สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองตามอายุของผู้ป่วยโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย

AGE STRUCTURAL MODEL OF AVIAN INFLUENZA IN THAILAND

T102984

ณัฐกานต์ เตี้ยทอง

พิชญ์อาภา คงทรัพย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 102984
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2552

b 12171169
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AGE STRUCTURAL MODEL OF AVIAN INFLUENZA IN THAILAND

NATTHAKARN TEATONG

PICHARPA KONGSUB

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED MATHEMATICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองตามอายุของผู้ป่วยโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย AGE STRUCTURAL MODEL OF AVIAN INFLUENZA IN THAILAND
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐกานต์ เตี้ยทอง 48050009 นางสาวพิชญ์อาภา คงทรัพย์ 48050017
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	คณิตศาสตร์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2551

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์ ประธานกรรมการ	
รศ.กฤษฎา ไตรสุรัตน์ กรรมการ	
ผศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

(ผศ.ดร.ฉัฐไชย์ ลีนาวงศ์)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองตามอายุของผู้ป่วยโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐกานต์ เตี้ยทอง 48050009
	นางสาวพิชญ์อาภา คงทรัพย์ 48050017
หลักสูตร	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขา	คณิตศาสตร์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2551
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นเพื่อโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางการลดอัตราการระบาดของโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย ผู้จัดทำได้ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อการสาธารณสุขของประเทศต่อไป ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ได้จากการศึกษากลไกการติดเชื้อ วงจรชีวิตของไก่ซึ่งเป็นพาหะนำโรค และวงจรชีวิตของเชื้อ H5N1 ที่ทำให้เกิดโรคไข้หวัดนก นอกจากนี้ยังศึกษาอายุของผู้เสี่ยงต่อการป่วยเป็นโรคไข้หวัดนก รวมทั้งทฤษฎีความเสถียรของระบบ (steady state solution) และความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (recurrence relation) แล้วจึงนำข้อมูลของผู้ป่วยและทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเพื่อให้เห็นผลการใช้งานแบบจำลองนี้ได้จริง จึงได้มีการพัฒนาโดยนำมาสร้างเป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณหาผลลัพธ์จากข้อมูลจริง และเพื่อใช้เป็นแนวทางการค้นคว้าวิจัยหาวิธีการลดอัตราการระบาดของโรคต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	AGE STRUCTURAL MODEL OF AVIAN INFLUENZA IN THAILAND
Students	Miss.Natthakarn Teatong 48050009
	Miss.Picharpa Kongsub 48050017
Degree	Bechelor of Science
Major	Applied Mathematics
Academic Year	2008
Advisor	Asst.Prof.Dr.Puntani Pongsumpan

ABSTRACT

The purpose of this special problem is to reduce the outbreak of Avian Influenza in Thailand. we look for finding methods to reduce the transmission rate of this disease. The knowledge of mathematics is used to find the appropriated model. This should be useful for public health in Thailand. The mathematical model is created by learning mechanism of infecting, life cycle's chickens and life cycle virus type H5N1 that found in Thailand. Furthermore, the age group of risk people is considered to formulate the model. The steady state theorem and recurrence relation are used in this study. We then take the real data and mathematical theorem to develop the mathematical model. The numerical results are shown by creating program. This study should be an alternative way to reduce the outbreak of this disease.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำคู่มือการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างยิ่งของผศ.ดร.พันธนี พงศ์สัมพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งเป็นผู้ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด รวมทั้งคณะกรรมการปรับปรุงคู่มือการทำปัญหาพิเศษซึ่งประกอบด้วย รศ.ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์ รศ.กฤษฎา ไตรสุรัตน์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำในการปรับปรุงคู่มือการทำปัญหาพิเศษนี้ และบุคคลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการให้ข้อมูล ข้อเสนอแนะในการทำปัญหาพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งในความกรุณาไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวของคณะผู้จัดทำที่มอบความรัก ความอบอุ่นและเป็นกำลังใจให้ทุกเวลา รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านเอกสารและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ให้ความรู้ทางวิชาการซึ่งเป็นสิ่งที่มีคุณค่าอย่างยิ่ง หากการทำปัญหาพิเศษนี้มีคุณประโยชน์ใดๆ คณะผู้จัดทำขอมอบเป็นเครื่องสักการะในคุณความดีของครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้ศึกษามาแต่เยาว์วัย

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย i

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญภาพ vii

สารบัญตาราง x

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของปัญหา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา 2

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 โรคไข้หวัดนก 4

2.1.1 โครงสร้างของเชื้อไข้หวัดนก 6

2.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงและการกลายพันธุ์ของเชื้อไวรัสไข้หวัดนก 7

2.1.2 การแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดนก 11

2.1.3 ระยะฟักตัวของโรค 14

2.1.4 ลักษณะอาการของโรคไข้หวัดนก 14

2.1.5 อาการไข้หวัดนก 15

2.1.6 การรักษา 15

2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 15

2.2.1 แบบจำลอง 15

2.2.2 กระบวนการสร้างแบบจำลอง (Model Construction Process) 17

2.2.3 ประเภทของแบบจำลอง (Model Classification) 18

2.2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) 19

2.3 การหาผลเฉลยความเสถียรของระบบ (Steady State Solution) 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.1 แบบจำลองความเสถียรของระบบ (Steady State)ไม่เชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง..20

2.3.2 แบบจำลองความเสถียรของระบบ ไม่เชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง

(ContinuousModels)..... 22

2.4 ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด(Recurrence relations)..... 24

2.4.1 ประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด..... 26

2.4.2 การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (Solving recurrence relations)..... 27

2.4.3 การหาผลเฉลยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นอนุพันธ์

(Solving Linear homogeneous / non-homogeneous recurrence relation)..... 30

2.4.4 การหาผลเฉลยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นไม่อนุพันธ์

(Solving Non-Linear homogeneous recurrence relation)..... 33

2.5 การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ..... 37

บทที่ 3 แบบจำลองของโรคไข้หวัดนก..... 48

3.1 ข้อมูลของโรคไข้หวัดนก..... 48

3.2 แบบจำลองตามอายุของโรคไข้หวัดนก..... 53

บทที่ 4 การวิเคราะห์แบบจำลอง..... 62

4.1 หา Steady State Solution..... 62

4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม..... 70

4.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม..... 74

4.4 ตัวอย่างข้อมูลจริงของการติดเชื้อในประเทศไทยปี 2547, 2548 และ 2550..... 95

4.5 เปรียบเทียบลักษณะของกราฟที่ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ..... 106

4.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำให้เกิดความเสี่ยงของการเกิดโรคไข้หวัดนกในแต่ละระดับ..... 112

บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษ และข้อเสนอแนะ..... 119

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 119

5.2 ข้อจำกัดของโปรแกรม..... 119

5.3 ข้อเสนอแนะ..... 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง..... 121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ไวรัสชนิดเอที่เป็นสาเหตุของไข้หวัดใหญ่..... 9

2.2 Hemagglutinin ของไวรัสเข้าจับกับ receptor ของเซลล์ที่มันเข้าไปอาศัยอยู่ แล้วก่อให้เกิดการติดเชื้อ.....10

2.3 ลักษณะของ H และ N ที่ยื่นออกมาจากผิวเซลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการก่อโรคไข้หวัดใหญ่.....10

2.4 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ภายในฝูง)..... 12

2.5 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ระหว่างฝูง)..... 12

2.6 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ระหว่างฝูง)..... 13

2.7 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ระหว่างฝูง)..... 13

2.8 แสดงแนวคิดของกระบวนการสร้างแบบจำลอง..... 17

2.9 อธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง..... 19

2.10 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 20

3.1 กราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย (Suspect) โรคไข้หวัดนก..... 48

3.2 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2548 – 2550 โดยแบ่งตามเดือน..... 49

3.3 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ..... 50

3.4 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของประชากรที่ป่วยเป็นไข้หวัดนก..... 55

3.5 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของไก่..... 59

4.1 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับรายละเอียดของไก่..... 70

4.2 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก..... 71

4.3 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนก แต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้..... 72

4.4 Flow Chart แสดงค่าการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ..... 73

4.5 หน้าจอโปรแกรมหลัก..... 74

4.6 หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ..... 75

4.7 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์..... 76

4.8 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์..... 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์	78
4.10 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์	79
4.11 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์	80
4.12 หน้าจอย้อนอดีตโรคไข้หวัดนก	81
4.13 หน้าจอความเสี่ยงของการเกิดโรค	82
4.14 หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก	83
4.15 หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก	84
4.16 หน้าจอกราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ	85
4.17 หน้าจอกราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย(Suspect)โรคไข้หวัดนก	86
4.18 หน้าจอผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	87
4.19 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์	87
4.20 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข	88
4.21 หน้าจอแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับไก่	88
4.22 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์	89
4.23 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข	89
4.24 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์	90
4.25 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้นไข้จากไข้หวัดนก	91
4.26 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้	92
4.27 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก	93
4.28 หน้าจอแสดงผลสรุป	94
4.29 หน้าจอแสดงผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2547	97
4.30 หน้าจอแสดงผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกปี 2547	98
4.31 หน้าจอแสดงผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2547	98
4.32 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 2547	99
4.33 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2547	99
4.34 หน้าจอแสดงผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2548	100
4.35 หน้าจอแสดงผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกปี 2548	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 หน้าจอแสดงผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2548	101
4.37 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 2548	102
4.38 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2548	102
4.39 หน้าจอแสดงผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2550	103
4.40 หน้าจอแสดงผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกปี 2550	104
4.41 หน้าจอแสดงผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2550	104
4.42 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 2550	105
4.43 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550	105
4.44 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550	106
4.45 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ I_C = 1 และ β_M = 0.6และ b_C =10	107
4.46 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ I_C = 1 และ β_M = 1และ b_C =10	108
4.47 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ I_C = 1 และ β_M = 0.6 และ b_C =150	109
4.48 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ I_C = 10 และ β_M = 0.6และ b_C =150	110
4.49 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ I_C = 100 และ β_M = 0.6และ b_C =150	111
4.50 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ I_C = 25 และ β_M = 1 และ b_C =50 และ β_C = 1	113
4.51 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ I_C = 7 และ β_M = 1 และ b_C =50 และ β_C = 1	114
4.52 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ I_C = 1 และ β_M = 0.07 และ b_C =10 และ β_C = 1	115
4.53 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ I_C = 1 และ β_M = 0.05 และ b_C =50 และ β_C = 1	116
4.54 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ I_C = 1 และ β_M = 0.035 และ b_C =10 และ β_C = 1	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงอินฟลูเอนซ่า ไวรัส เอ (Influenza A).....5
2.2 จำนวนผู้ติดเชื้อและผู้เสียชีวิตจากเชื้อไวรัสไข้หวัดนก ในแต่ละประเทศตารางแสดงจำนวน ผู้ป่วยที่ตรวจพบเชื้อไข้หวัดนก ตั้งแต่ พ.ศ.2540 – 2547.....14
2.3 แสดงตัวอย่างประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มักพบบ่อย.....27
2.4 รูปแบบของ $f(n)$ ที่สามารถหาผลเฉลยเฉพาะได้ง่าย.....33
2.5 แสดงรูปแบบของผลเฉลยเฉพาะสำหรับแต่ละรูปแบบของ $f(n)$.....34
3.1 จำนวนผู้ป่วยไข้หวัดนก ประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 ที่ผ่านมา ได้เกิดการระบาดของโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย โดยถือเป็นโรคอุบัติใหม่ที่มีความรุนแรงในสัตว์หลายชนิด เช่น สัตว์ปีก สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมทั้งมนุษย์ ซึ่งการระบาดแต่ละครั้งก่อให้เกิดความสูญเสียมากมาย ไม่ว่าจะเป็นในสัตว์หรือในมนุษย์ โดยเฉพาะในมนุษย์ การระบาดในช่วงปี ค.ศ.1918-1919 ทำให้มีผู้เสียชีวิตทั่วโลกมากกว่า 50 ล้านคน ซึ่งเกิดจากเชื้อไข้หวัดนกชนิด H1N1 ในขณะที่การระบาดที่ฮ่องกงในปี ค.ศ. 1997 เกิดจากเชื้อ H5N1 ทำให้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 6 คน จากผู้ติดเชื้อทั้งสิ้น 18 คน นอกจากนี้ในปีค.ศ. 1999 ยังพบผู้ป่วยเพิ่มจากการติดเชื้อชนิด H9N2 จำนวน 2 คน ในฮ่องกงเช่นกัน และช่วงต้นปี ค.ศ. 2004 ได้มีการระบาดครั้งใหญ่ของไข้หวัดนกในหลายประเทศทั้วโลกโดยเฉพาะในแถบเอเชียรวมทั้งประเทศไทย โดยเป็นไวรัสชนิด H5N1 ซึ่งการระบาดในประเทศไทยทำให้ต้องทำลายสัตว์ปีกไปมากกว่า 30 ล้านตัว มีผู้เสียชีวิต 8 คน จากผู้ป่วยทั้งสิ้น 12 คน ซึ่งนอกจากจะก่อให้เกิดความสูญเสียในด้านปศุสัตว์ และสุขภาพของประชาชนแล้ว ยังก่อให้เกิดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจ ไม่ว่าจะเป็นในด้านความเชื่อมั่นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์จากสัตว์ปีก หรือการกีดกันทางการค้าซึ่งส่งผลต่อการส่งออกไก่ไทยที่มีมูลค่ามหาศาล

โรคไข้หวัดนกเป็นไวรัสที่สามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะทางอากาศ ทำให้การควบคุมการแพร่ระบาดของไวรัสจำเป็นต้องดำเนินการโดยใช้มาตรการหลายอย่างร่วมกัน เช่นการทำลายสัตว์ป่วยและสัตว์ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง การทำวัคซีนป้องกันโรค เป็นต้น

ดังนั้นจากความสำคัญดังกล่าว การควบคุม การป้องกันโรคไข้หวัดนกจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ต้องทำอย่างเร่งด่วนและมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัญหาสำคัญเหล่านี้จึงสมควรอย่างยิ่งที่ควรจะลดการระบาดของโรคนี้ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มลดของจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี แต่ละภูมิภาค แต่ละจังหวัด และแต่ละช่วงอายุ
2) เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรค แล้วยังใช้เป็นตัวบ่งชี้วัดจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี อีกทั้งเป็นแนวทางหาวิธีการป้องกันโรคและลดจำนวนผู้ป่วยต่อปี
3) เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการควบคู่กับสถิติการเกิดโรคของประเทศไทยทั่วทุกภูมิภาคของโรคที่เฝ้าระวัง ของทางสำนักระบาดวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปัญหา

วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยสำหรับแต่ละช่วงอายุในแต่ละปี แต่ละภูมิภาค และแต่ละจังหวัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2550 เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อลดความเสี่ยงของประชากรในการติดเชื้อไข้หวัดนก
2) เสนอแนวทางใหม่เพื่อลดการเกิดโรคไข้หวัดนก
3) ช่วยลดงบประมาณของประเทศในการป้องกันเชื้อไข้หวัดนกแพร่ระบาด
4) เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปในอนาคต

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1) ค้นคว้าหาข้อมูลการเกิดโรคไข้หวัดนก
2) รวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดโรคไข้หวัดนก
3) วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการเกิดโรคไข้หวัดนก
4) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
5) วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ว่าสามารถใช้ได้จริงหรือไม่
6) ทดสอบแบบจำลองที่ได้ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่
7) พัฒนาแบบจำลองที่ได้ใหม่ถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสม
8) สรุปผลที่ได้จากแบบจำลองและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ

จาก เมษายน 2550 – กุมภาพันธ์ 2551

ขั้นตอนการดำเนินงาน/ระยะเวลา	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์
ศึกษาค้นคว้าหาหัวข้อปัญหาพิเศษ	←	→									
ค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆของปัญหาพิเศษ		←	→	→							
เก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดโรค				←	→						
วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการเกิดโรค				←	→	→					
ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง				←	→	→	→				
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์				←	→	→	→				
วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆในการควบคุมโรค				←	→	→	→				
จัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ทดสอบแบบจำลองและคาดการณ์								←	→	→	→
ทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจริง									←	→	→
ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม									←	→	→
พัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสม									←	→	→
หาผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม									←	→	→
สรุปผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง									←	→	→
จัดทำรายงานการทดสอบแบบจำลอง									←	→	→
จัดทำรูปเล่มรายงานที่สมบูรณ์									←	→	→
ตรวจสอบรูปเล่มรายงานปัญหาพิเศษ									←	→	→

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคไข้หวัดนก

ไข้หวัดนก (Avian Influenza หรือ Bird Flu) พบครั้งแรกที่ประเทศอิตาลีเมื่อกว่าร้อยปีมาแล้ว มีสาเหตุมาจากไวรัส (Influenza virus) ซึ่งอยู่ในตระกูล (Genus) Orthomyxovirus คำว่า Ortho มาจากภาษากรีก หมายถึง ทำให้ตรง ทำให้สะดวกสบายขึ้น ส่วนคำว่า myxo หมายถึง เยื่อเมือก ซึ่งโดยความหมายจากชื่อแล้ว ไวรัสชนิดนี้จัดเป็นไวรัสที่ทำให้เกิดการติดเชื้อในเซลล์ของเยื่อเมือกในระบบทางเดินหายใจ (บางครั้ง ไวรัสชนิดนี้ สามารถลุกลามสู่ระบบประสาทได้ แต่ส่วนใหญ่จะติดเชื้อตลอดระบบทางเดินหายใจ)

ไวรัสตระกูล Orthomyxovirus แบ่งเป็น 3 ชนิด (Type) คือ

1) ชนิดเอ (A) เป็นสายพันธุ์ที่อันตรายและแพร่ระบาดมากที่สุด พบได้ในคนและสัตว์ (ม้า สุกร สัตว์ปีก รวมทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล)
2) ชนิดบี (B) พบเฉพาะในคน สามารถก่อให้เกิดการระบาดได้ แต่ไม่รุนแรงและมีการระบาดเป็นครั้งคราว
3) ชนิดซี (C) แทบจะไม่เป็นพิษเป็นภัย เพียงก่อให้เกิดอาการป่วยกับระบบทางเดินหายใจเล็กน้อย

คุณสมบัติของเชื้อไวรัสเอเวียน อินฟลูเอนซ่า (Avian Influenza)

1. เป็นเชื้อไวรัสที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงตัวเองสูง จนภูมิคุ้มกันโรคเดิมที่เคยมีอยู่ในร่างกายสัตว์ไม่สามารถคุ้มกันโรคจากเชื้อไวรัสที่เปลี่ยนแปลงไปได้
2. เชื้อไวรัสใหม่ที่ไม่ถูกทำลายโดยภูมิคุ้มกันเดิมจะค่อยๆ มีการสะสมมากขึ้น จนก่อโรคได้ต่อมาและเกิดเป็นการระบาดครั้งใหญ่ขึ้น
3. เชื้อไวรัสแต่ละชนิดย่อย ยังสามารถแบ่งออกเป็นสายพันธุ์ย่อยได้
4. หลักเกณฑ์ที่ใช้กำหนดความรุนแรงคือ อัตราการตายของสัตว์
5. ไวรัสไข้หวัดนกสามารถแลกเปลี่ยนส่วนพันธุกรรม (Reassort)ระหว่างไวรัสไข้หวัดนกด้วยกันจนเกิดสายพันธุ์ใหม่ได้ เพราะฉะนั้น หากเกิดไวรัสสายพันธุ์ใหม่ที่มีความรุนแรงขึ้นก็อาจเกิดการระบาดที่รุนแรงกว้างขวางขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.1 แสดงอินฟลูเอนซ่า ไวรัส เอ (Influenza A)

	สัตว์ที่เป็นจุดกำเนิดของเชื้อ					
	สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม			สัตว์ปีก		
HA Subtype	คน	สุกร	ม้า	เป็ด	นกชายฝั่งทะเล	ไก่
H1	+	+		+	+	++
H2	+			+	+	+
H3	+	+	+	++		+
H4/6				++	+	+
H5	±			+	+	++
H7	±		+	+	+	++
H8				+		+
H9	±	±		+	++	++
H10/11				+	+	+
H12				+	+	
H13					++	+
H14				+		
H15				+	+	

± **หมายถึง** เป็นจุดเริ่มทำให้เกิดโรคหรือไม่ใช่จุดเริ่มก็ได้ แต่สามารถเป็นโรคได้

++ **หมายถึง** สัตว์ชนิดนั้นเป็นจุดเริ่มทำให้เกิดโรค และมีอาการค่อนข้างรุนแรง

\+ **หมายถึง** สัตว์ชนิดนั้นเป็นจุดเริ่มทำให้เกิดโรค และมีอาการไม่รุนแรง

ที่มา: บริษัทเมเรียล (ประเทศไทย) จำกัด

ไวรัสไข้หวัดนก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 นาโนเมตร ไวรัสแบ่งเป็น DNAและ RNA มีทั้งทรงกลม และทรงกระบอกจัดเป็น Ribonucleic (RNA) เพราะมีจีโนมเป็นอาร์เอ็นเอ (สายพันธุกรรมสายเดี่ยว) โดยมีอาร์เอ็นเอทั้งหมด 8 ชิ้น อยู่ภายในอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 โครงสร้างของเชื้อไข้หวัดนก

เชื้อ Influenza virus เป็น enveloped virus ซึ่งเป็น Sigle stranded RNA virus เชื้อไวรัสชนิดนี้จัดอยู่ใน family Orthomyxoviridae เชื้อไวรัส Influenza มีรูปทรงกลม (spherical) หรือบางครั้งมีรูปทรงไม่แน่นอน (pleomorphic) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 80-120 นาโนเมตร (Ruigrok,1998) รูปร่างและโครงสร้างของเชื้อไวรัส Influenza ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 เชื้อไวรัส Influenza เป็นเชื้อไวรัสที่มียีนแบบท่อน (segmented genome) โดยประกอบด้วย RNA segment จำนวน 8 ยีน คือ Polymerase Basic protein 1 and 2 gene (PB1) (PB2) Polymerase gene (PA) Hemagglutinin gene (HA) Nucleoprotein gene (NP) Neuraminidase gene (NA) Matrix protein gene (M) Nonstructural protein gene (NS) โดยที่ RNA segments จะบรรจุอยู่ใน viral core โดยมีโปรตีนห่อหุ้มยีนอยู่ภายใน (รูปที่ 2.1)

บริเวณเปลือกหุ้มของไวรัส (envelope glycoprotein) ประกอบด้วยโปรตีน hemagglutinin (HA) Neuraminidase gene (NA) และ membrane protein (M2) โดยที่ HA มีปริมาณคิดเป็น 40% ของ virus particle โดยปกติ HA โปรตีนจะถูกย่อย (cleave) ออกเป็น HA1 และ HA2 โดย trypsin-like enzyme จาก host ในช่วงที่มีการติดเชื้อ โดยทั่วไปเชื้อไวรัสจะประกอบด้วยผิวภายนอกที่เป็นแท่งยื่น (spike-like projection) จำนวนประมาณ 500 แท่งบนพื้นผิวทรงกลม แท่งยื่นประกอบด้วยโปรตีน HA ซึ่งมีรูปทรงแท่ง (rod-like shape) และโปรตีน NA ซึ่งมีรูปคล้ายเห็ด (mushroom-shape) แท่งยื่น HA เป็น trimer ซึ่งประกอบด้วย HA โปรตีน 3 ชิ้น ส่วนแท่งยื่น NA เป็น tetramer ซึ่งประกอบด้วย NA โปรตีน 4 ชิ้น HA โปรตีนจะมีปริมาณมากกว่า NA โปรตีนประมาณ 4 เท่า

<u>เปลือกหุ้มของเชื้อไวรัส(The viral envelop proteins)</u>

ส่วนประกอบที่สำคัญของเปลือกหุ้ม (envelop) คือ glycoprotein HA ซึ่งถูกสร้างในเซลล์ที่เชื้อโปรตีน HA ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 560 ตัว ซึ่งเป็นสาย polypeptide เรียกว่า HA0 ต่อมาจะถูกแบ่งย่อย (cleave) เป็นโปรตีน HA1 มีโครงสร้างเป็นส่วนหัว (globular domain) และบริเวณปลายส่วนหัวของโปรตีน HA เป็นบริเวณแอนติเจนที่กระตุ้นภูมิคุ้ม (antigenic epitopes) ส่วน HA2 มีโครงสร้างเป็นแท่งแกนของ HA spike ซึ่งมีความสำคัญในการเชื่อม (fusion) ของผิวนอกของเชื้อไวรัส (viral cell membrane) กับผิวนอกของเซลล์โฮสต์ (host cell membrane) HA spike จะมีความยาวยื่นออกมาจากผิวนอกของเชื้อไวรัสประมาณ 13.5 นาโนเมตร และที่บริเวณปลายสุดของแท่ง HA spike จะมีความสำคัญในการเกาะจับของเชื้อไวรัสกับตัวรับ (receptor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเปลือกหุ้มที่สำคัญอีกชนิดคือ glycoprotein NA มีหน้าที่สำคัญด้านการทำงานของเอ็นไซม์ในการแบ่งย่อย (cleave) sialic acid จาก glycoprotein ดังนั้น หน้าที่สำคัญขอ neuraminidase คือการแบ่งย่อยตัวรับที่มี sialic acid และ glycoprotein ทำให้เกิดการปล่อยของเชื้อไวรัสตัวใหม่จากผิวของเซลล์โฮสต์ ยาต้านไวรัส เช่น Oseltamivir (Tamiflu) และ Zanamivir (Relenza) ซึ่งเป็น sialic acid analogues นำมาใช้ในการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ neuraminidase [25] ทำให้ไม่สามารถปล่อยเชื้อไวรัสตัวใหม่จากผิวของเซลล์โฮสต์ จึงสามารถใช้ในการป้องกันการติดเชื้อไวรัส ส่วนประกอบของเปลือกหุ้มอีกชนิดคือ integral membrane protein (M2) มีส่วนประกอบของโปรตีนเป็น tetramer โปรตีน M2 ทำหน้าที่เป็น ion channel ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการติดเชื้อไวรัส เช่นการปรับความเป็นกรดด่างภายในตัวเชื้อไวรัส (modulating the pH) โปรตีน M2 เป็นเป้าหมายของยาต้านไวรัสบางชนิด เช่น Amantadine และ Rimantadine

แกนกลางของไวรัส(The viral core)

ยีนของเชื้อไวรัส Influenza ประกอบด้วย negative-sense single-stranded RNA จำนวน 8 ยีน โดย RNA ของไวรัสจะอยู่ในรูปของ Ribonucleoprotein (RNP) complex ประกอบ RNA, nucleoprotein (NP) และ Polymerase (PB1, PB2, PA) RNP จะถูกล้อมรอบด้วยชั้นของ M1 โปรตีนซึ่งมีจำนวนมากที่สุดในเชื้อไวรัส

โดยทั่วไปแต่ละ RNA segment ของเชื้อไวรัสจะมีการสร้างโปรตีน 1 ชนิด ตัวอย่างเช่น segment ที่ 1-6 จะสร้างโปรตีน PB2, PB1, PA, HA, NP และ NA (ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม RNA segment ที่ 7 จะสร้างโปรตีน 2 ชนิด คือM1 และ M2 โดยมี open reading frame ร่วมกันเช่นเดียวกับ RNA segment ที่ 8 ที่มีการสร้างโปรตีน 2 ชนิดคือ NS1 และ NS2 โดยมี open reading

2.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงและการกลายพันธุ์ของเชื้อไวรัสไข้หวัดนก

เชื้อไวรัสไข้หวัดนก มีความหลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงของแอนติเจนตลอดเวลา (antigenic variations) ทำให้เชื้อสามารถหลบภาวะภูมิคุ้มของโฮสต์ได้ เนื่องจากภูมิคุ้มของโฮสต์ที่มีต่อเชื้อไวรัสสายพันธุ์หนึ่งจะไม่มีผลต่อการป้องกันการติดเชื้อของไวรัสอีกสายพันธุ์หนึ่ง เนื่องจากโปรตีน HA ของเชื้อไวรัสเกี่ยวข้องกับการเป็นแอนติเจนต่อการสร้างภูมิคุ้ม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของโปรตีน HA จะมีผลโดยตรงต่อการสร้างภูมิคุ้มของโฮสต์ กระบวนการเปลี่ยนแปลงของแอนติเจนของเชื้อไวรัส influenza สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ การเกิด antigenic drift และการเกิด antigenic shift [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Antigenic drift

การเกิด antigenic drift เป็นผลมาจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือกลายพันธุ์ (mutation) ของ RNA ของเชื้อไวรัสที่มีอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาดในกระบวนการสร้างและผลิต RNA ของไวรัส ผลที่เกิดขึ้นคือ มีการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนในโปรตีนของเชื้อและอาจมีผลต่อคุณสมบัติการเป็นแอนติเจนของโปรตีนเช่นกัน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนจะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดประโยชน์ของเชื้อไวรัสในการเปลี่ยนคุณสมบัติเพื่อหลบภูมิคุ้มเดิมของโฮสต์ เนื่องจากเชื้อไวรัส influenza เป็นเชื้อไวรัสชนิด RNA ดังนั้นช่วงการสร้างและเพิ่มจำนวน RNA ของเชื้อไวรัสในเซลล์โฮสต์จะมีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากการขาดกระบวนการที่เรียกว่า proof reading ขณะที่มีการเพิ่มจำนวนของ RNA อัตราในการเกิดความผิดพลาดเนื่องมาจากกระบวนการดังกล่าวนั้น คิดเป็นประมาณ 1 ในทุก ๆ 100,000 นิวคลีโอไทด์ [27] การเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์ใน RNA ของเชื้อไวรัสบางครั้งอาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนหรือโปรตีนของเชื้อไวรัส (silent) หรือบางครั้งอาจทำให้เกิดการสร้างโปรตีนไม่สมบูรณ์ (premature stop codon) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงบางครั้งอาจส่งผลดีต่อเชื้อไวรัส คือทำให้เกิดไวรัสใหม่ (new variant) ที่สามารถหลบภูมิคุ้มเดิมบางส่วนหรือทั้งหมดของโฮสต์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการติดเชื้อและเกิดโรคได้

Antigenic shift

การเกิด Antigenic shift เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของไวรัสเป็นสายพันธุ์ใหม่ (new influenza virus subtype) โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดเชื้อไวรัสสายพันธุ์ใหม่ที่ทำให้เกิดโรคอาจเนื่องมาจาก

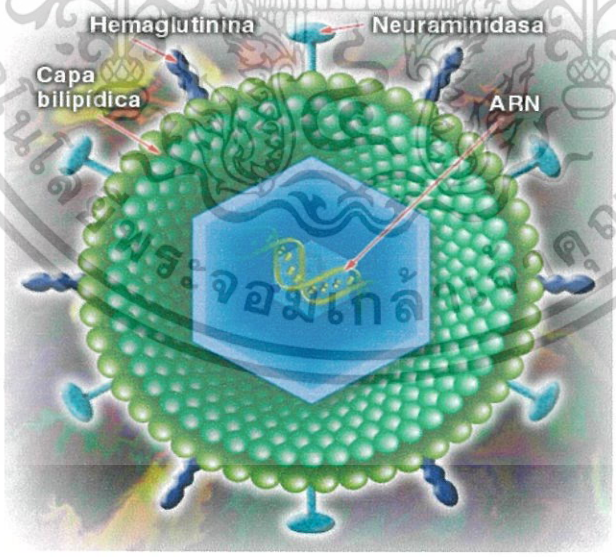
1. Genetic reassortment คือ การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของยีนของเชื้อไวรัสในคนและในสัตว์ปีก [26]

2. การแพร่ของเชื้อไวรัสโดยตรง จากสัตว์ปีกสู่คนโดยไม่ผ่านตัวกลาง หรือการเกิด reassortment (intermediate reassortment step)

3. การแพร่ของเชื้อไวรัสสายพันธุ์เก่าที่ทำให้เกิดโรคในอดีต [23][24] การเกิด genetic reassortment เกิดขึ้นเมื่อเซลล์โฮสต์มีการติดเชื้อไวรัส influenza A จำนวน 2 ชนิดในเวลาเดียวกัน ทำให้มีการเพิ่มจำนวนของ RNA segments ของเชื้อไวรัสทั้ง 2 ชนิดในนิวเคลียสของเซลล์โฮสต์ และในกระบวนการการประกอบเป็นเชื้อไวรัสตัวใหม่ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยน RNA segments ของเชื้อไวรัสทั้ง 2 ชนิดและเกิดเป็นเชื้อไวรัส influenza A สายพันธุ์ใหม่ ตัวอย่างของการเกิด genetic reassortment คือเชื้อไวรัส H2N2 ซึ่งทำให้เกิดการระบาดครั้งใหญ่ในปี ค.ศ.1957 หรือที่เรียกว่า Asian flu พบว่าเชื้อ

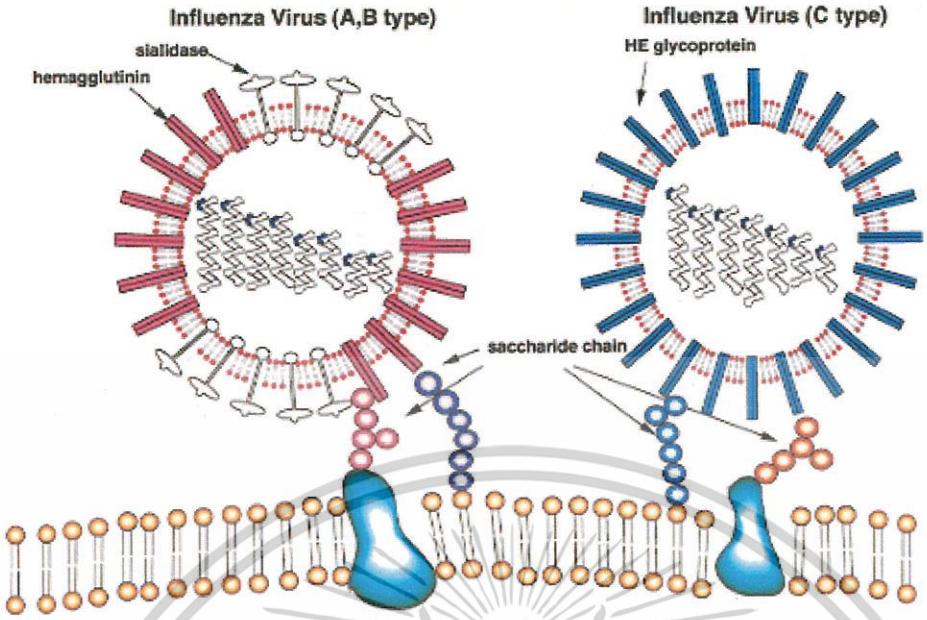
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไวรัส H2N2 นี้ได้รับยีน HA, NA และ PB1 จากเชื้อไวรัสในสัตว์ปีก ในขณะที่ยีนอื่น ๆมาจากเชื้อไวรัส H1N1 ที่พบได้ในคน สมมุติฐานการเกิด genetic reassortment คาดว่ามีโอกาสเกิดมากในสุกร ซึ่งถือว่าเป็น mixing vessel ที่สำคัญ เนื่องจากสุกรมีตัวรับที่มี sialic acid ที่เหมาะสมกับทั้งเชื้อไวรัสจากสัตว์ปีกและคน จึงสามารถติดเชื้อไวรัสได้ง่าย อย่างไรก็ตามมีหลักฐานมากขึ้นว่า คนอาจเป็น mixing vessel ได้เอง ในอดีตที่ผ่านมาสันนิษฐานว่า เชื้อไวรัสไม่สามารถแพร่โดยตรงจากสัตว์ปีกสู่คนได้ ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น สุกร [28] อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ.1997 มีรายงานการระบาดของโรคไข้หวัดนกในประเทศฮ่องกง จากรายงานพบว่าเป็นการแพร่เชื้อไวรัสโดยตรงจากสัตว์ปีกมาสู่คน ในการระบาดครั้งนั้นมีผู้ป่วยติดเชื้อจำนวน 18 คนและเสียชีวิต 6 คน โดยลักษณะทางพันธุกรรมของเชื้อไวรัสที่แยกได้จากผู้ป่วยเหมือนกับเชื้อไวรัสที่แยกได้จากไก่ที่ระบาดในช่วงเวลาเดียวกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่ามีการติดเชื้อไวรัสจากสัตว์ปีกโดยตรงสู่คน [21] นอกจากนี้ยังอาจสรุปได้ว่าเชื้อไวรัสเป็น multiple avian reassortant ซึ่งพบว่าเชื้อไวรัสไข้หวัดนก H5N1 มีต้นกำเนิดจากสัตว์ที่เป็นแหล่งรังโรค (reservoir) ได้แก่ ห่าน ก่อนที่จะมีการแลกเปลี่ยนยีนและสามารถทำให้เกิดโรคในสัตว์ปีกบนบก (terrestrial poultry) เช่น ไก่ จากนั้นจึงเกิดการแลกเปลี่ยนยีน โดยเฉพาะ internal protein และ NA protein กับเชื้อไวรัสสายพันธุ์อื่น ๆ เช่น H9N2 และ H6N1 ทำให้เชื้อไวรัสมีความรุนแรงและเกิดโรคในคน การระบาดของเชื้อไวรัสไข้หวัดนกในปี ค.ศ.1997 มีความสำคัญ ถึงแม้ว่าจะไม่มีรายงานการแพร่ของเชื้อไวรัสจากคนสู่คน แต่โอกาสในการเกิดเชื้อไวรัสที่มีความรุนแรงอาจเกิดขึ้นได้จากการเกิด genetic reassortment ของเชื้อไวรัสไข้หวัดนก H5N1 กับเชื้อไข้หวัดในคน โดยที่มีคนเป็น mixing vessel

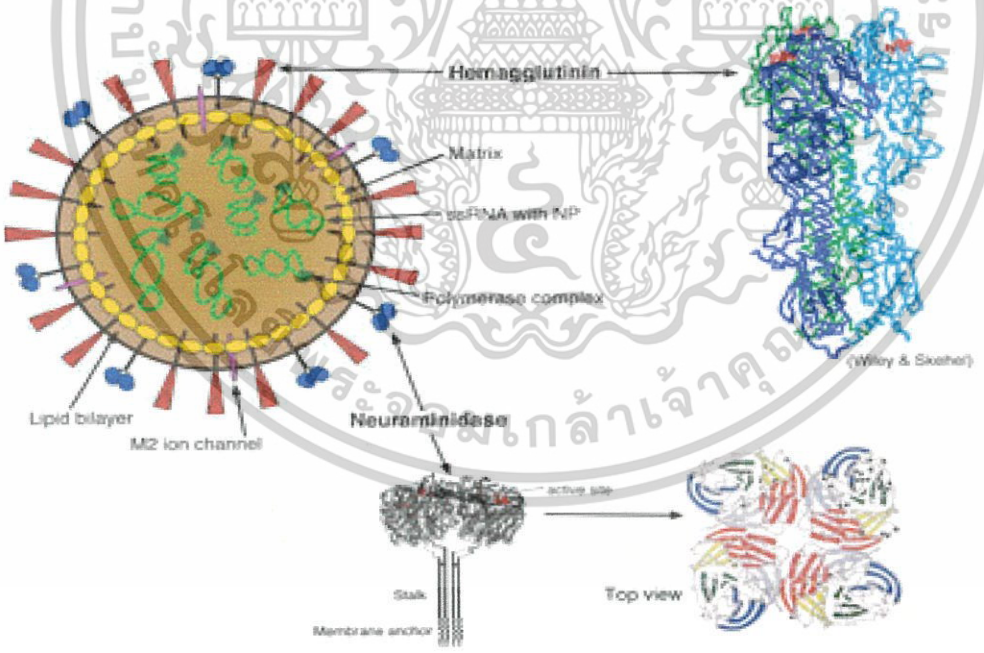


รูปที่2.1 ไวรัสชนิดเอที่เป็นสาเหตุของไข้หวัดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.2 Hemagglutinin ของไวรัสเข้าจับกับ receptor ของเซลล์ที่มันเข้าไปอาศัยอยู่ แล้วก่อให้เกิดการติดเชื้อ



รูปที่2.3 ลักษณะของ H และ N ที่ยื่นออกมาจากผิวเซลล์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการก่อโรคไข้หวัดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดนก

ต้นปี 2547 พบการระบาดของโรคไข้หวัดนก (H5N1) ในสัตว์ปีกและคนในแถบทวีปเอเชีย 8 ประเทศ ได้แก่ กัมพูชา จีน อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น ลาว เกาหลีใต้ เวียดนาม รวมทั้งประเทศไทย และได้มีการทำลายสัตว์ปีกไปเป็นจำนวนมากกว่า 100 ล้านตัว จากนั้นเดือนมิถุนายน 2547 พบการระบาดเพิ่มขึ้นอีกครั้งในหลายประเทศแถบทวีปเอเชีย ได้แก่ มาเลเซีย มองโกเลีย รัสเซีย (ไซบีเรีย) จีน รวมทั้งในปี 2548-2549 ได้มีการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดนกในสัตว์ปีกและคน ไปยังหลายประเทศใน เอเชีย ยุโรป และแอฟริกา เช่น พม่า อินเดีย ปากีสถาน อัฟกานิสถาน คาซัคสถาน อิหร่าน อาเซอร์ไบจัน จอร์เจีย ตุรกี อิรัก จอร์แดน แอลบาเนีย ปาเลสไตน์ ยูเครน อิตาลี โรมาเนีย บัลแกเรีย กรีซ ฮังการี โปแลนด์ ออสเตรเลีย โครเอเชีย สโลวาเกีย สาธารณรัฐเชค เยอรมันนี ฝรั่งเศส เดนมาร์ค สวีเดน สวิสเซอแลนด์ สก๊อตแลนด์ อียิปต์ ซูดาน แคเมอรูน ไนเจอร์ ไนจีเรีย เบอร์กินาฟาโซ และไอวรีโคสต์ [29]

ในระหว่างปี 2546-2549 ได้มีรายงานของผู้ติดเชื้อไวรัสไข้หวัดนกในประเทศต่างๆจำนวน 241 ราย และเสียชีวิต 141 ราย (ณ วันที่ 24 มิถุนายน 2549)

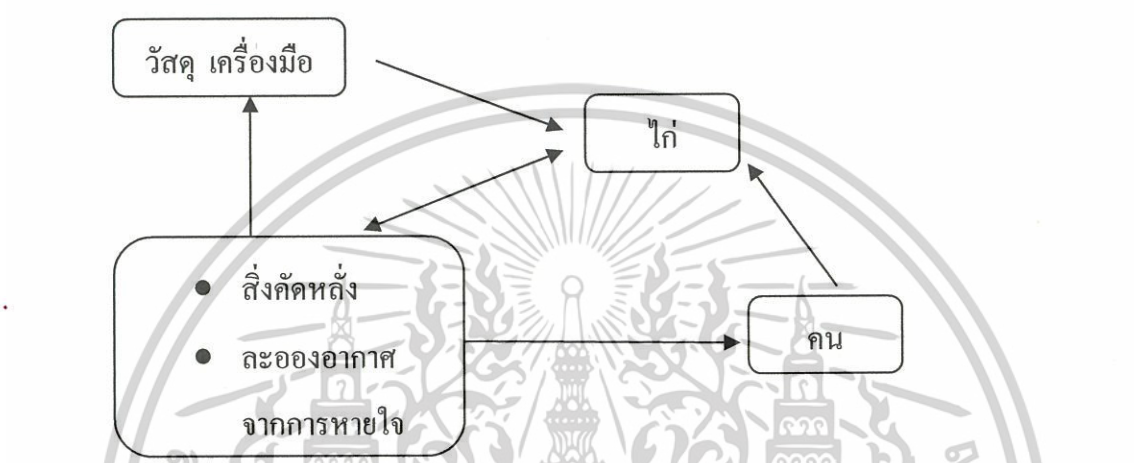
การระบาดของเชื้อไวรัสไข้หวัดนก H5N1 ในประเทศไทยได้สร้างความเสียหายทั้งด้านเศรษฐกิจและสาธารณสุข โดยพบว่าตั้งแต่ต้นปี 2547 จนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยมีรายงานการระบาดของโรคไข้หวัดนกเป็น 4 ครั้งใหญ่ๆ และมีรายงานผู้ติดเชื้อไวรัสไข้หวัดนก (H5N1) ทั้งหมด 24 รายและเสียชีวิต 16 ราย จากรายงานพบว่าผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตได้สัมผัสหรือทำงานใกล้ชิดกับไก่ ขณะเดียวกันโรคไข้หวัดนกยังมีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่และการส่งออก เช่น การกำจัดสัตว์ปีกในรัศมีบริเวณที่มีการระบาดของโรค การงดการนำเข้าเนื้อไก่จากกลุ่มประเทศต่างๆ และการลดการบริโภคเนื้อไก่ของประชาชนในประเทศ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการกำหนดมาตรการต่างๆของรัฐ ทั้งในส่วนของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกระทรวงสาธารณสุขในการควบคุมและป้องกันการระบาดของโรค ตัวอย่างเช่น กรมปศุสัตว์ได้กำหนดมาตรการการดำเนินงานแก้ปัญหาไข้หวัดนกของประเทศ เช่น มาตรการเฝ้าระวังและค้นหาโรคไข้หวัดนก มาตรการการควบคุมเคลื่อนย้ายสัตว์ปีกและผลิตภัณฑ์สัตว์ปีก มาตรการการทำลายสัตว์และการจ่ายค่าชดเชย มาตรการการทำความสะอาดและทำลายเชื้อ มาตรการการควบคุมโรงฆ่าสัตว์ปีกและโรงงานแปรรูป มาตรการการปรับปรุงและพัฒนาระบบการเลี้ยงสัตว์ปีก ดังนั้นจึงนับได้ว่าโรคไข้หวัดนกเป็น emerging disease ที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญทางด้านเศรษฐกิจและการสาธารณสุขในขณะนี้

การแพร่ระบาดของโรคสามารถพบได้หลายรูปแบบ ได้แก่

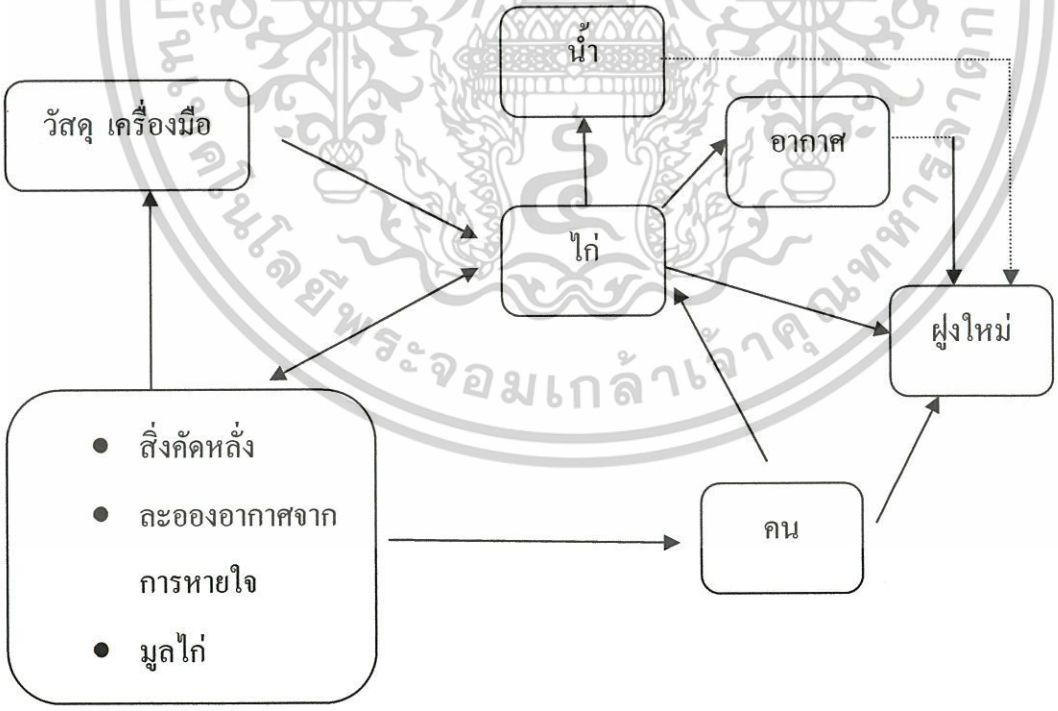
1. การแพร่ระบาดที่เกิดภายในฝูงสัตว์ชนิดเดียวกัน ซึ่งเป็นการแพร่ระบาดที่พบมากและบ่อยที่สุด เช่น จากไก่ไปไก่ จากคนไปคน จากสุกรไปสุกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแพร่ระบาดที่เกิดขึ้นระหว่างฝูงสัตว์ต่างชนิดกัน ซึ่งเป็นการแพร่ระบาดที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวเช่น จากนกธรรมชาติไปไก่ จากสุกรไปคน
3. การแพร่ระบาดระหว่างสัตว์ต่างชนิดกัน ซึ่งพบได้น้อยมาก โดยพบการแพร่ระบาดในประเทศไทยเดือน มกราคม 2004 เช่น จากไก่ไปคน

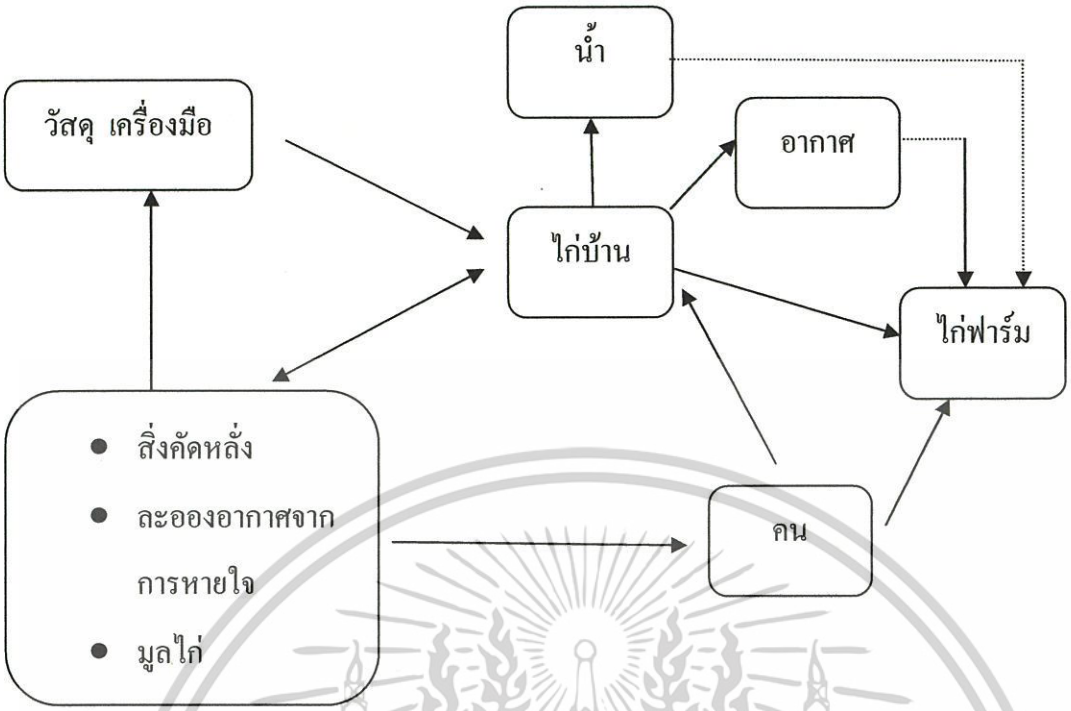


รูปที่2.4 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ภายในฝูง)

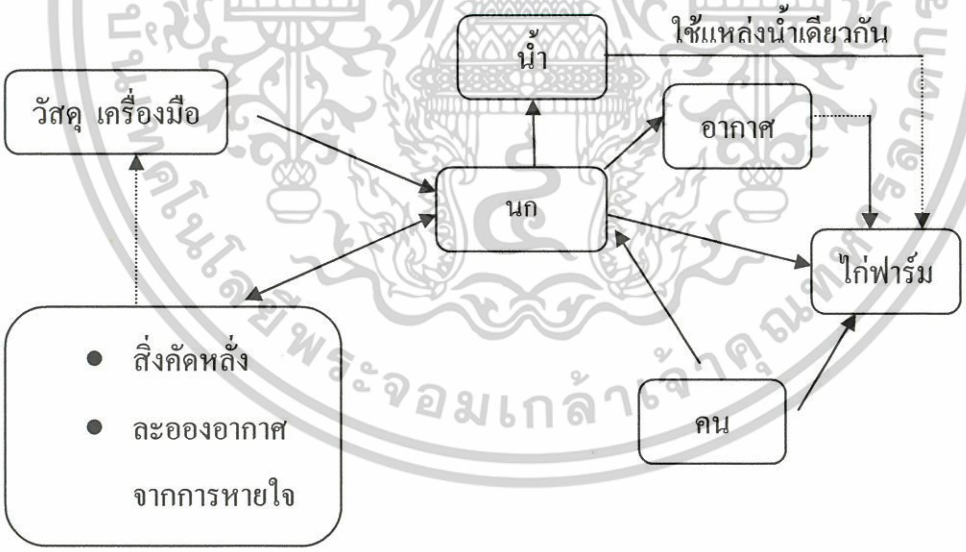


รูปที่2.5 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ระหว่างฝูง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ระหว่างฝูง)



รูปที่2.7 แสดงกลไกการแพร่ระบาดของโรค (ระหว่างฝูง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.2 จำนวนผู้ติดเชื้อและผู้เสียชีวิตจากเชื้อไวรัสไข้หวัดนก ในแต่ละประเทศ

ตารางแสดงจำนวนผู้ป่วยที่ตรวจพบเชื้อไข้หวัดนก ตั้งแต่ พ.ศ.2540 – 2547

ลำดับ	พ.ศ.	ประเทศ	จำนวนป่วย	จำนวนตาย	เชื้อ
1	2540	ฮ่องกง	18	6	H5N1
2	2542	ฮ่องกง	2	0	H9N2
3	2542	สาธารณรัฐประชาชนจีน	หลายราย	?	H9N2
4	2546	ฮ่องกง	2	1	H5N1
5	2540	ฮ่องกง	18	6	H5N1
6	2546	เนเธอร์แลนด์	89	1	H7N7
7	2547	เวียดนาม,ไทย	33	22	H5N1
8	2547	สหรัฐอเมริกา	1	0	H7N2
9	2547	แคนาดา	2	0	H7N3
10	2547	อียิปต์	2	0	H10N7

ข้อมูลล่าสุดถึงวันที่ 24 พ.ค. 2547

2.1.3 ระยะฟักตัวของโรค

ระยะฟักตัวทั้งในสัตว์และในคนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3 ถึง 5 วัน สูงสุดไม่เกิน 7 วัน

2.1.4 ลักษณะอาการของโรคหวัดนก

การติดเชื้อขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ ซึ่งรวมไปถึงระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ดังนั้น อาการของโรคจึงพบได้ตั้งแต่ไม่มีอาการของโรคเลย (Subclinical) หรือมีอาการน้อยเช่นเป็นเพียงหวัด และมีอาการมากคือ หลอดลมอักเสบและปอดอักเสบ ความรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับระบบภูมิต้านทานของร่ายกาย การมีโรคพื้นฐานในแต่ละบุคคล วัย รวมทั้งสายพันธุ์ของไวรัสที่มีการระบาด

โดยทั่วไป ผู้ป่วยจะมีอาการไข้ ปวดศีรษะ ปวดเมื่อย เจ็บคอ ระคายคอ หวัด น้ำมูกไหล ไอ จาม คอและตาแดง (injected) บางรายพบมีต่อมน้ำเหลืองที่คอโต อาการโดยทั่วไปจะเป็นประมาณ 3-5 วัน

ในรายที่เป็นรุนแรง (fulminant influenza) ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในการระบาดใหญ่ชนิด pandemic โดยสามารถเกิดกับใครก็ได้ จะมีอาการทางปอดอย่างรุนแรง เป็นปอดอักเสบ มีอาการไข้สูง ไอ เหนื่อย cyanosis จนถึงเสียชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 อาการไข้หวัดนก

จะมีอาการทางระบบทางเดินหายใจแบบเฉียบพลัน เริ่มจากมีไข้สูง หนาวสั่น ปวดศีรษะ ปวดเมื่อยเนื้อตัว อ่อนเพลีย เจ็บคอ ไอแห้งๆ และอาจมีตาแดงด้วย ผู้ป่วยที่เป็นเด็ก ผู้สูงอายุ หรือผู้มีโรคประจำตัวอาจป่วยรุนแรง เกิดอาการหายใจลำบากหรือหอบ จากปอดบวมอักเสบ และอาจมีอาการระบบหายใจล้มเหลวอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งเสียชีวิตได้ ระยะเวลาป่วยนาน 5-13 วัน อัตราป่วยตายสูงถึงร้อยละ 70

2.1.6 การรักษา

เนื่องจากเป็นเชื้อไวรัส การให้ยาปฏิชีวนะจึงไม่เกิดประโยชน์ ยกเว้นมีอาการแทรกซ้อน การรักษาจึงเป็นการรักษาแบบโรคทางเดินหายใจทั่วไป และรักษาตามอาการ ป้องกันคอยดูแลรักษา การเกิดภาวะหายใจล้มเหลว โดยเฉพาะในรายที่มีอาการปอดบวม ยาต้านไวรัสที่ใช้ในไข้หวัดใหญ่มี 2 ชนิด คือ

1. Amantadine และ Ramantadine มีคุณสมบัติยับยั้ง การแบ่งตัวของไวรัส ควรให้เร็วภายใน 24-48 ชม หลังจากเริ่ม มีอาการ

2. Oseltamivir และ Zanamivir มีคุณสมบัติขัดขวาง การทำงานของเอนไซม์ neuraminidase ควรให้เร็วภายใน 24-48 ชม. หลังมีอาการ ผลการรักษา อย่างไรก็ตามยาดังกล่าวมีโอกาส ที่ไวรัสจะดื้อยาเกิดขึ้นได้

แม้ในปัจจุบันจะยังไม่มีวัคซีนใช้ป้องกันไข้หวัดนก H5N1 แต่การพัฒนาวัคซีนก็มีความเป็นไปได้ โดยจำเป็นต้องศึกษา สายพันธุ์ของ Influenza A H5N1 อย่างละเอียด และแนวโน้ม การกลายพันธุ์เพื่อพยากรณ์ล่วงหน้าในการพัฒนาวัคซีน ซึ่งปัจจุบัน เริ่มมีการศึกษาวิจัยกันแล้วในต่างประเทศ ส่วนวัคซีนไข้หวัดใหญ่ในมนุษย์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ปัจจุบันยังมีข้อจำกัดอยู่มาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ สายพันธุ์ไวรัส ทำให้ต้องมีการฉีดใหม่ทุกปี ซึ่งวัคซีนที่ใช้จะเป็น การกำหนดสายพันธุ์โดยองค์การอนามัยโลก โดยกำหนดให้ใช้ในกลุ่มเสี่ยงที่หากเป็นไข้หวัดใหญ่จะเกิดโรคแทรกซ้อน หรือมี อาการรุนแรง ซึ่งสำหรับประเทศไทยน่าจะมีองค์กรหรือผู้เชี่ยวชาญ เป็นผู้กำหนดว่ากลุ่มใดควรจะได้รับเพื่อความเหมาะสมสำหรับ ประเทศไทย การรับประทานอาหารที่สุก ความร้อนสามารถทำลายไวรัส ได้ จึงเป็นวิธีป้องกันตนจากไวรัสได้

2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2.1 แบบจำลอง

แบบจำลองหมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง แบบจำลองอาจนำไปใช้งานในหลายลักษณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เป็นเครื่องช่วยคิด (An aid to thought) เช่น แบบจำลองโครงข่าย (Network Model) ช่วยทำให้ผู้สร้างแบบได้มองเห็นว่าจะมีกิจกรรมที่ต้องทำอะไรบ้าง และทำอะไรก่อนอะไรหลัง

2. เป็นเครื่องสื่อความหมาย(An aid to communication) แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของปัญหาที่เราสนใจ และช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรมปัญหาและการแก้ปัญหาที่เราสนใจได้

3. เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม(Purposes of training and instruction) เช่นแบบจำลองเครื่องควบคุมการบิน จะช่วยให้นักบิน ทำความเข้าใจและทำความคุ้นเคยกับระบบการควบคุมเครื่องบินจริงก่อนขึ้นฝึกบินจริง

4. เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนาย (A tool of prediction) จากการที่แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของปัญหา ก็จะช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองสามารถคาดคะเนหรือทำนายได้ว่า เมื่อมีเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแบบจำลองเกิดขึ้น จะมีผลอะไรเกิดขึ้นกับสถานการณ์ที่เราสนใจ

5. เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง(An aid to experimentation)โดยที่แบบจำลองเป็นสิ่งซึ่งสร้างขึ้นแทนปัญหาที่เราสนใจจริง ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่างๆกับระบบงานจริงแต่ทำไม่ได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้นๆมาทดลอง กับแบบจำลองเพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้นๆไปใช้กับสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริงได้หรือไม่

โครงสร้างของแบบจำลองประกอบด้วย

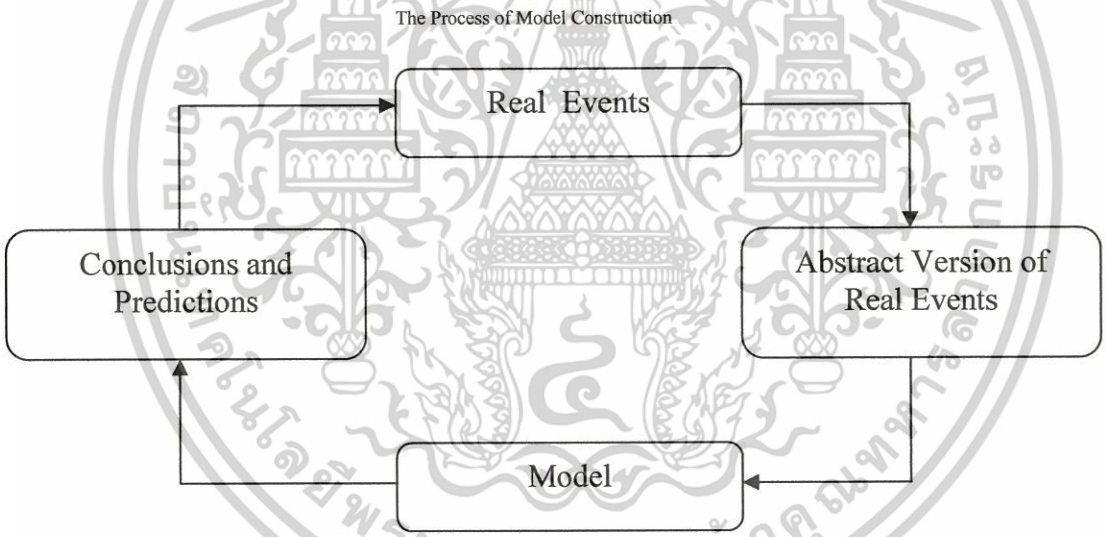
1. องค์ประกอบ(Components)ในทุกแบบจำลองจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆในแบบจำลองที่ใช้แทนข้อมูลทั้งหมด ก็จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงานของแบบจำลอง
2. ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variable and Parameters) พารามิเตอร์คือ ค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนดให้ อาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าพารามิเตอร์ หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล ส่วนตัวแปรนั้นเป็นค่าที่ผันแปร มีค่าได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ ตัวแปรภายนอก (Exogenous Variables) หรือตัวแปรนำเข้า (Input Variables)หมายถึงตัวแปรจากภายนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบหรือตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกระบบ และตัวแปรภายใน (Endogenous Variables) หมายถึงตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตัวแปรภายในอาจอยู่ในลักษณะตัวแปรสถานภาพ (Status Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ ในทางสถิติ ตัวแปรจากภายนอกคือตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในคือตัวแปรตาม(Dependent Variables)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3. ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) คือฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ ฟังก์ชันความสัมพันธ์นี้อาจจะอยู่ในลักษณะแน่นอนตายตัว(Deterministic) ซึ่งเป็นลักษณะที่เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาได้ว่าผลลัพธ์จะเป็นเท่าไหร่แน่นอน และอาจอยู่ในลักษณะไม่แน่นอน (Stochastic) ซึ่งเมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชันไม่แน่ว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมาเท่าไหร่ ลักษณะของฟังก์ชันความสัมพันธ์มักจะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น Y=4+0.7X ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้อาจหามาได้จากการสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์
4. ขอบข่ายจำกัด(Constraint)คือข้อจำกัดของค่าของตัวแปรต่างๆซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด

2.2.2 กระบวนการสร้างแบบจำลอง (Model Construction Process)



รูปที่2.8 แสดงแนวคิดของกระบวนการสร้างแบบจำลอง

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในโลกนี้มักจะมีหลายรูปแบบ (multifaceted) เชื่อมโยงกัน (interrelated) และยากแก่การเข้าใจ ในการข้องแวะกับปรากฏการณ์เหล่านี้ เราจึงพยายามสรุปกฎเกณฑ์ (abstract) และพยายามมุ่งไปยังขอบเขตที่กว้างขึ้น เป็นชุดของลักษณะที่ประกอบกันเป็นโลกแห่งความเป็นจริง หรือโครงสร้างที่วางอยู่ภายใต้กระบวนการซึ่งนำไปสู่ผลที่สังเกตได้ แบบจำลองก็คือการสรุปกฎเกณฑ์ (abstractions) ของความเป็นจริง (reality)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
102984

2.2.3 ประเภทของแบบจำลอง (Model Classification)

แบบจำลองมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน พอที่จะจำแนกประเภทได้อย่างคร่าว ๆ ได้ดังนี้

1) Deterministic models เป็นแบบจำลองที่ตัววัด (parameters) ต่าง ๆ เช่น อัตราการเติบโตมีค่าแน่นอน (deterministic) เนื่องจากไม่คำนึงถึงการสั่นไหวแบบไร้ทิศทาง (random fluctuations) ของสภาพแวดล้อม

2) Stochastic models เป็นแบบจำลองที่รวมเอาการสั่นไหวแบบไร้ทิศทางของสภาพแวดล้อมเข้ามาด้วย ทำให้ตัววัดต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณฝน อัตราการไหลของ น้ำทิ้งมีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ย (mean) เป็นตัวแทน และยังมักมีค่าเปลี่ยนไปตามเวลาอีกด้วย นอกจากนี้ตัววัดบางตัวก็มีค่าที่กระจายเป็นช่วง เช่น ขนาดของอนุภาคดิน ขนาดของฟองอากาศจากเครื่องเติมอากาศ ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าการกระจายทางสถิติ (statistical distributions) เช่น Gaussian, Poisson, binomial เป็นต้น มาอธิบายค่าตัววัดเหล่านี้ การจำลองสถานการณ์โดยใช้แบบจำลองนี้ ทำโดยการเลือกค่าตัววัดแบบสุ่ม (random) มาใช้หลายๆค่า จนได้ค่าการกระจายของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เรียกว่า Monte Carlo simulation

3) Steady-state models เป็นแบบจำลองที่ใช้แทนปรากฏการณ์อันใดอันหนึ่ง เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งจะทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้น เพราะสมการของแบบจำลองจะเป็นสมการพีชคณิต (algebraic equations) ได้แก่ แบบจำลองของ กระบวนการบำบัดน้ำเสียต่างๆ ที่ทำงานภายใต้สภาวะคงที่ (steady-state) เป็นต้น

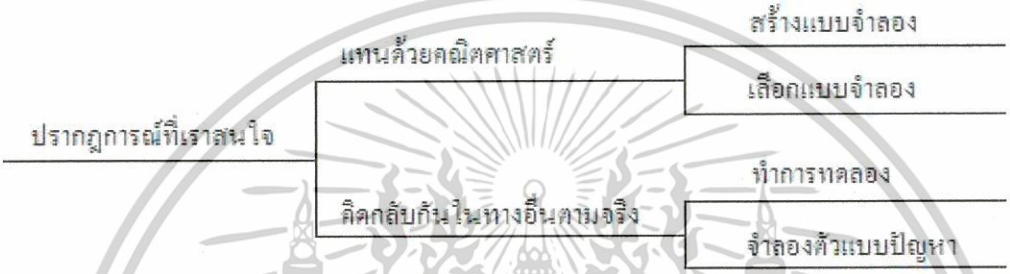
4) Dynamic models เป็นแบบจำลองที่คำนึงถึงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระบบมักจะซับซ้อนเนื่องจากประกอบด้วยทั้งสมการพีชคณิตและสมการอนุพันธ์ (differential equations) การแก้สมการจะยุ่งยาก ซับซ้อน หากไม่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตแบบใช้ตัวเลข (numerical integration techniques) ด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) คือ การสร้างหรือการออกแบบ เพื่อที่จะศึกษาสิ่งที่เราสนใจในระบบหรือปรากฏการณ์ใด ๆ ซึ่งการสร้างหรือออกแบบจะต้องอาศัยการประกอบกันของ การจำลองแบบปัญหา, สัญลักษณ์, กราฟต่างๆ, และสิ่งที่ได้จากผลการทดลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของปรากฏการณ์นั้น ๆ และถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาปรากฏการณ์นั้นๆ ด้วย แล้วแบบจำลองก็ยังใช้สร้างลักษณะพิเศษเพื่อที่จะศึกษาปรากฏการณ์พิเศษเหล่านั้นอีกด้วย



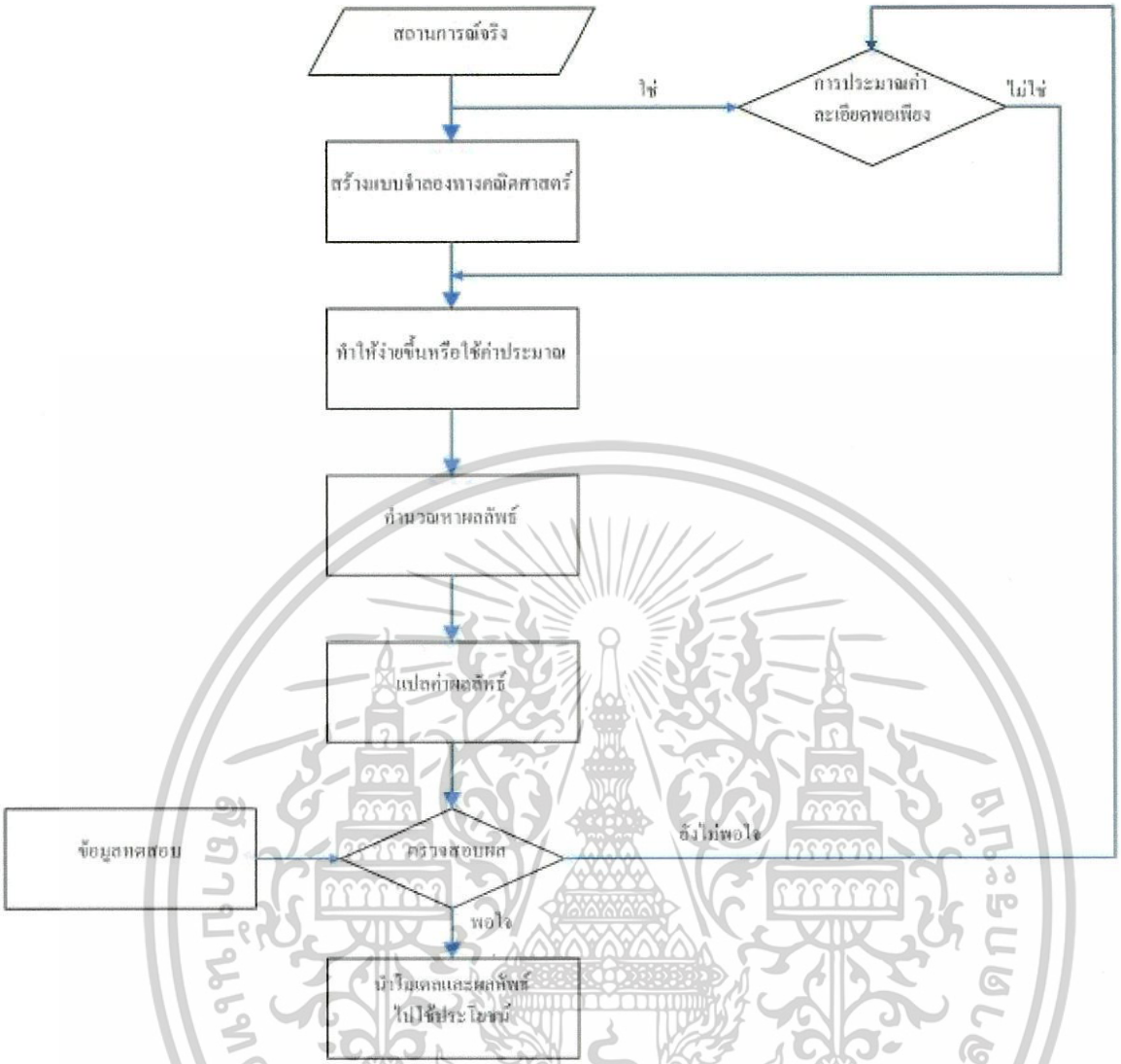
รูปที่2.9 อธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

เริ่มจากปรากฏการณ์บางปรากฏการณ์ และเราสามารถแทนเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยการสร้างแบบจำลองใหม่หรือเลือกมาจากที่มีอยู่แล้ว ในทางตรงกันข้ามเราสามารถคิดกลับด้านกันได้จากปรากฏการณ์ของผลการทดลอง

การพิจารณาคำถามของการสร้างแบบจำลองซึ่งมีเงื่อนไขที่หลากหลายหรือที่เราอาจจะไม่ได้สนใจและเพราะคณิตศาสตร์อาจจะซับซ้อนเกินไปและควบคุมได้ยาก

ความซับซ้อนนี้เกิดขึ้นได้ เช่น เมื่อเราพยายามใช้แบบจำลองที่เรากำหนดให้เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยหรือระบบสมการพีชคณิตไม่เชิงเส้น หรือ ปัญหาอาจจะใหญ่เกินไปซึ่งอาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะจับกลุ่มกันให้ได้ออกมาเป็นเพียงแบบจำลองเดียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.10 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3 การหาผลเฉลยความเสถียรของระบบ (Steady State Solution)

2.3.1 แบบจำลองความเสถียรของระบบ (Steady State) ไม่เชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง

สมการผลต่างไม่เชิงเส้น คือ สมการที่อยู่ในรูปของ

$$x_{n+1} = f(x_n, x_{n-1}\ldots) \qquad (2.3.1.1)$$

เมื่อ x_n คือค่าของ x ในลำดับที่ n และ f เป็นฟังก์ชันของการทำซ้ำๆกัน (f อาจจะรวมถึงฟังก์ชันกำลังสอง , ฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล หรือฟังก์ชันยกกำลังของ x_n ฯลฯ) ผลเฉลยที่ได้เป็นรูปแบบทั่วไปที่สัมพันธ์กับ x_n พร้อมทั้งกำหนดค่าเริ่มต้น ในกรณีที่สัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อยเราสามารถหาออกมาในรูปแบบของ Analytic Solution แบบตรงๆได้เมื่อสมการ (2.3.1.1) เป็นรูปแบบไม่เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราต้องนิยามและกำหนดประเภทของผลเฉลย หรือใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการตรวจสอบผลเฉลย เราจะพบว่าสิ่งที่กล่าวมานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการที่จะทำให้เกิดความเข้าใจลักษณะของผลเฉลย ซึ่งเราสามารถพิจารณาได้จากสมการผลต่างอันดับที่ 1 ซึ่งอยู่ในรูปของ

$$x_{n+1} = f(x_n) \tag{2.3.1.2}$$

จากคุณสมบัติของผลเฉลยของสมการ (2.3.1.2) จะพบความสัมพันธ์อีกหลายอย่าง ดังนี้

แนวคิดของภาวะสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายใน(homeostasis), ความสมดุล(equilibrium),และความเสถียรของระบบที่สัมพันธ์กับการขาดหายไปบางอย่างในระบบที่เปลี่ยนแปลง คำถามสำคัญที่เกิดจากหลายๆปัญหาในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ คือ ผลเฉลยมีค่าคงตัวหรือไม่ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่านั่นมีความเสถียรหรือความคงตัว

ในบางกรณีเราสนใจ ผลเฉลยของความเสถียร(Steady State Solution)ของระบบตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันการทำงานของระบบอวัยวะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต ในช่วงแถบอุณหภูมิที่ค่อนข้างแคบในภาวะต่างๆ เช่น ภาวะเป็นกรด , หรือระดับความเข้มข้น(มีระดับสูงขึ้นอีกเมื่อระบบค่อยๆพัฒนาให้เกี่ยวเนื่องกันภายในกลไกลควบคุมอุณหภูมิของร่างกายและปัจจัยอื่นๆในระดับคงที่ๆอยู่ในสภาพพอเหมา) ในทางตรงกันข้าม ความเสถียรของระบบ อาจจะดูเหมือนกับขอบเขตของปัญหาที่สนใจ รวมถึงผลวัดต่างๆ(dynamics events) เช่น การเจริญเติบโต, การแพร่, หรือการสืบพันธุ์ของประชากร ยังคงเป็นจริงเสมอด้วยการทดสอบอย่างระมัดระวังว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับความเสถียรของระบบบ้าง แล้วเราสามารถเข้าใจพฤติกรรมของระบบได้ดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะแสดงให้ดูพอสังเขปได้ต่อไป

ผลเฉลยของความเสถียรของระบบ ซึ่งเมื่อ $\bar{x}$ ถูกกำหนดเป็นค่าที่ให้ความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน คือ

$$x_{n+1} = x_n = \bar{x} \tag{2.3.1.3}$$

ซึ่งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากลำดับที่ n ถึงลำดับที่ $n+1$ จากสมการที่ [2.5.1.2] จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นอีก คือ

$$\bar{x} = f(\bar{x}) \tag{2.3.1.4}$$

และก็บ่อยครั้งที่อ้างอิง เช่นเดียวกับจุดตรึง(fixed point) ของฟังก์ชัน f (ค่าของ f ที่ขาดไปไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ที่ไม่เสมอไป

จุดตรึง(fixed point) คือจุดใดๆที่เมื่อมีการแทนค่าแล้วจะให้ค่ากลับคืนมาเป็นค่าเดิมดังตัวอย่างต่อไปนี้ เช่น $x_{n+1} = mx_n$ จะเห็นได้ว่า function นี้ เมื่อมีการแทนค่า x_n ทางฝั่งขวามือของสมการแล้วจะให้ค่าของ function เท่ากับฝั่งซ้าย หรือก็คือ มีค่าเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง2.3.1.1 จงยกตัวอย่างฟังก์ชัน fixed point ตามสมการ $\bar{x} = f(\bar{x})$

วิธีทำ จากโจทย์เราจะได้ว่า ตัวอย่างตามสมการข้างต้นเป็นดังต่อไปนี้

เช่น $x_{n+1} = 3x_n - 2(x_{n-1})^2$ เมื่อ $x_{n+1} = x_n = x_{n-1} = \bar{x}$

$x_{n+1} = 3\bar{x} - 2(\bar{x})^2$ แทนค่า $x_{n+1} = x_n = x_{n-1} = \bar{x}$

จะได้ $2(\bar{x})^2 - 3\bar{x} + \bar{x} = 0$

$2(\bar{x})^2 - 2\bar{x} = 0$

$2\bar{x}(\bar{x} - 1) = 0$

$\bar{x} = 0, 1$

ดังนั้น $\bar{x} = 0, 1$ เป็นค่า fixed point ที่เป็นจริงตามสมการ $\bar{x} = f(\bar{x})$

ตัวอย่าง 2.3.1.2 จงยกตัวอย่างฟังก์ชัน fixed point ตามสมการ $\bar{x} = f(\bar{x})$

วิธีทำ จากโจทย์เราจะได้ว่า ตัวอย่างตามสมการข้างต้นเป็นดังต่อไปนี้

เช่น $x_{n+1} = x_n + 3(x_{n-1})^2$ เมื่อ $x_{n+1} = x_n = x_{n-1} = \bar{x}$

$x_{n+1} = \bar{x} + 3(\bar{x})^2$ แทนค่า $x_{n+1} = x_n = x_{n-1} = \bar{x}$

$3(\bar{x})^2 + \bar{x} - \bar{x} = 0$

$3(\bar{x})^2 = 0$

$\bar{x} = 0$

ดังนั้น $\bar{x} = 0$ เป็นค่า fixed point ที่เป็นจริงตามสมการ $\bar{x} = f(\bar{x})$

2.3.2 แบบจำลองความเสถียรของระบบ ไม่เชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง(Continuous Models)

การหาความเสถียรของระบบ คือ แบบจำลองที่มีรูปแบบดังนี้

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dX_1}{dt} &= F_1(X_1, X_2, X_3, ..., X_n) \\
\frac{dX_2}{dt} &= F_2(X_1, X_2, X_3, ..., X_n) \\
&\vdots \\
\frac{dX_n}{dt} &= F_n(X_1, X_2, X_3, ..., X_n)
\end{aligned}\right\} \quad (2.3.2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเฉลยของความเสถียรของระบบ สมการนี้สามารถหาได้จากการจัดให้สมการทุกสมการของ(2.3.2.1) เป็นศูนย์ นั่นก็คือ

$$\left.\begin{aligned} F_1(X_1, X_2, X_3, ..., X_n) &= 0 \\ F_2(X_1, X_2, X_3, ..., X_n) &= 0 \\ &\vdots \\ F_n(X_1, X_2, X_3, ..., X_n) &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (2.3.2.2)$$

ตัวอย่าง 2.3.2.1 จงหาผลเฉลยความของระบบจากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dx}{dt} = x_1 - x_2 \quad (2.3.2.3)$$

$$\frac{dx}{dt} = x_1^{\,2} - x_2 \quad (2.3.2.4)$$

วิธีทำ เราจะหาผลเฉลยความของระบบได้จากแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง ซึ่งเราสามารถจัดทุกสมการให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้

$$x_1 - x_2 = 0 \quad (2.3.2.5)$$

$$x_1^{\,2} - x_2 = 0 \quad (2.3.2.6)$$

จากสมการ (2.3.2.5) เราจะได้ว่า $x_1 = x_2$ แทนลงในสมการ (2.3.2.6)

จะได้ว่า $x_2^{\,2} - x_2 = 0$

$$x_2(x_2 - 1) = 0$$

$$x_2 = 0, x_1 = 1$$

ดังนั้น ผลเฉลยความเสถียรของระบบคือ $x_2 = 0, x_1 = 1$ ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ระบบสมการดังกล่าวเป็นจริงตามที่กล่าวมาข้างต้น

ตัวอย่าง 2.3.2.2 จงหาผลเฉลยความเสถียรของระบบจากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dx}{dt} = 2x_1 - x_2 + x_3 \quad (2.3.2.7)$$

$$\frac{dx}{dt} = 2x_1 + x_2 - x_3 \quad (2.3.2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dx}{dt} = x_1 - 2x_2 \qquad (2.3.2.9)$$

<u>วิธีทำ</u> เราจะหาผลเฉลยความเสถียรของระบบได้จากแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง ซึ่งเราสามารถจัดทุกสมการให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้

$$2x_1 - x_2 + x_3 = 0 \qquad (2.3.2.10)$$

$$2x_1 + x_2 - x_3 = 0 \qquad (2.3.2.11)$$

$$x_1 - 2x_2 = 0 \qquad (2.3.2.12)$$

นำสมการ (2.3.2.10) + (2.3.2.11); $4x_1 = 0$

จะได้ว่า $x_1 = 0$ แทนค่าลงในสมการ (2.3.2.11)

$x_2 = 0$

แทนค่าของ x_1 และ x_2 ที่เราหาได้ลงในสมการ (2.3.2.10) จะได้ว่า

$x_3 = 0$

เราจะได้ว่า $x_1, x_2, x_3 = 0$

ดังนั้น ผลเฉลยความเสถียรของระบบคือ $x_1, x_2, x_3 = 0$ ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ระบบสมการดังกล่าวเป็นจริงตามที่กล่าวมาข้างต้น

2.4 ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด(Recurrence relations)

ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดสำหรับลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ คือ สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของลำดับ a_n กับลำดับที่มาก่อน $(a_0, a_1, a_2, ..., a_{n-1})$ โดยสมการดังกล่าวต้องมีเงื่อนไขเริ่มต้นที่แน่นอน

ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดชุดหนึ่งจะนิยามเทอมที่ n ของลำดับชุดหนึ่งโดยทางอ้อมกล่าว คือ จะคำนวณ a_n ได้ต้องคำนวณลำดับที่มาก่อน $(a_0, a_1, a_2, ..., a_{n-1})$ ซึ่งตรงข้ามกับสูตรที่ชัดเจนสำหรับ a_n ที่เราสามารถคำนวณ a_n โดยเพียงแต่ "แทนค่าลงใน n เท่านั้น"

<u>ตัวอย่าง2.4.1</u> ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = a_{n-1} + 3$ และ $a_1 = 4$

เราจะได้ว่า $a_2 = a_1 + 3 = 4 + 3 = 7$

$a_3 = a_2 + 3 = 7 + 3 = 10$

จากความสัมพันธ์ข้างต้นเราจะได้ลำดับดังนี้คือ 4, 7, 10, 13,...

และจากตัวอย่างนี้เห็นได้ชัดเจนแล้วว่า ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดก็คือ วิธีการเขียนบรรยาย a_n ด้วยค่าของลำดับที่มาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง2.4.2 ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$ และ $f_1 = f_2 = 1$
จากสมการความสัมพันธ์เราจะได้ลำดับที่เรียกว่า **ลำดับฟิโบนักชี**(Fibonacci sequence)
คือ 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 20,…

ตัวอย่าง 2.4.3 นาย ก. นำเงินต้นจำนวน 1,000 บาท สำหรับฝากเงินในบัญชีเงินฝากประจำดอกเบี้ยทบต้นร้อยละ 12 ต่อปี

ถ้าให้ A_n แทนจำนวนเงินทั้งหมดเมื่อเวลา n ปี จงหาความสัมพันธ์เวียนบังเกิดและค่าเริ่มต้นที่อธิบายลำดับ $\{A_n\}$

วิธีทำ ในเวลา $n-1$ ปี จะได้จำนวนเงินทั้งหมดคือ A_{n-1} หลังจากเวลาผ่านไป n ปี เราจะได้จำนวนเงินทั้งหมด คือ ดอกเบี้ยรวมกับเงินต้น A_{n-1}
ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} A_n &= A_{n-1} + (0.12)A_{n-1} \\ &= (1.12)A_{n-1} \qquad \text{เมื่อ } n \geq 1 \end{aligned} \tag{2.4.1}$$

เนื่องจากในการนำความสัมพันธ์เวียนบังเกิด มาประยุกต์ใช้กับ $n=1$
เราต้องทราบค่าของการเริ่มต้น หรือ A_0 นั่นเอง
และเนื่องจากค่า A_0 คือค่าเริ่มต้นการลงทุนครั้งแรก

$$\therefore A_0 = 1000 \tag{2.4.2}$$

$\therefore$ จาก (2.4.1) และ (2.4.2) เราสามารหาค่า A_n สำหรับค่า n ใดๆ เช่น

$$\begin{aligned} A_3 &= (1.12)A_2 \\ &= (1.12)(1.12)A_1 \\ &= (1.12)(1.12)(1.12)A_0 \\ &= (0.12)^3 A_0 \\ &= (0.12)^3 \cdot 1000 \\ &= 1404.93 \end{aligned}$$

$\therefore$ เมื่อสิ้นปีที่ 3 จะได้เงินทั้งหมด 1404.93 บาท
และจะเห็นว่าสมการ

$$\begin{aligned} A_n &= (1.12)A_{n-1} \\ &\vdots \\ &= (1.12)^n A_0 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.4.1) เป็นตัวอย่างของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด ที่จะเห็นได้ว่าในบางครั้งการสร้างสมการต่างๆ สามารถสร้างมาได้จากสมการของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด นั่นเอง โดยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดจะให้ลำดับชุดหนึ่งโดยกำหนดค่าที่ n ในเทอมของตัวที่มาก่อนหน้านั้น ค่าที่กำหนดให้อย่างชัดเจนของลำดับชุดหนึ่ง เช่น ในสมการ (2.4.2) จะเรียกว่า ***เงื่อนไขเริ่มต้น***

2.4.1 ประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

เราสามารถจำแนกประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ได้ตามคุณสมบัติ 4 ประการของความสัมพันธ์ดังนี้

1. ***อันดับ* (Order)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, ..., a_{n-k})$ เป็นแบบอันดับที่ k ก็เมื่อตัวย้อนกลับไกลสุดที่ต้องใช้ในการบรรยาย a_n คือตัว a_{n-k} และความสัมพันธ์เวียนบังเกิดจะจัดอยู่ในรูปแบบ

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + c_3 a_{n-3} + ... + c_n a_{n-k} \qquad \text{เมื่อ } c_1, ..., c_n \neq 0$$

สังเกตว่า สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เชิงเส้นอันดับ k ที่มีสัมประสิทธิ์คงที่ สมการดังกล่าวนี้เมื่อรวมกับเงื่อนไขเริ่มต้น k ค่า $a_0 = c_0, a_1 = c_1, ..., a_{k-1} = c_{k-1}$ จะให้ลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ เพียงชุดเดียว

ตัวอย่างเช่น $a_n = 3a_{n-1} + n^2 a_{n-3}$

เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดอันดับสาม เนื่องจากใช้พจน์ย้อนกลับไกลสุดคือ a_{n-3}

2. ***ความเป็นเชิงเส้น* (linear/non-linear)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, ..., a_{n-k})$ จะเป็นแบบเชิงเส้น (linear recurrence) ก็เมื่อฟังก์ชัน f เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวก่อนหน้าในลำดับ

ตัวอย่างเช่น

$a_n = 2a_{n-1} - a_{n-2} + 5$ หรือ $a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3} + n^2$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้น

ในขณะที่ $a_n = 2a_{n-1} / a_{n-2} + 5$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดไม่เชิงเส้น

3. ***ความเป็นเอกพันธ์* (homogeneous/non-homogeneous)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, ..., a_{n-k})$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์ก็ต่อเมื่อ $f(0,0,...,0) = 0$ หรือกล่าวว่าทุกๆ พจน์ของความสัมพันธ์ต้องมี a_i ประกอบอยู่ด้วย

ตัวอย่างเช่น

$a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3}$ เป็นเอกพันธ์

ในขณะที่ $a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3} + 1$ ไม่เป็นเอกพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ***ค่าสัมประสิทธิ์*** ในที่นี้เราสนใจว่าสัมประสิทธิ์ที่คูณกับพจน์ที่มี a_i ทั้งหลายในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนั้นเป็นค่าคงตัวหรือไม่

<u>ตัวอย่างเช่น</u>

$a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3}$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่สัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว

ในขณะที่ $a_n = na_{n-1} + a_{n-3}$ มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าไม่คงตัว

เราจำแนกความสัมพันธ์เวียนบังเกิดตามคุณสมบัติสี่ข้อข้างต้นนี้ก็เพราะว่ามีความสัมพันธ์เวียนบังเกิดสองประเภทหลักที่ใช้คุณสมบัติสี่ข้อนี้ในการบรรยาย ที่สามารถหาผลเฉลยได้เสมอ

ตารางที่2.3 แสดงตัวอย่างประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มักพบบ่อย

ประเภท	ตัวอย่างเช่น
• first - order	
- linear	$a_n = na_{n-1} - 1$
- nonlinear	$a_n = 1/(1 + a_{n-1})$
• second - order	
- linear	$a_n = a_{n-1} + 2a_{n-2}$
- nonlinear	$a_n = a_{n-1}a_{n-2}$
- constant coefficients	$a_n = 4a_{n-1} + 2a_{n-2}$
- variable coefficients	$a_n = na_{n-1} + (n-1)a_{n-2} + 1$
• k – th order	$a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, ..., a_{n-k})$

2.4.2 การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (Solving recurrence relation)

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ คือ การหาสูตรสำหรับเทอมทั่วไปของ a_n วิธีการแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดมีด้วยกัน 4 วิธี คือ วิธีการทำซ้ำ(iteration), วิธีการเดาแล้วพิสูจน์, วิธีการคลี่, วิธีการเปลี่ยนตัวแปร เป็นหลักและวิธีเฉพาะที่ใช้กับความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นเอกพันธ์ที่มีสัมประสิทธิ์คงที่(linear homogeneous recurrence relation with constant coefficients) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ โดย **วิธีการทำซ้ำ** นั้นเราใช้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเขียนเทอมที่ n ใดๆ a_n ในเทอมของตัวที่มาก่อนหน้า $a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, ..., a_0$ แล้วใช้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดแทนแต่ละเทอม $a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, ..., a_0$ ด้วยเทอมที่มาก่อนหน้านั้นทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้สูตรออกมา

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ โดย***วิธีการเดาแล้วพิสูจน์*** วิธีนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยสี่ขั้นตอนคือ เริ่มด้วยการลองคำนวณค่าของจำนวนสักสามสี่ตัวจากความสัมพันธ์เวียนบังเกิด สังเกตรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเหล่านี้ เดารูปแบบปิดของจำนวนนี้ และพิสูจน์รูปแบบปิดที่เดาไว้ด้วยวิธีอุปนัยทางคณิตศาสตร์ว่าถูกต้องหรือไม่

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ โดย***วิธีการคลี่*** วิธีนี้ไม่ต้องอาศัยการเดาคำตอบแต่ต้องใช้ความรู้ทางพีชคณิตมากกว่า เราหารูปแบบปิดของผลเฉลยโดยการกระจายพจน์ a_i ต่างๆ ในความสัมพันธ์ ด้วยความสัมพันธ์ที่บรรยายด้วยพจน์ a_j ต่างๆที่ $j < i$ กระทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ถึงจุดหนึ่งก็จะจบที่ค่าเริ่มต้น(เสมือนการค่อยๆคลี่ความสัมพันธ์ไปเรื่อยๆ จนถึงกรณีเล็กสุด) ที่จะอยู่ในรูปของผลบวกหรือผลคูณของพจน์ที่มีค่าขึ้นกับ n และค่าเริ่มต้นเท่านั้น ซึ่งต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการผลรวมหรือผลคูณในการเขียนให้อยู่ในรูปแบบปิด

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, ..., a_n$ โดย***วิธีการเปลี่ยนตัวแปร*** วิธีนี้อาศัยการสังเกตความสัมพันธ์ จากนั้นจัดการความสัมพันธ์เล็กน้อยเพื่อให้สามารถสร้างความสัมพันธ์เวียนบังเกิดอันใหม่ที่ใช้ตัวแปรใหม่ (ที่ง่ายกว่าความสัมพันธ์เดิม) หาผลเฉลยของความสัมพันธ์ใหม่ แล้วจึงใช้ผลเฉลยนี้ในการหาผลเฉลยของความสัมพันธ์ที่ต้องการ

ตัวอย่าง 2.4.2.1 จงแก้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $s_n = 2s_{n-1}$ โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้น $s_0 = 1$

วิธีทำ โดยวิธีการเดาแล้วพิสูจน์

เริ่มด้วยลองคำนวณค่าของจำนวนในลำดับดูสักสี่ตัวจะได้

$$a_0 = 0, a_1 = 2 \cdot 0 + 1 \quad , \quad a_2 = 2 \cdot 1 + 1 = 3$$
$$a_3 = 2 \cdot 3 + 1 = 7 \quad , \quad a_4 = 2 \cdot 7 + 1 = 15$$

เขียนเป็นลำดับได้

$$< 0 \ , \ 1 \ , \ 3 \ , \ 7 \ , \ 15 \ , ... >$$

ลองเพ่งดูสักพักว่าจะเห็นรูปแบบปิดของจำนวนทั้ง 5 ตัวนี้ได้หรือไม่ ซึ่งเราจะได้รูปแบบปิดออกมาเป็น

$$a_n = 2^n - 1 \quad \text{สำหรับ} \quad n \geq 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็ใช้ได้กับทั้งห้าตัวในลำดับ ลองเขียนจำนวนในลำดับถัดไปอีกสักสองตัว จากความสัมพันธ์เวียนบังเกิด แล้วตรวจสอบดูว่าตรงกับค่าที่คำนวณได้จากสูตรของผลเฉลยที่เขียนได้หรือไม่

$a_5 = 2\cdot 15+1 = 31 = 2^5-1$ และ $a_6 = 2\cdot 31+1 = 63 = 2^6-1$ ก็พบว่าใช้ได้อีก ถ้ามั่นใจว่าน่าจะเป็นรูปแบบปิดที่ถูกต้องก็ถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ต้องพิสูจน์ว่าถูกต้องจริง ด้วยวิธีอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

เริ่มด้วยกรณีค่าน้อยที่เป็นหลักฐานว่ารูปแบบปิดใช้ได้ ในกรณีดังนี้ $a_0 = 2^0-1$ ตรงตามค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์ ก็มาถึงขั้นตอนอุปนัยเพื่อพิสูจน์กรณี $n>0$ โดยแสดงให้เห็นว่ารูปแบบปิดที่เขียนใช้ได้สำหรับลำดับที่ n แต่ถ้าใช้ได้กับลำดับก่อนหน้าตัวที่ n นั่นคือเขียนความสัมพันธ์เวียนบังเกิดของ a_n จากนั้นแทนพจน์ a_i ต่างๆที่ $i<n$ ด้วยรูปแบบปิดที่เดาไว้ จากนั้นแสดงให้เห็นว่าจะได้รูปแบบปิดของ a_n เดาไว้ตอนต้น จากตัวอย่างจะได้

$$\begin{aligned} a_n &= 2a_{n-1}+1 \\ &= 2(2^{n-1}-1)+1 \\ &= 2^n-2+1 \\ &= 2^n-1 \end{aligned}$$

ตรงตามที่คาดเดาไว้ แสดงว่า $a_n = 2^n-1$ สำหรับ $n>0$, $a_0=0$ ที่เดาไว้เป็นรูปแบบปิดของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = 2a_{n-1}+1$ สำหรับ $n>0$, $a_0=0$ จริง

ตัวอย่าง 2.4.2.3 จงหารูปแบบปิดของ $a_n = 2a_{n-1}+1$ สำหรับ $n>0$, $a_0=0$

วิธีทำ โดยวิธีการคลี่

เราคลี่ความสัมพันธ์นี้โดยการแทน a_{n-1} ด้วย $2a_{n-2}+1$ ลงในความสัมพันธ์ จากนั้นแทน a_{n-1} ด้วย $2a_{n-3}+1$ แทนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะได้ว่า

เมื่อเราคลี่ความสัมพันธ์จนถึงค่าเริ่มต้นแล้ว(ในตัวอย่างนี้คือ a_0) เราจะได้นิพจน์ที่ประกอบไปด้วยผลบวกและผลคูณที่ยุ่งๆ อาจมีวงเล็บซ้อนๆกัน เราจะต้องระมัดระวังอย่างยิ่งในขั้นตอนนี้ เพื่อจัดการกับผลบวกผลคูณเหล่านี้ให้เป็นรูปแบบปิด ความผิดพลาดของการนับขาดหรือเกินไปเพียงหนึ่งตัว เช่น เขียน n เป็น $n+1$ หรือ $n-1$ เป็นต้น เป็นสิ่งที่พบบ่อยมาก ดังนั้นเพื่อความรอบคอบควรตรวจสอบผลที่ได้ว่าให้ค่าตรงตามความสัมพันธ์เวียนบังเกิดหรือไม่

ตัวอย่าง 2.4.2.4 จงหารูปแบบปิดของ $a_n = na_{n-1}+n!$ สำหรับ $n>0$, $a_0=2$

วิธีทำ สังเกตความสัมพันธ์ $a_n = na_{n-1}+n!$ จะพบว่าหากนำ $n!$ หารตลอดจะได้

$$a_n/n! = a_{n-1}/(n-1)!+1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราแทน $b_n = a_n / n!$

ในความสัมพันธ์จะได้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดใหม่

$b_n = a_{n-1} + 1$ สำหรับ $n > 0$, $a_0 = 2$

ซึ่งมีผลเฉลย $b_n = 2 + n$ เนื่องจาก $b_n = a_n / n!$

ดังนั้นจะได้ว่า $a_n / n! = 2 + n$ จึงมีรูปแบบปิดเป็น $a_n = n(2+n)!$

จากนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะการหาผลเฉลยของ***ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นอนุพันธ์และไม่เอกพันธ์***(Solving Linear homogeneous / non-homogeneous recurrence relation) ซึ่งมีรูปแบบการหาผลเฉลยในลักษณะที่แตกต่างกันไปในแต่ละความสัมพันธ์

2.4.3 การหาผลเฉลยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นอนุพันธ์ (Solving Linear homogeneous / non-homogeneous recurrence relation)

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการหาผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มีคุณสมบัติทั้งเอกพันธ์เชิงเส้นและมีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่เป็นระบบ ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดประเภทนี้ดูจากชื่ออาจรู้สึกว่าค่อนข้างจำกัดเป็นกรณีเฉพาะมากๆ แต่ความจริงเป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่พบบ่อยทีเดียว (อีกทั้งหลายๆ ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ซับซ้อนเมื่ออาศัยวิธีการแทนตัวแปรเข้าช่วย แล้วอาจได้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นได้)ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัวเขียนเป็นรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + c_3 a_{n-3} + \ldots + c_k a_{n-k}$$

โดยที่ $c_1, c_2, c_3, \ldots, c_n$ เป็นค่าคงตัวจำนวนจริง และ $c_k \neq 0$

ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดประเภทนี้จะมีรูปแบบของผลเฉลยเป็น $a_n = r^n$ โดยที่ r เป็นค่าคงตัว ปัญหาคือว่า r มีค่าเท่าใด ก่อนอื่นต้องดูก่อนว่า $a_n = r^n$ เป็นผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดข้างบนนี้ได้อย่างไร $a_n = r^n$ จะเป็นผลเฉลยได้ก็ต่อเมื่อเราแทนผลเฉลยลงในความสัมพันธ์แล้วค่าทางซ้ายของสมการเท่ากับค่าทางขวา สังเกตว่า

$$r_n = c_1 r^{n-1} + c_2 r^{n-2} + \ldots + c_k r^{n-k}$$

นำ r^{n-k} หารทั้งสมการ จากนั้นย้ายทุกๆพจน์ทางขวามือมาทางซ้ายมือจะได้

$$r^k - c_1 r^{k-1} - c_2 r^{k-2} - \ldots - c_k = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราเรียกสมการนี้ว่า***สมการลักษณะ*** (characteristic equation) ของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด ผลเฉลยของสมการนี้ก็คือรากของสมการ เราเรียกรากของสมการลักษณะว่า***รากลักษณะ***(characteristic root) ดังนั้น $a_n = r^n$ จะเป็นผลเฉลยของความสัมพันธ์เอกพันธ์เชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว a_n ก็ต่อเมื่อ r เป็นรากลักษณะของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนี้

ตัวอย่าง 2.4.3.1 จงหาผลเฉลยของ $a_n = 2a_{n-1}$

วิธีทำ เขียนสมการลักษณะของความสัมพันธ์ได้เป็น $r - 2 = 0$ ได้รากลักษณะคือ $r = 2$ ดังนั้น ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = 2a_{n-1}$ มีผลเฉลยเป็น $a_n = 2^n$

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ ไม่เพียงแต่ $a_n = 2^n$ จะเป็นผลเฉลยของ $a_n = 2a_{n-1}$ แล้ว $a_n = \alpha 2^n$ ก็เป็นผลเฉลยเช่นกัน โดยที่ α เป็นค่าคงตัวใดๆ หรือจะพูดในกรณีทั่วไปเลยได้ ว่าถ้า r เป็นรากลักษณะของความสัมพันธ์ของ a^n เราจะได้ผลเฉลยเป็น $a_n = \alpha r^n$ เนื่องจากการคูณค่าคังตัว α เข้าไป ไม่ได้เปลี่ยนสมการลักษณะของความสัมพันธ์ไปเป็นแบบอื่นเลย

แล้วอย่างนี้ α ควรมีค่าเท่าใด ถ้าจะกลับไปอ่านโจทย์ของตัวอย่างนี้ ดูอีกครั้งจะพบว่าไม่ได้กำหนดค่าเริ่มต้นของ a_n ไว้เลย อันนี้แหละเป็นเหตุให้เราได้ผลเฉลยจำนวนอนันต์สำหรับความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เขียน แต่ถ้าเรากำหนดค่าเริ่มต้น เช่น ให้ $a_1 = 0.7$ คราวนี้จะพบข้อดีของการมี α ที่ทำให้รูปแบบปิดของผลเฉลยครอบคลุมค่าเริ่มต้นด้วย จากตัวอย่างเราหาค่า α ได้โดยคิดจาก $a_n = 0.7 = \alpha 2^1$ จะได้ว่า $\alpha = 0.35$ ดังนั้นผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = 2a_{n-1}$ สำหรับ $n > 1$, $a_1 = 0.7$ คือ $a_n = 0.35 \cdot 2^n$ สำหรับ $n \geq 1$

ตัวอย่าง 2.4.3.2 จงหาคำตอบสำหรับความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

$$a_n = 2a_{n-1} + 3a_{n-2} \quad \text{เมื่อ} \quad a_0 = a_1 = 1$$

วิธีทำ จากคำตอบพื้นฐาน $a_n = \alpha$ สมการลักษณะคือ $\alpha^n = 2\alpha^{n-1} + 3\alpha^{n-2}$

หรือ $$\alpha^2 - 2\alpha - 3 = 0$$

$$(\alpha - 3)(\alpha + 1) = 0$$

$$\alpha = 3, -1$$

ดังนั้นคำตอบทั่วไป คือ

$$a_n = A_1 3^n + A_2 (-1)^n$$

แทนเงื่อนไขเริ่มต้น a_0 และ a_1 ได้

$$1 = A_1 3^0 + A_2 (-1)^0 = A_1 + A_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $$1 = A_1 3^1 + A_2(-1)^1 = 3A_1 - A_2$$

เมื่อแก้สมการทั้งสองข้างแล้วจะได้ $A_1 = 1/2$ และ $A_2 = 1/2$

ดังนั้นคำตอบของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด คือ

$$a_n = 1/2 \cdot 3^n + 1/2 \cdot (-1)^n$$

ตัวอย่าง 2.4.3.3 จงหาผลเฉลยของ $a_n = 2a_{n-1} + 3a_{n-2}$ สำหรับ $n > 1$, $a_0 = 1$ และ $a_1 = 1$

วิธีทำ เขียนสมการลักษณะได้เป็น $r^2 - 2r - 3 = 0$

จะได้รากลักษณะคือ 3 และ -1 (เนื่องจาก $r^2 - 2r - 3 = (r-3)(r+1)$)

ในกรณีทั่วไปคือ $\alpha_1 3^n$ และ $\alpha_2(-1)^n$ ก็ได้ แทนสองคำตอบนี้ในความสัมพันธ์จะได้

$$\alpha_1 3^n = 2\alpha_1 3^{n-1} + 3\alpha_1 3^{n-1} \text{ และ } \alpha_2(-1)^n = 2\alpha_2(-1)^{n-1} + 3\alpha_2(-1)^{n-2}$$

ถ้านำสองสมการนี้มารวมกันจะได้

$$(\alpha_1 3^n + \alpha_2(-1)^n) = 2(\alpha_1 3^{n-1} + \alpha_2(-1)^{n-1}) + 3(\alpha_1 3^{n-2} + \alpha_2(-1)^{n-2})$$

ก็แสดงว่า $a_n = \alpha_1 3^n + \alpha_2(-1)^n$ ก็เป็นผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดในโจทย์เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นความสัมพันธ์เอกพันธ์เชิงเส้นจึงสามารถนำผลเฉลยมารวมกันแบบเชิงเส้นได้ คราวนี้ก็มาถึงค่าคงตัวสองค่า α_1 และ α_2 เราหาได้จากค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์ $a_0 = 1$ และ $a_1 = 1$ โดยการใช้ผลเฉลยที่ได้ตั้งเป็นสองสมการ ให้ตรงกับค่าเริ่มต้นก็จะหาค่าของ α_1 และ α_2 ได้

$$a_0 = \alpha_1 3^0 + \alpha_2(-1)^0 = 1 \quad \rightarrow \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1$$

$$a_1 = \alpha_1 3^1 + \alpha_2(-1)^1 = 1 \quad \rightarrow \quad 3\alpha_1 - \alpha_2 = 1$$

แก้ระบบสมการข้างต้นจะได้ $\alpha_1 = 1/2$ และ $\alpha_2 = 1/2$ ดังนั้นผลเฉลยที่ต้องการคือ

$$a_n = 1/2\left(3^n + (-1)^n\right) \quad \text{สำหรับ} \quad n \geq 0$$

จากการรวมผลเฉลยที่หาได้จากรากลักษณะแต่ละตัวของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (รวมแบบเชิงเส้น) เข้าด้วยกันที่ได้แสดงให้ดูตัวอย่างข้างบนนี้ ก็จะขอสรุปผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + c_3 a_{n-3} + \ldots + c_k a_{n-k}$$

คือ $$a_n = \alpha_1 r_1^n + \alpha_2 r_2^n + \ldots + \alpha_k r_k^n$$

โดยที่ $r_1, r_2, r_3, \ldots, r_k$ เป็นรากสมการของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด และ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_k$ เป็นค่าคงตัวที่หาได้จากการตั้งระบบสมการ k สมการจากค่าเริ่มต้น k ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การหาผลเฉลยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นไม่อนุพันธ์ (Solving Non-Linear homogeneous recurrence relation)

เราเรียกผลเฉลยของความสัมพันธ์เอกพันธ์ว่า ผลเฉลยเอกพันธ์ (homogeneous solution) แทนด้วยสัญลักษณ์ $a_n^{(h)}$ คราวนี้เราจะมาหาผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดแบบไม่เอกพันธ์ที่อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + c_3 a_{n-3} + \ldots + c_k a_{n-k} + f(n) \qquad (2.4.4.1)$$

โดยที่ $c_1, c_2, c_3, \ldots, c_k$ เป็นค่าคงตัวจำนวนจริง และ $c_k \neq 0$

การหาผลเฉลยจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. เปลี่ยน $f(n)$ ให้เป็น 0 จากนั้นหาผลเฉลยเอกพันธ์ $a_n^{(h)}$ โดยยังไม่ต้องหาค่าของ α ต่างๆ
2. หาผลเฉลยเฉพาะ (particular solution) ของสมการ(2.4.4.1) แทนด้วยสัญลักษณ์ $a_n^{(p)}$
3. รวมผลจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 จะได้ผลเฉลย $a_n = a_n^{(h)} + a_n^{(p)}$ ที่ยังไม่รู้ค่าของ α ต่างๆ
4. หาค่าของ α ต่างๆ จากการแก้ระบบสมการที่ได้จากการเทียบค่าเริ่มต้น

เราทราบวิธีหาผลเฉลยเอกพันธ์ของขั้นตอนที่ 1 แล้ว ก็จะมาดูในรายละเอียดของขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาผลเฉลยเฉพาะ การหาผลเฉลยเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีที่แน่นอนที่ใช้ได้ทั่วไป ต้องอาศัยการสังเกตรูปแบบของฟังก์ชัน $f(n)$ ในสมการที่ (2.4.4.1) ถ้า $f(n)$ ตกอยู่ในรูปแบบอย่างง่ายๆ ที่แสดงดังตารางที่2.4 ซึ่งเราสามารถหารูปแบบของผลเฉลยเฉพาะได้ง่าย

ตารางที่2.4 รูปแบบของ $f(n)$ ที่สามารถหาผลเฉลยเฉพาะได้ง่าย

รูปแบบของ $f(n)$	ตัวอย่าง
ค่าคงตัวยกกำลัง n หรือก็คือ c^n	2^n
ฟังก์ชันพหุนามของ n $b_1 n^t + b_{t-1} n^{t-1} + \ldots + b_1 n + b_0$	$12, n^4, n^2 + 2n - 7$
ผลคูณของรูปแบบที่ 1 กับ 2 $(b_1 n^t + b_{t-1} n^{t-1} + \ldots + b_1 n + b_0)c^n$	$12 \cdot 2^n, n7^n, 3n(n^2 + 2n - 7)$
การรวมเชิงเส้นของรูปแบบข้างบน	$3^n(n^2 + 2n - 7) + n^4 + 2^n$

จากตารางที่2.4 ภาระในการหาผลเฉลยเฉพาะก็คือการแทน $a_n^{(p)}$ เข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดแล้วหาค่า p_i ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งสำคัญคือ ถึงแม้ว่ารูปแบบในตารางที่2.4 จะเป็นแบบง่ายแล้วก็ตาม แต่ถ้าเราพบรูปแบบของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มี $f(n)$ แบบอื่น ก็ไม่ใช่ว่าจะใช้ไม่ได้ เราอาจใช้วิธีการเปลี่ยนตัวแปรที่นำเสนอมาก่อนหน้านี้ในการแปลงความสัมพันธ์ให้เป็นแบบง่ายๆก็ได้

ตารางที่2.5 แสดงรูปแบบของผลเฉลยเฉพาะสำหรับแต่ละรูปแบบของ $f(n)$

รูปแบบของ $f(n)$	ตัวอย่าง
c^n	pc^n
$b_1n^t + b_{t-1}n^{t-1} + ... + b_1n + b_0$	$p_1n^t + p_{t-1}n^{t-1} + ... + p_1n + p_0$
$(b_1n^t + b_{t-1}n^{t-1} + ... + b_1n + b_0)c^n$	$(p_1n^t + p_{t-1}n^{t-1} + ... + p_1n + p_0)c^n$
การรวมเชิงเส้นของรูปแบบข้างบน	การรวมเชิงเส้นของรูปแบบข้างบน

หมายเหตุ c ตางรางนี้ต้องมีค่าไม่ตรงกับรากลักษณะ

ตัวอย่าง 2.4.4.1 จงหาผลเฉลยเฉพาะของ $a_n = 2a_{n-1} - 6$

วิธีทำ สำหรับความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนี้ $f(n)$ = -6 เป็นค่าคงตัว

ดังนั้น $a_n^{(p)} = p$ (เป็นกรณีที่ 2 ในตารางที่ 2.5 โดยที่ $t = 0, b_0 = 6$)

แทน $a_n^{(p)} = p$ เข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

จะได้ $p = 2p - 6$ ดังนั้น $p = 6$

สรุปได้ว่า $a_n^{(p)} = 6$

ตัวอย่างที่ 2.4.4.2 จงหาผลเฉลยเฉพาะของ $a_n = 2a_{n-1} - n^2 + 1$

วิธีทำ สำหรับความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนี้ $f(n) = -n^2 + 1$ เป็นฟังก์ชันพหุนามของ n รูปแบบที่สองในตารางที่2.5 ดังนั้น $a_n^{(p)} = p_2n^2 + p_1n + p_0$ แทนเข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n - 2a_{n-1} = -n^2 + 1$ จะได้

$$(p_2n^2 + p_1n + p_0) - 2(p_2(n-1)^2 + p_1(n-1) + p_0) = -n^2 + 1$$

$$p_2n^2 + p_1n + p_0 - 2p_2n^2 + 4p_2n + 2p_2 - 2p_1n - 2p_1 + 2p_0 = -n^2 + 1$$

$$-p_2n^2 + (4p_2 - p_1)n + (-2p_2 + 2p_1 - p_0) = -n^2 + 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการข้างบนนี้จะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อ $p_2 = 1, 4p_2 - p_1 = 0$ และ $-2p_2 + 2p_1 - p_0 = 1$ สามสมการนี้ได้จากการเทียบสัมประสิทธิ์ของ n^2, n และ n^0 ได้เท่ากันทั้งทางด้านซ้ายและขวาของสมการ แก้สมการนี้จะได้ $p_2 = 1, p_1 = 4$ และ $p_0 = 5$ สรุปได้ว่า $a_n^{(p)} = n^2 + 4n + 5$

ขอให้สังเกตว่าการหาผลเฉลยที่ได้แสดงให้ดูนี้ ไม่ได้ใช้ค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเลย ดังนั้น $a_n^{(p)}$ ที่ได้อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับค่าเริ่มต้นที่กำหนดให้ จึงเป็นที่มาของขั้นตอนที่ 3 ของการหาผลเฉลยเฉพาะที่กล่าวไว้แล้วดังข้างต้น ที่จะต้องนำผลเฉลยเอกพันธ์ $a_n^{(h)}$ มารวมเข้าไปด้วยเป็น $a_n = a_n^{(h)} + a_n^{(p)}$ เพื่อจะได้ผลเฉลยที่ครอบคลุมทั้งค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์ด้วย ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

เนื่องจาก $a_n^{(p)}$ เป็นผลเฉลยเฉพาะ แทน $a_n^{(p)}$ เข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ (2.4.4.1) จะได้ว่า

$$a_n{}^{(p)} = c_1 a_{n-1}{}^{(p)} + c_2 a_{n-2}{}^{(p)} + c_3 a_{n-3}{}^{(p)} + \ldots + c_k a_{n-k}{}^{(p)} + f(n)$$

และเนื่องจาก $a_n^{(h)}$ เป็นผลเฉลยเอกพันธ์ของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ (2.4.4.1) แสดงว่า

$$a_n{}^{(h)} = c_1 a_{n-1}{}^{(h)} + c_2 a_{n-2}{}^{(h)} + c_3 a_{n-3}{}^{(h)} + \ldots + c_k a_{n-k}{}^{(h)}$$

นำสองสมการข้างบนนี้บวกกันจะได้

$$(a_n{}^{(h)} + a_n{}^{(p)}) = c_1(a_{n-1}{}^{(h)} + a_{n-1}{}^{(p)}) + c_2(a_{n-2}{}^{(h)} + a_{n-2}{}^{(p)}) + \ldots + c_k(a_{n-k}{}^{(h)} + a_{n-k}{}^{(p)}) + f(n)$$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $a_n = a_n^{(h)} + a_n^{(p)}$ ก็เป็นผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ (2.4.4.1) เช่นกัน

การนำผลเฉลยเอกพันธ์มารวมเข้าไปนั้นมีข้อดีตรงที่ $a_n^{(h)}$ ที่นำมารวมนี้ยังติดตัวแปร α ต่างๆที่ยังไม่ได้หาค่าอยู่ k ค่า ก็สามารถตั้งระบบสมการที่มี k สมการ เพื่อหาค่าของ α ต่างๆเหล่านั้น ทำให้ได้ผลเฉลยที่ครอบคลุมทั้งค่าเริ่มต้นที่กำหนดให้ด้วย

ตัวอย่าง 2.4.4.3 จงหาผลเฉลยเฉพาะของ $a_n - 2a_{n-1} = (n+1)4^n - 2$ สำหรับ $n > 0, a_0 = 5$

วิธีทำ หา $a_n^{(h)}$: เขียนสมการลักษณะ $r - 2 = 0$ ได้รากลักษณะคือ 2 ดังนั้น $a_n^{(h)} = \alpha 2^n$

หา $a_n^{(p)}$: ได้รูปแบบ $a_n^{(p)} = (p_1 n + p_0)4^n + p_2$ แทนเข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดจะได้

$$(p_1 n + p_0)4^n + p_2 - ((p_1(n-1) + p_0)4^{n-1} + p_2) = (n+1)4^n - 2$$

$$p_1 n 4^n + p_0 4^n + p_2 - 2p_1 4^{n-1} - 2p_1 n 4^{n-1} - 2p_0 4^{n-1} - 2p_2 = (n+1)4^n - 2$$

$$(0.5p_1)n4^n + (0.5p_0 4^n + 0.5p_1)4^{n-1} + (-p_2) = n4^n + 4^n - 2$$

ตั้งสมการได้ดังนี้ $0.5p_1 = 1, 0.5p_0 + 0.5p_1 = 1$ และ $-p_2 = -2$ จะได้ $p_1 = 2, p_0 = 0$ และ $p_2 = 2$ ดังนั้น $a_n^{(p)} = 2n4^n + 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมผลเฉลยทั้งสองเข้าด้วยกันได้ $a_n = a_n^{(h)} + a_n^{(p)} = 2n4^n + 2 + \alpha 2^n$ คำนวณหาค่า a_0
เพื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นที่กำหนดให้ ได้ $a_0 = 2 \cdot 0 \cdot 4^0 + 2 + \alpha 2_0 = 5$ จะได้ว่า $\alpha = 3$
ดังนั้นผลเฉลยคือ $a_n = 2n4^n + 2 + 3 \cdot 2^n$ สำหรับ $n \geq 0$

สำหรับรูปแบบที่1 ในตารางที่2.5 (ซึ่งรวมรูปแบบที่ 3 ด้วย) คือกรณีที่ $f(n)$ มีพจน์ c^n โดย c เป็นค่าคงตัวด้วยนั้น มีข้อระวังเล็กน้อย คือถ้า c เกิดเป็นค่าเดียวกับรากลักษณะที่ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลยเอกพันธ์แล้วละก็ จะใช้รูปแบบที่นำเสนอในตารางเพื่อหาผลเฉลยเฉพาะไม่ได้

ตัวอย่างเช่น $a_n - 2a_{n-1} = 4 \cdot 2^n$ มีรากลักษณะเฉพาะคือ 2 เนื่องจาก $f(n) = 4 \cdot 2^n$
ถ้ากำหนดให้ $a_n^{(p)} = p2^n$ เมื่อแทนเข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิด
จะได้ $p2_n - 2p2^{n-1} = 4 \cdot 2^n$
จะพบว่าหาผลเฉลยไม่ได้เพราะว่า 2^n มีเลข 2 เป็นรากลักษณะ

ดังนั้นถ้ารากลักษณะของความสัมพันธ์ตรงกับค่า c ของ c^n ที่เป็นส่วนหนึ่งของ $f(n)$ เราจะต้องเปลี่ยนรูปแบบของ $a_n^{(p)}$ เป็นดังนี้
(กำหนดให้ c เป็นรากที่มีซ้ำกัน m ครั้ง)

$$a_n(p) = n^m(p_t n^t + p_{t-1} n^{t-1} + ... + p_1 n + p_0)c^n$$

คือมีพจน์ n^m คูณเข้าไปในรูปแบบเดิม

ตัวอย่าง 2.4.4.4 จงหาผลเฉลยของ $b(n) = 3b(n/2) + n$ สำหรับ $n = 2^k$, $b(1) = 1$
วิธีทำ ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดในโจทย์ไม่ใช่แบบอันดับคงที่ จะใช้วิธีแก้แบบที่นำเสนอมาตรงๆ ไม่ได้ แต่เราสามารถใช้วิธีการเปลี่ยนตัวแปร เพื่อแปลงให้เป็นแบบที่เราได้นำเสนอในหัวข้อนี้
ได้โดยให้ $a_k = b(2^k)$ จะได้ $a_{k-1} b(2^{k-1})$
ทำให้เราเขียน $b(n) = 3b(n/2) + n$ เป็น $a_k = 3a_{k-1} + 2^k$ ได้
ดังนั้นปัญหาตอนนี้คือหาผลเฉลยของ $a_k = 3a_{k-1} + 2^k$ สำหรับ $k > 0, a_0 = 1$
หา $a_n^{(h)}$: เขียนสมการลักษณะ $r - 3 = 0$ ได้รากลักษณะคือ 3 ดังนั้น $a_n^{(k)} = \alpha 3^k$
หา $a_n^{(p)}$: ในที่นี้ $f(k) = 2^k$ ดังนั้นได้รูปแบบ $a_n^{(p)} = p2^k$ แทนเข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิด
จะได้ $p2^k - 3p2^{k-1} = 2^k$
เทียบสัมประสิทธิ์ของ 2^k ข้างซ้ายและข้างขวาของสมการ $-p/2 = 1$ ได้ $p = -2$
ดังนั้น $a_n^{(p)} = -2^{k+1}$
รวมผลเฉลยทั้งสองข้างเข้าด้วยกันได้ $a_k = a_k^{(h)} + a_k^{(p)} = -2^{k+1} + \alpha 3^k$ คำนวณค่า a_0
เพื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นได้ $a_0 = -2^{0+1} + \alpha 3^0 = 1$ จะได้ว่า $\alpha = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลเฉลยคือ $a_k = 3^{k+1} - 2^{k+1}$ สำหรับ $k \geq 0$

กลับมาหาผลเฉลยที่โจทย์ต้องการ เนื่องจาก $a_k = b(2^k)$ จะได้ว่า

$b(2^k) = 3^{k+1} - 2^{k+1}$ จาก $n = 2^k$ ดังนั้น $b(n) = 3^{1+\log_2 n} - 2^{1+\log_2 n} = 3n^{\log_2 3} - 2n$

สำหรับ $n = 2^k, k \geq 0$

2.5 การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ

การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ มีหลายรูปแบบดังนี้

1) แบบจำลอง SIR

2) แบบจำลอง SIRS

3) แบบจำลอง SIS

ให้ N = จำนวนของประชากรทั้งหมด

S = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อของประชากร

I = จำนวนของผู้ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของประชากร

R = จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ของประชากร

โดย β, ν, γ เป็นค่าคงที่ดังนี้

β = อัตราของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อของประชากรแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(ที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

ν = อัตราของผู้ติดเชื้อ(ที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

γ = อัตราของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

δ = อัตราการตายของประชากร

α = อัตราการเกิดของประชากร

เมื่อ βSI คือ จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

νI คือจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

γR คือจำนวของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

δS คือจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

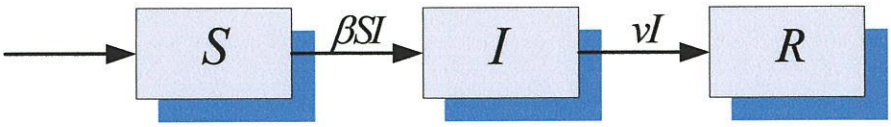
δI คือ จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ที่เสียชีวิต

δR คือ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

δN คือ จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่

1) แบบจำลองSIR



นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

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

อธิบายรายละเอียดของโมเดลดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

= - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

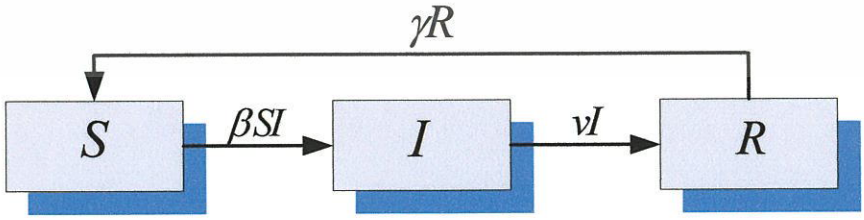
= จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

2) แบบจำลอง SIRS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI + \gamma R$$

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

$$\frac{dR}{dt} = \nu I - \gamma R$$

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

= - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

\+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้เปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

อัตราการเลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

= จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

\- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

\- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดชื้อ

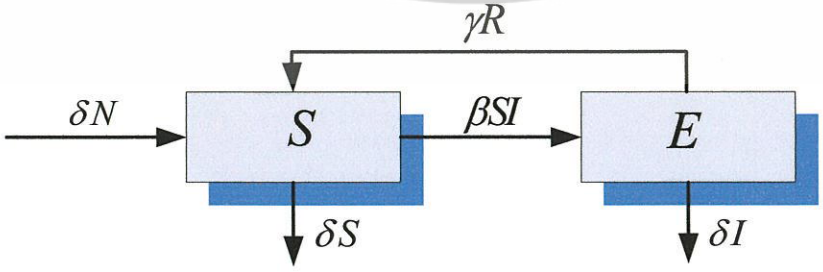
อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

\- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

\- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิต

3) แบบจำลอง SIS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = \delta N - \beta SI + \gamma I - \delta S$$

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

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

= - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

\+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

\+ จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่

- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

= จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ที่เสียชีวิต
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

จากแบบจำลองที่ 1) **แบบจำลอง SIR**

$$-\beta IS = 0 \qquad \text{----------(2.5.1)}$$

$$I(\beta S - \nu) = 0 \qquad \text{----------(2.5.2)}$$

$$\nu I = 0 \qquad \text{----------(2.5.3)}$$

จาก (2.5.3) จะได้ว่า $I = 0$

แทนค่า $I = 0$ ใน (2.5.2)

$$I(\beta S - \nu) = 0$$

$$\therefore \ I = 0 \quad \text{หรือ} \quad S = \frac{\nu}{\beta}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 1</u> แทนค่า $I = 0$ ใน (2.5.1)

จะได้ว่า $-\beta S(0) = 0$

$\therefore \quad S = 0 \quad$ หรือ $\quad S \neq 0$

เราทราบแล้วว่า $N = S + I + R$

ถ้า $S = 0$ จะได้ว่า $R = N$

ถ้า $S \neq 0$ จะได้ว่า $S + R = N$

ถ้า $S = N$ แล้ว $R = 0$

<u>กรณีที่ 2</u> แทนค่า $S = \frac{\nu}{\beta}$ ใน (2.5.1)

จะได้ว่า $-I\nu = 0 \quad ; \nu \neq 0$

$\therefore I = 0$

เราทราบแล้วว่า $R = N - S - I$

$$R = N - \frac{\nu}{\beta} - 0$$

$$R = N - \frac{\nu}{\beta}$$

$\therefore$ จะได้ steady state

กรณีที่ $I = 0$ จะได้ว่า

$(S, I, R) = (N, 0, 0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ $S = \frac{\nu}{\beta}$ จะได้ว่า

$$(S, I, R) = (\frac{\nu}{\beta}, 0, N - \frac{\nu}{\beta})$$

จากแบบจำลองที่ 2) **แบบจำลอง SIRS**

$$-\beta IS + \gamma R = 0 \qquad \text{----------(2.5.4)}$$

$$I(\beta S - \nu) = 0 \qquad \text{----------(2.5.5)}$$

$$\nu I - \gamma R = 0 \qquad \text{----------(2.5.6)}$$

จาก (2.5.6)

จะได้ว่า $I = \frac{\gamma R}{\nu}$

แทนค่า $I = \frac{\gamma R}{\nu}$ ใน (2.5.5)

$$\frac{\gamma R}{\nu}(\beta S - \nu) = 0$$

จะได้ว่า

$$\gamma R = 0 \quad \text{หรือ} \quad \beta S - \nu = 0$$

$$R = 0 \quad \text{และ} \quad S = \frac{\nu}{\beta}$$

<u>กรณีที่ 1</u> แทนค่า $R = 0$ ใน (2.5.4)

จะได้ว่า $-\beta SI + \gamma(0) = 0$

$$-\beta SI = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\therefore\ I = 0$

จาก $N = S + I + R$

$\therefore\ S = N$

<u>กรณีที่ 2</u> แทนค่า $S = \frac{\nu}{\beta}$ ใน (2.5.4)

$$-\beta\left(\frac{\nu}{\beta}\right)I + \gamma R = 0$$

$$-\nu I + \gamma R = 0$$

$$\therefore\ I = \frac{\gamma R}{\nu}$$

จาก $N = S + I + R$

$$N = \frac{\nu}{\beta} + \frac{\gamma R}{\nu} + R$$

$$\therefore\ R = N - \frac{\nu}{\beta} - \frac{\gamma R}{\nu}$$

$\therefore$ จะได้ steady state

กรณีที่ $R = 0$ จะได้ว่า

$(S, I, R) = (N, 0, 0)$

กรณีที่ $S = \frac{\nu}{\beta}$ จะได้ว่า

$$(S, I, R) = \left(\frac{\nu}{\beta}, \frac{\gamma R}{\nu}, N - \frac{\nu}{\beta} - \frac{\gamma R}{\nu}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองที่ 3) **แบบจำลอง SIRS**

$$\delta N - \beta IS + \gamma R - \delta S = 0 \qquad \text{----------(2.5.7)}$$

$$\beta IS - \nu I - \delta I = 0 \qquad \text{----------(2.5.8)}$$

$$\nu I - \gamma R - \delta R = 0 \qquad \text{----------(2.5.9)}$$

จาก (2.5.9) จะได้ว่า $I = \dfrac{\gamma R + \delta R}{\nu}$

แทนค่า $I = \dfrac{\gamma R + \delta R}{\nu}$ ใน (2.5.8)

$$\beta S\left(\frac{\gamma R + \delta R}{\nu}\right) + \nu\left(\frac{\gamma R + \delta R}{\nu}\right) - \delta\left(\frac{\gamma R + \delta R}{\nu}\right) = 0$$

$$\frac{\beta S\gamma R}{\nu} + \frac{\beta S\delta R}{\nu} - \gamma R - \delta R - \frac{\delta\gamma R}{\nu} - \frac{\delta^2 R}{\nu} = 0$$

$$R\left(\frac{\beta S\gamma}{\nu} + \frac{\beta S\delta}{\nu} - \gamma - \delta - \frac{\delta\gamma}{\nu} - \frac{\delta^2}{\nu}\right) = 0$$

$\therefore$ จะได้ $R = 0$ หรือ $\dfrac{\beta S\gamma}{\nu} + \dfrac{\beta S\delta}{\nu} - \gamma - \delta - \dfrac{\delta\gamma}{\nu} - \dfrac{\delta^2}{\nu} = 0$

$$\frac{S(\beta\gamma + \beta S)}{\nu} = \gamma + \delta + \frac{\delta\gamma}{\nu} + \frac{\delta^2}{\nu}$$

$$S = \left(\frac{\nu}{\beta(\gamma + \delta)}\right)\left(\gamma + \delta + \frac{\delta\gamma}{\nu} + \frac{\delta^2}{\nu}\right)$$

$$= \frac{\gamma\nu + \delta(\nu + \gamma + \delta)}{\beta(\gamma + \delta)}$$

<u>กรณีที่</u>1 แทนค่า $R = 0$ ใน (2.5.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า $\delta N - \beta SI - \delta S = 0$

$$\delta N - S(\beta I + \delta) = 0$$

$$\therefore \quad S = \frac{\delta N}{\beta I + \delta}$$

จาก $N = S + I + R$

$$\therefore \quad N = \frac{\delta N}{\beta I + \delta} + I + 0$$

$$\therefore \quad I = N - \frac{\delta N}{\beta I + \delta}$$

<u>กรณีที่ 2</u> แทนค่า $S = \dfrac{\gamma\nu + \delta(\nu + \gamma + \delta)}{\beta(\gamma + \delta)}$ ใน (2.5.7)

$$\delta N - \beta\left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\beta(\gamma + \delta)}\right)I - \left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\beta(\gamma + \delta)}\right)\delta + \gamma R = 0$$

$$\therefore \quad R = \frac{-\delta N}{\gamma} + \left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\gamma(\gamma + \delta)}\right)I + \left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\gamma\beta(\gamma + \delta)}\right)\delta$$

จาก $N = S + I + R$

$$I = N - S - R$$

$$\therefore \quad I = N - \left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\beta(\gamma + \delta)}\right) + \frac{\delta N}{\gamma} - \left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\gamma(\gamma + \delta)}\right)I - \left(\frac{\gamma\nu + \delta\nu + \delta\gamma + \delta^2}{\gamma\beta(\gamma + \delta)}\right)\delta$$

$\therefore$ จะได้ steady state

กรณีที่ $R = 0$ จะได้ว่า

$$(S, I, R) = \left(\frac{\delta N}{\beta I + \delta}, N - \frac{\delta N}{\beta I + \delta}, 0\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ $S = \dfrac{\gamma\nu + \delta(\nu + \gamma + \delta)}{\beta(\gamma + \delta)}$ จะได้ว่า

$$(S,I,R)=\left(\left(\frac{\gamma\nu+\delta\nu+\delta\gamma+\delta^2}{\beta(\gamma+\delta)}\right),N\left(\frac{\gamma\nu+\delta\nu+\delta\gamma+\delta^2}{\beta(\gamma+\delta)}\right)+\frac{\delta N}{\gamma}-\left(\frac{\gamma\nu+\delta\nu+\delta\gamma+\delta^2}{\gamma(\gamma+\delta)}\right)I-\left(\frac{\gamma\nu+\delta\nu+\delta\gamma+\delta^2}{\gamma\beta(\gamma+\delta)}\right)\delta,-\frac{\delta N}{\gamma}+\left(\frac{\gamma\nu+\delta\nu+\delta\gamma+\delta^2}{\gamma(\gamma+\delta)}\right)I+\left(\frac{\gamma\nu+\delta\nu+\delta\gamma+\delta^2}{\gamma\beta(\gamma+\delta)}\right)$$

จากแบบจำลองที่ 4) **แบบจำลอง SIS**

$$\delta N - \beta IS + \gamma I - \delta S = 0 \qquad \text{----------(2.5.10)}$$

$$\delta N - \beta IS - \gamma I = 0 \qquad \text{----------(2.5.11)}$$

จาก (2.5.11); $I(\beta S - \gamma - \delta) = 0$

$\therefore$ จะได้ $I = 0$ หรือ $\beta S - \gamma - \delta = 0$

$\therefore \quad S = \dfrac{\gamma + \delta}{\beta}$

<u>กรณีที่ 1</u> แทนค่า $I = 0$ ใน (2.5.10)

$$\delta N - \delta S = 0$$

$$\delta(N - S) = 0 \qquad \text{แต่} \quad \delta \neq 0$$

จาก $N = S + I + R$

$$N = N + 0 + R$$

$$\therefore \; R = 0$$

<u>กรณีที่ 2</u> แทนค่า $S = \dfrac{\gamma + \delta}{\beta}$ ใน (2.5.10)

$$\delta N - \beta\left(\frac{\gamma + \delta}{\beta}\right)I + \gamma I - \delta\left(\frac{\gamma + \delta}{\beta}\right) = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta N - \delta I - \delta\left(\frac{\gamma+\delta}{\beta}\right) = 0$$

$$-\delta I = \delta\left(\frac{\gamma+\delta}{\beta}\right) - \delta N$$

$$I = \frac{-\delta(\gamma+\delta) + \beta\delta N}{\beta\delta}$$

$$\therefore\ I = \frac{-(\gamma+\delta)}{\beta} + N$$

จาก $N = S + I + R$

$$N = \frac{\gamma+\delta}{\beta} - \frac{\gamma+\delta}{\beta} + N + R$$

$\therefore\ R = 0$

$\therefore$ จะได้ steady state

กรณีที่ $R = 0$ จะได้ว่า

$$(S, I, R) = (N, 0, 0)$$

กรณีที่ $S = \frac{\nu}{\beta}$ จะได้ว่า

$$(S, I, R) = \left(\frac{\gamma+\delta}{\beta}, \frac{-(\gamma+\delta)}{\beta} + N, 0\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

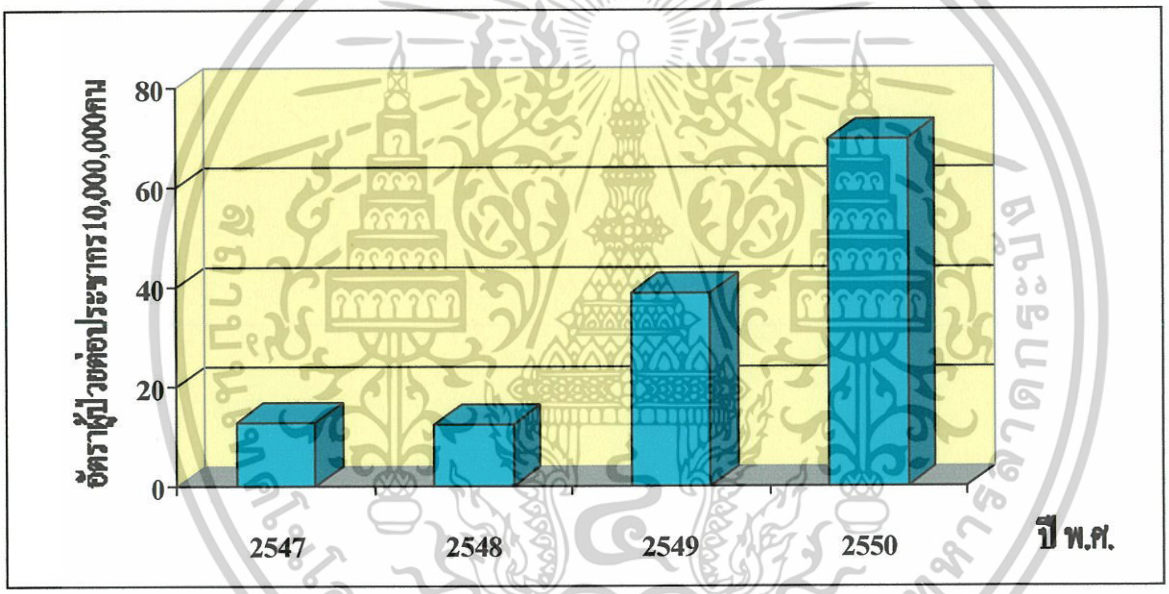
แบบจำลองของโรคไข้หวัดนก

ก่อนที่จะทำการสร้างแบบจำลองโรคไข้หวัดนก ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลของโรคไข้หวัดนกดังนี้

3.1 ข้อมูลโรคไข้หวัดนก

จากสถิติผู้ป่วยเป็นโรคไข้หวัดนก ในแต่ละปีตั้งแต่ปี 2547-2550 ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของสำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณะสุข เราได้นำมาคำนวณอัตราผู้ป่วยแสดงได้ดังกราฟ เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

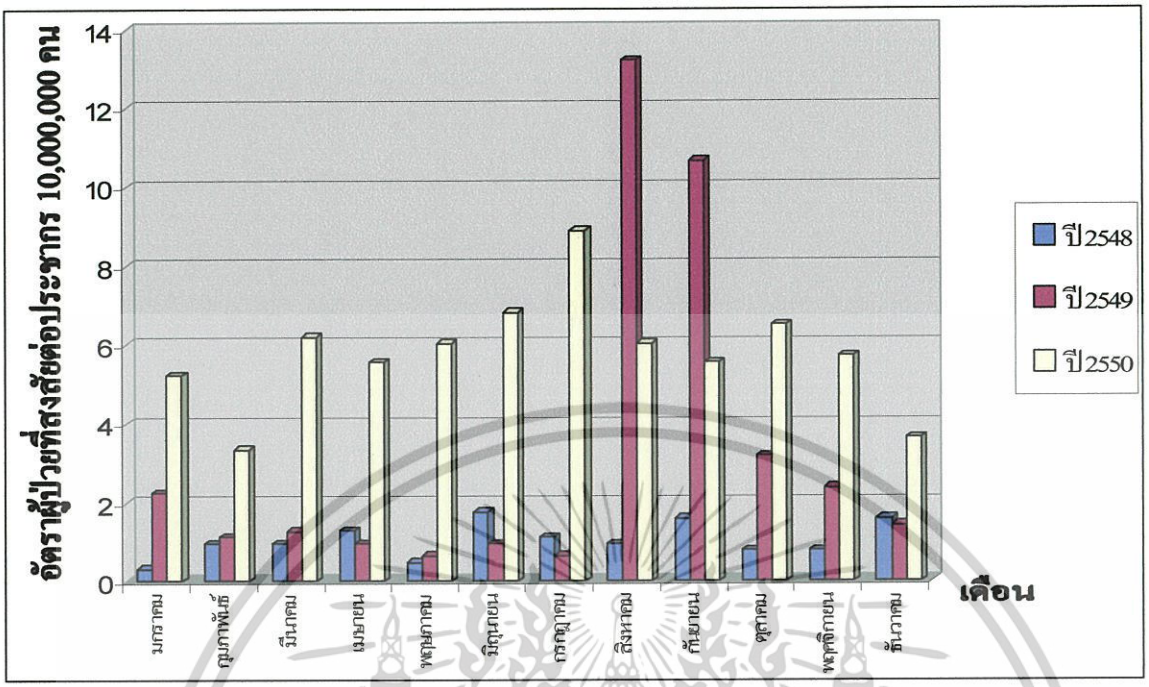
กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 ดังนี้



รูปที่3.1 กราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย (Suspect)โรคไข้หวัดนก

จำนวนผู้ป่วยที่สงสัยและอัตราผู้ป่วยที่สงสัยต่อประชากรสิบล้านคน สูงที่สุดคือปี พ.ศ. 2550 มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 438 ราย และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัย 69.48 ต่อประชากรสิบล้านคน รองลงมาคือปี พ.ศ. 2549 มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 243 ราย และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัย 38.68 ต่อประชากรสิบล้านคน และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัยต่อประชากรสิบล้านคน ลดลงตามลำดับปี พ.ศ. ดังนี้ พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 โดยมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัยต่อประชากรสิบล้านคนลดลงตามลำดับ 12.75 และ 12.66

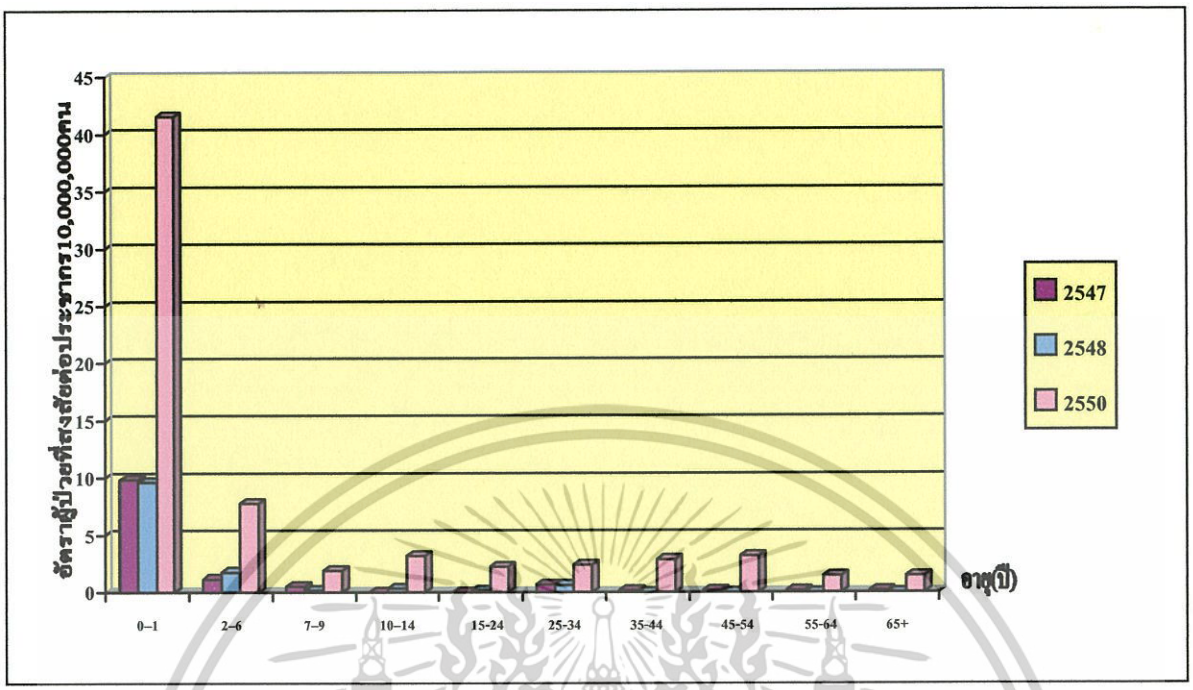
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.2 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2548 – 2550 โดยแบ่งตามเดือน

จากกราฟจะเห็นว่า ในเดือนสิงหาคม ปี 2549 มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนก สูงที่สุด คือ 83 ราย และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัย 13.21 ต่อประชากรสิบล้านคน รองลงมาคือ เดือนกันยายน ปี 2549 มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 67 ราย และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัย 10.66 ต่อประชากรสิบล้านคน และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัยต่อประชากรสิบล้านคน ลดลงตามลำดับเดือนในแต่ละปี ดังต่อไปนี้ กรกฎาคม ปี 2550, มิถุนายน ปี 2550, ตุลาคม ปี 2550, มีนาคม ปี 2550, พฤษภาคม ปี 2550, สิงหาคม ปี 2550, พฤศจิกายน ปี 2550, เมษายน ปี 2550, กันยายน ปี 2550, มกราคม ปี 2550, ธันวาคม ปี 2550, กุมภาพันธ์ ปี 2550, ตุลาคม ปี 2549, พฤศจิกายน ปี 2549, มกราคม ปี 2549, มิถุนายน ปี 2548, กันยายน ปี 2548, ธันวาคม ปี 2548, ธันวาคม ปี 2549, เมษายน ปี 2548, มีนาคม ปี 2549, กรกฎาคม ปี 2548, กุมภาพันธ์ ปี 2549, กุมภาพันธ์ ปี 2548, มีนาคม ปี 2548 , สิงหาคม ปี 2548 , เมษายน ปี 2549 , มิถุนายน ปี 2549 , ตุลาคม ปี 2548 , พฤศจิกายน ปี 2548, พฤษภาคม ปี 2549, กรกฎาคม ปี 2549, พฤษภาคม ปี 2548, มกราคม ปี 2548 โดยมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัยต่อประชากรสิบล้านคนตามลำดับ 8.88, 6.82, 6.50, 6.19, 6.03, 6.03, 5.71, 5.55, 5.55, 5.23, 3.65, 3.33, 3.18, 2.39, 2.23, 1.76, 1.60, 1.60, 1.43, 1.28, 1.27, 1.12, 1.11, 0.96, 0.96, 0.96, 0.95, 0.95, 0.80, 0.80, 0.64, 0.6 , 0.48, 0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.3 กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ

จากกราฟจะเห็นว่า ผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนก ช่วงอายุตั้งแต่ 0-1 ปี ของปี พ.ศ.2550 มีจำนวนผู้ป่วยสงสัยโรคไข้หวัดนก สูงที่สุด คือ 262 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 41.56 ต่อประชากรสิบล้านคน และรองลงมา คือช่วงอายุ 0-1 ปี ของปี พ.ศ. 2547 มีจำนวนผู้ป่วยสงสัยโรคไข้หวัดนก 61 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 9.84 ต่อประชากรสิบล้านคนต่อปี และมีอัตราผู้ป่วยที่สงสัยต่อประชากรสิบล้านคน ลดลงตามลำดับของช่วงอายุและปี พ.ศ. ดังต่อไปนี้

ปี พ.ศ. 2548 ช่วงอายุตั้งแต่ 0-1 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 60 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 9.61 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 2-6 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 49 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 7.77 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 10-14 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 20 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 3.17 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 45-54 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 20 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 3.17 ต่อประชากรสิบล้านคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 35-44 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 18 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 2.86 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 25-34 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 15 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 2.38 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 15-24 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 14 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 2.22 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 7-9 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 12 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 1.90 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2548 ช่วงอายุตั้งแต่ 2-6 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 11 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 1.76 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 55-64 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 9 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 1.43ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ.2550 ช่วงอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 9 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 1.43ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 2-6 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 7 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 1.13 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 25-34 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 4 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.65 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2548 ช่วงอายุตั้งแต่ 25-34 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 4 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.64 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 10-14 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 3 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.48 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2548 ช่วงอายุตั้งแต่ 10-14 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 2 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.32 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 35-44 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 1 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.16 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 45-54 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 1 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.16 ต่อประชากรสิบล้านคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 55-64 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 1 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.16 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2547 ช่วงอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไป มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 1 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.16 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2548 ช่วงอายุตั้งแต่ 7-9 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 1 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.16 ต่อประชากรสิบล้านคน

ปี พ.ศ. 2548 ช่วงอายุตั้งแต่ 15-24 ปี มีจำนวนผู้ป่วยที่สงสัย 1 ราย อัตราผู้ป่วยที่สงสัย 0.16 ต่อประชากรสิบล้านคน

สำนักระบาดวิทยาได้กำหนดนิยามของผู้ป่วยไข้หวัดนก เป็น 5 ระดับ คือ

1. ผู้ป่วยที่สงสัย (Suspect) ได้แก่ ผู้ที่

- มีอาการแสดงต่อไปนี้: ไข้(อุณหภูมิกายมากกว่า 38 องศาเซลเซียส) ร่วมกับอาการอย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ปวดกล้ามเนื้อ ไอ หายใจผิดปกติ (หอบลำบาก) หรือ แพทย์สงสัยว่าเป็นปอดบวม หรือไข้หวัดใหญ่

- มีประวัติการสัมผัสโดยตรงกับสัตว์ปีกที่ป่วยหรือตาย ในระยะเวลา 7 วัน ก่อนเริ่มป่วย หรือมีการตายของสัตว์ปีกอย่างผิดปกติในหมู่บ้านที่อาศัยอยู่ ในรอบ 14 วันก่อนเริ่มป่วย หรือดูแลใกล้ชิดผู้ป่วยปอดอักเสบรายอื่น ในช่วง 10 วันก่อนเริ่มป่วย

- ไม่มีตัวอย่างสิ่งส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อการตรวจยืนยันหาเชื้อไข้หวัดนก

2. ผู้ป่วยที่น่าจะเป็น (Probable case) ได้แก่ ผู้ป่วยที่สงสัย (Suspect) ตามนิยามข้างต้น

- มีระบบการหายใจล้มเหลว หรือ เสียชีวิต

3. ผู้ป่วยยืนยัน (Confirmed case) ได้แก่ ผู้ป่วยที่สงสัย (Suspect) ตามนิยามข้างต้น

- มีผลการตรวจสุดท้ายตามมาตรฐานทางห้องปฏิบัติการ พบเชื้อไข้หวัดใหญ่กลุ่ม A (H5) ซึ่งเป็นสายพันธุ์สัตว์ปีก โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย

ก. วิธี RT-PCR ในสิ่งส่งตรวจตัวอย่างเดียวแต่ต้องใช้ primer หรือ probe จำนวน 2 ชุด หรือ ตรวจจากสิ่งส่งตรวจอย่างน้อย 2 ตัวอย่างที่เก็บจากผู้ป่วยที่ตำแหน่งแตกต่างกัน (เช่น throat swab กับ nasopharyngeal aspirate เป็นต้น) หรือ ตรวจจากสิ่งส่งตรวจอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง ที่เก็บจากผู้ป่วยในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ข. เพาะเชื่อไวรัสได้

ค. วิธี Neutralization test โดยพบระดับภูมิคุ้มกันจากเลือดในระยะพักฟื้น สูงขึ้น 4 เท่าจากระดับในระยะเฉียบพลัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผู้ป่วยอยู่ระหว่างสอบสวน (Case under investigation) ได้แก่ ผู้ป่วยที่ยังต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมทั้งทางคลินิก และ/หรือประวัติการสัมผัสปัจจัยเสี่ยงในพื้นที่ และ/หรือผลตรวจทางห้องปฏิบัติการ ก่อนที่จะสามารถสรุปจำแนกประเภทผู้ป่วยได้ชัดเจน

5. ผู้ป่วยตัดออกจากการสงสัย (Excluded case) ได้แก่ ผู้ป่วยจากการสอบสวนโรคพบว่าไม่เข้านิยามผู้ป่วยประเภทต่างๆข้างต้น

ผลการเฝ้าระวัง

ตารางที่3.1 จำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดนก ประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย			
	จำนวนผู้ป่วยที่สงสัย	จำนวนผู้ป่วยยืนยัน	จำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิต	เปอร์เซนต์ของผู้ป่วยที่เสียชีวิต
2547	79	17	12	70.5882
2548	79	5	2	40
2549	243	3	3	100
2550	438	0	0	0

จากตารางที่3.1 จะพบว่าในปี พ.ศ. 2547 มีผู้ป่วยยืนยัน 17 ราย มีจำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิตจำนวน 12 ราย เปอร์เซนต์การเสียชีวิตคือ 70.5882 ต่อจำนวนผู้ป่วยยืนยัน และในปี พ.ศ. 2548 มีผู้ป่วยยืนยัน 5 ราย จำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิต 2 ราย เปอร์เซนต์เสียชีวิตคือ 40 ต่อจำนวนผู้ป่วยที่ยืนยัน และในปี พ.ศ. 2549 มีจำนวนผู้ป่วยยืนยัน 3 ราย จำนวนผู้ป่วยที่เสียชีวิต 3 ราย เปอร์เซนต์เสียชีวิตคือ 100 ต่อจำนวนผู้ป่วยยืนยัน ส่วนในปี พ.ศ. 2550 นั้นยังไม่พบผู้ป่วยยืนยัน ซึ่งในปี พ.ศ. 2550 ไม่พบผู้ป่วยยืนยันเนื่องจาก ประเทศไทยได้มีการเตรียมรับมือกับสถานการณ์ดังกล่าวและประชาชนมีการตื่นตัวกันมากขึ้น จึงทำให้โอกาสที่ไข้หวัดนกจะติดต่อสู่คนเป็นไปได้ยาก แต่ถ้าผู้ที่ได้รับเชื้อไข้หวัดนกและอยู่ในประเภทผู้ป่วยยืนยัน ก็มีโอกาสน้อยมากที่จะหาย เนื่องจากโรคไข้หวัดนกเป็นโรคที่มีการดำเนินการค่อนข้างรวดเร็ว

3.2 แบบจำลองตามอายุสำหรับโรคไข้หวัดนก(Age distribution model for Avian Influenza)

ในการศึกษานี้เราพิจารณาการสร้างแบบจำลองของประชากรและไก่

ให้ S_{M_i} = จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อของประชากรกลุ่มอายุที่ i

E_{M_i} = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของประชากรกลุ่มที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{M_i} = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของประชากรกลุ่มที่ i

R_{M_i} = จำนวนของผู้ฟื้นไข้จากเชื้อไข้หวัดนกของประชากรกลุ่มที่ i

S_c = จำนวนของไก่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ

E_c = จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

I_c = จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

ประชากรกลุ่มอายุที่ i หมายถึง

i = 1 คือ อายุ 0-1 ปี

i = 2 คือ อายุ 2-6 ปี

i = 3 คือ อายุ 7-9 ปี

.

.

.

i = n คือ อายุ 64-65 ปี

สมมติว่าเราพิจารณาประชากรทั้งหมด n กลุ่ม

ให้ความหมายของพารามิเตอร์แต่ละตัวเป็นดังนี้

b_h = อัตราการเกิดของประชากร (= อัตราการตาย μ_h)

β_{M_i} = อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i

r_s = อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีกครั้ง

r_E = อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

r_t = อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

α = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่ $i+1$

N_M = จำนวนประชากร(สมมุติให้คงที่) $= S_M + E_M + I_M + R_M$

P_M = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

S_M = จำนวนทั้งหมดของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ $= S_{M_1} + S_{M_2} + \ldots + S_{M_n}$

E_M = จำนวนทั้งหมดของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

$= E_{M_1} + E_{M_2} + \ldots + E_{M_n}$

I_M = จำนวนทั้งหมดของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

$= I_{M_1} + I_{M_2} + \ldots + I_{M_n}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r_M = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

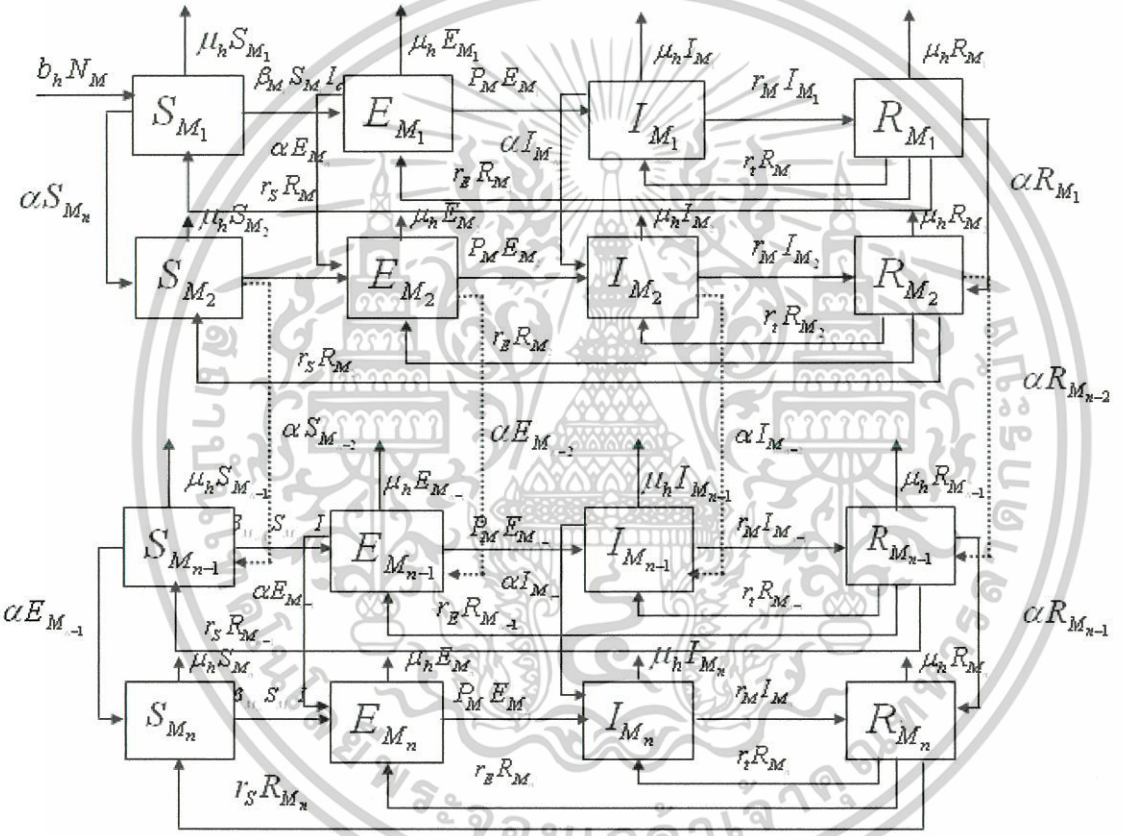
μ_h = อัตราการตายของประชากร

b_c = จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น

μ_c = อัตราการตายของไก่

β_c = อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่

P_c = อัตราที่ไก่เปลี่ยนสถานะจากไก่ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)



รูปที่3.4 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของประชากรที่ป่วยเป็นไข้หวัดนก (พิจารณากลุ่มอายุที่ 1 ถึง n)

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ กลุ่มที่ 1

= จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

+ จำนวนของผู้ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2

- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิตกลุ่มที่1

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

= จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1

+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ 1

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)กลุ่มที่1

+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ฟื้นไข้กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เสียชีวิตกลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่1 ไปเป็นกลุ่มที่2

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้ กลุ่มที่1

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่1

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ 1

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกลุ่มอายุที่ i ($i = 2,3,...,n-1$)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ i ($i = 2,3,...,n-1$)

= จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i

- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนจากกลุ่มที่ i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$
- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิตกลุ่มที่ i

\+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ i

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i ($i = 2,3,...,n-1$)

= จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i

\+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i

\+ จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ i
- จำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i ($i = 2,3,...,n-1$)

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i

\+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ฟื้นไข้กลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้ กลุ่มที่ i ($i = 2,3,...,n-1$)

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้กลุ่มที่ i

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$

สำหรับกลุ่มอายุที่ n

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ n

= จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n

- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n

+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ n

- จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n

= จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n

+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n

+ จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)กลุ่มที่ n

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n

+ จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n

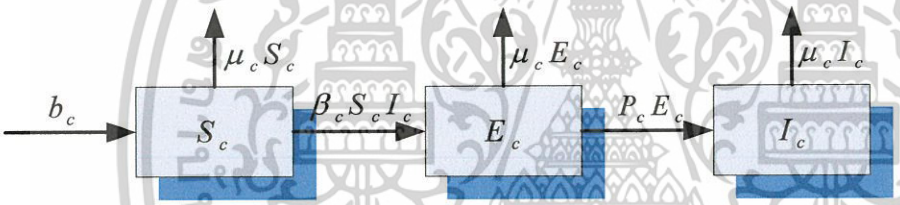
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ฟื้นไข้กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้ กลุ่มที่ n

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้กลุ่มที่ n
+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

แบบจำลองของไก่



รูปที่3.5 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของไก่

อธิบายรายละเอียดแบบจำลองได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของไก่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ

= จำนวนของไก่ที่เกิดใหม่
- จำนวนของไก่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อv ได้)
- จำนวนของไก่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของไก่ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดได้)

= จำนวนของไก่ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของไก่ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

= จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิต

จากแบบจำลอง เครื่องหมายชี้เข้า คือ + , เครื่องหมายชี้ออก คือ –

จากแผนภาพแสดงแนวคิดข้างต้น นำมาเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$\frac{d\theta}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของ θ

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

$$\frac{dS_M}{dt} = \frac{dS_{M_1}}{dt} + \frac{dS_{M_2}}{dt} + \ldots + \frac{dS_{M_n}}{dt}$$

$$\frac{dS_M}{dt} = N_M b_h - S_M \mu_h - \left[\sum_{i=1}^{n} \beta_{M_i} S_{M_i}\right] I_c + r_s R_M$$

$$\frac{dS_{M_1}}{dt} = b_h N_M - \beta_{M_1} S_{M_1} I_c - \alpha_1 S_M - \mu_h S_{M_1} + r_s R_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dS_{M_i}}{dt} = \alpha_{i-1} S_{M_{i-1}} - \beta_{M_i} S_{M_i} I_c - \alpha_i S_{M_i} - \mu_h S_{M_i} + r_s R_{M_i} \quad \text{เมื่อ } i = 2,\ldots,n-1$$

$$\frac{dS_{M_n}}{dt} = \alpha_{n-1} S_{M_{n-1}} - \beta_{M_n} S_{M_n} I_c - \mu_h S_{M_n} + r_s R_{M_n} \quad \text{เมื่อ } i = n$$

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดได้ทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

$$\frac{dE_M}{dt} = \frac{dE_{M_1}}{dt} + \frac{dE_{M_2}}{dt} + \ldots + \frac{dE_{M_n}}{dt}$$

$$\frac{dE_M}{dt} = \left[\sum_{i=1}^{n} \beta_{M_i} S_{M_i}\right] I_c - \left[\mu_h + P_M\right] E_M + R_M r_E$$

$$\frac{dE_{M_1}}{dt} = \beta_{M_1} S_{M_1} I_c - \left(\alpha_1 E_{M_1} + \mu_h E_{M_1} + P_M E_{M_1}\right) + R_{M_1} r_E \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dE_{M_i}}{dt} = \beta_{M_i} S_{M_i} I_c + \alpha_{i-1} E_{M_{i-1}} + R_{M_i} r_E - \alpha_i E_{M_i} - P_M E_{M_i} - \mu_h E_{M_i} \quad \text{เมื่อ } i = 2,\ldots,n-1$$

$$\frac{dE_{M_n}}{dt} = \beta_{M_n} S_{M_n} I_c + \alpha_{n-1} E_{M_{n-1}} + R_{M_n} r_E - (\mu_h + P_M) E_{M_n} \quad \text{เมื่อ } i = n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดได้ทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

$$\frac{dI_M}{dt} = \frac{dI_{M_1}}{dt} + \frac{dI_{M_2}}{dt} + \ldots + \frac{dI_{M_n}}{dt}$$

$$\frac{dI_M}{dt} = P_M E_M + R_M r_t - \left[\mu_h + r_M\right] I_M$$

$$\frac{dI_{M_1}}{dt} = P_M E_{M_1} + r_t R_{M_1} - \alpha_1 I_{M_1} - \mu_h I_{M_1} - r_M I_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dI_{M_i}}{dt} = P_M E_{M_i} + \alpha_{i-1} I_{M_{i-1}} + r_t R_{M_i} - (r_M + \mu_h) I_{M_i} - \alpha_i I_{M_i} \quad \text{เมื่อ } i = 2,\ldots,n-1$$

$$\frac{dI_{M_n}}{dt} = P_M E_{M_n} + \alpha_{n-1} I_{M_{n-1}} + r_t R_{M_n} - (\mu_h + r_M) I_{M_n} \quad \text{เมื่อ } i = n$$

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้ทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

$$\frac{dR_M}{dt} = \frac{dR_{M_1}}{dt} + \frac{dR_{M_2}}{dt} + \ldots + \frac{dR_{M_n}}{dt}$$

$$\frac{dR_M}{dt} = r_M I_M - \left[\mu_h + r_t + r_E + r_S\right] R_M$$

$$\frac{dR_{M_1}}{dt} = r_M I_{M_1} - \left(r_t R_{M_1} - r_E R_{M_1} - r_s R_{M_1}\right) - \mu_h R_{M_1} - \alpha_1 R_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dR_{M_i}}{dt} = r_M I_{M_i} - \left(r_t R_{M_i} - r_E R_{M_i} - r_s R_{M_i}\right) - \alpha_i R_{M_i} - \mu_h R_{M_i} - \alpha_{i-1} R_{M_{i-1}} \quad \text{เมื่อ } i = 2,\ldots,n-1$$

$$\frac{dR_{M_n}}{dt} = r_M I_{M_n} + \alpha_{n-1} R_{M_{n-1}} - (\mu_h R_{M_n} + r_t R_{M_n} + r_E R_{M_n} + r_s R_{M_n}) \quad \text{เมื่อ } i=n$$

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงประชากรไก่เราสามารถหาได้ดังนี้

$$\frac{dS_c}{dt} = b_c - \beta_c S_c I_c - \mu_c S_c$$

$$\frac{dE_c}{dt} = \beta_c S_c I_c - P_c E_c - \mu_c E_c$$

$$\frac{dI_c}{dt} = P_c E_c - \mu_c I_c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์แบบจำลอง

4.1 หา Steady State Solution

ใช้ทฤษฎีของ Steady State ในหัวข้อ 2.3 หา steady state solution สำหรับประชากรดังนี้

$$\frac{dS_{M_i}}{dt} = 0 \qquad , i = 1,...,n$$

$$\frac{dE_{M_i}}{dt} = 0 \qquad , i = 1,...,n$$

$$\frac{dI_{M_i}}{dt} = 0 \qquad , i = 1,...,n$$

$$\frac{dR_{M_i}}{dt} = 0 \qquad , i = 1,...,n$$

นั่นก็คือ

ขั้นตอนที่1: หา steady state ของ $\frac{dS_{M_i}}{dt} = 0$

$i = 1$

$$\frac{dS_{M_1}}{dt} = b_h N_M - \beta_{M_1} S_{M_1} I_c - \alpha_1 S_M - \mu_h S_{M_1} + r_s R_{M_1}$$

$$\therefore S_{M_1} = \frac{b_h N_m + r_s R_{M_1}}{\beta_{M_1} I_c + \alpha_1 + \mu_h}$$

$i = 2$

$$\frac{dS_{M_2}}{dt} = \alpha_1 S_{M_1} - \beta_{M_2} S_{M_2} I_c - \alpha_2 S_{M_2} - \mu_h S_{M_2} + r_s R_{M_2}$$

$$\therefore S_{M_2} = \frac{\alpha_1 S_{M_1} + r_s R_{M_2}}{\beta_{M_2} I_c + \alpha_2 + \mu_h}$$

$i = 3$

$$\frac{dS_{M_3}}{dt} = \alpha_2 S_{M_2} - \beta_{M_3} S_{M_3} I_c - \alpha_3 S_{M_3} - \mu_h S_{M_3} + r_s R_{M_3}$$

$$\therefore S_{M_3} = \frac{\alpha_2 S_{M_2} + r_s R_{M_3}}{\beta_{M_3} I_c + \alpha_3 + \mu_h}$$

$i = 4$

$$\frac{dS_{M_4}}{dt} = \alpha_3 S_{M_3} - \beta_{M_4} S_{M_4} I_c - \alpha_4 S_{M_4} - \mu_h S_{M_4} + r_s R_{M_4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore S_{M_4} = \frac{\alpha_3 S_{M_3} + r_s R_{M_4}}{\beta_{M_4} I_c + \alpha_4 + \mu_h}$$

$i = 5$

$$\frac{dS_{M_5}}{dt} = \alpha_4 S_{M_4} - \beta_{M_5} S_{M_5} I_c - \alpha_5 S_{M_5} - \mu_h S_{M_5} + r_s R_{M_5}$$

$$\therefore S_{M_5} = \frac{\alpha_4 S_{M_4} + r_s R_{M_5}}{\beta_{M_5} I_c + \alpha_5 + \mu_h}$$

จะได้ว่า $$S_{M_i} = \frac{\alpha_{i-1} S_{M_{i-1}} + r_s R_{M_i}}{\beta_{M_i} I_c + \alpha_i + \mu_h}$$

$i = n$

$$\frac{dS_{M_n}}{dt} = \alpha_{n-1} S_{M_{n-1}} - \beta_{M_n} S_{M_n} I_c - \mu_h S_{M_n} + r_s R_{M_n}$$

จะได้ว่า $$S_{M_n} = \frac{\alpha_{n-1} S_{M_{n-1}} + r_s R_{M_n}}{\beta_{M_n} I_c + \mu_h}$$

ขั้นตอนที่2: หา steady state ของ $\frac{dE_{M_i}}{dt} = 0$

$i = 1$

$$\frac{dE_{M_1}}{dt} = \beta_{M_1} S_{M_1} I_c - \left(\alpha_1 E_{M_1} + \mu_h E_{M_1} + P_M E_{M_1}\right) + R_{M_1} r_E$$

$$\therefore E_{M_1} = \frac{\beta_{M_1} S_{M_1} I_c + r_E R_{M_1}}{\alpha_1 + \mu_h + P_M}$$

$i = 2$

$$\frac{dE_{M_2}}{dt} = \beta_{M_2} S_{M_2} I_c + \alpha_1 E_{M_1} + R_{M_2} r_E - \alpha_2 E_{M_2} - P_M E_{M_2} - \mu_h E_{M_2}$$

$$\therefore E_{M_2} = \frac{\beta_{M_2} S_{M_2} I_c + \alpha_1 E_{M_1} + r_E R_{M_2}}{\alpha_2 + \mu_h + P_M}$$

$i = 3$

$$\frac{dE_{M_3}}{dt} = \beta_{M_3} S_{M_3} I_c + \alpha_2 E_{M_2} + R_{M_3} r_E - \alpha_3 E_{M_3} - P_M E_{M_3} - \mu_h E_{M_3}$$

$$\therefore E_{M_3} = \frac{\beta_{M_3} S_{M_3} I_c + \alpha_2 E_{M_2} + r_E R_{M3}}{\alpha_3 + \mu_h + P_M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i = 4$

$$\frac{dE_{M_4}}{dt} = \beta_{M_4} S_{M_4} I_c + \alpha_3 E_{M_3} + R_{M_4} r_E - \alpha_4 E_{M_4} - P_M E_{M_4} - \mu_h E_{M_4}$$

$$\therefore E_{M_4} = \frac{\beta_{M_4} S_{M_4} I_c + \alpha_3 E_{M_3} + r_E R_{M_4}}{\alpha_4 + \mu_h + P_M}$$

$i = 5$

$$\frac{dE_{M_5}}{dt} = \beta_{M_5} S_{M_5} I_c + \alpha_4 E_{M_4} + R_{M_5} r_E - \alpha_5 E_{M_5} - P_M E_{M_5} - \mu_h E_{M_5}$$

$$\therefore E_{M_5} = \frac{\beta_{M_5} S_{M_5} I_c + \alpha_4 E_{M_4} + r_E R_{M_5}}{\alpha_5 + \mu_h + P_M}$$

จะได้ว่า $$E_{M_i} = \frac{\beta_{M_i} S_{M_i} I_c + \alpha_{i-1} E_{M_{i-1}} + r_E R_{M_i}}{\alpha_i + \mu_h + P_M}$$

$i = n$

$$\frac{dE_{M_n}}{dt} = \beta_{M_n} S_{M_n} I_c + \alpha_{n-1} E_{M_{n-1}} + R_{M_n} r_E - (\mu_h + P_M) E_{M_n}$$

จะได้ว่า $$E_{M_n} = \frac{\beta_{M_n} S_{M_n} I_c + \alpha_{n-1} E_{M_{n-1}} + r_E R_{M_n}}{\mu_h + P_M}$$

ขั้นตอนที่3: หา steady state ของ $\frac{dI_{M_i}}{dt} = 0$

$i = 1$

$$\frac{dI_{M_1}}{dt} = P_M E_{M_1} + r_i R_{M_1} - \alpha_1 I_{M_1} - \mu_h I_{M_1} - r_M I_{M_1}$$

$$\therefore I_{M_1} = \frac{P_M E_{M_1} + r_i R_{M_1}}{\alpha_1 + \mu_h + r_M}$$

$i = 2$

$$\frac{dI_{M_2}}{dt} = P_M E_{M_2} + \alpha_1 I_{M_1} + r_i R_{M_2} - (r_M + \mu_h) I_{M_2} - \alpha_2 I_{M_2}$$

$$\therefore I_{M_2} = \frac{P_M E_{M_2} + \alpha_1 I_{M_1} + r_i R_{M_2}}{\alpha_2 + \mu_h + r_M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i=3$

$$\frac{dI_{M_3}}{dt} = P_M E_{M_3} + \alpha_2 I_{M_2} + r_t R_{M_3} - (r_M + \mu_h) I_{M_3} - \alpha_3 I_{M_3}$$

$$\therefore I_{M_3} = \frac{P_M E_{M_3} + \alpha_2 I_{M_2} + r_t R_{M_3}}{\alpha_3 + \mu_h + r_M}$$

$i=4$

$$\frac{dI_{M_4}}{dt} = P_M E_{M_4} + \alpha_3 I_{M_3} + r_t R_{M_4} - (r_M + \mu_h) I_{M_4} - \alpha_4 I_{M_4}$$

$$\therefore I_{M_4} = \frac{P_M E_{M_4} + \alpha_3 I_{M_3} + r_t R_{M_4}}{\alpha_4 + \mu_h + r_M}$$

$i=5$

$$\frac{dI_{M_5}}{dt} = P_M E_{M_5} + \alpha_4 I_{M_4} + r_t R_{M_5} - (r_M + \mu_h) I_{M_5} - \alpha_5 I_{M_5}$$

$$\therefore I_{M_5} = \frac{P_M E_{M_5} + \alpha_4 I_{M_4} + r_t R_{M_5}}{\alpha_5 + \mu_h + r_M}$$

จะได้ว่า $$I_{M_i} = \frac{P_M E_{M_i} + \alpha_{i-1} I_{M_{i-1}} + r_t R_{M_i}}{\alpha_i + \mu_h + r_M}$$

$i=n$

$$\frac{dI_{M_n}}{dt} = P_M E_{M_n} + \alpha_{n-1} I_{M_{n-1}} + r_t R_{M_n} - (\mu_h + r_M) I_{M_n}$$

จะได้ว่า $$I_{M_n} = \frac{\alpha_{n-1} I_{M_{n-1}} + r_t R_{M_n}}{\mu_h + r_M}$$

ขั้นตอนที่4: หา steady state ของ $\frac{dR_{M_i}}{dt} = 0$

$i=1$

$$\frac{dR_{M_1}}{dt} = r_M I_{M_1} - (r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_1) R_{M_1} = 0$$

$$\therefore R_{M_1} = \frac{r_M I_{M_1}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_1}$$

$i=2$

$$\frac{dR_{M_2}}{dt} = r_M I_{M_2} - (r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_2) R_{M_2} + \alpha_1 R_{M_1} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore R_{M_2} = \frac{r_M I_{M_2} + \alpha_1 R_{M_1}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_2}$$

$i = 3$

$$\frac{dR_{M_3}}{dt} = r_M I_{M_3} - (r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_3) R_{M_3} + \alpha_2 R_{M_2} = 0$$

$$\therefore R_{M_3} = \frac{r_M I_{M_3} + \alpha_2 R_{M_2}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_3}$$

$i = 4$

$$\frac{dR_{M4}}{dt} = r_M I_{M_4} - (r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_4) R_{M_4} + \alpha_3 R_{M_3} = 0$$

$$\therefore R_{M_4} = \frac{r_M I_{M_4} + \alpha_3 R_{M_3}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_4}$$

$i = 5$

$$\frac{dR_{M_5}}{dt} = r_M I_{M_5} - (r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_5) R_{M_5} + \alpha_4 R_{M_4} = 0$$

$$\therefore R_{M_5} = \frac{r_M I_{M_5} + \alpha_4 R_{M_4}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_5}$$

จะได้ว่า $$R_{M_i} = \frac{r_M I_{M_i} + \alpha_{i-1} R_{M_{i-1}}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_i}$$

$i = n$

$$\frac{dR_{M_2}}{dt} = r_M I_{M_2} + \alpha_1 R_{M_1} - (\mu_h + r_t + r_E + r_s) R_{M_2} = 0$$

$$\therefore R_{M_2} = \frac{r_M I_{M_2} + \alpha_1 R_{M_1}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h}$$

$$\frac{dR_{M_3}}{dt} = r_M I_{M_3} + \alpha_2 R_{M_2} - (\mu_h + r_t + r_E + r_s) R_{M_3} = 0$$

$$\therefore R_{M_3} = \frac{r_M I_{M_3} + \alpha_2 R_{M_2}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h}$$

$$\frac{dR_{M_4}}{dt} = r_M I_{M_4} + \alpha_3 R_{M_3} - (\mu_h + r_t + r_E + r_s) R_{M_4} = 0$$

$$\therefore R_{M_4} = \frac{r_M I_{M_4} + \alpha_3 R_{M_3}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h}$$

จะได้ว่า $$R_{M_n} = \frac{r_M I_{M_n} + \alpha_{n-1} R_{M_{n-1}}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่า

$$S_{M_1} = \frac{b_h N_m + r_s R_{M_1}}{\beta_{M_1} I_c + \alpha_1 + \mu_h} \quad \text{ที่ } i = 1$$

$$S_{M_i} = \frac{\alpha_i S_{M_{i-1}} + r_s R_{M_i}}{\beta_{M_i} I_c + \alpha_i + \mu_h} \quad \text{ที่ } i = 2,...,n-1$$

$$S_{M_n} = \frac{\alpha_{n-1} S_{M_{n-1}} + r_s R_{M_n}}{\beta_{M_n} I_c + \mu_h} \quad \text{ที่ } i = n$$

$$E_{M_1} = \frac{\beta_{M_1} S_{M_1} I_c + r_E R_{M_1}}{\alpha_1 + \mu_h + P_M} \quad \text{ที่ } i = 1$$

$$E_{M_i} = \frac{\beta_{M_i} S_{M_i} I_c + \alpha_{i-1} E_{M_{i-1}} + r_E R_{M_i}}{\alpha_i + \mu_h + P_M} \quad \text{ที่ } i = 2,...,n-1$$

$$E_{M_n} = \frac{\beta_{M_n} S_{M_n} I_c + \alpha_{n-1} E_{M_{n-1}} + r_E R_{M_n}}{\mu_h + P_M} \quad \text{ที่ } i = n$$

$$I_{M_1} = \frac{P_M E_{M_1} + r_t R_{M_1}}{\alpha_1 + \mu_h + r_M} \quad \text{ที่ } i = 1$$

$$I_{M_i} = \frac{P_M E_{M_i} + \alpha_{i-1} I_{M_{i-1}} + r_t R_{M_i}}{\alpha_i + \mu_h + r_M} \quad \text{ที่ } i = 2,...,n-1$$

$$I_{M_n} = \frac{\alpha_{n-1} I_{M_{n-1}} + r_t R_{M_n}}{\mu_h + r_M} \quad \text{ที่ } i = n$$

$$R_{M_1} = \frac{r_M I_{M_1}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_1} \quad \text{ที่ } i = 1$$

$$R_{M_i} = \frac{r_M I_{M_i} + \alpha_i R_{M_{i-1}}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_i} \quad \text{ที่ } i = 2,...,n-1$$

$$R_{M_n} = \frac{r_M I_{M_n} + \alpha_{n-1} R_{M_{n-1}}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h} \quad \text{ที่ } i = n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก N_M เป็นจำนวนประชากรทั้งหมดซึ่งมีค่าคงที่ และ

$$N_M = S_M + E_M + I_M + R_M$$

พิจารณา $\frac{dN_M}{dt} = \frac{d}{dt}(S_M + E_M + I_M + R_M)$

$$= \frac{dS_M}{dt} + \frac{dE_M}{dt} + \frac{dI_M}{dt} + \frac{dR_M}{dt}$$

$$= N_M b_h - S_M \mu_h - \left[\sum_{i=1}^{n} \beta_{M_i} S_{M_i}\right] I_c + R_M r_s + \left[\sum_{i=1}^{n} \beta_{M_i} S_{M_i}\right] I_c$$

$$- \mu_h E_M - P_M E_M + R_M r_E + P_M E_M + r_t R_M - \mu_h I_M - r_M I_M$$

$$+ r_M I_M - \mu_h R_M - r_t R_M - r_E R_M - r_s R_M$$

$$= N_M b_h - S_M \mu_h - \mu_h E_M - \mu_h I_M - \mu_h R_M$$

$$= N_M b_h - [S_M + E_M + I_M + R_M]\mu_h$$

$$= N_M b_h - N_M \mu_h$$

เนื่องจากจำนวนประชากรทั้งหมดเป็นค่าคงที่

ดังนั้น $\frac{dN_M}{dt} = 0$

$$\therefore N_M (b_h - \mu_h) = 0$$

$$b_h - \mu_h = 0$$

จะได้ว่า $\therefore b_h = \mu_h$

นั่นคือ อัตราการเกิดของประชากร เท่ากับ อัตราการตาย

ใช้ทฤษฎีของ Steady State ในหัวข้อ 2.3 หา steady state solutions สำหรับไก่

$$\frac{dS_c}{dt} = b_c - \mu_c S_c - \beta_c S_c I_c$$

$$\frac{dE_c}{dt} = \beta_c S_c I_c - \mu_c E_c - P_c E_c$$

$$\frac{dI_c}{dt} = P_c E_c - \mu_c I_c$$

Steady State Solutions ของไก่หาได้จาก

$$\frac{dS_c}{dt} = 0 \quad , \quad \frac{dE_c}{dt} = 0 \quad , \quad \frac{dI_c}{dt} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นก็คือ

$$\frac{dS_c}{dt} = b_c - \mu_c S_c - \beta_c S_c I_c = 0$$

$$\therefore S_c = \frac{b_c}{\mu_c + \beta_c I_c}$$

$$\frac{dE_c}{dt} = \beta_c S_c I_c - \mu_c E_c - P_c E_c = 0$$

$$\therefore E_c = \frac{\beta_c S_c I_c}{\mu_c + P_c}$$

$$\frac{dI_c}{dt} = P_c E_c - \mu_c I_c = 0$$

$$\therefore I_c = \frac{P_c E_c}{\mu_c}$$

สรุปได้ว่า

$$S_c = \frac{b_c}{\mu_c + \beta_c I_c}$$

$$E_c = \frac{\beta_c S_c I_c}{\mu_c + P_c}$$

$$I_c = \frac{P_c E_c}{\mu_c}$$

เพราะ N_c เป็นจำนวนไก่ทั้งหมดซึ่งมีค่าคงที่ และ

$$N_c = S_c + E_c + I_c$$

พิจารณา $\frac{dN_c}{dt} = \frac{d}{dt}(S_c + E_c + I_c)$

$$= \frac{dS_c}{dt} + \frac{dE_c}{dt} + \frac{dI_c}{dt}$$

$$= b_c - \mu_c S_c - \mu_c E_c - P_c E_c + P_c E_c - \mu_c I_c$$

$$= b_c - \mu_c S_c - \mu_c E_c - \mu_c I_c$$

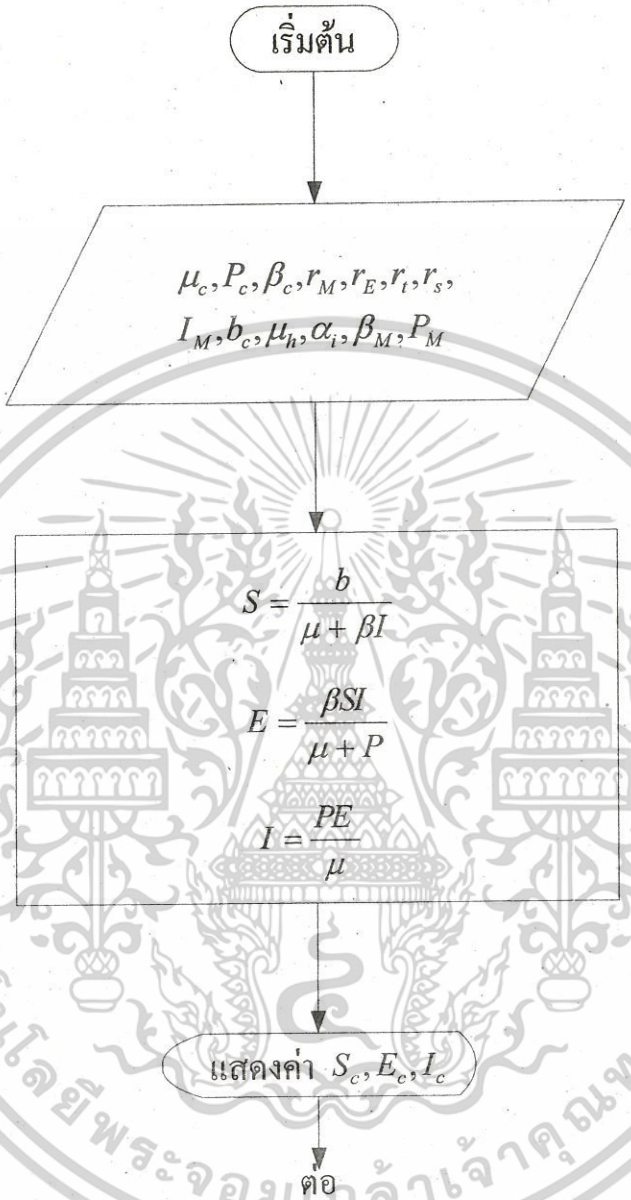
$$= b_c - (S_c + E_c + I_c)\mu_c \quad 0 = b_c - N_c \mu_c$$

$$\therefore N_c = \frac{b_c}{\mu_c}$$

จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ข้างต้นมาเขียนโปรแกรมประยุกต์ เพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้สร้างไว้แล้ว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่4.1 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับรายละเอียดของไก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคำนวณหาค่า $R_{M_1}, R_{M_i}, R_{M_n}$ ได้ว่า

R_M :

$$R_{M_1} = \frac{r_M I_{M_i}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_1} \qquad \text{ที่ } i = 1$$

$$R_{M_i} = \frac{r_M I_{M_i} + \alpha_i R_{M_{i-1}}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h + \alpha_i} \qquad \text{ที่ } i = 2,\ldots,n-1$$

$$R_{M_n} = \frac{r_M I_{M_n} + \alpha_{n-1} R_{M_{n-1}}}{r_t + r_E + r_s + \mu_h} \qquad \text{ที่ } i = n$$

รูปที่4.2 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก

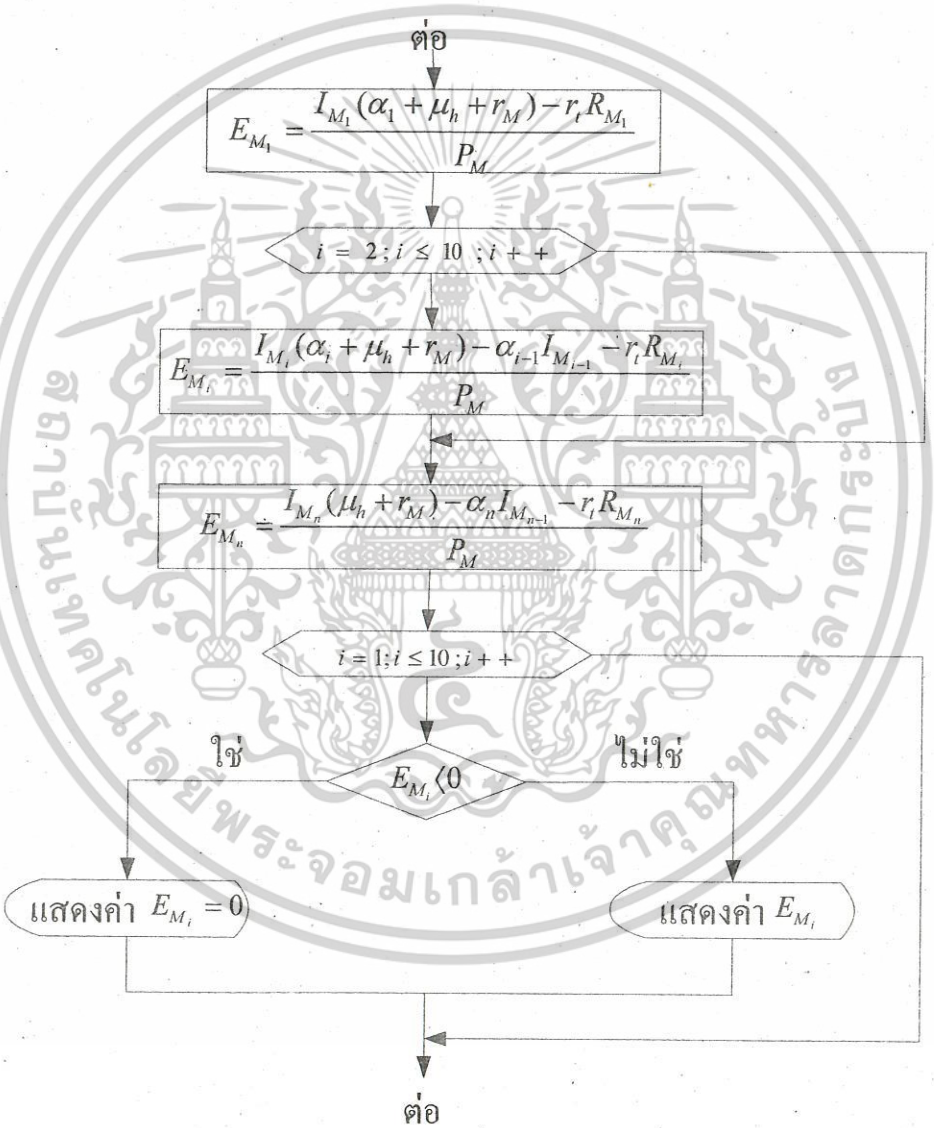
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่า $R_{M_1}, R_{M_i}, R_{M_n}$ แล้วเราสามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา $E_{M_1}, E_{M_i}, E_{M_n}$ จะได้ว่า E_M :

$$E_{M_1} = \frac{I_{M_1}(\alpha_1 + \mu_h + r_M) - r_t R_{M_1}}{P_M} \qquad \text{ที่ } i = 1$$

$$E_{M_i} = \frac{I_{M_i}(\alpha_i + \mu_h + r_M) - \alpha_{i-1} I_{M_{i-1}} - r_t R_{M_i}}{P_M} \qquad \text{ที่ } i = 2,\ldots,n-1$$

$$E_{M_n} = \frac{I_{M_n}(\mu_h + r_M) - \alpha_{n-1} I_{M_{n-1}} - r_t R_{M_n}}{P_M} \qquad \text{ที่ } i = n$$



รูปที่4.3 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนก แต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

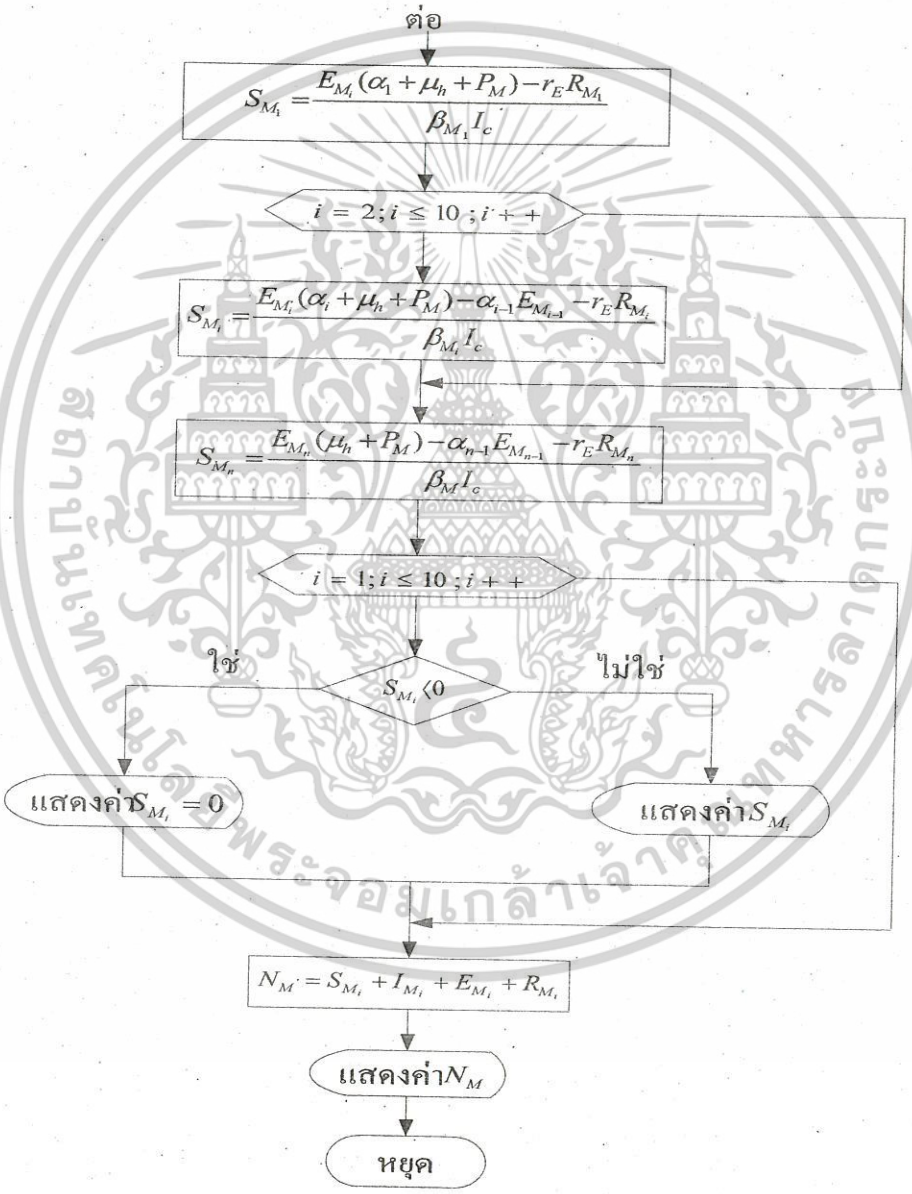
เมื่อได้ค่า $E_{M_1}, E_{M_i}, E_{M_n}$ แล้วสามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา $S_{M_1}, S_{M_i}, S_{M_n}$ ได้ว่า

S_M :

$$S_{M_1} = \frac{E_{M_1}(\alpha_1 + \mu_h + P_M) - r_E R_{M_1}}{\beta_{M_1} I_c} \qquad \text{ที่ } i = 1$$

$$S_{M_i} = \frac{E_{M_i}(\alpha_i + \mu_h + P_M) - \alpha_{i-1} E_{M_{i-1}} - r_E R_{M_i}}{\beta_{M_i} I_c} \qquad \text{ที่ } i = 2,...,n-1$$

$$S_{M_n} = \frac{E_{M_n}(\mu_h + P_M) - \alpha_{n-1} E_{M_{n-1}} - r_E R_{M_n}}{\beta_M I_c} \qquad \text{ที่ } i = n$$



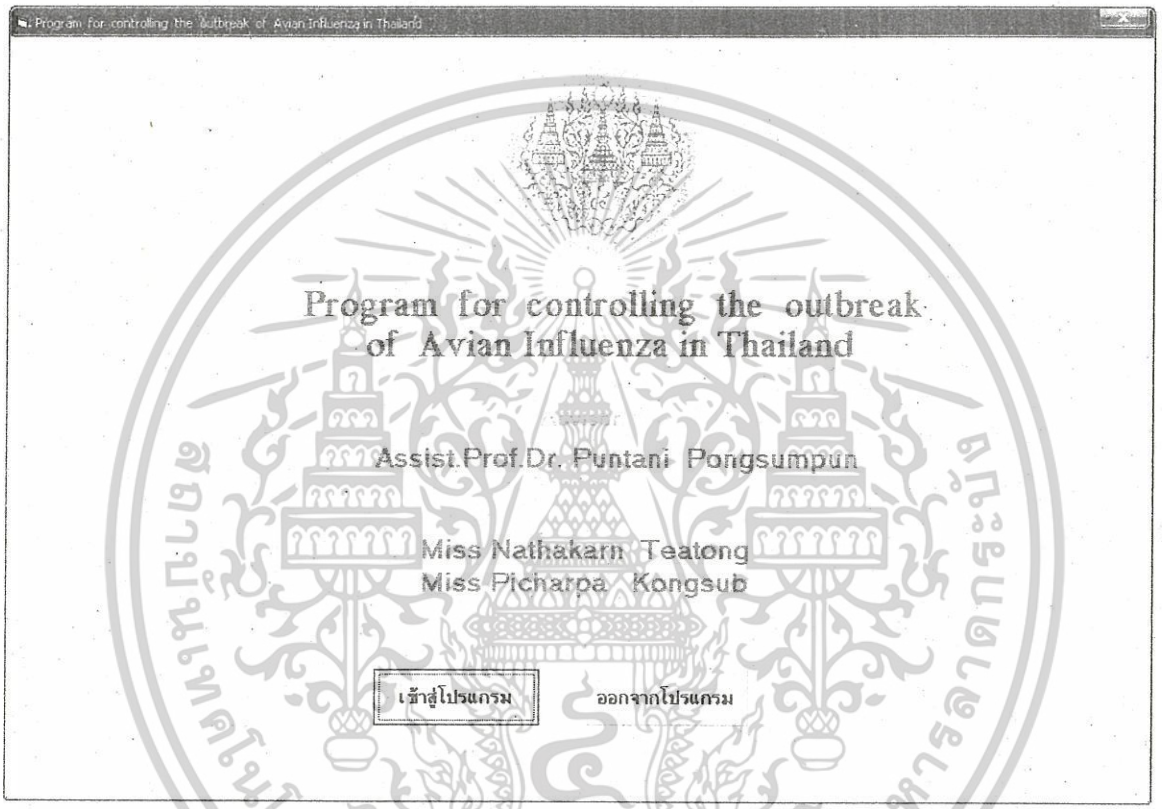
รูปที่4.4 Flow Chart แสดงค่าการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

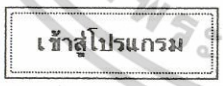
เมื่อเราได้ค่า $I_{M_i}, R_{M_i}, E_{M_i}$ และ S_{M_i} แล้ว เราสามารถหาค่าผลรวมของประชากร (N_M) ได้ว่า $N_M = S_{M_i} + I_{M_i} + E_{M_i} + R_{M_i}$ แล้วนำค่าดังกล่าวนั้นไปวาดกราฟเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

4.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

เมื่อเข้าสู่หน้าจอโปรแกรมหลัก จะประกอบไปด้วย ชื่อโปรแกรม ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา และคณะผู้จัดทำ และยังประกอบไปด้วย ปุ่มเข้าสู่โปรแกรม และปุ่มออกจากโปรแกรม

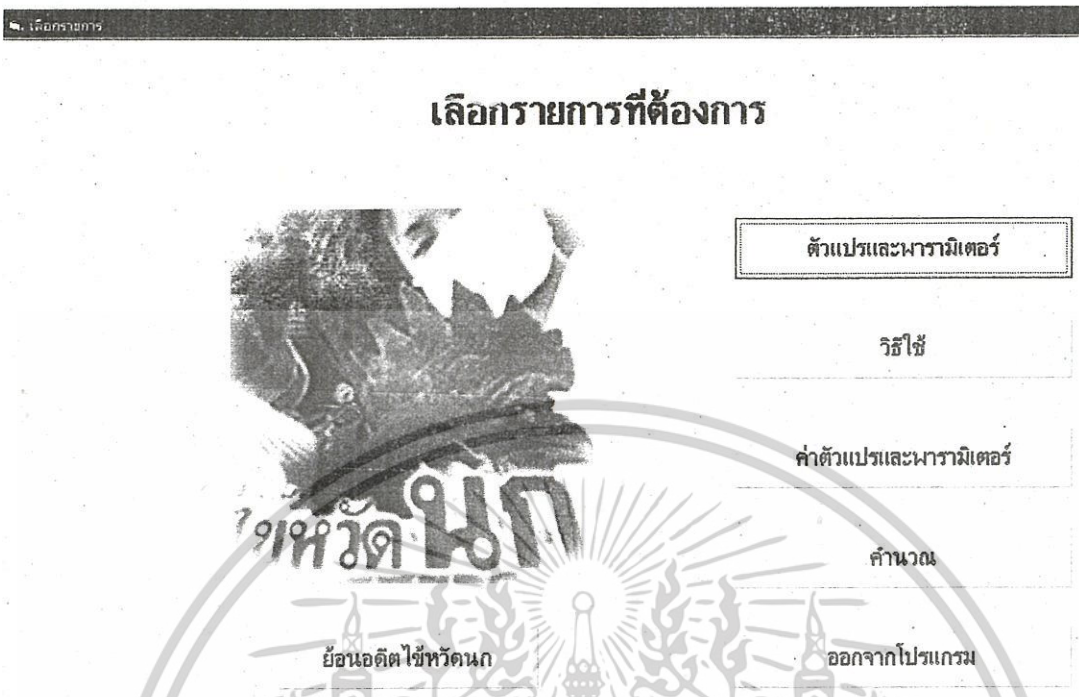


รูปที่4.5 หน้าจอโปรแกรมหลัก

เมื่อกดปุ่ม 

ก็จะเข้าสู่หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ ประกอบไปด้วยปุ่มตัวแปรและพารามิเตอร์ ปุ่มวิธีใช้ ปุ่มค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ ปุ่มคำนวณ ปุ่มย้อนอดีตไข้หวัดนก ปุ่มเข้าสู่โปรแกรมหลัก ปุ่มออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.6 หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

กดปุ่ม ตัวแปรและพารามิเตอร์ เมื่อต้องการให้แสดงความหมายของตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ

กดปุ่ม วิธีใช้ เมื่อต้องการให้แสดงวิธีการในการใช้โปรแกรม

กดปุ่ม ค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ เมื่อต้องการทราบค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

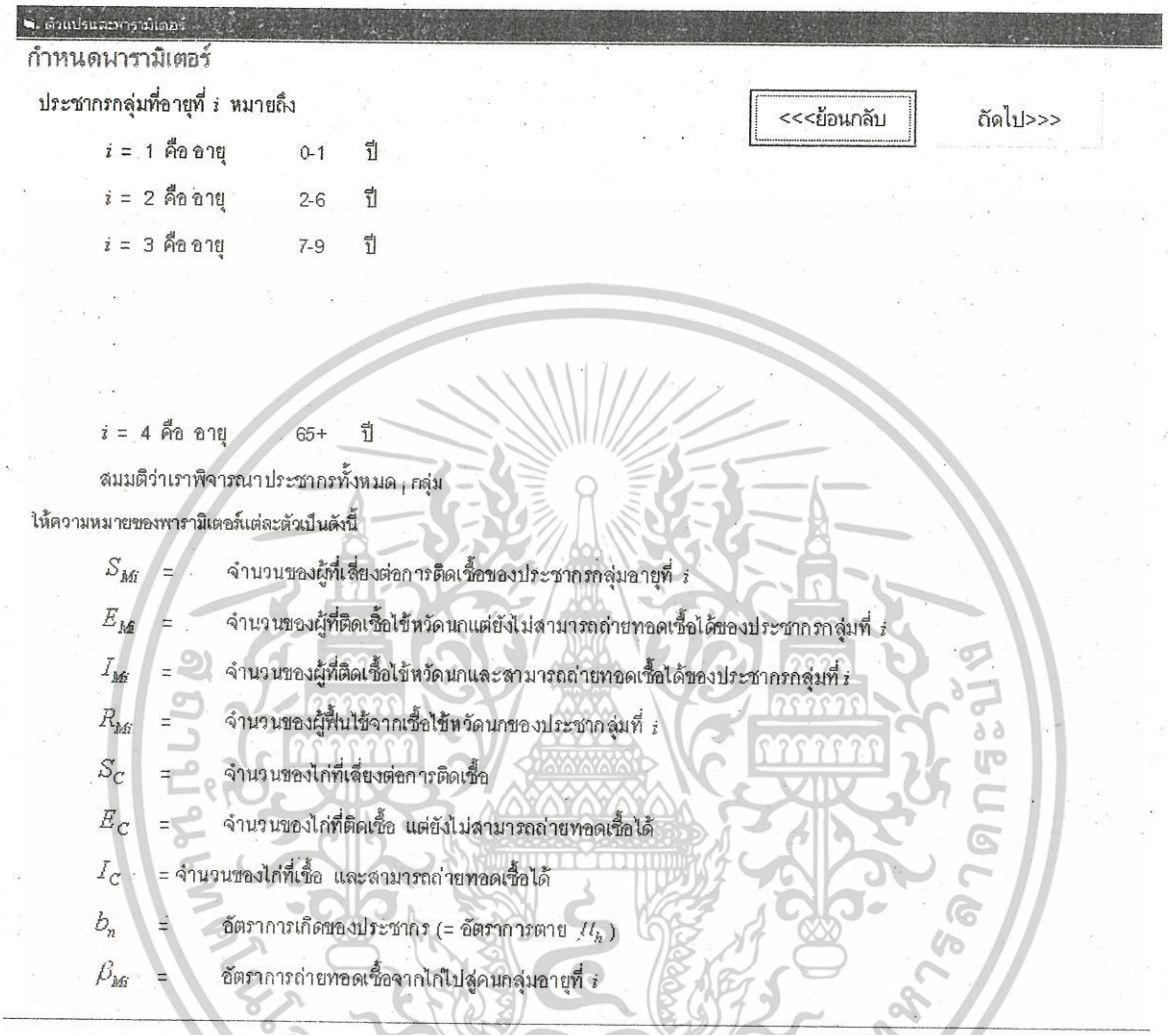
กดปุ่ม คำนวณ เมื่อต้องการเข้าสู่การคำนวณค่าต่างๆ

กดปุ่ม ย้อนอดีตไข้หวัดนก เมื่อต้องการดูรายละเอียดการเกิดโรคย้อนหลัง

กดปุ่ม ออกจากโปรแกรม เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มตัวแปรและพารามิเตอร์ จะเข้าสู่หน้าจอแสดงความหมายของตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆประกอบด้วย ปุ่มย้อนกลับ และปุ่มถัดไป



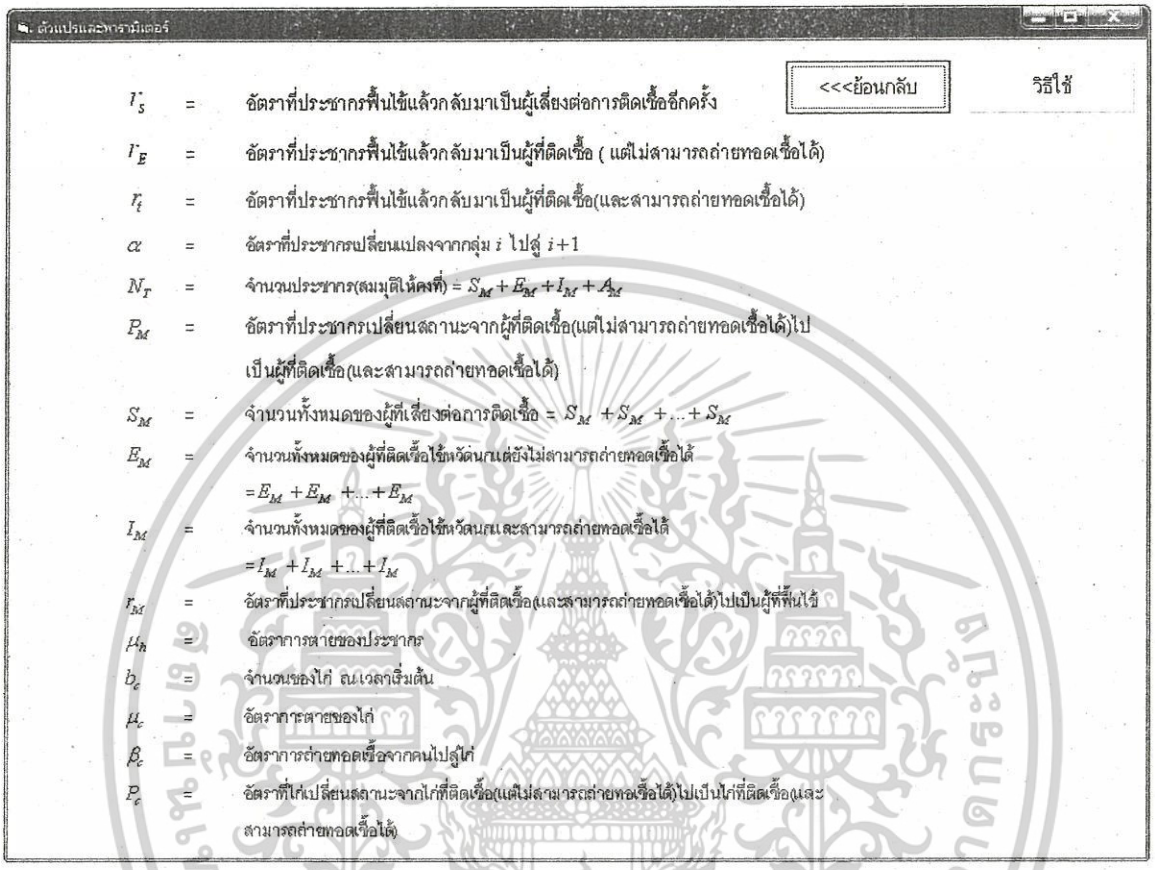
รูปที่4.7 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการย้อนกลับไปหน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

กดปุ่ม ถัดไป>>> เมื่อต้องการให้แสดงวิธีการในการใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มหน้าถัดไป จะเข้าสู่หน้าจอแสดงความหมายของตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ต่อจากหน้าเดิม ประกอบด้วย ปุ่มย้อนกลับ และปุ่มวิธีใช้



รูปที่4.8 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์

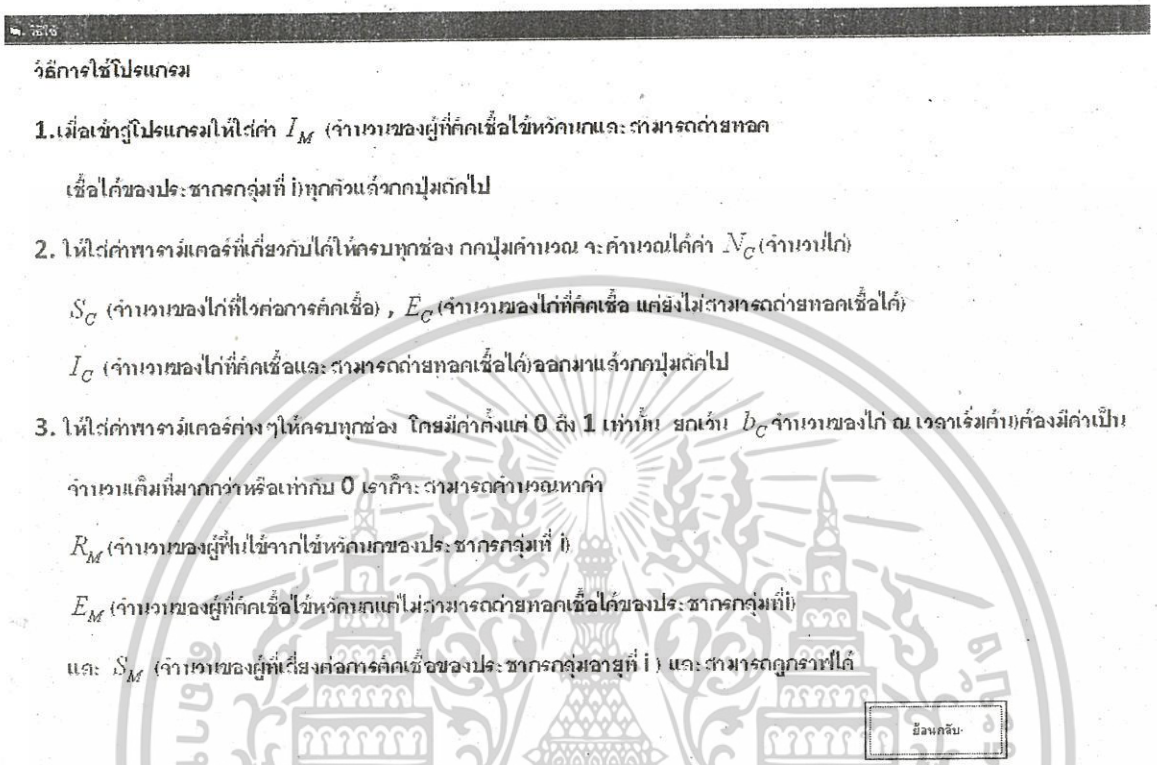
กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการย้อนกลับไปหน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

วิธีใช้

กดปุ่ม เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าวิธีใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มวิธีการใช้จะเข้าสู่หน้าจอแสดงวิธีการใช้โปรแกรม ซึ่งจะอธิบายการใช้โปรแกรมเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังรูป

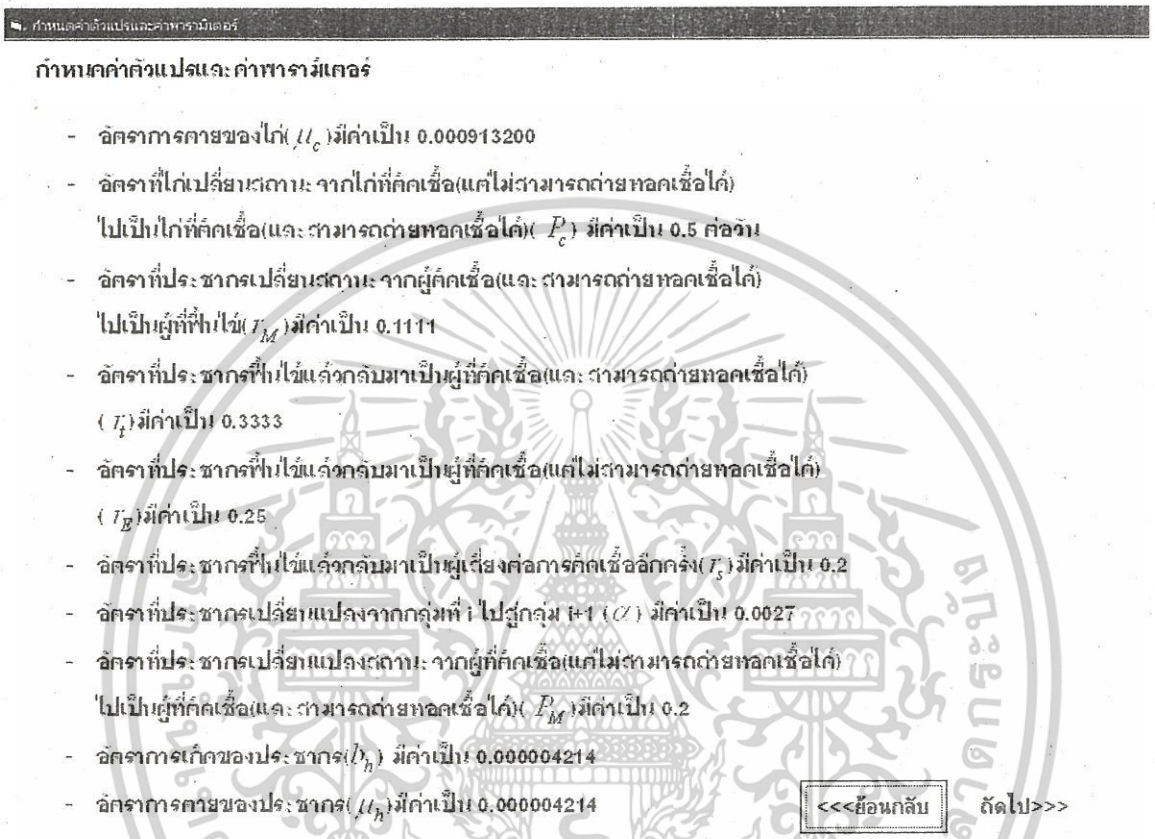


รูปที่4.9 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มค่าตัวแปรและพารามิเตอร์จะเข้าสู่หน้าจอกำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับลดการระบาดของโรคไข้หวัดนก



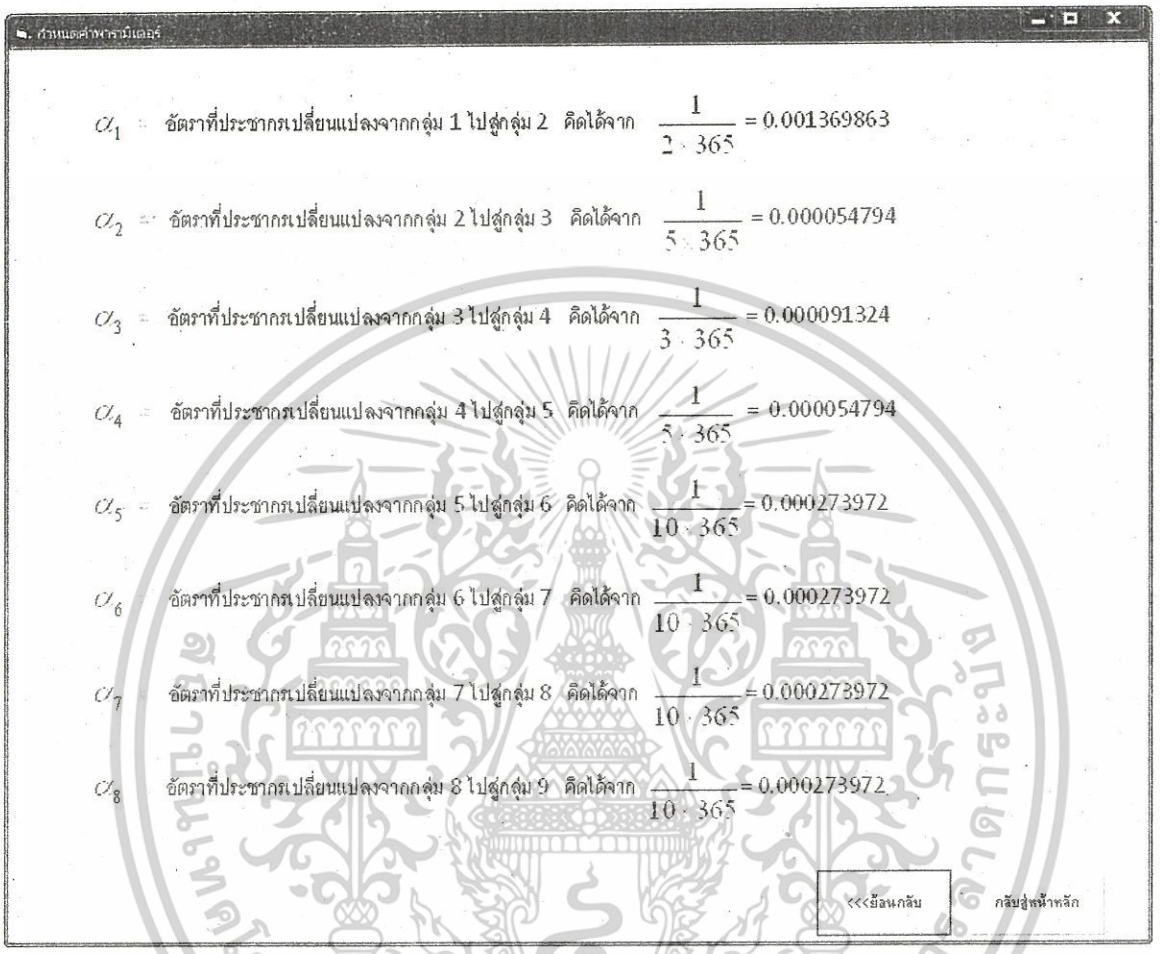
รูปที่4.10 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

กดปุ่ม ถัดไป>>> เมื่อต้องการดูตัวแปรและพารามิเตอร์ที่เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มถัดไปจะเข้าสู่หน้าจอกำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่อจากหน้ากำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์หน้าแรก ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับลดการระบาดของโรคไข้หวัดนก



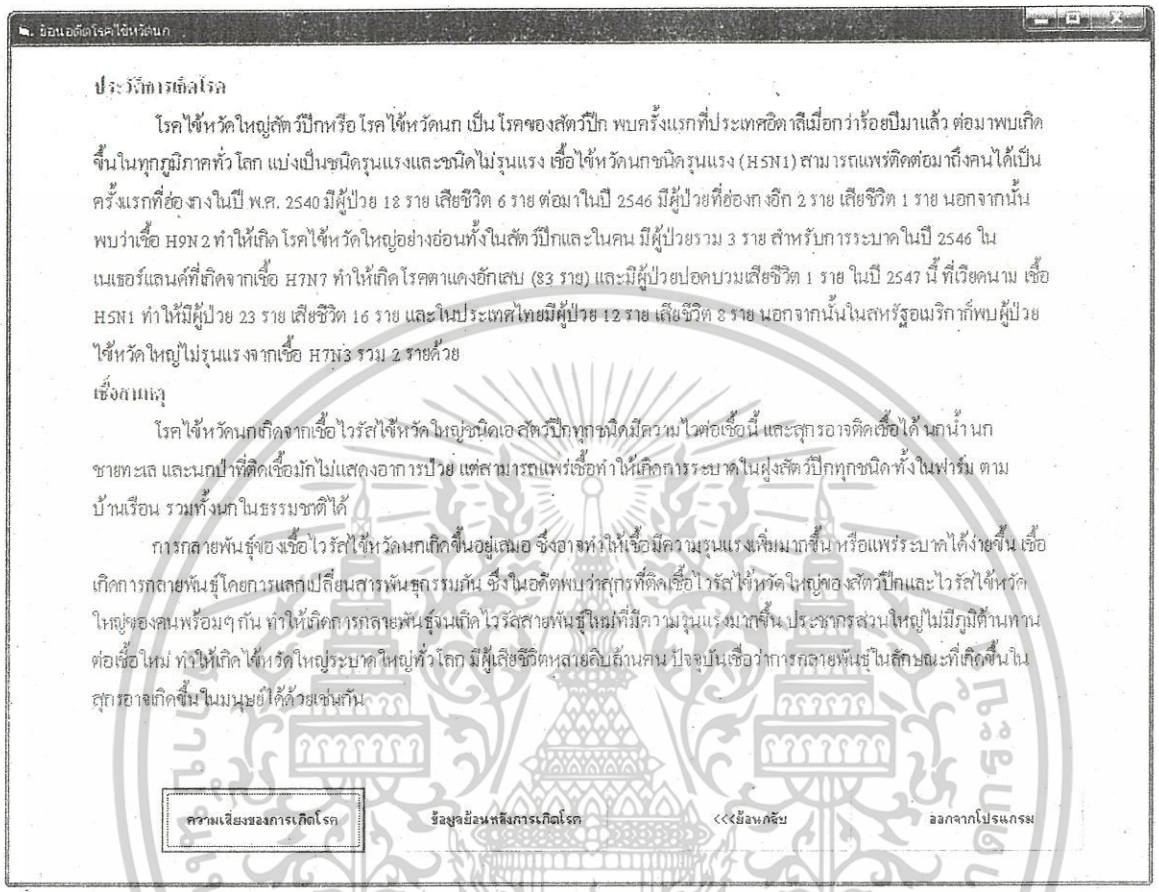
รูปที่4.11 หน้าจอแสดงการกำหนดค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอกำหนดค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ก่อนหน้านี้

กดปุ่ม กลับสู่หน้าหลัก เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มย้อนอดีตไข้หวัดนก จะเข้าสู่หน้าจอย้อนอดีตโรคไข้หวัดนก ซึ่งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับประวัติการเกิดโรค และสาเหตุการเกิดเชื้อ



รูปที่4.12 หน้าจอย้อนอดีตโรคไข้หวัดนก

กดปุ่ม [ความเสี่ยงของการเกิดโรค] เมื่อต้องการเข้าสู่หน้าจอความเสี่ยงของการเกิดโรค

กดปุ่ม [ข้อมูลย้อนหลังการเกิดโรค] เมื่อต้องการดูข้อมูลย้อนหลังการเกิดโรคไข้หวัดนกในประเทศไทย

กดปุ่ม [<<<ย้อนกลับ] เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

กดปุ่ม [ออกจากโปรแกรม] เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

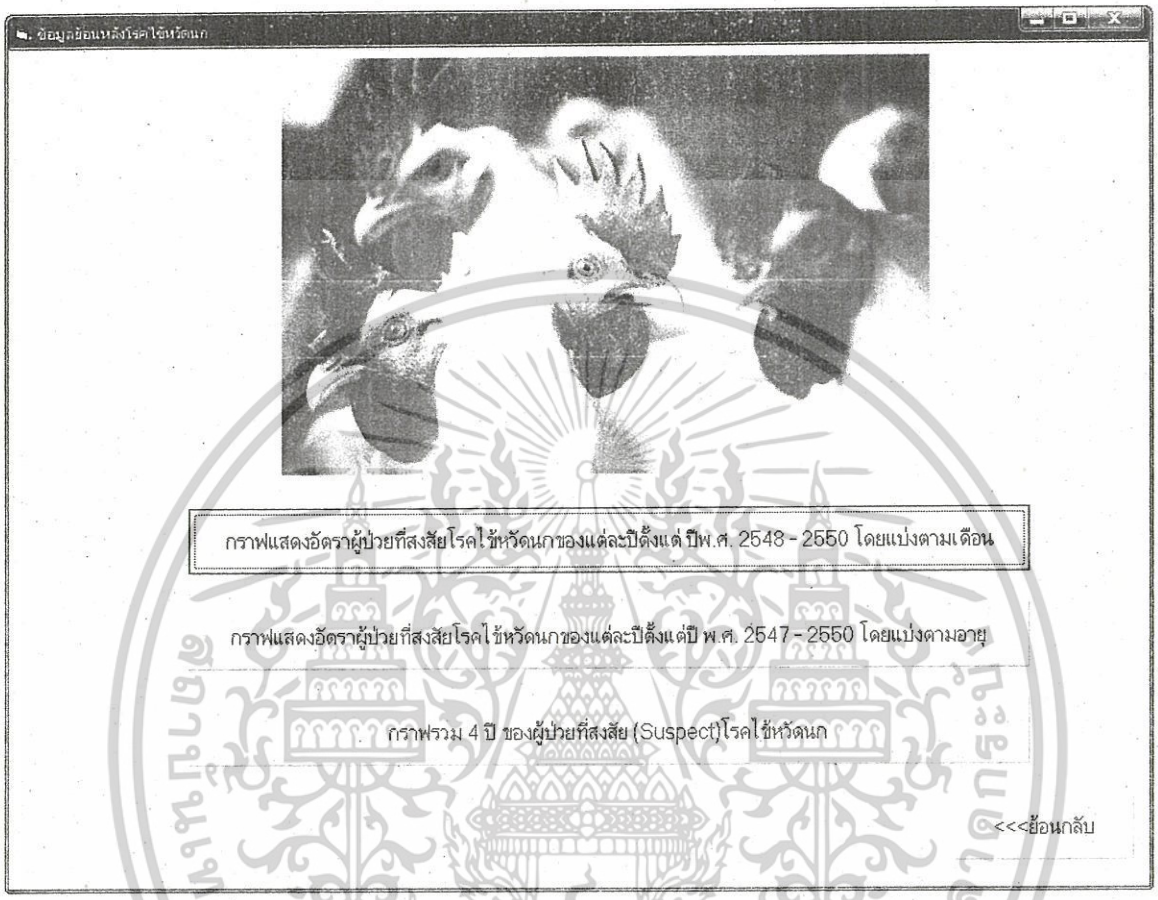
เมื่อกดปุ่มความเสี่ยงของการเกิดโรค จะเข้าสู่หน้าจอความเสี่ยงของการเกิดโรคซึ่งจะอธิบายถึงช่องทางการแพร่เชื้อในฝูงสัตว์ การแพร่เชื้อจากสัตว์มาสู่คน กลุ่มเสี่ยงการติดเชื้อ ระยะฟักตัวของโรค และอาการที่แสดงเมื่อได้รับเชื้อ

รูปที่4.13 หน้าจอความเสี่ยงของการเกิดโรค

กดปุ่ม <<< ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอย้อนอดีตโรคไข้หวัดนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มข้อมูลย้อนหลังการเกิดโรค จะเข้าสู่หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก ซึ่งจะมีปุ่มให้กดเพื่อดูกราฟแสดงอัตราผู้ป่วยโรคไข้หวัดนก



รูปที่4.14 หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก

กดปุ่ม [กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2548 - 2550 โดยแบ่งตามเดือน] เมื่อต้องการดูกราฟแสดงอัตรผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 – 2550 โดยแบ่งตามเดือน

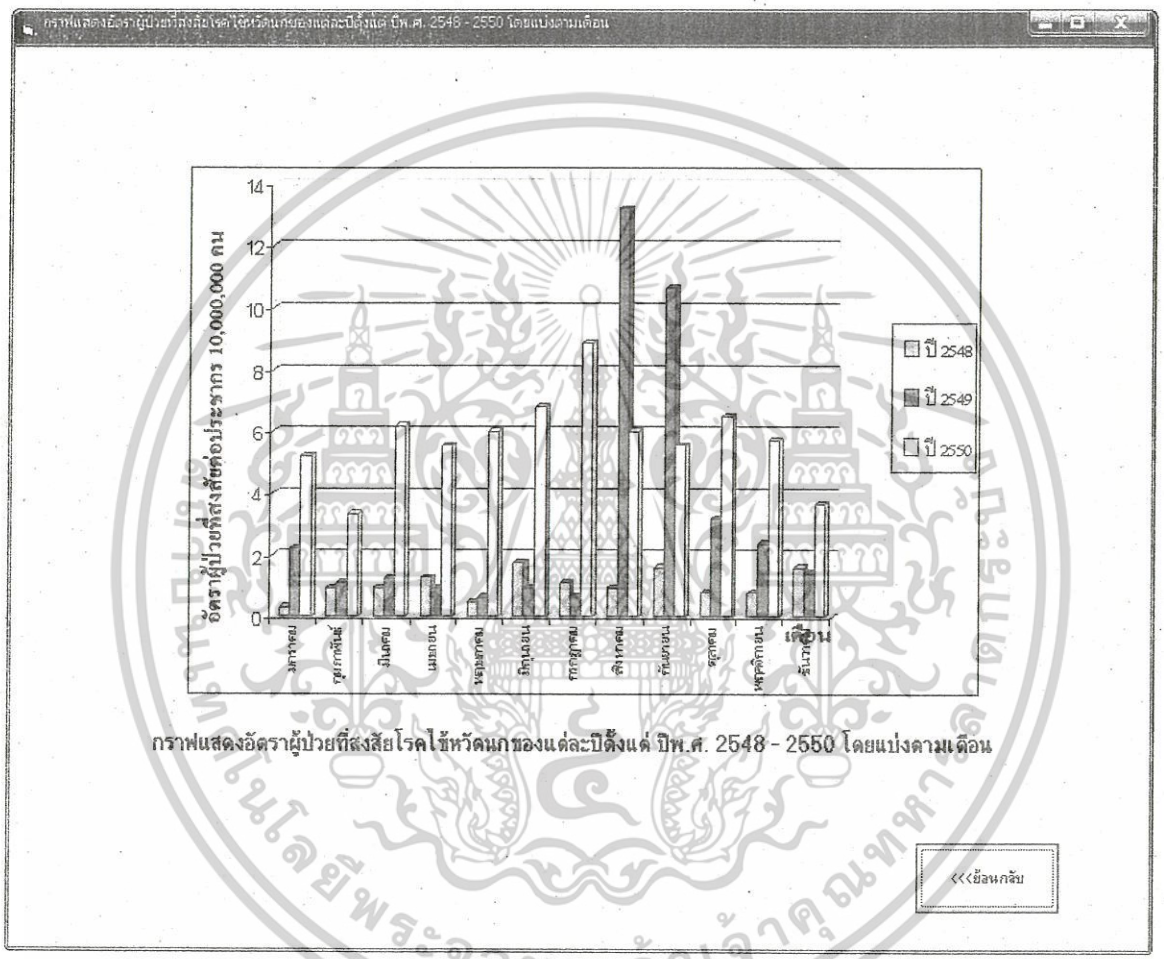
กดปุ่ม [กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 - 2550 โดยแบ่งตามอายุ] เมื่อต้องการดูกราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ

กดปุ่ม [กราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย (Suspect)โรคไข้หวัดนก] เมื่อต้องการดูกราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอย้อนอดีตโรคไข้หวัดนก

เมื่อกดปุ่มกราฟแสดงอัตรผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 – 2550 โดยแบ่งตามเดือน จะเข้าสู่หน้าจอที่แสดงกราฟอัตรผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 – 2550 โดยแบ่งตามเดือน



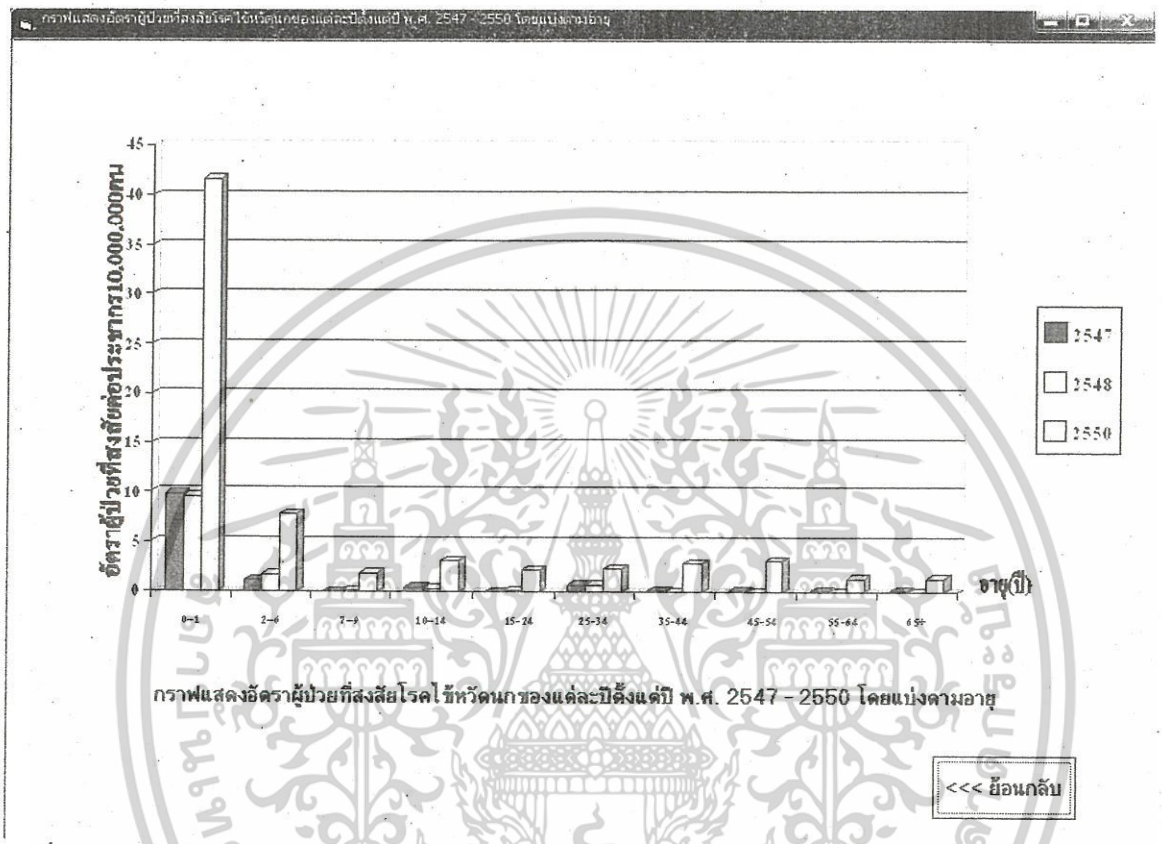
รูปที่4.15 หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก

<<<ย้อนกลับ

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มกราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ จะเข้าสู่หน้าจอกราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ

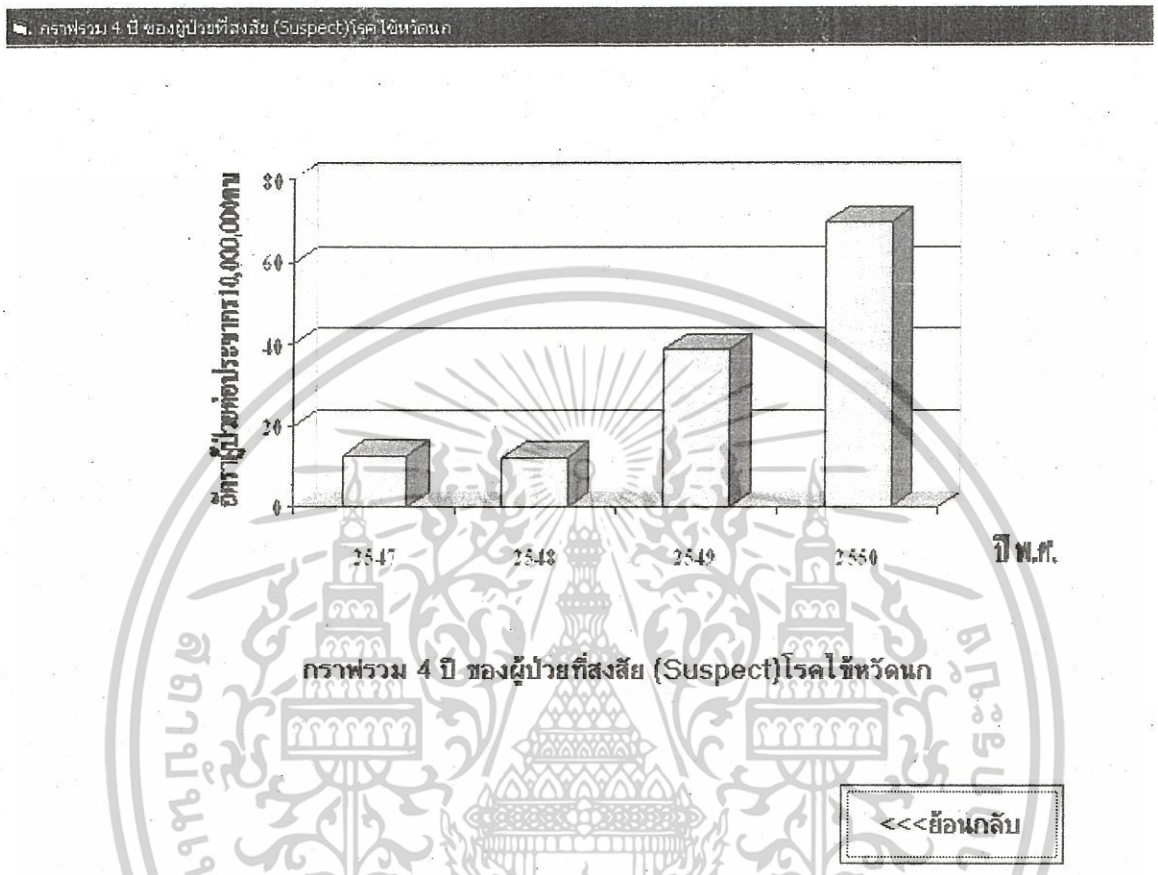


รูปที่4.16 หน้าจอกราฟแสดงอัตราผู้ป่วยที่สงสัยโรคไข้หวัดนกของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 – 2550 โดยแบ่งตามอายุ

กดปุ่ม <<< ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มกราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย(Suspect)โรคไข้หวัดนก จะเข้าสู่หน้าจอกราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย(Suspect)โรคไข้หวัดนก

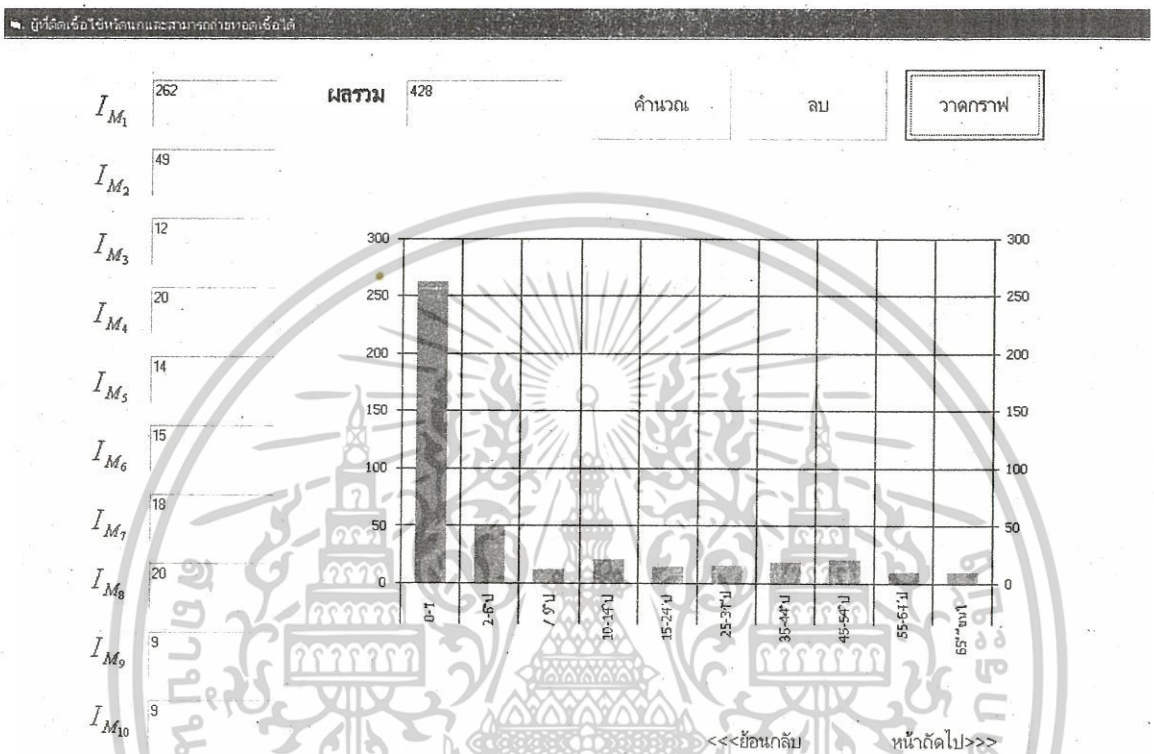


รูปที่4.17 หน้าจอกราฟรวม 4 ปี ของผู้ป่วยที่สงสัย(Suspect)โรคไข้หวัดนก

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก

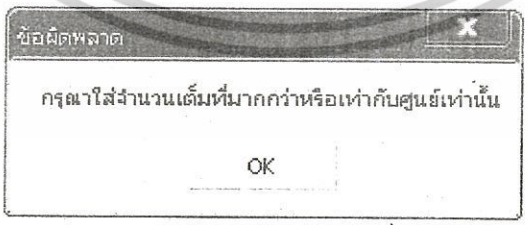
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มคำนวณในหน้าเลือกรายการที่ต้องการจะเข้าสู่โปรแกรมหน้าจอแรก ที่ต้องกรอกข้อมูลก็คือหน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_M) หน้าจอนี้ประกอบด้วยช่องให้กรอกข้อมูล I_M, ปุ่มคำนวณ, ปุ่มลบ, ปุ่มวาดกราฟ, ปุ่มย้อนกลับ และปุ่มหน้าถัดไป



รูปที่4.18 หน้าจอผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

ซึ่งจะต้องกรอกค่า I_M ให้ครบทุกตัวและจะต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์เท่านั้น ถ้าไม่เช่นนั้น โปรแกรมก็จะขึ้นข้อความเตือนดังรูป



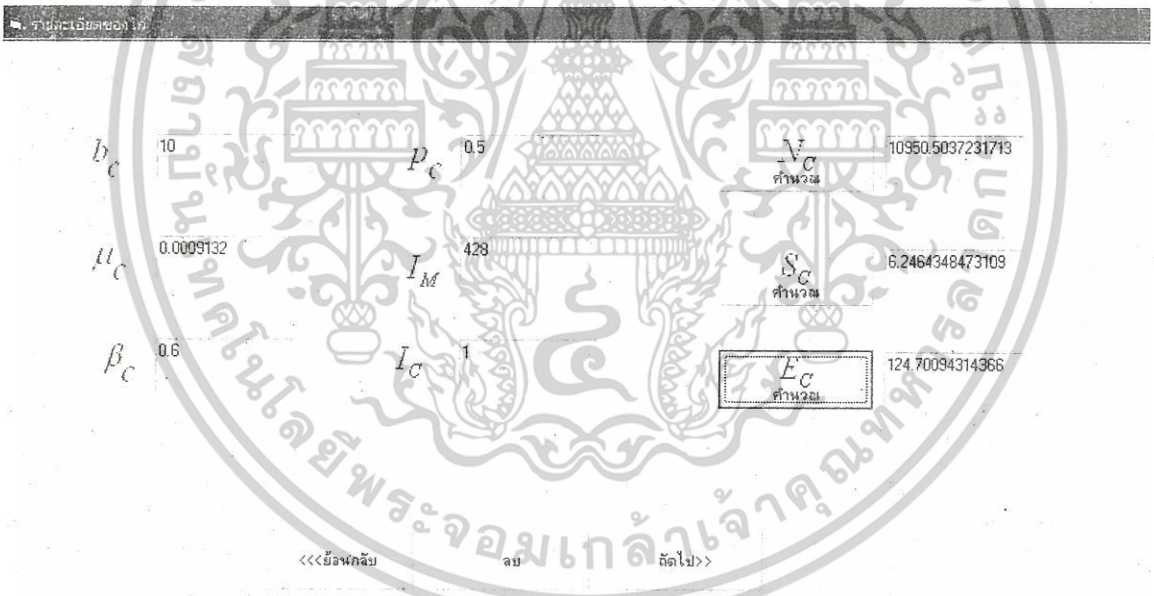
รูปที่4.19 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.20 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข

เมื่อกดปุ่มคำนวณ เราจะได้ค่า I_M รวมที่ช่องผลรวม เมื่อเรากดปุ่มวาดกราฟก็จะได้กราฟของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แต่ละช่วงอายุ และถ้าต้องการกรอกข้อมูลใหม่ก็สามารถลบข้อมูลเก่าได้โดยกดปุ่มลบ ข้อมูลที่ได้กรอกลงไปทั้งหมดก็จะถูกลบทิ้ง

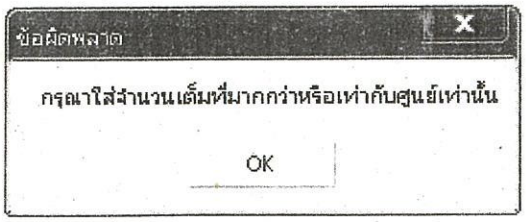
เมื่อกดปุ่มหน้าถัดไป ก็จะเข้าสู่หน้าจอแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับไก่ ที่หน้าจอนี้จะประกอบด้วยช่องให้กรอกข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของไก่ (ค่า I_M ได้จากการคำนวณผลรวมที่หน้าผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) และปุ่มคำนวณ N_C, S_C และ E_C



รูปที่4.21 หน้าจอแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับไก่

ซึ่งจะต้องกรอกข้อมูลให้ครบทุกตัวและจะต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์เท่านั้น ถ้าไม่เช่นนั้น โปรแกรมก็จะขึ้นข้อความเตือนดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.22 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์

รูปที่4.23 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข

- ส่วนค่า μ_C และ P_C โปรแกรมจะขึ้นค่ามาให้เลยเพราะเป็นค่าที่ตายตัว

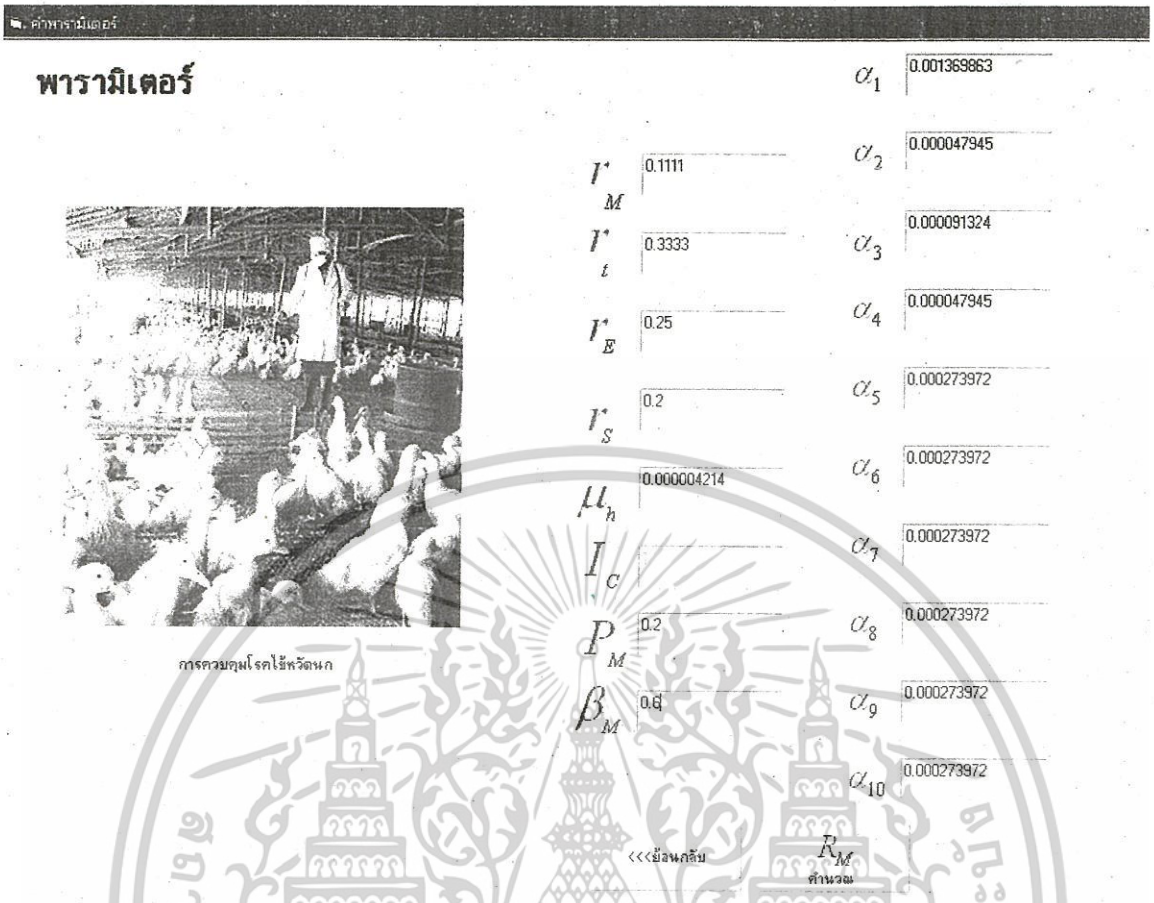
μ_C อัตราการตายของไก่มีค่าเป็น $\frac{1}{3\times365} = 0.000913200$

P_C อัตราที่ไก่เปลี่ยนสถานะจากไก่ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) มีค่าเป็น $\frac{1}{2} = 0.5$ ต่อวัน

- ถ้าต้องการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของไก่ใหม่ก็สามารถลบข้อมูลเก่าได้โดยการกดปุ่มลบข้อมูลที่ได้กรอกไปแล้วก็จะถูกลบทิ้งไป
- กดปุ่มย้อนกลับ เมื่อต้องการกลับสู่หน้าจอข้อมูลย้อนหลังโรคไข้หวัดนก

จากนั้นก็ให้กดปุ่มหน้าถัดไปก็จะเข้าสู่หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ ที่หน้าจอนี้จะประกอบด้วยช่องเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ(ค่า I_M ได้จากการคำนวณจากหน้ารายละเอียดไก่) ซึ่งจะต้องกรอกค่า β_M ส่วนค่าอื่นๆเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้แล้วในหน้ากำหนดค่าตัวแปรและค่าพารามิเตอร์ โปรแกรมจึงแสดงขึ้นมาให้แล้ว

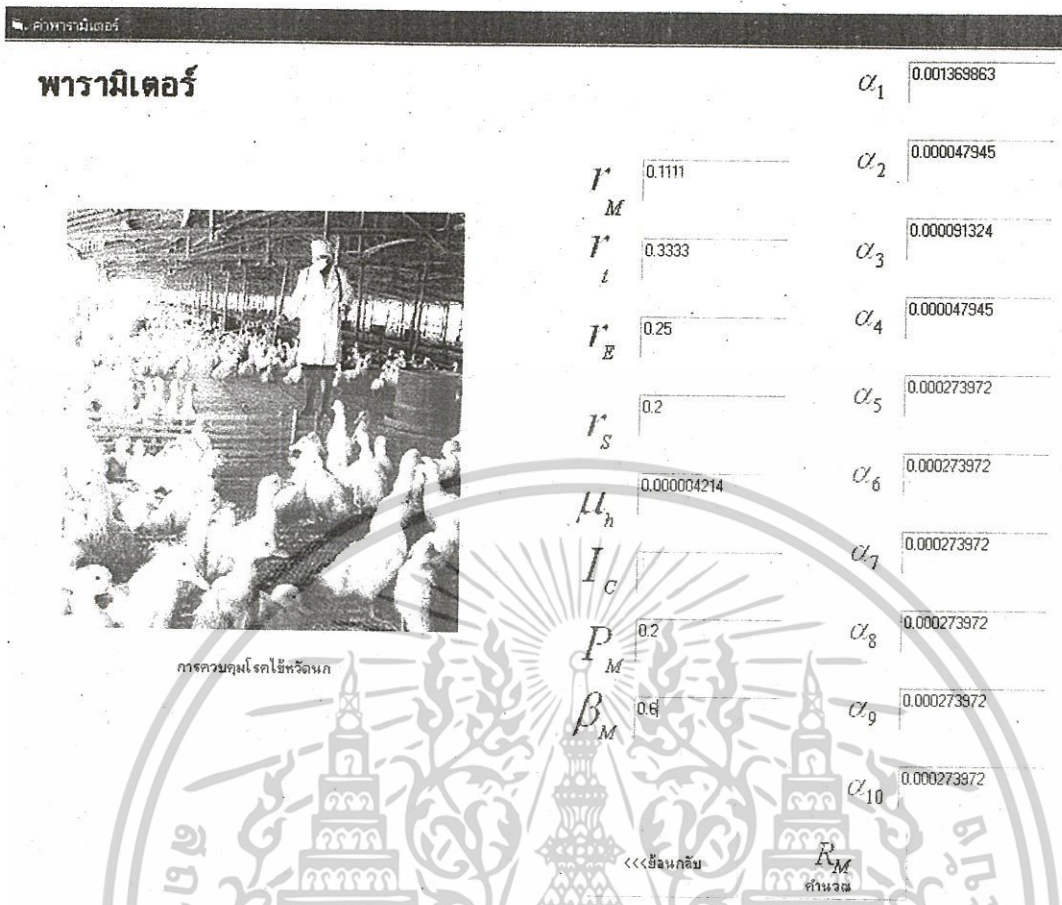
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.24 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์

เมื่อทำการกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้วกดปุ่มคำนวณ R_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก(R_M)หน้าจอนี้ประกอบด้วย ค่า R_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้, ผลรวมของ R_M ทั้งหมด,ปุ่มย้อนกลับไปหน้าค่าพารามิเตอร์, ปุ่มวาดกราฟ R_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปของกราฟ และปุ่มคำนวณ E_M

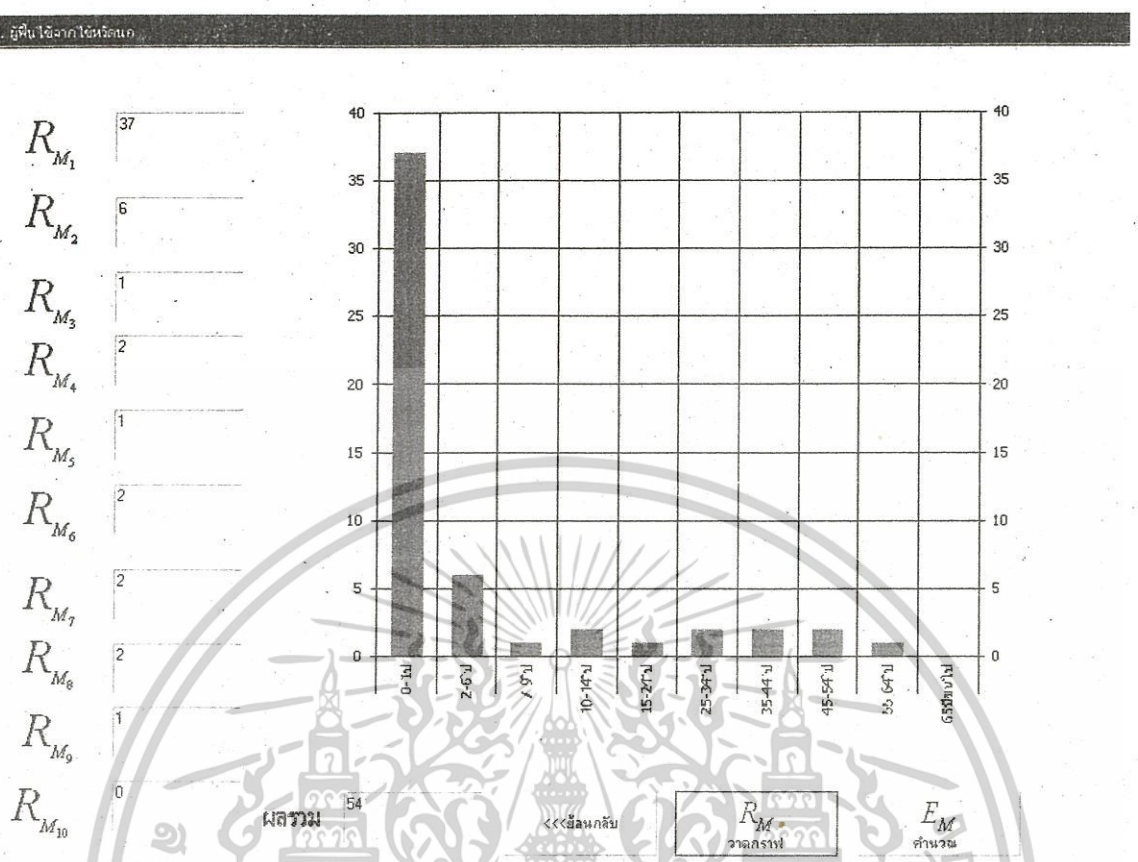
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.24 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์

เมื่อทำการกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้วกดปุ่มคำนวณ R_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก(R_M)หน้าจอนี้ประกอบด้วย ค่า R_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้, ผลรวมของ R_M ทั้งหมด,ปุ่มย้อนกลับไปหน้าค่าพารามิเตอร์, ปุ่มวาดกราฟ R_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปของกราฟ และปุ่มคำนวณ E_M

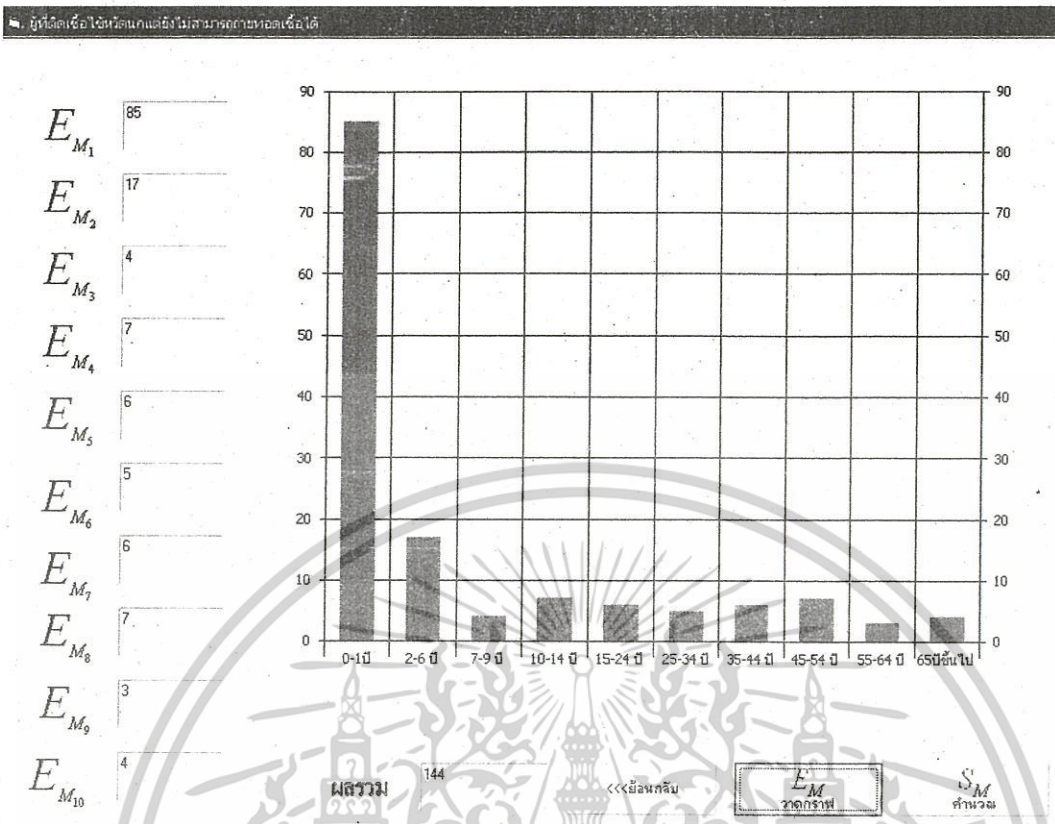
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.25 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้นไข้จากไข้หวัดนก

เมื่อกดปุ่มคำนวณ E_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้(E_M)หน้าจอนี้ ประกอบด้วยค่า E_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้, ผลรวมค่า E_M ทั้งหมด,ปุ่มย้อนกลับไปหน้าผู้ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก, ปุ่มวาดกราฟ E_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปแบบของกราฟ และปุ่มคำนวณ S_M

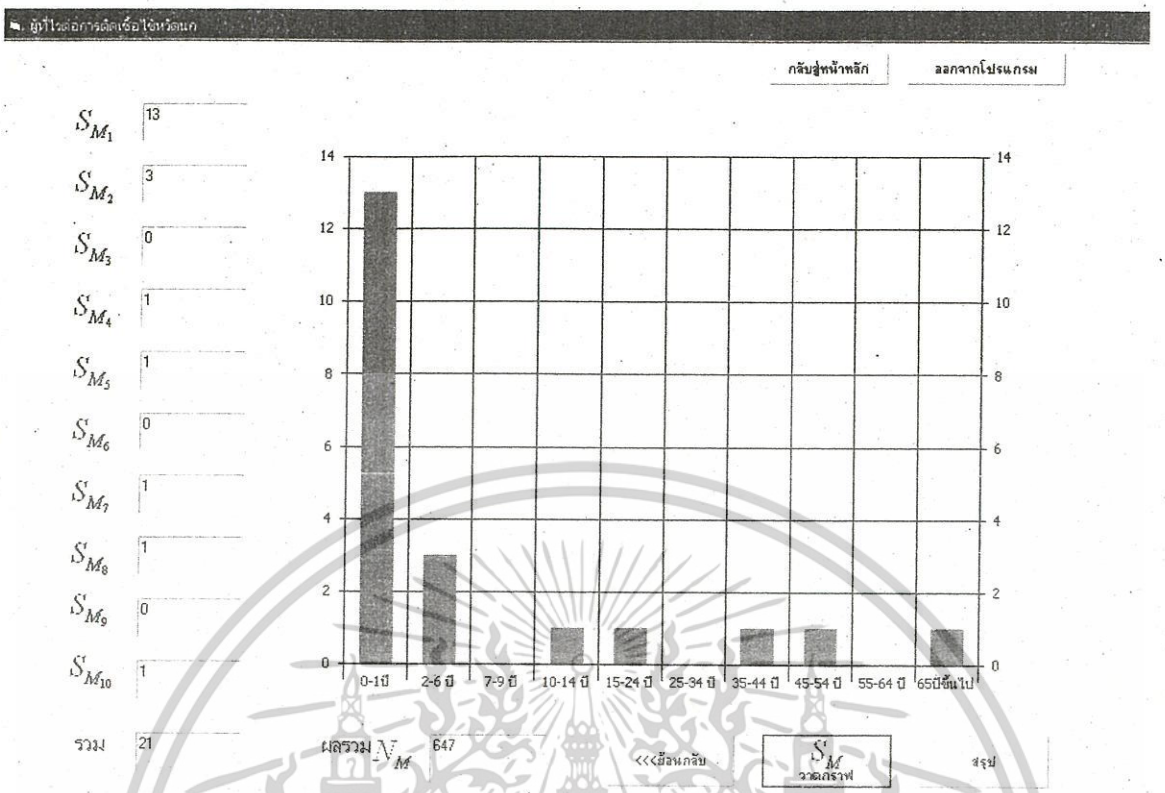
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.26 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

เมื่อกดปุ่มคำนวณ S_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก(S_M)หน้าจอนี้ประกอบด้วยค่า S_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้, ผลรวมของ S_M ทั้งหมด, ผลรวม N_M, ปุ่มย้อนกลับไปหน้าผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้, ปุ่มวาดกราฟ S_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปกราฟ, ปุ่มสรุป, ปุ่มกลับไปหน้าหลักเพื่อย้อนกลับไปสู่หน้าเลือกรายการที่ต้องการ และปุ่มออกจากโปรแกรมเมื่อต้องการจบการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.27 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก

กดปุ่ม สรุป เมื่อต้องการดูผลสรุปของโปรแกรม

หน้าจอสรุปประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ, กราฟที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมทั้งสี่แท่ง, ปุ่มย้อนกลับ, ปุ่มแสดงความเสี่ยงการเกิดโรค, ปุ่มกลับหน้าหลัก, และปุ่มออกจากโปรแกรม

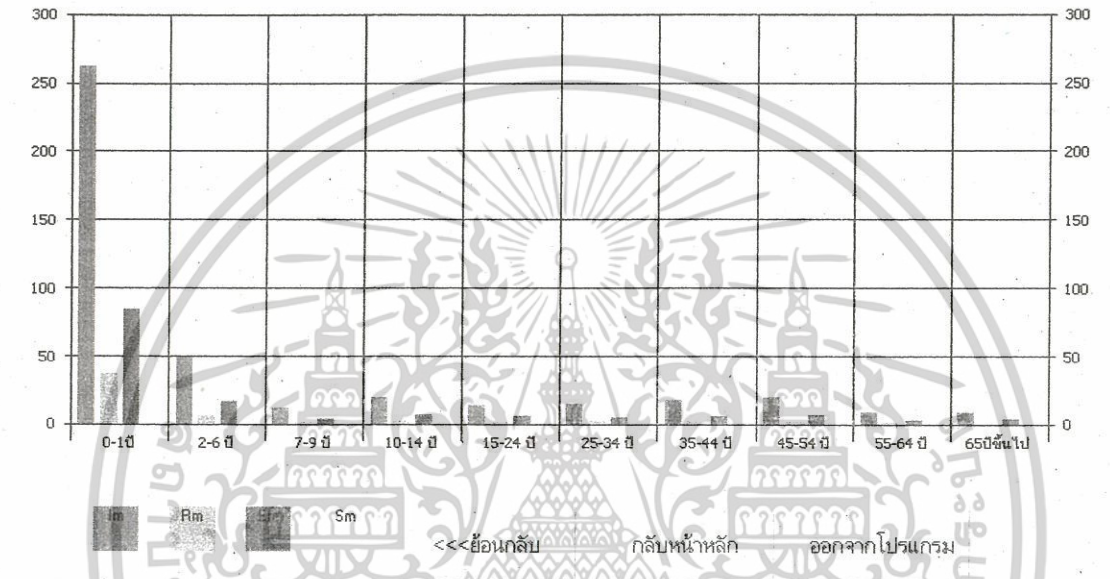
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

r_M	0.1111	r_t	0.3333	r_E	0.25	P_M	0.2
r_S	0.2	μ_h	0.000004214	I_C	1		

ผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 4.91 % ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

เกิดภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นต่ำ



รูปที่4.28 หน้าจอแสดงผลสรุป

กดปุ่ม <<<ย้อนกลับ เมื่อต้องการย้อนกลับไปหน้าผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก

กดปุ่ม กลับหน้าหลัก เมื่อต้องการกลับไปหน้าเลือกรายการที่ต้องการ

กดปุ่ม แสดงความเสี่ยงการเกิดโรค เมื่อต้องการรู้ว่าปีที่กรอกข้อมูลเข้าไปมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเท่าไร

กดปุ่ม ออกจากโปรแกรม เมื่อต้องการจบการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอจะแสดงความเสี่ยงการเกิดโรค ซึ่งหน้านี้โปรแกรมจะแสดงถึงร้อยละของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกเมื่อเทียบกับผู้ที่ติดเชื้อไข้หัดนกและถ่ายทอดเชื้อได้ของปีนั้นๆ และบอกข้อมูลความเป็นไปได้ว่าปีที่นำข้อมูลมาคำนวณนั้น เกิดโรคไข้หวัดนกอยู่ในภาวะใด

4.4 ตัวอย่างข้อมูลจริงของการติดเชื้อในประเทศไทยปี 2547, 2548 และ 2550

จากที่ได้ทำการทดสอบผู้ที่ติดเชื้อโรคไข้หวัดนกทั่วประเทศปี พ.ศ.2547, 2548 และปี 2550 เราสามารถที่จะลดการระบาดของโรคไข้หวัดนก เมื่อตัวแปรแต่ละตัวมีค่าดังนี้

- อัตราการตายของไก่(μ_c)มีค่าเป็น 0.000913200 นั้นหมายถึงอายุไขของไก่โดยเฉลี่ยคิดเป็น 3ปี × 365 วัน
- อัตราที่ไก่เปลี่ยนสถานะจากไก่ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นไก่ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)(P_c) มีค่าเป็น 0.5 ต่อวัน นั้นหมายถึงไก่สามารถเปลี่ยนสถานะได้ในเวลาครึ่งวัน
- อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้ (r_M)มีค่าเป็น 0.1111 นั้นหมายถึงประชากรสามารถเปลี่ยนสถานะได้ในเวลา 9 วัน
- อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)(r_I)มีค่าเป็น 0.3333 นั้นหมายถึงประชากรสามารถเปลี่ยนสถานะได้ในเวลา 3 วัน
- อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)(r_E)มีค่าเป็น 0.25 นั้นหมายถึงประชากรสามารถเปลี่ยนสถานะได้ในเวลา 4 วัน
- อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีกครั้ง(r_S)มีค่าเป็น 0.2 นั้นหมายถึงประชากรสามารถเปลี่ยนสถานะได้ในเวลา 5 วัน
- อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงสถานะจากผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)(P_M)มีค่าเป็น 0.2 นั้นหมายถึงประชากรสามารถเปลี่ยนสถานะได้ในเวลา 5 วัน
- อัตราการเกิดของประชากร(b_h) มีค่าเป็น 0.000004214 นั้นหมายถึงอายุไขของคนโดยเฉลี่ยคิดเป็น 65 ปี × 365 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

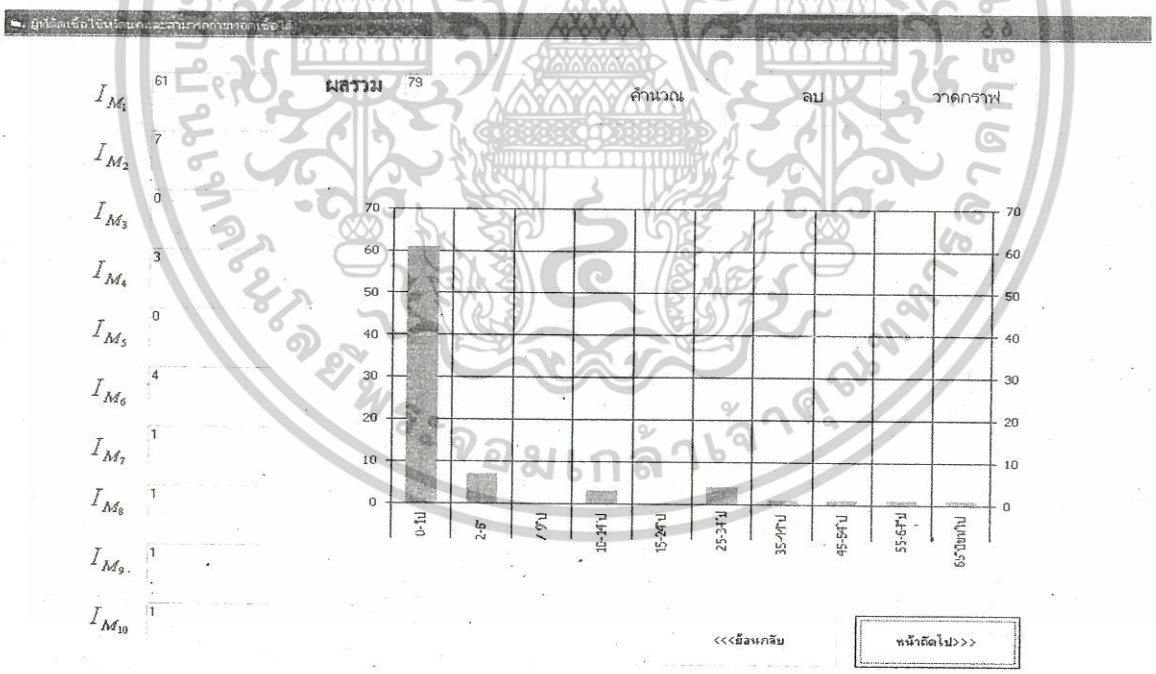
- อัตราการตายของประชากร(μ_h)มีค่าเป็น 0.000004214 นั้นหมายถึงอายุไขของคนโดยเฉลี่ยคิดเป็น 65 ปี × 365 วัน
- α_1 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 1 ไปสู่กลุ่ม 2 คิดได้จาก $\frac{1}{2\times365}$ = 0.001369863
- α_2 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 2 ไปสู่กลุ่ม 3 คิดได้จาก $\frac{1}{5\times365}$ = 0.000054794
- α_3 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 3 ไปสู่กลุ่ม 4 คิดได้จาก $\frac{1}{3\times365}$ = 0.000091324
- α_4 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 4 ไปสู่กลุ่ม 5 คิดได้จาก $\frac{1}{5\times365}$ = 0.000054794
- α_5 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 5 ไปสู่กลุ่ม 6 คิดได้จาก $\frac{1}{10\times365}$ = 0.000273972
- α_6 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 6 ไปสู่กลุ่ม 7 คิดได้จาก $\frac{1}{10\times365}$ = 0.000273972
- α_7 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 7 ไปสู่กลุ่ม 8 คิดได้จาก $\frac{1}{10\times365}$ = 0.000273972
- α_8 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 8 ไปสู่กลุ่ม 9 คิดได้จาก $\frac{1}{10\times365}$ = 0.000273972
- α_9 = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม 9 ไปสู่กลุ่ม 10 คิดได้จาก $\frac{1}{10\times365}$ = 0.000273972

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- α_{10} = อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม10ไปสู่กลุ่ม 11 คิดได้จาก $\frac{1}{10\times365}$ = 0.000273972
- สมมติให้จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น(b_C) มีค่าเป็น 10
- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 1
- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 0.6
- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่(β_C)มีค่า 0.6

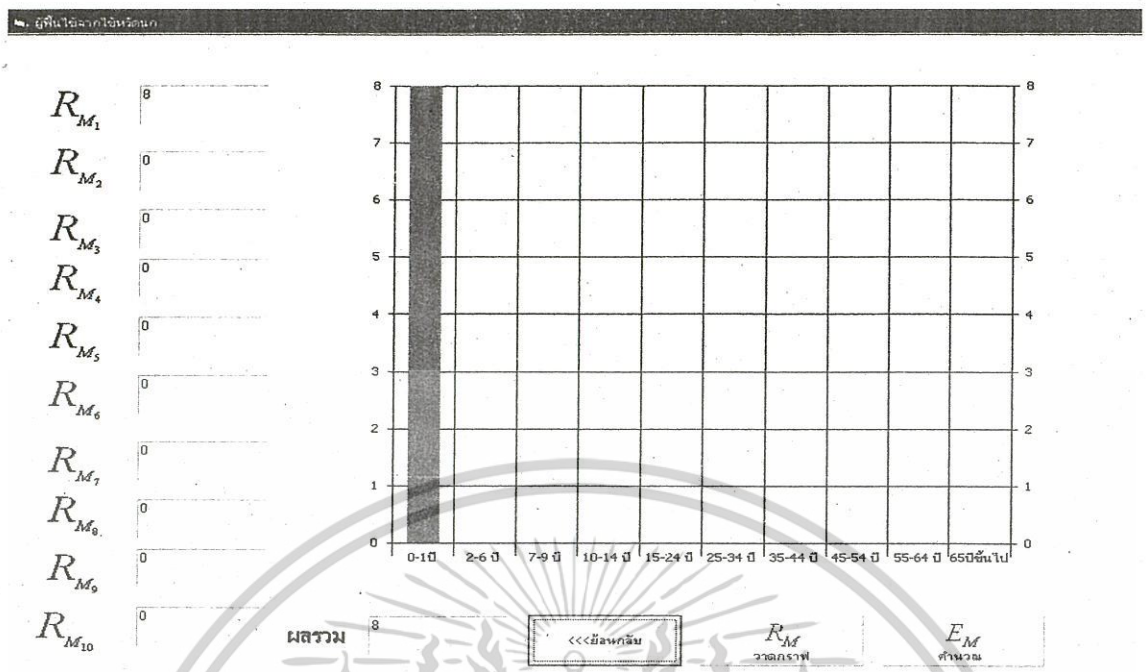
1) ข้อมูลปี 2547 มีดังนี้

- มีจำนวนผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_M) มีค่าเป็น 79 คน
- มีจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก (S_M) เป็นจำนวน 3 คน
- มีจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_M) เป็นจำนวน 26 คน
- มีจำนวนผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก (R_M) เป็นจำนวน 8 คน และมีข้อมูลดังนี้
- มีผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 3.80 % ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ แสดงว่าปี 2547 เกิดภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในเกณฑ์ขั้นต่ำ

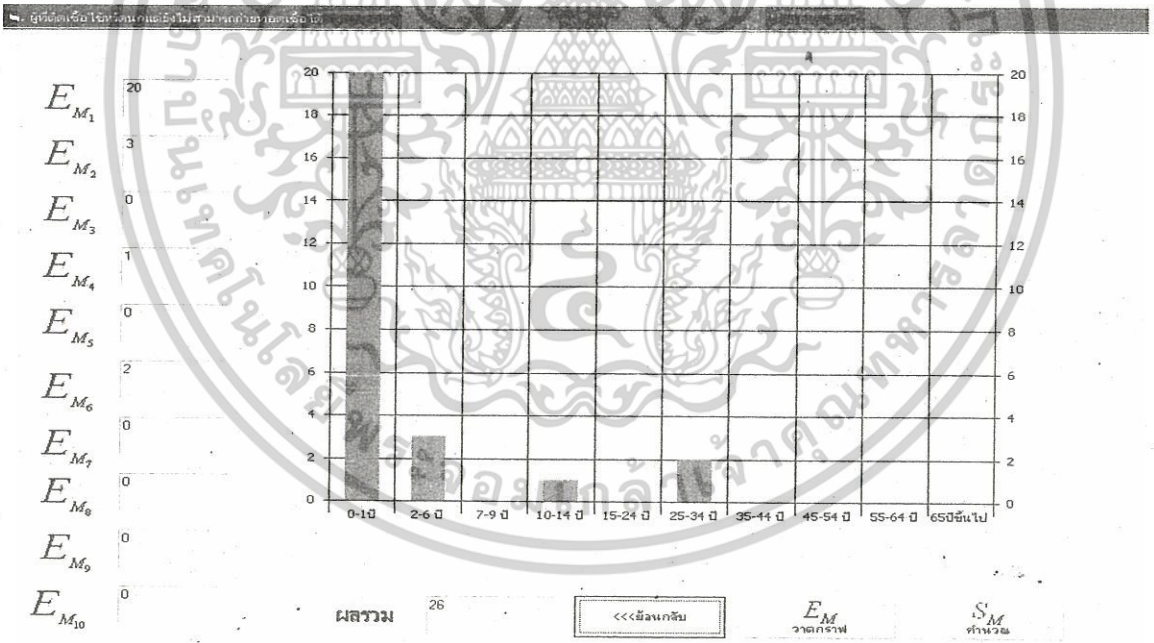


รูปที่4.29 หน้าจอแสดงผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

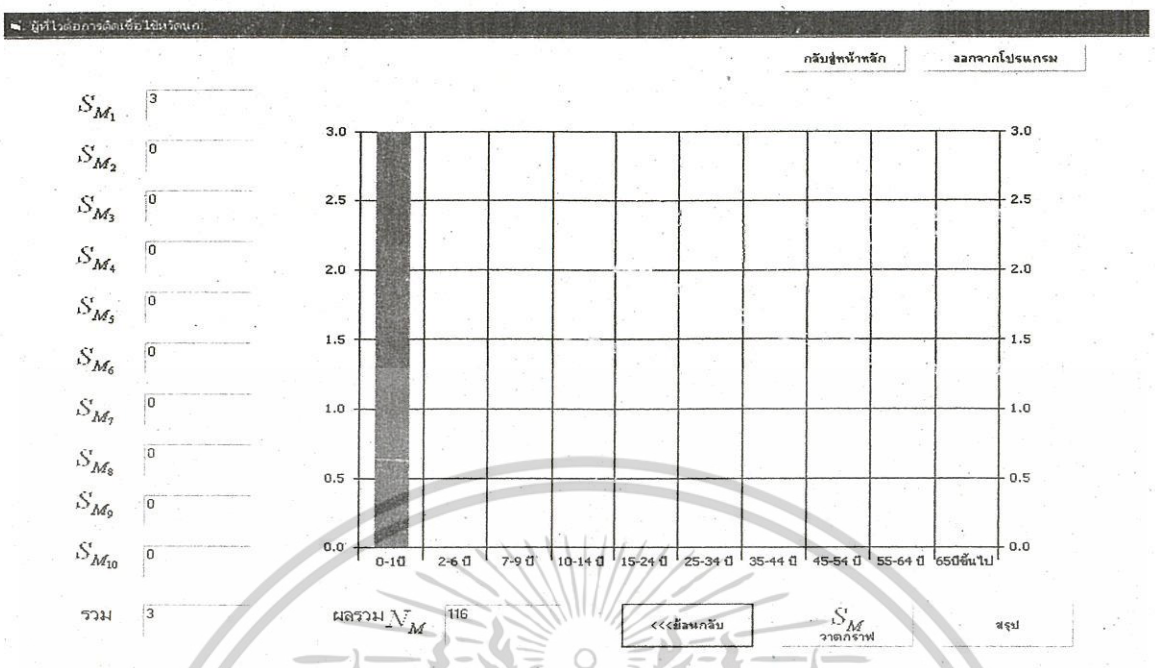


รูปที่4.30 หน้าจอแสดงผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกปี 2547

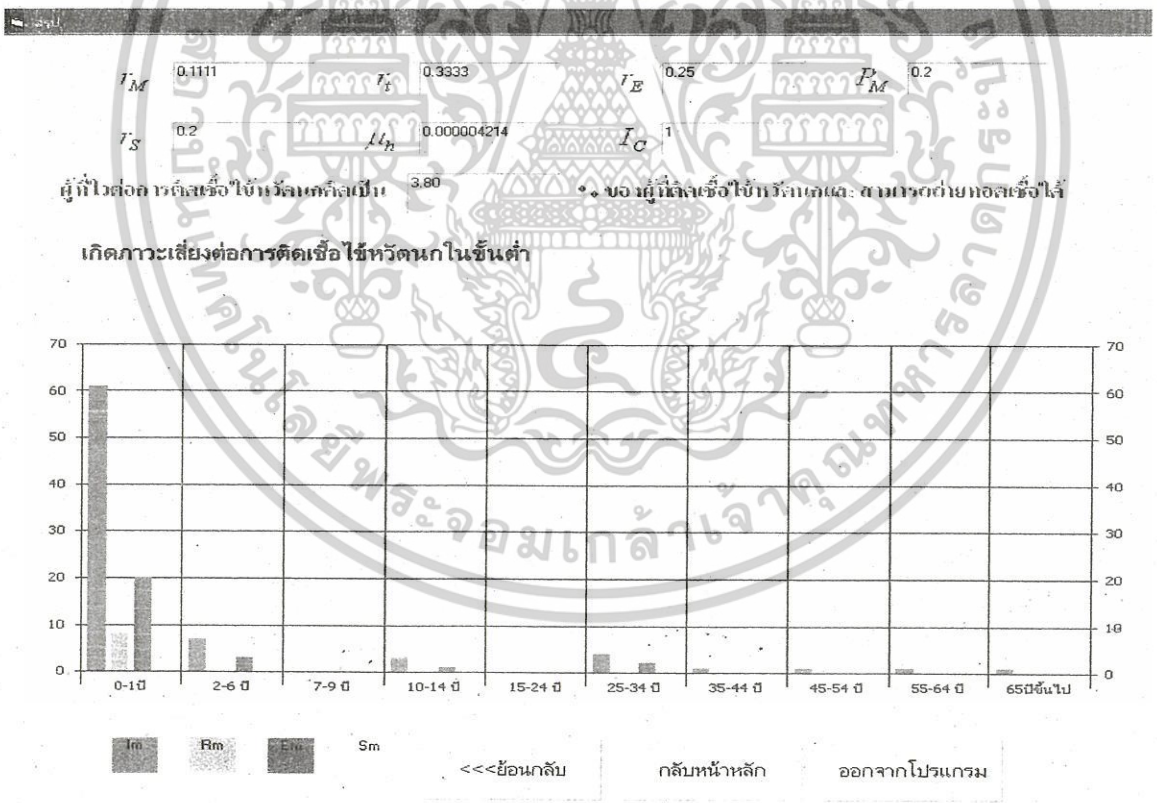


รูปที่4.31 หน้าจอแสดงผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.32 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 2547



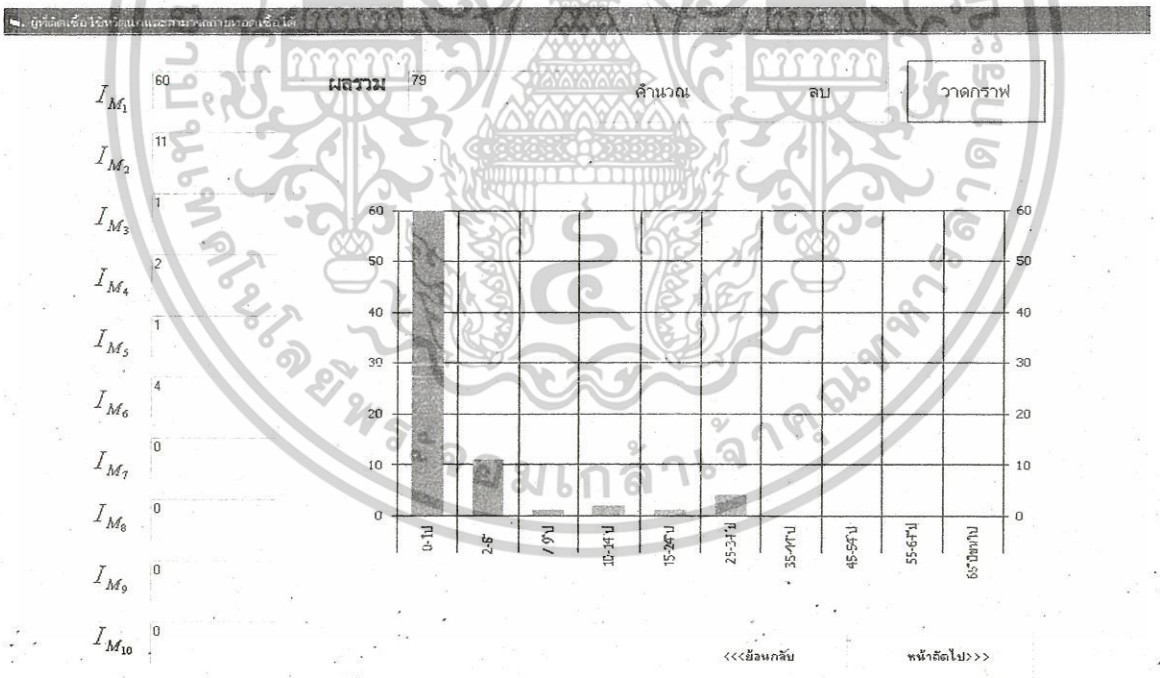
รูปที่4.33 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปข้างต้นจะเห็นว่า จำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ จำนวนผู้ที่ฟื้นไข้ จำนวนผู้ติดเชื้อ(และไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แปรผันตามจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และแสดงให้เห็นว่าปี 2547 มีผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 3.80% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้วัดนกสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าปี 2547 เกิดภาวะเสี่ยงต่อการการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นต่ำ

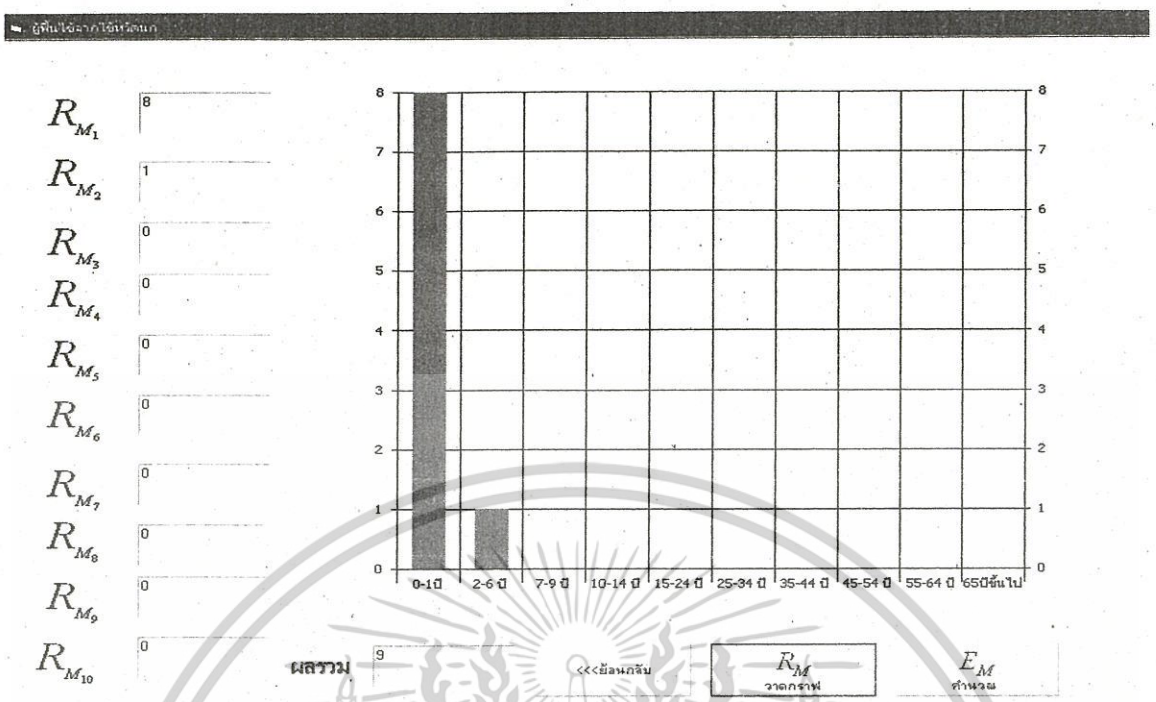
2) ข้อมูลปี 2548 มีดังนี้

- มีจำนวนผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_M) มีค่าเป็น 79 คน
- มีจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก (S_M) เป็นจำนวน 3 คน
- มีจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_M) เป็นจำนวน 27 คน
- มีจำนวนผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก (R_M) เป็นจำนวน 9 คน และมีข้อมูลดังนี้
- มีผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 3.80 % ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ แสดงว่าปี 2548 เกิดภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในเกณฑ์ขั้นต่ำ

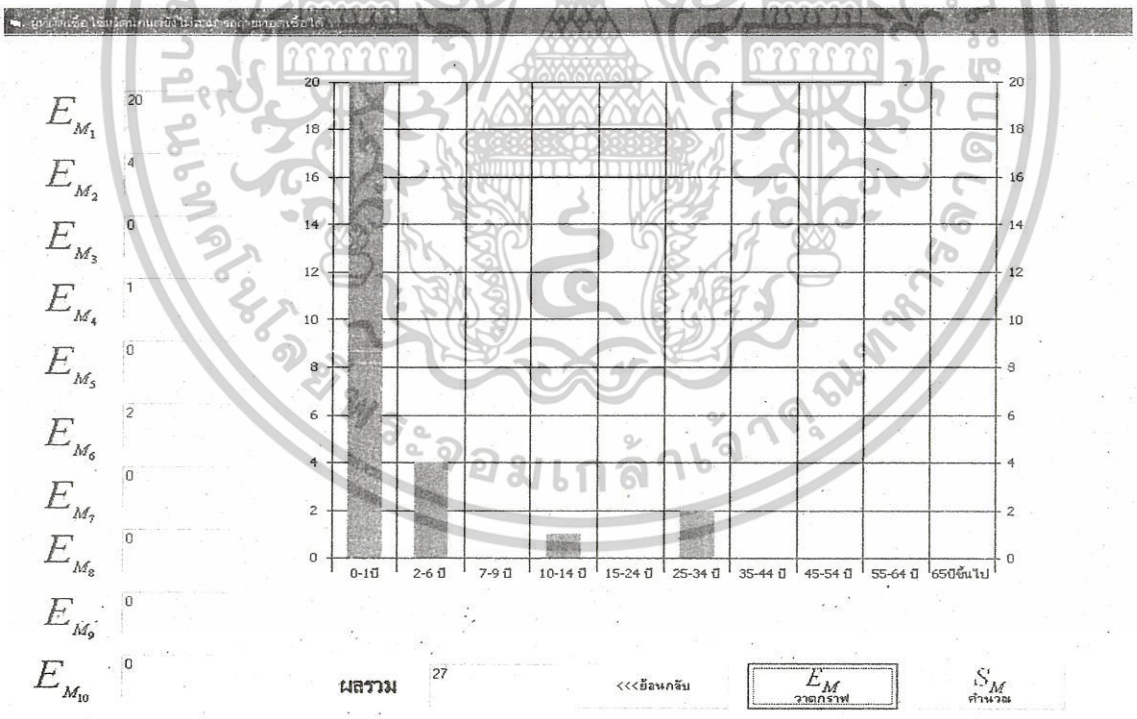


รูปที่4.34 หน้าจอแสดงผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

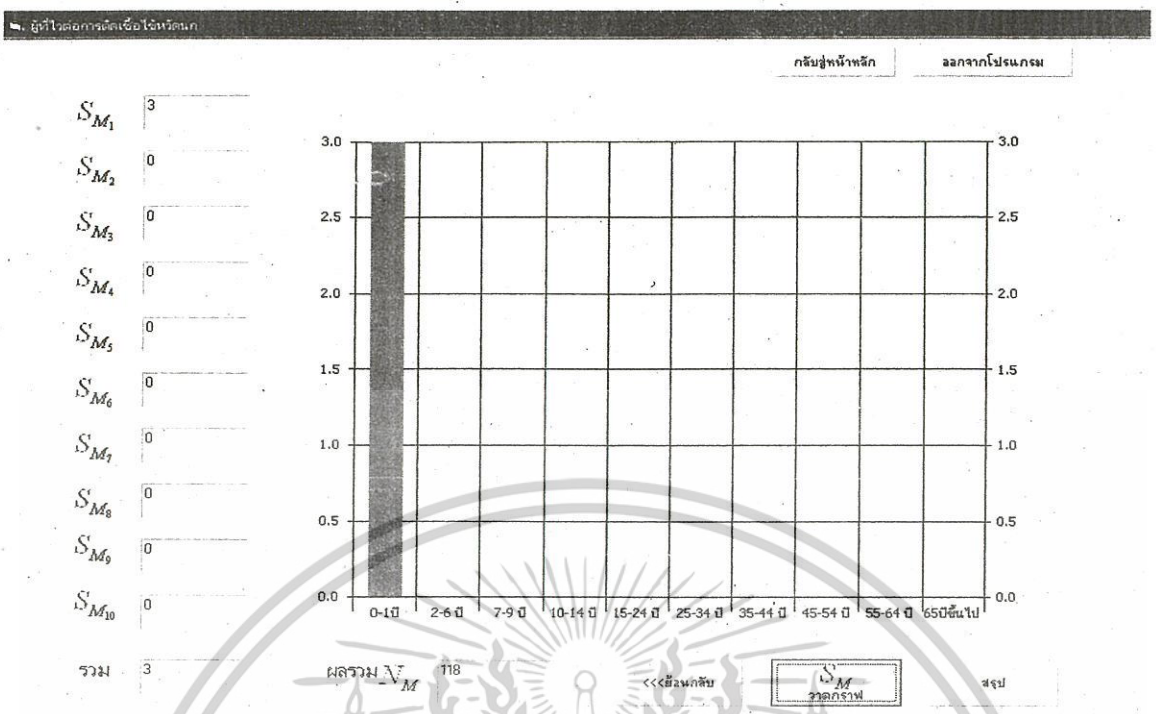


รูปที่4.35 หน้าจอแสดงผู้ที่ฟื้น ไข้จากโรคไข้หวัดนกปี 2548

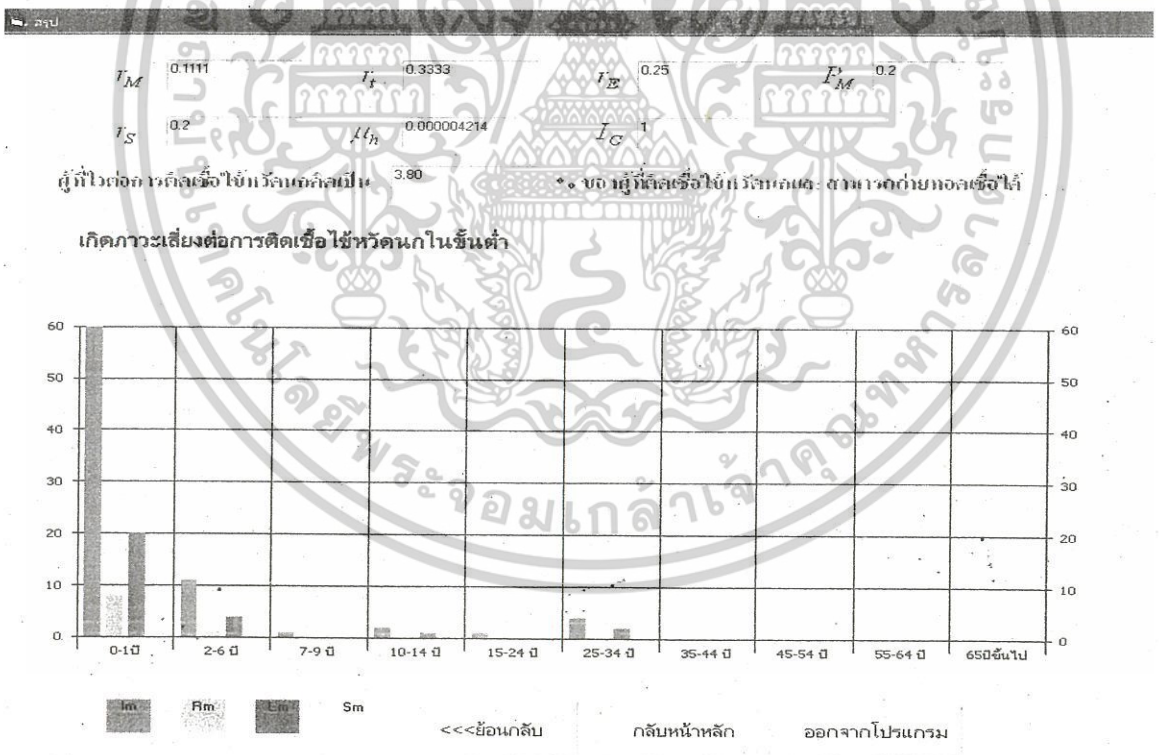


รูปที่4.36 หน้าจอแสดงผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.37 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 2548



รูปที่4.38 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2548

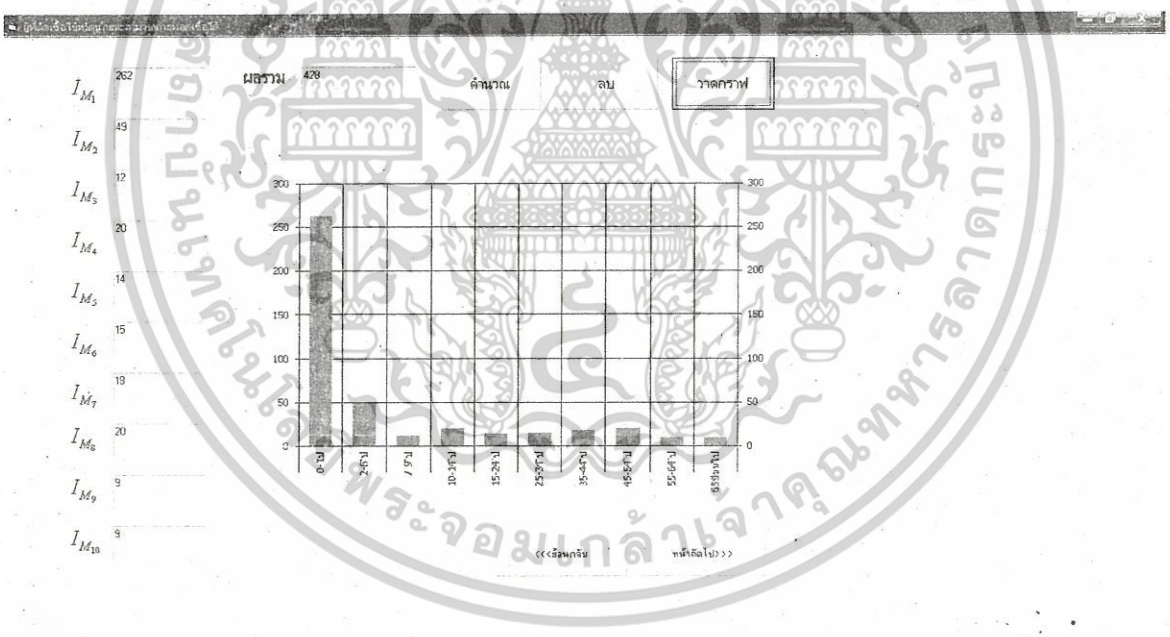
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปข้างต้นจะเห็นว่า จำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ จำนวนผู้ที่ฟื้นไข้ จำนวนผู้ติดเชื้อ(และไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แปรผันตามจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และแสดงว่าปี 2548 มีผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 3.80% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้วัดนกสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าปี 2548 เกิดภาวะเสี่ยงต่อการการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นต่ำ

3) ข้อมูลปี 2550 มีดังนี้

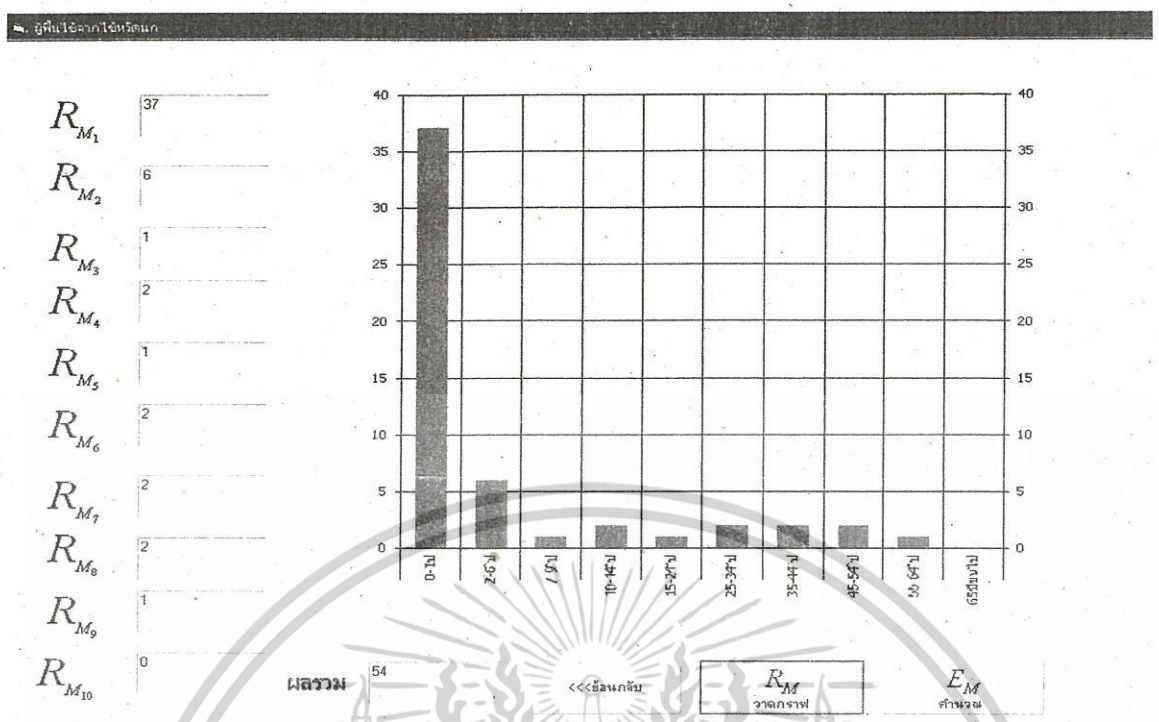
- มีจำนวนผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_M) มีค่าเป็น 79 คน
- มีจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก (S_M) เป็นจำนวน 3 คน
- มีจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_M) เป็นจำนวน 27 คน
- มีจำนวนผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนก (R_M) เป็นจำนวน 9 คน และมีข้อมูลดังนี้

มีผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 4.91 % ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ แสดงว่าปี 2550 เกิดภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในเกณฑ์ขั้นต่ำ

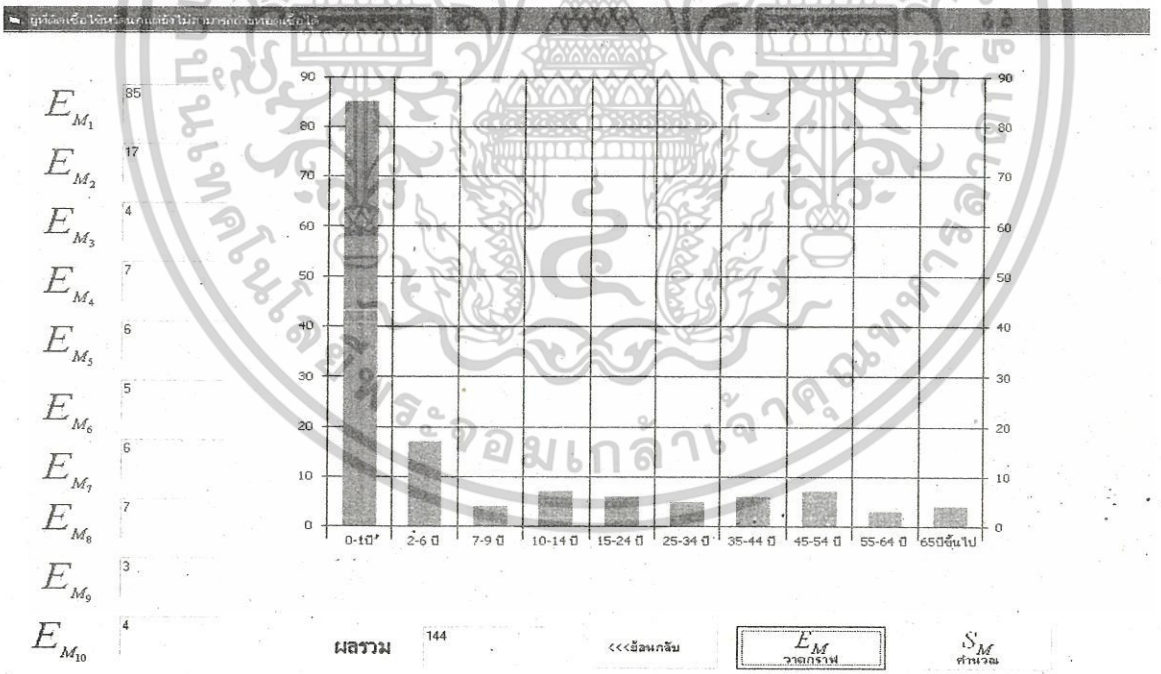


รูปที่4.39 หน้าจอแสดงผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

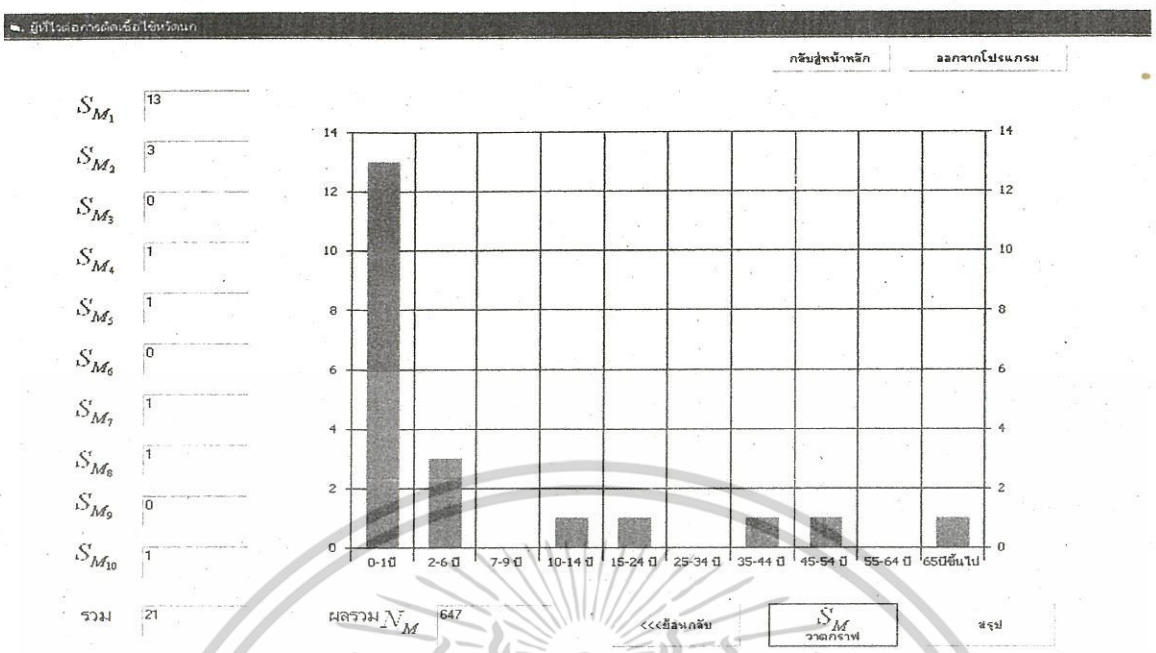


รูปที่4.40 หน้าจอแสดงผู้ที่ฟื้นไข้จากโรคไข้หวัดนกปี 2550

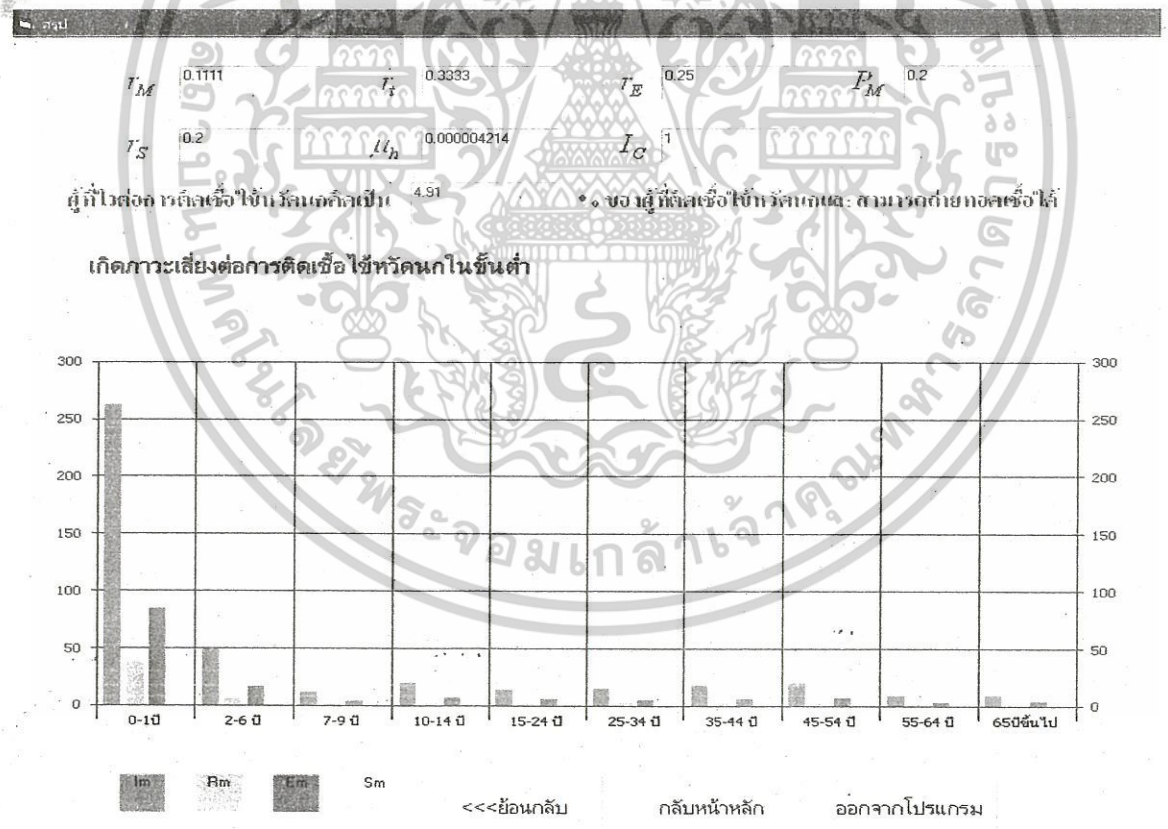


รูปที่4.41 หน้าจอแสดงผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ปี 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.42 หน้าจอแสดงผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกปี 25450



รูปที่4.43 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

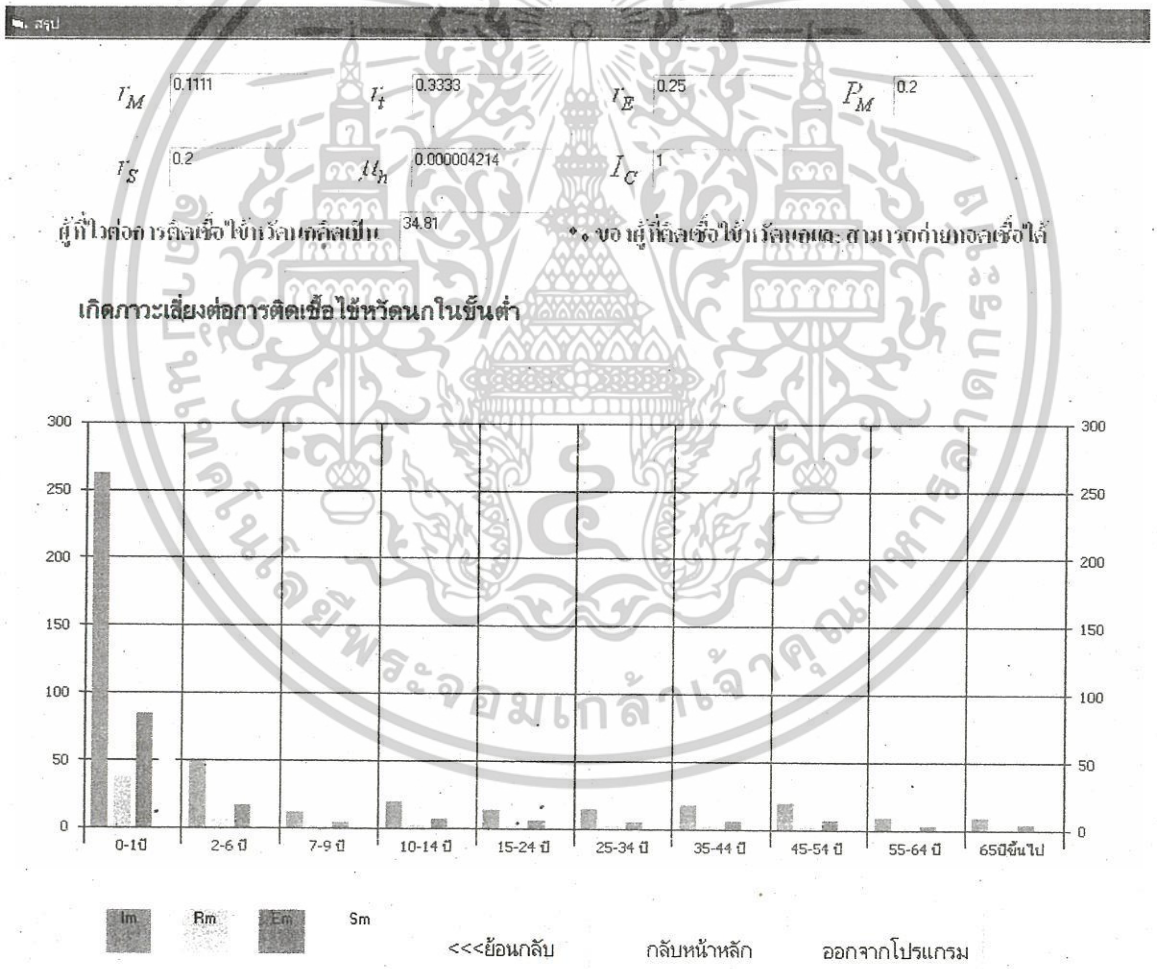
จากรูปข้างต้นจะเห็นว่า จำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ จำนวนผู้ที่ฟื้นไข้ จำนวนผู้ติดเชื้อ(และไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แปรผันตามจำนวนผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และแสดงว่าปี 2550 มีผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 4.91% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้วัดนกสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าปี 2548 เกิดภาวะเสี่ยงต่อการการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นต่ำ

4.5 เปรียบเทียบลักษณะของกราฟที่ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เลือกข้อมูลปี 2550 มาใช้ในการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ดังนี้

- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 1 คงที่
- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 0.1

จะได้กราฟดังรูป



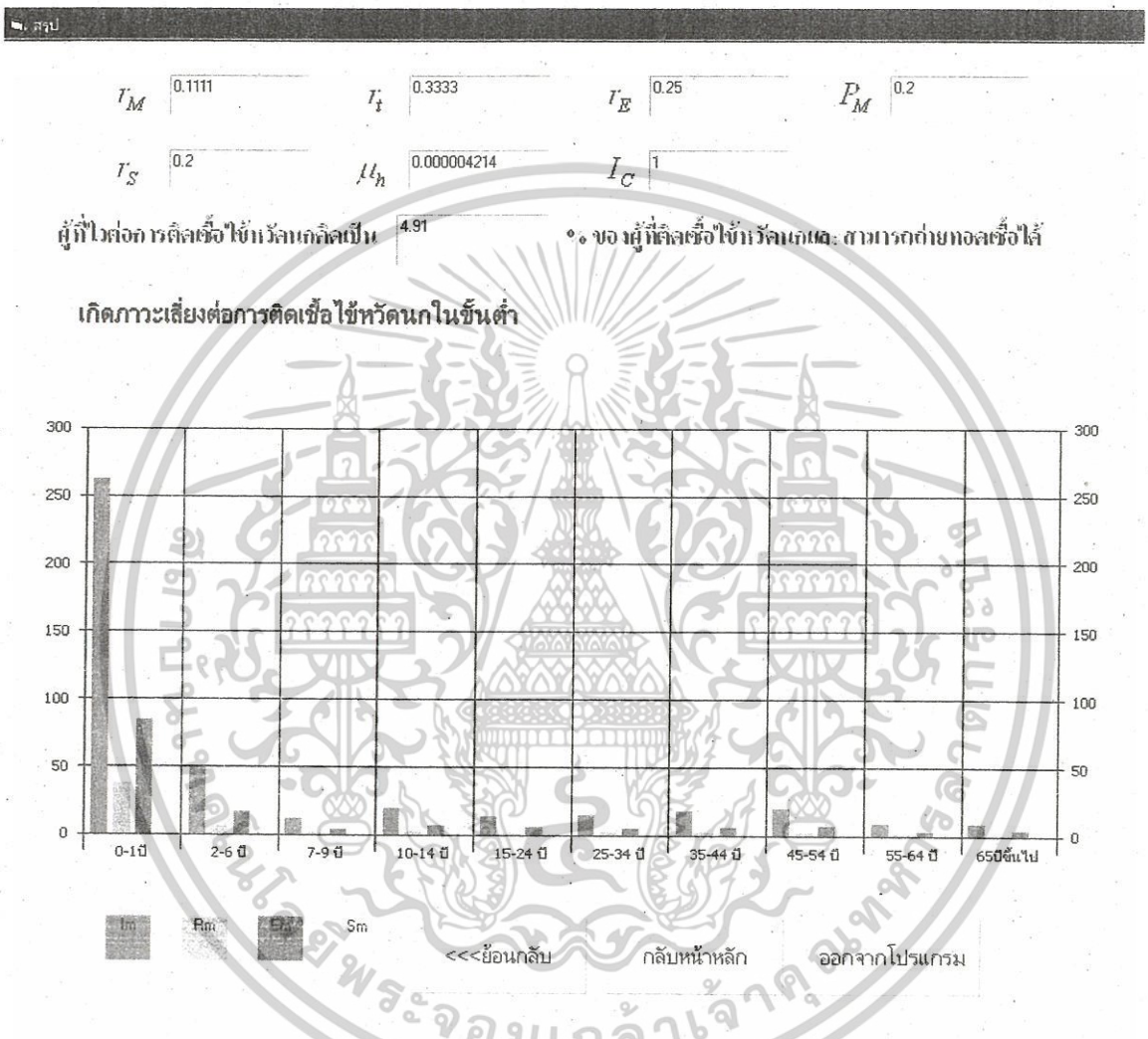
รูปที่4.44 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $I_C = 1$ และ $\beta_M = 0.1$

- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 1
- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 0.6

จะได้กราฟดังรูป

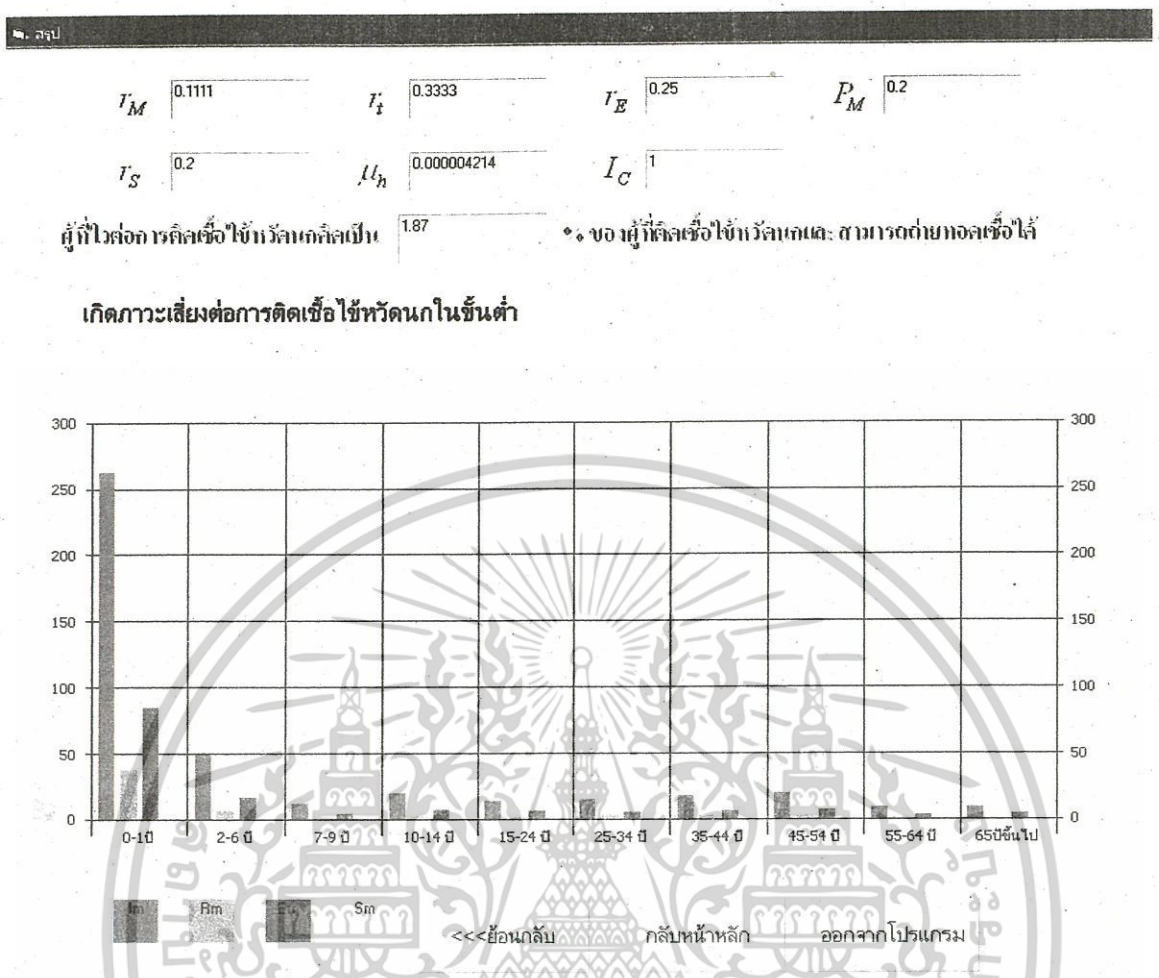


รูปที่4.45 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ $I_C = 1$ และ $\beta_M = 0.6$

- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 1
- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 1

จะได้กราฟดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



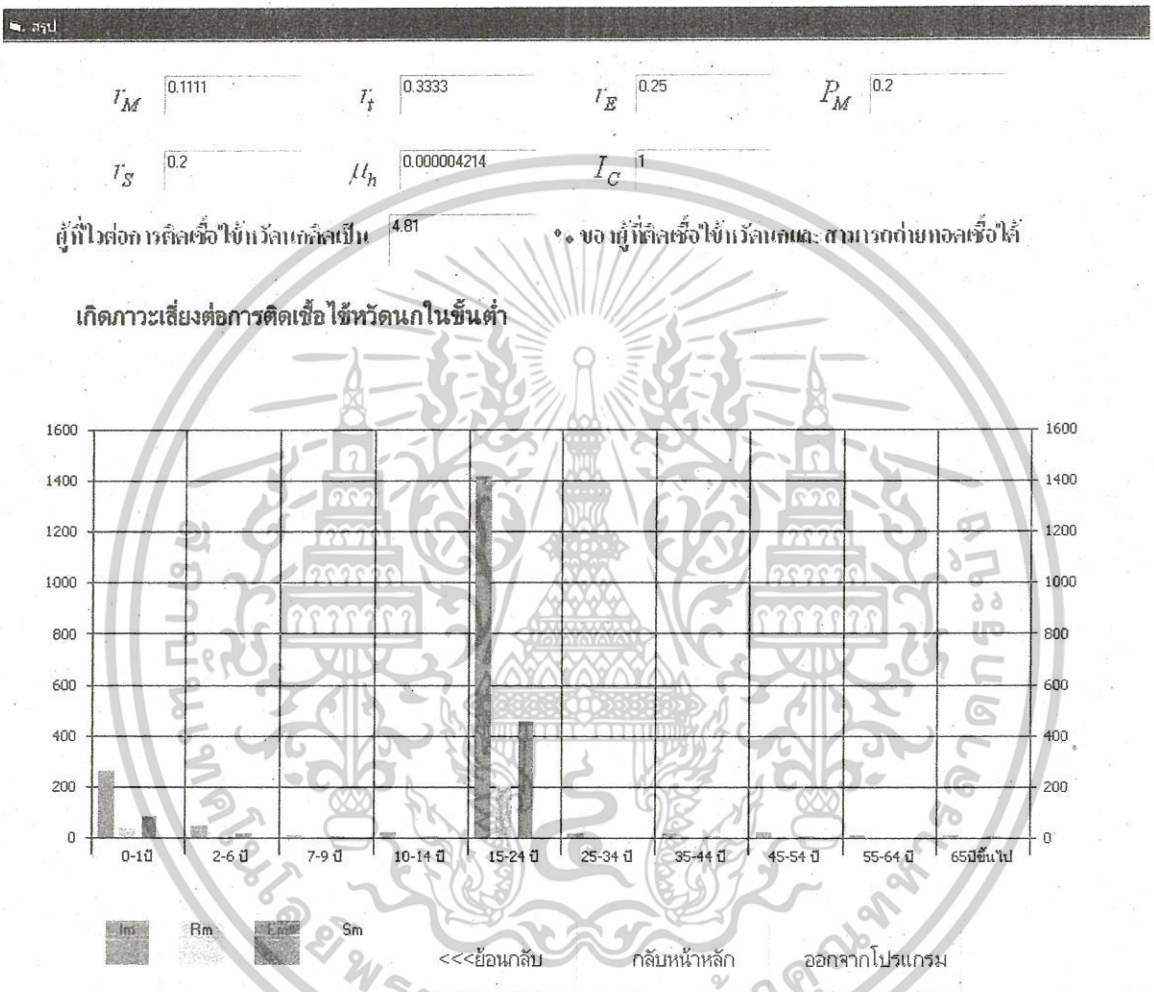
รูปที่4.46 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ $I_C = 1$ และ $\beta_M = 1$

จากรูปทั้ง 3 รูปข้างต้นจะเห็นว่าเมื่ออัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนมีค่ามากขึ้นจะมีผลทำให้, จำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อลดลง จำนวนผู้ที่ฟื้นไข้ และจำนวนผู้ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 0.6 คงที่
- สมมติให้จำนวนไก่เริ่มต้น(b_C)มีค่าเป็น 150
- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 1

จะได้กราฟดังรูป

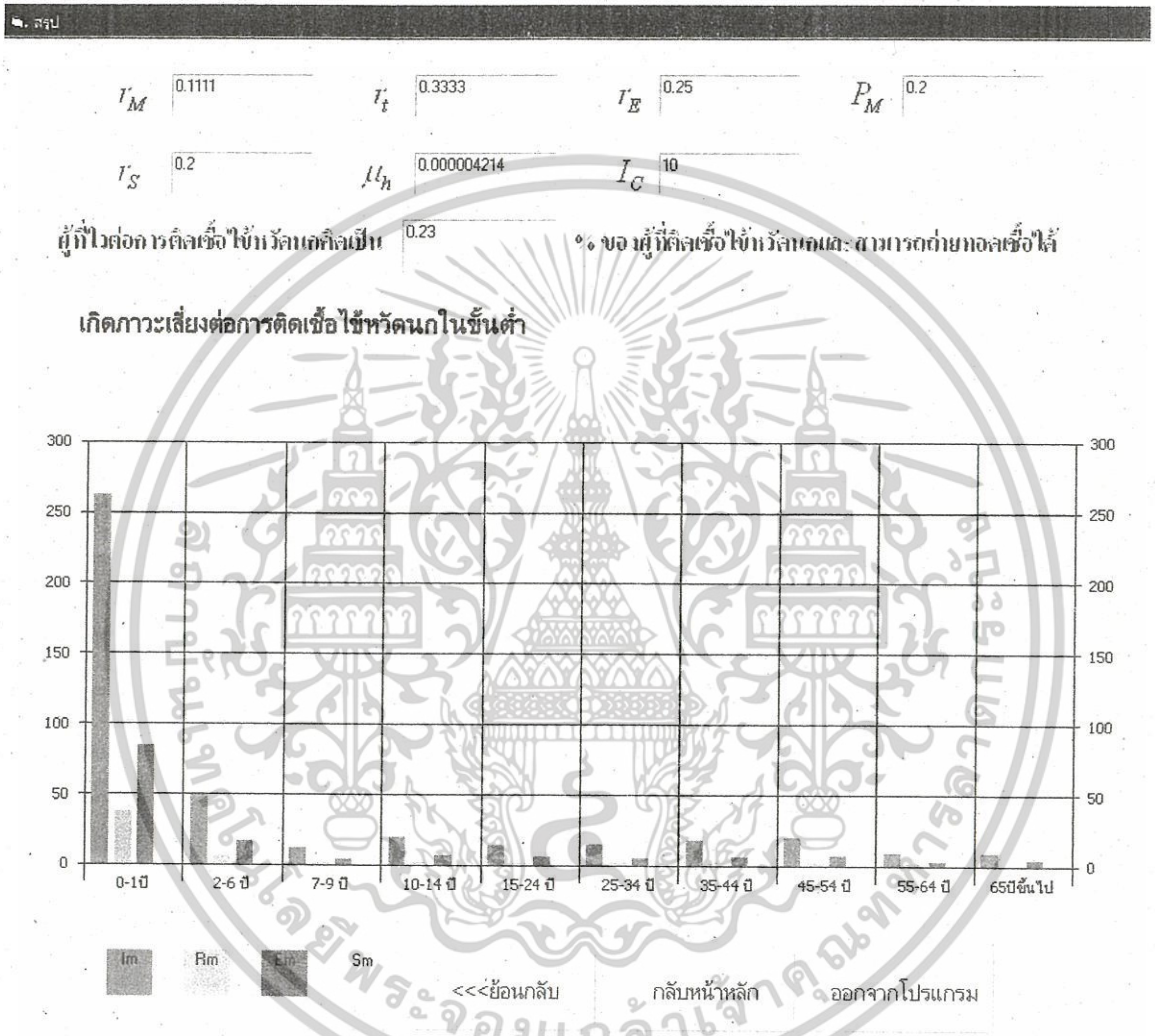


รูปที่4.47 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ $I_C = 1$ และ $\beta_M = 0.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 0.6 คงที่
- สมมติให้จำนวนไก่เริ่มต้น(b_C)มีค่าเป็น 150
- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 10

จะได้กราฟดังรูป

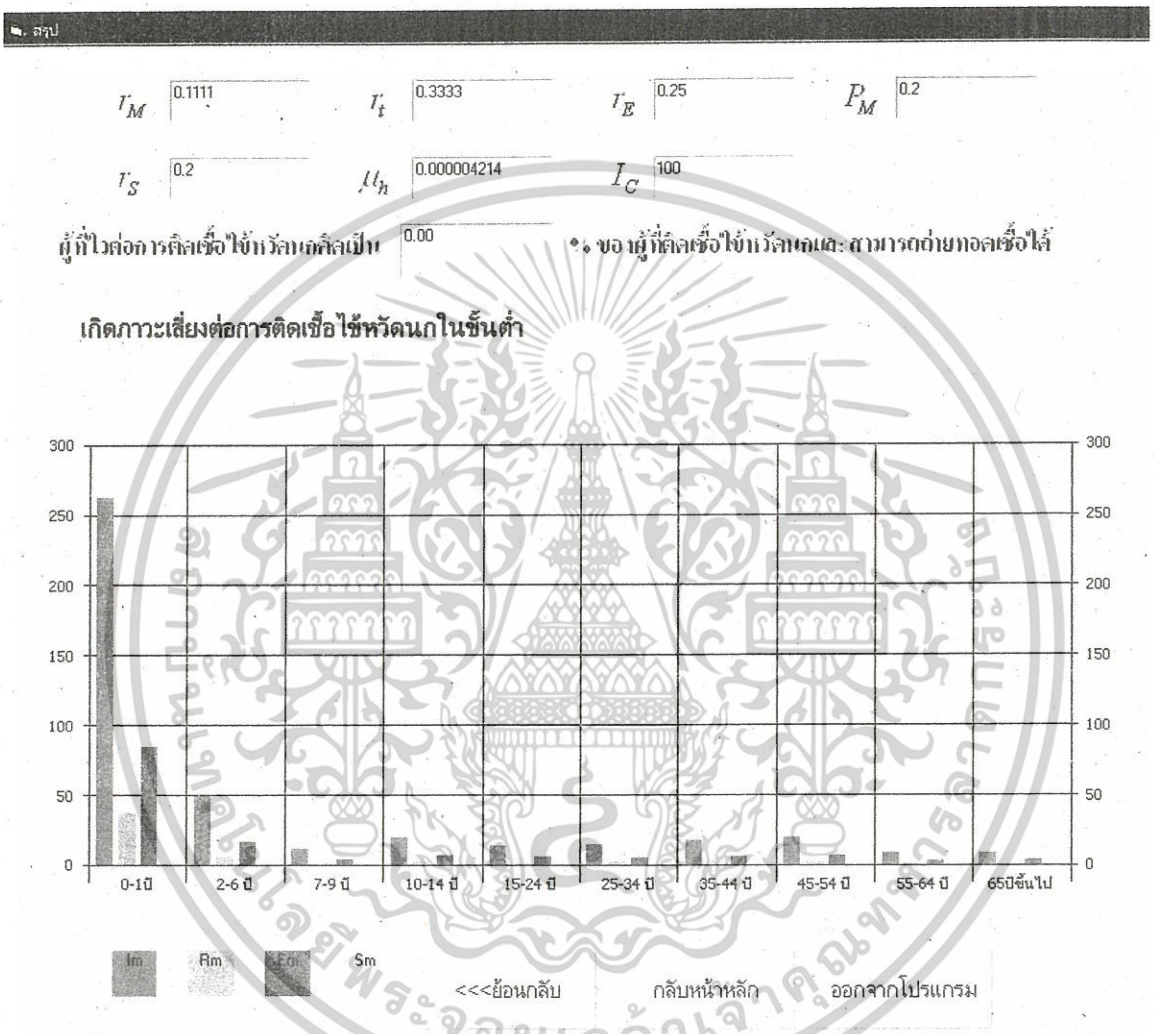


รูปที่4.48 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ $I_C = 10$ และ $\beta_M = 0.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมมติให้อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนทุกกลุ่มอายุ(β_M)มีค่าเป็น 0.6 คงที่
- สมมติให้จำนวนไก่เริ่มต้น(b_C)มีค่าเป็น 150
- สมมติให้จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C)มีค่าเป็น 100

จะได้กราฟดังรูป



รูปที่4.49 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลของปี 2550 เมื่อ $I_C = 100$ และ $\beta_M = 0.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปทั้ง 3 รูปข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อจำนวนไก่ที่ติดเชื้อเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้จำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อลดลง จำนวนผู้ที่ฟื้นไข้ และจำนวนผู้ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไม่เปลี่ยนแปลง

ค่าของตัวแปรทั้งหมดของแต่ละปีเป็นค่าที่ได้นำมาจากข้อมูลจริง ตัวพารามิเตอร์ทั้งหมดได้มาจากการสังเกตและจากเอกสารที่มีอยู่ ตัวพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรโรคไข้หวัดนก ดังนั้นถ้าเราควบคุมตัวแปรให้สอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้นแล้วเราจะสามารถลดการระบาดของโรคไข้หวัดนกได้

4.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำให้เกิดความเสี่ยงของการเกิดโรคไข้หวัดนกในแต่ละระดับ

กำหนดให้ข้อมูลผู้ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_M)เป็นดังนี้

$I_{M_1} = 254$ $I_{M_6} = 242$

$I_{M_2} = 321$ $I_{M_7} = 113$

$I_{M_3} = 126$ $I_{M_8} = 152$

$I_{M_4} = 79$ $I_{M_9} = 251$

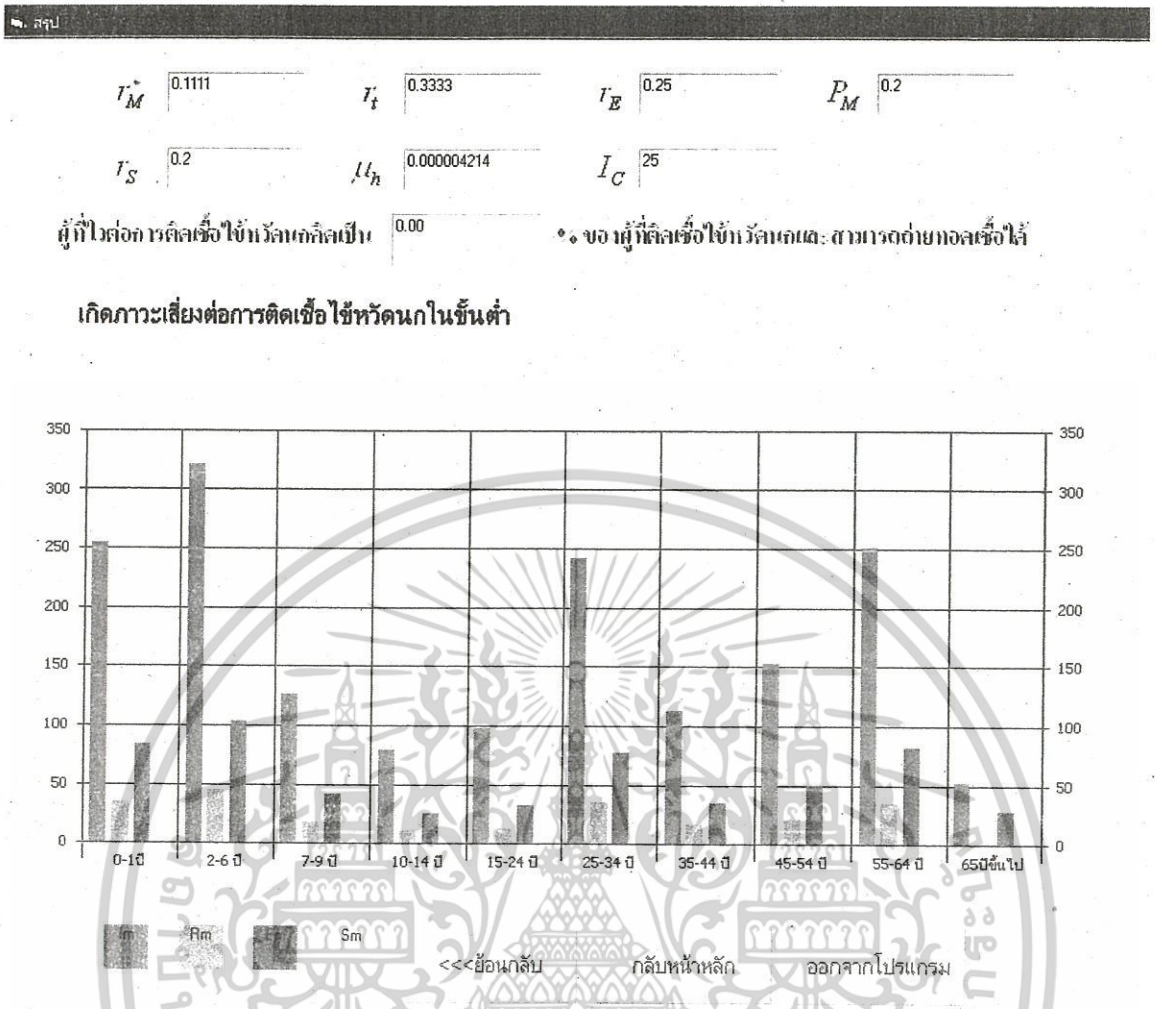
$I_{M_5} = 98$ $I_{M_{10}} = 52$

สมมติให้จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น (b_C) มีค่าเป็น 50

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน (β_M) มีค่าเป็น 1
- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่ (β_C) มีค่าเป็น 1
- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C) มีค่าเป็น 25

จะได้กราฟดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.50 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ $b_C = 50$, $\beta_M = 1$, $\beta_C = 1$, $I_C = 25$

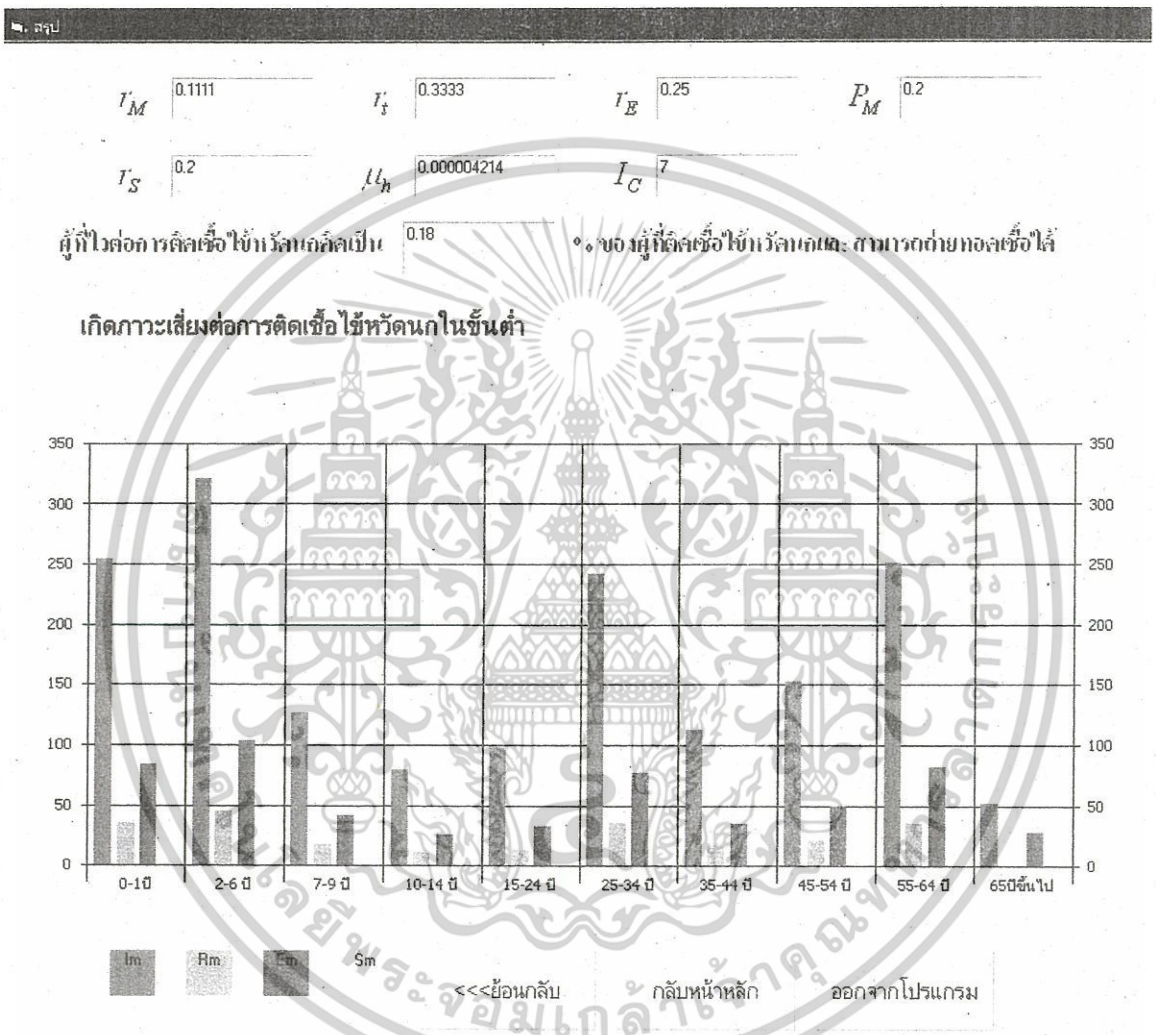
จากรูปเมื่อเราใส่ข้อมูลครบแล้วเราจะได้ผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 0.00% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลนี้ไม่พบภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น (b_C) มีค่าเป็น 50

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน (β_M) มีค่าเป็น 1
- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่ (β_C) มีค่าเป็น 1
- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C) มีค่าเป็น 7

จะได้กราฟดังนี้



รูปที่4.51 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ $b_C = 50$, $\beta_M = 1$, $\beta_C = 1$, $I_C = 7$

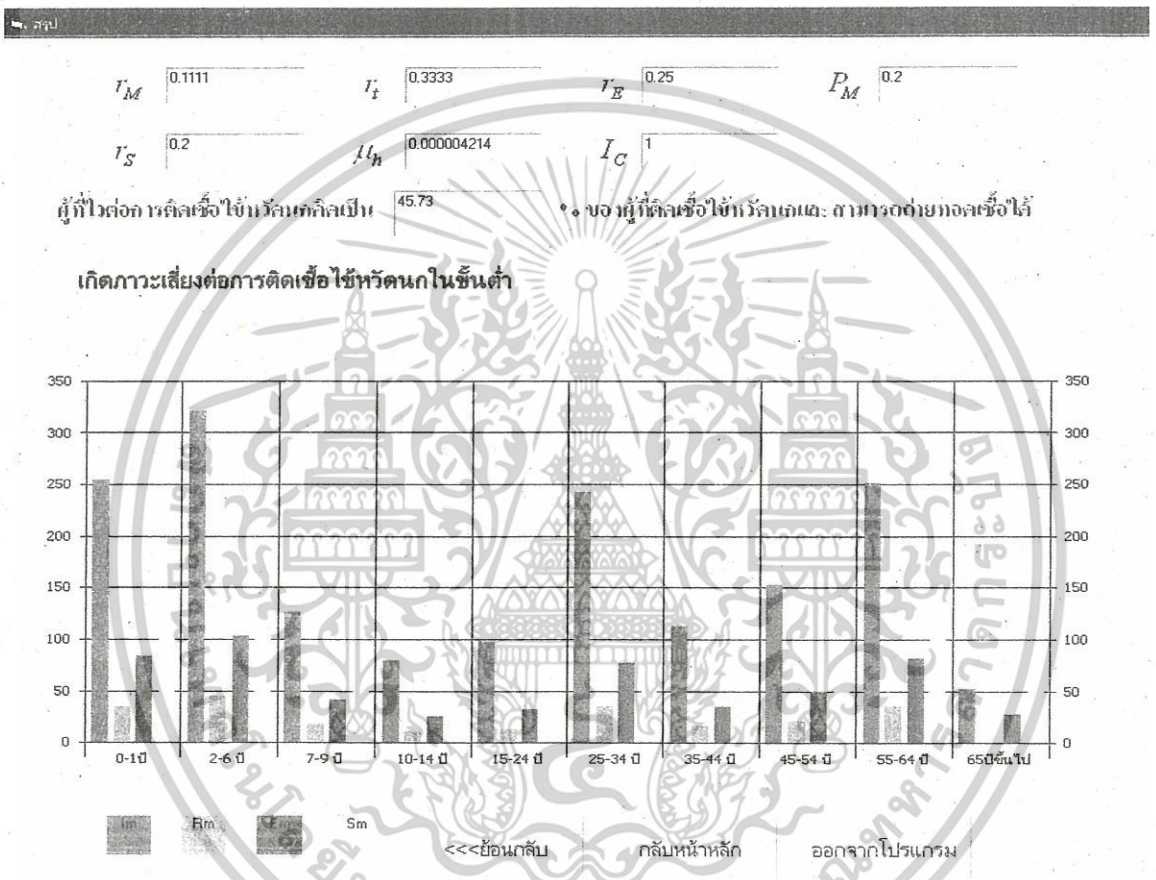
จากรูปเมื่อเราใส่ข้อมูลครบแล้วเราจะได้ผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 0.18% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลนี้อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น (b_C) มีค่าเป็น 10

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน (β_M) มีค่าเป็น 0.07
- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่ (β_C) มีค่าเป็น 1
- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C) มีค่าเป็น 1

จะได้กราฟดังนี้



รูปที่4.52 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ $b_C = 10$, $\beta_M = 0.07$, $\beta_C = 1$, $I_C = 1$

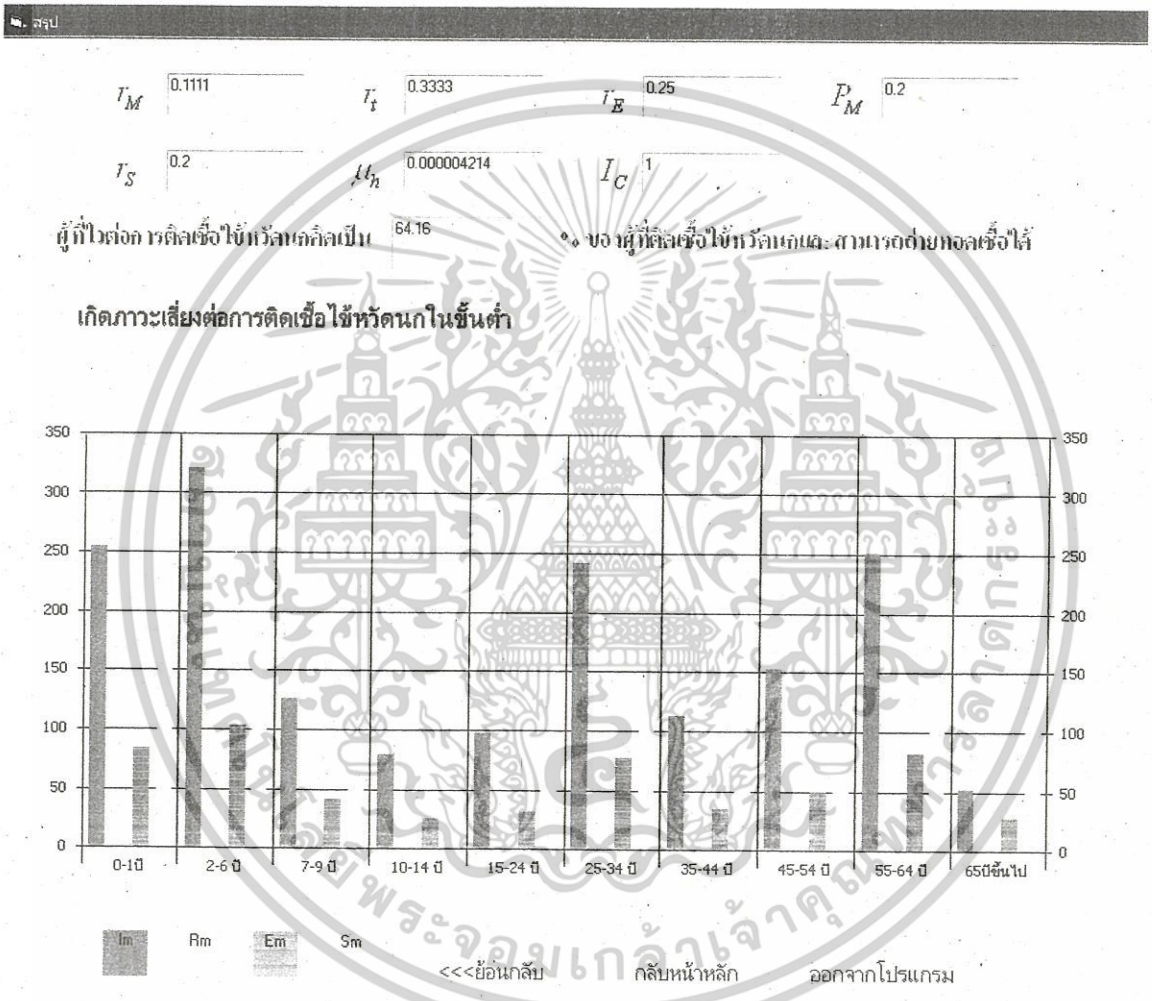
จากรูปเมื่อเราใส่ข้อมูลครบแล้วเราจะได้ผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 45.73% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลนี้อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น (b_C) มีค่าเป็น 10

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน (β_M) มีค่าเป็น 0.05
- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่ (β_C) มีค่าเป็น 1
- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C) มีค่าเป็น 1

จะได้กราฟดังนี้



รูปที่4.53 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ $b_C = 10$, $\beta_M = 0.05$, $\beta_C = 1$, $I_C = 1$

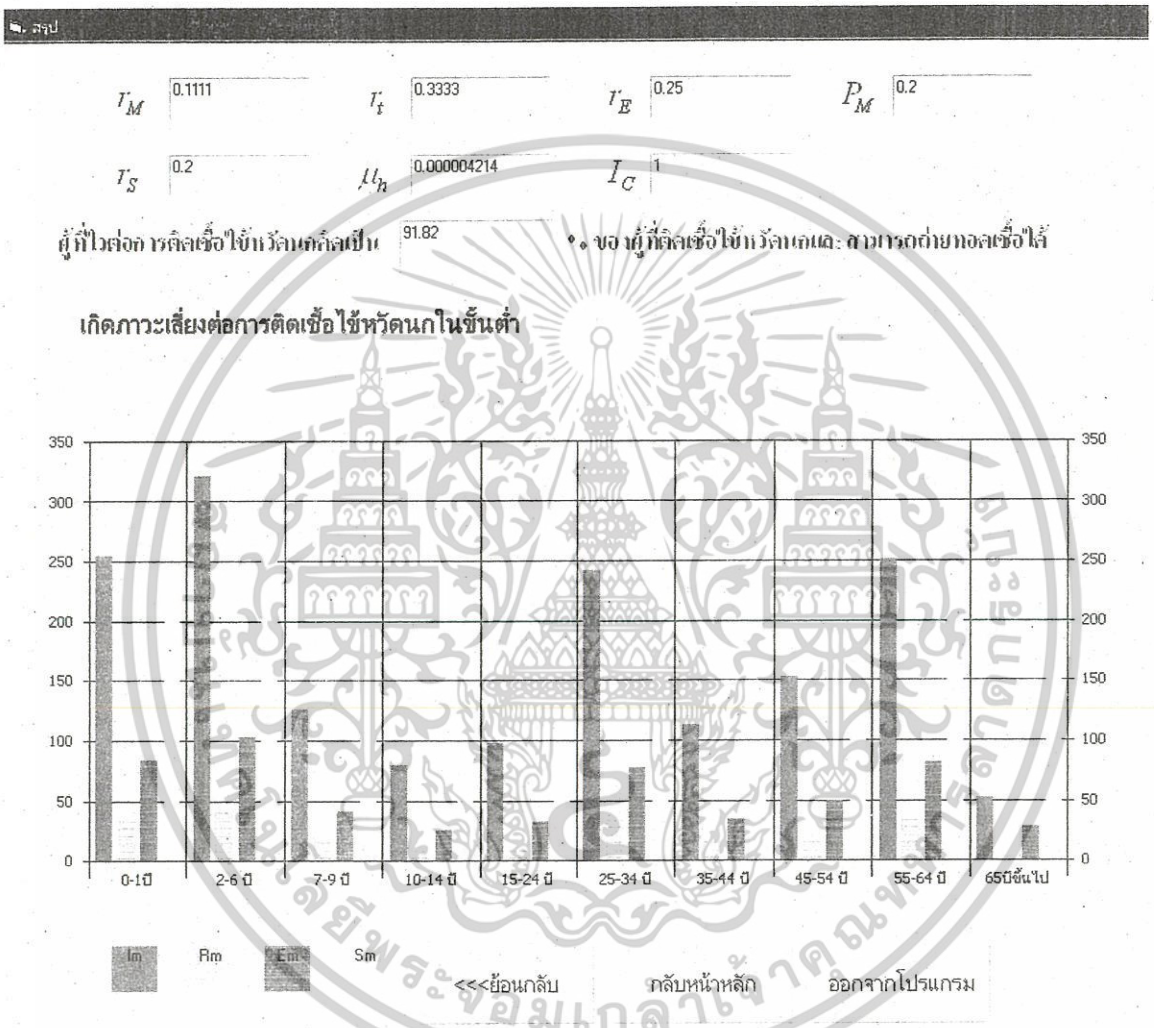
จากรูปเมื่อเราใส่ข้อมูลครบแล้วเราจะได้ผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 64.16% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลนี้อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้จำนวนของไก่ ณ เวลาเริ่มต้น (b_C) มีค่าเป็น 10

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน (β_M) มีค่าเป็น 0.035
- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่ไก่ (β_C) มีค่าเป็น 1
- จำนวนของไก่ที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้(I_C) มีค่าเป็น 1

จะได้กราฟดังนี้



รูปที่4.54 หน้าจอแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างเมื่อ $b_C = 10$, $\beta_M = 0.035$, $\beta_C = 1$, $I_C = 1$

จากรูปเมื่อเราใส่ข้อมูลครบแล้วเราจะได้ผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกคิดเป็น 91.82% ของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลนี้อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ปี 2547 มีอัตราของผู้เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อไข้หวัดนกเป็น 3.80%, ปี 2548 มีอัตราของผู้เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อไข้หวัดนกเป็น 3.80% และ ปี 2550 มีอัตราของผู้เสี่ยงต่อการเกิดเชื้อไข้หวัดนกเป็น 4.91% ซึ่งเราพบว่าในปีที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นปีที่เกิดภาวะเสี่ยงต่อการเกิดเชื้อไข้หวัดนกในขั้นต่ำ นอกจากนั้นเราพบว่าค่าอัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน และจำนวนไก่ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้มีผลต่อการเกิดภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้หวัดนก เนื่องจากเราพบว่าค่าอัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คน และจำนวนไก่ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ยิ่งมีค่าสูงมากขึ้น จะยิ่งทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อมากขึ้นด้วย ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแนวทางในการช่วยให้ประชาชนระมัดระวังที่จะไม่ทำให้โรคนี้มีการระบาดมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้กับการควบคุมโรคของปัญหาพิเศษนี้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการระบาดของโรคไข้หวัดนกในอดีตจนถึงปัจจุบัน แบบจำลองนี้ได้ถูกสร้างขึ้นจากปัจจัยในการเกิดโรคและการระบาดของโรค ซึ่งมุ่งหมายที่จะให้เกิดประโยชน์ต่อการแพทย์และการสาธารณสุขของไทยในการลดอัตราผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตจากโรคไข้หวัดนก โดยผู้จัดทำได้พยายามสร้างแบบจำลองและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเพื่อที่จะให้มีความเหมาะสมและใช้ได้จริงกับการควบคุมการระบาดของโรค และโปรแกรมที่ถูกสร้างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคไข้หวัดนกนั้นสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อให้มีประสิทธิภาพและใช้งานได้จริง โดยโปรแกรมจะบอกให้ผู้ใช้ทราบถึงประวัติของโรคไข้หวัดนก และข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ.2547, 2548 และ2550 รวมถึงค่า R_M (จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากเชื้อไข้หวัดนก), S_M (จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก), E_M (จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้), I_M (จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้), b_h (อัตราการเกิดของประชากร (= μ_h อัตราการตาย)), β_{M_i} (อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i), r_s (อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีกครั้ง), r_E (อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)), r_t (อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)), α_i (อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่ $i+1$) โดยค่าที่ทราบนั้นจะแสดงออกมาเป็นกราฟเพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมดูข้อมูลได้ง่ายขึ้นและมีการแสดงผลอัตราความเสี่ยงในการเกิดโรคไข้หวัดนก เพื่อที่ผู้ใช้โปรแกรมจะได้ทราบว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเท่าใด จะได้มีการป้องกันการเกิดโรคไข้หวัดนกได้ทันท่วงที

5.2 ข้อจำกัดของโปรแกรม

1. ข้อมูลย้อนหลังเริ่มมีตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 เนื่องจากโรคไข้หวัดนกเพิ่งเกิดขึ้นในประเทศไทย ไทยเมื่อปี พ.ศ.2547
2. โรคไข้หวัดนกเป็นโรคอุบัติใหม่ที่เพิ่งเกิดขึ้นในประเทศไทย และการสาธารณสุขมีการป้องกันเป็นอย่างดี ทำให้การแพร่ระบาดของโรคนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นบางปี พ.ศ.จึงไม่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผู้ใช้โปรแกรมต้องทราบค่า I_M (จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้), b_h (อัตราการเกิดของประชากร ($=\mu_h$ อัตราการตาย)), β_{M_i} (อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากไก่ไปสู่คนกลอายุที่ i), r_s (อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้เสี่ยงต่อการติดเชื้ออีกครั้ง), r_E (อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)), r_t (อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)), α_i (อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่ $i+1$) ก่อนจึงจะสามารถคำนวณหาค่า R_M (จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากเชื้อไข้หวัดนก), S_M (จำนวนของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดนก), E_M (จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อไข้หวัดนกแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
4. ไม่สามารถเพิ่มข้อมูลใหม่ได้ เนื่องจากโปรแกรมไม่มีฐานข้อมูล

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการที่จะเก็บข้อมูลย้อนหลังสามารถเก็บข้อมูล โดยการสร้างฐานข้อมูลขึ้น และเก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูล เช่น Microsoft office Access
2. ปัจจุบันนี้มีโปรแกรมช่วยเหลือต่างๆมากมาย ทำให้การสร้างโปรแกรมและกราฟมีความน่าสนใจมากขึ้น เราก็สามารถใช้โปรแกรมต่างๆเหล่านี้ได้ตามความถนัด เช่น Viual basic.NET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

[1] องค์การอนามัยโลก, [Online]. Available: http://www.who.int/en/

[2] กระทรวงสาธารณะสุข. " *โรคไข้หวัดนก* ", [Online]. Available: http://thaigcd.ddc.moph.go.th/AI_MOPHadvice_chinesenewyearT_070209.html

[3] กรมปศุสัตว์. " *โรคไข้หวัดนก*", [Online]. Available: http://www.dld.go.th/niah/AnimalDisease/fowl/fowl_birdflu_menu.htm

[4] สำนักระบาดวิทยา, " *AEFI* ", Available: http://203.157.15.4/surdata/disease.php?ds=78

[5] กรมควบคุมโรค, "*สรุปสถานการณ์โรคไข้หวัดนกในคน*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 26 มีนาคม 2547.

[6] กรมควบคุมโรค, "*สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2548.

[7] กรมควบคุมโรค, "*สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2549.

[8] กรมควบคุมโรค, "*สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2550.

[9] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้เสียชีวิตแยกตามกลุ่มอายุและจังหวัด*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2547.

[10] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้เสียชีวิตแยกตามกลุ่มอายุและจังหวัด*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2548.

[11] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้เสียชีวิตแยกตามกลุ่มอายุและจังหวัด*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2550.

[12] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้ป่วย-เสียชีวิตแยกตามเชื้อชาติ*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2547.

[13] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้ป่วย-เสียชีวิตแยกตามเชื้อชาติ*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2548.

[14] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้ป่วย-เสียชีวิตแยกตามเชื้อชาติ*", สำนักระบาดวิทยากระทรวงสาธารณสุข, 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้ป่วย-เสียชีวิตแยกตามรายเดือนและจังหวัด*", สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข, 2548.

[16] กรมควบคุมโรค, "*จำนวนผู้ป่วย-เสียชีวิตแยกตามรายเดือนและจังหวัด*", สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข, 2550.

[17] กรมควบคุมโรค, "*หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมโรคไข้หวัดนก*", สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข, 2550.

[18] กรมควบคุมโรค, "*แผนยุทธศาสตร์แก้ไขไข้หวัดนก*", สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข, 2548.

[19] น.ส.พ. พงศ์พิพัฒน์ ปรีชารัตน์ ส.พบ., " *โรคไข้หวัดนก(Avian Influenza)* ", บริษัท ธนาเพรส แอนด์กราฟฟิค จำกัด.

[20] มรกต ตันติเจริญและนำชีว วิวรรธน์, " *ไข้หวัดนก* ", สิงหาคม.2548.

[21] Claas, E.C., Osterhaus, A.D., van Beek, R., De Jong, J.C., Rimmelzwaan, G.F., Senne, D.A., Krauss, S., Shortridge, K.F., Webster, R.G., 1998, Human influenza A H5N1 virus related to a highly pathogenic avien influenza virus. Lancet 351, 472-477.

[22] Ruigrok, R.W.H., 1998, Structure of influenza A, B and C viruses, In: Nicholson, K.G., Webster, R.G., Hay, A.J.(Eds.) Textbook of Influenza. Blackwell Science, pp. 29-42

[23] Russell, C.J., Webster, R.G., 2005, The genesis of a pandemicinfluenza virus. Cell 123, 368-371.

[24] Tauberger, J.K., Morens, D.M., 2006, 1918 InfluenzaP: the mother of all pandemics. Emerg Infect Dis 12, 15-22

[25] von Itzstein, M., Dyason, J.C., Oliver, S.W., White, H.F., Wu, W.Y., Kok, G.B., Pegg, M.S., 1996, A study of the active site of influenza virus sialidase: an approach to the rational design of novel anti-influenza drugs. J Med Chem 39, 388-391

[26] Webster, R.G., Bean, W.J., Gorman, O.T., Chambers, T.M., Kawaoka, Y., 1992, Evolution and ecology of influenza A viruses. Microbiool Rev 56, 152-179

[27] Webster, R.G., Laver, W.G., 1980, Determination of the number of nonoverlapping antigenic areas on HongKong (H3N2) influenza virus hemagglutinin with monoclonal antibodies and the selection of variants with potential e[idemiological significance. Virology 104, 139-148.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] Webster, R.G., Shortridge, K.F., Kawaoka, Y., 1997, Influenza: interspecies transmission and emergence of new pandemics. FEMS Immunol Med Microbiol 18, 275-279

[29] WHO 2006. Cumulative Number of Confirmed Human Cases of Avian Influenza A/(H5N1) Reported to WHO. http:/www.who.int/csr/disease/avian_influenza/country/cases_table_2006_08_23/en/index.html

[30] Wright, P.F., Webster, R.G., 2001, Fields Virology, 4th Edition. Lippincott Wiliams & Wilkins.

[31] วิชิต หล่อจีระชุณห์กุล และ จิราวัลย์ จิตรถเวช, "*เทคนิคการพยากรณ์*", โครงการส่งเสริมเกสารวิชาการสถาบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2548.

[32] ประวีณา อมรรัตนกุล และ ทีมงานสำนักพิมพ์สามย่าน.com, "*คู่มือนักออกแบบ Microsoft Visual Basic Design Patterns*", โรงพิมพ์DLS, 2544.

[33] ศุภชัย สมพานิช, "*Advanced Database Programming ด้วย VB6+ ,VB.NET*", ไอดีซีฯ, 2548.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้