งทราบค่าที่ตำแหน่ง x_i โดยใช้ค่าความชันที่ตำแหน่ง x_i ดังนี้

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y_{i+1} - y_i}{h} \quad (3.2)$$

โดย $h = x_{i+1} - x_i$ คือ ความกว้างช่วงที่ใช้ในการคำนวณ

จากนั้นทำการแทนค่าสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.1) จะได้ว่า

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{h} = f(x_i, y_i)$$

$$y_{i+1} = y_i + f(x_i, y_i)h \quad (3.3)$$

ทั้งนี้ ความแม่นยำของผลเฉลยโดยประมาณของระเบียบวิธีของออยเลอร์นั้น จะขึ้นกับค่าความกว้างช่วงที่ใช้ในการคำนวณ นั่นคือ ยิ่งความกว้างช่วงที่ใช้มีค่าน้อย ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ทำการประยุกต์ระเบียบวิธีของออยเลอร์เข้ากับสมการ (2.1) และ (2.2) สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$S_{i+1} = S_i - \beta S_i I_i \Delta t \quad (3.4)$$

$$I_{i+1} = I_i + \beta S_i I_i \Delta t - \alpha I_i \Delta t \quad (3.5)$$

โดย Δt คือ ช่วงเวลา ซึ่งเทียบได้กับค่าความกว้างช่วงหรือ h

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการเลือกใช้ Δt ซึ่งความผิดพลาดจะน้อยลงเมื่อใช้ช่วง Δt ที่มีค่าน้อยลง ดังที่กล่าวไว้แล้ว แต่นั่นไม่ได้หมายความว่า การใช้ค่า Δt น้อยมากๆ เสมอ นั้นจะดีเสมอไป จึงควรที่จะเลือกค่า Δt ที่เหมาะสมกับแต่ละสมการ โดยการเลือกค่า Δt ที่เหมาะสมนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3

3.2.2 ระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททาค้นฉบับสี่

ระเบียบวิธีรุงเงอ-คุททา (Runge-Kutta method) จัดได้ว่าเป็นระเบียบวิธีที่ได้รับความนิยมและประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในการคำนวณซึ่งต้องการผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง แนวความคิดที่ใช้ในการประดิษฐ์ระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททานี้ คือ การหาค่าความชันที่มีความเที่ยงตรงสูงเพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงตามมา สมการหลักที่ใช้คำนวณหาผลลัพธ์ในระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททานั้นอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$y_{i+1} = y_i + \phi(x_i, y_i, h)h \quad (3.6)$$

โดย $\phi(x_i, y_i, h)$ เรียกว่าฟังก์ชันส่วนเพิ่ม (increment function) ซึ่งมีความหมายถึงความชันเฉลี่ยตลอดขนาดช่วงความกว้าง h ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาส่วนที่เพิ่มขึ้นจากผลลัพธ์เดิม ฟังก์ชันส่วนเพิ่มนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบโดยทั่วไปได้ดังนี้

$$\phi = a_1 k_1 + a_2 k_2 + a_3 k_3 + \dots + a_n k_n \quad (3.7)$$

โดยที่ตัวห้อย n ระบุถึงอันดับที่ของระเบียบวิธีรุงเงอ-คุททา สำหรับหัวข้อ 3.2.2 นี้เป็นระเบียบวิธีรุงเงอ-คุททาอันดับสี่ ดังนั้น $n = 4$ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (3.8)$$

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (3.9)$$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_1\right) \quad (3.10)$$

$$k_3 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_2\right) \quad (3.11)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + hk_3) \quad (3.12)$$

เมื่อทำการประยุกต์ระเบียบวิธีรุงเงอ-คุททาอันดับสี่ เข้ากับสมการ (2.1) และ (2.2) จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S_{i+1} = S_i + \frac{1}{6}(k_{1S} + 2k_{2S} + 2k_{3S} + k_{4S})\Delta t \quad (3.13)$$

$$I_{i+1} = I_i + \frac{1}{6}(k_{1I} + 2k_{2I} + 2k_{3I} + k_{4I})\Delta t \quad (3.14)$$

$$k_{1S} = -\beta S_i I_i \quad (3.15)$$

$$k_{1I} = \beta S_i I_i - \alpha I_i \quad (3.16)$$

$$k_{2S} = -\beta\left(S_i + \frac{1}{2}k_{1S}\Delta t\right)\left(I_i + \frac{1}{2}k_{1I}\Delta t\right) \quad (3.17)$$

$$k_{2I} = \beta\left(S_i + \frac{1}{2}k_{1S}\Delta t\right)\left(I_i + \frac{1}{2}k_{1I}\Delta t\right) - \alpha\left(I_i + \frac{1}{2}k_{1I}\Delta t\right) \quad (3.18)$$

$$k_{3S} = -\beta\left(S_i + \frac{1}{2}k_{2S}\Delta t\right)\left(I_i + \frac{1}{2}k_{2I}\Delta t\right) \quad (3.19)$$

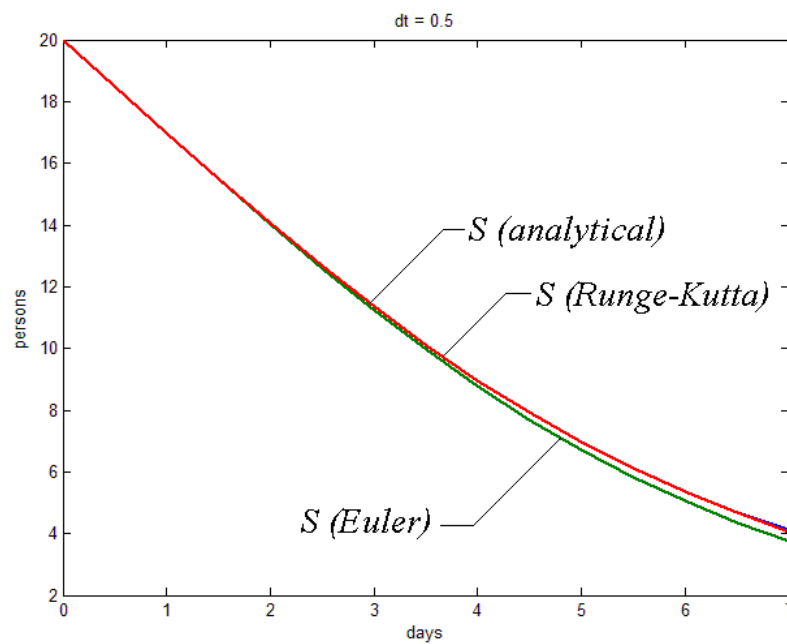
$$k_{3I} = \beta\left(S_i + \frac{1}{2}k_{2S}\Delta t\right)\left(I_i + \frac{1}{2}k_{2I}\Delta t\right) - \alpha\left(I_i + \frac{1}{2}k_{2I}\Delta t\right) \quad (3.20)$$

$$k_{4S} = -\beta(S_i + k_{3S}\Delta t)(I_i + k_{3I}\Delta t) \quad (3.21)$$

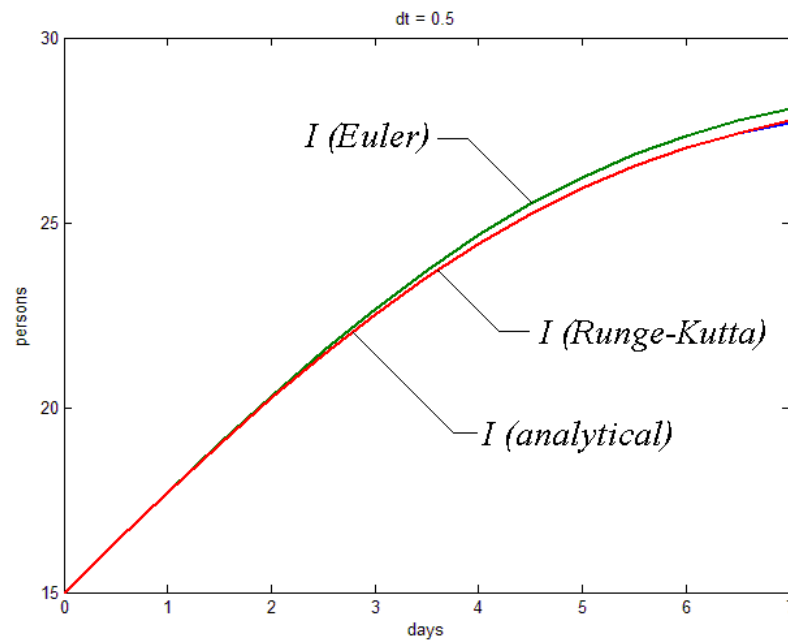
$$k_{4I} = \beta(S_i + k_{3S}\Delta t)(I_i + k_{3I}\Delta t) - \alpha(I_i + k_{3I}\Delta t) \quad (3.22)$$

3.3 การหาค่า Δt ที่เหมาะสม

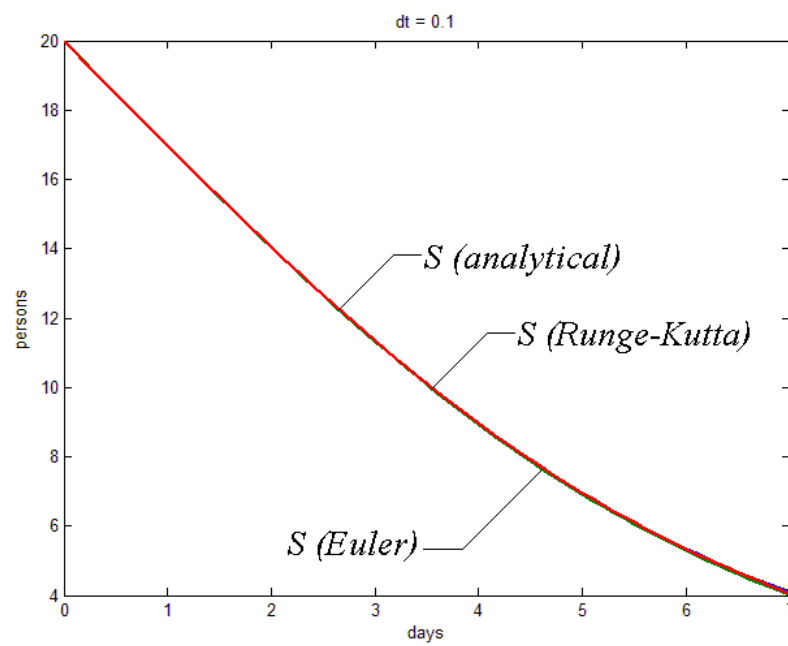
การเปรียบเทียบผลเฉลยเพื่อหาค่า Δt ที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยใช้ค่าในตารางที่ 3.1 แทนลงในสมการ (3.4) และ (3.5) สำหรับระเบียบวิธีของออยเลอร์ และสมการ (3.13) ถึงสมการ (3.22) สำหรับระเบียบวิธีของรุงเง-คูททาค้นดับสี่ โดยใช้ช่วงเวลา Δt ต่างๆกัน คือ 0.5, 0.1, 0.05, และ 0.01 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบไว้ดังรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.10 (รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการเปรียบเทียบผลเฉลยด้วย MATLAB แสดงไว้ในภาคผนวก ข.1)



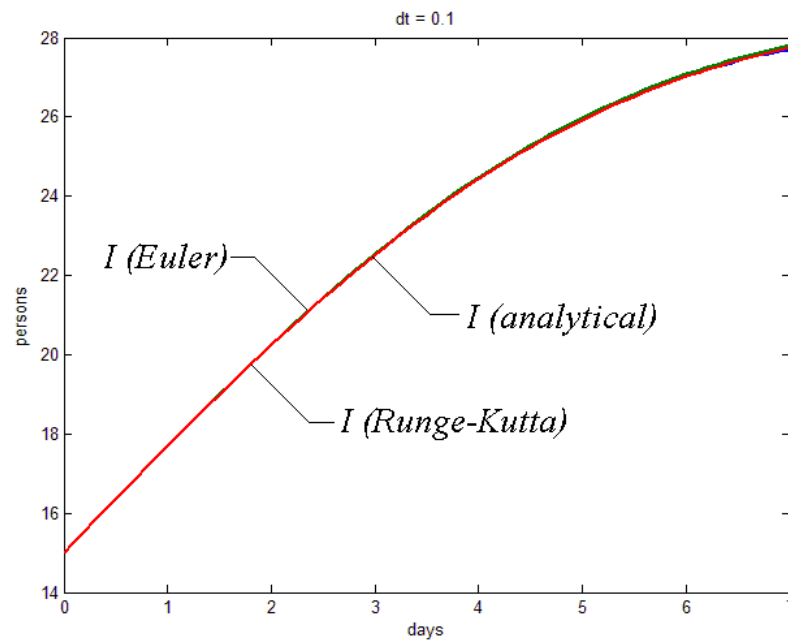
รูปที่ 3.3 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.5$



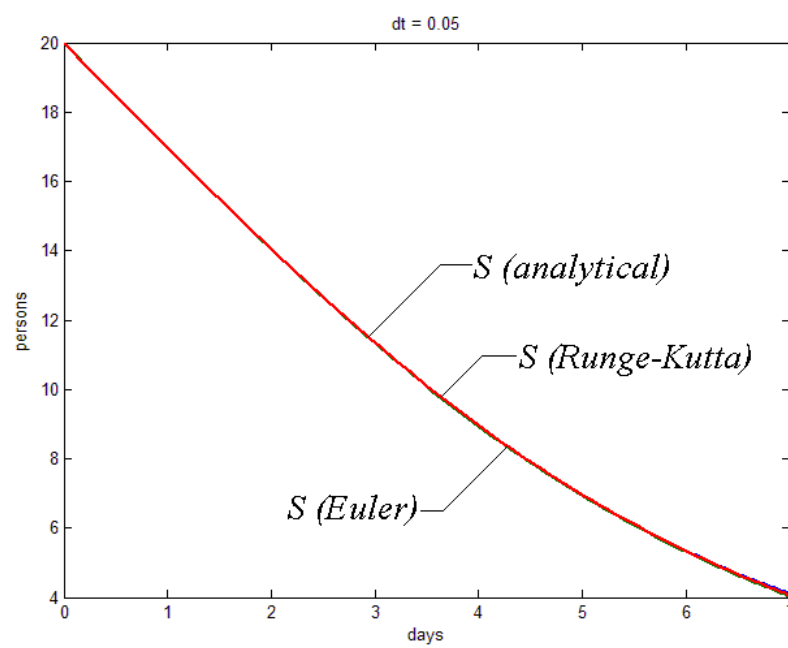
รูปที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.5$



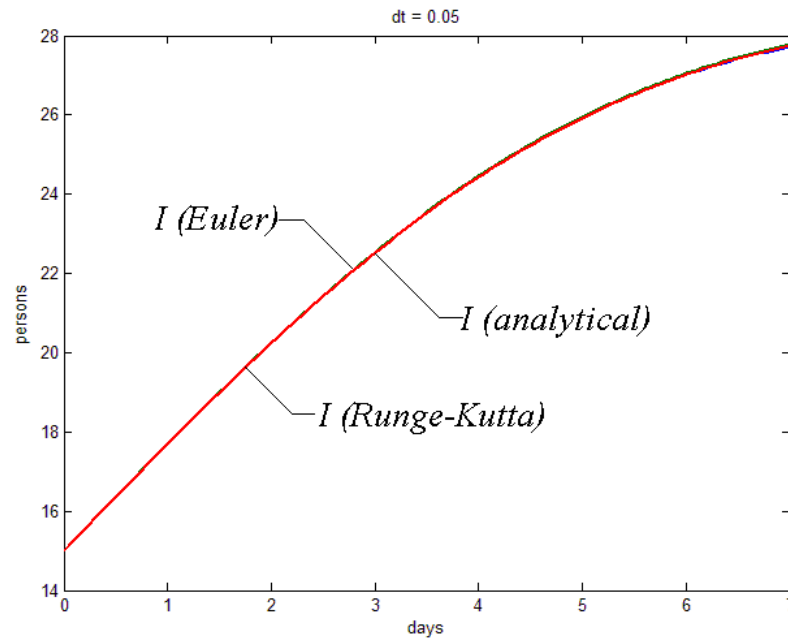
รูปที่ 3.5 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.1$



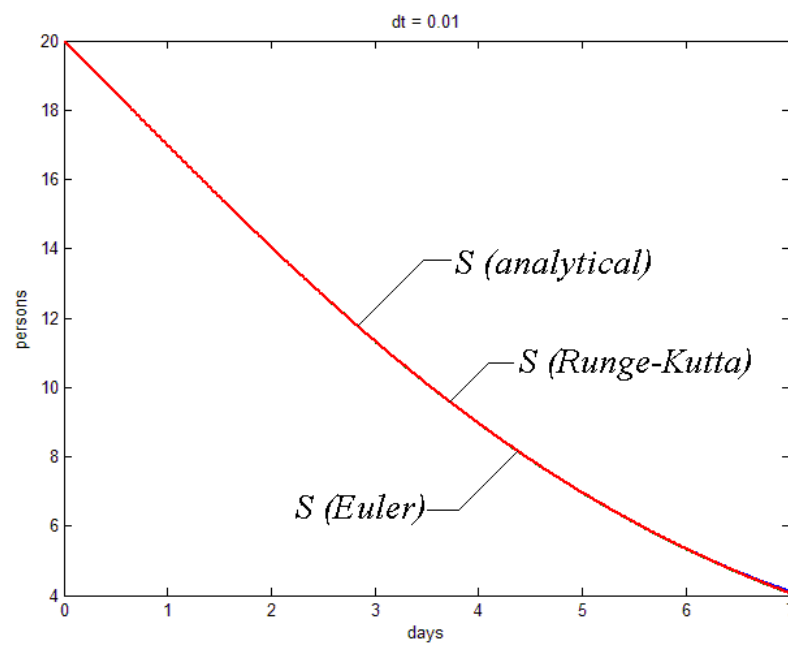
รูปที่ 3.6 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.1$



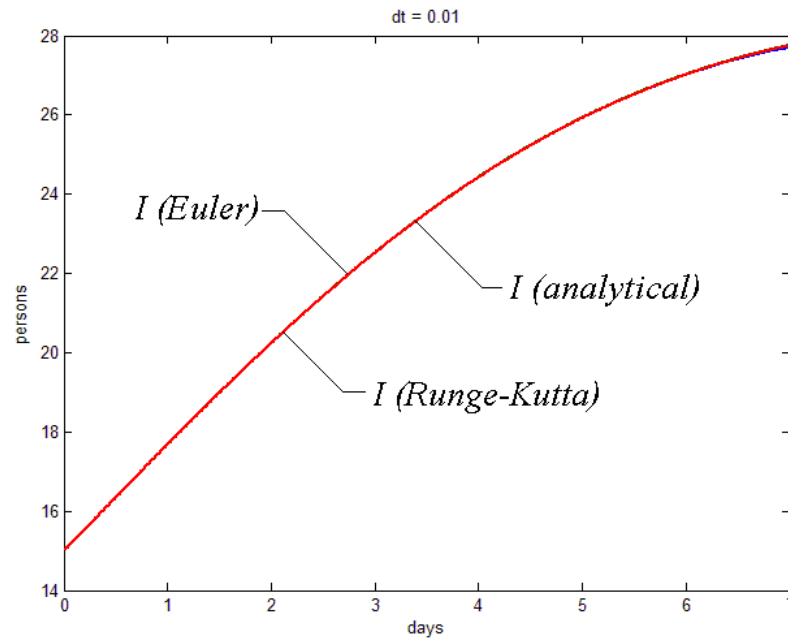
รูปที่ 3.7 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.05$



รูปที่ 3.8 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.05$



รูปที่ 3.9 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.01$



รูปที่ 3.10 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.01$

จากรูปที่ 3.3 ถึงรูปที่ 3.10 เห็นได้ว่าระเบียบวิธีรุงเงอ-คุททาอันดับสี่ ให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับผลเฉลยทางทฤษฎีมากที่สุดที่ Δt ใดๆ ส่วนระเบียบวิธีของออยเลอร์นั้นผลเฉลยจะค่อยๆ เข้าใกล้ผลเฉลยทางทฤษฎีเมื่อ Δt มีค่าน้อยลง ซึ่งจะเห็นได้ว่า Δt ที่เหมาะสมคือ 0.01 ทั้งนี้เพื่อความมั่นใจว่าค่า Δt ค่านี้เหมาะสมจริง จึงทำการทดสอบกับค่าตัวแปรอีกชุดหนึ่งดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในการทดสอบว่า $\Delta t = 0.01$ เหมาะสม

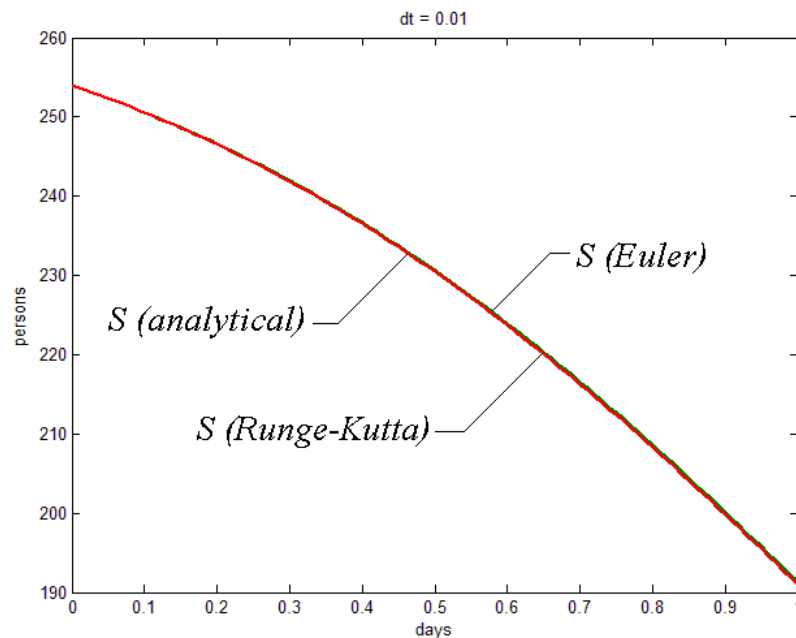
S_0	254
I_0	7
β	0.0178
α	2.73

จากค่าตัวแปรในตารางที่ 3.2 จะให้ผลเฉลยทางทฤษฎีของ S และ I ตั้งแต่พจน์ที่ 1 – 20 ที่อยู่ในรูปของ t ดังนี้

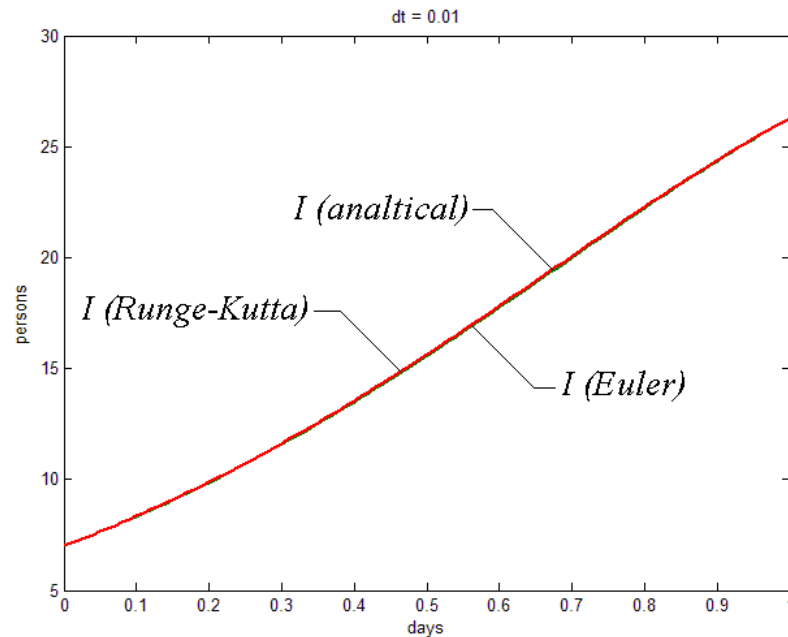
$$\begin{aligned}
 S(t) = & 254 - 31.648t - 26.373t^2 - 10.502t^3 + 0.75407t^4 + 3.5173t^5 \\
 & + 1.9027t^6 + 0.10224t^7 - 0.50525t^8 - 0.33483t^9 - 0.050228t^{10} \\
 & + 0.070537t^{11} + 0.057864t^{12} + 0.013711t^{13} - 0.0092325t^{14} \\
 & - 0.0097732t^{15} - 0.0031333t^{16} + 0.0010697t^{17} + 0.0016063t^{18} \\
 & + 0.00065231t^{19} - 0.0000927t^{20}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I(t) = & 7 + 12.538t + 9.2577t^2 + 2.0777t^3 - 2.1721t^4 - 2.3314t^5 \\
 & - 0.84195t^6 + 0.22612t^7 + 0.42809t^8 + 0.20498t^9 - 0.0057307t^{10} \\
 & - 0.069114t^{11} - 0.042141t^{12} - 0.0048619t^{13} + 0.010181t^{14} \\
 & + 0.0079204t^{15} + 0.0017819t^{16} - 0.0013558t^{17} - 0.0014007t^{18} \\
 & - 0.00045105t^{19} + 0.00015427t^{20}
 \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่าในตารางที่ 3.2 ลงในสมการ (3.4) และ (3.5) สำหรับระเบียบวิธีของออยเลอร์ และสมการ (3.13) ถึงสมการ (3.22) สำหรับระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททาคันดัดบัสซี่ โดยใช้ช่วงเวลา Δt เป็น 0.01 ได้กราฟดังรูปที่ 3.11 และ 3.12



รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ S ที่ค่า $\Delta t = 0.01$ จากค่าในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.12 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยของ I ที่ค่า $\Delta t = 0.01$ จากค่าในตารางที่ 3.2

จากรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 แสดงกราฟผลเฉลยของ S และ I ซึ่งใช้ค่าในตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าผลเฉลยของทั้งทางทฤษฎี, ระเบียบวิธีของออยเลอร์, และระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุดทา อันดัสตี นั้นทับซ้อนกันพอดี จึงสามารถสรุปได้ว่า $\Delta t = 0.01$ เป็นค่าที่เหมาะสมจริงตามที่กล่าวไว้ข้างต้น

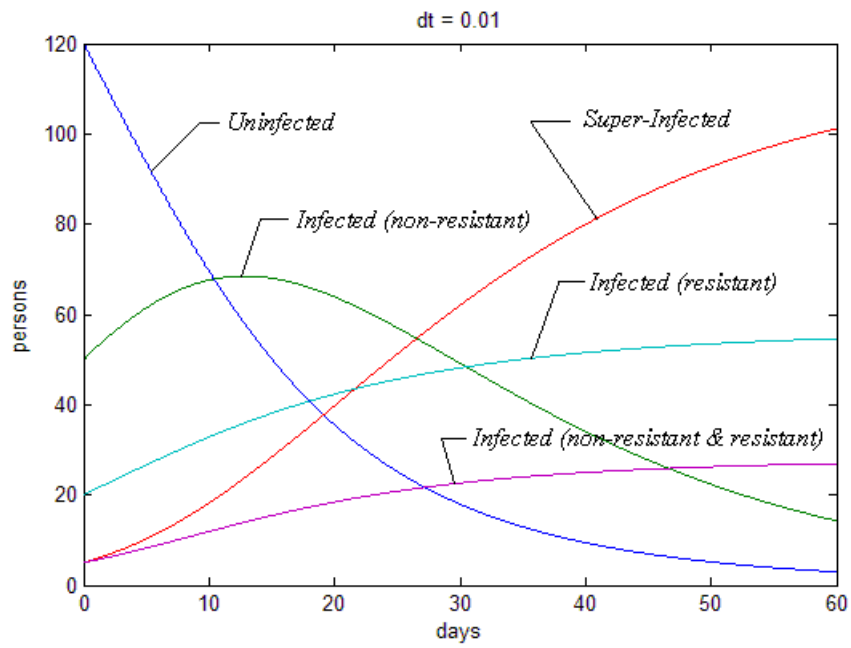
3.4 การหาผลเฉลยของ Antibiotic resistance model

หลังจากนี้เป็นต้นไปจะขอละการหาผลเฉลยทางทฤษฎีไว้ เนื่องจากผลเฉลยจากระเบียบวิธีออยเลอร์และรุงเงอ-อันดัสตี ที่ใช้ค่า $\Delta t = 0.01$ ให้ผลเฉลยที่ทับซ้อนกับผลเฉลยทางทฤษฎี ดังนั้นในการทดลองแบบจำลองนี้ ใช้ระเบียบวิธีออยเลอร์กับสมการ (2.14) ถึงสมการ (2.23) ซึ่งค่าตัวแปรเบื้องต้นที่ให้อยู่ในตารางที่ 3.3 ซึ่งค่าที่ได้ในตารางนี้เป็นการประมาณค่าตัวเลขโดยอิงข้อมูลจากทางโรงพยาบาล (รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการหาผลเฉลยด้วย MATLAB แสดงไว้ในภาคผนวก ข.2)

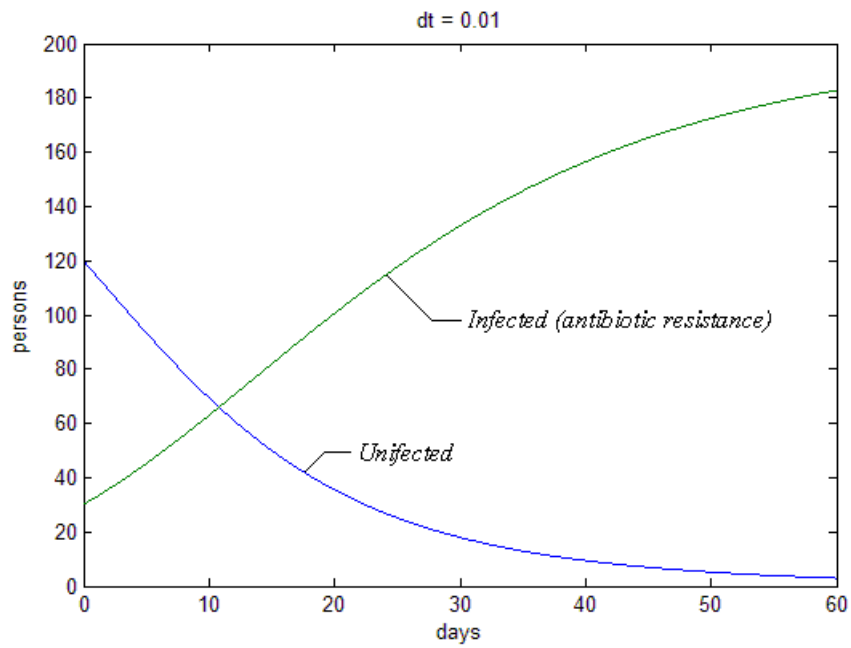
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในการทดสอบ Antibiotic resistance model

จำนวนผู้ป่วยทั้งหมด	200 (คน)
จำนวนบุคลากรทั้งหมด	100 (คน)
β	0.5
A_v	0.0625 (วัน)
A_c	0.042 (วัน)
ν	16 (1/วัน)
c	23.8095 (1/ วัน)
P_C	0.4
P_I	0.06
U	0.6
I_N	0.25
I_R	0.1
I_{RS}	0.025
I_{NR}	0.025
Δt	0.01

จากรูปที่ 3.13 และ 3.14 เห็นได้ว่าลักษณะกราฟมีความสัมพันธ์กับ SIR model ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองนี้ก็ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ SIR model โดยจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อดื้อยา มีจำนวนเพิ่มขึ้นแปรผันกับเวลาที่อยู่ในโรงพยาบาล ส่วนผู้ป่วยที่ไม่ติดเชื้อใดๆ ลดน้อยลงจนเข้าใกล้ศูนย์ เมื่ออยู่ในโรงพยาบาลถึง 60 วัน โดยจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อดื้อยาเท่ากับ $I_R + I_{NR} + I_{RS}$



รูปที่ 3.13 กราฟผลเฉลยของ Antibiotic resistance model ที่ค่า $\Delta t = 0.01$



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อดื้อยาทั้งหมด ($I_R + I_{NR} + I_{RS}$)

บทที่ 4

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลโดยแบคทีเรียดื้อยา Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

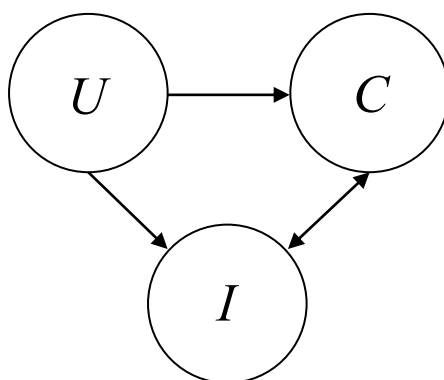
Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) เป็นเชื้อแบคทีเรียดื้อยาที่เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี เนื่องจาก เชื้อแบคทีเรียชนิดนี้เป็นเชื้อที่มีการแพร่กระจายสูงและตายยากในสิ่งแวดล้อมทั่วไป อีกทั้งสามารถทนทานต่อยาได้หลายชนิด ทำให้การรักษาเชื้อ MRSA นั้นเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก [6] ส่งผลให้การติดเชื้อ MRSA นั้นมีจำนวนมาก ตัวอย่างการพบเชื้อ MRSA ในโรงพยาบาลต่างๆ เช่น พบเชื้อ MRSA 3.3% ในกรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์, พบเชื้อ MRSA 7.9% ในกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส, และพบเชื้อ MRSA 9.2% ในกรุงเทพฯ ประเทศไทย [7, 8, 9] ส่วนที่มาของ MRSA นั้นมาจาก เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* หรือ Staph เชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ สามารถพบได้ทั่วไปบริเวณผิวหนังและภายในโพรงจมูก ซึ่งเมื่อเชื้อแบคทีเรียนี้ก่อโรคสามารถรักษาให้หายด้วยยาปฏิชีวนะ โดยต่อมาในภายหลังพบว่าเชื้อแบคทีเรียนี้เกิดการดื้อยาขึ้น ทำให้ยาปฏิชีวนะหลายๆตัวไม่สามารถรักษาได้ รวมถึง methicillin จึงเป็นที่มาของคำว่า Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* หรือ MRSA นั้นเอง สำหรับโรคที่จะพบได้หลังจากติดเชื้อ MRSA จะเป็นโรคที่สามารถพบได้จากเชื้อ Staph ทั่วไปเช่นกัน ซึ่งจะเป็นโรคที่สามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว เช่น ฝีหนอง, โรคปอดบวม, โรคติดเชื้อทางผิวหนัง, โรคติดเชื้อในลิ้นหัวใจ, และโรคติดเชื้อในกระแสเลือด เป็นต้น ซึ่งในหลายๆครั้ง โรคที่เกิดจากเชื้อ MRSA นั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเสียชีวิตของผู้ป่วยเป็นอย่างมาก เชื้อ MRSA นั้นสามารถแพร่กระจายจากผู้ป่วยไปสู่ผู้ป่วยอื่นโดยการสัมผัสจากบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งมีวงจรคือ เมื่อบุคลากรทางการแพทย์ทำหัตถการกับผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA อยู่ในร่างกาย จะทำให้บุคลากรทางการแพทย์คนนั้นๆ มีเชื้อ MRSA ปนเปื้อนอยู่ที่มือ และเมื่อบุคลากรคนนั้นไปทำหัตถการกับผู้ป่วยคนอื่นที่ไม่ได้มีเชื้อ MRSA อยู่ในร่างกาย บุคลากรคนนั้นอาจไม่ได้ทำการล้างมือ หรือมีวิธีการล้างมือไม่ถูกต้อง จะทำให้เชื้อที่ปนเปื้อนอยู่ตามมือของบุคลากรนั้น ติดไปกับผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ได้ และเชื้อ MRSA นั้นจะเติบโตต่อไปในร่างกายของผู้ป่วยนั้นๆ และเกิดการติดเชื้อ MRSA ขึ้นใน

ที่สุด การติดเชื้อ MRSA นั้นก่อให้เกิดผลเสียต่างๆตามมา อันได้แก่ ทำให้การรักษาโรคใช้เวลานานขึ้น, ค่ายาและค่ารักษาเพิ่มขึ้น และสุดท้ายก็คือ ทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยโรคแทรกซ้อนที่ตามมา

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลโดยแบคทีเรีย MRSA อย่างเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากแบบจำลองอย่างง่าย ซึ่งไม่ได้แยกประเภทบุคลากรทางการแพทย์ จากนั้นจึงดูผลลัพธ์ของแบบจำลองว่ามีความสอดคล้องกับทฤษฎีอย่างไร เมื่อผลลัพธ์ของแบบจำลองดังกล่าวมีทิศทางเดียวกันกับทฤษฎีแล้ว จึงสร้างแบบจำลองที่แยกบุคลากรเป็น 3 ประเภท ซึ่งแบบจำลองที่แยกบุคลากรนี้ จะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับข้อมูลที่ได้เก็บจากทางโรงพยาบาลจริงๆ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองกับข้อมูลจริง

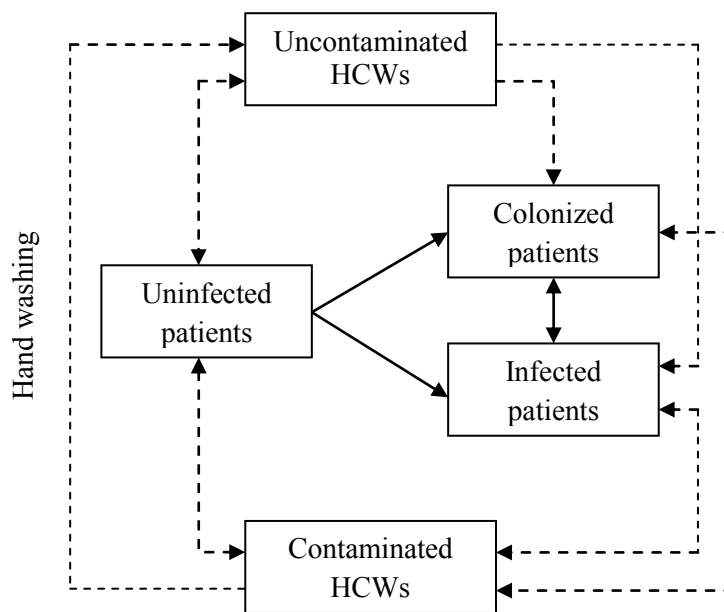
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบไม่แยกบุคลากร

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อในโรงพยาบาลโดยแบคทีเรียดื้อยา MRSA นั้น จะใช้แนวคิดจากแบบจำลอง SIR model และ Antibiotic resistance model ที่ได้กล่าวถึงในส่วนของบทที่ 2 และ 3 ซึ่งแบบจำลองนี้จะเป็นการนำความคิดทางทฤษฎี มาแปลงให้เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งแนวความคิดทางทฤษฎีของการติดเชื้อในโรงพยาบาลโดย MRSA นั้น สามารถแสดงไว้อย่างง่าย ด้วยแผนภาพดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนภาพของการติดเชื้อ MRSA ในโรงพยาบาล

- โดย U (Uninfected patients) คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย
- C (Colonized patients) คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงอยู่แต่ไม่ติดเชื้อ
- I (Infected patients) คือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงการติดเชื้อ MRSA โดยบุคลากรทางการแพทย์

แนวความคิดทางทฤษฎีจากรูปที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ U จะเปลี่ยนสถานะเป็น C ก่อน โดยเกิดจากการที่บุคลากรทางการแพทย์ทำหัตถการกับ C หรือ I โดยที่หลังจากทำแล้วไม่ได้ล้างมือหรือล้างมืออย่างไม่ถูกต้อง แล้วบุคลากรนั้นได้ไปทำหัตถการกับ U จะทำให้ผู้ป่วยเปลี่ยนสถานะเป็น C เมื่อผู้ป่วยมีสถานะเป็น C สถานะต่อไปที่จะเปลี่ยนคือ I เนื่องมาจากเชื้อที่แฝงอยู่เติบโตและมีจำนวนมากขึ้นจนเกิดการติดเชื้อ ทั้งนี้ U สามารถเปลี่ยนสถานะเป็น I ได้เลยเช่นกัน อาจจะเป็นเนื่องมาจากการได้รับเชื้อ MRSA ปริมาณมากในระดับที่จะเกิดการติดเชื้อได้ในทันที และสุดท้ายเมื่อหายจากการติดเชื้อ MRSA แล้วผู้ป่วยจะเปลี่ยนสถานะจาก I เป็น C และจากรูปที่ 4.2 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบุคลากรทางการแพทย์กับผู้ป่วยทั้ง 3 ประเภท โดย

บุคลากรที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อน จะเกิดการปนเปื้อนด้วยเชื้อ MRSA เมื่อมีการสัมผัสกับ C หรือ I และจะกลับเป็นบุคลากรที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อนด้วยการล้างมือ โดยในรูปนั้น เส้นประจะแสดงทางเดินของบุคลากรทางการแพทย์ และเส้นทึบจะแสดงการเปลี่ยนสถานะของผู้ป่วย ทั้งหมดนี้สามารถเขียนเป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{dH_C(t)}{dt} = \nu P_{CH}[C(t) + I(t)]H_U(t) - cH_C(t) \quad (4.1)$$

โดยที่ $H_U(t) = 1 - H_C(t)$

$$U(t) = 1 - C(t) - I(t) \quad (4.2)$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = P_C \nu \beta H_C(t) U(t) - \gamma C(t) + \alpha I(t) \quad (4.3)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = P_I \nu \beta H_C(t) U(t) + \gamma C(t) - \alpha I(t) \quad (4.4)$$

โดย Nu_H คือ จำนวนบุคลากรทางการแพทย์

Nu_P คือ จำนวนผู้ป่วยทั้งหมด

H_C คือ สัดส่วนของบุคลากรที่ปนเปื้อนเชื้อ MRSA (contaminated HCWs)

H_U คือ สัดส่วนของบุคลากรที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อนเชื้อ MRSA (uncontaminated HCWs)

ν คือ อัตราในการทำหัตถการของบุคลากร 1 คนต่อวัน (ครั้ง/วัน)

c คือ อัตราในการปนเปื้อนของบุคลากร 1 คนต่อวัน (ครั้ง/วัน)

β คือ ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วย 1 คนถูกตรวจโดยบุคลากร 1 คน (Nu_H / Nu_P)

P_{CH} คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการปนเปื้อนกับบุคลากรหลังการตรวจ (1 - % การล้างมือ)

P_C คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการปนเปื้อนกับผู้ป่วยหลังการตรวจ (U เปลี่ยนเป็น C)

P_I คือ ความน่าจะเป็นในการติดเชื้อหลังการตรวจ (U เปลี่ยนเป็น I)

γ คือ อัตราการติดเชื้อจากภาวะที่ผู้ป่วยมีเชื้อ MRSA แฝง (C เปลี่ยนเป็น I)

α คือ อัตราการหายจากภาวะติดเชื้อ MRSA (I เปลี่ยนเป็น C)

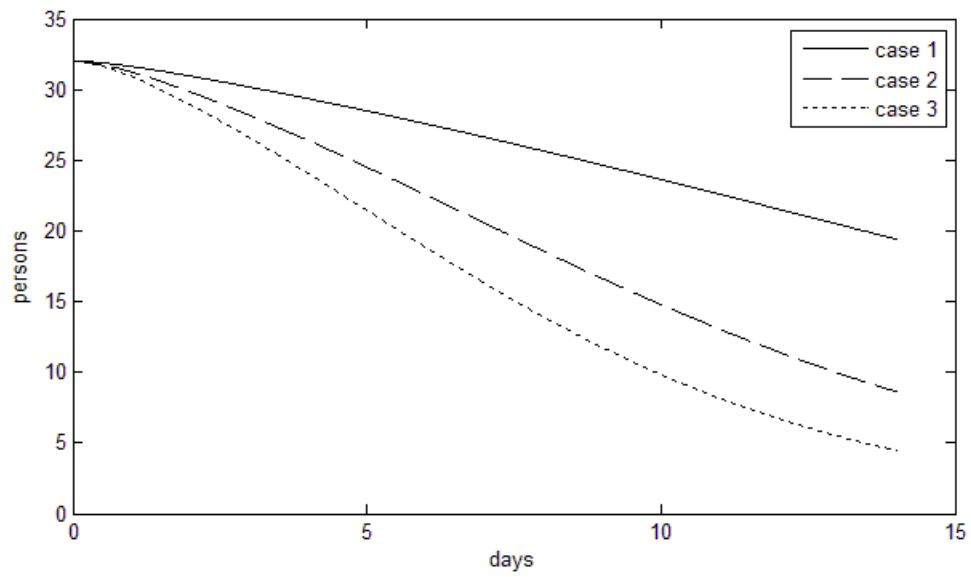
สมการ (4.1) เป็นสมการที่อธิบายในส่วนของบุคลากรทางการแพทย์ โดยพจน์ $vH_U(t)$ หมายถึงอัตราในการทำหัตถการของบุคลากรที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อน เมื่อนำ $vH_U(t) \times [C(t) + I(t)]$ จะหมายถึงอัตราในการทำหัตถการแก่ผู้ป่วยประเภท C และ I ของบุคลากรที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อน สุดท้ายเมื่อนำ $P_{CH} \times vH_U(t) \times [C(t) + I(t)]$ จะกลายเป็นความน่าจะเป็นที่บุคลากรที่ไม่มีเชื้อปนเปื้อนจะเกิดการปนเปื้อนจากการทำหัตถการแก่ผู้ป่วยประเภท C และ I เมื่อนำมาบวกกับ $-cH_C(t)$ ซึ่งหมายถึงอัตราการหายจากการปนเปื้อนของบุคลากรทางการแพทย์ที่มีการปนเปื้อนอยู่ จะได้เป็น $\frac{dH_C(t)}{dt}$ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของบุคลากรทางการแพทย์ที่มีการปนเปื้อนเชื้อ MRSA อยู่ ส่วนสมการ (4.2) ถึง (4.4) เป็นสมการที่อธิบายในส่วนของผู้ป่วย โดยสมการ (4.2) จะหมายถึง ผลรวมของสัดส่วนผู้ป่วยทั้ง U , C , และ I คงที่ เท่ากับ 1 สมการ (4.3) พจน์ $v\beta H_C(t)U(t)$ จะหมายถึงอัตราที่ผู้ป่วยประเภท U มีโอกาสที่จะได้รับการทำหัตถการโดยบุคลากรที่มีเชื้อปนเปื้อน และเมื่อนำ $P_C \times v\beta H_C(t)U(t)$ จะหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วยประเภท U จะได้รับเชื้อแฝงเข้าร่างกายจากโอกาสที่ได้รับการทำหัตถการโดยบุคลากรที่มีเชื้อปนเปื้อน พจน์ $\gamma C(t)$ หมายถึง อัตราการติดเชื้อจากผู้ป่วย C ทั้งหมด และพจน์ $\alpha I(t)$ หมายถึง อัตราการหายจากการติดเชื้อ ดังนั้น $\frac{dC(t)}{dt}$ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝง จึงเท่ากับ $P_C v\beta H_C(t)U(t) - \gamma C(t) + \alpha I(t)$ และสมการสุดท้าย (4.4) จะใช้แนวคิดเดียวกันกับสมการ (4.3) เพียงแค่เปลี่ยนตัวแปร P_C เป็น P_I ซึ่งจะมีค่าน้อยมากๆ โดยปกติแล้วค่า P_I นี้ควรมีค่าเท่ากับ 0 ถ้าค่านี้มากกว่า 0 นั้นหมายถึงว่าโรงพยาบาลนี้มีความผิดปกติในมาตรฐานการควบคุมการแพร่เชื้อแล้ว ส่วนพจน์ $\gamma C(t)$, และ $\alpha I(t)$ จะสลับเครื่องหมายกับของสมการ (4.3) ดังนั้นจะได้ว่า $\frac{dI(t)}{dt}$ หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA จะเท่ากับ $P_I v\beta H_C(t)U(t) + \gamma C(t) - \alpha I(t)$

4.2 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบไม่แยกบุคคลากร

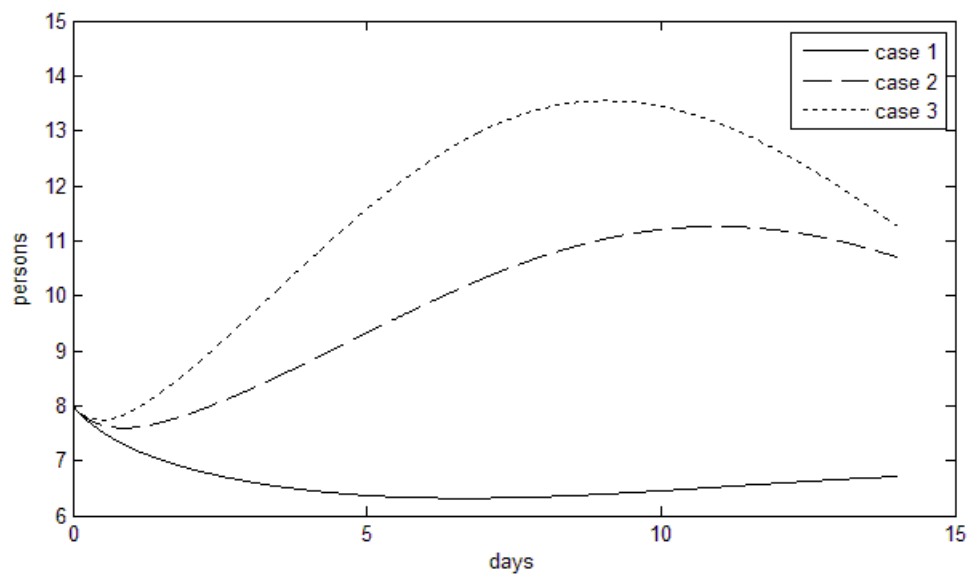
สำหรับแบบจำลองนี้จะตั้งอยู่บนสมมติฐาน คือ จำนวนบุคคลากรทางการแพทย์คงที่และไม่มีการเข้าออกของผู้ป่วย จากนั้นทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆในแบบจำลองด้วยค่าตามตารางที่ 1 จะได้ผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4.3, 4.4, และ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งจากในตารางจะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะค่า P_{CH} เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกรณีทั้ง 3 (รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการหาผลเฉลยด้วย MATLAB แสดงไว้ในภาคผนวก ข.3)

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบไม่แยกบุคคลากร ($U = 0.8$, $C = 0.2$, และ $I = 0$)

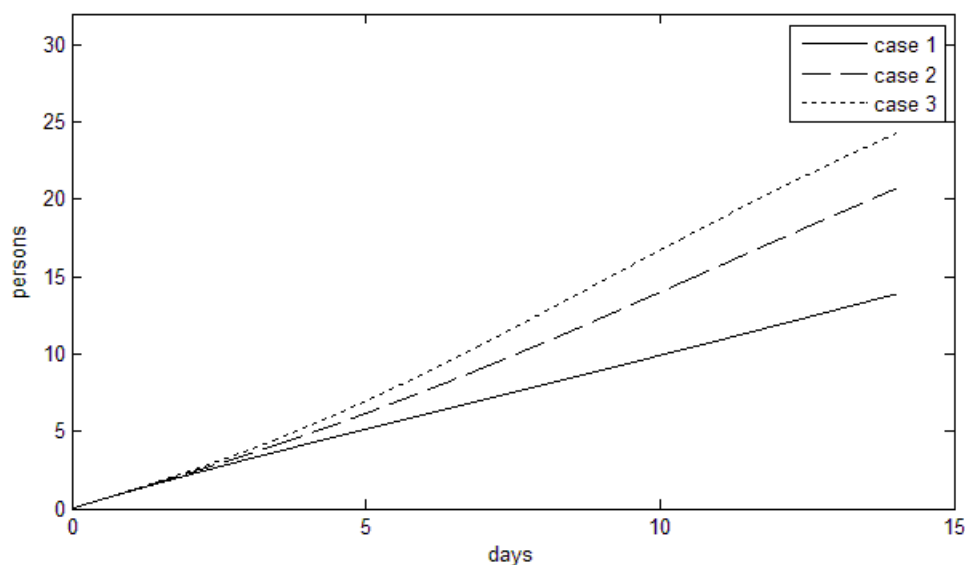
ตัวแปร	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
Nu_H	20 คน	20 คน	20 คน
Nu_P	40 คน	40 คน	40 คน
H_C	0	0	0
H_U	1	1	1
v	1.5	1.5	1.5
c	1.5	1.5	1.5
β	0.5	0.5	0.5
P_{CH}	0.2	0.4	0.6
P_C	0.8	0.8	0.8
P_I	0	0	0
γ	0.15	0.15	0.15
α	0	0	0



รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ของจำนวนผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย (U)



รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ของจำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงอยู่แต่ไม่ติดเชื้อ (C)



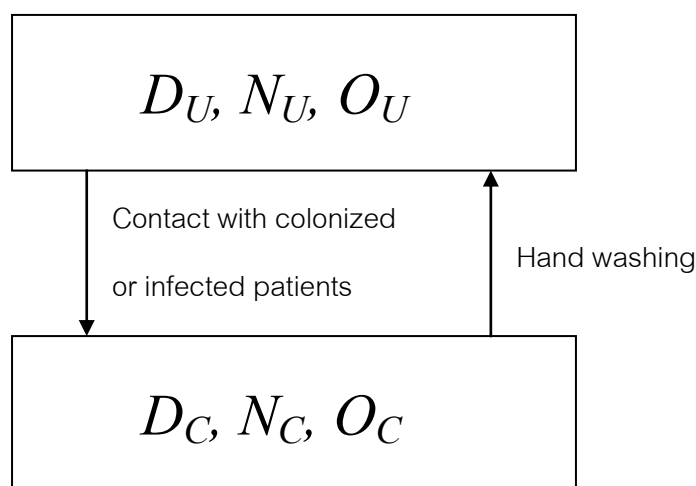
รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์ของจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA (I)

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ 2 และ 3 ซึ่งมี % การล้างมือของบุคลากรทางการแพทย์หลังการตรวจเท่ากับ 60% และ 40% ตามลำดับ อัตราการลดลงของผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อตัวยานในร่างกายจะลดลง และการล้างมือน้อยลงจะทำให้อัตราเร็วนั้นเพิ่มขึ้นตรงกันข้ามกับรูปที่ 4.4 ที่แสดงจำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แผลงอยู่แต่ไม่ติดเชื้อ จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วในการเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยที่มี MRSA แผลงนั้นมากขึ้นตาม % การล้างมือที่ลดลง และสุดท้ายสำหรับผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA ในรูปที่ 4.5 จำนวนผู้ป่วยจะเพิ่มตามจำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แผลงอยู่ ยิ่งจำนวนผู้ป่วยที่มี MRSA แผลงมากขึ้นจะทำให้ในอนาคตมีผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA มากขึ้นตาม ทั้งนี้ผลลัพธ์จากรูปที่ 4.3, 4.4, และ 4.5 นี้มีความสอดคล้องกับแนวคิดทางทฤษฎี จึงเป็นที่มั่นใจได้ว่าสามารถนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อตัวยานโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคลากรเป็น 3 ประเภทได้ดังหัวข้อต่อไป

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อตัวยานโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคลากรเป็น 3 ประเภท

มีลักษณะการแพร่กระจายเชื่อดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 เช่นเดียวกับแบบจำลองแบบไม่แยกบุคลากร ทั้งนี้จะมีตัวแปรที่สำคัญซึ่งเพิ่มขึ้นมา นั่นคือ ตัวแปรจำนวนบุคลากรในแต่ละประเภท สำหรับในงานวิจัยนี้ จะแบ่งบุคลากรเป็น 3 ประเภท คือ แพทย์, พยาบาล (รวมถึงผู้ช่วยพยาบาล

ด้วย), และบุคลากรทางการแพทย์อื่นๆ (เช่น นักศึกษาแพทย์, นักกายภาพบำบัด เป็นต้น) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะของบุคลากรทางการแพทย์จะเปลี่ยนจากไม่มีเชื้อปนเปื้อนกลายเป็นมีเชื้อปนเปื้อน โดยการสัมผัสกับผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA อยู่ในร่างกายทั้งที่แค่มีเชื้อ MRSA แฝงในร่างกาย (colonized patients) และมีการติดเชื้อ MRSA (infected patients) และสามารถกำจัดเชื้อ MRSA ที่ปนเปื้อนได้ด้วยการล้างมือ แผนภาพของการเปลี่ยนแปลงสถานะของบุคลากรทางการแพทย์นี้ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของบุคลากรทางการแพทย์

โดย D_U คือ แพทย์ที่ไม่มีเชื้อ MRSA ปนเปื้อน

N_U คือ พยาบาลที่ไม่มีเชื้อ MRSA ปนเปื้อน

O_U คือ บุคลากรทางการแพทย์อื่นๆที่ไม่มีเชื้อ MRSA ปนเปื้อน

D_C คือ แพทย์ที่มีการปนเปื้อนด้วยเชื้อ MRSA

N_C คือ พยาบาลที่มีการปนเปื้อนด้วยเชื้อ MRSA

O_C คือ บุคลากรทางการแพทย์อื่นๆที่มีการปนเปื้อนด้วยเชื้อ MRSA

ซึ่งสามารถเขียนเป็นระบบสมการได้ 2 ระบบ คือ ระบบสมการของการปนเปื้อนของบุคลากรทางการแพทย์ที่เกิดจากการสัมผัสกับผู้ป่วย และ ระบบสมการของการติดเชื้อและมีเชื้อ MRSA แฝงในร่างกายของผู้ป่วยจากการสัมผัสของบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งทั้ง 2 ระบบสมการมีดังนี้

การปนเปื้อนของบุคลากรทางการแพทย์ที่เกิดจากการสัมผัสกับผู้ป่วย

$$\left. \begin{aligned} \frac{dD_C(t)}{dt} &= v_D P_{CD} [C(t) + I(t)] D_U(t) - c_D D_C(t) \\ D_U(t) &= 1 - D_C(t) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Contamination of doctors} \\ \text{from patients} \end{array} \quad (4.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_C(t)}{dt} &= v_N P_{CN} [C(t) + I(t)] N_U(t) - c_N N_C(t) \\ N_U(t) &= 1 - N_C(t) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Contamination of nurses} \\ \text{from patients} \end{array} \quad (4.6)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dO_C(t)}{dt} &= v_O P_{CO} [C(t) + I(t)] O_U(t) - c_O O_C(t) \\ O_U(t) &= 1 - O_C(t) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Contamination of other HCWs} \\ \text{from patients} \end{array} \quad (4.7)$$

การติดเชื้อและมีเชื้อ MRSA แฝงในร่างกายของผู้ป่วยจากการสัมผัสของบุคลากรทางการแพทย์

$$U(t) = 1 - C(t) - I(t) \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{dC(t)}{dt} &= \frac{P_C}{Nu_D + Nu_N + Nu_O} [v_D \beta_D Nu_D D_C(t) + v_N \beta_N Nu_N N_C(t) + v_O \beta_O Nu_O O_C(t)] U(t) \\ &- \gamma C(t) + \alpha I(t) \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{dI(t)}{dt} &= \frac{P_I}{Nu_D + Nu_N + Nu_O} [v_D \beta_D Nu_D D_C(t) + v_N \beta_N Nu_N N_C(t) + v_O \beta_O Nu_O O_C(t)] U(t) \\ &+ \gamma C(t) - \alpha I(t) \end{aligned} \quad (4.10)$$

สมการ (4.5), (4.6), และ (4.7) เป็นสมการที่อธิบายในส่วนของบุคคลากรทางการแพทย์ เช่นเดียวกับสมการ (4.1) ดังนั้นวิธีพีชคณิตจึงเหมือนกัน โดยเปลี่ยนจากบุคคลากรทางการแพทย์ทั้งหมด (H_U และ H_C) เป็นแพทย์ (D_U และ D_C), พยาบาล (N_U และ N_C), และบุคคลากรอื่นๆ (O_U และ O_C) ตามลำดับ ส่วนสมการ (4.8), (4.9), และ (4.10) เป็นสมการที่อธิบายในส่วนของผู้ป่วย โดยสมการ (4.8) นั้นจะเหมือนกับสมการ (4.2) ทุกประการ สมการ (4.9) จะคล้ายคลึงกับสมการ (4.3) สิ่งที่ต่างออกไปคือ มีการแยกประเภทบุคคลากรดังนี้ คือ $P_C v_D \beta_D D_C(t) U(t)$ จะหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วยประเภท U จะได้รับเชื้อแฝงเข้าร่างกายจากโอกาสที่ได้รับการทำหัตถการโดยแพทย์ที่มีเชื้อปนเปื้อน, $P_C v_N \beta_N N_C(t) U(t)$ จะหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วยประเภท U จะได้รับเชื้อแฝงเข้าร่างกายจากโอกาสที่ได้รับการทำหัตถการโดยพยาบาลที่มีเชื้อปนเปื้อน, และ $P_C v_O \beta_O O_C(t) U(t)$ จะหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วยประเภท U จะได้รับเชื้อแฝงเข้าร่างกายจากโอกาสที่ได้รับการทำหัตถการโดยบุคคลากรอื่นๆที่มีเชื้อปนเปื้อน โดยทั้ง 3 พจน์ดังกล่าวจำเป็นจะต้องมีการถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนบุคคลากรนั้นๆด้วย ดังต่อไปนี้ สำหรับพจน์ $P_C v_D \beta_D D_C(t) U(t)$ จะทำการถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนแพทย์ส่วนด้วยจำนวนบุคคลากรทั้งหมด ดังนี้ $\frac{Nu_D}{Nu_D + Nu_N + Nu_O}$ สำหรับพจน์ $P_C v_N \beta_N N_C(t) U(t)$ จะทำการถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนพยาบาลส่วนด้วยจำนวนบุคคลากรทั้งหมดดังนี้ $\frac{Nu_N}{Nu_D + Nu_N + Nu_O}$ และสำหรับพจน์สุดท้าย $P_C v_O \beta_O O_C(t) U(t)$ จะทำการถ่วงน้ำหนักด้วยจำนวนบุคคลากรอื่นๆส่วนด้วยจำนวนบุคคลากรทั้งหมดดังนี้ $\frac{Nu_O}{Nu_D + Nu_N + Nu_O}$ การที่ต้องทำการถ่วงน้ำหนักสำหรับแต่ละประเภทบุคคลากร เพื่อให้ผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงเป็นไปตามจำนวนบุคคลากรแต่ละประเภทนั้นๆ และสำหรับสมการ (4.10) จะคล้ายคลึงกับสมการ (4.4) และใช้หลักการเช่นเดียวกันกับสมการ (4.9)

ทั้งนี้สมการ (4.5) ถึง (4.10) เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันอยู่ ดังนั้นการจะแก้ระบบสมการดังกล่าวจึงต้องทำการแก้สมการทั้งหมดไปพร้อมๆกัน ซึ่งในที่นี้จะใช้ระเบียบวิธีออยเลอร์ในการแก้ระบบสมการโดยใช้ค่า $\Delta t = 0.01$ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมดังได้กล่าว

ไว้ในบทที่ 3 แล้ว ทั้งนี้ความหมายของตัวแปรทั้งหมดในสมการที่ (4.5) ถึง (4.10) แสดงดังตารางที่ 4.2

4.4 ข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองจากโรงพยาบาล

ข้อมูลทั้งหมดเก็บรวบรวมจากผู้ป่วยจำนวน 34 คนจากแผนกอายุรกรรมชาย โรงพยาบาลราชวิถี ทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 5 วัน ตั้งแต่วันที่ 7-11 มีนาคม พศ. 2554 โดยระหว่างนี้มีแพทย์จำนวน 3 คน, พยาบาลจำนวน 24 คน, และบุคลากรอื่นๆ 5 คน ทำการดูแลผู้ป่วยทั้งหมดในแผนก ในการเก็บข้อมูลนี้ มีข้อมูลทั้งหมดจำนวน 170 ข้อมูล ซึ่งได้สรุปออกมาดังตารางที่ 4.2 แล้ว (สำหรับข้อมูลจำนวนผู้ป่วย U , C , และ I จะแสดงไว้ดังกราฟรูปที่ 4.7 ถึง 4.9) ทั้งนี้ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมมานั้นได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการตรวจสอบจริยธรรมของทางโรงพยาบาลราชวิถีเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่เก็บจากโรงพยาบาลราชวิถี ระหว่างวันที่ 7-11 มีนาคม พศ. 2554

ตัวแปร	ความหมาย	ค่า
Nu_D	จำนวนของแพทย์ทั้งหมด	3 คน
Nu_N	จำนวนของพยาบาลทั้งหมด	24 คน
Nu_O	จำนวนของบุคลากรอื่นๆ	5 คน
Nu_P	จำนวนของผู้ป่วย	34 คน
Avt_D	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดในการทำหัตถการของแพทย์ใน 1 วัน	0.072917 วัน/วัน
Avt_N	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดในการทำหัตถการของพยาบาลใน 1 วัน	1.448611 วัน/วัน
Avt_O	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดในการทำหัตถการของบุคลากรอื่นๆใน 1 วัน	0.023611 วัน/วัน

Av_D	เวลาเฉลี่ยในการทำหัตถการ 1 ครั้งของแพทย์	0.024306 วัน/ครั้ง
Av_N	เวลาเฉลี่ยในการทำหัตถการ 1 ครั้งของพยาบาล	0.043897 วัน/ครั้ง
Av_O	เวลาเฉลี่ยในการทำหัตถการ 1 ครั้งของบุคลากรอื่นๆ	0.004722 วัน/ครั้ง
v_D	อัตราในการทำหัตถการของแพทย์ 1 คน ($Avt_D / (Av_D \cdot Nu_D)$)	1 ครั้ง/วัน
v_N	อัตราในการทำหัตถการของพยาบาล 1 คน ($Avt_N / (Av_N \cdot Nu_N)$)	1.375 ครั้ง/วัน
v_O	อัตราในการทำหัตถการของบุคลากรอื่นๆ 1 คน ($Avt_O / (Av_O \cdot Nu_O)$)	1 ครั้ง/วัน
Act_D	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดของการปนเปื้อนจากการทำหัตถการของแพทย์ใน 1 วัน	0.072917 วัน/วัน*
Act_N	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดของการปนเปื้อนจากการทำหัตถการของพยาบาลใน 1 วัน	1.448611 วัน/วัน*
Act_O	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดของการปนเปื้อนจากการทำหัตถการของบุคลากรอื่นๆ 1 วัน	0.023611 วัน/วัน*
Ac_D	เวลาเฉลี่ยของการปนเปื้อนจากการทำหัตถการ 1 ครั้งของแพทย์	0.024306 วัน/ ครั้ง*
Ac_N	เวลาเฉลี่ยของการปนเปื้อนจากการทำหัตถการ 1 ครั้งของพยาบาล	0.043897 วัน/ ครั้ง*
Ac_O	เวลาเฉลี่ยของการปนเปื้อนจากการทำหัตถการ 1 ครั้งของบุคลากรอื่นๆ	0.004722 วัน/ ครั้ง*

c_D	อัตราในการปนเปื้อนของแพทย์ 1 คน ($Act_D / (Ac_D \cdot Nu_D)$)	1 ครั้ง/วัน*
c_N	อัตราในการปนเปื้อนของพยาบาล 1 คน ($Act_N / (Ac_N \cdot Nu_N)$)	1.375 ครั้ง/วัน*
c_O	อัตราในการปนเปื้อนของบุคลากรอื่นๆ 1 คน ($Act_O / (Ac_O \cdot Nu_O)$)	1 ครั้ง/วัน*
β_D	ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วย 1 คนถูกตรวจโดยแพทย์ 1 คน (Nu_D / Nu_P)	0.088235
β_N	ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วย 1 คนถูกตรวจโดยพยาบาล 1 คน (Nu_N / Nu_P)	0.705882
β_O	ความน่าจะเป็นที่ผู้ป่วย 1 คนถูกตรวจโดยบุคลากรอื่นๆ 1 คน (Nu_O / Nu_P)	0.147059
Hw_D	อัตราส่วนการล้างมือของแพทย์	** 1
Hw_N	อัตราส่วนการล้างมือของพยาบาล	** 1
Hw_O	อัตราส่วนการล้างมือของบุคลากรอื่นๆ	** 1
P_{CD}	ความน่าจะเป็นของการปนเปื้อนหลังการทำหัตถการของแพทย์ใน 1 ครั้ง ($1 - Hw_D$)	0 / ครั้ง
P_{CN}	ความน่าจะเป็นของการปนเปื้อนหลังการทำหัตถการของพยาบาล ใน 1 ครั้ง ($1 - Hw_N$)	0 / ครั้ง
P_{CO}	ความน่าจะเป็นของการปนเปื้อนหลังการทำหัตถการของบุคลากร อื่นๆใน 1 ครั้ง ($1 - Hw_O$)	0 / ครั้ง

α	อัตราการหายจากภาวะติดเชื้อ MRSA (I เปลี่ยนเป็น C)	0 /วัน
γ	อัตราการติดเชื้อจากภาวะที่ผู้ป่วยมีเชื้อ MRSA แฝง (C เปลี่ยนเป็น I)	0.229 /วัน
P_C	ความน่าจะเป็นที่เกิดการปนเปื้อนกับผู้ป่วยหลังการตรวจ 1 ครั้ง (U เปลี่ยนเป็น C)	0.80 /ครั้ง***
P_I	ความน่าจะเป็นในการติดเชื้อหลังการตรวจ 1 ครั้ง (U เปลี่ยนเป็น I)	0 /ครั้ง

* ทุกๆการทำหัตถการในการเก็บข้อมูลมีการปนเปื้อนของเชื้อ MRSA ดังนั้นทุกตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนจึงเท่ากับค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำหัตถการ

** บุคลากรทางการแพทย์ทั้งหมดใช้ถุงมือทุกครั้งในการทำหัตถการระหว่างการเก็บข้อมูล ค่าอัตราส่วนการล้างมือจึงเท่ากับ 1

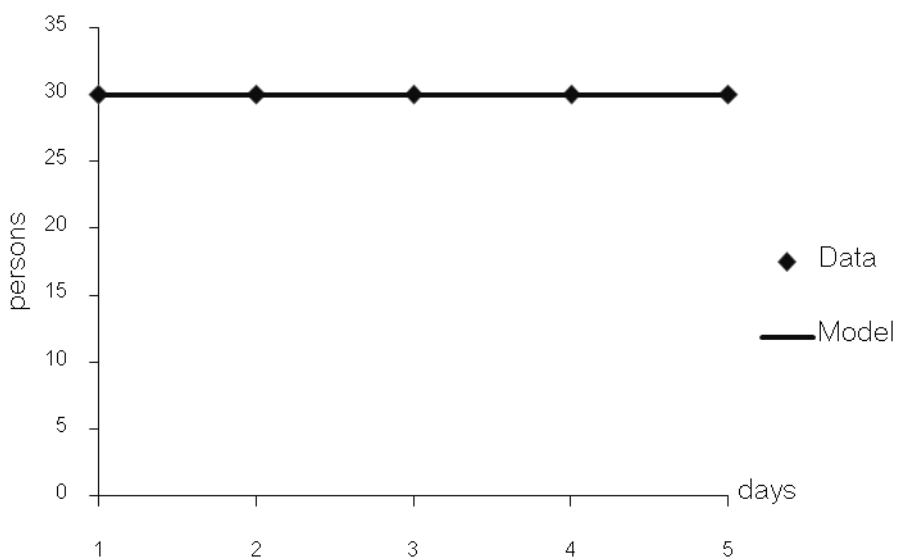
*** เป็นค่าที่หาจากการใช้ยาต้านจุลชีพ (จาก % การใช้ยาต้านจุลชีพในผู้ป่วย) ซึ่งการใช้ยาต้านจุลชีพอย่างไม่เหมาะสมอาจทำให้เชื้อโรคคือยาได้

4.5 การเปรียบเทียบข้อมูลจากทางโรงพยาบาลกับผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

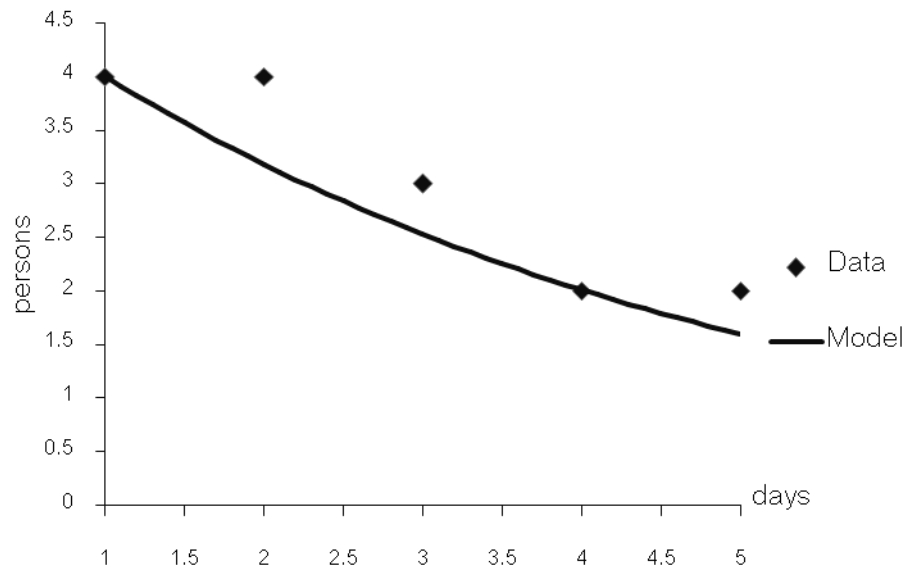
ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อคือยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคลากรเป็น 3 ประเภทในที่นี้ ตั้งอยู่บนสมมติฐาน 2 ข้อ ข้อแรก คือ จำนวนผู้ป่วยในแผนกคงที่ไม่มีการเข้าออกของผู้ป่วย และ ข้อที่สอง คือ บุคลากรทางการแพทย์ทั้งหมดไม่มีการปนเปื้อนเชื้อ MRSA ใน วัน แรก หรือ ก็ คือ $D_U(t), N_U(t), O_U(t) = 1$ และ $D_C(t), N_C(t), O_C(t) = 0$ ทั้งนี้อาจมีคำถามเกี่ยวกับสมมติฐานข้อแรกว่า เป็นไปไม่ได้ที่ข้อมูลจากทางโรงพยาบาลนั้นจะไม่มีการเข้าออกของผู้ป่วยเลย จึงขออธิบายไว้ดังนี้ว่า สำหรับข้อมูลที่

เก็บจากทางโรงพยาบาลนั้นมีการเข้าออกของผู้ป่วยทุกวัน แต่เนื่องด้วยผู้ป่วยที่เข้าออกไปนั้นเป็นผู้ป่วยที่ไม่มีการติดเชื้อและไม่มีเชื้อแฝง (เป็นผู้ป่วย U) ซึ่งทำให้สัดส่วนของผู้ป่วย U , C , และ I ไม่เปลี่ยนแปลง จึงสามารถสมมติให้จำนวนผู้ป่วยคงที่ได้

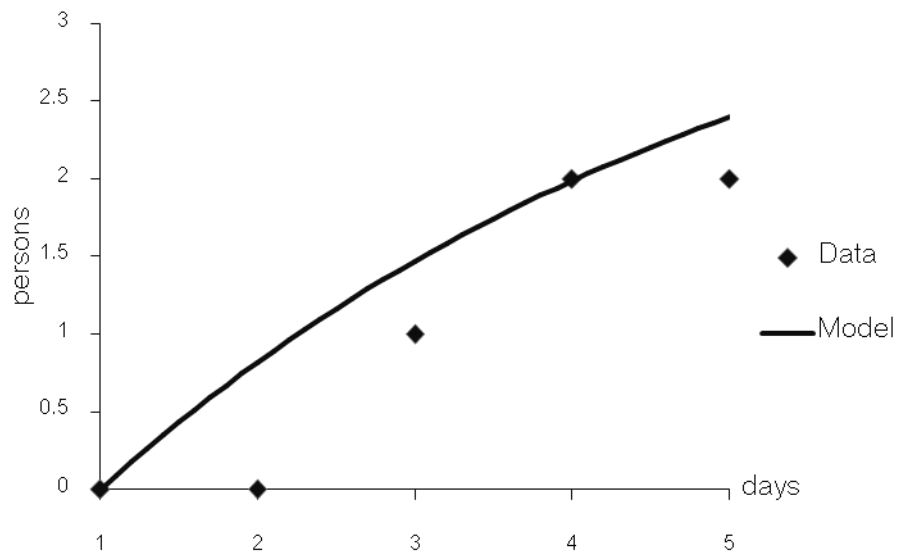
รูปที่ 4.7, 4.8, และ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลจากทางโรงพยาบาล โดยรูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบของจำนวนผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย (U) รูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบของจำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงแต่ไม่ติดเชื้อ (C) และ รูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบของจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA (I) ซึ่งจากรูปทั้ง 3 นั้นมีค่าคลาดเคลื่อนดังนี้ สำหรับผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย (U) ค่าคลาดเคลื่อนไป 0%, สำหรับผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงแต่ไม่ติดเชื้อ (C) ค่าคลาดเคลื่อนไป 11.14% และสำหรับผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA (I) ค่าคลาดเคลื่อนไป -16.654% (รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการหาผลเฉลยด้วย MATLAB แสดงไว้ในภาคผนวก ข.4)



รูปที่ 4.7 จำนวนผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกาย (U)



รูปที่ 4.8 จำนวนผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แผลงแต่ไม่ติดเชื้อ (C)



รูปที่ 4.9 จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ MRSA (I)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

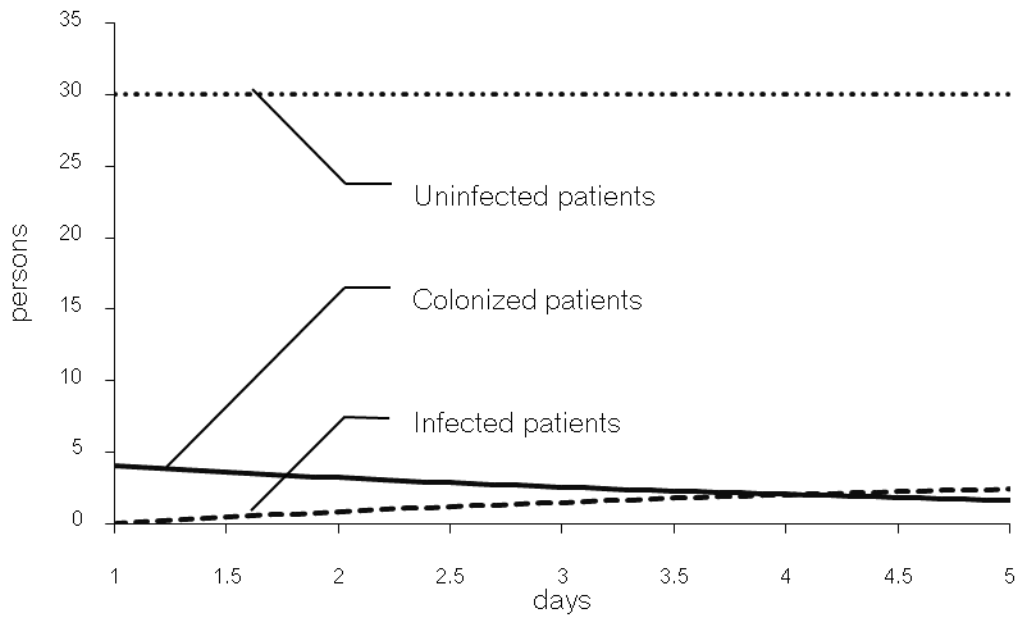
5.1 ข้อสรุปจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคคลากรเป็น 3 ประเภท

จากหัวข้อ 4.5 จะเห็นได้ว่าผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคคลากรเป็น 3 ประเภทนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลจริงจากทางโรงพยาบาล ซึ่งสาเหตุหลักของความคลาดเคลื่อนนั้นเกิดจากข้อจำกัดในการเก็บข้อมูล เช่น การเก็บข้อมูลจำนวนของผู้ป่วยแต่ละประเภท (U , C , I) จะทำการเก็บเป็นเวลาดตายตัว คือ ทุกๆ 24 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ข้อมูลระหว่างช่วงเวลานี้หายไป จึงทำให้ค่าผลเฉลยจากทางแบบจำลองคลาดเคลื่อนไป ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถจะลดลงได้โดยลดช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลลง เช่น เปลี่ยนจากเก็บข้อมูลทุกๆ 24 ชั่วโมงเป็นทุกๆ 12 ชั่วโมง หรือทุกๆ 6 ชั่วโมง ซึ่งระยะห่างระหว่างช่วงการเก็บข้อมูลนั้นยิ่งน้อยจะยิ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลที่เก็บมานั้นน้อยลง สำหรับงานวิจัยนี้จำเป็นต้องเก็บข้อมูลทุกๆ 24 ชั่วโมง เนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆด้าน คือ การเก็บข้อมูลจำนวนมากย่อมหมายถึงค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล ในการทำการทดลองเพื่อหาเชื้อ MRSA จากผู้ป่วยแต่ละคน, เวลาที่ใช้ในระหว่างเก็บข้อมูล, แรงงานที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูล (ยิ่งต้องการข้อมูลละเอียด ยิ่งต้องอาสาสมัครในการเก็บข้อมูลจำนวนมาก) ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งของการทำให้ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกิดความคลาดเคลื่อน เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล (ข้อมูลที่เก็บมาส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับเวลา จึงอาจคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเนเวลาในการทำหัตถการผิดพลาดไปไม่ได้) และความคลาดเคลื่อนจากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

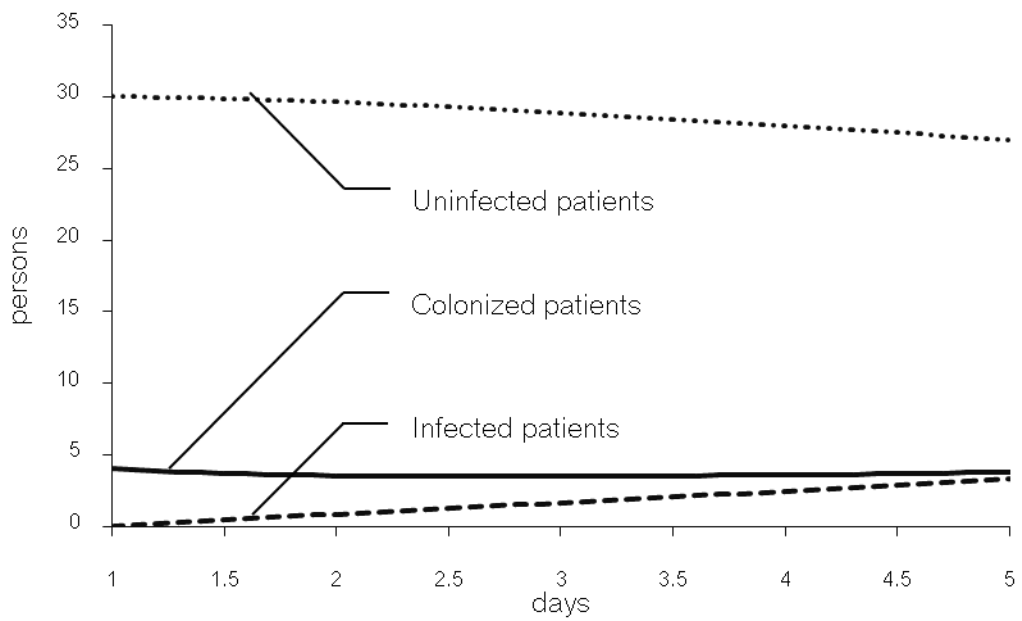
ตัวแปรบางตัวในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีผลต่อผลเฉลยของแบบจำลองอย่างมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรเหล่านี้ ตัวแปรดังกล่าว ได้แก่ Nu_D , Nu_N , Nu_O , v_D , v_N , v_O , Hw_D , Hw_N , และ Hw_O สำหรับข้อมูลที่เก็บมาจากโรงพยาบาลราชวิถีนี้ค่า Hw_D , Hw_N , และ $Hw_O = 1$ เนื่องจากการใช้ถุงมือทุกครั้งในการทำหัตถการ ทำให้ไม่เห็นความแตกต่างระหว่างบุคลากรแต่ละประเภท เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของการล้างมือในบุคลากรแต่ละ

ประเภทว่ามีผลต่อจำนวนผู้ป่วยอย่างไรนั้น จึงทำได้โดยเปลี่ยนค่าตัวแปร Hw_D , Hw_N , และ Hw_O ตัวใดตัวหนึ่งและคงค่าตัวแปรที่เหลือไว้ดังนี้ สำหรับกรณีแรก ให้ $Hw_D = 0.6$, และ $Hw_N = Hw_O = 1$ (โดยค่าตัวแปรอื่นๆ ยังคงใช้ค่าจากตารางที่ 4.2) จะได้ผลเฉลยของค่าตัวแปรในกรณีนี้ดังรูปที่ 5.1 (จำนวนผู้ป่วยในวันที่ 5 คือ $U = 29.99$, $C = 1.62$, and $I = 2.41$) สำหรับกรณีนี้ที่ 2 ให้ $Hw_N = 0.6$, และ $Hw_D = Hw_O = 1$, จะได้ผลเฉลยของค่าตัวแปรในกรณีนี้ดังรูปที่ 5.2 (จำนวนผู้ป่วยในวันที่ 5 คือ $U = 26.94$, $C = 3.78$, and $I = 3.28$) และกรณีสุดท้าย ให้ $Hw_O = 0.6$, และ $Hw_D = Hw_N = 1$ จะได้ผลเฉลยของค่าตัวแปรในกรณีนี้ดังรูปที่ 5.2 (จำนวนผู้ป่วยในวันที่ 5 คือ $U = 29.92$, $C = 1.65$, and $I = 2.42$) จากรูปที่ 5.1, 5.2, และ 5.3 นั้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ป่วยในแต่ละประเภท (U , C , I) นั้นขึ้นกับตัวแปร $Nu_D \cdot v_D$, $Nu_N \cdot v_N$, และ $Nu_O \cdot v_O$ ถ้าตัวแปรคู่นี้มีค่าสูงจะทำให้มีผลต่ออัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงแต่ไม่ติดเชื้อ (C) มากกว่าตัวแปรคู่นี้ที่เหลือนั้น ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบรูปที่ 5.1, 5.2, และ 5.3 ซึ่งทั้งหมดมีค่าตัวแปรดังนี้ $Nu_D \cdot v_D = 3$, $Nu_N \cdot v_N = 33$, และ $Nu_O \cdot v_O = 5$ ถ้าพิจารณา $Hw_N = 0.6$ (รูปที่ 5.2) จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยสูงกว่าของอีก 2 กรณี คือ $Hw_D = 0.6$ (รูปที่ 5.1) และ $Hw_O = 0.6$ (รูปที่ 5.3) ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA แฝงแต่ไม่ติดเชื้อ (C) นั้นขึ้นอยู่กับการพบและการแพร่ระบาดของโรค การแพทย์ที่ดูแลผู้ป่วยและจำนวนครั้งที่ทำหัตถการ

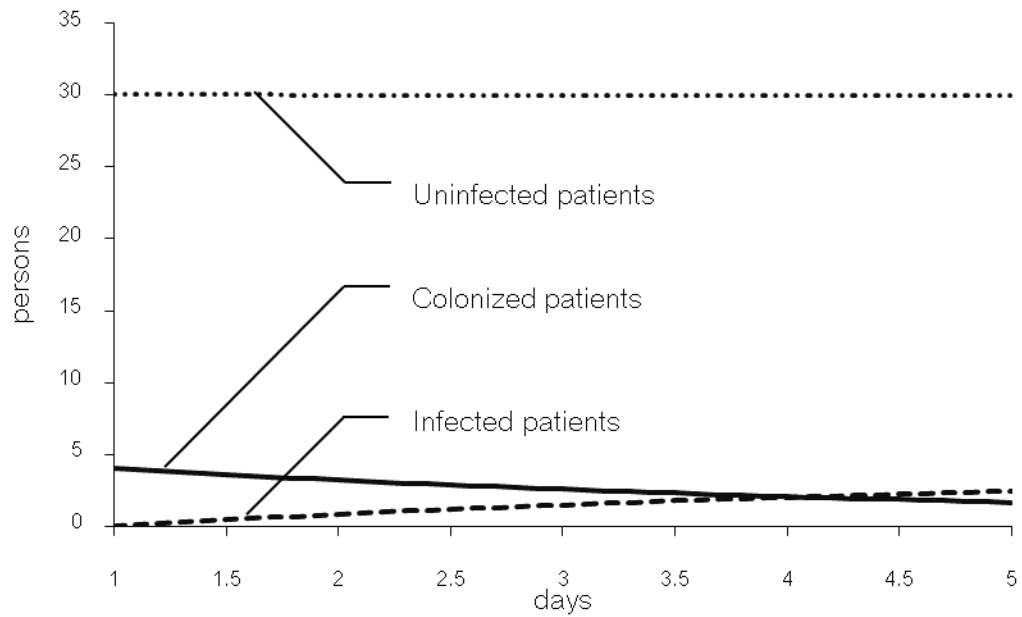
อย่างไรก็ตาม ยังมีตัวแปรบางส่วนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้ป่วยในแต่ละประเภทด้วยเช่นกัน เช่น $U(t)$, $C(t)$, และ $I(t)$ ซึ่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรเหล่านั้นเอง ถ้า $C(t)$ และ $I(t)$ มีค่าสูงในระดับหนึ่งจะทำให้ผู้ป่วยที่ไม่มีเชื้อ MRSA ในร่างกายมีโอกาสมากขึ้นที่จะได้รับเชื้อ MRSA เข้าสู่ร่างกายผ่านการทำหัตถการ เนื่องจากโอกาสที่บุคลากรทางการแพทย์จะมีการปนเปื้อนเชื้อ MRSA มีสูงขึ้น และยังมีอีกหลายกรณีขึ้นอยู่กับการแพร่ระบาดของโรค ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างในตารางที่ 5.1, 5.2, และ 5.3 (ค่าตัวแปรอื่นๆ นอกเหนือจากในตาราง ใช้จากตารางที่ 4.2)



รูปที่ 5.1 $H_{wD}=0.6$, และ $H_{wN}=H_{wO}=1$



รูปที่ 5.2 $H_{wN}=0.6$, และ $H_{wD}=H_{wO}=1$

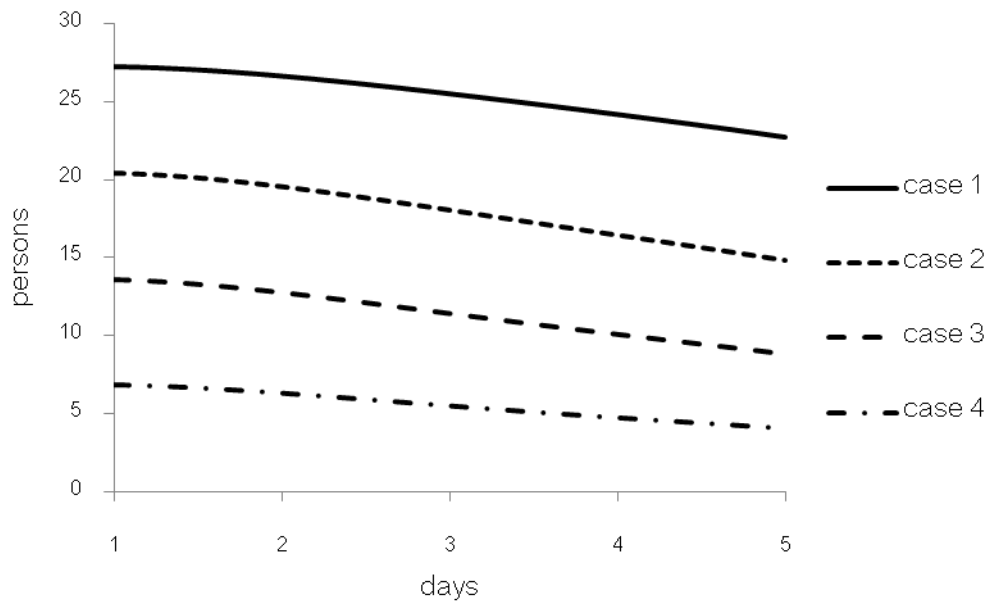


รูปที่ 5.3 $H_{wO}=0.6$, และ $H_{wD} = H_{wN} = 1$

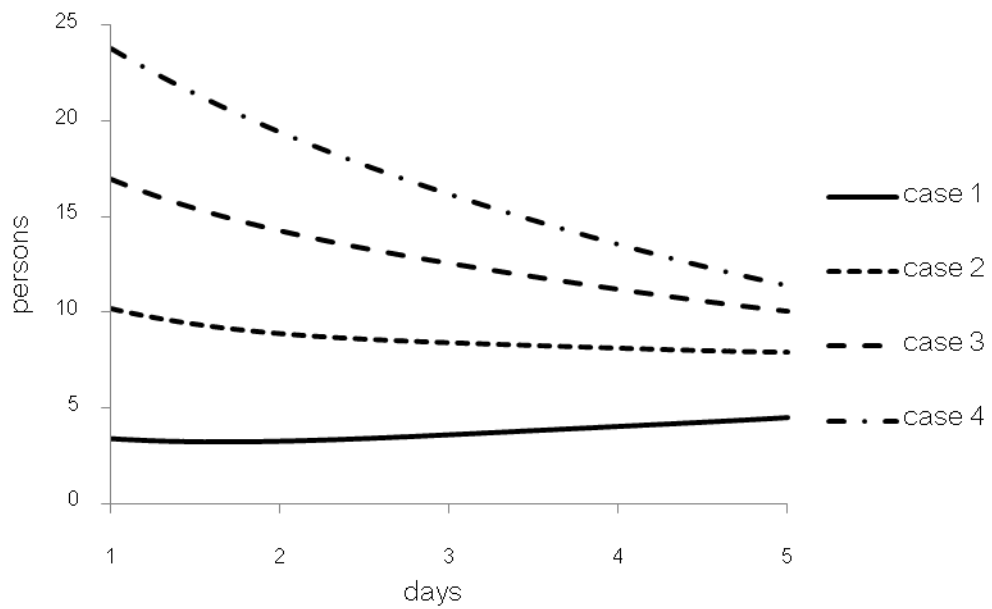
ตารางที่ 5.1 ค่าตัวแปร $U(0)$, $C(0)$, และ $I(0)$ โดย กำหนดให้ $I(0)$ คงที่

ตัวแปร	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
$U(0)$	0.8	0.6	0.4	0.2
$C(0)$	0.1	0.3	0.5	0.7
$I(0)$	0.1	0.1	0.1	0.1

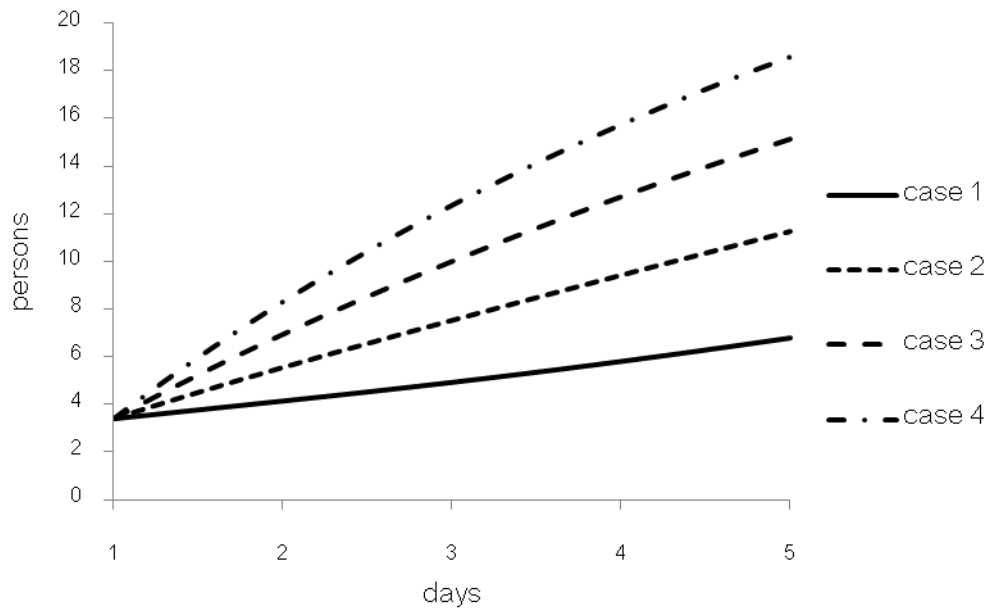
ผลลัพธ์ของค่าในตารางที่ 5.1 แสดงดังรูปที่ 5.4, 5.5, และ 5.6 เพื่อให้การเปรียบเทียบของรูปที่ 5.4 และ 5.5 เป็นไปได้ง่าย จึงต้องทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y ของทั้ง 4 กรณีมาไว้ที่จุดเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบความชันกราฟ ดังรูปที่ 5.7 และ 5.8



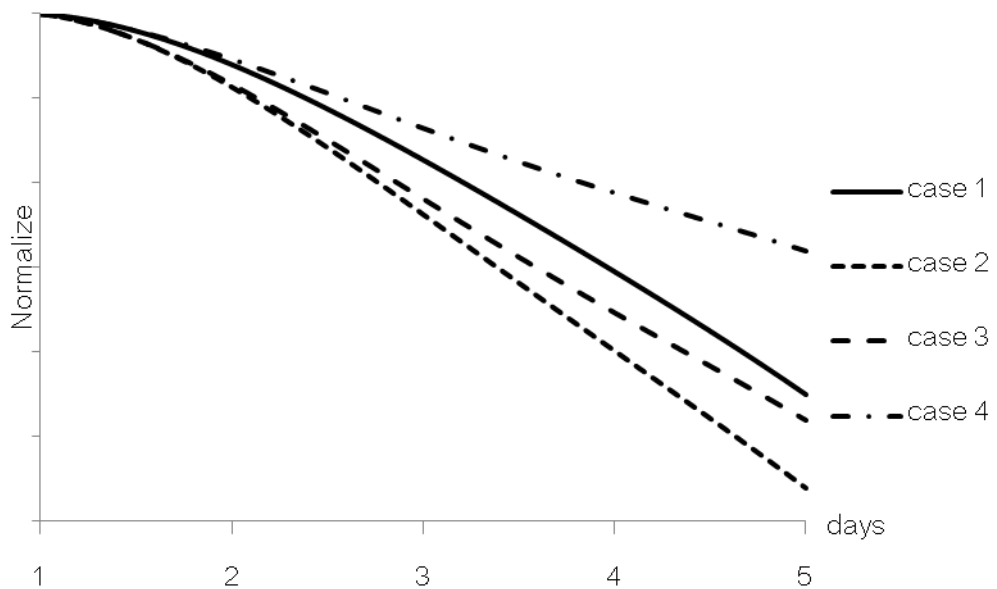
รูปที่ 5.4 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ด้วยค่าในตารางที่ 5.1



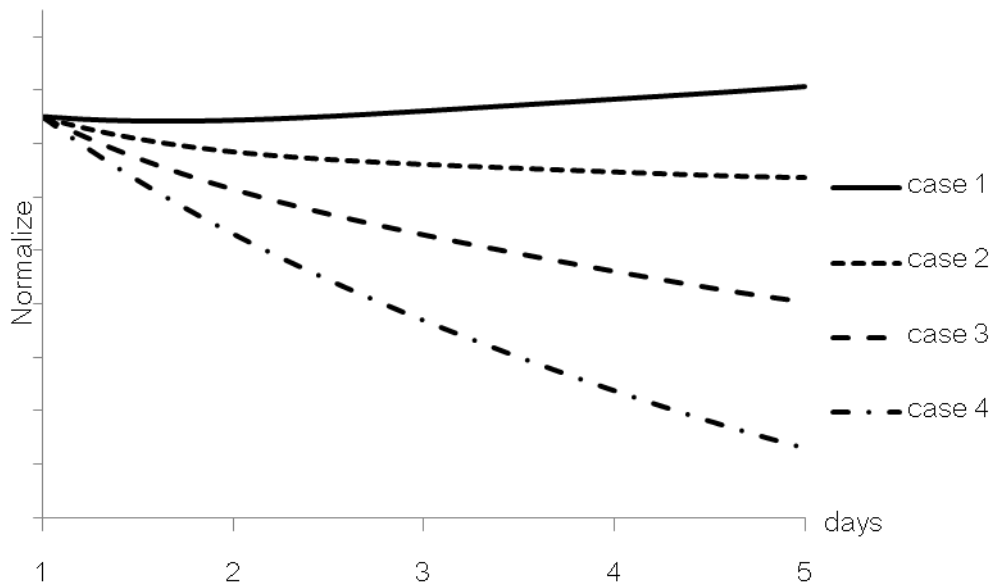
รูปที่ 5.5 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ด้วยค่าในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.6 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย I ด้วยค่าในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.7 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y



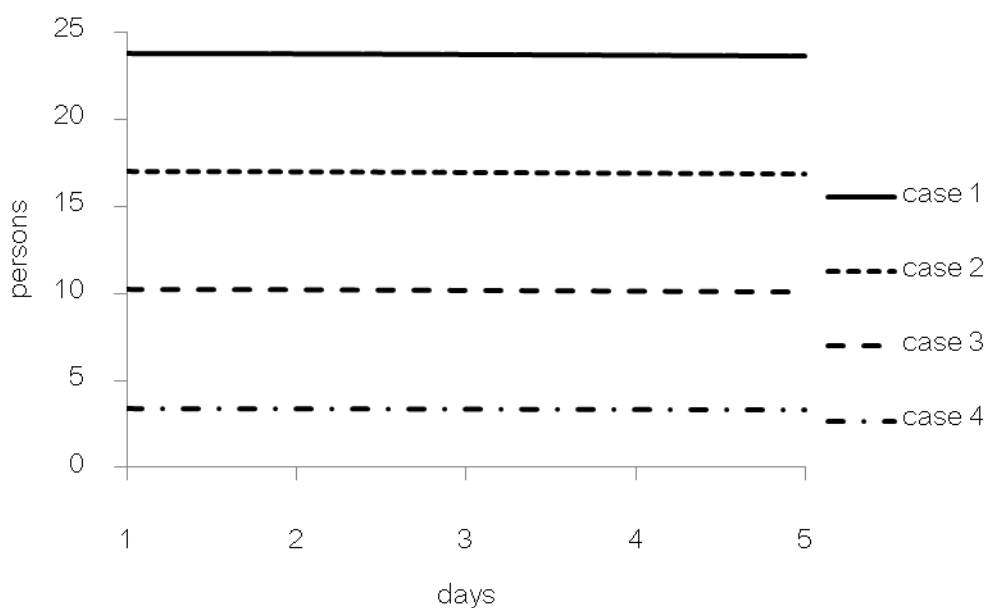
รูปที่ 5.8 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y

รูปที่ 5.6 จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย I ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่าในตารางที่ 4.2 และสมการ (4.10) จะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย I จะคงที่ ซึ่งโดยปกติแล้วอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย I นี้ควรจะคงที่ รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ในแต่ละกรณี จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า สำหรับกรณีที่ 4 ซึ่งผู้ป่วย U มีจำนวนน้อยและผู้ป่วยที่มีเชื้อ MRSA มีจำนวนมากนั้น ไม่ได้ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย U เป็นผู้ป่วย C เพิ่ม แต่กลับทำให้อัตราลดลง อันเนื่องมาจากโอกาสที่ผู้ป่วย U จะถูกทำหัตถการโดยบุคลากรที่มีเชื้อปนเปื้อนนั้นน้อยลง สำหรับกรณีที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย U เป็นผู้ป่วย C มีค่ามากที่สุดจะเป็นกรณีที่ 2, 3, และ 1 ตามลำดับ รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ในแต่ละกรณี สำหรับผู้ป่วย C นั้นจะเป็นกรณีที่ทำการเปรียบเทียบได้ยากที่สุด เนื่องจากได้รับผลจากทั้งสัดส่วนของ U , C , และ I และผลของการเปลี่ยนจากผู้ป่วย C เป็นผู้ป่วย I สำหรับค่าที่ใช้ในการคำนวณ (ตารางที่ 4.2 และ 5.1) ผลของการเปลี่ยนจากผู้ป่วย C เป็นผู้ป่วย I นั้นมีมากกว่าค่อนข้างมากจึงทำให้กราฟที่ได้ออกมาดังรูปที่ 5.8 แสดงผลจากสัดส่วน U , C , และ I ไม่ชัดเจน

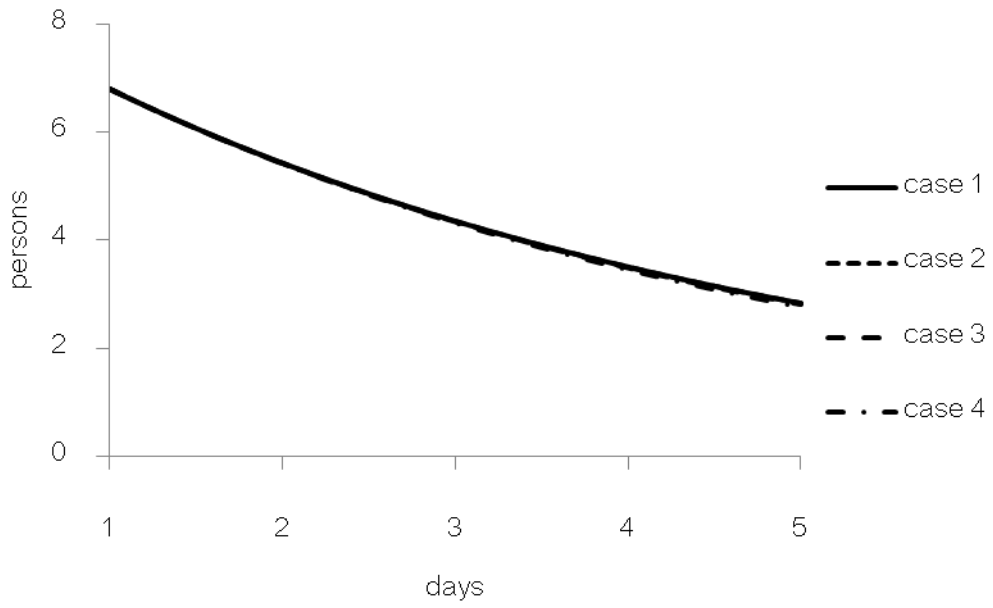
ตารางที่ 5.2 ค่าตัวแปร $U(0)$, $C(0)$, และ $I(0)$ โดย กำหนดให้ $C(0)$ คงที่

ตัวแปร	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
$U(0)$	0.7	0.5	0.3	0.1
$C(0)$	0.2	0.2	0.2	0.2
$I(0)$	0.1	0.3	0.5	0.7

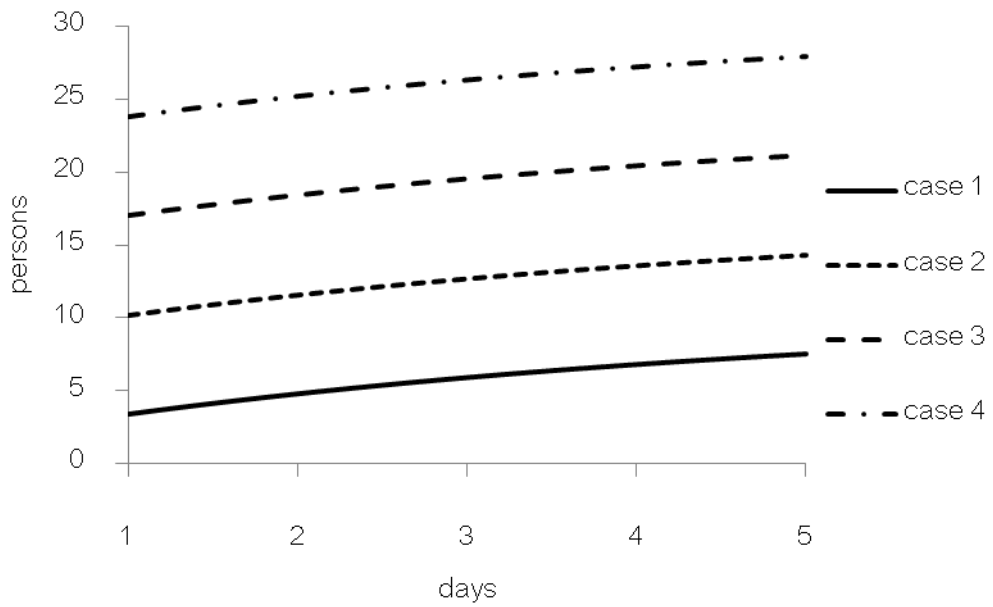
ผลลัพธ์ของค่าในตารางที่ 5.2 แสดงดังรูปที่ 5.9, 5.10, และ 5.11 เพื่อให้การเปรียบเทียบของรูปที่ 5.9 และ 5.11 เป็นไปได้ง่าย จึงต้องทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y ของทั้ง 4 กรณีมาใช้ที่จุดเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบความชันกราฟ ดังรูปที่ 5.12 และ 5.13



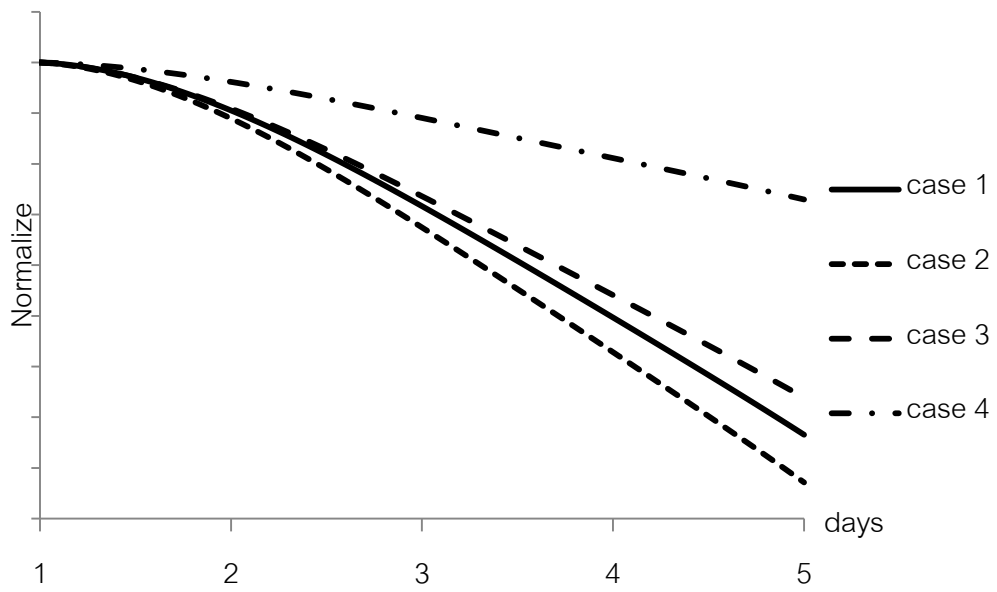
รูปที่ 5.9 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ด้วยค่าในตารางที่ 5.2



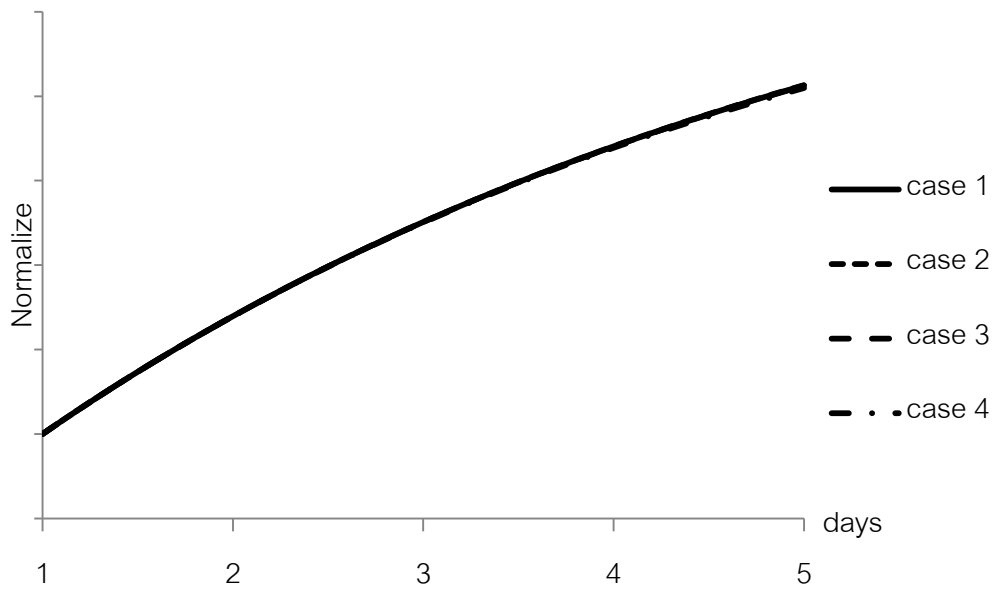
รูปที่ 5.10 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย C ด้วยค่าในตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.11 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย I ด้วยค่าในตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.12 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย U ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y



รูปที่ 5.13 แสดงผลลัพธ์ของผู้ป่วย I ที่ทำการเปลี่ยนจุดตัดแกน y

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วย I คงที่ เนื่องจากโดยปกติแล้ว ถ้าสมมติให้ผู้ป่วย I ไม่มีการหาย การเปลี่ยนแปลงของผู้ป่วยผู้ป่วย C เป็นผู้ป่วย I จะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการติดเชื้อเพียงอย่างเดียว และสำหรับรูปที่ 5.10 จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับรูปที่ 5.8 แต่เห็นผลไม่ชัดเจนเนื่องจากมีการกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ทำให้การเปลี่ยนแปลงน้อยจนเห็นได้ไม่ชัด และรูปที่ 5.12 จะให้ผลในทิศทางเดียวกันกับรูปที่ 5.7 และเป็นข้อสังเกตว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่มากขึ้นหรือน้อยลงอันเนื่องมาจากจำนวนผู้ป่วยแต่ละประเภทนั้น ไม่สามารถคาดการณ์ได้ จำเป็นจะต้องใช้การทำนายจากแบบจำลองเท่านั้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในบทที่ 5 นี้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้จึงเป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงกับสถานการณ์จริงในโรงพยาบาล เนื่องจากสามารถทำนายแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยได้ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนในระดับหนึ่งที่ยอมรับได้ โดยการนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้นั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของแต่ละโรงพยาบาลเองเพื่อความแม่นยำที่สูงขึ้น เนื่องจากแต่ละโรงพยาบาลก็มีองค์ประกอบต่างๆไม่เหมือนกัน ผลเฉลยของแบบจำลองที่ออกมาจะทำให้บุคลากรทางการแพทย์ได้ตระหนักถึงความสำคัญในหน้าที่ และร่วมมือกันวางแผนเพื่อลดอัตราการติดเชื้อ MRSA ได้ต่อไป

รายการอ้างอิง

- [1] Brauer F, van der Driessche P, Wu J. Mathematical Epidemiology, Newyork: Springer, 2008.
- [2] Biazar J. Solution of the epidemic model by Adomian decomposition method. Applied Mathematics and Computation 173 (2006): p. 1101-1106.
- [3] Biazar J, Babolian E, Kember G, Nouri A, Islam R. An alternate algorithm for computing Adomian polynomials in special cases. Applied Mathematics and Computation 138 (2003): p.523-529.
- [4] D'Agata EM, Magal P, Olivier D, Ruan S, Webb GF, et al. Modeling antibiotic resistance in hospitals: The impact of minimizing treatment duration. J Theor Biol 249 (2007): p.487-499.
- [5] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, นิพนธ์ วรรณโสภาคย์. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [6] Cooper BS, Medley GF, Stone SP, Kibbler CC, Cookson BD, Roberts JA, et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in hospital and the community: Stealth dynamics and control catastrophes, Proc Natl Acad Sci USA 27 (vol. 101) (2004): p.10223-10228.
- [7] Harbarth S, Sax H, Fankhauser-Rodriguez C, Schrenzel J, Agostinho A, Pittet D. Evaluating the probability of previously unknown carriage of MRSA at hospital admission. Am J Med 3 (vol.119) (2006): p.275e15-23.
- [8] Lucet JC, Grenet K, Armand-Lefevre L, Harnal M, Bouvet E, Regnier B, et al. High prevalence of carriage of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* at Hospital admission in elderly patients: implications for infection control strategies. Infect Control Hosp Epidemiol 2(vol.26) (2005): p.121-126.

- [9] Jariyasethpong T, Tribuddharat C, Dejsirilert S, Kerdsin A, Tishyadhigama P, Rahule S, et al. MRSA carriage in a tertiary governmental hospital in Thailand: emphasis on prevalence and molecular epidemiology. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 8(vol.29) (2009): p.977-985.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดผลเฉลยของ SIR model โดยวิธี Adomian decomposition

SIR model หรืออีกชื่อหนึ่งคือ Kermack – McKendrick model เป็นแบบจำลองแรกและเป็นต้นแบบของการศึกษาการแพร่กระจายของเชื้อโรคด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยที่รูปแบบของสมการเป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงได้ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \alpha I$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha I$$

โดย S (Susceptible) คือ คนที่ยังไม่มีภูมิคุ้มกันโรค (คน)

I (Infectious) คือ คนที่ติดเชื้อและสามารถแพร่กระจายเชื้อให้กับ S ได้

R (Removed) คือ คนที่มีภูมิคุ้มกันโรคแล้ว (คน)

β คือ อัตราในการแพร่กระจายของเชื้อ (ต่อคนต่อวัน)

α คือ อัตราในการรักษาโรคให้หาย (1/วัน)

$1/\alpha$ คือ ระยะเวลาของการติดเชื้อ (วัน)

สำหรับผลเฉลยทางทฤษฎีด้วยวิธี Adomian decomposition method ของ Biazar J (2006) [2] จะสมมติให้ผลเฉลยของ S , และ I ในรูปของอนุกรมอนันต์ คือ (ไม่สนใจผลเฉลยของ R เนื่องจากต้องการรู้เฉพาะจำนวนคนที่ติดเชื้อและคนที่ไม่ได้มีภูมิคุ้มกันโรค)

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} S_n, \quad I = \sum_{n=0}^{\infty} I_n$$

จากนั้นจึงทำการจัดรูปสมการด้วยการอินทิเกรตเทียบเวลาทั้งสองข้าง ซึ่งสามารถเขียน SIR model ในรูป $S(t)$, และ $I(t)$ ได้ดังนี้

$$S(t) = S(t=0) - \beta \int_0^t S(t)I(t)dt$$

$$I(t) = I(t=0) + \beta \int_0^t S(t)I(t) - \alpha I(t)dt$$

จากนั้นประยุกต์ระเบียบวิธีการหาผลลัพท์ของสมการพหุนามของ Biazar J, Babolian E, Kember G, Nouri A, และ Islam R (2003) [3] เข้ากับสมการข้างต้น จะได้เป็น

$$S(t) = S_0 - \beta \int_0^t \sum_{i=0}^n [S_i(t) I_{n-i}(t)] dt$$

$$I(t) = I_0 + \beta \int_0^t \sum_{i=0}^n [S_i(t) I_{n-i}(t)] - \alpha I_n(t) dt$$

ซึ่งเมื่อกระจายพจน์ของสมการทั้งสองนี้ ผลเฉลยจะอยู่ในรูปของอนุกรมอนันต์ดังนี้

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} S_n = S_0 + S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n$$

$$I = \sum_{n=0}^{\infty} I_n = I_0 + I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

เมื่อ S_0 และ I_0 เป็นค่าเริ่มต้น ดังนั้นจะได้ว่า

$$S_1 = -\beta S_0 I_0 t$$

$$I_1 = \beta S_0 I_0 t - \alpha I_0 t$$

$$S_2 = -\frac{1}{2} \beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) t^2$$

$$I_2 = \frac{1}{2} (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) t^2$$

$$S_3 = -\frac{1}{3} \beta \left(\frac{1}{2} (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) \right. \\ \left. - \beta S_0 I_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \frac{1}{2} \beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) I_0 \right) t^3$$

$$I_3 = \frac{1}{3} \beta \left(\frac{1}{2} (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) \right. \\ \left. - \beta S_0 I_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \frac{1}{2} \beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) I_0 \right) \\ \left. - \frac{1}{2} \alpha (\beta (S_0 (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0) - \beta S_0 I_0^2) - \alpha (\beta S_0 I_0 - \alpha I_0)) \right) t^3$$

$$S_n = \dots$$

$$I_n = \dots\dots$$

ตารางที่ ก.1 ค่าตัวแปรสำหรับ SIR model

S_0	20
I_0	15
β	0.01
α	0.02

จากตารางที่ ก.1 ทำการแทนค่าตัวแปรในตารางลงในผลเฉลยที่ได้ จะได้ผลเฉลยของ S และ I ในแต่ละพจน์ และมีจำนวนพจน์เป็นอนันต์ ทั้งนี้ผลบวกของผลเฉลยของ S และ I นั้นจะมีลักษณะลู่เข้า ซึ่งหมายถึงยิ่งจำนวนพจน์ที่ใช้บวกกันมากขึ้น ผลเฉลยก็จะยิ่งแม่นยำมากขึ้น เช่นเดียวกัน ซึ่งในที่นี้จะทำการหาผลเฉลยตั้งแต่พจน์ที่ 1 จนถึงพจน์ที่ 20 ผลเฉลยของ S และ I ตั้งแต่พจน์ที่ 1 ถึงพจน์ที่ 20 มีดังนี้

ที่ $n = 0$

$$S_1 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^0 (S_i I_{0-i}) dt$$

$$S_1 = -3.0000t$$

$$I_1 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^0 (S_i I_{0-i}) - \alpha I_0 dt$$

$$I_1 = 2.7000t$$

ที่ $n = 1$

$$S_2 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^1 (S_i I_{1-i}) dt$$

$$S_2 = -0.0450t^2$$

$$I_2 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^1 (S_i I_{1-i}) - \alpha I_1 dt$$

$$I_2 = 0.0180t^2$$

$$\hat{I}_n^1 \quad n=2$$

$$S_3 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^2 (S_i I_{2-i}) dt$$

$$S_3 = 0.02805 t^3$$

$$I_3 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^2 (S_i I_{2-i}) - \alpha I_2 dt$$

$$I_3 = -0.02817 t^3$$

$$\hat{I}_n^1 \quad n=3$$

$$S_4 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^3 (S_i I_{3-i}) dt$$

$$S_4 = 7.9538 \times 10^{-4} t^4$$

$$I_4 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^3 (S_i I_{3-i}) - \alpha I_3 dt$$

$$I_4 = -6.5452 \times 10^{-4} t^4$$

$$\hat{I}_n^1 \quad n=4$$

$$S_5 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^4 (S_i I_{4-i}) dt$$

$$S_5 = -3.1655 \times 10^{-4} t^5$$

$$I_5 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^4 (S_i I_{4-i}) - \alpha I_4 dt$$

$$I_5 = 3.1917 \times 10^{-4} t^5$$

$$\hat{I}_n^1 \quad n=5$$

$$S_6 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^5 (S_i I_{5-i}) dt$$

$$S_6 = -1.2531 \times 10^{-5} t^6$$

$$I_6 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^5 (S_i I_{5-i}) - \alpha I_5 dt$$

$$I_6 = 1.1467 \times 10^{-5} t^6$$

$$\hat{n} \quad n = 6$$

$$S_7 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^6 (S_i I_{6-i}) dt$$

$$S_7 = 3.5960 \times 10^{-6} t^7$$

$$I_7 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^6 (S_i I_{6-i}) - \alpha I_6 dt$$

$$I_7 = -3.6288 \times 10^{-6} t^7$$

$$\hat{n} \quad n = 7$$

$$S_8 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^7 (S_i I_{7-i}) dt$$

$$S_8 = 1.8462 \times 10^{-7} t^8$$

$$I_8 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^7 (S_i I_{7-i}) - \alpha I_7 dt$$

$$I_8 = -1.7555 \times 10^{-7} t^8$$

$$\hat{n} \quad n = 8$$

$$S_9 = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^8 (S_i I_{8-i}) dt$$

$$S_9 = -4.0513 \times 10^{-8} t^9$$

$$I_9 = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^8 (S_i I_{8-i}) - \alpha I_8 dt$$

$$I_9 = 4.0930 \times 10^{-8} t^9$$

$$\hat{n} \quad n = 9$$

$$S_{10} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^9 (S_i I_{9-i}) dt$$

$$S_{10} = -2.5992 \times 10^{-9} t^{10}$$

$$I_{10} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^9 (S_i I_{9-i}) - \alpha I_9 dt$$

$$I_{10} = 2.5174 \times 10^{-9} t^{10}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{H}} n = 10$$

$$S_{11} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{10} (S_i I_{10-i}) dt$$

$$S_{11} = 4.5119 \times 10^{-10} t^{11}$$

$$I_{11} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{10} (S_i I_{10-i}) - \alpha I_{10} dt$$

$$I_{11} = -4.5577 \times 10^{-10} t^{11}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{H}} n = 11$$

$$S_{12} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{11} (S_i I_{11-i}) dt$$

$$S_{12} = 3.5402 \times 10^{-11} t^{12}$$

$$I_{12} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{11} (S_i I_{11-i}) - \alpha I_{11} dt$$

$$I_{12} = -3.4642 \times 10^{-11} t^{12}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{H}} n = 12$$

$$S_{13} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{12} (S_i I_{12-i}) dt$$

$$S_{13} = -4.9573 \times 10^{-12} t^{13}$$

$$I_{13} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{12} (S_i I_{12-i}) - \alpha I_{12} dt$$

$$I_{13} = 5.0106 \times 10^{-12} t^{13}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{H}} n = 13$$

$$S_{14} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{13} (S_i I_{13-i}) dt$$

$$S_{14} = -4.7006 \times 10^{-13} t^{14}$$

$$I_{14} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{13} (S_i I_{13-i}) - \alpha I_{13} dt$$

$$I_{14} = 4.6290 \times 10^{-13} t^{14}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{N}} n = 14$$

$$S_{15} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{14} (S_i I_{14-i}) dt$$

$$S_{15} = 5.3609 \times 10^{-14} t^{15}$$

$$I_{15} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{14} (S_i I_{14-i}) - \alpha I_{14} dt$$

$$I_{15} = -5.4227 \times 10^{-14} t^{15}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{N}} n = 15$$

$$S_{16} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{15} (S_i I_{15-i}) dt$$

$$S_{16} = 6.1154 \times 10^{-15} t^{16}$$

$$I_{16} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{15} (S_i I_{15-i}) - \alpha I_{15} dt$$

$$I_{16} = -6.0476 \times 10^{-15} t^{16}$$

$$\stackrel{\text{d}}{\text{N}} n = 16$$

$$S_{17} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{16} (S_i I_{16-i}) dt$$

$$S_{17} = -5.6882 \times 10^{-16} t^{17}$$

$$I_{17} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{16} (S_i I_{16-i}) - \alpha I_{16} dt$$

$$I_{17} = 5.7594 \times 10^{-16} t^{17}$$

ที่ $n = 17$

$$S_{18} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{17} (S_i I_{17-i}) dt$$

$$S_{18} = -7.8223 \times 10^{-17} t^{18}$$

$$I_{18} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{17} (S_i I_{17-i}) - \alpha I_{17} dt$$

$$I_{18} = 7.7583 \times 10^{-17} t^{18}$$

ที่ $n = 18$

$$S_{19} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{18} (S_i I_{18-i}) dt$$

$$S_{19} = 5.8942 \times 10^{-18} t^{19}$$

$$I_{19} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{18} (S_i I_{18-i}) - \alpha I_{18} dt$$

$$I_{19} = -5.9759 \times 10^{-18} t^{19}$$

ที่ $n = 19$

$$S_{20} = -\beta \int_0^t \sum_{i=0}^{19} (S_i I_{19-i}) dt$$

$$S_{20} = 9.8611 \times 10^{-19} t^{20}$$

$$I_{20} = \beta \int_0^t \sum_{i=0}^{19} (S_i I_{19-i}) - \alpha I_{19} dt$$

$$I_{20} = -9.8014 \times 10^{-19} t^{20}$$

จะได้ผลเฉลยโดยประมาณของ S และ I ดังนี้

$$\begin{aligned}
S_1 = & -3.0000t - 0.0450t^2 + 0.02805t^3 + 7.9538 \times 10^{-4}t^4 - 3.1655 \times 10^{-4}t^5 \\
& - 1.2531 \times 10^{-5}t^6 + 3.5960 \times 10^{-6}t^7 + 1.8462 \times 10^{-7}t^8 - 4.0513 \times 10^{-8}t^9 \\
& - 2.5992 \times 10^{-9}t^{10} + 4.5119 \times 10^{-10}t^{11} + 3.5402 \times 10^{-11}t^{12} - 4.9573 \times 10^{-12}t^{13} \\
& - 4.7006 \times 10^{-13}t^{14} + 5.3609 \times 10^{-14}t^{15} + 6.1154 \times 10^{-15}t^{16} - 5.6882 \times 10^{-16}t^{17} \\
& - 7.8223 \times 10^{-17}t^{18} + 5.8942 \times 10^{-18}t^{19} + 9.8611 \times 10^{-19}t^{20} \\
I = & 2.7000t + 0.0180t^2 - 0.02817t^3 - 6.5452 \times 10^{-4}t^4 + 3.1917 \times 10^{-4}t^5 \\
& + 1.1467 \times 10^{-5}t^6 - 3.6288 \times 10^{-6}t^7 - 1.7555 \times 10^{-7}t^8 + 4.0930 \times 10^{-8}t^9 \\
& + 2.5174 \times 10^{-9}t^{10} - 4.5577 \times 10^{-10}t^{11} - 3.4642 \times 10^{-11}t^{12} + 5.0106 \times 10^{-12}t^{13} \\
& + 4.6290 \times 10^{-13}t^{14} - 5.4227 \times 10^{-14}t^{15} - 6.0476 \times 10^{-15}t^{16} + 5.7594 \times 10^{-16}t^{17} \\
& + 7.7583 \times 10^{-17}t^{18} - 5.9759 \times 10^{-18}t^{19} - 9.8014 \times 10^{-19}t^{20}
\end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ข.1 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการเปรียบเทียบผลเฉลยเพื่อหาค่า Δt ที่เหมาะสมด้วย MATLAB

โปรแกรมการเปรียบเทียบผลเฉลยเพื่อหาค่า Δt ที่เหมาะสมนี้ จะเปรียบเทียบผลเฉลยของทั้ง 3 วิธี คือ ผลเฉลยจาก Adomian decomposition method, ระเบียบวิธีของออยเลอร์, และระเบียบวิธีของรุงเงอ-คุททาอันดับสี่ โดยค่า Δt ในโปรแกรมนั้นจะใช้เป็นตัวแปร dt การหาค่า Δt ที่เหมาะสมนั้นทำได้โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปร dt ไปเรื่อยๆ จนผลลัพธ์ของ S และ I ของวิธีหาผลเฉลยทั้ง 3 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันจนเป็นที่พอใจ รายละเอียดโปรแกรม MATLAB แสดงได้ดังนี้

```
clear;
B = 0.01;
a1 = 0.02;
dt = 0.5;

%Analytical solution
t(1) = 0;
endtime = 7;
i = 1;
while endtime > 0
    S(i) = 20.-3.00*t(i)-0.45000e-1*t(i)^2+0.28050e-
1*t(i)^3+0.79538e-3*t(i)^4-0.31655e-3*t(i)^5-0.12531e-
4*t(i)^6+0.35960e-5*t(i)^7+1.8462*10^(-7)*t(i)^8-4.0513*10^(-
8)*t(i)^9-2.5992*10^(-9)*t(i)^10+4.5119*10^(-10)*t(i)^11+3.5402*10^(-
11)*t(i)^12-4.9573*10^(-12)*t(i)^13-4.7006*10^(-
13)*t(i)^14+5.3609*10^(-14)*t(i)^15+6.1154*10^(-15)*t(i)^16-
5.6882*10^(-16)*t(i)^17-7.8223*10^(-17)*t(i)^18+5.8942*10^(-
18)*t(i)^19+9.8611*10^(-19)*t(i)^20;

    I(i) = 15.+2.7000*t(i)+0.18000e-1*t(i)^2-0.28170e-1*t(i)^3-
0.65452e-3*t(i)^4+0.31917e-3*t(i)^5+0.11467e-4*t(i)^6-0.36288e-
5*t(i)^7-1.7555*10^(-7)*t(i)^8+4.0903*10^(-8)*t(i)^9+2.5174*10^(-
9)*t(i)^10-4.5577*10^(-10)*t(i)^11-3.4642*10^(-
11)*t(i)^12+5.0106*10^(-12)*t(i)^13+4.6290*10^(-13)*t(i)^14-
5.4227*10^(-14)*t(i)^15-6.0476*10^(-15)*t(i)^16+5.7594*10^(-
16)*t(i)^17+7.7583*10^(-17)*t(i)^18-5.9759*10^(-18)*t(i)^19-
9.8014*10^(-19)*t(i)^20;
    t(i+1) = t(i) + dt;
    i = i + 1;
    endtime = endtime - dt;
end
```

```

S(i) = 20.-3.00*t(i)-0.45000e-1*t(i)^2+0.28050e-1*t(i)^3+0.79538e-
3*t(i)^4-0.31655e-3*t(i)^5-0.12531e-4*t(i)^6+0.35960e-
5*t(i)^7+1.8462*10^(-7)*t(i)^8-4.0513*10^(-8)*t(i)^9-2.5992*10^(-
9)*t(i)^10+4.5119*10^(-10)*t(i)^11+3.5402*10^(-11)*t(i)^12-
4.9573*10^(-12)*t(i)^13-4.7006*10^(-13)*t(i)^14+5.3609*10^(-
14)*t(i)^15+6.1154*10^(-15)*t(i)^16-5.6882*10^(-16)*t(i)^17-
7.8223*10^(-17)*t(i)^18+5.8942*10^(-18)*t(i)^19+9.8611*10^(-
19)*t(i)^20;
I(i) = 15.+2.7000*t(i)+0.18000e-1*t(i)^2-0.28170e-1*t(i)^3-0.65452e-
3*t(i)^4+0.31917e-3*t(i)^5+0.11467e-4*t(i)^6-0.36288e-5*t(i)^7-
1.7555*10^(-7)*t(i)^8+4.0903*10^(-8)*t(i)^9+2.5174*10^(-9)*t(i)^10-
4.5577*10^(-10)*t(i)^11-3.4642*10^(-11)*t(i)^12+5.0106*10^(-
12)*t(i)^13+4.6290*10^(-13)*t(i)^14-5.4227*10^(-14)*t(i)^15-
6.0476*10^(-15)*t(i)^16+5.7594*10^(-16)*t(i)^17+7.7583*10^(-
17)*t(i)^18-5.9759*10^(-18)*t(i)^19-9.8014*10^(-19)*t(i)^20;

%Euler's method
Seu(1) = 20;
Ieu(1) = 15;
teu(1) = 0;
endtime = 7;
i = 1;
while endtime > 0
    Seu(i+1) = - B * Seu(i) * Ieu(i) * dt + Seu(i);
    Ieu(i+1) = B * Seu(i) * Ieu(i) * dt - al * Ieu(i) * dt +
Ieu(i);
    teu(i+1) = teu(i) + dt;
    i = i + 1;
    endtime = endtime - dt;
end

%Runge-Kutta method
SrK(1) = 20;
Irk(1) = 15;
trk(1) = 0;
endtime = 7;
i = 1;
while endtime > 0
    k1s = - B * SrK(i) * Irk(i);
    k1i = B * SrK(i) * Irk(i) - al * Irk(i);
    k2s = - B * ( SrK(i) + 0.5 * dt * k1s ) * ( Irk(i) + 0.5 * dt *
k1i );
    k2i = B * ( SrK(i) + 0.5 * dt * k1s ) * ( Irk(i) + 0.5 * dt *
k1i ) - al * ( Irk(i) + 0.5 * dt * k1i );
    k3s = - B * ( SrK(i) + 0.5 * dt * k2s ) * ( Irk(i) + 0.5 * dt *
k2i );
    k3i = B * ( SrK(i) + 0.5 * dt * k2s ) * ( Irk(i) + 0.5 * dt *
k2i ) - al * ( Irk(i) + 0.5 * dt * k2i );
    k4s = - B * ( SrK(i) + dt * k3s ) * ( Irk(i) + dt * k3i );
    k4i = B * ( SrK(i) + dt * k3s ) * ( Irk(i) + dt * k3i ) - al *
( Irk(i) + dt * k3i );

```

```

    Srk(i+1) = Srk(i) + ( k1s + 2 * k2s + 2 * k3s + k4s ) * dt / 6;
    Irk(i+1) = Irk(i) + ( k1i + 2 * k2i + 2 * k3i + k4i ) * dt / 6;
    trk(i+1) = trk(i) + dt;
    i = i + 1;
    endtime = endtime - dt;
end

plot (t,S,teu,Seu,trk,Srk)
xlabel ('days')
ylabel ('persons')
legend ('Analytical','Euler','Rung-Kutta')
title ('dt = 0.5')

```

ข.2 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมการหาผลเฉลยของ Antibiotic resistance model ด้วย

MATLAB

```

clear;
NBH = 100;
NBP = 200;
B = NBH/NBP;
Av = 0.0625;
Ac = 0.042;
v = 1/Av;
c = 1/Ac;
Pc = 0.4;
Pii = 0.06;
U(1) = 0.6;
In(1) = 0.25;
Irr(1) = 0.1;
Irs(1) = 0.025;
Inr(1) = 0.025;
t(1) = 0;
dt = 0.01;
endtime = 60;
i = 1;

while endtime > 0
    Hu = c/(v*Pc*Inr(i)+v*Pc*Irr(i)+v*Pc*In(i)+c);
    Hr = v*Pc*Irr(i)*Hu/(v*Pc*In(i)+v*Pc*Inr(i)+c);
    Hn = v*Pc*In(i)*Hu/(v*Pc*Inr(i)+v*Pc*Irr(i)+c);
    Hnr =
v*Pc*Hu*(In(i)^2*v^2*Pc^2*Inr(i)+2*In(i)*v^2*Pc^2*Inr(i)^2+In(i)^2*v^
2*Pc^2*Irr(i)+2*v*Pc*Inr(i)^2*c+2*Inr(i)^2*v^2*Pc^2*Irr(i)+v^2*Pc^2*I
rr(i)^2*In(i)+v^2*Pc^2*Irr(i)^2*Inr(i)+Inr(i)*c^2+2*In(i)*v*Pc*Inr(i)
*c+3*In(i)*v^2*Pc^2*Irr(i)*Inr(i)+2*In(i)*v*Pc*Irr(i)*c+2*Inr(i)*v*Pc
*Irr(i)*c+v^2*Pc^2*Inr(i)^3)/((v*Pc*Inr(i)+v*Pc*Irr(i)+c)*(v*Pc*In(i)
+v*Pc*Inr(i)+c));

```



```

    U(i+1) = -U(i)*(-1+v*B*Pii*dt*Hn+v*B*Pii*dt*Hnr+v*B*Pii*dt*Hr);
    In(i+1) = In(i)+v*B*Pii*Hn*U(i)*dt-v*B*Pii*In(i)*dt*Hnr-
v*B*Pii*In(i)*dt*Hr;
    Irs(i+1) = Irs(i)+v*B*Pii*In(i)*dt*Hnr+v*B*Pii*In(i)*dt*Hr;
    Irr(i+1) = Irr(i)+v*B*Pii*Hr*U(i)*dt;
    Inr(i+1) = Inr(i)+v*B*Pii*Hnr*U(i)*dt;

    t(i+1) = t(i) + dt;
    i = i + 1;
    endtime = endtime - dt;
end

plot (t,U*NBP,t,In*NBP,t,Irs*NBP,t,Irr*NBP,t,Inr*NBP)
xlabel ('days')
ylabel ('persons')
legend ('U','In','Irs','Irr','Inr')
title ('dt = 0.01')

```

ข.3 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบไม่แยกบุคคลากร

```

clear;
NuH = 20;           %number of HCWs
NuP = 40;           %number of patients
v = 1.5;            %visit rate
c = v;              %contamination rate
B = NuH/NuP;        %probability of a patient to be visited by a
                    HCW
PcH1 = 0.2;          %contamination probability of HCWs per visit
PcH2 = 0.42;         %contamination probability of HCWs per visit
PcH3 = 0.6;          %contamination probability of HCWs per visit
a1 = 0;              %MRSA recovery rate
ga = 0.15;           %MRSA infection rate (colonized to infected)
Pc = 0.80;           %probability of colonization per visit
Pii = 0;             %probability of infection per visit

Hu1(1) = 1;          %fraction of uncontaminated HCWs
Hc1(1) = 0;          %fraction of contaminated HCWs
U1(1) = 0.8;         %fraction of uninfected patients
C1(1) = 0.2;         %fraction of colonized patients
I1(1) = 0.0;         %fraction of infected patients

Hu2(1) = 1;          %fraction of uncontaminated HCWs
Hc2(1) = 0;          %fraction of contaminated HCWs
U2(1) = 0.8;         %fraction of uninfected patients
C2(1) = 0.2;         %fraction of colonized patients
I2(1) = 0.0;         %fraction of infected patients

Hu3(1) = 1;          %fraction of uncontaminated HCWs

```

```

Hc3(1) = 0;           %fraction of contaminated HCWs
U3(1)  = 0.8;        %fraction of uninfected patients
C3(1)  = 0.2;        %fraction of colonized patients
I3(1)  = 0.0;        %fraction of infected patients

t(1) = 0;
dt = 0.01;
endtime = 14;
i = 1;

while endtime > 0

    %contamination of HCWs from patients
    Hc1(i+1) = ( v * PcH1 * ( C1(i) + I1(i) ) * ( 1 - Hc1(i) ) - c *
Hc1(i) ) * dt + Hc1(i);
    Hu1(i+1) = 1 - Hc1(i+1);

    Hc2(i+1) = ( v * PcH2 * ( C2(i) + I2(i) ) * ( 1 - Hc2(i) ) - c *
Hc2(i) ) * dt + Hc2(i);
    Hu2(i+1) = 1 - Hc2(i+1);

    Hc3(i+1) = ( v * PcH3 * ( C3(i) + I3(i) ) * ( 1 - Hc3(i) ) - c *
Hc3(i) ) * dt + Hc3(i);
    Hu3(i+1) = 1 - Hc3(i+1);

    %colonization and infection of patients by HCWs
    C1(i+1) = ( Pc * v * B * Hc1(i) * U1(i) + al * I1(i) - ga * C1(i) )
* dt + C1(i);
    I1(i+1) = ( Pii * v * B * Hc1(i) * U1(i) + ga * C1(i) - al *
I1(i) ) * dt + I1(i);
    U1(i+1) = 1 - C1(i+1) - I1(i+1);

    C2(i+1) = ( Pc * v * B * Hc2(i) * U2(i) + al * I2(i) - ga * C2(i) )
* dt + C2(i);
    I2(i+1) = ( Pii * v * B * Hc2(i) * U2(i) + ga * C2(i) - al *
I2(i) ) * dt + I2(i);
    U2(i+1) = 1 - C2(i+1) - I2(i+1);

    C3(i+1) = ( Pc * v * B * Hc3(i) * U3(i) + al * I3(i) - ga * C3(i) )
* dt + C3(i);
    I3(i+1) = ( Pii * v * B * Hc3(i) * U3(i) + ga * C3(i) - al *
I3(i) ) * dt + I3(i);
    U3(i+1) = 1 - C3(i+1) - I3(i+1);

    %time calculation
    t(i+1) = t(i) + dt;
    i = i + 1;
    endtime = endtime - dt;
end

```

```

plot (t, I1*NuP, t, I2*NuP, t, I3*NuP)
xlabel ('days')
ylabel ('persons')
legend ('case 1', 'case 2', 'case 3')

```

ข.4 ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อดื้อยาโดยแบคทีเรีย MRSA แบบแยกบุคลากรเป็น 3 ประเภท

```

clear;
NuD = 3;           %number of doctors
NuN = 24;          %number of nurses
NuO = 5;           %number of other HCWs
NuP = 34;          %number of patients
AvtD = 0.072917;  %average time of total of visit times per day
by doctors
AvtN = 1.448611;  %average time of total of visit times per day
by nurses
AvtO = 0.023611;  %average time of total of visit times per day
by other HCWs
AvD = 0.024306;   %average time of a visit of doctor
AvN = 0.043897;   %average time of a visit of nurse
AvO = 0.004722;   %average time of a visit of other HCW
vD = AvtD/(AvD*NuD); %visit rate of doctors
vN = AvtN/(AvN*NuN); %visit rate of nurses
vO = AvtO/(AvO*NuO); %visit rate of other HCWs
ActD = 0.058333;  %average time of contamination of doctors
ActN = 1.158889;  %average time of contamination of nurses
ActO = 0.018889;  %average time of contamination of other HCWs
AcD = 0.019444;   %average time of a contamination of doctor
AcN = 0.035118;   %average time of a contamination of nurse
AcO = 0.003778;   %average time of a contamination of other HCW
cD = vD;           %contamination rate of doctors
cN = vN;           %contamination rate of nurses
cO = vO;           %contamination rate of other HCWs
BD = NuD/NuP;      %probability of a patient to be visited by a
doctor
BN = NuN/NuP;      %probability of a patient to be visited by a
nurse
BO = NuO/NuP;      %probability of a patient to be visited by
another HCW
HD = 1;            %hand washing ratio of doctors
HN = 1;            %hand washing ratio of nurses
HO = 0.6;          %hand washing ratio of other HCWs
PcD = 1 - HD;      %contamination probability of doctors per
visit
PcN = 1 - HN;      %contamination probability of nurses per visit
PcO = 1 - HO;      %contamination probability of other HCWs per
visit

```

```

al = 0;           %MRSA recovery rate
ga = 0.229;      %MRSA infection rate (colonized to infected)
Pc = 0.80;       %probability of colonization per visit
Pii = 0;         %probability of infection per visit

Du(1) = 1;       %fraction of uncontaminated doctors
Nu(1) = 1;       %fraction of uncontaminated nurses
Ou(1) = 1;       %fraction of uncontaminated other HCWs
Dc(1) = 0;       %fraction of contaminated doctors
Nc(1) = 0;       %fraction of contaminated nurses
Oc(1) = 0;       %fraction of contaminated other HCWs
U(1) = 0.882353; %fraction of uninfected patients
C(1) = 0.117647; %fraction of colonized patients
I(1) = 0;        %fraction of infected patients

t(1) = 0;
dt = 0.01;
endtime = 4;
i = 1;

while endtime > 0

    %contamination of doctors from patients
    Dc(i+1) = ( vD * PcD * ( C(i) + I(i) ) * ( 1 - Dc(i) ) - cD *
Dc(i) ) * dt + Dc(i);
    Du(i+1) = 1 - Dc(i+1);

    %contamination of nurses from patients
    Nc(i+1) = ( vN * PcN * ( C(i) + I(i) ) * ( 1 - Nc(i) ) - cN *
Nc(i) ) * dt + Nc(i);
    Nu(i+1) = 1 - Nc(i+1);

    %contamination of other HCWs from patients
    Oc(i+1) = ( vO * PcO * ( C(i) + I(i) ) * ( 1 - Oc(i) ) - cO *
Oc(i) ) * dt + Oc(i);
    Ou(i+1) = 1 - Oc(i+1);

    %colonization and infection of patients by HCWs
    C(i+1) = ( Pc / ( NuD + NuN + NuO ) * (vD * BD * NuD * Dc(i) + vN
* BN * NuN * Nc(i) + vO * BO * NuO * Oc(i) ) * ...
    U(i) + al * I(i) - ga * C(i)) * dt + C(i);
    I(i+1) = ( Pii / ( NuD + NuN + NuO ) * (vD * BD * NuD * Dc(i) +
vN * BN * NuN * Nc(i) + vO * BO * NuO * Oc(i) ) * ...
    U(i) + ga * C(i) - al * I(i)) * dt + I(i);
    U(i+1) = 1 - C(i+1) - I(i+1);

    %time calculation
    t(i+1) = t(i) + dt;
    i = i + 1;
    endtime = endtime - dt;

```

```
end
```

```
plot (t,U*NuP,t,C*NuP,t,I*NuP)  
xlabel ('days')  
ylabel ('persons')  
legend ('U','C','I')  
title ('dt = 0.01')
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิวัฒน์ ชื่นจำลอง เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนกุหลาบวิทยา จังหวัด กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2540 ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเทพศิรินทร์ จังหวัด กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2546 และวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (เรือ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2551