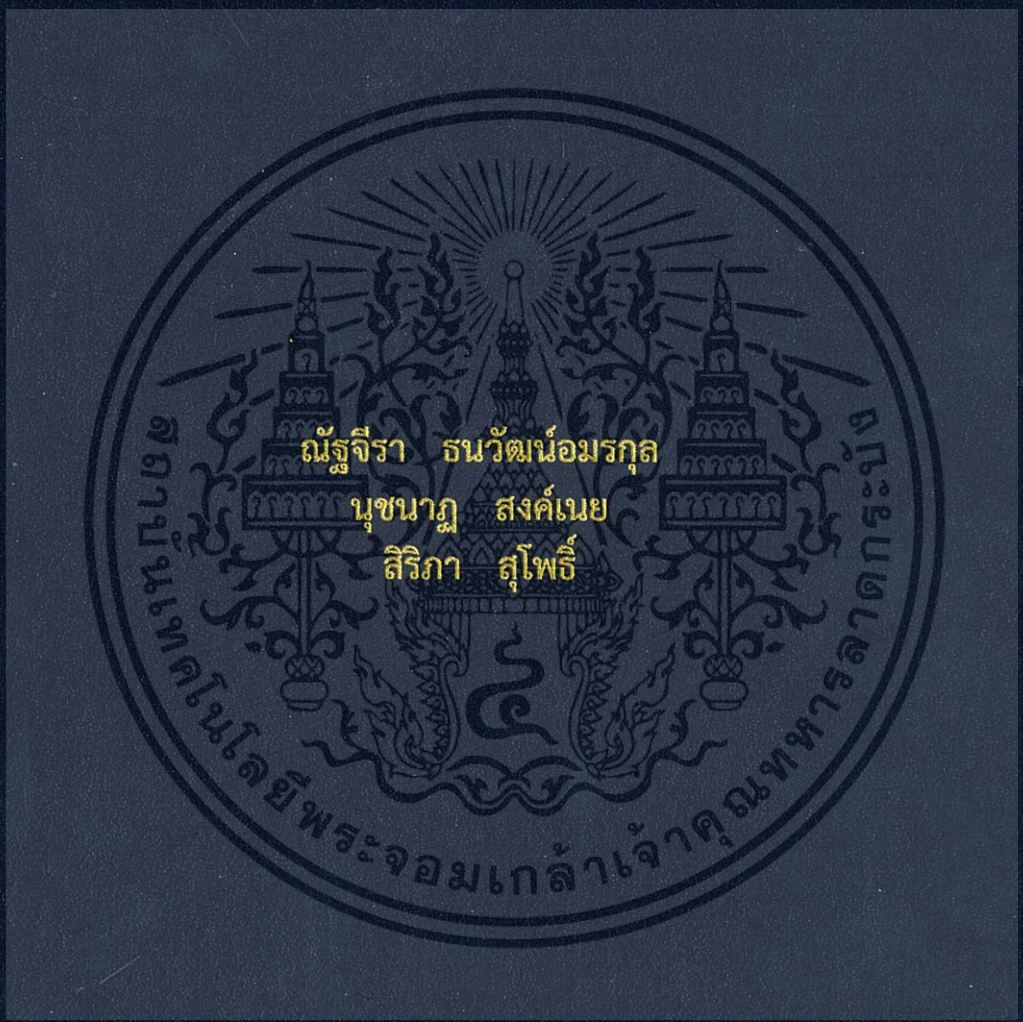
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการติดเชื้อไวรัสอีสุกอีใส-งูสวัด ในประเทศไทย

MATHEMATICAL MODEL OF INFECTION WITH VARICELLA ZOSTER VIRUS IN THAILAND



ณัฐจีรา ธนวัฒน์อมรกุล
นุชนาฏ สงค์เนย
สิริภา สุโพธิ์

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการติดเชื้อไวรัสอีสุกอีใส-งูสวัด ในประเทศไทย

MATHEMATICAL MODEL OF INFECTION WITH VARICELLA ZOSTER VIRUS IN THAILAND

ณัฐจีรา ธนวัฒน์อมรกุล
นุชนาฏ สงค์เนย
สิริภา สุโพธิ์

ห้องสมุดเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
b.00265689
i.
TB00187

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATHEMATICAL MODEL OF INFECTION WITH VARICELLA ZOSTER VIRUS IN THAILAND

NUGEERA THANAWATAMONKUL
NUCHANAD SONGNUEI
SIRIPA SUPHO

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 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการติดเชื้อไวรัสอีสุกอีใส-งูสวัด ในประเทศไทย Mathematical model of infection with Varicella Zoster virus in Thailand
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐจีรา ธนวัฒน์อมรกุล รหัสนักศึกษา 56050040 นางสาวนุชนาฏ สงค์เนย รหัสนักศึกษา 56050073 นางสาวสิริภา สุโพธิ์ รหัสนักศึกษา 56050151
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา	คณิตศาสตร์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สิริพร แฮนน่า วินเทอร์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วรรณพร สรรประเสริฐ ประธานกรรมการ	
ดร.เทิดขวัญ ช้างเผือก กรรมการ	
รศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.สิริพร แฮนน่า วินเทอร์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการติดเชื้อไวรัสอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐจีรา ธนวัฒน์อมรกุล รหัสนักศึกษา 56050040 นางสาวนุชนาฏ สงค์เนย รหัสนักศึกษา 56050073 นางสาวสิริภา สุโพธิ์ รหัสนักศึกษา 56050151
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา	คณิตศาสตร์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สิริพร แฮนน่า วินเทอร์

บทคัดย่อ

โรคอีสุกอีใส-งูสวัดเป็นโรคที่เกิดจากการติดเชื้อ ไวรัสวาริเซลลา (Varicella virus) หรือ Human herpes virus type 3 ในปัญหาพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดโรคอีสุกอีใส-งูสวัด โดยการนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเกิดโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย คณะผู้จัดทำได้ทำการหาจุดสมดุล การหาเงื่อนไขที่ทำให้จุดสมดุลที่ได้มีความเสถียรภาพ และผลลัพธ์เชิงตัวเลข เพื่อให้ได้แบบจำลองสำหรับโรคอีสุกอีใส-งูสวัด อีกทั้งเป็นการวิเคราะห์แนวทางลดการระบาดและวิธีการป้องกันของโรคนี้ต่อไป

คำสำคัญ : ความเสถียรภาพ จุดสมดุล ไวรัสวาริเซลลา โรคอีสุกอีใส-งูสวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Mathematical model of infection with Varicella Zoster virus in Thailand
Students	Miss Nutgeera Thanawatamonkul Student ID 56050040
	Miss Nuchanad Songnuei Student ID 56050073
	Miss Siripa Supho Student ID 56050151
Degree	Bachelor of Science (Applired Mathematics)
Department	Mathematics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun
Co-advisor (if any)	Dr.Siripawn H.Winter

Abstract

Herpes Zoster or Chickenpox is the disease caused by Varicella virus or Human Herpes Zoster type 3. In this project, the researchers study about the development of the disease. The applied mathematics knowledge will be used to create a mathematical model to show the incident of Chickenpox disease. Then equilibrium point, conditions for stabilities and numerical results to make the model. Furthermore, the researchers will analyse about the way to decrease and prevent the incident of Chickenpox.

Keywords: Stabilities, equilibrium point, Varicella virus, Herpes Zoster or Chickenpox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งจะสำเร็จได้เนื่องจากได้รับคำแนะนำ และตอบคำถามต่างๆในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ปัญหาพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์ และ ดร.สิริพร แฮนน่า วินเทอร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คอยแนะนำให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.วรรณพร สรรประเสริฐ และ ดร.เทิดขวัญ ช้างเผือก และคณาจารย์ประจำภาคคณิตศาสตร์ทุกท่านที่ได้อบรมและมอบความรู้ในด้านคณิตศาสตร์ให้ด้วยดีมาโดยตลอดรวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาคคณิตศาสตร์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ

ขอขอบคุณ สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค สำหรับข้อมูลและสถิติของโรคอีสุกอีใส

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมา ตลอดจนเพื่อนๆทุกคน ประโยชน์ และคุณความดีงามที่เกิดจากปัญหาพิเศษ คณะผู้จัดทำขอมอบให้ บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

ณัฐจีรา ธนวัฒน์อมรกุล
นุชนาฏ สงค์เนย
สิริภา สุโพธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย/ปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน 2
1.6ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคอีสุกอีใส 4
2.1.1 ความชุกชุมของโรคอีสุกอีใส 5
2.1.2 สาเหตุของการเกิดโรคอีสุกอีใส 6
2.1.3 ลักษณะของโรคอีสุกอีใส 6
2.1.4 การวินิจัยโรคอีสุกอีใส 7
2.1.5 วิธีรักษาและดูแลผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส 8
2.1.6 วิธีป้องกันโรคอีสุกอีใส 10
2.1.7 วัคซีนโรคอีสุกอีใส 12
2.1.8 การติดต่อของโรคอีสุกอีใส 13
2.1.9 ภาวะแทรกซ้อนของโรคอีสุกอีใส 13
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคงูสวัด 14
2.2.1 สาเหตุของการเกิดงูสวัด 14
2.2.2 การวินิจัยโรคงูสวัด 14
2.2.3 ลักษณะอาการของโรคงูสวัด 15
2.2.4 การรักษาโรคงูสวัด 15
2.2.5 วิธีการป้องกันโรคงูสวัด 18
2.2.6 ภาวะแทรกซ้อนของโรคงูสวัด 18
2.3 นิยามที่เกี่ยวข้อง 20
2.3.1 ค่าลักษณะเฉพาะ 20
2.3.2 พหุนามลักษณะเฉพาะ 20
2.3.3 จาโคเบียนเมทริกซ์ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 จุดสมดุล 22
2.3.5 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง 22
2.3.6 ทฤษฎีบท Routh-Hurwitz Criteria 23
2.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 24
2.4.1 แบบจำลอง 24
2.4.2 ประเภทของแบบจำลอง 25
2.4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 26
2.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื้อ 28
2.5.1 แบบจำลอง SEIR 28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 33
3.1 การสร้าแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย 33
3.1.1 แบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัด 33
3.2 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัด 35
3.2.1 สมการโรคอีสุกอีใส-งูสวัด 35
3.3 จุดสมดุล 44
3.4 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล 45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 49
4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข 49
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ 52
บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ 100
เอกสารอ้างอิง 102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินการ..... 3
2.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (Variables) ของแบบจำลอง SEIR..... 29
2.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (Parameters) ของแบบจำลอง SEIR..... 29
3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (Variables) ของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย..... 34
3.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (Parameters) ของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย..... 34
4.1 ค่าตัวแปร (Variables) ต่างๆของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย..... 49
4.2 ค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย..... 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โรคอีสุกอีใส 4
2.2 แนวโน้มโรคอีสุกอีใส (ตั้งแต่พ.ศ. 2547 - 2557) 5
2.3 อัตราส่วนของผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส ปี พ.ศ. 2547 5
2.4 การเกิดโรคอีสุกอีใสจำแนกตามกลุ่มอายุในปี พ.ศ. 2557 6
2.5 ลักษณะอาการของโรคอีสุกอีใส 7
2.6 ลักษณะอาการโรคงูสวัด 15
2.7 ผู้ป่วยเป็นงูสวัดขึ้นตา 19
2.8 การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ 24
2.9 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง 26
2.10 ขั้นตอนของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ 27
2.11 แบบจำลอง $SEIR$ 28
2.12 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$ ของสมการ (2.1) 30
2.13 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$ ของสมการ (2.2) 30
2.14 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$ ของสมการ (2.3) 31
2.15 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$ ของสมการ (2.4) 31
3.1 แสดงแบบจำลองโรคอีสุกอีใส - งูสวัดในประเทศไทย 33
3.2 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.1) 36
3.3 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.2) 37
3.4 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.3) 38
3.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.4) 39
3.6 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.5) 40
3.7 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.6) 41
3.8 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.7) 42
3.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.8) 43
4.1 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 52
4.2 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 53
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 54
4.4 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 56

4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 57

4.7 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 58

4.8 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 59

4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 60

4.10 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 61

4.11 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 62

4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 63

4.13 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 64

4.14 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 65

4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 66

4.16 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 67

4.17 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 68

4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 69

4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.20 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 71

4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 72

4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 73

4.23 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 74

4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 75

4.25 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 76

4.26 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 77

4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 78

4.28 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 79

4.29 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 80

4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 81

4.31 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 82

4.32 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 83

4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 84

4.34 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.35 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 86

4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 87

4.37 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 88

4.38 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 89

4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 90

4.40 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 91

4.41 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 92

4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 93

4.43 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ 94

4.44 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 95

4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 96

4.46 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ 97

4.47 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 98

4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคอีสุกอีใส-งูสวัดเป็นโรคที่เกิดได้ทั้งเด็กและผู้ใหญ่เกิดจากเชื้อไวรัสวาริเซลลา โดยอีสุกอีใส อาการเป็นผื่นแดงราบ ตุ่มใส ตุ่มหนอง กระจายตามใบหน้า ลำตัว แผ่นหลัง และมีไข้ การติดต่อโดยการสัมผัสถูกตุ่มน้ำโดยตรงหรือสัมผัสถูกของใช้ เช่น แก้วน้ำ ผ้าเช็ดหน้า ผ้าเช็ดตัว ผ้าห่ม ที่นอน ที่เปื้อนถูกตุ่มน้ำของคนที่เป็น อีสุกอีใส หรือสูดหายใจเอาละอองของตุ่มน้ำ ผ่านเข้าทางเยื่อเมือก จะมีระยะฟักตัว 10-20 วัน อาการที่พบในเด็กที่เป็นจะมีไข้ต่ำ อ่อนเพลียและเบื่ออาหาร ส่วนผู้ใหญ่มักจะมีไข้สูง มีอาการปวดเมื่อยตามเนื้อตัวคล้ายไข้หวัด ขณะเดียวกันก็จะมีผื่นขึ้นพร้อมๆ กับวันที่เริ่มมีไข้หรือ 1 วันหลังมีไข้ โดยในระยะแรกจะขึ้นเป็นผื่นแดงราบก่อน ต่อมาจะกลายเป็นตุ่มนูน มีน้ำใสๆและคัน ต่อมาอีก 2-3วันจะตกสะเก็ด ผื่นและตุ่มเหล่านี้จะขึ้นตามไรผมก่อนแล้วกระจายไปตามใบหน้าและลำตัว แผ่นหลัง บางคนจะมีตุ่มขึ้นในช่องปากทำให้ปากและลิ้นเปื่อย จะเกิดอาการเจ็บคอ บางคน อาจไม่มีไข้มีเพียงผื่นและตุ่มขึ้นเท่านั้นผื่นจะขึ้นมากที่สุดที่ใบหน้าและลำตัวและผู้ใหญ่มักจะมีอาการรุนแรงและมีตุ่มขึ้นมากกว่าเด็ก โดยทั่วไปผื่นหายได้โดยไม่มีแผลเป็น ยกเว้นมีเชื้อแบคทีเรียมาแทรกซ้อน โรคนี้เมื่อหายแล้วมักจะมีเชื้อหลบอยู่ที่ปมประสาทซึ่งอาจจะออกมาเป็นงูสวัดในภายหลังได้ เนื่องจากผื่นและตุ่มที่ขึ้นนี้จะค่อยๆขึ้นทีละระลอกไม่ขึ้นพร้อมกันทั่วร่างกาย บางทีจะขึ้นเป็นผื่นแดงราบ บางทีขึ้นเป็นตุ่มน้ำใสๆ บางทีขึ้นเป็นตุ่มกลัดหนองและบางทีเริ่มตกสะเก็ด เมื่อผู้ป่วยหายจากอาการสุกใส เชื้อไวรัสชนิดนี้จะหลบอยู่ในร่างกายและจะปรากฏอาการออกมาภายหลังเรียกว่าโรคงูสวัด สาเหตุที่ไวรัสถูกกระตุ้นขึ้นมาแล้วทำให้เกิดอาการโรค งูสวัดยังไม่ทราบชัดเจน แต่ในระยะที่เกิดภัยธรรมชาติผู้ป่วยส่วนหนึ่งอาจจะมีอาการกำเริบเนื่องจากการพักผ่อนน้อยและเกิดภาวะเครียด

เป็นปัจจัยกระตุ้น ส่วนใหญ่งูสวัดจะพบในวัยผู้ใหญ่โดยเฉพาะผู้สูงอายุ และก็สามารถเกิดกับเด็กได้ด้วยเช่นกัน งูสวัดเป็นโรคติดต่อได้ ผู้ที่ได้รับเชื้อจะแสดงอาการของการเป็นอีสุกอีใส (เพราะงูสวัดเกิดจากเชื้อในตัวเองของผู้ที่เคยเป็นอีสุกอีใส)

ดังนั้นจึงได้นำปัญหานี้มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์การเกิดโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทยและเป็นแนวทางในการควบคุมและป้องกันการเกิดโรคอีสุกอีใสให้แก่สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขต่อไป

1.2วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย และวิเคราะห์แนวทางลดการระบาดของโรคนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาการเกิดโรคอีสุกอีใส-งูสวัด
2) ศึกษาอัตราผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย
3) สร้างแบบจำลองและกราฟในแบบจำลองนี้ได้อย่างถูกต้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส-งูสวัด
2) นำข้อมูลการวิจัยที่ได้ไปเป็นแนวทางการเฝ้าระวังโรคอีสุกอีใส-งูสวัดให้แก่กระทรวงสาธารณสุขในอนาคตต่อไป
3) เป็นแนวทางในการกำหนดงบประมาณสนับสนุนการรักษาโรคอีสุกอีใส-งูสวัด
4) ข้อมูลในการกำหนดตัวชี้วัดของผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส-งูสวัดทั้งประเทศ

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1) ศึกษาค้นคว้าข้อมูลโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย
2) นำข้อมูลที่ได้มารวบรวม
3) สร้างแบบจำลองการเกิดโรคอีสุกอีใส-งูสวัด
4) นำแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดที่ได้มาสร้างเป็นสมการเชิงอนุพันธ์
5) หาจุดสมดุลของสมการ โดยวิธี
   -คำนวณ
   -กราฟ
6) หาความเสถียรภาพ
7) สรุปผลการวิจัย
8) จัดทำรูปเล่มของปัญหาพิเศษ และเตรียมนำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินการ

กิจกรรม	ระยะเวลาในการดำเนินงาน									
	ปี2559					ปี2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1) หาหัวข้อปัญหาพิเศษ	←	→								
2) สืบค้นและค้นหาข้อมูลของปัญหา		←	→	→						
3) เก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาพิเศษ		←	→	→						
4) วิเคราะห์ข้อมูลสถิติของการเกิดโรค			←	→						
5) ค้นคว้าและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง			←	→						
6) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์				←	→					
7) ปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลองทางคณิตศาสตร์				←	→					
8) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์					←	→				
9) สรุปผลที่ได้จากการศึกษา						←	→			
10) เขียนเล่มรายงานปัญหาพิเศษ							←	→	→	
11) จัดทำรูปเล่มรายงานปัญหาพิเศษ								←	→	
12) ตรวจสอบรูปเล่มรายงานปัญหาพิเศษ									←	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคอีสุกอีใส

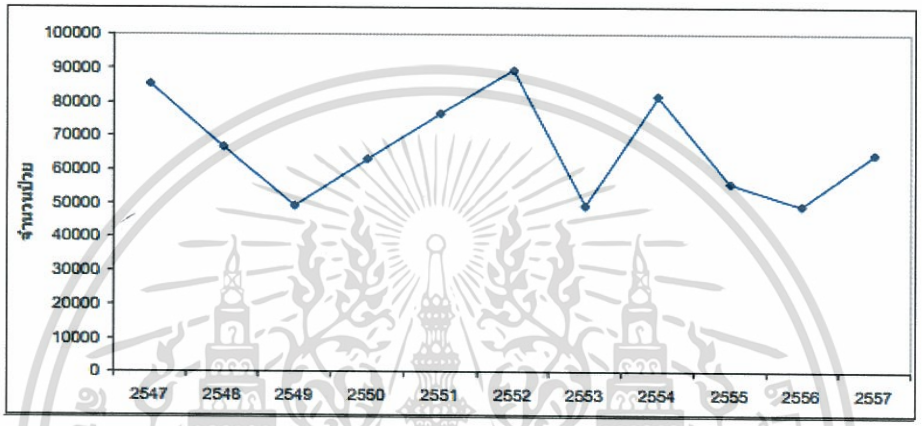
อีสุกอีใส หรือ ไข้อีสุกอีใส หรือที่ในปัจจุบันนิยมเรียกว่า ไข้สุกใส หรือ โรคสุกใส (Chicken-pox, Varicella) เป็นโรคติดต่อที่พบได้บ่อยในเด็ก ซึ่งเกิดจากการติดเชื้อไวรัสวาริเซลลา-ซอสเตอร์ โดยทั่วไปจะพบอัตราการป่วยได้สูงสุดในกลุ่มอายุ 5-9 ปี รองลงมาคือ 0-4 ปี, 10-14 ปี, 15-24 ปี และ 25-34 ปี ตามลำดับ ส่วนในคนที่อายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไปอาจพบได้บ้าง โรคนี้มีโอกาสเกิดได้ใกล้เคียงกันทั้งหญิงและชาย ซึ่งมักจะเป็นคนที่ไม่เคยป่วยเป็นโรคนี้หรือไม่เคยฉีดวัคซีนป้องกันโรคนี้มาก่อน อีสุกอีใสเป็นโรคที่ระบาดแพร่กระจายได้ง่าย โดยเฉพาะในโรงเรียน สถานรับเลี้ยงเด็กหรือตามชุมชนที่อยู่อาศัยทั่วไป สามารถพบได้ตลอดทั้งปี แต่จะมีอุบัติการณ์เกิดสูงสุดในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน รายงานกระทรวงสาธารณสุขในปีพ.ศ.2552 พบว่า มีผู้ป่วยเป็นโรคอีสุกอีใสจำนวน 89,246 คน ทั่วประเทศและมีเสียชีวิต 4 คน เมื่อพิจารณาตามกลุ่มอายุก็พบว่ากลุ่มอายุ5-9 ปี จะมีอัตราป่วยสูงสุดคิดเป็น 578.95 ต่อประชากร 100,000 คน รองลงมาคือกลุ่มอายุ 0-4 ปี, 10-14 ปี และกลุ่มที่มีอายุมากกว่า 15 ปีขึ้นไป คิดเป็น 487.13, 338.45 และ 58.81 ตามลำดับ

รูปที่ 2.1 โรคอีสุกอีใส [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

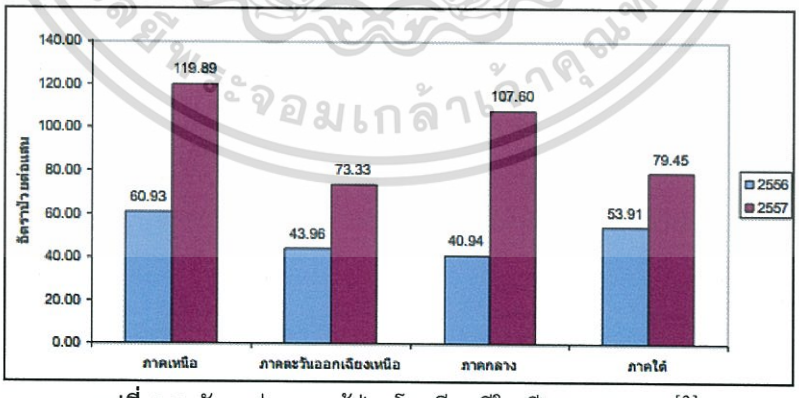
2.1.1 ความชุกชุมของโรคอีสุกอีใส

ข้อมูลจากระบบเฝ้าระวังโรค (รง. 506) ตั้งแต่เดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2557 มีรายงานผู้ป่วยโรคสุกใส จำนวน 63,510 ราย หรือคิดเป็นอัตราป่วย 99.12 ต่อประชากรแสนคน เสียชีวิต 1 ราย โดยมีภาวะแทรกซ้อน คือ Encephalitis เมื่อพิจารณาแนวโน้มของโรคอีสุกอีใสในรอบ 10 ปี (ตั้งแต่ พ.ศ. 2547-2557) จะพบจำนวนผู้ป่วยสูงใน 4 ปี คือ พ.ศ. 2547, 2552, 2554 และ 2557



รูปที่ 2.2 แนวโน้มโรคอีสุกอีใส (ตั้งแต่พ.ศ. 2547-2557) [2]

เมื่อพิจารณาการกระจายของผู้ป่วยตามรายภาค พบว่าภาคที่มีอัตราป่วยสูงสุด คือ ภาคเหนือ มีอัตราป่วย 119.89 ต่อประชากรแสนคน รองลงมาคือ ภาคกลาง มีอัตราป่วย 107.80 ต่อประชากรแสนคน ภาคใต้มีอัตราป่วย 79.45 ต่อประชากรแสนคน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอัตราป่วย 73.33 ต่อประชากรแสนคน โดยที่ทุกภาคมีอัตราส่วนพบผู้ป่วยโรคอีสุกอีใสใน ปี พ.ศ. 2557

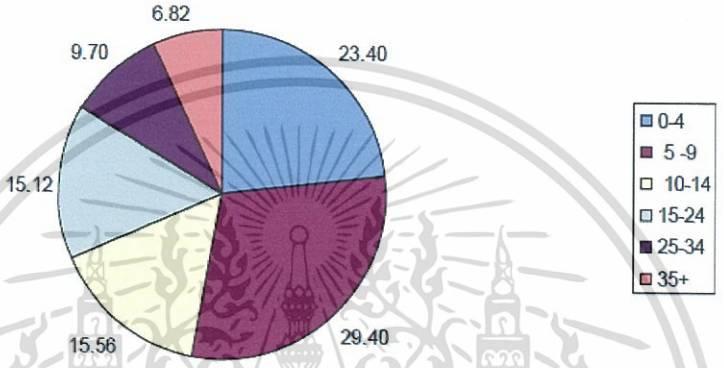


รูปที่ 2.3 อัตราส่วนของผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส ปี พ.ศ. 2547 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวัดที่มีอัตราป่วยสูงสุด 10 อันดับแรก คือ น่าน ระยอง สมุทรปราการ ระนอง สมุทรสาคร นครสวรรค์ อยุธยา ฉะเชิงเทรา เชียงราย และ ปราจีนบุรี โดยมีอัตราป่วย 259.96, 227.52, 175.45, 173.51, 171.31, 164.51, 146.13, 144.69, 141.99 และ 139.25 ตามลำดับ

กลุ่มอายุที่เกิดโรคพบได้หลายกลุ่มอายุ แต่กลุ่มอายุที่พบสัดส่วนผู้ป่วยสูงสุด คือ 5-9 ปี พบผู้ป่วยร้อยละ 29.40 รองลงมา คือ กลุ่มอายุ 0-4 ปีพบผู้ป่วยร้อยละ 23.40 กลุ่มอายุ 10-14 ปี และ 15-24 ปี พบสัดส่วนผู้ป่วยใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 15.56 และ 15.12 ตามลำดับ และยิ่งกลุ่มอายุสูงขึ้น จำนวนผู้ป่วยก็จะลดน้อยลงไป ซึ่งรูปแบบของการเกิดโรคอีสุกอีใสจำแนกตามกลุ่มอายุในปี พ.ศ. 2557 [2]



รูปที่ 2.4 การเกิดโรคอีสุกอีใสจำแนกตามกลุ่มอายุในปี พ.ศ. 2557 [2]

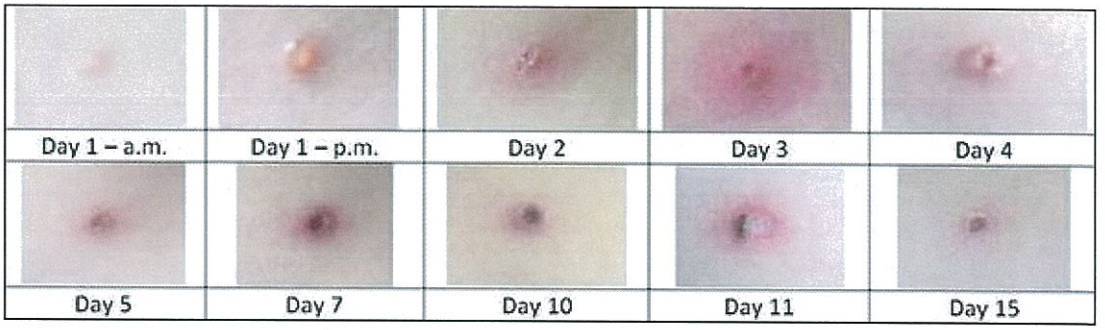
2.1.2 สาเหตุของการเกิดโรคอีสุกอีใส

อีสุกอีใสเกิดจากการติด "เชื้ออีสุกอีใส" ซึ่งเป็นไวรัสที่มีชื่อว่า "ไวรัสวาริเซลลา ซอสเตอร์" (Varicella zoster virus – VZV) หรือ Human herpesvirus type 3 (HHV-3) โดยเชื้อนี้จะก่อให้เกิดโรคอีสุกอีใสในผู้ที่เพิ่งติดเชื้อเป็นครั้งแรก หลังจากนั้นเชื้อจะหลบซ่อนอยู่ในปมประสาท เมื่ออายุมากขึ้นหรือภูมิคุ้มกันต่ำ เชื้อที่หลบซ่อนอยู่ก็จะเจริญเติบโตขึ้นใหม่ก่อให้เกิดโรคงูสวัด

2.1.3 ลักษณะอาการของโรคอีสุกอีใส

ในเด็กจะมีไข้ต่ำๆ มีอาการอ่อนเพลีย และเบื่ออาหารเล็กน้อย ส่วนในผู้ใหญ่มักจะมีไข้สูงและปวดเมื่อยตามร่างกายคล้ายไข้หวัดใหญ่นำก่อน จากนั้นผู้ป่วยจะเริ่มมีผื่นขึ้น ซึ่งจะขึ้นพร้อมๆกันกับวันเริ่มมีไข้หรือขึ้นหลังจากมีไข้ประมาณ 1-2 วัน ลักษณะของผื่นเริ่มแรกจะขึ้นเป็นผื่นราบสีแดงขนาดเล็กๆก่อน ในอีก 2-3 ชั่วโมงต่อมาจะกลายเป็นตุ่มนูนและตุ่มน้ำใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3 มิลลิเมตร มีฐานสีแดงอยู่โดยรอบ ตุ่มใสมักทำให้ผู้ป่วยมีอาการคัน และภายใน 24 ชั่วโมงต่อมาจะกลายเป็นตุ่มน้ำขุ่น มีขนาดใหญ่ขึ้นและแตกได้ง่ายแล้วจะฝ่อหายไปหรือกลายเป็นสะเก็ด ซึ่งสะเก็ดมักจะหลุดหายไปภายใน 7-10 วัน แต่ผู้ป่วยบางรายอาจนานกว่านั้นเป็น 2-3 สัปดาห์ โดยไม่เป็นแผลเป็น (นอกจากจะมีการติดเชื้อแบคทีเรียแทรกซ้อน จนกลายเป็นตุ่มหนองและกลายเป็นแผลเป็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะอาการของโรคอีสุกอีใส [1]

ผื่นและตุ่มอีสุกอีใสจะขึ้นตามลำตัวก่อน (หน้าอก แผ่นหลัง) แล้วลามไปที่หน้า หนังศีรษะ และแขนขา (บริเวณลำตัวมักพบตุ่มขึ้นกระจายมากกว่าส่วนอื่น) นอกจากนี้ยังอาจมีผื่นตุ่มในลักษณะเดียวกันขึ้นตามเยื่อบุปากได้ด้วย (เช่น เพดานปาก ลิ้น คอหอย) ซึ่งจะแตกเป็นแผลตื้นๆ ทำให้ผู้ป่วยมีอาการเจ็บปาก เจ็บคอ เจ็บลิ้น และในบางรายอาจขึ้นในที่เยื่อบุอื่นๆ เช่น เยื่อบุตา กล่องเสียง หลอดลม ท่อปัสสาวะ ทวารหนัก ช่องคลอด เป็นต้น โดยผื่นและตุ่มใหม่จะทยอยขึ้นเป็นระลอกๆ ตามมาเป็นเวลา 3-6 วัน (ส่วนใหญ่ประมาณ 4-5 วัน) แล้วก็จะหยุดขึ้น ส่วนผื่นที่ขึ้นก่อนหน้านี้ก็จะกลายเป็นตุ่มขุ่นหรือตุ่มสุก และตกสะเก็ดก่อนผื่นที่ขึ้นทีหลังตามลำดับ ทำให้ตามลำตัวจึงพบผื่นตุ่มได้ทุกรูปแบบ ทั้งตุ่มสุกและตุ่มใส ในเด็กอาการมักจะไม่รุนแรง ไข้มักไม่สูง ตุ่มมักขึ้นไม่มาก และมักหายได้เองภายใน 7-10 วัน แต่ในเด็กบางรายอาจมีเพียงผื่นตุ่ม แต่ไม่มีไข้เลยก็ได้ ซึ่งในวันแรกๆ อาจวินิจฉัยได้ไม่ชัดเจน หรือคิดว่าเป็นเริมได้ ส่วนในผู้ใหญ่นั้นมักจะมีไข้ขึ้นสูง ปวดเมื่อยตามตัว มีผื่นตุ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และมักจะหายได้ช้ากว่าในเด็ก และในบางรายอาจติดเชื้อไวรัสอีสุกอีใส โดยไม่มีอาการแสดงออกมาเลยก็ได้ จึงทำให้ไม่รู้ตัวว่าเคยเป็นโรคนี้มาก่อน

2.1.4 การวินิจฉัยโรคอีสุกอีใส

ในวันแรกๆ จะพบผื่นแดง ตุ่มนูน และตุ่มน้ำใสขนาดเล็กกระจายอยู่ตามหน้าอก แผ่นหลัง และใบหน้า พอวันหลังๆ จะพบผื่นและตุ่มหลายลักษณะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน อาจพบผื่นขึ้นที่หนังศีรษะ แผลเปื่อยที่เพดานปาก ลิ้น หรือคอหอย ในเด็กอาจพบว่ามีไข้ต่ำ (37.5-38.5 องศาเซลเซียส) หรือไม่มีไข้ ส่วนในผู้ใหญ่มักจะพบว่ามีไข้สูง (39-40 องศาเซลเซียส)

ในการวินิจฉัยโรคนี้ ส่วนใหญ่แล้วแพทย์สามารถวินิจฉัยโรคนี้ได้จากการตรวจร่างกาย โดยดูจากลักษณะอาการสำคัญข้างต้น ไม่จำเป็นต้องมีการตรวจอื่นๆ เพิ่มเติม ยกเว้นในผู้ป่วยที่เกิดผลข้างเคียงแทรกซ้อน หรือในกรณีจำเป็นต้องวินิจฉัยให้แน่ชัด แพทย์จะทำการทดสอบน้ำเหลืองเพื่อหาระดับสารภูมิต้านทานต่อไวรัสอีสุกอีใส หรือตรวจหาเชื้อจากตุ่มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 วิธีรักษาและดูแลผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส

- แพทย์จะให้การรักษาแบบประคับประคองไปตามอาการ เนื่องจากโรคนี้เกิดจากการติดเชื้อไวรัส จึงไม่จำเป็นต้องกินยาปฏิชีวนะ เพราะยาปฏิชีวนะฆ่าเชื้อไวรัสไม่ได้ ฆ่าได้แต่แบคทีเรีย เช่น ถ้ามีอาการคันมากก็ให้กินยาแก้แพ้อย่างคลอร์เฟนิรามีน (Chlorpheniramine) หรือให้ทายาแก้ผดผื่นคันอย่างคาลาไมน์โลชั่น (Calamine lotion) ถ้ามีไข้สูงก็ให้กินยาพาราเซตามอล เป็นต้น สำหรับผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 19 ปี ควรหลีกเลี่ยงการใช้ยาแอสไพริน (Aspirin) เพราะอาจจะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรย์ซินโดรม (Reye's syndrome) ได้

- ถ้าตุ่มเกิดการติดเชื้อแบคทีเรีย เช่น เป็นแผลพุพอง ให้ทาด้วยขี้ผึ้งเตตราไซคลีน หรือเจนเชียนไวโอเลต (Gentian violet) แต่ถ้าเป็นมากแพทย์จะให้ยาปฏิชีวนะ เช่น ไดคล็อกซาซิลลิน (Dicloxacillin) อิริโทรมัยซิน (Erythromycin) หรือ ร็อกซิโทรมัยซิน (Roxithromycin)

- ให้ยาต้านไวรัส แพทย์จะพิจารณาให้ยานี้เฉพาะผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยงต่อการเกิดอาการรุนแรง เช่น ผู้ป่วยที่มีอายุตั้งแต่ 12 ปีขึ้นไป ผู้ที่มีโรคเรื้อรังทางปอดหรือโรคผิวหนัง ได้แก่ ผิวหนังอักเสบจากภูมิแพ้ หรือผู้ที่ได้รับยาแอสไพรินหรือสเตียรอยด์อยู่เป็นประจำ (ส่วนในเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 12 ปี และมีสุขภาพแข็งแรง ไม่จำเป็นต้องใช้ยากลุ่มนี้) โดยผู้ใหญ่จะให้กินยาอะไซโคลเวียร์(Acyclovir) ในขนาด 800 มิลลิกรัม วันละ 5 ครั้ง นาน 5 วัน ส่วนในเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 12 ปี ให้ใช้ในขนาด 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/ครั้ง ในขนาดสูงสุด 800 มิลลิกรัม ทุก 6 ชั่วโมง โดยแพทย์จะรีบให้ยานี้ภายใน 24 ชั่วโมงหลังจากเริ่มมีผื่นขึ้น เพราะจะช่วยลดความรุนแรงและระยะของโรคลงได้ ส่วนในผู้ป่วยที่มีภาวะภูมิคุ้มกันต่ำร่วมด้วย แพทย์จะให้ยาอะไซโคลเวียร์ (Acyclovir) ฉีดเข้าทางหลอดเลือด โดยในผู้ใหญ่จะให้ในขนาด 30มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ส่วนในเด็กจะให้ในขนาด 20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน แบ่งให้ 3 ครั้ง ติดต่อกัน 7-10 วัน

- การดูแลเมื่อเป็นโรคอีสุกอีใส ในเบื้องต้นผู้ป่วยควรปฏิบัติตัวดังนี้

1. ผู้ป่วยควรแยกตัวออกไปอยู่ต่างหากจนพ้นระยะติดต่อ รวมทั้งแยกข้าวของเครื่องใช้ส่วนตัวต่างๆ เช่น เสื้อผ้า แก้วน้ำ ช้อน จาน ชาม ฯลฯ เพื่อหลีกเลี่ยงการแพร่กระจายของเชื้อโรค (ระยะติดต่อคือตั้งแต่ระยะ 24 ชั่วโมงก่อนมีผื่นขึ้น ไปจนถึงระยะที่ตุ่มทั้งหมดตกสะเก็ดแล้ว หรือประมาณ 6 วันหลังจากตุ่มน้ำ)
2. พักผ่อนให้มากๆ
3. อาบน้ำให้สะอาด อยู่ในที่ที่อากาศเย็นสบายและถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดื่มน้ำสะอาดให้มากๆ อย่างน้อยวันละ 8 แก้ว
5. ควรรับประทานอาหารเหลวที่มีโปรตีนให้มากๆ เช่น เนื้อ นม ไข่ ถั่วต่าง ๆ ฯลฯ เพื่อให้ร่างกายมีภูมิต้านทานโรคมากขึ้น หลีกเลี่ยงอาหารที่มีรสเผ็ด เปรี้ยว อาหารหมักดอง และอาหารที่เค็มจัด (โรคนี้ไม่มีของแสลง สามารถกินได้ตามปกติ ส่วนในมุมของทางการแพทย์แผนไทยถือว่าอาหารทะเล ไข่ และน้ำเย็นเป็นของแสลงผู้ป่วยอีสุกอีใสควรหลีกเลี่ยงการรับประทาน เพราะจะทำให้ผิดสำแดง)
6. ผู้ป่วยควรตัดเล็บให้สั้นและหลีกเลี่ยงการแกะหรือเกาตุ่มที่คัน เพราะอาจจะทำให้เกิดการติดเชื้อแบคทีเรียจนกลายเป็นแผลเป็นได้
7. ใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดตัวเมื่อมีไข้สูง
8. ถ้าตุ่มทำให้เกิดอาการคันให้ใช้น้ำเย็น หรือน้ำแข็งประคบ หรืออาบน้ำเย็นบ่อยๆ (ถ้าไม่ทำให้หนาวสั่น)
9. ถ้าเจ็บปากหรือปากเปื่อยลิ้นเปื่อย ให้ใช้น้ำเกลือเย็นๆ กลั้วปากและคอ
10. ไม่ควรใช้ยาที่เข้าสเตียรอยด์ทั้งยากินและยาทา เช่น ยาชุด ยาหม้อ เพราะอาจจะทำให้โรคที่เป็นอยู่เกิดลุกลามได้
11. สำหรับยาเขียวที่ทำจากสมุนไพร (เช่น ยาเขียวหอม ที่บรรจุอยู่ในบัญชียาสามัญประจำบ้านแผนโบราณ พ.ศ.๒๕๕๖) ไม่ถือเป็นข้อห้ามหรือทำให้เกิดผลเสียต่อการรักษาโรคนี้ ผู้ป่วยสามารถใช้ร่วมกับการรักษาปกติได้ แถมยาเขียวยังช่วยให้ดื่มน้ำได้มากขึ้นอีกด้วย
12. รักษาสุขอนามัยพื้นฐาน (สุขบัญญัติแห่งชาติ) เพื่อให้ร่างกายแข็งแรงและช่วยลดโอกาสในการเกิดผลข้างเคียงแทรกซ้อนจากการติดเชื้อโรค
13. ถ้าผู้ป่วยมีไข้สูงและไข้ไม่ลดลงภายใน 1-2 วันหลังกินยาลดไข้ มีตุ่มพองเป็นหนอง มีอาการไอมาก ไอมีเสมหะ (มักเป็นตัวบ่งชี้ว่าเกิดการติดเชื้อแบคทีเรีย) ควรรีบไปพบแพทย์ภายใน 24 ชั่วโมง
14. ถ้าผู้ป่วยมีอาการแทรกซ้อนรุนแรง เช่น มีเลือดออก (เป็นอาการของภาวะเกล็ดเลือดต่ำ), เจ็บหน้าอกมาก หายใจติดขัด หายใจลำบาก หอบเหนื่อย (เป็นอาการของปอดอักเสบ), ปวดศีรษะ ซึม ไม่ค่อยรู้ตัว อาจร่วมกับแขนขาอ่อนแรง หรือชัก (เป็นอาการของสมองอักเสบ) ควรรีบนำส่งโรงพยาบาลโดยด่วน ส่วนผู้ป่วยที่เป็นหญิงตั้งครรภ์ หรือผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ ควรปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 วิธีป้องกันอีสุกอีใส

1. โรคนี้สามารถป้องกันได้โดยการฉีด "วัคซีนป้องกันอีสุกอีใส" (Chickenpox (Varicella) Vaccine) เข้าใต้ผิวหนัง โดยแนะนำให้ฉีดได้ตั้งแต่เด็กมีอายุ 1 ปี หรือในช่วงอายุ 12-18 เดือน ส่วนเด็กที่ยังไม่เคยฉีดวัคซีนป้องกันโรคนี้และไม่เคยเป็นโรคนี้มาก่อนก็สามารถฉีดในช่วงอายุใดก็ได้ ส่วนในผู้ใหญ่นั้น แพทย์จะแนะนำให้ฉีดในเฉพาะในกลุ่มเสี่ยง เช่น คุณครู อนุบาลหรือชั้นประถมศึกษา ผู้ที่ต้องดูแลเด็กในสถานรับเลี้ยงเด็ก บุคลากรทางการแพทย์ หญิงวัยเจริญพันธุ์ที่วางแผนจะตั้งครรภ์ในอนาคต เป็นต้น
   - ในเด็กยังไม่เคยมีประวัติเป็นโรคอีสุกอีใสมาก่อน แพทย์จะแนะนำให้ฉีดวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใส 2 ครั้ง โดยครั้งแรกแนะนำให้ฉีดเมื่ออายุได้ 12-18 เดือน และให้ฉีดกระตุ้นเข็มที่ 2เมื่ออายุ 4-6 ปี หรือเว้นระยะห่างจากเข็มแรกอย่างน้อย 3 เดือน ซึ่งจะมีผลป้องกันโรคนี้ได้ตลอดชีวิต ส่วนวัยรุ่นที่มีอายุตั้งแต่ 13 ปีขึ้นไป ควรจะฉีดวัคซีน 2 ครั้งเช่นกัน แต่ให้ฉีดห่างจากเข็มแรกอย่างน้อยประมาณ 4-8 สัปดาห์ ซึ่งจะทำให้มีภูมิคุ้มกันอยู่ได้อย่างน้อยประมาณ20 ปี
   - จากการศึกษาพบว่าในเด็กอายุ 1-12 ปี หลังได้รับการฉีดวัคซีนครั้งแรก ร่างกายจะมีภูมิคุ้มกันในระดับที่ป้องกันโรคอีสุกอีใสได้ 85% แต่หลังจากฉีดเข็มที่ 2 จะเพิ่มขึ้นเป็น 99.6% ส่วนในรายที่สัมผัสกับผู้ป่วยที่เป็นโรค ถ้าได้รับการฉีดวัคซีนภายใน 3 วันแรก หลักการสัมผัสโรค พบว่าวัคซีนจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันโรคได้ประมาณ 90
   - การฉีดวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใสนั้น นอกจากจะช่วยป้องกันโรคได้ถึง 90-95% แล้ว ยังช่วยลดโอกาสการเกิดแผลเป็น และช่วยลดความรุนแรงของโรคเมื่อเกิดเป็นโรคอีสุกอีใสหลังการฉีดวัคซีนได้ด้วย อีกทั้งวัคซีนชนิดนี้ก็ไม่ค่อยก่อให้เกิดผลข้างเคียงแทรกซ้อนแต่อย่างใด ยกเว้นอาการเจ็บ แดง และบวมในตำแหน่งที่ฉีดยา และในบางคนอาจทำให้มีไข้ได้ในกลุ่มผู้ใหญ่ที่เป็นกลุ่มเสี่ยงนั้น ก่อนการฉีดวัคซีดอาจจะต้องมีการเจาะเลือดเพื่อตรวจดูว่าเคยเป็นโรคนี้มาก่อนหรือไม่ เพราะถ้าเคยเป็นมาก่อนหน้าแล้ว (แต่ไม่แสดงอาการ) ก็ไม่จำเป็นต้อง ฉีดวัคซีนแต่อย่างใด เพราะร่างกายจะมีภูมิคุ้มกันได้ตลอดชีวิตแล้ว
   - วัคซีนนี้แพทย์จะไม่ฉีดให้ในผู้ที่กำลังมีไข้สูง ผู้ป่วยโรคเรื้อรังต่าง ๆ ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง หรือผู้ที่กินยากดภูมิคุ้มกัน รวมทั้งยาสเตียรอยด์ในขนาดเพรดนิโซโลน (Prednisolone) ตั้งแต่ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน นานตั้งแต่ 14 วันขึ้นไป ถ้าใช้สเตียรอยด์มาก่อนจะต้องหยุดใช้มาแล้วอย่างน้อย 1 เดือน (เนื่องจากวัคซีนนี้เป็นวัคซีนเชื้อเป็น โดยเป็นเชื้ออีสุกอีใสที่นำมาทำให้อ่อนกำลังลงมาก จึงไม่ทำให้เกิดโรคในคนปกติ แต่กระตุ้นให้ร่างกายเกิดภูมิคุ้มกันตานทานโรคนี้ได้ ถ้านำมาใช้กลุ่มคนดังกล่าวอาจจะก่อให้เกิดการติดเชื้ออย่างรุนแรงได้)
   - วัคซีนนี้แพทย์จะไม่ฉีดให้หญิงตั้งครรภ์ และในหญิงวัยเจริญพันธุ์ที่ได้รับวัคซีนคุมกำเนิดอย่างน้อย 1 เดือน เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับทารกในครรภ์ (อาจทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทารกในครรภ์ติดเชื้อนี้และเกิดความพิการแต่กำเนิดได้) แต่ถ้าหากบังเอิญได้รับวัคซีนในขณะตั้งครรภ์ ก็ไม่ต้องกังวลอะไร เพราะที่ผ่านมายังไม่เคยมีรายงานว่าทารกจะได้รับอันตรายจากการฉีดวัคซีนในมารดา

- ห้ามใช้วัคซีนนี้ในผู้ที่เคยแพ้วัคซีนต่าง ๆ หรือเคยแพ้วัคซีนอีสุกอีใสในเข็มแรกมาแล้ว ส่วนผู้ป่วยที่เป็นโรคภูมิแพ้ต่าง ๆ ควรปรึกษาแพทย์ เพราะอาจแพ้วัคซีนอีสุกอีใสได้
- หลังได้รับการฉีดวัคซีนแล้ว ควรหลีกเลี่ยงการใช้ยาแอสไพรินเป็นเวลา 6 สัปดาห์
- ผู้ที่เคยฉีดวัคซีนมาแล้วอาจจะไม่ได้ผลในการป้องกันโรคนี้ได้อย่าง 100% เพราะเมื่อฉีดไปแล้วและมีการสัมผัสเชื้ออีกก็จะมีโอกาสเป็นอีสุกอีใสได้ประมาณ 2-10% โดยจะมีอาการเช่นเดียวกับผู้ที่ไม่เคยฉีดวัคซีนมาก่อน แต่จะมีอาการน้อยกว่า มีผื่นและตุ่มพองน้อยกว่ามากและหายได้เร็วกว่ามากหรืออาจภายใน 3-7 วัน (แต่ยังคงแพร่เชื้อให้ผู้อื่นได้เหมือนเดิม)
- ในปัจจุบันมีการผลิตวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใสให้อยู่ในรูปแบบของวัคซีนที่รวมอยู่ในเข็มเดียวกัน ได้แก่ วัคซีนรวมป้องกันโรคหัด คางทูม หัดเยอรมัน และอีสุกอีใส (MMRV) ทำให้สะดวกและไม่ต้องเจ็บตัวมากขึ้น

2. ในช่วงที่มีการระบาดหรือมีคนใกล้ชิดป่วยเป็นโรคนี้ ควรปฏิบัติตัวดังต่อไปนี้
   - ในช่วงที่มีการระบาด ควรหลีกเลี่ยงการเข้าไปในที่ที่มีผู้คนแออัด แต่ถ้าเลี่ยงไม่ได้ ควรหน้ากากอนามัย หมั่นล้างมือด้วยน้ำกับสบู่หรือชโลมมือด้วยแอลกอฮอล์เพื่อกำจัดเชื้อโรคที่อาจติดมาจากการสัมผัสถูกเสมหะของผู้ป่วย และอย่าใช้นิ้วมือขยี้ตาและแคะไชจมูก
   - ไม่เข้าใกล้หรือนอนรวมกับผู้ป่วย ถ้าจำเป็นต้องดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด ควรสวมหน้ากากอนามัยและหมั่นล้างมือให้สะอาดอยู่เสมอ
   - ไม่ใช้สิ่งของเครื่องใช้ร่วมกับผู้ป่วย เช่น แก้วน้ำ โทรศัพท์มือถือ ผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า ของเล่น เครื่องใช้ต่างๆ เป็นต้น และควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสมือผู้ป่วย
   - ควรให้ผู้ป่วยแยกตัวออกห่างจากผู้อื่น ไม่นอนปะปนหรือคลุกคลีใกล้ชิดกับผู้อื่น เวลาไอหรือจามควรใช้ผ้าปิดปากและจมูก และเมื่อต้องเข้าไปอยู่ในที่ที่มีคนอยู่กันมากๆ ก็ควรจะสวมหน้ากากอนามัยด้วยทุกครั้ง
3. สำหรับผู้ที่สัมผัสโรค ถ้าเป็นเด็กที่แข็งแรงเป็นปกติ มักไม่แนะนำให้ใช้ยาป้องกัน เพราะหากเป็นโรคจะไม่รุนแรงและไม่มีอันตราย ส่วนในรายที่ยังไม่เคยได้รับวัคซีนมาก่อน แพทย์อาจแนะนำให้ฉีดวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใส 1 ครั้ง แต่ต้องฉีดภายใน 3 วันหลังจากสัมผัสโรค ซึ่งวิธีนี้อาจจะช่วยป้องกันหรือช่วยลดความรุนแรงของโรคได้
4. สำหรับผู้สัมผัสโรคที่มีความเสี่ยง (ไม่เคยเป็นอีสุกอีใสมาก่อน) เช่น หญิงตั้งครรภ์, ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ, ทารกที่คลอดจากแม่ที่เป็นโรคนี้ภายใน 5 วันก่อนคลอดหรือภายใน 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังคลอด, ทารกที่คลอดก่อนกำหนด หรือทารกที่มีน้ำหนักตัวน้อยตั้งแต่ 1,000 กรัมลงไป ที่จำเป็นต้องรักษาตัวอยู่ในโรงพยาบาล แพทย์อาจฉีดสารภูมิต้านทาน ได้แก่ Varicella zoster immune globulin (VZIG) ภายใน 96 ชั่วโมงหลังจากสัมผัสโรค หรือให้กินยาอะไซโคลเวียร์ (Acyclovir) ภายใน 7-9 วันหลังสัมผัสโรค ในขนาด 40-80 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ติดต่อกันเป็นเวลา 7 วัน หรือฉีดวัคซีนให้ 1 ครั้ง ภายใน 3 วันหลังจากสัมผัสโรค ซึ่งวิธีการเหล่านี้อาจช่วยลดความรุนแรงของโรคได้ถ้ามีการติดเชื้อในเวลาต่อมา

2.1.7 วัคซีนอีสุกอีใส

วัคซีนอีสุกอีใส ที่ค้นพบในระยะแรกมีข้อจำกัดที่ต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำถึง -20 แต่ปัจจุบันสามารถพัฒนาเป็นวัคซีนที่เก็บให้คงประสิทธิภาพได้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศา ซึ่งเป็นอุณหภูมิตู้เย็นปกติ เก็บได้นาน 2 ปี ภายใต้ชื่อการค้า "VARILRIX" ของบริษัท SMITH KLINE BEECHAM ในสหรัฐอเมริกา วัคซีนนี้ได้ถูกบรรจุให้อยู่ในตารางการให้วัคซีน เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันโรคในเด็ก ปกติที่มีอายุในช่วง 12-18 เดือนแล้ว และกำหนดให้ฉีดให้เด็กอายุ 11-12 ปี ที่ยังไม่เคยรับวัคซีน และยังไม่เคยเป็นอีสุกอีใสมาก่อนด้วย

ในประเทศไทย เนื่องจากวัคซีนอีสุกอีใสมีราคาค่อนข้างสูง จากรายงานทางระบาดวิทยาพบว่า 50 % ของอีสุกอีใสเป็นในเด็กอายุต่ำกว่า 10 ปี ซึ่งมักมีอาการไม่รุนแรง จึงยังไม่กำหนดให้เป็นวัคซีนที่บังคับฉีดในเด็กไทย แต่หากต้องการฉีดวัคซีนป้องกัน ก็สามารถทำได้โดย วัคซีนอีสุกอีใสสามารถฉีดครั้งแรกได้ตั้งแต่อายุ 1 ปี และเข็มที่สองเมื่ออายุ 4-6 ปี ซึ่งเป็นช่วงอายุที่พบติดเชื้อได้บ่อยที่สุด แต่หากมีความจำเป็นเร่งด่วน เช่น เกิดการระบาด หรือเพิ่งรับเชื้อ ให้รับวัคซีนเข็มที่ 2 ทันที แต่ต้องห่างจากเข็มแรกอย่างน้อย 3 เดือนสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 13 ปี ที่ยังไม่เคยมีเป็นโรคอีสุกอีใส ให้รับ 2 เข็มห่างกันอย่างน้อย 3 เดือน เพื่อให้มีระยะเวลาเพียงพอในการกระตุ้นให้สร้างภูมิต้านทานได้สูงพอที่จะป้องกันโรค ในส่วนของผู้ที่มีอายุ 13 ปีขึ้นไป หรือผู้ใหญ่ สามารถฉีดวัคซีน 2 เข็มได้ โดยห่างกันอย่างน้อย 1 เดือน หรือภายใน 4-8 สัปดาห์หลังจากฉีดวัคซีนเข็มแรก ทั้งนี้ วัคซีนโรคอีสุกอีใสนอกจากป้องกันโรคได้แล้ว ยังช่วยลดโอกาสเกิดแผลเป็น และช่วยลดความรุนแรงของโรคเมื่อเกิดเป็นโรคอีสุกอีใสหลังฉีดวัคซีนแล้วด้วย

อย่างไรก็ตาม วัคซีนอีสุกอีใสนี้ห้ามฉีดในหญิงมีครรภ์ สำหรับสตรีวัยเจริญพันธุ์ที่ฉีดวัคซีนนี้ควรหลีกเลี่ยงการตั้งครรภ์ในช่วง 3 เดือน หลังจากฉีดยา [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 การติดต่อของโรคอีสุกอีใส

เชื้อไวรัสชนิดนี้จะมีอยู่ในตุ่มน้ำของผู้ที่เป็นอีสุกอีใสหรืองูสวัด ในน้ำลายและเสมหะของผู้ที่เป็นอีสุกอีใส สามารถติดต่อได้จากการสัมผัสถูกตุ่มน้ำโดยตรงหรือสัมผัสถูกมือ สิ่งของเครื่องใช้ เช่น แก้วน้ำ ผ้าเช็ดตัว ผ้าเช็ดหน้า ที่นอน ผ้าห่ม เป็นต้น หรือสิ่งแวดล้อมที่แปดเปื้อนไปด้วยเชื้อตุ่มน้ำ น้ำลาย หรือเสมหะของผู้ป่วย แล้วเชื้อก็ปนเปื้อนเข้าทางเดินหายใจแบบเดียวกับไข้หวัด หรืออีกทางหนึ่งโดยการหายใจสูดเอาฝอยละอองน้ำลายหรือเสมหะที่ผู้ป่วยไอหรือจามรด หรือออกมาแขวนลอยอยู่ในอากาศแบบเดียวกับไข้หวัดใหญ่ ไม่ว่าจะติดต่อโดยทางใดก็ตาม เชื้อจะเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินหายใจแล้วเข้าสู่กระแสเลือดและกระจายไปทั่วร่างกาย รวมทั้งที่ผิวหนัง (ส่วนการสัมผัสสะเก็ดแผลจะไม่ทำให้ติดโรค)

ระยะฟักตัวของโรคอีสุกอีใส : ประมาณ 10-21 วัน แต่โดยเฉลี่ยคือประมาณ 14-17 วัน

2.1.9 ภาวะแทรกซ้อนของโรคอีสุกอีใส

ภาวะแทรกซ้อนจะพบได้น้อยมากในเด็กที่มีสุขภาพแข็งแรงอยู่เดิม แต่ถ้าเป็นในผู้ใหญ่หรือผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น ผู้ป่วยเอดส์ มะเร็ง เบาหวาน ปลูกถ่ายอวัยวะ ใช้ยารักษามะเร็งหรือสเตียรอยด์ฯลฯ จะมีภาวะแทรกซ้อนได้บ่อยและรุนแรง ที่พบได้บ่อยคือการติดเชื้อแบคทีเรียแทรกซ้อนจนกลายเป็นแผลพุพอง (เนื่องจากไม่ได้รักษาความสะอาดหรือใช้เล็บเกา) เนื้อเยื่อใต้ผิวหนังอักเสบ และไฟลามทุ่ง ซึ่งอาจทำให้เป็นแผลเป็นได้

- **ปอดอักเสบ** เป็นภาวะร้ายแรงที่มักพบได้ในผู้ป่วยที่มีอายุมากกว่า 20 ปี หญิงตั้งครรภ์ หรือในผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ มักเกิดจากไวรัสอีสุกอีใส บางรายอาจเกิดจากการติดเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสแทรกซ้อน อาการมักรุนแรงและมีอัตราการเสียชีวิตสูง
- **สมองอักเสบ** เป็นกรณีที่พบได้ประมาณ 1 ใน 1,000 พบได้ในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ มีอัตราการเสียชีวิตร้อยละ 5-30 นอกนั้นมักจะหายได้เองเป็นปกติ
- **ภาวะเกล็ดเลือดต่ำ** เป็นกรณีที่พบได้น้อยแต่รุนแรง ทำให้มีเลือดออกในตุ่มน้ำใสหรือมีเลือดออกตามปากและจมูก มักพบในผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ
- **กลุ่มอาการอีสุกอีใสแต่กำเนิด** ในหญิงตั้งครรภ์ในระยะไตรมาสแรกหรือไตรมาสที่ 2 ถ้ามีการติดเชื้ออีสุกอีใส อาจทำให้ทารกมีน้ำหนักตัวแรกคลอดน้อยหรือทารกพิการได้ เรียกว่า “กลุ่มอาการอีสุกอีใสแต่กำเนิด” (Congenital varicella syndrome) ทำให้มี
- แผลเป็นตามตัว แขนขาลีบ ตาเล็ก ต้อกระจก ศีรษะเล็ก ปัญญาอ่อน เป็นต้น (ความพิการในทารกพบได้ประมาณ 0.5-6.5% หรือโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2% ของทารกที่แม่เป็นอีสุกอีใสในช่วงไตรมาสแรก)
- หญิงตั้งครรภ์ที่เป็นอีสุกอีใสภายใน 5 วันก่อนคลอด หรือเป็นภายใน 24 ชั่วโมงหลังคลอด อาจทำให้ทารกที่เกิดมาเป็นอีสุกอีใสชนิดรุนแรงซึ่งมีอัตราการเสียชีวิตสูง
- เมื่อโรคหายแล้ว จะยังคงมีเชื้อบางส่วนหลงเหลืออยู่ และเชื้อชนิดนี้มักจะหลบซ่อนอยู่ในปมประสาทต่าง ๆ โดยเฉพาะลำตัว จึงทำให้มีโอกาสเป็นโรคงูสวัดในภายหลัง เมื่อยามที่ร่างกายอ่อนแอ แก่ตัวลง หรือมีภูมิคุ้มกันต่ำ
- ภาวะแทรกซ้อนอื่นๆ ที่อาจพบได้แต่น้อยมาก เช่น โรคเรย์ซินโดรม จอประสาทตาอักเสบ กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ ตับอักเสบ หน่วยไตอักเสบ อัณฑะอักเสบ ข้ออักเสบ เป็นต้น [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคงูสวัด

โรคงูสวัด (ภาษาอังกฤษ Herpes Zoster) ถือว่าเป็นโรคผิวหนังชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากเชื้อไวรัสชนิดเดียวกับไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคอีสุกอีใส ซึ่งสามารถพบผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้ ได้ในประเทศไทย และจะพบมากในวัยผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ ซึ่งมักเกิดบริเวณผิวหนังตามร่างกาย ลักษณะเป็นผื่นหรือตุ่มตามยาว ส่วนใหญ่ งูสวัด จะขึ้นบริเวณ แนวบั้นเอวหรือแนวชายโครง หรือบางคนอาจขึ้นที่ใบหน้า แขนหรือขา แต่จะมีลักษณะการขึ้นที่คล้ายกันคือ ขึ้นเพียงซีกหนึ่งซีกใดของร่างกายเท่านั้น

โรคนี้โดยทั่วไปแล้ว ไม่ใช่โรคที่ร้ายแรง และจะหายได้เองเป็นส่วนใหญ่ การรักษาเพียงแต่ให้การบรรเทาไปตามอาการ ยกเว้นในคนที่มีอายุมากกว่า 50 ปีขึ้นไป ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ ผู้ที่งูสวัดขึ้นบริเวณใบหน้า และผู้ที่มีอาการปวดรุนแรงตั้งแต่เริ่มมีผื่นขึ้น จะต้องให้การรักษาด้วยยาต้านไวรัสชนิดกินหรือฉีด แต่เดิมแพทย์เคยนิยมให้การรักษาโดยใช้สเตียรอยด์ในระยะแรกที่เป็นงูสวัด เพื่อป้องกันอาการปวดประสาทแทรกซ้อนตามมา แต่จากการศึกษาพบว่าวิธีนี้ไม่ได้ผลจริง แม้ว่ายานี้จะช่วยลดอาการปวดที่เกิดขึ้นในระยะที่เริ่มเป็นใหม่ๆ ได้ก็ตาม ซึ่งวิธีป้องกันการเกิดอาการดังกล่าวที่ได้ผลดีก็คือ การให้ยาต้านไวรัสอะไซโคลเวียร์ตั้งแต่เป็นเริ่มแรก เมื่อมีอาการของโรคงูสวัดตามที่กล่าวมาควรรีบไปพบแพทย์ ผู้ป่วยไม่ควรรักษาโรคนี้ด้วยตัวเอง เพราะมีคนไข้จำนวนมากที่ชอบรักษาโรคงูสวัดด้วยตัวเองก่อนที่จะมาพบแพทย์ ด้วยการนำสมุนไพรมาพอกบริเวณที่เป็น ทำให้หลายรายมีอาการติดเชื้อเน่าและส่งกลิ่นเหม็นอย่างรุนแรง และถ้าไม่ทำการรักษาอย่างถูกต้องก็จะทำให้มีอาการปวดรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในผู้สูงอายุและผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ

2.2.1 สาเหตุของการเกิดโรคงูสวัด

โรคงูสวัด มีสาเหตุมาจากเชื้อไวรัส Varicella zoster virus หรือ VZV เชื้อชนิดนี้ จะทำให้เกิดโรคในคน คือ อีสุกอีใส และงูสวัด เมื่อเชื้อไวรัส VZV เข้าสู่ร่างกายครั้งแรก จะทำให้ผู้ที่ติดไวรัสเป็นอีสุกอีใส แต่เมื่อหายจากโรคอีสุกอีใสแล้ว เชื้อไวรัสจะไปหลบตามในปมประสาทต่างๆ ของร่างกาย ทำให้เส้นประสาทอักเสบ และปล่อยเชื้อไวรัสออกมาที่ผิวหนัง พอถึงช่วงที่ร่างกายอ่อนเพลียมีภูมิคุ้มกันลดลง เชื้อไวรัสจะเริ่มเพิ่มจำนวน แล้วจะแสดงอาการของโรคงูสวัดขึ้น

2.2.2 การวินิจฉัยโรคงูสวัด

แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคงูสวัดได้จากการดูประวัติอาการ การตรวจร่างกาย และการตรวจลักษณะของผื่น โดยมักพบตุ่มน้ำใสเรียงเป็นแนวยาวตามแนวเส้นประสาท และต่อมน้ำเหลืองในบริเวณใกล้เคียง (เช่น รักแร้ คอ) ที่มักโตและเจ็บร่วมด้วย ในบางรายอาจพบว่ามีไข้ร่วมด้วย ส่วนในรายที่ยังไม่มีผื่นขึ้น หากแพทย์สงสัยจะใช้วิธีการเจาะเลือดเพื่อตรวจดูภูมิคุ้มกันต้านทานโรคหรือแอนติบอดี (Antibody)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ลักษณะอาการของโรคงูสวัด

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ผู้ป่วยจะมีอาการปวดและแสบร้อนที่ผิวหนัง โดยที่ไม่สามารถหาสาเหตุได้ ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ผู้ป่วย มีภูมิต้านทานของร่างกายที่ลดต่ำลง ทำให้เชื้อไวรัสเริ่มมีการเพิ่มจำนวนในร่างกาย ตามปมประสาทต่างๆ ทำให้เกิดอาการปวดและแสบร้อนได้

ระยะที่ 2 หลังจากนั้นประมาณ 2-3 วัน ผู้ป่วยจะเริ่มมีผื่นสีแดงขึ้นที่ผิวหนัง แล้วจะกลายเป็นตุ่มน้ำใสๆซึ่งจะเรียงกันเป็นกลุ่ม และเป็นแนวยาวเรียงไปตามกลุ่มของเส้นประสาทของร่างกาย เช่น ตามแขน ขา แผ่นหลัง หรือรอบๆ เอว ต่อมาตุ่มใสๆ ของโรคงูสวัดนี้จะเริ่มแตก และจะตกสะเก็ด ซึ่งแผลเหล่านี้จะหายได้เองภายใน 2 สัปดาห์

ระยะที่ 3 เมื่อแผลที่ตกสะเก็ดแห้ง และหายดีแล้ว ผู้ป่วยส่วนใหญ่ มักจะยังมีอาการปวดและแสบร้อน ตามรอยแนวของแผลอยู่ บางคนอาจจะต้องใช้เวลานาน กว่าจะหาย ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของคุ้มกันของแต่ละคน

รูปที่ 2.6 ลักษณะอาการของโรคงูสวัด [7]

2.2.4 การรักษาโรคงูสวัด

ผู้ป่วยงูสวัดที่มีอาการไม่รุนแรงมาก แพทย์จะให้การรักษาไปตามอาการ เช่น ถ้ามีอาการปวดก็ให้ยาแก้ปวด ถ้ามีอาการคันหรือปวดแสบปวดร้อนก็ให้ทายาแก้ผดผื่นคัน ครีมพญายอขององค์การเภสัชกรรมหรือของอภัยภูเบศร หรือให้ทาน้ำยาคาลาไมน์ ถ้าตุ่มกลายเป็นหนองเฟะจากการติดเชื้อแทรกซ้อนก็ให้ยาปฏิชีวนะ เช่น ไดคล็อกซาซิลลิน (Dicloxacillin) อิริโทรมัยซิน (Erythromycin)

ผู้ป่วยงูสวัดที่มีอายุมากกว่า 50 ปี หรือในรายที่ขึ้นบริเวณหน้า หรือมีอาการปวดรุนแรงตั้งแต่แรกที่มีผื่นขึ้น แพทย์จะให้กินยาอะไซโคลเวียร์ (Acyclovir) ครั้งละ 800 มิลลิกรัม ทุก 4 ชั่วโมง วันละ 5 ครั้ง (เว้นมื้อหลังเข้านอนตอนดึก) นาน 7 วัน แต่จะต้องเริ่มให้ภายใน 48-72 ชั่วโมงหลังเกิดอาการ จึงจะได้ผลดีในการลดความรุนแรงและย่นระยะเวลาให้หายเร็วขึ้น รวมทั้งอาจช่วยลดอาการปวดประสาทแทรกซ้อนในภายหลังได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับยาอะไซโคลเวียร์ชนิดทาภายนอกนั้น มีไว้ใช้สำหรับรักษาโรคเริม แต่ใช้ไม่ได้ผลกับโรคงูสวัดและอีสุกอีใส
- นอกจากยาอะไซโคลเวียร์แล้วยังมียาอีก 2 ชนิด คือ วาลาซิโคลเวียร์ (Valaciclovir)และแฟมซิโคลเวียร์ (Famciclovir) ซึ่งมีกลไกการออกฤทธิ์เหมือนยาอะไซโคลเวียร์ แต่มีข้อดีกว่าตรงที่ใช้กินวันละ 3 ครั้งเท่านั้น แต่ยาทั้ง 2 ชนิดนี้ยังมีราคาค่อนข้างแพง เพราะมีแต่ผู้ผลิตต้นตำรับของแต่ละรายเท่านั้นถ้าพบเป็นงูสวัดชนิดแพร่กระจาย (ออกนอกแนวเส้นประสาท) ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ สงสัยอาจมีภาวะแทรกซ้อนทางตา (เช่น เจ็บตา เคืองตา ตาแดง ตามัว) หรือมีอาการอัมพาตใบหน้าครึ่งซีกร่วมด้วย หรือสงสัยว่าเป็นโรคเอดส์ ควรรีบไปพบแพทย์โดยเร็ว
- ในรายที่มีภูมิคุ้มกันต่ำหรือเป็นชนิดแพร่กระจาย อาจต้องให้นอนพักในโรงพยาบาล และให้ยาอะไซโคลเวียร์ชนิดฉีดเข้าหลอดเลือดในขนาด 10-12.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทุก ๆ 8 ชั่วโมง นาน 7 วัน
- ในรายที่งูสวัดขึ้นตา ควรปรึกษาจักษุแพทย์ ซึ่งแพทย์จะให้การรักษาโดยให้กินยาอะไซโคลเวียร์ ครั้งละ 800 มิลลิกรัม ทุก 4 ชั่ว วันละ 5 ครั้ง นาน 10 วัน และอาจให้ขี้ผึ้งป้ายตาอะไซโคลเวียร์ 3% ป้ายตาวันละ 5 ครั้งร่วมด้วย ส่วนในรายที่มีอาการรุนแรงหรือมีม่านตาอักเสบ อาจจะต้องให้ยาหยอดตาสเตียรอยด์ และยาหยอดตาอะโทรปีน 1%
- ในรายที่เป็นอัมพาตใบหน้าครึ่งซีก แพทย์จะให้กินยาเพรดนิโซโลน (Prednisolone) วันละ 45-60 มิลลิกรัม จนกว่าผื่นจะหายไป ซึ่งอาจต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ และแพทย์อาจพิจารณาให้อะไซโคลเวียร์ร่วมด้วยในการรักษา
- ในรายที่เป็นงูสวัดชนิดแพร่กระจายหรือเป็นซ้ำซาก ควรส่งตรวจเลือดดูว่ามีการติดเชื้อเอชไอวีซ่อนเร้นอยู่หรือไม่

ผู้ป่วยงูสวัดที่มีอาการปวดประสาทหลังเป็นงูสวัด ในระหว่างที่มีอาการปวดแพทย์จะให้กินยาพาราเซตามอล (Paracetamol) ยาต้านอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ (NSAID) หรือทรามาดอล (Tramadol) ครั้งละ 1-2 เม็ด ทุก 6 ชั่วโมง หรือให้กินยาอะมิทริปไทลีน (Amitriptyline) เริ่มต้นด้วยขนาดวันละ 20-25 มิลลิกรัม แล้วค่อยๆ เพิ่มขนาดขึ้นทุกๆ สัปดาห์จนได้ผล ถ้าใช้ในขนาดสูงประมาณวันละ 75-150 มิลลิกรัม ควรแบ่งเป็นวันละ 3 ครั้ง (ยานี้อาจทำให้ง่วงนอน ปากคอแห้ง) แต่ในกรณีที่ไม่ได้ผลหรือมีอาการปวดรุนแรง ผู้ป่วยควรปรึกษาแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ โดยแพทย์อาจจะต้องให้ยาฉีด ยาทา หรือยาพ่น หรือใช้แคปไซซินทา (Capsicin) ในบางรายแพทย์อาจให้ยารักษาโรคลมชักเพื่อช่วยบรรเทาอาการปวดประสาทร่วมด้วย เช่น คาร์บามาซีปีน (Carbamazepine) กาบาเพนติน (Gabapentin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อห้ามของคนเป็นโรคงูสวัดที่สำคัญ คือ คนที่เป็นโรคงูสวัด ห้ามโดนน้ำ ห้ามกินไก่ ห้ามดื่มเหล้า ห้ามกินของแสลง ที่เป็นของร้อน เช่น ทุเรียน สับปะรด เด็ดขาด ไม่อย่างนั้นจะทำให้แผลหายช้า ต้องรักษาสุขภาพของร่างกายให้แข็งแรง มีการพักผ่อนที่เพียงพอ เพื่อให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันโรคที่ดีอยู่เสมอ เชื้อไวรัสที่หลบซ่อนอยู่ในร่างกายก็จะไม่สามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้

การดูแลตนเองของป่วยงูสวัด

1. ตัดเล็บให้สั้น ไม่แกะหรือเกาบริเวณที่เป็นผื่นหรือตุ่ม และไม่เป่าหรือพ่นยาลงบนแผล เช่น ยาพื้นบ้านหรือยาสมุนไพรลงไปบริเวณตุ่มน้ำ เพราะอาจจะทำให้มีการติดเชื้อแบคทีเรียแทรกซ้อนจนกลายเป็นตุ่มหนอง แผลหายช้า และกลายเป็นแผลเป็นได้
2. สวมใส่เสื้อผ้าที่หลวมและสบายตัว
3. ระมัดระวังในเรื่องของความสะอาด เพื่อป้องกันการติดเชื้อแบคทีเรียซ้ำซ้อนของผื่นและตุ่มน้ำ
4. รักษาแผลให้สะอาดอยู่เสมอ ในระยะที่เป็นตุ่มน้ำใส ให้ใช้ผ้าสะอาดชุบน้ำเกลืออุ่น ๆ นำมาประคบแผลไว้ครั้งละประมาณ 5-10 นาที แล้วซุบเปลี่ยนใหม่ โดยให้ทำวันละ 3-4 ครั้ง จะช่วยทำให้แผลแห่งเร็วมากขึ้น ส่วนในระยะที่ตุ่มน้ำแตกมีน้ำเหลืองไหลต้องระมัดระวังการติดเชื้อแบคทีเรียที่อาจเข้าสู่แผลได้มากยิ่งขึ้น ด้วยการล้างแผลด้วยน้ำเกลือสะอาด แล้วปิดแผลด้วยผ้าก๊อซ
5. หากมีอาการคันให้ทาน้ำยาคาลาไมน์ (Calamine lotion) และอาจร่วมกับการกินยาบรรเทาอาการคันและยาแก้ปวดด้วย (ในกรณีซื้อยาเองควรปรึกษาเภสัชกรประจำร้านขายยาก่อนเสมอ เพื่อความปลอดภัยในการใช้ยา)
6. ให้ประคบด้วยความเย็นบริเวณที่มีอาการปวด
7. ถ้ามีอาการปากเปื่อยให้ใช้น้ำเกลือกลั้วปาก
8. ผู้ที่เป็นงูสวัดอาจแพร่เชื้อให้ผู้ที่อยู่ใกล้ชิดที่ยังไม่เคยรับเชื้อนี้มาก่อนได้ เช่น เด็กๆ หรือผู้ที่ไม่เคยฉีดวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใสมาก่อน หรือบางครั้งแม้เคยฉีดวัคซีนมาแล้วก็อาจจะทำให้เป็นอีสุกอีใสได้เช่นกัน แต่จะพบได้น้อยมาก (ติดต่อได้จากการสัมผัสผื่นหรือตุ่มพองของโรค) ดังนั้น ผู้ป่วยที่โรคงูสวัดจึงควรแยกตัวอยู่ต่างหาก แยกข้าวของเครื่องใช้ ที่นอน เครื่องนุ่งห่ม ผ้าเช็ดตัว ฯลฯ ของผู้ป่วยกับผู้ที่ยังไม่เคยเป็นโรคอีสุกอีใสมาก่อน
9. ในผู้ป่วยที่เป็นโรคงูสวัดแบบแพร่กระจายหรือผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง สามารถแพร่กระจายเชื้อได้ทางการหายใจ ดังนั้นจึงควรแยกผู้ป่วยไม่ให้อยู่ใกล้ชิดกับเด็กๆ คุณแม่ตั้งครรภ์ และผู้ที่ไม่เคยเป็นโรคมาก่อน
10. หากผู้ป่วยมีอาการดังต่อไปนี้ควรรีบไปพบแพทย์ทันที
    - มีอาการปวดมากหรือมีผื่นขึ้นมาก
    - ตุ่มพองเป็นหนอง เพราะต้องรักษาด้วยยาปฏิชีวนะ ซึ่งควรได้รับการรักษาโดยแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีอาการผิดปกติกับลูกตา เช่น ปวดตา เคืองตา หรือตาแดง
- มีไข้สูง ไข้ไม่ลดลงหลังกินยาลดไข้ไปแล้ว 1-2 วัน
- ปวดศีรษะอย่างรุนแรง หรือสับสน หรือแขน/ขามีอาการอ่อนแรงร่วมกับการมีไข้ (เป็นอาการของสมองอักเสบ ควรรีบไปแพทย์โดยด่วน)
- การได้ยินลดลง
- เมื่อมีความกังวลในอาการของโรคงูสวัดที่เป็นอยู่

11. ถ้ามีอาการปวดหลังการติดเชื้อ ให้รับประทานยาพาราเซตามอลแก้ปวด แต่ถ้าอาการไม่ดีขึ้น ควรรีบไปพบแพทย์

2.2.5 วิธีป้องกันโรคงูสวัด

1. โรคนี้สามารถป้องกันได้ด้วยการฉีดวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใสตั้งแต่ก่อนเป็นอีสุกอีใส
2. ดูแลสุขภาพร่างกายให้แข็งแรง ออกกำลังกายเป็นประจำ พักผ่อนให้เพียงพอ รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ให้ครบทั้ง 5 หมู่
3. หลีกเลี่ยงการสัมผัสผื่นและตุ่มโรคของผู้ป่วยงูสวัด โดยเฉพาะผู้ที่ไม่เคยฉีดวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใสหรือไม่เคยเป็นโรคอีสุกอีใสมาก่อน
4. ในบางประเทศอย่างสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ฉีดวัคซีนป้องกันโรคงูสวัด ในผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป (เป็นคนละชนิดกับวัคซีนป้องกันโรคอีสุกอีใส แต่เป็นวัคซีนที่ยังไม่แพร่หลายทั่วไป) ส่วนในบ้านเราถ้าสนใจจะฉีดวัคซีนชนิดนี้ควรปรึกษาแพทย์
5. หากพบว่ามีตุ่มใสๆ เห่อขึ้นตามผิวหนังส่วนใดก็ตามให้สันนิษฐานไว้ก่อนว่าเป็นโรคงูสวัด แล้วรีบไปรักษาโดยด่วน เพราะถ้าปล่อยไว้นานจะยิ่งรักษาได้ยากขึ้น

2.2.6 ภาวะแทรกซ้อนของโรคงูสวัด

1. อาการปวดประสาทหลังเป็นงูสวัด (Postherpetic neuralgia – PHN) เป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบได้บ่อยที่สุด ยิ่งอายุมากก็ยิ่งเป็นรุนแรงและนานขึ้น โดยเฉลี่ยจะพบได้ประมาณ 10-15% ของผู้ป่วยที่เป็นงูสวัด พบได้ประมาณ 50% ของผู้ป่วยที่มีอายุมากกว่า 50 ปีขึ้นไป และพบได้มากถึง 70% ในผู้ป่วยที่มีอายุ 70 ปีขึ้นไป ผู้ป่วยจะมีอาการปวดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่แรกหรือเกิดขึ้นภายหลังผื่นหายหมดแล้ว มีลักษณะอาการปวดแบบลึกๆ แบบปวดแสบปวดร้อนตลอดเวลา หรือปวดแบบแปลบๆ เสียวๆ คล้ายกับถูกมีดแทงเป็นพักๆ มักมีอาการปวดเวลาถูกสัมผัสเพียงเบาๆ จะปวดมากขึ้นในตอนกลางคืนหรือเวลาที่อากาศเปลี่ยนแปลง ในบางครั้งอาจรุนแรงมากจนทนไม่ได้ แต่อาการปวดมักจะหายไปได้เอง ประมาณ 50% จะหายไปเองภายใน 3 เดือน และประมาณ 75% จะหายไปเองภายใน 1 ปี แต่บางรายอาจปวดนานเป็นแรมปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้างูสวัดขึ้นที่บริเวณหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เกิดการติดเชื้อแบคทีเรียแทรกซ้อน เนื่องจากผู้ป่วยใช้เล็บเกาหรือเกิดจากการดูแลบาดแผลไม่ถูกสุขลักษณะ จึงทำให้กลายเป็นตุ่มหนอง แผลหายได้ช้า และกลายเป็นแผลเป็น
3. เมื่อเกิดกับประสาทกล้ามเนื้อ อาจทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรงอยู่ในระยะเวลาหนึ่งได้ แต่ยังไม่มีใครรู้ว่าจะเป็นอยู่นานเท่าไร
4. ผู้ป่วยที่เป็นงูสวัดขึ้นตา อาจทำให้เกิดกระจกตาอักเสบ แผลกระจกตา ม่านตาอักเสบ ต้อหิน ประสาทตาอักเสบ จนถึงขั้นทำให้สายตาพิการได้

รูปที่ 2.7 ผู้ป่วยที่เป็นงูสวัดขึ้นตา [7]

5. ผู้ป่วยที่เป็นงูสวัดบริเวณหูด้านนอกหรือแก้วหู ซึ่งจะมีการอักเสบของประสาทหูคู่ที่ 7 และคู่ที่ 8 อาจทำให้เกิดอัมพาตใบหน้าครึ่งซีก มีอาการบ้านหมุน คลื่นไส้ หูอื้อ หูตึง ตากระตุก ที่เรียกว่า Ramsay Hunt syndrome ซึ่งแพทย์มักจะให้ยาเม็ดเพรดนิโซโลนตั้งแต่เริ่มแรก เพื่อป้องกันหรือลดอาการอัมพาตใบหน้าครึ่งซีก
6. เกิดผื่นงูสวัดชนิดแพร่กระจาย (Generalized herpes zoster) ซึ่งเป็นกรณีที่พบได้ประมาณ 8-10% ส่วนใหญ่จะพบในผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ โดยเฉพาะในผู้ป่วยเอดส์ (พบว่าเป็นงูสวัดร่วมด้วยมากถึง 8-11%) มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งต่อมน้ำเหลือง ซึ่งผู้ป่วยจะมีตุ่มขึ้นนอกแนวเส้นประสาท

   มากกว่า 20 ตุ่ม หรือขึ้นตามแนวเส้นประสาทมากกว่า 1 แนว อาการนี้มักจะรุนแรงและเป็นอยู่นาน อาจกระจายเข้าสู่สมองและอวัยวะภายในอื่นๆ เช่น ตับ ปอด จนเป็นอันตรายร้ายแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้
7. คุณแม่ที่เป็นงูสวัดในขณะตั้งครรภ์ อาจแพร่เชื้อไปยังทารกในครรภ์จนกลายเป็นกลุ่มอาการอีสุกอีใสแต่กำเนิดได้ (Congenital varicella syndrome) ทำให้ทารกมีแผลเป็นตามตัว ตาเล็กเป็นต้อกระจก แขนขาลีบ ศีรษะมีขนาดเล็ก ปัญญาอ่อน (กลุ่มอาการดังกล่าวส่วนใหญ่มักจะเกิดจากคุณแม่ที่เป็นอีสุกอีใสมากกว่างูสวัด) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 นิยามที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ค่าลักษณะเฉพาะ

นิยาม ให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และ λ เป็นจำนวนจริง เรียกว่า ค่าลักษณะเฉพาะ(eigenvalue)ของ A ก็ต่อเมื่อมีเวกเตอร์ X ใน R^n ที่ไม่เป็นศูนย์ ซึ่งทำให้

$$AX = \lambda X$$

เวกเตอร์ X เรียกว่า เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ(eigenvector)ของ □ 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

2.3.2 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 สมการลักษณะ(Characteristic equation) เมื่อ I เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 จาโคเบียนเมทริกซ์ (Jacobian Matrix)

สมมติให้ $f_1(x,y)$ และ $f_2(x,y)$ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ x และ y เมื่อเมทริกซ์จาโคเบียน นิยามโดย $J(x,y)$ คือ

$$J(x,y)=\begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1}{\partial x} & \dfrac{\partial f_1}{\partial y} \\ \dfrac{\partial f_2}{\partial x} & \dfrac{\partial f_2}{\partial y} \end{bmatrix}$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้า $f_1(x,y,z), f_2(x,y,z)$ และ $f_3(x,y,z)$ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ x, y และ z เมื่อเมทริกซ์จาโคเบียนขนาด 3×3 นิยามโดย $J(x,y,z)$ คือ

$$J(x,y,z)=\begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1}{\partial x} & \dfrac{\partial f_1}{\partial y} & \dfrac{\partial f_1}{\partial z} \\ \dfrac{\partial f_2}{\partial x} & \dfrac{\partial f_2}{\partial y} & \dfrac{\partial f_2}{\partial z} \\ \dfrac{\partial f_3}{\partial x} & \dfrac{\partial f_3}{\partial y} & \dfrac{\partial f_3}{\partial z} \end{bmatrix}$$

นิยาม ให้ $x=\left[x_1,x_2,x_3,...,x_n\right]^T$ และ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันเวกเตอร์ของ x โดยที่ $f(x)=\left[f_1(x),f_2(x),f_3(x),...f_m(x)\right]^T$ ดังนั้นอนุพันธ์ของ $f(x)$ เทียบกับ x จะเรียกว่า จาโคเบียนเมทริกซ์ (Jacobian matrix) หรือ จาโคเบียนของ $f(x)$ นิยามโดย

$$\begin{bmatrix} \dfrac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \dfrac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} & \dfrac{\partial f_1(x)}{\partial x_3} & \cdots & \dfrac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \dfrac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \dfrac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} & \dfrac{\partial f_2(x)}{\partial x_3} & \cdots & \dfrac{\partial f_2(x)}{\partial x_n} \\ \dfrac{\partial f_3(x)}{\partial x_1} & \dfrac{\partial f_3(x)}{\partial x_2} & \dfrac{\partial f_3(x)}{\partial x_3} & \cdots & \dfrac{\partial f_3(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \dfrac{\partial f_m(x)}{\partial x_1} & \dfrac{\partial f_m(x)}{\partial x_2} & \dfrac{\partial f_m(x)}{\partial x_3} & \ddots & \dfrac{\partial f_m(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 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 $\det(\lambda I - J) = 0$ ดังนี้

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

2.3.5 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง

การหาจุดสมดุลของระบบสมการ หาได้โดยพิจารณาแบบจำลองที่มีรูปแบบดังนี้

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= F_1(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) \\ \frac{dx_2}{dt} &= F_2(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) \\ &\vdots \\ \frac{dx_n}{dt} &= F_n(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) \end{aligned}\right\} \quad (2.1)$$

ผลเฉลยจุดสมดุลของระบบสมการนี้ สามารถหาได้จากการให้สมการทุกสมการของ (2.1) เท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\begin{aligned} F_1(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) &= 0 \\ F_2(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ F_n(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) &= 0 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ทฤษฎีบท Routh-Hurwitz Criteria

พิจารณาสมการพหุนามอันดับ n

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

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

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

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

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

โดยที่สมาชิกเมทริกซ์ H_j นิยามดังนี้

a_{2l-m} สำหรับ $0 < 2l - m < k$,

1 สำหรับ $2l = m$,

0 สำหรับ $2l - m$ หรือ $2l > k + m$

จากนั้นค่า eigenvalue จะเป็นลบ นั่นคือ $\overline{N}$ เสถียรภาพ และในกรณีที่ determinants ทั้งหมดของเมทริกซ์ Hurwitz เป็นบวกจะได้ $\det H_j > 0, j = 1,2,\ldots n$

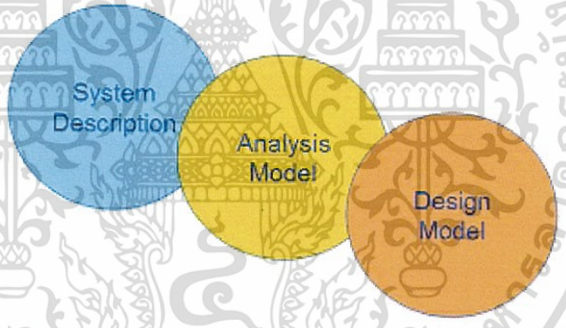
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.4.1 แบบจำลอง

แบบจำลอง(Model) คือ สัญลักษณ์ที่ใช้จำลองข้อเท็จจริงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ แบบจำลองประกอบไปด้วย แผนภาพชนิดต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นแต่ละมุมมองของระบบ

แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญที่ช่วยให้การสื่อสารระหว่างบุคคลทุกฝ่ายมีความถูกต้องตรงกันมากขึ้น เนื่องจากแบบจำลองประกอบไปด้วยรูปภาพสัญลักษณ์ต่างๆมากมายที่จะเป็นตัวแทนที่แสดงให้เห็นการทำงานของระบบ หรือแสดงให้เห็นหน้าที่ของระบบ รวมถึงโครงสร้าง และส่วนประกอบต่างๆ แบบจำลองเป็นสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ทั้งในด้านระบบและซอฟต์แวร์ สะท้อนให้เห็นถึงวามต้องการของระบบในด้านต่างๆ ได้อย่างชัดเจนว่าทำหน้าที่อะไรและอย่างไร และเนื่องจากเอกสารข้อกำหนดความต้องการเป็นเครื่องมือที่ผู้ใช้หรือลูกค้านำมาประเมินระบบหรือซอฟต์แวร์เพื่อพิจารณายอมรับให้นำมาใช้งานได้ ดังนั้น ข้อกำหนดความต้องการหรือรายละเอียดของระบบ (System Description) แบบจำลองการวิเคราะห์ (Analysis Model) และแบบจำลองของการออกแบบ (Design Model) จึงมีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง ดังรูป



รูปที่ 2.8 การวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ [8]

แบบจำลองตามแนวเชิงโครงสร้าง

สำหรับแนวทางเชิงโครงสร้าง จะพิจารณากระบวนการทำงานกับข้อมูลของระบบแยกออกจากกัน ดังนั้น แบบจำลองที่จะต้องสร้าง จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. แบบจำลองกระบวนการ (Process Model) ใช้จำลองขั้นตอนการทำงานของระบบแผนภาพที่ใช้คือ แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) หมายถึงแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ จากกระบวนการทำงานหนึ่งไปกระบวนการทำงานหนึ่งหรือไปยังส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นแหล่งจัดเก็บข้อมูล (Data Store) หรือผู้เกี่ยวข้องที่อยู่นอกระบบ (External Agent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบจำลองข้อมูล (Data Model) ใช้จำลองโครงสร้างข้อมูลทั้งหมดในระบบ แผนภาพที่ใช้คือ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram: ERD) หมายถึง แผนภาพที่ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับจำลองข้อมูลซึ่งจะประกอบไปด้วย Entity (แทนกลุ่มของข้อมูลที่เป็นเรื่องเดียวกัน/เกี่ยวข้องกัน) และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Relationship) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ นอกจากนี้ทุกๆ Entity จะมี Attribute เป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะหรือคุณสมบัติของ Entity นั้นด้วย [8]

2.4.2 ประเภทของแบบจำลอง (Model Classification)

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

2. แบบจำลองเชิงอธิบาย (Semantic Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ภาษาเป็นสื่อในการบรรยายหรืออธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษา ด้วยภาษา แผนภูมิ หรือรูปภาพเพื่อให้เห็นแนวคิด โครงสร้าง องค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ

3. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหรือตัวแปรต่างๆ โดยใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เดิมแบบจำลองนี้ใช้กับศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ แต่ปัจจุบันมีแนวโน้มในการนำไปใช้ด้านพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์เพิ่มขึ้นรวมทั้งการศึกษาด้วย โดยเฉพาะในการวัดผลการศึกษา แบบจำลองแบบนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์และสร้างเป็นทฤษฎี เพราะสามารถทดสอบสมมุติฐานได้ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มักพัฒนามาจากแบบจำลองเชิงอธิบาย

4. แบบจำลองเชิงเหตุผล (Causal Model) เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองเชิงอธิบาย โดยการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis) มาใช้ ปัจจุบันมีการนำแบบจำลองนี้มาใช้ในการวิจัยทางการศึกษามากขึ้น แบบจำลองแบบนี้จะเป็นการนำเอาตัวแปรมาเขียนเป็นสัญลักษณ์หรือคำย่อ แล้วใช้เส้นตรงและลูกศรแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในเชิงเหตุและผล แบบจำลองดังกล่าวสามารถกำหนดเป็นกรอบในการรวบรวมข้อมูลในสภาพที่เป็นจริงเพื่อทดสอบแบบจำลองได้ด้วย [9]

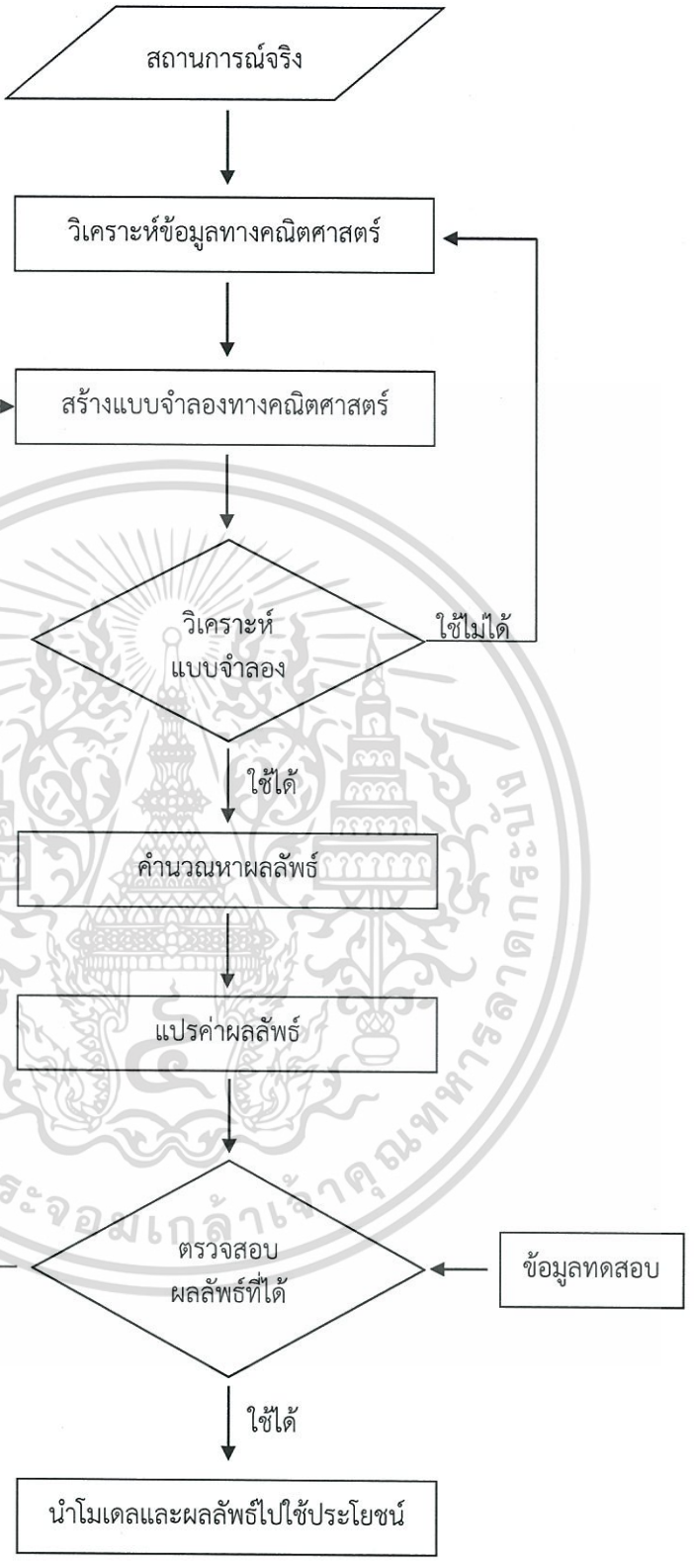
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) คือ การสร้างหรือการออกแบบเพื่อที่จะศึกษาสิ่งที่เราสนใจในระบบหรือปรากฏการณ์ใดๆ เช่น ตัวเลขประชากรทั้งประเทศ หรือประชากรที่ติดเชื้อโรค ซึ่งเราสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยหาแนวโน้มได้ในอนาคต แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆนั้น โดยการนำข้อมูลจริงที่เราสนใจ มาสรุปเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์

รูปที่ 2.9 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื้อ

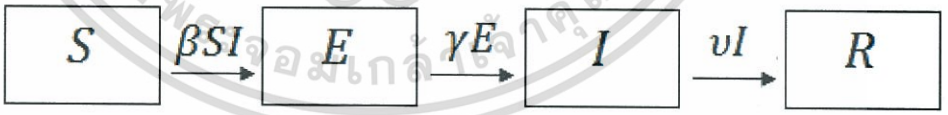
การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 4 กลุ่ม

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 และถ้ามีการฟักตัวของเชื้อ ประชากรที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่ได้รับเชื้อ จะต้องรอการแสดงอาการของโรค จึงจะเปลี่ยนเป็นผู้ป่วยของโรคนั้น ซึ่งแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อมีหลายรูปแบบ เช่น $SIR, SEIR, EIRS$ ในที่นี้จะนำเสนอตัวอย่างแบบจำลอง $SEIR$ ดังนี้ [10]

2.5.1 แบบจำลอง $SEIR$

แบบจำลอง $SEIR$ นี้เป็นแบบจำลองที่ไม่ขึ้นกับเวลา เพราะเป็นระยะเวลาสั้นๆ จะไม่คำนึงถึงอัตราการเกิดและอัตราการเสียชีวิต แบบจำลองนี้แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแทน ด้วย S กลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ แทนด้วย E กลุ่มที่ติดเชื้อ แทนด้วย I กลุ่มหายป่วย แทนด้วย R



รูปที่ 2.11 แบบจำลอง $SEIR$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (Parameters) ของแบบจำลอง $SEIR$

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

คำอธิบายแบบจำลอง $SEIR$

จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อจะลดจำนวนลง แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ โดยมีระยะการฟักตัวของเชื้อ ทำให้ประชากรที่ติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมีจำนวนลดลงแล้วเปลี่ยนเป็นผู้ที่หายป่วย จึงส่งผลให้กลุ่มที่หายป่วยมีจำนวนเพิ่มขึ้น

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

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

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

$$\frac{dI}{dt}=\gamma E-\upsilon I \qquad (2.3)$$

$$\frac{dR}{dt}=\upsilon I \qquad (2.4)$$

โดยกำหนดให้ $=S+E+I+R$

หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น

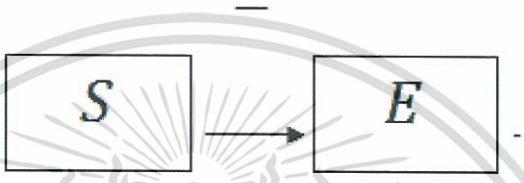
อัตราการเปลี่ยนเปลี่ยนของประชากรแต่ละกลุ่ม

= สิ่งที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประชากร – สิ่งที่มีผลต่อการลดลงของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

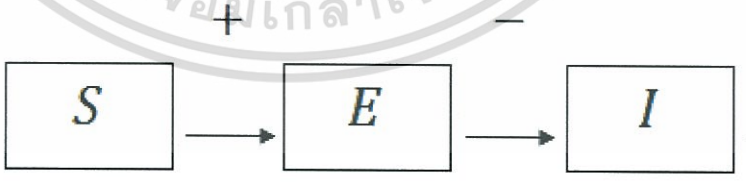
อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลอง $SEIR$ ได้ดังนี้

1.สมการ (2.1) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อของโรค โดยที่ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรของกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) เพราะมีการติดเชื้อด้วยอัตรา β โดยจะเห็นว่า ผลของการติดเชื้อของโรคนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I นั่นแสดงให้เห็นว่าผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อและผู้ที่แพร่เชื้อมีความสัมพันธ์กัน และเครื่องหมาย – คือการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$ ของสมการ (2.1)

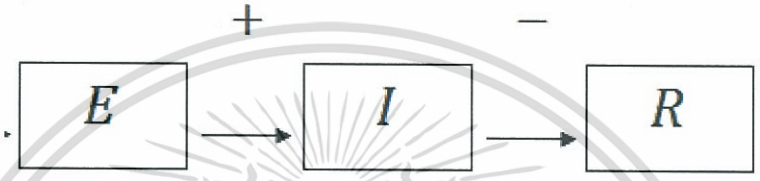
2. สมการ (2.2) $\frac{dE}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) โดยที่ $+\beta SI$ เป็นการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก กลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) และ $-\gamma E$ คือการลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) เพราะอัตราการฟักตัว ของเชื้อ γ ซึ่งเครื่องหมาย + คือการเพิ่มขึ้นของประชากรที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) และเครื่องหมาย - คือการลดลงของประชากรที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง $SEIR$ ของสมการ (2.2)

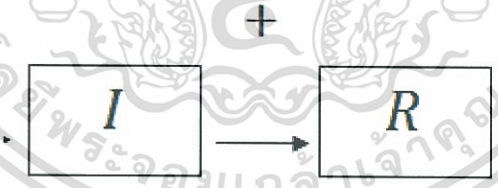
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สมการ (2.3) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื่อได้ (I) โดยที่ $+\gamma E$ เป็นการเพิ่มขึ้นของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก กลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อ (E) และ $-\upsilon I$ คือการลดลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) เพราะอัตราการหายป่วย □ ซึ่งเครื่องหมาย + คือ การเพิ่มขึ้นของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) และเครื่องหมาย - คือ การลดลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อ (I) ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง *SEIR* ของสมการ (2.3)

4. สมการ (2.4) $\frac{dR}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่หายป่วยจากการเป็นโรค (R) โดยที่ $+\upsilon I$ คือ การเพิ่มขึ้นของประชากรที่หายป่วยจากการเป็นโรค (R) ซึ่งเปลี่ยนมาจาก กลุ่มที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (I) ซึ่งเครื่องหมาย + คือการเพิ่มขึ้นของประชากรที่หายป่วยจากการเป็นโรค (R) ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.15 แสดงส่วนประกอบของแบบจำลอง *SEIR* ของสมการ (2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$-\beta S^* I^* = 0 \qquad (2.5)$$
$$\beta S^* I^* - \gamma E^* = 0 \qquad (2.6)$$
$$\gamma E^* - \upsilon I^* = 0 \qquad (2.7)$$
$$\upsilon I^* = 0 \qquad (2.8)$$

จาก (2.8) จะได้ $I^* = 0$
แทนค่า $I^* = 0$ ใน (2.7) จะได้ $\gamma E^* - \upsilon(0) = 0$

$$E^* = 0$$

แทนค่า $I^* = 0$ และ $E^* = 0$ ใน (2.6) จะได้ว่า $\beta S^*(0) - \gamma(0) = 0$; $\beta \neq 0$
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 $-\beta S^*(0) = 0$
นั้นคือ $S^* = 0$ หรือ $S^* \neq 0$ เหมือนที่แสดงในข้างต้น

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

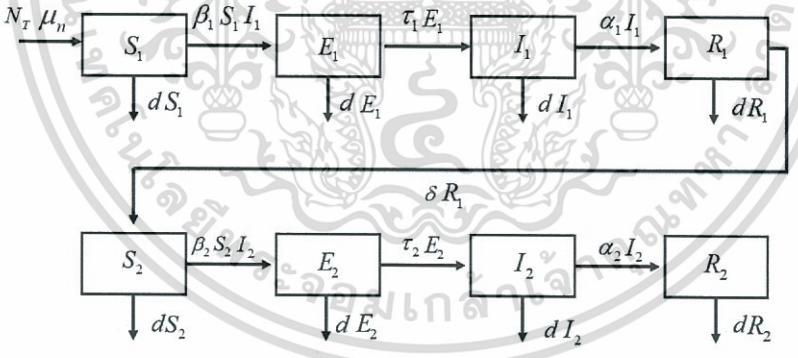
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างแบบลองโรคอีสุกอีใส - งูสวัดในประเทศไทย

3.1.1 แบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัด

นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคอีสุกอีใสที่สอดคล้องกับกลุ่มประชากร และลักษณะของการเกิดโรค ซึ่งกำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาดคงที่โดยจะแบ่งประชากรออกเป็น 8 กลุ่ม คือ กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีสุกอีใส กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใส กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคงูสวัด กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการเป็นโรคงูสวัด



รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองโรคอีสุกอีใส - งูสวัดในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (Variables) ต่างๆของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
N_T	จำนวนประชากรทั้งหมด	คน
S_1	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดอีสุกอีใส	คน
E_1	จำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้	คน
I_1	จำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้	คน
R_1	จำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส	คน
S_2	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด	คน
E_2	จำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้	คน
I_2	จำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้	คน
R_2	จำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด	คน

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
μ_n	อัตราการเกิดของประชากร	ต่อคนต่อวัน
d	อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร	ต่อคนต่อวัน
β_1	อัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใส	ต่อคนต่อวัน
τ_1	อัตราการฟักตัวของโรคอีสุกอีใส	ต่อคนต่อวัน
α_1	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรคอีสุกอีใส	ต่อคนต่อวัน
δ	อัตราผู้ป่วยที่หายจากโรคอีสุกอีใสแล้วกลับมาเป็นโรคงูสวัด	ต่อคนต่อวัน
β_2	อัตราการถ่ายทอดเชื้องูสวัด	ต่อคนต่อวัน
τ_2	อัตราการฟักตัวของโรคงูสวัด	ต่อคนต่อวัน
α_2	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรคงูสวัด	ต่อคนต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบาย

จำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาจัดให้อยู่ในประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีสุกอีใส ในขณะที่ประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อนี้จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้ออีสุกอีใส ทำให้กลุ่มประชากรที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้ออีสุกอีใสเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรอยู่ในระยะฟักตัวของเชื้ออีสุกอีใสจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรที่อยู่ในกลุ่มที่ติดเชื้ออีสุกอีใส ทำให้กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชาชนกลุ่มที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใส ทำให้ประชาชนกลุ่มที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใสเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใสจะลดลง จากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรในกลุ่มเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคงูสวัดในขณะที่กลุ่มประชาชนที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อนี้จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้องูสวัด ทำให้กลุ่มประชากรที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้องูสวัดเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรอยู่ในระยะฟักตัวของเชื้องูสวัดจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรที่อยู่ในกลุ่มที่ติดเชื้องูสวัด ทำให้กลุ่มประชากรที่ติดเชื้องูสวัดเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ติดเชื้องูสวัดจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่ฟื้นจากการติดเชื้องูสวัด ทำให้ประชากรกลุ่มที่ฟื้นจากการติดเชื้องูสวัดเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่หายจากการติดเชื้องูสวัดจะลดลง จากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ

3.2 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคอีสุกอีใส – งูสวัด

3.2.1 สมการโรคอีสุกอีใส-งูสวัด

สร้างแบบจำลองคนที่ติดเชื้อ

$$\frac{dS_1}{\mathrm{dt}} = \mu_n \mathrm{N_T} - dS_1 - \beta_1 S_1 I_1 \qquad (3.1)$$

$$\frac{dE_1}{\mathrm{dt}} = \beta_1 S_1 I_1 - dE_1 - \tau_1 E_1 \qquad (3.2)$$

$$\frac{dI_1}{\mathrm{dt}} = \tau_1 E_1 - dI_1 - \alpha_1 I_1 \qquad (3.3)$$

$$\frac{dR_1}{\mathrm{dt}} = \alpha_1 I_1 - dR_1 - \delta R_1 \qquad (3.4)$$

$$\frac{dS_2}{\mathrm{dt}} = \delta R_1 - dS_2 - \beta_2 S_2 I_2 \qquad (3.5)$$

$$\frac{dE_2}{\mathrm{dt}} = \beta_2 S_2 I_2 - dE_2 - \tau_2 E_2 \qquad (3.6)$$

$$\frac{dI_2}{\mathrm{dt}} = \tau_2 E_2 - dI_2 - \alpha_2 I_2 \qquad (3.7)$$

$$\frac{dR_2}{\mathrm{dt}} = \alpha_2 I_2 - dR_2 \qquad (3.8)$$

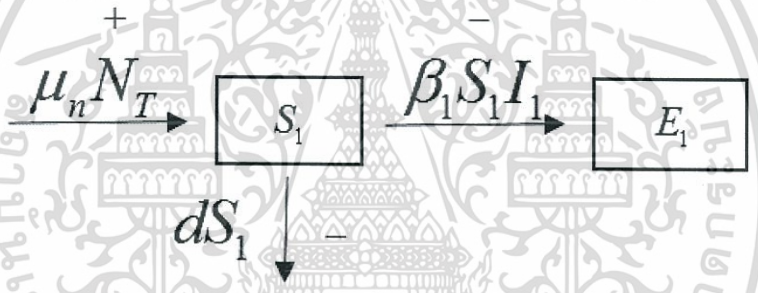
โดยที่ $N_T = S_1 + E_1 + I_1 + R_1$ โดยที่ $R_1 = S_2 + E_2 + I_2 + R_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายความหมายแต่ละสมการแบบจำลองโรคอีสุกอีใส - โรคงูสวัด

1.สมการ (3.1) $\frac{dS_1}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อโรคอีสุกอีใส โดยที่ $+\mu_n N_T$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคอีสุกอีใส S_1 เพราะจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นมาด้วยอัตรา μ_n

$-dS_1$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคอีสุกอีใส $\square_1$ เพราะการเสียงชีวิตด้วยอัตรา $\square$ และ $-\beta_1 S_1 I_1$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคอีสุกอีใส S_1 เพราะมีการติดเชื้อโรคอีสุกอีใสด้วยอัตรา β_1 จะสังเกตได้ว่า ผลจากการที่เข้าระยะการติดเชื้อโรคนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S_1 และ I_1

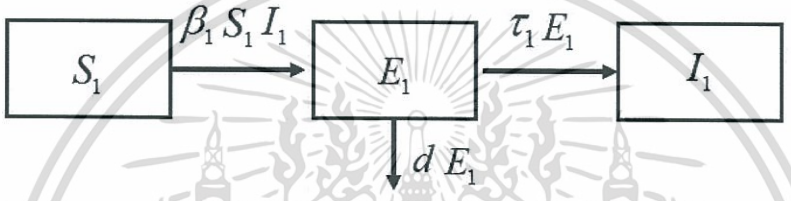


รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัดของสมการ(3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.สมการ(3.2) $\frac{dE_1}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคอีสุกอีใส โดยที่ $+\beta_1 S_1 I_1$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคอีสุกอีใส E_1 ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคอีสุกอีใส S_1

$-dE_1$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคอีสุกอีใส E_1 เพราะการเสียงชีวิตด้วยอัตรา d และ $-\tau_1 E_1$ หมายถึงการลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคอีสุกอีใส E_1 เพราะมีการฝักของเชื้อโรคอีสุกอีใสด้วยอัตรา τ_1

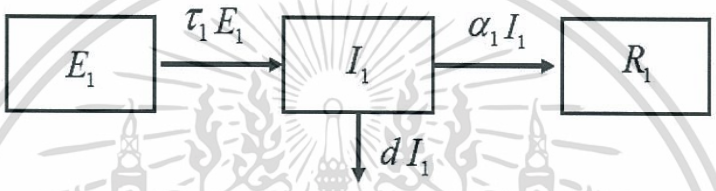


รูปที่ 3.3 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-โรคงูสวัด ของสมการ (3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.สมการ (3.3) $\frac{dI_1}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคอีสุกอีใส โดยที่ $+\tau_1 E_1$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคอีสุกอีใส I_1 ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อโรคอีสุกอีใส E_1

$-dI_1$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มทีติดเชื้อโรคอีสุกอีใส I_1 เพราะการเสี่ยงชีวิตด้วยอัตรา d และ $-\alpha_1 I_1$ หมายถึงการลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคอีสุกอีใส I_1 เพราะมีการฟื้นของเชื้อโรคอีสุกอีใสด้วยอัตรา α_1

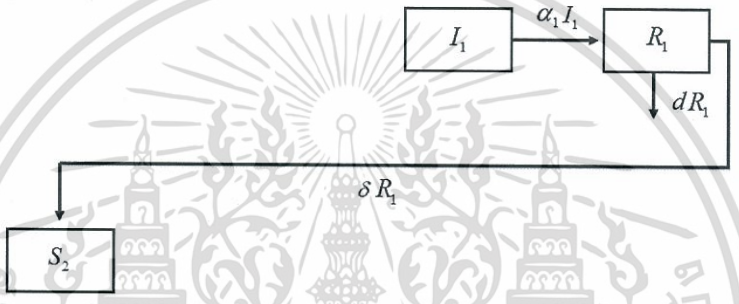


รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส – โรคงูสวัด ของสมการ (3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.สมการ (3.4) $\frac{dR_1}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคอีสุกอีใส โดยที่ $+\alpha_1 I_1$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคอีสุกอีใส R_1 ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อโรคอีสุกอีใส I_1

$-dR_1$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคอีสุกอีใส R_1 เพราะการเสียชีวิตด้วยอัตรา d และ $-\delta R_1$ หมายถึงการลดลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคอีสุกอีใส R_1 เพราะเชื้ออีสุกอีใสอยู่และสามารถเกิดเป็นเชื้อโรคงูสวัดด้วยอัตรา δ

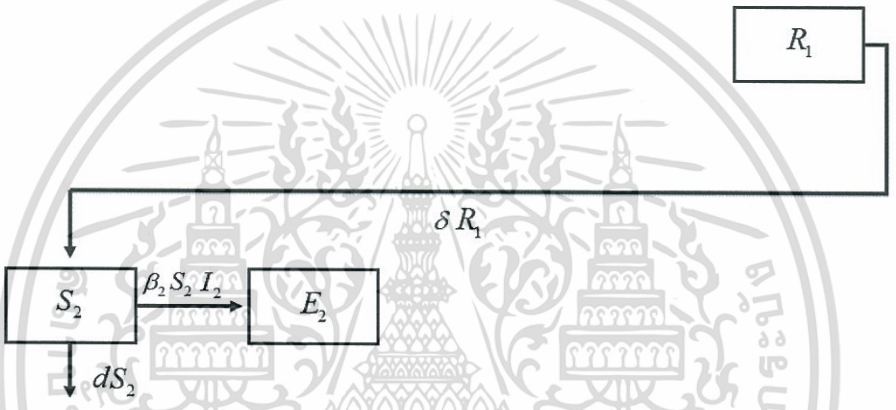


รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส – โรคงูสวัด ของสมการ (3.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.สมการ(3.5) $\frac{dS_2}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อโรคงูสวัด โดยที่ $+\delta R_1$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคงูสวัด S_2 เพราะจำนวนประชากรที่ฟื้นตัวจากโรคอีสุกอีใสด้วยอัตรา δ

$-dS_2$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคงูสวัด S_2 เพราะการเสียชีวิตด้วยอัตรา d และ $-\beta_2 S_2 I_2$ หมายถึงการลดลงของประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคงูสวัด S_2 เพราะมีการติดเชื้อโรคงูสวัดด้วยอัตรา β_2 จะสังเกตได้ว่า ผลจากการที่เข้าระยะการติดเชื้อโรคนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S_2 และ I_2

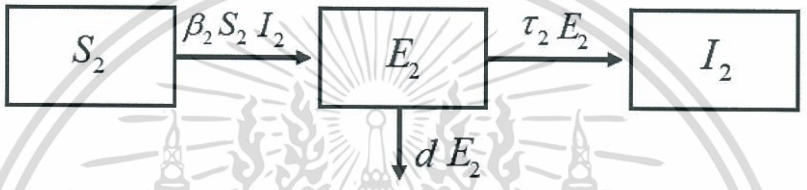


รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส – โรคงูสวัด ของสมการ (3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.สมการ(3.6) $\frac{dE_2}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคงูสวัด โดยที่ $+\beta_2 S_2 I_2$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคงูสวัด E_2 ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคงูสัด S_2

$-dE_2$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคงูสวัด E_2 เพราะการเสียงชีวิตด้วยอัตรา d และ $-\tau_2 E_2$ หมายถึงการลดลงของประชากรกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวเชื้อโรคงูสวัด E_2 เพราะมีการฝักของเชื้อโรคงูสวัดด้วยอัตรา τ_2

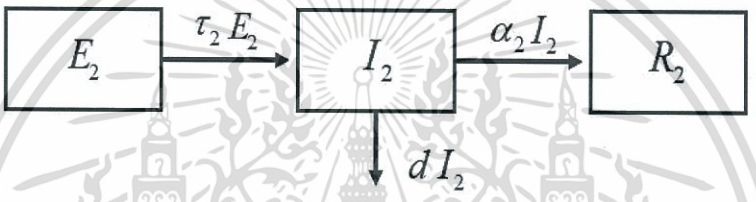


รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส – โรคงูสวัด ของสมการ (3.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.สมการ (3.7) $\frac{dI_2}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคงูวัด โดยที่ $+\tau_2 E_2$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคงูสัด I_2 ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่อยู่ในระยะฟักตัวของเชื้อโรคงูสวัด E_2

$-dI_2$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคงูสวัด I_2 เพราะการเสียงชีวิตด้วยอัตรา d และ $-\alpha_2 I_2$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อโรคงูวัด I_2 เพราะมีการฟื้นของเชื้อโรคงูสวัดด้วยอัตรา α_2

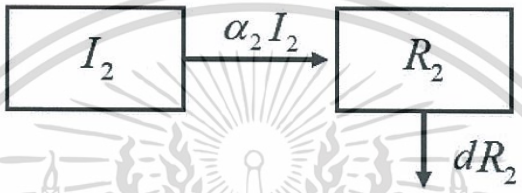


รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส – โรคงูสวัด ของสมการ (3.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.สมการ (3.8) $\frac{dR_2}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคงูสวัด โดยที่ $+\alpha_2 I_2$ หมายถึงการเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคงูสวัด R_2 ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อโรคงูสวัด I_2

$-dR_2$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ฟื้นตัวจากเชื้อโรคงูสวัด R_2 เพราะการเสียงชีวิตด้วยอัตรา d



รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคอีสุกอีใส - โรคงูสวัด ของสมการ (3.8)

สมมติให้จำนวนประชากรทั้งหมดเป็นค่าคงที่ นั่นคือ $\frac{dN_T}{dt} = 0$

และให้ประชากรไม่ได้รับวัคซีนต้านโรคอีสุกอีใสและโรคงูสวัดและผู้ป่วยโรคอีสุกอีใสทุกคนมีโอกาสที่จะเป็นโรคงูสวัด

จะได้ว่า $$\frac{dN_T}{dt} = \frac{dS_1}{dt} + \frac{dE_1}{dt} + \frac{dI_1}{dt} + \frac{dR_1}{dt}$$

$$\frac{dR_1}{dt} = \frac{dS_2}{dt} + \frac{dE_2}{dt} + \frac{dI_2}{dt} + \frac{dR_2}{dt}$$

$$0 = \mu_n N_T - dS_1 - \beta_1 S_1 I_1 + \beta_1 S_1 I_1 - dE_1 - \tau_1 E_1 + \tau_1 E_1 - dI_1 - \alpha_1 I_1 + \alpha_1 I_1 - dR_1 - \delta R_1$$
$$0 = \delta R_1 - dS_2 - \beta_2 S_2 I_2 + \beta_2 S_2 I_2 - dE_2 - \tau_2 E_2 + \tau_2 E_2 - dI_2 - \alpha_2 I_2 + \alpha_2 I_2 - dR_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 จุดสมดุล

จุดสมดุล $(S_1, E_1, I_1, R_1, S_2, E_2, I_2, R_2)$ สามารถหาได้จากการจัดสมการ (3.1) - (3.8) ให้เท่ากับศูนย์ จะได้จุดสมดุลสามจุด คือ จุดสมดุลภายใต้สภาวะไร้โรค $E_1(1,0,0,0,0,0,0,0)$ และสภาวะการระบาดอย่างเรื้อรังเมื่อ $E_2(S_1, E_1, I_1, R_1, S_2, E_2, I_2, R_2)$ และ $E_3(S_1, E_1, I_1, R_1, S_2, E_2, I_2, R_2)$ จะได้จุดสมดุลดังนี้

จุดที่1 $E_1(S_1, E_1, I_1, R_1, S_2, E_2, I_2, R_2)$

$$S_1 = \frac{N_T \mu_n}{d} \qquad E_1 = 0 \qquad I_1 = 0 \qquad R_1 = 0$$

$$S_2 = 0 \qquad E_2 = 0 \qquad I_2 = 0 \qquad R_2 = 0$$

จุดที่2 $E_2(S_1, E_1, I_1, R_1, S_2, E_2, I_2, R_2)$

$$S_1 = \frac{(\alpha_1 + d)(d + \tau_1)}{\beta_1 \tau_1} \qquad E_1 = \frac{N_T \mu_n \beta_1 \tau_1}{(d+\tau_1) d (\alpha_1 + d)}$$

$$I_1 = \frac{N_T \tau_1 \mu_n \beta_1}{(\alpha_1 + d)(d + \tau_1) d} \qquad R_1 = \frac{N_T \tau_1 \mu_n \beta_1}{(d+\tau_1)(\alpha_1 + d) d}$$

$$S_2 = \frac{N_T \tau_1 \mu_n \beta_1}{d(\alpha_1 - d)(d - \tau_1)\alpha_1 \delta} \qquad E_2 = 0$$

$$I_2 = 0 \qquad R_2 = 0$$

จุดที่3 $E_3(S_1, E_1, I_1, R_1, S_2, E_2, I_2, R_2)$

$$S_1 = \frac{(\alpha_1 + d)(d + \tau_1)}{\beta_1 \tau_1} \qquad E_1 = \frac{N_T \mu_n \beta_1 \tau_1}{(d+\tau_1) d (\alpha_1 + d)}$$

$$I_1 = \frac{N_T \tau_1 \mu_n \beta_1}{(\alpha_1 + d)(d + \tau_1) d} \qquad R_1 = \frac{N_T \tau_1 \mu_n \beta_1}{(d+\tau_1) d (\alpha_1 + d)}$$

$$S_2 = \frac{(d + \tau_2)(d + \alpha_2)}{\beta_2 \tau_2}$$

$$I_2 = -\frac{d}{\beta_2} - \frac{\alpha_1 \delta \left(d\left(d + \alpha_1\right)\left(d + \tau_1\right) - \beta_1 N_T \tau_1 \mu_n \right) \tau_2}{\beta_1 (\alpha_1 + d)(\delta + d)(\tau_1 + d)(\tau_2 + d)(\alpha_2 + d)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_2 = -\frac{\alpha_1^2\delta d(d_1+\tau_1)\beta_2\tau_2 + \beta_1 d^2(\delta+d)(d+\tau_1)(d+\tau_2)(d+\alpha_2) + \alpha_1(\delta d^2(d+\tau_1)\beta_2\tau_2 + \beta_1(d^2(d+\tau_1)(d+\tau_2)(d+\alpha_2) + \delta(d^4+d^3\tau_1+d^3\tau_2+d^2\tau_1\tau_2 - N_T\tau_1\mu_n\beta_2\tau_2 + d(d+\tau_1)(d+\tau_2)\alpha_2)))}{\beta_1(\alpha_1+d)(\delta+d)(d+\tau_1)\beta_2\tau_2(d+\tau_2)}$$

$$R_2 = -\frac{\alpha_2(\alpha_1^2\delta d(d+\tau_1)\beta_2\tau_2 + \beta_1 d^2(\delta+d)(d+\tau_1)(d+\tau_2)(d+\alpha_2) + \alpha_1(\delta d^2(d+\tau_1)\beta_2\tau_2 + \beta_1(d^2(d+\tau_1)(d+\tau_2)(d+\alpha_2) + \delta(d^4+d^3\tau_1+d^3\tau_2+d^2\tau_1\tau_2 - N_T\tau_1\mu_n\beta_2\tau_2 + d(d+\tau_1)(d+\tau_2)\alpha_2))))}{\beta_1 d(\alpha_1+d)(\delta+d)(d+\tau_1)\beta_2(d+\tau_2)(d+\alpha_2)}$$

3.4 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล

ความเสถียรภาพของจุดสมดุลสามารถพิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมทริกซ์จากระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ordinary differential equations) ของสมการ(3.1) - (3.8) ดังนี้ นำระบบสมการดังกล่าวทั้งหมดมาเขียนในรูปจาโคเบียนเมทริกซ์ โดยกำหนดให้จาโคเบียนเมทริกซ์ขนาด 8 x 8 คือ

$$J_f = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & J_{15} & J_{16} & J_{17} & J_{18} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & J_{25} & J_{26} & J_{27} & J_{28} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} & J_{35} & J_{36} & J_{37} & J_{38} \\ J_{41} & J_{42} & J_{43} & J_{44} & J_{45} & J_{46} & J_{47} & J_{48} \\ J_{51} & J_{52} & J_{53} & J_{54} & J_{55} & J_{56} & J_{57} & J_{58} \\ J_{61} & J_{62} & J_{63} & J_{64} & J_{65} & J_{66} & J_{67} & J_{68} \\ J_{71} & J_{72} & J_{73} & J_{74} & J_{75} & J_{76} & J_{77} & J_{78} \\ J_{81} & J_{82} & J_{83} & J_{84} & J_{85} & J_{86} & J_{87} & J_{88} \end{bmatrix}$$

จุดที่1 เป็นภาวะไร้โรค มีความเสถียรภาพ
จุดที่2 เนื่องจากการคำนวณผ่านโปรแกรม Mathematica
ได้ค่า λ ที่ยังไม่รู้ว่าจุดสมดุลนั้นเสถียรหรือไม่ จึงใช้ทฤษฎีบท Routh Hurwitz มาช่วยหาความเสถียร

จากทฤษฎีบท Routh Hurwitz
พิจารณา กรณีที่ $n=5$ โดยที่ $P(\lambda) = \lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \ldots + a_{n+1}\lambda + a_n$
เมื่อ $\det H_j > 0;\ J = 1,2,3,4,5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_1 = [a_1] \quad \det(H_1) = a_1 > 0$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{bmatrix} \quad \det(H_2) = a_1 a_2 - a_3$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ a_5 & a_4 & a_3 \end{bmatrix} \quad \det(H_3) = a_1 a_2 a_3 - a_3^{\,2} - a_1^{\,2} a_4 + a_1 a_5$$

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

$$\det(H_4) = a_1 a_2 a_3 a_4 - a_3^{\,2} a_4 - a_1^{\,2} a_4^{\,2} - a_1 a_2^{\,2} a_5 + a_2 a_3 a_5 + 2a_1 a_4 a_5 - a_5^{\,2}$$

$$H_5 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 \\ a_7 & a_6 & a_5 & a_4 & a_3 \\ a_9 & a_8 & a_7 & a_6 & a_5 \end{bmatrix}$$

$$\det(H_5) = a_5(a_1 a_2 a_3 a_4 - a_3^{\,2} a_4 - a_1^{\,2} a_4^{\,2} - a_1 a_2^{\,2} a_5 + a_2 a_3 a_5 + 2a_1 a_4 a_5 - a_5^{\,2})$$

จากการใช้ประยุกต์ใช้ Routh Hurwitz เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จะได้

เมื่อ $\beta_1 = 0.5$ และ $\beta_2 = 0.5$ จะได้

$\det(H_1) = 0.385279$
$\det(H_2) = 5.09933$
$\det(H_3) = 5.40508$
$\det(H_4) = 1.29365$
$\det(H_5) = 0.00767392$

เป็นไปตามเงื่อนไข $\det(H_1) > 0, \det(H_2) > 0, \det(H_3) > 0, \det(H_4) > 0,$ $\det(H_5) > 0$ เพราะฉะนั้น จุดสมดุลนี้มีความเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่3 เนื่องจากการคำนวณผ่านโปรแกรม Mathematica ได้ค่า λ ยังไม่รู้ว่าจุดสมดุลนั้นเสถียรหรือไม่ จึงใช้ทฤษฎีบท Routh Hurwitz มาช่วยหาความเสถียร

จากทฤษฎีบท Routh Hurwitz

พิจารณา กรณีที่ $n=6$ โดยที่ $P(\lambda)=\lambda^n+a_1\lambda^{n-1}+\ldots+a_{n+1}\lambda+a_n$

เมื่อ $\det H_j>0$; $J=1,2,3,4,5,6$

$H_1=[a_1]$ $\det(H_1)=a_1$

$$H_2=\begin{bmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{bmatrix} \quad \det(H_2)=a_1a_2-a_3$$

$$H_3=\begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 \\ a_5 & a_4 & a_3 \end{bmatrix} \quad \det(H_3)=a_1a_2a_3-a_3^{\,2}-a_1^{\,2}a_4+a_1a_5$$

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

$$\det(H_4)=a_1a_2a_3a_4-a_3^{\,2}a_4-a_1^{\,2}a_4^{\,2}-a_1a_2^{\,2}a_5+a_2a_3a_5+2a_1a_4a_5-a_5^{\,2}+a_1^{\,2}a_2a_6-a_1a_3a_6$$

$$H_5=\begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 \\ a_7 & a_6 & a_5 & a_4 & a_3 \\ a_9 & a_8 & a_7 & a_6 & a_5 \end{bmatrix}$$

$$\det(H_5)=a_5(a_1a_2a_3a_4-a_3^{\,2}a_4-a_1^{\,2}a_4^{\,2}-a_1a_2^{\,2}a_5+a_2a_3a_5+2a_1a_4a_5-a_5^{\,2})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_6 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 & 1 \\ a_7 & a_6 & a_5 & a_4 & a_3 & a_2 \\ a_9 & a_8 & a_7 & a_6 & a_5 & a_4 \\ a_{11} & a_{10} & a_9 & a_8 & a_7 & a_6 \end{bmatrix}$$

$$\det(H_6) = a_6(a_1a_2a_3a_4a_5 - a_3^2a_4a_5 - a_1^2a_4^2a_5 - a_1a_2^2a_5^2 + a_2a_3a_5^2 + 2a_1a_4a_5^2 - a_5^3 - a_1a_2a_3^2a_6 + a_3^3a_6 + a_1^2a_3a_4a_6 + 2a_1^2a_2a_5a_6 - 3a_1a_3a_5a_6 - a_1^3a_6^2)$$

จากการใช้ประยุกต์ใช้ Routh Hurwitz เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จะได้

เมื่อ $\beta_1 = 0.5$ และ $\beta_2 = 0.5$ จะได้

$$\det(H_1) = 0.385317$$
$$\det(H_2) = 0.0188423$$
$$\det(H_3) = 0.0000573326$$
$$\det(H_4) = 3.763 \times 10^{-9}$$
$$\det(H_5) = 1.65808 \times 10^{-14}$$
$$\det(H_6) = 2.64511 \times 10^{-21}$$

เป็นไปตามเงื่อนไข $\det(H_1) > 0, \det(H_2) > 0, \det(H_3) > 0, \det(H_4) > 0, \det(H_5) > 0, \det(H_6) > 0$ เพราะฉะนั้น จุดสมดุลนี้มีความเสถียรภาพ

ทุกจุดเป็นไปตามเงื่อนไขที่กล่าวมา สรุปได้ว่า เสถียรภาพทั้ง 3 จุด

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาค่าผลเฉลยของแบบจำลองเพื่อแสดงผลที่ได้เชิงตัวเลขให้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

หัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลข โดยการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงสถิติในชีวิตจริงเกี่ยวกับโรคอีสุกอีใส – งูสวัด ซึ่งมีค่าต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปร (Variables) ต่างๆของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
N_t	จำนวนประชากรทั้งหมด	400	คน
S_1	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดอีสุกอีใส	100	คน
E_1	จำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้	100	คน
I_1	จำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้	100	คน
R_1	จำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส	100	คน
S_2	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด	20	คน
E_2	จำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้	20	คน
I_2	จำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้	30	คน
R_2	จำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด	30	คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคอีสุกอีใส-งูสวัดในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
μ_n	อัตราการเกิดของประชากร	$\frac{1}{365\times 73.4}$	ต่อคนต่อวัน
d	อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร	$\frac{1}{365\times 73.4}$	ต่อคนต่อวัน
β_1	อัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใส	$0.5, 0.08$	ต่อคนต่อวัน
τ_1	อัตราการฟักตัวของโรคอีสุกอีใส	$\frac{1}{15}$	ต่อคนต่อวัน
α_1	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรคอีสุกอีใส	$\frac{1}{21}$	ต่อคนต่อวัน
δ	อัตราผู้ป่วยที่หายจากโรคอีสุกอีใสแล้วกลับมาเป็นโรคงูสวัด	0.02	ต่อคนต่อวัน
β_2	อัตราการถ่ายทอดเชื้องูสวัด	$0.5, 0.08$	ต่อคนต่อวัน
τ_2	อัตราการฟักตัวของโรคงูสวัด	$\frac{1}{15}$	ต่อคนต่อวัน
α_2	อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรคงูสวัด	$\frac{1}{21}$	ต่อคนต่อวัน

คำอธิบายค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในตารางที่ 4.2

μ_n คือ อัตราการเกิดของประชากร คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรต่อคนในปีนั้น

ดังนั้น จะได้ $\mu_n = \frac{1}{365\times 73.4}$ /วัน

d คือ อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติของประชากร คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรต่อคนในปีนั้น

ดังนั้น จะได้ $d = \frac{1}{365\times 73.4}$ /วัน

β_1 คือ อัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใส คิดจาก ระยะเวลาการแพร่กระจายของโรคอีสุกอีใส

ดังนั้น จะได้ $\beta_1 = 0.5, 0.08$ /วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

τ_1 คือ อัตราการฟักตัวของโรคอีสุกอีใส คิดจาก ระยะเวลาการฟักตัวเชื้ออีสุกอีใส

ดังนั้น จะได้ $\tau_1 = \frac{1}{15}$ /วัน

α_1 คือ อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรคอีสุกอีใส คิดจาก ระยะเวลาการฟื้นไข้ของผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส

ดังนั้น จะได้ $\alpha_1 = \frac{1}{21}$ /วัน

δ คือ อัตราผู้ป่วยที่หายจากโรคอีสุกอีใสแล้วกลับมาเป็นโรคงูสวัด คิดจาก ผู้ป่วยที่หายจากการเป็นโรคอีสุกอีใสแล้วกลับมากเป็นโรคงูสวัด โดยโอกาสที่จะเป็นโรคงูสงัดมีเพียง 2%

ดังนั้น จะได้ $\delta = 0.02$ /วัน

β_2 คือ อัตราการถ่ายทอดเชื้องูสวัด คิดได้จาก ระยะเวลาการแพร่กระจายของโรคงูสวัด

ดังนั้น จะได้ $\beta_2 = 0.5, 0.08$ /วัน

τ_2 คือ อัตราการฟักตัวของโรคงูสวัด คิดได้จาก ระยะเวลาการฟักตัวของโรคงูสวัด

ดังนั้น จะได้ $\tau_2 = \frac{1}{15}$ /วัน

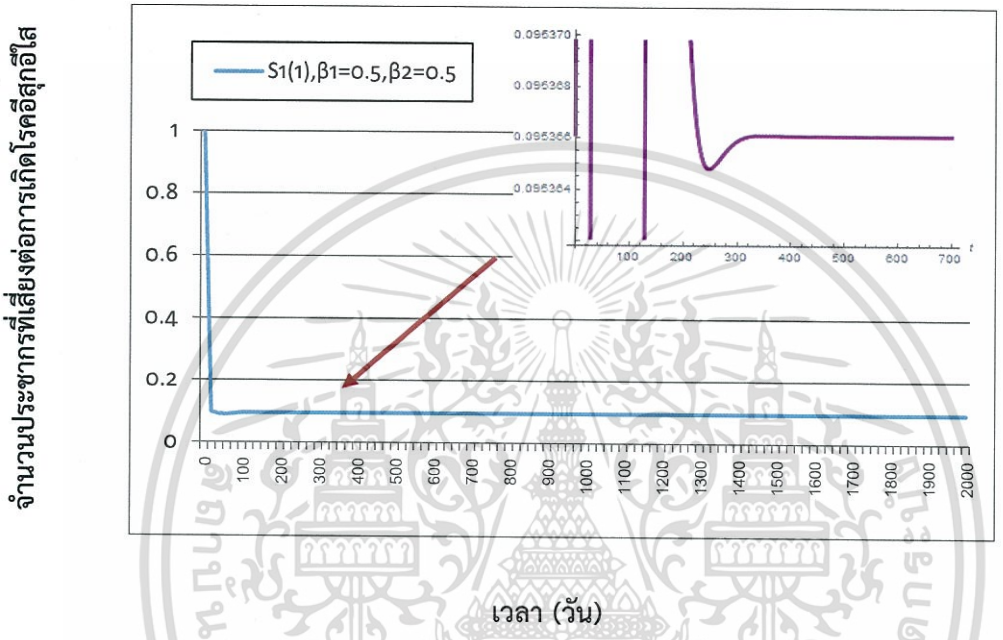
α_2 คือ อัตราการฟื้นไข้ของผู้ป่วยที่เป็นโรคงูสวัด คิดได้จาก ระยะเวลาการฟื้นไข้ของผู้ป่วยโรคงูสวัด

ดังนั้น จะได้ $\alpha_2 = \frac{1}{21}$ /วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Wolfram Mathematica

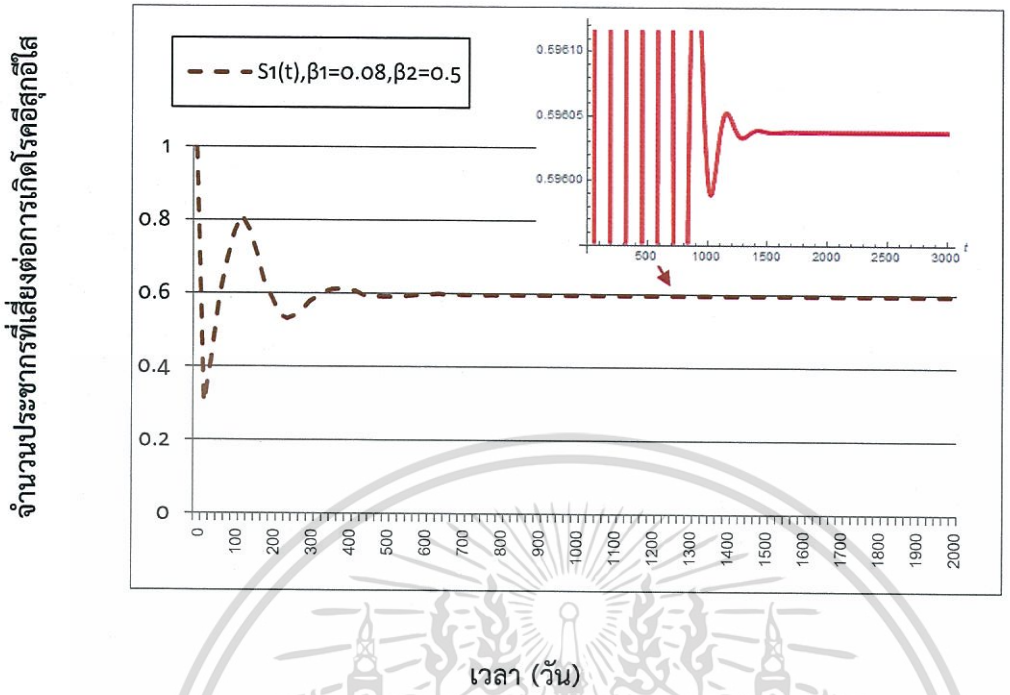
จากการศึกษาเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาคำนวณแล้ว ทำให้ได้กราฟ ดังต่อไปนี้



รูปที่4.1 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.1 อธิบายได้ว่า จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.0953658 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 280 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 280 วัน

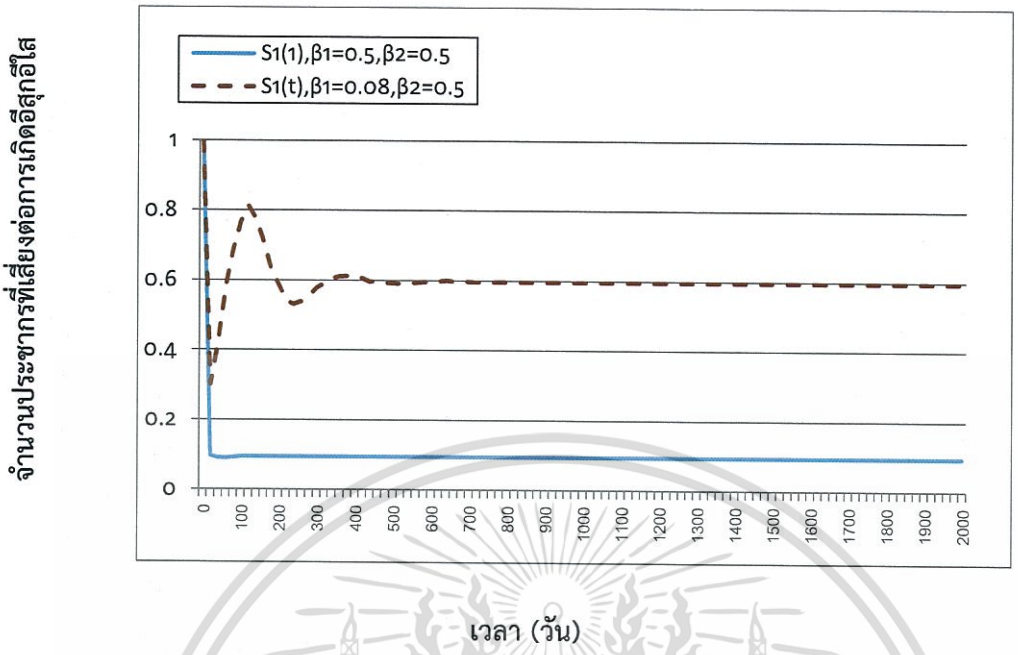
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.2 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.2 อธิบายได้ว่า จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

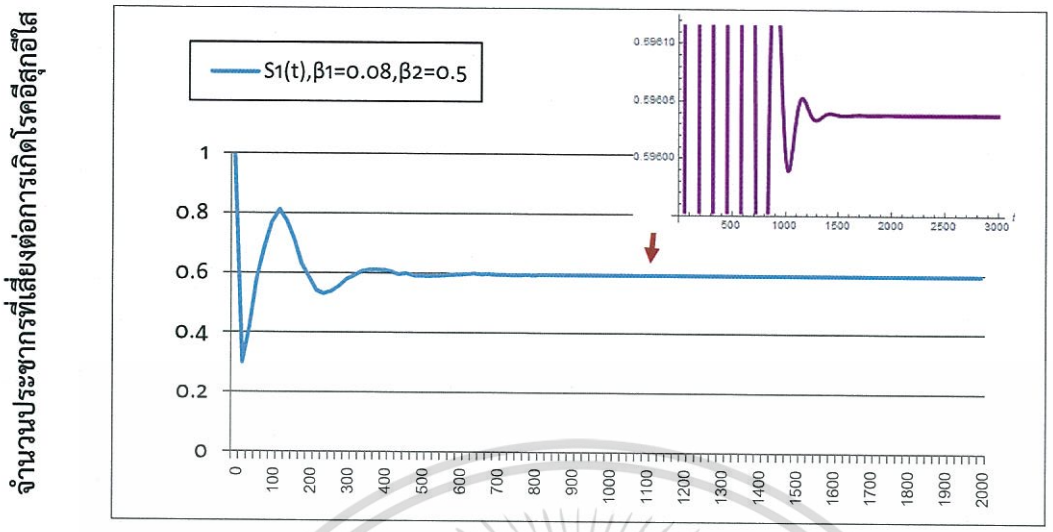
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.3 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.0953658 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 280 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใสลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่า เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

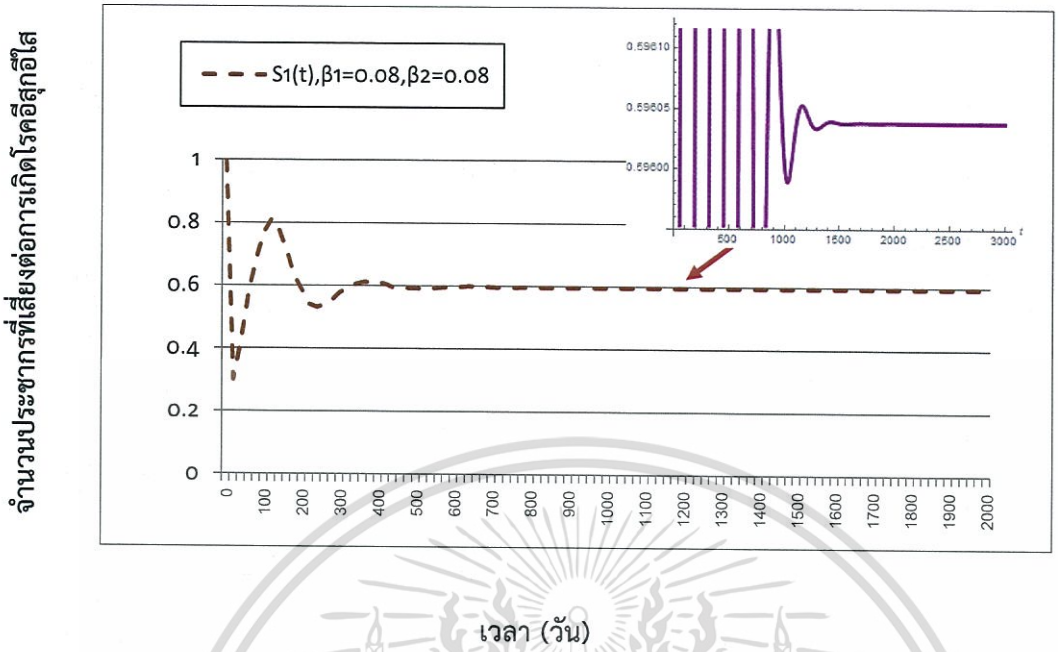
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.4 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.4 อธิบายได้ว่า จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

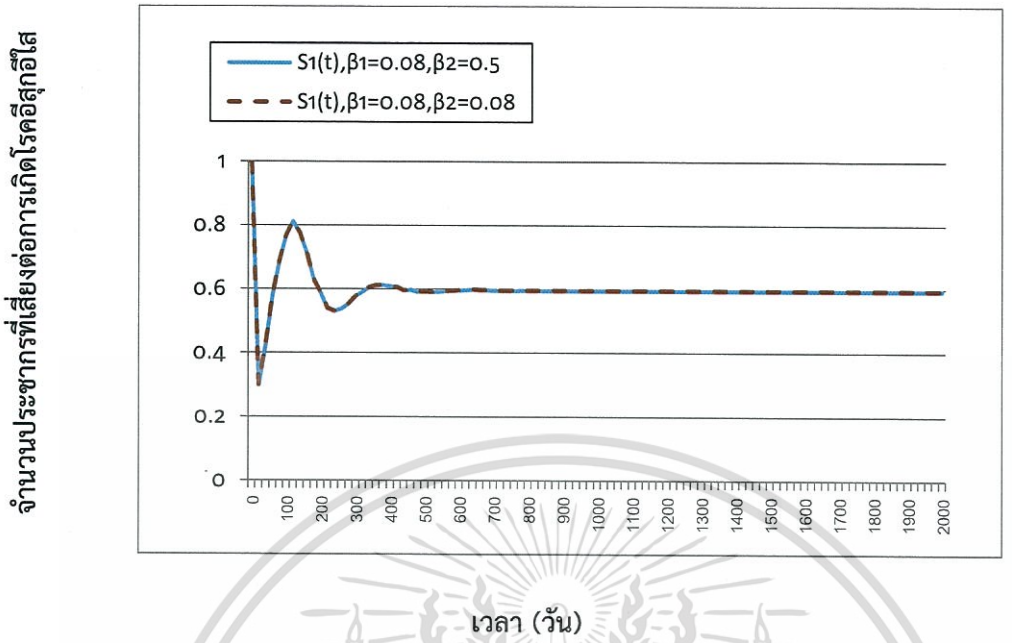
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.5 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.5 อธิบายได้ว่า จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

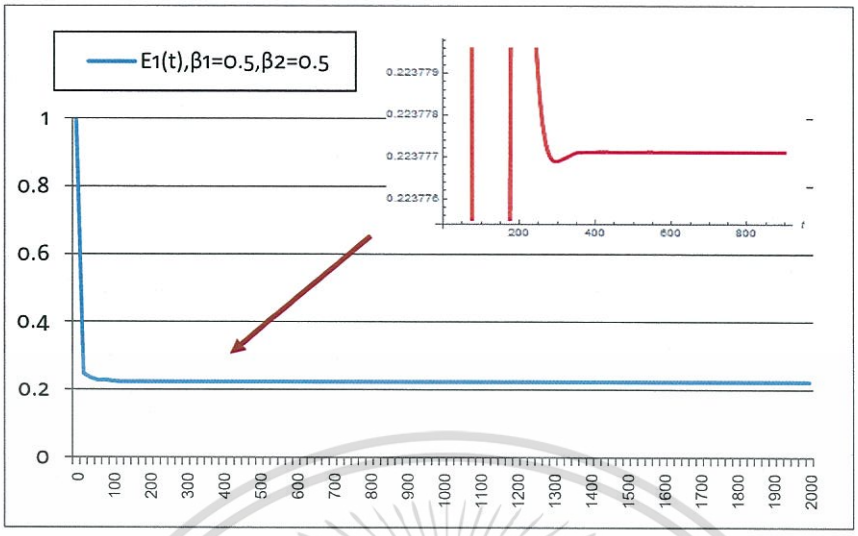
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.6 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1500 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดอีสุกอีใส (S_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และอัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



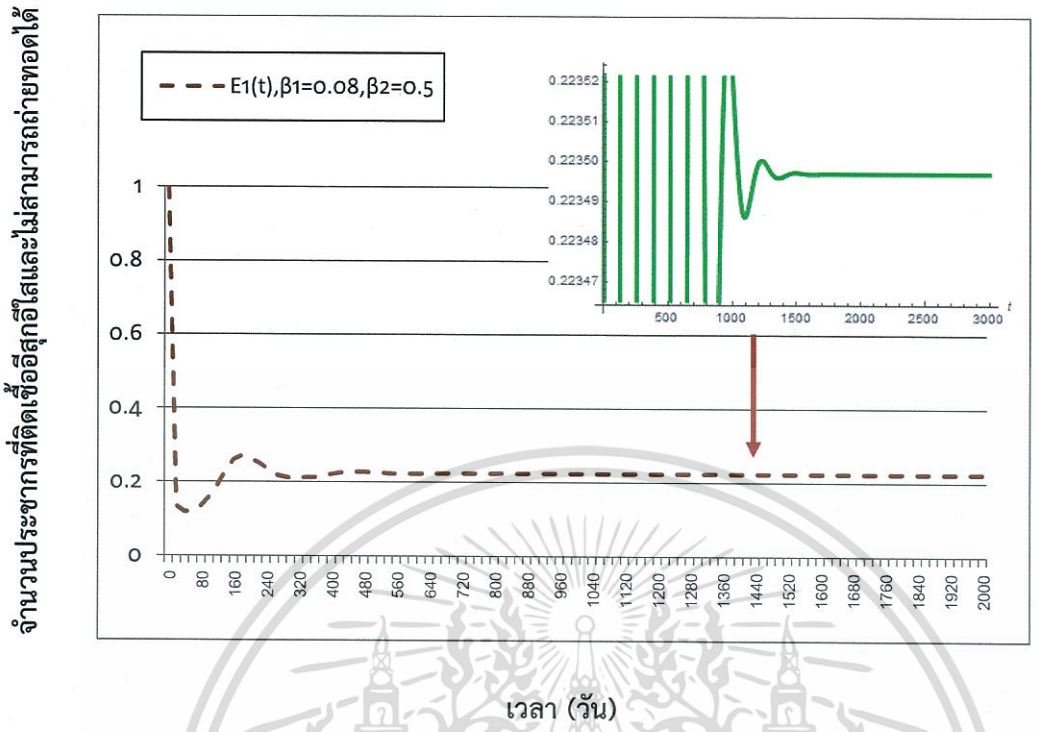
จำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้

เวลา (วัน)

รูปที่4.7 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.7 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223777 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 280 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 280 วัน

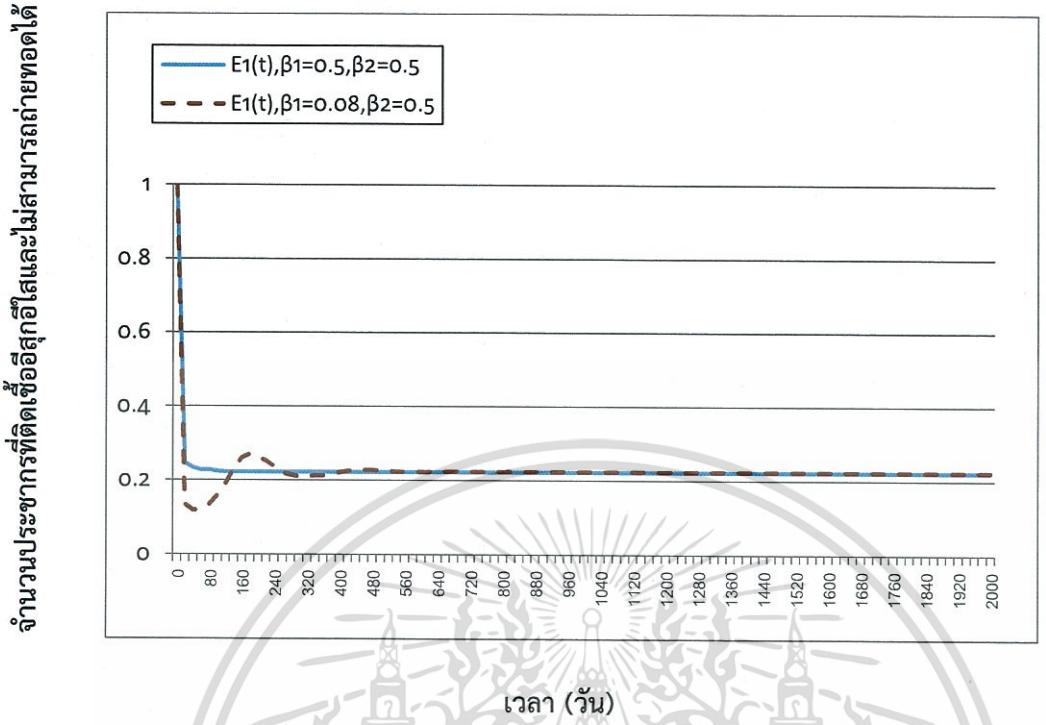
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.8 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.8 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223497 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,460 วัน

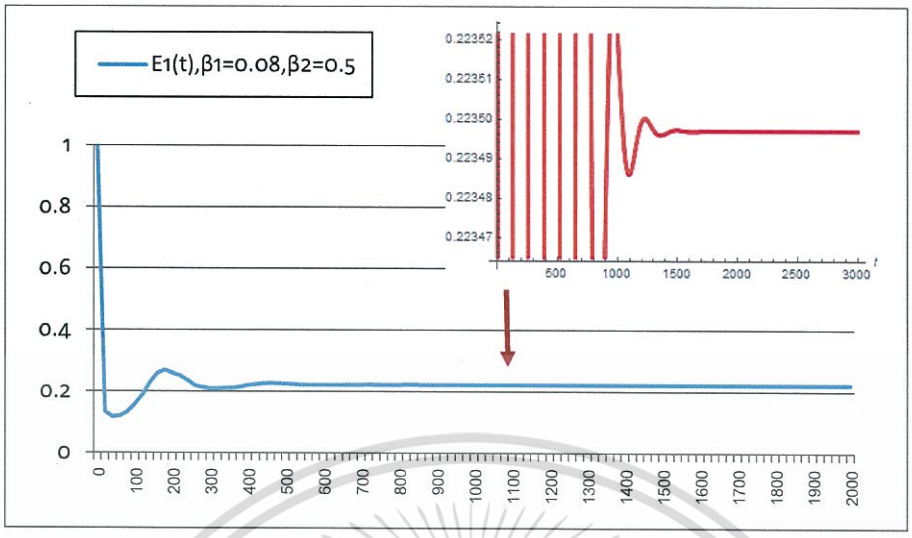
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.9 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223777 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 280 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223497 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่า เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

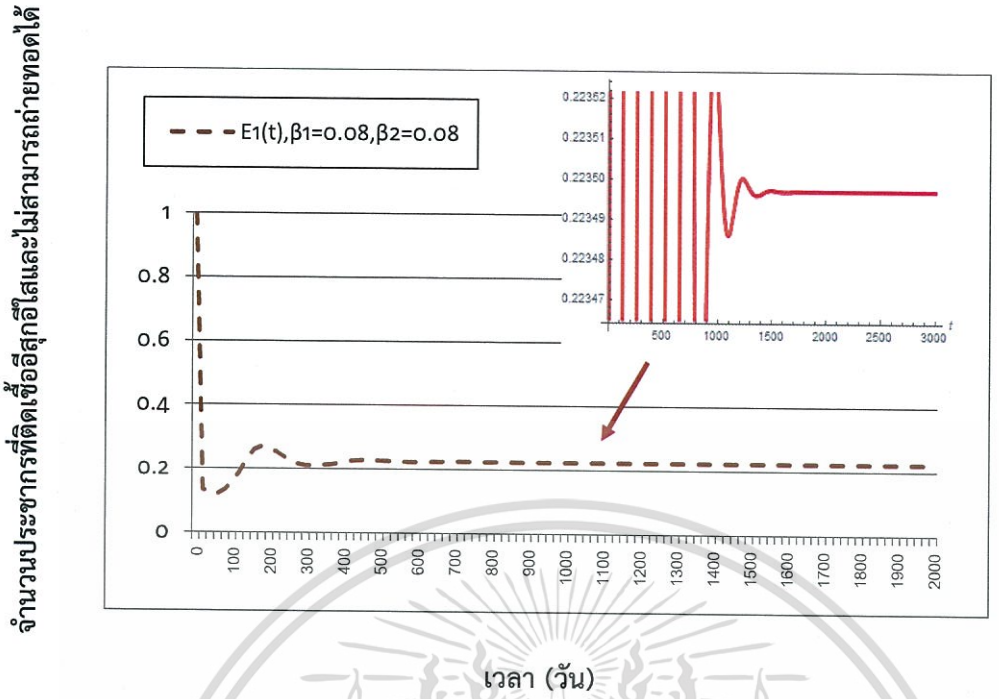
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.10 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.10 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223497 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,460 วัน

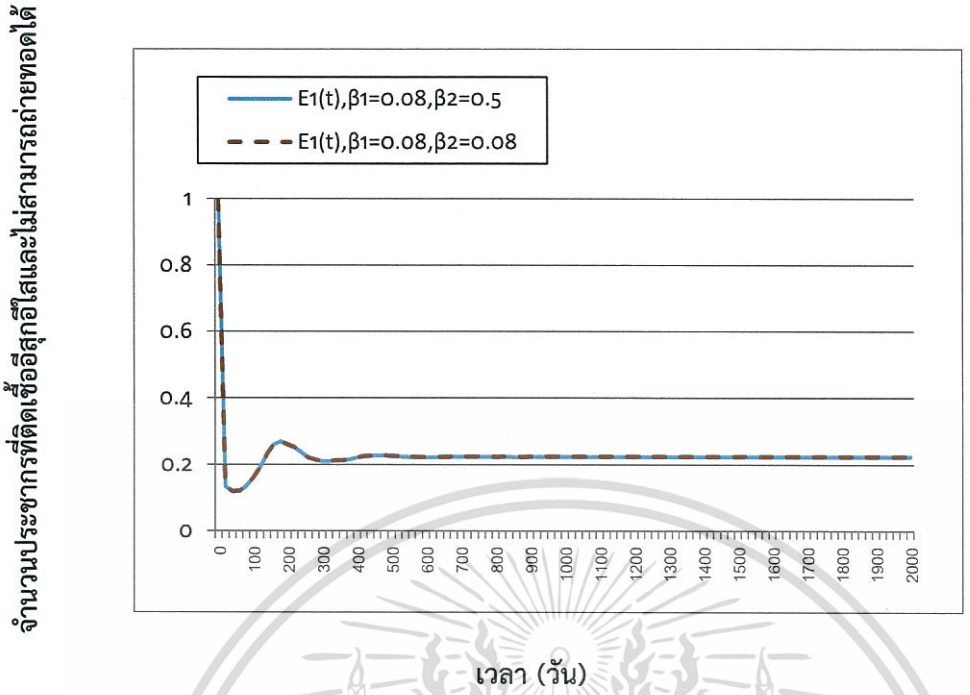
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.11 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.11 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ 0.223497 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,460 วัน

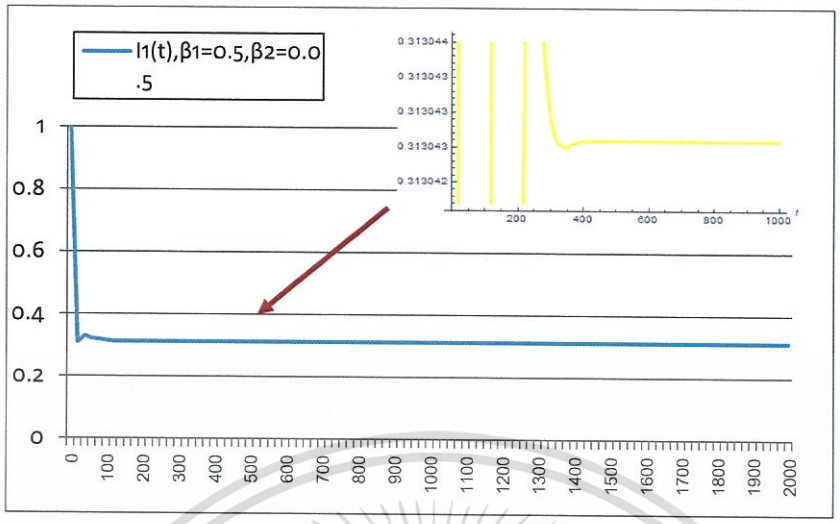
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.12 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223497 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223497 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และอัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



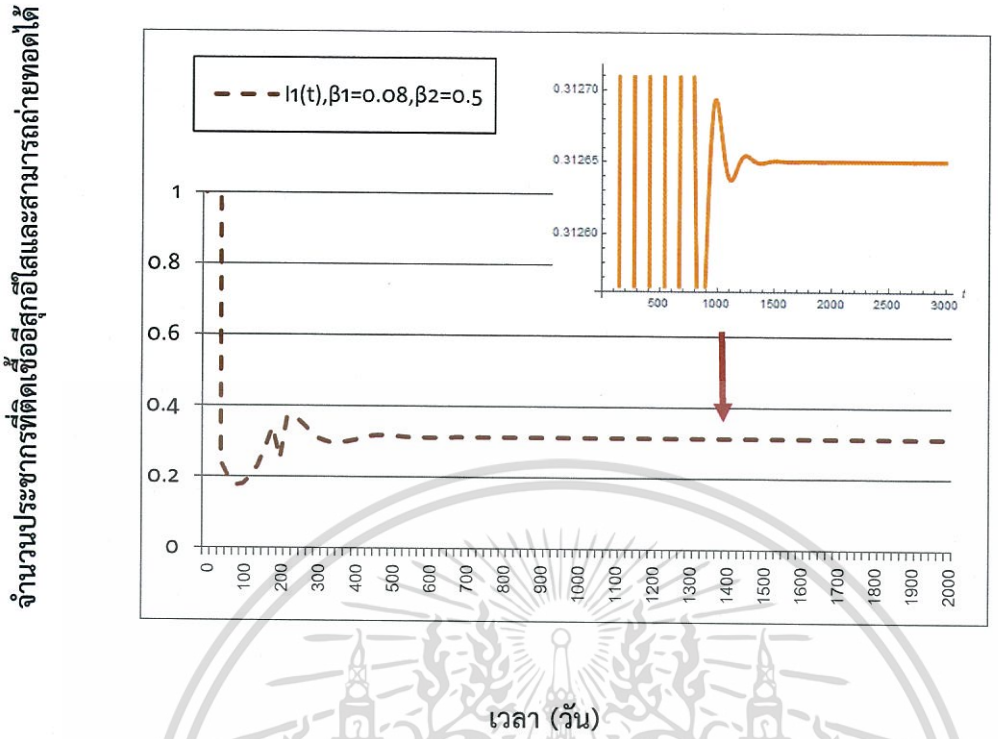
จำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้

เวลา (วัน)

รูปที่4.13 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.13 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.313043 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 300 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 300 วัน

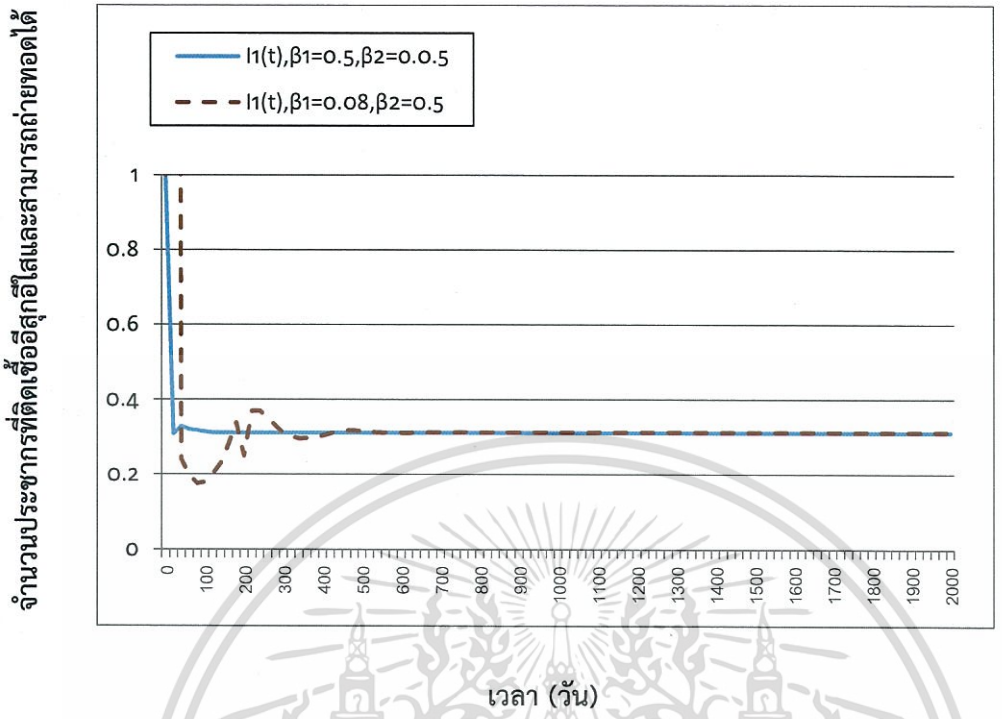
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.14 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.14 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.312651 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,440 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,440 วัน

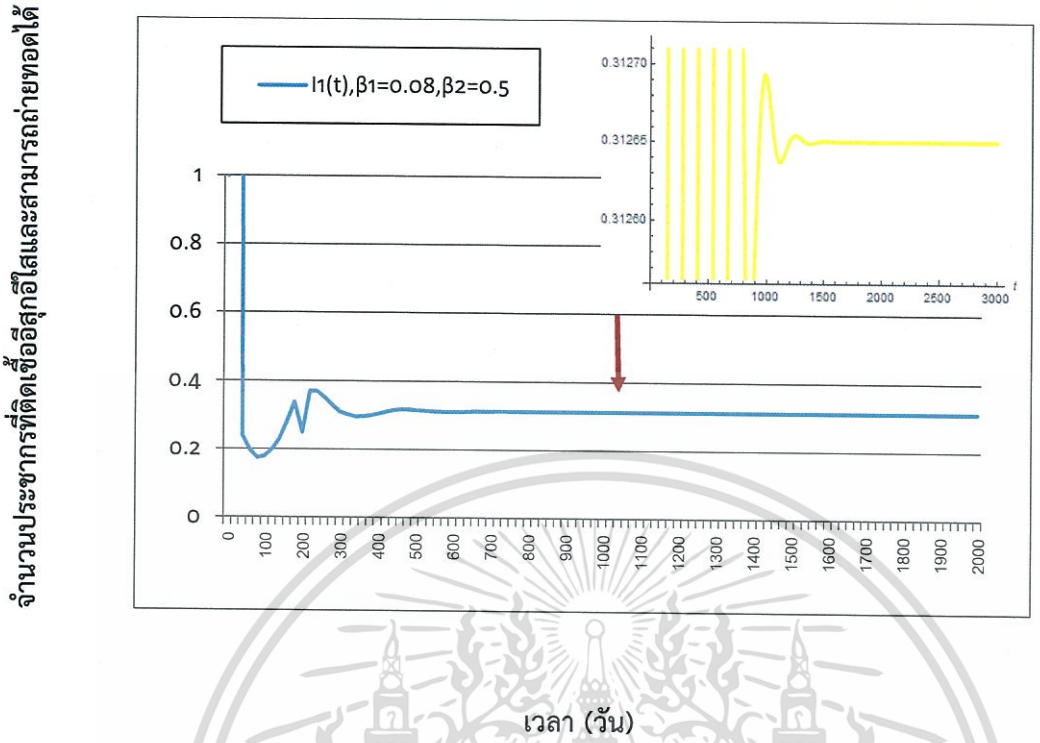
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.15 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.313043 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 300 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.312651 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,440 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่า เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

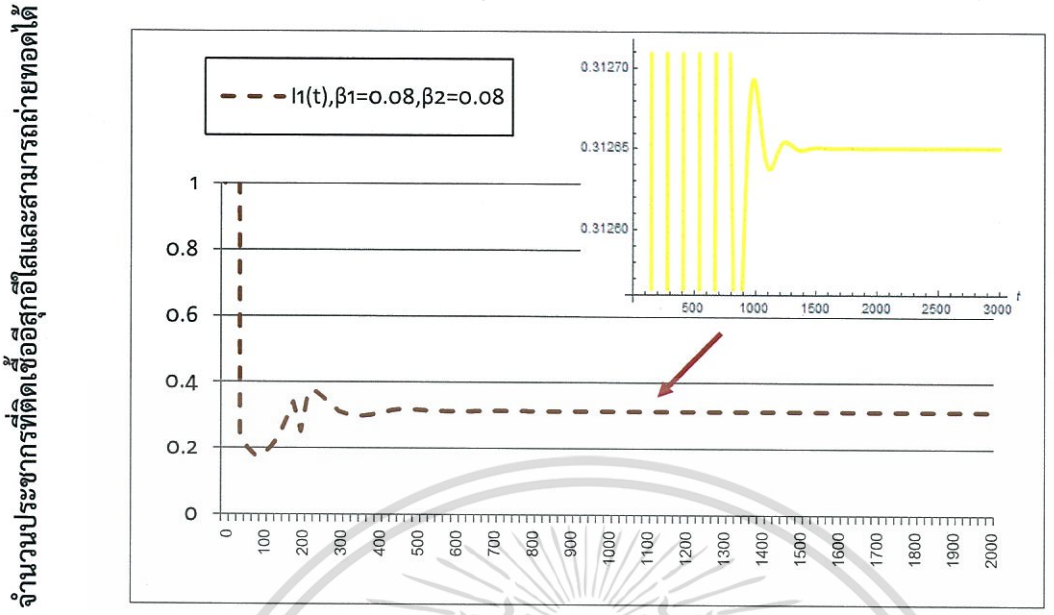
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.16 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.16 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.312651 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,440 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,440 วัน

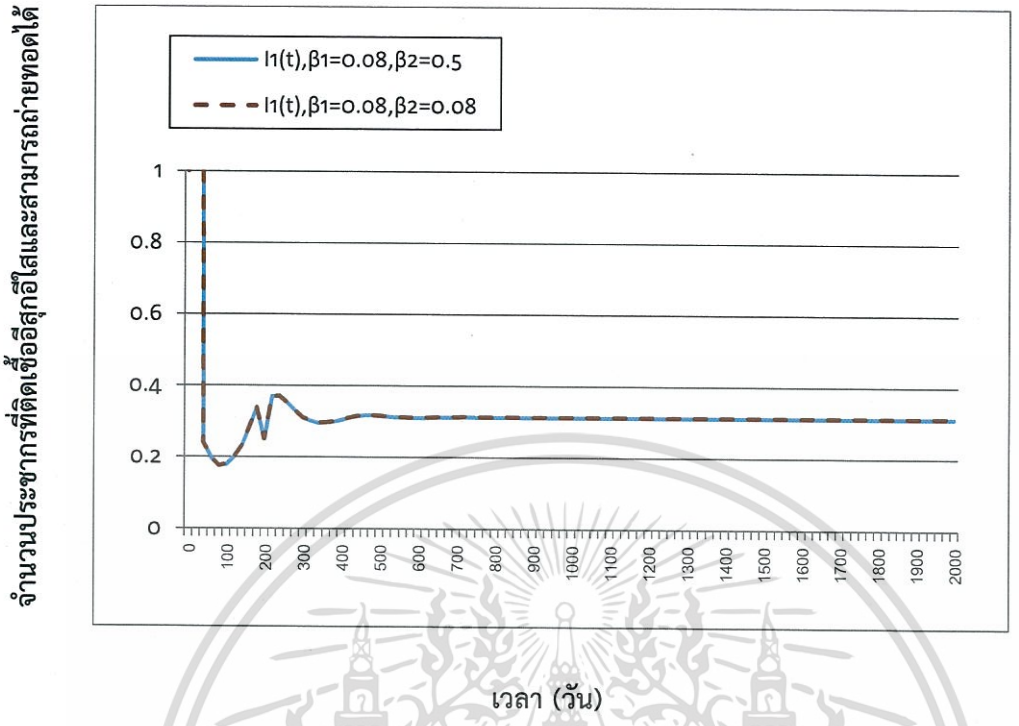
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.17 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.17 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.312651 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,440 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,440 วัน

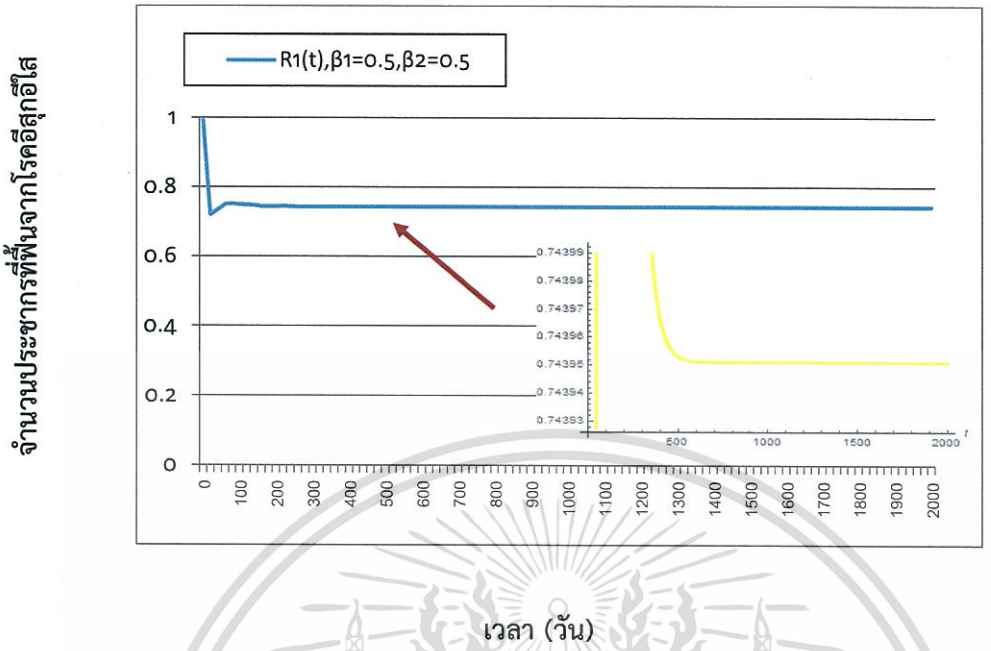
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.18 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.312651 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.312651 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,460 วันนั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดได้ (I_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และอัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลพร้อมกัน

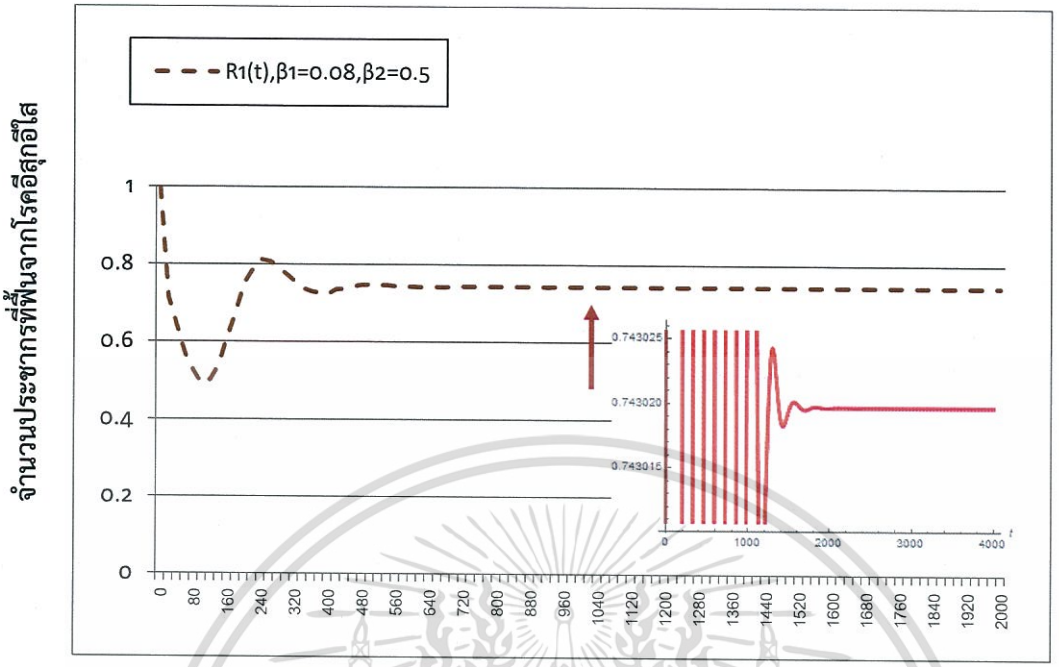
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.19 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.743951 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 580 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 580 วัน

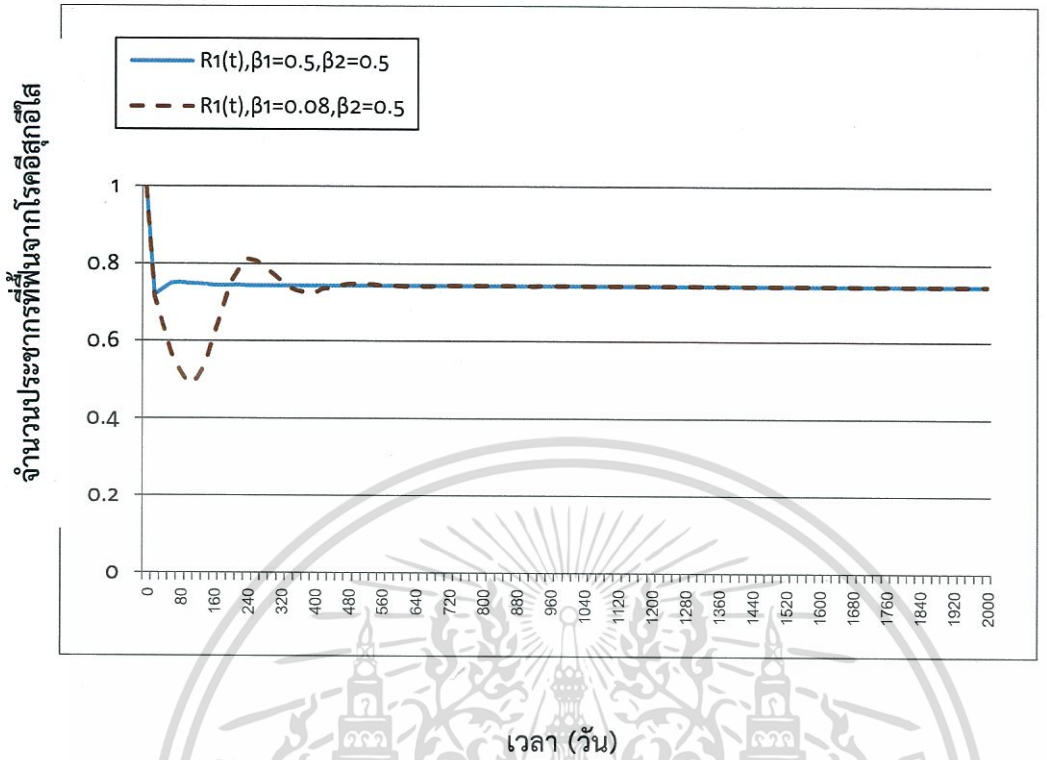
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.20 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.20 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.74302 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

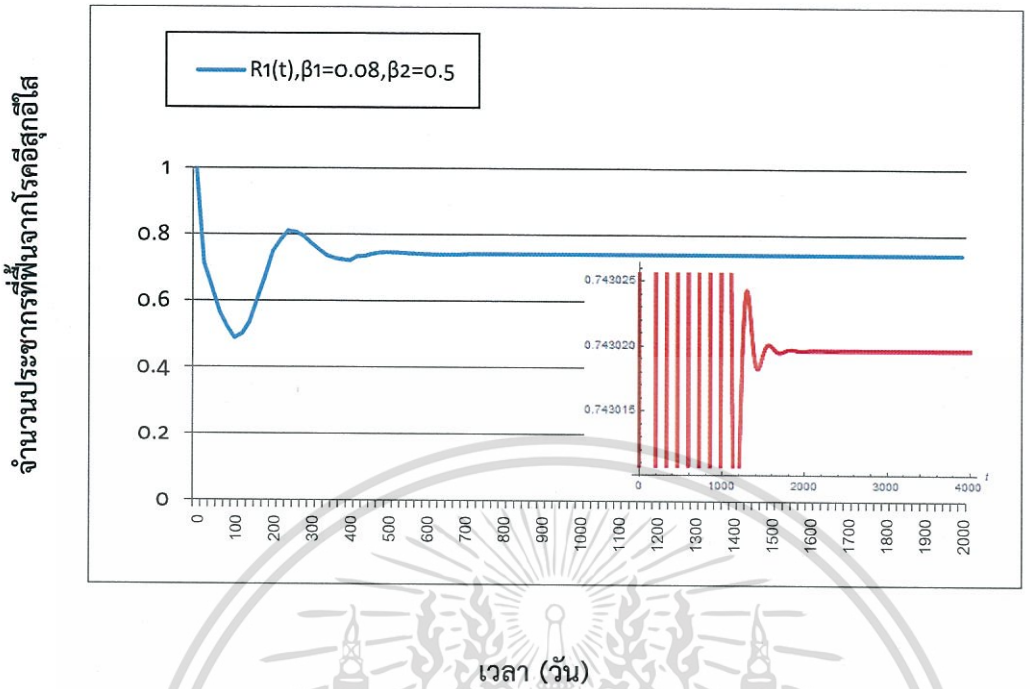
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.21 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.743951 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 580 วัน และเมื่อเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.74302 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วันนั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่า เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

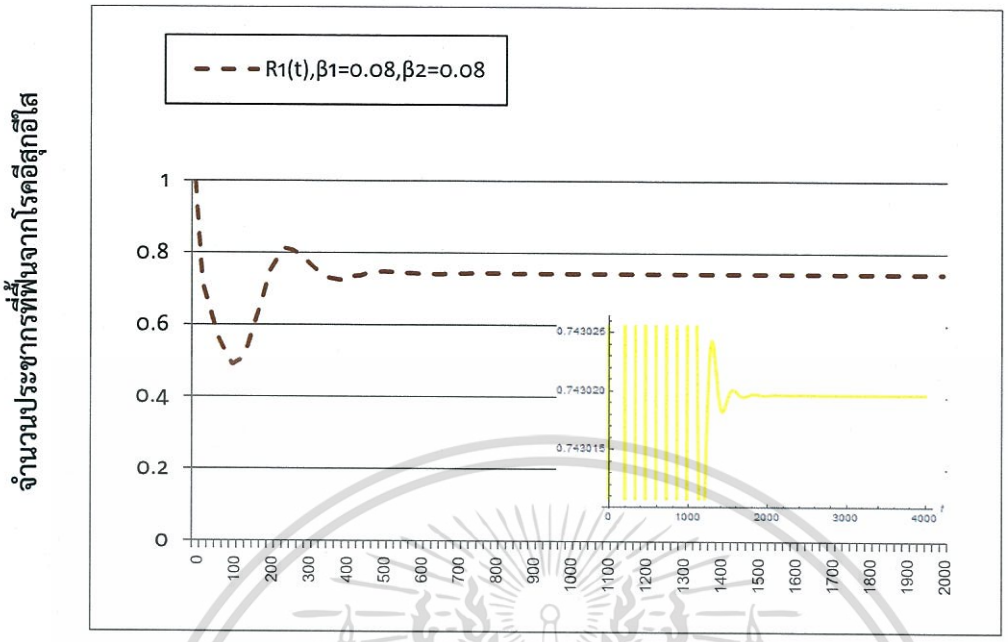
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.22 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.74302 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

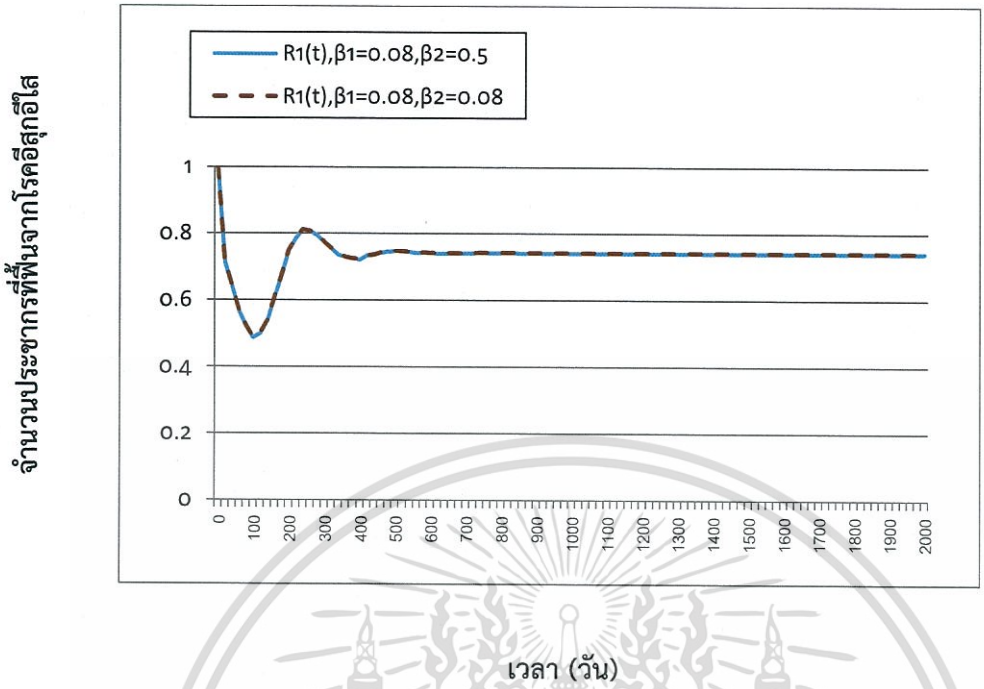
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.23 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.23 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.74302 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

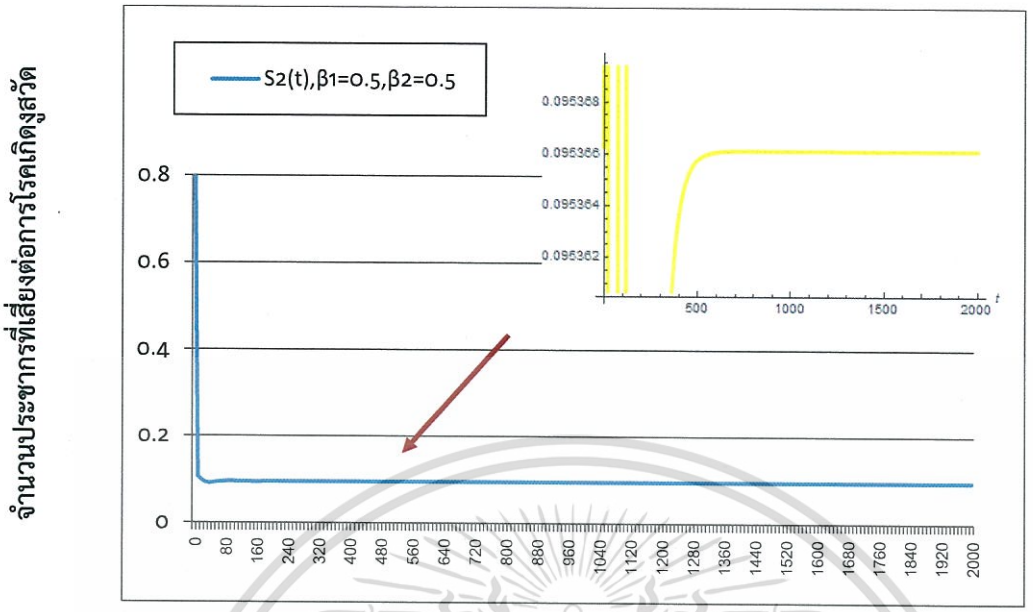
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.24 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.74302 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน และเมื่อเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.74302 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_1) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และอัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลพร้อมกัน

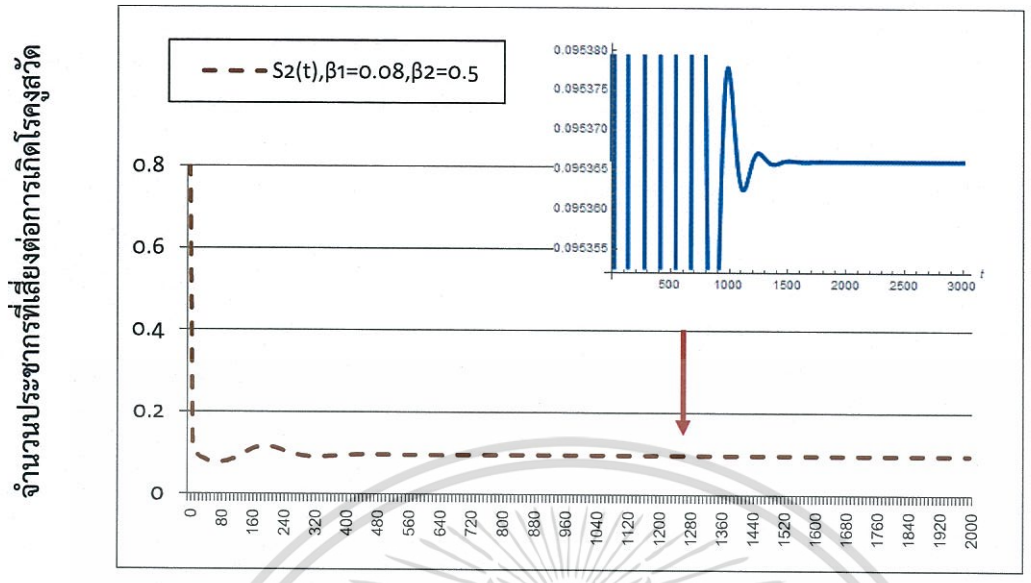
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.25 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.25 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.095366 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 480 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 480 วัน

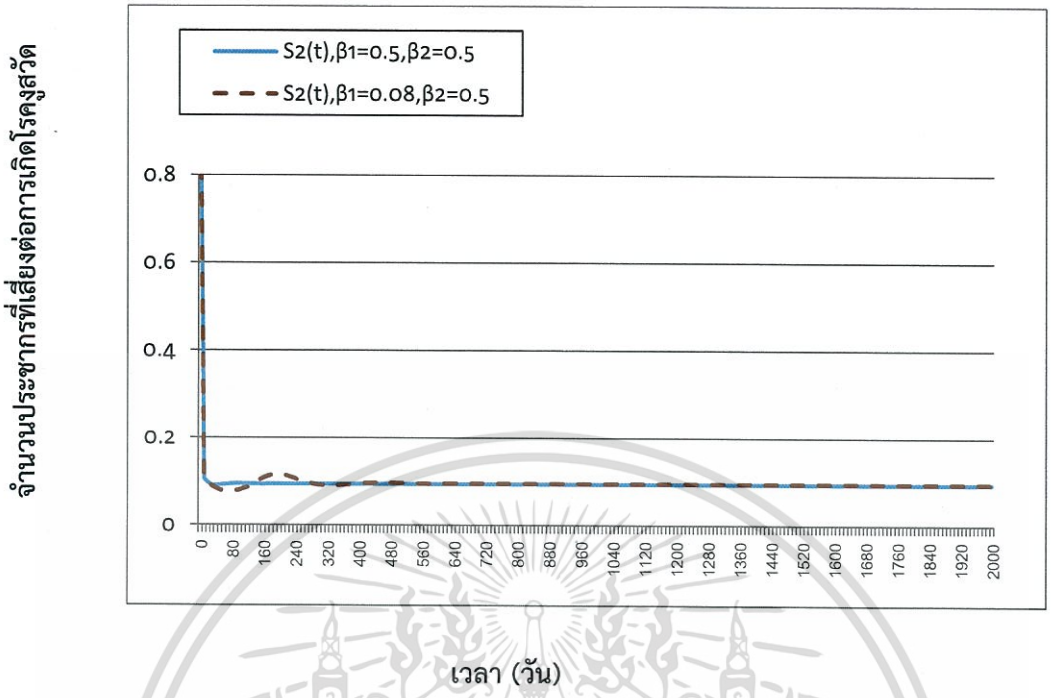
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.26 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.26 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.09536 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,060 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,060 วัน

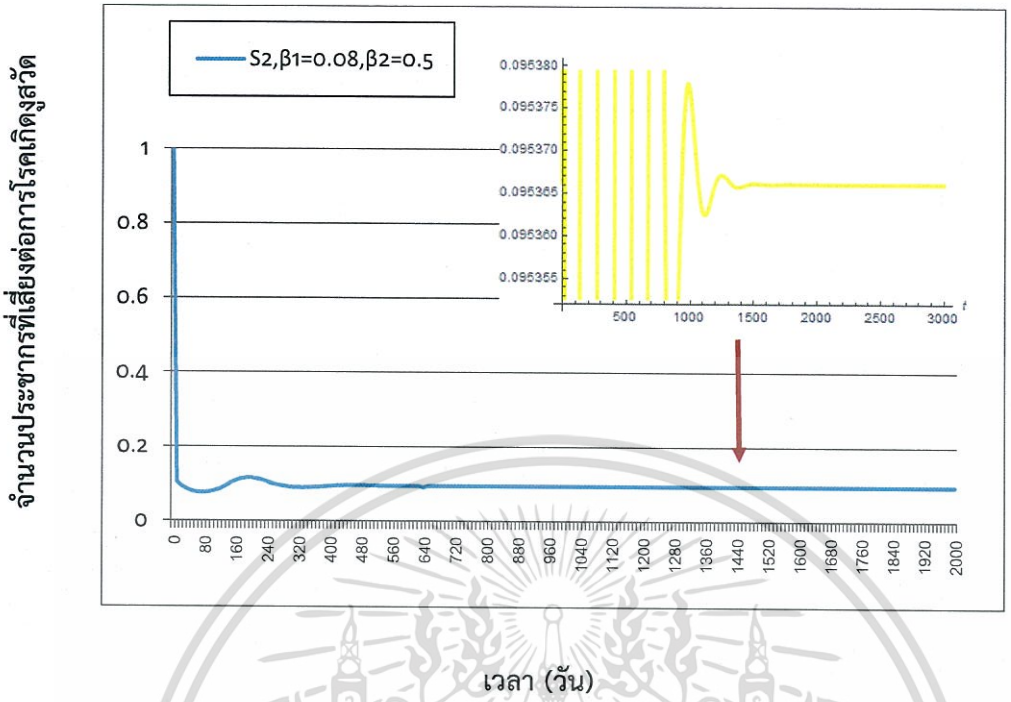
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.27 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.095366 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 480 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.09536 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,060 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีกสุกอีใสงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

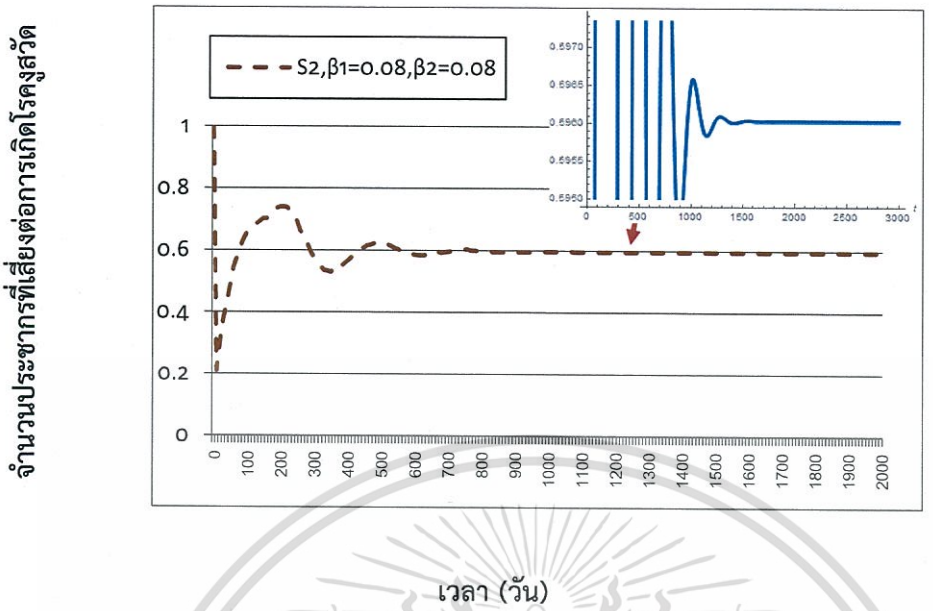
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.28 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.28 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.0953656 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,190 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,190 วัน

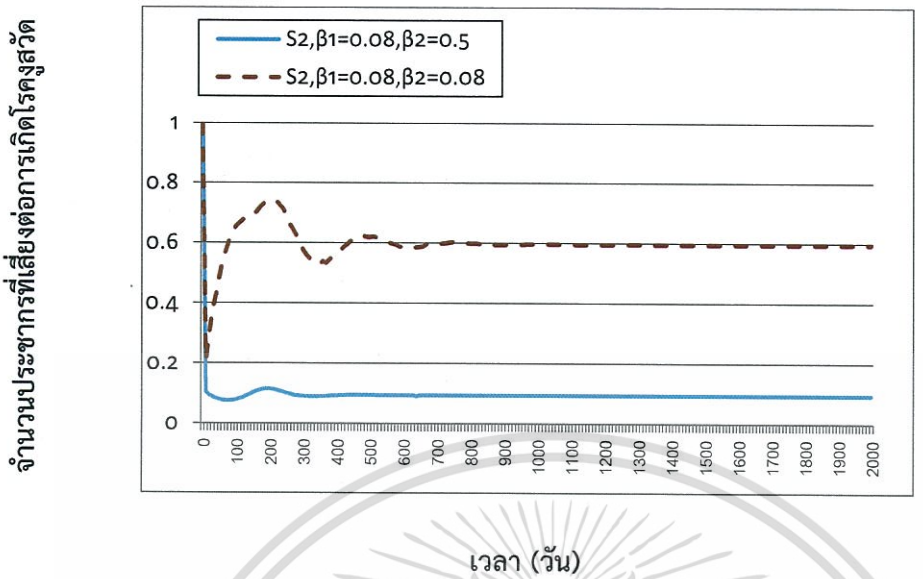
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.29 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.29 อธิบายได้ว่า จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,740 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,740 วัน

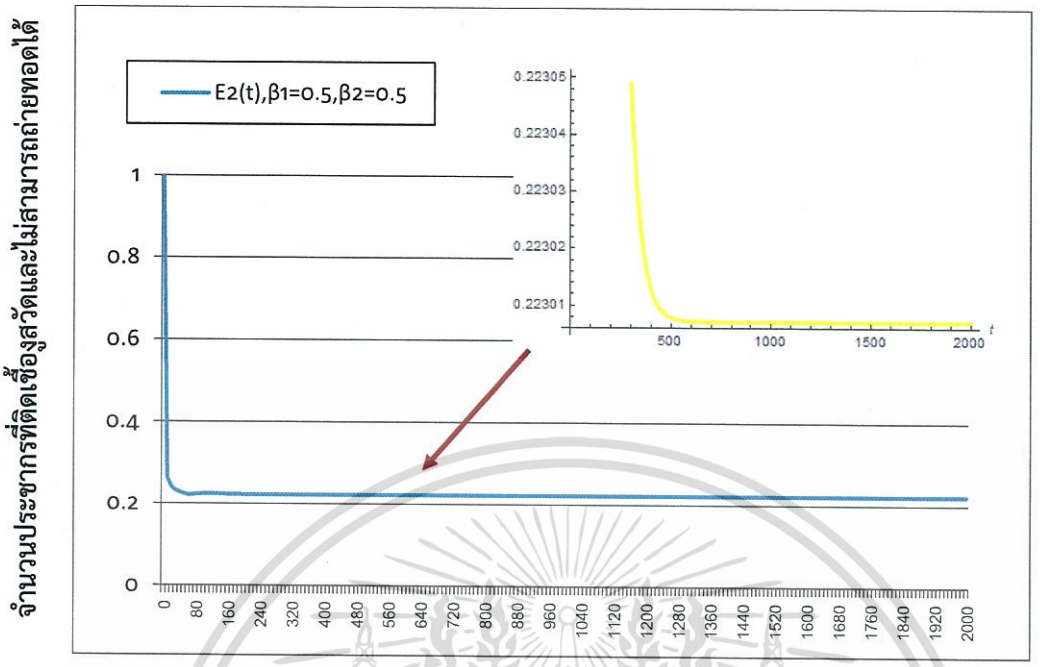
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.30 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.0953656 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,190 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.596038 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,740 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคงูสวัด (S_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีกสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีกสุกอีใสงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

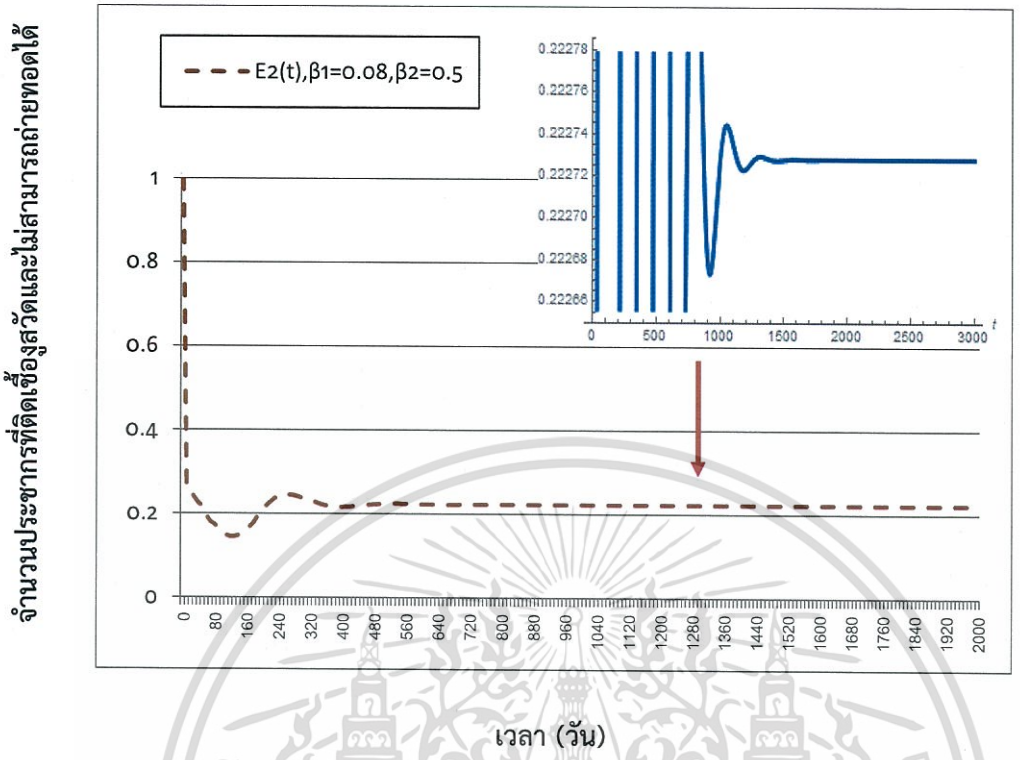
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.31 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.31 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223007 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 540 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 540 วัน

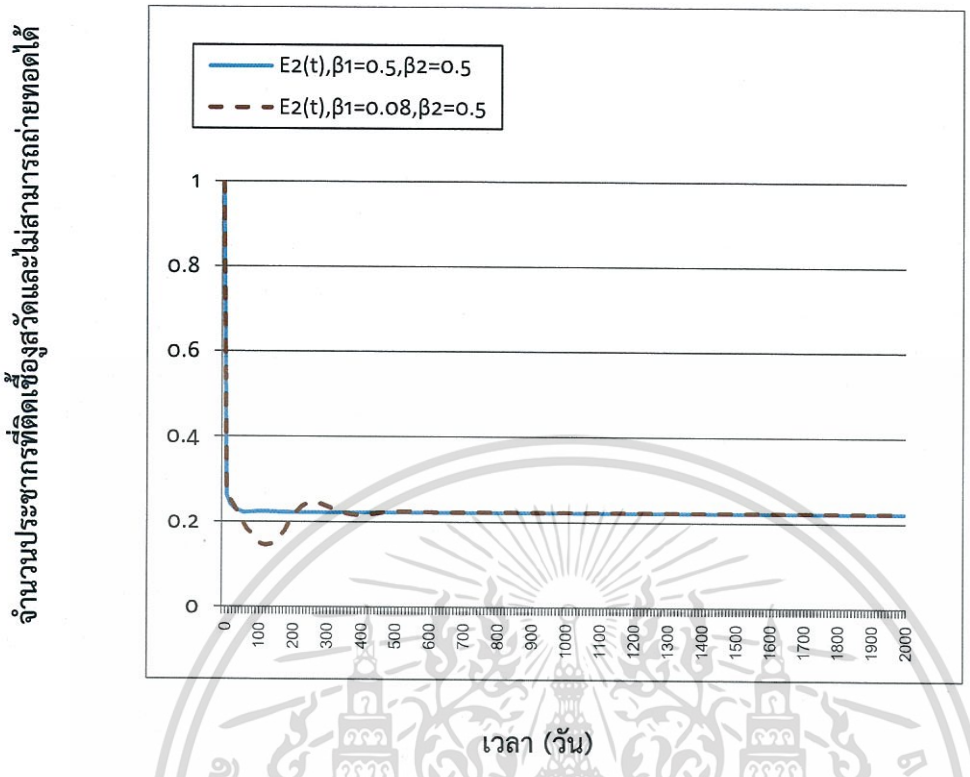
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.32 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.32 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ แสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ 0.222728 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,500 วัน

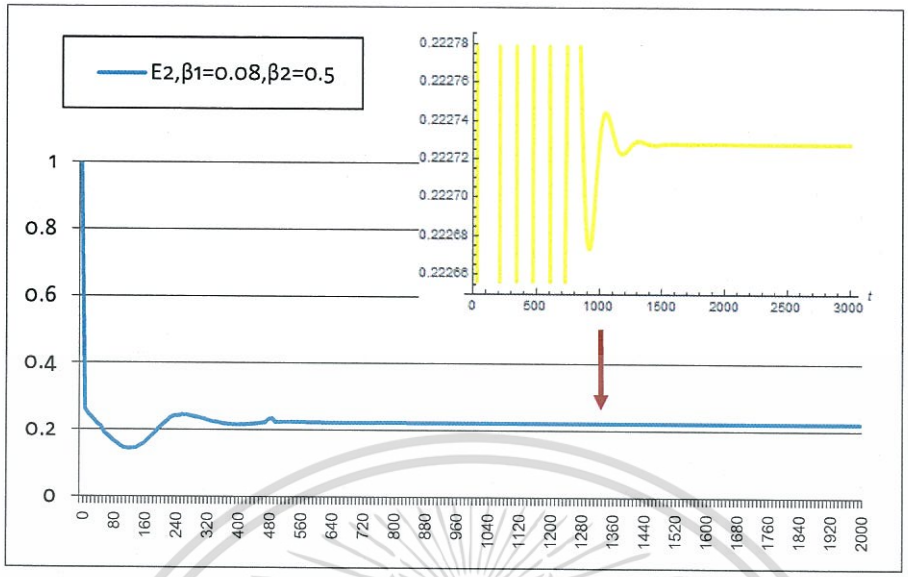
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.33 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.223007 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 540 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ 0.222728 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



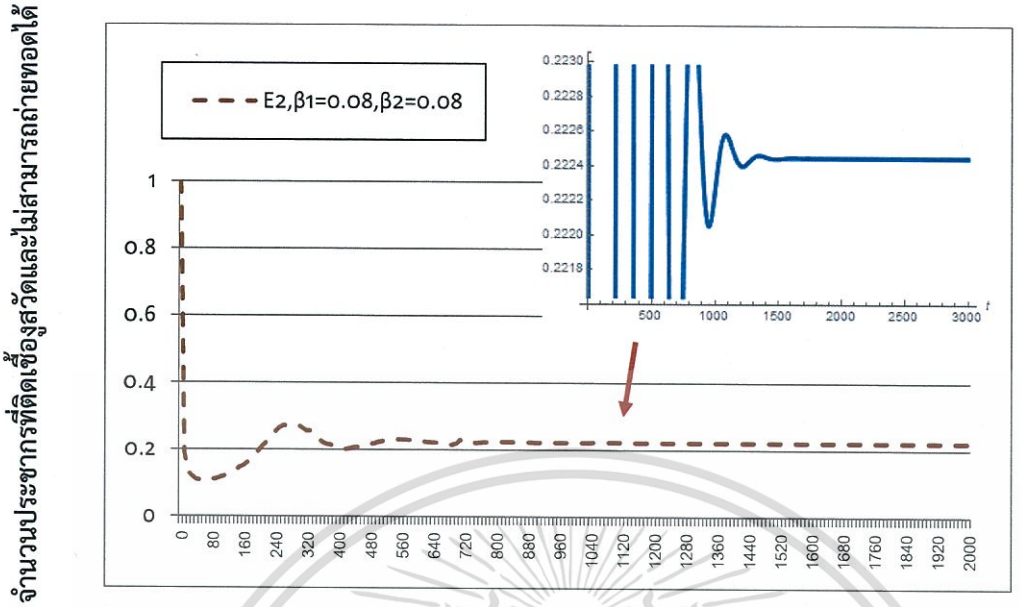
จำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้

เวลา (วัน)

รูปที่4.34 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.34 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.222728 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2)

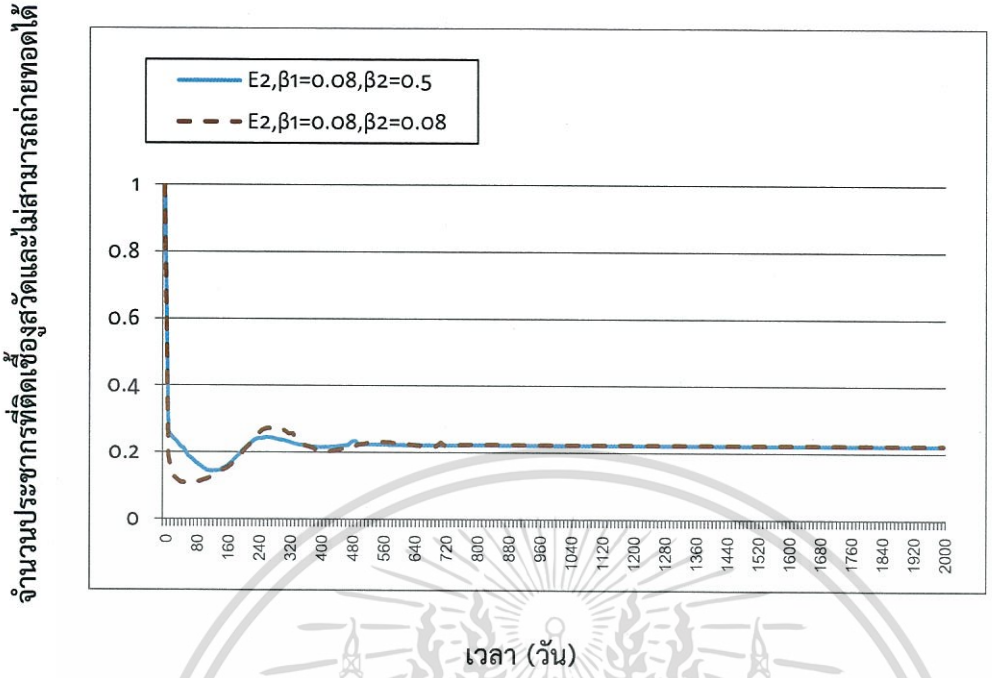
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.35 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.35 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและไม่สามารถถ่ายทอดได้ แสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ 0.222448 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,820 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,820 วัน

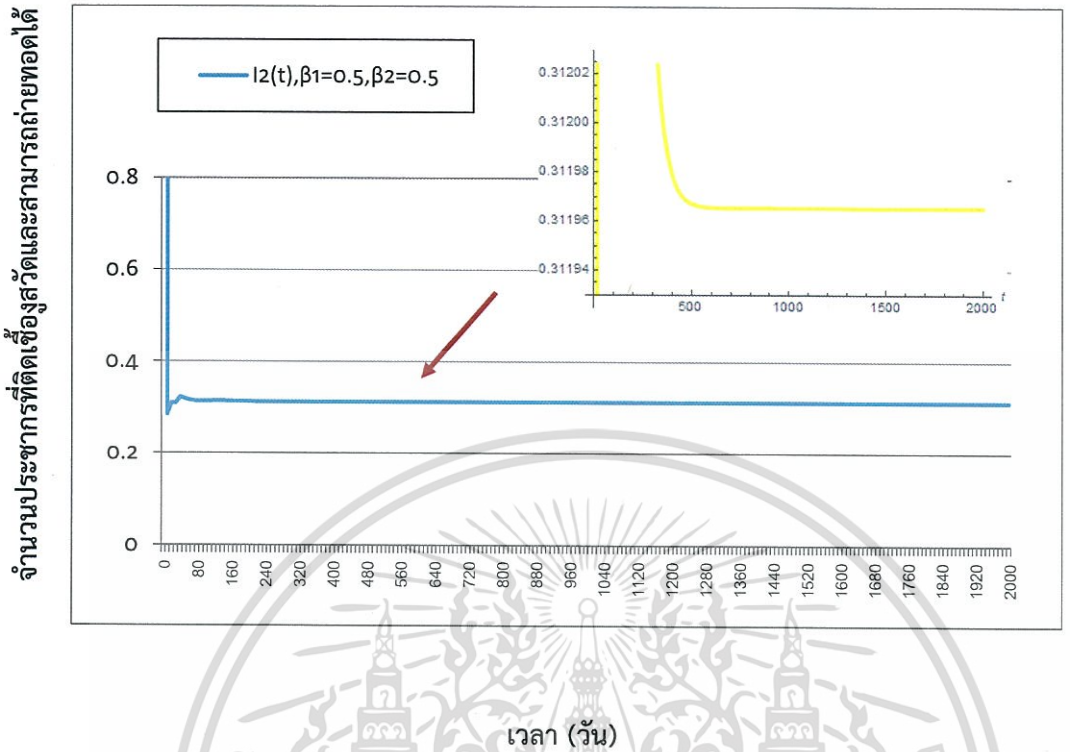
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.36 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.222728 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,500 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ 0.222448 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,820 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและไม่สามารถถ่ายทอดได้ (E_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

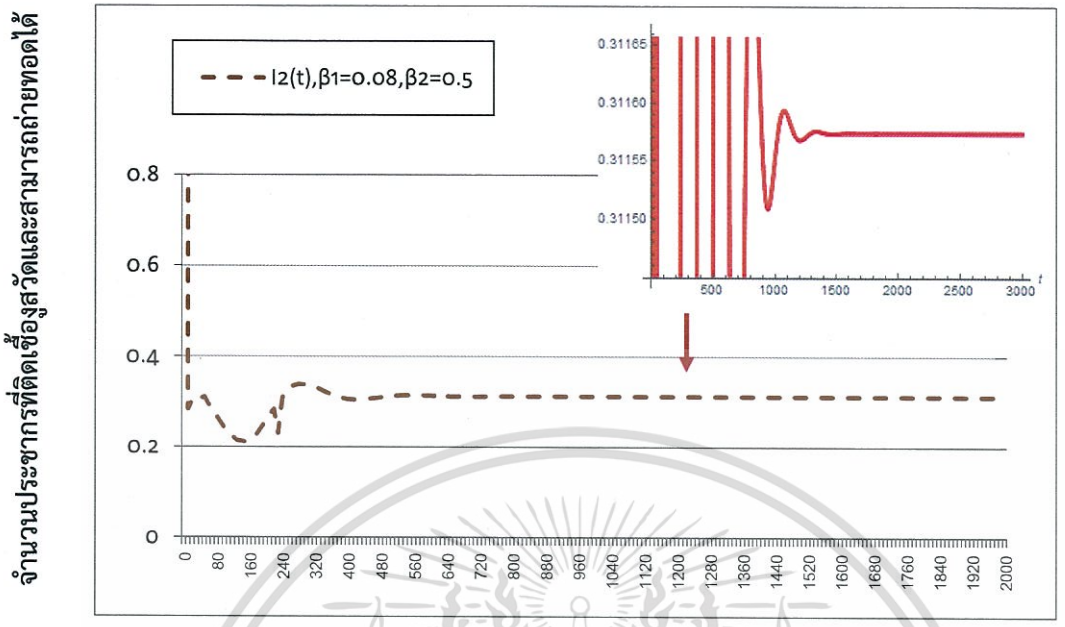
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.37 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.37 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311965 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 630 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 630 วัน

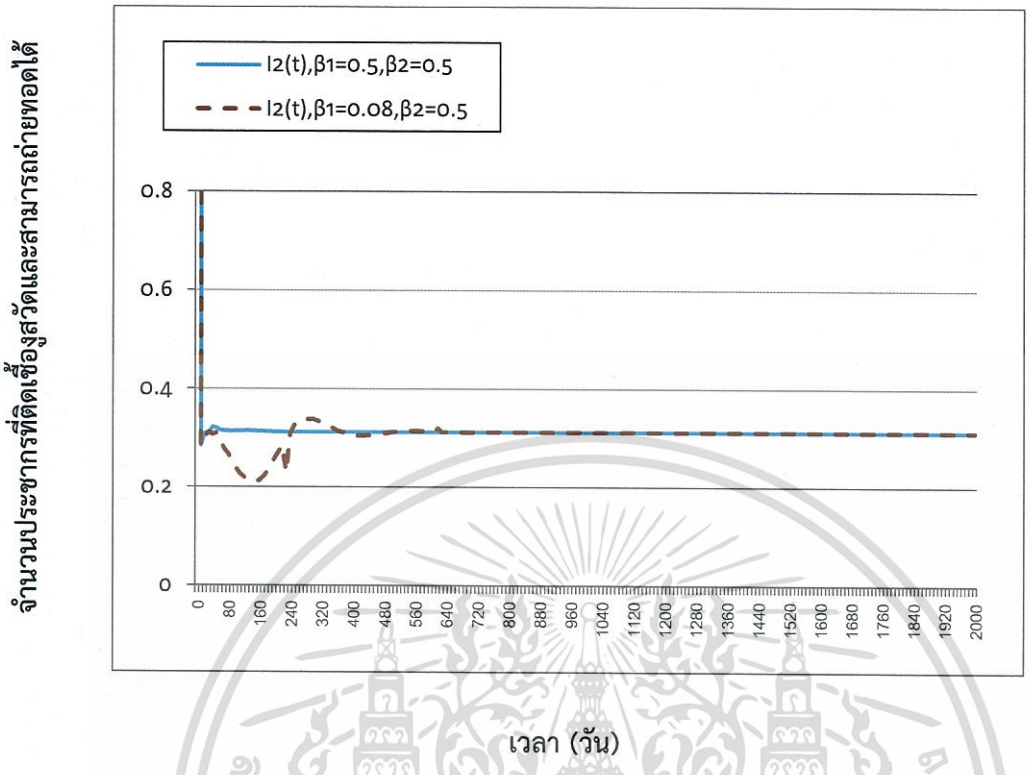
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.38 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.38 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311575 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,530 วัน นั่นแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,530 วัน

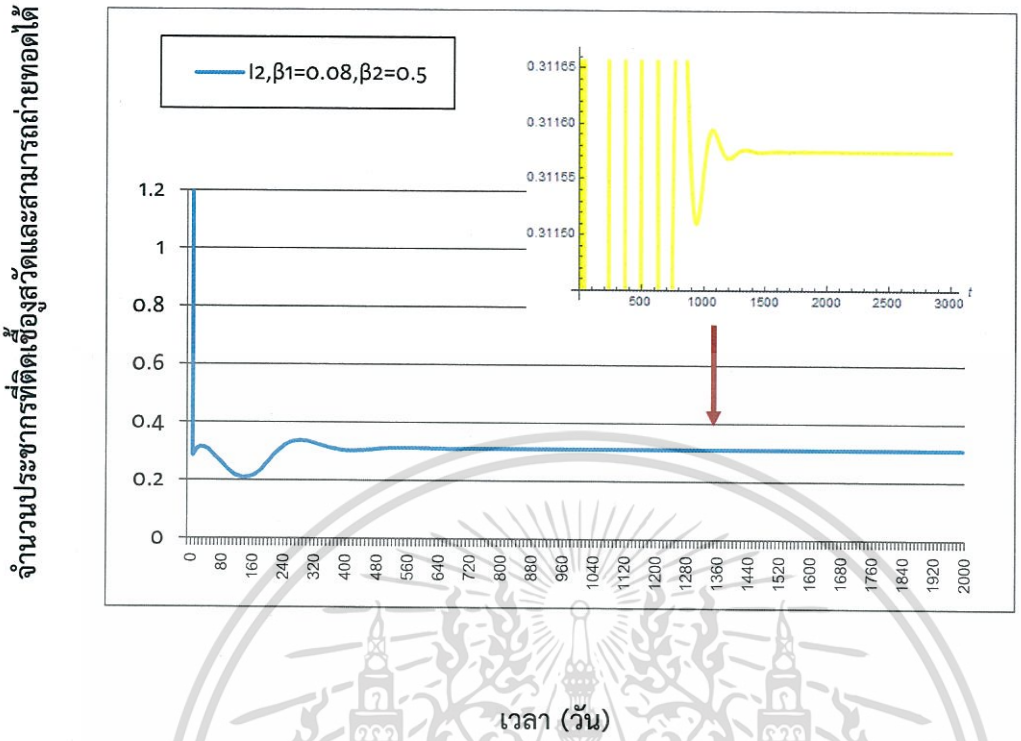
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.39 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311965 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 630 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311575 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,530 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

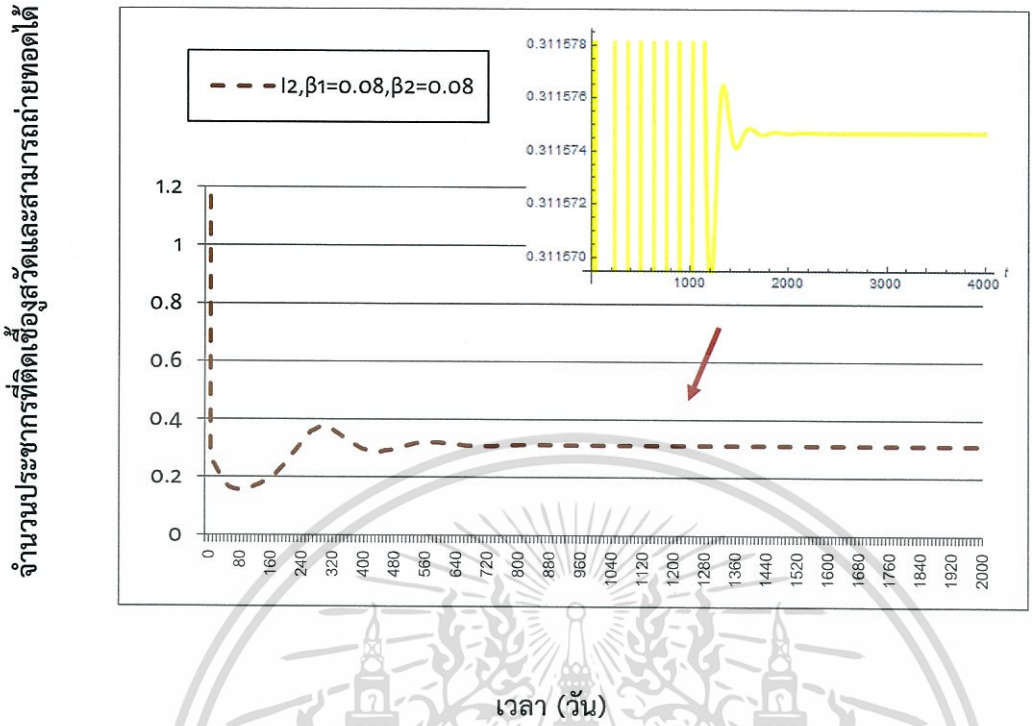
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.40 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.40 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311575 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,280 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,280 วัน

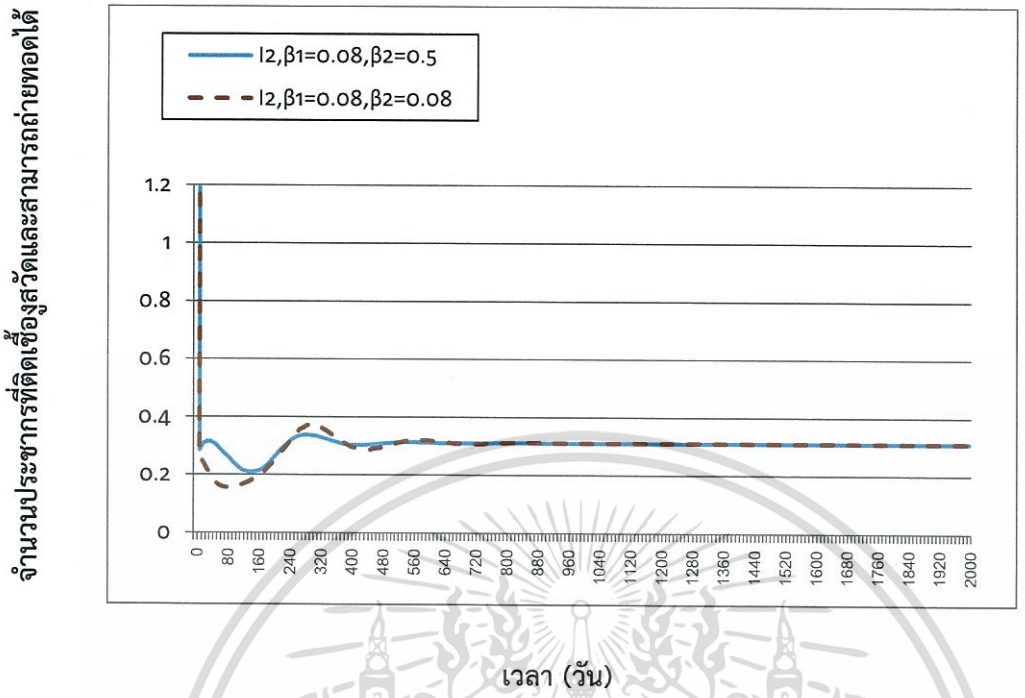
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.41 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.41 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311183 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,830 วัน นั่นแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 1,830 วัน

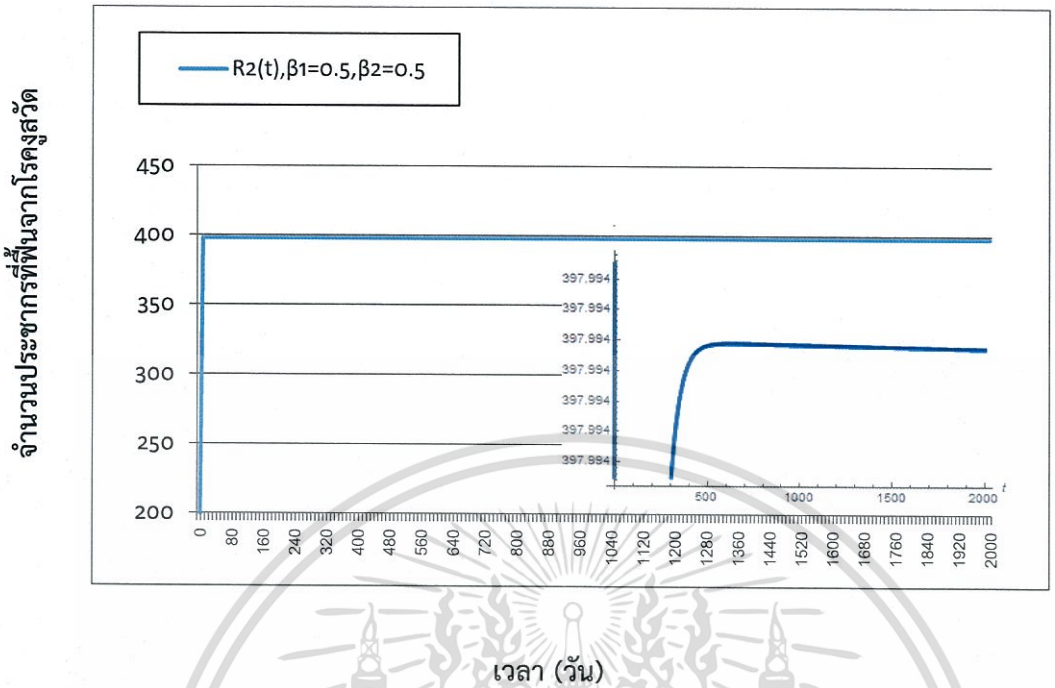
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

จากรูปที่ 4.42 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311575 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,280 วัน และเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$ จะลู่เข้าสู่ค่า 0.311183 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 1,830 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ติดเชื้องูสวัดและสามารถถ่ายทอดได้ (I_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.08$

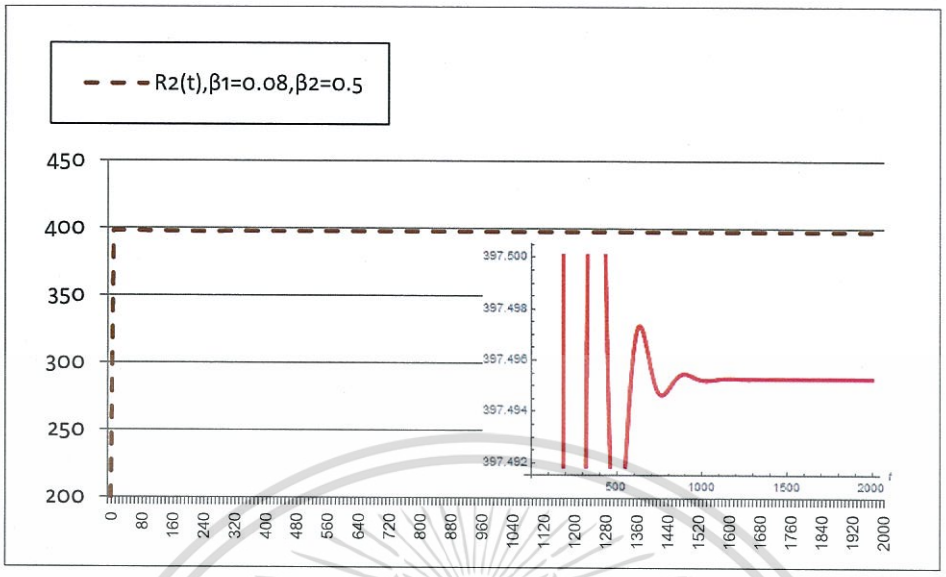
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.43 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.43 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 397.994 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 320 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 320 วัน

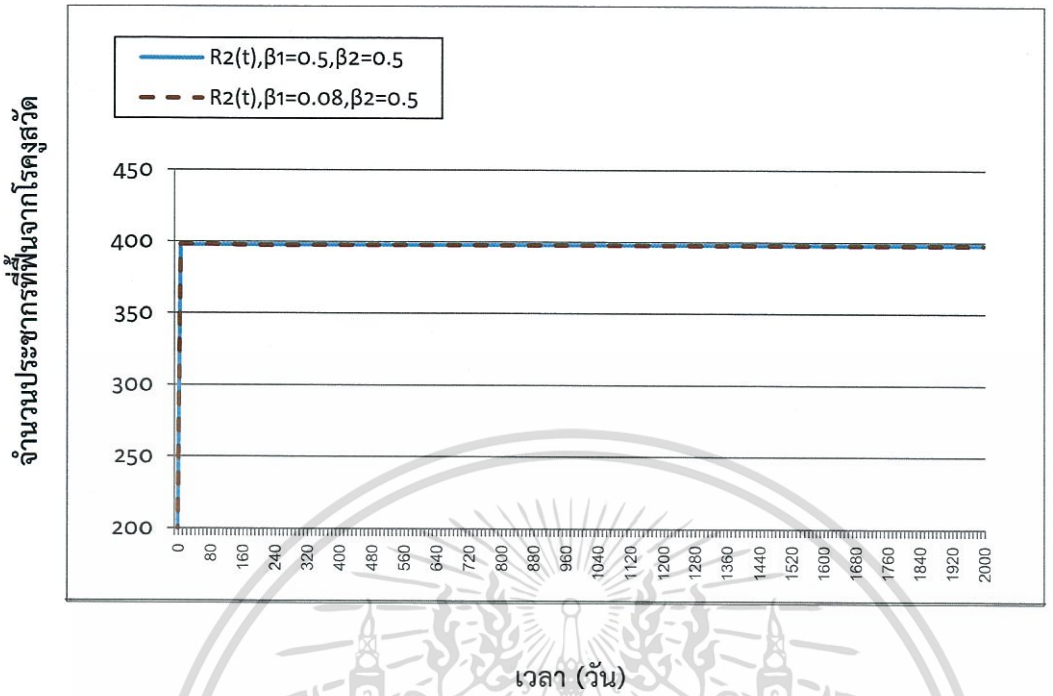
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.44 กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา(วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.44 อธิบายได้ว่า กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เมื่อ เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 397.495 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 710 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) มีจำนวนเวลาคงที่ ณ เวลา 710 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เทียบกับเวลา (วัน) เมื่อ $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ และ $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

จากรูปที่ 4.45 อธิบายได้กราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคงูสวัด (R_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 397.994 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 320 วัน และเมื่อเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$ จะลู่เข้าสู่ค่า 397.495 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลาที่ 710 วัน นั่นแสดงว่ากราฟแสดงจำนวนประชากรที่ฟื้นจากโรคอีสุกอีใส (R_2) เมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.5, \beta_2 = 0.5$ ลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วกว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใสและงูสวัดเป็น $\beta_1 = 0.08, \beta_2 = 0.5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาพิเศษนี้ ได้เสนอรายละเอียดของโรคอีสุกอีใส-งูสวัด ที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสวาริเซลลา-ซอสเตอร์(Varicella zoster virus หรือ เรียกย่อว่า VZV/ วีซีวี ไวรัส) และนำเอาองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับการติดเชื้อไวรัสนี้ จากนั้นก็พิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยนำเสนอและอธิบายโรคอีสุกอีใสและงูสวัดในประเทศไทย เพื่อพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นในการป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส-งูสวัดและกำหนดตัวชี้วัดของผู้ป่วยโรคอีสุกอีใส-งูสวัดทั้งประเทศ

โดยแบบจำลองกำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาดคงที่โดยจะแบ่งประชากรออกเป็น 8 กลุ่ม คือ กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีสุกอีใส (S_1) กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_1) กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_1) กลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใส (R_1) กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคงูสวัด (S_2) กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_2) กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_2) กลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการเป็นโรคงูสวัด (R_2) โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการระบาดของโรคมีดังนี้

5.1.1 อัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใส (β_1)

ถ้าอัตราการถ่ายทอดเชื้ออีสุกอีใส (β_1) ลดลง จะทำให้กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีสุกอีใส (S_1),กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_1) ,กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_1) ,กลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใส (R_1) ,กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคงูสวัด (S_2) ,กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_2) ,กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_2) และกลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการเป็นโรคงูสวัด (R_2) ลู่เข้าได้ช้าลง

5.1.2 อัตราการถ่ายทอดเชื้องูสวัด (β_2)

ถ้าอัตราการถ่ายทอดเชื้องูสวัด (β_2) ลดลงหรือเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อ กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีสุกอีใส (S_1),กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_1) ,กลุ่มประชากรที่ติดเชื้ออีสุกอีใสและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_1) และกลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้ออีสุกอีใส (R_1)

ถ้าอัตราการถ่ายทอดเชื้องูสวัด (β_2) ลดลง จะทำให้กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคงูสวัด (S_2) ,กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_2) ,กลุ่มประชากรที่เป็นโรคงูสวัดและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_2) และกลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการเป็นโรคงูสวัด (R_2) ลู่เข้าได้ช้าลง เนื่องจากผู้ที่ติดเชื้องูสวัดไม่สามารถกลับมาเป็นโรคอีสุกอีใสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของแบบจำลองนี้ สามารถนำไปต่อยอดในการสร้างโปรแกรม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริง เพิ่มความสะดวกในการคำนวณการเกิดโรคอีสุกอีใส-งูสวัด การป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยโรคอีสุกอีใสและงูสวัด ทั้งยังลดโอกาสในการผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้อีกด้วย นอกจากนี้ อายุมีผลต่อโรคงูสวัด เนื่องจากเมื่อมีอายุมากขึ้นภูมิคุ้มกันในร่างกายจะลดลง ทำให้เชื้ออีสุกอีใสที่ฝังอยู่ตามปมประสาทกลับมาเป็นใหม่อีกครั้ง ดังนั้นจึงควรพิจารณาอายุของผู้ป่วยในแบบจำลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศ.เกียรติคุณ พญ.พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2559. **อีสุกอีใส (Chickenpox)** [Online].Available: https://medthai.com/อีสุกอีใส/

[2] สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค. 2557. **การระบาดของโรคสุกใส** [Online].Available: http://www.boe.moph.go.th/files/report/20140708_73056152.pdf

[3] สนักงานกองทุนสนับสนุน. 2551. **โรคอีสุกอีใส (Chickenpox)** [Online].Available: http://www.thaihealth.or.th/node/6569

[4] นศภ.ศิโรธร ประเสริฐสังข์. 2559. **หน่วยคลังข้อมูลยา, คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล** [Online].Available: www.pharmacy.mahidol.ac.th.

[5] ศาสตราจารย์เกียรติคุณ พญ.พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2559. **งูสวัด (Herpes zoster)** [Online].Available: http://haamor.com/th/งูสวัด/

[6] อ.พญ.จรัศรี ฟียาพรรณ. 2559. **โรคงูสวัด (Herpes Zoster, Shingles)** [Online].Available: http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/admin/article_files/1085_1.pdf

[7] ศ.เกียรติคุณ พญ.พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2559. **โรคงูสวัด (Herpes Zoster, Shingles)** [Online].Available: https://medthai.com/งูสวัด/

[7] อรวรรณ ตันสุย และ พันธนี พงศ์สัมพันธ์. 2556. **แบบจำลองการระบาดของโรคอีสุกอีใสในประเทศไทย Chickenpox Transmission Model in Thailand** [Online].Available: http://www.thaiscience.info/journals/Article/JOSL/10888380.pdf

[8] อ.ดร.มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ. 2555. **แบบจำลองการวิเคราะห์** [Online].Available: http://lprusofteng.blogspot.com/2012/03/blog-post_11.html

[9] ดร.ดิเรก วรรณเศียร. 2549. **ประเภทของแบบจำลอง** [Online].Available: http://tairgle.egat.co.th/

[10] Edelstein-Keshet, Leah. 1987. **Mathematical Models in Biology**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง