

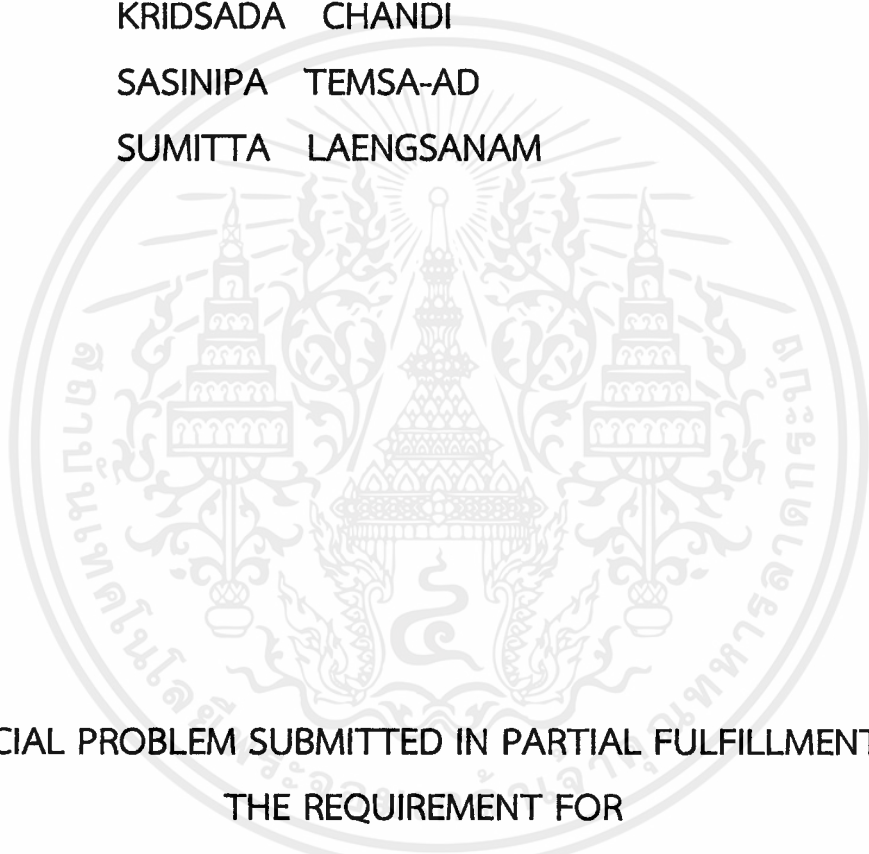
แบบจำลอง SEIR ของโรคมือเท้าปากในประเทศไทย
SEIR MODEL OF HAND, FOOT AND MOUTH
DISEASE IN THAILAND



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

SEIR MODEL OF HAND, FOOT AND MOUTH DISEASE IN THAILAND

KRIDSADA CHANDI
SASINIPA TEMSA-AD
SUMITTA LAENGSANAM



A SPECIAL PROBLEM SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED MATHEMATICAL)
DEPARTMENT OF MATHEMATICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลอง SEIR ของโรคมือเท้าปากในประเทศไทย
 SEIR MODEL OF HAND, FOOT AND MOUTH DISEASE IN THAILAND

ชื่อนักศึกษา นายกฤษดา จันดี รหัสนักศึกษา 58050007
 นางสาวศศิณีภา เต็มสอาด รหัสนักศึกษา 58050152
 นางสาวสุมิตตา แผล่งสนาม รหัสนักศึกษา 58050181

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
 ภาควิชา คณิตศาสตร์
 ปีการศึกษา 2561
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. พันธนี พงศ์สัมพันธ์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.เทิดขวัญ ช้างเผือก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์
 ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สิริพร วินเทอร์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ศุภระวรรณ มะเวชะ กรรมการ	
รศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.เทิดขวัญ ช้างเผือก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลอง SEIR ของโรคมือเท้าปากในประเทศไทย
ชื่อนักศึกษา	นายภฤชดา จันดี รหัสนักศึกษา 58050007 นางสาวศศิณิภา เต็มสอาด รหัสนักศึกษา 58050152 นางสาวสุมิตตา แผล่งสนาม รหัสนักศึกษา 58050181
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา	คณิตศาสตร์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.พันธณี พงศ์สัมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.เทิดขวัญ ช่างเผือก

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลโรคมือเท้าปากในประเทศไทย เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมือเท้าปากในประเทศไทย โดยแบบจำลองที่ใช้คือแบบจำลอง SEIR โดยที่แบ่งประชากรออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อโรค (S) กลุ่มติดเชื้อโรคแล้วไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) กลุ่มติดเชื้อโรคแล้วสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) และกลุ่มที่หายป่วย (R) จากแบบจำลองที่ได้ใช้การวิเคราะห์แบบจำลองโดยวิธีพลวัตเชิงมาตรฐาน ทำให้ได้จุดสมดุล และเงื่อนไขความเสถียร หลังจากนั้นใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อแสดงผลที่ได้สำหรับเป็นแนวทางในการลดการระบาดของโรคนี้

คำสำคัญ : การวิเคราะห์เชิงตัวเลข แบบจำลอง SEIR โรคมือเท้าปาก

Title	SEIR MODEL OF HAND, FOOT AND MOUTH DISEASE IN THAILAND	
Students	Mr. Kridsada Chandi	Student ID 58050007
	Miss Sasinipa Temsa-ad	Student ID 58050152
	Miss Sumitta Laengsanam	Student ID 58050181
Degree	Bachelor of Science (Applied Mathematics)	
Department	Mathematics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2018	
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun	
Co-advisor	Dr.Thurdkwun Changpuek	

Abstract

In this research, we study and collect the data of hand foot and mouth disease in Thailand to formulate the mathematical model of this disease in Thailand. The considered model is SEIR (S= susceptible, E = exposed, I = infectious and R = recovered) We analyze the model by using standard dynamical analysis. The equilibrium states and the stability condition of all equilibrium states are given. After that, the numerical analysis of each equilibrium state is shown to introduce the way for decreasing the outbreak of this disease.

Keyword : Numerical Analysis, SEIR model, hand foot and mouth disease

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.พนธนี พงศ์สัมพันธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ และดร.เทิดขวัญ ช่างเผือก ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่างๆ ในทุกๆด้านตลอดจนแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าว อันเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำปัญหาพิเศษเล่มนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมและกรรมการเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ พี่และเพื่อนๆ ที่มีส่วนร่วมในการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ทั้งสนับสนุน คอยรับฟังปัญหา ให้กำลังใจและช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อที่ผิดพลาด ให้ปัญหาพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กฤษดา จันดี
ศศินิภา เต็มสอาด
สุमितตา แผล่งสนาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 นิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความเป็นมาของโรคมือเท้าปาก.....	4
2.1.1 สาเหตุของโรคมือเท้าปาก.....	4
2.1.2 การติดต่อของโรคมือเท้าปาก.....	4
2.1.3 อาการและภาวะแทรกซ้อนของโรคมือเท้าปาก	5
2.1.4 การวินิจฉัยและการวินิจฉัยแยกโรค	5
2.1.5 ระยะฟักตัวของโรค.....	6
2.1.6 การรักษาโรคมือเท้าปาก.....	6
2.1.7 การป้องกันโรคมือเท้าปาก.....	6
2.2 จาโคเบียนเมทริกซ์.....	7
2.3 จุดสมดุล	7
2.4 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ	8
2.4.1 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง	8
2.4.2 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง	8
2.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื่อ	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	12
3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	12
3.1.1 แบ่งตามจำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพ.....	12
3.1.2 แบ่งตามจำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษา.....	15
3.1.3 แบ่งตามจำนวนผู้ป่วย.....	17
3.1.4 แบ่งตามจำนวนผู้เสียชีวิต.....	18
3.1.5 แบ่งตามอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559.....	19
3.1.6 แบ่งตามอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559.....	20
3.1.7 แบ่งตามจำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550 - 2559.....	22
3.1.8 แบ่งตามจำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559.....	23
3.2 การสร้างแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย.....	23
3.3 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคมือเท้าปาก.....	25
3.4 จุดสมดุล.....	26
3.5 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล.....	27
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล.....	41
4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....	41
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Mathematica.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผล.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	60
เอกสารอ้างอิง.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลอง <i>SEIR</i>	9
3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	13
3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษาของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	15
3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	17
3.4 กราฟแสดงจำนวนผู้เสียชีวิตของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	18
3.5 กราฟแสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2].....	19
3.6 กราฟแสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2].....	21
3.7 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2].....	22
3.8 กราฟแสดงจำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือเท้าปากจำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2].....	23
3.9 แสดงแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย	24
4.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	42
4.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	42
4.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	43
4.4 กราฟเทียบแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	43
4.5 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	44
4.6 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	44
4.7 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	45

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟเทียบจำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูใช้จากโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	45
4.9 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	46
4.10 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	46
4.11 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	47
4.12 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบ กับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	47
4.13 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	48
4.14 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	48
4.15 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	49
4.16 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	49
4.17 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	50
4.18 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	50
4.19 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	51
4.20 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	51
4.21 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	52
4.23 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	53
4.24 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	53
4.25 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	54
4.26 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	54
4.27 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	55
4.28 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	55
4.29 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$	56
4.30 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$	56
4.31 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$	57
4.32 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	12
3.2 แสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษาของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	15
3.3 แสดงจำนวนผู้ป่วยตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	17
3.4 แสดงจำนวนผู้เสียชีวิตของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2].....	18
3.5 แสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550 - 2559 [2].....	19
3.6 แสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550 - 2559 [2].....	20
3.7 แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550 - 2559[2].....	22
3.8 แสดงจำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2].....	23
4.1 ค่าตัวแปร (Variables) ต่าง ๆ ของแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย	41
4.2 ค่าตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลองโรคมือเท้าปากของประเทศไทย	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรคมือเท้าปาก เป็นโรคที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัส พบได้บ่อยในทารกและเด็กเล็ก ทำให้มีอาการไข้ เป็นแผลในปาก มีตุ่มน้ำใสตามฝ่ามือ ฝ่าเท้า และลำตัว จัดเป็นโรคที่สร้างความกังวลใจให้กับผู้ปกครองไม่น้อย โรคมือเท้าปากหรือ Hand, Foot and Mouth Disease นั้นเป็นโรคที่พบบ่อยในเด็กอายุน้อยกว่า 5 ปี แต่สามารถพบในผู้ใหญ่ได้เช่นกัน โรคมือเท้าปากนั้นมักเกิดจากการติดเชื้อไวรัสค็อกแซคกี ชนิดเอ 16 (Coxsackie Virus A16) ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคมือเท้าปากที่รุนแรง และมีอาการที่ไม่ได้พบบ่อยได้ หรือจากการติดเชื้อไวรัสในกลุ่มเอ็นเทโร (Enterovirus) ตัวอื่นก็สามารถทำให้เกิดการติดเชื้อในลักษณะนี้ได้ เนื่องจากมีเชื้อไวรัสหลายชนิดที่สามารถทำให้เกิดโรคนี้ได้ เด็ก ๆ อาจเป็นโรคนี้ได้มากกว่า 1 ครั้ง

จากการรายงานสถานการณ์การป่วยรายใหม่จากโรคมือเท้าปากในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559 พบว่าจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้นทุกปีจากปี พ.ศ. 2550 มีจำนวนผู้ป่วย 16846 ราย แต่ปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้น 76642 ราย จึงทำให้เห็นว่ามีจำนวนที่ติดโรคเพิ่มมากขึ้นทุกปี

จากการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับโรคมือ เท้า ปาก จึงแสดงให้เห็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความจำเป็น เนื่องจากโรคมือเท้าปากเกิดขึ้นในช่วงหน้าฝนของประเทศไทยแล้วได้มีการติดเชื้อโรคนี้ เราจึงอยากศึกษาเพื่อคำนวณความเสี่ยงการเกิดโรค ซึ่งจะสามารถนำมาเป็นแนวทางการป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยลงได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มและลดของจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี ซึ่งแบ่งตามช่วงอายุของผู้ป่วยตามวิธีวินิจฉัย ตามการแพร่กระจายตามระยะเวลา
2. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมือเท้าปาก เป็นแนวทางการป้องกันโรคและลดจำนวนผู้ป่วย แล้วยังใช้เป็นการบ่งชี้วัดจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการควบคู่กับสถิติการเกิดโรคของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคมือเท้าปากที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสในประเทศไทยและนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคมือเท้าปากที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้อ

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. รวบรวมข้อมูลของโรคมือเท้าปากตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559
2. รวบรวมข้อมูลทางสถิติการเป็นโรคมือเท้าปาก แยกตามกลุ่มอายุ
3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติการเป็นโรคมือเท้าปาก แยกตามกลุ่มอายุ
4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมือเท้าปาก
5. ทดลองนำแบบจำลองไปใช้กับการคาดการณ์จำนวนผู้เป็นโรค ความเป็นไปได้ของการเกิดโรคมือเท้าปาก
6. พัฒนาแบบจำลองที่ได้ใหม่ ถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสม
7. สรุปผลที่ได้จากแบบจำลองและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาแบบจำลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเฝ้าระวังการเกิดโรค
2. เพื่อเป็นแนวทางการวิจัยสำหรับผู้ที่มีความสนใจในหัวข้อ และแนวความคิดที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน

เดือนเมษายน 2561 - มีนาคม 2562

ขั้นตอนการดำเนินงาน/ ระยะเวลา	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
หาหัวข้อปัญหาพิเศษ	←→											
ค้นคว้าหาข้อมูลของปัญหาพิเศษ			←→									
เก็บรวบรวมข้อมูล			←→									
วิเคราะห์ข้อมูลสถิติของโรค				←→								
ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง				←→								
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์						←→						
วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆในการเกิดโรค						←→						
ทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจริง						←→						
พัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสม								←→				
สรุปผลที่ได้จากการทดลองแบบจำลอง								←→				
จัดทำรายงานการทดสอบแบบจำลอง								←→				
จัดทำรูปเล่มรายงานที่สมบูรณ์										←→		
ตรวจสอบรูปเล่มรายงานปัญหาพิเศษ											←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

นิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคมือเท้าปากที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสในประเทศไทยและนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคมือเท้าปากที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัสเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้อเพื่อเป็นแนวทางการป้องกันและควบคุมจำนวนผู้ป่วยโรคมือเท้าปาก

2.1 ความเป็นมาของโรคมือเท้าปาก

2.1.1 สาเหตุของโรคมือเท้าปาก

โรคมือเท้าปาก เป็นโรคที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัส พบได้บ่อยในทารกและเด็กเล็ก ทำให้มีอาการไข้ เป็นแผลในปาก มีตุ่มน้ำใสตามฝ่ามือ ฝ่าเท้า และลำตัว จัดเป็นโรคที่สร้างความกังวลใจให้กับผู้ปกครองอยู่ไม่น้อย โรคมือเท้าปากหรือ Hand, Foot, Mouth Disease นั้นเป็นโรคที่พบบ่อยในเด็กอายุน้อยกว่า 5 ปี แต่สามารถพบในผู้ใหญ่ได้เช่นกัน โรคมือเท้าปากนั้นมักเกิดจากการติดเชื้อไวรัสค็อกแซคกี ชนิดเอ 16 (Coxsackie Virus A16) ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคมือเท้าปากที่รุนแรงและมีอาการที่ไม่ได้พบบ่อยได้ หรือจากการติดเชื้อไวรัสในกลุ่มเอ็นเทโร (Enterovirus) ตัวอื่นก็สามารถทำให้เกิดการติดเชื้อในลักษณะนี้ได้ เนื่องจากมีเชื้อไวรัสหลายชนิดที่สามารถทำให้เกิดโรคนี้ได้ เด็ก ๆ อาจเป็นโรคนี้ได้มากกว่า 1 ครั้ง

2.1.2 การติดต่อของโรคมือเท้าปาก

โรคมือเท้าปากสามารถติดต่อโดยตรงจากการสัมผัสกับสารคัดหลั่งจากจมูก ลำคอ น้ำลาย น้ำมูก และน้ำจากตุ่มใส รวมถึงอุจจาระของผู้ป่วยที่มีเชื้ออยู่ และสามารถติดต่อได้จากการสัมผัสของเล่น พื้นผิวสัมผัสที่มีการปนเปื้อนของเชื้อ อาหารหรือน้ำดื่มที่ปนเปื้อนเชื้อ มือของผู้เลี้ยงดู โดยสถานที่ที่มักพบการระบาดของโรค ได้แก่ สถานรับเลี้ยงเด็กและโรงเรียนอนุบาล และช่วงฤดูที่มักพบว่ามี การระบาดของโรคนี้คือ ช่วงฤดูฝนเข้าสู่ฤดูหนาว อย่างไรก็ตาม โรคนี้ไม่ติดต่อจากคนสู่สัตว์หรือสัตว์สู่คน แต่โรคนี้สามารถเป็นซ้ำได้อีก เนื่องจากภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นในผู้ป่วยที่หายจากการติดเชื้อไวรัสสายพันธุ์หนึ่งๆ อาจไม่สามารถช่วยป้องกันการติดเชื้อจากไวรัสสายพันธุ์อื่นๆ ได้ แม้จะจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของเชื้อไวรัสเดียวกัน

2.1.3 อาการและภาวะแทรกซ้อนของโรคมือเท้าปาก

ส่วนใหญ่อาการของโรคมักหายดีขึ้นได้เองและรักษาได้ภายใน 7-10 วัน อาการเริ่มต้นของโรคมือเท้าปากมักเริ่มจากการมีไข้ เบื่ออาหาร เหนื่อยล้า และเจ็บคอ คล้ายไข้หวัด 1-2 วันหลังจากเริ่มมีไข้ อาการเจ็บภายในปากจะเริ่มมากขึ้น ผู้ป่วยจะเริ่มมีตุ่มใส หรือแผลร้อนในเกิดขึ้นหลายแผลในปากที่ลิ้น เหงือก และด้านในของแก้ม มีอาการเจ็บและเป็นแผลพุพองซึ่งมักจะกลายเป็นแผลเปื่อย มีผื่นแดงหรือตุ่มใส ขนาดเล็กที่บริเวณฝ่ามือ นิ้วมือ ฝ่าเท้า หรือก้น แต่ไม่มีอาการคัน และมีอาการไข้เป็นระยะเวลา 5-7 วัน

โรคมือเท้าปากอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรง เช่น เยื่อหุ้มสมองอักเสบ สมอองอักเสบ อัมพาต กล้ามเนื้ออ่อนปวกเปียก หรือกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ ไปจนถึงเสียชีวิตได้ โดยอาการแทรกซ้อนไม่สัมพันธ์กับจำนวนแผลในปากหรือตุ่มที่พบตามฝ่ามือฝ่าเท้า ในรายที่มีอาการแทรกซ้อนรุนแรง อาจมีแผลไม่ก็จุดในลำคอหรืออาจมีตุ่มเพียงไม่กี่ตุ่มตามฝ่ามือฝ่าเท้าก็ได้ ซึ่งผู้ป่วยควรได้รับการดูแลอย่างใกล้ชิดในช่วง 1-2 สัปดาห์แรก แม้จะดูว่าผื่นและแผลในปากหายไปแล้วก็ตาม โดยสัญญาณเตือนของภาวะแทรกซ้อนรุนแรงที่คุณพ่อคุณแม่ควรพาลูกไปพบแพทย์ทันที เช่น เด็กมีอาการซึมลง ไม่เล่น ไม่อยากรับประทานอาหารหรือดื่มนม บ่นปวดศีรษะมาก ปวดจนทนไม่ไหว มีอาการพูดเพ้อไม่รู้เรื่อง สลับกับการซึมลง หรือเห็นภาพแปลกๆ ปวดต้นคอ คอแข็ง มีการรับรู้สับสน ซึมลง และอาเจียน มีอาการสะดุ้งผวา ตัวสั่นๆ แขนหรือมือสั่นบ้าง และมีอาการไอ หายใจเร็ว ดูเหนื่อยๆ หน้าซีด มีเสมหะมาก โดยอาจมีหรือไม่มีไข้ร่วมด้วยก็ได้

2.1.4 การวินิจฉัยและการวินิจฉัยแยกโรค

แพทย์จะทำการวินิจฉัยแยกโรคตามอาการ โดยผู้ป่วยที่มีผื่นที่มือ อาจต้องแยกออกจากโรคผื่นแพ้ โรคอีสุกอีใส ผื่นจากเชื้อไวรัสชนิดอื่นๆ สำหรับโรคมือเท้าปาก โดยทั่วไปแพทย์สามารถวินิจฉัยได้จากอาการและอาการแสดง แต่ถ้าผู้ป่วยมีอาการแทรกซ้อนรุนแรง แพทย์อาจทำการส่งตรวจเพิ่มเติมเพื่อยืนยัน ซึ่งการตรวจเพิ่มเติมนี้ไม่จำเป็นต้องทำในผู้ป่วยทุกราย ขึ้นกับดุลยพินิจของแพทย์ ได้แก่ การส่งตรวจตัวอย่างสิ่งคัดหลั่งและ/หรืออุจจาระเพื่อหาเชื้อไวรัส (ใช้เวลาประมาณ 1-7 วัน ขึ้นกับวิธีการตรวจ)

2.1.5 ระยะฟักตัวของโรค

โรคมือ เท้า ปาก เป็นโรคที่ติดต่อกันได้จากการรับประทานอาหารหรือน้ำดื่มที่ปนเปื้อนเชื้อโรคที่มาจากน้ำมูก น้ำลาย และอุจจาระของผู้ป่วย รวมถึงการสัมผัสน้ำมูก น้ำลายจากการไอ จามของผู้ป่วย หรือการสัมผัสตุ่มพองหรือแผลของผู้ป่วย โดยโรคนี้จะมีระยะฟักตัว ประมาณ 3 - 7 วัน หลังจากได้รับเชื้อ

2.1.6 การรักษาโรคมือเท้าปาก

เนื่องจากในปัจจุบันโรคมือเท้าปากยังไม่มีการรักษาโดยเฉพาะ การรักษาจึงเป็นการรักษาอาการทั่ว ๆ ไปตามแต่อาการของผู้ป่วย เช่น เจ็บคอมมาก รับประทานอะไรไม่ได้ ผู้ป่วยดูเพลียจากการขาดอาหารและน้ำ ก็จะทำให้พยายามป้อนน้ำ นมและอาหารอ่อน ในรายที่เพลียมากอาจให้นอนรักษาตัวในโรงพยาบาลและให้น้ำเกลือทางหลอดเลือด ร่วมกับให้ยาลดไข้แก้ปวด และ/หรือหยอดยาลดน้ำตาในปากเพื่อลดอาการเจ็บแผลในปาก ร่วมกับการเฝ้าระวังสังเกตอาการของภาวะแทรกซ้อนทางสมองและหัวใจ เป็นต้น

2.1.7 การป้องกันโรคมือเท้าปาก

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีวัคซีนป้องกันเชื้อไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคมือเท้าปาก สิ่งสำคัญที่สุดคือการดูแลรักษาสุขอนามัยที่ดี โดยคุณพ่อคุณแม่สามารถป้องกันโรคมือเท้าปาก รวมถึงป้องกันอาการแทรกซ้อนที่อาจรุนแรงถึงเสียชีวิตได้โดย หลีกเลี่ยงการให้เด็กคลุกคลีหรือใกล้ชิดกับผู้ป่วย รักษาอนามัยส่วนบุคคล โดยเฉพาะผู้เลี้ยงดูเด็กเล็กควรล้างทำความสะอาดมือก่อนหยิบจับอาหารให้เด็กรับประทาน และรับประทานอาหารที่สุก สะอาด ปรุงใหม่ๆ ไม่มีแมลงวันตอม ดื่มน้ำสะอาด ไม่ใช่ภาชนะในการรับประทานอาหารร่วมกับผู้อื่น โดยเฉพาะช้อน จาน ชาม แก้วน้ำ ขวดนม เมื่อเช็ดน้ำมูกหรือน้ำลายให้เด็กแล้วต้องล้างมือให้สะอาดโดยเร็ว รับประทานอาหารอ่อนหรือเสื้อผ้าที่เป็นอุจจาระให้สะอาดโดยเร็ว และทิ้งน้ำลงในโถส้วม ห้ามทิ้งลงท่อระบายน้ำ และหากเด็กมีอาการของโรคมือเท้าปากให้รีบพาเด็กไปพบแพทย์ และเมื่อแพทย์วินิจฉัยว่าเป็นโรคมือเท้าปาก ต้องให้เด็กหยุดเรียนอย่างน้อย 1 สัปดาห์ หรือจนกว่าแผลจะหาย [1] ในกรณีที่มีการติดเชื้อโรคมือเท้าปากชนิดที่มีอาการรุนแรงโดยเฉพาะมีการเสียชีวิต เช่น เชื้อเอนเทอโรไวรัส 71 สถานรับเลี้ยงเด็กหรือโรงเรียนอนุบาลอาจจำเป็นต้องใช้มาตรการการป้องกันที่เข้มข้นขึ้น เช่น การปิดทั้งโรงเรียนเป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ ทำความสะอาดห้องเรียนและของเล่นต่าง ๆ การคัดแยกเด็กป่วยออกตั้งแต่เดินเข้าที่หน้าประตูโรงเรียน และการหมั่นล้างมือ เช็ดถูทำความสะอาดห้องเรียนและของเล่นต่าง ๆ [1]

สิ่งสำคัญที่สุดคือ คุณพ่อคุณแม่ซึ่งเป็นผู้ที่ใกล้ชิดกับลูกที่สุด จะต้องหมั่นสังเกตอาการ หากลูกมีอาการป่วยที่ผิดปกติ ควรรีบพบแพทย์ทันที [1]

2.2 จาโคเบียนเมทริกซ์

สมมติว่า $f: R^n \rightarrow R^m$ เป็นฟังก์ชันที่เวกเตอร์ที่ $x \in R^n$ และเวกเตอร์ $f(x) \in R^m$ จากนั้นเมทริกซ์จาโคเบียน J ของ f คือเมทริกซ์ของ $m \times n$ โดยจะนิยามดังนี้ [2]

นิยาม 2.1

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

2.3 จุดสมดุล

ในคณิตศาสตร์โดยเฉพาะในสมการเชิงอนุพันธ์จุดสมดุลเป็นคำตอบคงที่สำหรับสมการเชิงอนุพันธ์

นิยาม 2.2 จุด $\tilde{x} \in R^n$ เป็นจุดสมดุลสำหรับสมการเชิงอนุพันธ์ $\frac{dx}{dt} = f(t, x)$ ถ้า $f(t, \tilde{x}) = 0$ สำหรับ t ทุกตัว [3]

นิยาม 2.3 ความเสถียรของจุดสมดุล (Stable of equilibrium point) พิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) ที่ได้จากการหา $\det(\lambda I - J_f) = 0$ ดังนี้

- 1) ถ้าค่าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นมีความเสถียร (stable)
- 2) ถ้าค่าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายต่างกัน แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นเป็นจุดอานม้า (saddle point)
- 3) ถ้าค่าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นบวก แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นไม่มีความเสถียร (unstable)

2.4 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ

2.4.1 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง

สมการผลต่างไม่เชิงเส้น คือ สมการที่อยู่ในรูปของ $x_{n+1} = f(x_n, x_{n-1}, \dots)$ เมื่อ x_n คือ ค่าของ x ในลำดับที่ n และ f เป็นฟังก์ชันของการทำซ้ำ ๆ กันผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ เมื่อ \bar{x} ถูกกำหนดให้ค่าสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน คือ $x_{n+1} = x_n$ จะได้ว่า $x_n = \bar{x}$ ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในลำดับที่ n ถึงลำดับที่ $n+1$ จากสมการที่อยู่ในรูป $x_{n+1} = f(x_n)$ จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นอีก คือ $\bar{x} = f(\bar{x})$ และนำมาอ้างอิงเช่นเดียวกับจุดตรึง (Fixed point) ของฟังก์ชัน f

นิยาม 2.4 จุด x เป็นจุดตรึง (Fixed point) ของฟังก์ชัน f ก็ต่อเมื่อ $f(x) = x$

2.4.2 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง

การหาจุดสมดุลของระบบสมการ หาได้โดยพิจารณาแบบจำลองที่มีรูปแบบดังนี้

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ \frac{dx_2}{dt} &= F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ &\vdots \\ \frac{dx_n}{dt} &= F_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ผลเฉลยจุดสมดุลของระบบสมการนี้ สามารถหาได้จากการจับให้สมการทุกสมการของ (1) เท่ากับศูนย์ นั่นคือ

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

2.5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื้อ

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื้อ มีวิธีดังนี้

แบบจำลอง SEIR

- ให้
- S = จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ
 - E = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้
 - I = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
 - R = จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้
 - N = จำนวนประชากรทั้งหมด
- โดยให้ β, ν, γ เป็นค่าคงที่
- β = อัตราการติดเชื้อ
 - ν = อัตราการหายป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

γ = อัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ

B = อัตราการเกิด

D = อัตราการเสียชีวิต

C = ระยะฟักตัวของโรค

เมื่อ βSI คือ จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

βSE คือ จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

νI คือ จำนวนผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่หายป่วย

γR คือ จำนวนผู้ที่หายป่วยแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ

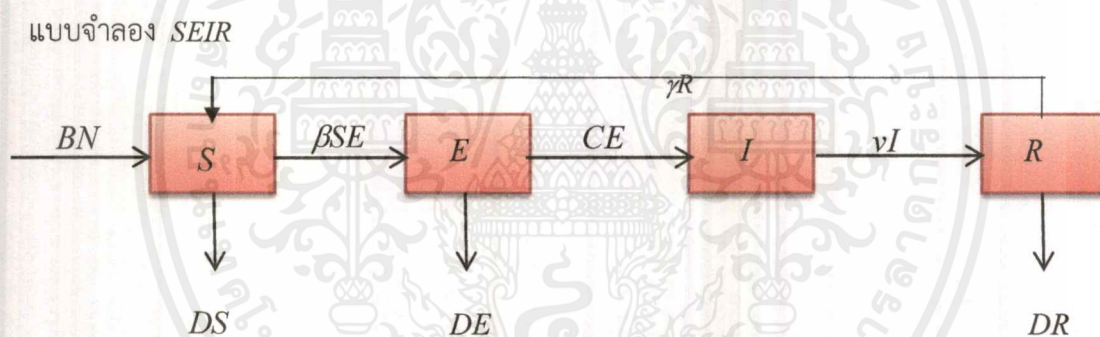
DS คือ จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

DI คือ จำนวนผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ที่เสียชีวิต

DR คือ จำนวนผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิต

BN คือ จำนวนผู้ที่เกิดใหม่

CE คือ จำนวนผู้ที่อยู่ในระยะฟักตัวของโรคแล้วเสียชีวิต



รูปที่ 2.1 แบบจำลอง SEIR

$$\frac{dS}{dt} = BN + \gamma R - \beta SE - DS \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SE - CE - DE \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = CE - \nu I \quad (3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \nu I - \gamma R - DR \quad (4)$$

นำสมการ (1) – (4) มาหาจุดสมดุล

หาจุดสมดุลของสมการได้ดังนี้

$$BN + \gamma R - \beta SE - DS = 0 \quad (5)$$

$$\beta SE - CE - DE = 0 \quad (6)$$

$$CE - \nu I = 0 \quad (7)$$

$$\nu I - \gamma R - DR = 0 \quad (8)$$

จาก (7) จะได้ว่า $C = \frac{\nu I}{E}$

แทนค่า C ใน (6)

$$\beta SE - \left(\frac{\nu I}{E}\right)E - DE = 0$$

$$E\left(\beta S - \left(\frac{\nu I}{E}\right) - D\right) = 0$$

จะได้ $E = 0$ หรือ $\beta S - \left(\frac{\nu I}{E}\right) - D = 0$

$$S = \left(\frac{\nu I}{\beta E}\right) - \frac{D}{\beta}$$

กรณีที่ 1

แทนค่า $E = 0$ ใน (5)

$$\text{จะได้ } BN + \gamma R - \beta S(0) - DS = 0$$

$$BN + \gamma R - DS = 0$$

$$R = \frac{DS - DN}{\gamma}$$

$$N = S + E + I + R$$

$$\text{ดังนั้น } N = S + I + \left(\frac{DS - DN}{\gamma}\right)$$

$$\text{และ } I = N - S - \left(\frac{DS - DN}{\gamma}\right)$$

$$S = N - I - \left(\frac{DS - DN}{\gamma}\right)$$

กรณีที่ 2

แทนค่า $S = \frac{\nu I}{\beta E} - \frac{D}{\beta}$ ใน (6)

$$\text{จะได้ } \beta \left(\frac{vI}{\beta E} + \frac{D}{\beta} \right) E - CE - DE = 0$$

$$vI + DE - CE - DE = 0$$

$$I = \frac{CE}{v}$$

$$\text{เนื่องจาก } N = S + E + I + R$$

$$\text{ดังนั้น } N = \left(\frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta} \right) + E + \frac{CE}{v} + R$$

$$\text{และ } E = N - \left(\frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta} \right) - \left(\frac{CE}{v} \right) - R$$

$$R = N - \left(\frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta} \right) - E - \left(\frac{CE}{v} \right)$$

จะได้จุดสมดุลดังนี้ (S, E, I, R) ดังนี้

กรณีที่ 1 แทนค่า $E=0$

จะได้ว่า

$$(S, E, I, R) = \left(N - I - \left(\frac{DS - DN}{\gamma} \right), 0, N - S - \left(\frac{DS - DN}{\gamma} \right), \frac{DS - DN}{\gamma} \right)$$

กรณีที่ 2

แทนค่า $S = \frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta}$ จะได้ว่า

$$(S, E, I, R) = \left(\left(\frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta} \right), N - \left(\frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta} \right) - \left(\frac{CE}{v} \right) - R, \frac{CE}{v}, N - \left(\frac{vI}{\beta E} - \frac{D}{\beta} \right) - E - \left(\frac{CE}{v} \right) \right)$$

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

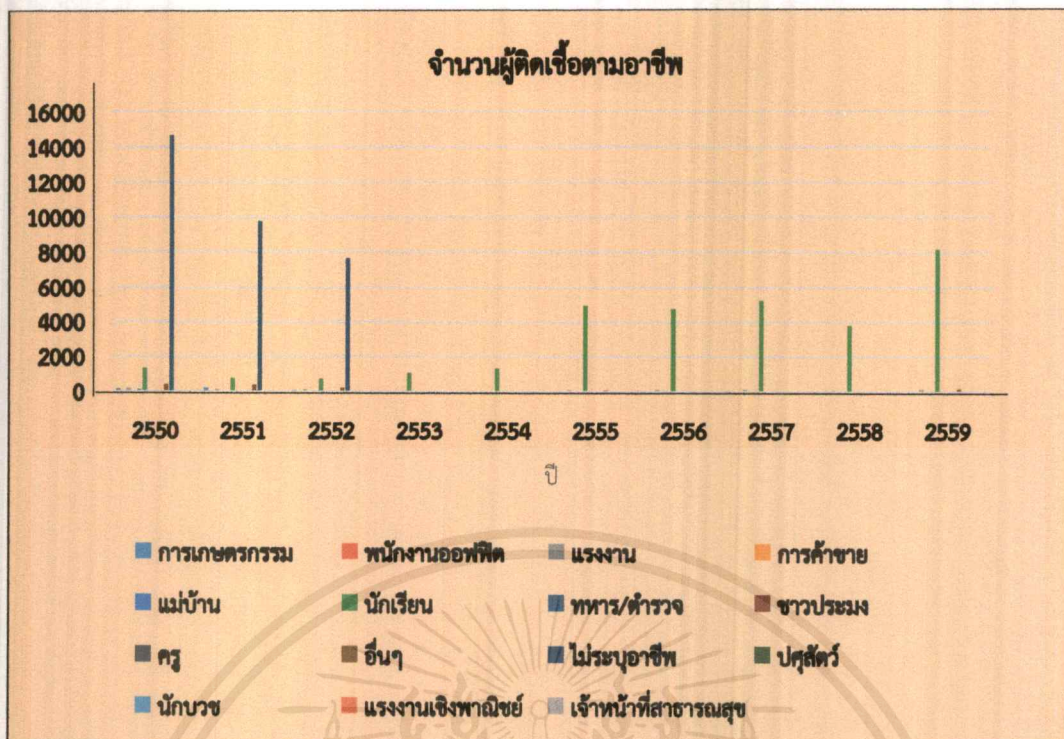
ในงานวิจัยนี้พิจารณาข้อมูลของคนไข้โรคมือเท้าปากในประเทศไทยโดยพิจารณา ดังนี้

3.1.1 แบ่งตามจำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพ

ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพ										
ปี	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
การเกษตรกรรม	153	201	72	27	30	36	51	54	42	62
พนักงานออฟฟิศ	23	20	2	5	5	7	3	17	13	13
แรงงาน	175	105	106	30	43	93	111	132	82	153
การค้าขาย	26	20	8	3	3	7	5	7	3	10
แม่บ้าน	115	44	40	9	6	10	20	16	13	24
นักเรียน	1303	750	715	1038	1304	4951	4761	5242	3789	8154
ทหาร/ตำรวจ	5	0	1	1	1	1	2	12	4	3
ชาวประมง	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1
ครู	2	0	0	0	1	2	1	1	1	2
อื่นๆ	394	373	201	14	6	79	57	8	8	166
ไม่ระบุอาชีพ	14646	9764	7659	25	18	8	12	0	0	0
ปศุสัตว์	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
นักบวช	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
แรงงานเชิงพาณิชย์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
เจ้าหน้าที่สาธารณสุข	0	0	1	0	2	2	3	2	0	8
Total	16846	11277	8806	1153	1421	5197	5026	5492	3956	8597

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

ปี 2550 จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพมีทั้งหมด 16846 คน

อาชีพที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ ไม่ระบุอาชีพ จำนวน 14646 คน

อาชีพที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ นักบวช แรงงานเชิงพาณิชย์ และเจ้าหน้าที่สาธารณสุข
จำนวน 0 คน

ปี 2551 จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพมีทั้งหมด 11277 คน

อาชีพที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ ไม่ระบุอาชีพ จำนวน 9764 คน

อาชีพที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ ทหาร/ตำรวจ ชาวประมง ครู ปศุสัตว์ นักบวช แรงงานเชิง
พาณิชย์ และเจ้าหน้าที่สาธารณสุข จำนวน 0 คน

ปี 2552 จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพมีทั้งหมด 8806 คน

อาชีพที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ ไม่ระบุอาชีพ จำนวน 7659 คน

อาชีพที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ ชาวประมง ครู นักบวช และแรงงานเชิงพาณิชย์ จำนวน 0 คน

ปี 2553 จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพมีทั้งหมด 1153 คน

อาชีพที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 1038 คน

อาชีพที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ ชาวประมง ครู นักบวช แรงงานเชิงพาณิชย์ และเจ้าหน้าที่
สาธารณสุข จำนวน 0 คน

ปี 2554 จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพมีทั้งหมด 1421 คน

อาชีพที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 1304 คน

อาชีพที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ ปศุสัตว์ และแรงงานเชิงพาณิชย์ จำนวน 0 คน

ปี 2555 จำนวนผู้ติดเชื้อตามอาชีพมีทั้งหมด 5197 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

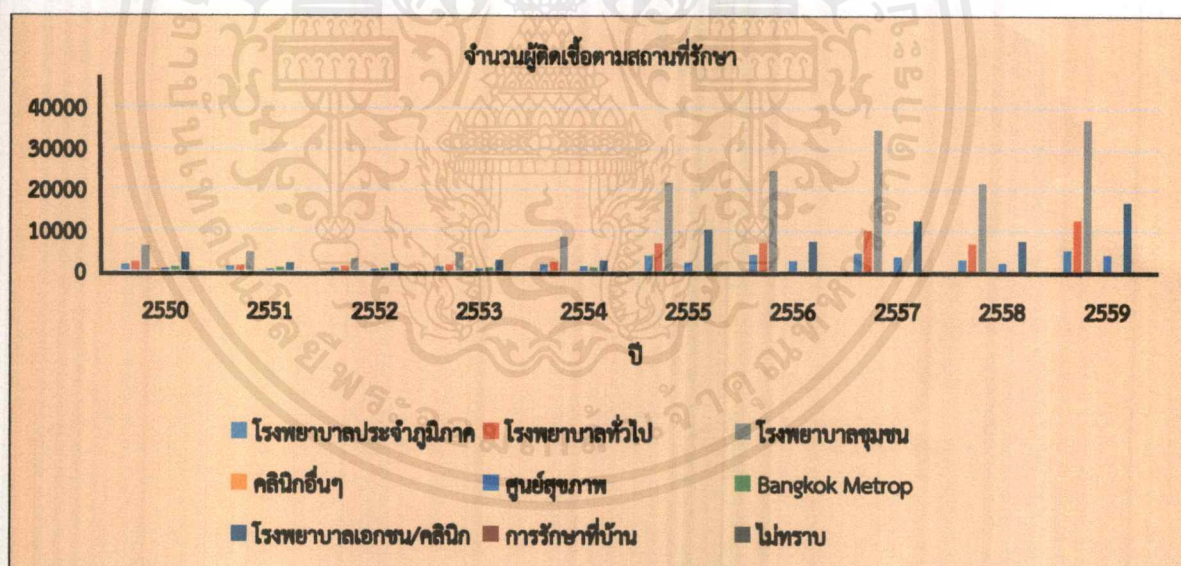
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาชีพที่ติดเชื่อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 4951 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อ้อยที่สุด คือ ชาวประมง ปศุสัตว์ และแรงงานเชิงพาณิชย์ จำนวน 0 คน
- ปี 2556 จำนวนผู้ติดเชื่อตามอาชีพมีทั้งหมด 5026 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 4761 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อ้อยที่สุด คือ ชาวประมง ปศุสัตว์ นักบวช และแรงงานเชิงพาณิชย์
 จำนวน 0 คน
- ปี 2557 จำนวนผู้ติดเชื่อตามอาชีพมีทั้งหมด 5492 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 5242 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อ้อยที่สุด คือ ชาวประมง ไม่ระบุอาชีพ ปศุสัตว์ และแรงงานเชิงพาณิชย์
 จำนวน 0 คน
- ปี 2558 จำนวนผู้ติดเชื่อตามอาชีพมีทั้งหมด 3956 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 3789 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อ้อยที่สุด คือ ชาวประมง ไม่ระบุอาชีพ ปศุสัตว์ และแรงงานเชิงพาณิชย์
 เจ้าหน้าที่สาธารณสุข จำนวน 0 คน
- ปี 2559 จำนวนผู้ติดเชื่อตามอาชีพมีทั้งหมด 8597 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อมากที่สุด คือ นักเรียน จำนวน 8154 คน
 อาชีพที่ติดเชื่อ้อยที่สุด คือ ไม่ระบุอาชีพ ปศุสัตว์ และนักบวช จำนวน 0 คน

3.1.2 แบ่งตามจำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษา

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษาของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษา										
ปี	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
โรงพยาบาลประจำภูมิภาค	1607	1316	885	1257	1750	3992	4183	4562	3024	5406
โรงพยาบาลทั่วไป	2254	1453	1255	1705	2354	6935	7021	10080	6987	12615
โรงพยาบาลชุมชน	6161	4716	3141	4636	8573	21747	24682	34721	21618	37236
คลินิกอื่นๆ	598	203	196	300	374	77	118	49	63	179
ศูนย์สุขภาพ	621	548	565	712	1369	2219	2682	3711	2229	4267
Bangkok Metrop	1069	974	846	998	1046	34	21	17	1	5
โรงพยาบาลเอกชน/คลินิก	4536	2053	1892	2776	2730	10293	7424	12466	7611	16934
การรักษาที่บ้าน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ไม่ทราบ	0	14	26	71	0	0	0	0	0	0
Total	16846	11277	8806	12455	18196	45297	46131	65606	41533	76642



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษาของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

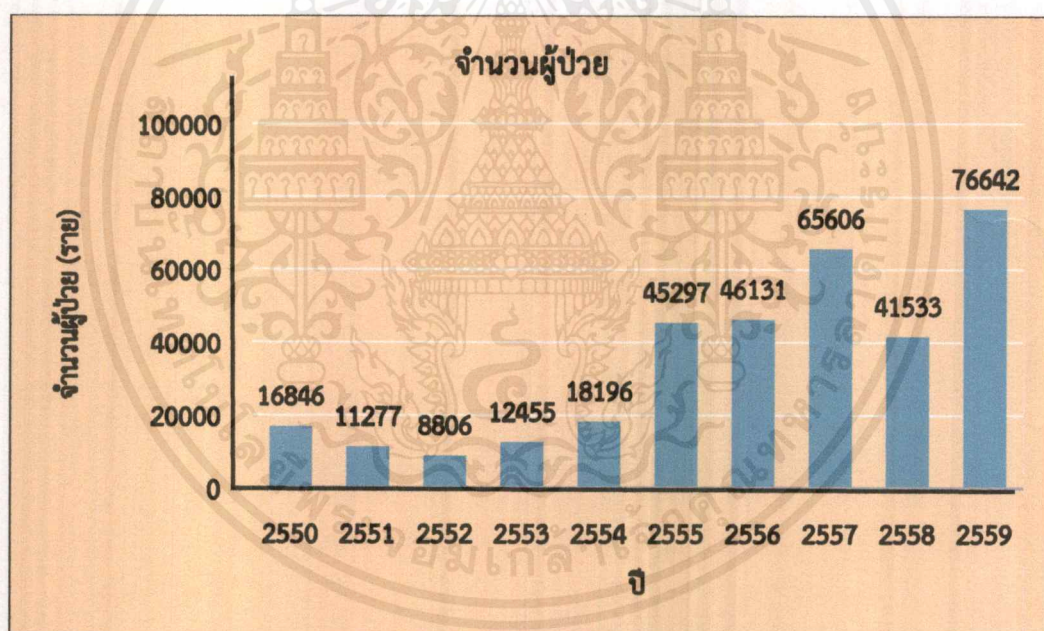
- ปี 2550 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 16846 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 6161 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน
- ปี 2551 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 11277 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 4716 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน จำนวน 0 คน
- ปี 2552 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 8806 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 3141 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน จำนวน 0 คน
- ปี 2553 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 12455 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 4636 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน จำนวน 0 คน
- ปี 2554 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 18196 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 8573 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน
- ปี 2555 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 45297 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 21747 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน
- ปี 2556 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 46131 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 24682 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน
- ปี 2557 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 65606 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 34721 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน
- ปี 2558 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 41533 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 21618 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน
- ปี 2559 จำนวนผู้ติดเชื้อตามสถานที่รักษามีทั้งหมด 76642 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลชุมชน จำนวน 37236 คน
 สถานที่รักษาที่ติดเชื่อน้อยที่สุด คือ การรักษาที่บ้าน และไม่ทราบ จำนวน 0 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 แบ่งตามจำนวนผู้ป่วย

ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนผู้ป่วยตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

ปี	จำนวนผู้ป่วย (ราย)
2550	16846
2551	11277
2552	8806
2553	12455
2554	18196
2555	45297
2556	46131
2557	65606
2558	41533
2559	76642



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อในแต่ละปีที่มีจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุด ดังนี้

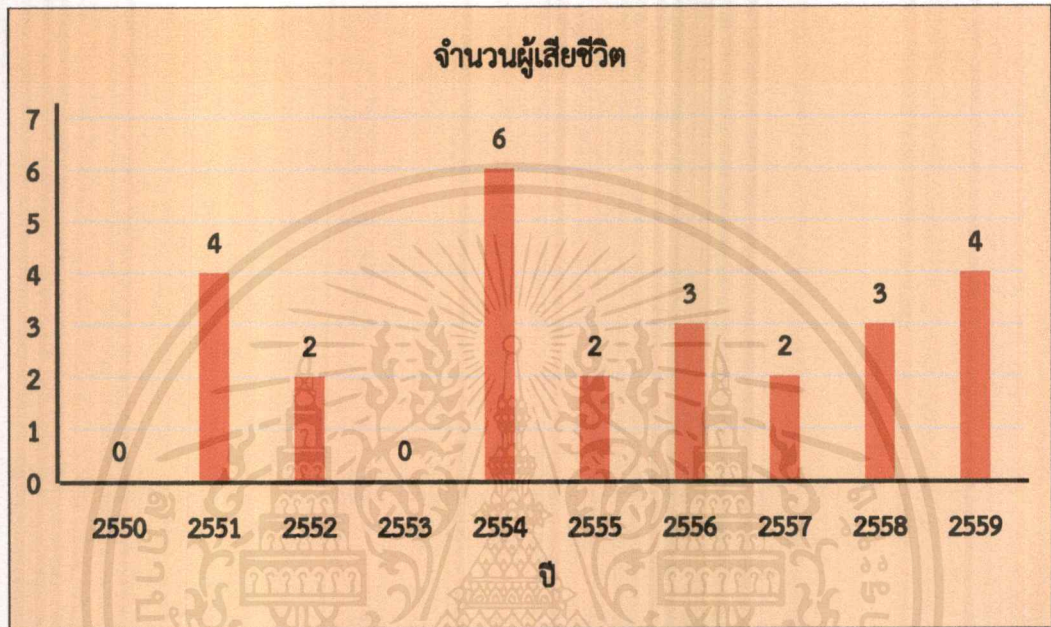
จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อมากที่สุด ปี 2559 จำนวนผู้ป่วยมีทั้งหมด 76642 คน

จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื่อน้อยที่สุด ปี 2552 จำนวนผู้ป่วยมีทั้งหมด 8806 คน

3.1.4 แบ่งตามจำนวนผู้เสียชีวิต

ตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนผู้เสียชีวิตของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

ปี	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
จำนวนผู้เสียชีวิต	0	4	2	0	6	2	3	2	3	4



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจำนวนผู้เสียชีวิตของโรคตั้งแต่ปี 2550 ถึงปี 2559 [2]

จำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละปีที่มีจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุด มีดังนี้

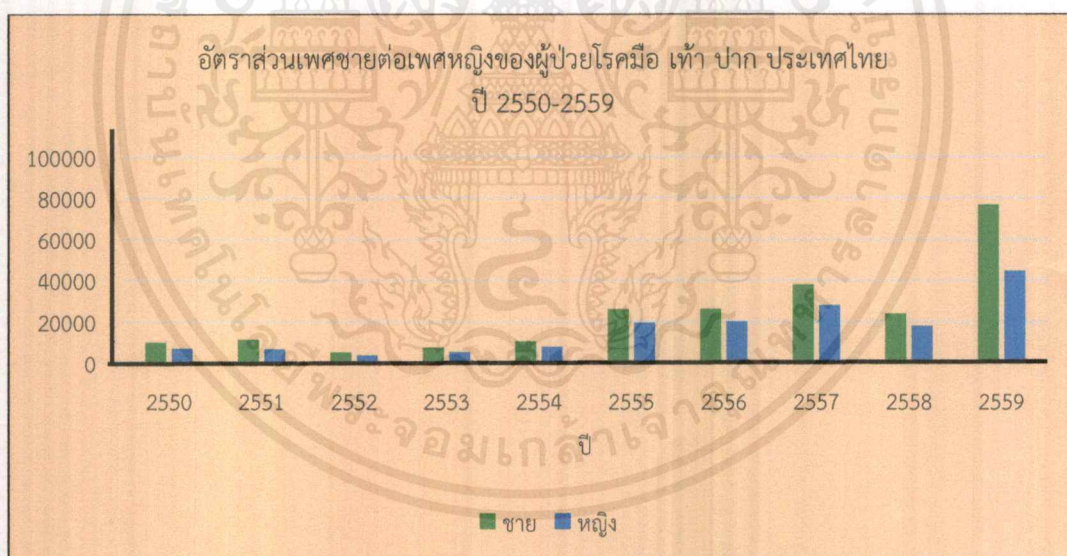
จำนวนผู้เสียชีวิตที่มากที่สุด ปี 2554 จำนวนผู้เสียชีวิตมีทั้งหมด 6 คน

จำนวนผู้เสียชีวิตที่น้อยที่สุด ปี 2550 จำนวนผู้เสียชีวิตมีทั้งหมด 0 คน ปี 2553 จำนวนผู้เสียชีวิตมีทั้งหมด 0 คน

3.1.5 แบ่งตามอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559

ตารางที่ 3.5 แสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย
ปี 2550-2559 [2]

ปี	ชาย	หญิง
2550	9870	6976
2551	11277	6712
2552	5076	3730
2553	7261	5194
2554	10489	7707
2555	25958	19339
2556	26139	19992
2557	37769	27837
2558	23752	17781
2559	76642	44407



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก
ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปากในแต่ละปีที่มีจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุด ของเพศชาย และเพศหญิง มีดังนี้

จำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ที่มากที่สุด ปี 2559 จำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ของเพศชายมีทั้งหมด 76642 คน และเพศหญิงมีทั้งหมด 44407 คน

จำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก ที่มากที่สุด ปี 2559 จำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปากเพศ ของชายมีทั้งหมด 5076 คน และเพศหญิงมีทั้งหมด 3730 คน

3.1.6 แบ่งตามอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559

ตารางที่ 3.6 แสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2]

ปี	ชาย	หญิง
2550	0	0
2551	4	4
2552	2	0
2553	0	0
2554	4	2
2555	1	1
2556	2	1
2557	1	1
2558	1	2
2559	2	2



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงอัตราส่วนเพศชายต่อเพศหญิงของผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก
ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2]

จำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปากในแต่ละปีที่มีจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุด ของเพศชายและเพศหญิง มีดังนี้

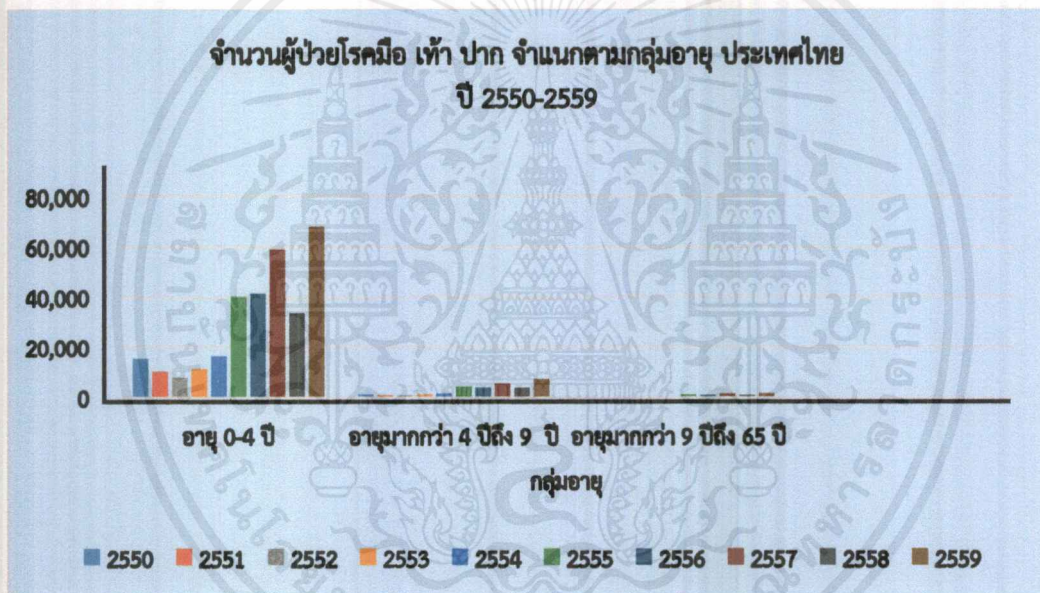
จำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ที่มากที่สุด ปี 2551 จำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก
ของเพศชายมีทั้งหมด 4 คน และเพศหญิงมีทั้งหมด 4 คน

จำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก ที่มากที่สุด ปี 2550 และ 2553 จำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ
เท้า ปากเพศ ของชายมีทั้งหมด 0 คน และเพศหญิงมีทั้งหมด 0 คน

3.1.7 แบ่งตามจำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550 - 2559

ตารางที่ 3.7 แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุประเทศไทย
ปี 2550 - 2559[2]

ปี	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
อายุ 0-4 ปี	15,269	10,181	7,825	11,154	16,350	40,100	41,408	58,935	33,715	68,027
อายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี	1,075	788	679	974	1,468	4,202	3,845	5,349	3,806	7,157
อายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี	414	285	289	311	377	993	878	1,319	834	1,458



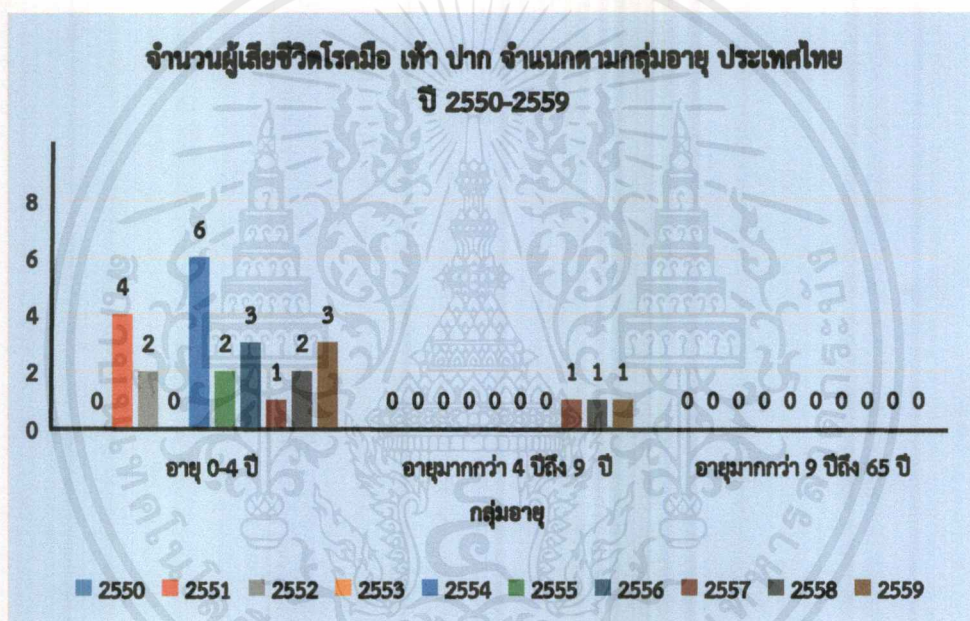
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ
ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2]

จำนวนผู้ป่วยโรคมือ เท้า ปากในแต่ละกลุ่มอายุที่มีจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุด มีดังนี้
จำนวนผู้ป่วย กลุ่มอายุ 0 ถึง 4 ปี มีจำนวนการติดเชื้อมากที่สุด
จำนวนผู้ป่วย กลุ่มอายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี มีจำนวนการติดเชื่อน้อยที่สุด

3.1.8 แบ่งตามจำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559

ตารางที่ 3.8 แสดงจำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปาก จำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2]

ปี	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559
อายุ 0-4 ปี	0	4	2	0	6	2	3	1	2	3
อายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
อายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงจำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือเท้าปากจำแนกตามกลุ่มอายุ ประเทศไทย ปี 2550-2559 [2]

จำนวนผู้เสียชีวิตโรคมือ เท้า ปากในแต่ละกลุ่มอายุที่มีจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุด มีดังนี้
 จำนวนผู้เสียชีวิต กลุ่มอายุ 0 ถึง 4 ปี มีจำนวนการติดเชื้อมากที่สุด
 จำนวนผู้เสียชีวิต กลุ่มอายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี มีจำนวนการติดเชื่อน้อยสุด

3.2 การสร้างแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย

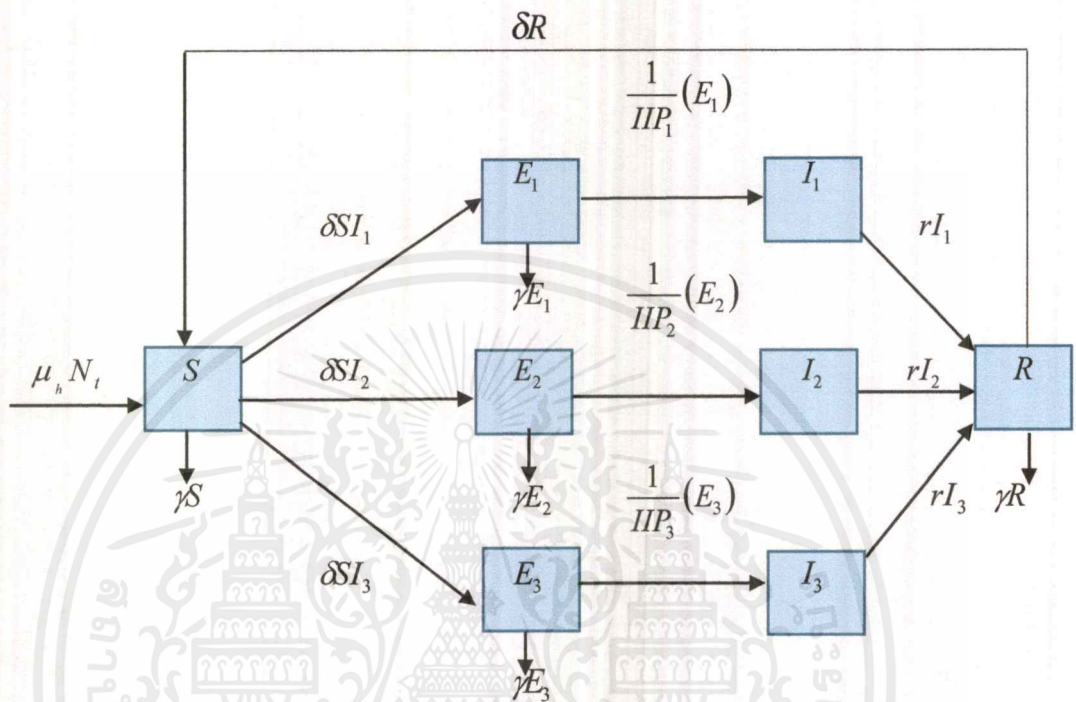
ในการทำปัญหาพิเศษนี้ผู้ทำจะนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรื่องโรคมือเท้าปาก ซึ่งจำนวนผู้ป่วยส่วนใหญ่จะอยู่ในเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี ดังนั้น เราจะแบ่งกลุ่มผู้ป่วยตามกลุ่มอายุ โดยจะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ผู้ป่วยกลุ่มที่ 1 ตั้งแต่อายุ 0 ถึง 4 ปี
2. ผู้ป่วยกลุ่มที่ 2 ตั้งแต่อายุมากกว่า 4 ปี ถึง 9 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผู้ป่วยกลุ่มที่ 3 ตั้งแต่อายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี

สำหรับแบบจำลองโรคมือเท้าปากนี้ กำหนดให้แต่ละกลุ่มอายุของผู้ป่วยที่เป็นโรคมือเท้าปากที่ติดเชื้อแล้วสามารถถ่ายทอดโรคได้กับกลุ่มผู้ป่วยที่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และผู้ป่วยที่เสียชีวิตแบบธรรมชาติ มีแบบจำลองดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย

3.3 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคมือเท้าปาก

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = \mu_h N_t + \delta R - \delta SI_1 - \delta SI_2 - \delta SI_3 - \gamma S \quad (9)$$

$$\frac{dE_1}{dt} = \delta SI_1 - \frac{1}{IIP_1}(E_1) - \gamma E_1 \quad (10)$$

$$\frac{dE_2}{dt} = \delta SI_2 - \frac{1}{IIP_2}(E_2) - \gamma E_2 \quad (11)$$

$$\frac{dE_3}{dt} = \delta SI_3 - \frac{1}{IIP_3}(E_3) - \gamma E_3 \quad (12)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{1}{IIP_1}(E_1) - rI_1 \quad (13)$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \frac{1}{IIP_2}(E_2) - rI_2 \quad (14)$$

$$\frac{dI_3}{dt} = \frac{1}{IIP_3}(E_3) - rI_3 \quad (15)$$

$$\frac{dR}{dt} = rI_1 + rI_2 + rI_3 - \gamma R - \delta R \quad (16)$$

โดยกำหนดให้ $N_t = S + E_1 + E_2 + E_3 + I_1 + I_2 + I_3 + R$

สัญลักษณ์แสดงตัวแปรต่าง ๆ ของแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย

S	คือ	จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก
E_1	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0 ถึง 4 ปี
E_2	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปี ถึง 9 ปี
E_3	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี
I_1	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0 ถึง 4 ปี
I_2	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปี ถึง 9 ปี
I_3	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี
R	คือ	จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคมือเท้าปาก
$\frac{1}{IIP}$	คือ	ระยะฟักตัวของโรคมือเท้าปากแต่ละกลุ่มอายุ
μ_h	คือ	อัตราการเกิดของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

δ	คือ	อัตราการป่วยในแต่ละกลุ่มอายุ
γ	คือ	อัตราการเสียชีวิตจากธรรมชาติแต่ละกลุ่มอายุ
r	คือ	อัตราการหายจากโรคมือเท้าปากของแต่ละกลุ่มอายุ
N	คือ	จำนวนประชากรทั้งหมด

3.4 จุดสมดุล

หาจุดสมดุลของระบบสมการ

ให้ $(S, E_1, E_2, E_3, I_1, I_2, I_3, R)$ เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ (9) - (16)

$$\mu_h N_t + \delta R - \delta SI_1 - \delta SI_2 - \delta SI_3 - \gamma S = 0 \quad (17)$$

$$\delta SI_1 - \frac{1}{IIP_1}(E_1) - \gamma E_1 = 0 \quad (18)$$

$$\delta SI_2 - \frac{1}{IIP_2}(E_2) - \gamma E_2 = 0 \quad (19)$$

$$\delta SI_3 - \frac{1}{IIP_3}(E_3) - \gamma E_3 = 0 \quad (20)$$

$$\frac{1}{IIP_1}(E_1) - rI_1 = 0 \quad (21)$$

$$\frac{1}{IIP_2}(E_2) - rI_2 = 0 \quad (22)$$

$$\frac{1}{IIP_3}(E_3) - rI_3 = 0 \quad (23)$$

$$rI_1 + rI_2 + rI_3 - \gamma R - \delta R = 0 \quad (24)$$

ดังนั้น จุดสมดุลของระบบสมการนี้มีเพียงจุดเดียว คือ คำตอบจุดที่หนึ่ง ดังนี้

$$S = \frac{-1 + \gamma IIP_1}{\delta IIP_1}, \quad E_1 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_1 - \delta IIP_1 N_t \mu_h)}{\gamma \delta (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}, \quad E_2 = 0, \quad E_3 = 0,$$

$$I_1 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_1 - \delta IIP_1 N_t \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_1 (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}, \quad I_2 = 0, \quad I_3 = 0, \quad R = \frac{-\gamma - \gamma^2 IIP_1 + \delta IIP_1 N_t \mu_h}{\gamma \delta IIP_1 (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}$$

คำตอบจุดที่สอง ดังนี้

$$S = \frac{-(-1 + \gamma IIP_2)}{\delta IIP_2}, \quad E_1 = 0, \quad E_2 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_2 - \delta IIP_2 N_t \mu_h)}{\gamma \delta (1 + \gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}, \quad E_3 = 0, \quad I_1 = 0,$$

$$I_2 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_2 - \delta IIP_2 N_t \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_2 (1 + \gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}, \quad I_3 = 0, \quad R = \frac{-\gamma - \gamma^2 IIP_2 + \delta IIP_2 N_t \mu_h}{\gamma \delta IIP_2 (1 + \gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}$$

คำตอบจุดที่สาม ดังนี้

$$S = \frac{-(-1+\gamma IIP_1)}{\delta IIP_1}, E_1 = 0, E_2 = 0, E_3 = \frac{-(\gamma+\delta)(\gamma+\gamma^2 IIP_3 - \delta IIP_3 N_i \mu_h)}{\gamma \delta (1+\gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}, I_1 = 0, I_2 = 0$$

$$, I_3 = \frac{-(\gamma+\delta)(\gamma+\gamma^2 IIP_3 - \delta IIP_3 N_i \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_3 (1+\gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}, R = \frac{-\gamma - \gamma^2 IIP_3 + \delta IIP_3 N_i \mu_h}{\gamma \delta IIP_3 (1+\gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}$$

คำตอบจุดที่สี่ ดังนี้

$$S = \frac{N_i \mu_h}{\gamma}, E_1 = 0, E_2 = 0, E_3 = 0, I_1 = 0, I_2 = 0, I_3 = 0, R = 0$$

3.5 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล

การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis) เป็นการหาค่าลักษณะเฉพาะ (Eigen Value) เพื่ออธิบายคำตอบของสมการเกี่ยวกับค่าความสมดุลสำหรับตรวจสอบว่าเป็น Local Asymptotically Stable มี 2 กรณี ดังนี้

1) Local Asymptotically Stable ณ จุด E_0 ของจุดสมดุลที่ไม่มีโรคโดยการตรวจสอบค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมตริกซ์ ณ สภาวะที่ไม่มีโรค (E_0) ซึ่งจะได้สมการลักษณะเฉพาะจาก $\det(J_0 - \lambda I) = 0$, J_0 คือจาโคเบียนเมตริกซ์ ณ จุด E_0 โดยมีข้อกำหนดว่า λ ทุกค่าส่วนจริงต้องเป็นลบซึ่งจะสอดคล้องตามเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz ซึ่งจะส่งผลให้ค่า $R_0 < 1$

2) Local Asymptotically Stable ณ จุด E_1 ของจุดสมดุลที่มีโรค โดยการตรวจสอบค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมตริกซ์ ณ สภาวะที่มีการแพร่ระบาดของโรค (E_1) ซึ่งจะได้สมการลักษณะเฉพาะจาก $\det(J_1 - \lambda I) = 0$, J_1 คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ ณ จุด E_1 โดยมีข้อกำหนดว่า λ ทุกค่าส่วนจริงต้องเป็นลบซึ่งจะสอดคล้อง ตามเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz ซึ่งจะส่งผลให้ค่า $R_0 > 1$

ความเสถียรภาพของจุดสมดุลสามารถพิจารณาค่าลักษณะเฉพาะของเมตริกซ์จาโคเบียนจากระบบ สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ ของสมการ (9) - (16) ดังนี้

$$\frac{d\bar{S}}{dt} = \mu_h N_i + \delta \bar{R} - \delta \bar{S} I_1 - \delta \bar{S} I_2 - \delta \bar{S} I_3 - \gamma \bar{S} = f_S$$

$$\frac{d\bar{E}_1}{dt} = \delta \bar{S} I_1 - \frac{1}{IIP_1} (\bar{E}_1) - \gamma \bar{E}_1 = f_{E_1}$$

$$\frac{d\bar{E}_2}{dt} = \delta \bar{S} I_2 - \frac{1}{IIP_2} (\bar{E}_2) - \gamma \bar{E}_2 = f_{E_2}$$

$$\frac{d\bar{E}_3}{dt} = \delta \bar{S} I_3 - \frac{1}{IIP_3} (\bar{E}_3) - \gamma \bar{E}_3 = f_{E_3}$$

$$\frac{d\bar{I}_1}{dt} = \frac{1}{IIP_1} (\bar{E}_1) - r \bar{I}_1 = f_{I_1}$$

$$\frac{d\bar{I}_2}{dt} = \frac{1}{IIP_2} (\bar{E}_2) - r \bar{I}_2 = f_{I_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{d\bar{I}_3}{dt} = \frac{1}{IIP_3} (\bar{E}_3) - r\bar{I}_3 = f_3,$$

$$\frac{d\bar{R}}{dt} = r\bar{I}_1 + r\bar{I}_2 + r\bar{I}_3 - \gamma\bar{R} - \delta\bar{R} = f_R$$

นำระบบสมการดังกล่าวทั้งหมดมาเขียนในรูปจาโคเบียนเมทริกซ์โดยกำหนดจาโคเบียนเมทริกซ์ขนาด 8×8 คือ

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

ที่จุดสมดุล $(S, E_1, E_2, E_3, I_1, I_2, I_3, R)$ โดยที่

แถวที่ 1 จะได้

$$J_{11} = -\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma$$

$$J_{12} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = 0$$

$$J_{13} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = 0$$

$$J_{14} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = 0$$

$$J_{15} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = -\delta S$$

$$J_{16} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = -\delta S$$

$$J_{17} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = -\delta S$$

$$J_{18} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = \delta$$

แถวที่ 2 จะได้

$$J_{21} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = \delta I_1$$

$$J_{22} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = -\frac{1}{IIP_1} - \gamma$$

$$J_{23} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = 0$$

$$J_{24} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = 0$$

$$J_{25} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = \delta S$$

$$J_{26} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = 0$$

$$J_{27} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = 0$$

$$J_{28} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = 0$$

แถวที่ 3 จะได้

$$J_{31} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = \delta I_2$$

$$J_{32} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = 0$$

$$J_{33} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = -\frac{1}{IIP_2} - \gamma$$

$$J_{34} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = 0$$

$$J_{35} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = 0$$

$$J_{36} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = \delta S$$

$$J_{37} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = 0$$

$$J_{38} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = 0$$

แถวที่ 5 จะได้

$$J_{51} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = 0$$

$$J_{52} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = \frac{1}{IIP_1}$$

$$J_{53} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = 0$$

$$J_{54} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = 0$$

$$J_{55} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = -r$$

$$J_{56} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = 0$$

$$J_{57} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = 0$$

$$J_{58} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = 0$$

แถวที่ 7 จะได้

$$J_{71} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = 0$$

$$J_{72} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = 0$$

$$J_{73} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = 0$$

$$J_{74} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = \frac{1}{IIP_3}$$

แถวที่ 4 จะได้

$$J_{41} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = \delta I_3$$

$$J_{42} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = 0$$

$$J_{43} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = 0$$

$$J_{44} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = -\frac{1}{IIP_3} - \gamma$$

$$J_{45} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = 0$$

$$J_{46} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = 0$$

$$J_{47} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = 0$$

$$J_{48} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = 0$$

แถวที่ 6 จะได้

$$J_{61} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = 0$$

$$J_{62} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = 0$$

$$J_{63} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = \frac{1}{IIP_2}$$

$$J_{64} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = 0$$

$$J_{65} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = 0$$

$$J_{66} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = -r$$

$$J_{67} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = 0$$

$$J_{68} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = 0$$

แถวที่ 8 จะได้

$$J_{81} = \frac{\sigma}{\sigma S} f_s = 0$$

$$J_{82} = \frac{\sigma}{\sigma E_1} f_s = 0$$

$$J_{83} = \frac{\sigma}{\sigma E_2} f_s = 0$$

$$J_{84} = \frac{\sigma}{\sigma E_3} f_s = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J_{75} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = 0$$

$$J_{85} = \frac{\sigma}{\sigma I_1} f_s = r$$

$$J_{76} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = 0$$

$$J_{86} = \frac{\sigma}{\sigma I_2} f_s = r$$

$$J_{77} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = -r$$

$$J_{87} = \frac{\sigma}{\sigma I_3} f_s = r$$

$$J_{78} = \frac{\sigma}{\sigma R} f_s = 0$$

$$J_{88} = -\gamma - \delta$$

ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$J_f = \begin{bmatrix} -\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma & 0 & 0 & 0 & -\delta S & -\delta S & -\delta S & \delta \\ \delta I_1 & -\frac{1}{IP_1} - \gamma & 0 & 0 & \delta S & 0 & 0 & 0 \\ \delta I_2 & 0 & -\frac{1}{IP_2} - \gamma & 0 & 0 & \delta S & 0 & 0 \\ \delta I_3 & 0 & 0 & -\frac{1}{IP_3} - \gamma & 0 & 0 & \delta S & 0 \\ 0 & \frac{1}{IP_1} & 0 & 0 & -r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{IP_2} & 0 & 0 & -r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{IP_3} & 0 & 0 & -r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r & r & r & -\gamma - \delta \end{bmatrix}$$

พิจารณาค่าลักษณะเฉพาะได้จากสมการลักษณะเฉพาะ $\det(\lambda I_8 - J_f) = 0$

เมื่อ I_8 คือเมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 8×8 หรือ

$$I_8 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

จะได้

$$\lambda I_8 - J_f = \begin{bmatrix} \lambda - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma) & 0 & 0 & 0 & -\delta S & -\delta S & -\delta S & \delta \\ \delta I_1 & \lambda - (-\frac{1}{IP_1} - \gamma) & 0 & 0 & \delta S & 0 & 0 & 0 \\ \delta I_2 & 0 & \lambda - (-\frac{1}{IP_2} - \gamma) & 0 & 0 & \delta S & 0 & 0 \\ \delta I_3 & 0 & 0 & \lambda - (-\frac{1}{IP_3} - \gamma) & 0 & 0 & \delta S & 0 \\ 0 & \frac{1}{IP_1} & 0 & 0 & \lambda - (-r) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{IP_2} & 0 & 0 & \lambda - (-r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{IP_3} & 0 & 0 & \lambda - (-r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r & r & r & \lambda - (-\gamma - \delta) \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\det(\lambda I_8 - J_f) = \begin{vmatrix} \lambda - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma) & 0 & 0 & 0 & -\delta & -\delta & -\delta & \delta \\ \delta I_1 & \lambda - (-\frac{1}{IIP_1} - \gamma) & 0 & 0 & \delta & 0 & 0 & 0 \\ \delta I_2 & 0 & \lambda - (-\frac{1}{IIP_2} - \gamma) & 0 & 0 & \delta & 0 & 0 \\ \delta I_3 & 0 & 0 & \lambda - (-\frac{1}{IIP_3} - \gamma) & 0 & 0 & \delta & 0 \\ 0 & \frac{1}{IIP_1} & 0 & 0 & \lambda - (-r) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{IIP_2} & 0 & 0 & \lambda - (-r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{IIP_3} & 0 & 0 & \lambda - (-r) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r & r & r & \lambda - (-\gamma - \delta) \end{vmatrix}$$

$$= [\lambda - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma)] \left[\lambda - (-\frac{1}{IIP_1} - \gamma) \right] \left[\lambda - (-\frac{1}{IIP_2} - \gamma) \right] \left[\lambda - (-\frac{1}{IIP_3} - \gamma) \right] [\lambda - (-r)] [\lambda - (-r)] [\lambda - (-r)] [\lambda - (-\gamma - \delta)]$$

$$= [\lambda + \delta I_1 + \delta I_2 + \delta I_3 + \gamma] \left[\lambda + \frac{1}{IIP_1} + \gamma \right] \left[\lambda + \frac{1}{IIP_2} + \gamma \right] \left[\lambda + \frac{1}{IIP_3} + \gamma \right] [\lambda + r] [\lambda + r] [\lambda + r] [\lambda + \gamma + \delta]$$

$$= 0$$

ที่จุดสมดุลที่ 1 จากการคำนวณค่าลักษณะเฉพาะคือ

$$S = \frac{-1 + \gamma IIP_1}{\delta IIP_1}, \quad E_1 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_1 - \delta IIP_1 N_t \mu_h)}{\gamma \delta (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}, \quad E_2 = 0, \quad E_3 = 0,$$

$$I_1 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_1 - \delta IIP_1 N_t \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_1 (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}, \quad I_2 = 0, \quad I_3 = 0, \quad R = \frac{-\gamma - \gamma^2 IIP_1 + \delta IIP_1 N_t \mu_h}{\gamma \delta IIP_1 (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_1 - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma) = 0$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_1 = -\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma < 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_1 = -\delta \left(\frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_1 - \delta IIP_1 N_t \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_1 (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)} \right) - \gamma < 0$$

$$\lambda_1 \text{ จะมีค่าเป็นลบเมื่อ } 1 > \frac{\delta(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_1 - \delta IIP_1 N_t \mu_h)}{r \gamma^2 \delta IIP_1 (1 + \gamma IIP_1 + \delta IIP_1)}$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_2 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma \right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_2 = -\frac{1}{IIP_1} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_3 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma \right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_3 = -\frac{1}{IIP_2} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_4 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma \right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_4 = -\frac{1}{IIP_3} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_5 - (-r) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_5 = -r$

จะได้ว่า $\lambda_6 - (-r) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_6 = -r$

จะได้ว่า $\lambda_7 - (-r) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_7 = -r$

จะได้ว่า $\lambda_8 - (-\gamma - \delta) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_8 = -\gamma - \delta$

ดังนั้น ค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะ
ได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นมีความเสถียร (stable)

ที่จุดสมดุลที่ 2 จากการคำนวณค่าลักษณะเฉพาะคือ

$$S = \frac{-(1+\gamma IIP_2)}{\delta IIP_2}, E_1 = 0, E_2 = \frac{-(\gamma+\delta)(\gamma+\gamma^2 IIP_2 - \delta IIP_2 N_i \mu_h)}{\gamma \delta (1+\gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}, E_3 = 0, I_1 = 0,$$

$$I_2 = \frac{-(\gamma+\delta)(\gamma+\gamma^2 IIP_2 - \delta IIP_2 N_i \mu_h)}{r\gamma \delta IIP_2 (1+\gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}, I_3 = 0, R = \frac{-\gamma - \gamma^2 IIP_2 + \delta IIP_2 N_i \mu_h}{\gamma \delta IIP_2 (1+\gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}$$

จะได้ว่า $\lambda_1 - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma) = 0$

เมื่อ $\lambda_1 = -\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_1 = \frac{\delta(\gamma+\delta)(\gamma+\gamma^2 IIP_2 - \delta IIP_2 N_i \mu_h)}{r\gamma \delta IIP_2 (1+\gamma IIP_2 + \delta IIP_2)} - \gamma$

λ_1 จะมีค่าเป็นลบเมื่อ $1 > \frac{\delta(\gamma+\delta)(\gamma+\gamma^2 IIP_2 - \delta IIP_2 N_i \mu_h)}{r\gamma^2 \delta IIP_2 (1+\gamma IIP_2 + \delta IIP_2)}$

จะได้ว่า $\lambda_2 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma\right) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_2 = -\frac{1}{IIP_1} - \gamma$

จะได้ว่า $\lambda_3 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma\right) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_3 = -\frac{1}{IIP_2} - \gamma$

จะได้ว่า $\lambda_4 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma\right) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_4 = -\frac{1}{IIP_3} - \gamma$

จะได้ว่า $\lambda_5 - (-r) = 0$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_5 = -r$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_6 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_6 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_7 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_7 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_8 - (-\gamma - \delta) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_8 = -\gamma - \delta$$

ดังนั้น ค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะ
ได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นมีความเสถียร (stable)

ที่จุดสมดุลที่ 3 จากการคำนวณค่าลักษณะเฉพาะคือ

$$S = \frac{-(-1 + \gamma IIP_1)}{\delta IIP_1}, E_1 = 0, E_2 = 0, E_3 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_3 - \delta IIP_3 N_i \mu_h)}{\gamma \delta (1 + \gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}, I_1 = 0, I_2 = 0,$$

$$I_3 = \frac{-(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_3 - \delta IIP_3 N_i \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_3 (1 + \gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}, R = \frac{-\gamma - \gamma^2 IIP_3 + \delta IIP_3 N_i \mu_h}{\gamma \delta IIP_3 (1 + \gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_1 - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma) = 0$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_1 = -\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_1 = \frac{\delta(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_3 - \delta IIP_3 N_i \mu_h)}{r \gamma \delta IIP_3 (1 + \gamma IIP_3 + \delta IIP_3)} - \gamma$$

$$\lambda_1 \text{ จะมีค่าเป็นลบเมื่อ } 1 > \frac{\delta(\gamma + \delta)(\gamma + \gamma^2 IIP_3 - \delta IIP_3 N_i \mu_h)}{r \gamma^2 \delta IIP_3 (1 + \gamma IIP_3 + \delta IIP_3)}$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_2 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma\right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_2 = -\frac{1}{IIP_1} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_3 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma\right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_3 = -\frac{1}{IIP_2} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_4 - \left(-\frac{1}{IIP_1} - \gamma\right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_4 = -\frac{1}{IIP_3} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_5 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_5 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_6 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_6 = -r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_7 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_7 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_8 - (-\gamma - \delta) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_8 = -\gamma - \delta$$

ดังนั้น ค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะ
ได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นมีความเสถียร (stable)

ที่จุดสมดุลที่ 4 จากการคำนวณค่าลักษณะเฉพาะคือ

$$S = \frac{N_t \mu_h}{\gamma}, E_1 = 0, E_2 = 0, E_3 = 0, I_1 = 0, I_2 = 0, I_3 = 0, R = 0$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_1 - (-\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma) = 0$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_1 = -\delta I_1 - \delta I_2 - \delta I_3 - \gamma$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_1 = -\gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_2 - \left(-\frac{1}{IP_1} - \gamma \right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_2 = -\frac{1}{IP_1} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_3 - \left(-\frac{1}{IP_1} - \gamma \right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_3 = -\frac{1}{IP_2} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_4 - \left(-\frac{1}{IP_1} - \gamma \right) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_4 = -\frac{1}{IP_3} - \gamma$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_5 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_5 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_6 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_6 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_7 - (-r) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_7 = -r$$

$$\text{จะได้ว่า } \lambda_8 - (-\gamma - \delta) = 0$$

$$\text{แทนค่าจุดสมดุล จะได้ } \lambda_8 = -\gamma - \delta$$

ดังนั้น ค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8$ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะ
ได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นมีความเสถียร (stable)

บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

หัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงสถิติในชีวิตจริงเกี่ยวกับโรคมือเท้าปาก ซึ่งมีค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

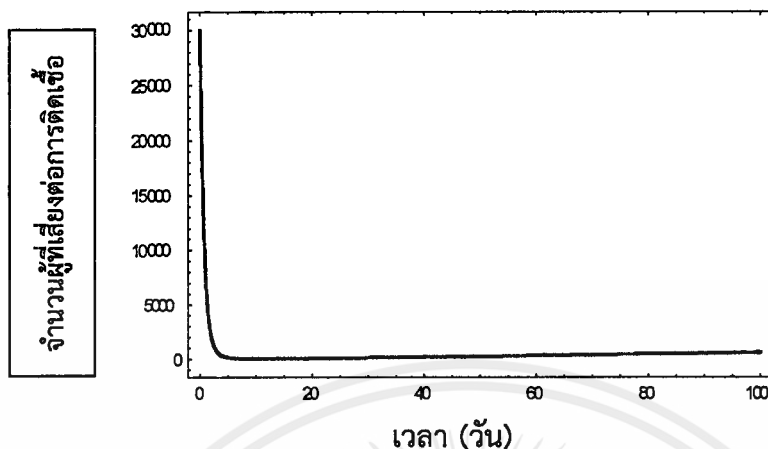
ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปร (Variables) ต่าง ๆ ของแบบจำลองโรคมือเท้าปากในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
S	จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก	30000	คน
E_1	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี	26824.7	คน
E_2	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี	7664.2	คน
E_3	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-6ปี	3832.1	คน
I_1	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี	26824.7	คน
I_2	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี	7664.2	คน
I_3	จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี	3832.1	คน
R	จำนวนของผู้ที่พ้นไขจากโรคมือเท้าปาก	0	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด	106642	คน

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลองโรคมือเท้าปากของประเทศไทย

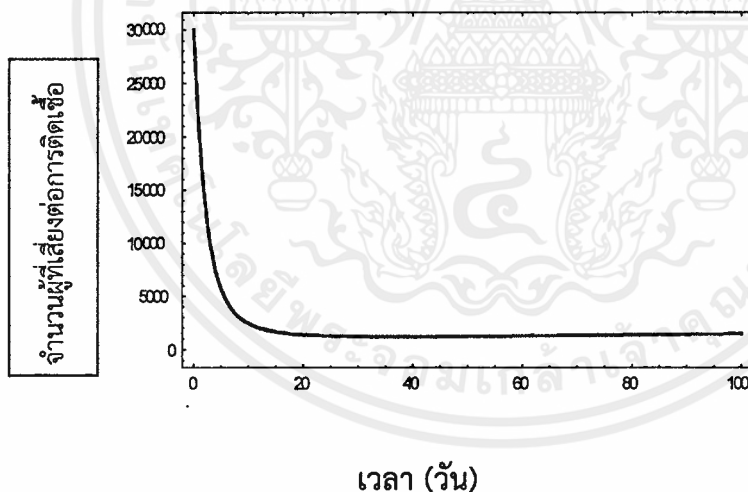
สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
$\frac{1}{IIP}$	ระยะฟักตัวของโรคมือเท้าปากในแต่ละกลุ่มอายุ	5	ต่อวัน
μ_h	อัตราการเกิดของประชากร	$\frac{1}{365 \times 76.55} = 0.000036$	ต่อวัน
δ	อัตราการป่วยในแต่ละกลุ่มอายุ	0.000007, 0.00001, 0.00003	ต่อวัน
γ	อัตราการเสียชีวิตจากธรรมชาติในแต่ละกลุ่มอายุ	$\frac{1}{365 \times 76.55} = 0.000036$	ต่อวัน
r	อัตราการหายจากโรคมือเท้าปากของแต่ละกลุ่มอายุ	$\frac{1}{8.5} = 0.1176$	ต่อวัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Mathematica จากการศึกษาเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาคำนวณแล้ว ทำให้ได้กราฟ ดังต่อไปนี้



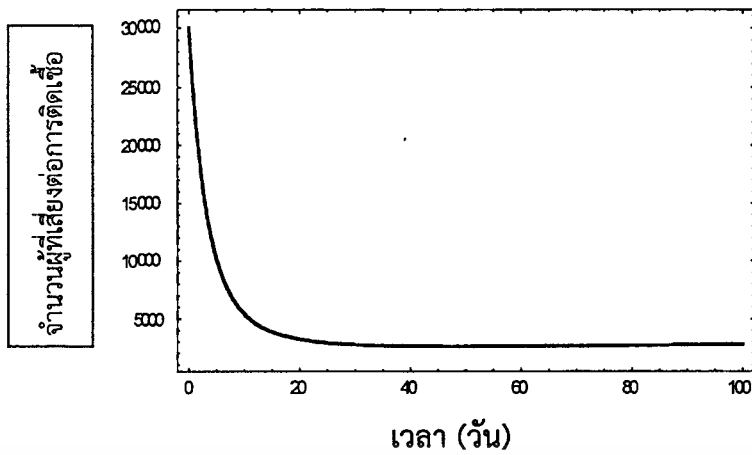
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน)
ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.1 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) จะลู่เข้าสู่ค่า 952.679 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 30 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 30 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



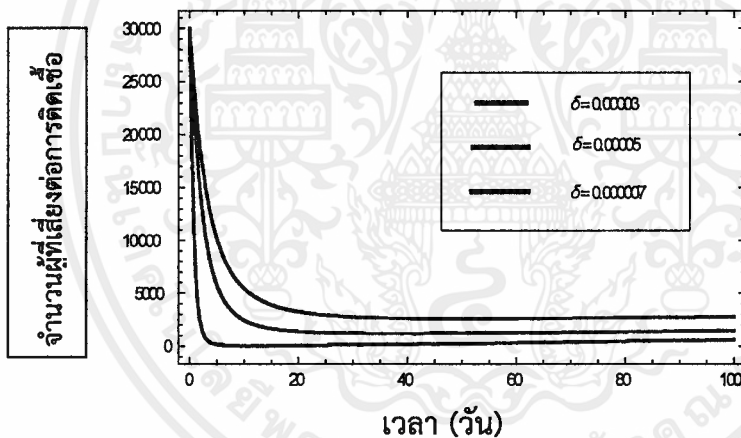
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน)
ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.2 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) จะลู่เข้าสู่ค่า 1557.24 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 40 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 40 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



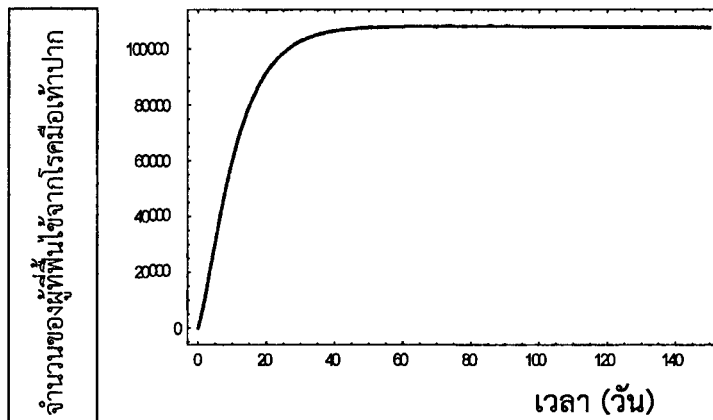
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.3 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) จะเข้าสู่ค่า 3.77751 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 60 วัน นั่นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 60 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



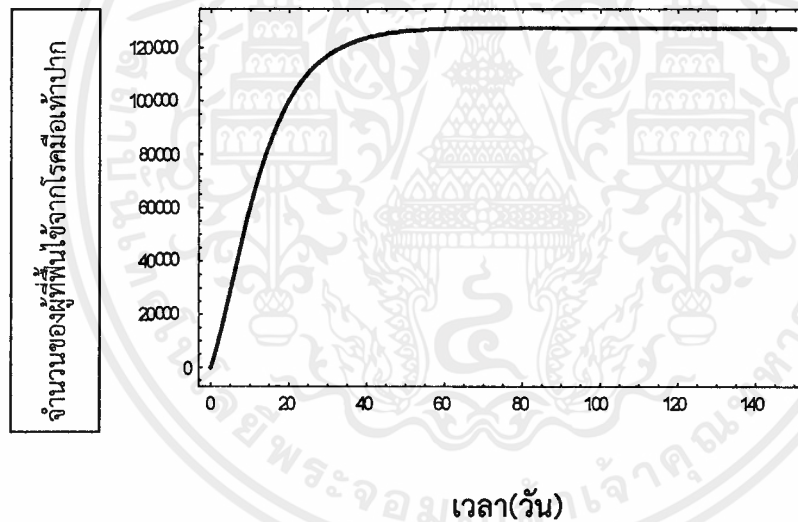
รูปที่ 4.4 กราฟเทียบแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000003, \delta = 0.000005, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.4 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลาและอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากที่สุดจะเข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยกว่า



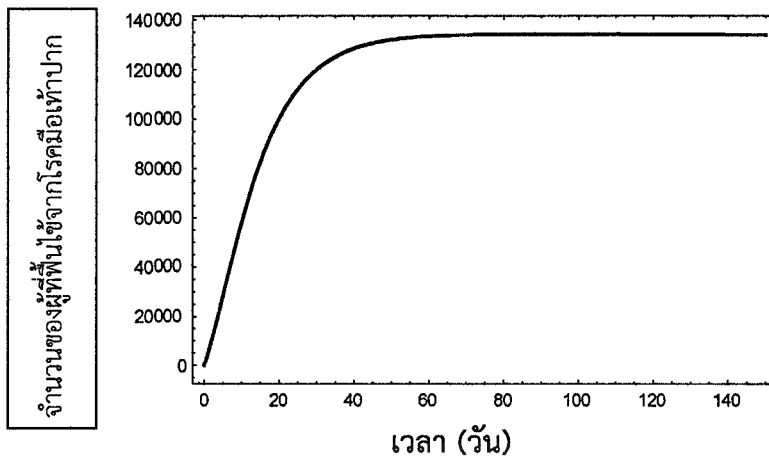
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่พ้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.5 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ที่พ้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) จะลู่เข้าสู่ค่า 107613 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 60 วัน นั่นแสดงว่าผู้ที่พ้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 60 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



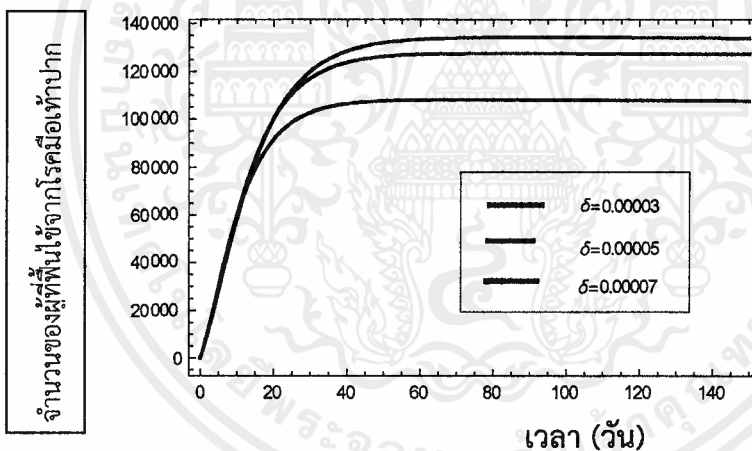
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่พ้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.6 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ที่พ้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) จะลู่เข้าสู่ค่า 127419 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 70 วัน นั่นแสดงว่าผู้ที่พ้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 70 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



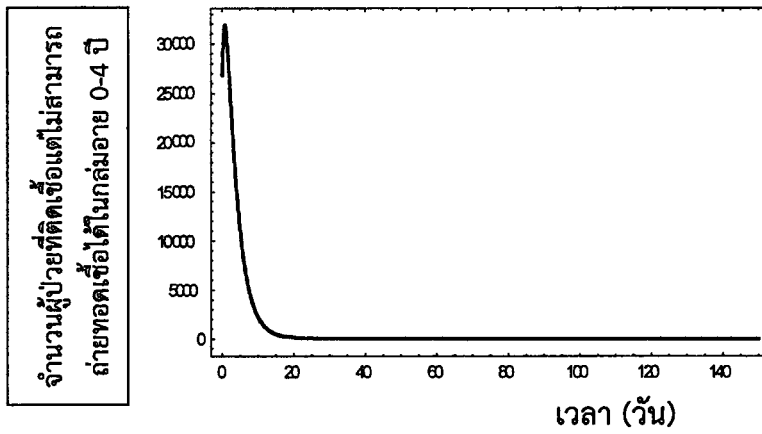
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.7 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ที่ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคมือเท้าปาก (R) จะลู่เข้าสู่ค่า 134446 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 70 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ที่ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคมือเท้าปาก (R) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 70 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



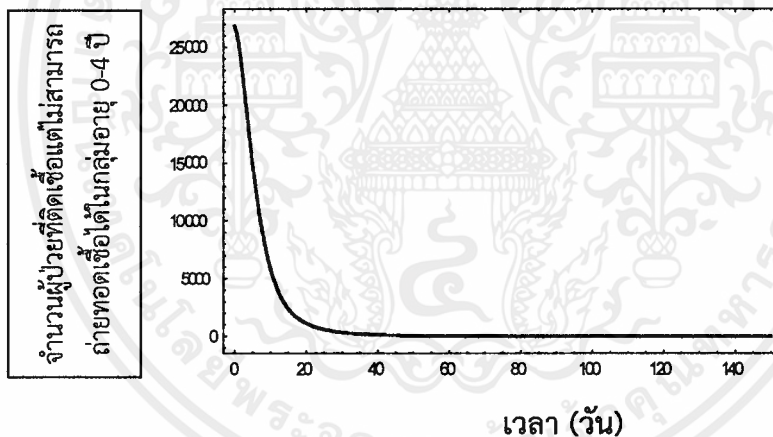
รูปที่ 4.8 กราฟเทียบจำนวนของผู้ที่ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคมือเท้าปาก (R) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000003, \delta = 0.000005, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.8 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลาและอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากที่สุดจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยกว่า



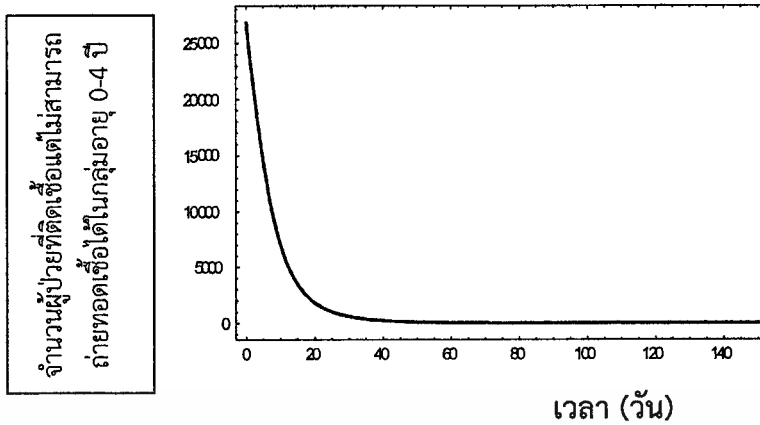
รูปที่ 4.9 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.9 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 40 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) ดังนั้น ณ เวลา 40 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



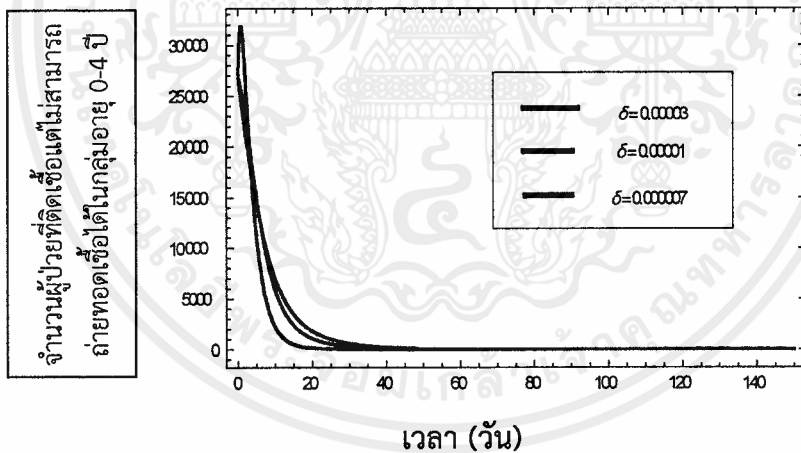
รูปที่ 4.10 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.10 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 60 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) ดังนั้น ณ เวลา 60 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



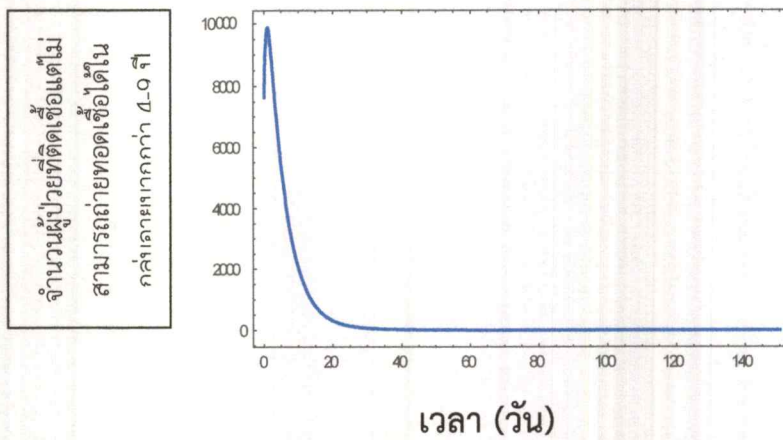
รูปที่ 4.11 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.11 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 80 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) ดังนั้น ณ เวลา 80 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



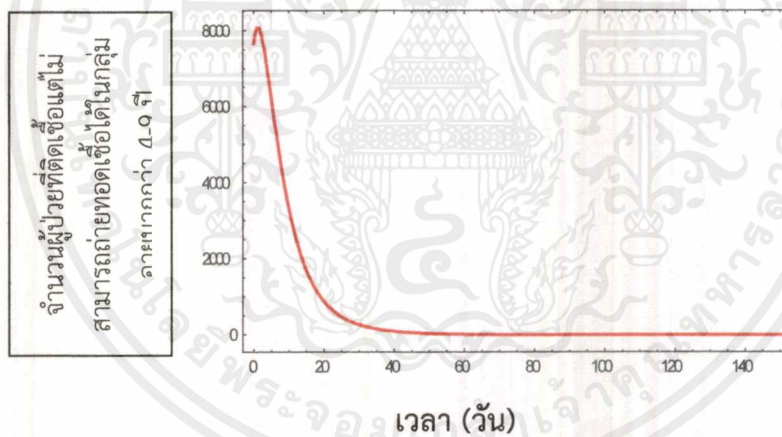
รูปที่ 4.12 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (E1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.12 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลา และอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยที่สุดจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลได้ช้ากว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากกว่า



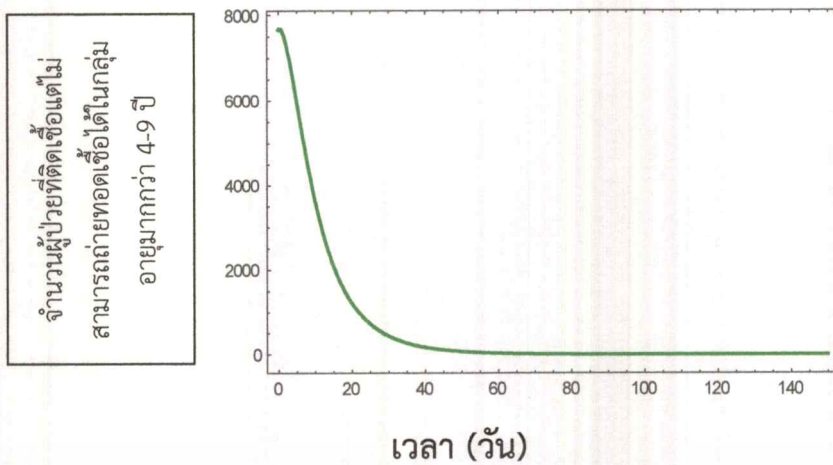
รูปที่ 4.13 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.13 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 50 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) ดังนั้น ณ เวลา 50 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



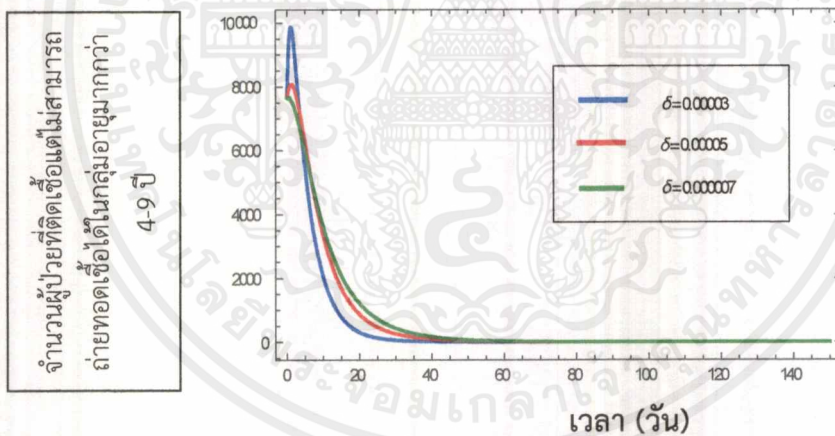
รูปที่ 4.14 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.14 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 60 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) ดังนั้น ณ เวลา 60 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



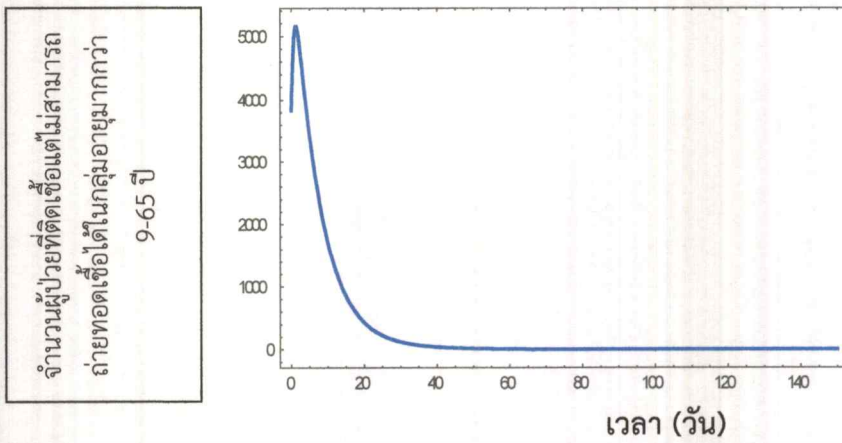
รูปที่ 4.15 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถย้ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.15 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถย้ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 70 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถย้ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) ดังนั้น ณ เวลา 70 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



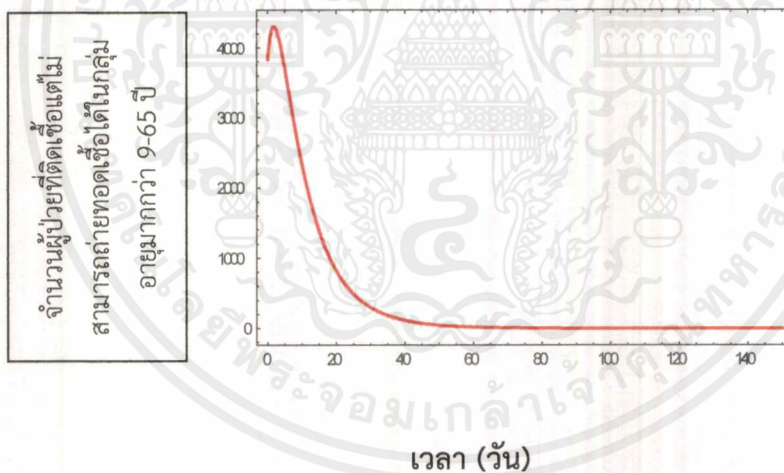
รูปที่ 4.16 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถย้ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4-9 ปี (E2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000003, \delta = 0.000005, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.16 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลา และอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากที่สุดจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยกว่า



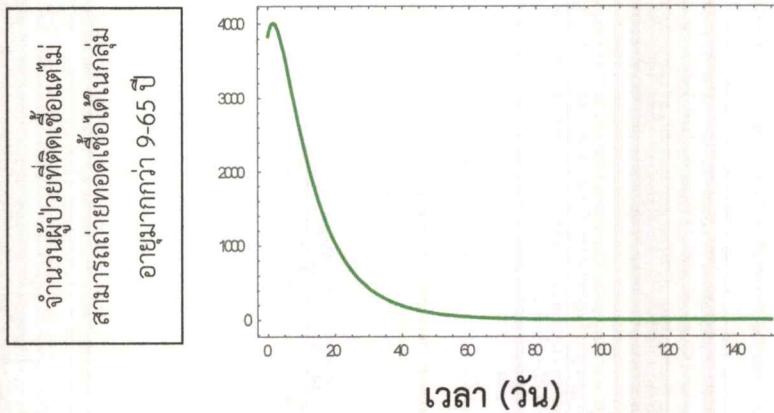
รูปที่ 4.17 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.17 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 60 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) ดังนั้น ณ เวลา 60 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



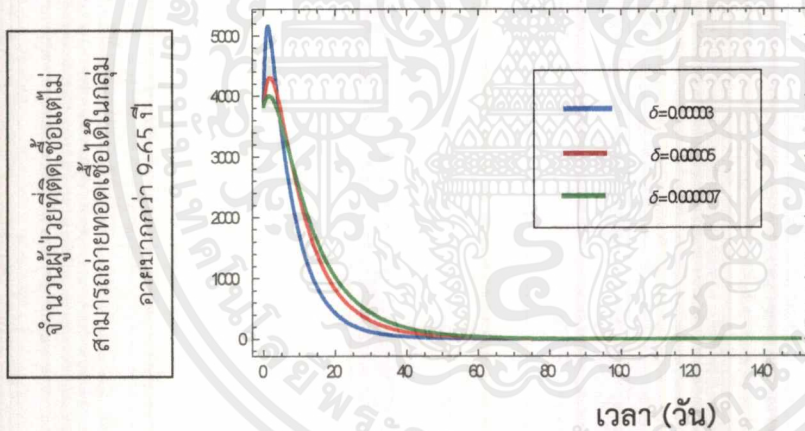
รูปที่ 4.18 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.18 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 70 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) ดังนั้น ณ เวลา 70 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



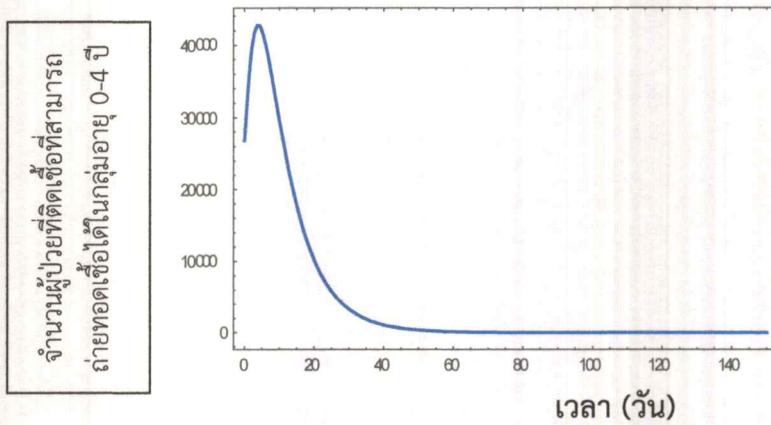
รูปที่ 4.19 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.19 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 80 วัน นั้น แสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (E3) ดังนั้น ณ เวลา 80 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



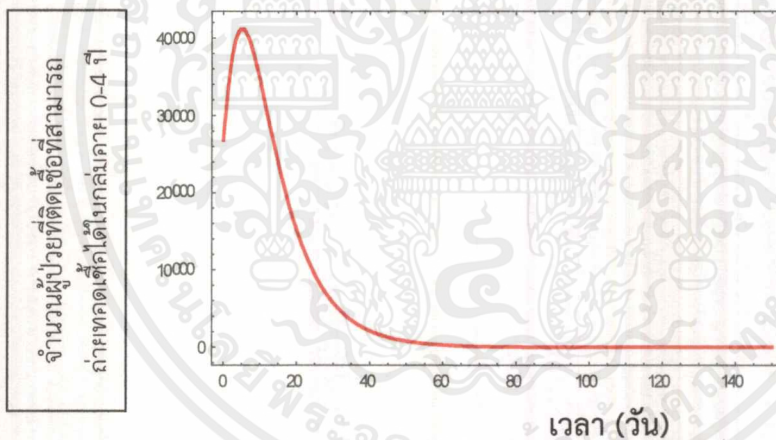
รูปที่ 4.20 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถหายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65ปี (E3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.20 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลา และอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยที่สุดจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลได้ช้ากว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากกว่า



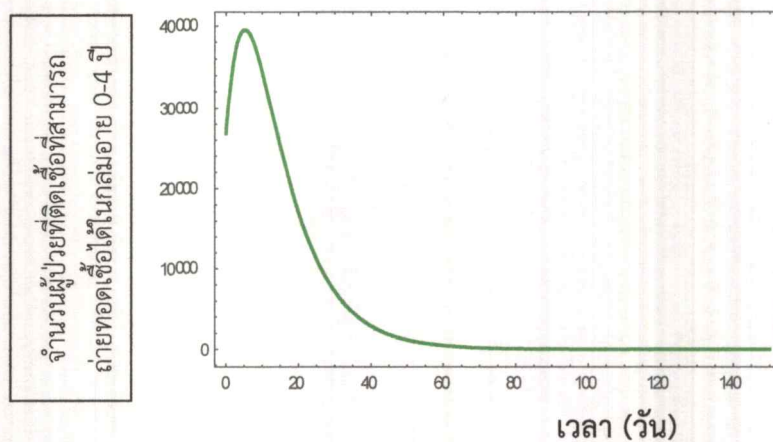
รูปที่ 4.21 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.21 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) จะเข้าสู่ค่า 0 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 70 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) ดังนั้น ณ เวลา 70 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



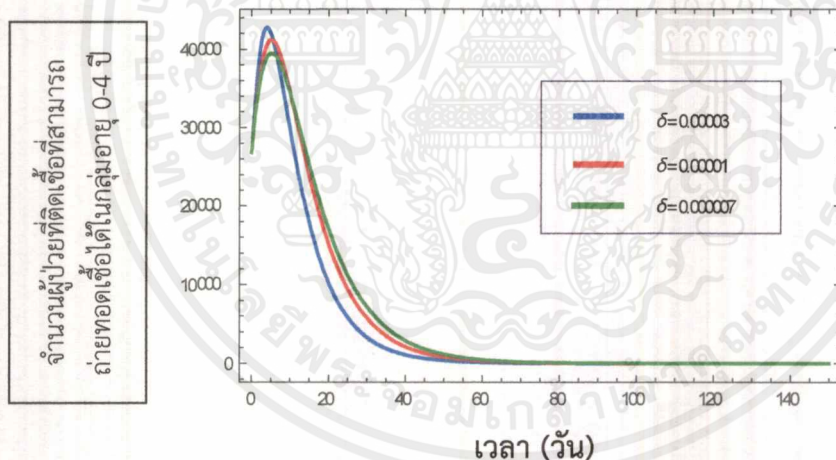
รูปที่ 4.22 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.22 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) จะเข้าสู่ค่า 0 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 80 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) ดังนั้น ณ เวลา 80 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



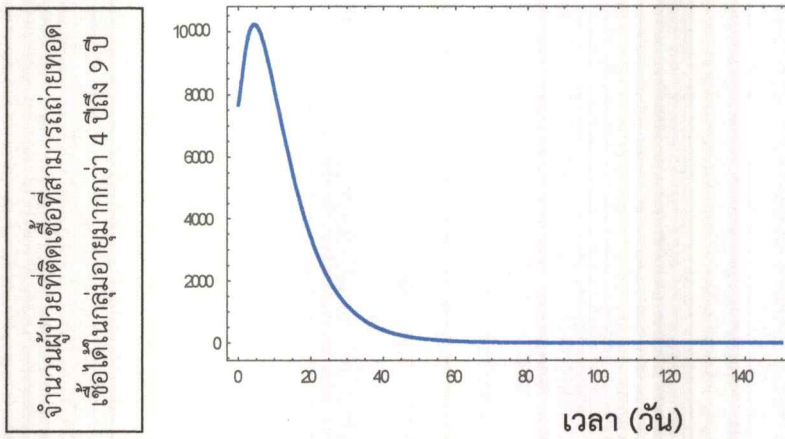
รูปที่ 4.23 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.23 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) จะเข้าสู่ค่า 0 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 100 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) ดังนั้น ณ เวลา 100 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



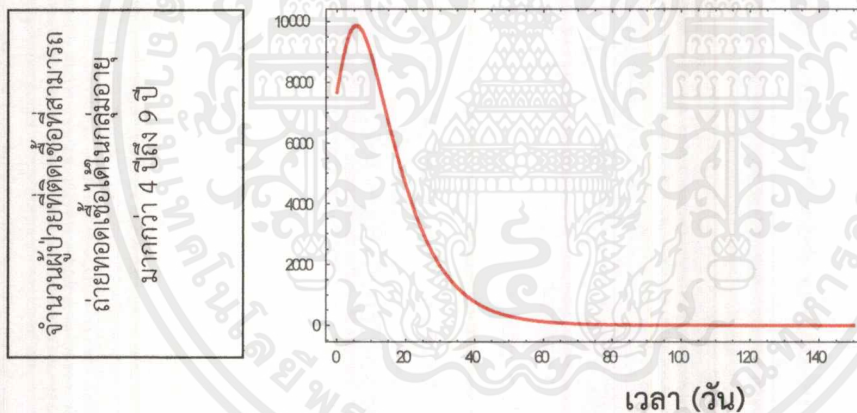
รูปที่ 4.24 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0-4 ปี (I1) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000003, \delta = 0.000001, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.24 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลา และอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากที่สุดจะเข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยกว่า



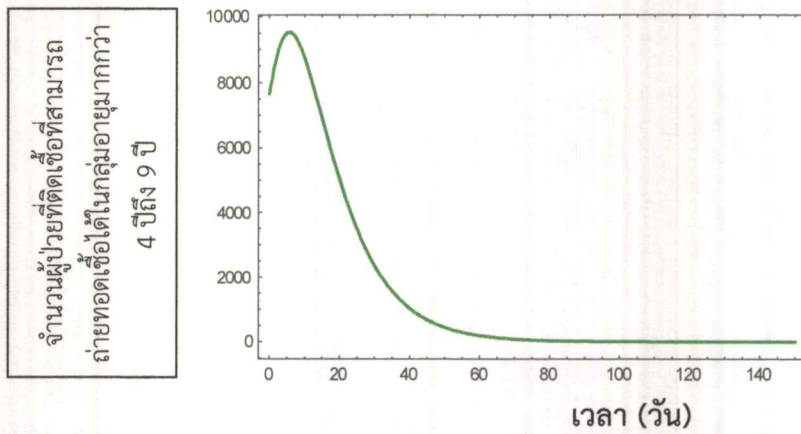
รูปที่ 4.25 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.25 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) จะเข้าสู่ค่า 0 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 80 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) ดังนั้น ณ เวลา 80 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



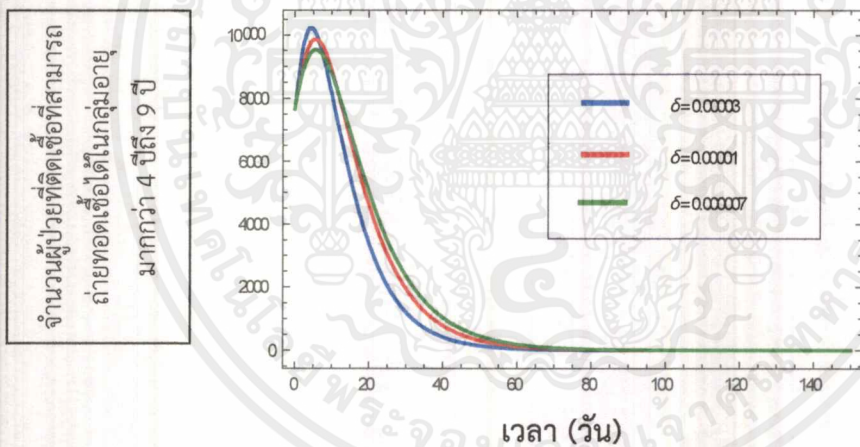
รูปที่ 4.26 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.26 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) จะเข้าสู่ค่า 0 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 90 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) ดังนั้น ณ เวลา 90 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



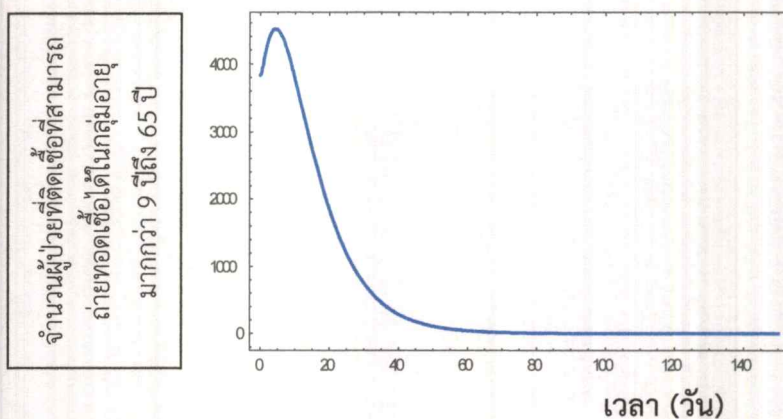
รูปที่ 4.27 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื่อที่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.27 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื่อที่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) จะเข้าสู่ค่า 0 (เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 100 วัน นั้นแสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื่อที่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) ดังนั้น ณ เวลา 100 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



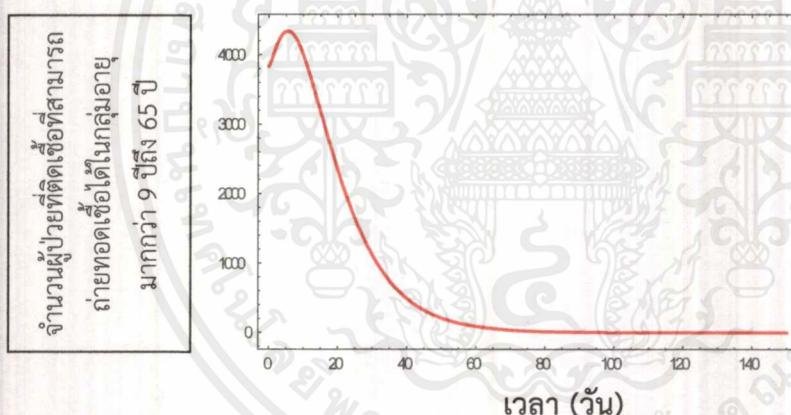
รูปที่ 4.28 กราฟเทียบจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื่อที่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปีถึง 9 ปี (I2) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003, \delta = 0.00001, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.28 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลา และอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยที่สุดจะเข้าสู่จุดสมดุลได้ช้ากว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากกว่า



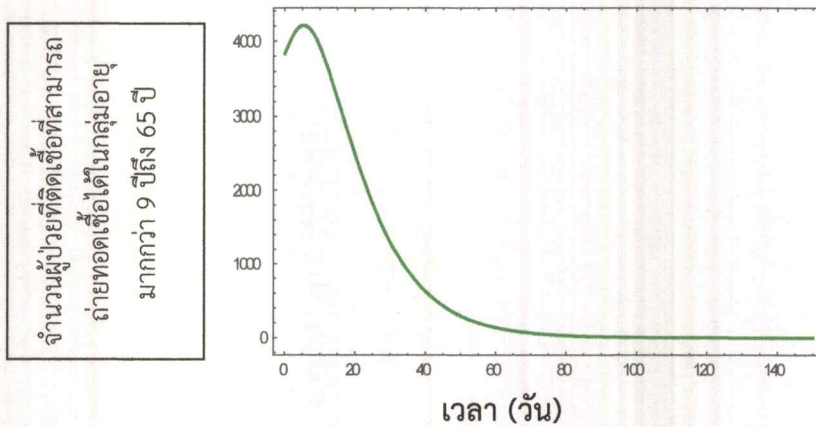
รูปที่ 4.29 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (13) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00003$

จากรูปที่ 4.29 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (13) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00003$ เมื่อเวลา 80 วัน นั้น แสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (13) ดังนั้น ณ เวลา 80 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



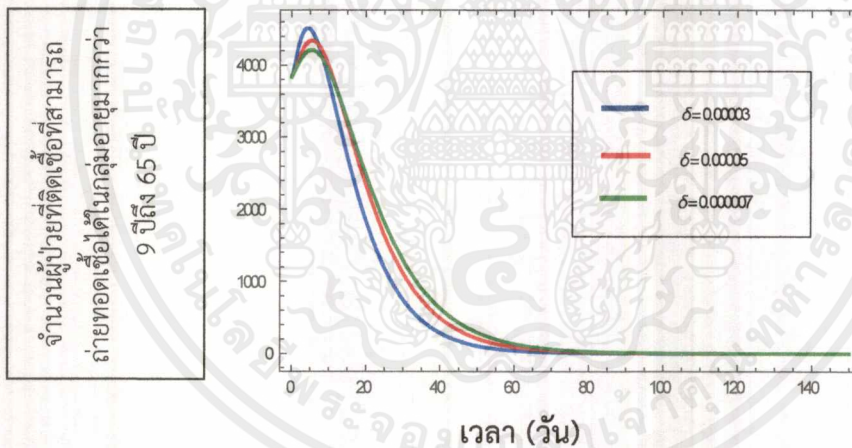
รูปที่ 4.30 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (13) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.00001$

จากรูปที่ 4.30 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (13) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.00001$ เมื่อเวลา 90 วัน นั้น แสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (13) ดังนั้น ณ เวลา 90 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.31 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.31 อธิบายได้ว่า จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9-65 ปี (I3) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) ที่ $\delta = 0.000007$ เมื่อเวลา 100 วัน นั้น แสดงว่าไม่มีผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) ดังนั้น ณ เวลา 100 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.32 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปีถึง 65 ปี (I3) เทียบกับเวลา (วัน) ที่ $\delta = 0.000003, \delta = 0.000005, \delta = 0.000007$

จากรูปที่ 4.32 อธิบายได้ว่า อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลา และอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากที่สุดจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของโรคมือเท้าปาก (Hand, Foot, Mouth Disease) ที่เกิดจากการติดเชื้อไวรัส ค็อกแซคกี ชนิดเอ 16 (Coxsackie Virus A16) ซึ่งอาจทำให้เกิดโรคมือเท้าปากที่รุนแรง จึงได้นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองโรคมือเท้าปากทางคณิตศาสตร์ประยุกต์สำหรับโรคที่ติดเชื้อแล้วนำแบบจำลองมาวิเคราะห์เพื่อนำเสนอและอธิบายแบบจำลองโรคมือเท้าปาก

โดยแบบจำลองที่ได้คือแบบจำลอง SEIR แบ่งประชากรทั้งหมดออกเป็น 3 กลุ่มคือ อายุ 0 ปี ถึง 4 ปี อายุมากกว่า 4 ปี ถึง 9 ปี อายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี สามารถเขียนเป็นสมการได้ทั้งหมด 8 สมการเชิงอนุพันธ์ดังนี้ ผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคมือเท้าปาก (S) ผู้ที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0 ปี ถึง 4 ปี (E_1) ผู้ที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปี ถึง 9 ปี (E_2) ผู้ที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี (E_3) ผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุ 0 ปี ถึง 4 ปี (I_1) ผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 4 ปี ถึง 9 ปี (I_2) ผู้ที่ติดเชื้อที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ในกลุ่มอายุมากกว่า 9 ปี ถึง 65 ปี (I_3) ผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคมือเท้าปาก (R) โดยตัวแปรเสริมมีทั้งหมด 5 ตัวดังนี้ ระยะเวลาฟักตัวของโรคมือเท้าปากแต่ละกลุ่มอายุ ($\frac{1}{IP}$) อัตราการเกิดของประชากร (μ_h) อัตราการป่วยในแต่ละกลุ่มอายุ (δ) อัตราการเสียชีวิตจากธรรมชาติในแต่ละกลุ่มอายุ (γ) อัตราการหายจากโรคมือเท้าปากของแต่ละกลุ่มอายุ (r) จากสมการทั้ง 8 สมการนำมาหาจุดสมดุลโดย ได้จุดสมดุลทั้งหมด 4 จุด โดยจุดสมดุลทั้งหมดมีความเสถียรภาพ ภายใต้เงื่อนไข $\lambda_1 = -\delta I_1 + \delta I_2 + \delta I_3 + \gamma < 0$ เมื่อ $I_1 > I_2 + I_3 + \frac{\gamma}{\delta}$ และ $\lambda_8 = -\gamma + \delta < 0$ เมื่อ $\delta < \gamma$

แบบจำลองนี้ได้ทำการสมมติค่าของประชากร อัตราการเกิดของประชากร และอัตราการเสียชีวิตจากธรรมชาติในแต่ละกลุ่มอายุให้เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับอายุเฉลี่ยของประชากรในปีที่คำนวณระยะเวลาฟักตัวของโรคมือเท้าปากในแต่ละกลุ่มอายุให้เป็นค่าคงที่ตามข้อมูลที่ได้มา อัตราการหายจากโรคมือเท้าปากของแต่ละกลุ่มอายุให้เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่หายป่วยของผู้ป่วยทุกกลุ่มอายุ อัตราการป่วยในแต่ละกลุ่มอายุให้เป็นค่าคงที่ อัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากจะแปรผันตามเวลาและอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่ามากที่สุดจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลได้เร็วกว่าอัตราการป่วยของประชากรโรคมือเท้าปากที่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งข้อมูลได้นำมาจากกรมควบคุมโรค ข้อมูลที่ใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 - พ.ศ. 2559

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

- ควรพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยศึกษาข้อมูลจำนวนผู้ป่วยตามฤดูกาลในประเทศไทย เช่น ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว
- ควรพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยศึกษาข้อมูลจำนวนผู้ป่วยตามภูมิภาคในประเทศไทย เช่น ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้



เอกสารอ้างอิง

- [1] Bumrungrad International./โรคมือเท้าปาก.// [Online]. Available :https://www.bumrungrad.com/th/conditions/hand-foot-mouth?fbclid=IwAR0g3PrC6mbDX6WGREfWWjn024mzX57o6OCy_ttD3valHLcpgHHAixCTOgs. เข้าถึงเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2561
- [2] boe.moph./ข้อมูลโรคมือเท้าปาก.// [Online]. Available : http://www.boe.moph.go.th/boedb/surdata/disease.php?dcontent=old&ds=71&fbclid=IwAR17In9lkiH4B-aJPV-JBeVJyzza6g-DdndGn-t09uct_yWcPcqApyBgfFw. เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2561
- [3] en.wikipedia.org// Jacobian matrix.// [Online]. Available :https://en.wikipedia.org/wiki/Jacobian_matrix_and_determinant. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2562
- [4] en.wikipedia.org// equilibrium point.// [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Equilibrium_point. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2562
- [5] กรมควบคุมโรค./ANNUAL EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE REPORT.// [Online]. Available : <http://203.157.15.110/boeeng/annual.php>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2561
- [6] Honestdocs./โรคมือเท้าปาก.// [Online]. Available :https://www.honestdocs.co/hand-foot-and-mouth-disease?fbclid=IwAR31yMlQAohGLDxAK6SDpazlQEXcnihb2ljWGfyQKE4OGPai9s_32TTvepQY. เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2561
- [7] รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทิพย์โยธา. 2559. คู่มือโปรแกรม Mathematica. เอกสารเผยแพร่เพื่อการศึกษาฉลอง 100 ปี. [Online]. Available :http://www.math.sc.chula.ac.th/~tdumrong/book/Mathematica_09Oct2016.pdf. เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2561