

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผู้ป่วยโรควัณโรคในประเทศไทย

Mathematical Model of Tuberculosis Patients in
Thailand



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)

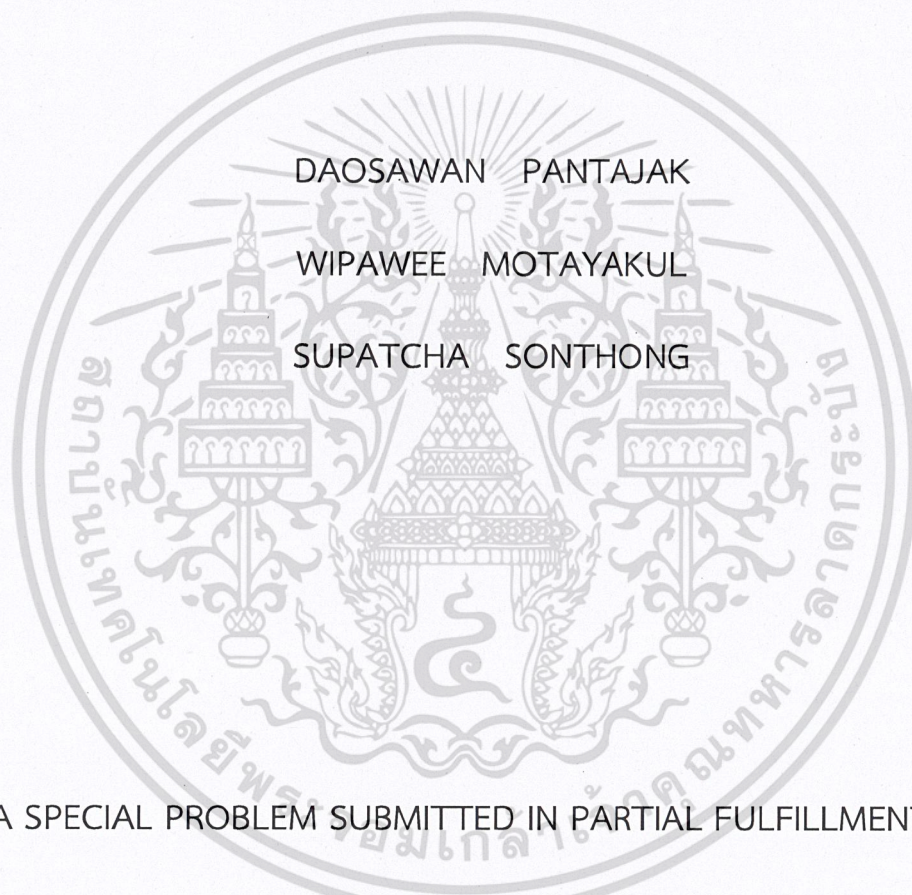
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATHEMATICAL MODEL OF TUBERCULOSIS PATIENTS
IN THAILAND



A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED MATHEMATICS)
DEPARTMENT OF MATHEMATICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผู้ป่วยโรควัณโรคในประเทศไทย
Mathematical Model of Tuberculosis Patients in Thailand

ชื่อนักศึกษา นางสาวดาวสวรรค์ พันธจักร รหัสนักศึกษา 57050059
นางสาววิภาวี โมทยกุล รหัสนักศึกษา 57050132
นางสาวสุภัสชา สอนทอง รหัสนักศึกษา 57050151

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา คณิตศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พนธนี พงศ์สัมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์
ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.จิรภัทร์ หยกรัตนศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.เทิดขวัญ ช่างเผือก กรรมการ	
รศ.ดร.พนธนี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของผู้ป่วยโรควัณโรคในประเทศไทย

ชื่อนักศึกษา	นางสาวดาวสวรรค์ พันธจักร	รหัสนักศึกษา 57050059
	นางสาววิภาวี โมทยกุล	รหัสนักศึกษา 57050132
	นางสาวสุภัชชา สอนทอง	รหัสนักศึกษา 57050151
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)	
ภาควิชา	คณิตศาสตร์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.พันธ์ พงศ์สัมพันธ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สิริพร แอนน้า วินเทอร์	

บทคัดย่อ

วัณโรคเป็นโรคติดต่อที่พบบ่อย และถึงแก่ชีวิตของผู้ป่วย โดยปกติวัณโรคส่งผลต่อปอด แต่ยังสามารถส่งผลกระทบต่อส่วนอื่นของร่างกายได้ วัณโรคสามารถแพร่ผ่านอากาศจากคนหนึ่งไปสู่อีกคนหนึ่ง และเชื้อแบคทีเรียในร่างกายจะเก็บอยู่ในส่วนที่ฤทธิ์ไม่แสดงอาการ ทำให้ไม่แสดงอาการของโรค แต่ท้ายที่สุดจะพัฒนาไปเป็นมีฤทธิ์ ซึ่งหากไม่ได้รับการรักษา ทำให้ผู้ติดเชื้อเสียชีวิตมากกว่า 50% ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความจำเป็นเพื่อคำนวณความเสี่ยงของการเกิดโรค ซึ่งจะสามารถนำมาเป็นแนวทางการป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยลงได้

คำสำคัญ : จุดสมดุล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วัณโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Mathematical Model of Tuberculosis Patients in Thailand
Student	Miss Daosawan Pantajak Student ID 57050059 Miss Wipwee Motayakul Student ID 57050132 Miss Supatcha Sonthong Student ID 57050151
Degree	Bachelor of Science (Applied Mathematics)
Department	Mathematics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academics Year	2017
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun
Co-advisor	Dr.Siripawn Henna Winter

ABSTRACT

Tuberculosis is a common infectious disease and many people died from the disease. It's usually affects the lungs and other parts of the body. Tuberculosis can spread through the air from person to person. The bacteria remain in the body in an inactive state. They cause no symptoms, but they can become active. If left untreated, more than 50 percent of people who have the bacteria will die. In this study, mathematical modeling is needed to calculate the risk of disease, which can be used to prevent and reduce the number of patients.

Keyword: Equilibrium Point Mathematical Model Tuberculosis

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.พันธณี พงศ์สัมพันธ์ และ ดร.สิริพร แชนนำ วินเทอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ท้ายที่สุด ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ เกี่ยวกับปัญหาพิเศษเล่มนี้ อนึ่ง ผู้ศึกษาหวังว่าปัญหาพิเศษฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคุณอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้ศึกษาขอน้อมรับผิดแต่เพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์สืบไป

ดาวสวรรค์ พันธจักร์
วิภาวี โมทยกุล
สุภัชชา สอนทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง จ

สารบัญรูป ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขต 2

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรควัณโรค 4

2.1.1 สาเหตุและอาการของวัณโรค 4

2.1.2 การตรวจวินิจฉัยโรค 6

2.1.3 ระยะเวลาการติดเชื้อวัณโรค 7

2.1.4 การรักษาโรควัณโรค 7

2.1.5 การป้องกันโรควัณโรค 9

2.1.6 ภาวะแทรกซ้อนของวัณโรค 10

2.1.7 การปฏิบัติตนเมื่อเป็นโรควัณโรค 10

2.2 นิยามที่เกี่ยวข้อง 11

2.2.1 จุดสมมูล 11

2.2.2 คำลักษณะเฉพาะ 12

2.2.3 พหุนามลักษณะเฉพาะ 12

2.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 13

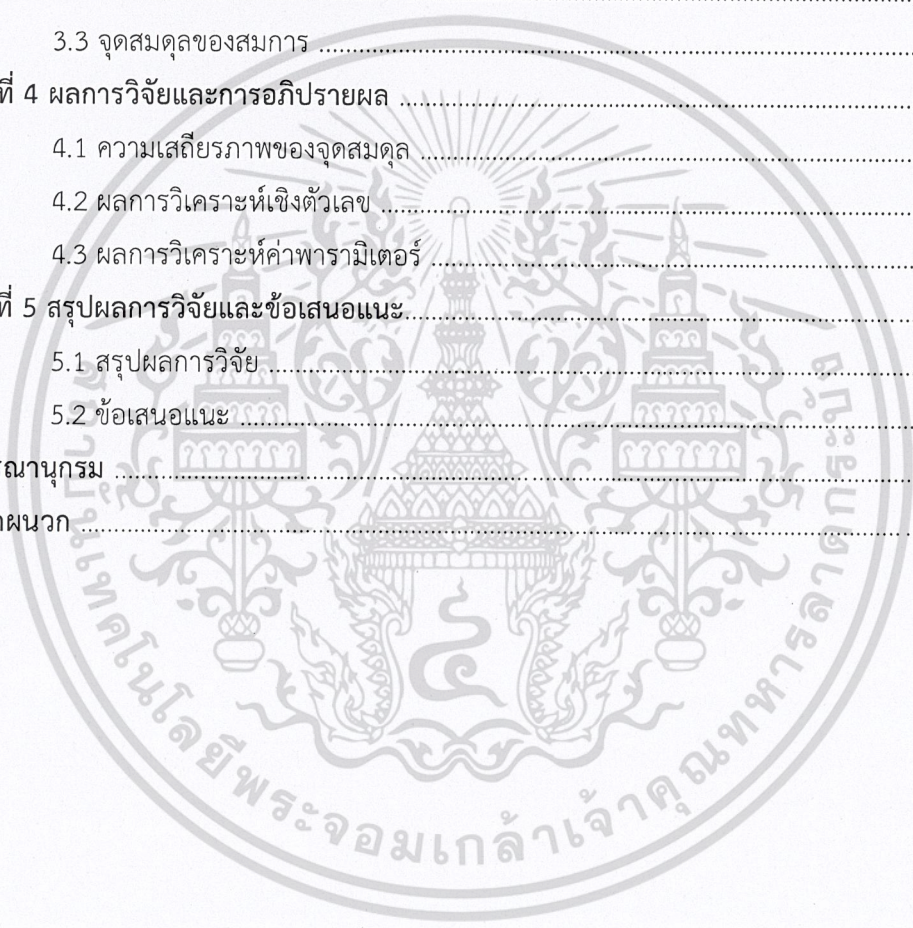
2.3.1 แบบจำลอง 13

2.3.2 ประเภทของแบบจำลอง 14

2.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของหน่วยงานนั้น ไม่อนุญาติให้แก้ไขไปใช้ประโยชน์แล้ว การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคติดเชื้อ	17
2.4.1 แบบจำลอง SEIR	17
2.5 งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 สร้างแบบจำลองโรคฉับโรค	23
3.1.1 แบบจำลองโรคฉับโรค	28
3.2 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองของโรคฉับโรค	30
3.2.1 สมการโรคฉับโรค	30
3.3 จุดสมดุลของสมการ	33
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	35
4.1 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล	35
4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข	40
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม	92
ภาคผนวก	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1ระยะเวลาในการดำเนินงานตามแผน	3
2.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (Variables) ของแบบจำลอง SEIR	17
2.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (Parameters) ของแบบจำลอง SEIR	18
3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรต่างๆของแบบจำลองโรคโควิดโรคในประเทศไทย	29
3.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองโรคโควิดโรคในประเทศไทย	29
4.1 ค่าตัวแปร (variables) ต่างๆของผู้ป่วยโรคโควิดโรคในประเทศไทย	40
4.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (parameters) ต่างๆของผู้ป่วยโรคโควิดโรคในประเทศไทย	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เชื้อวัณโรคที่แพร่กระจายทางลมหายใจ.....	5
2.2 สภาพปอดของผู้ป่วยวัณโรค.....	6
2.3 เชื้อ Mycobacterium Tuberculosis ในปอด.....	7
2.4 ยาที่ใช้ในการรักษาโรควัณโรคแบบเม็ด.....	8
2.5 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง.....	15
2.6 ขั้นตอนของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้.....	16
2.7 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง SEIR	17
2.8 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง SEIR ของสมการ(2.1).....	18
2.9 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง SEIR ของสมการ(2.2).....	19
2.10 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง SEIR ของสมการ(2.3).....	19
2.11 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง SEIR ของสมการ(2.4).....	19
3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคเหนือ.....	24
3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคกลาง.....	24
3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคใต้.....	25
3.4 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคตะวันตก.....	25
3.5 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคตะวันออก.....	26
3.6 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	26
3.7 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรค.....	27
3.8 แบบจำลองโรควัณโรค.....	28
3.9 ส่วนประกอบแบบจำลองโรควัณโรคของสมการ(3.1).....	31
3.10 ส่วนประกอบแบบจำลองโรควัณโรคของสมการ(3.2).....	31

3.11 ส่วนประกอบแบบจำลองโรควัณโรคของสมการ(3.3).....	32
3.12 ส่วนประกอบแบบจำลองโรควัณโรคของสมการ(3.4).....	32
4.1 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{365}$	42
4.2 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$	43
4.3 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$	44
4.4 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ d_2 ลดลง	45
4.5 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{365}$	46
4.6 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$	47
4.7 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$	48
4.8 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ d_2 ลดลง	49
4.9 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{365}$	50
4.10 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$	51
4.11 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$	52
4.12 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ d_2 ลดลง	53
4.13 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{365}$	54
4.14 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เกี่ยวกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$ ที่เอกสารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้วางใจได้ 55 ราคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.15 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$	56
4.16 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา เมื่อ d_2 ลดลง	57
4.17 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{0.5 \times 365}$	58
4.18 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{365}$	59
4.19 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{2 \times 365}$	60
4.20 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง	61
4.21 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{0.5 \times 365}$	62
4.22 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{365}$	63
4.23 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{2 \times 365}$	64
4.24 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง	65
4.25 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{0.5 \times 365}$	66
4.26 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{365}$	67
4.27 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{2 \times 365}$	68
4.28 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง	69
4.29 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{0.5 \times 365}$	70

4.30 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{365}$	71
4.31 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{2 \times 365}$	72
4.32 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง	73
4.33 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{80 \times 365}$	74
4.34 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{8 \times 365}$	75
4.35 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$	76
4.36 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S)	
เทียบกับเวลา เมื่อ β ลดลง	77
4.37 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{80 \times 365}$	78
4.38 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{8 \times 365}$	79
4.39 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$	80
4.40 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E)	
เทียบกับเวลา เมื่อ β ลดลง	81
4.41 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{80 \times 365}$	82
4.42 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{8 \times 365}$	83
4.43 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$	84
4.44 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I)	
เทียบกับเวลา เมื่อ β ลดลง	85

4.45 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{80 \times 365}$	86
4.46 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{8 \times 365}$	87
4.47 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ $\beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$	88
4.48 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R)	
เทียบกับเวลา เมื่อ β ลดลง	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัณโรค (Tuberculosis) หรือโรคทึบ (Tubercle bacillus : TB) คือ โรคติดเชื้อเรื้อรังที่เกิดจากเชื้อวัณโรคที่สามารถแพร่ให้คนที่อยู่ใกล้ชิดได้ แม้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วการอักเสบจากเชื้อวัณโรคจะเกิดขึ้นในปอดที่เรียกว่า “วัณโรคปอด” (Pulmonary tuberculosis) แต่วัณโรคก็สามารถเกิดกับอวัยวะอื่น ๆ ได้เกือบทุกอวัยวะในร่างกาย เช่น ประสาทและสมอง ต่อม้ำเหลือง ลำไส้ ตับ ม้าม ระบบขับถ่าย กระเพาะปัสสาวะ ระบบสืบพันธุ์ กระดูกและข้อ เป็นต้น ในสมัยก่อนผู้ป่วยวัณโรคมักจะเสียชีวิต แต่ในปัจจุบันโรคนี้อาจรักษาจนหายขาดได้ด้วยยา

วัณโรคจัดเป็นโรคติดต่อที่พบได้บ่อยชนิดหนึ่ง พบได้มากในผู้สูงอายุ ผู้ป่วยเอดส์ ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันโรคต่ำ และมักพบในผู้ที่มีการขาดการนอนหลับพักผ่อนอย่างเพียงพอ วัณโรคถือเป็น 1 ใน 10 ของสาเหตุการเสียชีวิตของคนทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้เปิดเผยสถิติล่าสุดในปี พ.ศ.2558 ว่ามีผู้ป่วยทั่วโลกทั้งหมด 10.4 ล้านคน และมีผู้เสียชีวิตจากวัณโรคมากถึง 1.8 ล้านคน ส่วนผู้ติดเชื้อวัณโรคที่อยู่ในระยะแฝง ซึ่งยังไม่แสดงอาการพบว่ามีมากถึง 1 ใน 3 ของประชากรทั่วโลก หรือเทียบเท่ากับ 2,000 ล้านคนทั่วโลก และองค์การอนามัยโลกจัดให้ประเทศไทยเป็น 1 ใน 22 ประเทศที่มีปัญหาวัณโรคสูงมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2521

การติดต่อของเชื้อวัณโรค จะติดต่อทางการหายใจ โดยปกติเชื้อจะแพร่จากผู้ป่วยวัณโรคปอดไปสู่บุคคลอื่นทางละอองเสมหะขนาดเล็ก ซึ่งอาจจะเกิดจากการไอ จาม หรือพูด ซึ่งจะเห็นได้ว่าโรควัณโรคเป็นโรคที่ติดต่อได้ง่าย โดยการไอหนึ่งครั้งสามารถก่อให้เกิดละอองเสมหะมากถึง 3,000 ละอองเสมหะ และประเทศไทยยังเป็นประเทศที่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อวัณโรคเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจะสามารถนำมาเป็นแนวทางเพื่อป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในประเทศไทยได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ

1.2.1) เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มลดของจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี

1.2.2) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางลดจำนวนผู้เสียชีวิตของผู้ป่วย

โรควัณโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปัญหาพิเศษ

วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับผู้ป่วยโรค
วัณโรคในประเทศ

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ

- 1.4.1) รวบรวมข้อมูลของโรควัณโรค
- 1.4.2) รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติการเกิดโรค
- 1.4.3) วิเคราะห์ข้อมูลการเกิดโรควัณโรค
- 1.4.4) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 1.4.5) วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ว่าสามารถใช้ได้จริงหรือไม่
- 1.4.6) ทดสอบแบบจำลองที่ได้ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่
- 1.4.7) พัฒนาแบบจำลองที่ได้ใหม่ ถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสม
- 1.4.8) สรุปผลที่ได้จากแบบจำลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1) เพื่อเสนอแนวทางใหม่ในการลดจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรค
- 1.5.2) เพื่อเฝ้าระวังโรควัณโรค
- 1.5.3) เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปในอนาคต และเป็นแนวคิดในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการดำเนินงานตามแผนงาน

ตาราง	ระยะเวลาในการดำเนินงาน									
	ปีการศึกษา 2560					ปีการศึกษา 2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ส.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ก. การเตรียมการ										
1.หาหัวข้อปัญหาพิเศษ	↔									
2.ค้นคว้าหาข้อมูลของปัญหาพิเศษ		↔								
3.เก็บรวบรวมข้อมูล			↔							
4.ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง				↔						
5.สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์					↔					
ข.การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล										
6.วิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ในการเกิดโรค						↔				
7.ทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจริง							↔			
8.พัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสม								↔		
9.สรุปผลที่ได้จากการทดลองแบบจำลอง									↔	
ค.การเขียนรายงาน										
10.เขียนรายงาน										↔
11.ทำรูปเล่ม										↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรควัณโรค

วัณโรค (Tuberculosis : TB) ในโบราณเรียกว่า “ฝีในท้อง” เนื่องจากผู้ป่วยบางรายมีอาการไอออกเป็นเลือด ซึ่งเข้าใจผิดว่าออกจากฝีที่อยู่ในท้อง โดยวัณโรคเป็นโรคติดต่อที่เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียรุนแรงซึ่งสามารถติดต่อกันผ่านทางอากาศได้ด้วยการหายใจ การจาม การไอ หรือการอยู่ร่วมกับผู้ป่วยวัณโรคติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ วัณโรคเป็นโรคที่สามารถรักษาให้หายได้หากผู้ป่วยรับประทานยาอย่างต่อเนื่อง

วัณโรคถือเป็น 1 ใน 10 สาเหตุการเสียชีวิตของคนทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลกได้เปิดเผยสถิติล่าสุดในปี ค.ศ. 2015 (พ.ศ. 2558) ว่ามีผู้ป่วยทั่วโลกทั้งหมด 10.4 ล้านคน และมีถึง 1.8 ล้านคนที่เสียชีวิตจากวัณโรค ทั้งนี้วัณโรคเป็นโรคที่พบได้มากในประเทศไทยแต่ไม่ติด 10 อันดับสาเหตุการเสียชีวิตของคนไทย แต่ถึงอย่างนั้น องค์การอนามัยโลกก็ยังจัดให้ประเทศไทยเป็น 1 ใน 22 ประเทศที่มีปัญหาวัณโรคสูงมากตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 ซึ่งจำนวนของผู้ป่วยวัณโรครายใหม่ในกลุ่ม 22 ประเทศเหล่านี้คิดเป็นกว่า 80% ของผู้ป่วยทั่วโลก

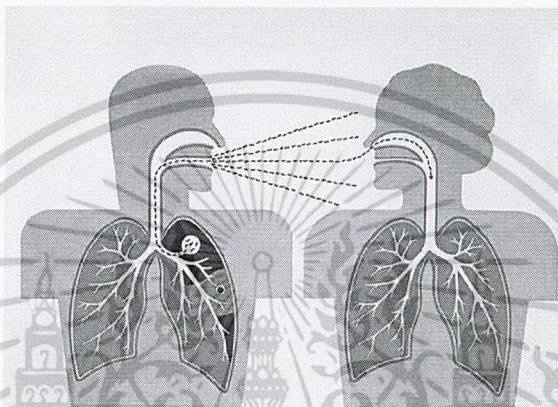
ขณะที่วัณโรคนั้นก็ถือเป็นโรคที่มักเกิดขึ้นในผู้ป่วยติดเชื้อเอชไอวี (HIV) เนื่องจากภูมิคุ้มกันที่บกพร่องจะทำให้เชื้อวัณโรคสามารถติดและแสดงอาการได้ง่าย

2.1.1 สาเหตุและอาการของวัณโรค

สาเหตุของวัณโรค เกิดจากการติดเชื้อไมโครแบคทีเรียทูเบอร์คูโลซิส (Mycobacterium Tuberculosis) ที่สามารถแพร่กระจายได้ทางอากาศโดยผ่านทาง การไอ จาม การพูด และการหายใจ หลังจากที่เราหายใจเอาเชื้อโรคเข้าไปในปอด หากร่างกายเรามีภูมิคุ้มกันแข็งแรง เชื้อโรคจะเข้าไปไม่ถึงเนื้อเยื่อของปอด เชื้อจะอยู่ในเม็ดเลือดขาว และแบ่งตัวอย่างช้าๆ ประมาณว่า จะแบ่งตัวทุก 25-32 ชมจนกระทั่งเวลาผ่านไป 2-12 สัปดาห์จะมีปริมาณเชื้อ 1000-10000 เซลล์ซึ่งมีปริมาณมากพอที่จะทำให้ร่างกายสร้างภูมิต่อโรคซึ่งสามารถตรวจพบภูมิโดยการทดสอบทางผิวหนัง ก่อนที่ร่างกายจะสร้างภูมิคุ้มกันเชื้อจะแพร่กระจายไปยังระบบน้ำเหลืองและกระแสเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ เช่น ต่อม้ำเหลือง ไช้กระดูก ตับ ม้าม ปอดกลีบบน ไต กระดูก และสมอง เมื่อร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันเต็มที่เชื้อจะไม่แบ่งตัวหรือแบ่งตัวช้ามากและจะไม่ติดต่อหรือเกิดโรค โดยความเสี่ยงของวัณ

โรคจะเพิ่มขึ้นหากเป็นผู้ที่เคยพักอาศัย หรือเดินทางมาจากพื้นที่ที่มีผู้ป่วยวัณโรคจำนวนมาก เคยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดต่อ และ สัมผัสอย่างใกล้ชิดกับผู้ติดเชื้อ ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันอ่อนแอจากโรคร้ายแรง หรืออยู่ในระหว่างการรักษาด้วยยาที่มีฤทธิ์กดภูมิคุ้มกัน และผู้ที่มีสุขภาพไม่ดี จากปัญหาทางด้านโภชนาการ ติดยาเสพติด หรือพิษสุราเรื้อรัง ไม่เพียงเท่านั้น เด็กและผู้สูงอายุยังเป็นวัยที่เสี่ยงต่อติดเชื้อวัณโรค เนื่องจากทั้ง 2 วัยนี้จะมีสุขภาพที่อ่อนแกว่าคนในวัยผู้ใหญ่ ในขณะที่ผู้ที่มีสุขภาพแข็งแรงจะเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรคได้น้อยกว่าสำหรับในบางภาวะที่ภูมิคุ้มกันอ่อนแอเช่น ผู้ป่วยโรคเอดส์ เบาหวาน silicosis ผู้ป่วยที่ได้รับยากดภูมิคุ้มกัน จะมีโอกาสเกิดติดเชื้อได้ง่ายโดยเฉพาะใน 2 ปีแรก



รูปที่ 2.1 เชื้อวัณโรคที่แพร่กระจายทางลมหายใจ

(ที่มา : <http://www.medicthai.com/วัณโรค/>)

อาการวัณโรคจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะแฝง (Latent TB) และระยะแสดงอาการ (Active TB) โดยเมื่อผู้ป่วยได้รับเชื้อแล้ว เชื้อจะพัฒนาไปอย่างช้า ๆ อาจต้องใช้เวลาเป็นสัปดาห์ไปจนถึงหลายปีกว่าจะแสดงอาการใด ๆ ให้เห็น

- ระยะแฝง (Latent TB) ในระยะแฝง เมื่อผู้ป่วยได้รับเชื้อแล้วจะไม่มีอาการใด ๆ แสดงให้เห็น เนื่องจากเชื้อไม่ได้รับการกระตุ้นทว่าเชื้อแบคทีเรียก็ยังคงอยู่ในร่างกาย และสามารถก่อให้เกิดอาการจนเข้าสู่ระยะแสดงอาการได้โดยปกติเชื้อวัณโรคจะมีระยะพักตัวอยู่ที่ 4 – 8 สัปดาห์ อีกทั้งในระยะเริ่มแรกจะทำให้เกิดการติดเชื้อเล็กน้อย ซึ่งแทบจะไม่มีอาการปรากฏให้เห็น ทั้งนี้หากผู้ป่วยมีการตรวจพบเจอเชื้อในช่วงระยะแฝง แพทย์อาจให้เข้ารับการรักษา และควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อ รวมถึงลดความเสี่ยงที่อาการจะเข้าสู่ระยะแสดงอาการ
- ระยะแสดงอาการ(Active TB) เป็นระยะที่เชื้อได้รับการกระตุ้นจนเกิดอาการต่าง ๆ โดยอาการในระยะนี้จะปรากฏให้เห็นได้ชัดเจน ได้แก่

· ไอเรื้อรังเกิน 2 สัปดาห์บางรายไอแห้งๆ บางรายอาจมีเสมหะสี เหลือง เขียว หรือไอ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ปนเลือด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เจ็บแน่นหน้าอก
- มีไข้ต่ำ ๆ ตอนบ่ายหรือเย็น
- เหนื่อยหอบ อ่อนเพลีย ไม่มีแรง
- เบื่ออาหาร น้ำหนักลด

ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่แล้ววัณโรคจะแสดงอาการที่ปอดซึ่งเรียกว่าวัณโรคปอดแต่เชื้อก็สามารถกระจายไปยังส่วนอื่น ๆ ในร่างกายและทำให้เกิดอาการผิดปกติที่เป็นอันตรายได้ เช่น วัณโรคกระดูก วัณโรคเยื่อหุ้มสมอง

2.1.2 การตรวจวินิจฉัยวัณโรค

การตรวจทางห้องปฏิบัติการที่ช่วยวินิจฉัยวัณโรคได้แก่

1. เอ็กซเรย์ปอด ลักษณะผิดปกติที่เข้าได้กับวัณโรคปอดเช่น พบการอักเสบของปอดที่ปอดกลีบบน



สภาพปอดของผู้ป่วยวัณโรคปอด

รูปที่ 2.2 สภาพปอดของผู้ป่วยวัณโรค

(ที่มา : <https://medthai.com>)

2.การย้อมเชื้อวัณโรคจากเสมหะ ควรทำในผู้ป่วยทุกรายที่สงสัยว่าเป็นวัณโรคเพื่อช่วยยืนยันการวินิจฉัย โดยจะเก็บเสมหะตอนเช้าหลังตื่นนอน 3 วันติดต่อกันจะรู้ผลภายในประมาณ 30 นาที แต่มีข้อเสียคือ วิธีนี้มีโอกาสตรวจพบเชื้อวัณโรคได้เพียงประมาณครึ่งหนึ่งของผู้ป่วยเท่านั้น ดังนั้นผู้ป่วยที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในเสมหะก็ยังคงอาจเป็นโรควัณโรคปอดได้

3.การเพาะเชื้อวัณโรคจากเสมหะ ข้อดีคือ วิธีนี้สามารถตรวจพบเชื้อได้สูงถึง 80 - 90% ของผู้ป่วย แต่ต้องใช้เวลาประมาณสองเดือนจึงทราบผล

อนึ่ง เมื่อมีผู้ป่วยที่มีอาการเข้าได้กับวัณโรคเช่น ไอเรื้อรัง มีไข้โดยไม่ทราบสาเหตุ น้ำหนักลด แพทย์จะส่งทำเอ็กซเรย์ปอดซึ่งถ้าพบลักษณะผิดปกติที่เข้าได้กับวัณโรคปอด แพทย์จะให้ผู้ป่วย

เก็บเสมหะตรวจย้อมเชื้อวัณโรค ซึ่งถ้าพบเชื้อวัณโรคก็จะวินิจฉัยได้แน่นอน แต่บางครั้งผู้ป่วยมีอาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเอ็กซ์เรย์ปอดเข้าได้กับวัณโรคแต่ยังไม่พบเชื้อวัณโรคในเสมหะแพทย์อาจให้การวินิจฉัยและให้การรักษาแบบวัณโรคปอดได้แต่ต้องติดตามอาการผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด

2.1.3 ระยะการติดเชื้อวัณโรค

ในเริ่มแรกผู้ที่ได้รับเชื้ออาจไม่ทันรู้ตัวว่าตนเองนั้นได้รับเชื้อที่นำมาสู่การเป็นวัณโรค สำหรับการเริ่มต้นติดเชื้อเริ่มจากการสูดดมเชื้อวัณโรคเข้าไปโดยผ่านระบบทางเดินหายใจมาสู่ปอดซึ่ง 1 ใน 10 ของผู้ที่รับเชื่อนั้นมักมีโอกาสติดเชื้อก่อนข้างสูงเมื่อเชื้อเข้าสู่ปอดแล้วมันจะเข้าไปพักตัวอยู่ภายในปอดกลีบบนซึ่งเป็นส่วนของปอดที่มีปริมาณออกซิเจนอยู่มากที่สุดระยะการพักตัวของมันจะอยู่ที่ประมาณ 4-8 สัปดาห์



รูปที่ 2.3 เชื้อ Mycobacterium Tuberculosis ในปอด

(ที่มา : <https://medthai.com>)

ผู้ป่วยที่ติดเชื้อระยะแรกนี้จะไม่มีอาการใดแสดงว่าเป็นวัณโรค เพราะเป็นเพียงการติดเชื้อเล็กน้อยเท่านั้น และหากระบบภูมิคุ้มกันโรคแข็งแรงเป็นปกติ เชื้อนั้นจะไม่ได้ก่อปฏิกิริยาร้ายแรงใดกับร่างกายจนทำให้เกิดความผิดปกติหรือทำให้มีอาการเจ็บป่วยใด ๆ ตามมา

เชื้อวัณโรคนี้จะกระจายตัวผ่านกระแสเลือดเข้ามาสะสมและเมื่อวันเวลาผ่านไปนานหลายเดือนหรือหลายปี หากระบบภูมิคุ้มกันโรคของผู้ป่วยเกิดการอ่อนแอลงในวันหนึ่งวันใด ร่างกายก็จะถูกกระตุ้นให้เริ่มมีอาการของโรคปรากฏขึ้นชัด เพราะเชื้อได้เริ่มลุกลามจนไปทำลายเซลล์อื่นๆ ต่อมา

2.1.4 การรักษาโรควัณโรค

วัณโรคเป็นโรคที่สามารถรักษาให้หายขาดได้ เพียงแต่จะต้องกินยาเป็นระยะเวลาติดต่อกันยาวนาน สำหรับยานั้นจะเป็นสูตรยารักษาตามมาตรฐานที่แนะนำมาจากองค์การอนามัยโลกโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ที่นำมาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เช่นนั้น ผลการรักษาอาจจะล้มเหลวได้

เมื่อผลการรักษาเป็นไปอย่างล้มเหลวก็ไม่ควรเพิ่มยาใดเข้าไปใหม่ทั้งสิ้นแม้เพียงชนิดเดียว และจะต้องให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจเท่านั้นเป็นผู้ให้ยา เพราะจะมีความเข้าใจในด้านภาวะแทรกซ้อนและผลข้างเคียงจากยาเป็นอย่างดี

ระยะของการรักษาผู้ป่วยวัณโรคด้วยยา แบ่งแผนการรักษาเป็น 2 ระยะ ดังนี้

1.ระยะเข้มข้น เป็นการรักษาในระยะเวลา 2 เดือนแรก สำหรับการรักษาในระยะนี้ แพทย์จะให้ยาโดยประกอบไปด้วยตัวยาหลัก 4 ชนิด ได้แก่ Isoniazid (ไอโซไนอะซิด) ,Rifampicin (ไรแฟมปีซิน), Ethambutol (อีแธมบิวธอล) และ Pyrazinamide (ไพราซินามาย) โดยตัวยามีทั้งในรูปแบบของยาแอมเม็ดและยาแบบรวมอยู่ในเม็ดเดียวกันซึ่งเรียกกันว่า ‘ยารวมเม็ด’



รูปที่ 2.4 ยาที่ใช้ในการรักษาโรควัณโรคแบบเม็ด

(ที่มา : <http://www.longhosp.go.th/main/>)

การรักษาในระยะเข้มข้นมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากจะสามารถช่วยลดปริมาณของเชื้อวัณโรคภายในปอดได้มากที่สุด อีกทั้งยังสามารถลดการแพร่กระจายของเชื้อได้ดีอีกด้วย

2.ระยะต่อเนื่อง เป็นการรักษาในระยะเวลา 4 เดือนต่อมา โดยแพทย์จะให้การรักษาโดยใช้ยาหลัก 2 ชนิด ได้แก่ isoniazid และ Rifampicin เพื่อช่วยกำจัดเชื้อวัณโรคที่ยังคงมีเหลืออยู่ภายในตัวยาที่ใช้รักษานั้นอาจจะใช้ทั้งในรูปแบบประเภทยาแอมเม็ดหรือยาเม็ดรวมก็ได้ สำหรับการใช้จ่ายแต่ละประเภทจะต้องขึ้นอยู่กับสภาพร่างกายของผู้ป่วยว่ามีเชื้อโรคมามากมายเพียงใด จะได้พิจารณาใช้ยาให้เหมาะสมกับแต่ละอาการที่เป็นอยู่ได้อย่างถูกต้อง

การรักษาด้วยยาทุกระยะดังที่กล่าวไปเบื้องต้นนั้นมีโอกาสหายขาดสูง หากผู้ป่วยกินยาครบสูตรตามที่แพทย์สั่ง ฉะนั้น การกินยาอย่างเคร่งครัดต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่ผู้ป่วยไม่ควร

เอกสารนี้ละเอียดและเด็ดขาด เพราะหากกินยาไม่ครบตามสูตรหรือเชื้อร้ายของวัณโรคจะยิ่งเจริญเติบโต จนนำมาสู่การร้ายกาจไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อต้านยาหรือที่เรียกว่า ตื้อยา เมื่อเชื้อเกิดการตื้อยาก็จะต้องให้ยาที่มีราคาสูงขึ้น และต้องใช้ระยะเวลาในการรักษายาวนานกว่า 18 เดือน ซึ่งทำให้ผลข้างเคียงจากการใช้ยายิ่งเพิ่มอัตราสูง และหากเชื้อตื้อยาตัวใหม่ต่อมา เชื้อจะยิ่งแพร่ตัวลุกลามมากขึ้นจนทำให้ยากต่อการรักษามากขึ้นไปอีก

สาเหตุของการรักษาล้มเหลว

การรักษาวัณโรคย่อมมีความเสี่ยงต่อการล้มเหลวได้เสมอ ทั้งนี้ก็เนื่องจากผู้ป่วยไม่ปฏิบัติตามคำสั่งจากแพทย์อย่างเคร่งครัดถูกต้องเพราะหากต้องการรักษาโรคให้หายขาดแล้วจะต้องทำตามคำแนะนำตลอดโปรแกรมของการรักษาแบบระยะยาวได้อย่างแท้จริง

นอกจากนี้แล้ว ยังพบว่าสถิติในผู้ป่วยวัณโรครายใหม่ๆล้วนมีโอกาสรักษาได้หายขาดสูงมากกว่าผู้ป่วยที่ผ่านการรักษามาแล้ว ดังนั้นผู้ป่วยควรปฏิบัติตามคำแนะนำจากแพทย์ทุกกระบวนการจะดีที่สุด เพื่อให้เชื้อโรคหายขาดตั้งแต่ครั้งแรกที่เข้ารับการรักษา

2.1.5 การป้องกันโรควัณโรค

1. รักษาสุขภาพให้แข็งแรงโดยการออกกำลังกายพักผ่อนให้พอเพียงกินอาหารที่มีประโยชน์ ไม่ใช้ยาเสพติด หลีกเลี่ยงความเสี่ยงการติดโรคเอดส์ และควรตรวจสุขภาพและเอ็กซเรย์ปอดเป็นประจำทุกปี
2. หากสมาชิกคนใดภายในบ้านป่วยเป็นวัณโรค ผู้ที่ป่วยควรสวมหน้ากากอนามัยปิดไว้ โดยเฉพาะเวลาไอจามเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อไปสู่ผู้อื่นรอบข้างหรือในขณะต้องสนทนาร่วมกับผู้อื่น
3. สภาพอากาศภายในบ้านจะต้องปลอดโปร่ง โล่งสบาย อากาศถ่ายเททั้งทางประตูหน้าต่าง อย่างเพียงพอ พร้อมกันนี้ ไม่อยู่ในสถานที่ที่มีดักขี้หนู ไร้แสงแดดส่องเข้ามาถึง ควรเปิดช่องระบายอากาศให้มีแสงแดดส่องเข้ามายังภายในบ้านบ้างจะได้ช่วยฆ่าเชื้อวัณโรคที่อาจลอยเป็นละอองปะปนอยู่บนอากาศในยามที่เราสนทนากับผู้ป่วย เพราะเมื่อเชื้อได้รับแสงแดดมันก็จะตายลงในที่สุด
4. ฉีดวัคซีนบีซีจี (BCG) ให้ทารกแรกเกิดทุกราย วัคซีนชนิดนี้มีผลในการป้องกันวัณโรค ชนิดรุนแรงในเด็กเล็ก แต่ไม่สามารถป้องกันวัณโรคปอดในผู้ใหญ่ ผู้ที่เคยฉีดบีซีจีมาแล้วก็ยังมี โอกาสเสี่ยงต่อการเป็นวัณโรคปอดได้
5. ถ้ามีอาการผิดปกติที่สงสัยว่าจะเป็นวัณโรคเช่น ไอเรื้อรัง มีไข้ เจ็บหน้าอก เหงื่อออกกลางคืน เหนื่อยหอบ เบื่ออาหาร น้ำหนักลด ควรรีบพบแพทย์เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ภาวะแทรกซ้อนของวัณโรค

ภาวะแทรกซ้อนของวัณโรคมักเกิดขึ้นจากการรักษาที่ล่าช้า หรือการรักษาที่ไม่ต่อเนื่อง โดยอาการของภาวะแทรกซ้อนอาจไม่รุนแรง หรือรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ ภาวะแทรกซ้อนที่มักพบได้ในผู้ป่วยวัณโรค ได้แก่ ไอเป็นเลือด ฝีในปอด ภาวะน้ำในช่องหุ้มปอด อาการปวดบริเวณหลัง ข้อต่อ กระดูกอักเสบ หรืออาจรุนแรงถึงขั้นเยื่อหุ้มสมองอักเสบ ปัญหาเกี่ยวกับตับและไต และโรคหัวใจ จากการที่เชื้อวัณโรคกระจายไปที่อวัยวะอื่น ๆ

2.1.7 การปฏิบัติตนเมื่อเป็นวัณโรค

1. กินยาตามชนิดและขนาดที่แพทย์สั่งให้อย่างสม่ำเสมอจนครบกำหนด
2. หลังกินยาไประยะหนึ่ง อาการไอและอาการทั่ว ๆ ไปจะดีขึ้น อย่าหยุดกินยาเด็ดขาด
3. ควรงดสิ่งเสพติดทุกชนิด เช่น เหล้า บุหรี่ ฯลฯ
4. สวมผ้าปิดจมูก เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อไปสู่ผู้อื่น
5. เปลี่ยนผ้าปิดจมูกที่สวมบ่อย ๆ เพราะผ้าปิดจมูกเอง ก็เป็นพาหะได้เช่นกัน
6. บ้วนเสมหะลงในภาชนะ หรือกระป๋องที่มีฝาปิดมิดชิด
7. จัดบ้านให้อากาศถ่ายเทสะดวกให้แสงแดดส่องถึงและหมั่นนำเครื่องนอนออกตากแดด
8. รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ได้ทุกชนิด โดยเฉพาะเนื้อสัตว์ โดยเฉพาะเนื้อปลา และนม ไข่ ผัก และผลไม้
9. นอนกลางวันอย่างน้อยวันละ 1 ชั่วโมง เพื่อนำโปรตีนจากอาหารรับประทานเข้าไปซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ของร่างกาย
10. ไม่เที่ยวในสถานที่ที่มีผู้คนแออัด เพราะ อาจนำเชื้อไปแพร่ให้ผู้อื่น หรือ ติดเชื้อโรคจากผู้อื่นเข้าสู่ร่างกายเพิ่มเติม
11. ในระยะ 2 เดือนแรกหลังจากเริ่มการรักษา (เรียกว่า "ระยะแพร่เชื้อโรค") ผู้ป่วยควรจะนอนในห้องที่มีอากาศถ่ายเท และ นอนแยกห้องกับสมาชิกในครอบครัวรวมไปถึงการรับประทานอาหาร การใช้ถ้วยชาม และเสื้อผ้า ควรแยกล้าง หรือ แยกซักต่างหาก และต้องนำไปตากแดดเพื่อฆ่าเชื้อโรค
12. หลังจากแพทย์ลงความเห็นว่าเป็นจากรยะแพร่เชื้อโรคแล้ว ผู้ป่วยสามารถกลับมาทำกิจกรรมร่วมกับครอบครัวได้ดังเช่นเดิม เช่น การนอน การรับประทานอาหาร และซักผ้าร่วมกับสมาชิกผู้อื่นโดยในระยะนี้ผู้ป่วยต้องทานยาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 เดือน (โรควัณโรคจะต้องใช้เวลา

ในการรักษา ระยะสั้นที่สุด 6 เดือน ยาวที่สุด 1 - 2 ปี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 นิยามที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 จุดสมดุล

นิยาม จุด $X_e \in \mathbb{R}^n$ เป็นจุดสมดุล (Equilibrium point) ของ

$$\frac{dx}{dt} = f(t, X)$$

เมื่อ $\frac{dx}{dt} = f(t, X) = 0$ สำหรับทุกๆ $t \geq t^*$ แสดงว่า X_e เป็นจุดสมดุลของ $f(t, X)$ ที่ t^*

ทฤษฎีบท 2.2 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล (Stable of equilibrium point) พิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) ที่หาได้จากการหา $\det(J^* - \lambda I) = 0$ ดังนี้

1. ค่าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลนั้นมีจุดความเสถียร (stable)
2. ค่าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายต่างกัน แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลนั้นมีจุด鞍ม้า (saddle point)
3. ค่าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นบวก แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลนั้นไม่มีความเสถียร (unstable)

2.2.2 ค่าลักษณะเฉพาะ

นิยาม ให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และ λ เป็นจำนวนจริง เรียกว่าค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) ของ A ก็ต่อเมื่อมีเวกเตอร์ X ใน \mathbb{R}^n ที่ไม่เป็นศูนย์ ซึ่งทำให้

$$AX = \lambda X$$

เวกเตอร์ X เรียกว่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (eigenvector) ของ A ที่สมนัยกับ λ ค่าลักษณะเฉพาะ อาจใช้คำว่า characteristic values และเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ อาจใช้คำว่า characteristic vectors จากสมการ $AX = \lambda X$ สามารถจัดสมการใหม่เป็น

$$(\lambda I - A)X = 0 \quad ; \text{สำหรับ } X \neq 0$$

เมื่อ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด $n \times n$ เนื่องจาก $X \neq 0$ นั่นคือ X จะเป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของ A

2.2.3 พหุนามลักษณะเฉพาะ

พหุนามลักษณะเฉพาะ (Characteristic polynomial) ของเมทริกซ์ A ขนาด $n \times n$ ถูกกำหนดโดย

$$C_A(x) = \det(xI - A)$$

ทฤษฎีบท 2.1 ให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ ค่าลักษณะเฉพาะของ A เป็นรากที่เป็นจำนวนจริงของพหุนามลักษณะเฉพาะของ A นั่นคือ มีจำนวนจริง λ ที่สอดคล้องกับสมการ

$$C_A(x) = \det(xI - A) = 0$$

เรียกสมการนี้ว่า สมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic equation) เมื่อ I เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$

2.2.4 ทฤษฎีบท Routh-Hurwith Criteria

พิจารณาสมการพหุนามอันดับ n

$$P(\lambda) = \lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1}\lambda + a_n$$

เมื่อ a_i เป็นสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ และ $i = 0, 1, 2, \dots, n$

กำหนดให้ Hurwitz matrix เป็นเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ a_i ของสมการ $P(\lambda)$

นิยาม

$$\text{โดย } H_1 = [a_1], H_2 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{bmatrix}, H_3 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ a_5 & a_4 & a_3 \end{bmatrix} \text{ และ}$$

$$H_j = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & \dots & 0 \\ a_5 & a_4 & a_2 & a_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_j \end{bmatrix}$$

โดยที่สมาชิกเมทริกซ์ H_j นิยามดังนี้

$$a_{2l-m} \text{ สำหรับ } 0 < 2l - m < k,$$

$$1 \text{ สำหรับ } 2l = m$$

$$0 \text{ สำหรับ } 2l - m \text{ หรือ } sl > k + m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นค่า eigenvalue จะเป็นลบ เพราะกราฟของสมการจะเบนเข้าหาค่าใดค่าหนึ่งทำให้จุดสมมูลนั้นเสถียร นั่นคือ \bar{N} เสถียรภาพ ในกรณีที่ determinants ทั้งหมดของเมทริกซ์ Hurwitz เป็นบวก จะได้ $\det H_j > 0, j = 1, 2, \dots, n$

2.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3.1 แบบจำลอง

แบบจำลอง(Model) หมายถึง วิธีการสื่อสารทางความคิด ความเข้าใจ ตลอดจนจินตนาการ ที่มีต่อปรากฏการณ์ หรือเรื่องราวใด ๆ ให้ปรากฏโดยใช้การสื่อในลักษณะต่าง ๆ เช่น แผนภูมิ แผนผัง ระบบสมการ และรูปแบบอื่น เป็นต้น เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย และสามารถนำเสนอเรื่องราวได้อย่างมีระบบ

แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญ ที่ช่วยให้การสื่อสารระหว่างบุคคลทุกฝ่ายมีความถูกต้องตรงกันมากขึ้น เนื่องจากแบบจำลองประกอบไปด้วยรูปภาพสัญลักษณ์ต่าง ๆ มากมายที่จะเป็นตัวแทนแสดงให้เห็นการทำงานของระบบ หรือแสดงให้เห็นหน้าที่ของระบบ รวมถึงโครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ แบบจำลองเป็นสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ทั้งในด้านระบบและซอฟต์แวร์ สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการของระบบในด้านต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนว่าทำหน้าที่อะไร และอย่างไร และเนื่องจากเอกสารข้อกำหนดความต้องการเป็นเครื่องมือที่ผู้ใช้หรือลูกค้านำมาประเมินระบบหรือซอฟต์แวร์ เพื่อพิจารณายอมรับให้นำมาใช้งานได้ ดังนั้น ข้อกำหนดความต้องการหรือรายละเอียดของระบบ (System Description) แบบจำลองการวิเคราะห์ (Analysis Model) และแบบจำลองการออกแบบ (Design Model) จึงมีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองตามแนวเชิงโครงสร้าง

สำหรับแนวทางเชิงโครงสร้าง จะพิจารณากระบวนการทำงานกับข้อมูลของระบบแยกออกจากกัน ดังนั้น แบบจำลองที่จะต้องสร้าง จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1.แบบจำลองกระบวนการ (Process Model) ใช้จำลองขั้นตอนการทำงานของระบบ แผนภาพที่ใช้คือ แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) หมายถึงแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ จากกระบวนการทำงานหนึ่งไปยังกระบวนการทำงานหนึ่งหรือไปยังส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลจัดเก็บ (Data Store) หรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่อยู่นอกระบบ (External Agent)

2.แบบจำลองข้อมูล (Data Model) ใช้จำลองโครงสร้างข้อมูลทั้งหมดในระบบ แผนภาพที่ใช้คือ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram: ERD) หมายถึงแผนภาพที่ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับจำลองข้อมูลซึ่งจะประกอบไปด้วย Entity (แทนกลุ่มของข้อมูลที่เป็นเรื่องเดียวกัน/เกี่ยวข้องกัน) และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Relationship) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ นอกจากนี้ทุก ๆ Entity จะมี Attribute เป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะหรือคุณสมบัติของ Entity นั้นด้วย

2.3.2 ประเภทของแบบจำลอง (Model Classification)

1.แบบจำลองเชิงเปรียบเทียบ (Analogue Model) เป็นแบบจำลองเชิงกายภาพ ส่วนใหญ่ใช้ในด้านวิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองโครงสร้างอะตอม สร้างขึ้นโดยใช้หลักการเปรียบเทียบโครงสร้างของแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะที่คล้ายกันทางกายภาพ สอดคล้องกับข้อมูลและความรู้ที่มีอยู่ในขณะนั้นด้วย แบบจำลองที่สร้างขึ้นต้องมีองค์ประกอบชัดเจนสามารถนำไปทดสอบด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ และสามารถนำไปใช้ทำการหาข้อสรุปของปรากฏการณ์ได้อย่างกว้างขวาง

2.แบบจำลองเชิงอธิบาย (Semantic Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ภาษาเป็นการสื่อในการบรรยายหรืออธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษา ด้วยภาษา แผนภูมิ หรือรูปภาพเพื่อให้เห็นแนวคิดโครงสร้าง องค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ

3.แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหรือตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เดิมแบบจำลองนี้ใช้กับศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ แต่ปัจจุบันมีแนวโน้มในการนำไปใช้ด้านพฤติกรรมศาสตร์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ด้านพฤติกรรมศาสตร์และ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังคมศาสตร์เพิ่มขึ้น รวมทั้งการศึกษาด้วย โดยเฉพาะในการวัดผลการศึกษาแบบจำลองนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์และสร้างเป็นทฤษฎี เพราะสามารถทดสอบสมมุติฐานได้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มักพัฒนามาจากแบบจำลองเชิงอธิบาย

4. แบบจำลองเชิงเหตุผล (Causal Model) เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองเชิงอธิบาย โดยการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis) มาใช้ ปัจจุบันมีการนำแบบจำลองนี้มาใช้ในการวิจัยทางการศึกษามากขึ้น แบบจำลองแบบนี้จะเป็นการนำเอาตัวแปรมาเขียนเป็นสัญลักษณ์หรือคำย่อ แล้วใช้เส้นตรงและลูกศรแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในเชิงเหตุและผล แบบจำลองดังกล่าวสามารถกำหนดเป็นกรอบในการรวบรวมข้อมูลในสภาพที่เป็นจริงเพื่อทดสอบแบบจำลองได้ด้วย

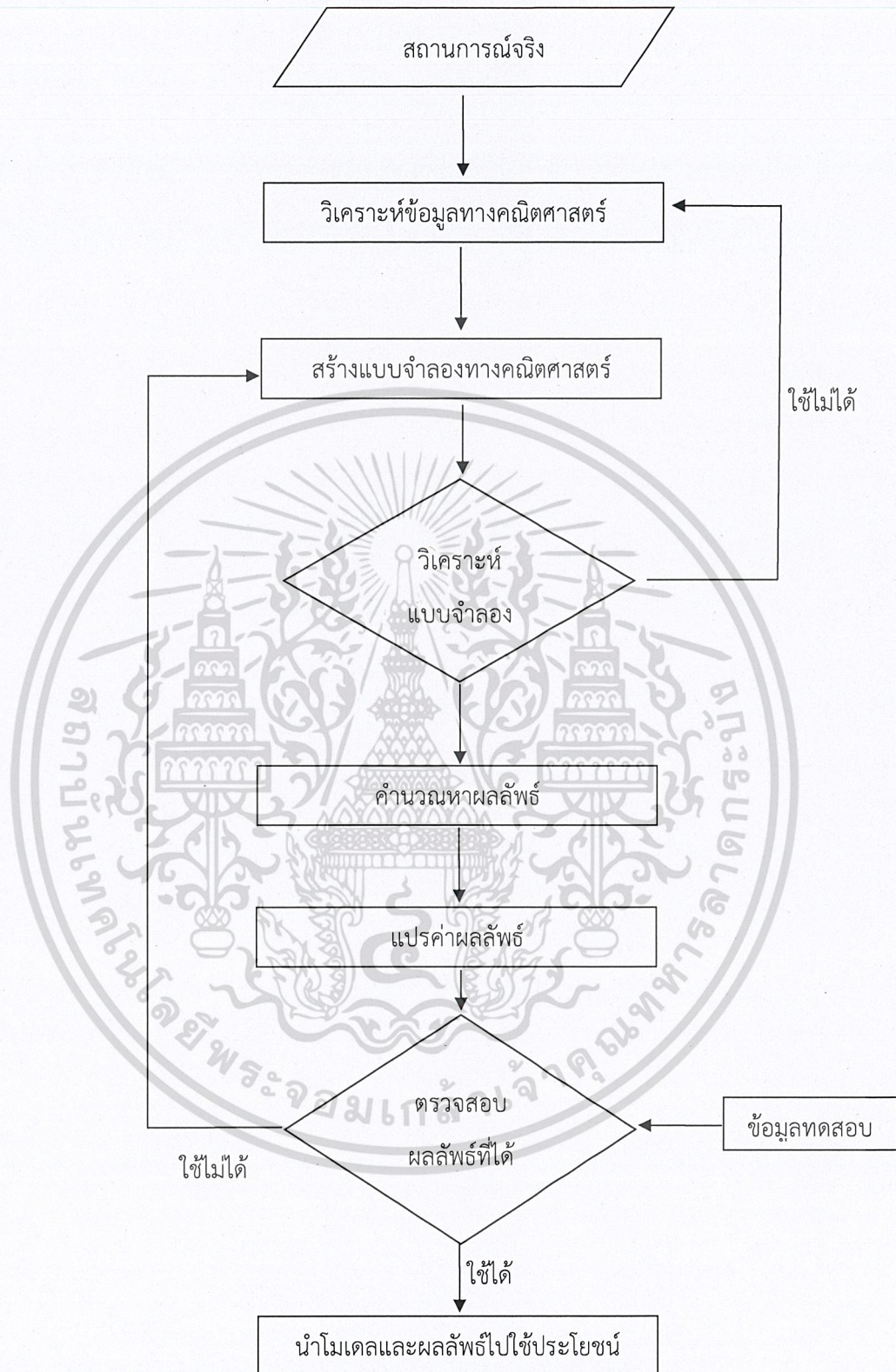
2.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) คือ การสร้างหรือการออกแบบเพื่อที่จะศึกษาสิ่งที่เราสนใจระบบหรือปรากฏการณ์ใด ๆ เช่น ตัวเลขประชากรทั้งประเทศ หรือประชากรที่ติดเชื้อโรค ซึ่งเราสามารถใช้อย่างจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ นั้น โดยการนำข้อมูลจริงที่เราสนใจ มาสรุปเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.5 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื้อ

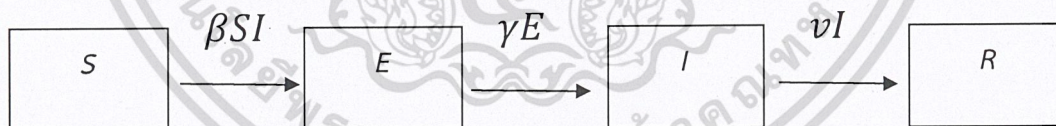
การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 4 กลุ่ม

1. กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ (Susceptible) แทนด้วย S
2. กลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (Exposed) แทนด้วย E
3. กลุ่มที่ติดเชื้อ (Infected) แทนด้วย I
4. กลุ่มฟื้นไข้ หรือ กลุ่มหายป่วย (Recovered) แทนด้วย R

กำหนดให้ประชากรทั้งหมดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา $t = 0$ เริ่มต้นการติดเชื้อในกลุ่มประชากรทั้ง 4 กลุ่ม จากนั้นเชื้อได้แพร่กระจายเข้าไปในกลุ่มของผู้ที่มีความเสี่ยงโดยการติดเชื้อเป็นการแพร่กระจายจากหนึ่งคนไปสู่อีกหนึ่งคน แบบจำลองนี้นำเสนอทั้งเชื้อที่ใช้และไม่ใช้เวลาในการฟักตัวของเชื้อ นั่นคือ ถ้าไม่มีการฟักตัวของเชื้อ ประชากรที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้รับเชื้อจะเปลี่ยนเป็นผู้ป่วยโรคนั้นทันที โดยไม่ต้องรอการแสดงอาการของโรค จึงจะเปลี่ยนเป็นผู้ป่วยของโรคนั้น ซึ่งแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อมีหลายรูปแบบ เช่น $SI, SIR, SEIR$ ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างแบบจำลอง $SEIR$ ดังนี้

2.4.1 แบบจำลอง $SEIR$

แบบจำลอง $SEIR$ นี้เป็นแบบจำลองที่ไม่ขึ้นกับเวลา เพราะเป็นระยะเวลาสั้นๆ จะไม่คำนึงถึงอัตราการเกิดและอัตราการเสียชีวิต แบบจำลองนี้แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ แทนด้วย S คนที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ แทนด้วย E กลุ่มที่ติดเชื้อ แทนด้วย I กลุ่มหายป่วย แทนด้วย R



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (Variables) ของแบบจำลอง $SEIR$

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	คน
E	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
R	จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด = $S + E + I + R$	คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (Parameters) ของแบบจำลอง *SEIR*

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
β	อัตราการถ่ายทอดเชื้อ	ต่อวันต่อคน
γ	อัตราการฟักตัวของเชื้อ	ต่อวันต่อคน
ν	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรค	ต่อวันต่อคน

คำอธิบายแบบจำลอง *SEIR*

จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อจะลดจำนวนลง แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อโดยมีระยะการฟักตัวของเชื้อ ทำให้ประชากรที่ติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมีจำนวนลดลงแล้วเปลี่ยนเป็นผู้ที่หายป่วย จึงส่งผลให้ผู้ที่หายป่วยมีจำนวนเพิ่มขึ้น

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

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

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - \gamma E \quad (2.2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \gamma E - \nu I \quad (2.3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \nu I \quad (2.4)$$

โดยกำหนดให้ $N = S + E + I + R$

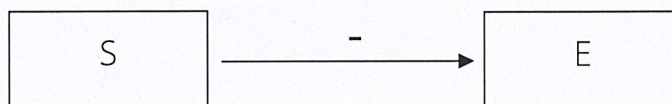
หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่ม

= สิ่งที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประชากร - สิ่งที่มีผลต่อการลดลงของประชากร

อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลอง *SEIR* ได้ดังนี้

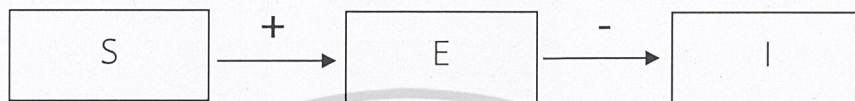
1. สมการ (2.1) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อของโรค โดยที่ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรของกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) เพราะมีการติดเชื้อด้วยอัตรา β โดยจะเห็นว่า ผลของการติดเชื้อของโรคนี้นั้นขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I นั้น แสดงให้เห็นว่าผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อและผู้ที่แพร่เชื้อมีความสัมพันธ์กัน และเครื่องหมาย - คือการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง *SEIR* ของสมการ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สมการ (2.2) $\frac{dE}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก กลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) และ $-\gamma E$ คือการลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) เพราะอัตราการฟักตัวของเชื้อ γ ซึ่งความหมาย $+$ คือการเพิ่มของประชากรในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) และเครื่องหมาย $-$ คือการลดลงของประชากรที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) ดังแผนภาพ



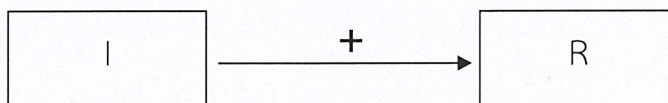
รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง **SEIR** ของสมการ (2.2)

3. สมการ(2.3) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) โดยที่ $+\gamma E$ เป็นการเพิ่มขึ้นของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก กลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) และ $-vI$ คือการลดลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) เพราะอัตราการหายป่วย (v) ซึ่งเครื่องหมาย $+$ คือการเพิ่มของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) และเครื่องหมาย $-$ คือการลดลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง **SEIR** ของสมการ (2.3)

4. สมการ (2.4) $\frac{dR}{dt}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่หายป่วยจากการเป็นโรค (R) โดยที่ $+vI$ คือการเพิ่มขึ้นของประชากรที่หายป่วยจากการเป็นโรค (R) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก กลุ่มที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) ซึ่งเครื่องหมาย $+$ คือการเพิ่มขึ้นของประชากรที่หายป่วยจากการเป็นโรค (R) ดังแผนภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง SEIR ของสมการ (2.4)
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ (S^*, E^*, I^*, R^*) เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ และนำสมการ (2.1) – (2.4) มาหาจุดสมดุล ดังนี้

$$-\beta S^* I^* = 0 \quad (2.5)$$

$$\beta S^* I^* - \gamma E^* = 0 \quad (2.6)$$

$$\gamma E^* - \nu I^* = 0 \quad (2.7)$$

$$\nu I^* = 0 \quad (2.8)$$

จาก (2.8) จะได้ $I^* = 0$

แทนค่า $I^* = 0$ ใน (2.7) จะได้ $\gamma E^* - \nu(0) = 0$

$$E^* = 0$$

แทนค่า $I^* = 0$ และ $E^* = 0$ ใน (2.6) จะได้ $\beta S^*(0) - \gamma(0) = 0: \beta \neq 0$

ดังนั้น $S^* = 0$ หรือ $S^* \neq 0$

จาก (S^*, E^*, I^*, R^*)

ถ้า $S^* = 0$ จะได้ $N = R^*$

ถ้า $S^* \neq 0$ จะได้ $N = S^* + R^*$

ถ้า $S^* = N$ จะได้ $R^* = 0$

จะได้ว่าเมื่อแทนค่า $I^* = 0$ ใน (2.5) จะได้ $-\beta S^*(0) = 0$

นั่นคือ $S^* = 0$ หรือ $S^* \neq 0$ เหมือนที่แสดงในข้างต้น

ดังนั้นจะได้จุดสมดุล ดังนี้

$$(S^*, E^*, I^*, R^*) = (0, 0, 0, N); S^* = 0$$

$$\text{หรือ } (S^*, E^*, I^*, R^*) = (N, 0, 0, 0); S^* = N$$

2.5 งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

พรพิมล จิตธรรมมา และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการกินยาของผู้ป่วยวัณโรคกรณีศึกษาอำเภอโนนสะอาด จังหวัดอุดรธานี ผลการศึกษา พบว่า ผู้ป่วยจะเป็นคนควบคุมกำกับกินยาวัณโรคเอง สิ่งสนับสนุนว่าผู้ป่วยจะกินยาได้ต่อเนื่องหรือไม่ประกอบด้วย (1) ยา ซึ่งประกอบด้วยจำนวน ขนาดของเม็ดยา และผลข้างเคียงของยา (2) สภาพร่างกายของผู้ป่วยเอง มีโรคประจำตัว เช่น หอบหืด เบาหวาน ความดัน โลหิตสูง (3) อายุของผู้ป่วย เช่น กรณีที่เป็นเด็ก หรือผู้สูงอายุ (4) คิดว่าตนเองหายแล้ว ในช่วงหลัง 3 เดือน (5) สภาพเศรษฐกิจการเดินทาง และค่าใช้จ่ายและในช่วง 2 อาทิตย์แรกที่เป็นหัวใจ สำคัญ ในการที่จะรักษาและยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อยังเป็นปัญหาอย่างมาก

ปรียา สินธุระวิทย์ และวันเพ็ญ ปิ่นราช (2555) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาแนวทางการควบคุมวัณโรคในชุมชนของโรงพยาบาลวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร พบว่า ผลการวิจัย จากการวิเคราะห์สถานการณ์ ของการควบคุมวัณโรคในชุมชน พบว่า ผู้ป่วยวัณโรค พี่เลี้ยงผู้ป่วยวัณโรค องค์กรในชุมชน มีความรู้ไม่เพียงพอ รวมทั้งเจ้าหน้าที่สาธารณสุขผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องยังขาดแนวทางในการควบคุมวัณโรคที่เหมาะสม จึงได้ร่วมกันพัฒนาแนวทางการควบคุมวัณโรค ดังนี้ 1) การค้นหาผู้ป่วยรายใหม่ในชุมชนในผู้สัมผัสร่วมบ้านของผู้ป่วยและกลุ่มเสี่ยงต่าง ๆ เพื่อรับการตรวจวินิจฉัย และควบคุมโรคอย่างรวดเร็ว 2) การรักษาอย่างมีประสิทธิภาพตามระบบ DOTS 3) การทำลายสิ่งปฏิภูลในชุมชน 4) การประสานงานส่งต่อข้อมูลทั้งในสถานบริการและในชุมชน เพื่อการเฝ้าระวัง ป้องกันควบคุมโรค ซึ่งผลจากการนำแนวทางพัฒนามาใช้พบว่า ผู้ป่วยวัณโรค พี่เลี้ยงผู้ป่วยวัณโรค องค์กรในชุมชน และเจ้าหน้าที่สาธารณสุข สามารถควบคุมวัณโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า การมีส่วนร่วมของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการการควบคุมวัณโรค ทำให้เกิดผลสำเร็จในด้านการควบคุมวัณโรคเกิดประโยชน์ต่อ ผู้รับบริการอย่างแท้จริง

จิระวรรณ พึ่งสกุล (2548) ได้ทำการศึกษาอัตราการขาดยาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการขาดยาของผู้ป่วยวัณโรคปอดรายใหม่ในระบบประกันสังคมของโรงพยาบาลเอกชน จังหวัดสมุทรปราการ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาออกเป็น 3กลุ่ม คือกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ศึกษาอัตราการขาดยาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการขาดยาของผู้ป่วยวัณโรคปอดรายใหม่ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเอกชน 14 แห่ง ตั้งแต่ 1 เมษายน - 30 กันยายน 2549 (6 เดือน) จำนวน 245 ราย กลุ่มตัวอย่างที่ 2 ศึกษา

สาเหตุการขาดยาของผู้ป่วยวัณโรคปอดรายใหม่โดยการติดตามผู้ป่วยที่ขาดยารวม 27 รายและกลุ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3 ศึกษากระบวนการรักษาวัณโรค ของโรงพยาบาลเอกชนทั้ง 21 แห่ง โดยการสัมภาษณ์หัวหน้าพยาบาลหรือผู้รับผิดชอบงานวัณโรค จากการ ทดสอบทางสถิติพบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติต่อการขาดยาของผู้ป่วยวัณโรคปอด รายใหม่ได้แก่ระดับความคิดเห็นต่อวัณโรค ปัจจัยด้านการศึกษาระยะที่อยู่การสูบบุหรี่การดื่มสุราและ การใช้ยาเสพติด การเลือกสถานพยาบาลโดยนายจ้าง การลางานมาพบแพทย์ ($P < 0.05$) กลุ่มตัวอย่างที่ 2 ผู้ป่วยที่ขาดยารวม 58 ราย สามารถติดตามได้ 27 ราย (ร้อยละ 46.6) ผู้ป่วยส่วนใหญ่ไม่มีผู้ดูแล สาเหตุการขาดยา ร้อยละ 44.4 เกิดจากผู้ป่วยคิดว่าหายแล้ว แพ้ยาร้อยละ 14.8 และกลับไปพักต่างจังหวัดร้อยละ 18.5 ผู้ป่วยร้อยละ 66.7 เริ่มมีอาการไอ/เหนื่อยและร้อยละ 63.0 คิดว่าจะกลับมารักษาวัณโรค กลุ่มตัวอย่างที่ 3 ร้อยละ 69.2 ของโรงพยาบาลเอกชนไม่มีผู้รับผิดชอบงานวัณโรคและทุกแห่งไม่มีคลินิกวัณโรคเฉพาะ โรงพยาบาล เอกชนส่วนใหญ่ไม่มีการติดตามผู้ป่วยเมื่อขาดยาและไม่มียุทธศาสตร์ DOTS มาใช้ในการดูแลรักษาผู้ป่วย วัณโรคการศึกษาครั้งนี้พบว่า ปัญหาการขาดยาของผู้ป่วยวัณโรค รายใหม่ในระบบประกันสังคมยังสูงกว่า เป้าหมายที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดผู้ป่วยที่ขาดยาส่วนใหญ่ด้านการทำงาน การลาการบริการรักษา ผู้ป่วยยังขาดการแนะนำ ในด้านการปฏิบัติตัว และขาดความเข้าใจเกี่ยวกับวัณโรค ดังนั้นการปรับปรุงระบบงานวัณโรคในโรงพยาบาลเอกชนให้มีประสิทธิภาพ การจัดการให้ความรู้แก่บุคลากร การสร้างเครือข่ายการติดตามแก้ปัญหาผู้ป่วยโดยการสนับสนุนจากสำนักงานประกันสังคม สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด อาจทำให้อัตราการขาดยาลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

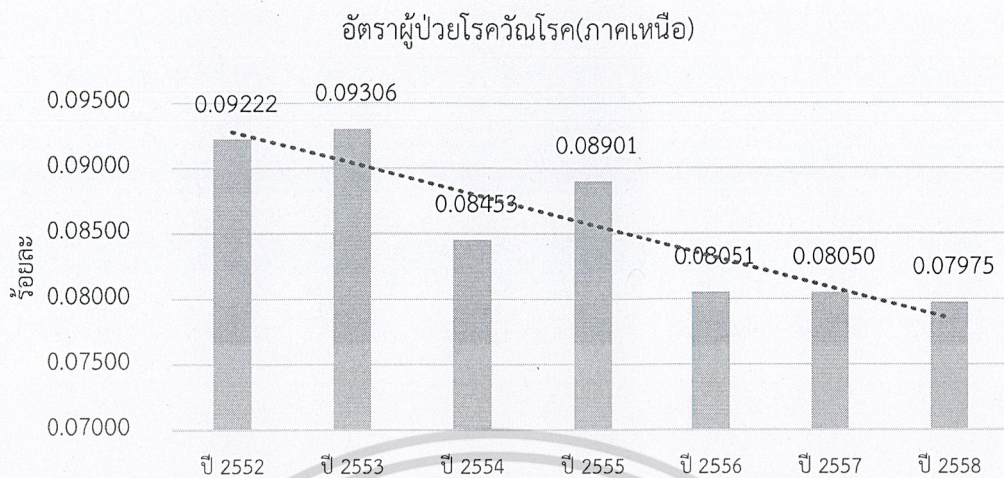
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างแบบจำลองโรคฉับโรค

ฉับโรคเป็นจัดว่าเป็นโรคติดต่อที่พบได้บ่อยชนิดหนึ่ง พบได้มากในผู้สูงอายุ ผู้ป่วยเอดส์ ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันโรคต่ำ และมักพบในผู้ที่มีฐานะยากจนหรืออยู่กันอย่างแออัด ฉับโรคถือเป็น 1 ใน 10 สาเหตุการเสียชีวิตของคนทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้เปิดเผยสถิติล่าสุดในปี พ.ศ.2558 ว่ามีผู้ที่ป่วยทั่วโลกทั้งหมด 10.4 ล้านคน และมีผู้ที่เสียชีวิตจากฉับโรคมามากถึง 1.8 ล้านคน ส่วนผู้ติดเชื้อฉับโรคที่อยู่ในระยะแฝง ซึ่งยังไม่แสดงอาการพบว่ามีมากถึง 1 ใน 3 ของประชากรทั่วโลก หรือเทียบเท่ากับ 2,000 ล้านคนทั่วโลก

ในประเทศไทยฉับโรคก็ยังเป็นโรคที่พบได้มากและยังอยู่ในสถานการณ์ที่น่าเป็นห่วง (แม้จะไม่ติด 10 อันดับสาเหตุการเสียชีวิตของคนไทยก็ตาม) องค์การอนามัยโลกได้จัดให้ประเทศไทยเป็น 1 ใน 22 ประเทศที่มีปัญหาฉับโรคสูงมากมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2521 แล้ว ซึ่งจำนวนของผู้ป่วยฉับโรครายใหม่ในกลุ่ม 22 ประเทศเหล่านี้ก็คิดเป็นกว่า 80% ของผู้ป่วยทั่วโลก (รายงานอุบัติการณ์ของการติดเชื้อฉับโรคของสำนักฉับโรค กระทรวงสาธารณสุข เมื่อปี พ.ศ.2555 พบผู้ป่วย 137 รายต่อประชากร 100,000 คน หรือประมาณ 90,000 คนต่อปี (ในการนี้เป็นเชื้อดื้อยาประมาณ 1,900 คน) และเสียชีวิต 16 รายต่อประชากร 100,000 คน ส่วนรายงานขององค์การอนามัยโลกในปีเดียวกันนี้ พบว่ามีผู้ป่วยฉับโรคในประเทศไทยทั้งหมด 61,208 รายที่มีการลงทะเบียน ทั้งนี้ยังไม่ได้นับรวมกับผู้ป่วยบางส่วนที่ไม่ได้มีการลงทะเบียนซึ่งเชื่อว่ามีอีกจำนวนมาก)

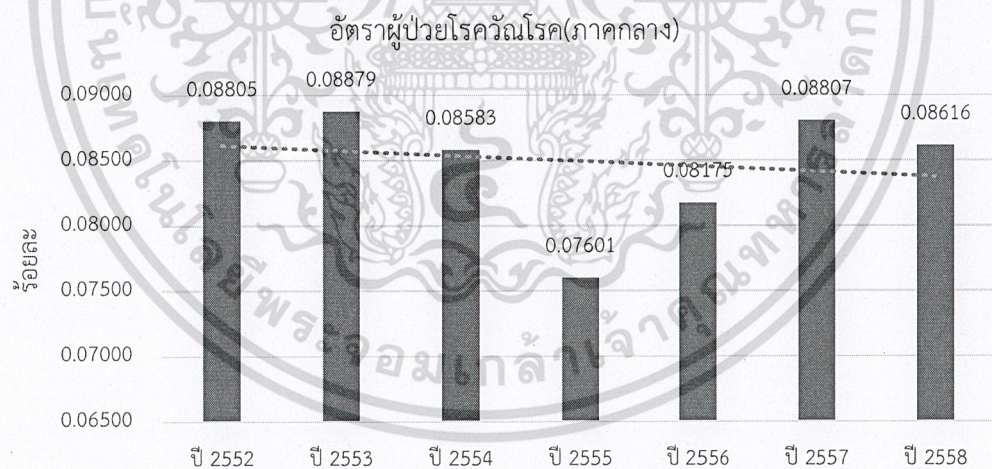
จากการเก็บข้อมูลผู้ป่วยโรคฉับโรคจากกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขนำข้อมูลมาแสดงมาจำแนกตามภูมิภาคและตามปีพ.ศ.และตามจังหวัด ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคฉี่หนูในภาคเหนือ

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค ฉี่หนู ในภาคเหนือ พบว่าในปี พ.ศ. 2556-2558 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคลดลงมากจากปีก่อนๆ ในปี พ.ศ. 2556 มีผู้ป่วยน้อยที่สุดคือร้อยละ 0.8453 และ ในปีที่มีผู้ป่วยสูงที่สุดคือปี พ.ศ. 2553 โดยผู้ป่วยเป็นโรคร้อยละ 0.09306



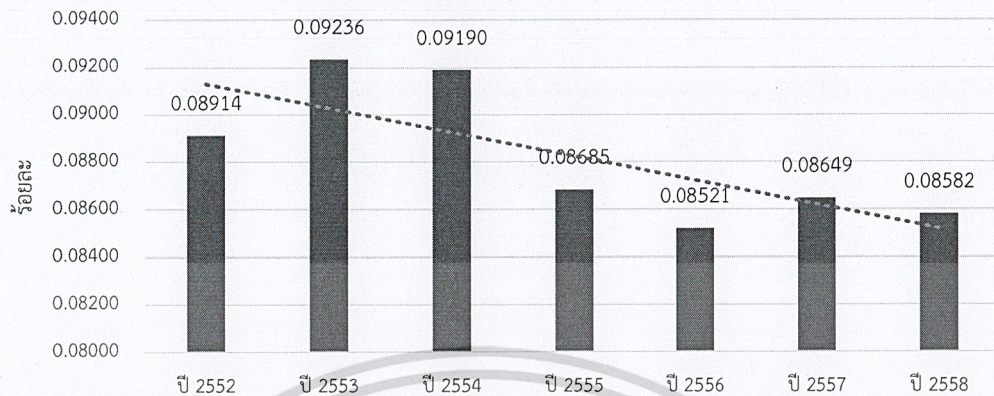
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคฉี่หนูในภาคกลาง

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค ฉี่หนู ในภาคกลาง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2558 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคคงที่ ในปี พ.ศ. 2555 พบว่ามีผู้ป่วยเป็นโรคน้อยที่สุดที่อัตราร้อยละ 0.07601 และ ในปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีผู้เป็นโรคสูงที่สุดที่อัตราร้อยละ 0.08879

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผู้ป่วยโรควัณโรค(ภาคใต้)

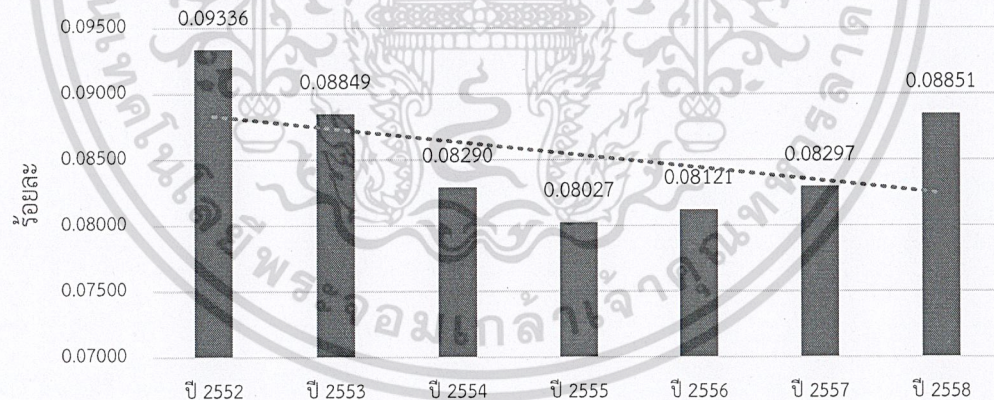


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคใต้

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค วัณโรค ในภาคใต้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2558 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคลดลง ในปี พ.ศ. 2556 พบว่ามีผู้ป่วยเป็นโรคน้อยที่สุดที่อัตราร้อยละ 0.08521 และในปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีผู้เป็นโรคสูงสุดที่อัตราร้อยละ 0.09236

อัตราผู้ป่วยโรควัณโรค(ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)



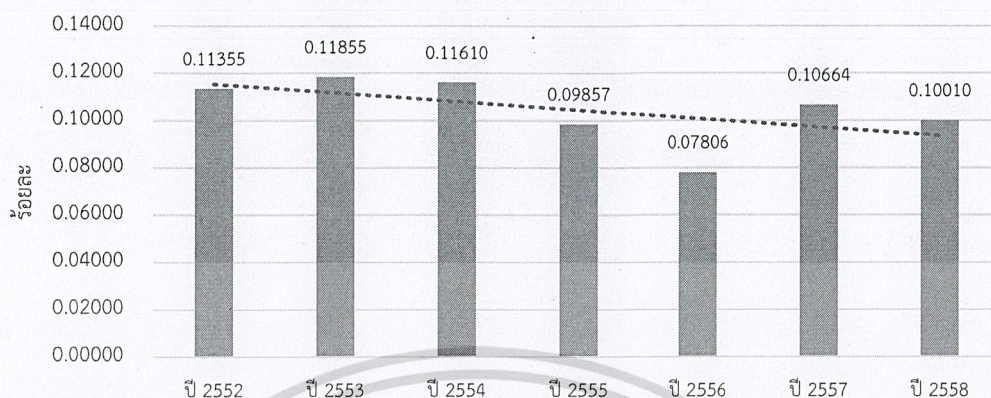
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค วัณโรค ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2555 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคลดลง แต่ในปีพ.ศ. 2556 - 2558 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคสูงขึ้น ในปี พ.ศ. 2555 มีผู้ป่วยเป็นโรคน้อยที่สุดที่อัตราร้อยละ 0.08027 และ ในปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีผู้เป็นโรคสูงสุดที่อัตราร้อยละ 0.09336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผู้ป่วยโรควัณโรค(ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

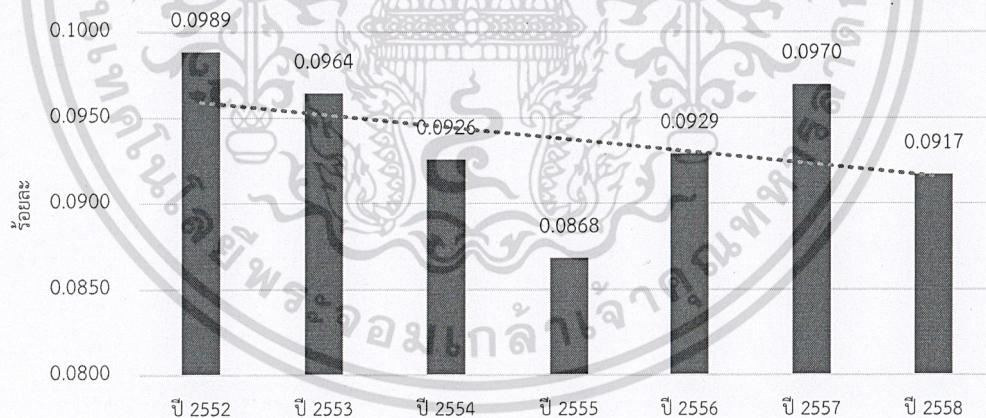


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค วัณโรค ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2558 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคลดลงเล็กน้อย ในปี พ.ศ.2556 มีผู้ป่วยเป็นโรคน้อยที่สุดที่อัตราร้อยละ 0.09857 และ ในปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีผู้เป็นโรคสูงสุดที่อัตราร้อยละ 0.11855

อัตราผู้ป่วยโรควัณโรค(ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)



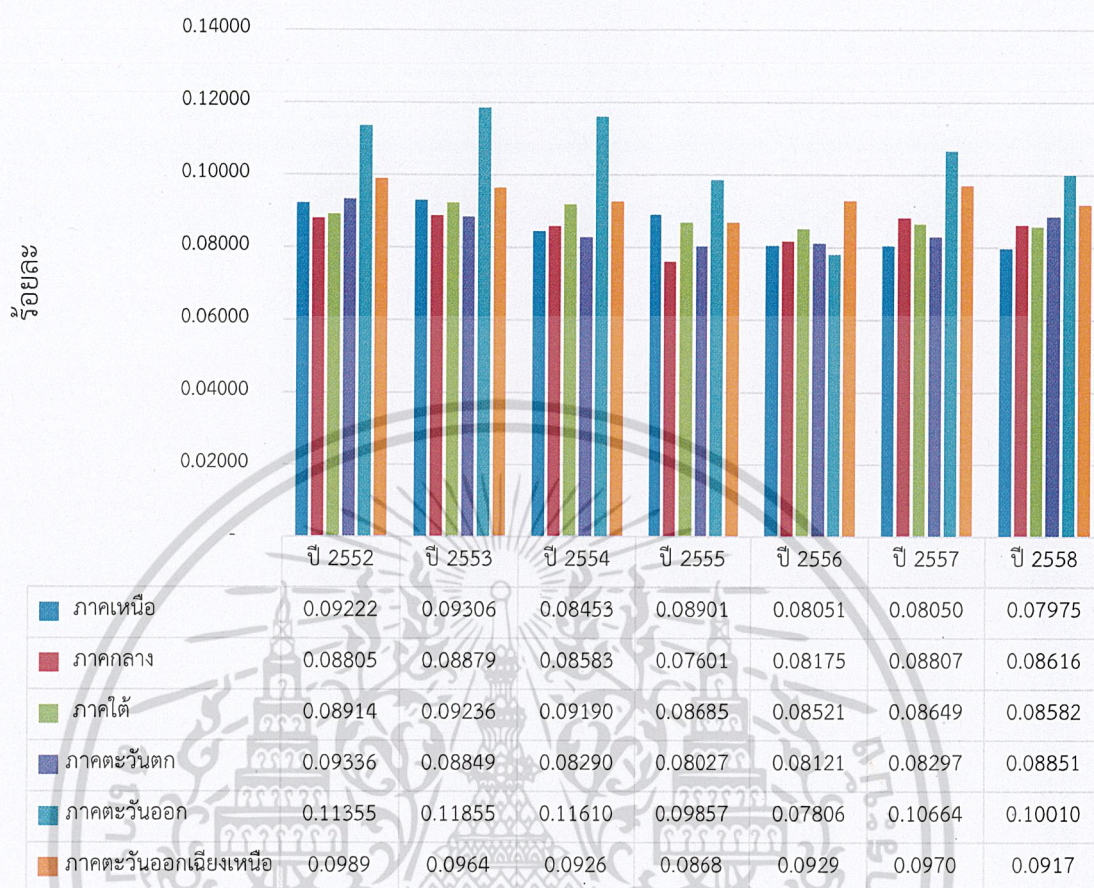
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรควัณโรคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค วัณโรค ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2558 มีแนวโน้มผู้ป่วยเป็นโรคลดลง ในปี พ.ศ.2555 มีผู้ป่วยเป็นโรคน้อยที่สุดที่อัตราร้อยละ 0.0868 และ ในปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีผู้เป็นโรคสูงสุดที่อัตราร้อยละ 0.0989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราผู้ป่วยโรคโควิด



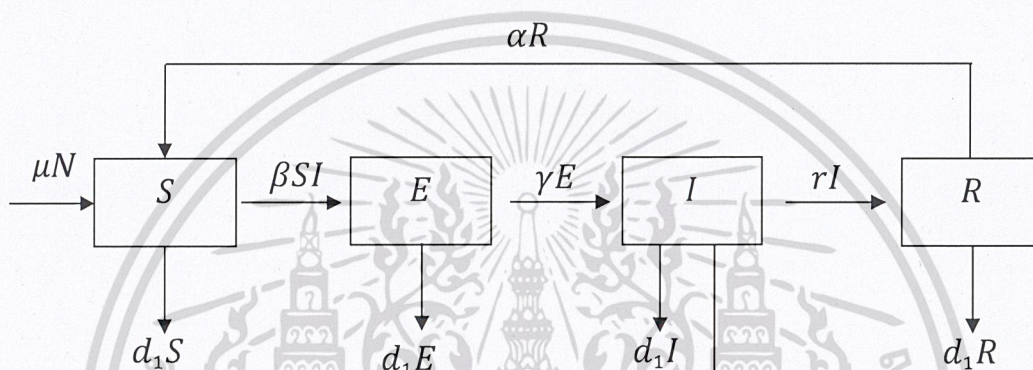
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคโควิดรวมทุกภาค

(ที่มา : กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข)

จากกราฟแสดงข้อมูลผู้ป่วยเป็นโรค วัณโรค ของทุกภาค ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2558 จะพบว่า ภาคตะวันออกมีจำนวนผู้ป่วยเป็นโรควัณโรคสูงที่สุดยกเว้นปี พ.ศ.2556 ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอัตราผู้ติดเชื้อสูงที่สุดในปีนั้นๆ

3.1.1 แบบจำลองโรควัณโรค

ในปัญหาพิเศษนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรควัณโรคที่สอดคล้องกับกลุ่มประชากร และลักษณะของการเกิดโรค ซึ่งกำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาดคงที่โดยจะแบ่งประชากรออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรคกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อวัณโรคแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อวัณโรคและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กลุ่มประชากรที่ฟื้นไข้จากการเป็นโรค



รูปที่ 3.8 แสดงแบบจำลองโรควัณโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (Variable) ต่าง ๆ ของแบบจำลองโรคโควิดใน ประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
N	จำนวนประชากรทั้งหมด	คน
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส	คน
E	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อไวรัสและไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อไวรัสและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
R	จำนวนประชากรที่พ้นไขจากไวรัส	คน

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (Parameters) ต่าง ๆ ของแบบจำลองโรคโควิดในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
μ	อัตราการเกิดของประชากร	ต่อคนต่อวัน
d_1	อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร	ต่อคนต่อวัน
d_2	อัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัส	ต่อคนต่อวัน
β	อัตราการถ่ายทอดเชื้อไวรัส	ต่อคนต่อวัน
γ	อัตราการพักตัวของเชื้อไวรัส	ต่อคนต่อวัน
r	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย	ต่อคนต่อวัน
α	อัตราของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	ต่อคนต่อวัน

คำอธิบาย

จำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาจัดให้อยู่ในประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส และเพิ่มขึ้นอีกจากประชากรกลุ่มที่ฟื้นไข้จากเชื้อไวรัสแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส ในขณะที่ประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อนี้จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะพักตัวของเชื้อไวรัส ทำให้กลุ่มประชากรที่อยู่ในระยะพักตัวของเชื้อไวรัสเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่อยู่ในระยะพักตัวของเชื้อไวรัสจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรที่อยู่ในกลุ่มที่ติดเชื้อไวรัส ทำให้กลุ่มประชากรที่ติด

เอกสารนี้เชื้อไวรัสเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อไวรัสจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ เสียชีวิตจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดเชื้อไวรัส และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่ฟื้นไข้จากการติดเชื้อไวรัส ทำให้กลุ่มประชากรที่ฟื้นไข้จากการติดเชื้อไวรัสเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มประชากรที่ฟื้นไข้จากการติดเชื้อไวรัสจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส

3.2 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคไวรัส

3.2.1 สมการโรคไวรัส

สร้างแบบจำลองคนที่ติดเชื้อ

$$\frac{dS}{dt} = \mu N + \alpha R - d_1 S - \beta SI \quad (3.1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - \gamma E - d_1 E \quad (3.2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \gamma E - d_1 I - d_2 I - rI \quad (3.3)$$

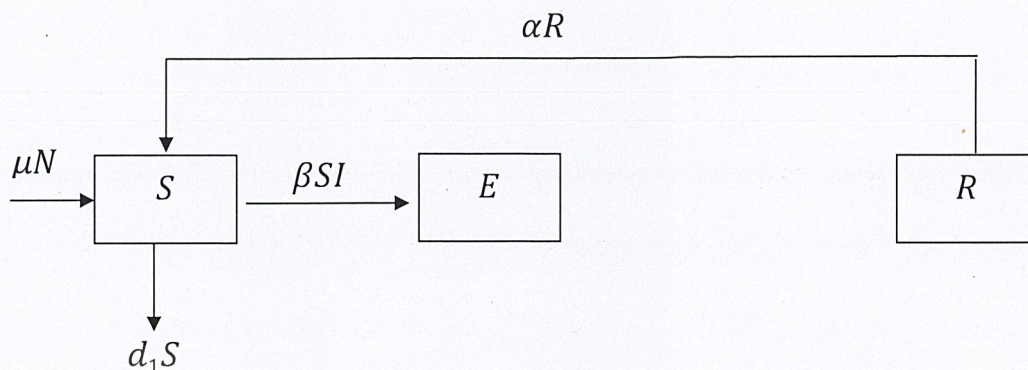
$$\frac{dR}{dt} = rI - d_1 R - \alpha R \quad (3.4)$$

โดยที่ $N = S + E + I + R$

คำอธิบายความหมายแต่ละสมการแบบจำลองโรคไวรัส

1. สมการ (3.1) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อโรคไวรัส โดยที่ $+\mu N$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส S เพราะจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นมาด้วยอัตรา μ และ $+\alpha R$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส S ซึ่งเปลี่ยนมาจากประชากรที่ฟื้นไข้จากโรค R

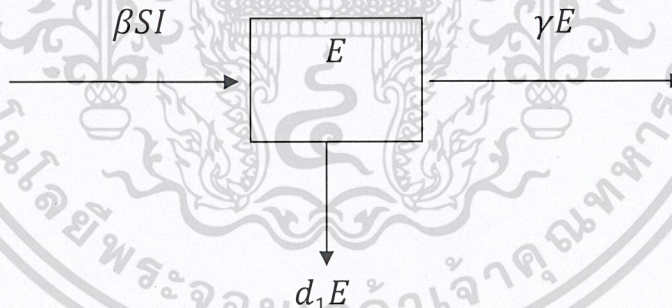
$-d_1 S$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส S เพราะการเสียชีวิตด้วยอัตรา d_1 และ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัส S เพราะมีการติดเชื้อไวรัสด้วยอัตรา β จะสังเกตได้ว่า ผลจากการที่เข้าระยะการติดเชื้อโรคนี้นั้นอยู่กับผลคูณของ S และ I



รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคพิษสุนัขบ้าของสมการ(3.1)

2. สมการ (3.2) $\frac{dE}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อพิษสุนัขบ้า โดยที่ $+\beta SI$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อพิษสุนัขบ้า E ซึ่งเปลี่ยนมาจากประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อพิษสุนัขบ้า S

$-d_1E$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อพิษสุนัขบ้า E เพราะการเสียชีวิตด้วยอัตรา d_1 และ $-\gamma E$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อพิษสุนัขบ้า E เพราะมีการฟักตัวของเชื้อพิษสุนัขบ้าด้วยอัตรา γ



รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคพิษสุนัขบ้าของสมการ(3.2)

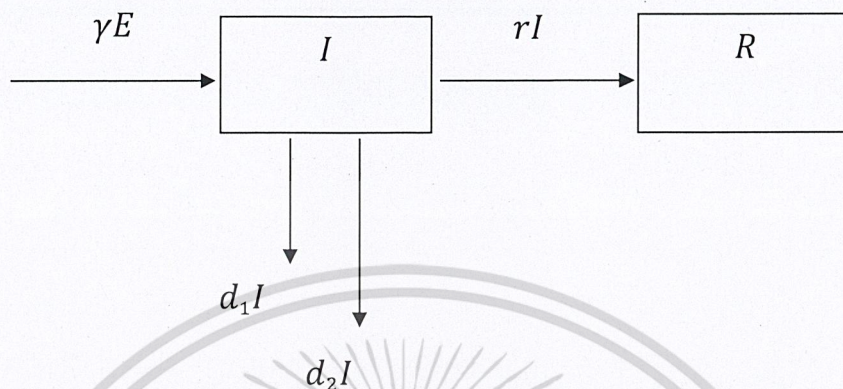
3. สมการ (3.3) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อพิษสุนัขบ้า โดยที่ $+\gamma E$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อพิษสุนัขบ้า I ซึ่งเปลี่ยนมาจากประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อพิษสุนัขบ้า

$-d_1I$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อพิษสุนัขบ้า I เพราะการเสียชีวิตด้วย

อัตรา d_1 , $-d_2I$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อพิษสุนัขบ้า I เพราะการเสียชีวิตจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

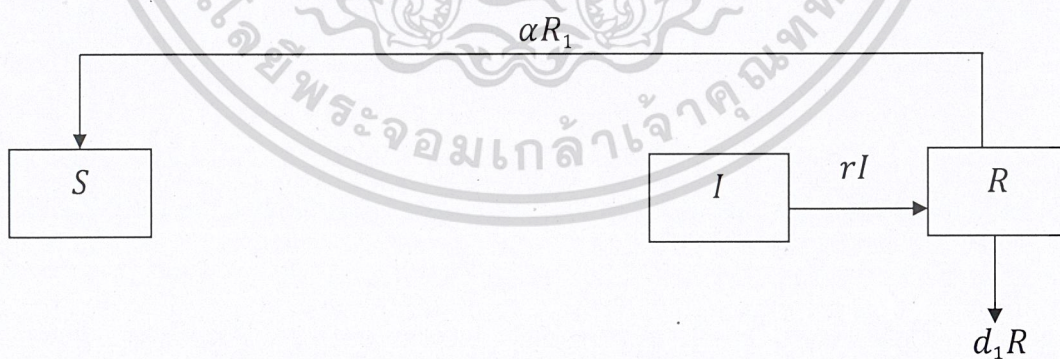
โรคด้วยอัตรา d_2 และ $-rI$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรค I เพราะมีการฟื้นไข้จากโรคด้วยอัตรา r



รูปที่ 3.11 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคติดเชื้อของสมการ(3.3)

4. สมการ (3.4) $\frac{dR}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นไข้จากเชื้อโรค โดยที่ $+rI$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ฟื้นไข้จากเชื้อโรค R ซึ่งเปลี่ยนมาจากประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรค I

$-d_1R$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นไข้จากเชื้อโรค เพราะการเสียชีวิตด้วยอัตรา d_1 และ $-\alpha R$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นไข้จากเชื้อโรค R เพราะเปลี่ยนเป็นประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคด้วยอัตรา α



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคติดเชื้อของสมการ(3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองสามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = \mu N + \alpha R - d_1 S - \beta SI \quad (3.1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - \gamma E - d_1 E \quad (3.2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \gamma E - d_1 I - d_2 I - rI \quad (3.3)$$

$$\frac{dR}{dt} = rI - d_1 R - \alpha R \quad (3.4)$$

โดยที่ $N = S + E + I + R$

3.3 จุดสมดุลของสมการ

จากเงื่อนไขระบบสมการของแบบจำลองโรคไวรัสโรค

กำหนดให้ $\frac{dS}{dt}, \frac{dE}{dt}, \frac{dI}{dt}, \frac{dR}{dt} = 0$ หาจุดสมดุลของระบบสมการ

ให้ (S^*, E^*, I^*, R^*) เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ

จะได้สมการดังนี้

$$\mu N + \alpha R - d_1 S - \beta SI = 0 \quad (3.5)$$

$$\beta SI - \gamma E - d_1 E = 0 \quad (3.6)$$

$$\gamma E - d_1 I - d_2 I - rI = 0 \quad (3.7)$$

$$rI - d_1 R - \alpha R = 0 \quad (3.8)$$

การแก้ระบบสมการเพื่อหาค่า S^*, E^*, I^*, R^*

สมมติให้ $I = p$ และ $E = z$ จะได้

$$\begin{aligned} \text{Solve}[\{(\mu * N) + (\alpha * R) - (d_1 * S) - (\beta * S * p) = \\ = 0, (\beta * S * p) - (\gamma * z) - (d_1 * z) = \\ = 0, (\gamma * z) - (d_1 * p) - (d_2 * p) - (r * p) = \\ = 0, (r * p) - (d_1 * R) - (\alpha * R) == 0\}, \{S, z, p, R\}] \end{aligned}$$

โดยนำไปคำนวณหาจุดสมดุลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณเชิงคณิตศาสตร์

จะได้จุดสมดุล 2 จุดได้แก่

จุดสมดุลจุดที่ 1 คือ

$$S^* = \frac{N\mu}{d_1}, E^* = 0, I^* = 0, R^* = 0$$

จุดสมดุลจุดที่ 2 คือ

$$S^* = \frac{(\gamma+d_1)(r+d_1+d_2)}{\beta\gamma}$$

$$E^* = -\frac{(\alpha+d_1)(r+d_1+d_2)(-N\beta\gamma\mu+d_1(\gamma+d_1)(r+d_1+d_2))}{\beta\gamma(d_1(\alpha\gamma+r(\alpha+\gamma)+d_1(r+\alpha+\gamma+d_1))+(\alpha+d_1)(\gamma+d_1)d_2)}$$

$$I^* = -\frac{(\alpha+d_1)(-N\beta\gamma\mu+d_1(\gamma+d_1)(r+d_1+d_2))}{\beta d_1(\alpha\gamma+r(\alpha+\gamma)+d_1(r+\alpha+\gamma+d_1))+\beta(\alpha+d_1)(\gamma+d_1)d_2}$$

$$R^* = \frac{r(N\beta\gamma\mu-d_1(\gamma+d_1)(r+d_1+d_2))}{\beta d_1(\alpha\gamma+r(\alpha+\gamma)+d_1(r+\alpha+\gamma+d_1))+\beta(\alpha+d_1)(\gamma+d_1)d_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล

ความเสถียรภาพของจุดสมดุลสามารถพิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะของ Jacobian Matrix จากระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ordinary differential equations) ของสมการที่ (3.1) - (3.8) โดยกำหนดให้ Jacobian Matrix คือ

$$J_f = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} \\ J_{41} & J_{42} & J_{43} & J_{44} \end{bmatrix}$$

ที่จุดสมดุล (S^*, E^*, I^*, R^*)

โดยกำหนดให้

$$\frac{dS}{dt} = \mu N + \alpha R - d_1 S - \beta SI = f(S, E, I, R)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - \gamma c - d_1 E = g(S, E, I, R)$$

$$\frac{dI}{dt} = \gamma E - d_1 I - d_2 I - rI = h(S, E, I, R)$$

$$\frac{dR}{dt} = rI - d_1 R - \alpha R = l(S, E, I, R)$$

แถวที่ 1 จะได้

$$J_{11} = \frac{\partial f}{\partial S} = -d_1 - \beta I$$

$$J_{12} = \frac{\partial f}{\partial E} = 0$$

$$J_{13} = \frac{\partial f}{\partial I} = -\beta S$$

$$J_{14} = \frac{\partial f}{\partial R} = \alpha$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวที่ 2 จะได้

$$J_{21} = \frac{\partial g}{\partial S} = \beta I$$

$$J_{22} = \frac{\partial g}{\partial E} = -\gamma - d_1$$

$$J_{23} = \frac{\partial g}{\partial I} = \beta S$$

$$J_{24} = \frac{\partial g}{\partial R} = 0$$

แถวที่ 3 จะได้

$$J_{31} = \frac{\partial h}{\partial S} = 0$$

$$J_{32} = \frac{\partial h}{\partial E} = \gamma$$

$$J_{33} = \frac{\partial h}{\partial I} = -d_1 - d_2 - r$$

$$J_{34} = \frac{\partial h}{\partial R} = 0$$

แถวที่ 4 จะได้

$$J_{41} = \frac{\partial l}{\partial S} = 0$$

$$J_{42} = \frac{\partial l}{\partial E} = 0$$

$$J_{43} = \frac{\partial l}{\partial I} = r$$

$$J_{44} = \frac{\partial l}{\partial R} = -d_1 - \alpha$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$J_f^* = \begin{bmatrix} -d_1 - \beta I & 0 & -\beta S & \alpha \\ \beta I & -\gamma - d_1 & \beta S & 0 \\ 0 & \gamma & -d_1 - d_2 - r & 0 \\ 0 & 0 & r & -d_1 - \alpha \end{bmatrix} = 0$$

ค่าลักษณะเฉพาะสามารถหาได้จากสมการลักษณะเฉพาะ

$$\det(J_f^* - \lambda I_4) = 0$$

เมื่อ I_4 เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 4×4

$$I_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

จะได้ว่า

$$\det(J_f^* - \lambda I_4) = \begin{vmatrix} -d_1 - \beta I - \lambda & 0 & -\beta S & \alpha \\ \beta I & -d_1 - \gamma - \lambda & \beta S & 0 \\ 0 & \gamma & -d_1 - d_2 - r - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & r & -d_1 - \alpha - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

เมื่อแทนค่าที่จุดสมดุล (S^*, E^*, I^*, R^*)

จะได้สมการลักษณะเฉพาะคือ

$$5.904557 \times 10^{-11} + 2.910993 \times 10^{-7} \lambda + 0.000170 \lambda^2 + 0.030510 \lambda^3 + \lambda^4 = 0$$

วิธีการทดสอบแบบเรท์เฮอริวิตซ์ (Routh-Hurwitz Criteria)

กำหนดให้

$$\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1}\lambda + a_n = 0$$

จะได้ว่า

$$\lambda^4 + 0.030510\lambda^3 + 0.000170\lambda^2 + 2.910993 \times 10^{-7}\lambda + 5.904557 \times 10^{-11} = 0$$

จากสมการลักษณะเฉพาะ กำหนดให้ $k = 4$

โดยที่เทอมของ (l, m) ในเมทริกซ์ H_j คือ

$$a_{2l-m} \text{ สำหรับ } 0 < 2l - m < k,$$

$$1 \text{ สำหรับ } 2l = m$$

$$0 \text{ สำหรับ } 2l - m \text{ หรือ } sl > k + m$$

จะได้ว่า

$$H_1 = (a_1);$$

$$H_1 = (0.030510)$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{pmatrix};$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} & 0.030510 & & 1 \\ 2.910993 \times 10^{-7} & 2.910993 \times 10^{-7} & & 0.000170 \end{pmatrix}$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} a_1 & 1 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ a_5 & a_4 & a_3 \end{pmatrix};$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} 0.030510 & 1 & 0 \\ 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 & 0.030510 \\ 0 & 5.904557 \times 10^{-11} & 2.910993 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

$$H_4 = \begin{pmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 \\ a_7 & a_6 & a_5 & a_4 \end{pmatrix};$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_4 = \begin{pmatrix} 0.030510 & 1 & 0 & 0 \\ 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 & 0.030510 & 1 \\ 0 & 5.904557 \times 10^{-11} & 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 \\ 0 & 0 & 0 & 5.904557 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

แล้วทุกค่าเงาจะต้องมีส่วนจริงเป็นลบ สภาวะคงที่ \bar{N} จะเสถียรภาพภาพก็ต่อเมื่อดีเทอร์มิแนนต์
ของทุกเมทริกซ์เฮอริวิตซ์จะต้องเป็นบวก ซึ่งก็คือ

$$\det H_j > 0 \quad \text{โดยที่ } j = 1, 2, 3, \dots, k$$

$$\det H_1 = |0.030510|$$

$$= 0.030510 > 0$$

$$\det H_2 = \begin{vmatrix} 0.030510 & 1 \\ 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 \end{vmatrix}$$

$$= 4.9 \times 10^{-6} > 0$$

$$\det H_3 = \begin{vmatrix} 0.030510 & 1 & 0 \\ 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 & 0.030510 \\ 0 & 5.904557 \times 10^{-11} & 2.910993 \times 10^{-7} \end{vmatrix}$$

$$= 1.370143 \times 10^{-12} > 0$$

$$\det H_4$$

$$= \begin{vmatrix} 0.030510 & 1 & 0 & 0 \\ 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 & 0.030510 & 1 \\ 0 & 5.904557 \times 10^{-11} & 2.910993 \times 10^{-7} & 0.000170 \\ 0 & 0 & 0 & 5.904557 \times 10^{-11} \end{vmatrix}$$

$$= 8.090086 \times 10^{-23} > 0$$

จะเห็นว่า

$\det H_j > 0$ เมื่อ $j = 1, 2, 3, 4$ ซึ่งตรงกับเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz Criteria แสดงว่ามีความ
เสถียรภาพ

4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

หัวข้อนี้เป็นกรวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลข โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงสถิติในชีวิตจริงเกี่ยวกับโรคโควิด-19 ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปร (variables) ต่างๆของผู้ป่วยโรคโควิด-19ในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	10	คน
E	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้	10	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	10	คน
R	จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ	10	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด $= S + E + I + R$	40	คน

ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (parameters) ต่างๆของผู้ป่วยโรคโควิด-19ในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
μ	อัตราการเกิดของประชากร	$\frac{1}{365 \times 75}$	ต่อคนต่อวัน
d_1	อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร	$\frac{1}{365 \times 75}$	ต่อคนต่อวัน
d_2	อัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัส	$\frac{1}{365} \cdot \frac{1}{2} \times \frac{1}{365} \cdot \frac{1}{3} \times \frac{1}{365}$	ต่อคนต่อวัน
β	อัตราการถ่ายทอดเชื้อไวรัส	$\frac{1}{80 \times 365}$ $\frac{1}{8 \times 365}$ $\frac{1}{0.0897 \times 365}$	ต่อคนต่อวัน
γ	อัตราการฟักตัวของเชื้อไวรัส	$\frac{1}{49}$	ต่อคนต่อวัน
r	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย	$\frac{1}{0.5 \times 365} \cdot \frac{1}{365} \cdot \frac{1}{2} \times \frac{1}{365}$	ต่อคนต่อวัน
α	อัตราของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	$\frac{1}{365}$	ต่อคนต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายค่าตัวแปรเสริมของแบบจำลองในตารางที่ 4.2

μ คือ อัตราการเกิดของประชากร คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรในปีนั้น

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \mu = \frac{1}{365 \times 75} / \text{คน/วัน}$$

d_1 คือ อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรในปีนั้น

$$\text{ดังนั้น จะได้ } d_1 = \frac{1}{365 \times 75} / \text{คน/วัน}$$

d_2 คือ อัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อวัณโรค คิดจาก ระยะเวลาในการติดเชื้อวัณโรคและไม่ได้รับการรักษาส่งผลให้เสียชีวิต

$$\text{ดังนั้นจะได้ } d_2 = \frac{1}{365} + \frac{1}{2 \times 365} + \frac{1}{3 \times 365} / \text{คน/วัน}$$

β คือ อัตราการถ่ายทอดเชื้อวัณโรค คิดจาก อัตราการติดเชื้อของคนในประเทศไทย และเกิดจากการสมมติ

$$\text{ดังนั้นจะได้ } \beta = \frac{1}{80 \times 365} + \frac{1}{8 \times 365} + \frac{1}{0.0897 \times 365} / \text{คน/วัน}$$

γ คือ อัตราการฟักตัวของเชื้อวัณโรค คิดจาก ระยะเวลาการฟักตัวของเชื้อวัณโรค

$$\text{ดังนั้นจะได้ } \gamma = \frac{1}{49} / \text{คน/วัน}$$

r คือ อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย คิดจาก ระยะเวลาในการรักษา

$$\text{ดังนั้นจะได้ } r = \frac{1}{0.5 \times 365} + \frac{1}{365} + \frac{1}{2 \times 365} / \text{คน/วัน}$$

α คือ อัตราของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ เกิดจากการสมมติ

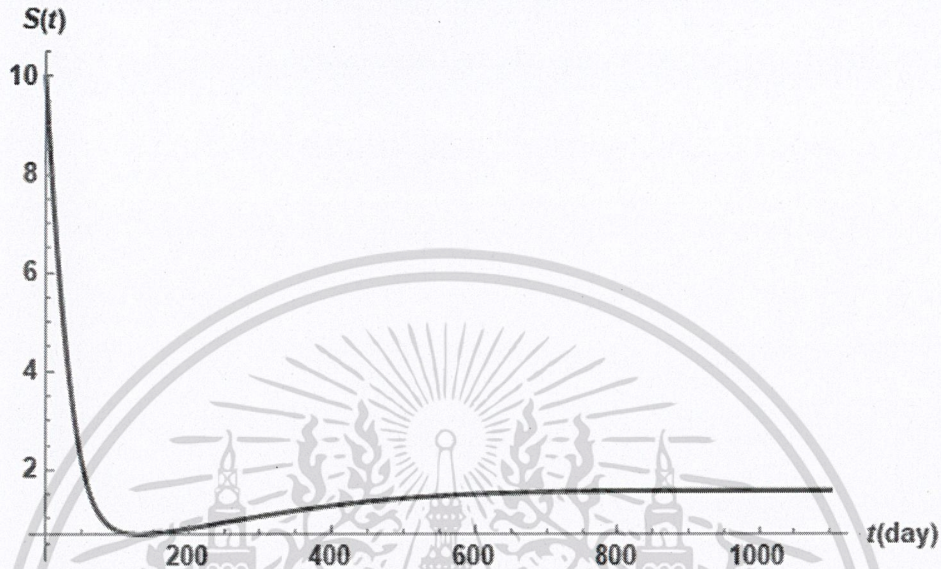
$$\text{ดังนั้น จะได้ } \alpha = \frac{1}{365} / \text{คน/วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณเชิงคณิตศาสตร์

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคโควิดโรค กรณี

$$S(0) = E(0) = I(0) = R(0) = 10$$

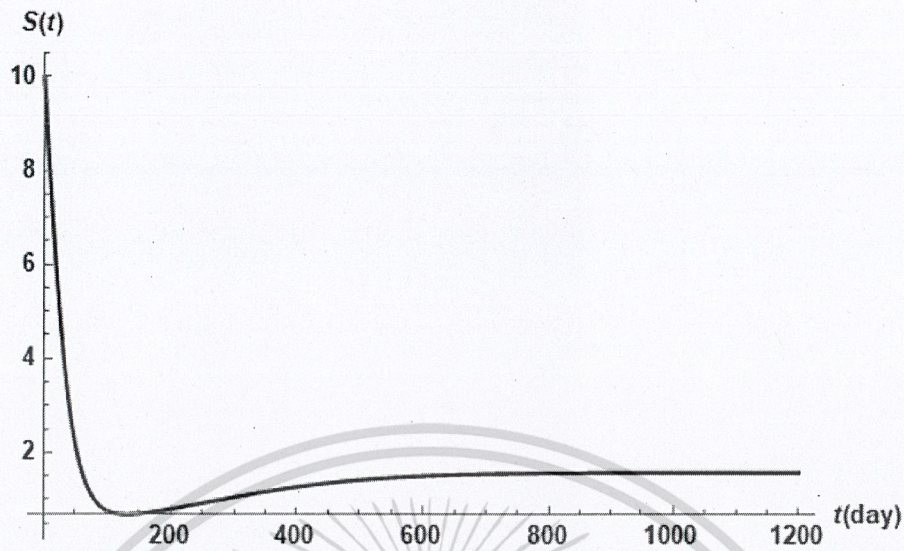


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $d_2 = \frac{1}{365}$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.1 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 1.576 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 900 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 900 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

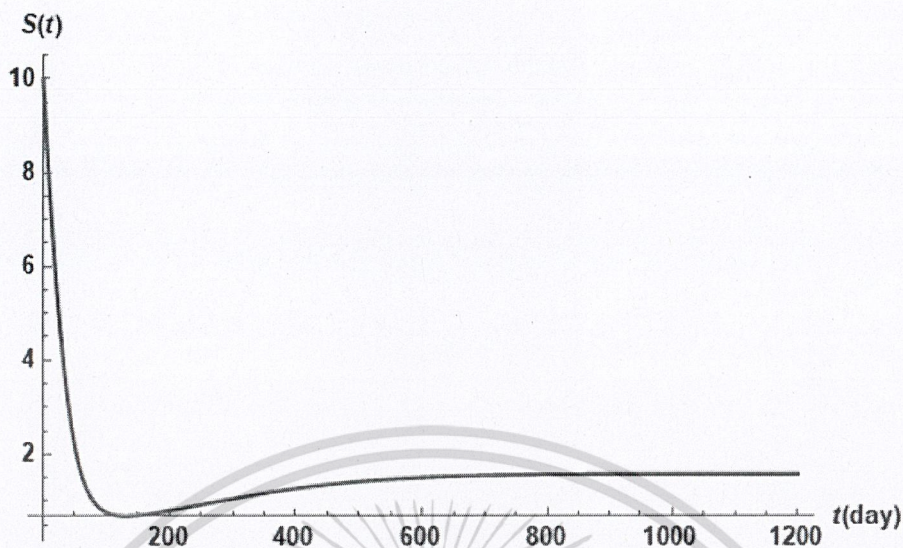


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.2 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 1.272 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 1,100 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 1,100 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

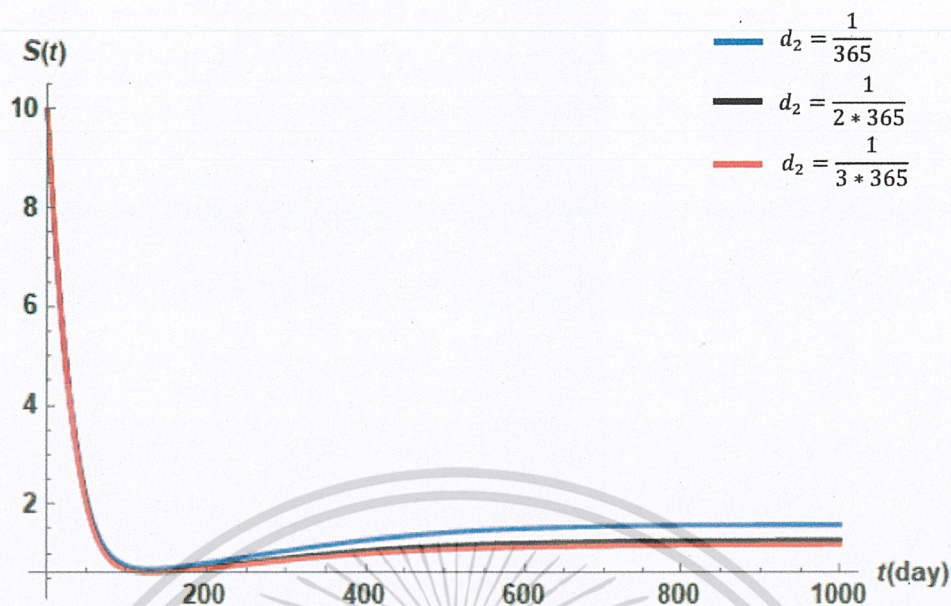


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

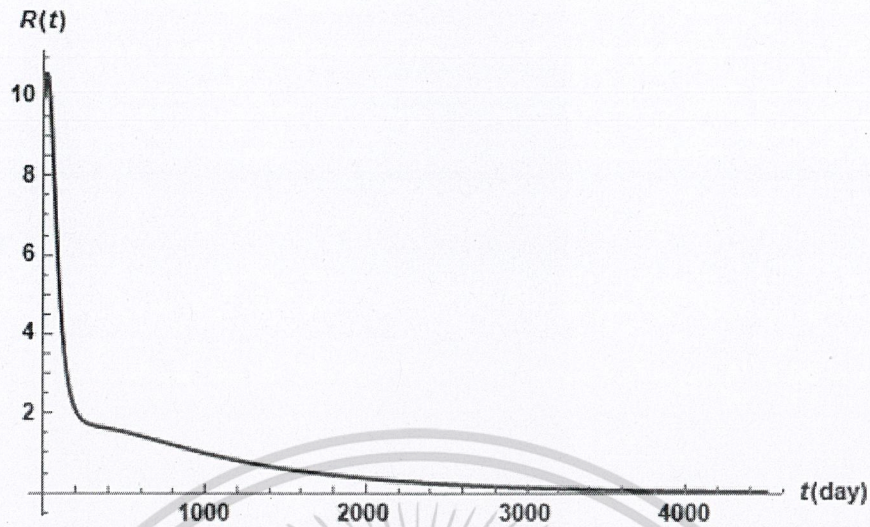
จากรูปที่ 4.3 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 1.181 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 1,150 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 1,150 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโคโรนา (S) เทียบกับเวลา เมื่อ d_2 ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.4 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัสโคโรนา (d_2) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟพุ่งเข้าสู่สมตลค์ช้าลง สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตเนื่องจากการติดเชื้อไวรัสโคโรนามีค่าเพิ่มขึ้น จาก 1 ปี เป็น 2 ปี และ 3 ปี ส่งผลให้ความคุ้มครองผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโคโรนาได้ช้าลง ระยะเวลาในการควบคุมโรคนานขึ้น

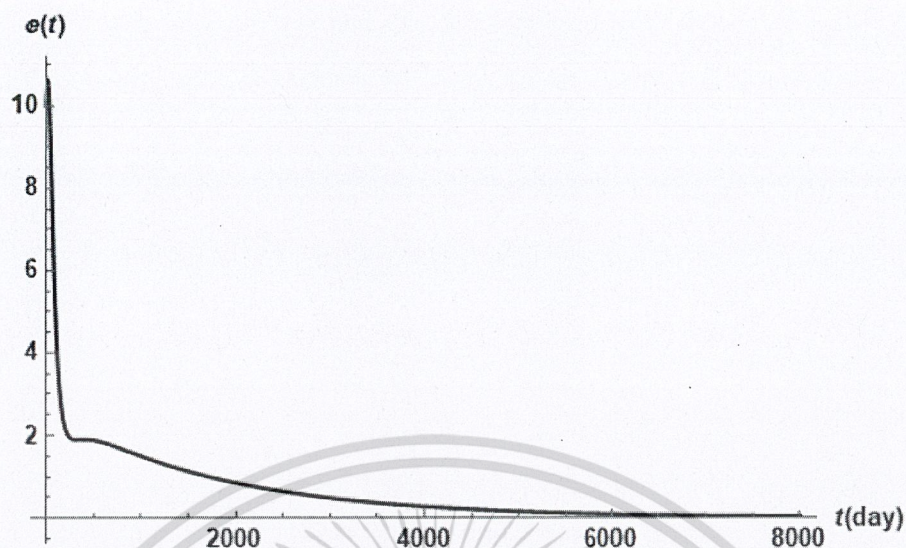


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.5 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.018 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 4,100 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 4,100 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



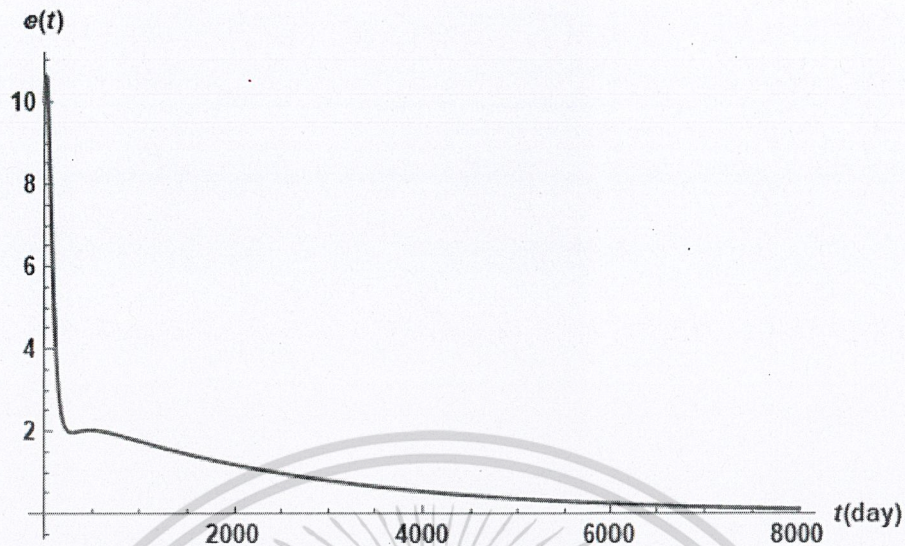
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.6 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.088 คน (สู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 6,000 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 6,000 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



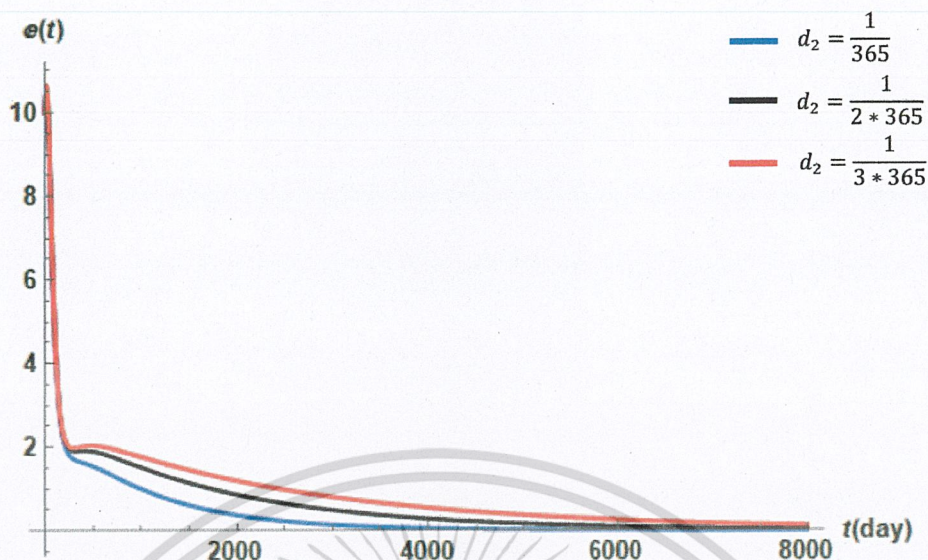
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.7 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะลู่เข้าสู่ 0.165 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 7,500 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 7,500 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

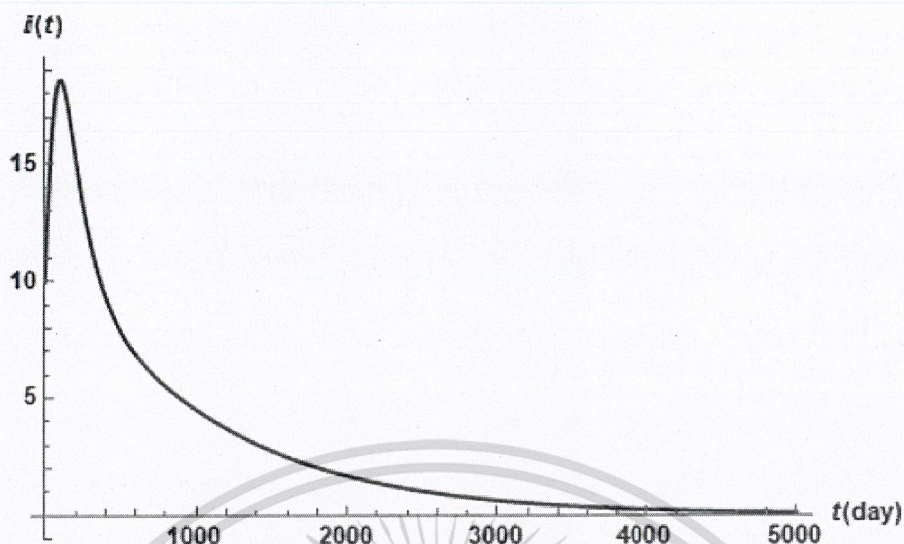
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื่อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้ (E) เทียบกับเวลา
เมื่อ d_2 ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.8 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัสโรค (d_2) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟเข้าสู่สมดุลช้าลง สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตเนื่องจากติดเชื้อไวรัสโรคมียิ่งเพิ่มขึ้น จาก 1 ปี เป็น 2 ปี และ 3 ปี ส่งผลให้ความคุ้มครองผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้อแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้ช้าลง ใช้เวลาในการควบคุมโรคนานขึ้น

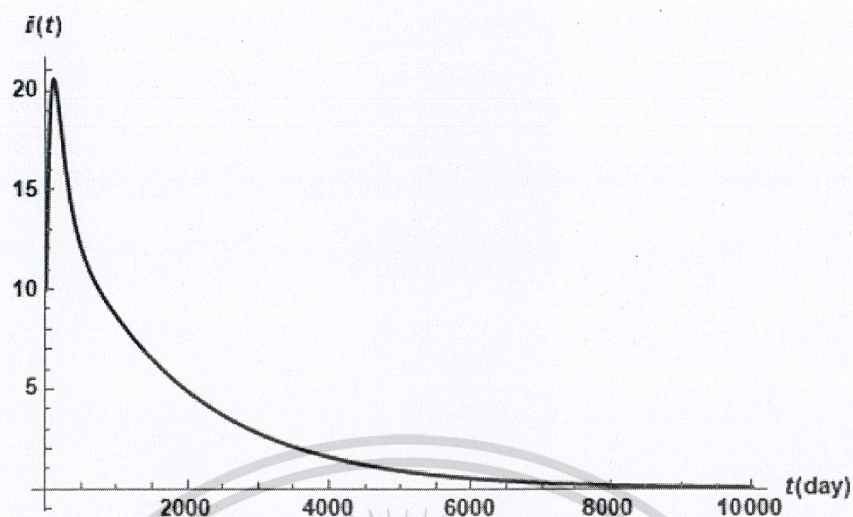


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.9 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะลู่เข้าสู่ 0.085 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 4,900 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 4,900 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

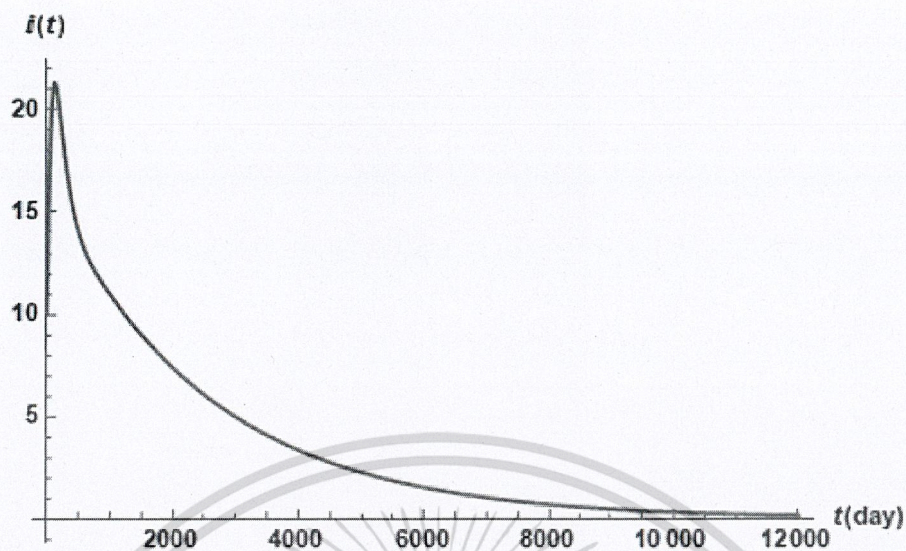


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.10 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.122 คน (เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 8,500 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 8,500 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

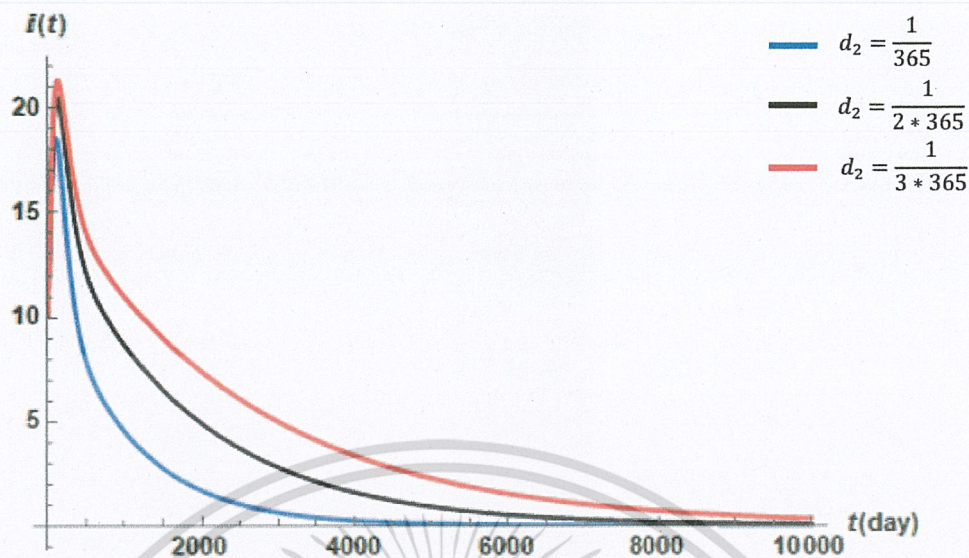


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายถอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.11 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายถอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.210 คน (กลุ่มเข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 11,000 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายถอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 11,000 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

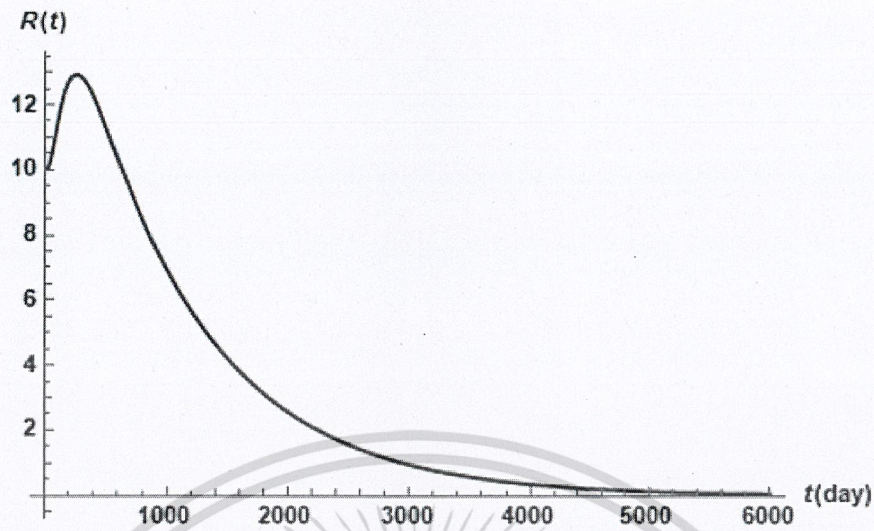


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

เมื่อ d_2 ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.12 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อวัณโรค (d_2) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟเข้าสู่สมดุลช้าลง สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตเนื่องจากติดเชื้อวัณโรคมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 1 ปี เป็น 2 ปี และ 3 ปี ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ช้าลง ใช้เวลาในการควบคุมโรคนานขึ้น



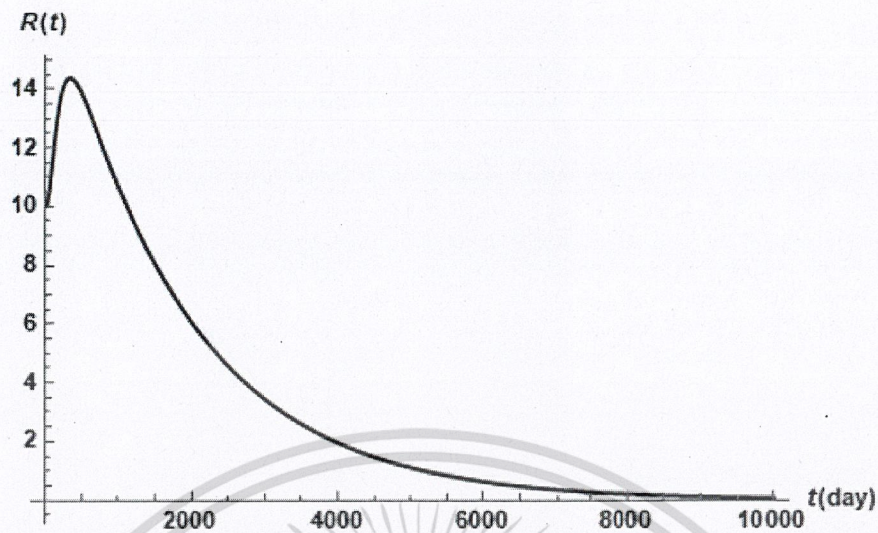
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.13 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) จะลู่เข้าสู่ 0.048 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 5,700 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 5,700 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

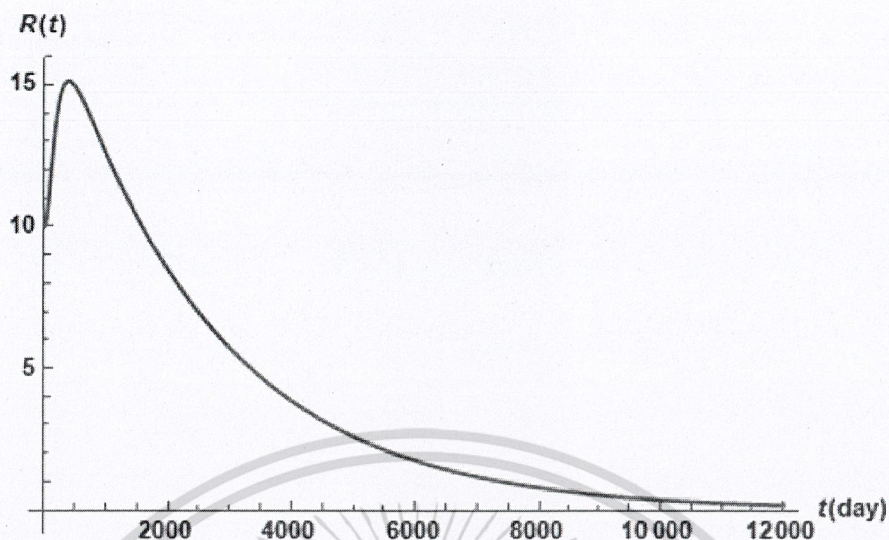


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.14 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) จะลู่เข้าสู่ 0.114 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 9,000 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 9,000 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

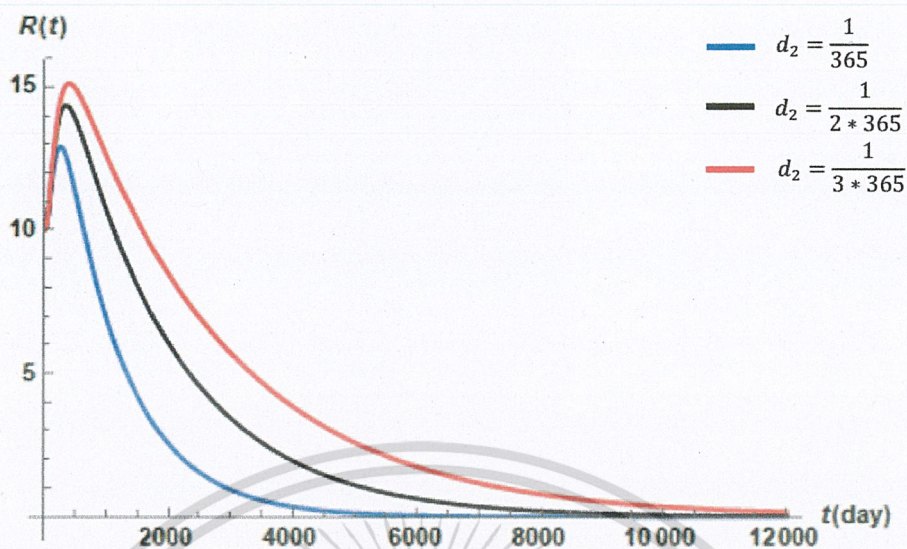


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.15 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) จะลู่เข้าสู่ 0.163 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 12,000 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 12,000 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

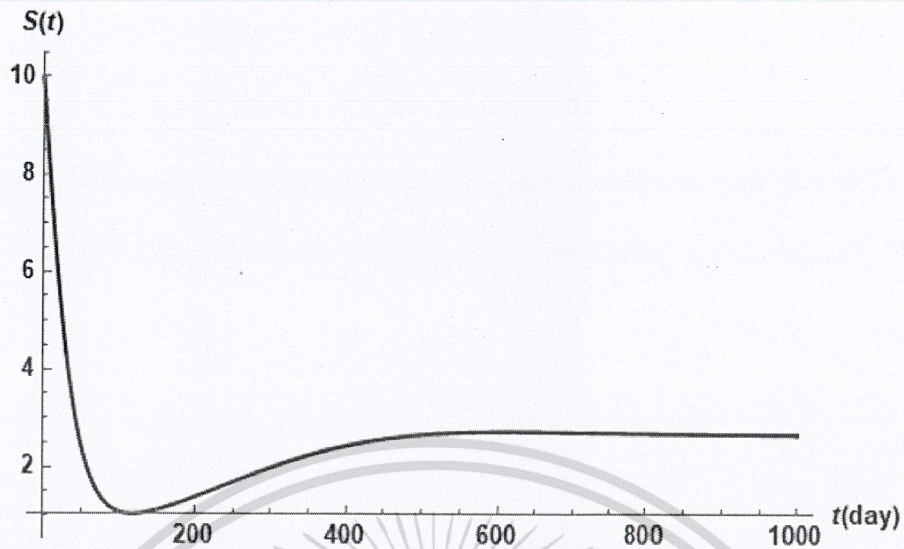


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา

เมื่อ d_2 ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.16 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อไวรัสโคโรนา (d_2) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟเข้าสู่สมดุลช้าลง สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตเนื่องจากติดเชื้อไวรัสโคโรนามีค่าเพิ่มขึ้น จาก 1 ปี เป็น 2 ปี และ 3 ปี ส่งผลให้ความคุ้มครองผู้ที่ยังป่วยจากการติดเชื้อได้ช้าลง ใช้เวลาในการควบคุมโรคนานขึ้น



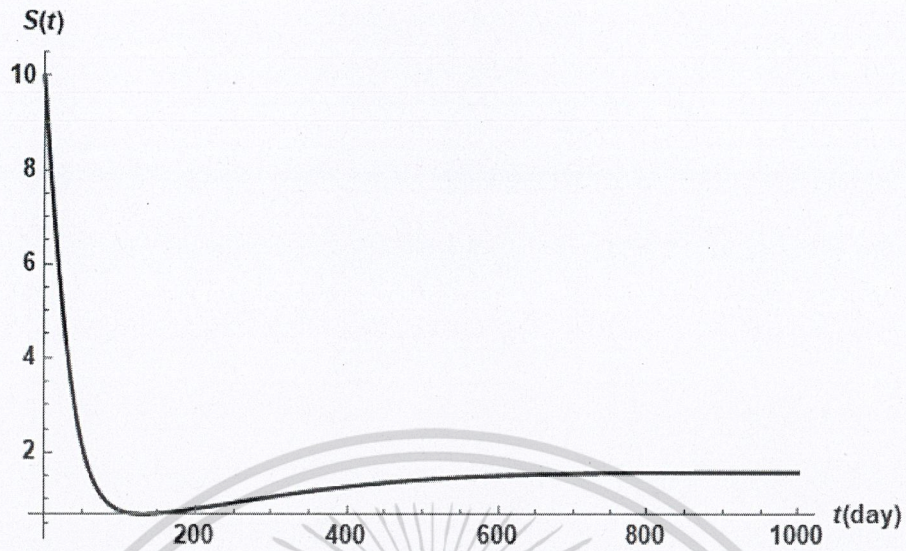
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{0.5 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.17 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 2.674 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 600 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 600 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

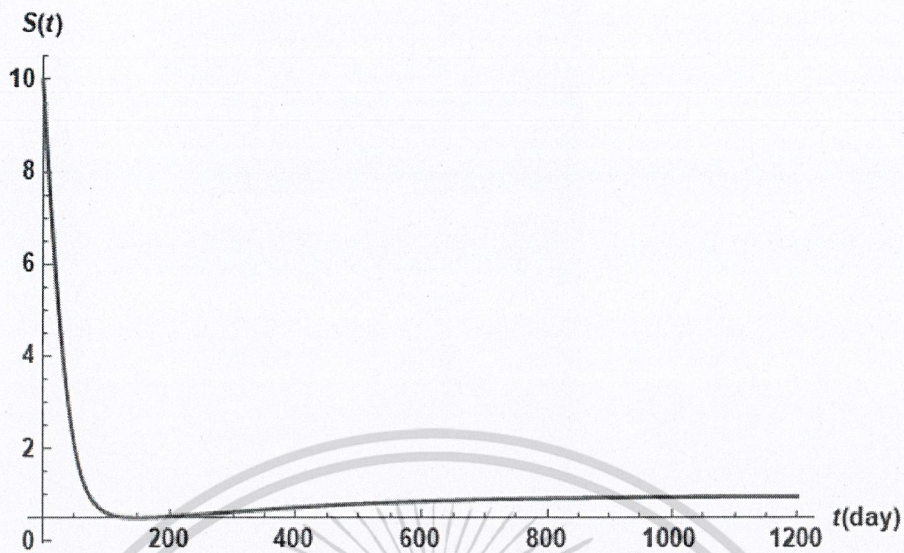


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{365}$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.18 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 0.573 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 900 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 900 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



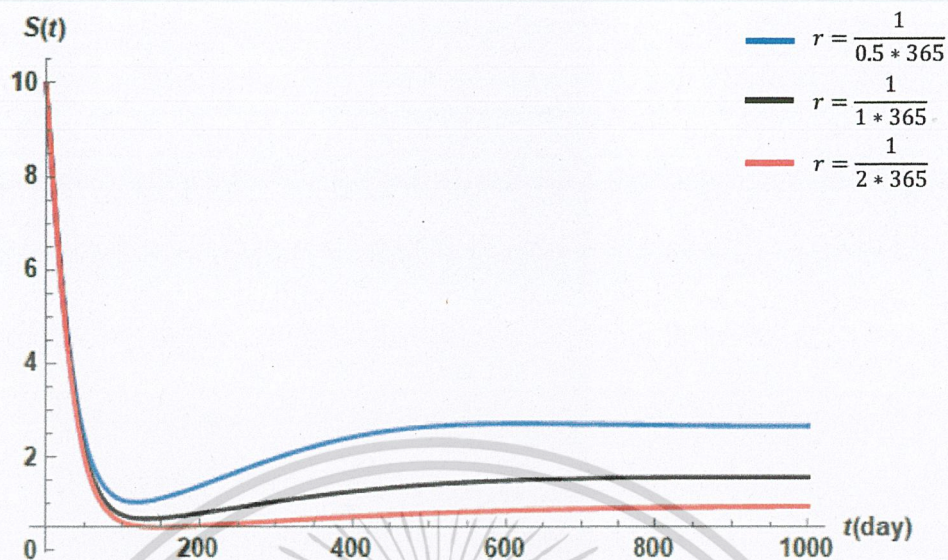
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.19 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 0.962 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 1,200 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 1,200 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

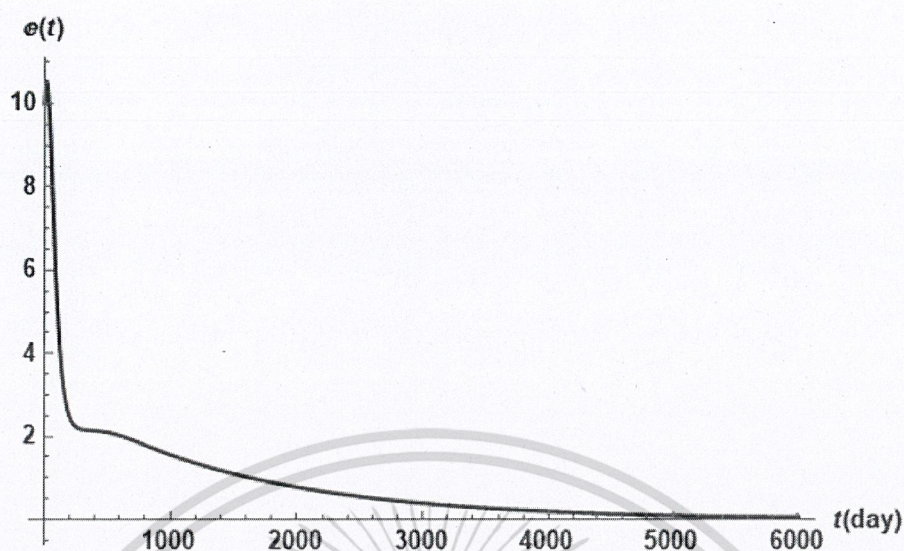
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.20 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย (r) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟลู่เข้าสู่สมดุลช้าลง สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นไข้มีค่าเพิ่มขึ้นจากครึ่งปี เป็น 1 ปี และ 2 ปี ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรคได้ช้าลง ใช้เวลาในการควบคุมโรคนานขึ้น

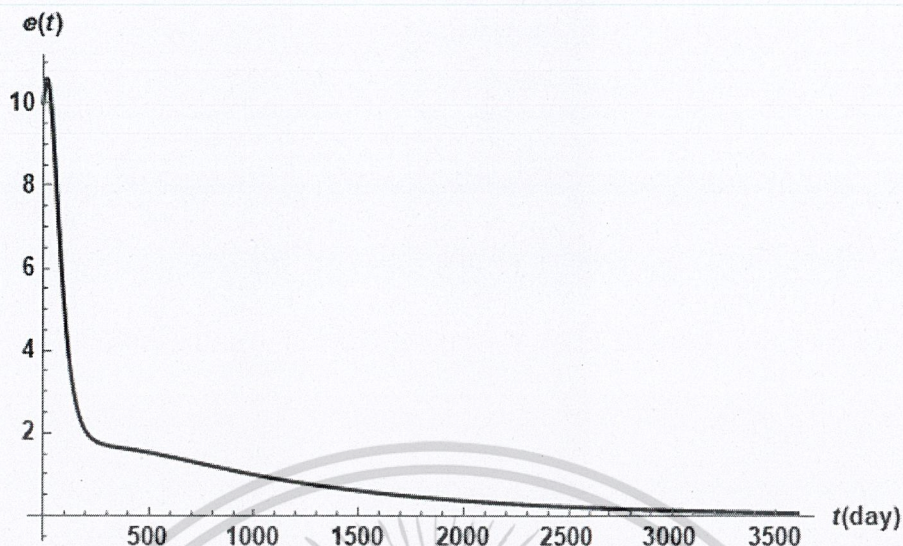


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{0.5 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.21 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.081 คน (เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 5,300 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 5,300 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



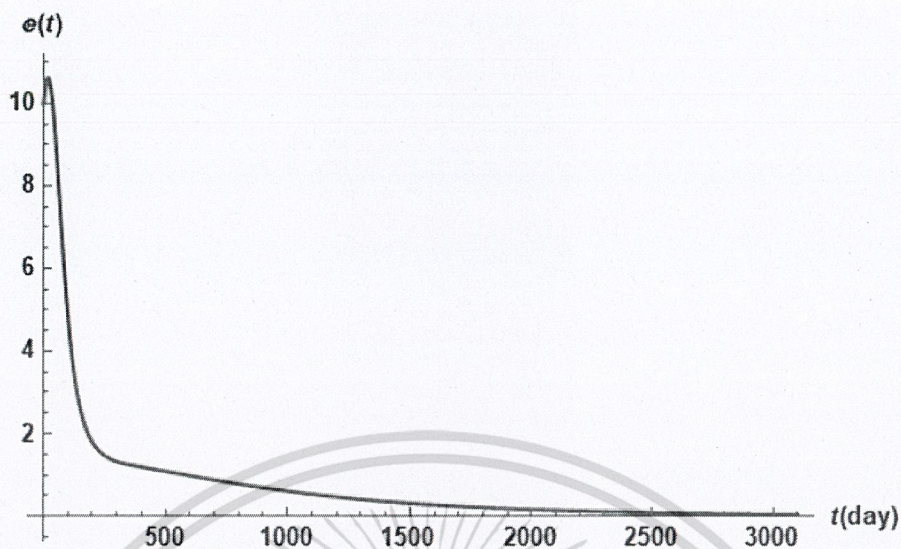
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.22 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.092 คน (สู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 3,400 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 3,400 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



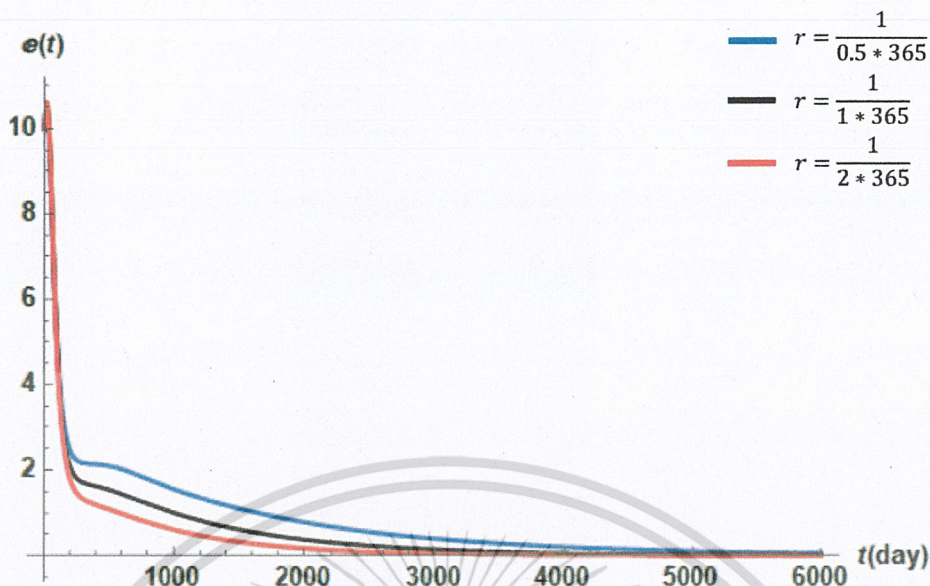
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{2 \cdot 365}$$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.23 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.038 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 2,600 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 2,600 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

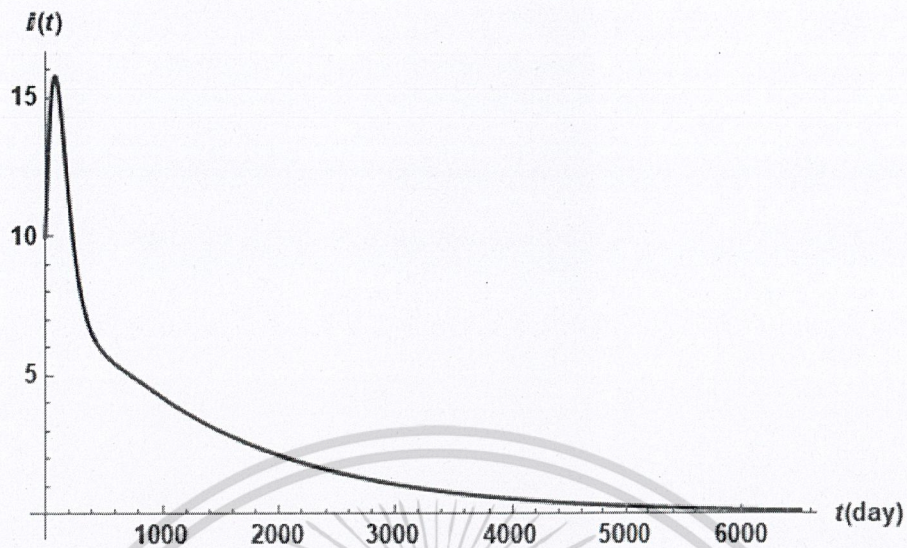
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.24 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย (r) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟพุ่งเข้าสู่สมดุลงเร็วขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นไข้มีค่าเพิ่มขึ้นจากครึ่งปี เป็น 1 ปี และ 2 ปี ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้เร็วขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้เร็วขึ้น



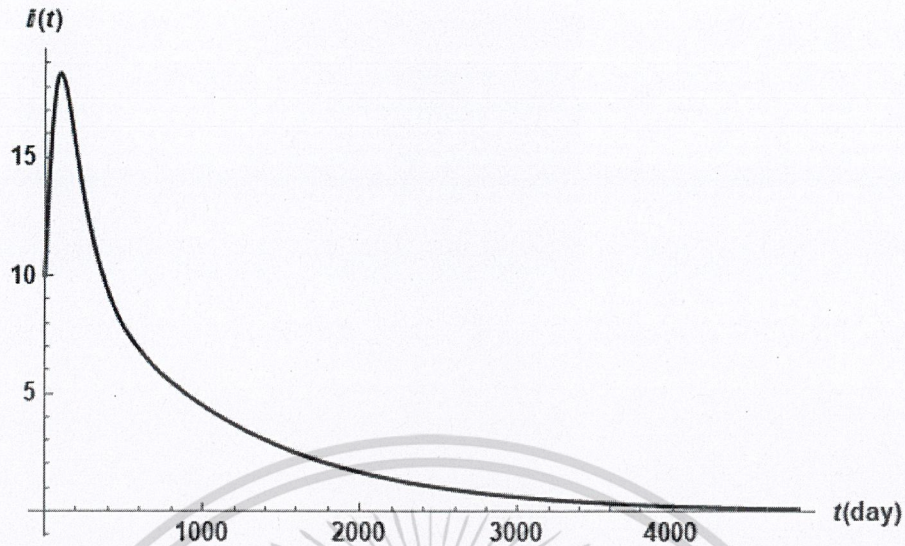
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{0.5 \times 365}$$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.25 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.110 คน (สู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 6,200 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 6,200 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



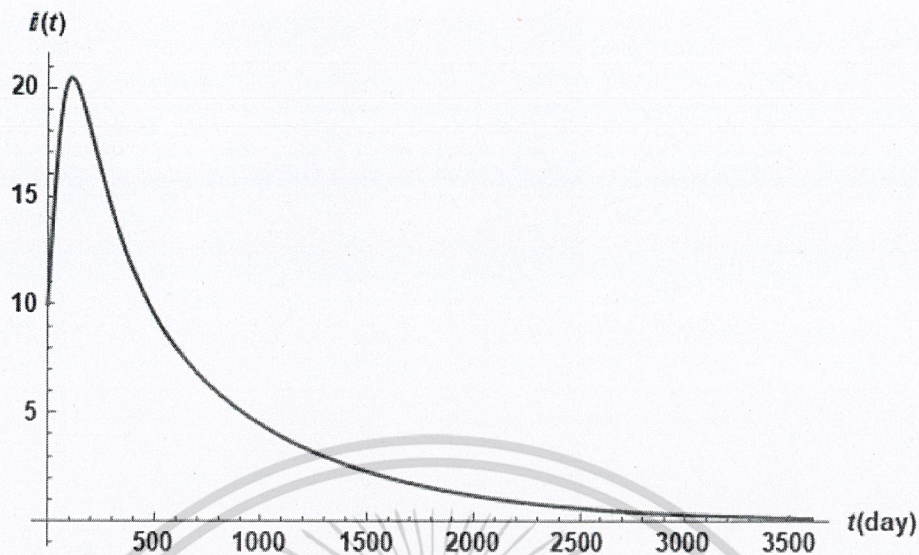
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{365}$$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.26 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.17 คน (เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 4,300 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 4,300 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

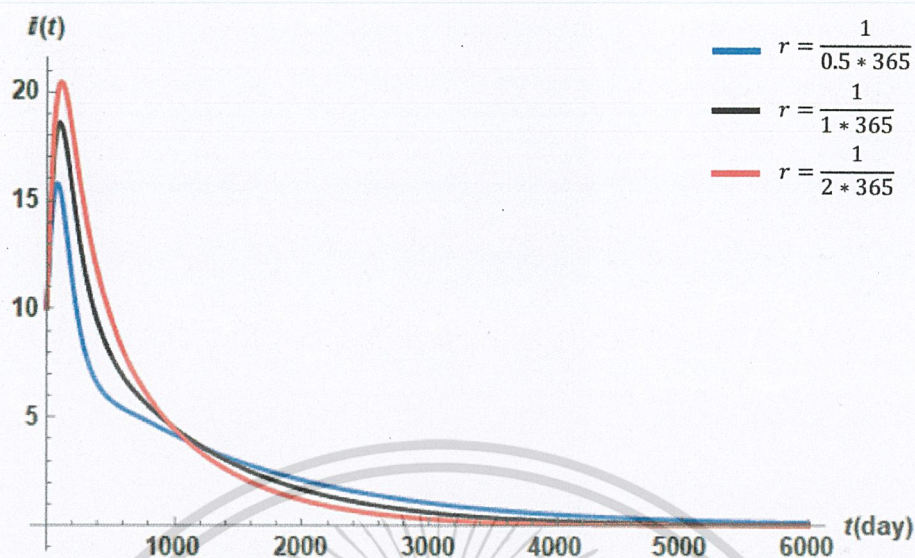


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

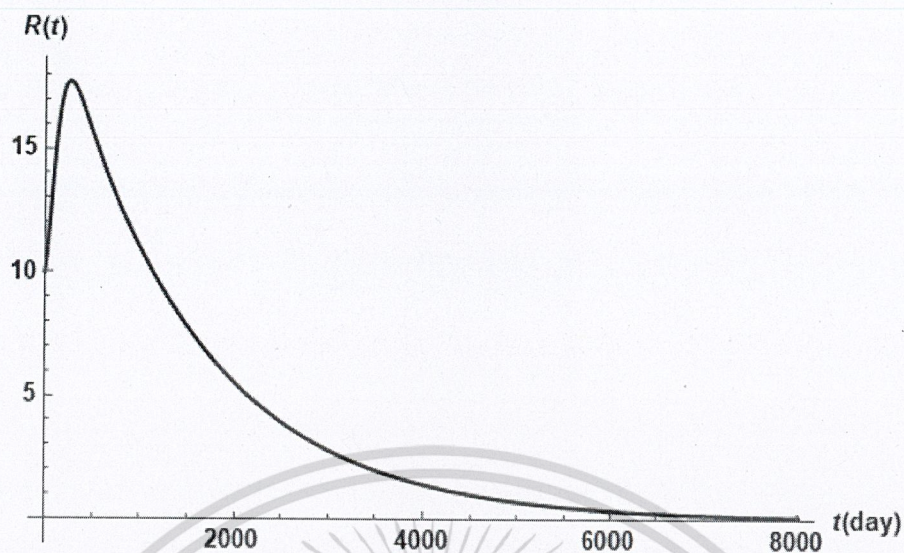
จากรูปที่ 4.27 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.188 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 3,400 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 3,400 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา
เมื่อ r ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{3 \times 365}$, $\beta = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.28 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย (r) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟลู่เข้าสู่สมดุเร็วขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นไข้มีค่าเพิ่มขึ้นจากครึ่งปี เป็น 1 ปี และ 2 ปี ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้เร็วขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้เร็วขึ้น



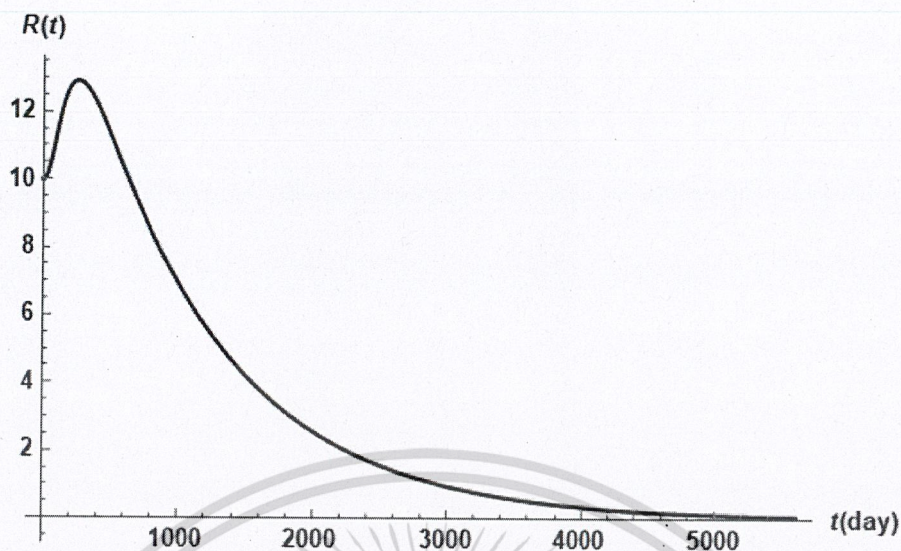
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{0.5 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.29 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) จะเข้าสู่สู่ 0.136 คน (สู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 7,400 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 7,400 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

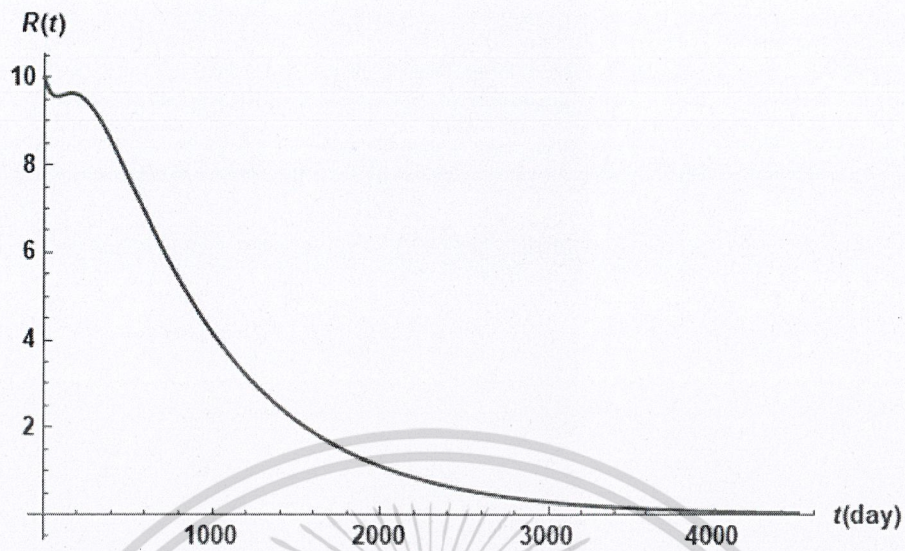
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา เมื่อ $r = \frac{1}{365}$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.30 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) จะลู่เข้าสู่ 0.079 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 5,300 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 5,300 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

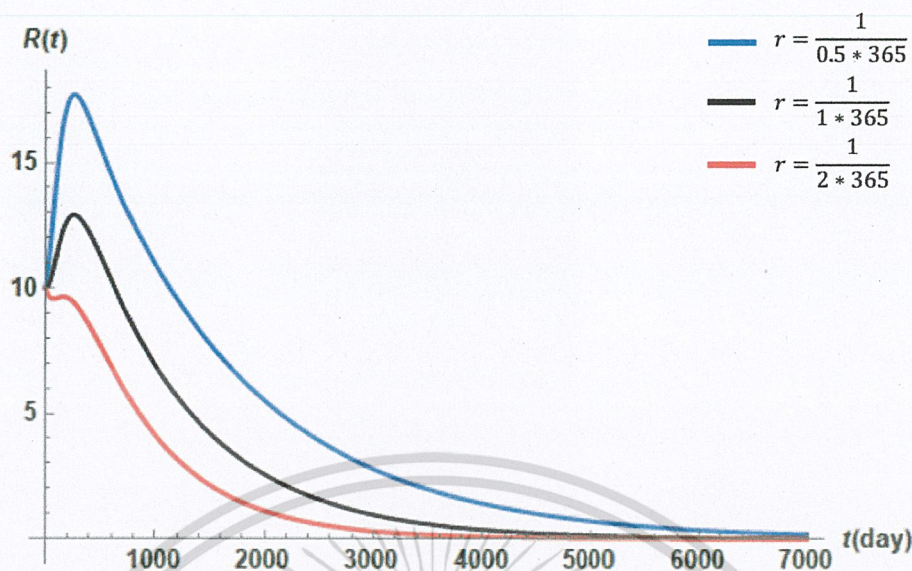


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } r = \frac{1}{2 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

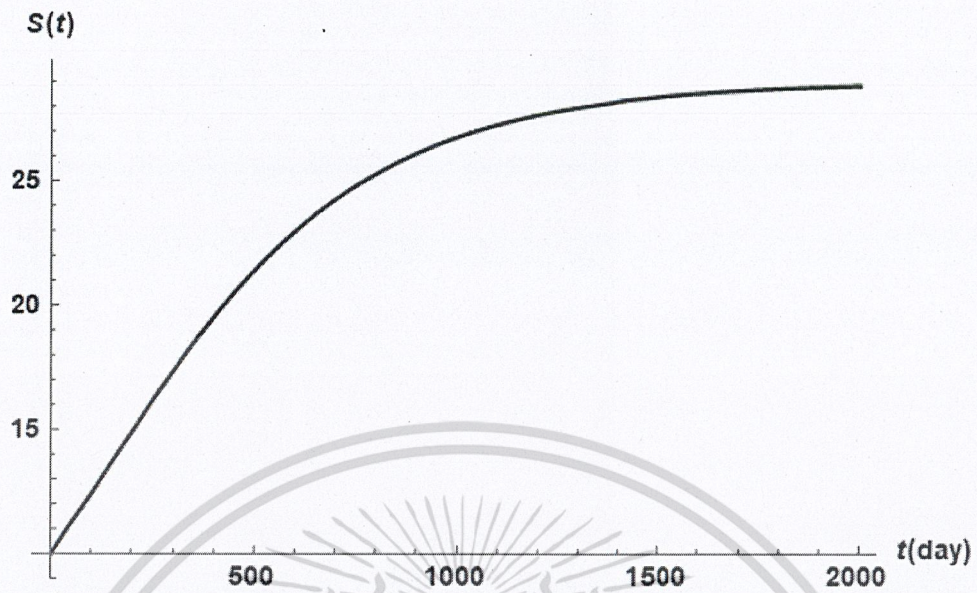
จากรูปที่ 4.31 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) จะลู่เข้าสู่ 0.061 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 4,200 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 4,200 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ(R) เทียบกับเวลา เมื่อ r ลดลง

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{3 \times 365}, \beta = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.32 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย (r) มีค่าน้อยลง จะทำให้กราฟเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นไข้มีค่าเพิ่มขึ้นจากครึ่งปี เป็น 1 ปี และ 2 ปี ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่หายป่วยจากการติดเชื้อได้เร็วขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้เร็วขึ้น



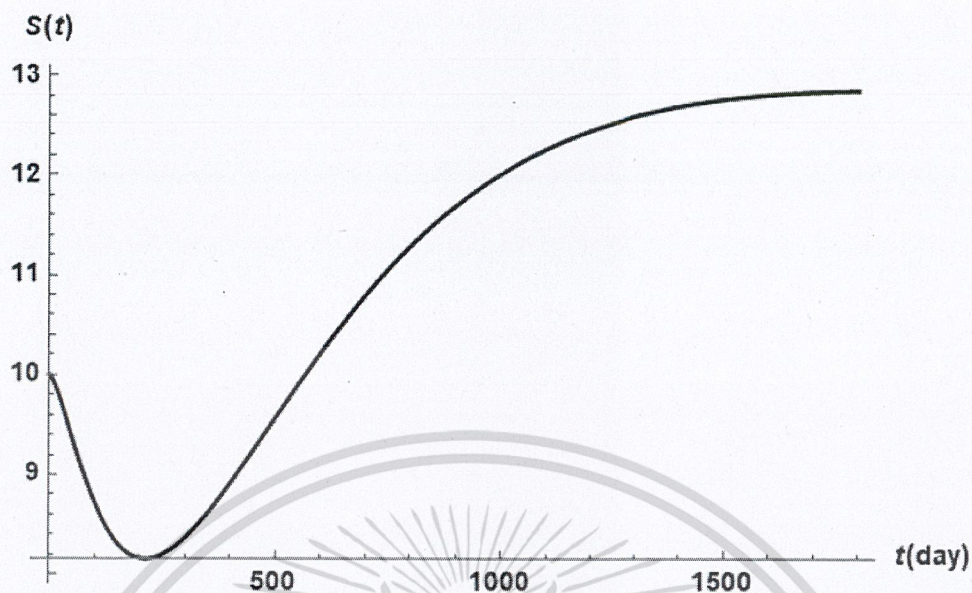
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{80 \times 365}$$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.33 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 29 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 2,000 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 2,000 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



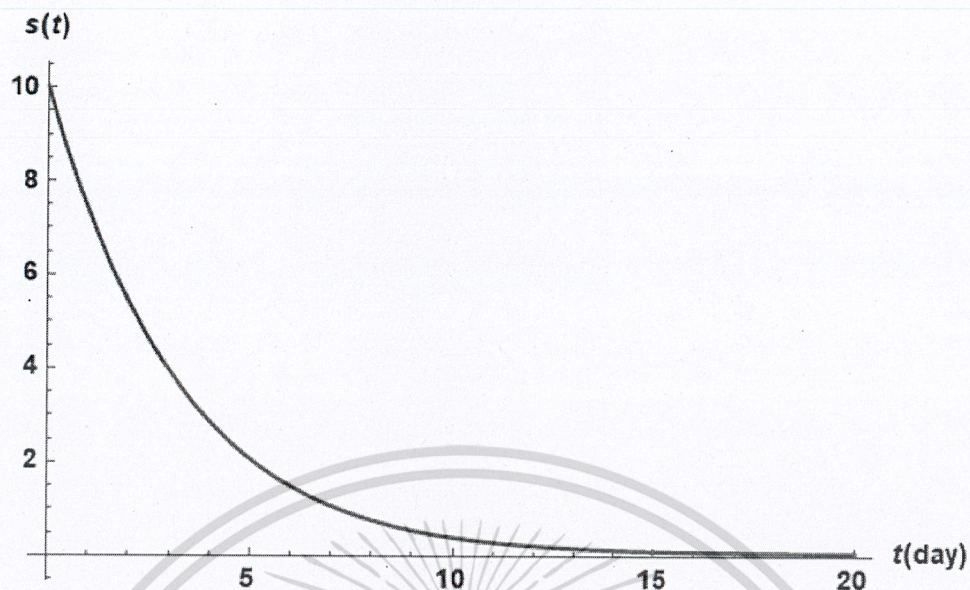
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{8 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.34 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 12.8 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 1,600 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 1,600 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

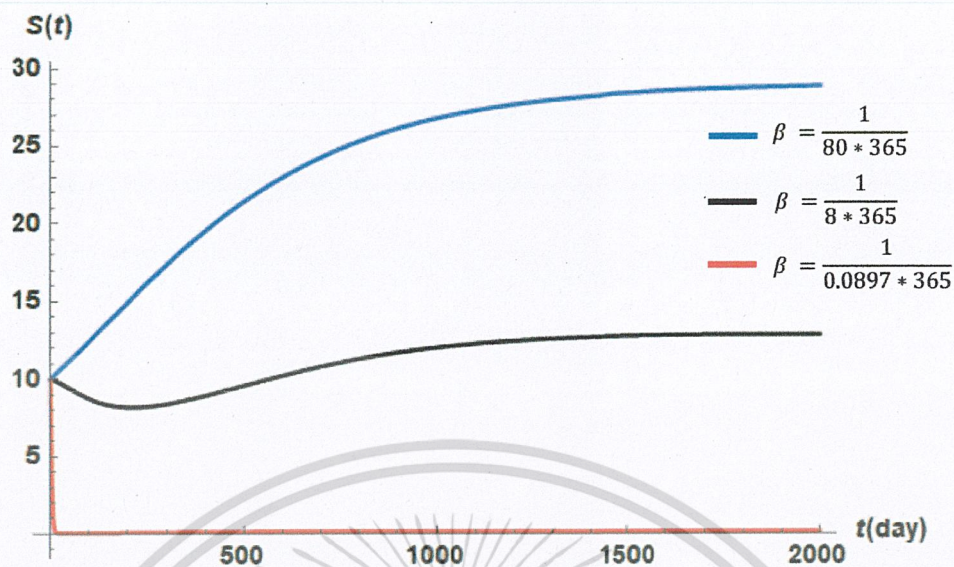


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

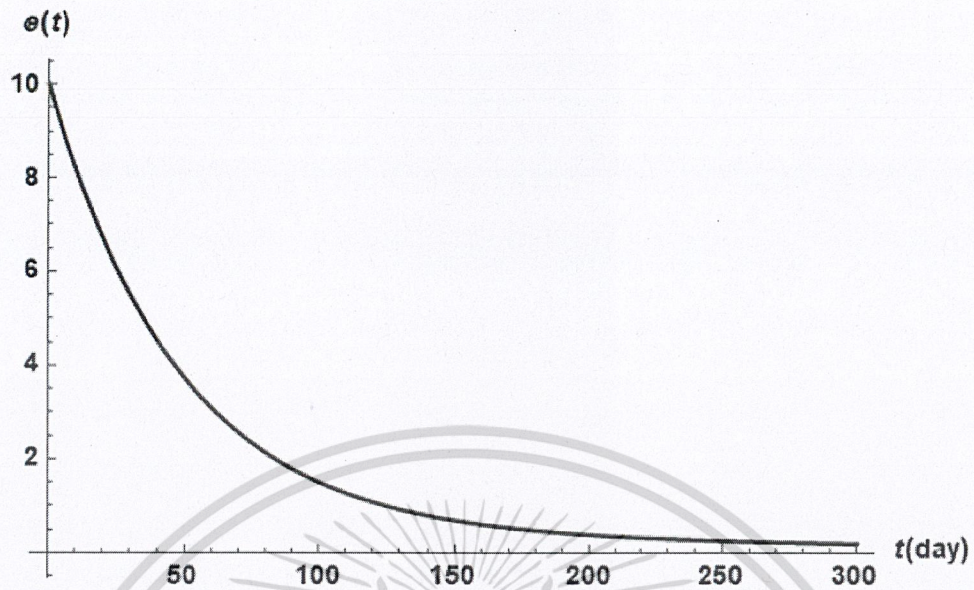
จากรูปที่ 4.35 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) จะลู่เข้าสู่ 0.141 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 17 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค(S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 17 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรค (S) เทียบกับเวลา เมื่อ β ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.36 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโรค (β) มีค่าลดลง จะทำให้กราฟลู่เข้าสู่สมตลซ้าลง สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นฟูมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ความคุมผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสโรคได้นานขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้ซ้าลง

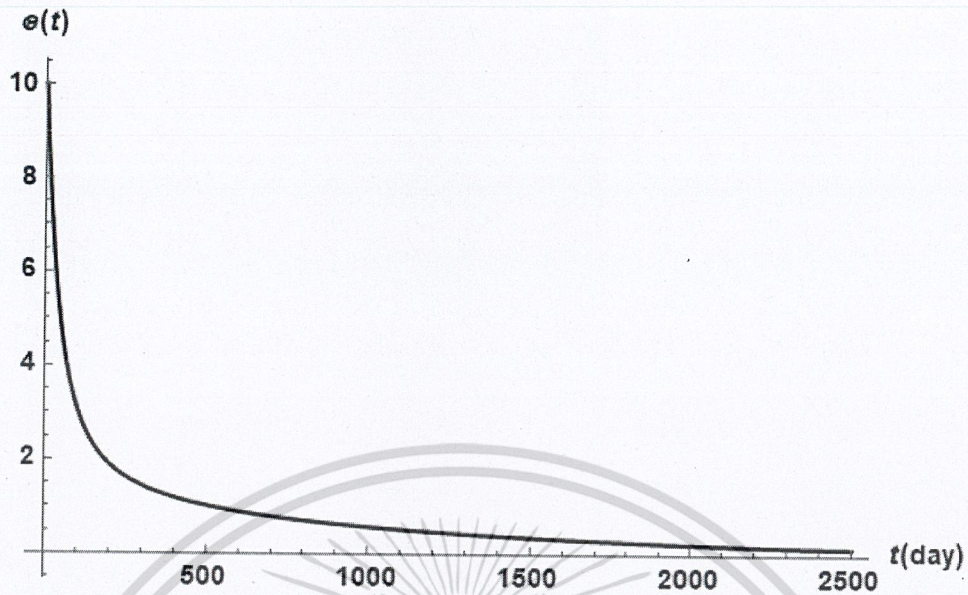


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{80 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.37 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.25 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 250 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 250 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

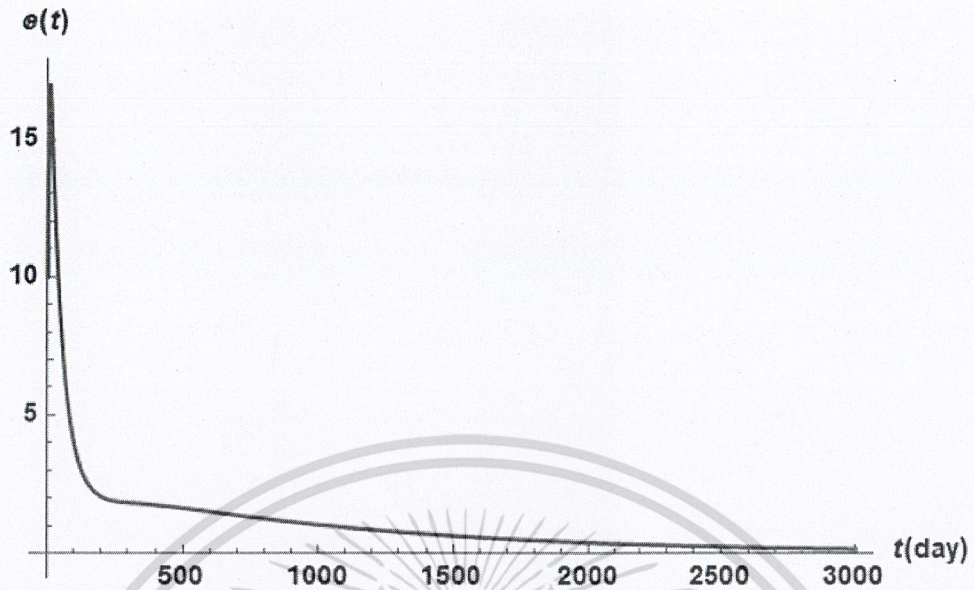


รูปที่ 4.38 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{8 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.38 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอเชื้อได้ (E) จะลู่เข้าสู่ 0.211 คน (ลู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 2,100 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 2,100 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

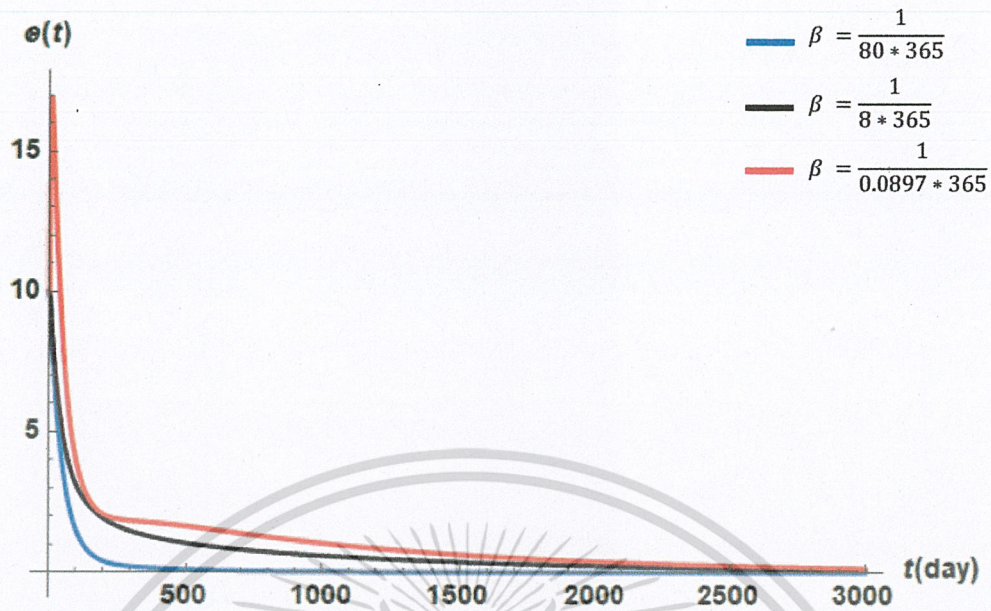


รูปที่ 4.39 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

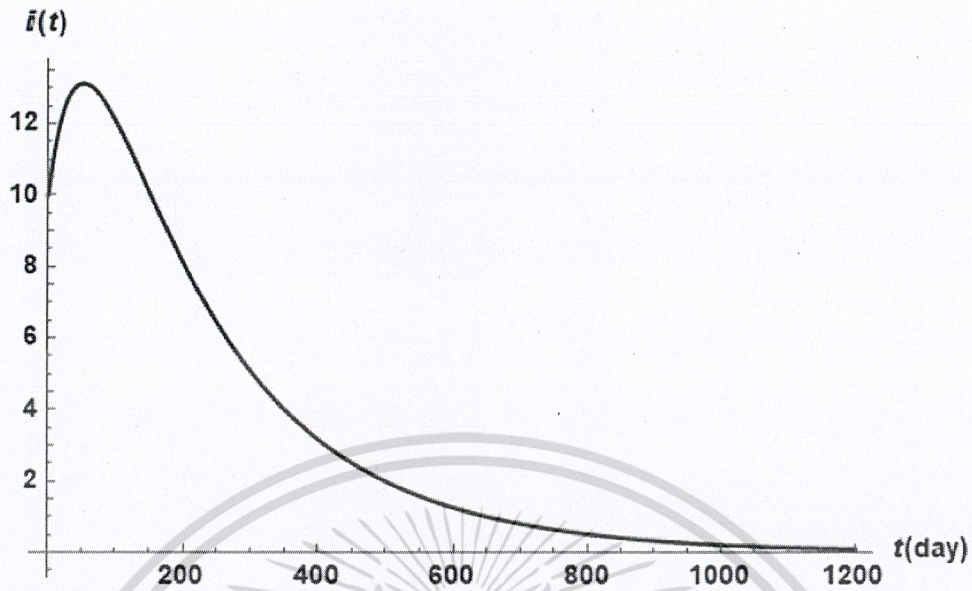
จากรูปที่ 4.39 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จะเข้าสู่ 0.157 คน (สู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 2,900 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 2,900 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอเชื้อได้ (E) เทียบกับเวลา
เมื่อ β ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.40 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอเชื้อวันโรค (β) มีค่าลดลง จะทำให้กราฟลู่เข้าสู่สมดุเร็วขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นฟูมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่ติดเชื้ที่ยังไม่สามารถถ่ายทอเชื้อได้เร็วขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้เร็วขึ้น



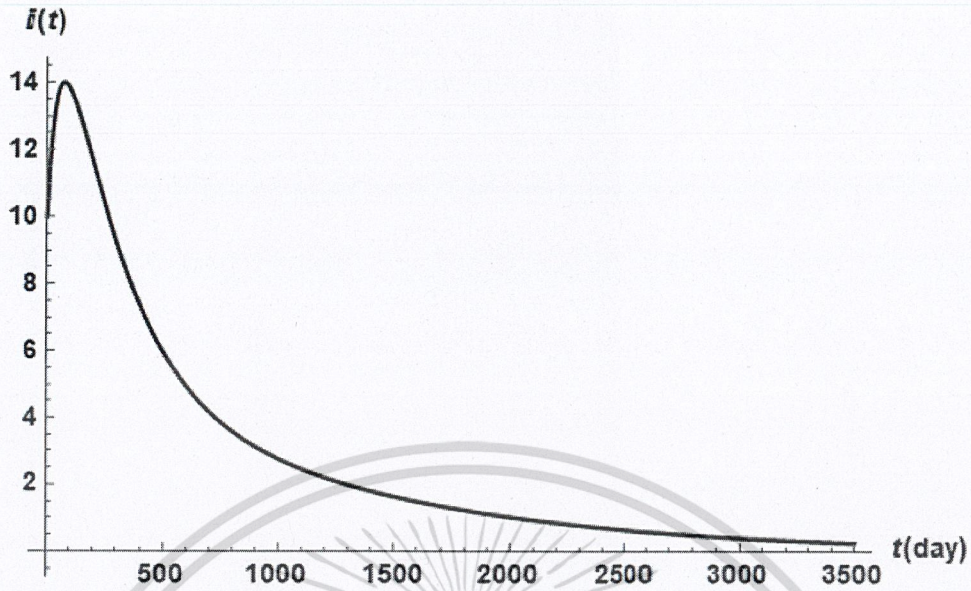
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{80 \times 365}$$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.41 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.08 คน (คู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 1,150 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 1,150 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

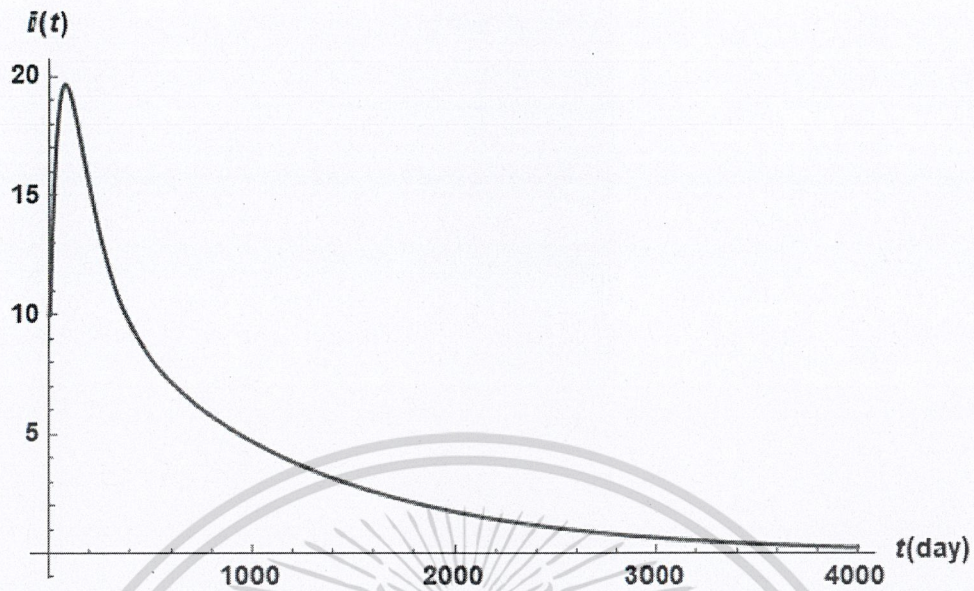


รูปที่ 4.42 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{8 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.42 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.33 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 3,200 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 3,200 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



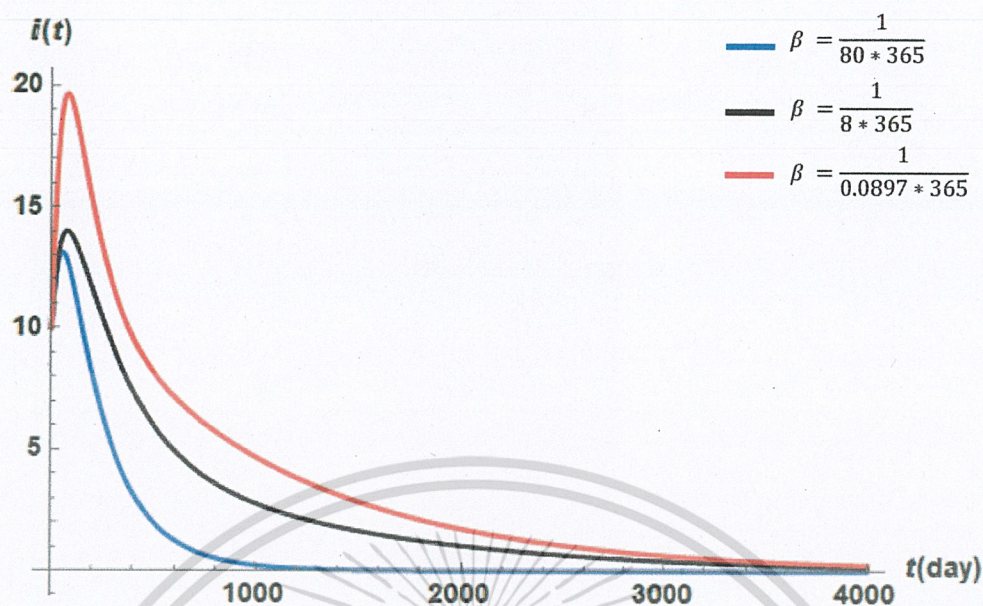
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{0.0897 \times 365}$$

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.43 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) จะเข้าสู่ 0.35 คน (คู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 3,600 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 3,600 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

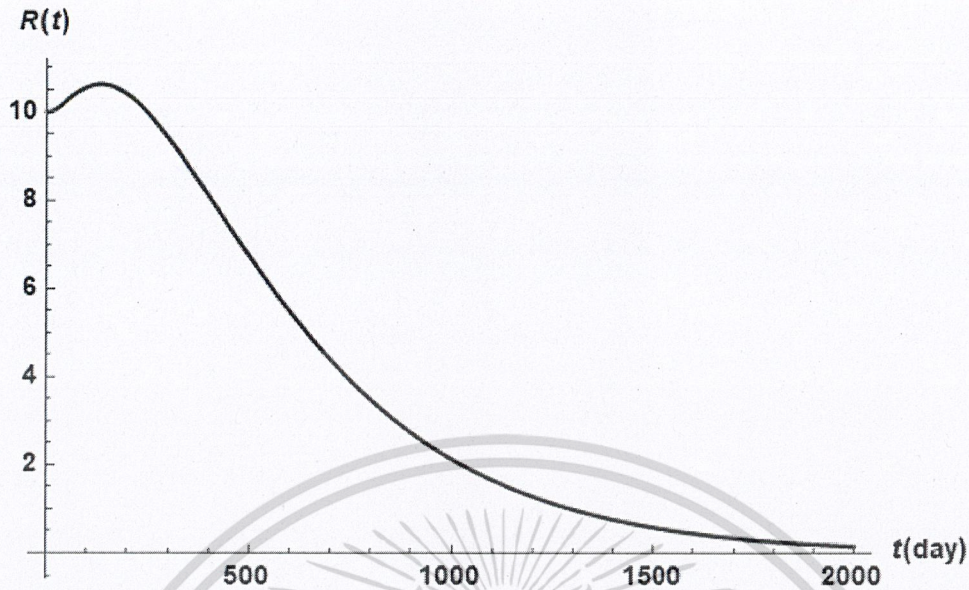
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) เทียบกับเวลา
เมื่อ β ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.44 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโรค (β) มีค่าลดลง จะทำให้กราฟพุ่งเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นฟูมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้เร็วขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้เร็วขึ้น

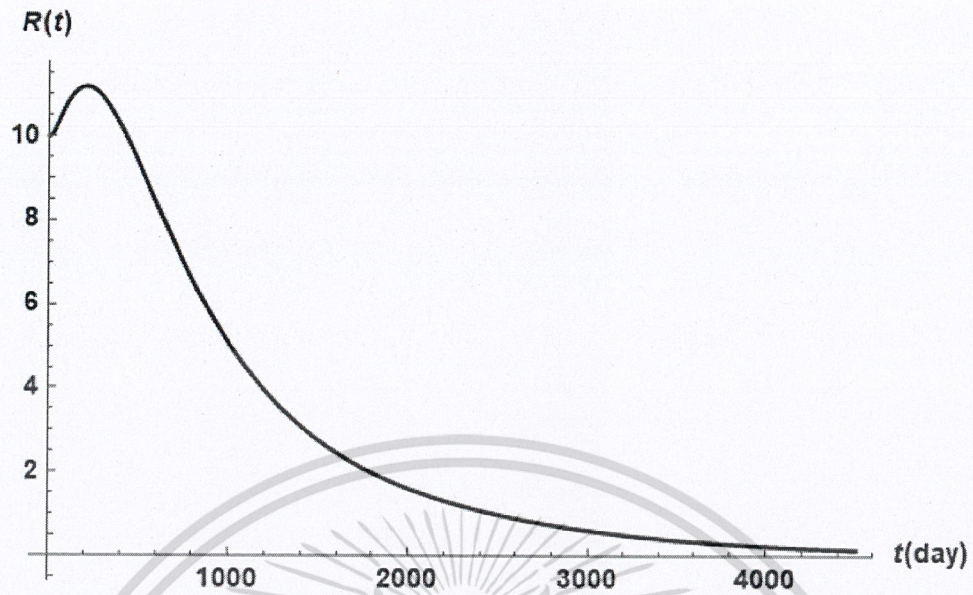


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{80 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.45 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) จะเข้าสู่ 0.21 คน (สู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 1,800 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 1,800 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

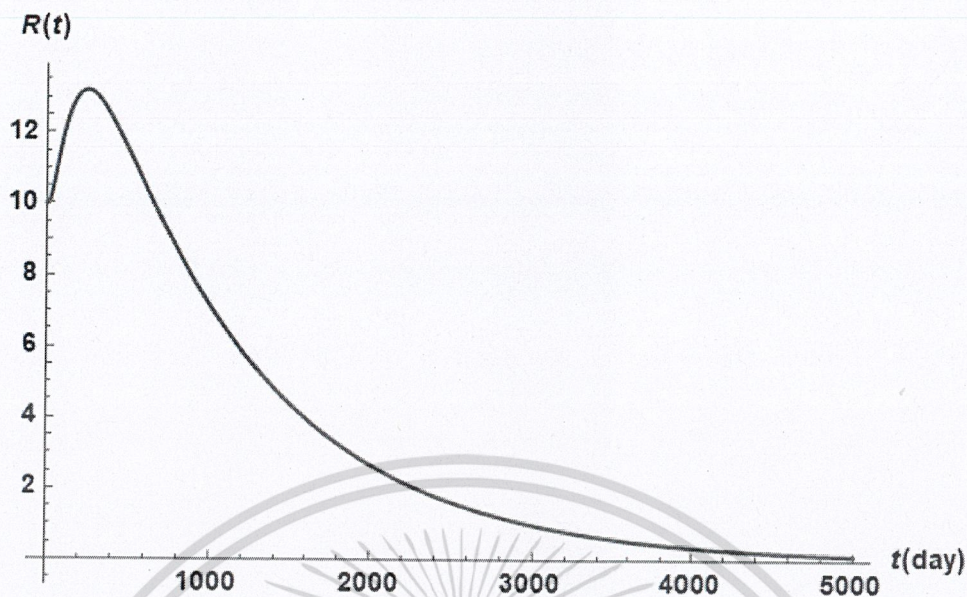


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{8 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.46 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) จะเข้าสู่ 0.196 คน (สู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 4,200 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 4,200 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

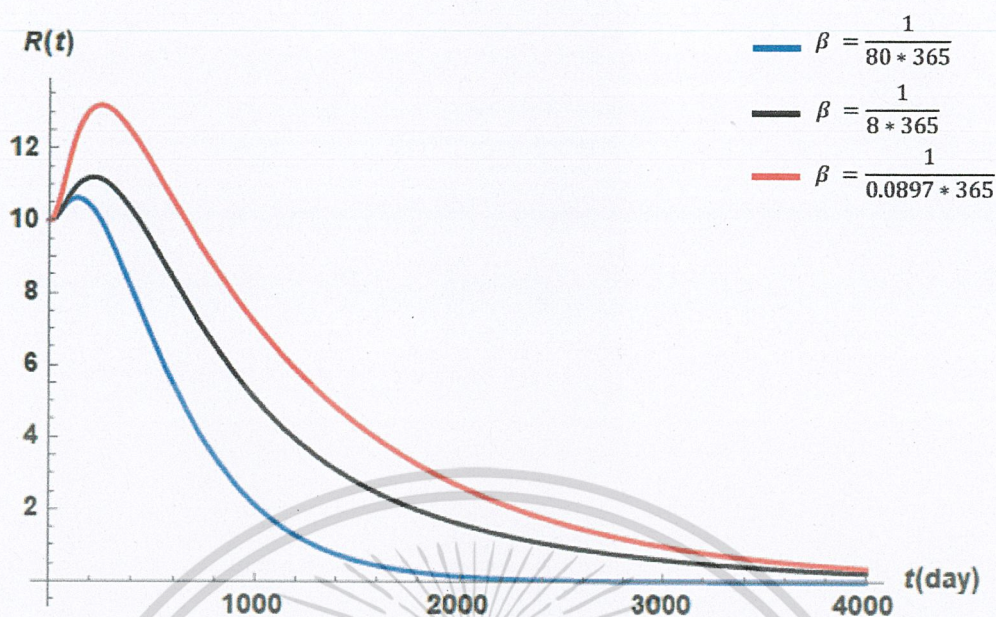


รูปที่ 4.47 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) เทียบกับเวลา

$$\text{เมื่อ } \beta = \frac{1}{0.897 \times 365}$$

$$\text{โดยค่าพารามิเตอร์ } \mu = \frac{1}{365 \times 75}, d_1 = \frac{1}{365 \times 75}, d_2 = \frac{1}{365}, \gamma = \frac{1}{49}, r = \frac{1}{365}, \alpha = \frac{1}{365}$$

จากรูปที่ 4.47 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) จะเข้าสู่ 0.165 คน (สู่เข้าจุดสมดุล) เมื่อเวลา 4,750 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 4,750 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) เทียบกับเวลา
เมื่อ β ลดลง

โดยค่าพารามิเตอร์ $\mu = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_1 = \frac{1}{365 \times 75}$, $d_2 = \frac{1}{365}$, $\gamma = \frac{1}{49}$, $r = \frac{1}{365}$, $\alpha = \frac{1}{365}$

จากรูปที่ 4.48 อธิบายได้ว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้อไวรัสโรค (β) มีค่าลดลง จะทำให้กราฟคู่เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการฟื้นฟูมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ควบคุมผู้ที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้เร็วขึ้น นั่นคือจะควบคุมโรคได้เร็วขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาพิเศษนี้ได้เสนอรายละเอียดของโรคฉี่หนูโรคที่เกิดจากการแพร่เชื้อจากละอองเสมหะของผู้ป่วยฉี่หนูไปสู่อีกบุคคลหนึ่งและนำเอาองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับโรคฉี่หนูนี้ จากนั้นพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยนำเสนอและอธิบายแบบจำลองโรคฉี่หนูในประเทศไทย เพื่อพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นในการป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยโรคฉี่หนู

แบบจำลองนี้เราได้สมมติ จำนวนประชากร อัตราการเกิด และอัตราของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อขึ้น และได้ข้อมูลจริงได้แก่ อัตราการฟักตัวของเชื้อ อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร อัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อฉี่หนู อัตราการถ่ายทอดเชื้อฉี่หนู จากกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2558 มาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองโรคฉี่หนูในประเทศไทย

จากนั้นได้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยสี่สมการเชิงอนุพันธ์ในรูปแบบของจำนวนประชากรผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้อฉี่หนู (S) จำนวนประชากรที่ติดเชื้อฉี่หนูและไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) จำนวนประชากรที่ติดเชื้อฉี่หนูและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) และจำนวนประชากรที่ฟื้นจากฉี่หนู (R) จากนั้นหาจุดสมดุลและความเสถียรของจุดสมดุล ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแบบจำลองคืออัตราการถ่ายทอดเชื้อฉี่หนู (β) อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย (r) และอัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อฉี่หนู (d_2) โดยเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้อฉี่หนู (β) มีค่าลดลงส่งผลให้กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อฉี่หนู (S) เทียบกับเวลา ลู่เข้าสู่สมดุลช้าลง แต่กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) และกราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) เทียบกับเวลา ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เมื่ออัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วย (r) มีค่าลดลง ส่งผลให้กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อฉี่หนู (S) เทียบกับเวลา ลู่เข้าสู่สมดุลช้าลง แต่กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อที่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) และกราฟแสดงจำนวนประชากรที่หายป่วยจากการติดเชื้อ (R) เทียบกับเวลา ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น และเมื่ออัตราการเสียชีวิตจากการติดเชื้อฉี่หนู (d_2) มีค่าลดลง ส่งผลให้ทุกกราฟจะลู่เข้าสู่สมดุลช้าลง นั่นคือจะควบคุมโรคได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

นำไปต่อยอดในการสร้างโปรแกรมโดยการนำค่าจริงจากพื้นที่ผู้ใช้อาศัยในสถานทีนั้นๆ ได้แก่ จำนวนประชากรที่อยู่บริเวณนั้น โดยแบ่งเป็นจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ ผู้ที่ติดเชื้อและไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และผู้ที่พ้นไข้จากการป่วย รวมทั้งอัตราการเกิดของประชากรในปีนั้นๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. ๒๕๖๐. สถิติผู้ป่วยโรควัณโรคในประเทศไทย. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://www.tbthailand.org>. ๒๑ พฤศจิกายน ๒๕๖๐

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ๒๕๖๐. แบบจำลอง. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://tairgle.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=154&lang=th. ๑๐ ตุลาคม ๒๕๖๐

ทีมงาน HonestDocs. ๒๕๖๐. วัณโรค. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <https://www.honestdocs.co/tuberculosis-death-causes>. ๑๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๐

ทีมงาน Siamhealth.net . ๒๕๖๐. วัณโรค. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.siamhealth.net/public_html/Disease/infectious/Tuberculosis/tbc.html. ๑๔ พฤศจิกายน ๒๕๖๐

รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทิพย์โยธา. ๒๕๖๐. คู่มือโปรแกรม Mathematica. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : www.math.sc.chula.ac.th/~tdumrong/book/Mathematica_09Oct2016. ๒ มีนาคม ๒๕๖๑

โรงพยาบาลลอง. ๒๕๖๐. ยาที่ใช้ในการรักษาโรควัณโรค. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://www.longhosp.go.th/main/index.php?name=knowledge&file=readknowledge&id=481>. ๑๙ พฤศจิกายน ๒๕๖๐



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FullSimplify

$$\frac{1}{-ay_2 - y_2^2} \left(\frac{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)} \right) \frac{r\gamma d_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}$$

(1) (r - d1 - d2)

FullSimplify

$$\frac{1}{y} \left(\frac{Nr\alpha\beta\gamma\mu}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)} \right) \frac{r^3 a y_2}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}$$

FullSimplify

$$\frac{1}{d_2} \left(\frac{(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)} \right) \frac{r\gamma d_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}$$

FullSimplify

$$\frac{1}{-a-d_1} \left(\frac{Nr\alpha\beta\gamma\mu}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)} \right) \frac{r^3 a y_2}{rad_1(a+d_1)(N\beta\gamma\mu - r\gamma d_1 - r d_1^2 - y_2^2 d_1 - d_1^2 d_1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาความเสถียรของจุดสมดุลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณเชิงคณิตศาสตร์

```

In[1]:= f1 = (μ * N) + (α * R) - (d1 * S) - (β * S * P)
Out[1]= -d1 S + R α - P S β - N μ

In[3]:= f2 = (β * S * P) - (γ * Z) - (d1 * Z)
Out[3]= -d1 Z + P S β - Z γ

In[4]:= f3 = (γ * Z) - (d1 * P) - (d2 * P) - (x * P)
Out[4]= -d1 P - d2 P - P x + Z γ

In[5]:= f4 = (x * P) - (d1 * R) - (α * R)
Out[5]= -d1 R + P x - R α

In[6]:= D[{f1, f2, f3, f4}, {{S, Z, P, R}}] // MatrixForm
Out[6]//MatrixForm=

$$\begin{pmatrix} d1 - P \beta & 0 & -S \beta & \alpha \\ P \beta & d1 - \gamma & S \beta & 0 \\ 0 & \gamma & -d1 - d2 - x & 0 \\ 0 & 0 & x & -d1 - \alpha \end{pmatrix}$$


In[7]:= Det[
$$\begin{pmatrix} -d1 - P \beta - K & 0 & -S \beta & \alpha \\ P \beta & -d1 - \gamma - K & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & -d1 - d2 - x - K & 0 \\ 0 & 0 & x & -d1 - \alpha - K \end{pmatrix}$$
]
Out[7]= -P x α β γ + (-d1 - K - α) (-P S β² γ + (-d1 - d2 - K - x) (d1² - 2 d1 K - K² - d1 P β + K P β + d1 γ + K γ + P β γ))

In[8]:= FullSimplify[-P x α β γ + (-d1 - K - α) (-P S β² γ + (-d1 - d2 - K - x) (d1² + 2 d1 K + K² + d1 P β + K P β + d1 γ + K γ + P β γ))]
Out[8]= -P x α β γ + (-d1 - K - α) (-P S β² γ - (d1 - d2 - K - x) (d1 - K - P β) (d1 - K - γ))

In[9]:= Q = ExpandAll[-P x α β γ + (-d1 - K - α) (-P S β² γ - (d1 - d2 - K - x) (d1 + K + P β) (d1 + K + γ))]
Out[9]= d1⁴ - d1³ d2 - 4 d1² K - 3 d1² d2 K - 6 d1² K² - 3 d1 d2 K² - 4 d1 K³ - d2 K³ - K⁴ - d1³ x - 3 d1² K x - 3 d1 K² x - K³ x - d1³ α - d1² d2 α - 3 d1² K α - 2 d1 d2 K α - 3 d1 K² α - d2 K² α - K³ α - d1² x α - 2 d1 K x α - K² x α - d1³ P β - d1² d2 P β - 3 d1² K P β - 2 d1 d2 K P β - 3 d1 K² P β - d2 K² P β - K³ P β - d1² P x β - 2 d1 K P x β - K² P x β - d1² P α β - d1 d2 P α β - 2 d1 K P α β - d2 K P α β - K² P α β - d1 P x α β - K P x α β - d1³ γ - d1² d2 γ - 3 d1² K γ - 2 d1 d2 K γ - 3 d1 K² γ - d2 K² γ - K³ γ - d1² x γ - 2 d1 K x γ - K² x γ - d1³ α γ - d1 d2 α γ - 2 d1 K α γ - d2 K α γ - K² α γ - d1 x α γ - K x α γ - d1² P β γ - d1 d2 P β γ - 2 d1 K P β γ - d2 K P β γ - d1 P x β γ - K P x β γ - d1 P α β γ - d2 P α β γ - K P α β γ - d1 P S β² γ - P S α β² γ

In[10]:= Coefficient[Q, K^4]
Out[10]= 1

In[11]:= Coefficient[Q, K^3]
Out[11]= 4 d1 - d2 - x - α - P β - γ

In[12]:= Coefficient[Q, K^2]
Out[12]= 6 d1² + 3 d1 d2 + 3 d1 x + 3 d1 α + d2 α + x α + 3 d1 P β + d2 P β - P x β - P α β - 3 d1 γ - d2 γ - x γ - α γ - P β γ

In[13]:= Coefficient[Q, K^1]
Out[13]= 4 d1³ + 3 d1² d2 + 3 d1² x + 3 d1² α + 2 d1 d2 α + 2 d1 x α + 3 d1² P β + 2 d1 d2 P β + 2 d1 P x β + 2 d1 P α β + d2 P α β + P x α β + 3 d1² γ + 2 d1 d2 γ + 2 d1 x γ + 2 d1 α γ + 2 d1 γ x + 2 d1 α x + 2 d1 γ α + x α γ + 2 d1 P β γ + d2 P β γ + P x β γ + P α β γ + P S β² γ

In[14]:= FullSimplify[6 d1² + 3 d1 d2 + 3 d1 x + 3 d1 α + d2 α + x α + 3 d1 P β + d2 P β + P x β + P α β + 3 d1 γ + d2 γ + x γ + α γ + P β γ]
Out[14]= 6 d1² + x α + P x β + P α β + (x - α - P β) γ - d2 (α - P β - γ) - 3 d1 (d2 - x - α - P β - γ)

In[15]:= FullSimplify[4 d1³ + 3 d1² d2 + 3 d1² x + 3 d1² α + 2 d1 d2 α + 2 d1 x α + 3 d1² P β + 2 d1 d2 P β + 2 d1 P x β + 2 d1 P α β + d2 P α β + P x α β + 3 d1² γ + 2 d1 d2 γ + 2 d1 x γ + 2 d1 α γ + d2 α γ + x α γ + 2 d1 P β γ + d2 P β γ + P x β γ + P α β γ + P S β² γ]
Out[15]= 4 d1³ + P (d2 - x) α β + ((d2 - x) α + P (d2 + x - α) β + P S β²) γ - 3 d1² (d2 - x - α - P β - γ) - 2 d1 (x α + P x β - P α β + (x - α + P β) γ - d2 (α - P β - γ))

In[16]:= μ = 1 / (75 * 365);
α = 1 / 365;
d1 = 1 / (75 * 365);
β = 1 / (365 * 0.5);
γ = 1 / 42;
d2 = 1 / (3 * 365);
x = 1 / 365;
S = ((γ + d1) * (x + d1 + d2)) / (β * γ)

Out[20]= 0.674366

In[24]:= P = -((α + d1) ((-480 + β * γ * μ) + d1 * (γ + d1)) (x + d1 + d2)) / ((β * d1) * ((α * γ) + x (α + γ) + (d1 * (x * α + γ + d1))) + β * (α + d1) * (γ + d1) * d2);
In[25]:= Q = ExpandAll[-P x α β γ + (-d1 - K - α) (-P S β² γ - (d1 - d2 - K - x) (d1 + K + P β) (d1 + K + γ))]
Out[25]= 5.90456 * 10¹¹ - 2.91099 * 10⁷ K - 0.000170437 K² - 0.0305101 K³ - K⁴

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

In[32]:= A5 = A6 = A7 = 0;

In[33]:= H1 = MatrixForm[{A1}]
H2 = MatrixForm[{{A1, 1}, {A3, A2}}]
H3 = MatrixForm[{{A1, 1, 0}, {A3, A2, A1}, {A5, A4, A4}}]
H4 = MatrixForm[{{A1, 1, 0, 0}, {A3, A2, A1, 1}, {A5, A4, A3, A2}, {A7, A6, A5, A4}}]

Out[33]/MatrixForm=
( 1 )

Out[34]/MatrixForm=
( 1 1
  0.000170437 0.0305101 )

Out[35]/MatrixForm=
( 1 1 0
  0.000170437 0.0305101 1
  0 2.91099 × 10-7 2.91099 × 10-7 )

Out[36]/MatrixForm=
( 1 1 0 0
  0.000170437 0.0305101 1 1
  0 2.91099 × 10-7 0.000170437 0.0305101
  0 0 0 2.91099 × 10-7 )

In[53]:= Det [ ( 0.030510131754369174` 1
  2.91099296357894` *-7 0.0001704372753631829` ) ]
Out[53]= 4.90896 × 106

In[55]:= Det [ ( 0.030510 1 0
  2.910993 × 10-7 0.000170 0.030510
  0 5.904557 × 10-11 2.910993 × 10-7 ) ]
Out[55]= 1.37014 × 1012

In[56]:= Det [ ( 0.030510 1 0 0
  2.910993 × 10-7 0.000170 0.030510 1
  0 5.904557 × 10-11 2.910993 × 10-7 0.000170
  0 0 0 5.904557 × 10-11 ) ]
Out[56]= 8.09009 × 1023

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบค่า d_2 ระหว่าง $\frac{1}{365}, \frac{1}{2 \times 365}, \frac{1}{3 \times 365}$

$$A = \text{NDSolve}[\{s'[t] == (1/(75 \cdot 365)) \cdot (s[t] + z[t] + p[t] + r[t]) + ((1/365) \cdot r[t]) - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot s[t]) - ((1/365) \cdot s[t] + p[t]), \\ z'[t] == ((1/365) \cdot s[t] + p[t]) - ((1/49)) \cdot z[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot z[t]), p'[t] == (1/(49)) \cdot z[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot p[t]) - ((1/365)) \cdot p[t] - ((1/365)) \cdot p[t], \\ r'[t] == ((1/365)) \cdot p[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot r[t]) - ((1/365) \cdot r[t]), s[0] = 10.0, z[0] = 10.0, p[0] = 10.0, r[0] = 10.0, \{s[t], z[t], p[t], r[t]\}, \{t, 70000\}]$$

```
{s[t] -> InterpolatingFunction[...], z[t] -> InterpolatingFunction[...], p[t] -> InterpolatingFunction[...], r[t] -> InterpolatingFunction[...]}
```

```
p[t] -> InterpolatingFunction[...], r[t] -> InterpolatingFunction[...]
```

$$B = \text{NDSolve}[\{s1'[t] == ((1/(75 \cdot 365)) \cdot (s1[t] + z1[t] + p1[t] + r1[t]) + ((1/365) \cdot r1[t]) - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot s1[t]) - ((1/365) \cdot s1[t] + p1[t])), \\ z1'[t] == ((1/365) \cdot s1[t] + p1[t]) - ((1/49)) \cdot z1[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot z1[t]), p1'[t] == (1/(49)) \cdot z1[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot p1[t]) - ((1/(2 \cdot 365)) \cdot p1[t]) - ((1/365)) \cdot p1[t], \\ r1'[t] == ((1/365)) \cdot p1[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot r1[t]) - ((1/365) \cdot r1[t]), s1[0] = 10.0, z1[0] = 10.0, p1[0] = 10.0, r1[0] = 10.0, \{s1[t], z1[t], p1[t], r1[t]\}, \{t, 70000\}]$$

```
{s1[t] -> InterpolatingFunction[...], z1[t] -> InterpolatingFunction[...], p1[t] -> InterpolatingFunction[...], r1[t] -> InterpolatingFunction[...]}
```

```
p1[t] -> InterpolatingFunction[...], r1[t] -> InterpolatingFunction[...]
```

$$C = \text{NDSolve}[\{s2'[t] == ((1/(75 \cdot 365)) \cdot (s2[t] + z2[t] + p2[t] + r2[t]) + ((1/365) \cdot r2[t]) - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot s2[t]) - ((1/365) \cdot s2[t] + p2[t])), \\ z2'[t] == ((1/365) \cdot s2[t] + p2[t]) - ((1/49)) \cdot z2[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot z2[t]), p2'[t] == (1/(49)) \cdot z2[t] - ((1/(3 \cdot 365)) \cdot p2[t]) - ((1/365)) \cdot p2[t], \\ r2'[t] == ((1/365)) \cdot p2[t] - ((1/(75 \cdot 365)) \cdot r2[t]) - ((1/365) \cdot r2[t]), s2[0] = 10.0, z2[0] = 10.0, p2[0] = 10.0, r2[0] = 10.0, \{s2[t], z2[t], p2[t], r2[t]\}, \{t, 70000\}]$$

```
{s2[t] -> InterpolatingFunction[...], z2[t] -> InterpolatingFunction[...], p2[t] -> InterpolatingFunction[...], r2[t] -> InterpolatingFunction[...]}
```

```
p2[t] -> InterpolatingFunction[...], r2[t] -> InterpolatingFunction[...]
```

Table[Evaluate[s[t] /. A], {t, 0, 1000}]

{10., {9.75587}, {9.51449}, {9.27599}, {9.04047}, {8.80802}, {8.57874}, {8.35272}, {8.13006}, {7.91083}, {7.69511}, {7.48298}, {7.2745}, {7.06974}, {6.86874}, {6.67156}, {6.47825}, {6.28884}, {6.10337}, {5.92187}, {5.74435}, {5.57083}, {5.40133}, {5.23584}, {5.07437}, {4.91691}, {4.76346}, {4.61399}, {4.46848}, {4.32692}, {4.18926}, {4.05548}, {3.92554}, {3.79939}, {3.677}, {3.558}, {3.44326}, {3.33182}, {3.22392}, {3.11949}, {3.01848}, {2.92081}, {2.82646}, {2.73532}, {2.64733}, {2.56242}, {2.48052}, {2.40156}, {2.32547}, {2.25218}, {2.18161}, {2.1137}, {2.04836}, {1.98553}, {1.92514}, {1.8671}, {1.81136}, {1.75785}, {1.70648}, {1.65721}, {1.60994}, {1.56464}, {1.52121}, {1.47961}, {1.43977}, {1.40163}, {1.36513}, {1.33021}, {1.29681}, {1.26487}, {1.23435}, {1.20519}, {1.17734}, {1.15075}, {1.12536}, {1.10114}, {1.07804}, {1.05601}, {1.03501}, {1.01499}, {0.995931}, {0.97778}, {0.960498}, {0.944055}, {0.928414}, {0.913543}, {0.899407}, {0.885977}, {0.873224}, {0.861118}, {0.849631}, {0.838737}, {0.828412}, {0.818629}, {0.809367}, {0.800602}, {0.792312}, {0.784478}, {0.77708}, {0.770098}, {0.763514}, {0.757311}, {0.751472}, {0.745981}, {0.740824}, {0.735985}, {0.73145}, {0.727207}, {0.723242}, {0.719543}, {0.716099}, {0.712899}, {0.709931}, {0.707186}, {0.704653}, {0.702225}, {0.700192}, {0.698425}, {0.696847}, {0.695479}, {0.69445}, {0.69367}, {0.69309}, {0.69267}, {0.69239}, {0.69216}, {0.69199}, {0.69183}, {0.69167}, {0.69151}, {0.69135}, {0.69119}, {0.69103}, {0.69087}, {0.69071}, {0.69055}, {0.69039}, {0.69023}, {0.69007}, {0.68991}, {0.68975}, {0.68959}, {0.68943}, {0.68927}, {0.68911}, {0.68895}, {0.68879}, {0.68863}, {0.68847}, {0.68831}, {0.68815}, {0.68799}, {0.68783}, {0.68767}, {0.68751}, {0.68735}, {0.68719}, {0.68703}, {0.68687}, {0.68671}, {0.68655}, {0.68639}, {0.68623}, {0.68607}, {0.68591}, {0.68575}, {0.68559}, {0.68543}, {0.68527}, {0.68511}, {0.68495}, {0.68479}, {0.68463}, {0.68447}, {0.68431}, {0.68415}, {0.68399}, {0.68383}, {0.68367}, {0.68351}, {0.68335}, {0.68319}, {0.68303}, {0.68287}, {0.68271}, {0.68255}, {0.68239}, {0.68223}, {0.68207}, {0.68191}, {0.68175}, {0.68159}, {0.68143}, {0.68127}, {0.68111}, {0.68095}, {0.68079}, {0.68063}, {0.68047}, {0.68031}, {0.68015}, {0.68000}, {0.67984}, {0.67968}, {0.67952}, {0.67936}, {0.67920}, {0.67904}, {0.67888}, {0.67872}, {0.67856}, {0.67840}, {0.67824}, {0.67808}, {0.67792}, {0.67776}, {0.67760}, {0.67744}, {0.67728}, {0.67712}, {0.67696}, {0.67680}, {0.67664}, {0.67648}, {0.67632}, {0.67616}, {0.67600}, {0.67584}, {0.67568}, {0.67552}, {0.67536}, {0.67520}, {0.67504}, {0.67488}, {0.67472}, {0.67456}, {0.67440}, {0.67424}, {0.67408}, {0.67392}, {0.67376}, {0.67360}, {0.67344}, {0.67328}, {0.67312}, {0.67296}, {0.67280}, {0.67264}, {0.67248}, {0.67232}, {0.67216}, {0.67200}, {0.67184}, {0.67168}, {0.67152}, {0.67136}, {0.67120}, {0.67104}, {0.67088}, {0.67072}, {0.67056}, {0.67040}, {0.67024}, {0.67008}, {0.66992}, {0.66976}, {0.66960}, {0.66944}, {0.66928}, {0.66912}, {0.66896}, {0.66880}, {0.66864}, {0.66848}, {0.66832}, {0.66816}, {0.66800}, {0.66784}, {0.66768}, {0.66752}, {0.66736}, {0.66720}, {0.66704}, {0.66688}, {0.66672}, {0.66656}, {0.66640}, {0.66624}, {0.66608}, {0.66592}, {0.66576}, {0.66560}, {0.66544}, {0.66528}, {0.66512}, {0.66496}, {0.66480}, {0.66464}, {0.66448}, {0.66432}, {0.66416}, {0.66400}, {0.66384}, {0.66368}, {0.66352}, {0.66336}, {0.66320}, {0.66304}, {0.66288}, {0.66272}, {0.66256}, {0.66240}, {0.66224}, {0.66208}, {0.66192}, {0.66176}, {0.66160}, {0.66144}, {0.66128}, {0.66112}, {0.66096}, {0.66080}, {0.66064}, {0.66048}, {0.66032}, {0.66016}, {0.66000}, {0.65984}, {0.65968}, {0.65952}, {0.65936}, {0.65920}, {0.65904}, {0.65888}, {0.65872}, {0.65856}, {0.65840}, {0.65824}, {0.65808}, {0.65792}, {0.65776}, {0.65760}, {0.65744}, {0.65728}, {0.65712}, {0.65696}, {0.65680}, {0.65664}, {0.65648}, {0.65632}, {0.65616}, {0.65600}, {0.65584}, {0.65568}, {0.65552}, {0.65536}, {0.65520}, {0.65504}, {0.65488}, {0.65472}, {0.65456}, {0.65440}, {0.65424}, {0.65408}, {0.65392}, {0.65376}, {0.65360}, {0.65344}, {0.65328}, {0.65312}, {0.65296}, {0.65280}, {0.65264}, {0.65248}, {0.65232}, {0.65216}, {0.65200}, {0.65184}, {0.65168}, {0.65152}, {0.65136}, {0.65120}, {0.65104}, {0.65088}, {0.65072}, {0.65056}, {0.65040}, {0.65024}, {0.65008}, {0.64992}, {0.64976}, {0.64960}, {0.64944}, {0.64928}, {0.64912}, {0.64896}, {0.64880}, {0.64864}, {0.64848}, {0.64832}, {0.64816}, {0.64800}, {0.64784}, {0.64768}, {0.64752}, {0.64736}, {0.64720}, {0.64704}, {0.64688}, {0.64672}, {0.64656}, {0.64640}, {0.64624}, {0.64608}, {0.64592}, {0.64576}, {0.64560}, {0.64544}, {0.64528}, {0.64512}, {0.64496}, {0.64480}, {0.64464}, {0.64448}, {0.64432}, {0.64416}, {0.64400}, {0.64384}, {0.64368}, {0.64352}, {0.64336}, {0.64320}, {0.64304}, {0.64288}, {0.64272}, {0.64256}, {0.64240}, {0.64224}, {0.64208}, {0.64192}, {0.64176}, {0.64160}, {0.64144}, {0.64128}, {0.64112}, {0.64096}, {0.64080}, {0.64064}, {0.64048}, {0.64032}, {0.64016}, {0.64000}, {0.63984}, {0.63968}, {0.63952}, {0.63936}, {0.63920}, {0.63904}, {0.63888}, {0.63872}, {0.63856}, {0.63840}, {0.63824}, {0.63808}, {0.63792}, {0.63776}, {0.63760}, {0.63744}, {0.63728}, {0.63712}, {0.63696}, {0.63680}, {0.63664}, {0.63648}, {0.63632}, {0.63616}, {0.63600}, {0.63584}, {0.63568}, {0.63552}, {0.63536}, {0.63520}, {0.63504}, {0.63488}, {0.63472}, {0.63456}, {0.63440}, {0.63424}, {0.63408}, {0.63392}, {0.63376}, {0.63360}, {0.63344}, {0.63328}, {0.63312}, {0.63296}, {0.63280}, {0.63264}, {0.63248}, {0.63232}, {0.63216}, {0.63200}, {0.63184}, {0.63168}, {0.63152}, {0.63136}, {0.63120}, {0.63104}, {0.63088}, {0.63072}, {0.63056}, {0.63040}, {0.63024}, {0.63008}, {0.62992}, {0.62976}, {0.62960}, {0.62944}, {0.62928}, {0.62912}, {0.62896}, {0.62880}, {0.62864}, {0.62848}, {0.62832}, {0.62816}, {0.62800}, {0.62784}, {0.62768}, {0.62752}, {0.62736}, {0.62720}, {0.62704}, {0.62688}, {0.62672}, {0.62656}, {0.62640}, {0.62624}, {0.62608}, {0.62592}, {0.62576}, {0.62560}, {0.62544}, {0.62528}, {0.62512}, {0.62496}, {0.62480}, {0.62464}, {0.62448}, {0.62432}, {0.62416}, {0.62400}, {0.62384}, {0.62368}, {0.62352}, {0.62336}, {0.62320}, {0.62304}, {0.62288}, {0.62272}, {0.62256}, {0.62240}, {0.62224}, {0.62208}, {0.62192}, {0.62176}, {0.62160}, {0.62144}, {0.62128}, {0.62112}, {0.62096}, {0.62080}, {0.62064}, {0.62048}, {0.62032}, {0.62016}, {0.62000}, {0.61984}, {0.61968}, {0.61952}, {0.61936}, {0.61920}, {0.61904}, {0.61888}, {0.61872}, {0.61856}, {0.61840}, {0.61824}, {0.61808}, {0.61792}, {0.61776}, {0.61760}, {0.61744}, {0.61728}, {0.61712}, {0.61696}, {0.61680}, {0.61664}, {0.61648}, {0.61632}, {0.61616}, {0.61600}, {0.61584}, {0.61568}, {0.61552}, {0.61536}, {0.61520}, {0.61504}, {0.61488}, {0.61472}, {0.61456}, {0.61440}, {0.61424}, {0.61408}, {0.61392}, {0.61376}, {0.61360}, {0.61344}, {0.61328}, {0.61312}, {0.61296}, {0.61280}, {0.61264}, {0.61248}, {0.61232}, {0.61216}, {0.61200}, {0.61184}, {0.61168}, {0.61152}, {0.61136}, {0.61120}, {0.61104}, {0.61088}, {0.61072}, {0.61056}, {0.61040}, {0.61024}, {0.61008}, {0.60992}, {0.60976}, {0.60960}, {0.60944}, {0.60928}, {0.60912}, {0.60896}, {0.60880}, {0.60864}, {0.60848}, {0.60832}, {0.60816}, {0.60800}, {0.60784}, {0.60768}, {0.60752}, {0.60736}, {0.60720}, {0.60704}, {0.60688}, {0.60672}, {0.60656}, {0.60640}, {0.60624}, {0.60608}, {0.60592}, {0.60576}, {0.60560}, {0.60544}, {0.60528}, {0.60512}, {0.60496}, {0.60480}, {0.60464}, {0.60448}, {0.60432}, {0.60416}, {0.60400}, {0.60384}, {0.60368}, {0.60352}, {0.60336}, {0.60320}, {0.60304}, {0.60288}, {0.60272}, {0.60256}, {0.60240}, {0.60224}, {0.60208}, {0.60192}, {0.60176}, {0.60160}, {0.60144}, {0.60128}, {0.60112}, {0.60096}, {0.60080}, {0.60064}, {0.60048}, {0.60032}, {0.60016}, {0.60000}, {0.59984}, {0.59968}, {0.59952}, {0.59936}, {0.59920}, {0.59904}, {0.59888}, {0.59872}, {0.59856}, {0.59840}, {0.59824}, {0.59808}, {0.59792}, {0.59776}, {0.59760}, {0.59744}, {0.59728}, {0.59712}, {0.59696}, {0.59680}, {0.59664}, {0.59648}, {0.59632}, {0.59616}, {0.59600}, {0.59584}, {0.59568}, {0.59552}, {0.59536}, {0.59520}, {0.59504}, {0.59488}, {0.59472}, {0.59456}, {0.59440}, {0.59424}, {0.59408}, {0.59392}, {0.59376}, {0.59360}, {0.59344}, {0.59328}, {0.59312}, {0.59296}, {0.59280}, {0.59264}, {0.59248}, {0.59232}, {0.59216}, {0.59200}, {0.59184}, {0.59168}, {0.59152}, {0.59136}, {0.59120}, {0.59104}, {0.59088}, {0.59072}, {0.59056}, {0.59040}, {0.59024}, {0.59008}, {0.58992}, {0.58976}, {0.58960}, {0.58944}, {0.58928}, {0.58912}, {0.58896}, {0.58880}, {0.58864}, {0.58848}, {0.58832}, {0.58816}, {0.58800}, {0.58784}, {0.58768}, {0.58752}, {0.58736}, {0.58720}, {0.58704}, {0.58688}, {0.58672}, {0.58656}, {0.58640}, {0.58624}, {0.58608}, {0.58592}, {0.58576}, {0.58560}, {0.58544}, {0.58528}, {0.58512}, {0.58496}, {0.58480}, {0.58464}, {0.58448}, {0.58432}, {0.58416}, {0.58400}, {0.58384}, {0.58368}, {0.58352}, {0.58336}, {0.58320}, {0.58304}, {0.58288}, {0.58272}, {0.58256}, {0.58240}, {0.58224}, {0.58208}, {0.58192}, {0.58176}, {0.58160}, {0.58144}, {0.58128}, {0.58112}, {0.58096}, {0.58080}, {0.58064}, {0.58048}, {0.58032}, {0.58016}, {0.58000}, {0.57984}, {0.57968}, {0.57952}, {0.57936}, {0.57920}, {0.57904}, {0.57888}, {0.57872}, {0.57856}, {0.57840}, {0.57824}, {0.57808}, {0.57792}, {0.57776}, {0.57760}, {0.57744}, {0.57728}, {0.57712}, {0.57696}, {0.57680}, {0.57664}, {0.57648}, {0.57632}, {0.57616}, {0.57600}, {0.57584}, {0.57568}, {0.57552}, {0.57536}, {0.57520}, {0.57504}, {0.57488}, {0.57472}, {0.57456}, {0.57440}, {0.57424}, {0.57408}, {0.57392}, {0.57376}, {0.57360}, {0.57344}, {0.57328}, {0.57312}, {0.57296}, {0.57280}, {0.57264}, {0.57248}, {0.57232}, {0.57216}, {0.57200}, {0.57184}, {0.57168}, {0.57152}, {0.57136}, {0.57120}, {0.57104}, {0.57088}, {0.57072}, {0.57056}, {0.57040}, {0.57024}, {0.57008}, {0.56992}, {0.56976}, {0.56960}, {0.56944}, {0.56928}, {0.56912}, {0.56896}, {0.56880}, {0.56864}, {0.56848}, {0.56832}, {0.56816}, {0.56800}, {0.56784}, {0.56768}, {0.56752}, {0.56736}, {0.56720}, {0.56704}, {0.56688}, {0.56672}, {0.56656}, {0.56640}, {0.56624}, {0.56608}, {0.56592}, {0.56576}, {0.56560}, {0.56544}, {0.56528}, {0.56512}, {0.56496}, {0.56480}, {0.56464}, {0.56448}, {0.56432}, {0.56416}, {0.56400}, {0.56384}, {0.56368}, {0.56352}, {0.56336}, {0.56320}, {0.56304}, {0.56288}, {0.56272}, {0.56256}, {0.56240}, {0.56224}, {0.56208}, {0.56192}, {0.56176}, {0.56160}, {0.56144}, {0.56128}, {0.56112}, {0.56096}, {0.56080}, {0.56064}, {0.56048}, {0.56032}, {0.56016}, {0.56000}, {0.55984}, {0.55968}, {0.55952}, {0.55936}, {0.55920}, {0.55904}, {0.55888}, {0.55872}, {0.55856}, {0.55840}, {0.55824}, {0.55808}, {0.55792}, {0.55776}, {0.55760}, {0.55744}, {0.55728}, {0.55712}, {0.55696}, {0.55680}, {0.55664}, {0.55648}, {0.55632}, {0.55616}, {0.55600}, {0.55584}, {0.55568}, {0.55552}, {0.55536}, {0.55520}, {0.55504}, {0.55488}, {0.55472}, {0.55456}, {0.55440}, {0.55424}, {0.55408}, {0.55392}, {0.55376}, {0.55360}, {0.55344}, {0.55328}, {0.55312}, {0.55296}, {0.55280}, {0.55264}, {0.55248}, {0.55232}, {0.55216}, {0.55200}, {0.55184}, {0.55168}, {0.55152}, {0.55136}, {0.55120}, {0.55104}, {0.55088}, {0.55072}, {0.55056}, {0.55040}, {0.55024}, {0.55008}, {0.54992}, {0.54976}, {0.54960}, {0.54944}, {0.54928}, {0.54912}, {0.54896}, {0.54880}, {0.54864}, {0.54848}, {0.54832}, {0.54816}, {0.54800}, {0.54784}, {0.54768}, {0.54752}, {0.54736}, {0.54720}, {0.54704}, {0.54688}, {0.54672}, {0.54656}, {0.54640}, {0.54624}, {0.54608}, {0.54592}, {0.54576}, {0.54560}, {0.54544}, {0.54528}, {0.54512}, {0.54496}, {0.54480}, {0.54464}, {0.54448}, {0.54432}, {0.54416}, {0.54400}, {0.54384}, {0.54368}, {0.54352}, {0.54336}, {0.54320}, {0.54304}, {0.54288}, {0.54272}, {0.54256}, {0.54240}, {0.54224}, {0.54208}, {0.54192}, {0.54176}, {0.54160}, {0.54144}, {0.54128}, {0.54112}, {0.54096}, {0.54080}, {0.54064}, {0.54048}, {0.54032}, {0.54016}, {0.54000}, {0.53984}, {0.53968}, {0.53952}, {0.53936}, {0.53920}, {0.53904}, {0.53888}, {0.53872}, {0.53856}, {0.53840}, {0.53824}, {0.53808}, {0.53792}, {0.53776}, {0.53760}, {0.53744}, {0.53728}, {0.53712}, {0.53696}, {0.53680}, {0.53664}, {0.53648}, {0.53632}, {0.53616}, {0.53600}, {0.53584}, {0.53568}, {0.53552}, {0.53536}, {0.53520}, {0.53504}, {0.53488}, {0.53472}, {0.53456}, {0.53440}, {0.53424}, {0.53408}, {0.53392}, {0.53376}, {0.53360}, {0.53344}, {0.53328}, {0.53312}, {0.53296}, {0.53280}, {0.53264}, {0.53248}, {0.53232}, {0.53216}, {0.53200}, {0.53184}, {0.53168}, {0.53152}, {0.53136}, {0.53120}, {0.53104}, {0.53088}, {0.53072}, {0.53056}, {0.53040}, {0.53024}, {0.53008}, {0.52992}, {0.52976}, {0.52960}, {0.52944}, {0.52928}, {0.52912}, {0.52896}, {0.52880}, {0.52864}, {0.52848}, {0.52832}, {0.52816}, {0.52800}, {0.52784}, {0.52768}, {0.52752}, {0.52736}, {0.52720}, {0.52704}, {0.52688}, {0.52672}, {0.52656}, {0.52640}, {0.52624}, {0.52608}, {0.52592}, {0.52576
--

เทียบค่า r ระหว่าง $\frac{1}{0.5 \times 365}$, $\frac{1}{365}$, $\frac{1}{2 \times 365}$

```

A = NDSolve[{s'[t] == (1/(75*365)) * (s[t] + z[t] + p[t] + r[t]) + ((1/365) * r[t]) - ((1/(75*365)) * s[t]) - ((1/365)) * s[t] + p[t],
z'[t] == ((1/365)) * s[t] + p[t] - ((1/49)) * z[t] - ((1/(75*365)) * z[t]), p'[t] == ((1/49)) * z[t] - ((1/(75*365)) * p[t]) - ((1/365)) * p[t] - ((1/(0.5*365)) * p[t]),
r'[t] == ((1/(0.5*365)) * p[t]) - ((1/(75*365)) * r[t]) - ((1/365) * r[t]), s[0] = 10.0, z[0] = 10.0, p[0] = 10.0, r[0] = 10.0}, {s[t], z[t], p[t], r[t]}, {t, 70000}]

{s[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], z[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t],
p[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], r[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t]}

B = NDSolve[{s1'[t] == ((1/(75*365)) * (s1[t] + z1[t] + p1[t] + r1[t]) + ((1/365) * r1[t]) - ((1/(75*365)) * s1[t]) - ((1/365)) * s1[t] + p1[t]),
z1'[t] == ((1/365)) * s1[t] + p1[t] - ((1/49)) * z1[t] - ((1/(75*365)) * z1[t]), p1'[t] == ((1/49)) * z1[t] - ((1/(75*365)) * p1[t]) - ((1/365)) * p1[t],
r1'[t] == ((1/365)) * p1[t] - ((1/(75*365)) * r1[t]) - ((1/365) * r1[t]), s1[0] = 10.0, z1[0] = 10.0, p1[0] = 10.0, r1[0] = 10.0}, {s1[t], z1[t], p1[t], r1[t]}, {t, 70000}]

{s1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], z1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t],
p1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], r1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t]}

C = NDSolve[{s2'[t] == ((1/(75*365)) * (s2[t] + z2[t] + p2[t] + r2[t]) + ((1/365) * r2[t]) - ((1/(75*365)) * s2[t]) - ((1/365)) * s2[t] + p2[t]),
z2'[t] == ((1/365)) * s2[t] + p2[t] - ((1/49)) * z2[t] - ((1/(75*365)) * z2[t]), p2'[t] == ((1/49)) * z2[t] - ((1/(75*365)) * p2[t]) - ((1/365)) * p2[t],
r2'[t] == ((1/(2*365)) * p2[t]) - ((1/(75*365)) * r2[t]) - ((1/365) * r2[t]), s2[0] = 10.0, z2[0] = 10.0, p2[0] = 10.0, r2[0] = 10.0}, {s2[t], z2[t], p2[t], r2[t]}, {t, 70000}]

{s2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], z2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t],
p2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], r2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t]}
    
```

เทียบค่า β ระหว่าง $\frac{1}{80 \times 365}$, $\frac{1}{8 \times 365}$, $\frac{1}{0.0897 \times 365}$

```

A = NDSolve[{s'[t] == (1/(75*365)) * (s[t] + z[t] + p[t] + r[t]) + ((1/365) * r[t]) - ((1/(75*365)) * s[t]) - ((1/(80*365)) * s[t]) + p[t],
z'[t] == ((1/(80*365)) * s[t] + p[t]) - ((1/49)) * z[t] - ((1/(75*365)) * z[t]), p'[t] == ((1/49)) * z[t] - ((1/(75*365)) * p[t]) - ((1/365)) * p[t] - ((1/365)) * p[t],
r'[t] == ((1/365)) * p[t] - ((1/(75*365)) * r[t]) - ((1/365) * r[t]), s[0] = 10.0, z[0] = 10.0, p[0] = 10.0, r[0] = 10.0}, {s[t], z[t], p[t], r[t]}, {t, 70000}]

{s[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], z[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t],
p[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], r[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t]}

B = NDSolve[{s1'[t] == ((1/(75*365)) * (s1[t] + z1[t] + p1[t] + r1[t]) + ((1/365) * r1[t]) - ((1/(75*365)) * s1[t]) - ((1/(8*365)) * s1[t]) + p1[t]),
z1'[t] == ((1/(8*365)) * s1[t] + p1[t]) - ((1/49)) * z1[t] - ((1/(75*365)) * z1[t]), p1'[t] == ((1/49)) * z1[t] - ((1/(75*365)) * p1[t]) - ((1/365)) * p1[t],
r1'[t] == ((1/365)) * p1[t] - ((1/(75*365)) * r1[t]) - ((1/365) * r1[t]), s1[0] = 10.0, z1[0] = 10.0, p1[0] = 10.0, r1[0] = 10.0}, {s1[t], z1[t], p1[t], r1[t]}, {t, 70000}]

{s1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], z1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t],
p1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], r1[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t]}

C = NDSolve[{s2'[t] == ((1/(75*365)) * (s2[t] + z2[t] + p2[t] + r2[t]) + ((1/365) * r2[t]) - ((1/(75*365)) * s2[t]) - ((1/(0.0897*365)) * s2[t]) + p2[t]),
z2'[t] == ((1/(0.0897*365)) * s2[t] + p2[t]) - ((1/49)) * z2[t] - ((1/(75*365)) * z2[t]), p2'[t] == ((1/49)) * z2[t] - ((1/(75*365)) * p2[t]) - ((1/365)) * p2[t],
r2'[t] == ((1/365)) * p2[t] - ((1/(75*365)) * r2[t]) - ((1/365) * r2[t]), s2[0] = 10.0, z2[0] = 10.0, p2[0] = 10.0, r2[0] = 10.0}, {s2[t], z2[t], p2[t], r2[t]}, {t, 70000}]

{s2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], z2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t],
p2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t], r2[t] -> InterpolatingFunction[Domain: {{0, 7.00*10^4}}] [t]}
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้