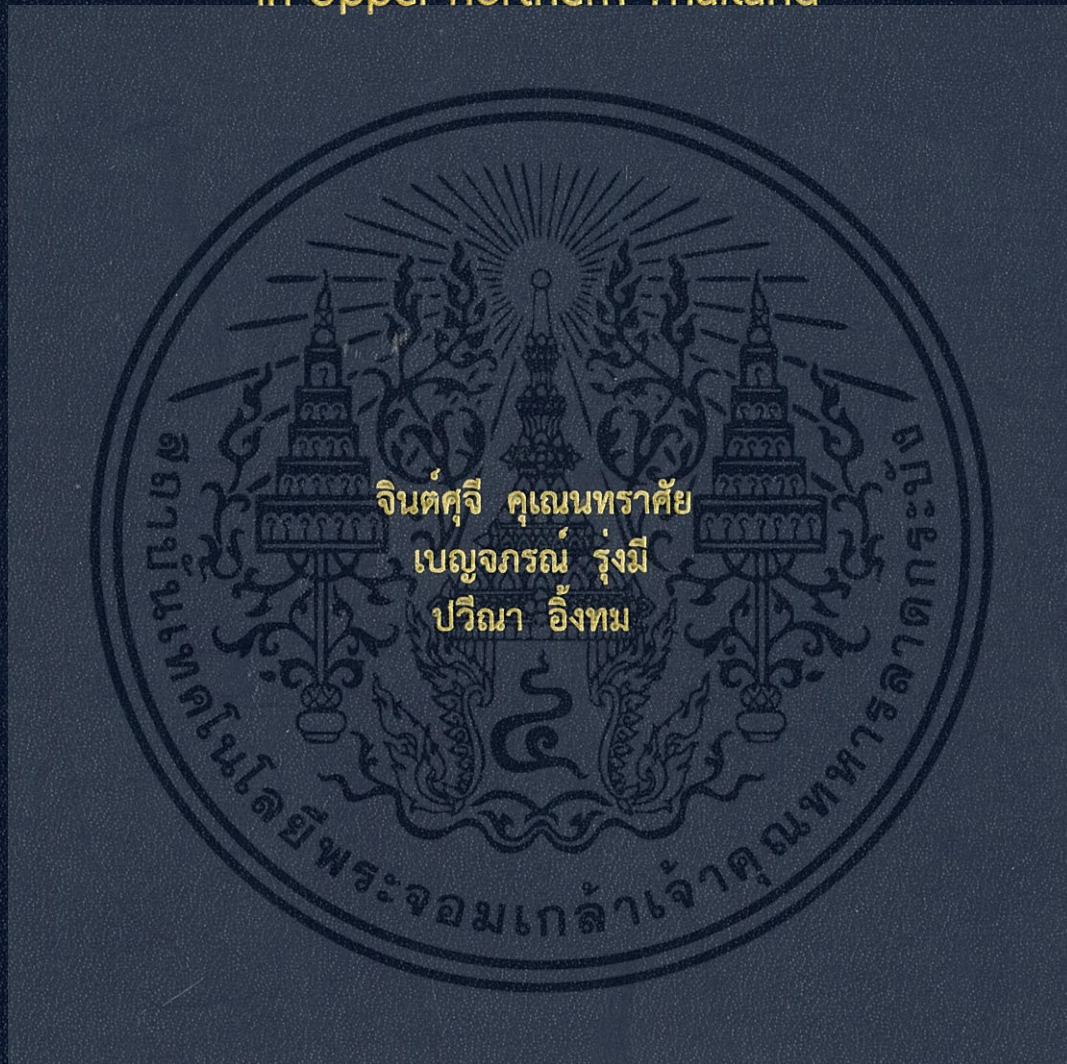


แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคหอบหืดจากหมอกควัน
ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Mathematical model of Asthma from Effect of Smog
in Upper northern Thailand



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคหอบหืดจากหมอกควัน
ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

Mathematical model of Asthma from Effect of Smog in
Upper northern Thailand



b. 00265445
i.

TB00132

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mathematical model of Asthma from Effect of Smog in Upper northern Thailand



Jinsujee Kunentrasai
Benjaporn Rungmee
Paweena Ingthom

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 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย
Mathematical model of Asthma from Effect of Smog in Upper northern Thailand

ชื่อนักศึกษา นางสาวจินต์ศุจี คุณเนนทราศัย รหัสนักศึกษา 56050021
นางสาวเบญจภรณ์ รุ่งมี รหัสนักศึกษา 56050074
นางสาวปวีณา อึ้งทม รหัสนักศึกษา 56050083

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ภาควิชา คณิตศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.เทิดขวัญ ช้างเผือก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|--|--|
| ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์ ประธานกรรมการ |  |
| ผศ.ดร.เดชา สมณะ กรรมการ |  |
| รศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |
| ดร.เทิดขวัญ ช้างเผือก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | | |
|-----------------------------|--|------------|--------------|----------|
| หัวข้อปัญหาพิเศษ | แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคหอบหืดจากหมอกควัน ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย Mathematical model of Asthma from Effect of Smog in Upper northern Thailand | | | |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวจินต์ศุจี | คุณนทราศัย | รหัสนักศึกษา | 56050021 |
| | นางสาวเบญจภรณ์ | รุ่งมี | รหัสนักศึกษา | 56050074 |
| | นางสาวปวีณา | อึ้งทม | รหัสนักศึกษา | 56050083 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์) | | | |
| ภาควิชา | คณิตศาสตร์ | | | |
| ปีการศึกษา | 2559 | | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รศ.ดร.พันธ์ พงศ์สัมพันธ์ | | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ดร.เทิดขวัญ ช่างเผือก | | | |

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการลดแนวโน้มของจำนวนผู้ที่เป็นโรคหอบหืดในประเทศไทย ผู้จัดทำได้นำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อนำไปเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมโรคหอบหืดในประเทศไทยต่อไป การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้จากการศึกษาสาเหตุต่างๆ ที่อาจทำให้เกิดโรคหอบหืด ผู้จัดทำได้พิจารณาลักษณะการแพร่กระจายของโรค ประชากรผู้ป่วยในแต่ละภาคและช่วงอายุตามรายปี แล้วจึงนำข้อมูลของผู้ป่วยและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลเฉลยเชิงตัวเลข ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถใช้เพื่อเป็นแนวทางการหาวิธีการลดจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดในประเทศไทย

คำสำคัญ : แบบจำลอง โรคหอบหืด ทฤษฎีการสร้างแบบจำลองเชิงพลวัต

| | | | |
|----------------------|---|------------|----------|
| Title | Mathematical model of Asthma from Effect of Smog in Upper northern Thailand | | |
| Students | Miss Jinsujee Kunentrasai | Student ID | 56050021 |
| | Miss Benjaporn Rungmee | Student ID | 55050074 |
| | Miss Paweena Ingthom | Student ID | 56050083 |
| Degree | Bachelor of Science (Applied 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 | Dr.Thurdkwan Changpuek | | |

Abstract

Aim of this special problem is to reduce the tendency of Asthma in Thailand. We use mathematical knowledge to formulate a mathematical model for Asthma. It should be useful for reducing the outbreak of Asthma in Thailand. Mathematical model is constructed by studying the cause of Asthma. We consider the distribution of this disease by region, year and age of patients. We find the analytical and numerical results of our model. The standard dynamical modeling theorem is used for analysis of our model. The results of our study could reduce the outbreak of this disease.

Keywords: Mathematical model, Asthma, standard dynamical modeling theorem

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งจะสำเร็จได้เนื่องจากได้รับคำแนะนำ และตอบคำถามต่างๆในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ปัญหาพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ รศ.ดร.พันธ์ณี พงศ์สัมพันธ์ และดร.เทิดขวัญ ช่างเผือก รวมทั้งคณะกรรมการสอบ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการปรับปรุงการทำปัญหาพิเศษนี้ และเป็นกำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาคคณิตศาสตร์ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอนและได้ประสาทวิชาความรู้ ทั้งในทฤษฎีและปฏิบัติแก่คณะผู้จัดทำ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ

ขอขอบพระคุณ สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค ในการให้ข้อมูลโรคหอบหืด ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำปัญหาพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุน ตลอดจนเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆเกี่ยวกับปัญหาพิเศษ จนกระทั่งสัมฤทธิ์ผลได้ด้วยดีทุกประการ

จินต์ศุจี คุณนทราศัย
เบญจภรณ์ รุ่งมี
ปวีณา อึ้งทม

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขต..... | 1 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 โรคหอบหืด..... | 4 |
| 2.2 ประวัติและความเป็นมา..... | 4 |
| 2.3 สาเหตุของการเกิดโรคหอบหืด..... | 4 |
| 2.3.1 ปัจจัยทางพันธุกรรม..... | 4 |
| 2.3.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม..... | 4 |
| 2.4 อาการของโรคหอบหืด..... | 5 |
| 2.5 การวินิจฉัยว่าเป็นโรคหอบหืด..... | 5 |
| 2.5.1 การตรวจสมรรถภาพปอดโดยการใช้เครื่องตรวจสมรรถภาพปอด (Spirometry)..... | 5 |
| 2.5.2 การวัดความผันผวนของค่าพีอีเอฟอาร์ (Peak flow variability)..... | 5 |
| 2.5.3 การวัดความไวของหลอดลมต่อสิ่งกระตุ้น (Bronchial provocation test)..... | 5 |
| 2.6 ระดับความรุนแรงของโรคหอบหืด..... | 6 |
| 2.7 แนวทางการรักษาผู้ป่วยโรคหอบหืด..... | 7 |
| 2.8 หลักการใช้ยาของผู้ป่วยโรคหอบหืด..... | 7 |
| 2.8.1 ยาที่ใช้เพื่อบรรเทาอาการจับหืด (reliever)..... | 7 |
| 2.8.2 ยาที่ใช้เพื่อควบคุมอาการ (controller)..... | 8 |
| 2.9 ตัวบ่งชี้ที่บ่งว่าอาการหอบหืดควบคุมได้ดี..... | 8 |
| 2.10 โรคหอบหืดกับการเกิดหมอกควันในภาคเหนือ..... | 8 |
| 2.10.1 สาเหตุของการเกิดหมอกควันทางภาคเหนือ..... | 8 |
| 2.10.2 สารพิษต่างๆที่อยู่ในควันไฟที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่เกิดเพลิงไหม้..... | 8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.10.3 | พื้นที่เสี่ยงการเกิดหมอกควัน..... | 9 |
| 2.10.4 | ผลกระทบจากหมอกควัน..... | 9 |
| 2.11 | การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... | 11 |
| 2.11.1 | แบบจำลอง..... | 11 |
| 2.11.2 | ประเภทแบบจำลอง (Model Classification)..... | 11 |
| 2.12 | แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)..... | 13 |
| 2.13 | บทนิยามและทฤษฎีบท..... | 15 |
| 2.13.1 | ค่าลักษณะเฉพาะ..... | 15 |
| 2.13.2 | พหุนามลักษณะเฉพาะ..... | 15 |
| 2.13.3 | การหาดีเทอร์มิแนนท์ของเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ | 15 |
| 2.13.4 | จาโคเบียนเมทริกซ์..... | 16 |
| 2.13.5 | จุดสมดุล..... | 16 |
| 2.13.6 | การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ..... | 17 |
| 2.13.7 | ทฤษฎีบท Routh-Hurwitz Criteria..... | 18 |
| 2.14 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 18 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | | 19 |
| 3.1 | การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... | 19 |
| 3.1.1 | แบ่งตามแต่ละจังหวัดทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย..... | 19 |
| 3.1.2 | แบ่งตามช่วงอายุ..... | 21 |
| 3.1.3 | แบ่งตามเพศ..... | 23 |
| 3.2 | การสร้างแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย..... | 25 |
| 3.3 | สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย..... | 27 |
| 3.4 | จุดสมดุล..... | 32 |
| 3.5 | ความเสถียรภาพของจุดสมดุล..... | 35 |
| 3.5.1 | แบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย..... | 35 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... | | 42 |
| 4.1 | ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข..... | 42 |
| 4.2 | ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Mathematica..... | 44 |
| 4.2.1 | ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคหอบหืดกรณี $S(0) = E(0) = I(0) = 100$ | 44 |
| 4.2.2 | ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคหอบหืดกรณี $S(0) = 150, E(0) = 100, I(0) = 50$ | 56 |
| 4.2.3 | ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคหอบหืดกรณี $S(0) = 100, E(0) = 50, I(0) = 150$ | 68 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3 ผลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลจริง..... | 80 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 82 |
| เอกสารอ้างอิง | 84 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ต่างๆของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย | 26 |
| 3.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย | 26 |
| 4.1 สัญลักษณ์แสดงค่าตัวแปร (variables) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย | 42 |
| 4.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย | 42 |
| 4.3 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.1-4.3..... | 47 |
| 4.4 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.4-4.6..... | 51 |
| 4.5 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.7-4.9..... | 55 |
| 4.6 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.10-4.12..... | 59 |
| 4.7 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.13-4.15..... | 63 |
| 4.8 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.16-4.18..... | 67 |
| 4.9 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.19-4.21..... | 71 |
| 4.10 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.22-4.24..... | 75 |
| 4.11 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.25-4.27..... | 79 |
| 4.12 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.28..... | 81 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยแบ่งตามแต่ละจังหวัดทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย..... | 19 |
| 3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยแบ่งตามช่วงอายุทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย | 21 |
| 3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยแบ่งตามเพศทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย..... | 23 |
| 3.4 แบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย | 25 |
| 3.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคหอบหืดของสมการ (3.1)..... | 27 |
| 3.6 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคหอบหืดของสมการ (3.2)..... | 29 |
| 3.7 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคหอบหืดของสมการ (3.3)..... | 30 |
| 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง..... | 44 |
| 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง | 45 |
| 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง | 46 |
| 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วย โรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง | 48 |
| 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด แล้วแสดงอาการ (β) ลดลง | 49 |
| 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด แล้วแสดงอาการ (β) ลดลง..... | 50 |
| 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็น ผู้เสี่ยง (γ_2) เพิ่มขึ้น | 52 |
| 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) เพิ่มขึ้น | 53 |
| 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) เพิ่มขึ้น | 54 |
| 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง..... | 56 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--|----|
| 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง..... | 57 |
| 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง | 58 |
| 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็น ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง | 60 |
| 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด แล้วแสดงอาการ (β) ลดลง..... | 61 |
| 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด แล้วแสดงอาการ (β) ลดลง..... | 62 |
| 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็น ผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง..... | 64 |
| 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง..... | 65 |
| 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง..... | 66 |
| 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง | 68 |
| 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง | 69 |
| 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง..... | 70 |
| 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วย โรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง..... | 72 |
| 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดง อาการ (β) ลดลง | 73 |

| | |
|---|----|
| 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดง อาการ (β) ลดลง | 74 |
| 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็น ผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง | 76 |
| 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง | 77 |
| 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง | 78 |
| 4.28 กราฟเปรียบเทียบอัตราของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ และอัตราของผู้ป่วยเป็นโรค หอบหืดแล้วแสดงการ..... | 80 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคหอบหืด หรือโรคหืด (asthma) จัดเป็นโรคความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจชนิดเรื้อรัง สามารถทำให้เกิดอันตรายขั้นรุนแรงถึงชีวิตแก่ผู้ป่วยได้โดยเฉพาะผู้ป่วยเด็ก หากได้รับการดูแลหรือรักษาที่ไม่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม โรคหืดยังเป็นปัญหาสาธารณสุขของทุกประเทศทั่วโลก เกิดได้กับประชากรทุกช่วงอายุและทุกเชื้อชาติ ดังนั้นจึงควรตระหนักถึงความสำคัญของโรคหอบหืดมากขึ้น

คณะผู้จัดทำจึงเห็นความสำคัญของโรคหอบหืดและได้ทำการศึกษาแนวโน้มการเกิดโรคในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 – 2558 (ค.ศ. 2011 – 2015) จากรายงานขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ในปี พ.ศ. 2548 พบว่าผู้ป่วยโรคหืดสูงถึงกว่าสามร้อยล้านคนและมีผู้เสียชีวิตจากโรคนี้อีก สองแสนสองหมื่นห้าพันคน โรคหืดยังพบได้บ่อยในผู้ป่วยเด็ก ในประเทศไทยอุบัติการณ์ของโรคหืดพบประมาณร้อยละ 4-13 ของประชากรทั้งหมด โรคหืดเป็นโรคที่มีสาเหตุทำให้คนไม่สามารถทำงานหรือดำเนินชีวิตได้ปกติ พบประมาณ 15 ล้านคนใน 1 ปี หรือประมาณร้อยละ 1 ของผู้ป่วยทั้งหมด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.) เพื่อศึกษาอัตราเพิ่ม-ลดผู้ป่วยในแต่ละปี ซึ่งแบ่งตามจังหวัด ช่วงอายุ และเพศของผู้ป่วยโรคหอบหืดทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย
- 2.) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคหอบหืด และยังใช้ไปเป็นตัวบ่งชี้วัดจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี อีกทั้งยังเป็นแนวทางหาวิธีป้องกันโรคและลดจำนวนผู้ป่วยต่อปี
- 3) เพื่อศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายลักษณะของผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อศึกษาจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทางภาคเหนือของประเทศไทย ระยะเวลาในการศึกษาอยู่ระหว่างปี พ.ศ.2554-2558

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) ได้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับโรคหอบหืด
- 2.) ได้ศึกษาแนวทางในการป้องกันโรคหอบหืด
- 3.) ได้ทราบแนวโน้มนำการเกิดโรคหอบหืดที่ได้จากการพยากรณ์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแนวทางในการลดอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืด
- 4.) เป็นแนวทางการวิจัยต่อในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคหอบหืด

โรคหอบหืด หรือหืด (Asthma) หมายถึงโรคที่มีการตีบแคบของหลอดลมเป็นพักๆ ซึ่งเกิดจากหลอดลมมีภาวะไวเกินต่อการกระตุ้นจากสิ่งต่างๆ เมื่อมีการกระตุ้นจะทำให้กล้ามเนื้อเรียบของหลอดลมหดเกร็ง มีการบวมของเยื่อ และเสมหะถูกหลั่งออกมามากกว่าปกติ สิ่งเหล่านี้ทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการหอบ เพื่อเอาชนะความต้านทานในทางเดินหายใจที่เพิ่มขึ้น อาการดังกล่าวอาจทุเลาลงได้เอง หรือทุเลาภายหลังได้รับการรักษา

2.2 ประวัติและความเป็นมา

โรคหอบหืด เป็นโรคที่มีสาเหตุมาจากภูมิแพ้ โดยสองในสามของผู้ป่วยโรคหอบหืดจะมีภาวะภูมิแพ้ร่วมอยู่ด้วย ซึ่งทั่วไปผู้ป่วยจะมีอาการไอในตอนเช้า และตอนกลางคืน คัดจมูก มีน้ำมูกไหล ในปัจจุบันพบว่าผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 10 จากประชากรทั้งหมด ในประเทศไทยคาดว่าผู้ป่วยโรคหอบหืดประมาณ 3 ล้านคน เสียชีวิต 1,000 กว่าคนต่อปี กว่า 70% ของผู้เสียชีวิตเนื่องจากการเดินทางมาถึงโรงพยาบาลช้าเกินไป โดยทั่วไปโรคหอบหืดเกิดจากอาการแพ้ฝุ่นละออง เกสรดอกไม้ หรือแม้แต่การแพ้อาหารทะเล ซึ่งขึ้นอยู่กับความไวในการตอบสนองสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย ในบางรายอาจรุนแรงมากทำให้เสียชีวิตได้ อาการของผู้ป่วยโรคหอบหืด เกิดจากการหดตัวของหลอดลมอย่างรุนแรงทำให้หลอดลมตีบ มีเสมหะที่เหนียวออกมา ผู้ป่วยจะหายใจลำบาก โดยเฉพาะเมื่อหายใจออกเกิดอาการเหนื่อยเวลาหายใจ เมื่ออาการหอบเพิ่มขึ้นเวลาหายใจจะมีเสียงดังวืดๆ เมื่อเป็นมากขึ้นจะเหนื่อยจนไม่สามารถหายใจเข้าออกได้ จนทำให้ถึงขั้นเสียชีวิตอย่างเฉียบพลัน หากไม่ได้รับการรักษาอย่างทันที่

2.3 สาเหตุของการเกิดโรคหอบหืด

เกิดจาก 2 ปัจจัย ร่วมกัน คือ

2.3.1 ปัจจัยทางพันธุกรรม

มียีนบางตัวที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมแล้วทำให้ผู้ป่วยมีโอกาสเป็นโรคหอบหืดได้มากกว่าคนทั่วไป ดังนั้นถ้ามีประวัติว่ามีญาติสายตรงในครอบครัว โดยเฉพาะพ่อแม่ พี่น้องป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้ว ผู้ป่วยก็มักจะมีโอกาสเป็นโรคนี้อีกเหมือนกันได้สูง

2.3.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

ถ้าเราได้รับปัจจัยกระตุ้นดังต่อไปนี้ จะทำให้มีโอกาสเป็นโรคหอบหืดมากขึ้น เช่น วัยเด็กมีการติดเชื้อในทางเดินหายใจบ่อยๆ (โดยเฉพาะการติดเชื้อไวรัสตัวหนึ่งที่ชื่อว่า RSV จะสัมพันธ์กับการเกิดโรคหอบหืดตามมาได้สูง), สูดดมควันบุหรี่, ได้รับสารกระตุ้นจากการทำงาน เช่น ควัน สารเคมีหรือฝุ่นแป้ง เป็นต้น (ในกลุ่มนี้จะเรียกว่า โรคหอบหืดจากการทำงาน)

2.4 อาการของโรคหอบหืด

อาการของโรคหอบหืด คือ หายใจลำบาก แน่นหน้าอก ไอ หายใจมีเสียงวี๊ดหรือเสียงฮืด อาการมักเกิดเป็นพักๆโดยอาจเกิดอาการเมื่อออกกำลังกายหรือทำงานหนัก หรือเป็นเวลานอนกลางดึกจึงเป็นโรคที่ทรมาณ ถ้าอาการมากจะมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยมากด้วย เมื่อสงสัยว่าจะเป็นโรคหอบหืดจึงควรไปพบแพทย์เพื่อรับการตรวจวินิจฉัยหาสาเหตุ ประเมินความรุนแรงของโรคและรับการรักษาอย่างต่อเนื่อง ถ้าผู้ป่วยไปพบแพทย์ได้ขณะที่กำลังมีอาการหอบหืด แพทย์สามารถให้การวินิจฉัยโดยการฟังเสียงหายใจจากปอดได้เลย แต่ถ้าไปตรวจขณะไม่มีอาการอาจต้องอาศัยการตรวจเพิ่มเติม หากอาการรุนแรงอาจทำให้เสียชีวิตได้จากสมองขาดออกซิเจน

2.5 การวินิจฉัยว่าเป็นโรคหอบหืด

แพทย์จะอาศัยการตรวจร่างกาย ตรวจฟังการหายใจจากหูฟัง เพื่อดูว่ามีหลอดลมตีบหรือไม่ ถ้ามีหลอดลมตีบแพทย์จะตรวจได้เสียงดังหวีดที่ทรวงอกทั้งสองข้าง แต่ส่วนมากอาจตรวจไม่พบความผิดปกติ เพราะจะได้ยินเสียงหวีดก็ต่อเมื่อหลอดลมตีบมากเท่านั้น การจะยืนยันว่าเป็นโรคหอบหืดต้องอาศัยการตรวจสมรรถภาพปอดซึ่งอาจทำได้โดย

2.5.1 การตรวจสมรรถภาพปอดโดยการใช้เครื่องตรวจสมรรถภาพปอด (Spirometry)

การตรวจสมรรถภาพปอดเป็นการตรวจที่ทำได้ไม่ยากและไม่เจ็บตัว โดยการให้ผู้ป่วยเป่าลมแรงๆเข้าไปในเครื่องตรวจสมรรถภาพปอด เครื่องจะวัดปริมาตรและความเร็วลมที่เป่าออกมา ถ้าหลอดลมตีบ ความเร็วลมที่เป่าออกมาจะลดลง ซึ่งถ้าพบว่ามีการอุดกั้นทางเดินหายใจ (หลอดลมตีบ) แล้วให้ผู้ป่วยพ่นยาขยายหลอดลม หลังจากนั้นตรวจความเร็วลมที่เป่าออกมาซ้ำ ค่าการตรวจความเร็วลมดีขึ้นมากกว่าเดิม 12% ก็สามารให้การวินิจฉัยว่าเป็นโรคหอบหืดได้ ซึ่งการตรวจสมรรถภาพปอดยังสามารถบอกได้ว่าผู้ป่วยมีหลอดลมตีบเล็กน้อยเพียง

2.5.2 การวัดความผันผวนของค่าพีอีเอฟอาร์ (Peak flow variability)

โดยใช้เครื่องวัดความเร็วของลมสูงสุดที่คโพล์มิเตอร์ วิธีการตรวจคือ ให้ผู้ป่วยวัดค่าพีอีเอฟอาร์ เข้าและเย็นเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจดบันทึกมามอบให้แพทย์ แล้วแพทย์นำมาคำนวณหาค่าความผันผวน ซึ่งมีวิธีคำนวณได้หลายแบบขึ้นกับดุลพินิจของแพทย์ ในคนปกติหลอดลมไม่ค่อยจะหดขยายมากนัก ดังนั้นความผันผวนจะน้อยกว่า 20% แต่หลอดลมผู้ป่วยโรคหืดจะหดขยายอยู่เรื่อยๆทำให้ค่าความผันผวนของพีอีเอฟอาร์มากกว่า 20% ดังนั้นถ้าวัดความผันผวนของค่าพีอีเอฟอาร์ได้มากกว่า 20% ก็ถือว่าเป็นโรคหอบหืดได้

2.5.3 การวัดความไวของหลอดลมต่อสิ่งกระตุ้น (Bronchial provocation test)

บางครั้งผู้ป่วยไม่มีอาการหอบ การตรวจสมรรถภาพปอดอาจอยู่ในเกณฑ์ปกติ ทำให้วินิจฉัยโรคหอบหืดไม่ได้ ในกรณีเช่นนี้แพทย์จะวินิจฉัยโรคหืดได้โดยการวัดความไวของหลอดลมต่อสิ่งกระตุ้นเพราะผู้ป่วยโรคหืดจะมีหลอดลมที่ไวต่อสิ่งกระตุ้นมากกว่าคนปกติ วิธีการวัดความไวของหลอดลมทำได้ไม่ยาก โดยให้ผู้ป่วยเป่าลมในการตรวจสมรรถภาพปอด แล้วให้สูดดมสารกระตุ้นเช่น สารเมธาโคลีน (Methacholine) หลังจากนั้นวัดค่าการเป่าลมซ้ำแล้วค่อยๆเพิ่มความเข้มข้นของสารกระตุ้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าเป่าลมลดลง 20% ซึ่งแพทย์จะแปลผลและวินิจฉัยโรคหืดได้จากการนำค่าสมรรถภาพปอดที่ลดลงและขนาดของสารกระตุ้นมาเขียนเป็นรูปกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระดับของความรุนแรงของโรคหอบหืด

โดยทั่วไป นิยมแบ่งชั้นความรุนแรงของโรคหอบหืด ดังนี้

ระดับขั้น 1 ผู้ป่วยที่มีอาการนานๆครั้ง Mild Intermittent

อาการที่แสดงก่อนรักษา

- หอบแต่ละครั้งไม่นาน 2-3 ชั่วโมง
- อาการหอบกลางวันน้อยกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์
- ช่วงที่ไม่หอบจะไม่มีอาการและสมรรถภาพปกติ
- อาการหอบหืดกลางคืนน้อยกว่าเดือนละ 2 ครั้ง

ระดับขั้น 2 โรคหืดระดับรุนแรงน้อย Mild Persistent

อาการที่แสดงก่อนรักษา

- อาการหอบกลางวันมากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ แต่น้อยกว่า 1 ครั้งต่อวัน
- อาการหอบแต่ละครั้งมีผลต่อการนอน หรือ การทำงาน
- หอบในเวลากลางคืนมากกว่า 2 ครั้งต่อเดือน

ระดับขั้น 3 โรคหืดระดับรุนแรงปานกลาง Moderate Persistent

อาการที่แสดงก่อนรักษา

- อาการหอบหืดทุกวัน
- อาการหอบแต่ละครั้งมีผลต่อการนอน หรือ การทำงาน
- ใช้ยาพ่นทุกวัน
- หอบในเวลากลางคืนมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์

ระดับขั้น 4 โรคหืดระดับรุนแรงมาก Severe Persistent

อาการที่แสดงก่อนรักษา

- อาการหอบตลอดเวลา
- หอบบ่อยมากกิจกรรมต่างๆถูกจำกัดด้วยอาการหอบ
- อาการหอบกลางคืนบ่อยมาก

2.7 แนวทางการรักษาผู้ป่วยโรคหอบหืด

1.) ผู้ป่วยและญาติต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับโรคหอบหืดและยารักษาโรค เพื่อให้เกิดความร่วมมือกับแพทย์ในการรักษา สิ่งสำคัญที่ผู้ป่วยต้องเข้าใจก็คือ โรคหอบหืดเป็นโรคที่มีการอักเสบของหลอดลมทำให้หลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้น เมื่อเจอสิ่งกระตุ้นหลอดลมจึงตีบ ดังนั้นการรักษาโรคหืดไม่ใช่การรักษาหลอดลมตีบ แต่เป็นการรักษาหลอดลมอักเสบซึ่งต้องใช้เวลาในการรักษานาน ซึ่งผู้ป่วยส่วนมากจะไม่เข้าใจ และผู้ป่วยต้องเข้าใจว่ายารักษาโรคหืดจะแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ ยารักษาโรคหืด คือ ยาพ่นสเตียรอยด์ซึ่งลดการอักเสบ และยาขยายหลอดลมซึ่งใช้เพื่อบรรเทาอาการหอบ

2.) ผู้ป่วยจะต้องหลีกเลี่ยงสิ่งกระตุ้นที่ทำให้หอบ สิ่งสำคัญคือสารก่อภูมิแพ้เช่น ฝุ่นบ้าน ไร ฝุ่นและขนสัตว์

3.) ผู้ป่วยจะต้องรู้จักการประเมินโรค การประเมินโรคอาศัยอาการหอบอย่างเดียวไม่พอ จะต้องมีการประเมินสมรรถภาพปอดด้วย เพราะว่าหลอดลมที่ตีบไม่มากผู้ป่วยอาจจะไม่มีอาการ ผู้ป่วยจะมีอาการต่อเมื่อหลอดลมตีบมาก ดังนั้นถ้ารอแค่อาการเราจะประเมินโรคต่ำกว่าที่ควร ให้การรักษาต่ำกว่าที่ควร ผู้ป่วยอาจจะหาซื้อเครื่องวัดความเร็วสูงสุดของลมที่เป่าออกที่เรียกว่า พิค โพลว์ มิเตอร์ (Peak Flow Meter) แล้วก็จะสามารถประเมินโรคได้ดีขึ้น

2.8 หลักการใช้ยาของผู้ป่วยโรคหอบหืด

ในกรณีที่ผู้ป่วยยังมีการจับหืดอยู่ ยาที่เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการรักษาโรคหอบหืด ยาที่ใช้ในการรักษาโรคหืด แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามการออกฤทธิ์ของยา

2.8.1 ยาที่ใช้เพื่อบรรเทาอาการจับหืด (reliever)

ควรพกติดตัวและใช้เมื่อมีอาการทันที ยาขยายหลอดลมเป็นยาที่ใช้เมื่อมีอาการหอบหืด และควรหยุดใช้เมื่อไม่มีอาการแล้ว ส่วนใหญ่ยาที่ใช้ในกรณีนี้มักเป็นยาที่มีฤทธิ์ขยายหลอดลมที่มีระยะเวลาการออกฤทธิ์สั้น ตัวอย่างเช่น ยาซาลบูตามอล (salbutamol) ยาเทอร์บูทาลีน (terbutaline) เป็นต้น ยาขยายหลอดลมทั้ง 2 ตัวยานี้ มีทั้งที่เป็นรูปแบบ ชนิดสูด (inhaler) และชนิดเม็ด (tablet) แต่ชนิดที่ออกฤทธิ์ ได้เร็วที่สุด คือชนิดสูดซึ่งมีระยะเวลาการออกฤทธิ์ภายใน 5 นาทีหลังการสูดยา ซึ่งเป็นข้อดีที่ตัวยาดำเนินทางตามการ สูดจากปากเข้าสู่หลอดลม ออกฤทธิ์โดยตรงต่อปอดได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย ในขณะที่ยาขยายหลอดลมในรูปแบบชนิดเม็ดจะมีระยะเวลาการออกฤทธิ์ประมาณ ๓๐ นาที หลังจากการกินยา เพราะตัวยาคงต้องเดินทาง ผ่านทางเดินอาหารเข้าสู่กระแสเลือดแล้วจึงเดินทาง ไปออกฤทธิ์ขยายหลอดลมที่ปอด จึงเสียเวลาและใช้ปริมาณ ยาที่มากกว่า แต่มีความปลอดภัยน้อยกว่า ดังนั้น ยาขยายหลอดลมชนิดสูดจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการรักษาอาการจับหืด แต่ในการซื้อหาต้องซื้อ ทั้งชุด ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์และตัวยาที่สามารถใช้ได้ประมาณ 200 ครั้ง หรือเทียบเท่ากับยาจำนวนประมาณ 200 เม็ด จึงเป็นเงินจำนวน มากพอสมควร ไม่เหมือนกับยาเม็ดที่สามารถซื้อหากี่เม็ดก็ได้ตามต้องการ ผู้ป่วยโรคหืดควรพกยาชนิดที่หนึ่งนี้ติดตัวอยู่เสมอ เมื่อใดที่เริ่มมีอาการจับหืดจะได้หยิบใช้ได้ทันทีและช่วยบรรเทาอาการได้อย่างรวดเร็ว ถ้าอาการยังไม่หายดีก็อาจสูดเพิ่มเติมได้อีก 1-2 ครั้ง เมื่อหายดีแล้วก็ให้หยุดยาได้เลย แต่ถ้าอาการไม่ดีขึ้น หรือในทางตรงกันข้ามอาการอาจลุกลามรุนแรงมากขึ้น จะแนะนำให้ไปพบแพทย์ได้ทันทีเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ยาที่ใช้เพื่อควบคุมอาการ (controller)

ควรใช้ยาอย่างต่อเนื่อง ไม่ควรหยุดยาเอง ผู้ป่วยที่ใช้ยา กลุ่มนี้จะต้องเป็นผู้ป่วยที่มีโอกาสที่จะจับหืดได้บ่อย รุนแรงหรือในรายที่มีอาการเรื้อรัง ถ้าผู้ป่วยที่มีอาการเล็กน้อย หรือนานๆ ครั้ง และไม่รุนแรง ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ยากลุ่มนี้ เพราะยากลุ่มนี้เป็นยาที่มีฤทธิ์ยับยั้งการอักเสบหรือตีบตัวของหลอดลมจึงคอยควบคุมอาการไม่ให้จับหืด แต่ไม่มีฤทธิ์ขยายหลอดลมหรือใช้เมื่อมีการจับหืดแล้วไม่ได้ผล

2.9 ตัวบ่งชี้ที่บ่งว่าอาการหอบหืดคุมได้ดี

- 1.) ผู้ป่วยมีอาการในช่วงกลางวันน้อยกว่า 4 ครั้ง ต่อสัปดาห์
- 2.) มีอาการในช่วงกลางคืนน้อยกว่า 1 ครั้งต่อ สัปดาห์
- 3.) จำเป็นต้องใช้ยาขยายหลอดลมน้อยกว่า 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์
- 4.) ไม่มีมีการขาดงานหรือขาดเรียนเนื่องจากการหอบ
- 5.) สามารถทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายได้ปกติ

2.10 โรคหอบหืดกับการเกิดหมอกควันในภาคเหนือ

2.10.1 สาเหตุของการเกิดหมอกควันทางภาคเหนือ

หมอกควันมีสาเหตุเกิดจากการเผาไหม้ ที่สำคัญคือ การเกิดไฟป่าจำนวนหลายครั้ง ทั้งภายในประเทศและจากประเทศเพื่อนบ้าน การเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกในช่วงฤดูฝน การเผาพื้นที่ เพื่อประโยชน์ต่อการเก็บเห็ดเผาะ และผักหวาน การเผาขยะชุมชน และการก่อไฟให้ความอบอุ่น การเผาไหม้ เหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กและก๊าซอันตรายต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ในบรรยากาศ และแพร่กระจายไปยังบริเวณชุมชน มลพิษหมอกควันทางภาคเหนือจัดเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศ ประกอบกับสภาพภูมิประเทศ ที่เป็นแอ่งกระทะ และสภาพภูมิอากาศในช่วงฤดูหนาวที่มีความกดอากาศสูง สภาพอากาศนิ่งและแห้งเป็น เวลานาน ทำให้มีการสะสมของสารมลพิษเหล่านี้ในบรรยากาศสูงเกินมาตรฐาน

2.10.2 สารพิษต่างๆที่อยู่ในควันไฟที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่เกิดเพลิงไหม้ ที่สำคัญ เช่น

2.10.2.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CARBON MONOXIDE) เป็นแก๊สพิษที่มี

อันตรายอย่างสูงต่อคนและเกิดขึ้นได้มากเสมอในการเผาไหม้ในบริเวณจำกัด อันตรายต่อคน คือ ถ้าผสมอยู่ในอากาศคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ถ้าเกิน 0.05% มีอันตราย ถ้ามีอยู่ 0.16% ทำให้หมดสติ ใน 2 ชั่วโมง ถ้ามีอยู่ 1.26% จะหมดสติภายใน 1 ถึง 3 นาที ของการหายใจและอาจถึงชีวิตได้นอกจากความเป็นพิษแล้ว แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ยังเป็นแก๊สเชื้อเพลิงอีกด้วย เมื่อมีความเข้มข้นในอากาศสูง ๆ สามารถลุกไหม้และเกิดการระเบิดได้อย่างรุนแรง เพลิงไหม้ในบริเวณที่โล่งแจ้งจะมีอันตรายจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยลงไป

2.10.2.2 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CARBON DIOXIDE) เกิดจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แบบไม่เป็นเชื้อเพลิง และไม่ก่ออันตรายแก่ร่างกายโดยตรง แต่จะไม่ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน ถ้าแก๊สนี้มีความเข้มข้นในอากาศเกินกว่า 5.0% โดยปริมาตร จะมีอันตรายและทำให้ผู้สูดดมหมดสติได้

2.10.2.3 แก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HYDROGEN CYANIDE) เป็นแก๊สพิษที่มีความรุนแรงมากกว่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มาก ส่วนผสมในอากาศ 100 ppm. มีผลให้ผู้สูดดมหมดสติและเสียชีวิตได้ในเวลา 30-60 นาที แก๊สนี้เกิดจากการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีองค์ประกอบของคลอรีน เช่น พลาสติก ยาง เส้นใย ขนสัตว์ หนังสือ ไม้ หรือผ้าไหม เป็นแก๊สที่เบากว่าอากาศ จึงมีอันตรายมากในการเผาไหม้ในอาคารหรือบริเวณจำกัดต่าง ๆ

2.10.2.4 เเขม่าและควันไฟ (SOOT AND SMOKE) เเขม่า คือ ก้อนหรือเศษของวัสดุที่ยังเผาไหม้ไม่หมด จะมีลักษณะเป็นผงหรือละออง ส่วน ควันไฟ เป็นสารผสมระหว่างเขม่า ขี้เถ้า และวัสดุต่าง ๆ ที่เกิดมาจากกองเพลิง รวมทั้งพวกแก๊สและไอต่าง ๆ ด้วย ผลของเขม่าและควันไฟ คือทำให้ผู้ป่วยสำลักและอาจถูกเผาที่ผิวหนังหรือตามตัว รวมทั้งปิดบังทางออกต่าง ๆ ทำให้หนีออกจากบริเวณอันตรายไม่ได้

2.10.3 พื้นที่เสี่ยงการเกิดหมอกควัน

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในประเทศไทย กระจายครอบคลุมบริเวณกว้างในภาคเหนือ และภาคตะวันตก ไฟป่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนมากเกิดขึ้นจากการเผาอาจมีสาเหตุมาจากการเผาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรของชาวบ้านและขาดความระมัดระวัง จึงลุกลามเข้าสู่แนวป่า

2.10.4 ผลกระทบจากหมอกควัน

ปัญหาการเผาป่าส่งผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นด้านการท่องเที่ยว สังคม เศรษฐกิจ ซึ่งทำให้จำนวนนักท่องเที่ยวลดลง และยังส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนที่ต้อง ทนใช้ชีวิตท่ามกลางมลพิษ ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมของทุกปีพื้นที่ในภาคเหนือ ตอนบนมักจะประสบกับปัญหาหมอกควันปกคลุม ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ของภาคเหนือ ตอนบนเป็นภูเขาสลับซับซ้อน ลักษณะเป็นแอ่งกระทะ มีภูเขาล้อมรอบ โดยเฉพาะจังหวัด เชียงใหม่, เชียงราย, ลำปาง, ลำพูน, น่าน, แพร่, แม่ฮ่องสอน และพะเยา ทำให้เป็นโรค เกี่ยวกับทางเดินหายใจเพิ่มมากขึ้น

2.10.4.1 ผลกระทบต่อประชาชน

ปัญหาหมอกควันจากหมอกควันและฝุ่นละอองในอากาศที่เกิดขึ้นในเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคมในช่วง 4 - 5 ปี ที่ผ่านมา ได้ส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของจังหวัดเชียงใหม่ สร้างความสูญเสียต่อเศรษฐกิจการท่องเที่ยวกว่า 2,000 ล้านบาท และทำให้มีผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจเพิ่มมากขึ้น ได้แก่โรคหอบหืดและโรคมะเร็งปอด จากการวิจัยของนายแพทย์พงศ์เทพ วิวรรณระเดช คณะแพทยศาสตร์ มช. ปัญหาหมอกควันทางภาคเหนือของประเทศในปี พ.ศ. 2550 แนวโน้มความรุนแรงของปัญหาหมอกควันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 29 มกราคม 2550 สถานี

ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย และศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ สูงเกินมาตรฐาน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณฝุ่นและหมอกควันอยู่ในระดับที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ กรมควบคุมมลพิษจึงออกประกาศให้หลีกเลี่ยงการอยู่นอกอาคารเป็นเวลานาน และงดออกกำลังกายในที่โล่ง โดยเฉพาะเด็ก ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยทางเดินหายใจ และหืดหอบ ในปี พ.ศ. 2555 แนวโน้มความรุนแรงของปัญหาหมอกควันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตั้งแต่ 1 มกราคม และสภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเป็นครั้งแรกในวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2555 ตามค่ามาตรฐาน PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยก่อนหน้าวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2555 ในบางช่วงบางเวลามีค่าฝุ่นละอองในอากาศมากกว่า 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งถือว่าสูงมากจัดอยู่ในขั้นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งพบในหลายพื้นที่ของ 8 จังหวัดภาคเหนือ ส่งผลให้ยอดผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลพุ่งสูงขึ้น โดยระหว่างวันที่ 1-7 มีนาคม 2555 ในโรงพยาบาล 87 แห่ง มีรายงานผู้ป่วยเข้ารับการรักษาใน 4 กลุ่มโรค ได้แก่ กลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือด 23,685 ราย กลุ่มโรคทางเดินหายใจทุกชนิด 24,837 ราย กลุ่มโรคตาอักเสบ 2,265 ราย และกลุ่มโรคผิวหนังอักเสบ 2,610 ราย

2.10.4.2 ผลกระทบด้านการท่องเที่ยว

จากการรายงานสถานการณ์หมอกควันภาคเหนือตอนบนที่ส่งผลกระทบต่อ การท่องเที่ยว พบว่ามีผลต่อเศรษฐกิจภาคเหนือเป็นอย่างมาก ดังนี้

1. จำนวนนักท่องเที่ยว จากปัญหาหมอกควันทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็น ต่ำกว่า 2,000 เมตร เครื่องบินไม่สามารถร่อนลงจอดสนามบินได้โดยเฉพาะที่จังหวัด แม่ฮ่องสอน ทำให้มีการยกเลิกเที่ยวบินไป-กลับจังหวัดแม่ฮ่องสอนในเดือนมีนาคม 2550 จำนวน 42 เที่ยวบิน จากปกติ 226 เที่ยวบิน เหลือเพียง 184 เที่ยวบิน

2. ด้านธุรกิจที่เกี่ยวกับการท่องเที่ยวได้รับผลกระทบจากปัญหาหมอกควันและการประกาศให้จังหวัดเชียงใหม่และแม่ฮ่องสอนเป็นพื้นที่เขตภัยพิบัติ ส่งผลให้นักท่องเที่ยวบางส่วนเลี่ยงไปท่องเที่ยวแหล่งอื่น เช่น จังหวัดชายทะเล เป็นต้น จากการสอบถามธุรกิจโรงแรมใน 4 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ได้แก่จังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง เชียงราย และแม่ฮ่องสอน พบว่าธุรกิจโรงแรมส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจาก ปัญหาหมอกควันโดยเฉพาะในกลุ่มโรงแรมที่ประกอบด้วยชาวต่างประเทศ ส่วน โรงแรมที่มีลูกค้าหลักเป็นชาวไทยได้รับผลกระทบบ้างโดยมีอัตราการยกเลิกห้องพัก ประมาณร้อยละ 10 ทุกรายก็ดี กลุ่มนักท่องเที่ยวที่วางแผนเดินทางท่องเที่ยวล่วงหน้าไว้แล้วยังคงเข้ามาท่องเที่ยวตามปกติประกอบกับมีการจัดประชุมสัมมนา ส่งผลให้อัตราการเข้าพักโดยรวมของภาคเหนือ

2.11 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.11.1 แบบจำลอง

แบบจำลอง หมายถึง สัญลักษณ์ที่ใช้จำลองข้อเท็จจริงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ แบบจำลองประกอบไปด้วย แผนภาพชนิดต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นแต่ละมุมมองของระบบ

แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญที่ช่วยให้การสื่อสารระหว่างบุคคลทุกฝ่าย มีความถูกต้องตรงกันมากขึ้นเนื่องจากแบบจำลองประกอบไปด้วยรูปภาพสัญลักษณ์ต่างๆ มากมายที่จะเป็นตัวแทนที่แสดงให้เห็นการทำงานของระบบหรือแสดงให้เห็นหน้าที่ของระบบรวมถึงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองเป็นสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ทั้งในด้านระบบและซอฟต์แวร์ สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการของระบบในด้านต่างๆ ได้อย่างชัดเจนว่าทำหน้าที่อะไรและอย่างไรและเนื่องจากเอกสารข้อกำหนดความต้องการเป็นเครื่องมือที่ใช้หรือลูกค้านำมาประเมินระบบหรือซอฟต์แวร์เพื่อพิจารณาอนุมัติให้นำมาใช้งานได้ ดังนั้น ข้อกำหนดความต้องการหรือรายละเอียดของระบบ (System Description) แบบจำลองการวิเคราะห์ (Analysis Model) และแบบจำลองของการออกแบบ (Design Model) จึงมีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง

แบบจำลองตามแนวเชิงโครงสร้าง

สำหรับแนวทางเชิงโครงสร้าง จะพิจารณากระบวนการทำงานกับข้อมูลของระบบ แยกออกจากกัน ดังนั้น แบบจำลองที่จะต้องสร้าง จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1. แบบจำลองกระบวนการ (Process Model) ใช้จำลองขั้นตอนการทำงานของระบบ แผนภาพที่ใช้ คือ แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) หมายถึง แผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลของข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ จากกระบวนการทำงานหนึ่งไปกระบวนการทำงานหนึ่ง หรือไปยังส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นแหล่งจัดเก็บข้อมูล (Data Store) หรือผู้เกี่ยวข้องที่อยู่นอกระบบ (External Agent)

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

2.11.2 ประเภทของแบบจำลอง (Model Classification)

แบบจำลองมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน พอที่จะจำแนกประเภทได้คร่าวๆ ดังนี้

1. แบบจำลองเชิงเปรียบเทียบ (Analogue Model) เป็นแบบจำลองเชิงกายภาพ ส่วนใหญ่ใช้ในด้านวิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองโครงสร้างอะตอม สร้างขึ้นโดยใช้หลักการเปรียบเทียบโครงสร้างของแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะที่คล้ายกันทางกายภาพ สอดคล้องกับข้อมูลและความรู้ที่มีอยู่ในขณะนั้นด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้นต้องมืองค์ประกอบชัดเจนสามารถนำไปทดสอบด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์ได้และสามารถนำไปใช้ทำการหาข้อสรุป

ของปรากฏการณ์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น แบบจำลองจำนวนนักเรียนในโรงเรียนสร้างขึ้นโดยเปรียบเทียบกับลักษณะถึงน้ำที่ประกอบด้วยท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกปริมาณน้ำที่ไหลเข้าถึงเปรียบเทียบกับจำนวนนักเรียนที่เข้าโรงเรียนประกอบด้วยอัตราการเกิด, อัตราการย้ายเข้า, อัตราการรับเด็กอายุต่ำกว่าเกณฑ์ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลออกเปรียบเทียบกับจำนวนนักเรียนที่ออกจากโรงเรียน เนื่องจากพันเกณฑ์การศึกษา การย้ายออก การจบการศึกษาสำหรับปริมาณน้ำที่เหลือในถังเปรียบเทียบกับจำนวนนักเรียนที่เหลืออยู่ในโรงเรียน เป็นต้น จุดมุ่งหมายของแบบจำลองแบบนี้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงจำนวนนักเรียนในโรงเรียน

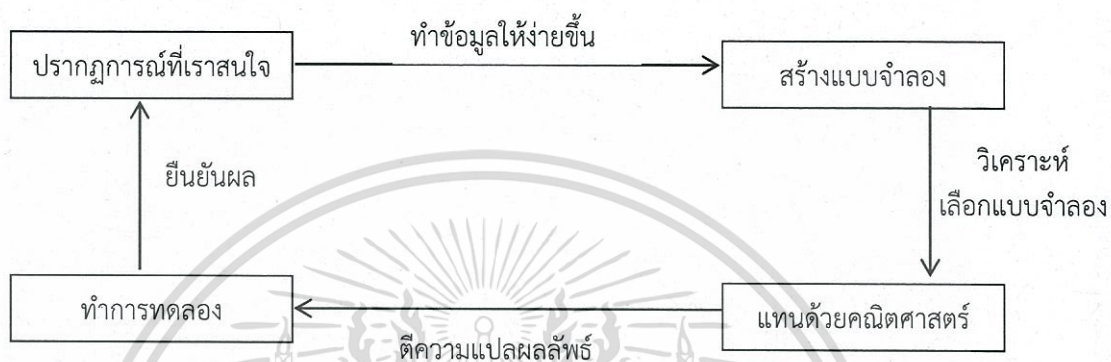
2. แบบจำลองเชิงอธิบาย (Semantic Model) เป็นแบบจำลองที่ใช้ภาษาเป็นสื่อในการบรรยายหรืออธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาด้วยภาษา, แผนภูมิ หรือรูปภาพ เพื่อให้เห็นแนวคิดโครงสร้าง องค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ เช่น แบบจำลองการเรียนรู้ เป็นต้น

3. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหรือตัวแปรต่างๆ โดยใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ เดิมแบบจำลองนี้ใช้กับศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์แต่ปัจจุบันมีแนวโน้มในการนำไปใช้ด้านพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์เพิ่มขึ้นรวมทั้งการศึกษาด้วยโดยเฉพาะในการวัดผลการศึกษาแบบจำลองแบบนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์และสร้างเป็นทฤษฎีเพราะสามารถทดสอบสมมุติฐานได้ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มักพัฒนามาจากแบบจำลองเชิงอธิบาย

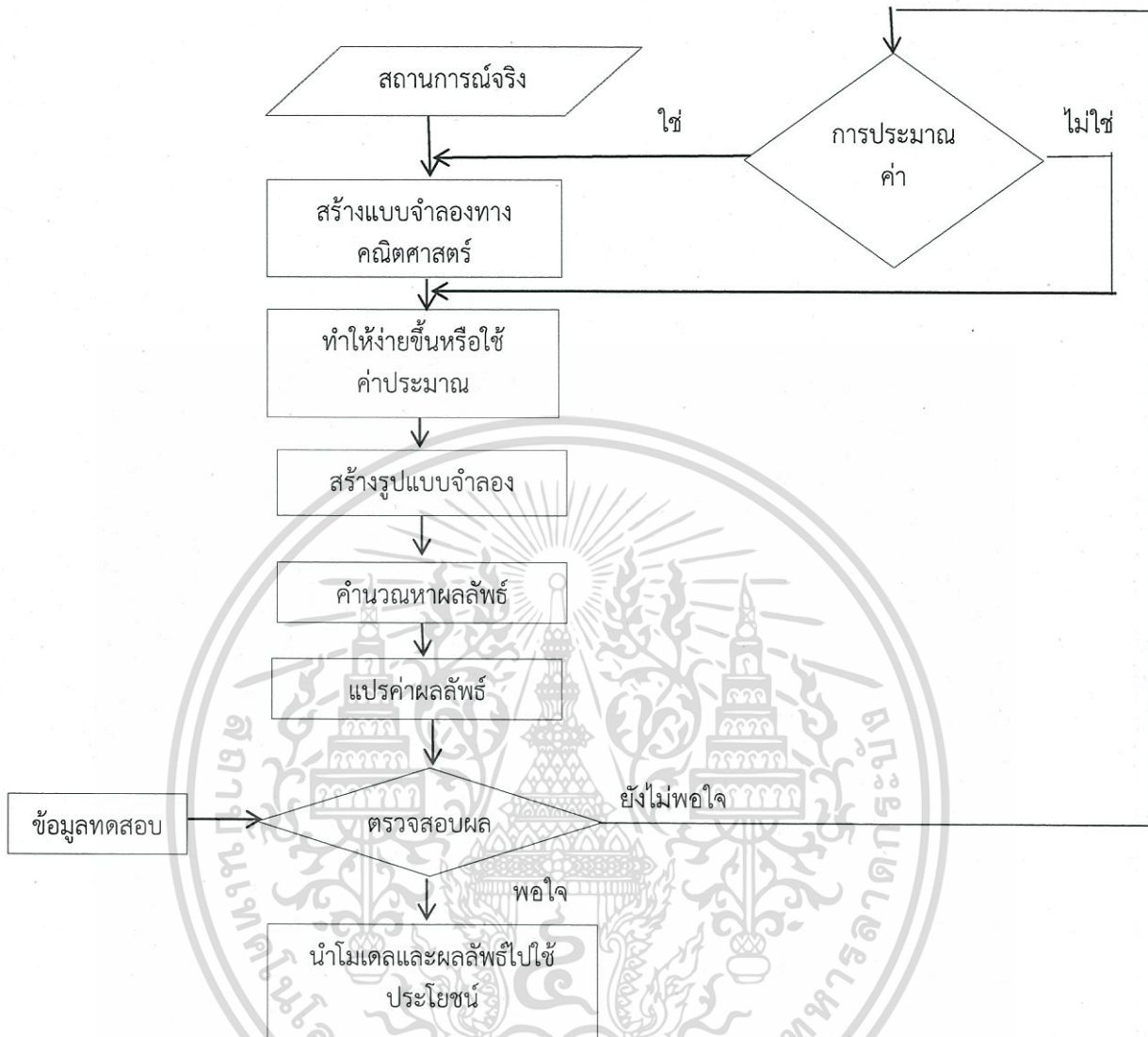
4. แบบจำลองเชิงเหตุผล (Causal Model) เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองเชิงอธิบาย โดยการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis) มาใช้ปัจจุบันมีการนำแบบจำลองนี้มาใช้ในการวิจัยทางการศึกษามากขึ้นแบบจำลองแบบนี้จะเป็นการนำเอาตัวแปรมาเขียนเป็นสัญลักษณ์หรือคำย่อแล้วใช้เส้นตรงและลูกศรแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในเชิงเหตุและผลเช่น แบบจำลองการเรียนรู้ของผู้เรียนสติปัญญาของผู้เรียนมีผลมาจากสภาพทางเศรษฐกิจของพ่อแม่และสิ่งแวดล้อมที่บ้าน เป็นต้นแบบจำลองดังกล่าวสามารถกำหนดเป็นกรอบในการรวบรวมข้อมูลในสภาพที่เป็นจริงเพื่อทดสอบแบบจำลองได้ด้วย

2.12 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

แบบจำลองในปรากฏการณ์ต่างๆ เราสนใจการทำนายของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงได้ เช่น ตัวเลขของประชากร หรือ ประชากรเชื้อโรค ซึ่งเราสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยวางแผนได้ในอนาคต แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ นั้นทำได้โดยการนำข้อมูลจริงที่เราสนใจ นำมาสรุปเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.1 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนของการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 นิยามที่เกี่ยวข้อง

2.13.1 ค่าลักษณะเฉพาะ

ให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และ λ เป็นจำนวนจริง เรียกว่า ค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) ของ A ก็ต่อเมื่อ มีเวกเตอร์แนวตั้ง X ใน R^n ที่ไม่เป็นศูนย์ ซึ่งทำให้ $AX = \lambda X$

เวกเตอร์ X เรียกว่า เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Eigenvector) ของ A ที่สมนัยกับ λ ค่าลักษณะเฉพาะ อาจใช้คำว่า characteristic values และเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ อาจใช้คำว่า characteristic vectors จากสมการ $AX = \lambda X$ สามารถจัดใหม่เป็น

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

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

2.13.2 พหุนามลักษณะเฉพาะ

พหุนามลักษณะเฉพาะ (characteristic polynomial) ของเมทริกซ์ A ขนาด $n \times n$ ถูกกำหนดโดย $c_A(x) = \det(xI - A)$

ทฤษฎีบทให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ ค่าลักษณะเฉพาะของ A เป็นรากที่เป็นจำนวนจริงของพหุนามลักษณะเฉพาะของ A นั่นคือ มีจำนวนจริง λ ที่สอดคล้องกับสมการ $c_A(x) = \det(xI - A) = 0$

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

2.13.3 การหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ขนาด $n \times n$

การหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ สามารถทำได้โดยวิธีที่เรียกว่า “การกระจายโดยโคแฟกเตอร์”

ทฤษฎีให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และให้ M_{ij} เป็นเมทริกซ์ที่เกิดจากการตัดแถวที่ i และหลักที่ j ของ A ออก และเรียก $\det M_{ij}$ ว่า ไมเนอร์ (Minor) ของ a_{ij} และเรียก $A_{ij} = (-1)^{i+j} \det M_{ij}$ ว่า โคแฟกเตอร์ (Cofactor) ของ a_{ij}

2.13.4 จาคอเบียนเมทริกซ์

ให้ $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ และ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันเวกเตอร์ของ x โดยที่ $f(x) = [f_1(x), f_2(x), f_3(x) \dots f_m(x)]^T$ ดังนั้น อนุพันธ์ของ $f(x)$ เทียบกับ x จะเรียกว่า จาคอเบียนเมทริกซ์ (Jacobian matrix) หรือ จาคอเบียน $f(x)$

$$\text{นิยามโดย } J_f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial f_2(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_3(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial f_3(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial f_m(x)}{\partial x_2} & \frac{\partial f_m(x)}{\partial x_3} & \dots & \frac{\partial f_m(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

2.13.5 จุดสมดุล

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

$$\frac{dX_e}{dt} = f(t, X_e)$$

เมื่อ $f(t, X_e) = 0$ สำหรับทุกๆ $t \geq t^*$ แสดงว่า X_e เป็นจุดสมดุลของ $f(t, X_e)$ ที่ t^*

ความเสถียรภาพของจุดสมดุล (stable of equilibrium point)

พิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) ที่ได้จากการหา $\det(\lambda I - J_f) = 0$

ดังนี้

1. ถ้าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นลบ แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นมีความเสถียรภาพ (stable)
2. ถ้าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายต่างกัน แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นเป็นจุดอานม้า (saddle point)
3. ถ้าลักษณะเฉพาะ λ แต่ละตัวมีเครื่องหมายเป็นบวก แล้วจะได้ว่าจุดสมดุลจุดนั้นไม่มีความเสถียรภาพ (unstable)

2.13.6 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ

2.13.6.1 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง

สมการผลต่างไม่เชิงเส้น คือ สมการที่อยู่ในรูปของ $x_{n+1} = f(x_n, x_{n-1}, \dots)$ เมื่อ x_n คือ ค่าของ x ในลำดับที่ n และ f เป็นฟังก์ชันของการทำซ้ำๆกัน ผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ ซึ่งเมื่อ \bar{X} ถูกกำหนดให้ค่าสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน คือ

$$X_{n+1} = X_n = \bar{X}$$

ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในลำดับที่ n ถึงลำดับที่ $n+1$ จากสมการที่อยู่ในรูป $X_{n+1} = f(X_n)$ จะมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นอีก คือ

$$\bar{X} = f(\bar{X})$$

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

2.13.6.2 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง

การหาจุดสมดุลของระบบสมการ หาได้โดยพิจารณาแบบจำลองที่มีรูปแบบ

ดังนี้

$$\frac{dx_1}{dt} = F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

⋮

$$\frac{dx_n}{dt} = F_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

(2.1)

ผลเฉลยจุดสมดุลของระบบสมการนี้ สามารถหาได้จากการจับสมการทุกสมการของ (2.1) เท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

$$F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

⋮

$$F_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$$

2.13.7 ทฤษฎีบท Routh-Hurwitz Criteria

พิจารณาสมการพหุนามอันดับ n

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

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

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

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

$$H_j = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & \dots & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & a_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{2j-1} & a_{2j-2} & a_{2j-3} & a_{2j-4} & \dots & a_j \end{bmatrix} \dots H_k = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_k \end{bmatrix}$$

โดยที่ สมาชิกในเมทริกซ์ H_j มีเงื่อนไขดังนี้

$$\begin{aligned} a_{2l-m} & \text{ สำหรับ } 0 < 2l - m < k, \\ 1 & \text{ สำหรับ } 2l = m, \\ 0 & \text{ สำหรับ } 2l < m \text{ หรือ } 2l > k + m \end{aligned}$$

จะได้ว่า รากคำตอบทั้งหมดของ $P(\lambda)$ เป็นจำนวนจริงติดลบหรือส่วนจริงติดลบ ก็ต่อเมื่อ $\det H_j > 0, j = 1, 2, \dots, k$

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี คศ.2009 ผู้แต่ง Ram Naresh และ Agraj Tripathi

ได้จะสำรวจแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่เชิงเส้นเพื่อศึกษาการแพร่กระจายของโรคหอบหืด เนื่องจากการสูดดมมลพิษจากการทำอุตสาหกรรมและจากควันบุหรี่ของผู้สูบบุหรี่ ซึ่งจะใช้รูปแบบการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีความเสถียรของสมการเชิงอนุพันธ์และใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองค่า แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นของมลพิษในอากาศและการเพิ่มขึ้นของประชากรโรคหอบหืด โดยที่มลพิษในสิ่งแวดล้อม และการสูบบุหรี่ นั้นทำให้โรคหอบหืดแพร่กระจาย นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เสี่ยงและผู้สูบบุหรี่ทำให้การแพร่กระจายของโรคหอบหืดสูงขึ้น

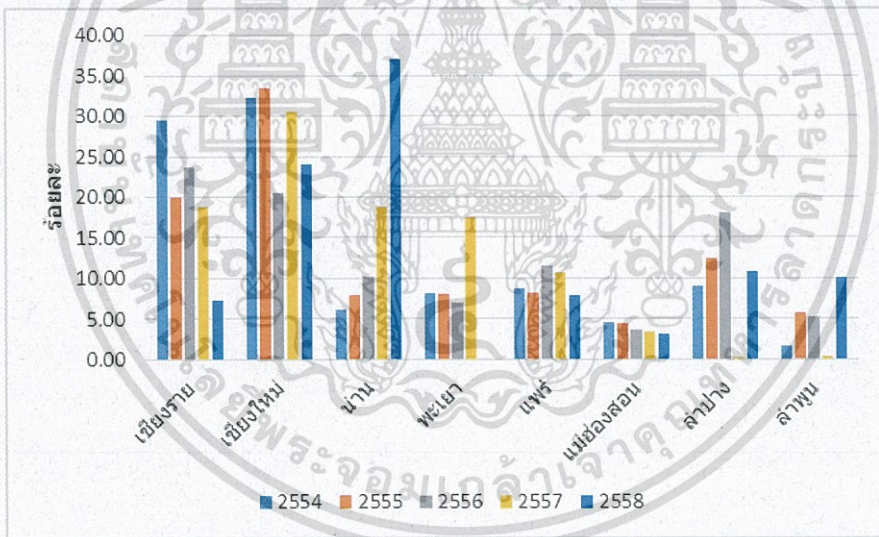
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.1.1 แบ่งตามแต่ละจังหวัดทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย มี 8 จังหวัดดังนี้

- 1.) เชียงราย
- 2.) เชียงใหม่
- 3.) น่าน
- 4.) พะเยา
- 5.) แพร่
- 6.) แม่ฮ่องสอน
- 7.) ลำปาง
- 8.) ลำพูน



หมายเหตุ ปี 2558 จังหวัดพะเยาไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค (<http://www.boe.moph.go.th/>)

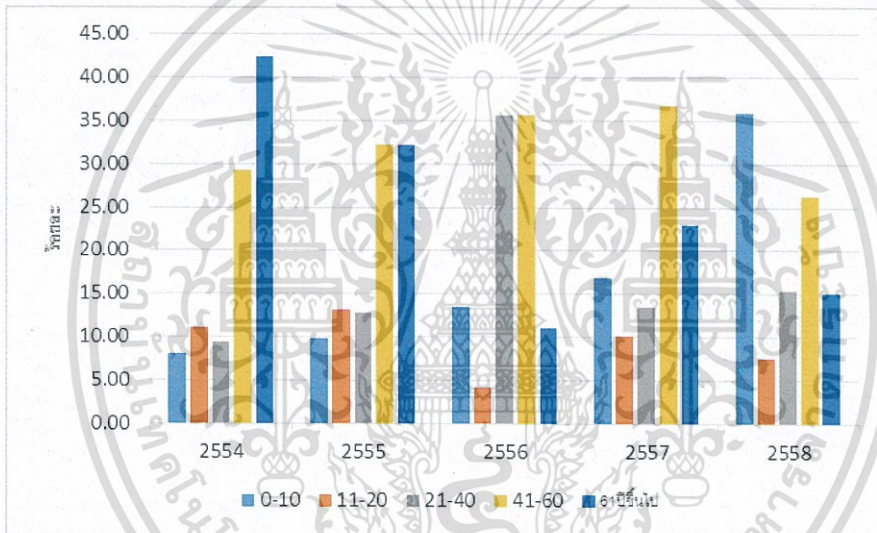
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยแบ่งตามแต่ละจังหวัดทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย

- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 16482 คน จังหวัดที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เชียงใหม่(ร้อยละ 32.19) รองลงมา เชียงราย(ร้อยละ 29.50), ลำปาง(ร้อยละ 9.02), แพร่(ร้อยละ 8.82), พะเยา(ร้อยละ 8.22) น่าน(ร้อยละ 6.09), แม่ฮ่องสอน(ร้อยละ 4.55), และลำพูน(ร้อยละ 1.61) ตามลำดับ
- ปี 2555 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 40123 คน จังหวัดที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เชียงใหม่(ร้อยละ 33.45) รองลงมา เชียงราย(ร้อยละ 19.89), ลำปาง(ร้อยละ 12.43), แพร่(ร้อยละ 8.18), พะเยา(ร้อยละ 7.97), น่าน(ร้อยละ 7.96), ลำพูน(ร้อยละ 5.74), และ แม่ฮ่องสอน(ร้อยละ 4.37) ตามลำดับ
- ปี 2556 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 244 คน จังหวัดที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เชียงราย(ร้อยละ 23.77) รองลงมา เชียงใหม่(ร้อยละ 20.49), ลำปาง(ร้อยละ 18.03), แพร่(ร้อยละ 11.48), น่าน(ร้อยละ 10.25), พะเยา(ร้อยละ 6.97), ลำพูน(ร้อยละ 5.33), และ แม่ฮ่องสอน(ร้อยละ 3.69) ตามลำดับ
- ปี 2557 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 8455 คน จังหวัดที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เชียงใหม่(ร้อยละ 30.53) รองลงมา เชียงราย(ร้อยละ 18.84), น่าน(ร้อยละ 18.75), พะเยา(ร้อยละ 17.45), แพร่(ร้อยละ 10.69), แม่ฮ่องสอน(ร้อยละ 3.43), ลำพูน(ร้อยละ 0.31) และลำปาง(ร้อยละ 0.01) ตามลำดับ
- ปี 2558 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 848 คน จังหวัดที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ น่าน(ร้อยละ 37.03) รองลงมา เชียงใหม่(ร้อยละ 23.94), ลำปาง(ร้อยละ 10.73), ลำพูน(ร้อยละ 10.02), แพร่(ร้อยละ 7.90), เชียงราย(ร้อยละ 7.31), และ แม่ฮ่องสอน(ร้อยละ 3.07) ตามลำดับ

สรุป จากกราฟจะเห็นว่าจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และน่าน มีอัตราผู้ป่วยสูงสุดเนื่องจากปัญหาหมอกควัน อาจมีสาเหตุมาจากการเผาป่าเพื่อเก็บของป่าและข้อมูลที่ได้นั้นอาจไม่สมบูรณ์เนื่องจากสาธารณสุขอาจจะเข้าไม่ถึง หรือการเดินทางไปโรงพยาบาลนั้นอาจจะลำบาก จึงทำให้ไม่มีการเก็บข้อมูล

3.1.2 แบ่งตามช่วงอายุ

- 1.) อายุ 0-10 ปี
- 2.) อายุ 11-20 ปี
- 3.) อายุ 21-30 ปี
- 4.) อายุ 31-40 ปี
- 5.) อายุ 41-50 ปี
- 6.) อายุ 51-60 ปี
- 7.) อายุ 61-70 ปี
- 8.) อายุ 71-80 ปี
- 9.) อายุ 80 ปี ขึ้นไป



ที่มา: สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค (<http://www.boe.moph.go.th/>)

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยแบ่งตามช่วงอายุทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย

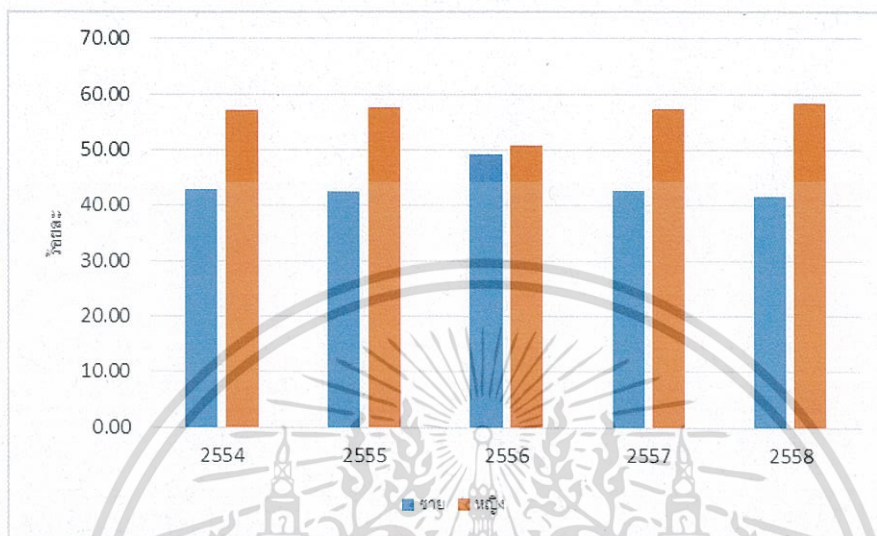
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 16482 คน ช่วงอายุที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ 61ปีขึ้นไป (ร้อยละ 42.45) รองลงมา คือช่วงอายุ 41-60 ปี (ร้อยละ 29.23), 11-20 ปี (ร้อยละ 11.01), 21-40 ปี (ร้อยละ 9.34) และ 0-10 ปี (ร้อยละ 4.20) ตามลำดับ
- ปี 2555 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 40123 คน ช่วงอายุที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ 41-60 ปี (ร้อยละ 32.26) รองลงมา คือช่วงอายุ 61ปีขึ้นไป (ร้อยละ 32.25), 11-20 ปี (ร้อยละ 13.01), 21-40 ปี (ร้อยละ 12.72) และ 0-10 ปี (ร้อยละ 9.76) ตามลำดับ
- ปี 2556 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 244 คน ช่วงอายุที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ 21-40ปี (ร้อยละ 35.66) รองลงมา 41-60 ปี (ร้อยละ 35.66), 0-10ปี (ร้อยละ 13.52), ช่วงอายุ 61 ปีขึ้นไป (ร้อยละ 11.07) และ 11-20 ปี (ร้อยละ 4.10) ตามลำดับ
- ปี 2557 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 8455 คน ช่วงอายุที่มีผู้ป่วยมากที่สุดคือ 41-60 ปี (ร้อยละ 36.76) รองลงมา คือ ช่วงอายุ 61 ปีขึ้นไป (ร้อยละ 22.92) 0-10 ปี (ร้อยละ 16.81), 21-40 ปี (ร้อยละ 13.51) และ 11-20 ปี (ร้อยละ 10.01), ตามลำดับ
- ปี 2558 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 848 คน ช่วงอายุที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ 0-10 ปี (ร้อยละ 35.85) รองลงมา 41-60 ปี (ร้อยละ 26.30), 21-40 ปี (ร้อยละ 15.33), 61 ปีขึ้นไป (ร้อยละ 15.09), 31-40 ปี (ร้อยละ 8.25) และ 11-20 ปี (ร้อยละ 7.43) ตามลำดับ

สรุป จะเห็นว่าช่วงอายุที่มีผู้ป่วยมากที่สุดคือ 61 ปีขึ้นไป รองลงมา 41-60 ปี และ 0-10 ปี ตามลำดับ จะเห็นว่า โรคนี้พบได้บ่อยในคนทุกวัย ส่วนใหญ่มีอาการในวัยกลางคนอายุ 41-60 ปี ผู้สูงอายุ 61 ปีขึ้นไปและเด็ก 0-10 ปี

3.1.3 แบ่งตามเพศ

- 1.) เพศหญิง
- 2.) เพศชาย



ที่มา: สำนักโรคติดต่อวิทยา กรมควบคุมโรค (<http://www.boe.moph.go.th/>)

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยแบ่งตามเพศทางภาคเหนือตอนบนประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 16482 คน เพศที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เพศหญิง(ร้อยละ 57.09) รองลงมา เพศชาย(ร้อยละ 42.91)
- ปี 2555 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 40123 คน เพศที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เพศหญิง(ร้อยละ 57.59) รองลงมา เพศชาย(ร้อยละ 42.41)
- ปี 2556 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 244 คน เพศที่มีผู้ป่วยมากที่สุดคือ เพศหญิง(ร้อยละ 50.82) รองลงมา เพศชาย(ร้อยละ 42.41)
- ปี 2557 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 8455 คน เพศที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เพศหญิง(ร้อยละ 57.35) รองลงมา เพศชาย(ร้อยละ 42.65)
- ปี 2558 จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดทั้งหมด 848 คน เพศที่มีผู้ป่วยมากที่สุด คือ เพศหญิง(ร้อยละ 58.25) รองลงมา เพศชาย(ร้อยละ 41.75)

สรุป จากข้อมูลข้างต้นพบว่าผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดจะพบมากในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย

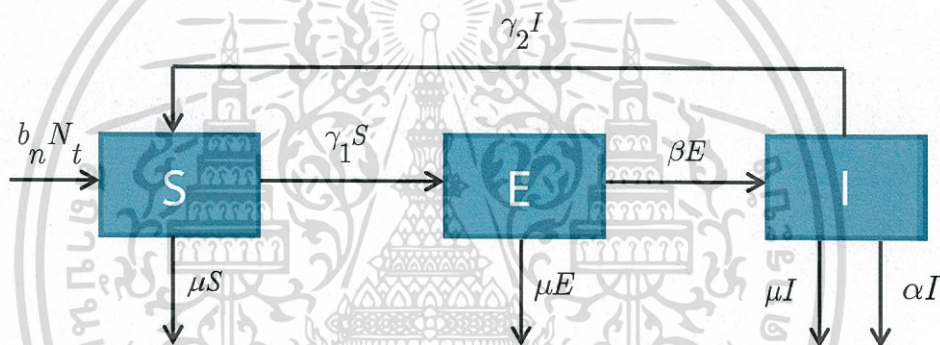


3.2 การสร้างแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ในปัญหาพิเศษนี้ผู้จัดทำจะนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งจำนวนประชากรมีขนาดไม่คงที่ โดยแบ่งประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1.) กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นโรคหอบหืดจากหมอกควัน แทนด้วย S
- 2.) กลุ่มประชากรที่ป่วยเป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ แทนด้วย E
- 3.) กลุ่มประชากรที่ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ แทนด้วย I

สำหรับแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย กำหนดให้กลุ่มประชากรที่เป็นโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมีแบบจำลองดังนี้



รูปที่ 3.4 แบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ต่างๆของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|-----------|--|-------|
| S | จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน | คน |
| E | จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ | คน |
| I | จำนวนกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ | คน |
| N | จำนวนประชากรทั้งหมด $= S + E + I$ | คน |

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|------------|---|--------------------------------|
| b_n | อัตราของประชากรที่เกิดใหม่ | ต่อคนต่อวัน |
| N_t | จำนวนประชากรทั้งหมด | คน |
| γ_1 | อัตราประชากรที่ได้รับหมอกควัน | ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อคน |
| γ_2 | อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง | ต่อคนต่อวัน |
| β | อัตราที่ผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ | ต่อคนต่อวัน |
| μ | อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ | ต่อคนต่อวัน |
| α | อัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด | ต่อคนต่อวัน |

คำอธิบายแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

อัตราของประชากรที่เกิดใหม่เพิ่มเข้ามาให้จัดอยู่ในประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด และประชากรกลุ่มเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นจากกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ และจำนวนของประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจะลดจำนวนลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และเปลี่ยนไปเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ ทำให้ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ มีจำนวนเพิ่มขึ้นและจะลดจำนวนลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ จนกระทั่งเปลี่ยนไปเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ ทำให้ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ มีจำนวนเพิ่มขึ้นและจะลดจำนวนลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ เมื่อกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดได้รับการรักษา ทำให้มีประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ มีจำนวนลดลงแต่ไม่สามารถหายป่วยได้และสามารถกลับไปเป็นผู้เสี่ยงใหม่ได้ และกลุ่มประชากรของผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติหรือเสียชีวิตจากการเป็นโรคหอบหืด

3.3 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

3.3.1 แบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

$$\frac{dS}{dt} = b_n N_t + \gamma_2 I - \gamma_1 S - \mu S \quad (3.1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \gamma_1 S - \beta E - \mu E \quad (3.2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta E - \gamma_2 I - \alpha I - \mu I \quad (3.3)$$

อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยได้ดังนี้

จากสมการ (3.1) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด โดยที่

$b_n N_t$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดด้วย

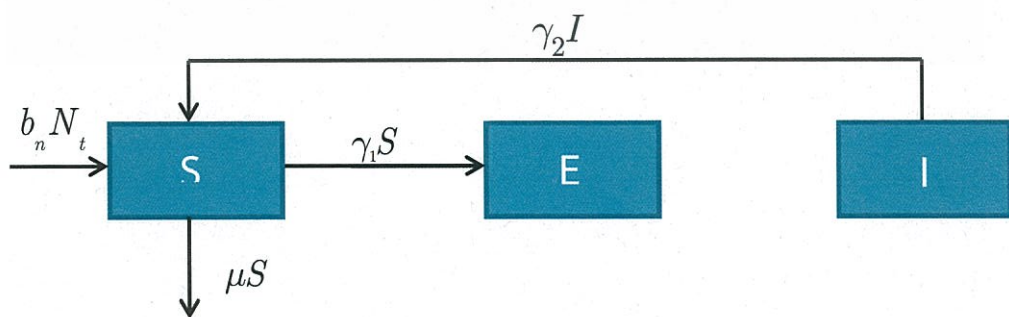
อัตรา b_n

$\gamma_2 I$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ I

และกลายเป็นกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดด้วยอัตรา γ_2

$-\gamma_1 S$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด S และกลายเป็นกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการด้วยอัตรา γ_1

$-\mu S$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด S ที่เสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา μ



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคหอบหืดของสมการ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด ดังแผนภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

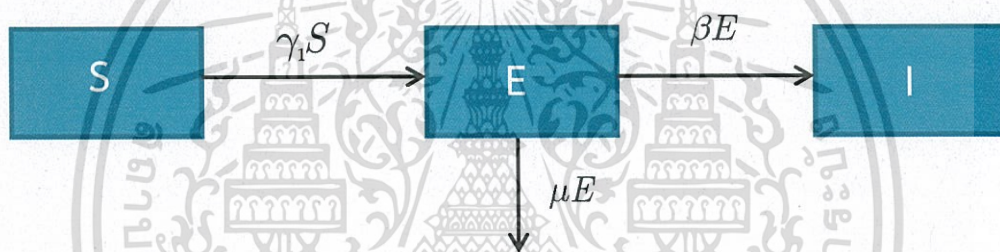
จากสมการ (3.2) $\frac{dE}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ป่วยเป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ โดยที่

$\gamma_1 S$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ E โดยจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด S เพิ่มเข้ามาเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ ด้วยอัตรา γ_1

$-\beta E$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ E กลายเป็นกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการด้วยอัตรา β

$-\mu E$ หมายถึง การลดลงของประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ E ที่เสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา μ

โดยที่เครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ ดังแผนภาพ



รูปที่ 3.6 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคหอบหืดของสมการ (3.2)

จากสมการ (3.3) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืด แล้วแสดงอาการ โดยที่

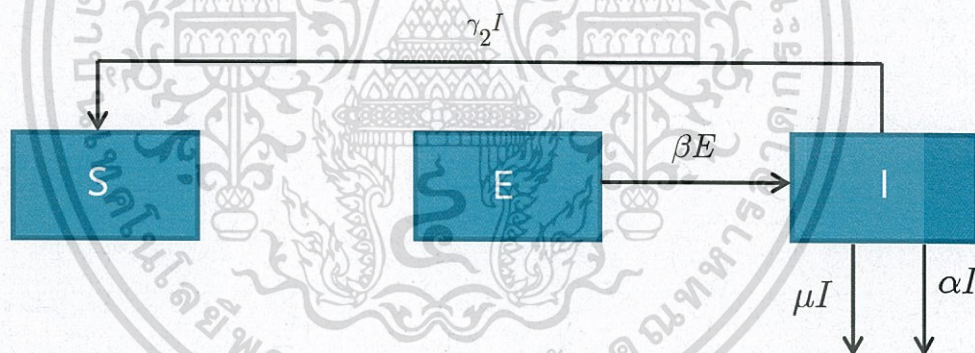
βE หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ E โดยจำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ E เพิ่มเข้ามาเป็นกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ I ด้วยอัตรา β

$-\gamma_2 I$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ I โดยจำนวนประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ I กลับไปเป็นกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด S ด้วยอัตรา γ_2

$-\alpha I$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ I ที่เสียชีวิตด้วยโรคหอบหืดด้วยอัตรา α

$-\mu I$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ I ที่เสียชีวิตธรรมดาโดยด้วยอัตรา μ

ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ ดังแผนภาพ



รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคหอบหืดของสมการ (3.3)

เขียนสมการ (3.1) – (3.3) ในรูปประโยคสัญลักษณ์ได้ ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดต่อวัน (S)

= อัตราของจำนวนประชากรที่เกิดใหม่ต่อวัน

+ จำนวนของประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการและเปลี่ยนไปเป็นประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดต่อวัน

- จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการต่อวัน

- จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วเสียชีวิตโดยธรรมชาติต่อวัน

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการต่อวัน (E)

= จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการต่อวัน

- จำนวนของประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดและแสดงอาการต่อวัน

- จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการเสียชีวิตโดยธรรมชาติต่อวัน

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I)

= จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการต่อวัน

- จำนวนของประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ และเปลี่ยนไปเป็นประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดต่อวัน

- จำนวนประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการที่เสียชีวิตด้วยโรคหอบหืดต่อวัน

- จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการที่เสียชีวิตโดยธรรมชาติต่อวัน

3.4 จุดสมดุล

3.4.1 จากเงื่อนไขระบบสมการของแบบจำลองโรคหอบหืดจากจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

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

หาจุดสมดุลของระบบสมการ

ให้ S^*, E^*, I^* เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ (3.1) - (3.3)

จะแก้ระบบสมการเพื่อหาค่า S^*, E^*, I^*

$$b_n N_t + \gamma_2 I^* - \gamma_1 S^* - \mu S^* = 0 \quad (3.4)$$

$$\gamma_1 S^* - \beta E^* - \mu E^* = 0 \quad (3.5)$$

$$\beta E^* - \gamma_2 I^* - \alpha I^* - \mu I^* = 0 \quad (3.6)$$

จากสมการ (3.6) จะได้

$$\beta E^* - \gamma_2 I^* - \alpha I^* - \mu I^* = 0$$

$$\beta E^* = \gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*$$

$$E^* = \frac{\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*}{\beta} \quad (3.7)$$

จากสมการ (3.5) จะได้

$$\gamma_1 S^* - \beta E^* - \mu E^* = 0$$

$$\gamma_1 S^* = \beta E^* + \mu E^*$$

$$S^* = \frac{\beta E^* + \mu E^*}{\gamma_1} \quad (3.8)$$

จากสมการ (3.4) จะได้

$$b_n N_t + \gamma_2 I^* - \gamma_1 S^* - \mu S^* = 0$$

$$\gamma_2 I^* - \gamma_1 S^* - \mu S^* = -b_n N_t$$

$$\gamma_2 I^* = -b_n N_t + \gamma_1 S^* + \mu S^*$$

$$I^* = \frac{-b_n N_t + \gamma_1 S^* + \mu S^*}{\gamma_2} \quad (3.9)$$

แทนค่า S^* ใน (3.9)

$$I^* = \frac{-b_n N_i + \gamma_1 \left(\frac{\beta E^* + \mu E^*}{\gamma_1} \right) + \mu \left(\frac{\beta E^* + \mu E^*}{\gamma_1} \right)}{\gamma_2}$$

$$\gamma_2 I^* = -b_n N_i + \beta E^* + \mu E^* + \mu \left(\frac{\beta E^* + \mu E^*}{\gamma_1} \right)$$

$$\gamma_2 I^* = \frac{-b_n N_i \gamma_1 + \gamma_1 E^* (\beta + \mu) + \mu E^* (\beta + \mu)}{\gamma_1}$$

$$\gamma_1 \gamma_2 I^* = -b_n N_i \gamma_1 + \gamma_1 E^* (\beta + \mu) + \mu E^* (\beta + \mu) \quad (3.10)$$

แทนค่า E^* ใน (3.10)

$$\gamma_1 \gamma_2 I^* = -b_n N_i \gamma_1 + \gamma_1 \left(\frac{\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*}{\beta} \right) (\beta + \mu) + \mu \left(\frac{\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*}{\beta} \right) (\beta + \mu)$$

$$\frac{\beta \gamma_1 \gamma_2 I^* - \gamma_1 (\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*) (\beta + \mu) - \mu (\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*) (\beta + \mu)}{\beta} = -b_n N_i \gamma_1$$

$$\beta \gamma_1 \gamma_2 I^* - \gamma_1 (\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*) (\beta + \mu) - \mu (\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*) (\beta + \mu) = -b_n N_i \gamma_1 \beta$$

$$\beta \gamma_1 \gamma_2 I^* - I^* (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) = -b_n N_i \gamma_1 \beta$$

$$I^* (-\beta \gamma_1 \gamma_2 + (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu)) = b_n N_i \gamma_1 \beta$$

$$I^* = \frac{b_n N_i \gamma_1 \beta}{(-\beta \gamma_1 \gamma_2 + (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu))}$$

$$I^* = \frac{b_n N_i \gamma_1 \beta}{(-\beta \gamma_1 \gamma_2 + \beta \gamma_1 \gamma_2 + \alpha \beta \gamma_1 + \beta \gamma_1 \mu + \gamma_1 \gamma_2 \mu + \alpha \mu \gamma_1 + \gamma_1 \mu^2 + \beta \mu \gamma_2 + \alpha \beta \mu + \beta \mu^2 + \gamma_2 \mu^2 + \alpha \mu^2 + \mu^3)}$$

$$I^* = \frac{b_n N_i \gamma_1 \beta}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

แทนค่า I^* ใน (3.7)

$$E^* = \frac{\gamma_2 I^* + \alpha I^* + \mu I^*}{\beta}$$

$$E^* = \frac{I^* (\gamma_2 + \alpha + \mu)}{\beta}$$

$$E^* = \frac{b_n N_i \gamma_1 \beta}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu)) (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu)}$$

$$E^* = \frac{b_n N_i \gamma_1 (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า E^* ใน (3.8)

$$S^* = \frac{b_n N_t \gamma_1 (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

$$S^* = \frac{b_n N_t (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

จุดสมดุลของสมการ S^*, E^*, I^* คือ

$$S^* = \frac{b_n N_t (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

$$E^* = \frac{b_n N_t \gamma_1 (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

$$I^* = \frac{b_n N_t \gamma_1 \beta}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

ในทำนองเดียวกัน ใช้โปรแกรม Wolfram Mathematica ช่วยในการแก้ระบบสมการเพื่อหาค่า S^*, E^*, I^* จะได้

$$S^* = \frac{b_n N_t (\gamma_2 + \alpha + \mu) (\beta + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

$$E^* = \frac{b_n N_t \gamma_1 (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu)}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

$$I^* = \frac{b_n N_t \gamma_1 \beta}{\alpha (\beta + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \mu ((\gamma_2 + \mu) (\gamma_1 + \mu) + \beta (\gamma_2 + \gamma_1 + \mu))}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความเสถียรภาพของจุดสมดุล

3.5.1 แบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

$$\frac{d}{dt} S(t) = b_n N_t + \gamma_2 I - \gamma_1 S - \mu S = f_S$$

$$\frac{d}{dt} E(t) = \gamma_1 S - \beta E - \mu E = f_E$$

$$\frac{d}{dt} I(t) = \beta E - \gamma_2 I - \alpha I - \mu I = f_I$$

นำระบบสมการดังกล่าวทั้งหมด มาเขียนในรูปจาโคเบียนเมทริกซ์ โดย กำหนดให้จาโคเบียนเมทริกซ์ ขนาด 3×3 คือ

$$j_f = \begin{bmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{13} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} \\ j_{31} & j_{32} & j_{33} \end{bmatrix}$$

ที่จุดสมดุล (S^*, E^*, I^*) โดยที่แถวที่ 1 จะได้

$$j_{11} = \frac{\partial}{\partial S} f_S = -\gamma_1 - \mu$$

$$j_{12} = \frac{\partial}{\partial E} f_S = 0$$

$$j_{13} = \frac{\partial}{\partial I} f_S = \gamma_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวที่ 2 จะได้

$$j_{21} = \frac{\partial}{\partial S} f_E = \gamma_1$$

$$j_{22} = \frac{\partial}{\partial E} f_E = -\beta - \mu$$

$$j_{23} = \frac{\partial}{\partial I} f_E = 0$$

แถวที่ 3 จะได้

$$j_{31} = \frac{\partial}{\partial S} f_I = 0$$

$$j_{32} = \frac{\partial}{\partial E} f_I = \beta$$

$$j_{33} = \frac{\partial}{\partial I} f_I = -\alpha - \gamma_2 - \mu$$

ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังนี้

$$J_f = \begin{bmatrix} -\gamma_1 - \mu & 0 & \gamma_2 \\ \gamma_1 & -\beta - \mu & 0 \\ 0 & \beta & -\alpha - \gamma_2 - \mu \end{bmatrix}$$

พิจารณาค่าลักษณะเฉพาะได้จากสมการลักษณะเฉพาะ $\det(J_f - \lambda I_3) = 0$

จะได้

$$J_f = \begin{bmatrix} -\gamma_1 - \mu - \lambda & 0 & \gamma_2 \\ \gamma_1 & -\beta - \mu - \lambda & 0 \\ 0 & \beta & -\alpha - \gamma_2 - \mu - \lambda \end{bmatrix}$$

ใช้โปรแกรม Wolfram Mathematica ช่วยในการคิดหาค่า λ จะได้

$$\lambda_1 = \frac{1}{6} \frac{-(2 \times 2^{1/3} (\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2))}{\left(\begin{aligned} &2\alpha^3 + 2\beta^3 - 3\beta^2\gamma_2 - 3\beta\gamma_2^2 + 2\gamma_2^3 - 3\beta^2\gamma_1 - 15\beta\gamma_2\gamma_1 \\ &- 3\gamma_2^2\gamma_1 - 3\beta\gamma_1^2 - 3\gamma_2\gamma_1^2 + 2\gamma_1^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ \sqrt{-4(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)^3} \\ &+ \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) - 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1))^2 \\ &+ 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2 + (\beta + \gamma_2 + \gamma_1)(2\beta^2 + (\gamma_2 - 2\gamma_1)(2\gamma_2 - \gamma_1)) \\ &- 5\beta(\gamma_2 + \gamma_1) \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^{1/3}} \\ - 2^{2/3} \frac{\left(\begin{aligned} &2\alpha^3 + 2\beta^3 - 3\beta^2\gamma_2 - 3\beta\gamma_2^2 + 2\gamma_2^3 - 3\beta^2\gamma_1 - 15\beta\gamma_2\gamma_1 \\ &- 3\gamma_2^2\gamma_1 - 3\beta\gamma_1^2 - 3\gamma_2\gamma_1^2 + 2\gamma_1^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ \sqrt{-4(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)^3} \\ &+ \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) - 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1))^2 \\ &+ 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2 + (\beta + \gamma_2 + \gamma_1)(2\beta^2 + (\gamma_2 - 2\gamma_1)(2\gamma_2 - \gamma_1)) \\ &- 5\beta(\gamma_2 + \gamma_1) \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^{1/3}}{-2(\alpha + \beta + \gamma_2 + \gamma_1 + 3\mu)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีดิททั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_2 = \frac{1}{12} \frac{4(-2)^{1/3}(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)}{\left(\begin{aligned} &2\alpha^2 + 2\beta^3 - 3\beta^2\gamma_2 - 3\beta\gamma_2^2 + 2\gamma_2^3 - 3\beta^2\gamma_1 - 15\beta\gamma_2\gamma_1 \\ &- 3\gamma_2^2\gamma_1 - 3\beta\gamma_1^2 - 3\gamma_2\gamma_1^2 + 2\gamma_1^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ \sqrt{-4(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)^3} \\ &+ \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) - 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1)) \\ &+ 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2 + (\beta + \gamma_2 + \gamma_1)(2\beta^2 + (\gamma_2 - 2\gamma_1)(2\gamma_2 - \gamma_1)) \\ &- 5\beta(\gamma_2 + \gamma_1) \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^{1/3}} \\ + 2^{2/3}(1 - i\sqrt{3}) \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 + 2\beta^3 - 3\beta^2\gamma_2 - 3\beta\gamma_2^2 + 2\gamma_2^3 - 3\beta^2\gamma_1 - 15\beta\gamma_2\gamma_1 \\ &- 3\gamma_2^2\gamma_1 - 3\beta\gamma_1^2 - 3\gamma_2\gamma_1^2 + 2\gamma_1^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ 2^{2/3}(1 - i\sqrt{3}) \left(\begin{aligned} &-4(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)^3 \\ &+ \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ (\beta + \gamma_2 + \gamma_1)(2\beta^2 + (\gamma_2 - 2\gamma_1)(2\gamma_2 - \gamma_1)) \\ &- 5\beta(\gamma_2 + \gamma_1) \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^{1/3} \\ - 4(\alpha + \beta + \gamma_2 + \gamma_1 + 3\mu) \end{aligned} \right)^{1/3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_3 = \frac{1}{12} \frac{2 \times 2^{1/3} (1 - \sqrt{3}) (\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)}{\left(\begin{aligned} &2\alpha^3 + 2\beta^3 - 3\beta^2\gamma_2 - 3\beta\gamma_2^2 + 2\gamma_2^3 - 3^2\beta\gamma_1 - 15\beta\gamma_2\gamma_1 \\ &- 3\gamma_2^2\gamma_1 - 3\beta\gamma_1^2 - 3\gamma_2\gamma_1^2 + 2\gamma_1^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ \sqrt{\begin{aligned} &-4(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 - (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)^3 \\ &+ \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) - 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) \\ &+ 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) + (\beta + \gamma_2 + \gamma_1)(2\beta^2 + (\gamma_2 - 2\gamma_1)(2\gamma_2 - \gamma_1) \\ &- 5\beta(\gamma_2 + \gamma_1)) \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^{1/3}} \\ + 2^{2/3} (1 + i\sqrt{3}) \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 + 2\beta^3 - 3\beta^2\gamma_2 - 3\beta\gamma_2^2 + 2\gamma_2^3 - 3\beta^2\gamma_1 - 15\beta\gamma_2\gamma_1 \\ &- 3\gamma_2^2\gamma_1 - 3\beta\gamma_1^2 - 3\gamma_2\gamma_1^2 + 2\gamma_1^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) \\ &- 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 + 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ \sqrt{\begin{aligned} &-4(\alpha^2 - \alpha\beta + \beta^2 + 2\alpha\gamma_2 - \beta\gamma_2 + \gamma_2^2 \\ &- (\alpha + \beta + \gamma_2)\gamma_1 + \gamma_1^2)^3 \\ &+ \left(\begin{aligned} &2\alpha^3 - 3\alpha^2(\beta - 2\gamma_2 + \gamma_1) - 3\alpha(\beta^2 - 2\gamma_2^2 \\ &+ 2\beta(\gamma_2 - 2\gamma_1) + 2\gamma_2\gamma_1 + \gamma_1^2) \\ &+ (\beta + \gamma_2 + \gamma_1)(2\beta^2 + (\gamma_2 - 2\gamma_1)(2\gamma_2 - \gamma_1) \\ &- 5\beta(\gamma_2 + \gamma_1)) \end{aligned} \right)^2 \end{aligned} \right)^{1/3} \\ - 4(\alpha + \beta + \gamma_2 + \gamma_1 + 3\mu) \end{aligned} \right)^{1/3} \end{aligned} \right)^{1/3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า λ ที่ได้ยังไม่รู้ว่าจุดสมดุลนั้นเสถียรหรือไม่ จึงใช้ทฤษฎีบท Routh - Hurwitz Criteria ทหาความเสถียร

จาก ทฤษฎีบท Routh-Hurwitz Criteria

พิจารณา กรณีที่ $n = 3$ โดยที่ $P(\lambda) = \lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1}\lambda + a_n$

เมื่อ $\det H_j > 0; j = 1, 2, 3$

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

$$H_2 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \det(H_2) = a_1 a_2 - a_3 > 0 \text{ เมื่อ } a_1 a_2 > a_3$$

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

จากสูตร $\det(A) = a_{ij} C_{ij}(A); C_{ij}(A) = (-1)^{i+j} M_{ij}(A)$

เลือกแถวที่ 3 จะได้

$$\begin{aligned} \det(H_3) &= a_5 (-1)^{3+1} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ a_2 & a_3 \end{vmatrix} + a_4 (-1)^{3+2} \begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} + a_3 (-1)^{3+3} \begin{vmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix} \\ &= a_3 \begin{vmatrix} a_1 & 1 \\ a_3 & a_2 \end{vmatrix} \\ &= a_3 (a_1 a_2 - a_3) \end{aligned}$$

จาก $\lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3 > 0$

จะได้ $a_3 (a_1 a_2 - a_3) > 0$

$a_3 > 0$ หรือ $a_1 a_2 - a_3 > 0$

หาค่า det จาก เมทริกซ์จาโคบีเนียนที่ได้

$\det(J_f - \lambda I) = 0$

$$J_f = \begin{bmatrix} -\gamma_1 - \mu - \lambda & 0 & \gamma_2 \\ \gamma_1 & -\beta - \mu - \lambda & 0 \\ 0 & \beta & -\alpha - \gamma_2 - \mu - \lambda \end{bmatrix}$$

จากสูตร $\det(A) = a_{ij} C_{ij}(A); C_{ij}(A) = (-1)^{i+j} M_{ij}(A)$

เลือกแถวที่ 3 จะได้

$$\begin{aligned} \det(J_f) &= 0 (-1)^{3+1} \begin{vmatrix} 0 & \gamma_2 \\ -\beta - \mu - \lambda & 0 \end{vmatrix} + \beta (-1)^{3+2} \begin{vmatrix} -\gamma_1 - \mu - \lambda & \gamma_2 \\ \gamma_1 & 0 \end{vmatrix} \\ &+ (-\alpha - \gamma_2 - \mu - \lambda) (-1)^{3+3} \begin{vmatrix} -\gamma_1 - \mu - \lambda & 0 \\ \gamma_1 & -\beta - \mu - \lambda \end{vmatrix} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= -\beta(-\gamma_1\gamma_2) + [(-\alpha - \gamma_2 - \mu - \lambda)(-\gamma_1 - \mu - \lambda)(-\beta - \mu - \lambda) - 0] \\
&= \beta\gamma_1\gamma_2 + (-\alpha - \gamma_2 - \mu - \lambda)(\gamma_1\beta + \gamma_1\mu + \gamma_1\lambda + \mu\beta + \mu^2 + \mu\lambda + \lambda\beta + \lambda\mu + \lambda^2) \\
&= \beta\gamma_1\gamma_2 - \alpha\gamma_1\beta - \alpha\gamma_1\mu - \alpha\gamma_1\lambda - \alpha\mu\beta - \alpha\mu^2 - \alpha\mu\lambda - \alpha\beta\lambda - \alpha\mu\lambda - \alpha\lambda^2 \\
&\quad - \gamma_2\gamma_1\beta - \gamma_2\gamma_1\mu - \gamma_2\gamma_1\lambda - \gamma_2\mu\beta - \gamma_2\mu^2 - \gamma_2\mu\lambda - \gamma_2\beta\lambda - \gamma_2\mu\lambda - \gamma_2\lambda^2 \\
&\quad - \mu\gamma_1\beta - \gamma_1\mu^2 - \mu\gamma_1\lambda - \beta\mu^2 - \mu^3 - \lambda\mu^2 - \mu\beta\lambda - \lambda\mu^2 - \mu\lambda^2 \\
&\quad - \lambda\gamma_1\beta - \lambda\gamma_1\mu - \gamma_1\lambda^2 - \lambda\mu\beta - \lambda\mu^2 - \mu\lambda^2 - \beta\lambda^2 - \mu\lambda^2 - \lambda^3 \\
&= -\alpha\gamma_1\beta - \alpha\beta\lambda - \beta\gamma_2\lambda - \alpha\gamma_1\lambda - \beta_2\gamma_1\lambda - \gamma_2\gamma_1\lambda - \alpha\lambda^2 - \beta\lambda^2 - \gamma_2\lambda^2 - \gamma_1\lambda^2 - \lambda^3 \\
&\quad - \alpha\beta\mu - \beta\gamma_2\mu - \alpha\gamma_1\mu - \beta\gamma_1\mu - \gamma_2\gamma_1\mu - 2\alpha\lambda\mu - 2\beta\lambda\mu - 2\gamma_2\lambda\mu \\
&\quad - 2\gamma_1\lambda\mu - 3\lambda^2\mu - \alpha\mu^2 - \beta\mu^2 - \gamma_2\mu^2 - \gamma_1\mu^2 - 3\lambda\mu^2 - \mu^3
\end{aligned}$$

คูณ -1 จะได้

$$\begin{aligned}
&= \lambda^3 + \lambda^2[\alpha + \beta + \gamma_2 + \gamma_1 + 3\mu] + \lambda[\alpha\beta + \beta\gamma_2 + \alpha\gamma_1 + \beta\gamma_1 + \gamma_2\gamma_1 + 2\alpha\mu + 2\beta\mu + 2\gamma_2\mu + 3\mu^2] \\
&\quad + \alpha\gamma_1\beta + \alpha\beta\mu + \beta\gamma_2\mu + \alpha\gamma_1\mu + \beta\gamma_1\mu + \gamma_2\gamma_1\mu + \alpha\mu^2 + \beta\mu^2 + \gamma_2\mu^2 + \gamma_1\mu^2 + \mu^3 \\
&= \lambda^3 + \lambda^2[\alpha + \beta + \gamma_1 + \gamma_2 + 3\mu] + \lambda[\mu(2\alpha + 2\beta + 2\gamma_2 + 2\gamma_1 + 3\mu) + \gamma_1(\alpha + \beta + \gamma_2) + \beta(\alpha + \gamma^2)] \\
&\quad + \mu^2(\alpha + \beta + \gamma_2 + \gamma_1 + \mu) + \alpha\beta(\gamma_2 + \mu) + \beta\mu(\gamma_1 + \gamma_2) + \mu\gamma_1(\alpha + \gamma_2)
\end{aligned}$$

จาก $\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 > 0$; $a_1 > 0$, $a_3 > 0$, $a_1a_2 > a_3$

จะได้ $a_1 = \alpha + \beta + \gamma_2 + \gamma_1 + 3\mu > 0$

$$a_2 = \alpha\beta + \beta\gamma_2 + \alpha\gamma_1 + \beta\gamma_1 + \gamma_2\gamma_1 + 2\alpha\mu + 2\beta\mu + 2\gamma_2\mu + 2\gamma_1\mu + 3\mu^2 > 0$$

$$a_3 = \alpha\gamma_1\beta + \alpha\beta\mu + \beta\gamma_2\mu + \alpha\gamma_1\mu + \beta\gamma_1\mu + \gamma_2\gamma_1\mu + \alpha\mu^2 + \beta\mu^2 + \gamma_2\mu^2 + \gamma_1\mu^2 + \mu^3 > 0$$

$$\begin{aligned}
a_1 \cdot a_2 &= \alpha^2\beta + \alpha\beta^2 + 2\alpha\beta\gamma_2 + \beta^2\gamma_2 + \beta\gamma_2^2 + \alpha^2\gamma_1 + 3\alpha\beta\gamma_1 + \beta^2\gamma_1 + 2\alpha\gamma_2\gamma_1 \\
&\quad + 3\beta\gamma_2\gamma_1 + \gamma_2^2\gamma_1 + \alpha\gamma_1^2 + \beta\gamma_1^2 + \gamma_2\gamma_1^2 + 2\alpha^2\mu + 7\alpha\beta\mu + 2\beta^2\mu + 4\alpha\gamma_2\mu + 7\beta\gamma_2\mu \\
&\quad + 2\gamma_2^2\mu + 7\alpha\gamma_1\mu + 7\beta\gamma_1\mu + 7\gamma_2\gamma_1\mu + 2\gamma_1^2\mu + 9\alpha\mu^2 + 9\beta\mu^2 + 9\gamma_2\mu^2 + 9\gamma_1\mu^2 + 9\mu^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_1a_2 - a_3 &= \alpha^2\beta + \alpha\beta^2 + 2\alpha\beta\gamma_2 + \beta^2\gamma_2 + \beta\gamma_2^2 + \alpha^2\gamma_1 + 2\alpha\beta\gamma_1 + \beta^2\gamma_1 + 2\alpha\gamma_2\gamma_1 \\
&\quad + 3\beta\gamma_2\gamma_1 + \gamma_2^2\gamma_1 + \alpha\gamma_1^2 + \beta\gamma_1^2 + \gamma_2\gamma_1^2 + 2\alpha^2\mu + 6\alpha\beta\mu + 2\beta^2\mu + 4\alpha\gamma_1\mu + 6\beta\gamma_2\mu \\
&\quad + 2\gamma_2^2\mu + 6\alpha\gamma_1\mu + 6\beta\gamma_1\mu + 6\gamma_2\gamma_1\mu + 2\gamma_1^2\mu + 8\alpha\mu^2 + 8\beta\mu^2 + 8\gamma_2\mu^2 + 8\gamma_1\mu^2 + 8\mu^3 \\
&= \alpha^2(\beta + \gamma_1 + 2\mu) + \alpha(\beta + \gamma_1 + 2\mu)(\beta + 2\gamma_2 + \gamma_1 + 4\mu) \\
&\quad + (\beta + \gamma_2 + \gamma_1 + 2\mu)[(\gamma_2 + 2\mu)(\gamma_1 + 2\mu) + \beta(\gamma_2 + \gamma_1 + 2\mu)] > 0
\end{aligned}$$

เป็นไปตามเงื่อนไข $a_1 > 0$, $a_3 > 0$, $a_1a_2 > a_3$ เพราะฉะนั้น จุดสมมูลมีความเสถียรดังนั้นจะได้จุดสมมูล 1 จุด ขั้นตอนต่อไปจะใช้วิธีการเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าผลเฉลยของแบบจำลองเพื่อแสดงผลที่ได้เชิงตัวเลขให้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

หัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลข โดยการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงสถิติในชีวิตจริงเกี่ยวกับโรคหอบหืด ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปร (variables) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | ค่าตัวแปร | | | หน่วย |
|-----------|--|-----------|-----|-----|-------|
| S | จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน | 100 | 150 | 100 | คน |
| E | จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ | 100 | 100 | 50 | คน |
| I | จำนวนกลุ่มประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ | 100 | 50 | 150 | คน |
| N | จำนวนประชากรทั้งหมด = $S + E + I$ | 300 | | | คน |

ตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์แสดงพารามิเตอร์ (parameters) ต่างๆของแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | ค่าพารามิเตอร์ | หน่วย |
|------------|---|--|-------------------------------------|
| b_n | อัตราของประชากรที่เกิดใหม่ | $\frac{1}{365 \times 73.4}$ | ต่อคนต่อวัน |
| N_t | จำนวนประชากรทั้งหมด | 300 | คน |
| γ_1 | อัตราประชากรที่ได้รับหมอกควัน | 120 | ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อวัน |
| γ_2 | อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง | $\frac{1}{90}, \frac{1}{180}, \frac{1}{270}$ | ต่อคนต่อวัน |
| β | อัตราที่ผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ | $\frac{1}{7}, \frac{1}{14}, \frac{1}{21}$ | ต่อคนต่อวัน |
| μ | อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ | $\frac{1}{365 \times 73.4}$ | ต่อคนต่อวัน |
| α | อัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด | $\frac{1}{30}, \frac{1}{60}, \frac{1}{90}$ | ต่อคนต่อวัน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายค่าตัวแปรเสริมของแบบจำลองในตารางที่ 4.2

b_n คือ อัตราของประชากรที่เกิดใหม่ คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรต่อคนในปีนั้น

$$\text{ดังนั้น จะได้ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4} \text{ /คน/วัน}$$

N_t คือ จำนวนประชากรทั้งหมด คิดจาก

$$\text{ดังนั้น จะได้ } N_t = 300 \text{ /คน/วัน}$$

γ_1 คือ อัตราประชากรที่ได้รับหมอกควัน มาจากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \gamma_1 = 120 \text{ /คน/วัน}$$

γ_2 คือ อัตราของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสียชีวิต เกิดจากการสมมติ

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \gamma_2 = \frac{1}{90} \cdot \frac{1}{180} \cdot \frac{1}{270} \text{ /คน/วัน}$$

β คือ อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ เกิดจากการสมมติ

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \beta = \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{14} \cdot \frac{1}{21} \text{ /คน/วัน}$$

μ คือ อัตราการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรต่อคนในปีนั้น

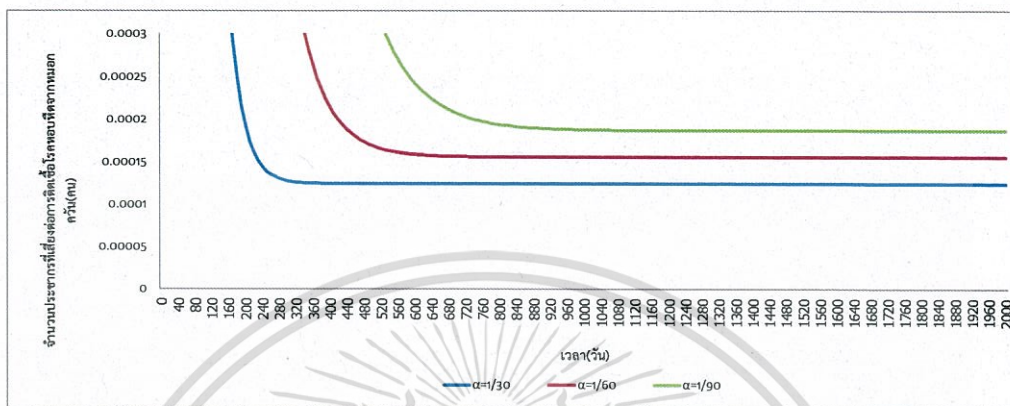
$$\text{ดังนั้น จะได้ } \mu = \frac{1}{365 \times 73.4} \text{ /คน/วัน}$$

α คือ อัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด เกิดจากการสมมติ

$$\text{ดังนั้น จะได้ } \alpha = \frac{1}{30} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{90} \text{ /คน/วัน}$$

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Mathematica

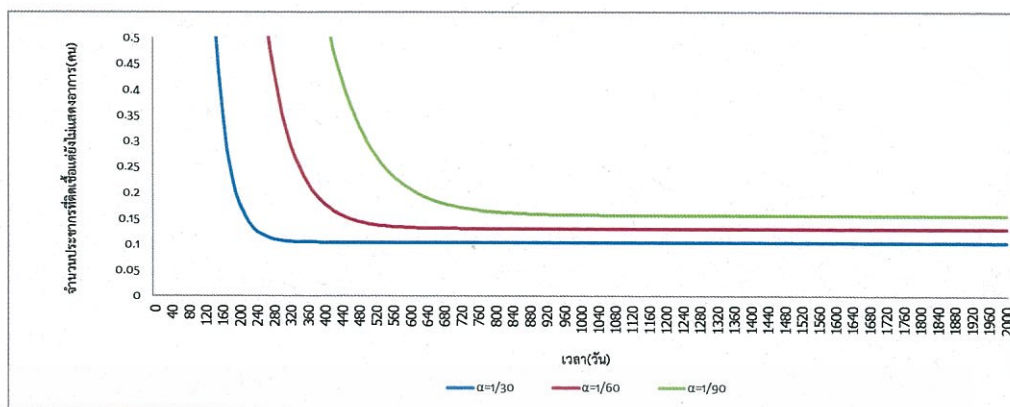
4.2.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคหอบหืด กรณี $S(0) = E(0) = I(0) = 100$



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$$

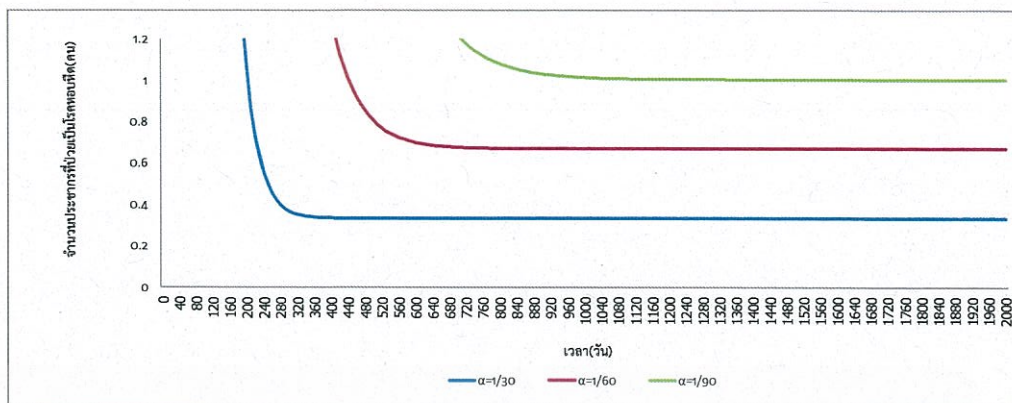
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 420 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 660 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 980 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากจำนวนวันที่ผู้ป่วยเสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วัน ทำให้ควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง

$$\text{มีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_i = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$$

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่อู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 600 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่อู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1200 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่อู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1700 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่อู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากจำนวนวันที่ผู้ป่วยเสียชีวิตจากโรคหอบหืดเป็น 90 วันนั้น ทำให้ควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้ลู่อู่ช้า



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_i = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$$

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 670 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1360 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1820 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ กลับไปเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (S) ได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้หายจากการเป็นโรคและควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า

ตารางที่ 4.3 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.1-4.3

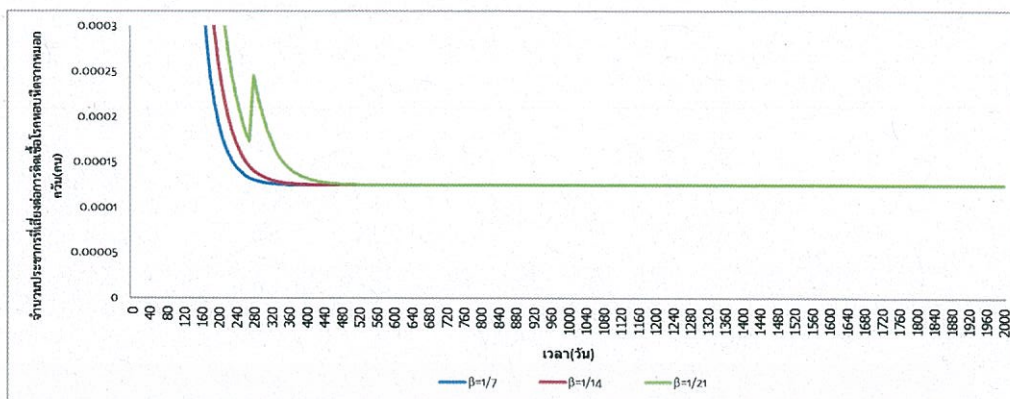
| α | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{30}$ | 0.000124374 | 0.104447 | 0.335441 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{60}$ | 0.000155359 | 0.130467 | 0.670074 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{90}$ | 0.000186269 | 0.156425 | 1.0039 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

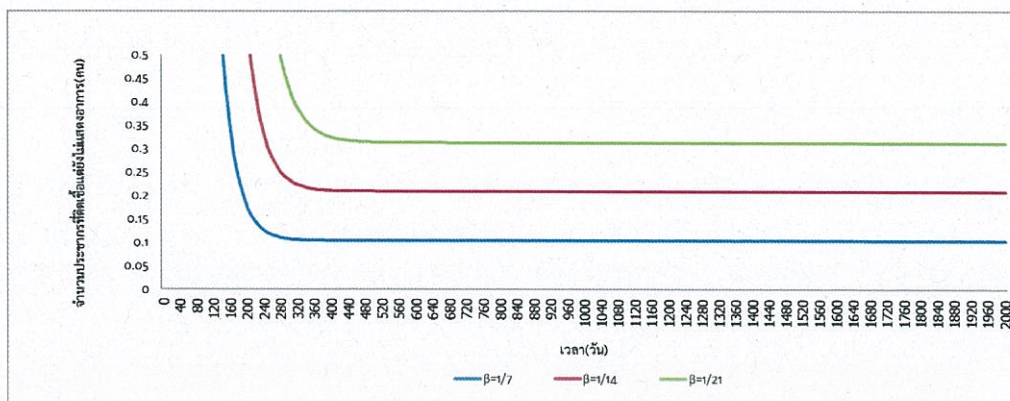




รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดและแสดงอาการ (β) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_r = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_r = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\gamma_2 = \frac{1}{90}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 410 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดและแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 460 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 580 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้ากว่าวันอื่นๆ ส่งผลให้ลู่เข้าช้า

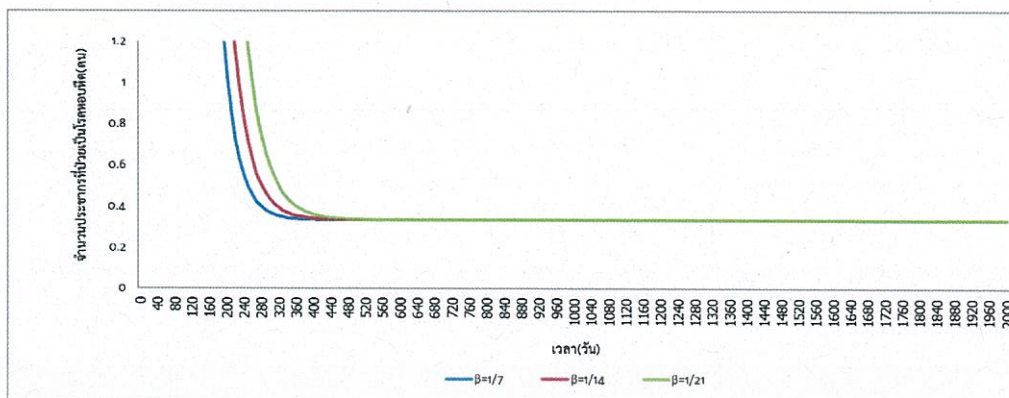


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β)

ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_i = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\gamma_2 = \frac{1}{90}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่อเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 600 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่อเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 780 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่อเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ กลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่อเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้า ส่งผลให้ลู่อช้า



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β)

ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \alpha = \frac{1}{30}$$

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 670 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 780 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 850 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า

ตารางที่ 4.4 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.4-4.6

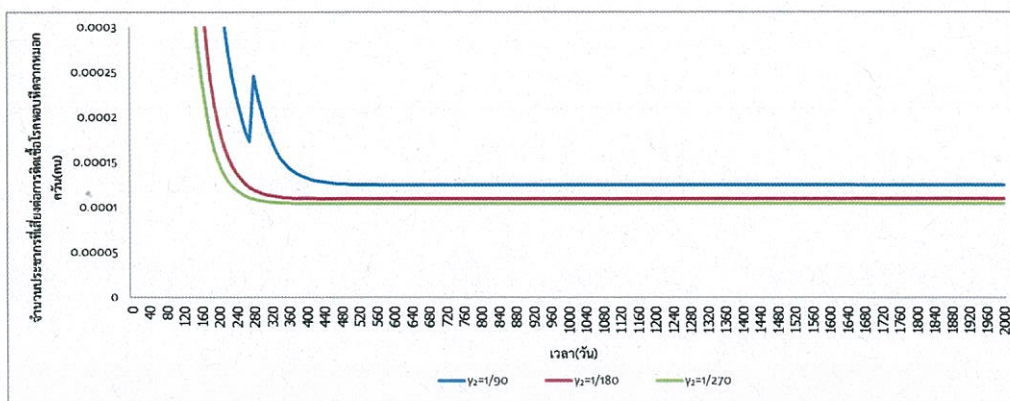
| β | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{7}$ | 0.000124374 | 0.104447 | 0.335441 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{14}$ | 0.000124363 | 0.208821 | 0.335324 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{21}$ | 0.000124353 | 0.313123 | 0.335208 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

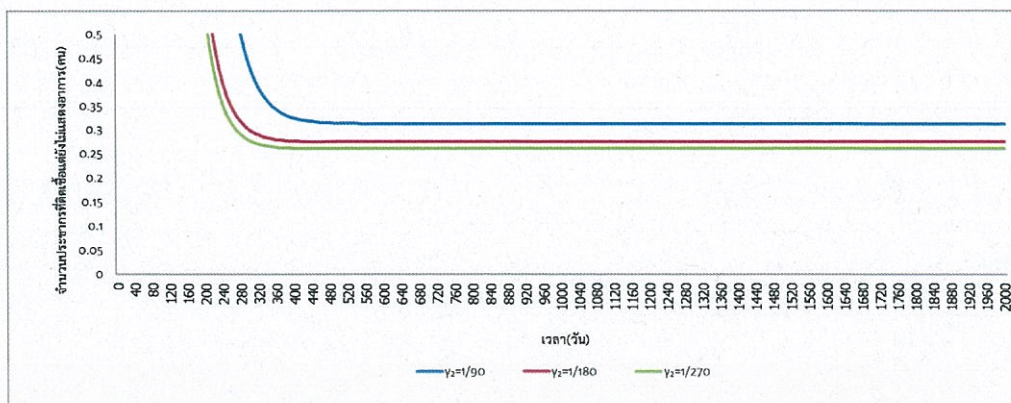




รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) เพิ่มขึ้น

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

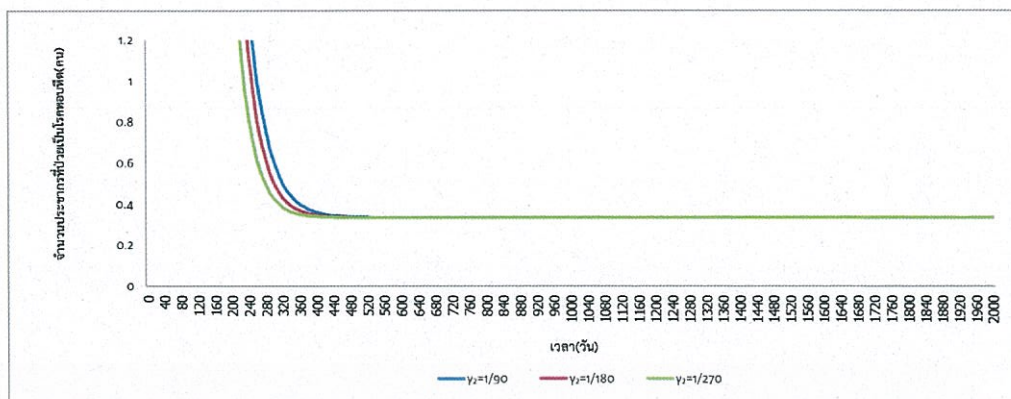
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 350 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดงจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 390 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 490 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง มีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็วขึ้น) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นาน ส่งผลให้เข้าสู่เร็ว



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) เพิ่มขึ้น

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_r = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \beta = \frac{1}{21}, \alpha = \frac{1}{30}$$

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 590 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 770 วัน กราฟทั้งสองจะเข้าสู่จุดสมดุลใกล้เคียงกัน ณ เวลา 480 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของเมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็วขึ้น) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นานกว่า ส่งผลให้เข้าสู่เร็ว



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) เพิ่มขึ้น

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_i = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 730 วัน ต่างจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 870 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 850 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็วขึ้น) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้นเนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดและแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นานกว่า ส่งผลให้ลู่เข้าเร็ว

ตารางที่ 4.5 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.7-4.9

| γ | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|-----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{90}$ | 0.000124353 | 0.313123 | 0.335208 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{180}$ | 0.000108836 | 0.274051 | 0.335251 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{270}$ | 0.000103663 | 0.261025 | 0.335266 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

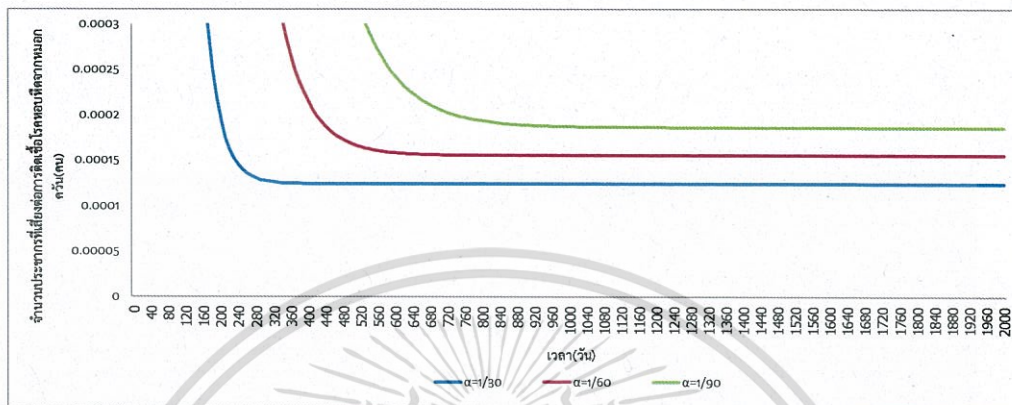
E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

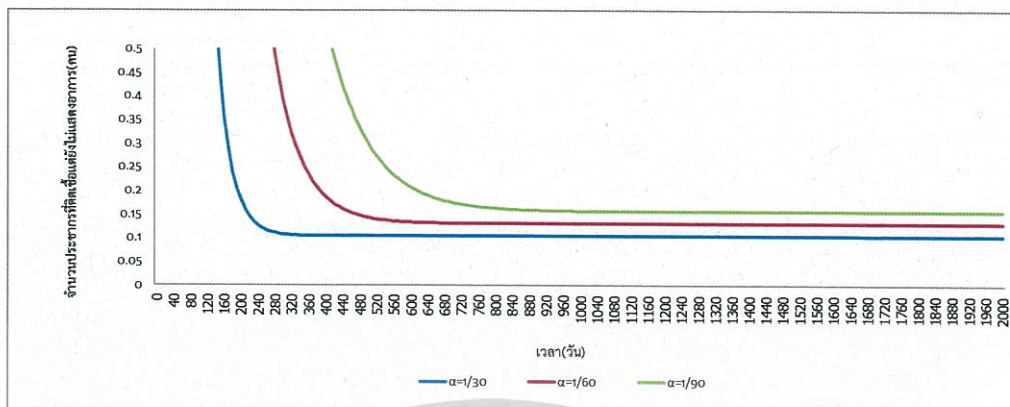
4.2.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคหอบหืด กรณี $S(0) = 150, E(0) = 100, I(0) = 50$



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$

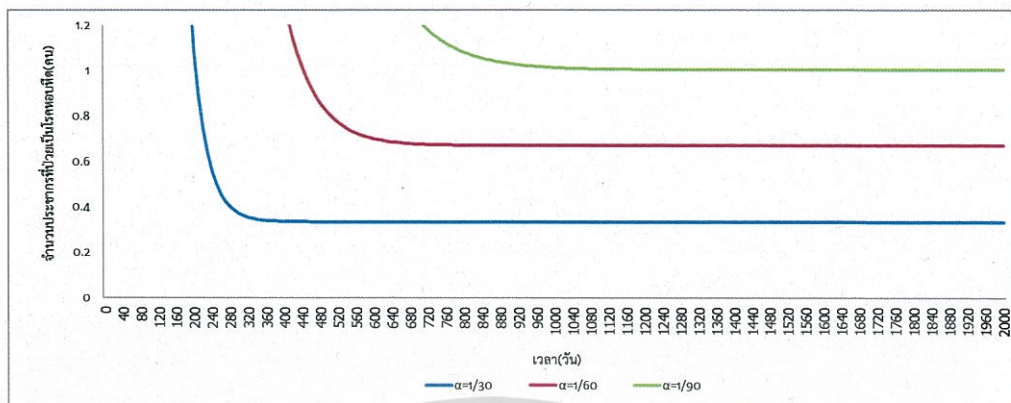
จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 410 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 800 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิต (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1140 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควันกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ช้ากว่า ส่งผลให้ลุ่เข้าช้า



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_r = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\gamma_2 = \frac{1}{90}$, $\beta = \frac{1}{7}$

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 600 วัน ต่างจากกราฟจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1230 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1720 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้เสียชีวิตช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลงเนื่องจากอัตราผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_r = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$$

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่ากราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 660 วัน ต่างจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 1370 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 1800 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลับไปเป็นผู้เสี่ยงได้ข้างลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลข้างลง เนื่องจากอัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ช้ากว่า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า

ตารางที่ 4.6 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.10-4.12

| α | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{30}$ | 0.000124374 | 0.104447 | 0.335441 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{60}$ | 0.000155359 | 0.130467 | 0.670074 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{90}$ | 0.000186269 | 0.156425 | 1.0039 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

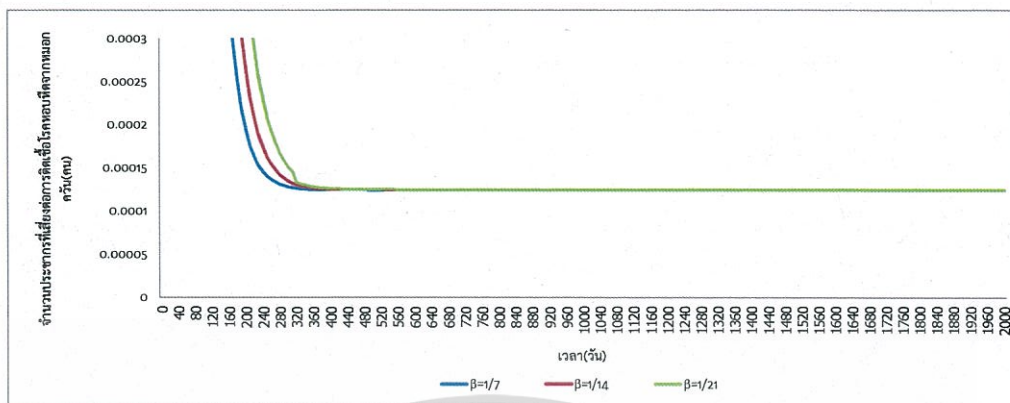
โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

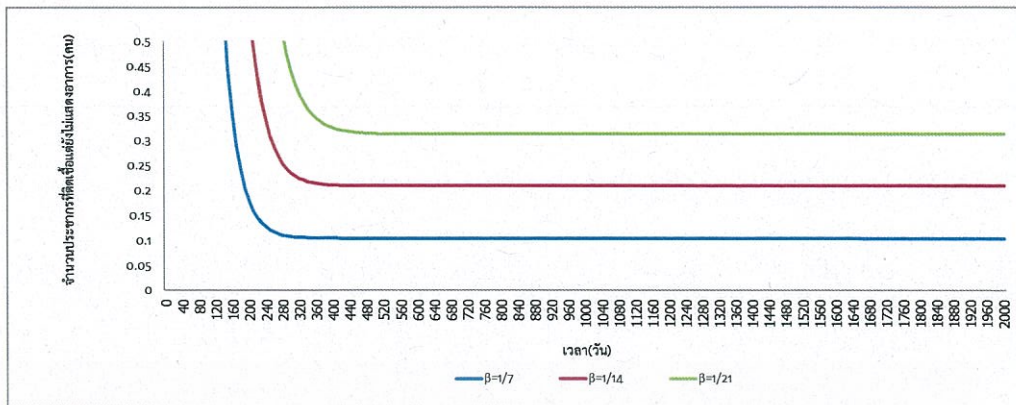


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้ว

แสดงอาการ (β) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_i = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \alpha = \frac{1}{30}$$

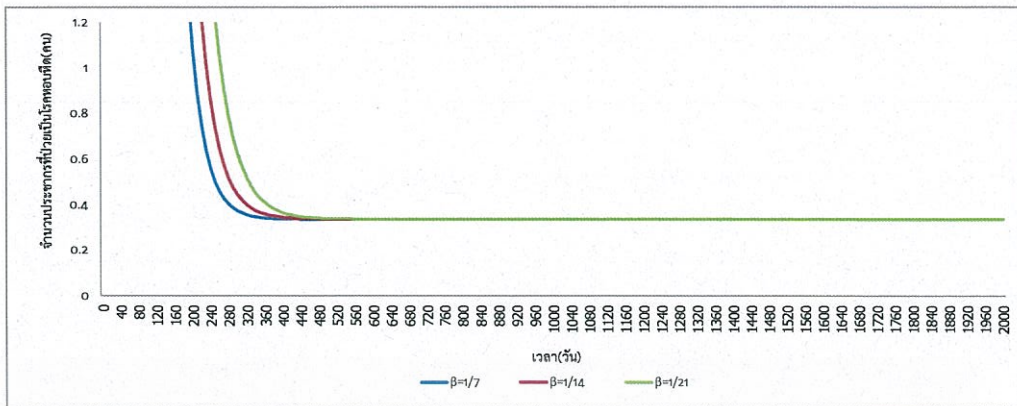
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 410 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด จากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 460 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 500 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วัน นั้นแสดงอาการได้ช้ากว่าวันอื่นๆ ส่งผลให้ลู่เข้าช้า



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_i = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\gamma_2 = \frac{1}{90}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 600 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 780 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วัน นั้นแสดงอาการได้ช้ากว่า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \alpha = \frac{1}{30}$$

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 660 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 770 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการและแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้า ส่งผลให้เข้าสู่ช้า

ตารางที่ 4.7 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.13-4.15

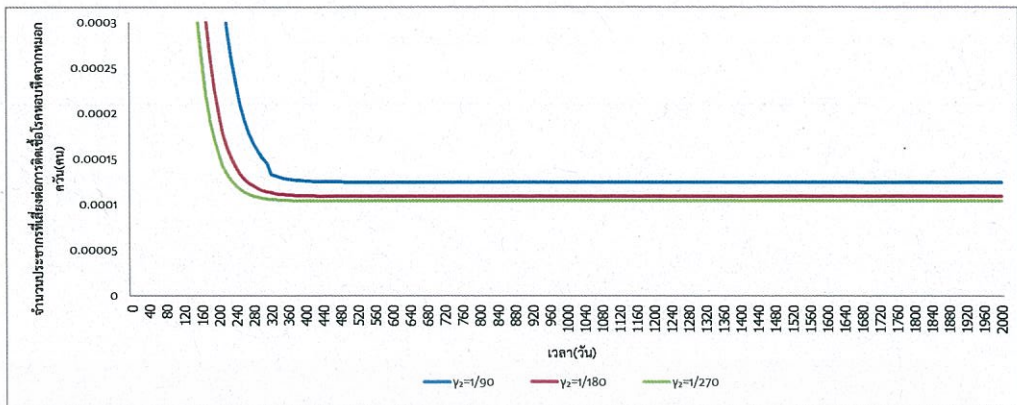
| β | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{7}$ | 0.000124374 | 0.104447 | 0.335441 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{14}$ | 0.000124363 | 0.208821 | 0.335324 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{21}$ | 0.000124353 | 0.313123 | 0.335208 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

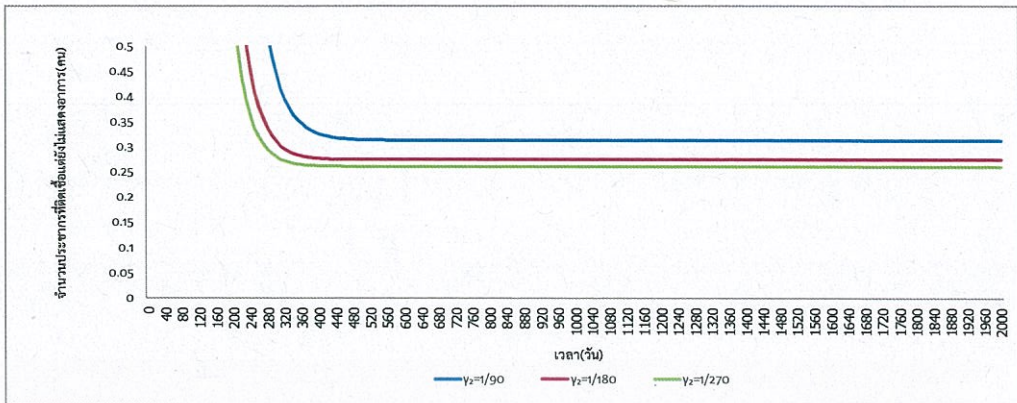




รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระหว่างจำนวนผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_i = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

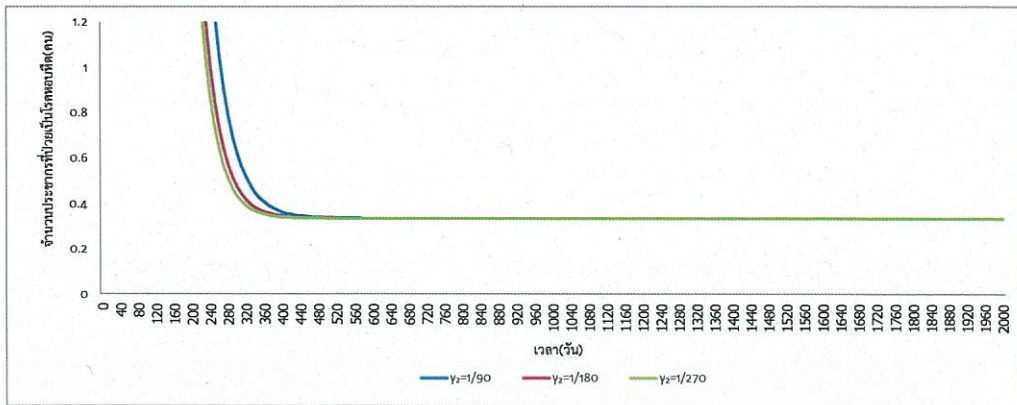
จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 500 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 390 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 350 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง มีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และ 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็วขึ้น) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นาน ส่งผลให้เข้าสู่เร็ว



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_i = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 780 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 690 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็วขึ้น) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นานกว่า ส่งผลให้เข้าสู่เร็ว



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 810 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 730 วัน วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็วขึ้น) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นานกว่า ส่งผลให้ลู่เข้าเร็ว

ตารางที่ 4.8 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.16-4.18

| γ | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|-----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{90}$ | 0.000124353 | 0.313123 | 0.335208 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{180}$ | 0.000108836 | 0.274051 | 0.335251 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{270}$ | 0.000103663 | 0.261025 | 0.335266 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

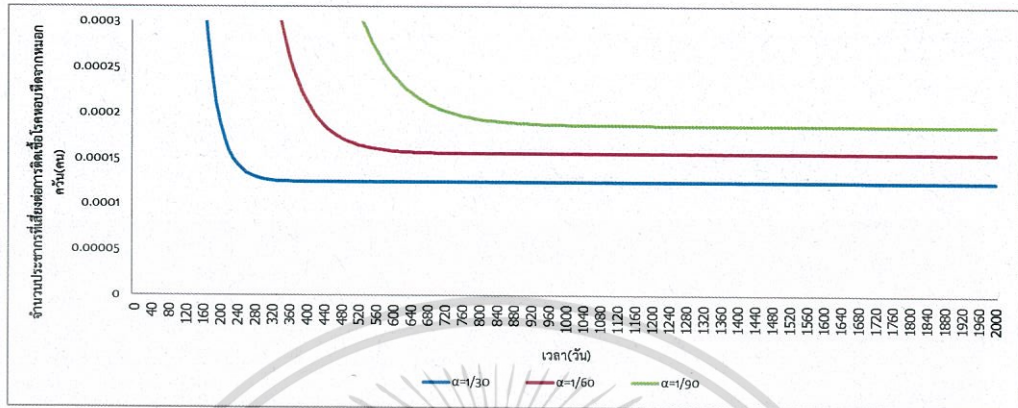
โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ



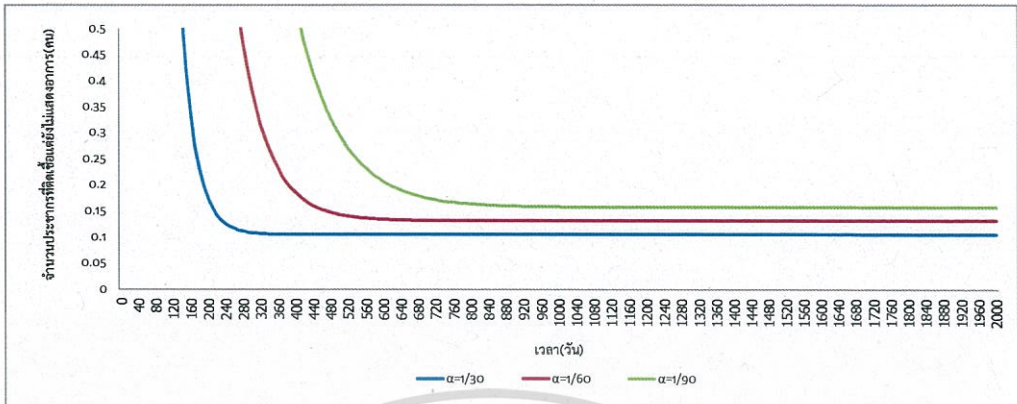
4.2.3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโรคหอบหืด กรณี $S(0) = 100, E(0) = 50, I(0) = 150$



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_i = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$$

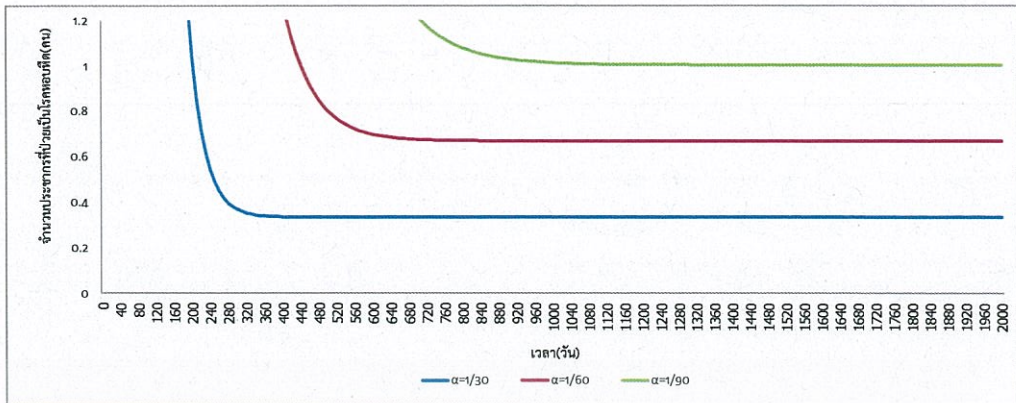
จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่ากราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 410 วัน ต่างจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 800 วัน และต่างจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1140 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหอบหืดจากหมอกควันกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด แต่ไม่แสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้เข้าสู่ช้า



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}$$

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 600 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1210 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1700 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และเป็น 90 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้เข้าสู่ช้า



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I)

เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\gamma_2 = \frac{1}{90}$, $\beta = \frac{1}{7}$

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 670 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืด (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 1350 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าจุดสมดุล ณ เวลา 1810 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 30 วัน เป็น 60 วัน และ เป็น 90 วัน ส่งผลให้จำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสียชีวิตช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดใน 90 วันนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า

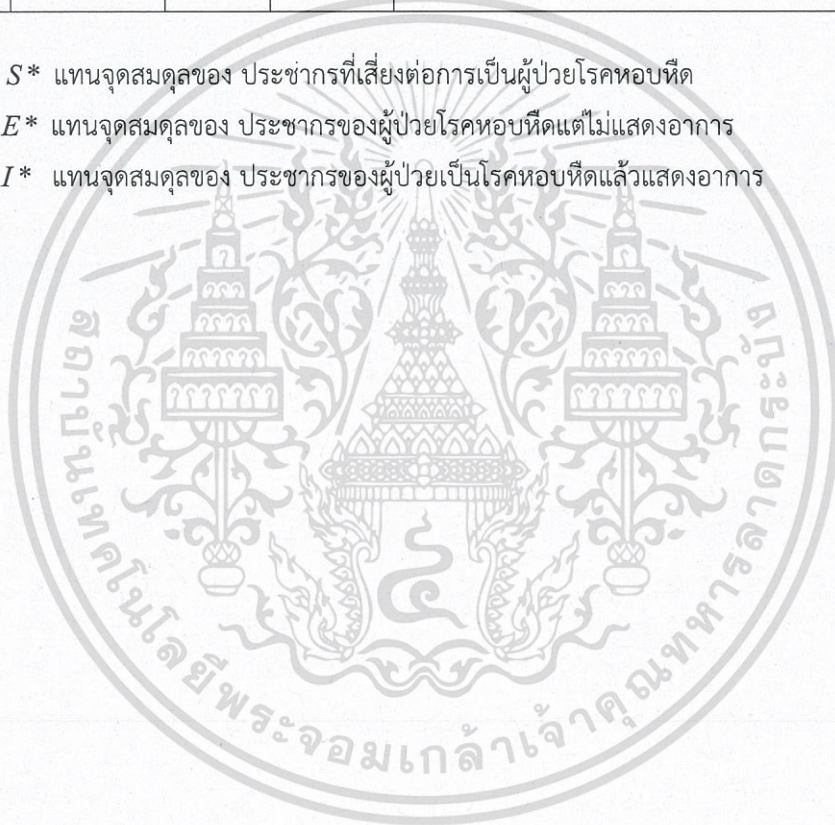
ตารางที่ 4.9 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.19-4.21

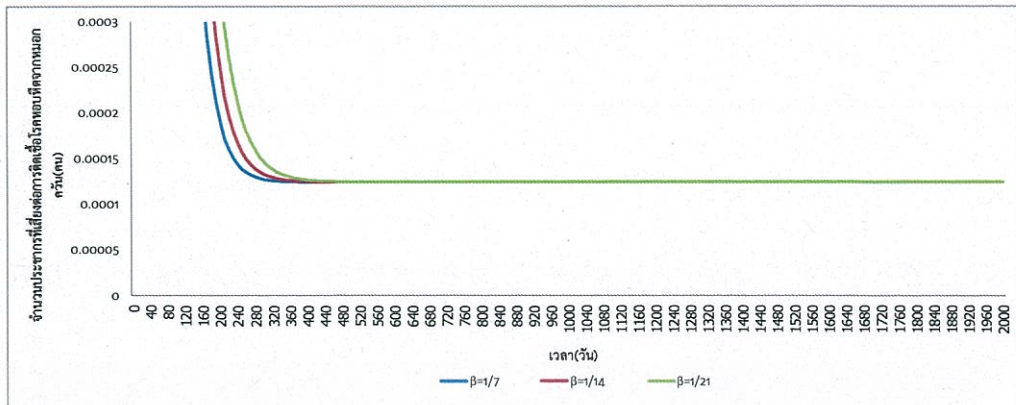
| α | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{30}$ | 0.000124374 | 0.104447 | 0.335441 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{60}$ | 0.000155359 | 0.130467 | 0.670074 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{90}$ | 0.000186269 | 0.156425 | 1.0039 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

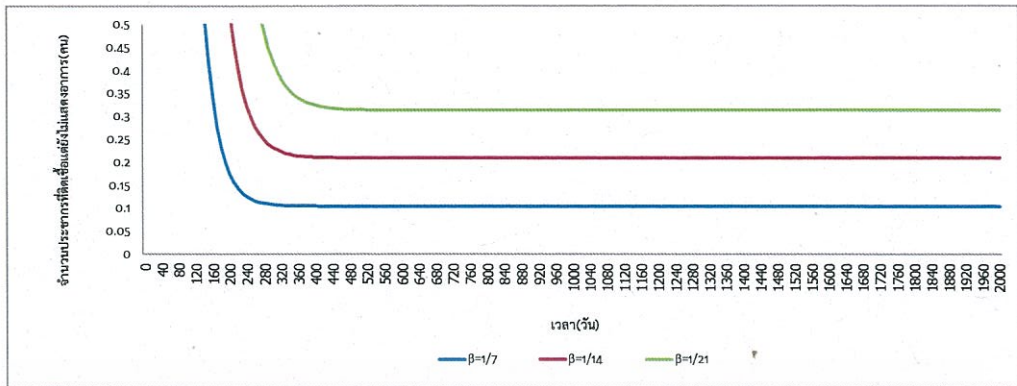




รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\gamma_2 = \frac{1}{90}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้า ณ เวลา 410 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 460 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 520 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของเมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลงเนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า

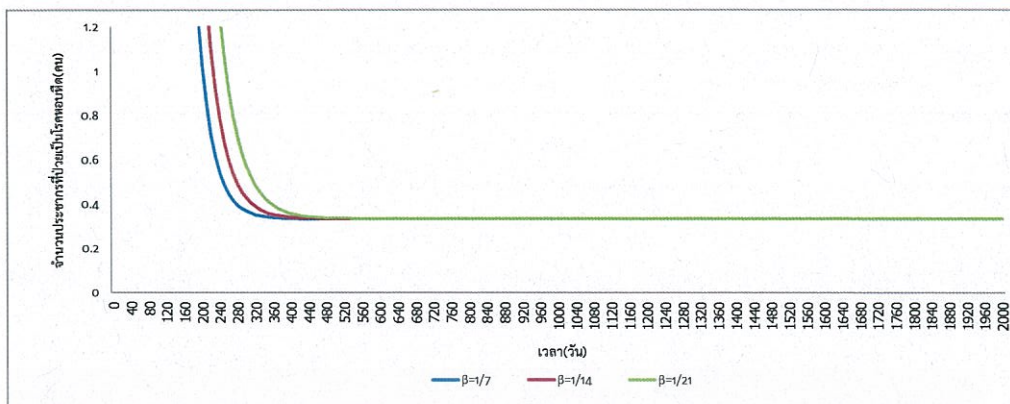


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β)

ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \alpha = \frac{1}{30}$$

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 600 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 770 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน สรุปได้ว่าเมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากเมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้า ส่งผลให้ลู่เข้าช้า



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β)

ลดลง

$$\text{โดยมีค่าพารามิเตอร์ } b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \alpha = \frac{1}{30}$$

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 670 วัน ต่างจากกราฟจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการเมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 780 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (β) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 850 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน และเป็น 21 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้ช้าลง) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการใน 21 วันนั้นแสดงอาการได้ช้า ส่งผลให้ผู้เข้าช้า

ตารางที่ 4.10 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.22-4.24

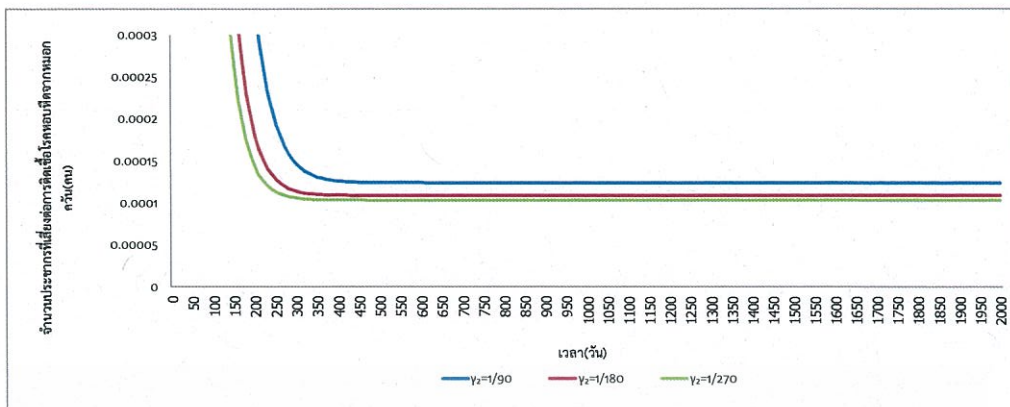
| β | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{7}$ | 0.000124374 | 0.104447 | 0.335441 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{14}$ | 0.000124363 | 0.208821 | 0.335324 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{21}$ | 0.000124353 | 0.313123 | 0.335208 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

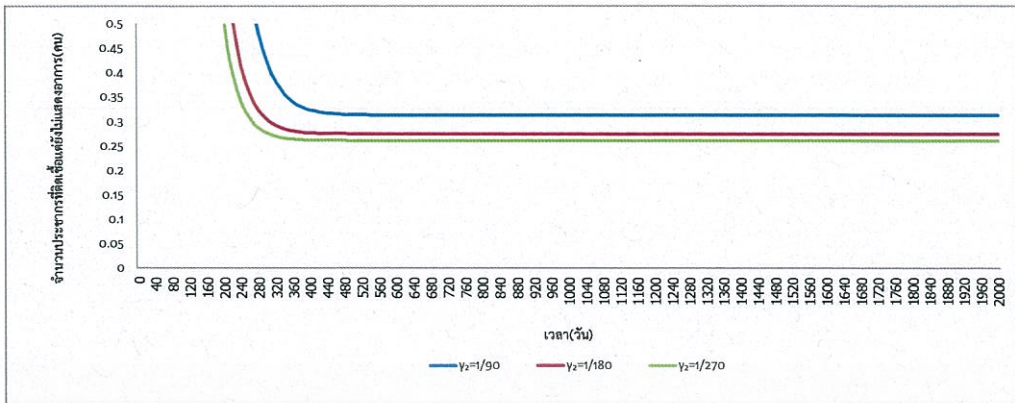




รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

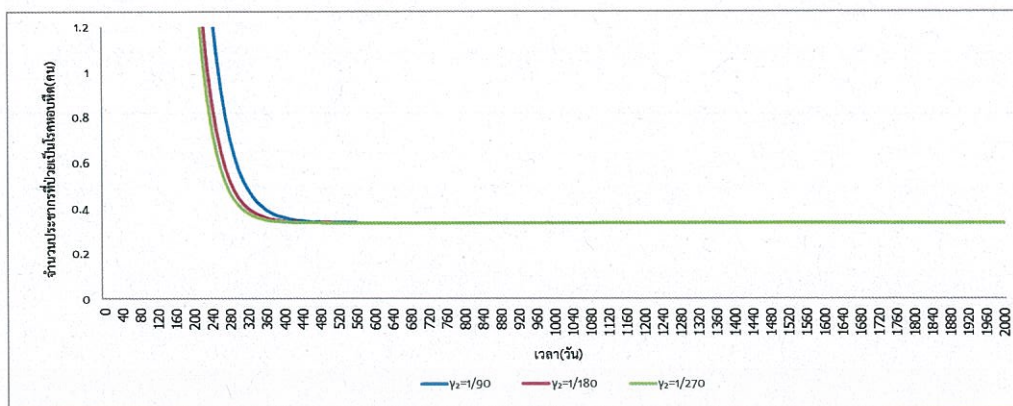
จากรูปที่ 4.25 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 520 วัน ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 380 วัน และต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 340 วัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควันมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และ 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้ช้า) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นาน ส่งผลให้เข้าสู่เร็ว



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่าแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 860 วัน ต่างจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 760 วัน และต่างจากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ (E) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 680 วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการได้เร็ว) กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคได้นาน ส่งผลให้ลู่เข้าเร็ว



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง

โดยมีค่าพารามิเตอร์ $b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $N_t = 300$, $\mu = \frac{1}{365 \times 73.4}$, $\gamma_1 = 120$, $\beta = \frac{1}{21}$, $\alpha = \frac{1}{30}$

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) (แทนด้วยเส้นสีฟ้า) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 850 ต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 810 วัน และต่างจากกราฟแสดงจำนวนของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) เมื่ออัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 720 วัน วัน สรุปได้ว่าเมื่อจำนวนวันของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการมีค่าเพิ่มขึ้น (จาก 90 วัน เป็น 180 วัน และเป็น 270 วัน ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงได้เร็ว) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น เนื่องจากอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยงใน 270 วันนั้นห่างหายจากการเป็นโรคนานกว่าวันอื่นๆ ส่งผลให้เข้าสู่เร็ว

ตารางที่ 4.11 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.25-4.27

| γ | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|-----------------|-------------|----------|----------|---|
| $\frac{1}{90}$ | 0.000124353 | 0.313123 | 0.335208 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{180}$ | 0.000108836 | 0.274051 | 0.335251 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |
| $\frac{1}{270}$ | 0.000103663 | 0.261025 | 0.335266 | $-120, -0.0322894 + 1.42109 \times 10^{-14}i, -0.147684 + 4.73695 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

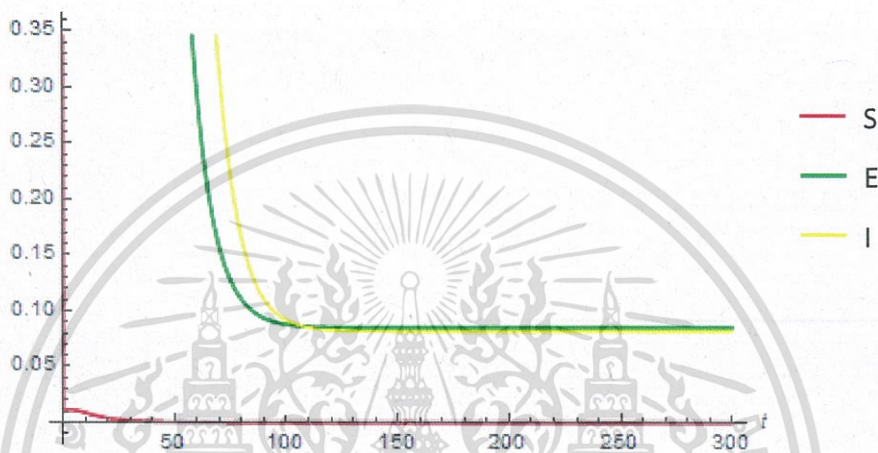


4.3 ผลการการวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลจริง

$$S(0) = E(0) = I(0) = 100$$

พารามิเตอร์ดังนี้

$$b_n = \frac{1}{365 \times 73.4}, N_t = 300, \mu = \frac{1}{365 \times 73.4}, \gamma_1 = 120, \gamma_2 = \frac{1}{90}, \beta = \frac{1}{7}, \alpha = 0.1373$$



รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบอัตราของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ และอัตราของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ

จากการใช้ข้อมูลจริงของอัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืดจากสำนักระบาดวิทยา จะเห็นว่า อัตราของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะลู่เข้า ณ เวลา 180 วัน และ อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (แทนด้วยเส้นสีเขียว) จะลู่เข้า ณ เวลา 210 วัน และอัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (แทนด้วยเส้นสีเหลือง) จะลู่เข้า ณ เวลา 220 วัน ซึ่งจะเห็นว่ากราฟจะลู่เข้าเร็วกว่าการที่สมมติค่าขึ้นมา โดยที่อัตราของผู้เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากค่าจริงนั้น จะลู่เข้าเร็วกว่าการสมมติค่าขึ้นมาอยู่ 240 วัน และ อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการจากค่าจริงนั้น จะลู่เข้าเร็วกว่าการสมมติค่าขึ้นมาอยู่ 390 วัน และ อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการจากค่าจริงนั้น จะลู่เข้าเร็วกว่าการสมมติค่าขึ้นมาอยู่ 450 วัน

ตารางที่ 4.12 แสดงจุดสมดุลและค่าลักษณะเฉพาะ สำหรับรูปที่ 4.28

| α | S^* | E^* | I^* | eigenvalues |
|----------|-------------|-----------|-----------|---|
| 0.1373 | 0.000124374 | 0.0847022 | 0.0815119 | $-120.+4.62593 \times 10^{-18}i$, $-0.118936+1.42109 \times 10^{-14}i$, $-0.165004-9.4739 \times 10^{-15}i$ |

โดยที่ S^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืด

E^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ไม่แสดงอาการ

I^* แทนจุดสมดุลของ ประชากรของผู้ป่วยเป็นโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ปัญหาพิเศษนี้ ได้เสนอรายละเอียดของโรคหอบหืด (Asthma) ที่เกิดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และนำเอาองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้โรคหอบหืดนี้ จากนั้นก็พิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยนำเสนอและอธิบายแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อพิจารณาการควบคุมการระบาดของโรค

แบบจำลองนี้ เราได้สมมติประชากร อัตราการเกิดและเสียชีวิตของประชากร อัตราประชากรที่ได้รับหมอกควัน เป็นค่าที่ได้จากข้อมูลจริง อัตราการที่ผู้ป่วยแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง อัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง และอัตราผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการกลายเป็นผู้ป่วยแล้วแสดงอาการ และอัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด เป็นค่าที่ได้จากการสมมติ ซึ่งได้นำข้อมูลจากสำนักระบาดวิทยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 – 2558 ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองโรคหอบหืดจากหมอกควันทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

จากนั้นได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยสามสมการเชิงอนุพันธ์ในรูปแบบของจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการเป็นผู้ป่วยโรคหอบหืดจากหมอกควัน (S) จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (E) จำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการ (I) จากนั้นหาจุดสมดุล และความเสถียรของจุดสมดุล

จากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแบบจำลองมีดังนี้

- 1.) อัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ถ้าอัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) ลดลง จะทำให้กราฟพุ่งเข้าสู่จุดสมดุลได้ช้าลง เนื่องจากจำนวนวันของผู้เสียชีวิตจากโรคหอบหืดยิ่งเพิ่มขึ้น ยิ่งทำให้ลดการระบาดของโรคได้ช้า
- 2.) อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (β) ถ้าอัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (β) ลดลง จะทำให้กราฟพุ่งเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจาก ยิ่งจำนวนวันในการแสดงอาการยิ่งนานยิ่งทำให้ควบคุมโรคได้ช้า เนื่องจากจำนวนวันในการแสดงอาการยิ่งใช้เวลานาน ยิ่งทำให้ลดการระบาดของโรคได้ช้า
- 3.) อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ถ้าอัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) ลดลง จะทำให้กราฟพุ่งเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลับมาป่วยเป็นโรคหอบหืดได้อีกครั้ง ยิ่งเร็ว ยิ่งทำให้ลดการระบาดของโรคได้ช้า

จากค่าอัตราการเสียชีวิตจากโรคหอบหืด (α) อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแต่ยังไม่แสดงอาการ (β) อัตราของผู้ป่วยโรคหอบหืดแล้วแสดงอาการกลายเป็นผู้เสี่ยง (γ_2) จากค่าพารามิเตอร์ทั้งสามตัว ถ้าต้องการจะลดการระบาดของโรค ควรจะเพิ่มการรักษาผู้ป่วยโรคหอบหืด เพื่อให้จำนวนของผู้ป่วยห่างหายจากการเป็นโรคหอบหืดยั่งยืน ก็ยิ่งทำให้ลดการระบาดของโรคหอบหืดได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.) จัดทำโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อศึกษาระยะเวลาในการควบคุมโรคหอบหืดได้
- 2.) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาปัจจัยที่มาจากพันธุกรรมของประชากรในการเป็นโรคหอบหืด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นพ.องอาจ โกสินทรจิตต์. 2557.หอบหืด (asthma).
[Online].Available: <http://www.bangkokhealth.com/health/article/โรคหืด-หรือหอบหืด-asthma-1565>
- [2] พญ.ธารีรัตน์ อนันต์ชัยทรัพย์ และ นพ.ธีรภาพ ลีวลักษณ์. 2553.โรคหืด (Asthma).
[Online] Available: <http://www.healthy.in.th/disease/asthma>
- [3] วิทยา ศรีดามา. Evidence-based clinical practice guideline ทางอายุรศาสตร์ 2548. โรงพยาบาลแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 4. 2548; 362-367.
- [4] สมจิตต์ จารุรัตน์ศิริกุล และมาลัย ว่องชาญชัยเลิศ. กุมารเวชศาสตร์ผู้ป่วยนอก. หน่วยผลิตตำรา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. 2549; 120-134.
- [5] นวพรรณ ไชยวรรณ อุทัยศ. นักสื่อสารมวลชน ชำนาญการ. กลุ่มรายการ ส่วนข่าวและรายการภูมิภาค
[Online].Available: <http://region3.prd.go.th/Environment/index.php/2010-09-21-08-22-15/53-2016-01-22-06-35-45.html>
- [6] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. Mathematica fundamentals. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- [7] Frank R.Giordano, Maurice D.Weir, William P.Fox, A First course in Mathematical modeling, Thomson Publishing
- [8] Leah Elderstein-Keshet, Mathematical models in biology, Random House
- [9] สำนักโรคบาตวิทยา กรมควบคุมโรค. [Online].Available: <http://www.boe.moph.go.th/>
- [10] Ram Naresh, Agraj Tripathi. A Nonlinear Mathematical model for Asthma: Effect of Environmental Pollution.
[Online]. Available:http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/1025420090103.pdf