

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองตามอายุสำหรับการระบาดของโรคมalaria

AGE DISTRIBUTION MODEL FOR THE TRANSMISSION OF MALARIA



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 73340
วัน,เดือน,ปี 12 ก.ค. 2550

b. 11790164
i.

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AGE DISTRIBUTION MODEL FOR THE TRANSMISSION OF MALARIA



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองตามอายุสำหรับการระบาดของโรคมาลาเรีย
AGE DISTRIBUTION MODEL FOR THE TRANSMISSION OF
MALARIA

ชื่อนักศึกษา นายทรัพย์สินชัย เอกอิมทรัพย์ 46050015
นางสาวกรรณิการ จำปาปาน 46050582
นางสาวปรารธนา เกิดมณี 46050591

ภาควิชา คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
สาขาวิชา คณิตศาสตร์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พนัสนิ พงศ์สัมพันธ์

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นำปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2549

	คณะกรรมการ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.จินดา ไชยช่วย	
กรรมการ	อ.ศิริกุล บัณฑิตเสาวภาคย์	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พนัสนิ พงศ์สัมพันธ์	

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ บุญจริง)

หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองตามอายุสำหรับการระบาดของโรคมลาเรีย		
ชื่อนักศึกษา	นายทรัพย์สินชัย	เอกอิมทรัพย์	46050015
	นางสาวกรรณิการ	จำปาปาน	46050582
	นางสาวปรารธนา	เกศมณี	46050591
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์		
สาขาวิชา	คณิตศาสตร์ประยุกต์		
ปีการศึกษา	2549		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พันธ์นี้ พงศ์สัมพันธ์		

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดอัตราการระบาดของโรคมลาเรียในประเทศไทย เนื่องจากปัจจุบันโรคมลาเรียเป็นโรคที่อยู่ในกลุ่มที่ยังต้องเฝ้าระวังอยู่ เพราะเป็นโรคที่สามารถทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้ ถึงแม้ว่าการแพทย์และการสาธารณสุขของไทยจะเจริญขึ้นมากแล้วก็ตาม แต่ก็ยังคงมีผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตตามภูมิภาคต่างๆ ด้วยโรคนี้อีก จากเหตุผลสำคัญข้อนี้ ผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการที่จะหาวิธีการในการลดอัตราการระบาดของโรค จึงได้ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ นำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อการสาธารณสุขของประเทศต่อไป ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ได้จากการศึกษาหลักการคิดเชิง วงจรชีวิตของยุงซึ่งเป็นพาหะนำโรค และวงจรชีวิตของเชื้อปรสิตจำพวก *Plasmodium malariae*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium falciparum* และ *Plasmodium ovale* ซึ่งเชื้อทั้ง 4 ชนิดทำให้เกิดโรคมลาเรียในประเทศไทย นอกจากนี้ยังศึกษาอายุของผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้อรวมทั้งทฤษฎี steady state และความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (recurrence relations) แล้วจึงนำข้อมูลของผู้ป่วยและทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นมาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และเพื่อให้เห็นผลการใช้งานแบบจำลองนี้ได้จริง จึงได้มีการพัฒนาโดยนำมาสร้างเป็นโปรแกรมสำหรับคำนวณหาผลลัพธ์จากข้อมูลจริง และเพื่อใช้เป็นแนวทางการค้นคว้าวิจัยหาวิธีการลดอัตราการระบาดของโรคต่อไป

Special Project Title	AGE DISTRIBUTION MODEL FOR THE TRANSMISSION OF MALARIA		
Student	Mr. Subsinchai Eakimsub		46050015
	Miss Kunnikar Jumpaparn		46050582
	Miss Pradtana Kerdmanee		46050591
Degree	Bachelor of Science		
Department	Mathematics and Computer Science , Faculty of Science		
Program	Applied Mathematics		
Academics Year	2006		
Special Project Advisor	Dr.Puntani	Pongsumpun	

ABSTRACT

The purpose of this special problem is to reduce the outbreak of Malaria in Thailand. Nowadays, Malaria is a disease which we must be careful because patient can be died from this disease. Although medical and public health are both developed, but there are always persons die due to this disease almost provincial of Thailand. From this reason, we look for finding methods to reduce the transmission rate of 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 mosquitoes and life cycle's parasite type *Plasmodium malariae* , *Plasmodium vivax* , *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium ovale*. These 4 types are usually found in Thailand. Furthermore, the age group of patients is considered to formulate the model. The steady state theorem and recurrence relations are studied. 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.

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีนั้นอันเนื่องมาจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พันธ์นิ พงศ์สัมพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการตรวจสอบปัญหาพิเศษ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆ ในการจัดทำปัญหาพิเศษ รวมทั้งได้กรุณาเสียสละเวลาช่วยตรวจทานแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้สำเร็จสมบูรณ์เรียบร้อยด้วยดี ทั้งยังดูแลเอาใจใส่การทำงานของคณะผู้จัดทำและให้ความรู้พร้อมกับประสบการณ์ที่ดีต่างๆ ตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่คอยสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาองค์ความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้จัดทำโดยตลอดมา รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่ช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาที่ได้ให้การสนับสนุนทุกประการทางการศึกษาของผู้จัดทำ และยังให้กำลังใจตลอดมาจนถึงปัจจุบัน และต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกท่านที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ จนปัญหาพิเศษนี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปัญหาพิเศษฉบับนี้ ผู้จัดทำขออุทิศแด่ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของปัญหา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โรคมาลาเรีย.....	4
2.1.1 การกระจายทางภูมิศาสตร์.....	4
2.1.2 กายรูปวิทยาและวงจรชีวิต.....	4
2.1.2.1 ระยะไม่ใช้เพศ (Asexual phase) หรือ (Schizogony) ในคน.....	5
2.1.2.2 ระยะใช้เพศ หรือ Sexual phase (sporogony) ในยุงก้นปล่อง.....	9
2.1.3 สาเหตุของการติดเชื้อ (Course of infection).....	10
2.1.3.1 Pernicious malaria หรือไข้มาลาเรียชนิดรุนแรง.....	11
2.1.3.2 ไข้กลับ (Relapse).....	12
2.1.3.3 ไข้น้ำดำ (black water fever).....	12
2.1.4 การวิเคราะห์โรค.....	12
2.1.5 การรักษา (chemotherapy).....	14
2.1.5.1 ใช้ป้องกัน (prophylactic use)	14
2.1.5.2 ใช้รักษา (therapeutic use).....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.6 ภูมิคุ้มกัน (malaria immunity).....	14
2.1.7 การสร้างภูมิคุ้มกันโดยการให้วัคซีน (immunization against malaria).....	15
2.1.8 วิทยาการระบาดของไข้มาลาเรียในประเทศไทย.....	15
2.1.8.1 ยุงพาหะนำเชื้อมาลาเรีย.....	16
2.1.9 การป้องกันและควบคุมโรคไข้มาลาเรีย.....	18
2.1.9.1 การใช้ยาป้องกันไข้มาลาเรีย	19
2.1.10 การวิจัยโรคทางห้องปฏิบัติการ.....	21
2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	25
2.2.1 แบบจำลอง.....	25
2.2.2 กระบวนการสร้างแบบจำลอง (model construction process).....	27
2.2.3 ประเภทของแบบจำลอง (model classification).....	27
2.2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	28
2.3 การหาผลเฉลยความเสถียรของระบบ (Steady State Solution).....	29
2.3.1 แบบจำลองความเสถียรของระบบ (Steady State) ไม่เชิงเส้นชนิด ไม่ต่อเนื่อง.....	29
2.3.2 แบบจำลองความเสถียรของระบบ ไม่เชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง (continuous models).....	31
2.4 ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (recurrence relations).....	33
2.4.1 ประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด.....	35
2.4.2 การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิด(Solving recurrence relations).....	36
2.4.3 การหาผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นเอกพันธ์ (Solving Linear homogeneous recurrence relations).....	39
2.4.4 การหาผลเฉลยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นไม่เอกพันธ์ (Solving Non-Linear.....	41
2.5 การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ.....	45
2.6 การทดสอบของโคล โมโกรอฟ-สเมร์โนฟ สำหรับตัวอย่างชุดเดียว (The Kolmogorov-Smirnov One Sample Test).....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การเปรียบเทียบการทดสอบการแจกแจงด้วยวิธีโคสแควร์ และ โคลโมโกรอฟ- สเมอร์นอฟ.....	57
บทที่ 3 แบบจำลองของโรคมลาเรีย.....	58
3.1 ข้อมูลโรคมลาเรีย.....	58
3.2 แบบจำลองตามอายุสำหรับ โรคมลาเรีย.....	65
บทที่ 4 การวิเคราะห์แบบจำลอง.....	74
4.1 ทห Steady State Solution.....	74
4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	85
4.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม.....	90
4.4 ตัวอย่างข้อมูลจริงของ 5 จังหวัดของปีพ.ศ.2542.....	103
บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ.....	135
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	135
5.2 ข้อจำกัดของโปรแกรม.....	135
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	136
ภาคผนวก	
Table Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test*.....	138
บรรณานุกรม.....	139

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเจริญของเชื้อมาลาเรียกับจำนวนของเมอโรซอยต์ตั้งแต่สปอร์โรซอยต์เข้าสู่เซลล์ค้ำจนกลายเป็นเมอโรซอยต์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อมาลาเรีย.....	6
2.2 แสดงจำนวนของเมอโรซอยต์ในระยะไซซอนท์.....	8
2.3 เปรียบเทียบระยะเวลาระหว่างระยะ ก่อนที่เชื้อจะปรากฏ และ ระยะฟักตัว.....	10
2.4 เปรียบเทียบปริมาณเชื้อที่ลดลงเมื่อร่างกายมีการสร้างภูมิคุ้มกันแล้ว.....	10
2.5 แสดงตัวอย่างประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มีกพบบ่อย	36
2.6 รูปแบบของ $f(n)$ ที่สามารถหาผลเฉลยเฉพาะได้ง่าย.....	42
2.7 แสดงรูปแบบของผลเฉลยเฉพาะสำหรับแต่ละรูปแบบของ $f(n)$	42
4.1 แสดงการคำนวณของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	109
4.2 แสดงการคำนวณของจังหวัดกาญจนบุรี.....	115
4.3 แสดงการคำนวณของจังหวัดตราด.....	121
4.4 แสดงการคำนวณของจังหวัดอุบลราชธานี.....	127
4.5 ตารางการคำนวณของจังหวัดระนอง.....	133

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรชีวิตของเชื้อมาลาเรีย.....	5
2.2 แสดงวัฏจักรของระยะไม่ใช้เพศ (Schizogony Cycle)	5
2.3 แสดงลักษณะของ Schuffner's dots และ Maurer's dots.....	7
2.4 แสดงเซลล์เพศผู้และเซลล์เพศเมียของแกมีโตไซต์.....	8
2.5 แสดงการตรวจหาเชื้อด้วยการเจาะเลือด.....	12
2.6 อาการของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย.....	12
2.7 อาการของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย.....	12
2.8 อาการของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย.....	12
2.9 อาการของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย.....	12
2.10 แสดงถึงวงจรชีวิตของยุง.....	14
2.11 แสดงลักษณะของยุงก้นปล่องซึ่งเป็นพาหะของ โรคมาลาเรีย.....	15
2.12 แสดงลักษณะของยุงก้นปล่องซึ่งเป็นพาหะของ โรคมาลาเรีย.....	15
2.14 แสดงการใช้ฟิล์มในการตรวจดูเชื้อ.....	19
2.15 แสดงภาพของเชื้อชนิด ไวแก็กซ์ ในระยะ trophozoit ซึ่งเห็น Schuffner's dots โดยชัดเจน.....	20
2.13 แสดงแผ่นคาร์ดที่ใช้ในการตรวจเลือดที่ให้ผลการตรวจอย่างรวดเร็ว.....	20
2.16 แสดงสีของ ไซโตพลาสซึม(cytoplasm) ซึ่งเป็นการย้อมด้วยสี (Giemsa)	21
2.17 แสดงแนวคิดของกระบวนการสร้างแบบจำลอง.....	24
2.18 อธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	25
2.19 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	26
3.1 กราฟรวม 10 ปีของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย.....	59
3.2 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	60
3.3 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดกาญจนบุรี.....	60
3.4 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดตราด.....	61
3.5 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดอุบลราชธานี.....	62
3.6 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดระนอง.....	63
3.7 กราฟรวม 10 ปีของผู้ป่วยโรคมาลาเรียที่แบ่งตามชนิดของเชื้อ.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 กราฟผู้ป่วยโรคมาลาเรียของจังหวัดที่พบมากที่สุดในปี พ.ศ. 2542 ที่โดยแบ่งตามชนิดของเชื้อ.....	64
3.9 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของประชากรที่ป่วยเป็นโรคมาลาเรีย (พิจารณากลุ่มอายุที่ 1 ถึง ๗).....	67
3.10 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของยุง.....	65
4.1 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับรายละเอียดของยุงกันปล่อง.....	86
4.2 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้จากโรคมาลาเรีย.....	87
4.3 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรีย แต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้.....	88
4.4 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ.....	89
4.5 หน้าจอโปรแกรมหลัก.....	90
4.6 หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ.....	91
4.7 หน้าจอแสดงการกำหนดพารามิเตอร์.....	92
4.8 หน้าจอแสดงวิธีการใช้โปรแกรม.....	93
4.9 หน้าจอกำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์.....	94
4.10 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้.....	95
4.11 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข.....	95
4.12 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลไม่ครบ.....	96
4.13 แสดงข้อผิดพลาดจากการไม่ได้คลิกปุ่มผลรวม.....	96
4.14 หน้าจอแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยุงกันปล่อง.....	96
4.15 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลไม่ครบ.....	97
4.16 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข.....	97
4.17 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมีค่ามากกว่า 1 ขึ้นไป.....	97
4.18 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์.....	98
4.19 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้น ไข้จากโรคมาลาเรีย.....	99
4.20 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้.....	100
4.21 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อมาลาเรีย.....	101
4.22 หน้าจอสรุป.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 หน้าจอแสดงคำถามก่อนจะออกจากโปรแกรม.....	103
4.24 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด แม่ฮ่องสอน.....	105
4.25 หน้าจอแสดงรายละเอียดของบู่งกันปล่องของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	105
4.26 หน้าแสดงค่าพารามิเตอร์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	106
4.27 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ฟื้นไข้จาก โรคมาลาเรียของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	106
4.28 หน้าจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด แม่ฮ่องสอน.....	107
4.29 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ โรคมาลาเรีย.....	107
4.30 หน้าจอสรุปข้อมูลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	108
4.31 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด กาญจนบุรี.....	111
4.32 หน้าจอแสดงรายละเอียดของบู่งกันปล่องของจังหวัดกาญจนบุรี.....	111
4.33 หน้าแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ.....	112
4.34 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ฟื้นไข้จาก โรคมาลาเรียของจังหวัดกาญจนบุรี.....	112
4.35 หน้าผลการคำนวณของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด กาญจนบุรี.....	113
4.36 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ โรคมาลาเรียของจังหวัดกาญจนบุรี.....	113
4.37 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดกาญจนบุรี.....	114
4.38 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด ตราด.. ..	117
4.39 หน้าจอแสดงรายละเอียดของบู่งกันปล่องของจังหวัดตราด.....	117
4.40 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆของจังหวัดตราด.....	118
4.41 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ฟื้นไข้จาก โรคมาลาเรียของจังหวัดตราด.....	118
4.42 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด ตราด.....	119
4.43 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ โรคมาลาเรียของจังหวัดตราด.....	119
4.44 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดตราด.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.45 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด อุบลราชธานี.....	123
4.46 หน้าจอแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ปล่องของจังหวัดอุบลราชธานี.....	123
4.47 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของจังหวัดอุบลราชธานี.....	124
4.48 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่พ้นไขจากโรคมาลาเรียของจังหวัดอุบลราชธานี.....	124
4.49 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด อุบลราชธานี.....	125
4.50 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ โรคมาลาเรียของจังหวัดอุบลราชธานี.....	125
4.51 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดอุบลราชธานี.....	126
4.52 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด ระนอง.....	129
4.53 หน้าจอแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ปล่องของจังหวัดระนอง.....	129
4.54 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของจังหวัดระนอง.....	130
4.55 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่พ้นไขจาก โรคมาลาเรียของจังหวัดระนอง.....	130
4.56 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัด ระนอง.....	131
4.57 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ โรคมาลาเรียของจังหวัดระนอง.....	131
4.58 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดระนอง.....	132

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยประสบกับปัญหาโรคไข้มาลาเรียอย่างมาก โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ๆ ดินกับป่าหรือตามบริเวณต่างๆ ที่มีการระบาดของโรคโดยมียุงก้นปล่อง เป็นพาหะนำโรค ถึงแม้ว่าแนวโน้มของผู้ป่วยจะลดลงในบางปีก็ตาม แต่ก็ยังเป็นโรคที่ต้องมีการเฝ้าระวังอยู่ตลอดเวลาเพราะเป็นโรคที่ถือว่าร้ายแรงอีกโรคหนึ่ง ดังนั้นจากเหตุผลสำคัญเหล่านี้จึงสมควรอย่างยิ่งที่ควรจะลดการระบาดของโรคนี้ โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่ม-ลดของจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี แต่ละภูมิภาค และแต่ละจังหวัดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2548
- 2) เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมมาเลีย แล้วยังใช้เป็นตัวบ่งชี้วัดสำหรับการคาดการณ์จำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี อีกทั้งยังใช้เป็นแนวทางหาวิธีการป้องกันโรคและลดจำนวนผู้ป่วยต่อไป
- 3) เพื่อหาว่าอัตราการเกิดโรคของจำนวนผู้ป่วยเกิดกับประชากรในช่วงวัยใดมากที่สุดและน้อยที่สุดตามข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้
- 4) เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการควบคู่กับสถิติการเกิดโรคของประเทศไทยทั่วทุกภูมิภาคของโรคที่ควรเฝ้าระวัง ของทางสำนักกระบวนวิชา และกรมควบคุมโรคติดต่อที่นำโดยแมลง กระทรวงสาธารณสุข

1.3 ขอบเขตของปัญหา

วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยสำหรับแต่ละช่วงอายุในแต่ละปี แต่ละภูมิภาค และแต่ละจังหวัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2548 เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมมาเลีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ช่วยในการลดงบประมาณของประเทศในการรักษาคนไข้ที่เป็นโรคมมาเลีย
- 2) เสนอแนวทางใหม่ในการลดการระบาดของโรคมมาเลีย
- 3) เป็นแนวทางการวิจัยสำหรับผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับวิธีการควบคุมการระบาดของโรคควบคู่ไปกับแนวความคิดเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

- 1) รวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดโรค โดยแยกตามอายุของประชากรทั้งหมดของประเทศไทย
- 2) วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการเกิดโรค โดยแยกตามอายุของประชากรทั้งหมดของประเทศไทยในเชิงลึก
- 3) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมลาเรีย
- 4) วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่สามารถควบคุมการระบาดของโรคนี้อได้
- 5) ทดลองนำแบบจำลองไปใช้จริงกับข้อมูลและใช้กับการคาดการณ์จำนวนผู้ป่วยในปีต่อไป
- 6) ทดสอบแบบจำลองที่ได้ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่
- 7) พัฒนาแบบจำลองที่ได้ใหม่ถ้าแบบจำลองยังคงไม่เหมาะสม
- 8) สรุปผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาแบบจำลองต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาการดำเนินงานศึกษาและจัดทำปัญหาพิเศษ

จาก เมษายน 2549 - กุมภาพันธ์ 2550

ขั้นตอนการดำเนินงาน / ระยะเวลา	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์
ศึกษาค้นคว้าหัวข้อปัญหาพิเศษ	←	←									
ค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆของปัญหาพิเศษ			↕	↕	↕	↕	↕	↕			
เก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดโรค				↕	↕	↕	↕	↕			
วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการเกิดโรค				↕	↕	↕	↕	↕			
ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง				↕	↕	↕	↕	↕			
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์				↕	↕	↕	↕	↕			
วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในการควบคุมโรค				↕	↕	↕	↕	↕			
จัดทำโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ทดสอบแบบจำลองและคาดการณ์							↕	↕			
ทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจริง									↕	↕	↕
ปรับปรุงแก้ไข โปรแกรม									↕	↕	↕
พัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสม									↕	↕	↕
ทดสอบผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม									↕	↕	↕
สรุปผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง									↕	↕	↕
จัดทำรายงานการทดสอบแบบจำลอง									↕	↕	↕
จัดทำรูปเล่มรายงานที่สมบูรณ์									↕	↕	↕
ตรวจสอบรูปเล่มรายงานปัญหาพิเศษ									↕	↕	↕

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคมาลาเรีย

เป็นโรคหรือภาวะติดเชื้อในคนที่มีสาเหตุมาจากโปรโตซัว Genus *Plasmodium* คำว่า malaria มาจากภาษาอิตาเลียน mal+aria แปลว่า bad air ถ้าเรียกตามหลักการเรียกชื่อโรคนี้ทางวิทยาศาสตร์ ควรเรียกว่า *Plasmodiosis* แต่คำนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้กัน ส่วนในประเทศไทยก่อนที่จะรู้จักคำว่า มาลาเรีย มีชื่อที่ใช้เรียกโรคนี้ ได้แก่ ไข้ป่า ไข้จับสั่น ไข้ป่า ไข้ร้อนเย็นและไข้ดอกสัก เชื้อมาลาเรียที่พบในปัจจุบันมีทั้งหมดกว่า 100 ชนิด ในจำนวนนี้มี 22 ชนิด ที่พบในสัตว์ชั้นสูง คือ ลิง และคน นอกนั้นเป็นเชื้อมาลาเรียของสัตว์จำพวกฟันแทะ ค้างคาว สัตว์ปีกและสัตว์เลื้อยคลาน เชื้อมาลาเรียที่จัดว่าเป็นปรสิตของคนมีเพียง 4 ชนิด ได้แก่

- 1) เชื้อมาลาเลีย (*Plasmodium malariae*) (Laveran, 1880), Quartan malaria
- 2) เชื้อไวแวกซ์ (*Plasmodium vivax*) (Grassi and Feletti, 1890), Benign tertian malaria
- 3) เชื้อฟัลซิพารัม (*Plasmodium falciparum*) (Welch, 1897), Malignant tertian malaria
- 4) เชื้อโอวัลเล (*Plasmodium ovale*) (Stephens, 1922), Ovale tertian malaria

2.1.1 การกระจายทางภูมิศาสตร์

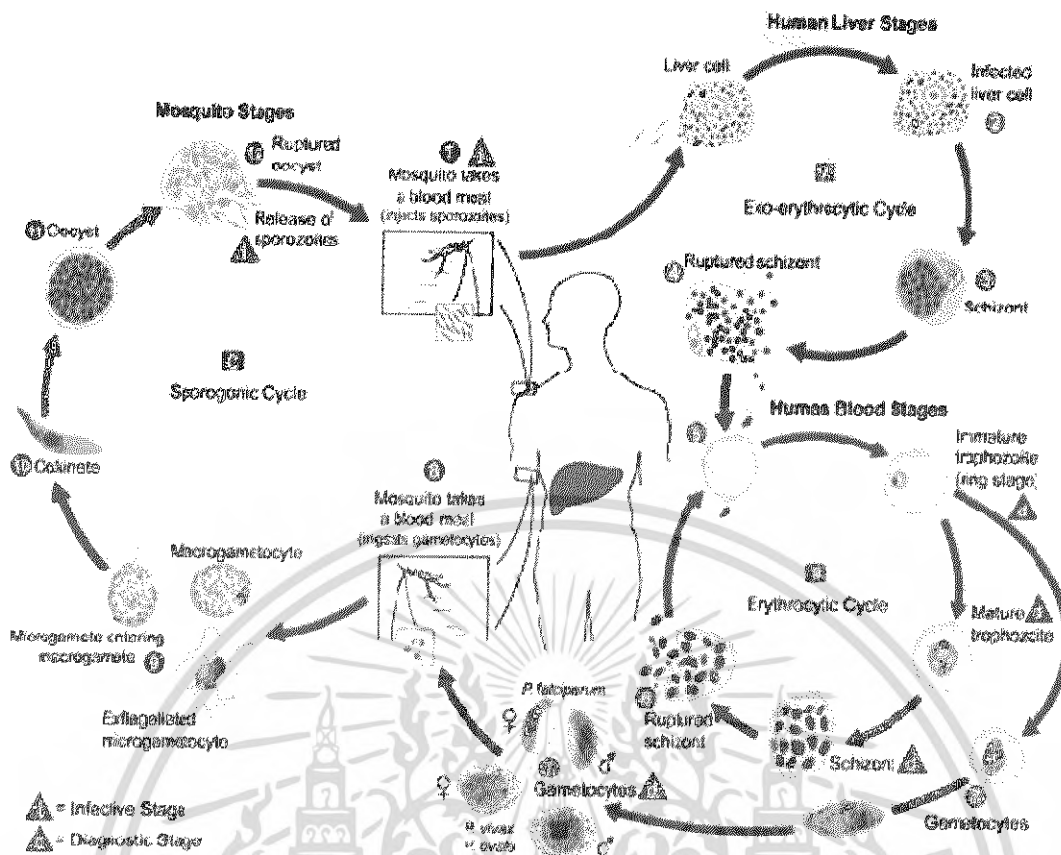
เชื้อมาลาเรียชนิดไวแวกซ์ และ เชื้อมาลาเรียชนิดมาลาเลีย พบได้ทั่วโลกในเขตอบอุ่นและเขตร้อน เชื้อมาลาเรียชนิดฟัลซิพารัม พบในเขตร้อนและกึ่งร้อน ส่วน เชื้อมาลาเรียชนิดโอวัลเล พบในเขตร้อนของทวีปแอฟริกาและในเอเชีย มาลาเรียทั้งสี่ชนิดนี้จะไม่พบในหมู่เกาะฮาวาย และหลายๆ เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์

2.1.2 กายรูปวิทยาและวงจรชีวิต

วงจรชีวิตของเชื้อมาลาเรียทั้งสี่ชนิดนี้เหมือนกัน โดยประกอบด้วยระยะใช้เพศ (sexual phase) หรือ sporogony ซึ่งเกิดขึ้นในยุงก้นปล่อง (*Anopheles*) และระยะไม่ใช้เพศ (Asexual Phase) หรือ schizogony ซึ่งเกิดขึ้นในคน

ในส่วนของที่เกิเกิดขึ้นในคนนั้นยังแบ่งเป็น 2 ระยะคือ

- 1) ระยะที่เกิเกิดขึ้นในเซลล์ตับ (liver parenchymal cells หรือ hepatocytes) เรียกว่า exoerythrocytic schizogony หรือ tissue schizogony
- 2) ระยะที่เกิเกิดขึ้นในเม็ดเลือดแดง เรียกว่า erythrocytic schizogony หรือ blood schizogony



รูปที่ 2.1 วงจรชีวิตของเชื้อมาลาเรีย

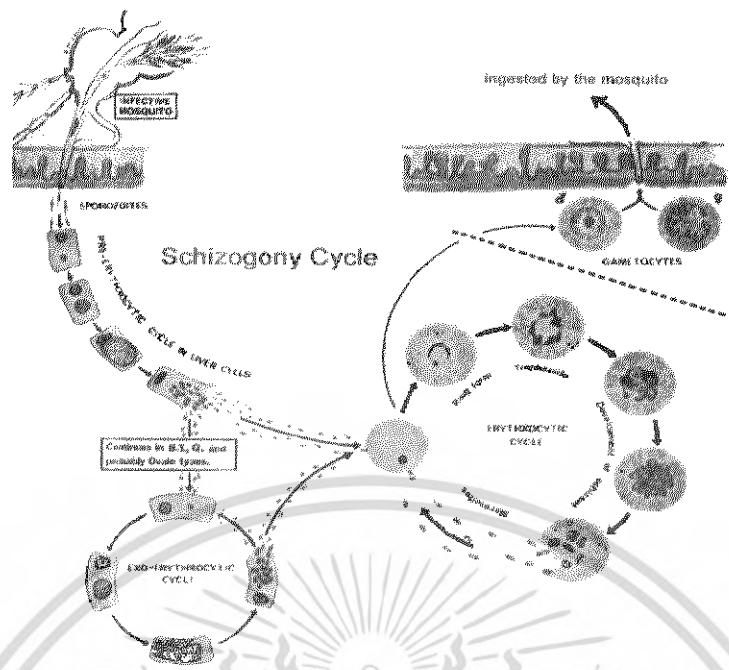
2.1.2.1 ระยะไม่ใช้เพศ (Asexual phase) หรือ (Schizogony) ในคน

1) ระยะที่เกิดขึ้นในเซลล์ตับ (Exoerythrocytic schizogony) เมื่อยุงก้นปล่องที่มีเชื้อมาลาเรียระยะติดต่อกับที่เรียกว่า สปอร์โรซอइट (sporozoites) กัดดูดเลือดคน สปอร์โรซอइट จะเข้าสู่คนโดยปะปนมากับน้ำลายของยุงเข้าสู่กระแสเลือด และหลังจากนั้นประมาณครึ่งชั่วโมง มันจะเข้าไปอยู่ในเซลล์ตับและมีการเจริญเติบโต แบ่งตัวเพิ่มจำนวนขึ้นมากมาย เรียกระยะนี้ว่า ระยะไซซอนท์ (schizont) ต่อมาประมาณ 8-15 วัน ไซซอนท์จะแก่และมีเมอโรซอइट (merozoites) อยู่มากมาย ไซซอนท์ที่แตกจะปล่อยเมอโรซอइटเข้าสู่กระแสเลือดเจริญเติบโตต่อไปในเม็ดเลือดแดง

ในเชื้อมาลาเรียไวแวกซ์ และ เชื้อ โอวัลเท สปอร์โรซอइटบางตัวจะเจริญอย่างช้า ๆ เรียกว่า hypnozoites ใช้เวลานานหลายเดือนกว่าจะได้ เมอโรซอइट เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการไข้กลับ (relapses)

โดยปกติระยะเวลาในการเจริญของเชื้อมาลาเรียตั้งแต่ สปอร์โรซอइट เข้าเซลล์ตับจนกลายเป็น เมอโรซอइट ขึ้นอยู่กับชนิดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงวัฏจักรของระยะไม่ใช้เพศ (Schizogony Cycle)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเจริญของเชื้อมาลาเรียกับจำนวนของเมอโรซอइटตั้งแต่สปอร์โรซอइटเข้าสู่เซลล์ตับจนกลายเป็นเมอโรซอइटซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อมาลาเรีย

ชนิดของเชื้อมาลาเรีย	ระยะเวลาที่เกิดขึ้นในเซลล์ตับ(วัน) (exoerythrocytic schizogony)	จำนวนของเมอโรซอइट (merozoites)
เชื้อไวแวกซ์	6-8	10,000
เชื้อมาลาลิอี่	12-16	2,000
เชื้อโอวัลเด	9	15,000
เชื้อฟัลซิพารัม	5.5-7	40,000

2) ระยะที่เกิดขึ้นในเม็ดเลือดแดง (Erythrocytic schizogony) เมื่อเมอโรซอइटเข้าไปในเม็ดเลือดแดงจะเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไปสามารถเห็นได้จากการย้อมสี เช่น Giemsa และ Wright เป็นต้น

การเจริญของเชื้อในเม็ดเลือดแดงแบ่งออกเป็นระยะ trophozoite และ ไซซอนท์
ระยะ trophozoite เป็นระยะที่กำลังเจริญเติบโต มีนิวเคลียสเดี่ยว มี 2 ระยะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- early trophozoite เป็นระยะที่ เมอโรซอยต์ เพิ่งเข้าไปได้ใหม่ ๆ เห็นเป็นรูปร่าง คล้ายวงแหวนมีโครมาติน(chromatin) หรือ นิวเคลียส(nucleus) ติดสีแดงเป็นจุด ไซโตพลาสซึมติด สีฟ้าหรือน้ำเงิน จึงมักเรียกระยะนี้ว่า "ring form"

- growing trophozoite เป็นระยะที่ต่อจาก ring form โดยไซโตพลาสซึมและ นิวเคลียสจะขยายใหญ่ขึ้น มีรูปร่างแตกต่างกันแล้วแต่ชนิด คือ

เชื้อชนิดไวแวกซ์ มีไซโตพลาสซึมยืดขยายออกไปมาก คล้ายตัวอมีบา จึงมัก เรียกว่า amoeboid form ส่วน เชื้อชนิดโอวัลเล่ ไซโตพลาสซึมมีการยืดขยายตัวออกไปไม่มากเท่า เชื้อชนิดไวแวกซ์

เชื้อชนิดมาลาเลีย มีไซโตพลาสซึมได้ 3 แบบคือ

- ไซโตพลาสซึมยืดขยายไม่มากคล้ายของ เชื้อชนิดโอวัลเล่ มีรูปร่างไม่แน่นอน
- ไซโตพลาสซึมเป็นแถบยาว มักเรียกว่า band form
- ไซโตพลาสซึมเป็นวง โท้ง มักเรียกว่า compact form

เชื้อชนิดฟัลซิพารัม มีการขยายของ ไซโตพลาสซึมแบบค่อนข้างกลม

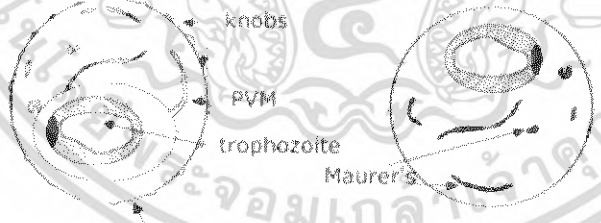
ในระยะ growing trophozoite นี้ เม็ดเลือดแดงที่เชื้ออาศัยอยู่จะเริ่มมีการ เปลี่ยนแปลงโดยมีจุด (stippling) สีชมพูขึ้น โดยทั่วไปมีชื่อเรียกดังนี้

ใน เชื้อมาลาเรียไวแวกซ์ และ เชื้อมาลาเรียโอวัลเล่ เรียกว่า Schuffner's dots

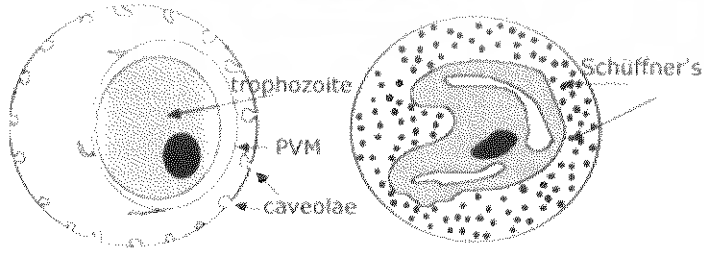
ใน เชื้อมาลาเรียมาลาเลีย เรียกว่า Ziemann's dots

ใน เชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม เรียกว่า Maurer's dots

Maurer's dots



Schuffner's dots



as seen by E.M.

as seen on thin film

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของ Schuffner's dots และ Maurer's dots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามในฟิล์มเลือดข้อมส้น Schuffner's dots จะเห็นได้ง่ายและเด่นชัดกว่าอย่างอื่น Ziemann's dots มักจะมองไม่เห็นจากการย้อมสีตามปกติ ส่วน Maurer's dots มักเริ่มเห็นในระยะ growing trophozoite

นอกจากนี้ในไซโตพลาสซึมของเชื้อมาลาเรียจะเริ่มมีเม็ดสีน้ำตาลหรือดำ ซึ่งเกิดจากการที่เชื้อมาลาเรียกินฮีโมโกลบินแล้วเปลี่ยนเป็น hemozoin เรียกเม็ดสีเหล่านี้ว่า malarial pigment

ระยะไซซอนท์ schizont เป็นระยะที่เชื้อมีการแบ่งนิวเคลียสแล้ว เริ่มจากมี 2 ก้อนขึ้นไป นิวเคลียสจะแบ่งตัวไปเรื่อยๆ แต่ยังไม่มีการแบ่งไซโตพลาสซึม เรียกระยะนี้ว่า immature schizont ต่อเมื่อมีการแบ่งนิวเคลียสครบแล้ว ไซโตพลาสซึมจึงแยกไปรวมกับนิวเคลียสแต่ละอัน กลายเป็นเมอโรซอइटอยู่เม็ดเลือดแดง เรียกระยะนี้ว่า mature schizont จำนวนเมอโรซอइट มีมากขึ้นแตกต่างกันแล้วแต่ชนิด ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงจำนวนของเมอโรซอइटในระยะไซซอนท์

ชนิดของเชื้อมาลาเรีย	จำนวนเมอโรซอइट (merozoites)
เชื้อไวแวกซ์	12-24 (ส่วนใหญ่ 16)
เชื้อโอวัลเล	4-12 (ส่วนใหญ่ 8)
เชื้อมาลาลิอี	6-12 (ส่วนใหญ่ 8)
เชื้อฟัลซิพาร์ม	12-30

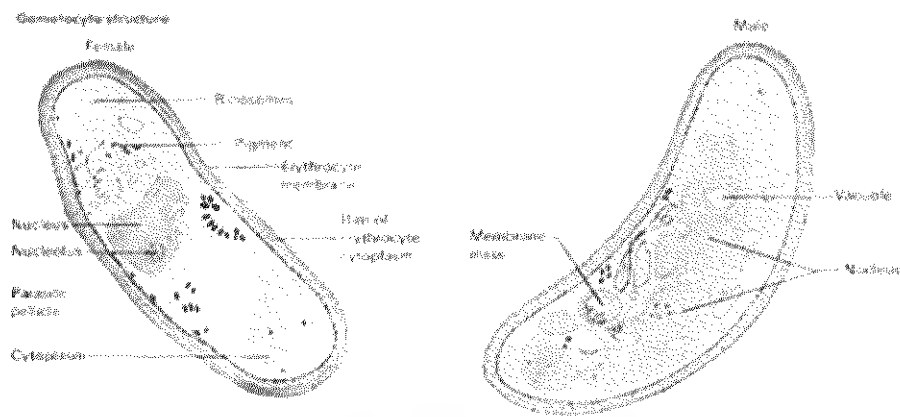
ผนังเม็ดเลือดแดงที่มี mature schizont แก่เต็มที่จะแตกและปล่อย เมอโรซอइटออกมาเข้าสู่เม็ดเลือดแดงใหม่เป็นการเริ่มวงจร erythrocytic schizogony ซ้ำอีก

ระยะเวลาตั้งแต่ เมอโรซอइट เข้าไปในเม็ดเลือดแดงแล้วเจริญจนได้ เมอโรซอइटใหม่ ใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง ในเชื้อมาลาเรียไวแวกซ์, โอวัลเล และ ฟัลซิพาร์ม ส่วน เชื้อมาลาลิอี ใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการไข้มาลาเรีย

เมอโรซอइट ที่เกิดจาก erythrocytic schizogony บางตัว หลังจากที่เข้าสู่เม็ดเลือดแดงแล้ว แทนที่จะเจริญต่อไปแบบ schizogony กลับเจริญไปเป็นแบบ gametocytogony ได้เซลล์เพศ หรือ แกมิโตไซต์ (gametocyte) ซึ่งมี 2 ประเภทคือเซลล์เพศผู้ (male gametocyte หรือ microgametocyte) และเซลล์เพศเมีย (female gametocyte or macrogametocyte) เซลล์เพศจะปรากฏให้เห็นหลังจากที่คนไข้มีอาการแล้ว ประมาณ 4 วัน ใน เชื้อไวแวกซ์ และ 8 วัน ใน เชื้อฟัลซิพาร์ม

ลักษณะรูปร่างของเซลล์เพศ เชื้อไวแวกซ์, เชื้อโอวัลเล และ เชื้อมาลาลิอี จะกลม ส่วนของ เชื้อฟัลซิพาร์ม เมื่อแก่เต็มที่จะมีรูปร่างคล้ายกล้วยหอมหรือพระจันทร์เสี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



103. Male and female gametocytes of *Plasmodium falciparum*.

In the male the nucleus predominates; it contains 8 pyromeres. In the female the cytoplasm is more abundant and appears more active.

From the Wellcome Trust

รูปที่ 2.4 แสดงเซลล์เพศผู้และเซลล์เพศเมียของแกมีโตไซต์

2.1.2.2 ระยะเวลาใช้เพศ หรือ Sexual phase (sporogony) ในยุงที่นำปล่อง

เมื่อยุงกัดดูดเลือดคนที่มีแกมีโตไซต์ (gametocytes) เข้าไปในกระเพาะ (mid gut) ภายใน 5-30 นาที เซลล์เพศผู้ (microgametocytes) จะมีการแบ่งนิวเคลียสและไซโตพลาสซึม โดยวิธีที่เรียกว่า exflagellation ให้เซลล์คล้ายสปอร์ ประมาณ 6-8 ตัว แต่ละตัวเรียกว่า microgamete ส่วน เซลล์เพศเมีย (macrogametocytes) จะกลายเป็น macrogamete โดยมีรูปร่างไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และไม่มีการแบ่งตัว หลังจากผสมพันธุ์กันแล้วได้เซลล์ไซโกต (zygote) ต่อจากนั้น 12-24 ชั่วโมงจะกลายเป็นโอโอไคเนต (ookinete) ซึ่งเคลื่อนไหวได้ช้า ๆ และไซผ่านเซลล์หรือช่องว่างระหว่างเซลล์บุผนังกระเพาะยุง เข้าไปอยู่ระหว่างผนังด้านนอกและด้านในของกระเพาะ เจริญต่อไปเป็นถุงที่เรียกว่า โอโอซิสต์ (oocyst) ซึ่งจะเริ่มเห็นได้ในวันที่ 3 และจะค่อยๆ โตขึ้น จนในที่สุดเกิดมีเซลล์รูปกระสวยเรียกว่า สปอโรซอइट อยู่ภายในหลายพันตัว โอโอซิสต์ เมื่อแก่เต็มที่ถุงจะแตกและปล่อย สปอโรซอइट เข้าสู่ช่องว่างภายในลำตัวของยุง (haemocoel) ในที่สุดจะเข้าไปอยู่ในต่อมน้ำลายของยุง พร้อมทั้งจะถ่ายทอดสู่คนต่อไป

ระยะเวลาที่ยุงเริ่มแกมีโตไซต์ จนกระทั่งมี สปอโรซอइट อยู่ในต่อมน้ำลาย กินเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ ที่ 25°C แต่ถ้าอุณหภูมิเย็นลง วงจรชีวิต sporogony จะยืดยาวออกไป ถ้าต่ำกว่า 20°C จะไม่เกิด sporogony ใน เชื้อมาลาเรียชนิดฟัลซิพารัม และต่ำกว่า 16°C จะไม่เกิด sporogony ในมาลาเรียทุกชนิด

2.1.3 สาเหตุของการติดเชื้อ (Course of infection)

ระยะเวลาตั้งแต่คนได้รับเชื้อมาลาเรียระยะสปอโรซอยต์ จากยุงก้นปล่อง ไปจนถึงการเริ่มมีเชื้อปรากฏในกระแสเลือด เรียกว่า prepatent period ซึ่งจะสั้นกว่าระยะ incubation period หรือระยะเวลาที่ได้รับเชื้อมาเริ่มมีอาการ ช่วงระยะเวลาทั้งสองของเชื้อมาลาเรียแต่ละชนิดเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบระยะเวลาระหว่างระยะ ก่อนที่เชื้อจะปรากฏ และ ระยะฟักตัว

ชนิดของเชื้อมาลาเรีย	ระยะเริ่มมีเชื้อปรากฏ(วัน) prepatent period	ระยะฟักตัว (วัน) incubation period
เชื้อไวแวกซ์	11-13	13(12-17)หรืออาจจะเป็นเดือน
เชื้อโอวัลเต	10-14	17(16-18) หรือมากกว่า
เชื้อฟัลซิพารัม	9-16	12(9-14)
เชื้อมาลาเลีย	15-16	28(18-40) หรือมากกว่า

นอกจากการติดเชื้อมาลาเรียโดยถูกยุงก้นปล่องกัดแล้ว คนยังสามารถติดเชื้อมาลาเรียได้จากเชื้อระยะที่อยู่ในเม็ดเลือด เช่น การเติมเลือด ในกรณีเช่นนี้ค่าทั้งสองจะสั้นลงขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อที่ได้รับ

เชื้อมาลาเรียที่อยู่ในเลือดจะมีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนใหญ่แล้วเชื้อมาลาเรียไวแวกซ์ , เชื้อมาลาเรียมาลาเลีย และ เชื้อมาลาเรียโอวัลเต มักก่อให้เกิดอาการที่ไม่รุนแรงนัก ส่วนเชื้อฟัลซิพารัม ประมาณ 50% ของผู้ป่วยจะเสียชีวิตถ้าไม่ได้รับการรักษา เนื่องจากเชื้อทำให้เกิดพยาธิสภาพรุนแรงมาก เมื่อร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันเกิดขึ้นปริมาณเชื้อมาลาเรียในกระแสเลือดจะลดลงและหายเป็นปกติขึ้นอยู่กับชนิดของมาลาเรีย

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบปริมาณเชื้อที่ลดลงเมื่อร่างกายมีการสร้างภูมิคุ้มกันแล้ว

ชนิดของเชื้อมาลาเรีย	ปริมาณเชื้อในเลือด (ต่อไมโครลิตร) เฉลี่ย/มากที่สุด	ระหว่างที่มีการติดเชื้อ เฉลี่ย/มากที่สุด (ปี)
เชื้อไวแวกซ์	20,000/50,000	2/8
เชื้อโอวัลเต	9,000/30,000	1/5
เชื้อมาลาเลีย	6,000/20,000	4/53
เชื้อฟัลซิพารัม	20,000-50,000/2,000,000	1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนที่ป่วยเป็นไข้มาลาเรียระยะเริ่มแรกอาจมีอาการคล้ายกับคนเป็นไข้หวัด เช่น ปวดหัว คลื่นไส้ อย่างไรก็ตามการเป็นไข้มาลาเรียแตกต่างจากไข้ทั่ว ๆ ไป โดยมีรูปแบบเฉพาะที่เรียกว่า malaria paroxysm มี 3 ระยะตามลำดับคือ

- 1) ระยะหนาวสั่น (the cold stage) ผู้ป่วยจะรู้สึกหนาวสั่น อาจถึงกับพ่นกระพอบกัน อาจมีปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ระยะนี้กินเวลาประมาณ 5-60 นาที
- 2) ระยะมีไข้ (the hot stage) ผู้ป่วยเริ่มรู้สึกร้อน ทั้งฝ่ามือ หน้าตาแดง ผิวหนังแห้ง ซิพจรเร็วและแรง หายใจเร็ว ปวดศีรษะ รุนแรงขึ้น กอแห้ง คลื่นไส้ บางทีอาเจียน อุณหภูมิสูงถึง 105 °F ระยะนี้กินเวลาประมาณ 2-6 ชั่วโมง
- 3) ระยะเหงื่อออก (the sweating stage) ไข้ลดลง มีเหงื่อออกจนเปียกชุ่ม ผู้ป่วยรู้สึกสบายขึ้นและอ่อนเพลียมาก ระยะนี้กินเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง

หลังพ้นระยะเหงื่อออกแล้ว ผู้ป่วยจะกลับหายเป็นปกติเหมือนไม่มีอะไรเกิดขึ้น สามารถทำงานได้ตามเดิม ซึ่งระยะที่ไม่มีไข้เป็นระยะที่เชื้อในเม็ดเลือดแดงกำลังเจริญเติบโตในระยะ trophozoite ไปจนถึงระยะก่อนที่ mature schizont จะแตก และเมื่อมีการแตกของเม็ดเลือด ผู้ป่วยจะเริ่มมีอาการในระยษหนาวสั่นใหม่ เป็นวงจรอยู่อย่างนี้เรื่อยๆ เชื้อมาลาเรียไวเวกซ์ และ เชื้อมาลาเรียโอวัลเด มักทำให้เกิดไข้ทุกๆ 2 วัน เชื้อมาลาเรียมาลาเลีย เกิดทุกๆ 3 วัน ส่วน เชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม อาจเกิดทุกวันหรือทุก 2 วัน อย่างไรก็ตามในระยษแรกๆ ของการติดเชื้อ เวลาที่เกิดมีไข้มักไม่แน่นอน เนื่องจากมีเชื้อที่ออกมาจากตับเข้าสู่กระแสเลือดอยู่เรื่อยๆ

ต่อมาเมื่อมีการสร้างภูมิคุ้มกันขึ้น อาการของไข้มาลาเรียจะค่อยๆ ลดลง และหายไปเองได้ ผู้ป่วยที่เป็น โรคนี้เรื้อรัง มักมีภาวะโลหิตจาง ม้ามโตหรือบางทีตับโตด้วย

2.1.3.1 Pernicious malaria หรือไข้มาลาเรียชนิดรุนแรง

นอกจากอาการดังกล่าวข้างต้นแล้ว เชื้อมาลาเรียอาจทำให้เกิดอาการรุนแรงถึงเสียชีวิตได้ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจาก เชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อชนิดนี้ ในระยะ growing trophozoite ไปจนถึงระยะ mature schizont และ young gametocyte ทำให้ผนังเม็ดเลือดแดงที่มันอาศัยอยู่ มีการเปลี่ยนแปลงเป็นปุ่มเล็ก ๆ ซึ่งปุ่มนี้สามารถยึดติดกับผนังหลอดเลือดเล็กๆ จนเกิดการอุดตัน ทำให้เนื้อเยื่อหรืออวัยวะนั้นขาดออกซิเจน อีกประการหนึ่ง การจับกลุ่มของเชื้อที่ติดตามผนังหลอดเลือดนั้น เมื่อมีการทำลายเชื้อด้วยระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้มีการทำลายผนังหลอดเลือดด้วย จึงเกิดมีเลือดออกตามอวัยวะต่างๆ

อาการของไข้มาลาเรียชนิดรุนแรงอาจแบ่งได้เป็น

- 1) อาการทางระบบประสาท ที่สำคัญคือ มาลาเรียขึ้นสมอง (cerebral malaria) ซึ่งจะมีอาการปวดศีรษะ อย่างรุนแรง คลื่นไส้ อาเจียนและอาจมีอาการเพ้อคลั่ง ชัก หรือหมดสติ และอาจเสียชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) มาลาเรียทางเดินอาหาร บางทีเรียกว่า Algid malaria ซึ่งมีอาการตัวเย็น ท้องเดิน เป็นตะคริว หรืออาจมีอาการช็อคด้วย
- 3) มาลาเรียของอวัยวะอื่นๆ เช่น ปอดอักเสบ กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบและไตอักเสบ เป็นต้น

2.1.3.2 ไข้กลับ (Relapse)

หมายถึงการกลับเป็นไข้มาลาเรียขึ้นมาอีก หลังจากไข้ได้หายไปโดยไม่มีอาการแล้ว ทั้งๆ ที่ไม่ได้รับเชื้อเข้าสู่ร่างกายใหม่เลย แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

- 1) Recrudescence หรือ short term relapse เป็นไข้กลับที่เกิดจากเชื้อมาลาเรียที่ยังคงมีอยู่ในกระแสเลือด แต่มีจำนวนน้อยมากจนตรวจไม่พบในฟิล์มเลือด และไม่มีอาการ ทั้งนี้เนื่องมาจากการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกายทำให้เชื้อมีปริมาณลดลง ต่อมาเมื่อภูมิคุ้มกันทานลดลงเชื้อก็กลับเจริญขึ้นในระยะเวลาสั้นไม่กี่สัปดาห์ หรือเกิดจากได้รับยารักษาแต่ไม่สามารถรักษาให้หายขาด เนื่องจากเชื้อดื้อยาหรือได้รับยาไม่ครบ

- 2) Recurrent หรือ True relapse หรือ long term relapse เป็นไข้กลับที่เกิดจากเชื้อที่ยังคงมีอยู่ในตับ หรือ hypnozoite โดยใช้เวลานานเป็นเดือน ๆ กว่าจะมีไข้

ไข้กลับแบบแรกนั้น สามารถเกิดได้กับเชื้อมาลาเรียทั้ง 4 ชนิด ส่วนไข้กลับแบบหลังจะเกิดขึ้นเฉพาะกับเชื้อไวแวกซ์ และ เชื้อ โอวัลเล

2.1.3.3 ไข้น้ำดำ (black water fever)

เป็นอาการของคนที่ได้รับเชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม ซ้ำหลายๆ ครั้งและได้รับการรักษาด้วยควินินไม่พอเพียง ต่อมาเมื่อได้รับการรักษาด้วยควินินอีกครั้ง ทำให้เกิดอาการแตกทำลายของเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นปฏิกิริยาภูมิแพ้ (autoimmune reaction) ทำให้ปัสสาวะมีสีดำ ปัจจุบันอาการของโรคนี้ไม่พบบ่อยนัก

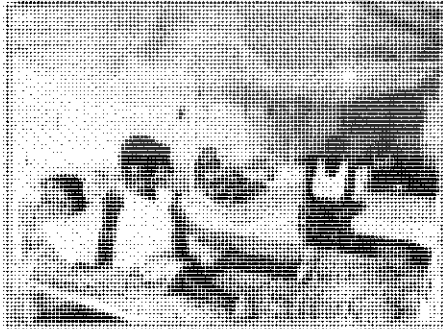
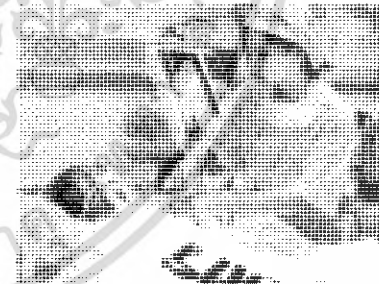
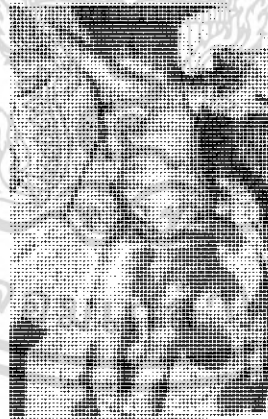
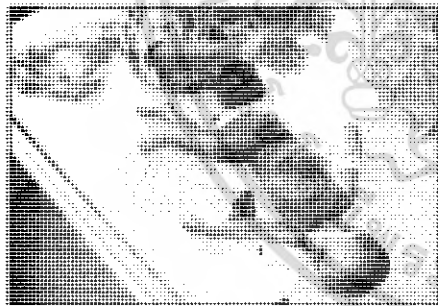
2.1.4 การวิเคราะห์โรค

ประวัติอาการและอาการแสดง รวมทั้งประวัติการเข้าไปในท้องถิ่นที่มีไข้มาลาเรียชุกชุม เป็นการช่วยในการวิเคราะห์โรคทางคลินิกได้วิธีหนึ่ง แต่การวิเคราะห์โรคที่แน่นอนต้องอาศัยการตรวจเลือด



รูปที่ 2.5 แสดงการตรวจหาเชื้อด้วยการเจาะเลือด

การยืนยันการวินิจฉัยที่ดีที่สุดและใช้กันทั่วไป คือ การเจาะเลือด และข้อมูลเชื่อมมาลาเรีย ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งบางครั้งการเจาะเลือดครั้งเดียว อาจไม่พบเชื้อ ถ้ามีอาการชวนสงสัยและมีประวัติเข้าป่า แพทย์อาจต้องเจาะเลือดซ้ำ โดยเวลาที่เหมาะสม คือ เวลาที่มีไข้สูงหนาวสั่น หรือก่อนเวลาดังกล่าวเล็กน้อย จะมีโอกาสพบเชื้อมากขึ้น



รูปที่ 2.6 – 2.9 อาการของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 การรักษา (chemotherapy)

การรักษาไข้มาลาเรียต้องรักษาอาการทั่วไป ควบคู่ไปกับการใช้ยาต่อต้านเชื้อมาลาเรีย ด้วยการใช้ยาต่อต้านมาลาเรีย (antimalarial drugs) มีวัตถุประสงค์คือ

2.1.5.1 ใช้ป้องกัน (prophylactic use) เช่น ก่อนเข้าไปอยู่ในท้องที่ที่มีมาลาเรียชุกชุม โดยยาที่ใช้รักษามาลาเรียมากินอย่างต่อเนื่องแต่ปริมาณจะต่ำกว่าที่ใช้รักษาให้หายขาด เช่น เมฟโฟควิน (Mefloquine), คลอโรควิน (Chloroquine), Pyrimethamine, Proguanil และ Doxycycline โดยยาจะออกฤทธิ์อย่างช้าๆ ทำลายระยะ tissue schizont ที่อยู่ในตับ หรือที่ออกมาในกระแสเลือด ขึ้นอยู่กับชนิดของยา อย่างไรก็ตามปัจจุบันหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยเกิดปัญหาเชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม คือต่อยาหลายชนิดทำให้ไม่ได้ผลเท่าที่ควร และไม่แนะนำให้ใช้

2.1.5.2 ใช้รักษา (therapeutic use)

1) เพื่อทำลายเชื้อระยะที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ยาที่ใช้เรียกว่า blood schizontocides ชนิดของยาที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของมาลาเรียและประเทศ สำหรับประเทศไทยปัจจุบันยาที่ใช้รักษาเชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม โดยทั่วไป คือ เมฟโฟควิน ในรายที่เป็นมาลาเรียขึ้นสมองมักใช้ ควินิน (Quinine) (ทางสายเลือด) ควบคู่ไปกับเตตราไซคลิกลิน (tetracycline) นอกจากนี้ยังเริ่มใช้อาร์ติซูนเนต (Artesunate) และ (Artemether) สำหรับยาที่ใช้รักษา เชื้อไวแวกซ์, เชื้อโอวัลเล, และ เชื้อมาลาเลียคือ คลอโรควิน

2) เพื่อทำลายเชื้อระยะที่อยู่ในตับ ป้องกันการเกิดไข้กลับ ของ เชื้อมาลาเรียชนิดไวแวกซ์ และ เชื้อมาลาเรียชนิดโอวัลเล ยาที่ใช้ เรียกว่า tissue schizontocides ได้แก่ ไพรมากวิน (Primaquine)

3) ใช้ป้องกันการแพร่เชื้อ (prevent transmission) ยาจะไปทำลายเชื้อระยะ แกมีโตไซต์ ของเชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม ในกระแสเลือด ได้แก่ ไพรมากวิน

2.1.6 ภูมิคุ้มกัน (malaria immunity)

ภูมิคุ้มกันต่อเชื้อมาลาเรีย แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

- 1) Natural immunity เป็นภูมิคุ้มกันที่มีโดยธรรมชาติ
 - เช่น - เชื้อมาลาเรียของพวกสัตว์ปีกหรือฟันแทะ จะไม่ติดคน
 - คนผิวดำที่ไม่มี Duffy blood group จะไม่ติดเชื้อมาลาเรียชนิดไวแวกซ์
 - คนที่มี ฮีโมโกลบิน (hemoglobin S) จะไม่ติด เชื้อมาลาเรียชนิดฟัลซิพารัม
 - คนที่เม็ดเลือดแดงขาดแคลนเอนไซม์ G-6-PD มักไม่ติดเชื้อมาลาเรียชนิดฟัลซิพารัมหรือถ้าติดก็มักไม่มีอาการรุนแรง

2) Acquired immunity แบ่งได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Active immunity ได้แก่คนที่เคยได้รับเชื้อมาแล้ว เมื่อได้รับเชื้ออีกมักไม่มีอาการรุนแรง
- Passive immunity ได้แก่ ลูกที่มีแม่เป็นมาลาเรียจะได้รับการถ่ายทอดภูมิคุ้มกันบางส่วนจากแม่ พอคุ้มกันได้ประมาณ 1 ปี

2.1.7 การสร้างภูมิคุ้มกันโดยการให้วัคซีน (Immunization against malaria)

ปัจจุบันยังอยู่ในขั้นทดลอง อย่างไรก็ตามมีแนวทางในการผลิตวัคซีนดังนี้

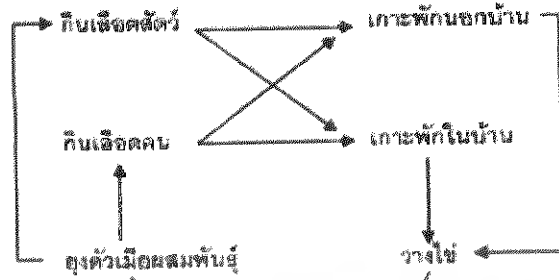
- 1) Sporozoite vaccine เป็นการสร้างภูมิคุ้มกันต่อ สปอร์โรซอยต์ ก่อนที่จะเข้าไปในเซลล์ของตับ
- 2) Merozoite vaccine เป็นการสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อระยะที่อยู่ในเลือด โดยเฉพาะทำลาย เมโรซอยต์ ก่อนที่จะเข้าเม็ดเลือดแดง
- 3) Anti-gamete antibodies (Transmission blocking vaccine) เป็นการสร้างภูมิคุ้มกัน ป้องกันไม่ให้เชื้อระยะแกมีโตไซต์ เจริญเป็น gamete ในยุง

2.1.8 วิทยาการระบาดของไข้มาลาเรียในประเทศไทย

ไข้มาลาเรียในประเทศไทยมีอยู่ทั้ง 4 ชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีอุบัติการณ์มากน้อยตามลำดับคือ ไข้มาลาเรียฟัลซิพารัม (ประมาณ 50-60 %), ไข้มาลาเรียไวเวกซ์ (ประมาณ 50 %), ไข้มาลาเรียมาลาเลีย (น้อยกว่า 1 %) ส่วน ไข้มาลาเรียโอวัลเล นั้นไม่มีตัวเลขที่แน่นอนแต่พบน้อยมาก ในปีหนึ่ง ๆ มีผู้ป่วยทั่วประเทศนับแสนคน แหล่งที่มีมาลาเรียชุกชุมได้แก่ ตามป่าเขา โดยเฉพาะบริเวณชายแดนด้านพม่า และกัมพูชา ผู้ป่วยมีตลอดทั้งปีแต่จะมีมากในช่วงคั้งและปลายฤดูฝน

2.1.8.1 ยุงพาหะนำเชื้อมาลาเรีย

วงจรชีวิตของยุง



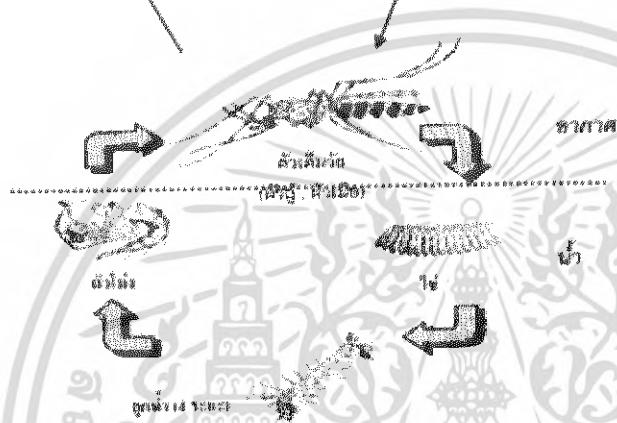
วงจรชีวิตของยุงก้นปล่อง

ระยะเป็นไข่(egg stage)

ระยะเป็นตัวอ่อน(larva stage)

ระยะเป็นตัวเต็มวัย(pupa stage)

ระยะตัวเต็มวัย(adult stage)

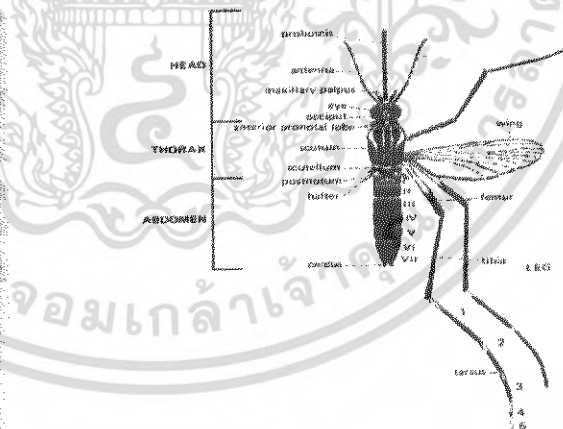


ยุงมีวงจรชีวิต 9-14 วัน

ยุงแต่ละตัววางไข่ได้ 3-4 ตัว

จำนวน 50-200 ฟองต่อครั้ง

รูปที่ 2.10 แสดงถึงวงจรชีวิตของยุง



รูปที่ 2.11 – 2.12 แสดงลักษณะของยุงก้นปล่องซึ่งเป็นพาหะของโรคมมาลาเรีย

ยุงก้นปล่อง (*Anopheles*)

ยุงก้นปล่องอยู่ในกลุ่ม *Anophelini* สกุล *Anopheles* เป็นยุงที่นำเชื้อโรคมมาลาเรียมาสู่คน โดยการกัดคนที่ป่วยเป็นโรคมมาลาเรีย ซึ่งมีปรสิตอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดงของคนเข้าสู่กระเพาะของยุง แล้วทำให้ปรสิตเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน แล้วเคลื่อนที่ไปยังต่อมน้ำลายของยุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวงจรในการสืบพันธุ์ของ โรคมาลาเรียจะเกิดอย่างสมบูรณ์ขึ้นภายในตัวยุง เมื่อยุงกัดคนก็จะปล่อยปรสิตของเชื้อมาลาเรียเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของคน ทำให้คนคนนั้นเป็นโรคมาลาเรีย

วงจรชีวิตของยุงก้นปล่อง มี 4 ระยะ

ระยะเป็นไข่ การวางไข่มักจะวางไข่แบบฟองเดี่ยวในเวลากลางคืน ครั้งละประมาณ 50-150 ฟอง รูปร่างของไข่เพรียวเหมือนเรือบดมีท่อน้ำให้ลอยน้ำได้ มีสีขาวในระยะแรกต่อไปจะเป็นสีน้ำตาลแก่และดำในที่สุด มีขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร ไข่ของยุงก้นปล่องจะกลายเป็นตัวอ่อนภายใน 1-3 วัน

ระยะเป็นตัวอ่อน ตัวอ่อนของยุงก้นปล่องจะมีขนที่มีลักษณะคล้ายใบตาลช่วยในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่ตามลำตัว ตัวอ่อนของยุงก้นปล่องจะมีการลอกคราบ 4 ครั้ง ก่อนที่จะกลายเป็นดักแด้ ระยะเวลาที่เป็นตัวอ่อนใช้เวลาตั้งแต่ 4-5 วัน ไปจนถึงหลายสัปดาห์ขึ้นอยู่กับชนิดของยุงก้นปล่องและสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่

ระยะเป็นดักแด้ ดักแด้ของยุงก้นปล่องมีรูปร่างเหมือนจูลภาค มีส่วนหัวและอกที่โต ส่วนท้องแบ่งออกเป็น 8 ปล้อง มีความต้องการอากาศสำหรับหายใจแต่ไม่ต้องการอาหาร และจะกลายเป็นตัวแก่ในระยะเวลาประมาณ 2-3 วัน

ระยะตัวแก่ ตัวแก่ของยุงก้นปล่องจะมีจุดสีดำแต้มอยู่บนปีกเป็นหย่อม ๆ ส่วนใหญ่จะออกหากินในเวลากลางคืน

ไข้มาลาเรียมียุงก้นปล่องเป็นพาหะนำเชื้อ จำแนกกลุ่มตามความสำคัญในการเป็นพาหะดังนี้

1) **ยุงพาหะหลัก (primary vectors)** ประกอบด้วยยุงก้นปล่องชนิดไครสต์ (*Anopheles dirus*), ยุงก้นปล่องชนิดมินิมัส (*Anopheles minimus*) และยุงก้นปล่องชนิดแมคคูลาดัส (*Anopheles maculatus*) ยุงในกลุ่มนี้มีบทบาทสูงในการแพร่เชื้อไข้มาลาเรียในท้องที่ป่าเขา สวนยาง และสวนผลไม้ ซึ่งเป็นพาหะในป่าเขา

- **ยุงก้นปล่องชนิดไครสต์ (*Anopheles dirus*)** เป็นยุงพาหะที่มีความสามารถสูงที่สุดในการแพร่เชื้อมาลาเรียสูงที่สุดในบรรดาทุกชนิดในประเทศไทย อาศัยบริเวณป่าทึบ ขอบวางไข่ตามแหล่งน้ำขังที่มีร่มเงา โพรงหิน แอ่งน้ำ มีนิสัยชอบกินเลือดคนและชอบเกาะพักนอกบ้าน กลางวันชอบเกาะพักตามพุ่มไม้ โพรงไม้ที่เขียวสงบ มีคและมีควมชื้นสูง ใกล้แหล่งเพาะพันธุ์เวลาพลบค่ำจะบินเข้าใกล้ที่อยู่อาศัยของคนมักเข้ากัดเวลา 18.00-04.00 น. มีรายงานว่า ในป่าทึบที่มีค ยุงชนิดนี้ออกกัดคนตอนกลางวันได้

- **ยุงก้นปล่องชนิดมินิมัส (*Anopheles minimus*)** เป็นยุงพาหะที่สำคัญพบได้ทั่วไปทั้งประเทศ มีการกระจายตัวกว้างขวางมาก ในท้องที่ป่าเชิงเขา ชายป่า เิงเขาที่มีการบุกเบิกทำการเกษตร ชอบเพาะพันธุ์ในลำธารน้ำไหลช้าๆ บริเวณเชิงเขา และแหล่งน้ำขัง ชอบเลือดคน เดิมพบว่ากัดคนและเกาะพักฝาบ้านหลังกินเลือด แต่ปัจจุบันพบว่ายุงชนิดนี้กัดคนนอกบ้าน และเข้ากัด

ตั้งแต่หัวค่ำ โดยหากินเวลา 18.00-22.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ประชาชนยังไม่เข้านอน ทำให้การควบคุมลำบากขึ้น และสามารถนำเชื้อมาลาเรียได้ดีทั้งชนิดฟัลซิพารัมและไวเวกซ์

- ยุงก้นปล่องชนิดแมกคูลาตัส (*Anopheles maculatus*) คล้ายคลึงกับยุงก้นปล่องชนิดมินิมัส พบทั่วประเทศ แต่เป็นพาหะสำคัญเฉพาะในภาคใต้ของประเทศไทย เช่น ยะลา สตูล ปัตตานี นราธิวาส และต่อไปถึงชายแดนไทย-มาเลเซีย พบทั่วไปในท้องที่ป่าเขาทั่วประเทศ เพาะพันธุ์ในลำธารน้ำไหลที่มีแสงแดดส่องถึง มีนิสัยชอบกัดสัตว์และชอบกัดคนนอกบ้าน จะเข้ากัดคนมากในช่วงระหว่างเวลา 18.00-21.00 น.

2) ยุงพาหะรอง (secondary vectors) ประกอบด้วยยุงก้นปล่อง 3 ชนิดคือ ยุงก้นปล่องชนิดซันไคคัส (*Anopheles sundaicus*), ยุงก้นปล่องชนิดอโคไนตัส (*Anopheles aconitus*) และ ยุงก้นปล่องชนิดซูโดวิลโมไร (*Anopheles pseudowillmori*)

- ยุงก้นปล่องชนิดซันไคคัส (*Anopheles sundaicus*) เป็นพาหะมาลาเรียในท้องที่ชายทะเลและเกาะแก่งทางภาคตะวันออกและภาคใต้ เนื่องจากเพาะพันธุ์ในน้ำกร่อย ชอบกัดคนนอกบ้านและเพาะพันธุ์ในแอ่งหินซึ่งมีน้ำกร่อยตามริมทะเล นาทุ่งที่เลิกใช้ เกาะแก่งต่างๆ

- ยุงก้นปล่องชนิดอโคไนตัส (*Anopheles aconitus*) พบได้ทั่วไปในท้องที่ป่าเขาและที่ราบทุ่งนาทั่วประเทศ เพาะพันธุ์ในลำธารน้ำไหล น้ำซับ น้ำซึม และทุ่งนา มีนิสัยชอบกัดสัตว์และกัดคนนอกบ้าน ชุกชุมสูงในช่วงฤดูฝน

- ยุงก้นปล่องชนิดซูโดวิลโมไร (*Anopheles pseudowillmori*) เป็นยุงที่พบอยู่ตามบริเวณป่าเขาตอนเหนือของประเทศ ลักษณะนิสัยคล้ายยุงก้นปล่องชนิดมินิมัส

นอกจากนี้แล้วการที่ยุงชนิดใดๆ มีความสามารถในการนำหรือแพร่เชื้อได้หรือไม่ นั้น ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความไวต่อเชื้อของยุงแต่ละชนิดที่ไม่เท่ากัน และแม้ยุงชนิดเดียวกัน ยังอาจมีสายพันธุ์ซึ่งไวต่อการติดเชื้อไม่เท่ากันด้วย อายุขัยของยุงเพราะเชื้อมาลาเรียใช้เวลาเจริญในตัวของอย่างน้อย 10 วัน หากยุงมีอายุยืนยาวกว่านั้นก็จะเป็นพาหะที่ดี อุปนิสัยในการดูดเลือดของยุง หากกัดบ่อยและเข้ากัดในคนก็เป็นพาหะที่ดีเช่นกัน และความหนาแน่นของยุงพาหะที่มีมาก เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของประชากรคนบริเวณนั้น

2.1.9 การป้องกันและควบคุมโรคไข้มาลาเรีย

ปัจจุบันโรคมาลาเรียยังเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศในเขตร้อนและกึ่งร้อนที่ยังไม่มีวิธีการที่สามารถกำจัดโรคนี้ได้อย่างจริงจัง เท่าที่ทำได้ขณะนี้เป็นการควบคุมไม่ให้โรคนี้ระบาดเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การควบคุมไม่ได้ผลมีหลายประการ แต่ที่สำคัญที่สุดได้แก่สภาพทางภูมิศาสตร์ของประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการระบาดของเชื้อมาลาเรียมาก โดยเฉพาะตามป่าเขาในเขตทุรกันดาร นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการติดต่อยาที่ใช้รักษา และการเคลื่อนย้ายประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีป้องกันและควบคุมไข้มาลาเรียมี 4 วิธีใหญ่ ๆ คือ

- 1) Blocking Man-Vector contact เป็นการป้องกันไม่ให้ยุงมากัด เช่น การนอนในมุ้ง ธรรมดาหรือมุ้งชุบสารเคมีฆ่าแมลง การใช้สารทากันยุง การติดตั้งมุ้งลวดตามบ้าน ไม่ออกจากบ้าน ในช่วงหัวค่ำถึงรุ่งเช้า ใช้ยาฆ่าแมลงพ่นในบ้านและห้องนอน จุดยาไล่ยุง เป็นต้น
- 2) Vector Control เป็นการควบคุมและทำลายยุงทั้งระยะตัวอ่อนและตัวแก่ ที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ได้แก่การใช้สารฆ่าแมลงพ่นตามบ้านและมุ้ง บางแห่งใช้ปลากินลูกน้ำเข้าช่วย
- 3) Treatment of malaria case เป็นการรักษาผู้ป่วยไม่ให้เป็นแหล่งสะสมและแพร่กระจาย เชื้อไปสู่ผู้อื่นได้
- 4) Drug prophylaxis เป็นการใช้ยาป้องกันก่อนที่จะเกิดอาการ แต่มักไม่ได้ผลดีดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.1.9.1 การใช้ยาป้องกันไข้มาลาเรีย

การใช้ยาป้องกันมาลาเรียต้องคำนึงถึงสถานที่ที่จะไป โอกาสที่จะเป็นมาลาเรีย โดยที่ไม่กินยาป้องกัน กับอัตราเสี่ยงต่อผลข้างเคียงของยา จึงควรเป็นยาที่มีประสิทธิภาพสูง มีผลข้างเคียงน้อย

ในประเทศไทย คนไข้มาลาเรียส่วนใหญ่อยู่บริเวณชายแดนไทย-พม่า ไทย-กัมพูชา จากการสำรวจ 10 จังหวัดแรกที่มีจำนวนผู้ป่วยมาลาเรียสูงสุดในประเทศในปี 2542 ได้แก่ จังหวัดตาก กาญจนบุรี แม่ฮ่องสอน จันทบุรี สระแก้ว สุราษฎร์ธานี เชียงใหม่ ตราด ประจวบคีรีขันธ์และราชบุรี เชื้อที่พบคือฟัลซิพารัม ไวเวกซ์ มาลาเรีย และเชื้อผสมฟัลซิพารัมกับไวเวกซ์ เชื้อที่พบบ่อยคือฟัลซิพารัม และไวเวกซ์

ระยะเวลาที่ไปในถิ่นมาลาเรีย ถ้าไม่เกิน 7 วัน ไม่ต้องกินยาป้องกันไข้มาลาเรีย และไม่ต้องพกยารักษาไข้มาลาเรีย เพราะใน 7 วันแรกหลังได้รับเชื้อจากยุง เชื้อจะฟักตัวอยู่ในตับ ยาป้องกันไข้มาลาเรียส่วนใหญ่ไม่มีผลฆ่าหรือยับยั้งเชื้อระยะนี้ แต่ให้ระวังและรักษาตัวหลังจากกลับออกจากถิ่นมาลาเรียไปแล้ว

1) ยาป้องกันไข้ มาลาเรียแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

- Suppressive prophylaxis เป็นยาซึ่งฆ่าเชื้อ asexual form ของเชื้อมาลาเรียที่อยู่ในเลือดก่อนที่เชื้อจะทำให้เกิดอาการ ยานี้มีผลทำให้ไม่เกิดอาการของโรค แต่ไม่ได้กันไม่ให้ได้รับเชื้อจึงต้องกินยาล่วงหน้าเพื่อให้ระดับยาสูงพอ และกินอีก 4 สัปดาห์หลังออกจากถิ่นมาลาเรีย เพื่อรอฆ่าเชื้อซึ่งถูกปล่อยออกมาหลังจากเจริญเติบโตในตับ

- Causal prophylaxis ป้องกันการติดเชื้อโดยฆ่าเชื้อซึ่งอยู่ในระยะที่อยู่ในตับ ข้อดีคือ ไม่ต้องกินล่วงหน้าก่อนเข้าถิ่นมาลาเรีย และอาจกินอีก 2-3 วัน หลังออกจากถิ่นมาลาเรีย

- Terminal prophylaxis ยานี้ป้องกันการติดเชื้อโดยนำเชื้อในระยะซึ่งอยู่ในตัว โดยกินทันทีที่คิดว่าได้รับเชื้อมาลาเรียไวเวกซ์ หรือโอวัลเด เพื่อกันไม่ให้เกิดอาการไข้กลับ(relapse)

2) ยาป้องกันไข้มาลาเรียได้แก่

- Doxycycline เป็นยาในกลุ่ม suppressive prophylaxis ใช้ป้องกันไข้มาลาเรียในท้องถิ่นที่เชื้อมาลาเรียคือต่อยาหลายชนิด ได้ผลดีทั้งมาลาเรียฟัลซิพารัมและมาลาเรียไวเวกซ์ ยานี้ห้ามใช้ในหญิงตั้งครรภ์ มารดาที่ให้นมบุตร ในเด็กอายุต่ำกว่า 8 ปี และคนที่มีประวัติแพ้ยาในกลุ่มเตตราไซคลิกลิน ผลข้างเคียงของยามี photosensitivity อาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น ปวดท้อง คลื่นไส้ ในผู้หญิงเกิดเชื้อราในช่องคลอดได้

- เมฟโฟควิน(Mefloquine) เป็นยาในกลุ่ม suppressive chemoprophylaxis ป้องกันไข้มาลาเรียฟัลซิพารัมและไวเวกซ์ได้ผลดีในดินซึ่งไม่มีการติดต่อยานี้ ถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้ในหญิงมีครรภ์ ผลข้างเคียงของยาได้แก่ คลื่นไส้ ท้องเดิน ปวดท้อง ใจเต้นเร็ว ที่น่ากลัวคือ อาการทางจิต และสมอง เช่น ชัก acute psychosis anxiety neurosis ยานี้จึงไม่ใช้ในคนเป็นโรคทางสมอง

- กลอโรควิน(Chloroquine) ร่วมกับ Proguanil ในประเทศไทย ยา กลอโรควิน ใช้ป้องกันเชื้อฟัลซิพารัมไม่ได้เนื่องจากเชื้อคือยา แต่ใช้ป้องกันเชื้อไวเวกซ์ มาลาเรีย และโอวัลเด ได้ การให้ยา กลอโรควินร่วมกับ Proguanil ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันดีขึ้นเล็กน้อยแต่ก็ยังไม่ดีพอ ยานี้ใช้ได้ทั้งหญิงมีครรภ์ ผลข้างเคียงของยาได้แก่ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง เบื่ออาหาร เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ

- Atovaquone-Proguanil (Malarone) เป็นยาซึ่งกำลังอยู่ในขั้นการวิจัย Atovaquone เป็นยาในกลุ่ม suppressive prophylaxis การศึกษาในเด็กและผู้ใหญ่ในทวีปแอฟริกา พบว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันมาลาเรียโดยเฉพาะมาลาเรียฟัลซิพารัมได้ร้อยละ 95-100

- Azithromycin เป็นยาซึ่งกำลังอยู่ในขั้นการวิจัย ศึกษาในผู้ใหญ่ที่ประเทศเคนยา และอินโดนีเซีย พบว่ามีประสิทธิภาพป้องกันมาลาเรียฟัลซิพารัมได้ร้อยละ 72-83 และมาลาเรียไวเวกซ์ได้ร้อยละ 99 ผลข้างเคียงของยาที่พบมีปวดท้อง แสบหน้าอก และคัน paresthesia

- ไพรมาคควิน เป็นยาซึ่งกำลังอยู่ในขั้นการวิจัย จัดเป็นกลุ่ม causal prophylaxis ยานี้ต้องกิน 2-3 วัน ก่อนเข้าถิ่นมาลาเรียกิน 2 วันหลังจากออกจากถิ่นมาลาเรียมีประสิทธิภาพในการป้องกันมาลาเรียฟัลซิพารัมร้อยละ 83 ยานี้ห้ามใช้ในคนที่เป็น G6PD deficiency และในหญิงมีครรภ์ ผลข้างเคียงที่พบได้แก่ ปวดท้อง อาเจียน ปวดศีรษะ และพบมีระดับ methemoglobin ในเลือดสูงขึ้นเล็กน้อยในบางคน และยังจัดเป็นยาในกลุ่ม terminal prophylaxis โดยกินยา ถ้าคิดว่าได้รับเชื้อมาลาเรียไวเวกซ์หรือโอวัลเด เพื่อนำเชื้อในตัวป้องกันไม่ให้เกิด relapse

- Tafenoquine (8 aminoquinoline) เป็นยาซึ่งกำลังอยู่ในขั้นวิจัย เป็นกลุ่ม causal prophylaxis เป็นยาซึ่งคล้าย ๆ กับ ไพรมาคิวิน

3) ข้อพิจารณาการใช้ยาป้องกันมาลาเรียสำหรับประเทศไทย

ประเทศไทยมีเชื้อคือต่อยาด้านมาลาเรียหลายชนิด ไม่มียาที่ป้องกันมาลาเรียได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หากเชื้อมาลาเรียได้สัมผัสกับขาบ้อย ๆ ก็จะพัฒนาให้เกิดการคือต่อยาด้วย บางครั้งการกินยาป้องกันทำให้ประมาท เมื่อเป็นไข้อาจไม่ได้นึกถึงมาลาเรีย และไม่ได้เจาะเลือดหาเชื้อมาลาเรียคั้งนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้ยาป้องกัน แต่เน้นมาตรการป้องกันไม่ให้ยุงกัด และการพกพาการรักษาไข้มาลาเรียไปด้วย ในกลุ่มชน เช่น ทหาร ตำรวจตระเวนชายแดน เจ้าหน้าที่ป่าไม้ เป็นต้น มีความเสี่ยงต่อการรับเชื้อมาลาเรียเป็นอย่างมาก และอยู่ในพื้นที่แพร่เชื้อในช่วงเวลาอันสั้น ไม่อาจป้องกันด้วยวิธีพกพาการรักษาไข้มาลาเรียได้ จำเป็นต้องใช้ยาป้องกันไข้มาลาเรีย

4) ยาพกพาการรักษาไข้มาลาเรีย (stand-by treatment drug)

ต้องเป็นยาที่มีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อ ยานี้เตรียมไว้ใช้ในเวลาจำเป็น ยาพกพาสำหรับมาลาเรียฟัลซิพารัมในประเทศไทยได้แก่

- อาร์ติซูเนด หรือ อาร์ติมิเตอร์ ให้อาร่วมกับ เมฟโฟควิน
- ในเด็กอายุต่ำกว่า 7 ปี ใช้ ควินิน(Quinine)
- ในเด็กอายุมากกว่า 7 ปี ใช้ ควินิน ร่วมกับ เตตราไซคลิกลิน(Tetracycline)

ถ้าเข้าถิ่นมาลาเรียเกิน 7 วัน แล้วไม่สบายเป็นไข้ ปวดศีรษะ สงสัยว่าจะเป็นมาลาเรียให้รีบไปหาเจ้าหน้าที่หน่วยมาลาเรียเจ้าหน้าที่สาธารณสุข หรือไปโรงพยาบาล เพื่อเจาะเลือดตรวจหาเชื้อมาลาเรีย ถ้าทำไม่ได้ให้รีบประทานยาที่พกพาคิดตัวไปรักษาไข้มาลาเรีย และรีบตรวจเลือดหาเชื้อมาลาเรียด้วย แม้จะรับประทานยาแล้วก็ตาม

สำหรับเด็กเล็กและหญิงมีครรภ์ มีความเสี่ยงที่จะเป็นมาลาเรียร้ายแรงสูงไม่ควรเดินทางเข้าไปในถิ่นมาลาเรีย ถ้าจำเป็นต้องเดินทางต้องป้องกันไม่ให้ถูกยุงกัด และนำยาพกพาการรักษาไข้มาลาเรียติดตัวไปด้วย

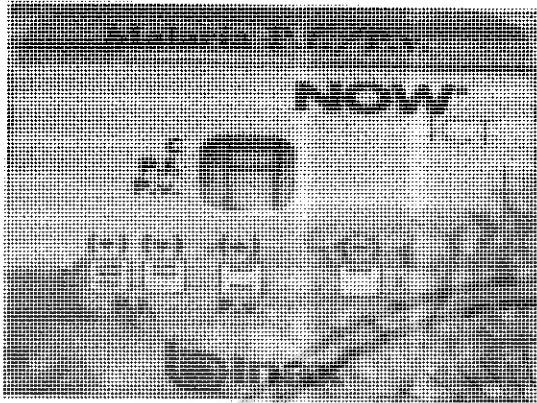
ถ้ามีไข้หรืออาการอื่นที่สงสัยอาจเป็นมาลาเรียได้ภายในเวลา 2 เดือน หลังจากออกจากถิ่นมาลาเรีย ต้องตรวจเลือดหาเชื้อมาลาเรียทุกครั้ง

คนที่ตั้งถิ่นฐานในถิ่นมาลาเรีย ควรตรวจเลือดหาเชื้อมาลาเรียทุกครั้งที่มีไข้และรับการรักษาโดยเร็ว เมื่อตรวจพบว่ามีเชื้อ

2.1.10 การวิจัยโรคทางห้องปฏิบัติการ

วิธีดั้งเดิมและยังเป็นที่ยอมรับใช้กันโดยทั่วไปอยู่ในขณะนี้คือ การตรวจหาเชื้อจากฟิล์มเลือด ย้อมสีทั้งจากฟิล์มหนาและฟิล์มบาง ย้อมด้วยสี Giemsa นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวิธีการใหม่ๆ มา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

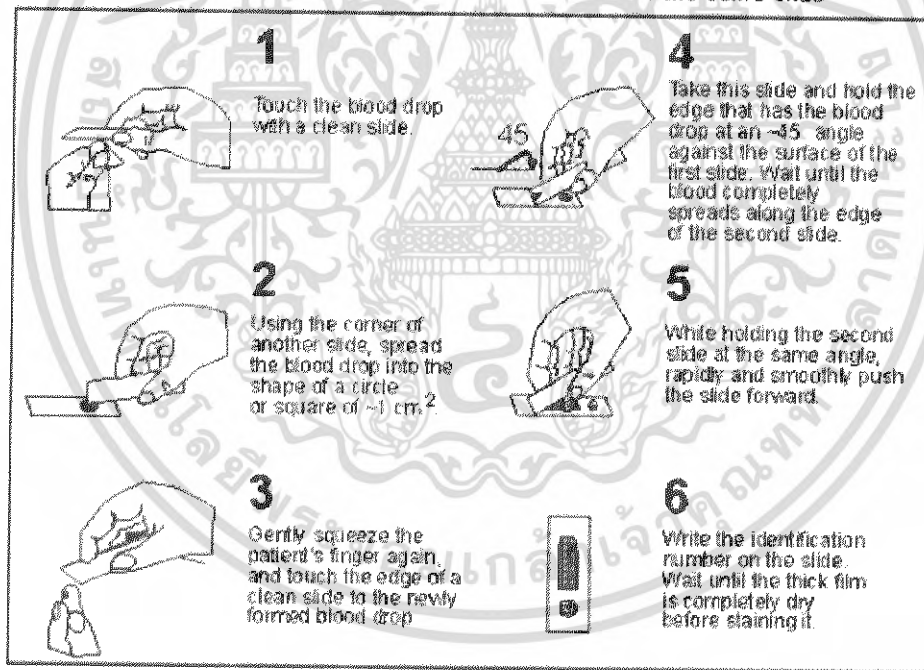
ช่วยในการวินิจฉัยโดยเฉพาะในการศึกษาวิจัยด้านวิทยาการระบาด เช่น การตรวจทาง serology การตรวจค้นหา DNA (DNA probe) และการใช้ชุดตรวจสำเร็จรูป เป็นต้น



แผ่นทดสอบสำหรับโรคมาลาเรียที่สามารถทดสอบได้ทั้งเชื้อมาลาเรียพลาสโมเดียมและเชื้อมาลาเรียไวแวกซ์ซึ่งแผ่นทดสอบนี้จะให้ผลภายใน 10 นาทีถ้าผลลัพท์ออกมาเป็นบวกแสดงว่าคนไข้ นี้มีเชื้อมาลาเรียพลาสโมเดียมหรือไวแวกซ์

รูปที่ 2.13 แสดงแผ่นการ์ดที่ใช้ในการตรวจเลือดที่ให้ผลการตรวจอย่างรวดเร็ว

FIGURE A-2. Preparation of a thin and thick blood film on the same slide



รูปที่ 2.14 แสดงการใช้ฟิล์มในการตรวจดูเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

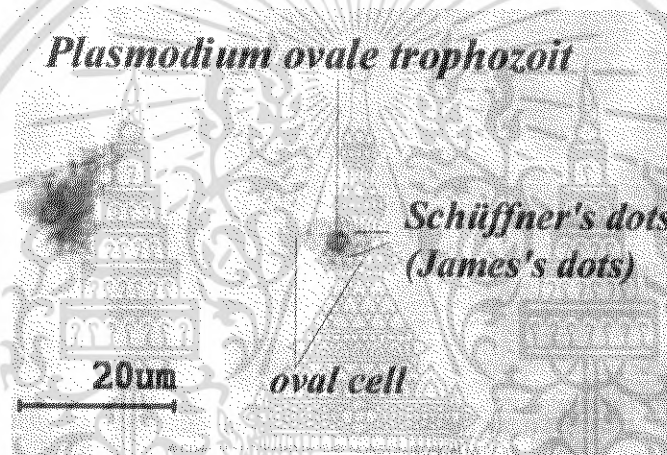
ลักษณะของเชื้อมาลาเรียในพืดมบาง

เชื้อมาลาเรียไวแวกซ์

- เม็ดเลือดแดงที่มีเชื้ออยู่ส่วนมากมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดเลือดแดงปกติ
- มี Schuffner dots ทุกระยะ ยกเว้นในระยะวงแหวน (ring form)
- มักพบระยะมีไซโตพลาสซึมยื่นขยายออกไปมาก คล้ายตัวอมีบา (amoeboid form) แทบทุกราย
- ในระยะ mature schizont มีเมอโรซอยต์ 12-24 ตัว

เชื้อมาลาเรียโอวัลเล

ลักษณะ โดยทั่วไปคล้ายกับ เชื้อชนิดไวแวกซ์ แตกต่างกันที่



รูปที่ 2.15 แสดงภาพของเชื้อชนิดไวแวกซ์ ในระยะ trophozoite ซึ่งเห็น Schuffner's dots โดยชัดเจน

- ในระยะ mature schizont มี เมอโรซอยต์ 6-12 (8) ตัว
- ระยะที่มีลักษณะคล้ายอมีบา (amoeboid form) ไม่มีการยื่นของไซโตพลาสซึมมากนัก
- ผนังเม็ดเลือดแดงที่มีเชื้อแตกเป็นแฉกๆ
- รูปร่างของเม็ดเลือดแดงที่มีเชื้ออยู่ส่วนใหญ่จะรี

เชื้อมาลาเรียมาลาดีอี

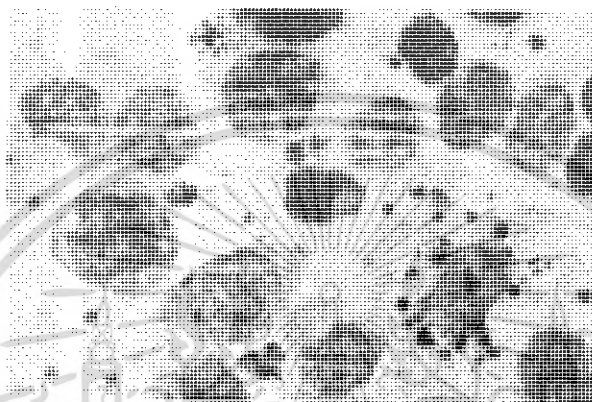
- เม็ดเลือดแดงที่มีเชื้ออยู่มักมีขนาดเล็กหรือเท่ากับปกติ
- ไม่เห็น stippling บนผนังเม็ดเลือดแดง
- ไซโตพลาสซึมไม่เป็นแบบ amoeboid form อาจพบ compact หรือ band form
- ในระยะ mature schizont มี เมอโรซอยต์ 6-12(8) ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อมาลาเรียฟัลซิพารัม

- เม็ดเลือดแดงที่มีเชื้ออยู่มักมีขนาดปกติ

- ในผู้ป่วยส่วนใหญ่จะพบเฉพาะระยะวงแหวน และหรือ แกมมิตোসิตที่มีรูปร่างคล้ายกล้วยหอม ยกเว้นในรายที่มีเชื้อจำนวนมาก ๆ หรือในบางสภาวะ เช่น มาลาเรียขึ้นสมองอาจพบระยะ growing trophozoite, และ young gametocyte ร่วมด้วย ในฟิล์มหนา ย้อมด้วยสี Giemsa



รูปที่ 2.16 แสดงสีของไซโตพลาสซึม(cytoplasm) ซึ่งเป็นการย้อมด้วยสี (Giemsa)

ใช้หลักการเดียวกับการตรวจฟิล์มบาง แต่จะดูลำบากขึ้นเนื่องจากไม่เห็นขอบเขตเม็ดเลือดแดง ขนาดของเชื้อจะดูเล็กกว่าในฟิล์มบางและรูปร่างของเชื้ออาจผิดเพี้ยนไปบ้าง ต้องใช้ประสบการณ์ในการวินิจฉัยอย่างมาก

หมายเหตุ:

1. การใช้ฟิล์มหนาไม่สามารถแยกเชื้อชนิดไวแวกซ์ กับ เชื้อชนิดโอวัลเล ได้เด็ดขาด แต่โดยทั่วไปในทางปฏิบัติเนื่องจากใช้ฟิล์มหนากันมากและอุบัติการณ์ของ เชื้อชนิดโอวัลเล ในประเทศไทยมีน้อยกว่า เชื้อชนิดไวแวกซ์ มาก จึงมีรายงานเป็น เชื้อชนิดโอวัลเลเสมอ อีกประการหนึ่งการรักษาก็ใช้แบบเดียวกัน

2. ระยะต่าง ๆ และจำนวนของเชื้อมาลาเรีย ในผู้ป่วยแต่ละรายมักมีไม่เหมือนกันและไม่จำเป็นต้องพบทุกระยะของเชื้อ

3. คนอาจติดเชื้อมาลาเรียได้มากกว่าหนึ่งชนิด (mix infection) ที่พบบ่อยคือ เชื้อชนิดฟัลซิพารัม กับ เชื้อชนิดโอวัลเล การตรวจจึงควรคำนึงถึงข้อนี้ด้วย

4. ในระยะ ring form บางครั้งอาจเห็นตัวเชื้อมีตัวที่ผิวของเม็ดเลือดแดง (Acrole form) หรือมีโครมาติน(chromatin) 2 อัน (double chromatin) หรือมีตัวเชื้อหลายตัวอยู่ในเม็ดเลือดแดง (double or multiple infection) โดยเฉพาะใน เชื้อชนิดฟัลซิพารัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความผิดพลาดจากการข้อมติ เช่น สี่จางหรือเข้มเกินไป หรือฟิล์มเลือดไม่ดี มักทำให้การวินิจฉัยมีปัญหาได้บ่อยๆ

6. ก่อนที่จะรายงานว่าไม่พบเชื้อ ต้องใช้เวลาตรวจอย่างน้อย 5 นาที สำหรับฟิล์มหนา และ 15 นาที สำหรับฟิล์มบาง

7. คนไข้ที่ได้รับยารักษามาลาเรียมาบ้างแล้ว อาจทำให้รูปร่างของเชื้อมาลาเรียผิดปกติ

8. ถ้ามีความสงสัยในการวินิจฉัยให้เจาะเลือดซ้ำทุก 6 ชม. และปรึกษาผู้รู้

2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2.1 แบบจำลอง

แบบจำลองหมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง แบบจำลองอาจนำไปใช้งานในหลายลักษณะดังนี้

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

2. เป็นเครื่องสื่อความหมาย (An aid to communication) แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของปัญหาที่เราสนใจและช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรม ปัญหา และการแก้ปัญหาที่เราสนใจได้

3. เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (Purposes of training and instruction) เช่น แบบจำลองเครื่องควบคุมการบิน จะช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและทำความคุ้นเคยกับระบบการควบคุมเครื่องบินจริงก่อนขึ้นฝึกบินจริง

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

5. เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An aid to experimentation) โดยที่แบบจำลองเป็นสิ่งที่สร้างขึ้นแทนปัญหาที่เราสนใจจริง ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่าง ๆ กับระบบงานจริงแต่ทำไม่ได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้น ๆ มาทดลองกับแบบจำลองเพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้น ๆ ไปใช้กับสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริงได้หรือไม่

โครงสร้างของแบบจำลองประกอบไปด้วย

1. องค์ประกอบ (Components) ในทุกแบบจำลองจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ในแบบจำลองที่ใช้แทนข้อมูลทั้งหมด ก็จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงานของแบบจำลอง

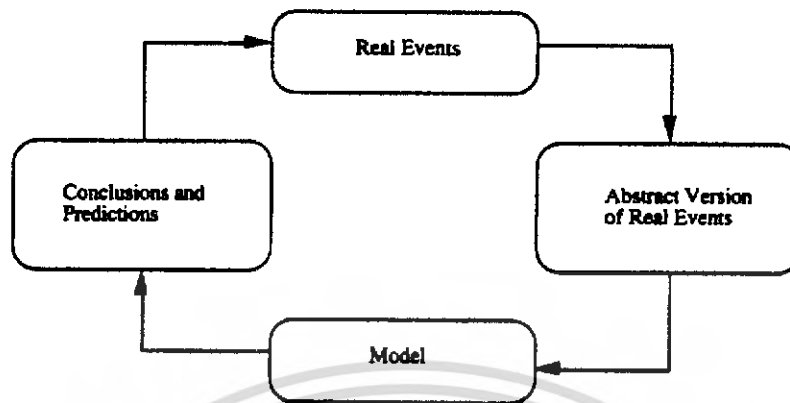
2. ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and Parameters) พารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนดให้ อาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์ขึ้น หรือ เป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล ส่วนตัวแปรนั้นเป็นค่าที่ผันแปร มีค่าได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรจากภายนอก (Exogenous Variables) หรือตัวแปรนำเข้า (Input Variables) หมายถึงตัวแปรจากภายนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบหรือเป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกระบบ และตัวแปรภายใน (Endogenous Variables) หมายถึงตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตัวแปรภายในอาจอยู่ในลักษณะตัวแปรสถานะภาพ (Status Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ ในทางสถิติ ตัวแปรจากภายนอกคือตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในคือตัวแปรตาม (Dependent Variables)

3. ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) คือฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ ฟังก์ชันความสัมพันธ์นี้อาจจะอยู่ในลักษณะแน่นอนตายตัว (Deterministic) ซึ่งเป็นลักษณะที่เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาได้ว่าผลลัพธ์จะเป็นเท่าไรแน่นอน และอาจอยู่ในลักษณะไม่แน่นอน (Stochastic) ซึ่งเมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชันไม่แน่ว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมาเท่าไร ลักษณะของฟังก์ชันความสัมพันธ์มักจะมีอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น $Y = 4 + 0.7X$ ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้ อาจหาได้จากการสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์

4. ขอบข่ายจำกัด (Constraint) คือ ข้อจำกัดของค่าของตัวแปรต่างๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด

2.2.2 กระบวนการสร้างแบบจำลอง (model construction process)

The Process of Model Construction



รูปที่ 2.17 แสดงแนวคิดของกระบวนการสร้างแบบจำลอง

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

2.2.3 ประเภทของแบบจำลอง (model classification)

แบบจำลองมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน พอที่จะจำแนกประเภทได้อย่างคร่าว ๆ ได้ดังนี้

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

2) Stochastic models เป็นแบบจำลองที่รวมเอาการสั่นไหวแบบไร้ทิศทางของสภาพแวดล้อมเข้ามาด้วย ทำให้ตัววัดต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณฝน อัตราการไหลของน้ำทิ้ง มีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ย (mean) เป็นตัวแทน และยังมีค่าเปลี่ยนไปตามเวลาอีกด้วย นอกจากนี้ตัววัดบางตัวก็มีค่าที่กระจายในช่วง เช่น ขนาดของอนุภาคดิน ขนาดของฟองอากาศ จากเครื่องเคียวอากาศ ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าการกระจายทางสถิติ (statistical distributions) เช่น Gaussian, Poisson, binomial เป็นต้น มาอธิบายค่าตัววัดเหล่านี้

การจำลองสถานการณ์โดยใช้แบบจำลองนี้ ทำโดยการเลือกค่าตัววัดแบบสุ่ม (random) มาใช้หลาย ๆ ค่า จนได้ค่าการกระจายของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เรียกว่า Monte Carlo simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

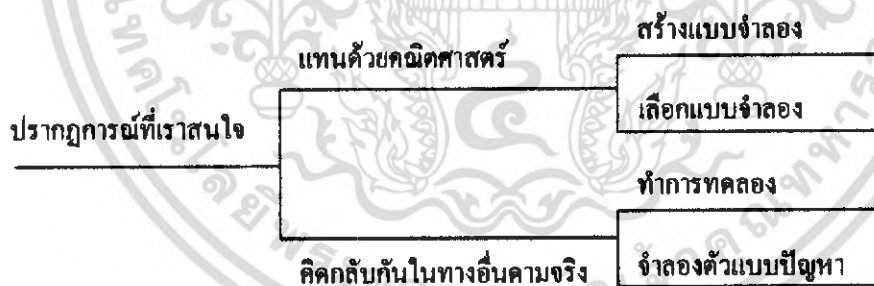
3) Steady-state models เป็นแบบจำลองที่ใช้แทนปรากฏการณ์อันใดอันหนึ่ง เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งจะทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้น เพราะสมการของแบบจำลองจะเป็นสมการพีชคณิต (algebraic equations) ได้แก่ แบบจำลองของกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ ที่ทำงานภายใต้สภาวะคงที่ (steady-state) เป็นต้น

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

2.2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) คือ การสร้างหรือการออกแบบเพื่อที่จะศึกษาสิ่งที่เราสนใจในระบบหรือปรากฏการณ์ใดๆ ซึ่งการสร้างหรือออกแบบจะต้องอาศัยการประกอบกันของ การจำลองแบบปัญหา, สัญลักษณ์, กราฟต่างๆ, และสิ่งที่ได้จากผลการทดลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของปรากฏการณ์นั้นๆ และถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาปรากฏการณ์นั้นๆ ด้วย แล้วแบบจำลองก็ยังสามารถใช้สร้างลักษณะพิเศษเพื่อที่จะศึกษาปรากฏการณ์พิเศษเหล่านั้นอีกด้วย



รูปที่ 2.18 อธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

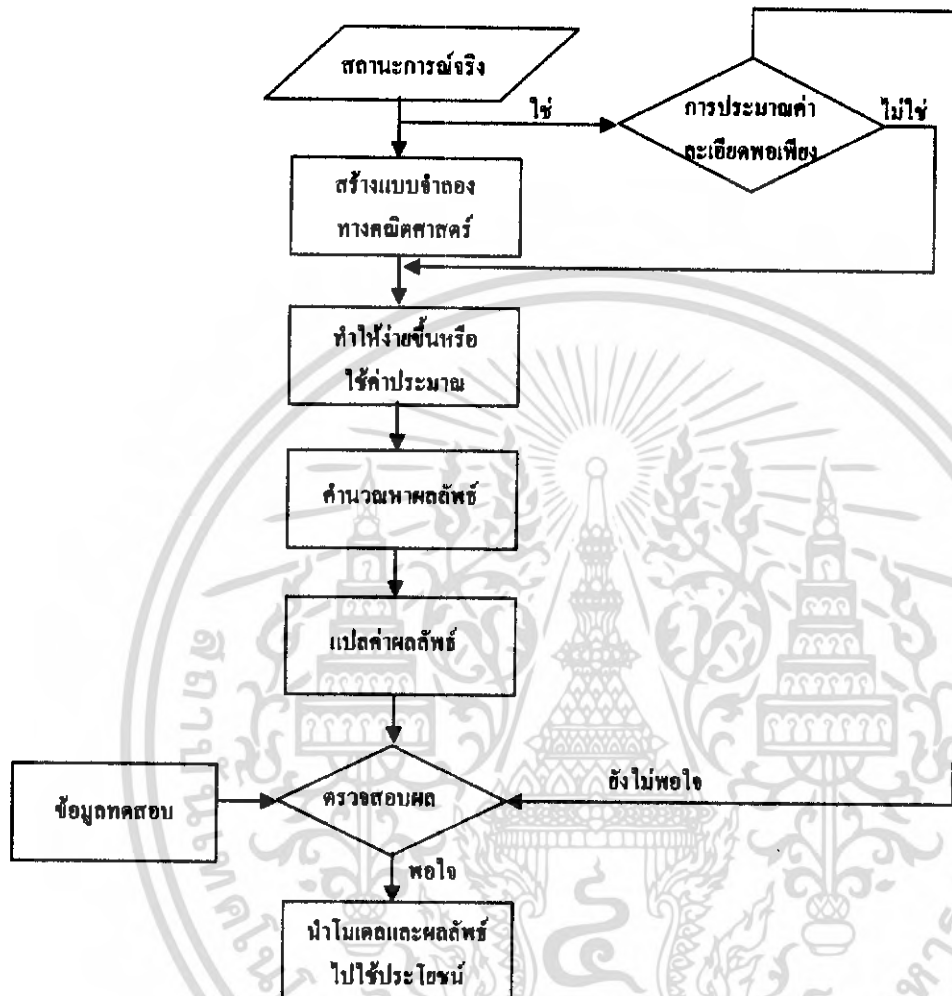
เริ่มจากปรากฏการณ์บางปรากฏการณ์ และเราสามารถแทนเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยการสร้างแบบจำลองใหม่หรือเลือกมาจากที่มีอยู่แล้ว ในทางตรงกันข้ามเราสามารถคิดกลับด้านกันได้จากปรากฏการณ์ของผลการทดลอง

การพิจารณาคำถามของการสร้างแบบจำลองซึ่งมีเงื่อนไขที่หลากหลายหรือที่เราอาจจะไม่ได้สนใจ

และเพราะคณิตศาสตร์อาจจะซับซ้อนเกินไปและควบคุมได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความซับซ้อนนี้เกิดขึ้นได้ เช่น เมื่อเราพยายามใช้แบบจำลองที่เรากำหนดให้เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยหรือระบบสมการพีชคณิตไม่เชิงเส้น หรือ ปัญหาอาจจะใหญ่เกินไปซึ่งอาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะจับกลุ่มกันให้ได้ออกมาเป็นเพียงแบบจำลองเดียวได้



รูปที่ 2.19 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3 การหาผลเฉลยความเสถียรของระบบ (Steady State Solution)

2.3.1 แบบจำลองความเสถียรของระบบ (Steady State) ไม่เชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง สมการผลต่างไม่เชิงเส้น คือ สมการที่อยู่ในรูปของ

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

เมื่อ x_n คือค่าของ x ในลำดับที่ n และ f เป็นฟังก์ชันของการทำซ้ำๆ กัน (f อาจจะรวมถึงฟังก์ชันกำลังสอง, ฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล หรือฟังก์ชันยกกำลังของ x_n ฯลฯ) ผลเฉลยที่ได้เป็นรูปแบบทั่วไปที่สัมพันธ์กับ x_n พร้อมทั้งกำหนดค่าเริ่มต้น ในกรณีที่สัมพันธ์กันเพียงเล็กน้อยเราสามารถหาออกมาในรูปแบบของ Analytic Solution แบบตรงๆ ได้เมื่อสมการ (2.5.1.1) เป็นรูปแบบไม่เชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราต้องนิยามและกำหนดประเภทของผลเฉลย หรือใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการตรวจสอบผลเฉลย

เราจะพบว่าสิ่งที่กล่าวมาจะเป็นประโยชน์ต่อการที่จะทำให้เกิดความเข้าใจลักษณะของผลเฉลย ซึ่งเราสามารถพิจารณาได้จากสมการผลต่างอันดับที่ 1 ซึ่งอยู่ในรูปของ

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

จากคุณสมบัติของผลเฉลยของสมการ (2) จะพบความสัมพันธ์อีกหลายอย่าง ดังนี้ แนวคิดของ ภาวะสมดุลของสิ่งแวดล้อมภายใน(homeostasis), ความสมดุล(equilibrium), และความเสถียรของระบบที่สัมพันธ์กับการขาดหายไปบางอย่างในระบบที่เปลี่ยนแปลง คำถามสำคัญที่เกิดจากหลายๆปัญหาในวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ คือ ผลเฉลยมีค่าคงตัวหรือไม่ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่ามันมีความเสถียรหรือความคงตัว

ในบางกรณีเราสนใจ ผลเฉลยของความเสถียร(steady state solution)ของระบบ ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันการทำงานของระบบอวัยวะย่อยๆ ของสิ่งมีชีวิต ในช่วงแถบอุณหภูมิที่ค่อนข้างแคบในภาวะต่างๆ เช่น ภาวะเป็นกรด, หรือระดับความเข้มข้น(มีระดับสูงขึ้นอีกเมื่อระบบค่อยๆ พัฒนาให้เกี่ยวเนื่องกันภายในกลไกการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายและปัจจัยอื่นๆ ในระดับคงที่ๆ อยู่ในสภาพพอเหมาะ) ในทางตรงกันข้าม ความเสถียรของระบบ อาจจะดูเหมือนกับขอบเขตของปัญหาที่สนใจ รวมถึงผลวัดต่างๆ(dynamics events) เช่น การเจริญเติบโต, การแพร่, หรือการสืบพันธุ์ของประชากร ยังคงเป็นจริงเสมอด้วยการทดสอบอย่างระมัดระวังว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับความเสถียรของระบบบ้าง แล้วเราก็สามารถเข้าใจพฤติกรรมของระบบได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะแสดงให้เห็นดูพอสังเขปได้ต่อไป

ผลเฉลยของความเสถียรของระบบ ซึ่งเมื่อ \bar{x} ถูกกำหนดเป็นค่าที่ให้ความสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน คือ

$$x_{n+1} = x_n = \bar{x} \quad (2.3.1.3)$$

ซึ่งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากลำดับที่ n ถึงลำดับที่ $n+1$ จากสมการที่ (2.5.1.2) จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นอีก คือ

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

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

จุดตรึง(fixed point) คือจุดใดๆ ที่เมื่อมีการแทนค่าแล้วจะให้ค่ากลับคืนมาเป็นค่าเดิมดังตัวอย่างต่อไปนี้ เช่น $x_{n+1} = mx_n$ จะเห็นได้ว่า function นี้ เมื่อมีการแทนค่า x_n ทางฝั่งขวามือของสมการแล้ว จะให้ค่าของ function เท่ากับฝั่งซ้าย หรือก็คือ มีค่าเท่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 2.3.1.1 จงยกตัวอย่างฟังก์ชัน fixed point ตามสมการ $\bar{x} = f(\bar{x})$

วิธีทำ จากโจทย์เราจะได้ว่า ตัวอย่างตามสมการข้างต้นเป็นดังต่อไปนี้

เช่น

$$x_{n+1} = 3x_n - 2x_{n-1}^2$$

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

$$x_{n+1} = x_n + 3x_{n-1}^2$$

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

$$\frac{dX_1}{dt} = F_1(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = F_2(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$\frac{dX_n}{dt} = F_n(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

(a)

ผลเฉลยของความเสถียรของระบบ สมการนี้สามารถหาได้จากการจัดให้สมการทุกสมการของ (a) เป็นศูนย์ นั่นก็คือ

$$\left. \begin{aligned} F_1(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) &= 0 \\ F_2(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) &= 0 \\ &\vdots \\ F_3(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) &= 0 \end{aligned} \right\} (b)$$

ตัวอย่าง 2.3.2.1 จงหาผลเฉลยความเสถียรของระบบจากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dx}{dt} = x_1 - x_2 \quad (1)$$

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

วิธีทำ เราจะหาผลเฉลยความเสถียรของระบบได้จากแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง ซึ่งเราสามารถจัดทุกสมการให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้

$$x_1 - x_2 = 0 \quad (3)$$

$$x_1^2 - x_2 = 0 \quad (4)$$

จากสมการ (3) เราจะได้ว่า

$$x_1 = x_2 \quad \text{แทนลงในสมการ (4)}$$

จะได้ว่า

$$x_2^2 - x_2 = 0$$

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

$$x_2 = 0, 1 = x_1$$

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

ตัวอย่าง 2.3.2.2 จงหาผลเฉลยความเสถียรของระบบจากสมการต่อไปนี้

$$\frac{dx}{dt} = 2x_1 - x_2 + x_3 \quad (1)$$

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

$$\frac{dx}{dt} = x_1 - 2x_2 \quad (3)$$

วิธีทำ เราจะหาผลเฉลยความเสถียรของระบบได้จากแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง ซึ่งเราสามารถจัดทุกสมการให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้

$$2x_1 - x_2 + x_3 = 0 \quad (3)$$

$$2x_1 + x_2 - x_3 = 0 \quad (4)$$

$$x_1 - 2x_2 = 0 \quad (5)$$

นำสมการ (3) + (4); $4x_1 = 0$

จะได้ว่า $x_1 = 0$ แทนลงในสมการ (5)

$$x_2 = 0$$

แทนค่าของ x_1 และ x_2 ที่เราหาได้ลงในสมการ (3) 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 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ คือ สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของลำดับ a_n กับลำดับที่มาก่อน $(a_0, a_1, \dots, a_2, \dots, a_{n-1})$ โดยสมการดังกล่าวต้องมีเงื่อนไขเริ่มต้นที่แน่นอน

ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดชุดหนึ่งจะนิยามเทอมที่ n ของลำดับชุดหนึ่งโดยทางอ้อม กล่าวคือ จะคำนวณ a_n ได้ต้องคำนวณลำดับที่มาก่อน $(a_0, a_1, \dots, a_2, \dots, a_{n-1})$ ซึ่งตรงข้ามกับสูตรที่ชัดเจนสำหรับ a_n ที่เราสามารถคำนวณ a_n โดยเพียงแต่ “แทนค่าลงใน n เท่านั้น”

ตัวอย่าง 2.4.1 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

ตัวอย่าง 2.4.2 ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$ และ $f_1 = f_2 = 1$

จากสมการความสัมพันธ์เราจะได้ลำดับที่เรียกว่า **ลำดับฟีโบนัชชี** (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 จงหาความสัมพันธ์เวียนบังเกิดและค่าเริ่มต้น ที่อธิบายลำดับ $\{A_n\}$

วิธีทำ ในเวลา $n-1$ ปี จะได้จำนวนเงินทั้งหมดคือ A_{n-1} หลังจากเวลาผ่านไป n ปี เราจะได้จำนวนเงินทั้งหมด คือ ดอกเบี้ย รวมกับ เงินต้น A_{n-1}

ดังนั้นจะได้ว่า

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

เนื่องจากในการนำความสัมพันธ์เวียนบังเกิด มาประยุกต์ใช้กับ $n=1$

เราต้องทราบค่าของการเริ่มต้น หรือ A_0 นั่นเอง

และเนื่องจากค่า A_0 คือค่าเริ่มต้นการลงทุนครั้งแรก

$$\therefore A_0 = 1000 \quad (2)$$

\therefore จาก (1) และ (2) เราสามารถหาค่า A_n สำหรับค่า n ใดๆ เช่น

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

\therefore เมื่อสิ้นปีที่ 3 จะได้เงินทั้งหมด 1404.93 บาท

และจะเห็นว่าสมการ

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

สมการ (1) เป็นตัวอย่างของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด ที่จะเห็นได้ว่าในบางครั้งการสร้างสมการต่าง ๆ สามารถสร้างมาได้จากสมการของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด นั่นเอง โดยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดจะให้ลำดับชุดหนึ่งโดยกำหนดค่าที่ n ในเทอมของตัวที่มาก่อนหน้านั้น ค่าที่กำหนดให้อย่างชัดเจนของลำดับชุดหนึ่ง เช่น ในสมการ (2) จะเรียกว่า **เงื่อนไขเริ่มต้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด

เราสามารถจำแนกประเภทของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ได้ตามคุณสมบัติ 4 ประการของความสัมพันธ์ดังนี้

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

$$a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + c_3 a_{n-3} + \dots + c_k a_{n-k} \quad \text{เมื่อ } c_1, \dots, c_k \neq 0$$

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

ตัวอย่างเช่น

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

เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดอันดับสาม เนื่องจากใช้พจน์ย้อนกลับไกลสุดคือ a_{n-3}

2. **ความเป็นเชิงเส้น (linear/non-linear)** ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-k})$ 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 $a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-k})$ เป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์ก็เมื่อ $f(0, 0, \dots, 0) = 0$ หรือกล่าวได้ว่าทุกๆ พจน์ของความสัมพันธ์ต้องมี a_i ทั้งหลายคูณอยู่ด้วย

ตัวอย่างเช่น

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

ในขณะที่

$$a_n = 2a_{n-1} + a_{n-3} + 1 \quad \text{ไม่เป็นเอกพันธ์}$$

4. **ค่าสัมประสิทธิ์** ในที่นี้เราสนใจว่าสัมประสิทธิ์ที่คูณกับพจน์ a_i ทั้งหลายในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนั้นเป็นค่าคงตัวหรือไม่

ตัวอย่างเช่น

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

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

เราจำแนกความสัมพันธ์เวียนบังเกิดตามคุณสมบัติที่ข้างต้นนี้ก็เพราะว่ามีความสัมพันธ์เวียนบังเกิดสองประเภทหลักที่ใช้คุณสมบัติที่ข้อนี้ในการบรรยาย ที่สามารถหาผลเฉลยได้เสมอ

ตารางที่ 2.5 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	$a_n = f(a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_{n-k})$

2.4.2 การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิด(Solving recurrence relations)

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

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ โดยวิธีการทำซ้ำนั้นเราใช้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเขียนเทอมที่ n ใดๆ a_n ในเทอมของตัวที่มาก่อนหน้า $a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_0$ แล้วใช้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดแทนแต่ละเทอม $a_{n-1}, a_{n-2}, a_{n-3}, \dots, a_0$ ด้วยเทอมที่มาก่อนหน้านั้นทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้สูตรออกมา

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ โดยวิธีการเดาแล้วพิสูจน์ วิธีนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยสี่ขั้นตอนคือ เริ่มด้วยการลองคำนวณค่าของจำนวนสามสี่ตัวจากความสัมพันธ์เวียนบังเกิด สังเกตรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเหล่านี้ เคารูปแบบปิดของจำนวนนี้ และพิสูจน์รูปแบบปิดที่เดาไว้ด้วยการวิธีอุปนัยทางคณิตศาสตร์ว่าถูกต้องหรือไม่

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ โดยวิธีการคลี่ วิธีนี้ไม่ต้องอาศัยการเดาคำตอบแต่ต้องใช้ความรู้ทางพีชคณิตมากกว่า เราหารูปแบบปิดของผลเฉลยโดยการกระจายพจน์ a_j ต่างๆ ในความสัมพันธ์ ด้วยความสัมพันธ์ที่บรรยายด้วยพจน์ a_j ต่างๆ ที่ $j < i$ กระทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ถึงจุดหนึ่งก็จะจบที่ค่าเริ่มต้น(เสมือนการค่อยๆ คลี่ความสัมพันธ์ไปเรื่อยๆ จนถึงกรณีเล็กสุด) ที่จะอยู่ในรูปของผลบวกหรือผลคูณของพจน์ที่มีค่าขึ้นกับ n และค่าเริ่มต้นเท่านั้น ซึ่งต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการผลรวมหรือผลคูณในการเขียนให้อยู่ในรูปแบบปิด

การแก้สมการความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่เกี่ยวข้องกับลำดับ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ โดยวิธีการเปลี่ยนตัวแปร วิธีนี้อาศัยการสังเกตความสัมพันธ์ จากนั้นจัดการความสัมพันธ์เล็กน้อยเพื่อให้สามารถสร้างความสัมพันธ์เวียนบังเกิดอันใหม่ที่ใช้ตัวแปรใหม่ (ที่ง่ายกว่าความสัมพันธ์เดิม) หาผลเฉลยของความสัมพันธ์ใหม่ แล้วจึงใช้ผลเฉลยนี้ในการหาผลเฉลยของความสัมพันธ์ที่ต้องการ

ตัวอย่าง 2.4.2.1 จงแก้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $S_n = 2S_{n-1}$ โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้น $S_0 = 1$

วิธีทำ โดยการซ้ำๆ $S_n = 2S_{n-1} = 2(2S_{n-2})$
 $= \dots = 2^n S_0 = 2^n$

ตัวอย่าง 2.4.2.2 จงหารูปแบบปิดของ $a_n = 2a_{n-1} + 1$ สำหรับ $n > 0$, $a_0 = 0$

วิธีทำ โดยวิธีการเดาแล้วพิสูจน์

เริ่มด้วยลองคำนวณค่าของจำนวนในลำดับดูสักสี่ตัวจะได้

$$a_0 = 0, a_1 = 2 \cdot 0 + 1, \quad a_2 = 2 \cdot 1 + 1 = 3$$

$$a_3 = 2 \cdot 3 + 1 = 7, \quad a_4 = 2 \cdot 7 + 1 = 15$$

เขียนเป็นลำดับได้

$$\langle 0, 1, 3, 7, 15, \dots \rangle$$

ลองเพ่งดูสักพักก็จะเห็นรูปแบบปิดของจำนวนทั้ง 5 ตัวนี้ได้หรือไม่ ซึ่งเราจะได้รูปแบบปิดออกมาเป็น

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

ซึ่งก็ใช้ได้กับทั้งห้าตัวในลำดับ ลองเขียนจำนวนในลำดับถัดไปอีกสักสองตัว จากความสัมพันธ์เวียนบังเกิด แล้วตรวจสอบดูซิว่าตรงกับค่าที่คำนวณได้จากสูตรของผลเฉลยที่เขียนได้หรือไม่

$$a_5 = 2 \cdot 15 + 1 = 31 = 2^5 - 1 \quad \text{และ} \quad a_6 = 2 \cdot 31 + 1 = 63 = 2^6 - 1$$

ก็พบว่าใช้ได้ อีกถ้ามั่นใจว่าน่าจะเป็นรูปแบบปิดที่ถูกต้อง ก็ถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ต้องพิสูจน์ว่าถูกต้อง

จริง ด้วยวิธีอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มด้วยกรณีค่าน้อยที่เป็นหลักฐานหลักว่ารูปแบบปิดใช้ได้ ในกรณีนี้

$a_0 = 2^0 - 1$ ตรงตามค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์ ก็มาถึงขั้นตอนอุปนัยเพื่อพิสูจน์กรณี $n > 0$ โดยแสดงให้เห็นว่ารูปแบบปิดที่เขียนใช้ได้สำหรับลำดับที่ n แต่ถ้าใช้ได้กับลำดับก่อนหน้าตัวที่ n นั่นคือเขียนความสัมพันธ์เวียนบังเกิดของ a_n จากนั้นแทนพจน์ a_i ต่างๆ ที่ $i < n$ ด้วยรูปแบบปิดที่เคาไว้ จากนั้นแสดงให้เห็นว่าจะได้รูปแบบปิดของ a_n ที่เคาไว้ตอนต้น จากตัวอย่างจะได้

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

ตรงตามที่เคาเคาไว้ แสดงว่า $a_n = 2^n - 1$ สำหรับ $n > 0, a_0 = 0$ ที่เคาไว้เป็นรูปแบบปิดของความสัมพัธ์เวียนบังเกิด $a_n = 2a_{n-1} + 1$ 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-2} ด้วย $2a_{n-3} + 1$ แทนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จะได้ว่าเมื่อเราคลี่ความสัมพันธ์จนถึงค่าเริ่มต้นแล้ว(ในตัวอย่างนี้คือ a_0) เราจะได้นิพจน์ที่ประกอบไปด้วยผลบวกและผลคูณที่ยุ่งๆ อาจมีวงเล็บซ้อนๆ กัน เราจะต้องระมัดระวังอย่างยิ่งในขั้นตอนนี้ เพื่อจัดการกับผลบวกผลคูณเหล่านี้ให้เป็นรูปแบบปิด ความคิดพลาดของการนับขาดหรือเกินไปเพียงหนึ่งตัว 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

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

ถ้าเราแทน $b_n = a_n / n!$

ในความสัมพันธ์จะได้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดใหม่

$$b_n = a_{n-1} / (n-1)! + 1 \quad \text{สำหรับ } n > 0, a_0 = 2$$

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะการหาผลเฉลยของ **ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นเอกพันธ์ และไม่เป็นเอกพันธ์** (Solving Linear homogeneous / non-homogeneous recurrence relations) ซึ่งมีรูปแบบการหาผลเฉลยในลักษณะที่แตกต่างกันไปในแต่ละความสัมพันธ์

2.4.3 การหาผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นเอกพันธ์ (Solving Linear homogeneous recurrence relations)

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการหาผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มีคุณสมบัติทั้งเอกพันธ์ เชิงเส้น

และมีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่เป็นระบบ ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดประเภทนี้ดูจากชื่ออาจรู้สึกว่่าค่อนข้างจำกัดเป็นกรณีเฉพาะมากๆ แต่ความจริงเป็นความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่พบบ่อยทีเดียว (อีกทั้งหลายๆ ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่ดูเลวซับซ้อนเมื่ออาศัยวิธีการแทนตัวแปรเข้าช่วย แล้วอาจได้ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นได้) ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัวเขียนเป็นรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

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

โดยที่ $c_1, c_2, c_3, \dots, c_k$ 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

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

นำ r^{n-k} หารทั้งสมการ จากนั้นย้ายทุกๆ พจน์ทางขวามาทางซ้ายจะได้

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

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 $r=2$ ดังนั้นความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n = 2a_{n-1}$ มีผลเฉลยเป็น $a_n = 2^n$

จากตัวอย่างข้างต้นนี้ ไม่เพียงแต่ $a_n = 2^n$ จะเป็นผลเฉลยของ $a_n = 2a_{n-1}$ แล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a_n = \alpha 2^n$ ก็เป็นผลเฉลยเช่นกัน โดยที่ α เป็นค่าคงตัวใดๆ หรือจะพูดในกรณีทั่วไปเลยก็ได้ว่าถ้า r เป็นรากลักษณะของความสัมพันธ์ของ a^n เราจะได้ผลเฉลยเป็น $a_n = \alpha r^n$ เนื่องจากการคูณค่าคงตัว 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

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

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

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

เมื่อแก้สมการทั้งสองแล้วจะได้ $A_1 = 1/2$ 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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นความสัมพันธ์เอกพันธ์เชิงเส้นจึงสามารถนำผลเฉลยมารวมกันแบบเชิงเส้นได้คราวนี้ก็มาถึงค่าคงตัวสองค่า α_1 และ α_2 เราหาได้จากค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์ $a_0 = 1$ และ $a_1 = 1$ โดยการใช้ผลเฉลยที่ได้ตั้งเป็นสองสมการ ให้ตรงกับค่าเริ่มต้นก็จะหาค่าของ α_1 และ α_2 ได้

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

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

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

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

จากการรวมผลเฉลยที่หาได้จากรากลักษณะแต่ละตัวของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด (รวมแบบเชิงเส้น) เข้าด้วยกันที่ได้แสดงให้ดูตัวอย่างข้างบนนี้ ก็จะขอสรุปผลเฉลยของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเอกพันธ์เชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว

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

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

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

2.4.4 การหาผลเฉลยความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเชิงเส้นไม่เอกพันธ์ (Solving Non-Linear homogeneous recurrence relations)

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

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

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

การหาผลเฉลยจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. เปลี่ยน $f(n)$ ให้เป็น 0 จากนั้นหาผลเฉลยเอกพันธ์ $a_n^{(h)}$ โดยยังไม่ต้องหาของ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาค่าของ α ต่างๆ จากการแก้ระบบสมการที่ได้จากการเทียบกับค่าเริ่มต้น

เราทราบวิธีหาผลเฉลยเอกพันธ์ของชั้นตอนที่ 1 แล้ว ก็จะมาดูในรายละเอียดของชั้นตอนที่ 2 เพื่อหาผลเฉลยเฉพาะ การหาผลเฉลยเฉพาะนั้นยังไม่มีวิธีที่แน่นอนที่ใช้ได้ทั่วไป ต้องอาศัยการสังเกตรูปแบบของฟังก์ชัน $f(n)$ ในสมการที่ (2.4.4.1) ถ้า $f(n)$ ใน ตกอยู่ในรูปแบบต่างๆ ที่แสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งเราสามารถหารูปแบบของผลเฉลยเฉพาะได้ง่าย

ตารางที่ 2.6 รูปแบบของ $f(n)$ ที่สามารถหาผลเฉลยเฉพาะได้ง่าย

รูปแบบของ $f(n)$	ตัวอย่าง
ค่าคงตัวยกกำลัง n หรือก็คือ c^n	2^n
ฟังก์ชันพหุนามของ n $b_1n^r + b_{r-1}n^{r-1} + \dots + b_1n + b_0$	$12, n^4, n^2 + 2n - 7$
ผลคูณของรูปแบบที่ 1 กับ 2 $(b_1n^r + b_{r-1}n^{r-1} + \dots + b_1n + b_0)c^n$	$12 \cdot 2^n, n7^n, 3n(n^2 + 2n - 7)$
การรวมเชิงเส้นของรูปแบบข้างบน	$3^n(n^2 + 2n - 7) + n^4 + 2^n$

จากตารางที่ 2.6 ภาระในการหาผลเฉลยเฉพาะก็คือการแทน $\alpha_n^{(p)}$ เข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิดแล้วหาค่า p_i ต่างๆ

สิ่งที่สำคัญคือ ถึงแม้ว่ารูปแบบในตารางที่ 2.6 จะเป็นแบบง่ายแล้วก็ตาม แต่ถ้าเราพบรูปแบบของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดที่มี $f(n)$ แบบอื่น ก็ไม่ใช่ว่าจะใช้ไม่ได้ เราอาจใช้วิธีการเปลี่ยนตัวแปรที่น่าเสนอมาก่อนหน้านี้ในการแปลงความสัมพันธ์ให้เป็นแบบง่ายๆ ก็ได้

ตารางที่ 2.7 แสดงรูปแบบของผลเฉลยเฉพาะสำหรับแต่ละรูปแบบของ $f(n)$

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

หมายเหตุ c ตารางนี้ต้องมีค่าไม่ตรงกับรากลักษณะ

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 $a_n^{(p)} = 6$

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

วิธีทำ สำหรับความสัมพันธ์เวียนบังเกิดนี้ $f(n) = -n^2 + 1$ เป็นฟังก์ชันพหุนามของ n (รูปแบบที่สองในตารางที่ 2.7) ดังนั้น $a_n^{(p)} = p_2n^2 + p_1n + p_0$ แทนเข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิด $a_n - 2a_{n-1} = -n^2 + 1$ จะได้

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

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

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

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

ขอให้สังเกตว่าการหาผลเฉลยที่ได้แสดงให้ดูนี้ ไม่ได้ใช้ค่าเริ่มต้นของความสัมพันธ์เวียนบังเกิดเลย ดังนั้น $a_n^{(p)}$ ที่ได้อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับค่าเริ่มต้นที่กำหนดให้ จึงเป็นที่มาของขั้นตอนที่ 3 ของการหาผลเฉลยเฉพาะที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น 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

$$a_n^{(p)} = c_1a_{n-1}^{(p)} + c_2a_{n-2}^{(p)} + c_3a_{n-3}^{(p)} + \dots + c_ka_{n-k}^{(p)} + f(n)$$

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

$$a_n^{(h)} = c_1a_{n-1}^{(h)} + c_2a_{n-2}^{(h)} + c_3a_{n-3}^{(h)} + \dots + c_ka_{n-k}^{(h)}$$

นำสองสมการข้างบนนี้บวกกันจะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การนำผลเฉลยเอกพจน์มารวมเข้าไบนั้นมีข้อดีตรงที่ $a_n^{(h)}$ ที่นำมารวมนี้อย่างดีตัวแปร α ต่างๆ ที่ยังไม่ได้หาค่าอยู่ k ตัว (ตามค่าอันดับของความสัมพันธ์เวียนบังเกิด) ดังนั้นเราสามารถนำผลเฉลยที่ได้มาเทียบค่าเริ่มต้นจำนวน k ค่า ก็สามารถตั้งระบบสมการที่มี k สมการ เพื่อหาค่าของ α ต่างๆ เหล่านั้น 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 $a_n^{(p)} = (p_1 n + p_0)4^n + p_2$ แทนเข้าในความสัมพันธ์เวียนบังเกิด จะได้

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

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

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

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 $a_n^{(p)} = 2n4^n + 2$

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 $n \geq 0$

■ สำหรับรูปแบบที่ 1 ในตารางที่ 2.7 (ซึ่งรวมรูปแบบที่ 3 ด้วย) คือกรณีที่ $f(n)$ มีพจน์ c^n โดยที่ c เป็นค่าคงตัวด้วยนั้น มีข้อระวังเล็กน้อย คือถ้า c เกิดเป็นค่าเดียวกับรากลักษณะที่ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลยเอกพจน์แล้วละก็ จะใช้รูปแบบที่เสนอในตารางเพื่อหาผลเฉลยเฉพาะไม่ได้

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

$$จะได้ \quad p2^n - 2p2^{n-1} = 4 \cdot 2^n$$

จะพบว่าหาผลเฉลยไม่ได้เพราะว่า 2^n มีเลข 2 เป็นรากลักษณะ

ดังนั้นถ้ารากลักษณะของความสัมพันธ์ตรงกับค่า c ของ c^n ที่เป็นส่วนหนึ่งของ

$f(n)$ เราจะต้องเปลี่ยนรูปแบบของ $a_n^{(p)}$ เป็นดังนี้

(กำหนดให้ c เป็นรากลักษณะที่มีซ้ำกัน m ครั้ง)

$$a_n^{(p)} = n^m (p_m n^m + p_{m-1} n^{m-1} + \dots + p_1 n + p_0) c^n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือมีพจน์ n^m คุณเข้าไปในรูปแบบเดิม

ตัวอย่าง 2.4.4.4 จงหาผลเฉลยของ $b(n) = 3b(n/2) + n$ สำหรับ $n = 2^k$, $b(1) = 1$

วิธีทำ ความสัมพันธ์เวียนบังเกิดในโจทย์ไม่ใช่แบบอันดับคงที่ จะใช้วิธีแก้แบบที่นำเสนอมาตรงๆ ไม่ได้ แต่

เราสามารถใช่วิธีการเปลี่ยนตัวแปร เพื่อแปลงให้เป็นแบบที่เราได้นำเสนอในหัวข้อนี้ได้

โดยให้ $a_k = b(2^k)$ 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 $a_k^{(h)}$: เขียนสมการลักษณะ $r-3=0$ ได้รากลักษณะคือ 3 ดังนั้น $a_k^{(h)} = \alpha 3^k$

หา $a_k^{(p)}$: ในที่นี้ $f(k) = 2^k$ ดังนั้นได้รูปแบบ $a_k^{(p)} = p2^k$ แทนเข้าในความสัมพันธ์

เวียนบังเกิดจะได้ $p2^k - 3p2^{k-1} = 2^k$

เทียบสัมประสิทธิ์ของ 2^k ซ้ายและข้างขวาของสมการ $-p/2 = 1$ ได้ $p = -2$

ดังนั้น $a_k^{(p)} = -2^{k+1}$

รวมผลเฉลยทั้งสองเข้าด้วยกันได้ $a_k = a_k^{(h)} + a_k^{(p)} = -2^{k+1} + \alpha 3^k$ คำนวณค่า a_0

เพื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นได้ $a_0 = -2^{0+1} + \alpha 3^0 = 1$ จะได้ว่า $\alpha = 3$

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

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

$b(2^k) = 3^{k+1} - 2^{k+1}$ 1 ก $n = 2^k$ 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 SIRS (โดยที่คำนึงถึงอัตราการตาย)
- 4) แบบจำลอง SIS

ให้ N = จำนวนของประชากรทั้งหมด
 S = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อของประชากร
 I = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของประชากร
 R = จำนวนของผู้ที่พ้นไข้ของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย β, ν, γ เป็นค่าคงที่ ดังนี้

β	=	อัตราของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อของประชากรแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (ที่สามารถถ่ายทอดได้)
ν	=	อัตราของผู้ที่ติดเชื้อ (ที่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้
γ	=	อัตราของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ
δ	=	อัตราการตายของประชากร
α	=	อัตราการเกิดของประชากร
เมื่อ βSI	คือ	จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
νI	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้
γR	คือ	จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ
δS	คือ	จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต
δI	คือ	จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ที่เสียชีวิต
δR	คือ	จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิต
δN	คือ	จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่

1) แบบจำลอง SIR



นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

= - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

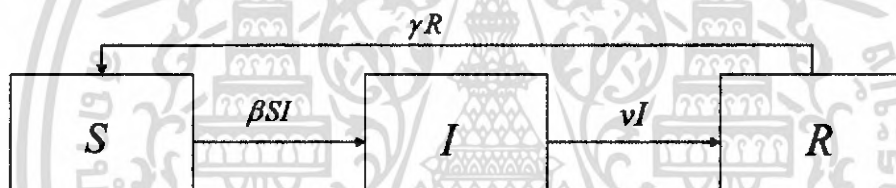
อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

= จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้

= จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

2) แบบจำลอง SIRS



นำมาเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

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

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

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

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

= - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
+ จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

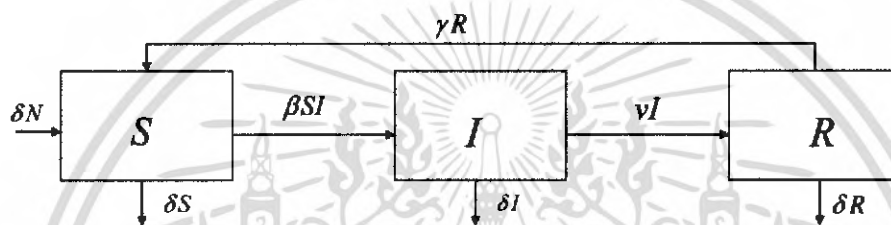
อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

3) แบบจำลอง SIRS (โดยที่คำนึงถึงอัตราการตาย)



นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

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

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

- = - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ
- + จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

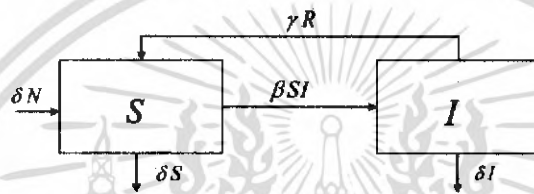
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นไข้

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ที่เสียชีวิต

4) แบบจำลอง SIS



นำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

อธิบายรายละเอียดของโมเดลได้ดังนี้

อัตราการการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

- = - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ
- + จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ที่เสียชีวิต
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองที่ 1) แบบจำลอง SIR

$$-\beta IS = 0 \quad \text{-----(2.1)}$$

$$I(\beta S - \nu) = 0 \quad \text{-----(2.2)}$$

$$\nu I = 0 \quad \text{-----(2.3)}$$

จาก (2.3)

จะได้ว่า $I = 0$

แทนค่า $I = 0$ ใน (2)

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

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

กรณีที่ 1 แทนค่า $I = 0$ ใน (2.1)

$$\text{จะได้ว่า } -\beta S(0) = 0$$

$$\therefore S = 0 \text{ หรือ } S \neq 0 \text{ ก็ได้}$$

$$\text{เราทราบแล้วว่า } N = S + I + R$$

$$\text{ถ้า } S = 0 \text{ จะได้ว่า } R = N$$

$$\text{ถ้า } S \neq 0 \text{ จะได้ว่า } S + R = N$$

$$\text{ถ้า } S = N \text{ แล้ว } R = 0$$

กรณีที่ 2 แทนค่า $S = \frac{\nu}{\beta}$ ใน (2.1)

$$\text{จะได้ว่า } -I\nu = 0 \quad ; \nu \neq 0$$

$$\therefore I = 0$$

$$\text{เราทราบแล้วว่า } R = N - S - I$$

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

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

\therefore จะได้ steady state

กรณีที่ $I = 0$ จะได้ว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

จากแบบจำลองที่ 2) แบบจำลอง SIRS

$$-\beta SI + \gamma R = 0 \quad \text{-----(2.4)}$$

$$I(\beta S - \nu) = 0 \quad \text{-----(2.5)}$$

$$\nu I - \gamma R = 0 \quad \text{-----(2.6)}$$

จาก (2.6)

จะได้ว่า $I = \frac{\gamma R}{\nu}$

แทนค่า $I = \frac{\gamma R}{\nu}$ ใน (2.5)

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

จะได้ว่า

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

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

กรณีที่ 1 แทนค่า $R = 0$ ใน (1)

$$\text{จะได้ว่า} \quad -\beta SI + \gamma(0) = 0$$

$$-\beta SI = 0$$

$$\therefore I = 0$$

$$\text{จาก} \quad N = S + I + R$$

$$\therefore S = N$$

กรณีที่ 2 แทนค่า $S = \frac{\nu}{\beta}$ ใน (1)

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

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

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

$$\text{จาก} \quad N = S + I + R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

\therefore จะได้ steady state

กรณีที่ $R=0$ จะได้ว่า

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

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

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

จากแบบจำลองที่ 3) แบบจำลอง SIRS

$$\delta N - \beta SI + \gamma R - \delta S = 0 \quad \text{-----(2.7)}$$

$$\beta IS - \nu I - \delta I = 0 \quad \text{-----(2.8)}$$

$$\nu I - \gamma R - \delta R = 0 \quad \text{-----(2.9)}$$

จาก (2.9)

$$\text{จะได้ว่า } I = \frac{\gamma R + \delta R}{\nu}$$

แทนค่า $I = \frac{\gamma R + \delta R}{\nu}$ ใน (2.8)

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

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 แทนค่า $R=0$ ใน (2.7)

$$\text{จะได้ว่า } \delta N - \beta SI - \delta S = 0$$

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

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

$$\text{จาก } N = S + I + R$$

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

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

กรณีที่ 2 แทนค่า $S = \frac{\gamma v + \delta(v + \gamma + \delta)}{\beta(\gamma + \delta)}$ ใน (1)

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

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

$$\text{จาก } N = S + I + R$$

$$I = N - S - R$$

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

\therefore จะได้ steady state

กรณีที่ $R=0$ จะได้ว่า

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

กรณีที่ $S = \frac{\gamma v + \delta(v + \gamma + \delta)}{\beta(\gamma + \delta)}$ จะได้ว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบจำลองที่ 4) แบบจำลอง SIS

$$\delta N - \beta SI + \gamma I - \delta S = 0 \quad \text{-----(2.10)}$$

$$\delta N - \beta SI + \gamma I - \delta S = 0 \quad \text{-----(2.11)}$$

จาก (2.11)

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

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

$$\therefore S = \frac{\gamma + \delta}{\beta}$$

กรณีที่ 1 แทนค่า $I=0$ ใน (2.10)

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

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

$$\therefore S = N$$

จาก $N = S + I + R$

$$N = N + 0 + R$$

$$\therefore R = 0$$

กรณีที่ 2 แทนค่า $S = \frac{\gamma + \delta}{\beta}$ ใน (2.10)

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

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

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

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

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

จาก $N = S + I + R$

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

$$\therefore R = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ จะได้ steady state

กรณีที่ $R = 0$ จะได้ว่า

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

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

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

2.6 การทดสอบของโคลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ สำหรับตัวอย่างชุดเดียว (The Kolmogorov-Smirnov One Sample Test)

เป็นการทดสอบซึ่งแนะนำขึ้นโดย Kolmogorov (1933) ใช้ได้กับข้อมูลที่มีมาตราวัดอย่างน้อยแบบเรียงลำดับ (ordinal scale) การทดสอบนี้จะช่วยทำให้ทราบว่า การแจกแจงของกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาเหมือนกับการแจกแจงของประชากรที่เราสนใจหรือไม่ หรืออธิบายได้ว่าคะแนนจากตัวอย่างสามารถพูดได้อย่างมีเหตุผลหรือไม่ว่ามาจากประชากรที่มีการแจกแจงทางทฤษฎีอันหนึ่งหรือคือ การทดสอบการแจกแจงนั่นเอง จะใช้เมื่อตัวแปรที่สนใจมีการแจกแจงแบบต่อเนื่อง (Continuous Distribution) และการทดสอบนี้จะมีอำนาจการทดสอบมากกว่าการทดสอบไคสแควร์ เพราะการทดสอบไคสแควร์จำเป็นต้องรวมกลุ่มด้วยกันเมื่อ $E_i < 5$ ทำให้สูญเสียข้อมูลไป และการทดสอบนี้ใช้ได้ก็เมื่อ N เล็ก เช่น $N < 40$ ถ้า N มากกว่านี้ควรใช้การทดสอบไคสแควร์ สมมติฐานที่ตั้ง คือ

$$H_0 : F(x) = F_0(x) \text{ สำหรับทุกค่าของ } x$$

$$H_1 : F(x) \neq F_0(x) \text{ สำหรับบางค่าของ } x$$

เมื่อ $F(x) =$ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability function)

$$= P(X \leq x)$$

การทดสอบนี้จะทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลตัวอย่าง $S(x)$ กับ $F_0(x)$ ตามทฤษฎีอันหนึ่ง คือพิจารณาจุดต่างๆ ของเส้นกราฟ $F_0(x)$ และ $S(x)$ ที่สร้างในรูปเดียวกันว่าใกล้เคียงกันหรือไม่ ถ้ามีระยะห่างระหว่าง $S(x)$ และ $F_0(x)$ ที่จุดใดๆ มาก ก็น่าจะสงสัยว่าตัวอย่างนี้ไม่ได้มาจากประชากรที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมแบบ $F_0(x)$ ดังนั้น สถิติที่ใช้ทดสอบที่วัดความแตกต่างนี้ได้คือ จึงให้คือค่า D

$$D = \max|F_0(x) - S(x)|$$

เมื่อ $F_0(x)$ = ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมตามทฤษฎีหนึ่ง ๆ เช่น ฟังก์ชันของการแจกแจงปกติหรือ การแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล

และ $S(x)$ = ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของตัวอย่างสุ่มขนาด N
 = the sample (observed) or empirical distribution function
 = $\frac{k}{N}$ เมื่อ k คือจำนวนของค่าสังเกตที่มีค่า $\leq x$

ซึ่ง $S(x)$ มักจะมีกราฟเป็นรูปขั้นบันได (step function)

ส่วน $F_0(x)$ ของการแจกแจงใด ๆ มักจะมีกราฟเป็นรูปเส้นต่อเนื่องที่มีความสูงไม่เกินค่า 1

เมื่อ $F_0(x)$ = cumulative distribution function ของการแจกแจงปกติมาตรฐาน

พิจารณาความแตกต่างระหว่างกราฟ 2 เส้นที่ทุก ๆ ค่าของ x และให้ความแตกต่างที่มากที่สุด = $D = \max|F_0(x) - S(x)|$

นำค่า D นี้ ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต D ในตาราง ถ้าค่า D ที่ได้จากข้อมูลตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ก็ยอมรับ H_0 ดังนั้นอาณาเขตวิกฤตคือ $D < D_{\alpha, N}$ จากตาราง

เนื่องจากใช้ค่าสถิติทดสอบ $D = \max|F_0(x) - S(x)|$ ดังนั้นถ้าสามารถหาความแตกต่างของ $S(x)$ และ $F_0(x)$ โดยระบุให้มีทิศทางได้ การทดสอบนี้ก็สามารถนำไปทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียวได้ด้วย

ดังนี้

$$H_0 : F(x) \geq F_0(x) \text{ สำหรับทุกค่าของ } x$$

$$H_1 : F(x) < F_0(x) \text{ สำหรับบางค่าของ } x$$

สถิติทดสอบคือ $D^+ = \max(F_0(x) - S(x))$

การกำหนด $F_0(x)$ ใน H_0 ต้องเป็นอย่างสมบูรณ์ในกรณีที่ต้องประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยค่าสถิติ

ซึ่งวิธีการเปรียบเทียบค่า $F_0(x)$ และ $S(x)$ ด้วยค่าตัวเลขดังกล่าวข้างต้นบางครั้งจะพบว่าไม่เพียงพอที่จะหาค่า $D = \max|F_0(x) - S(x)|$ เนื่องจากระยะห่างมากที่สุด (ในแนวตั้ง) ระหว่าง $F_0(x)$ และ $S(x)$ ไม่ได้เกิดขึ้นที่ค่า x แต่เกิดขึ้นที่ค่าอื่น ดังนั้นวิธีการหาค่าที่ถูกต้องของค่า D จากตัวเลขสามารถทำได้เช่นกันโดยหาค่า $|S(x_{i-1}) - F_0(x_i)|$ สำหรับทุกค่าของ $i = 1, 2, 3, \dots, r+1$ เมื่อ r = จำนวนของค่า x ที่แตกต่างกัน

และกำหนดให้ $S(x_0) = 0$ ค่าสถิติทดสอบที่ถูกต้อง : D คือ

$$\text{Max}\{\max\|S(x_i) - F_0(x_i), |S(x_{i-1}) - F_0(x_i)|\}; 1 \leq i \leq r$$

2.7 การเปรียบเทียบการทดสอบการแจกแจงด้วยวิธีไคสแควร์ และโคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ (Chi – square and Kolmogorov – Smirnov goodness of fit tests : a comparison)

สำหรับการตรวจสอบการแจกแจงหนึ่ง ๆ นั้น ผู้วิเคราะห์จะประสบปัญหาในการเลือกใช้การทดสอบใดระหว่างไคสแควร์และโคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ Bimbaum, Goodman , Massey และ slakter ได้ชี้ให้เห็นถึงปัญหานี้ และสรุปถึงข้อสำคัญในการเปรียบเทียบได้ ดังนี้

- ก. การทดสอบไคสแควร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้กับข้อมูลชนิดที่มีความถี่ ในขณะที่ โคลโมโกรอฟ - สเมอร์นอฟ ถูกสร้างขึ้นมาใช้กับข้อมูลชนิดต่อเนื่อง แต่ก็นำไปใช้กับข้อมูลชนิดไม่ต่อเนื่อง การทดสอบจะเป็นการทดสอบแบบ Conservative
- ข. การทดสอบโคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ สามารถทดสอบได้ทั้งกรณีการทดสอบสองทางและทางเดียว ในขณะที่การทดสอบไคสแควร์ไม่สามารถบ่งบอกทิศทางของความแตกต่างระหว่างความถี่คาดหวังและความถี่ที่สังเกตได้
- ค. การทดสอบของ โคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ นั้น ตัวสถิติทดสอบ D สามารถหาการแจกแจงได้ (exact sampling distribution) และนำมาสร้างเป็นตารางสำหรับประชากรชนิดต่อเนื่อง ซึ่งระบุการแจกแจง อย่างสมบูรณ์ใน H_0 ได้ (Completely specified in the null hypothesis) ในขณะที่สถิติทดสอบของการทดสอบแบบไคสแควร์นั้นเพียงแต่สามารถประมาณการแจกแจงได้ด้วยการแจกแจงไคสแควร์ เมื่อตัวอย่างสุ่มมีขนาดใหญ่
- ง. การทดสอบแบบไคสแควร์ ต้องการข้อมูลชนิดที่จัดเป็นกลุ่ม ๆ ในขณะที่การทดสอบแบบโคลโมโกรอฟ - สเมอร์นอฟ นั้นใช้ข้อมูลที่ไม่ได้มีลักษณะจัดเป็นกลุ่ม ๆ ดังนั้นจึงใช้สาระของข้อมูลมากกว่า
- จ. การทดสอบแบบไคสแควร์ เหมาะสมที่จะใช้กับข้อมูลที่มีมาตราวัดแบบนามบัญญัติ และการแจกแจงใน H_0 เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง
- ฉ. ในกรณีที่ไมทราบค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงใน H_0 วิธีการทดสอบแบบไคสแควร์สามารถประมาณค่าได้ โดยการลดองศาแห่งความเป็นอิสระลง ในขณะที่วิธีการของโคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ ไม่สามารถทำได้
- ช. การทดสอบแบบ โคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ สามารถสร้างช่วงความเชื่อมั่นของค่า $F_0(x)$ ได้ (Confidence bands for $F(x)$)

บทที่ 3

แบบจำลองของโรคมลาเรีย

ก่อนที่จะทำการสร้างแบบจำลองของโรคมลาเรีย ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลของโรคมลาเรียดังนี้

3.1 ข้อมูลโรคมลาเรีย

แบ่งประเทศไทยออกเป็น 5 ภาค ดังนี้

ภาคเหนือ ประกอบด้วย 17 จังหวัด ดังนี้

กำแพงเพชร, เชียงราย, เชียงใหม่, ตาก, น่าน, นครสวรรค์, แม่ฮ่องสอน, พะเยา, พิจิตรพิษณุโลก, เพชรบูรณ์แพร่, ลำปาง, ลำพูน, สุโขทัย, อุตรดิตถ์, อุทัยธานี

ภาคกลาง ประกอบด้วย 22 จังหวัด ดังนี้

กรุงเทพมหานคร, กาญจนบุรี, ฉะเชิงเทรา, ชัยนาท, นครนายก, นครปฐม, นนทบุรี, ปทุมธานี, ประจวบคีรีขันธ์, ปราจีนบุรี, พระนครศรีอยุธยา, เพชรบุรี, ราชบุรี, ลพบุรี, สมุทรปราการ, สมุทรสงคราม, สมุทรสาคร, สระแก้ว, สระบุรี, สิงห์บุรี, สุพรรณบุรี, อ่างทอง

ภาคตะวันออก ประกอบด้วย 4 จังหวัด ดังนี้

ชลบุรี, ระยอง, จันทบุรี, ตราด

ภาคอีสาน ประกอบด้วย 19 จังหวัด ดังนี้

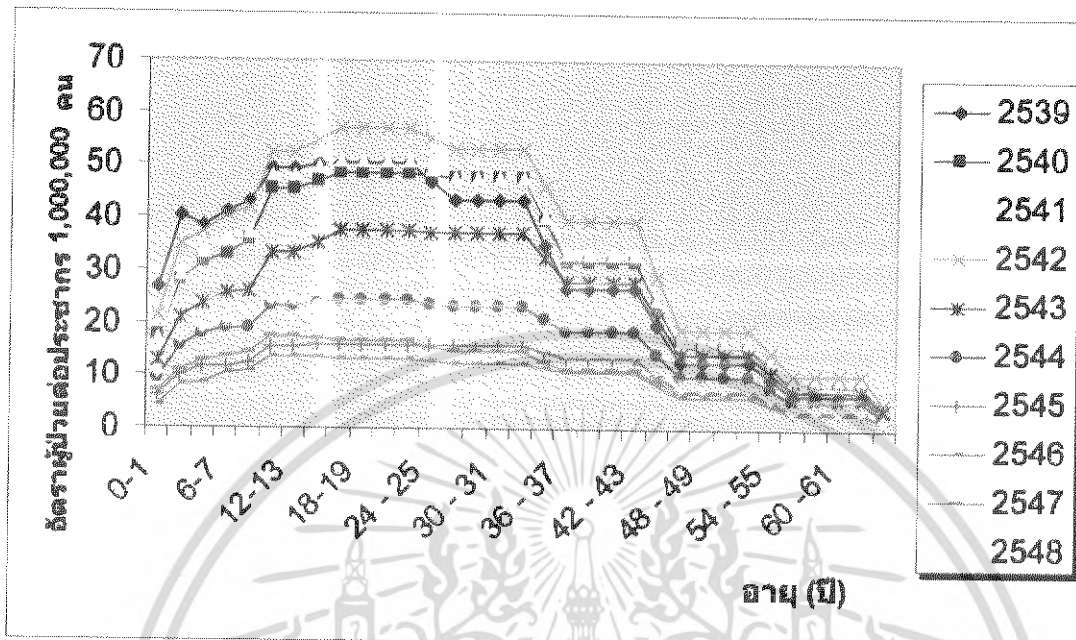
กาฬสินธุ์, ขอนแก่น, ชัยภูมิ, นครพนม, นครราชสีมา, บุรีรัมย์, มหาสารคาม, มุกดาหาร, ยโสธร, ร้อยเอ็ด, เลย, ศรีสะเกษ, สกลนคร, สุรินทร์, หนองคาย, หนองบัวลำภู, อำนาจเจริญ, อุบลราชธานี, อุบลราชธานี

ภาคใต้ ประกอบไปด้วย 14 จังหวัด ดังนี้

กระบี่, ชุมพร, ตรัง, นครศรีธรรมราช, นราธิวาส, ปัตตานี, พังงา, พัทลุง, ภูเก็ต, ยะลา, ระนอง, สงขลา, สตูล, สุราษฎร์ธานี

จากสถิติผู้ป่วยเป็นโรคมลาเรีย ในแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2548 ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของสำนักกระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข เราได้นำมาคำนวณอัตราผู้ป่วยแสดงได้ดังกราฟ เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

กราฟแสดงอัตราผู้ป่วยโรคมาลาเรียของแต่ละปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2548 โดยแบ่งตามอายุ
ได้กราฟดังนี้



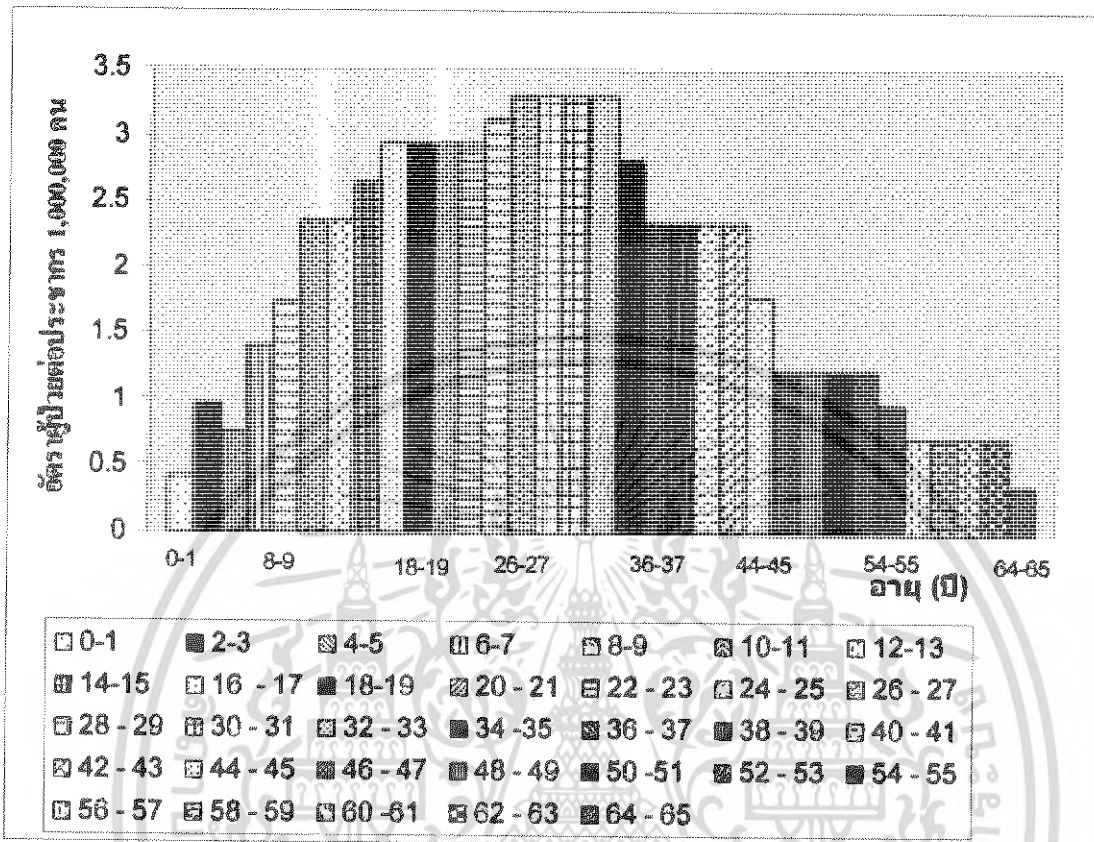
รูปที่ 3.1 กราฟรวม 10 ปีของผู้ป่วยโรคมาลาเรีย

จำนวนผู้ป่วยและอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคน สูงที่สุดคือปี พ.ศ. 2542 มีจำนวนผู้ป่วย 76,167 ราย และมีอัตราผู้ป่วย 1,236.9225 ต่อประชากรล้านคน รองลงมาคือปี พ.ศ. 2541 มีจำนวนผู้ป่วย 67,077 ราย และมีอัตราผู้ป่วย 1,091 ต่อประชากรล้านคน และมีอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนลดลงตามลำดับปี พ.ศ. ดังนี้ พ.ศ. 2540 , 2539 , 2543 , 2544 , 2548 , 2545 , 2547 , 2546 โดยมีอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนตามลำดับ 1046.1026 , 1032.5570 , 839.3683 , 562.4550 , 501.3444 , 385.2646 , 378.3343 , 316.3339

ดังนั้นจึงได้นำ ปี พ.ศ. 2542 มาพิจารณาเนื่องจากมีผู้ป่วยมากที่สุดโดยได้แบ่งพิจารณาทั้ง 5 ภาค และแต่ละภาคได้พิจารณาจังหวัดที่มีผู้ป่วยมากที่สุดได้ผลดังนี้

ภาคเหนือ จังหวัดที่มีอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนมากที่สุดโดยแบ่งตามอายุ ได้แก่ จังหวัด แม่ฮ่องสอน แสดงด้วยกราฟอัตราจำนวนผู้ป่วยได้ดังนี้

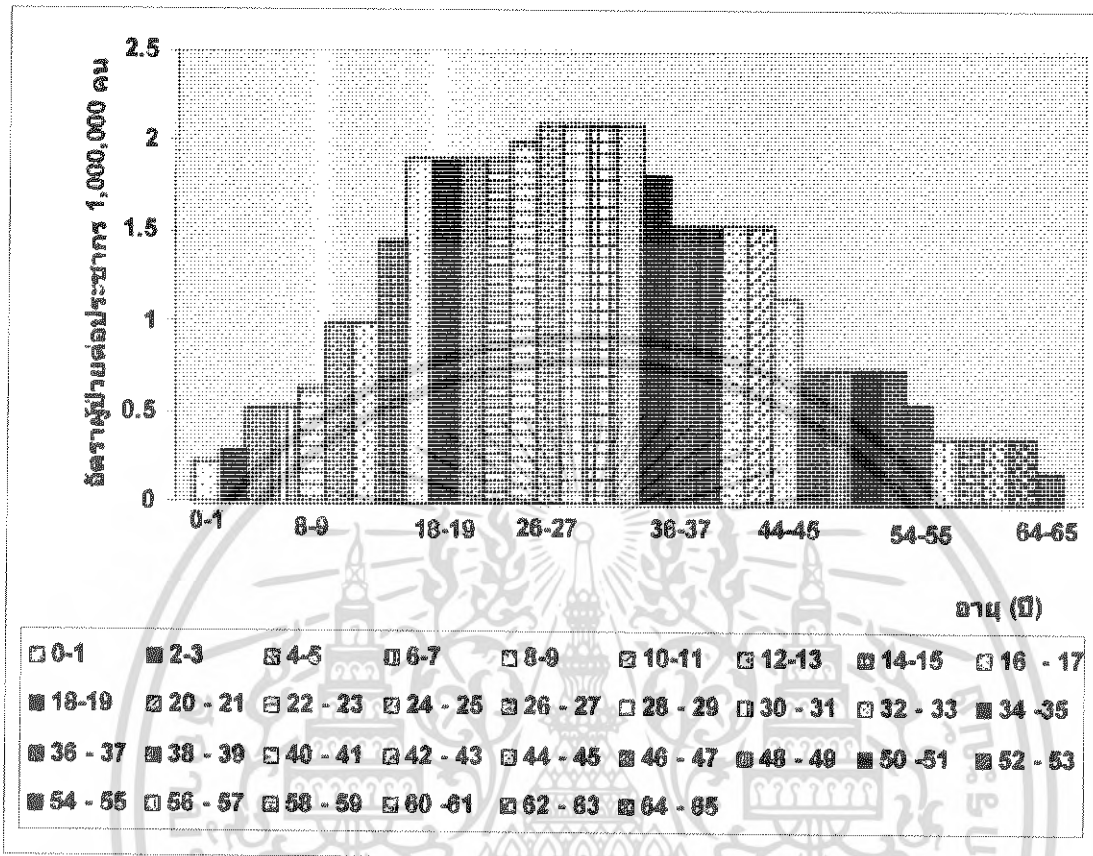
ภาคตะวันออก จังหวัดที่มีอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนมากที่สุด โดยแบ่งตามอายุ ได้แก่จังหวัด ตราด แสดงด้วยกราฟอัตราจำนวนผู้ป่วยได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดตราด

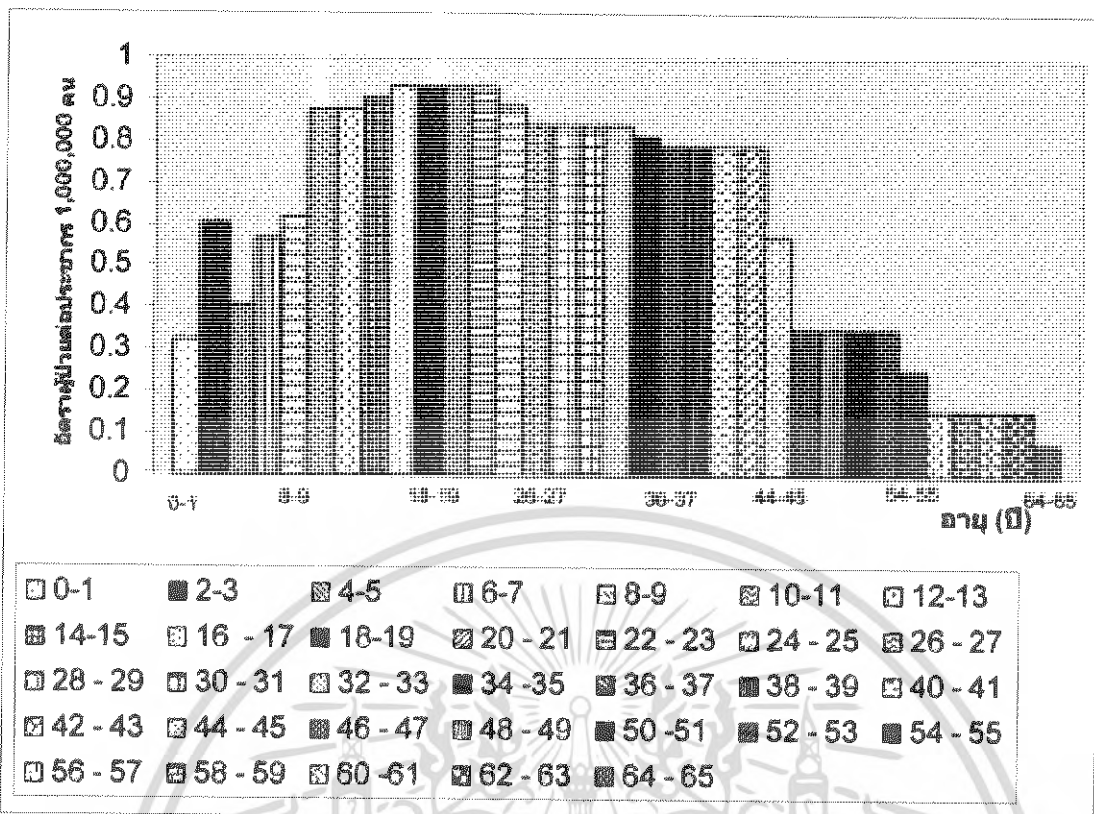
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคอีสาน จังหวัดที่มีอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนมากที่สุดโดยแบ่งตามอายุ ได้แก่ จังหวัด อุบลราชธานี แสดงด้วยกราฟอัตราจำนวนผู้ป่วยได้ดังนี้



รูปที่ 3.5 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนของจังหวัดอุบลราชธานี

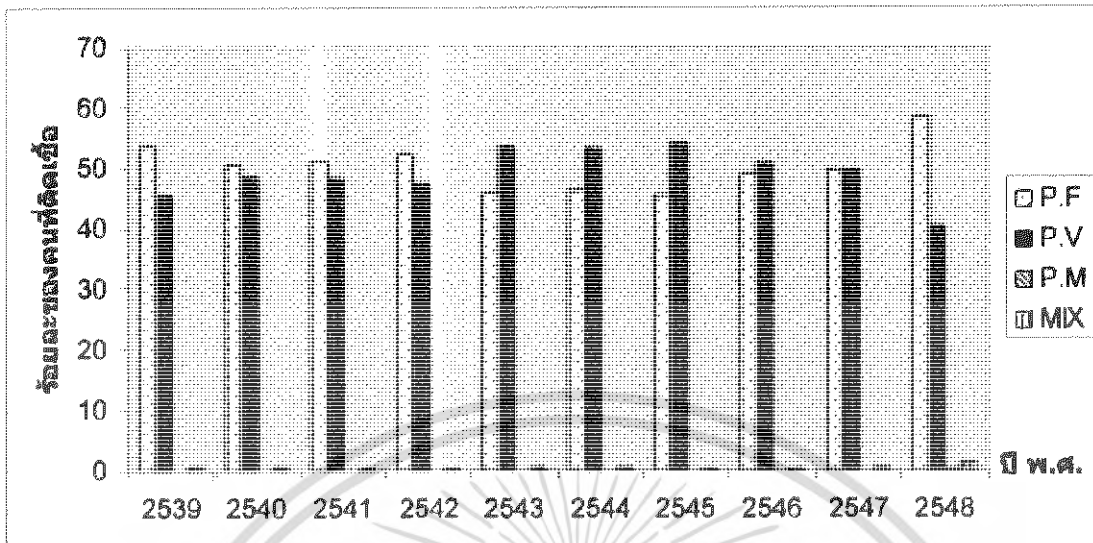
ภาคใต้ จังหวัดที่มีอัตราผู้ป่วยต่อประชากรล้านคนมากที่สุดโดยแบ่งตามอายุ ได้แก่ จังหวัด ระนอง นำมาวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 3.6 กราฟของอัตราผู้ป่วยต่อประชากรด้านคนของจังหวัดระนอง

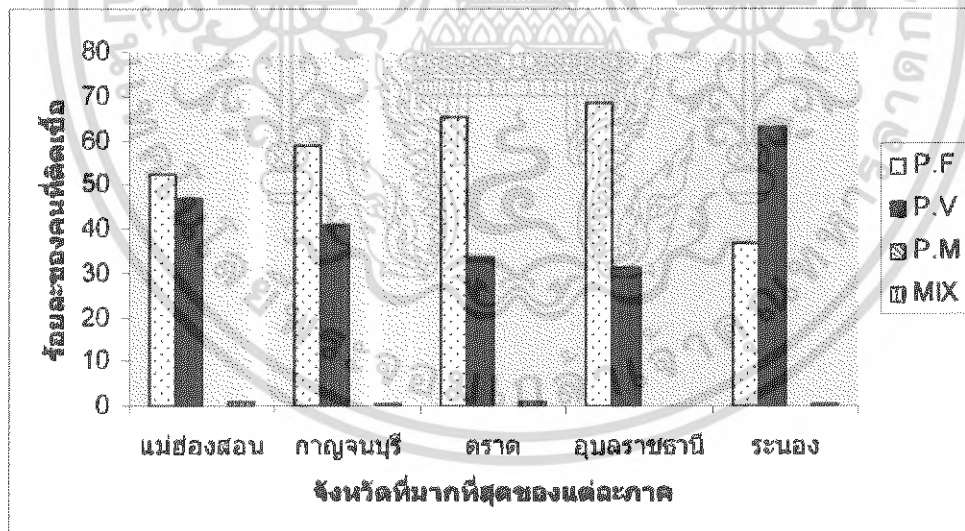
จากกราฟจะเห็นได้ว่า พบผู้ป่วยทุกกลุ่มอายุ กลุ่มที่มีอัตราผู้ป่วยตั้งแต่อายุ 0-1 ปีถึงกลุ่มอายุ 32 - 33 ปี จะเห็นว่าแนวโน้มในการป่วยจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ กลุ่มอายุที่พบมากที่สุดจะมีอายุประมาณอายุ 10-11 ถึง 32 - 33 ปีและอายุตั้งแต่ 33 ปีขึ้นไปก็จะมีแนวโน้มที่จะเป็นโรคมาลาเรียลดลงเรื่อย ๆ

กราฟผู้ป่วยโรคมาลาเรียโดยแบ่งตามเชื้อ ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 3.7 กราฟรวม 10 ปีของผู้ป่วยโรคมาลาเรียที่แบ่งตามชนิดของเชื้อ

กราฟผู้ป่วยโรคมาลาเรียของจังหวัดที่พบมากที่สุดในปี พ.ศ. 2542 ที่โดยแบ่งตามเชื้อ ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 3.8 กราฟผู้ป่วยโรคมาลาเรียของจังหวัดที่พบมากที่สุดในปี พ.ศ. 2542 ที่โดยแบ่งตามชนิดของเชื้อ

เชื้อที่ตรวจพบ ได้แก่เชื้อ P.F(*Plasmodium falciparum*), P.V(*Plasmodium vivax*), P.M(*Plasmodium malariae*), MIX(*Plasmodium falciparum*+*Plasmodium vivax*) ซึ่งจะเห็นว่าคิดเชื้อ P.F(*Plasmodium falciparum*) พบมากที่สุดคิดเป็นประมาณร้อยละ 60 ของผู้ที่มาตรวจ และจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบเชื้อ P.V(*Plasmodium vivax*), MIX(*Plasmodium falciparum*+*Plasmodium vivax*) ,
P.M(*Plasmodium malariae*) ลดลงตามลำดับ

3.2 แบบจำลองตามอายุสำหรับโรคมาลาเรีย (Age distribution model for Malaria)

เราพิจารณาการสร้างแบบจำลองของประชากรและยุง

- ให้
- S_{M_i} = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อของประชากรกลุ่มอายุที่ i
 - E_{M_i} = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของประชากรกลุ่มที่ i
 - I_{M_i} = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของประชากรกลุ่มที่ i
 - A_{M_i} = จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้จากมาลาเรียของประชากรกลุ่มที่ i
 - S_V = จำนวนของยุงที่ไวต่อการติดเชื้อ
 - E_V = จำนวนของยุงที่ติดเชื้อ แต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้
 - I_V = จำนวนของยุงที่ติดเชื้อ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

ประชากรกลุ่มอายุที่ i หมายถึง

- $i = 1$ คือ อายุ 0-2 ปี
- $i = 2$ คือ อายุ 2-4 ปี
- $i = 3$ คือ อายุ 4-6 ปี
-
-
-
- $i = n$ คือ อายุ 64-66 ปี

สมมติว่าเราพิจารณาประชากรทั้งหมด n กลุ่ม

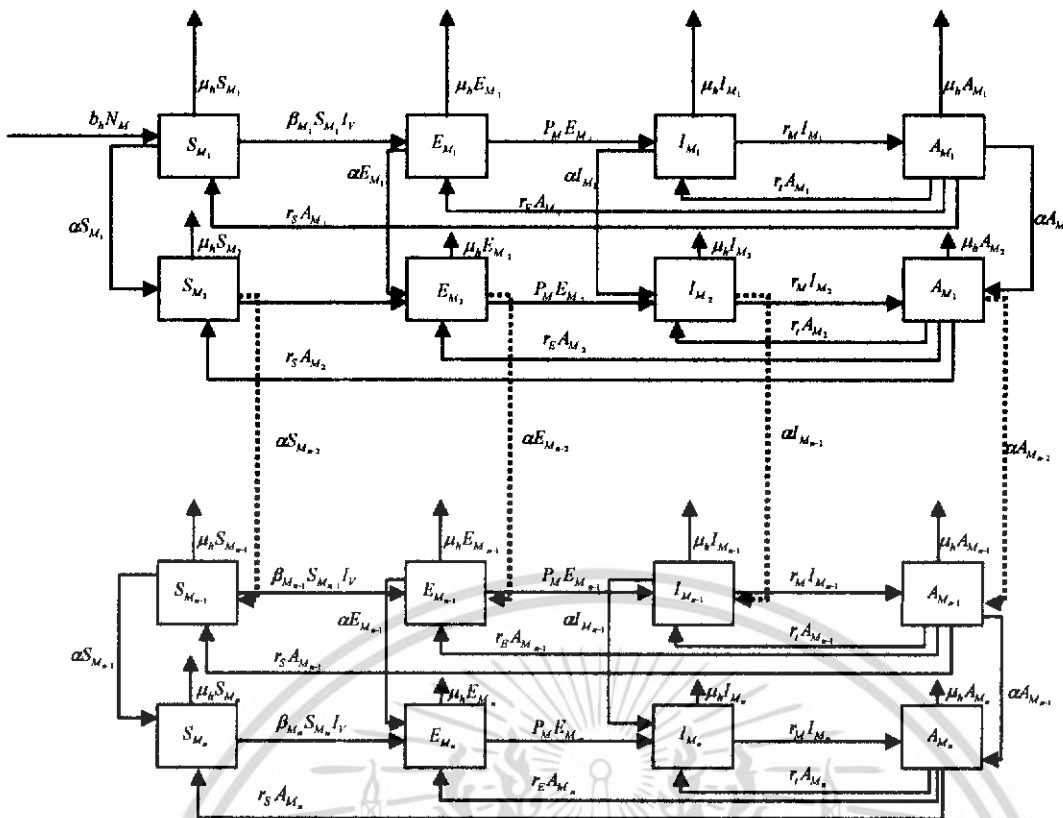
ให้ความหมายของพารามิเตอร์แต่ละตัวเป็นดังนี้

- b_h = อัตราการเกิดของประชากร (= อัตราการตาย μ_h)
- β_{M_i} = อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากยุงไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i
- r_S = อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้ออีกครั้ง
- r_E = อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r_i	=	อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
α	=	อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่กลุ่ม $i+1$
N_T	=	จำนวนประชากร(สมมติให้คงที่) = $S_M + E_M + I_M + A_M$
P_M	=	อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
S_M	=	จำนวนทั้งหมดของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ = $S_{M_1} + S_{M_2} + \dots + S_{M_n}$
E_M	=	จำนวนทั้งหมดของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ = $E_{M_1} + E_{M_2} + \dots + E_{M_n}$
I_M	=	จำนวนทั้งหมดของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ = $I_{M_1} + I_{M_2} + \dots + I_{M_n}$
r_M	=	อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้
μ_h	=	อัตราการตายของประชากร
C_V	=	จำนวนของยุง ณ เวลาเริ่มต้น
μ_V	=	อัตราการตายของยุง
β_V	=	อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากคนไปสู่ยุง
P_V	=	อัตราที่ยุงเปลี่ยนสถานะจากยุงที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของประชากรที่ป่วยเป็นโรคมาลาเรีย (พิจารณากลุ่มอายุที่ 1 ถึง n)

อธิบายรายละเอียดของ โมเดลได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ กลุ่มที่ 1

- = จำนวนของผู้ที่เกิดใหม่
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิตกลุ่มที่ 1

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)กลุ่ม 1
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ฟื้น ไข้กลุ่ม 1
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่ม 1
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่ม 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้น ไข้ กลุ่มที่ 1

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ฟื้น ไข้กลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ 1
- จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ 1 ไปเป็นกลุ่มที่ 2

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

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ i ($i = 2, 3, \dots, n-1$)

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิตกลุ่มที่ i
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ i

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

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- + จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)กลุ่มที่ i
 - จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้น ไข้กลุ่มที่ i
 - จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่ม i
 - จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่ม i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$
 - + จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่ม $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้น ไข้กลุ่มที่ i ($i = 2, 3, \dots, n-1$)

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้น ไข้กลุ่มที่ i
- จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ i
 - จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
 - จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (และถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ i
 - จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ i
 - + จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $i-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ i
 - จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ i ไปเป็นกลุ่มที่ $i+1$

สำหรับกลุ่มอายุที่ n

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อสำหรับกลุ่มอายุที่ n

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) กลุ่มที่ n
 - + จำนวนของผู้ที่ฟื้น ไข้แล้วเปลี่ยน ไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อกลุ่มที่ n
 - จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื่อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n

- = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื่อแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n
- + จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ(และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

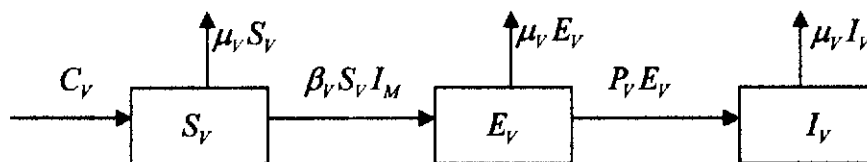
อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื่อ (และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n

- = จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ(และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n
- + จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้) ที่เปลี่ยนจากกลุ่ม $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ(และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้)กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นฟูกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้) ที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

อัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นฟูกลุ่มที่ n

- = จำนวนจำนวนของผู้ที่ติดเชื่อ (และสามารถถ่ายทอดเชื่อได้)แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ฟื้นฟู กลุ่มที่ n
- + จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูที่เปลี่ยนจากกลุ่มที่ $n-1$ ไปเป็นกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ (และถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื่อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื่อได้) กลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูแล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื่อกลุ่มที่ n
- จำนวนของผู้ที่ฟื้นฟูที่เสียชีวิตกลุ่มที่ n

แบบจำลองของฝูง



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงแนวคิดในการสร้างแบบจำลองของฝูง

อธิบายรายละเอียดของแบบจำลองได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของฝูงที่ไวต่อการติดเชื้อ

- = จำนวนของฝูงที่เกิดขึ้นใหม่
- จำนวนของฝูงที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นฝูงที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
- จำนวนของฝูงที่ไวต่อการติดเชื้อที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของฝูงที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- = จำนวนของฝูงที่ไวต่อการติดเชื้อแล้วเปลี่ยนไปเป็นฝูงที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
- จำนวนของฝูงที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นฝูงที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
- จำนวนของฝูงที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของฝูงที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)

- = จำนวนของฝูงที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) แล้วเปลี่ยนไปเป็นฝูงที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)
- จำนวนของฝูงที่ติดเชื้อ (และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ที่เสียชีวิต

จากแบบจำลอง เครื่องหมายชี้เข้าคือ + , เครื่องหมายชี้ออก คือ -

จากแผนภาพแสดงแนวคิดข้างต้น นำมาเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\frac{d()}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงของ ()

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

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

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

$$\frac{dS_{M_1}}{dt} = b_h N_M - \beta_{M_1} S_{M_1} I_V - \alpha S_{M_1} - \mu_h S_{M_1} + r_s A_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dS_{M_i}}{dt} = \alpha S_{M_{i-1}} - \beta_{M_i} S_{M_i} I_V - \alpha S_{M_i} - \mu_h S_{M_i} + r_s A_{M_i} \quad \text{เมื่อ } i=2, \dots, n-1$$

$$\frac{dS_{M_n}}{dt} = \alpha S_{M_{n-1}} - \beta_{M_n} S_{M_n} I_V - \mu_h S_{M_n} + r_s A_{M_n} \quad \text{เมื่อ } i=n$$

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื้อแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดได้ทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

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

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

$$\frac{dE_{M_1}}{dt} = \beta_{M_1} S_{M_1} I_V - (\alpha S_{M_1} + \mu_h S_{M_1} + P_M E_{M_1}) + r_s A_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dE_{M_i}}{dt} = \beta_{M_i} S_{M_i} I_V + \alpha E_{M_{i-1}} + r_E A_{M_i} - \alpha E_{M_i} - P_M E_{M_i} - \mu_h E_{M_i} \quad \text{เมื่อ } i=2, \dots, n-1$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ติดเชื่อและสามารถถ่ายทอดได้ทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

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

$$\frac{dI_M}{dt} = P_M E_M + A_M r_i - [\mu_h + r_M] I_M$$

$$\frac{dI_{M_1}}{dt} = P_M E_{M_1} + r_i A_{M_1} - \alpha I_{M_2} - \mu_h I_{M_1} - r_M I_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dI_{M_i}}{dt} = P_M E_{M_i} + \alpha I_{M_{i-1}} + r_i A_{M_i} - (r_M + \mu_h) I_{M_i} - \alpha I_{M_i} \quad \text{เมื่อ } i=2, \dots, n-1$$

$$\frac{dI_{M_n}}{dt} = \alpha I_{M_{n-1}} + r_i A_{M_n} - (\mu_h + r_M) I_{M_n} \quad \text{เมื่อ } i=n$$

สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ที่ฟื้นฟูทั้งหมด เราสามารถหาได้โดย

$$\frac{dA_M}{dt} = \frac{dA_{M_1}}{dt} + \frac{dA_{M_2}}{dt} + \dots + \frac{dA_{M_n}}{dt}$$

$$\frac{dA_M}{dt} = r_M I_M - [\mu_h + r_i + r_E + r_S] A_M$$

$$\frac{dA_{M_1}}{dt} = r_M I_{M_1} - (r_i A_{M_1} + r_E A_{M_1} + r_S A_{M_1}) - \mu_h A_{M_1} - \alpha A_{M_1} \quad \text{เมื่อ } i=1$$

$$\frac{dA_{M_i}}{dt} = r_M I_{M_i} - (r_i A_{M_i} + r_E A_{M_i} + r_S A_{M_i}) - \alpha A_{M_i} - \mu_h A_{M_i} + \alpha A_{M_{i-1}} \quad \text{เมื่อ } i=2, \dots, n-1$$

$$\frac{dA_{M_n}}{dt} = r_M I_{M_n} + \alpha A_{M_{n-1}} - (\mu_h A_{M_n} + r_i A_{M_n} + r_E A_{M_n} + r_S A_{M_n}) \quad \text{เมื่อ } i=n$$

ในบทต่อไปเราจะทำการวิเคราะห์แบบจำลองที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์แบบจำลอง

4.1 ท1 Steady State Solution

ใช้ทฤษฎีของ Steady State ในหัวข้อ 2.3 ท1 steady state solutions สำหรับประชากร ดังนี้

$$\frac{dS_{M_i}}{dt} = 0, \quad i=1, \dots, n$$

$$\frac{dE_{M_i}}{dt} = 0, \quad i=1, \dots, n$$

$$\frac{dI_{M_i}}{dt} = 0, \quad i=1, \dots, n$$

$$\frac{dA_{M_i}}{dt} = 0, \quad i=1, \dots, n$$

นั่นก็คือ

$i=1$

$$\begin{aligned} \frac{dS_{M_1}}{dt} &= b_h N_T - \beta_{M_1} S_{M_1} I_V - \alpha S_{M_1} - \mu_h S_{M_1} + r_s A_{M_1} = 0 \\ \therefore S_{M_1} &= \frac{b_h N_T + r_s A_{M_1}}{\beta_{M_1} I_V + \alpha + \mu_h} \end{aligned}$$

$i=2$

$$\begin{aligned} \frac{dS_{M_2}}{dt} &= \alpha S_{M_1} - \beta_{M_2} S_{M_2} I_V - \alpha S_{M_2} - \mu_h S_{M_2} + r_s A_{M_2} = 0 \\ \therefore S_{M_2} &= \frac{\alpha S_{M_1} + r_s A_{M_2}}{\beta_{M_2} I_V + \alpha + \mu_h} \end{aligned}$$

$i=3$

$$\begin{aligned} \frac{dS_{M_3}}{dt} &= \alpha S_{M_2} - \beta_{M_3} S_{M_3} I_V - \alpha S_{M_3} - \mu_h S_{M_3} + r_s A_{M_3} = 0 \\ \therefore S_{M_3} &= \frac{\alpha S_{M_2} + r_s A_{M_3}}{\beta_{M_3} I_V + \alpha + \mu_h} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i=4$

$$\frac{dS_{M_4}}{dt} = \alpha S_{M_3} - \beta_{M_4} S_{M_4} I_V - \alpha S_{M_4} - \mu_h S_{M_4} + r_s A_{M_4} = 0$$

$$\therefore S_{M_4} = \frac{\alpha S_{M_3} + r_s A_{M_4}}{\beta_{M_4} I_V + \alpha + \mu_h}$$

$i=5$

$$\frac{dS_{M_5}}{dt} = \alpha S_{M_4} - \beta_{M_5} S_{M_5} I_V - \alpha S_{M_5} - \mu_h S_{M_5} + r_s A_{M_5} = 0$$

$$\therefore S_{M_5} = \frac{\alpha S_{M_4} + r_s A_{M_5}}{\beta_{M_5} I_V + \alpha + \mu_h}$$

จะได้ว่า
$$S_{M_i} = \frac{\alpha S_{M_{i-1}} + r_s A_{M_i}}{\beta_{M_i} I_V + \alpha + \mu_h}$$

$i=n$

$$\frac{dS_{M_2}}{dt} = \alpha S_{M_1} - \beta_{M_2} S_{M_2} I_V - \mu_h S_{M_2} + r_s A_{M_2} = 0$$

$$\therefore S_{M_2} = \frac{\alpha S_{M_1} + r_s A_{M_2}}{\beta_{M_2} I_V + \alpha + \mu_h}$$

$$\frac{dS_{M_3}}{dt} = \alpha S_{M_2} - \beta_{M_3} S_{M_3} I_V - \mu_h S_{M_3} + r_s A_{M_3} = 0$$

$$\therefore S_{M_3} = \frac{\alpha S_{M_2} + r_s A_{M_3}}{\beta_{M_3} I_V + \alpha + \mu_h}$$

$$\frac{dS_{M_4}}{dt} = \alpha S_{M_3} - \beta_{M_4} S_{M_4} I_V - \mu_h S_{M_4} + r_s A_{M_4} = 0$$

$$\therefore S_{M_4} = \frac{\alpha S_{M_3} + r_s A_{M_4}}{\beta_{M_4} I_V + \alpha + \mu_h}$$

จะได้ว่า
$$S_{M_n} = \frac{\alpha S_{M_{n-1}} + r_s A_{M_n}}{\beta_{M_n} I_V + \mu_h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i=1$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_1}}{dt} &= \beta_{M_1} S_{M_1} I_V - (\alpha + \mu_h + P_M) E_{M_1} + r_E A_{M_1} = 0 \\ \therefore E_{M_1} &= \frac{\beta_{M_1} S_{M_1} I_V + r_E A_{M_1}}{\alpha + \mu_h + P_M}\end{aligned}$$

$i=2$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_2}}{dt} &= \beta_{M_2} S_{M_2} I_V + \alpha E_{M_1} + r_E A_{M_2} - \alpha E_{M_2} - P_M E_{M_2} - \mu_h E_{M_2} = 0 \\ \therefore E_{M_2} &= \frac{\beta_{M_2} S_{M_2} I_V + \alpha E_{M_1} + r_E A_{M_2}}{\alpha + \mu_h + P_M}\end{aligned}$$

$i=3$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_3}}{dt} &= \beta_{M_3} S_{M_3} I_V + \alpha E_{M_2} + r_E A_{M_3} - \alpha E_{M_3} - P_M E_{M_3} - \mu_h E_{M_3} = 0 \\ \therefore E_{M_3} &= \frac{\beta_{M_3} S_{M_3} I_V + \alpha E_{M_2} + r_E A_{M_3}}{\alpha + \mu_h + P_M}\end{aligned}$$

$i=4$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_4}}{dt} &= \beta_{M_4} S_{M_4} I_V + \alpha E_{M_3} + r_E A_{M_4} - \alpha E_{M_4} - P_M E_{M_4} - \mu_h E_{M_4} = 0 \\ \therefore E_{M_4} &= \frac{\beta_{M_4} S_{M_4} I_V + \alpha E_{M_3} + r_E A_{M_4}}{\alpha + \mu_h + P_M}\end{aligned}$$

$i=5$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_5}}{dt} &= \beta_{M_5} S_{M_5} I_V + \alpha E_{M_4} + r_E A_{M_5} - \alpha E_{M_5} - P_M E_{M_5} - \mu_h E_{M_5} = 0 \\ \therefore E_{M_5} &= \frac{\beta_{M_5} S_{M_5} I_V + \alpha E_{M_4} + r_E A_{M_5}}{\alpha + \mu_h + P_M}\end{aligned}$$

จะได้ว่า
$$E_{M_i} = \frac{\beta_{M_i} S_{M_i} I_V + \alpha E_{M_{i-1}} + r_E A_{M_i}}{\alpha + \mu_h + P_M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i = n$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_2}}{dt} &= \beta_{M_2} S_{M_2} I_V + \alpha E_{M_1} + r_E A_{M_2} - (\mu_h + P_M) E_{M_2} = 0 \\ \therefore E_{M_2} &= \frac{\beta_{M_2} S_{M_2} I_V + \alpha E_{M_1} + r_E A_{M_2}}{\mu_h + P_M}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_3}}{dt} &= \beta_{M_3} S_{M_3} I_V + \alpha E_{M_2} + r_E A_{M_3} - (\mu_h + P_M) E_{M_3} = 0 \\ \therefore E_{M_3} &= \frac{\beta_{M_3} S_{M_3} I_V + \alpha E_{M_2} + r_E A_{M_3}}{\mu_h + P_M}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dE_{M_4}}{dt} &= \beta_{M_4} S_{M_4} I_V + \alpha E_{M_3} + r_E A_{M_4} - (\mu_h + P_M) E_{M_4} = 0 \\ \therefore E_{M_4} &= \frac{\beta_{M_4} S_{M_4} I_V + \alpha E_{M_3} + r_E A_{M_4}}{\mu_h + P_M}\end{aligned}$$

จะได้ว่า
$$E_{M_n} = \frac{\beta_{M_n} S_{M_n} I_V + \alpha E_{M_{n-1}} + r_E A_{M_n}}{\mu_h + P_M}$$

$i = 1$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_1}}{dt} &= P_M E_{M_1} + r_I A_{M_1} - \alpha I_{M_1} - \mu_h I_{M_1} - r_M I_{M_1} = 0 \\ \therefore I_{M_1} &= \frac{P_M E_{M_1} + r_I A_{M_1}}{\alpha + \mu_h + r_M}\end{aligned}$$

$i = 2$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_2}}{dt} &= P_M E_{M_2} + \alpha I_{M_1} + r_I A_{M_2} - (r_M + \mu_h) I_{M_2} - \alpha I_{M_2} = 0 \\ \therefore I_{M_2} &= \frac{P_M E_{M_2} + \alpha I_{M_1} + r_I A_{M_2}}{\alpha + \mu_h + r_M}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i=3$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_3}}{dt} &= P_M E_{M_3} + \alpha I_{M_2} + r_i A_{M_3} - (r_M + \mu_h) I_{M_3} - \alpha I_{M_3} = 0 \\ \therefore I_{M_3} &= \frac{P_M E_{M_3} + \alpha I_{M_2} + r_i A_{M_3}}{\alpha + \mu_h + r_M}\end{aligned}$$

$i=4$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_4}}{dt} &= P_M E_{M_4} + \alpha I_{M_3} + r_i A_{M_4} - (r_M + \mu_h) I_{M_4} - \alpha I_{M_4} = 0 \\ \therefore I_{M_4} &= \frac{P_M E_{M_4} + \alpha I_{M_3} + r_i A_{M_4}}{\alpha + \mu_h + r_M}\end{aligned}$$

$i=5$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_5}}{dt} &= P_M E_{M_5} + \alpha I_{M_4} + r_i A_{M_5} - (r_M + \mu_h) I_{M_5} - \alpha I_{M_5} = 0 \\ \therefore I_{M_5} &= \frac{P_M E_{M_5} + \alpha I_{M_4} + r_i A_{M_5}}{\alpha + \mu_h + r_M}\end{aligned}$$

จะได้ว่า
$$I_{M_i} = \frac{P_M E_{M_i} + \alpha I_{M_{i-1}} + r_i A_{M_i}}{\alpha + \mu_h + r_M}$$

$i=n$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_2}}{dt} &= P_M E_{M_2} + \alpha I_{M_1} + r_i A_{M_2} - (\mu_h + r_M) I_{M_2} = 0 \\ \therefore I_{M_2} &= \frac{P_M E_{M_2} + \alpha I_{M_1} + r_i A_{M_2}}{\mu_h + r_M}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_3}}{dt} &= P_M E_{M_3} + \alpha I_{M_2} + r_i A_{M_3} - (\mu_h + r_M) I_{M_3} = 0 \\ \therefore I_{M_3} &= \frac{P_M E_{M_3} + \alpha I_{M_2} + r_i A_{M_3}}{\mu_h + r_M}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dI_{M_4}}{dt} &= P_M E_{M_4} + \alpha I_{M_3} + r_i A_{M_4} - (\mu_h + r_M) I_{M_4} = 0 \\ \therefore I_{M_4} &= \frac{P_M E_{M_4} + \alpha I_{M_3} + r_i A_{M_4}}{\mu_h + r_M}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า
$$I_{M_n} = \frac{P_M E_{M_i} + \alpha I_{M_{n-1}} + r_i A_{M_n}}{\mu_h + r_M}$$

$i=1$

$$\frac{dA_{M_1}}{dt} = r_M I_{M_1} - (r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha) A_{M_1} = 0$$

$$\therefore A_{M_1} = \frac{r_M I_{M_1}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha}$$

$i=2$

$$\frac{dA_{M_2}}{dt} = r_M I_{M_2} - (r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha) A_{M_2} + A_{M_1} = 0$$

$$\therefore A_{M_2} = \frac{r_M I_{M_2} + \alpha A_{M_1}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha}$$

$i=3$

$$\frac{dA_{M_3}}{dt} = r_M I_{M_3} - (r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha) A_{M_3} + A_{M_2} = 0$$

$$\therefore A_{M_3} = \frac{r_M I_{M_3} + \alpha A_{M_2}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha}$$

$i=4$

$$\frac{dA_{M_4}}{dt} = r_M I_{M_4} - (r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha) A_{M_4} + A_{M_3} = 0$$

$$\therefore A_{M_4} = \frac{r_M I_{M_4} + \alpha A_{M_3}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha}$$

$i=5$

$$\frac{dA_{M_5}}{dt} = r_M I_{M_5} - (r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha) A_{M_5} + A_{M_4} = 0$$

$$\therefore A_{M_5} = \frac{r_M I_{M_5} + \alpha A_{M_4}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha}$$

จะได้ว่า
$$A_{M_i} = \frac{r_M I_{M_i} + \alpha A_{M_{i-1}}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$i = n$

$$\frac{dA_{M_2}}{dt} = r_M I_{M_2} + \alpha A_{M_1} - (\mu_h + r_i + r_E + r_s) A_{M_2} = 0$$

$$\therefore A_{M_2} = \frac{r_M I_{M_2} + \alpha A_{M_1}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h}$$

$$\frac{dA_{M_3}}{dt} = r_M I_{M_3} + \alpha A_{M_2} - (\mu_h + r_i + r_E + r_s) A_{M_3} = 0$$

$$\therefore A_{M_3} = \frac{r_M I_{M_3} + \alpha A_{M_2}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h}$$

$$\frac{dA_{M_4}}{dt} = r_M I_{M_4} + \alpha A_{M_3} - (\mu_h + r_i + r_E + r_s) A_{M_4} = 0$$

$$\therefore A_{M_4} = \frac{r_M I_{M_4} + \alpha A_{M_3}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h}$$

จะได้ว่า $A_{M_n} = \frac{r_M I_{M_n} + \alpha A_{M_{n-1}}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h}$

สรุปได้ว่า

$$S_{M_i} = \frac{b_h N_T + r_s A_{M_i}}{\beta_{M_i} I_v + \alpha + \mu_h} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$S_{M_i} = \frac{\alpha S_{M_{i-1}} + r_s A_{M_i}}{\beta_{M_i} I_v + \alpha + \mu_h} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$S_{M_n} = \frac{\alpha S_{M_{n-1}} + r_s A_{M_n}}{\beta_{M_n} I_v + \mu_h} \quad \text{ที่ } i=n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{M_1} = \frac{\beta_{M_1} S_{M_1} I_v + r_E A_{M_1}}{\alpha + \mu_h + P_M} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$E_{M_i} = \frac{\beta_{M_i} S_{M_i} I_v + \alpha E_{M_{i-1}} + r_E A_{M_i}}{\alpha + \mu_h + P_M} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$E_{M_n} = \frac{\beta_{M_n} S_{M_n} I_v + \alpha E_{M_{n-1}} + r_E A_{M_n}}{\mu_h + P_M} \quad \text{ที่ } i=n$$

$$I_{M_1} = \frac{P_M E_{M_1} + r_i A_{M_1}}{\alpha + \mu_h + r_M} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$I_{M_i} = \frac{P_M E_{M_i} + \alpha I_{M_{i-1}} + r_i A_{M_i}}{\alpha + \mu_h + r_M} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$I_{M_n} = \frac{P_M E_{M_n} + \alpha I_{M_{n-1}} + r_i A_{M_n}}{\mu_h + r_M} \quad \text{ที่ } i=n$$

$$A_{M_1} = \frac{r_M I_{M_1}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$A_{M_i} = \frac{r_M I_{M_i} + \alpha A_{M_{i-1}}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$A_{M_n} = \frac{r_M I_{M_n} + \alpha A_{M_{n-1}}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h} \quad \text{ที่ } i=n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก N_T เป็นจำนวนประชากรทั้งหมดซึ่งมีค่าคงที่ และ

$$N_T = S_M + E_M + I_M + A_M$$

พิจารณา $\frac{dN_T}{dt} = \frac{d}{dt}(S_M + E_M + I_M + A_M)$

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

$$= N_T b_h - S_M \mu_h - \left[\sum_{i=1}^n \beta_{M_i} S_{M_i} \right] I_V + A_M r_s + \left[\sum_{i=1}^n \beta_{M_i} S_{M_i} \right] I_V$$

$$- \mu_h E_M - P_M E_M + A_M r_E + P_M E_M + r_I A_M - \mu_h I_M - r_M I_M$$

$$+ r_M I_M - \mu_h A_M - r_I A_M - r_E A_M - r_s A_M$$

$$= N_T b_h - S_M \mu_h - \mu_h E_M - \mu_h I_M - \mu_h A_M$$

$$= N_T b_h - [S_M + E_M + I_M + A_M] \mu_h$$

$$= N_T b_h - N_T \mu_h$$

เนื่องจาก จำนวนประชากรทั้งหมดเป็นค่าคงที่

ดังนั้น $\frac{dN_T}{dt} = 0$

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

$$b_h - \mu_h = 0$$

จะได้ว่า $\therefore b_h = \mu_h$

นั่นคือ อัตราการเกิดของประชากร เท่ากับ อัตราการตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ทฤษฎีของ Steady State ในหัวข้อ 2.3 หา steady state solutions สำหรับยุง

$$\frac{dS_V}{dt} = C_V - \mu_V S_V - \beta_V S_V I_M$$

$$\frac{dE_V}{dt} = \beta_V S_V I_M - \mu_V E_V - P_V E_V$$

$$\frac{dI_V}{dt} = P_V E_V - \mu_V I_V$$

ให้ S_T = จำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ ทั้งหมด

E_T = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ทั้งหมด

I_T = จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อ(แต่ถ่ายทอดเชื้อได้)ทั้งหมด

R_T = จำนวนของผู้ที่ฟื้นไข้ทั้งหมด

Steady State Solution ของยุงหาได้จาก

$$\frac{dS_V}{dt} = 0, \quad \frac{dE_V}{dt} = 0, \quad \frac{dI_V}{dt} = 0$$

นั่นก็คือ

$$\frac{dS_V}{dt} = C_V - \mu_V S_V - \beta_V S_V I_M = 0$$

$$\therefore S_V = \frac{C_V}{\mu_V + \beta_V I_M}$$

$$\frac{dE_V}{dt} = \beta_V S_V I_M - \mu_V E_V - P_V E_V = 0$$

$$\therefore E_V = \frac{\beta_V S_V I_M}{\mu_V + P_V}$$

$$\frac{dI_V}{dt} = P_V E_V - \mu_V I_V = 0$$

$$\therefore I_V = \frac{P_V E_V}{\mu_V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่า

$$S_V = \frac{C_V}{\mu_V + \beta_V I_M}$$

$$E_V = \frac{\beta_V S_V I_V}{\mu_V + P_V}$$

$$I_V = \frac{P_V E_V}{\mu_V}$$

เพราะ N_V เป็นจำนวนยุงทั้งหมดซึ่งมีค่าคงที่ และ

$$N_V = S_V + E_V + I_V$$

พิจารณา

$$\frac{dN_V}{dt} = \frac{d}{dt}(S_V + E_V + I_V)$$

$$= \frac{dS_V}{dt} + \frac{dE_V}{dt} + \frac{dI_V}{dt}$$

$$= C_V - \mu_V S_V - \beta_V S_V I_M + \beta_V S_V I_M - \mu_V E_V - P_V E_V + P_V E_V - \mu_V I_V$$

$$= C_V - \mu_V S_V - \mu_V E_V - \mu_V I_V$$

$$= C_V - (S_V + E_V + I_V)\mu_V$$

$$0 = C_V - N_V \mu_V$$

$$\therefore N_V = \frac{C_V}{\mu_V}$$

จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ข้างต้นมาเขียนโปรแกรมประยุกต์ เพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลอง
ที่ได้สร้างไว้แล้ว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

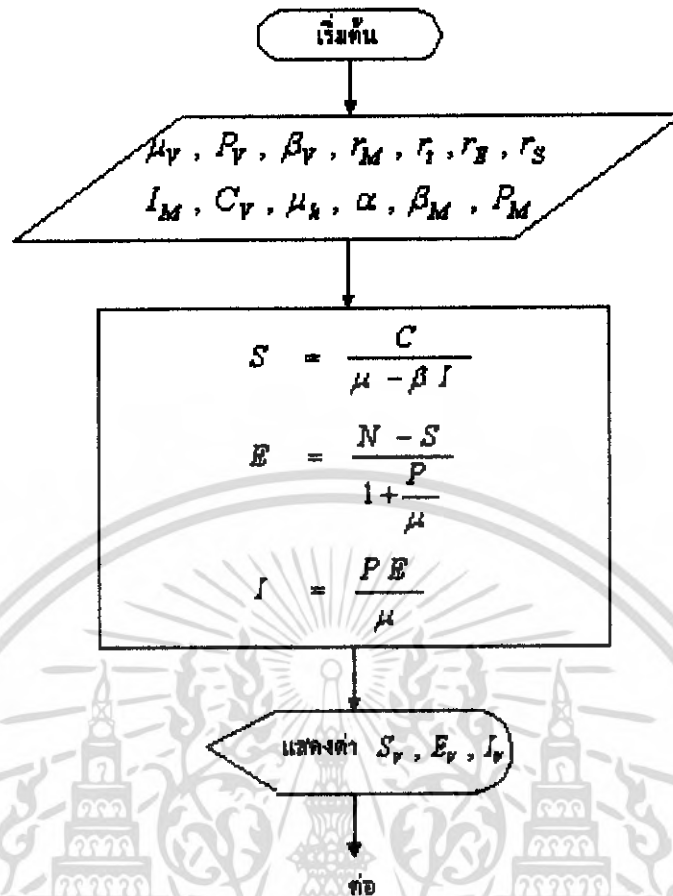
ในการคำนวณนั้นจะต้องมีการรับ จำนวนของขุม ณ เวลาเริ่มต้น (C_V) , อัตราการตายของขุม (μ_V) , อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากคนไปสู่ขุม (β_V) , จำนวนขุมทั้งหมด (N_V) , อัตราที่ขุมเปลี่ยนสถานะจากขุมที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (P_V) , อัตราการตายของประชากร (μ_h) , อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากขุมไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i (β_{M_i}) , อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้ออีกครั้ง (r_S) , อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (r_E) , อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (r_I) , อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่กลุ่ม $i+1$ (α) , อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (P_M) , อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้ (r_M) และ จำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_M) แล้ว เริ่มแรกให้รวมค่า (I_M) ทุกตัวเข้าด้วยกัน และนำไปคำนวณหา S_V , E_V และ I_V ดังนี้

$$S_V = \frac{C_V}{\mu_V + \beta_V I_M}$$

$$E_V = \frac{N_V - S_V}{1 + \frac{P_V}{\mu_V}}$$

และ

$$I_V = \frac{P_V E_V}{\mu_V}$$



รูปที่ 4.1 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับรายละเอียดของขงกันปล่อง

จากนั้นก็คำนวณหาค่า $A_{M_1}, A_{M_2}, A_{M_n}$ จาก

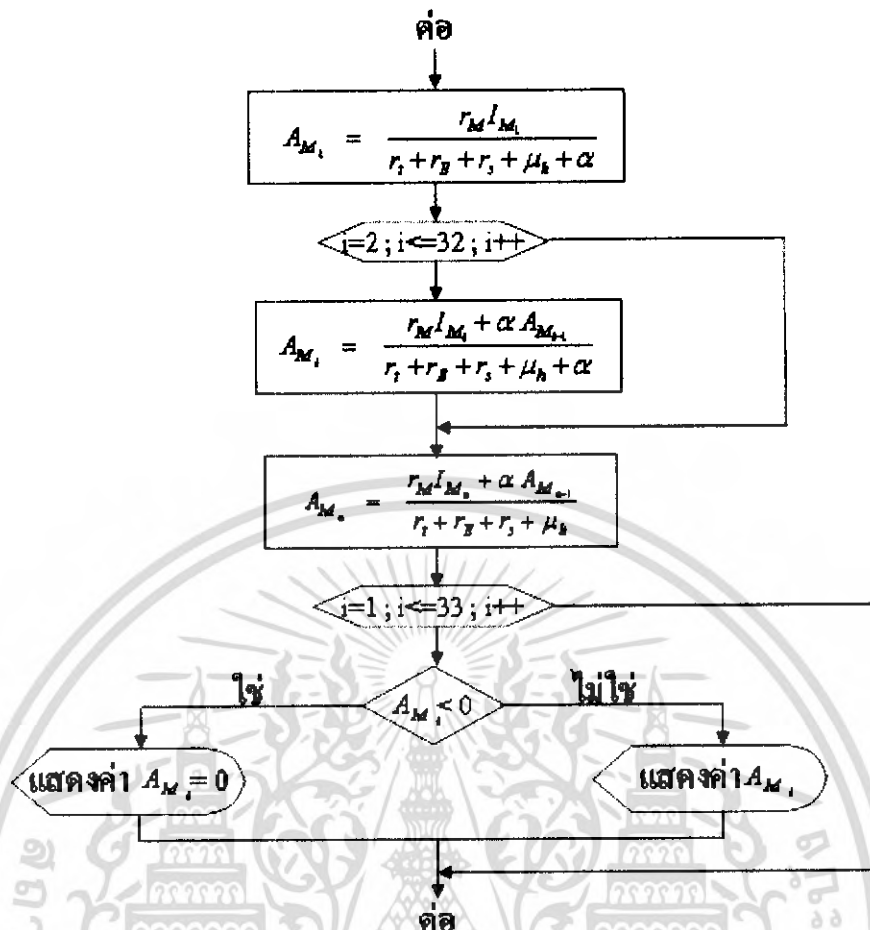
E_M :

$$A_{M_1} = \frac{r_M I_{M_1}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$A_{M_i} = \frac{r_M I_{M_i} + \alpha A_{M_{i-1}}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h + \alpha} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$A_{M_n} = \frac{r_M I_{M_n} + \alpha A_{M_{n-1}}}{r_i + r_E + r_s + \mu_h} \quad \text{ที่ } i=n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่พ้นไข้จากโรคมาลาเรีย

เมื่อได้ค่า $A_{M_1}, A_{M_2}, A_{M_n}$ แล้วเราสามารถนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา $E_{M_1}, E_{M_i}, E_{M_n}$ ได้ว่า

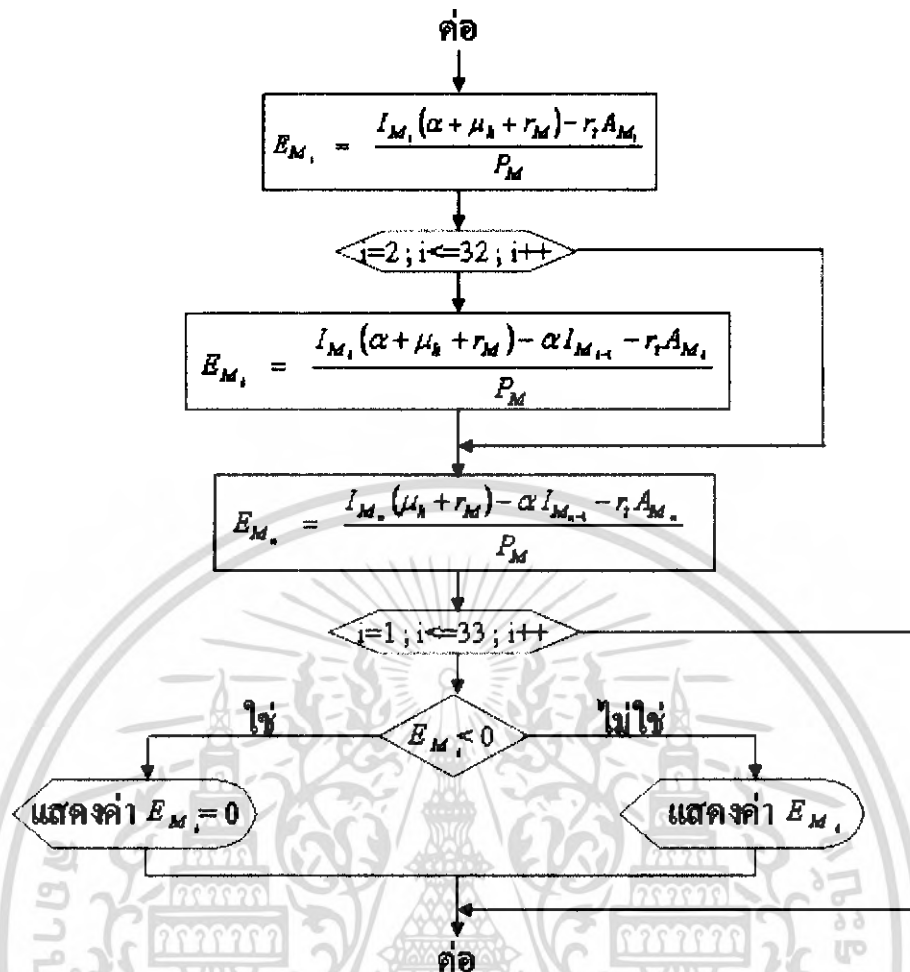
E_{M_1} :

$$E_{M_1} = \frac{I_{M_1}(\alpha + \mu_h + r_M) - r_i A_{M_1}}{P_M} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$E_{M_i} = \frac{I_{M_i}(\alpha + \mu_h + r_M) - \alpha I_{M_{i-1}} - r_i A_{M_i}}{P_M} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$E_{M_n} = \frac{I_{M_n}(\mu_h + r_M) - \alpha I_{M_{n-1}} - r_i A_{M_n}}{P_M} \quad \text{ที่ } i=n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่คิดเชื่อมาลาเรีย แต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

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

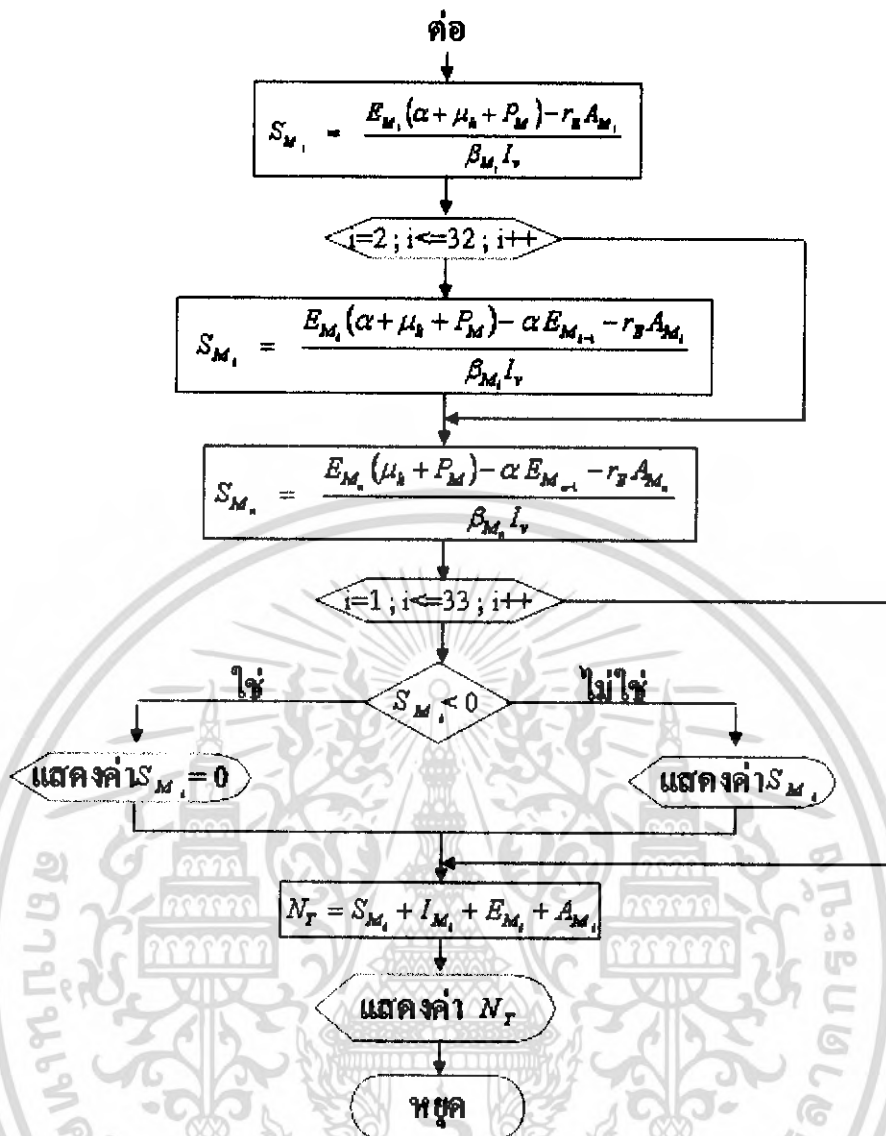
S_{M_i} :

$$S_{M_1} = \frac{E_{M_1}(\alpha + \mu_h + P_M) - r_E A_{M_1}}{\beta_{M_1} I_v} \quad \text{ที่ } i=1$$

$$S_{M_i} = \frac{E_{M_i}(\alpha + \mu_h + P_M) - \alpha E_{M_{i-1}} - r_E A_{M_i}}{\beta_{M_i} I_v} \quad \text{ที่ } i=2, \dots, n-1$$

$$S_{M_n} = \frac{E_{M_n}(\mu_h + P_M) - \alpha E_{M_{n-1}} - r_E A_{M_n}}{\beta_{M_n} I_v} \quad \text{ที่ } i=n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

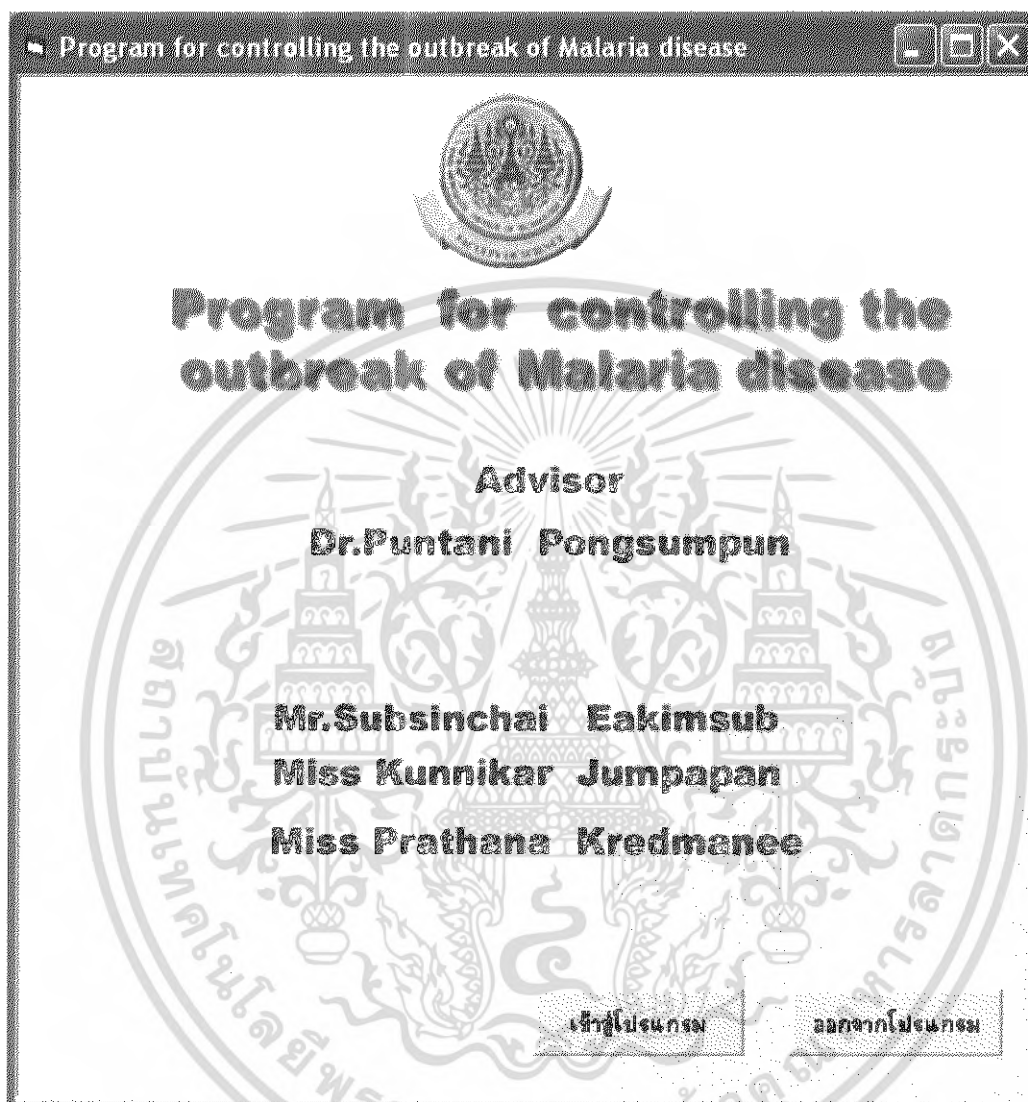


รูปที่ 4.4 Flow Chart แสดงการทำงานเกี่ยวกับจำนวนของผู้ที่ไม่เชื่อการติดเชื้อ

เมื่อเราได้ค่า I_{M_i} , A_{M_i} , E_{M_i} และ S_{M_i} แล้ว เราสามารถหาค่าของผลรวมของประชากร (N_T) ได้ว่า $N_T = S_{M_i} + I_{M_i} + E_{M_i} + A_{M_i}$ แล้วนำค่าดังกล่าวไปวาดกราฟเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล

4.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

เมื่อเข้าสู่หน้าจอโปรแกรมหลัก จะประกอบไปด้วยชื่อโปรแกรม อาจารย์ที่ปรึกษา และ คณะผู้จัดทำ และยังประกอบไปด้วย ปุ่มเข้าสู่โปรแกรม และปุ่มออกจากโปรแกรม



รูปที่ 4.5 หน้าจอโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่ม **เข้าสู่โปรแกรม** ก็จะเข้าสู่หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ ประกอบไปด้วยปุ่มตัวแปรและพารามิเตอร์ ปุ่มวิธีใช้ ปุ่มค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ ปุ่มเข้าสู่โปรแกรมหลัก และปุ่มออกจากโปรแกรม

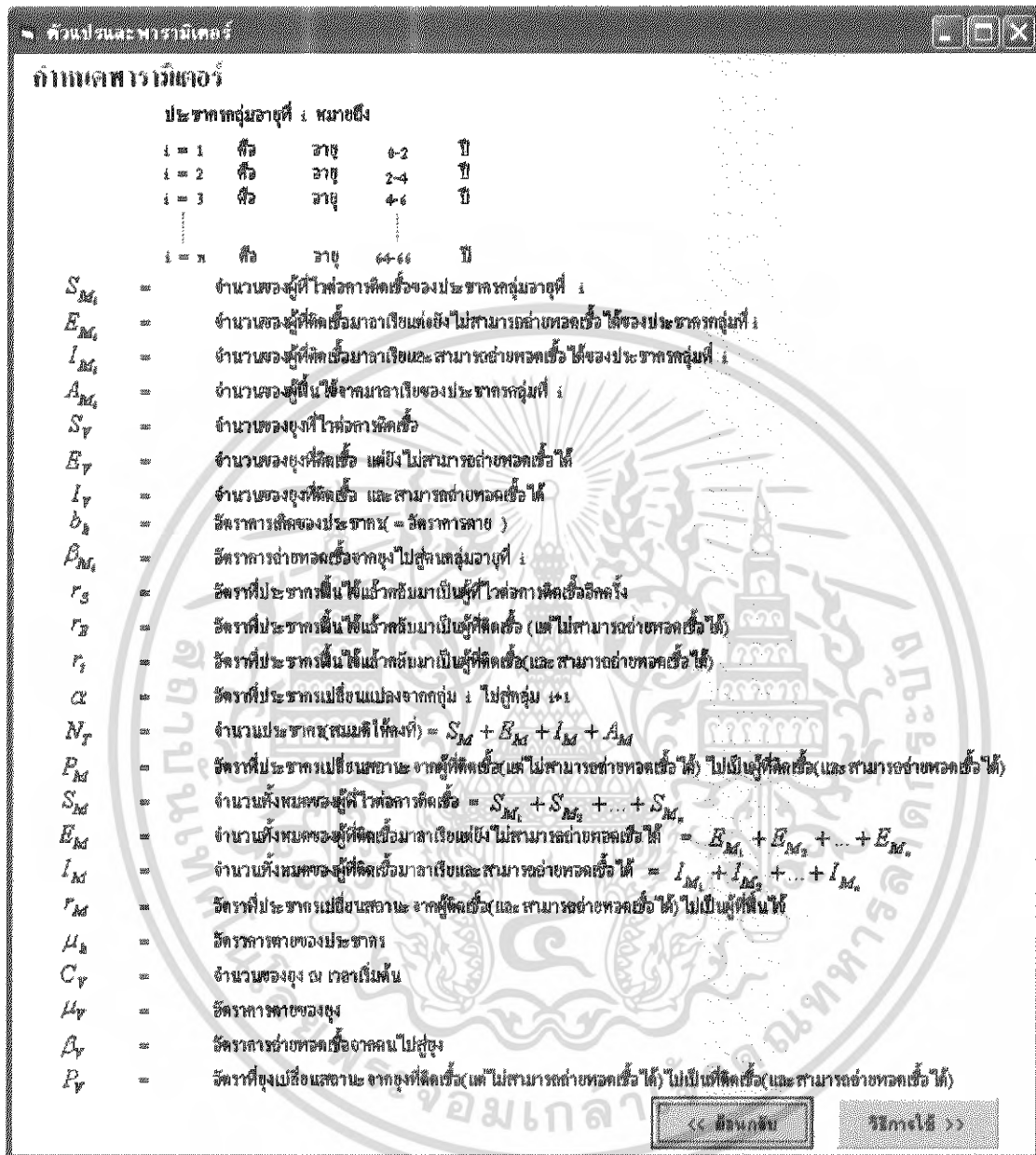


รูปที่ 4.6 หน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

- | | | |
|--------|--------------------------------|---|
| กดปุ่ม | ตัวแปรและพารามิเตอร์ | เมื่อต้องการให้แสดงความหมายของตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ |
| กดปุ่ม | วิธีใช้ | เมื่อต้องการให้แสดงวิธีการในการใช้โปรแกรม |
| กดปุ่ม | ค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ | เมื่อต้องการทราบค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ที่เหมาะสม |
| กดปุ่ม | เข้าสู่โปรแกรมหลัก | เมื่อต้องการเข้าสู่โปรแกรม |
| กดปุ่ม | ออกจากโปรแกรม | เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่มตัวแปรและพารามิเตอร์ จะเข้าสู่หน้าจอแสดงความหมายของตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ประกอบไปด้วย ปุ่มย้อนกลับ และปุ่มวิธีการใช้

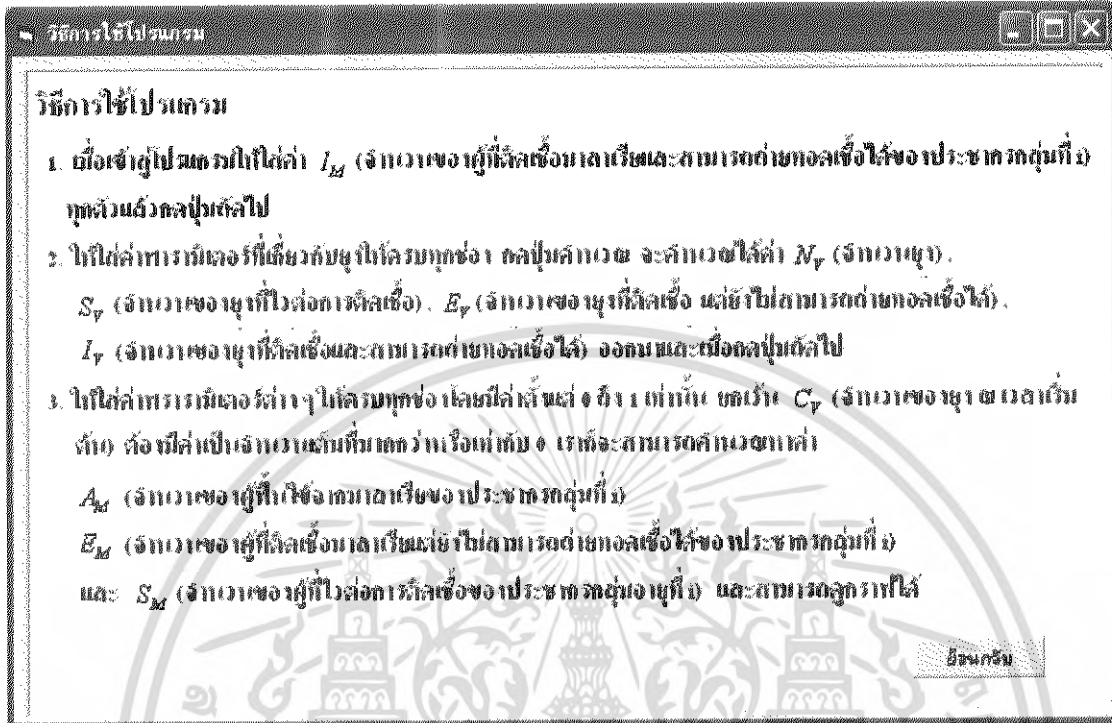


รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงการกำหนดพารามิเตอร์

ปุ่มย้อนกลับ กดปุ่มนี้เมื่อต้องการย้อนกลับไปหน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ และปุ่มวิธีการใช้ กดปุ่มนี้เมื่อต้องการให้แสดงวิธีการในการใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

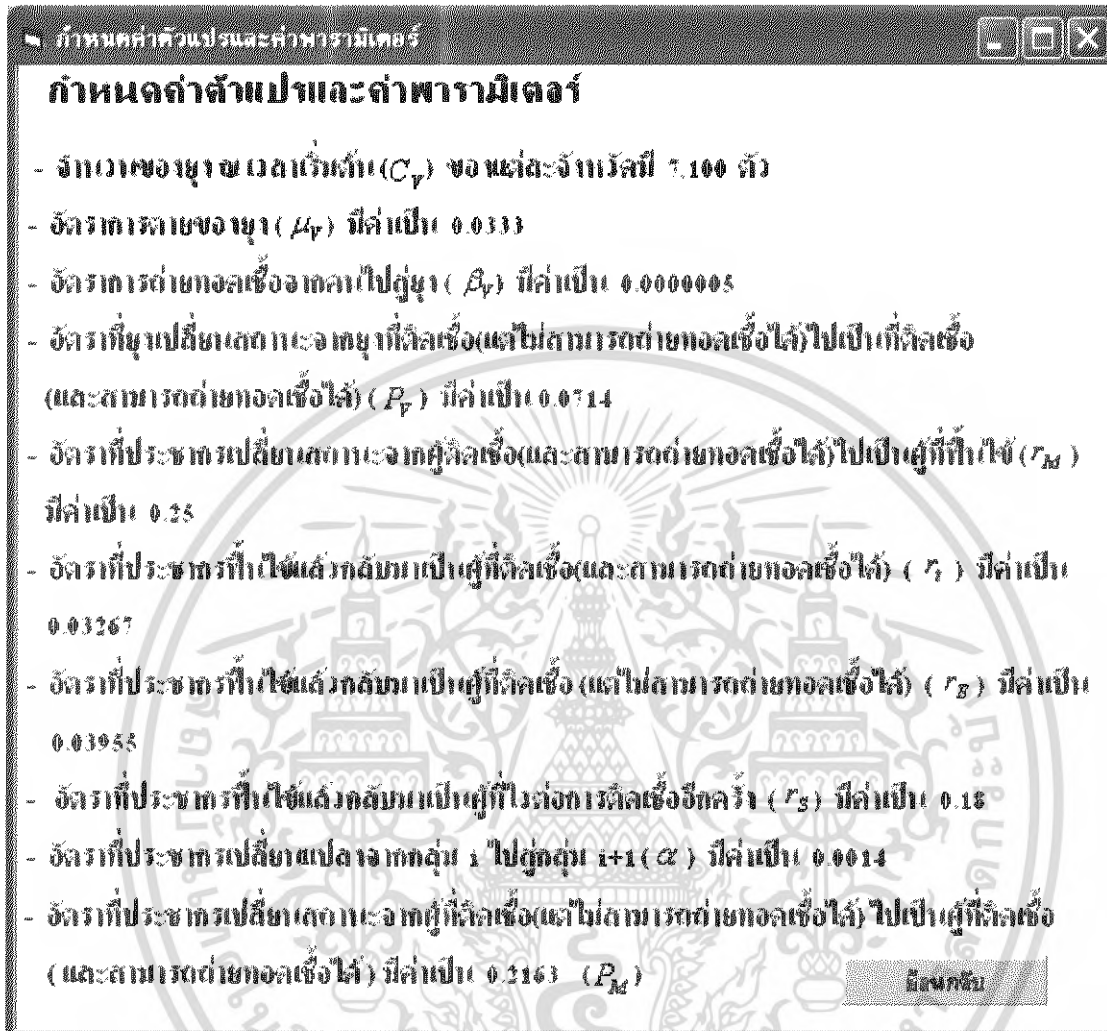
เมื่อกดปุ่มวิธีการใช้จะเข้าสู่หน้าจอแสดงวิธีการใช้โปรแกรม ซึ่งจะอธิบายการใช้โปรแกรมเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังรูป



รูปที่ 4.8 หน้าจอแสดงวิธีการใช้โปรแกรม

ปุ่มย้อนกลับ กดเมื่อต้องการกลับไปยังหน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

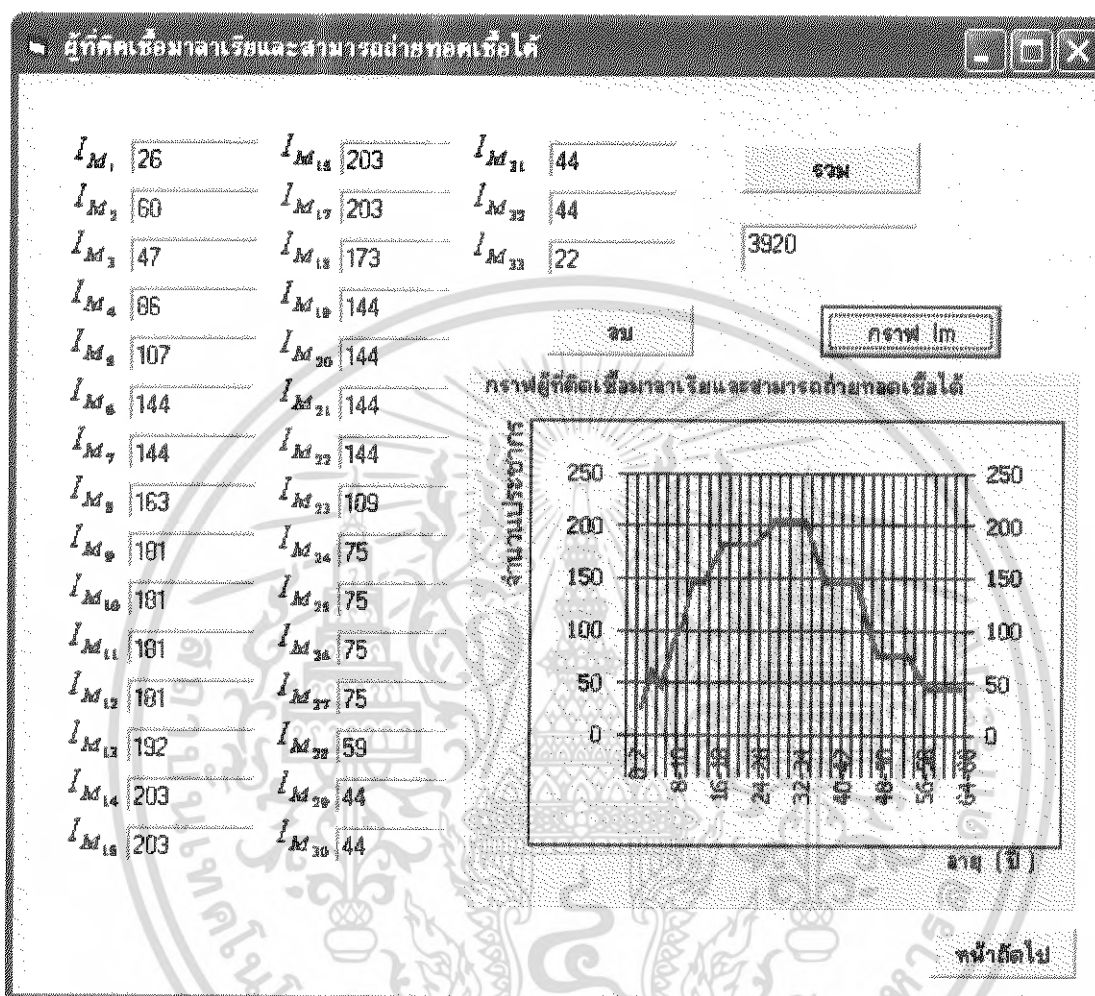
เมื่อคำนวณค่าตัวแปรและพารามิเตอร์จะเข้าสู่หน้าจอกำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับลดการระบาดของโรคมาลาเรีย



รูปที่ 4.9 หน้าจอกำหนดค่าตัวแปรและพารามิเตอร์

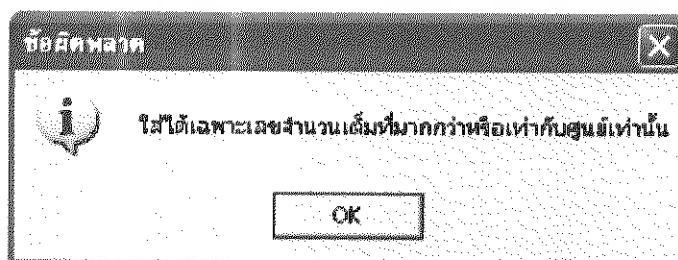
ปุ่มย้อนกลับ กดเมื่อต้องการกลับไปยังหน้าจอเลือกรายการที่ต้องการ

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมหลักหน้าจอแรกที่ต้องกรอกข้อมูลก็คือหน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_M) หน้าจอนี้จะประกอบด้วยช่องให้กรอกข้อมูล I_M , ปุ่มรวม , ปุ่มลบ , ปุ่มกราฟ I_M และปุ่มหน้าถัดไป



รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้

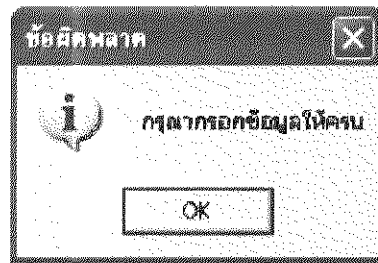
ซึ่งจะต้องกรอกค่า I_M ให้ครบทุกตัวและจะต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มีมากกว่าศูนย์เท่านั้น ถ้าไม่เช่นนั้น โปรแกรมก็จะขึ้นข้อความเตือนดังรูป



รูปที่ 4.11 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นให้กดปุ่มรวม และกดปุ่มกราฟ I_M เมื่อต้องการดูผลของข้อมูลในรูปของกราฟ หากใส่ข้อมูลไม่ครบหรือไม่กดปุ่มรวมก่อนปุ่มกราฟ I_M โปรแกรมก็จะขึ้นข้อความเตือนดังรูป



รูปที่ 4.12 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลไม่ครบ



รูปที่ 4.13 แสดงข้อผิดพลาดจากการไม่ได้กดปุ่มผลรวม

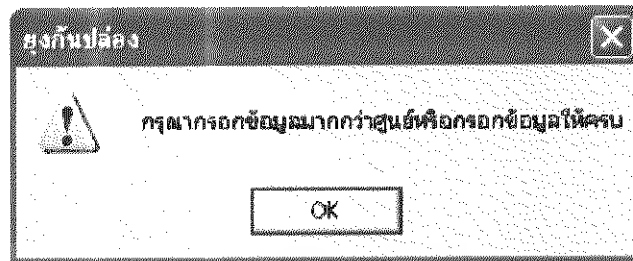
และถ้าต้องการกรอกข้อมูลใหม่ก็สามารถลบข้อมูลเก่าได้โดยการกดปุ่มลบ ข้อมูลที่ได้กรอกลงไปแล้วทั้งหมดก็就会被ลบทิ้งไป

เมื่อคลิกปุ่มหน้าถัดไป ก็จะเข้าสู่หน้าจอแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขงกันปล่อง ที่หน้าจอนี้จะประกอบด้วยช่องให้กรอกข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของขงกันปล่อง (ค่า I_M ได้จากการคำนวณผลรวมที่หน้าผู้คิดเชื่อมเวลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) และปุ่มคำนวณ N_T , S_V , E_V และ I_V

รายละเอียดของขงกันปล่อง			
C_V	7100	N_V	213213
		คำนวณ	
μ_V	0.0333	S_V	201361
		คำนวณ	
β_V	0.0000005	E_V	3770
		คำนวณ	
P_V	0.0714	I_V	8083
		คำนวณ	
I_M	3920		
ลบ		หน้าถัดไป	

รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขงกันปล่อง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะต้องกรอกข้อมูลที่มีค่ามากกว่าศูนย์และต้องกรอกข้อมูลให้ครบทุกตัว ไม่เช่นนั้น โปรแกรมก็จะขึ้นข้อความเตือนดังรูป



รูปที่ 4.15 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลไม่ครบ

- ข้อมูลที่กรอกลงช่อง C_v จะต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าศูนย์เท่านั้น ไม่เช่นนั้น โปรแกรมก็จะขึ้นเตือนดังรูป



รูปที่ 4.16 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวเลข

- ส่วนค่าพารามิเตอร์ μ_v , β_v และ P_v ก็จะต้องกรอกข้อมูลที่มีค่าตั้งแต่ 0-1 ไม่เช่นนั้น โปรแกรมก็จะขึ้นเตือนดังรูป



รูปที่ 4.17 แสดงข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมีค่ามากกว่า 1 ขึ้นไป

และถ้าต้องการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของขงกันปล่องใหม่ก็สามารถลบข้อมูลเก่าได้โดยการกดปุ่มลบ ข้อมูลที่ได้กรอกลงไปแล้วก็จะถูกลบทิ้งไป

จากนั้นก็ให้กดปุ่มหน้าถัดไปก็จะเข้าสู่หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ ที่หน้าจอนี้จะประกอบด้วยช่องให้กรอกข้อมูลเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ (ค่า I_V ได้จากการคำนวณจากหน้ายู่งกันปล่อง) ซึ่งจะต้องกรอกให้ครบหมดทุกตัว โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะต้องมีค่าตั้งแต่ 0-1 และปุ่มคำนวณ A_M

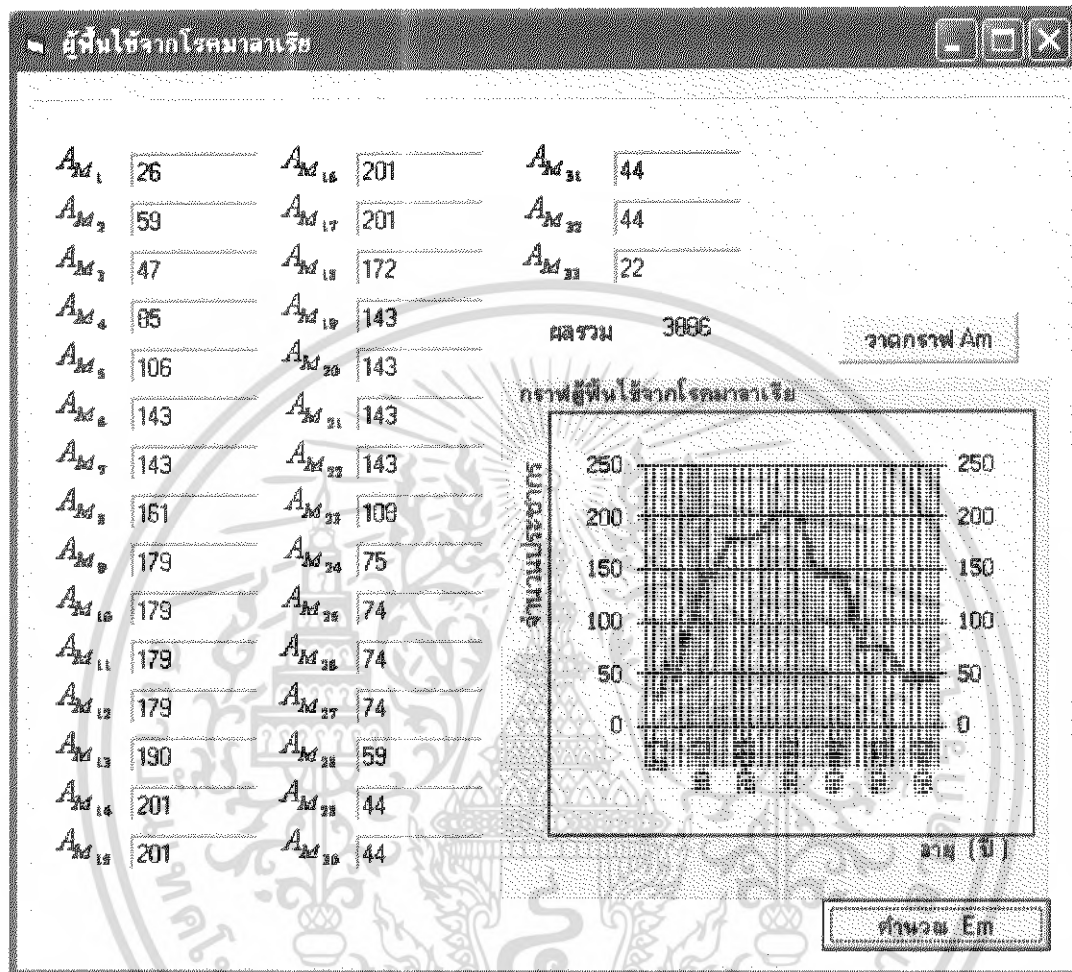
r_M	0.25
r_r	0.03267
r_B	0.03955
r_s	0.10
μ_n	0.000042149
α	0.0014
I_V	0003
P_M	0.2163
β_M	0.00002181

คำนวณ A_M

รูปที่ 4.18 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์

เมื่อทำการกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้วกดปุ่มคำนวณ A_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ฟื้นฟูไข้จากโรคมาลาเรีย

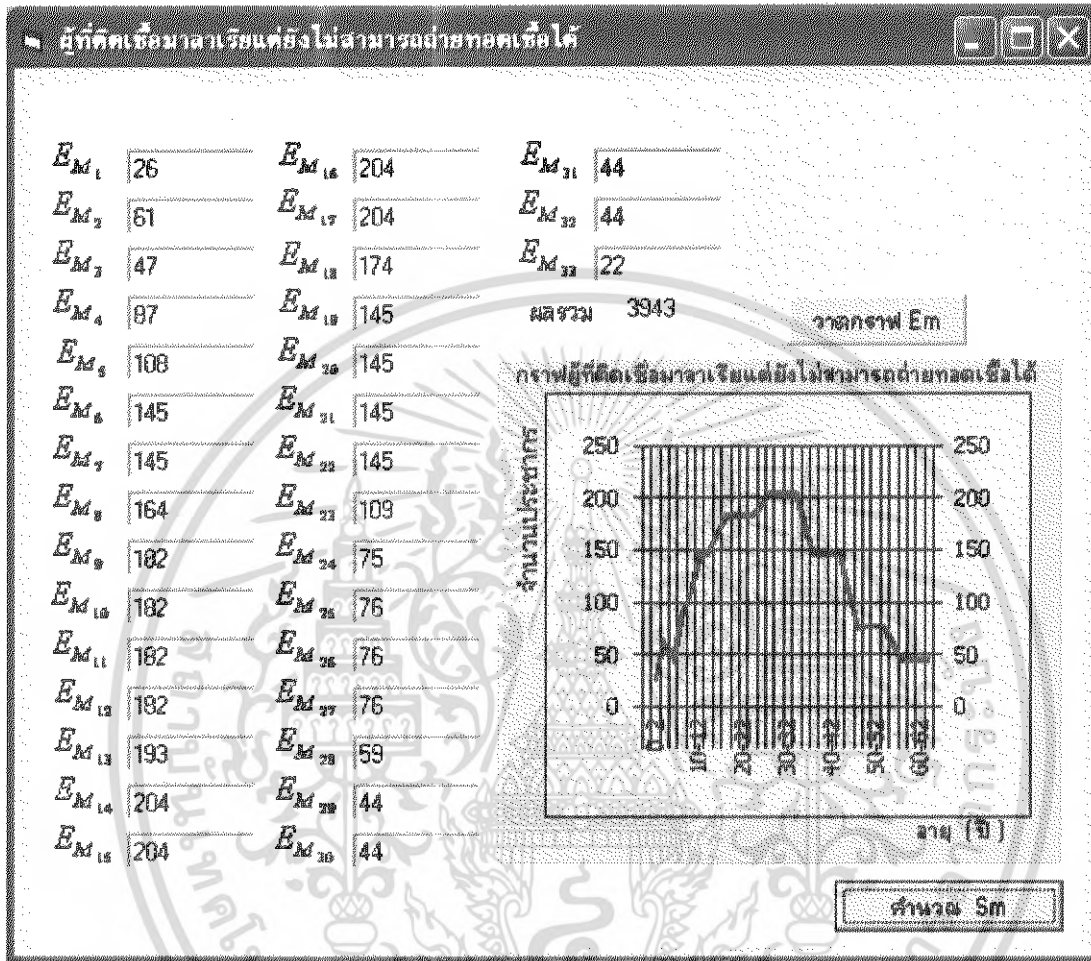
ที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้นฟูจากโรคมลาเรีย (A_M) หน้าจอนี้ประกอบด้วย ค่า A_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้ , ปุ่มผลรวมของ A_M ทั้งหมด , ปุ่มวาดกราฟ A_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปแบบของกราฟ และปุ่มคำนวณ E_M



รูปที่ 4.19 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ฟื้นฟูจากโรคมลาเรีย

เมื่อคลิกปุ่มคำนวณ E_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

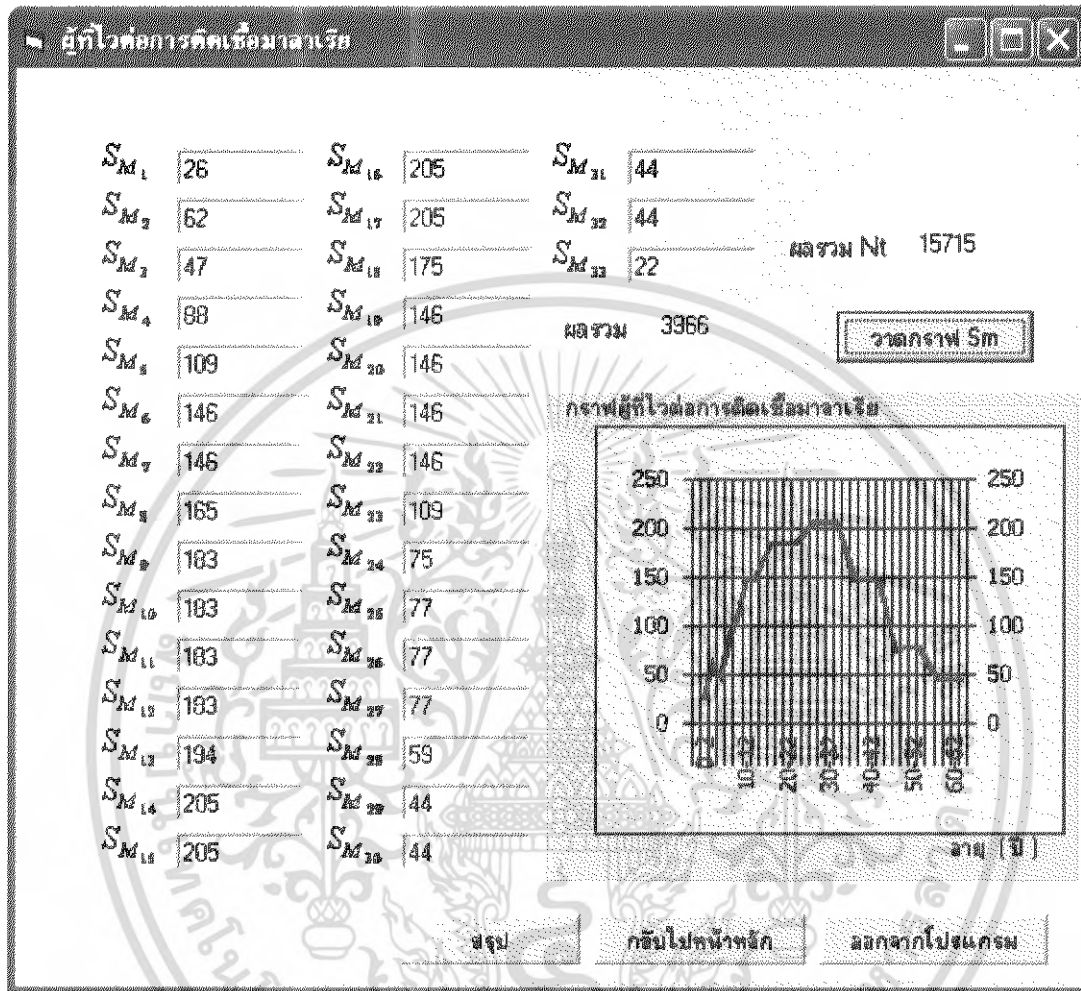
ที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาตราเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_M) หน้าจอนี้ประกอบด้วย ค่า E_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้, ปุ่มผลรวมของ E_M ทั้งหมด, ปุ่มวาดกราฟ E_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปของกราฟ และปุ่มคำนวณ S_M



รูปที่ 4.20 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาตราเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้

เมื่อกดปุ่มคำนวณ S_M ก็จะเข้าสู่หน้าจอผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อมาตราเรีย

ที่หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อมาลาเรีย (S_M) หน้าจอนี้ประกอบด้วย ค่า S_M ทุกตัวที่โปรแกรมคำนวณได้ , ปุ่มผลรวมของ S_M ทั้งหมด , ปุ่มผลรวม N_T , ปุ่มวาดกราฟ S_M เพื่อดูผลของข้อมูลในรูปของกราฟ , ปุ่มสรุป , ปุ่มกลับไปหน้าจอหลัก และปุ่มออกจากโปรแกรม



รูปที่ 4.21 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อมาลาเรีย

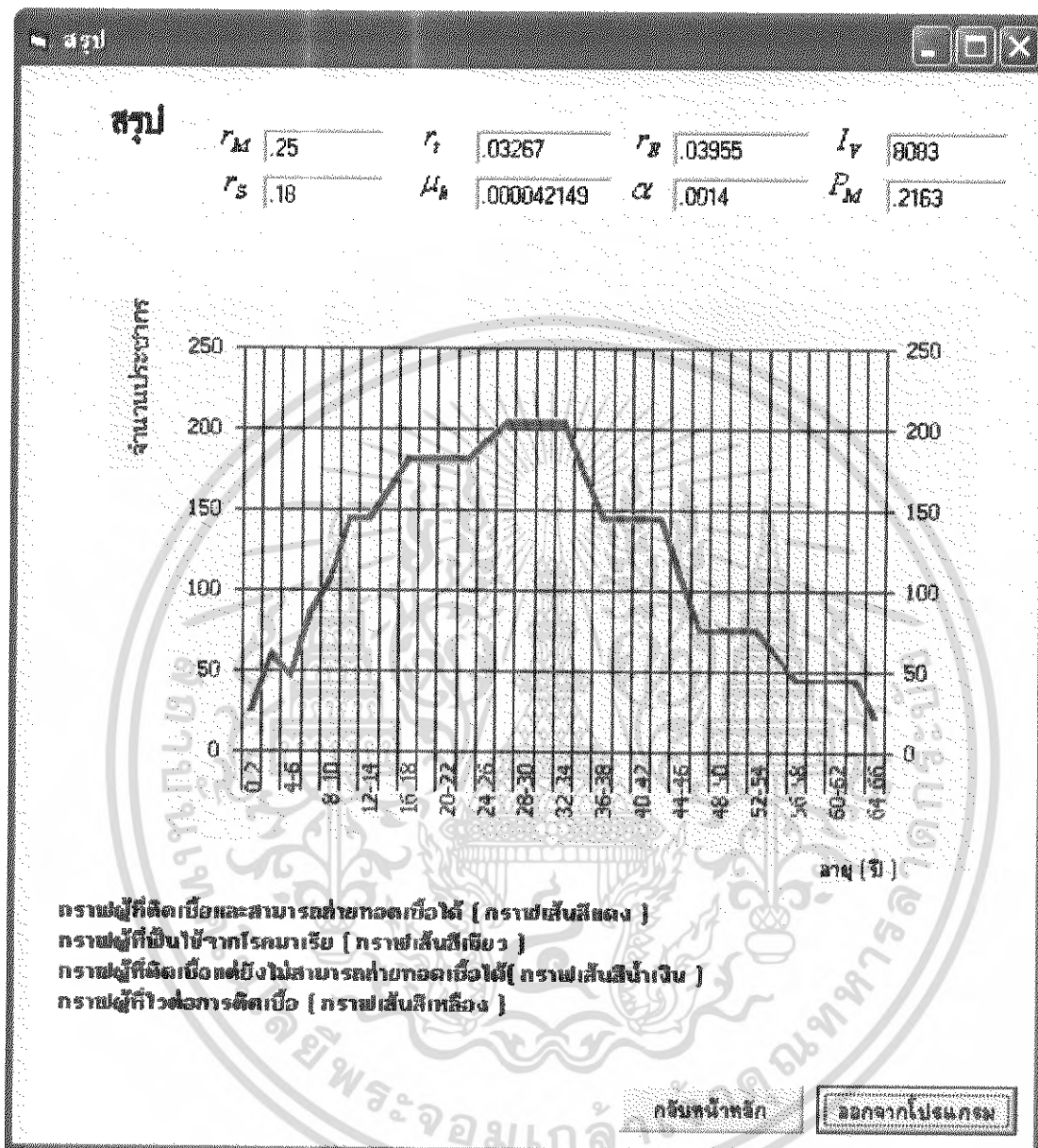
กดปุ่ม เมื่อต้องการดูผลสรุปของโปรแกรม

กดปุ่ม เมื่อต้องการกลับไปสู่นำจอหลักตามข้างต้น

กดปุ่ม เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอสรุปประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ , กราฟที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ทั้งสี่เส้น , ปุ่มกลับหน้าหลัก และปุ่มออกจากโปรแกรม



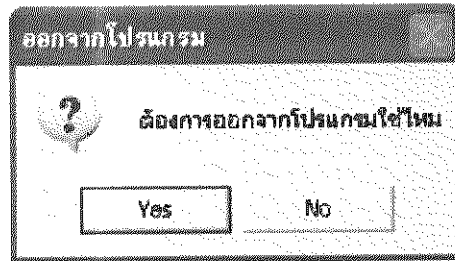
รูปที่ 4.22 หน้าจอสรุป

เมื่อกดปุ่ม

โปรแกรมก็จะกลับไปสู่หน้าจอหลักตามข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลิกปุ่ม **ออกจากโปรแกรม** | ก็จะขึ้นข้อความถามดังรูป



รูปที่ 4.23 หน้าจอแสดงคำถามก่อนจะออกจากโปรแกรม

หากต้องการออกจากโปรแกรมก็ให้คลิกปุ่ม Yes แต่ถ้าไม่ต้องการก็ให้คลิกปุ่ม No

4.4 ตัวอย่างข้อมูลจริงของ 5 จังหวัดของปีพ.ศ.2542

จากที่ได้ทำการทดสอบผู้ที่ติดเชื้อ โรคมาลาเรียจาก 5 จังหวัดของปี พ.ศ.2542 ซึ่งได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดตราด จังหวัดอุบลราชธานีและจังหวัดระนอง เราสามารถที่จะลดการระบาดของโรคมาลาเรีย เมื่อตัวแปรแต่ละตัวมีค่า ดังนี้

- จำนวนของยุง ณ เวลาเริ่มต้น (C_V) ของแต่ละจังหวัดมี 7,100 ตัว
- อัตราการตายของยุง (μ_V) มีค่าเป็น 0.0333 นั้นหมายถึงอายุขัยของยุงคิดเป็นเวลาประมาณ 30 วัน
- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากคนไปสู่ยุง (β_V) มีค่าเป็น 0.0000005
- อัตราที่ยุงเปลี่ยนสถานะจากยุงที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (P_V) มีค่าเป็น 0.0714 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ยุงเปลี่ยนสถานะจากยุงที่ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) คิดเป็นเวลาประมาณ 14 วัน
- อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้ (r_M) มีค่าเป็น 0.25 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)ไปเป็นผู้ที่ฟื้นไข้ คิดเป็นเวลาประมาณ 4 วัน
- อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (r_I) มีค่าเป็น 0.03267 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)คิดเป็นเวลาประมาณ 31 วัน
- อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (r_E) มีค่าเป็น 0.03955 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ติดเชื้อ (แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) คิดเป็นเวลาประมาณ 25 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

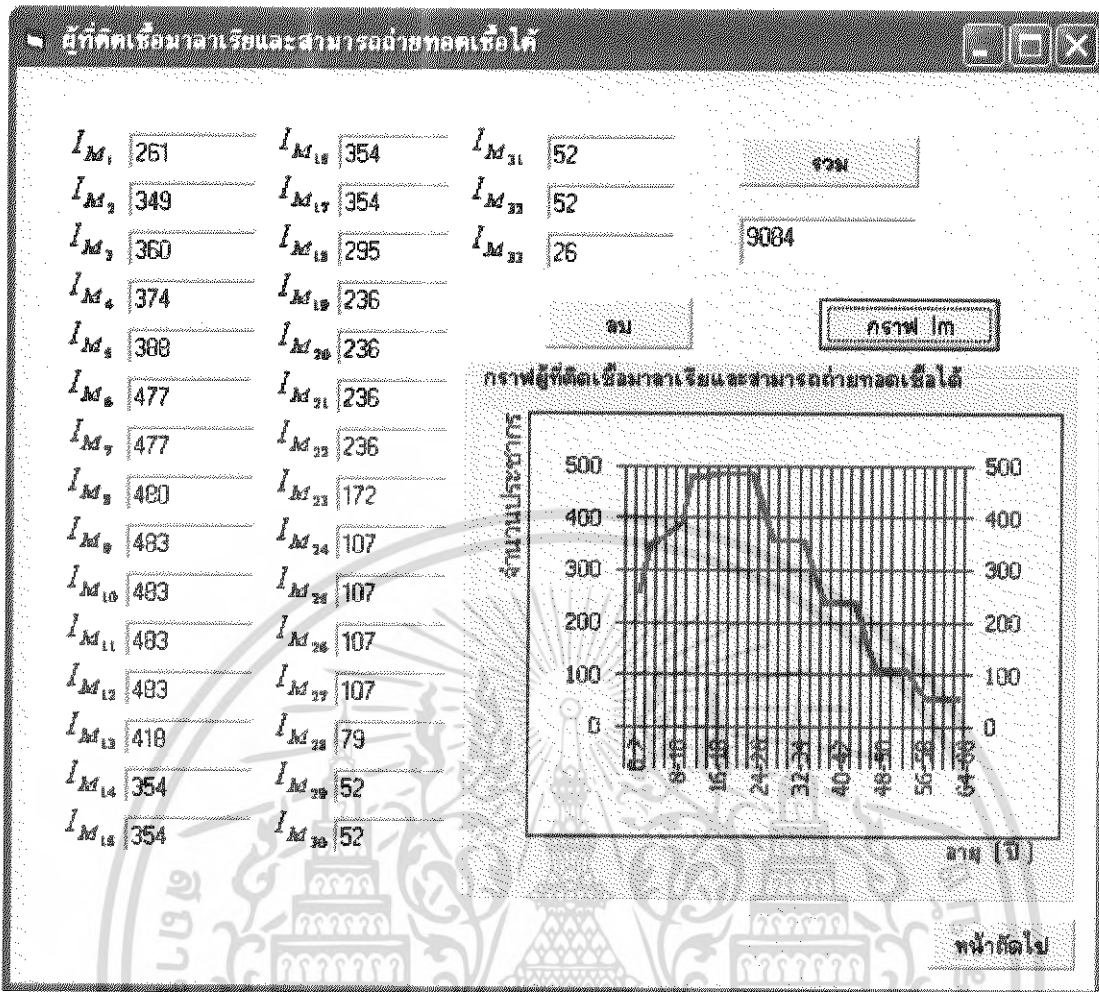
- อัตราที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้ออีกครั้ง (r_s) มีค่าเป็น 0.18 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ประชากรฟื้นไข้แล้วกลับมาเป็นผู้ที่ไวต่อการติดเชื้ออีกครั้ง คิดเป็นเวลาประมาณ 6 วัน
- อัตราที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่กลุ่ม $i+1$ (α) มีค่าเป็น 0.0014 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ประชากรเปลี่ยนแปลงจากกลุ่ม i ไปสู่กลุ่ม $i+1$ คิดเป็นเวลาประมาณ 2 ปีหรือ 730 วัน
- อัตราที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้) (P_M) มีค่าเป็น 0.2163 นั้นหมายถึงจำนวนวันที่ประชากรเปลี่ยนสถานะจากผู้ติดเชื้อ(แต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้) ไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ(และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้)คิดเป็นเวลาประมาณ 5 วัน

ข้อมูล 5 จังหวัด ดังนี้

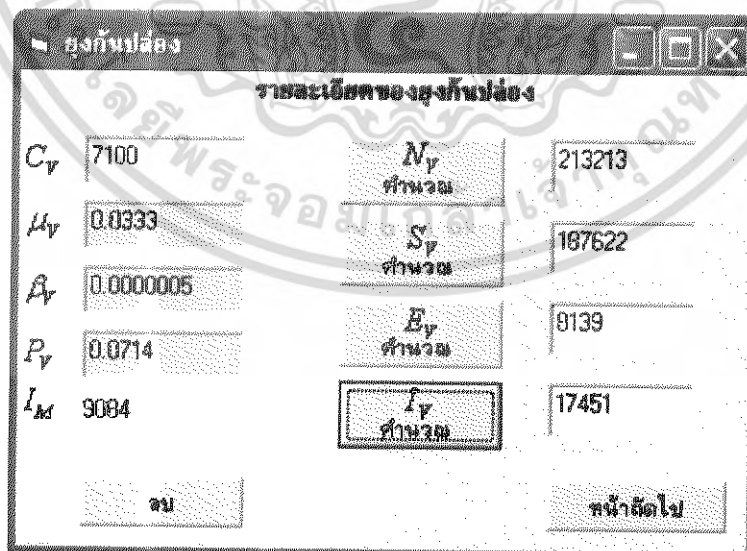
1. จังหวัดแม่ฮ่องสอน

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากขงไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i (β_{M_i}) ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเป็น 0.0000101
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_{M_i}) เป็นจำนวน 9,084 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ (S_{M_i}) เป็นจำนวน 9,194 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_{M_i}) เป็นจำนวน 9,193 คน
- มีจำนวนของผู้ฟื้นไข้จาก โรคมมาลาเรีย (A_{M_i}) เป็นจำนวน 9,006 คน

และมีข้อมูลดังนี้

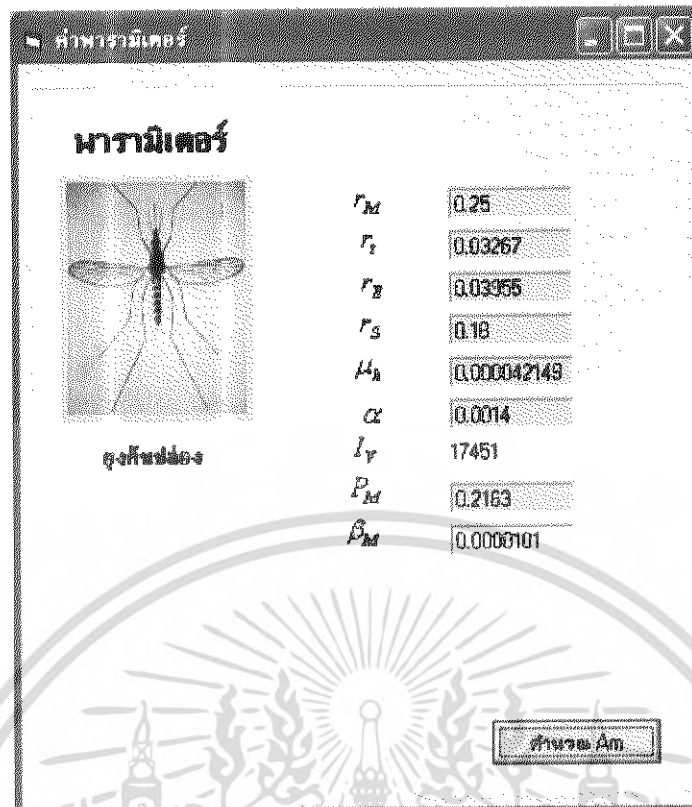


รูปที่ 4.24 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

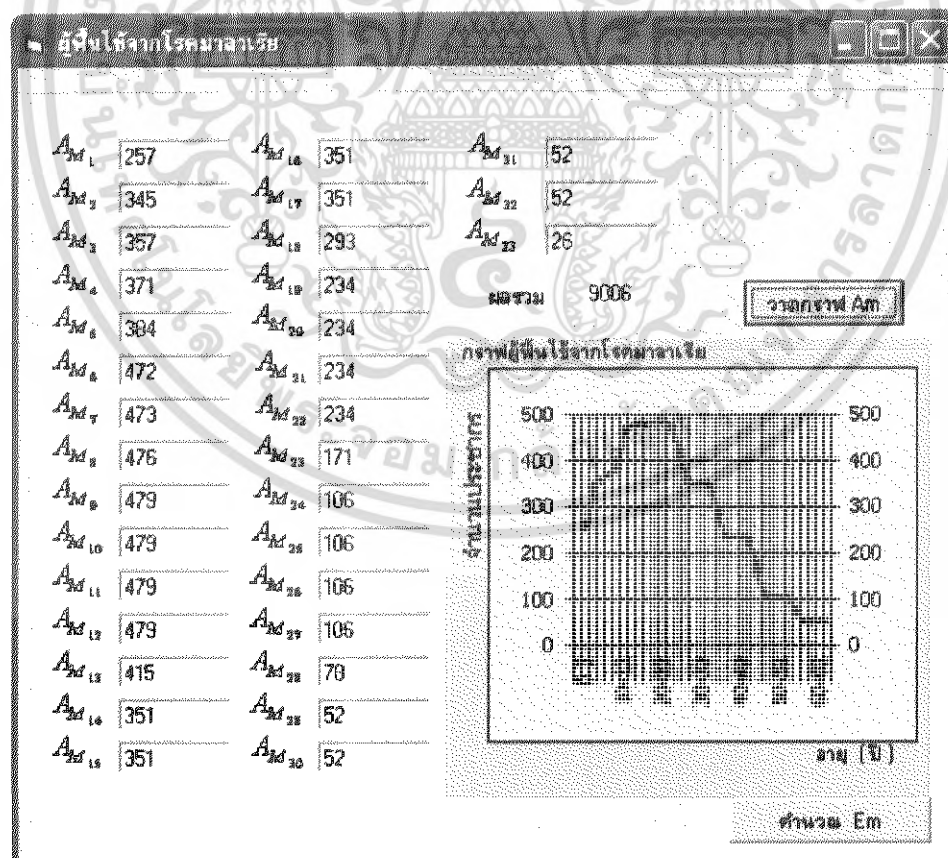


รูปที่ 4.25 หน้าจอแสดงรายละเอียดของอุ้งกิ้งปล้องของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

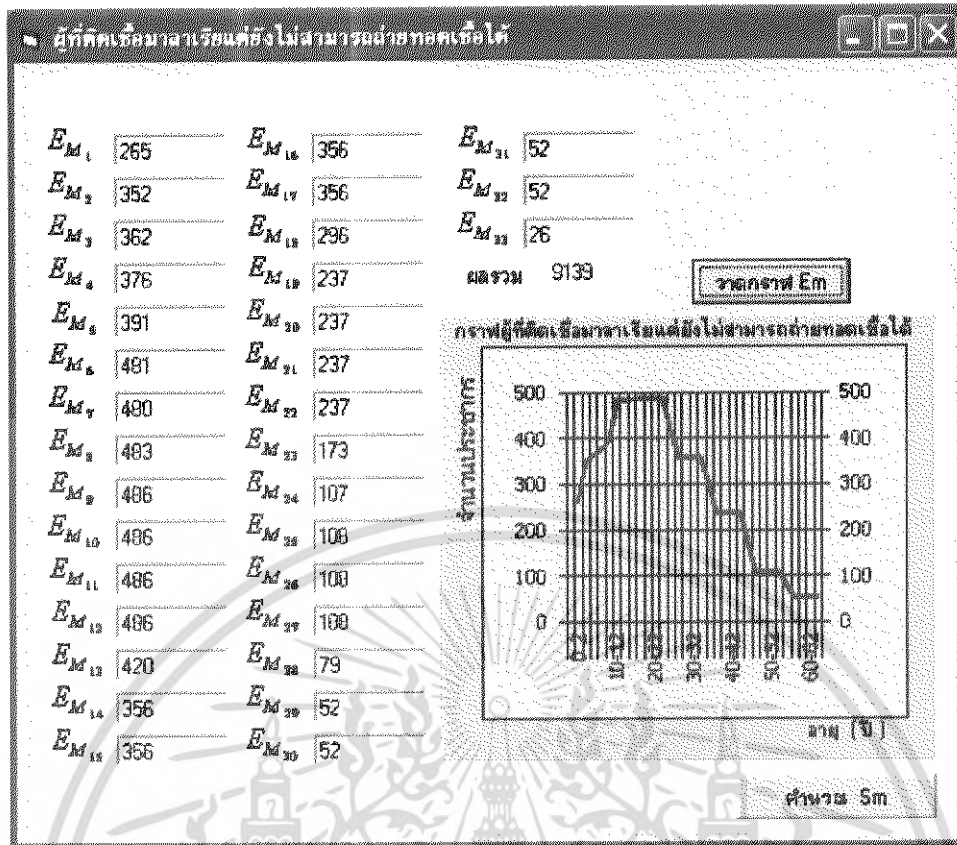


รูปที่ 4.26 หน้าแสดงค่าพารามิเตอร์ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

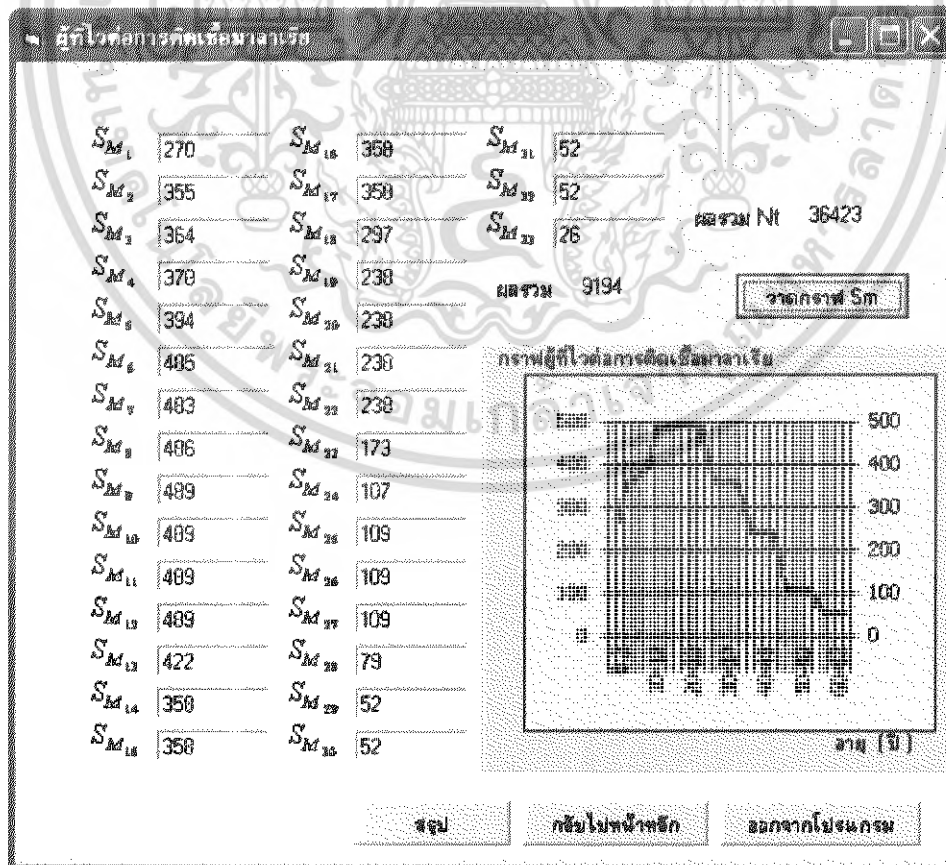


รูปที่ 4.27 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อจากโรคมลาเรียของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

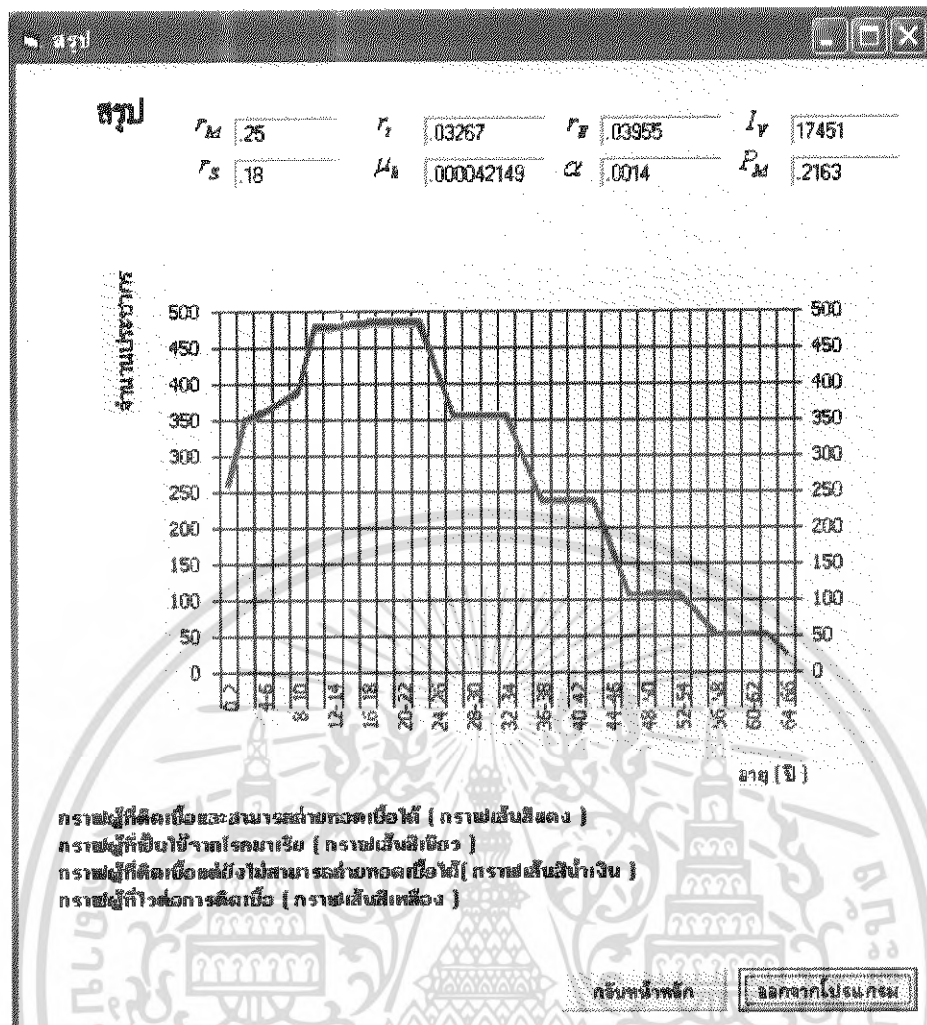
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 หน้าจำนวนผู้ที่คิดเชื่อมมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 4.29 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการคิดเชื่อโรคมมาลาเรีย
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 หน้าจอสรุปข้อมูลของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเปรียบเทียบกราฟ จำนวนประชากรของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กับ กราฟจำนวนประชากรของผู้ป่วยจากโรคมาลาเรียของแต่ละกลุ่มอายุจะมีค่าใกล้เคียงกันนั่นหมายถึงมีผู้ป่วยโรคมาลาเรียจำนวนเท่าไรก็จะมีผู้ป่วยที่ป่วยไข้จากโรคนั้นเกือบทั้งหมด

ต่อไปจะใช้วิธีการทดสอบของโคลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ สำหรับตัวอย่างชุดเดียว (The Kolmogorov-Smirnov One Sample Test) มาทดสอบเพื่อแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้นั้นมี ความเหมาะสมหรือไม่

กำหนด H_0 : แบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสม

H_1 : แบบจำลองที่ได้มีความไม่เหมาะสม

และใช้สูตร $D = \max |F_0(x) - S(x)|$ เราเรียกว่า $D_{คำนวณ}$ และได้กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 เพื่อไปเปิดตารางค่า D ที่ได้จากราง เราเรียกว่า $D_{ตาราง}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงการคำนวณของจังหวัดแม่ฮ่องสอน

Am	Im	Fo	S	S-Fo	S-Fo
257	261	0.02853653	0.02873184	0.00019530	0.00019530
345	349	0.06684433	0.06715103	0.00030671	0.00030671
357	360	0.10648457	0.10678115	0.00029659	0.00029659
371	374	0.14767932	0.14795244	0.00027312	0.00027312
384	388	0.19031757	0.19066491	0.00034734	0.00034734
472	477	0.24272707	0.24317481	0.00044774	0.00044774
473	477	0.29524761	0.29568472	0.00043711	0.00043711
476	480	0.34810127	0.34852488	0.00042361	0.00042361
479	483	0.40128803	0.40169529	0.00040726	0.00040726
479	483	0.45447479	0.45486570	0.00039090	0.00039090
479	483	0.50766156	0.50803611	0.00037455	0.00037455
479	483	0.56084832	0.56120652	0.00035819	0.00035819
415	418	0.60692871	0.60722149	0.00029277	0.00029277
351	354	0.64590273	0.64619111	0.00028837	0.00028837
351	354	0.68487675	0.68516072	0.00028397	0.00028397
351	354	0.72385077	0.72413034	0.00027957	0.00027957
351	354	0.76282478	0.76309996	0.00027517	0.00027517
293	295	0.79535865	0.79557464	0.00021599	0.00021599
234	236	0.82134133	0.82155438	0.00021305	0.00021305
234	236	0.84732401	0.84753413	0.00021012	0.00021012
234	236	0.87330668	0.87351387	0.00020719	0.00020719
234	236	0.89928936	0.89949362	0.00020425	0.00020425
171	172	0.91827670	0.91842801	0.00015130	0.00015130
106	107	0.93004664	0.93020696	0.00016032	0.00016032
106	107	0.94181657	0.94198591	0.00016934	0.00016934
106	107	0.95358650	0.95376486	0.00017836	0.00017836
106	107	0.96535643	0.96554381	0.00018738	0.00018738
78	79	0.97401732	0.97424042	0.00022310	0.00022310
52	52	0.97979125	0.97996477	0.00017352	0.00017352
52	52	0.98556518	0.98568912	0.00012394	0.00012394
52	52	0.99133911	0.99141347	0.00007437	0.00007437
52	52	0.99711304	0.99713782	0.00002479	0.00002479
26	26	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
9006	9084				0.00044774
	95.31002				MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากตาราง เมื่อ $\alpha = 0.05$

$$\frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.014269$$

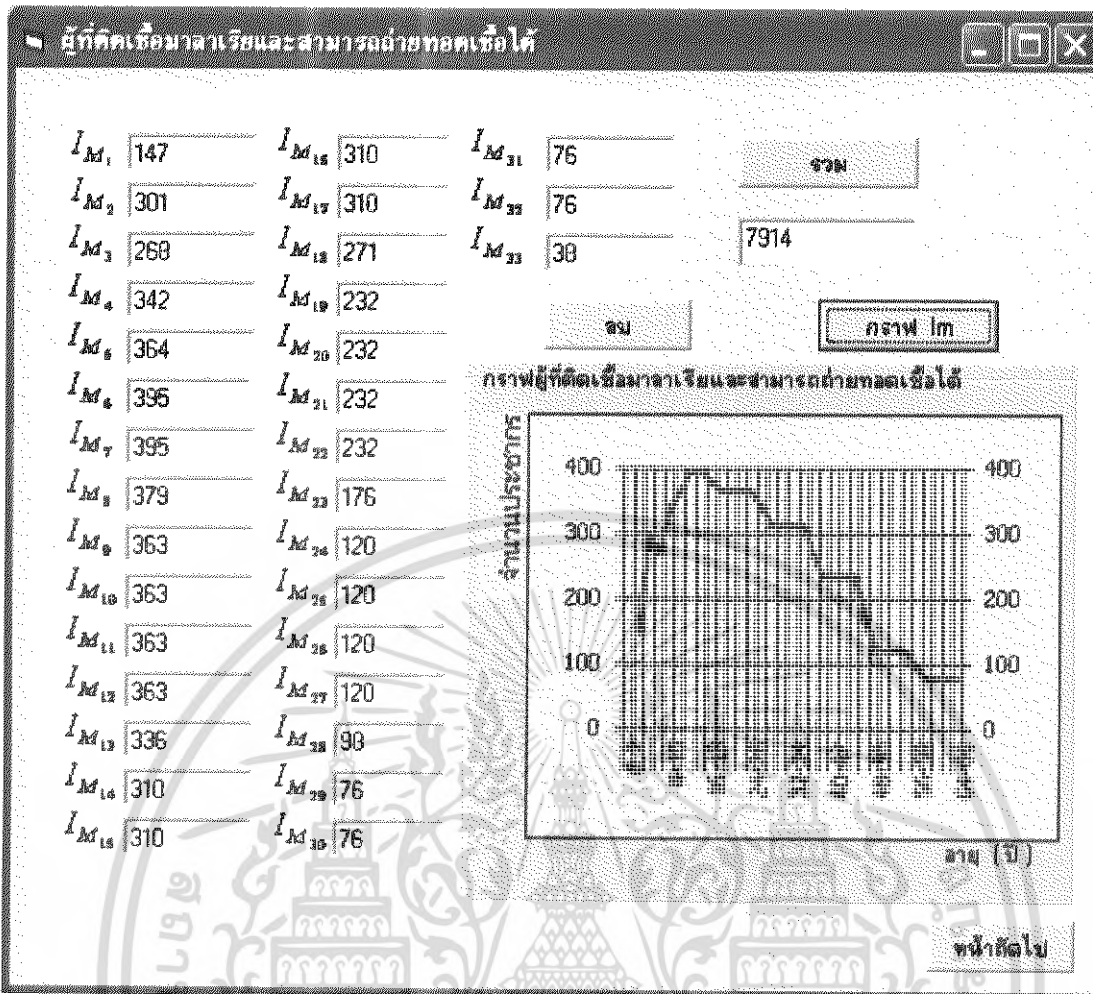
$D_{คำนวณ} = 0.000448 < D_{ตาราง} = 0.014269$ (ตาราง Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test แสดงไว้ในภาคผนวก)

หมายความว่า เรายอมรับ H_0 คือ ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่สร้างไว้

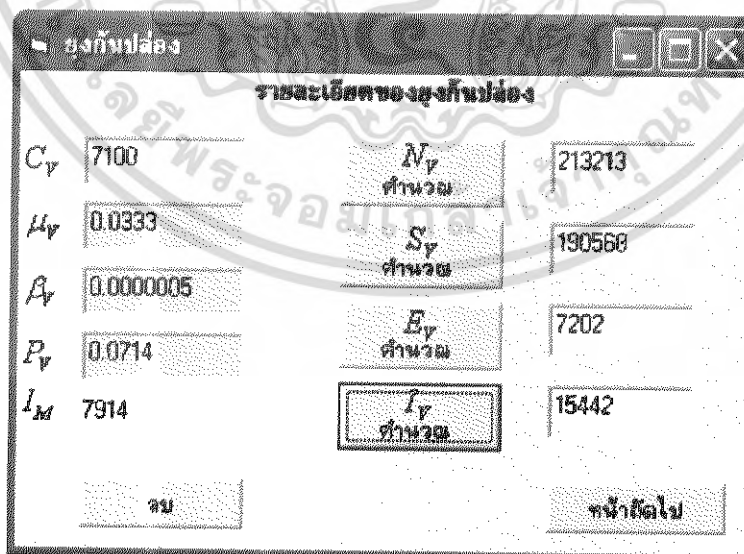
2. จังหวัดกาญจนบุรี

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากขุมไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i (β_{M_i}) ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเป็น 0.00001145
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_{M_i}) เป็นจำนวน 7,914 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ (S_{M_i}) เป็นจำนวน 7,987 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_{M_i}) เป็นจำนวน 7,963 คน
- มีจำนวนของผู้พ้นไข้จากโรคมมาลาเรีย (A_{M_i}) เป็นจำนวน 7,842 คน

และมีข้อมูลดังนี้

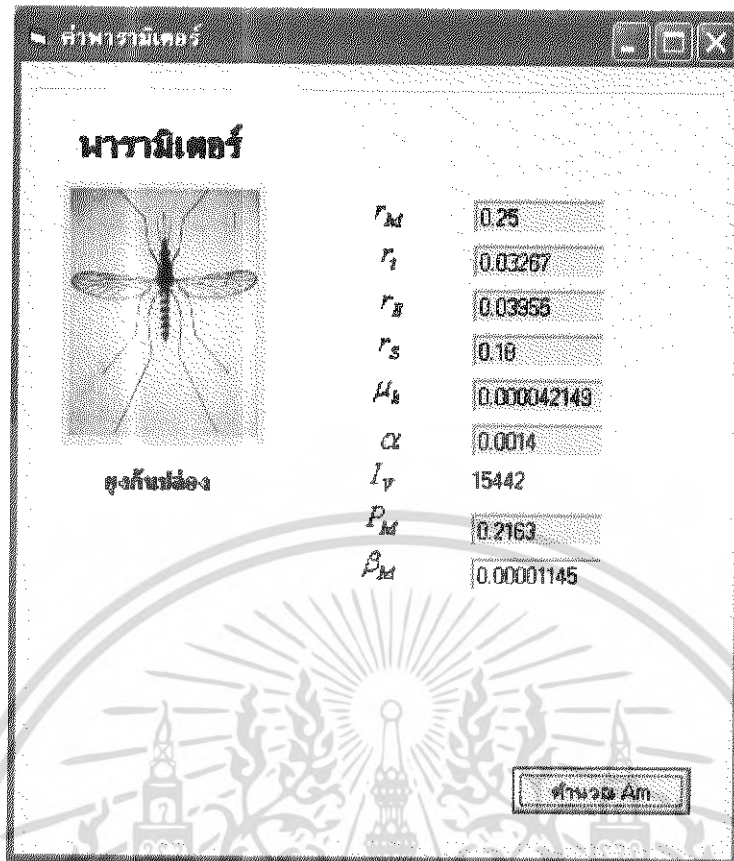


รูปที่ 4.31 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดกาญจนบุรี

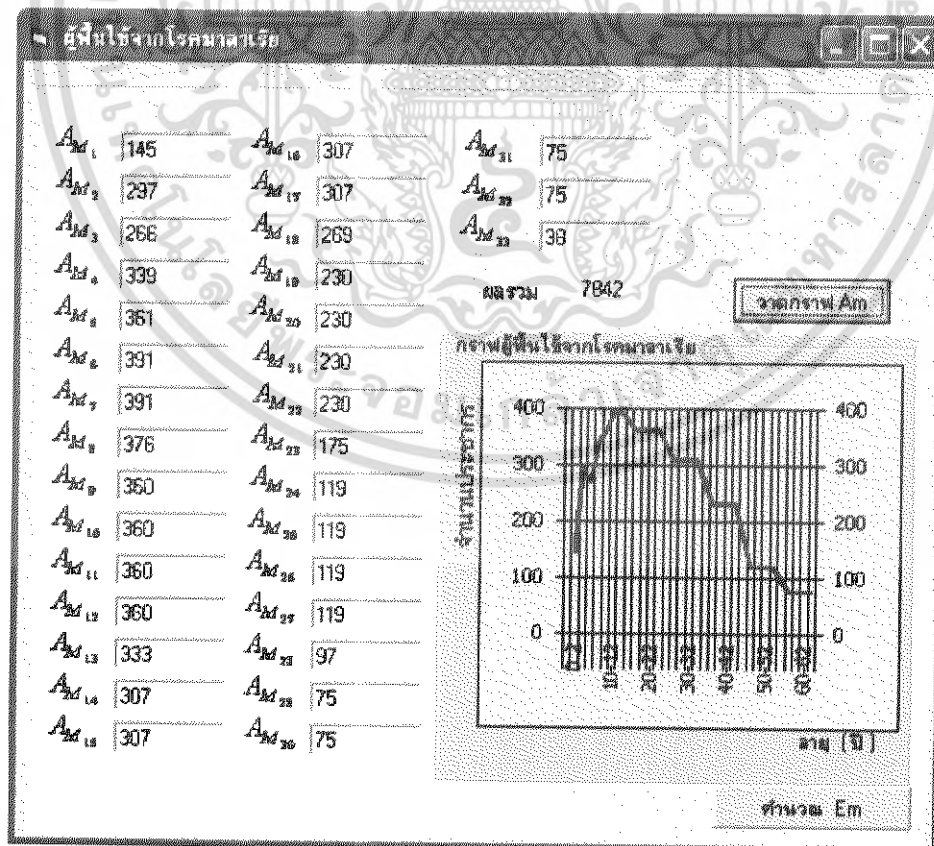


รูปที่ 4.32 หน้าจอแสดงรายละเอียดของยุงก้นปล่องของจังหวัดกาญจนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

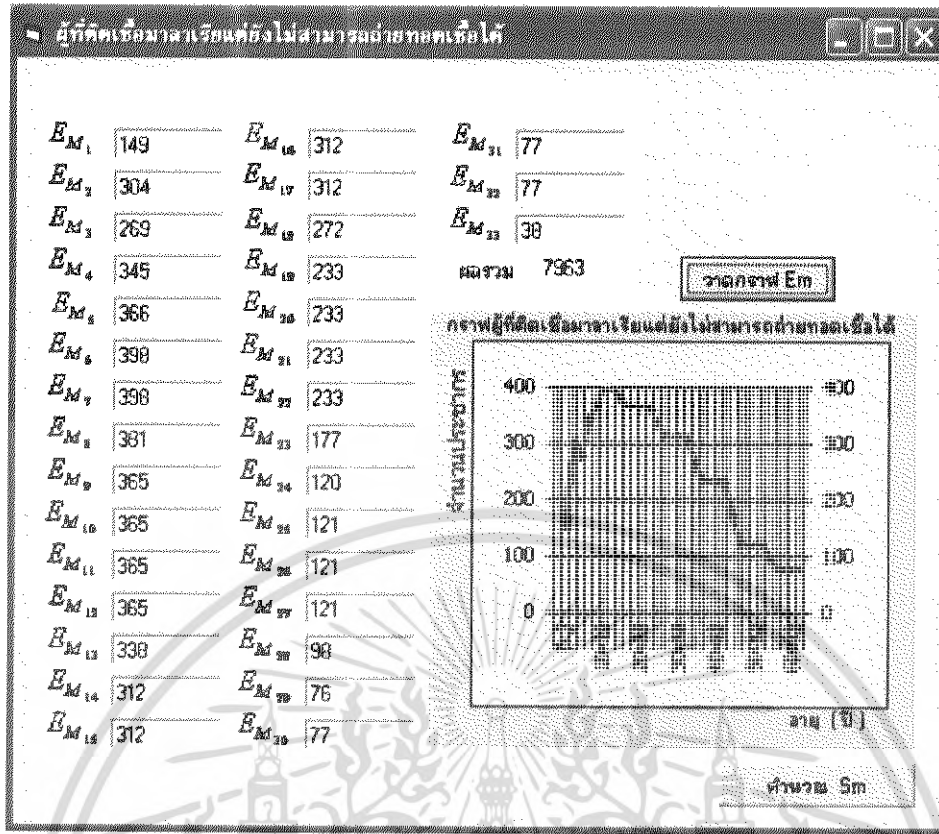


รูปที่ 4.33 หน้าแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

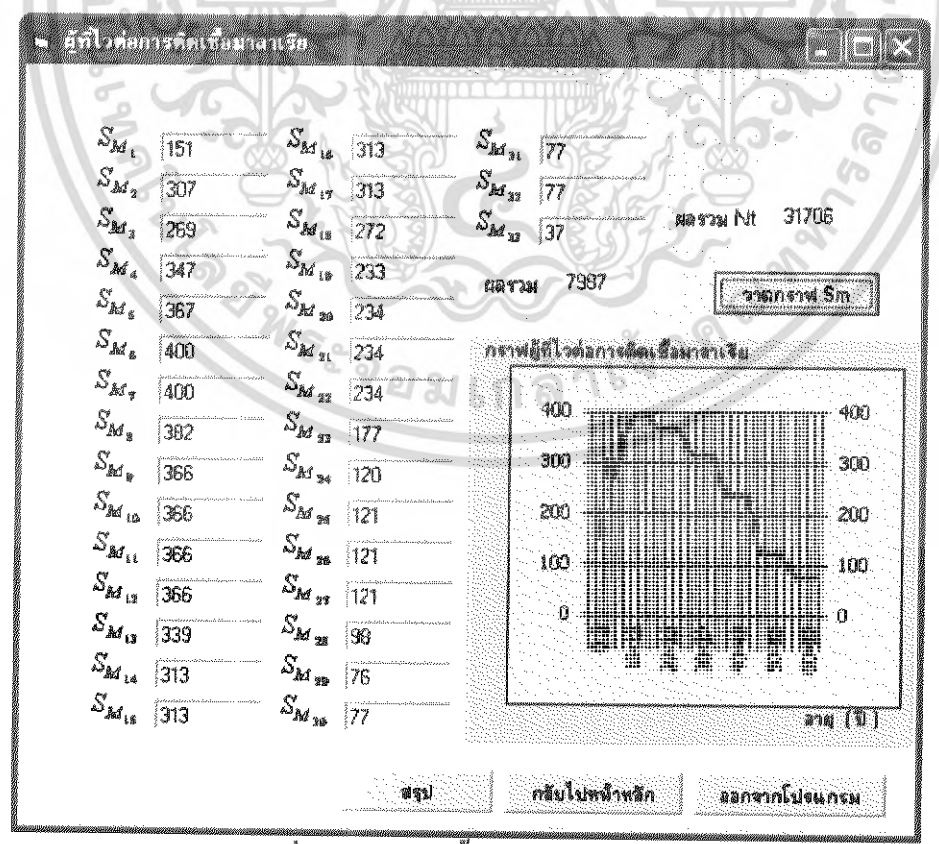


รูปที่ 4.34 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อจากโรคมลาเลียของจังหวัดกาญจนบุรี

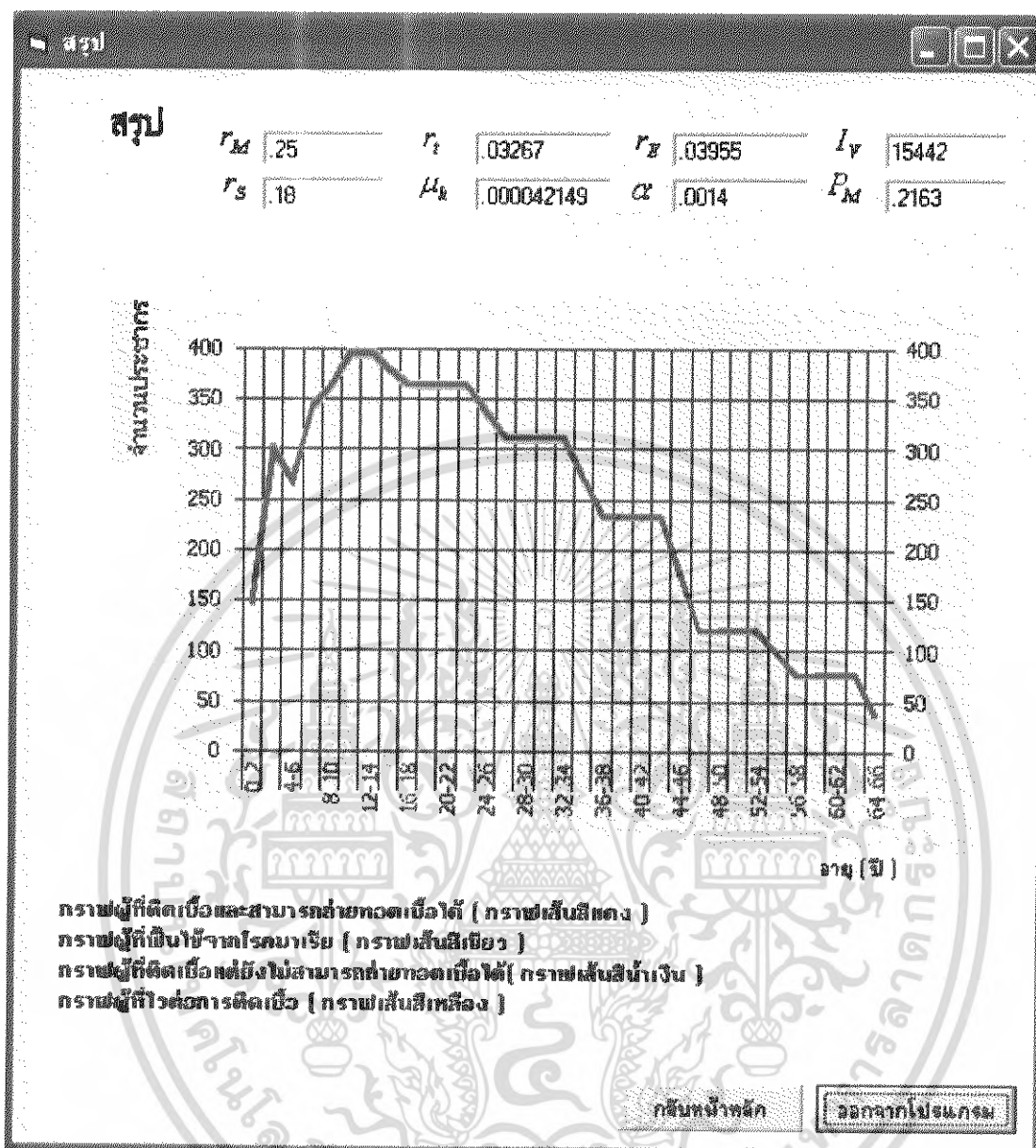
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 หน้าผลการคำนวณของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 4.36 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อโรคมมาลาเรียของจังหวัดกาญจนบุรี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดกาญจนบุรี

จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเปรียบเทียบกราฟ จำนวนประชากรของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อมือได้ กับ กราฟจำนวนประชากรของผู้ฟื้นไข้จากโรคมาลาเรีย ของแต่ละกลุ่มอายุจะมีค่าใกล้เคียงกันนั่นหมายถึงมีผู้ป่วย โรคมาลาเรียจำนวนเท่าไรก็จะมีผู้ป่วยที่ฟื้นไข้จากโรคนั้นเกือบทั้งหมด

ต่อไปจะใช้วิธีการวิเคราะห์ทำนองเดียวกับจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งจะได้ค่าดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณของจังหวัดกาญจนบุรี

Am	Im	Fo	S	S-Fo	S-Fo
145	147	0.01849018	0.01857468	0.00008450	0.00008450
297	301	0.05636317	0.05660854	0.00024537	0.00024537
266	268	0.09028309	0.09047258	0.00018949	0.00018949
339	342	0.13351186	0.13368714	0.00017528	0.00017528
361	364	0.17954603	0.17968158	0.00013554	0.00013554
391	395	0.22940576	0.22959313	0.00018736	0.00018736
391	395	0.27926549	0.27950468	0.00023918	0.00023918
376	379	0.32721245	0.32739449	0.00018204	0.00018204
360	363	0.37311910	0.37326257	0.00014347	0.00014347
360	363	0.41902576	0.41913065	0.00010490	0.00010490
360	363	0.46493242	0.46499874	0.00006632	0.00006632
360	363	0.51083907	0.51086682	0.00002775	0.00002775
333	336	0.55330273	0.55332322	0.00002050	0.00002050
307	310	0.59245091	0.59249431	0.00004341	0.00004341
307	310	0.63159908	0.63166540	0.00006632	0.00006632
307	310	0.67074726	0.67083649	0.00008923	0.00008923
307	310	0.70989543	0.71000758	0.00011215	0.00011215
269	271	0.74419791	0.74425069	0.00005279	0.00005279
230	232	0.77352716	0.77356583	0.00003867	0.00003867
230	232	0.80285641	0.80288097	0.00002456	0.00002456
230	232	0.83218567	0.83219611	0.00001044	0.00001044
230	232	0.86151492	0.86151125	-0.00000367	0.00000367
175	176	0.88383066	0.88375032	-0.00008034	0.00008034
119	120	0.89900536	0.89891332	-0.00009204	0.00009204
119	120	0.91418006	0.91407632	-0.00010374	0.00010374
119	120	0.92935476	0.92923932	-0.00011543	0.00011543
119	120	0.94452946	0.94440232	-0.00012713	0.00012713
97	98	0.95689875	0.95678544	-0.00011331	0.00011331
75	76	0.96646264	0.96638868	-0.00007396	0.00007396
75	76	0.97602652	0.97599191	-0.00003461	0.00003461
75	76	0.98559041	0.98559515	0.00000474	0.00000474
75	76	0.99515430	0.99519838	0.00004409	0.00004409
38	38	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
7842	7914				0.00024537
	88.960665				MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากตาราง เมื่อ $\alpha = 0.05$

$$\frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.015288$$

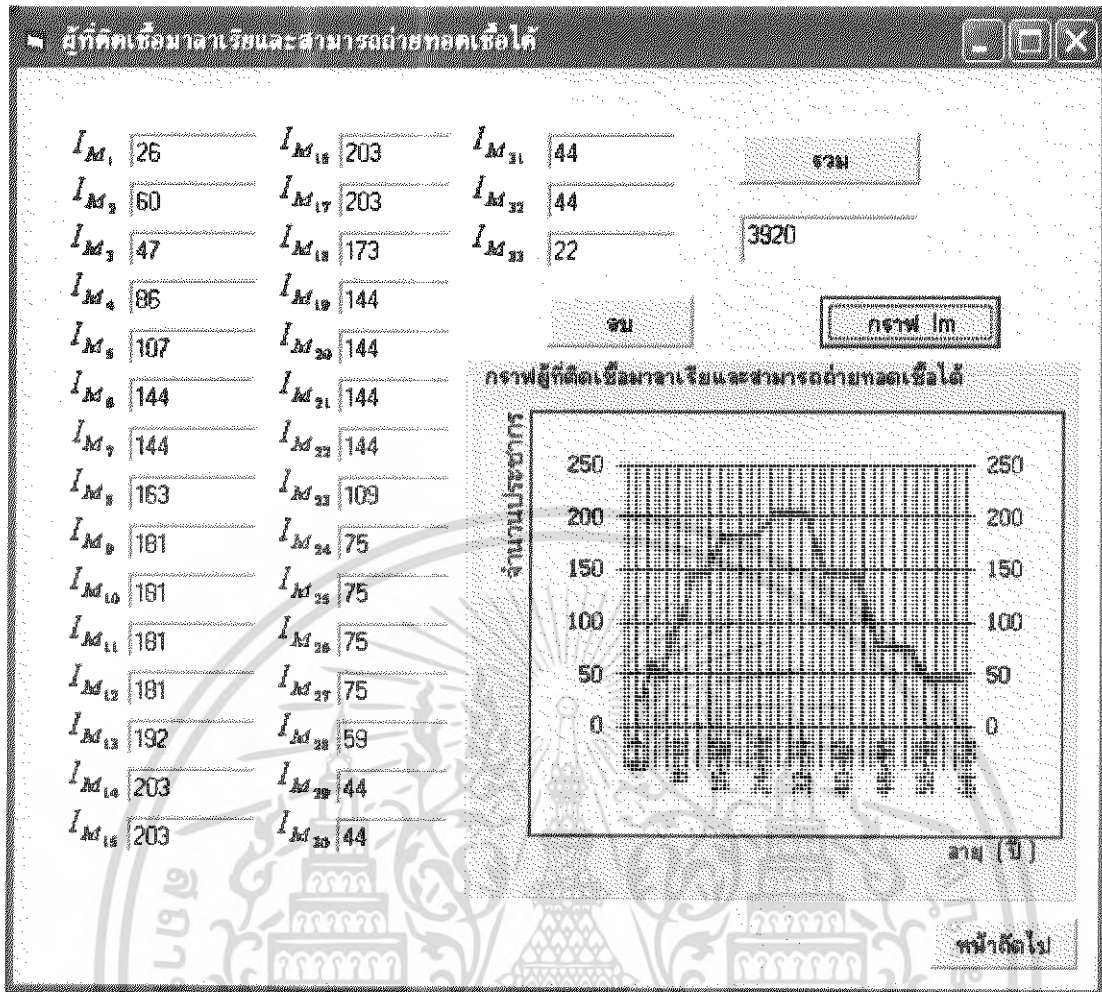
$D_{คำนวณ} = 0.000245 < D_{ตาราง} = 0.015288$ (ตาราง Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test แสดงไว้ในภาคผนวก)

หมายความว่า เรายอมรับ H_0 คือ ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่สร้างไว้

3. จังหวัดนคร

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากหญิงไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i (β_{M_i}) ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเป็น 0.00002181
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (J_{M_i}) เป็นจำนวน 3,920 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ (S_{M_i}) เป็นจำนวน 3,966 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_{M_i}) เป็นจำนวน 3,943 คน
- มีจำนวนของผู้ฟื้นฟูไข้จากโรคมมาลาเรีย (A_{M_i}) เป็นจำนวน 3,886 คน

และมีข้อมูลดังนี้



รูปที่ 4.38 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่คิดเชื่อมมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดตราด

ขงกันปล่อง

รายละเอียดของขงกันปล่อง

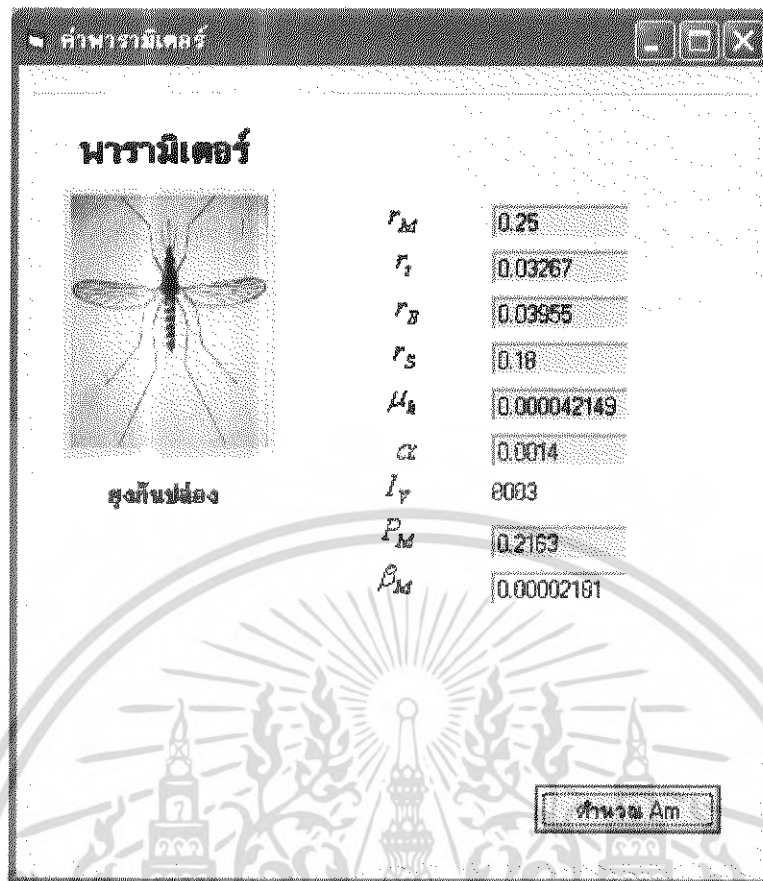
C_V	7100	N_V	213213
μ_V	0.0333	จำนวน	
β_V	0.0000005	S_V	201361
P_V	0.0714	จำนวน	
I_M	3920	E_V	3770
		จำนวน	
		I_V	6083
		จำนวน	

จบ

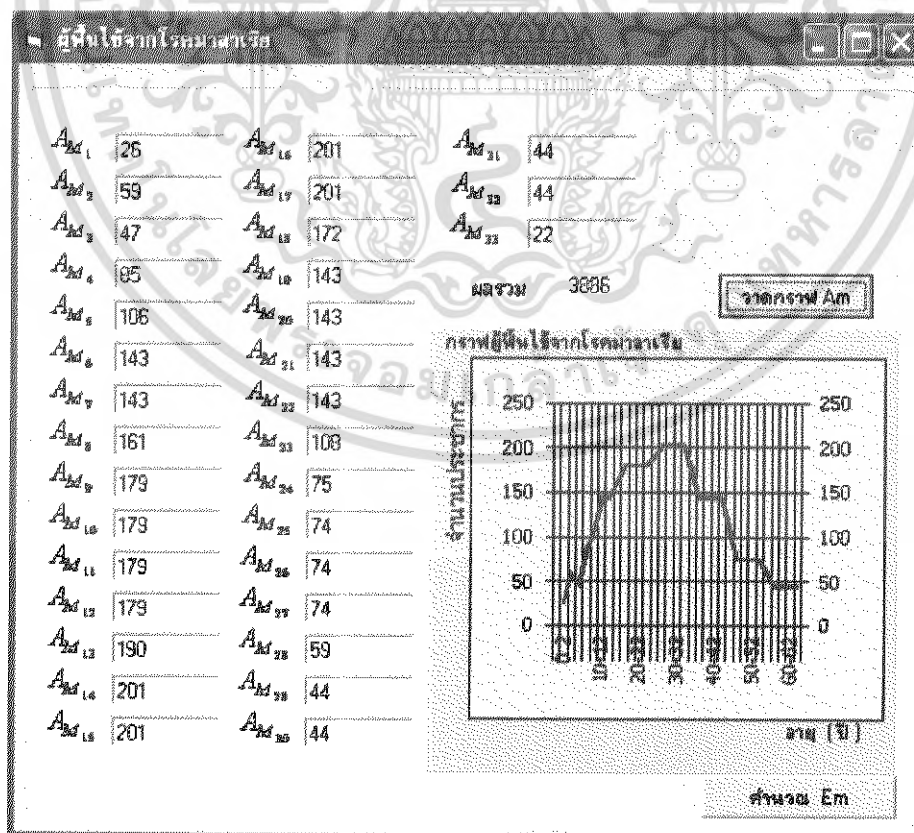
หน้าถัดไป

รูปที่ 4.39 หน้าจอแสดงรายละเอียดของขงกันปล่องของจังหวัดตราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

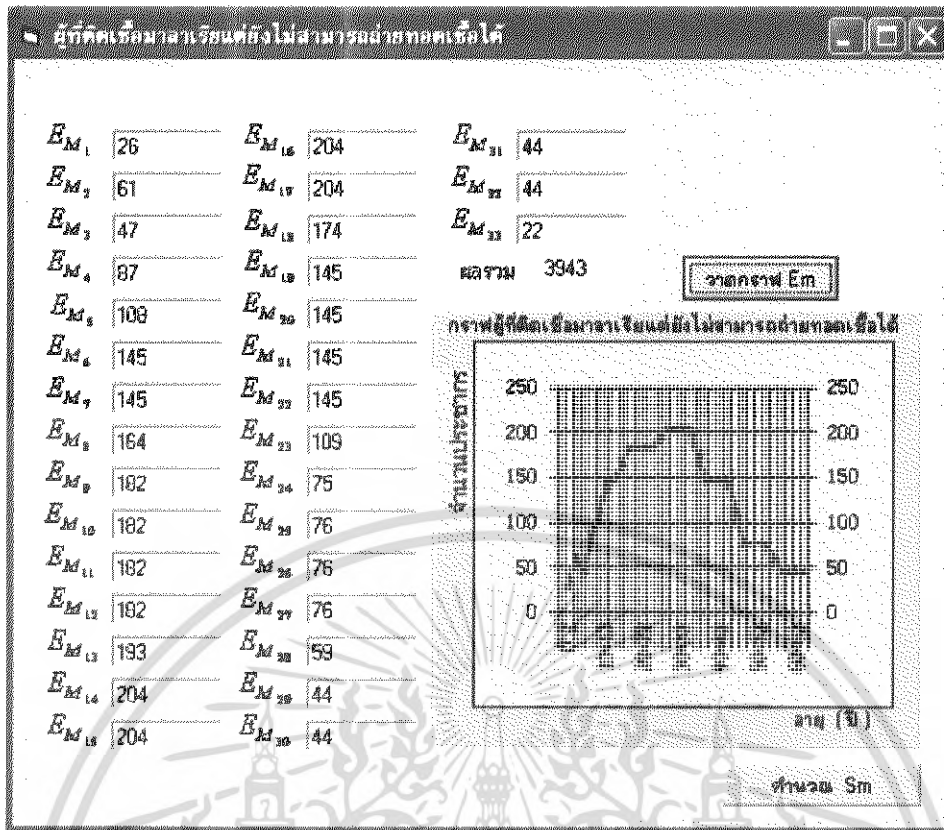


รูปที่ 4.40 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของจังหวัดตราด

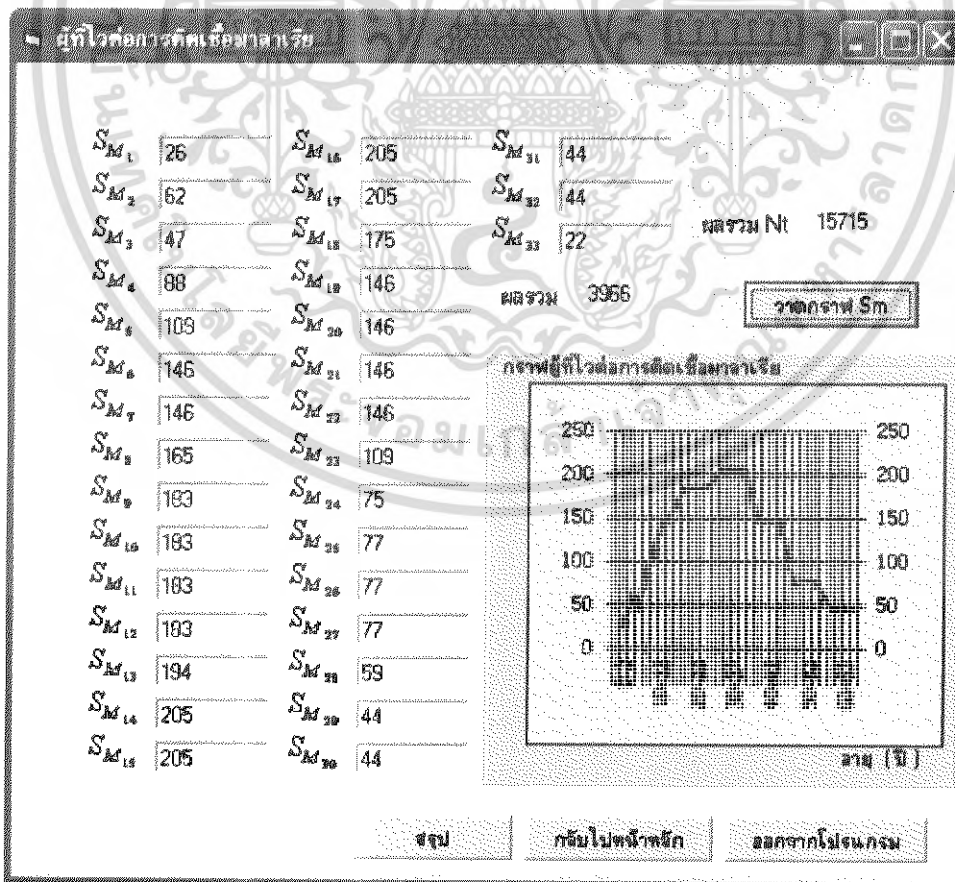


รูปที่ 4.41 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อจากโรคมลาสเลียของจังหวัดตราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

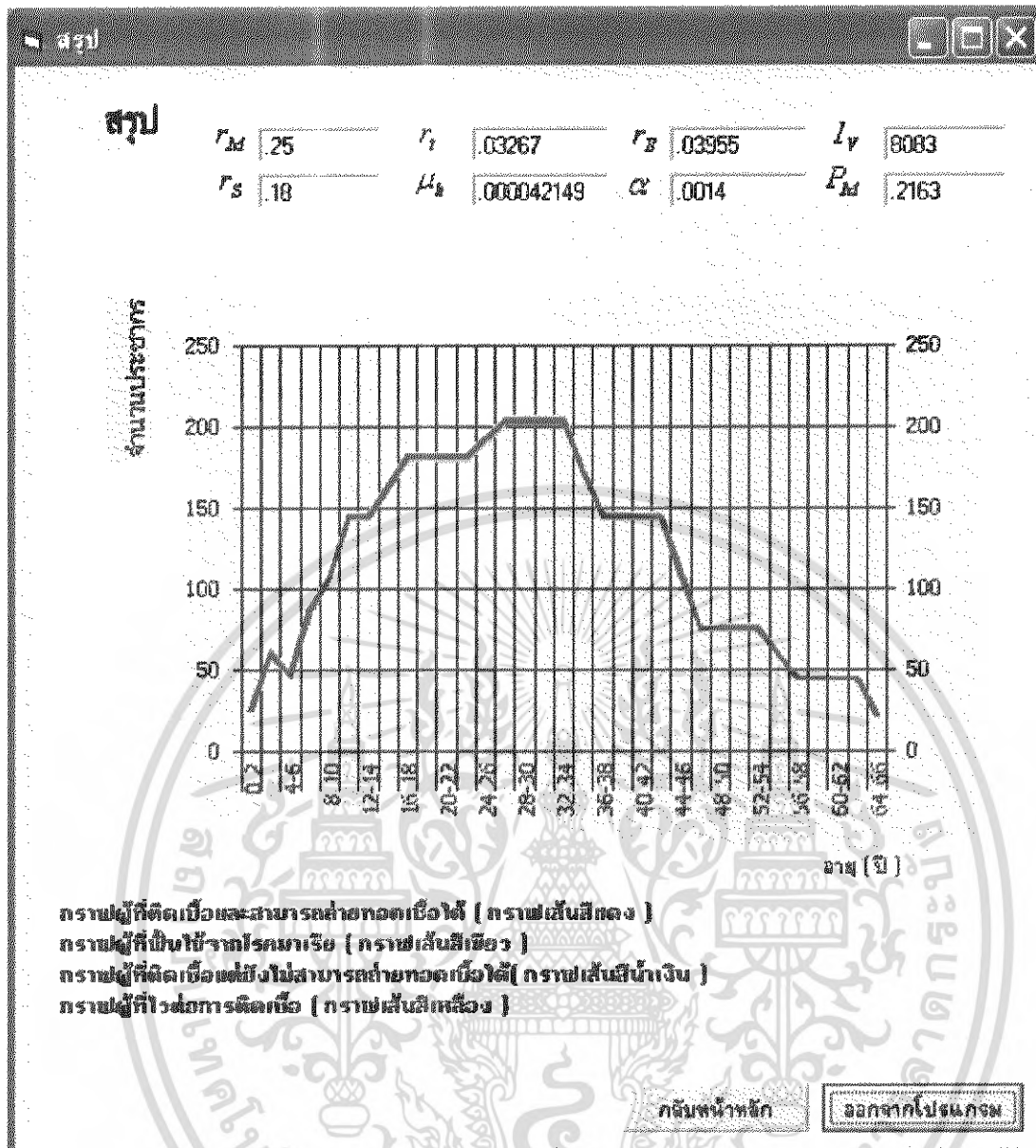


รูปที่ 4.42 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดตราด



รูปที่ 4.43 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อโรคมาลาเรียของจังหวัดตราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดตราด

จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเปรียบเทียบกราฟ จำนวนประชากรของผู้ที่ติดเชื้อ มาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กับ กราฟจำนวนประชากรของผู้ป่วยโรคมลาเรีย ของแต่ละกลุ่มอายุจะมีค่าใกล้เคียงกันนั่นหมายถึงมีผู้ป่วยโรคมลาเรียจำนวนเท่าไรก็จะมีผู้ป่วยที่ฟื้นไข้จากโรคนั้นเกือบทั้งหมด

ต่อไปจะใช้วิธีการวิเคราะห์ทำนองเดียวกับจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งจะได้นำค่าดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณของจังหวัดตราด

Am	Im	Fo	S	S-Fo	S-Fo
26	26	0.00669068	0.00663265	-0.00005803	0.00005803
59	60	0.02187339	0.02193878	0.00006538	0.00006538
47	47	0.03396809	0.03392857	-0.00003952	0.00003952
85	86	0.05584148	0.05586735	0.00002586	0.00002586
106	107	0.08311889	0.08316327	0.00004438	0.00004438
143	144	0.11991765	0.11989796	-0.00001969	0.00001969
143	144	0.15671642	0.15663265	-0.00008376	0.00008376
161	163	0.19814720	0.19821429	0.00006709	0.00006709
179	181	0.24420998	0.24438776	0.00017777	0.00017777
179	181	0.29027277	0.29056122	0.00028845	0.00028845
179	181	0.33633556	0.33673469	0.00039913	0.00039913
179	181	0.38239835	0.38290816	0.00050981	0.00050981
190	192	0.43129182	0.43188776	0.00059594	0.00059594
201	203	0.48301595	0.48367347	0.00065751	0.00065751
201	203	0.53474009	0.53545918	0.00071909	0.00071909
201	203	0.58646423	0.58724490	0.00078067	0.00078067
201	203	0.63818837	0.63903061	0.00084224	0.00084224
172	173	0.68244982	0.68316327	0.00071345	0.00071345
143	144	0.71924858	0.71989796	0.00064937	0.00064937
143	144	0.75604735	0.75663265	0.00058530	0.00058530
143	144	0.79284611	0.79336735	0.00052123	0.00052123
143	144	0.82964488	0.83010204	0.00045716	0.00045716
108	109	0.85743695	0.85790816	0.00047121	0.00047121
75	75	0.87673700	0.87704082	0.00030381	0.00030381
74	75	0.89577972	0.89617347	0.00039375	0.00039375
74	75	0.91482244	0.91530612	0.00048368	0.00048368
74	75	0.93386516	0.93443878	0.00057362	0.00057362
59	59	0.94904786	0.94948980	0.00044193	0.00044193
44	44	0.96037056	0.96071429	0.00034372	0.00034372
44	44	0.97169326	0.97193878	0.00024552	0.00024552
44	44	0.98301595	0.98316327	0.00014731	0.00014731
44	44	0.99433865	0.99438776	0.00004910	0.00004910
22	22	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
3886	3920				0.00084224
	62.609983				MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากตาราง เมื่อ $\alpha = 0.05$

$$\frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.021722$$

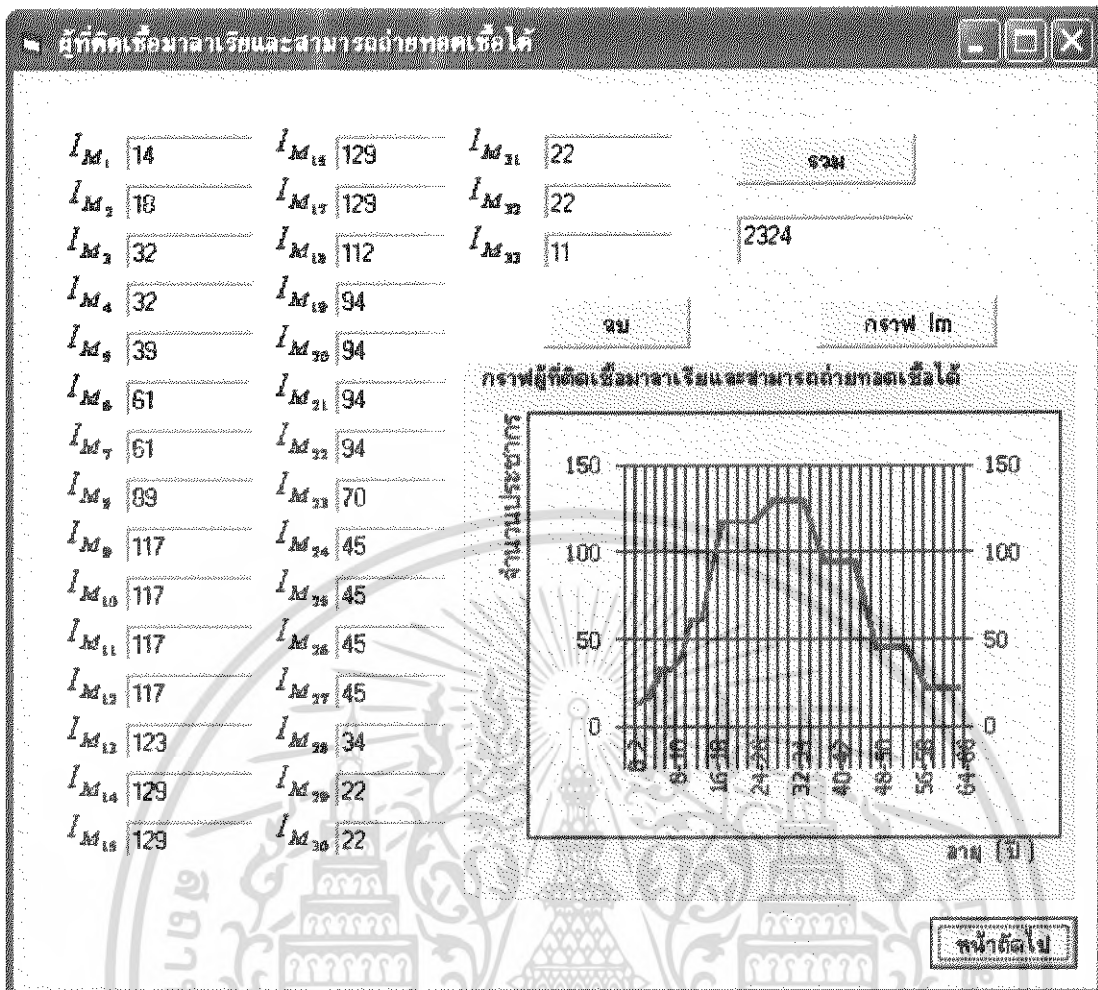
$D_{\text{คำนวณ}} = 0.000842 < D_{\text{ตาราง}} = 0.021722$ (ตาราง Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test แสดงไว้ในภาคผนวก)

หมายความว่า เรายอมรับ H_0 คือ ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่สร้างไว้

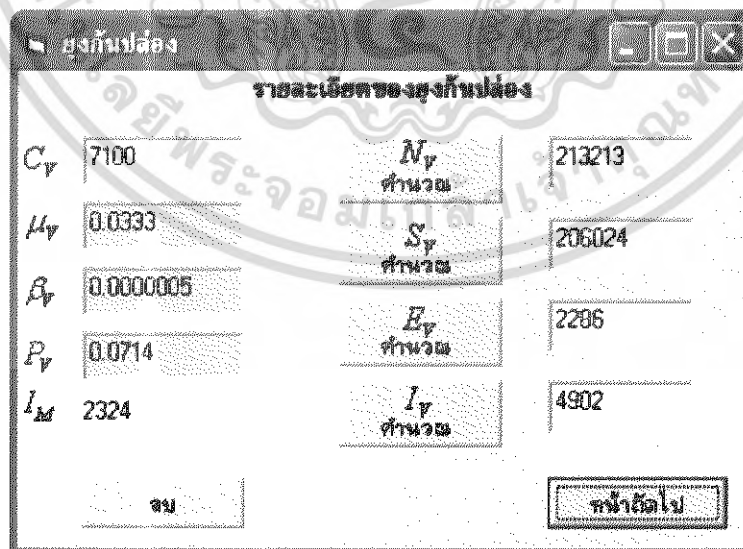
4. จังหวัดอุตรดิตถ์

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากขงไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i (β_{M_i}) ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเป็น 0.00003606
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_{M_i}) เป็นจำนวน 2,324 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ (S_{M_i}) เป็นจำนวน 9,325 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_{M_i}) เป็นจำนวน 2,340 คน
- มีจำนวนของผู้ที่พ้นไขจากโรคมมาลาเรีย (A_{M_i}) เป็นจำนวน 2,307 คน

และมีข้อมูลดังนี้

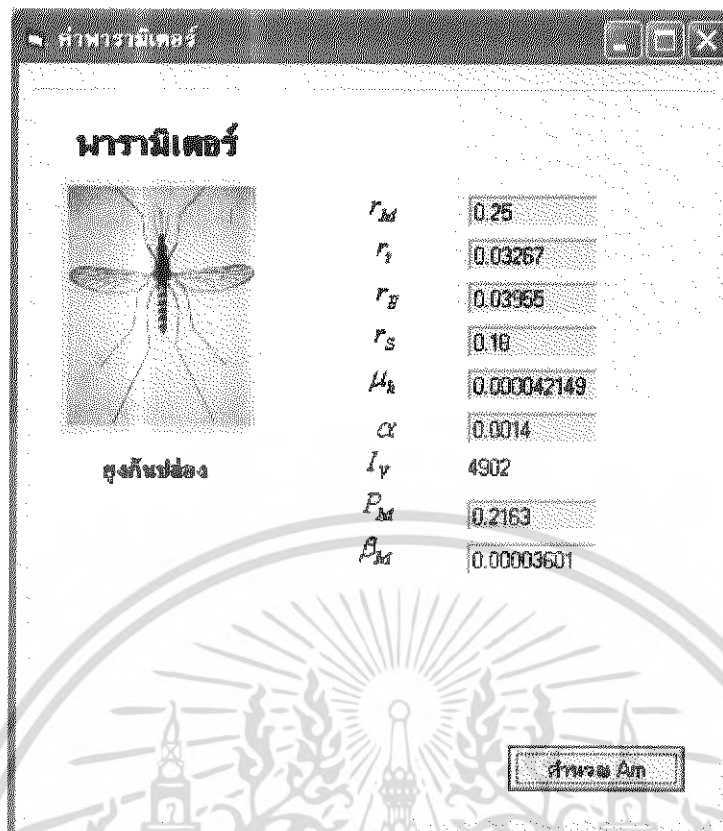


รูปที่ 4.45 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดอุบลราชธานี

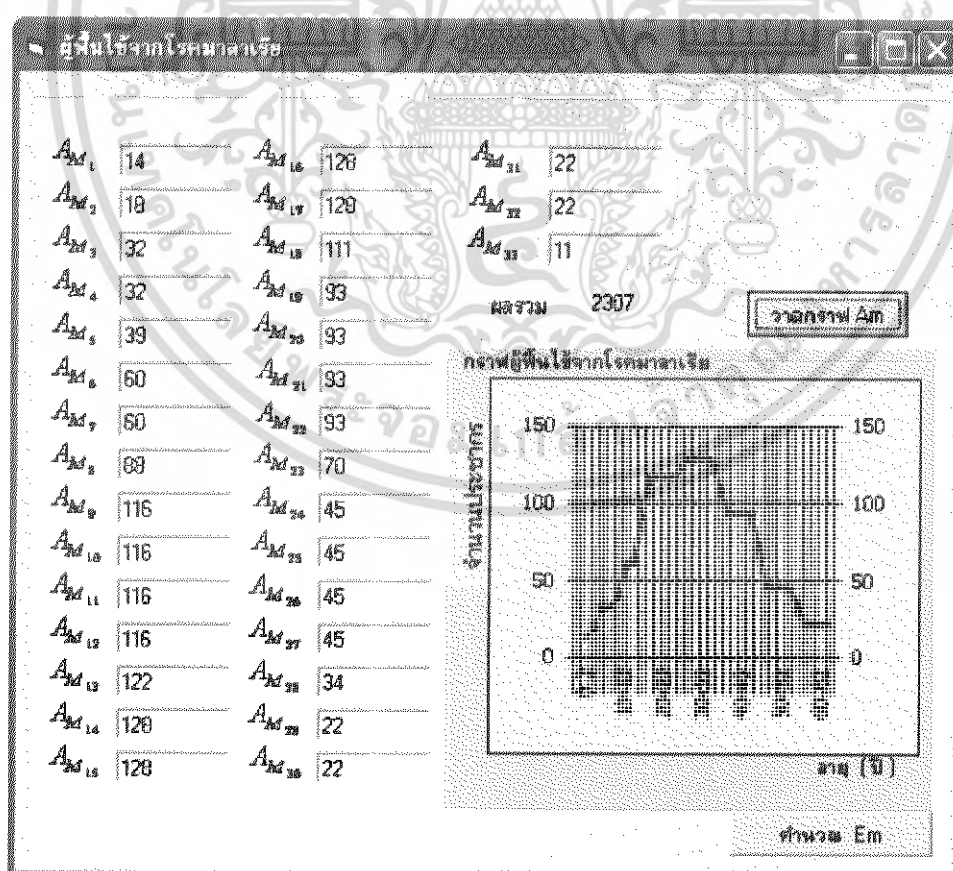


รูปที่ 4.46 หน้าจอแสดงรายละเอียดของยุงกินปล้องของจังหวัดอุบลราชธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

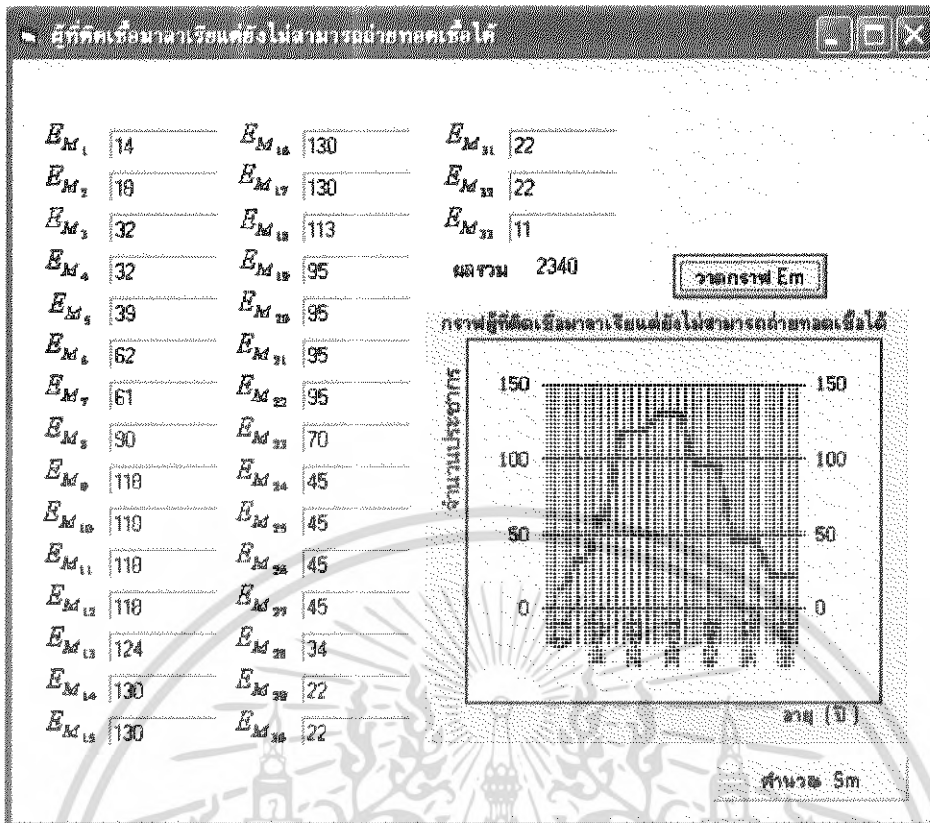


รูปที่ 4.47 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของจังหวัดอุบลราชธานี

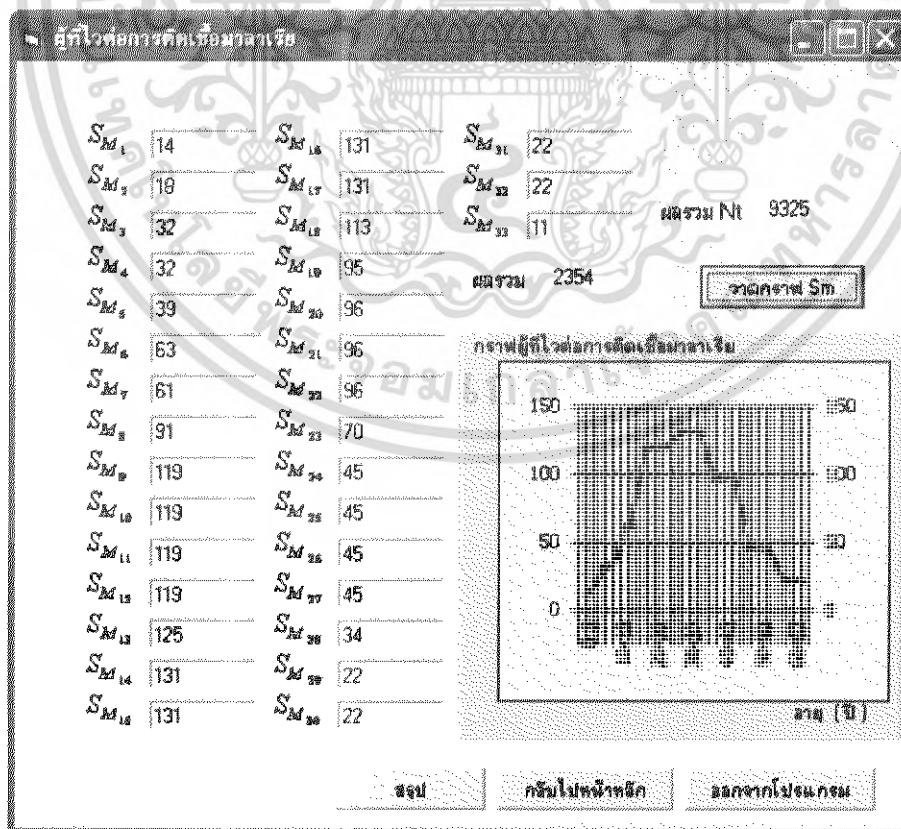


รูปที่ 4.48 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อจากโรคมลาเรียของจังหวัดอุบลราชธานี

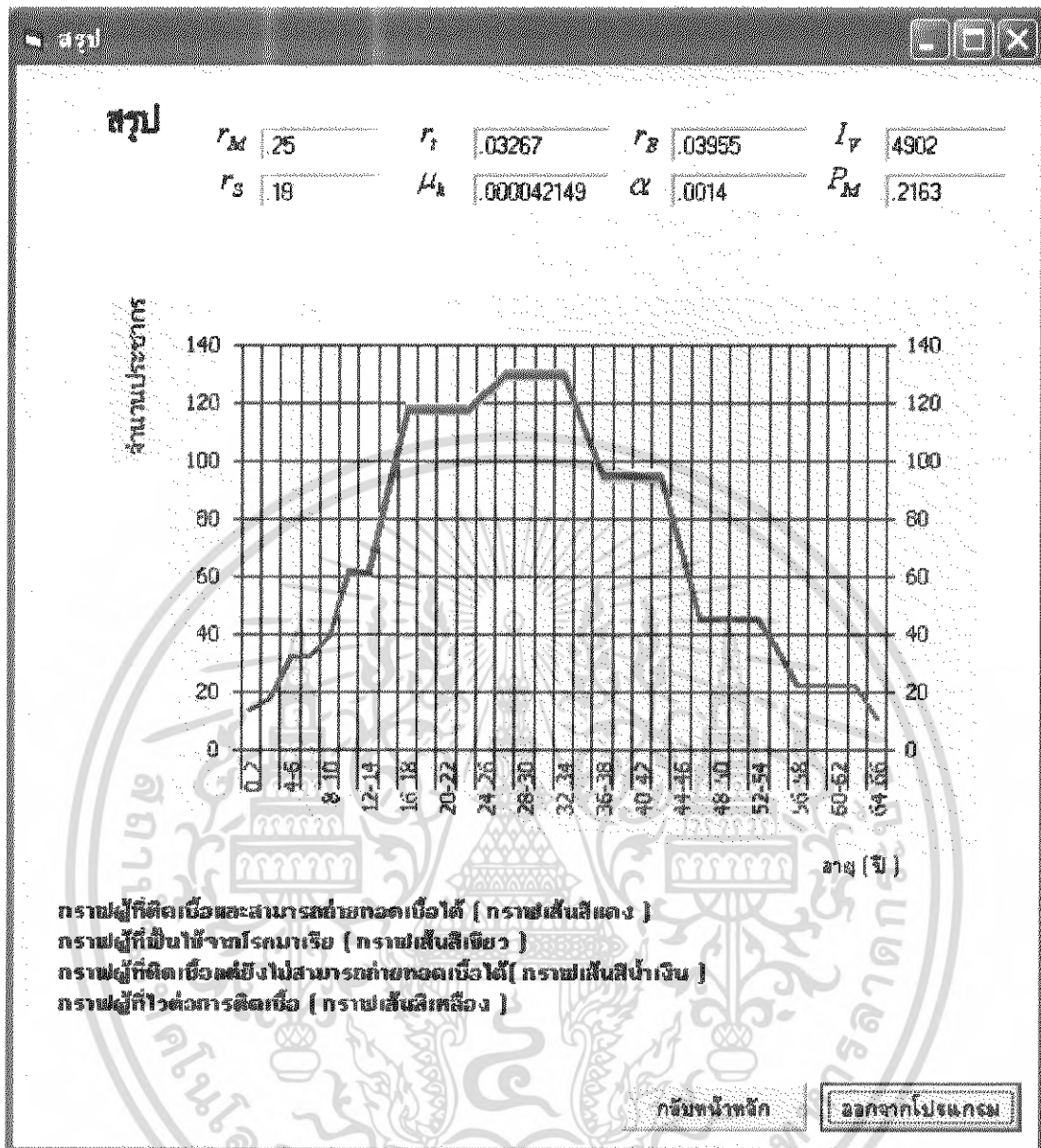
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 4.50 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อมาลาเรียของจังหวัดอุบลราชธานี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.51 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดอุบลราชธานี

จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเปรียบเทียบกราฟ จำนวนประชากรของผู้ที่ติดเชื้อ มาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กับ กราฟจำนวนประชากรของผู้ฟื้นไข้จาก โรคมะลาเรีย ของ แต่ละกลุ่มอายุจะมีค่าใกล้เคียงกันนั่นหมายถึงมีผู้ป่วยโรคมะลาเรียจำนวนเท่าไรก็จะมีผู้ฟื้นไข้จากโรคนั้นเกือบทั้งหมด

ต่อไปจะใช้วิธีการวิเคราะห์ทำนองเดียวกับจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งจะได้ค่าดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณของจังหวัดอุบลราชธานี

Am	Im	Fo	S	S-Fo	S-Fo
14	14	0.00606849	0.00602410	-0.00004439	0.00004439
18	18	0.01387083	0.01376936	-0.00010146	0.00010146
32	32	0.02774166	0.02753873	-0.00020293	0.00020293
32	32	0.04161248	0.04130809	-0.00030439	0.00030439
39	39	0.05851756	0.05808950	-0.00042805	0.00042805
60	61	0.08452536	0.08433735	-0.00018801	0.00018801
60	61	0.11053316	0.11058520	0.00005204	0.00005204
88	89	0.14867794	0.14888124	0.00020330	0.00020330
116	117	0.19895969	0.19922547	0.00026579	0.00026579
116	117	0.24924144	0.24956971	0.00032827	0.00032827
116	117	0.29952319	0.29991394	0.00039075	0.00039075
116	117	0.34980494	0.35025818	0.00045323	0.00045323
122	123	0.40268747	0.40318417	0.00049669	0.00049669
128	129	0.45817078	0.45869191	0.00052113	0.00052113
128	129	0.51365410	0.51419966	0.00054556	0.00054556
128	129	0.56913741	0.56970740	0.00056999	0.00056999
128	129	0.62462072	0.62521515	0.00059443	0.00059443
111	112	0.67273515	0.67340792	0.00067276	0.00067276
93	94	0.71304725	0.71385542	0.00080817	0.00080817
93	94	0.75335934	0.75430293	0.00094358	0.00094358
93	94	0.79367143	0.79475043	0.00107900	0.00107900
93	94	0.83398353	0.83519793	0.00121441	0.00121441
70	70	0.86432596	0.86531842	0.00099245	0.00099245
45	45	0.88383182	0.88468158	0.00084977	0.00084977
45	45	0.90333767	0.90404475	0.00070708	0.00070708
45	45	0.92284352	0.92340792	0.00056440	0.00056440
45	45	0.94234937	0.94277108	0.00042171	0.00042171
34	34	0.95708713	0.95740103	0.00031391	0.00031391
22	22	0.96662332	0.96686747	0.00024415	0.00024415
22	22	0.97615951	0.97633391	0.00017439	0.00017439
22	22	0.98569571	0.98580034	0.00010464	0.00010464
22	22	0.99523190	0.99526678	0.00003488	0.00003488
11	11	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
2307	2324				0.00121441
	48.207883				MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากตาราง เมื่อ $\alpha = 0.05$

$$\frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.028211$$

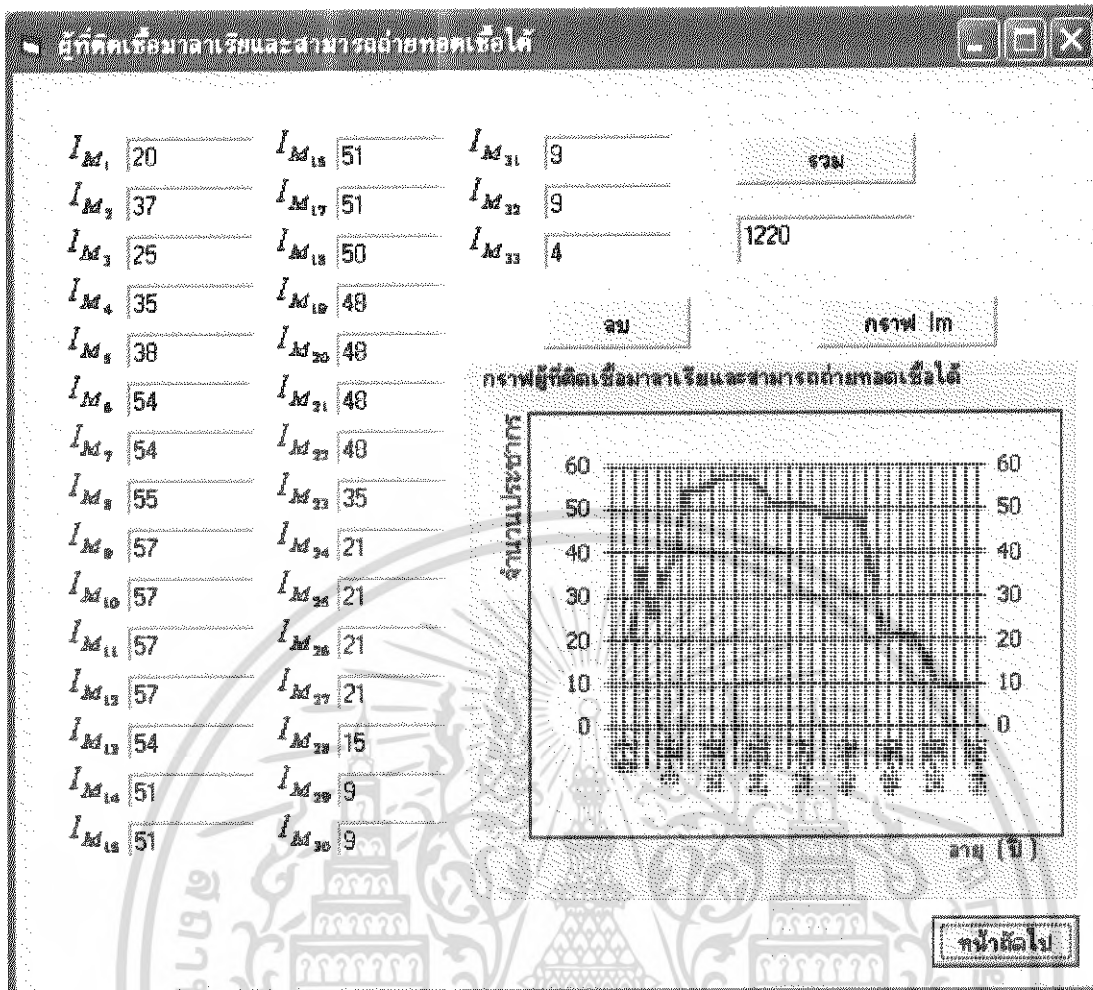
$D_{\text{คำนวณ}} = 0.00121441 < D_{\text{ตาราง}} = 0.028211$ (ตาราง Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test แสดงไว้ในภาคผนวก)

หมายความว่า เรายอมรับ H_0 คือ ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่สร้างไว้

5. จังหวัดระนอง

- อัตราการถ่ายทอดเชื้อจากขุมไปสู่คนกลุ่มอายุที่ i (β_{M_i}) ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีค่าเป็น 0.00006699
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I_{M_i}) เป็นจำนวน 1,220 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อ (S_{M_i}) เป็นจำนวน 1,226 คน
- มีจำนวนของผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E_{M_i}) เป็นจำนวน 1,221 คน
- มีจำนวนของผู้ที่พ้นไขจากโรคมมาลาเรีย (A_{M_i}) เป็นจำนวน 1,215 คน

มีข้อมูลดังนี้



รูปที่ 4.52 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาเรื่อยๆ และสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดระนอง

สูงกันปล่อง

รายละเอียดของสูงกันปล่อง

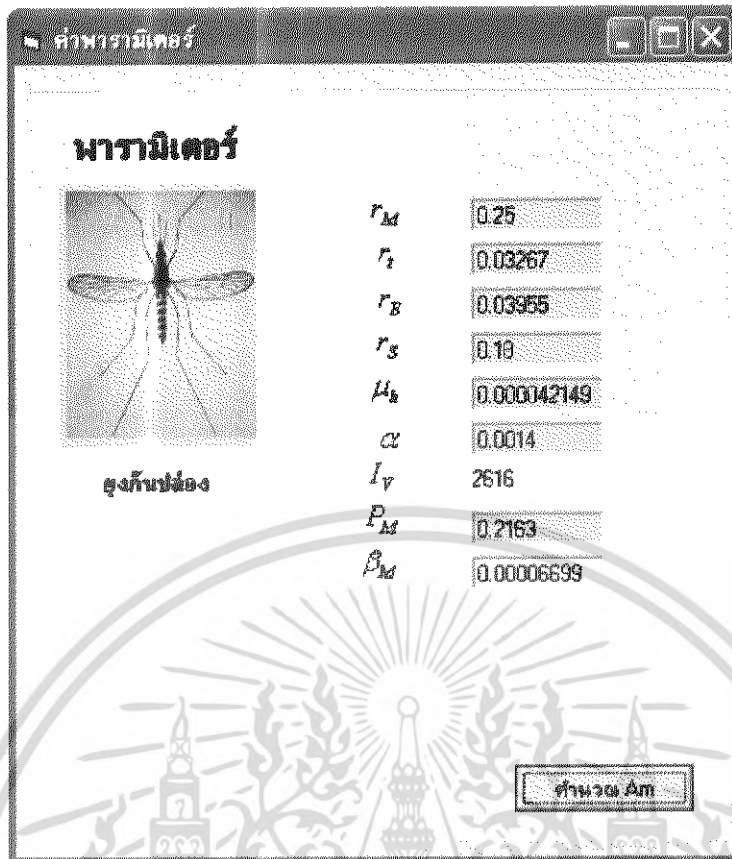
C_V	7100	N_V	213213
μ_V	0.0333	จำนวน	
β_V	0.0000005	S_V	209378
P_V	0.0714	จำนวน	
I_M	1220	E_V	1220
		จำนวน	
		I_V	2616
		จำนวน	

ลบ

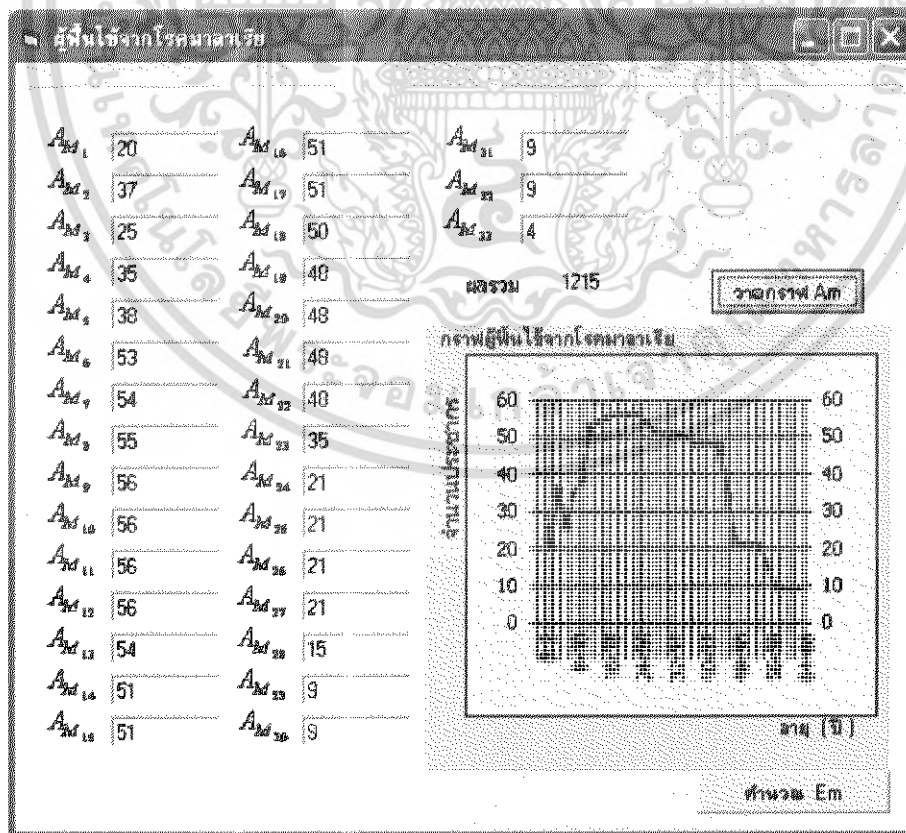
หน้าถัดไป

รูปที่ 4.53 หน้าจอแสดงรายละเอียดของสูงกันปล่องของจังหวัดระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

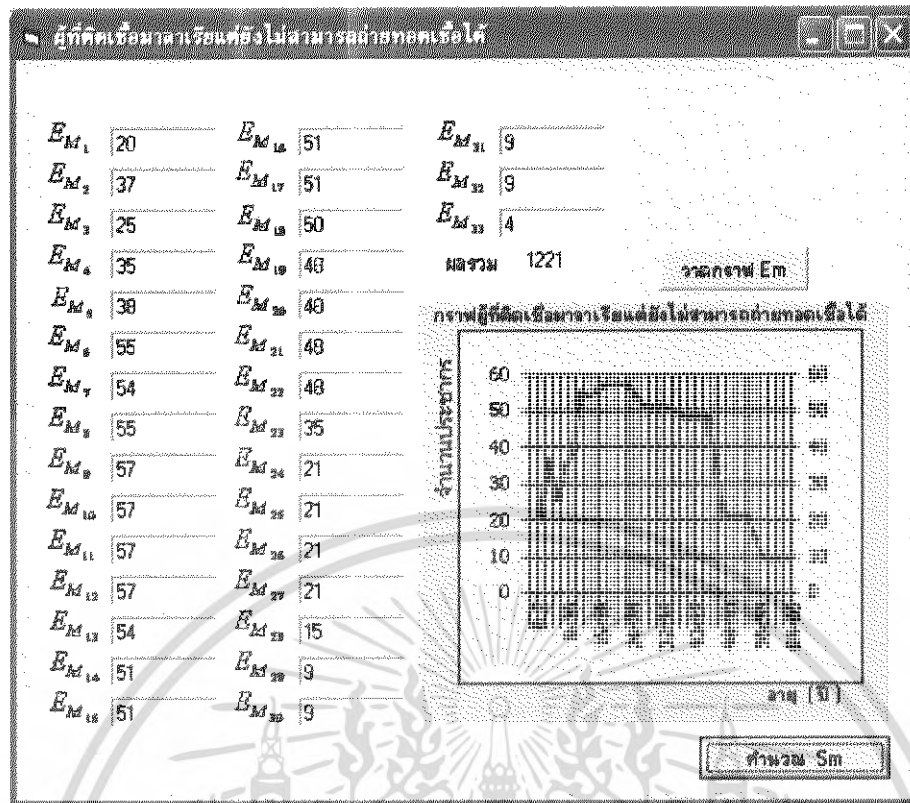


รูปที่ 4.54 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของจังหวัดระนอง

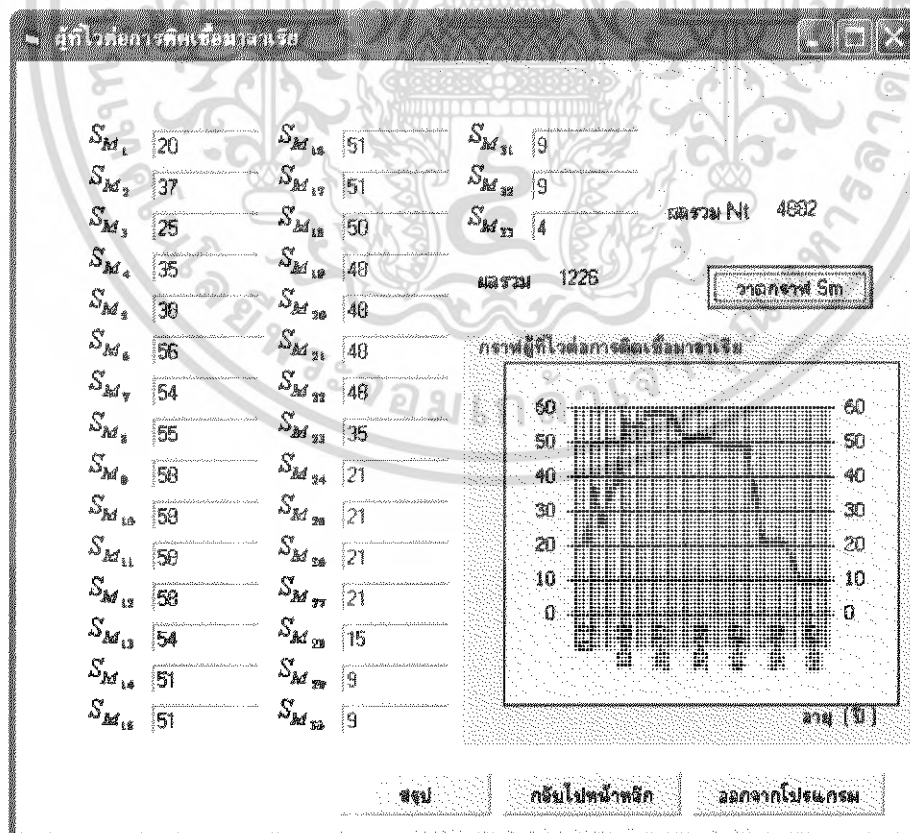


รูปที่ 4.55 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ติดเชื้อจากโรคมลาเลียของจังหวัดระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

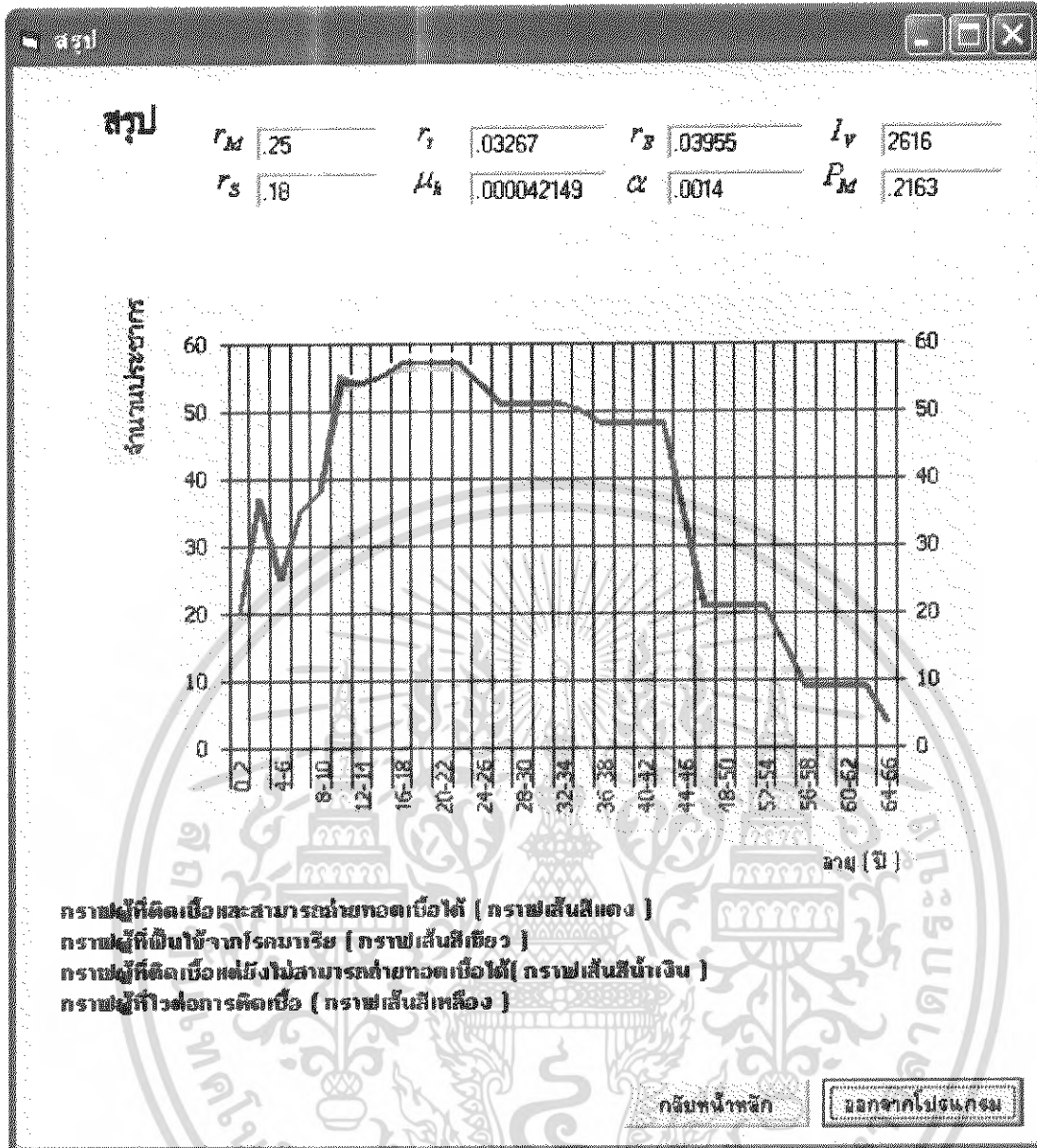


รูปที่ 4.56 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ติดเชื้อมาลาเรียแต่ยังไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ของจังหวัดระนอง



รูปที่ 4.57 หน้าจอแสดงจำนวนผู้ที่ไวต่อการติดเชื้อมาลาเรียของจังหวัดระนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 หน้าสรุปข้อมูลของจังหวัดระนอง

จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเราเปรียบเทียบกราฟ จำนวนประชากรของผู้ที่คิดเชื้อ มาลาเรียและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ กับ กราฟจำนวนประชากรของผู้ฟื้นฟูจากโรคมาลาเรีย ของ แต่ละกลุ่มอายุจะมีค่าใกล้เคียงกันนั่นหมายถึงมีผู้ป่วยโรคมาลาเรียจำนวนเท่าไรก็จะมีผู้ป่วยที่ฟื้นฟูจากโรคนั้นเกือบทั้งหมด

ต่อไปจะใช้วิธีการวิเคราะห์ทำนองเดียวกับจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งจะได้ค่าดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางการคำนวณของจังหวัดระนอง

Am	Im	Fo	S	S-Fo	S-Fo
20	20	0.01646091	0.01639344	-0.00006746	0.00006746
37	37	0.04691358	0.04672131	-0.00019227	0.00019227
25	25	0.06748971	0.06721311	-0.00027660	0.00027660
35	35	0.09629630	0.09590164	-0.00039466	0.00039466
38	38	0.12757202	0.12704918	-0.00052284	0.00052284
53	54	0.17119342	0.17131148	0.00011806	0.00011806
54	54	0.21563786	0.21557377	-0.00006409	0.00006409
55	55	0.26090535	0.26065574	-0.00024961	0.00024961
56	57	0.30699588	0.30737705	0.00038116	0.00038116
56	57	0.35308642	0.35409836	0.00101194	0.00101194
56	57	0.39917695	0.40081967	0.00164272	0.00164272
56	57	0.44526749	0.44754098	0.00227349	0.00227349
54	54	0.48971193	0.49180328	0.00209134	0.00209134
51	51	0.53168724	0.53360656	0.00191931	0.00191931
51	51	0.57366255	0.57540984	0.00174728	0.00174728
51	51	0.61563786	0.61721311	0.00157525	0.00157525
51	51	0.65761317	0.65901639	0.00140322	0.00140322
50	50	0.69876543	0.70000000	0.00123457	0.00123457
48	48	0.73827160	0.73934426	0.00107266	0.00107266
48	48	0.77777778	0.77868852	0.00091075	0.00091075
48	48	0.81728395	0.81803279	0.00074884	0.00074884
48	48	0.85679012	0.85737705	0.00058693	0.00058693
35	35	0.88559671	0.88606557	0.00046887	0.00046887
21	21	0.90288066	0.90327869	0.00039803	0.00039803
21	21	0.92016461	0.92049180	0.00032719	0.00032719
21	21	0.93744856	0.93770492	0.00025636	0.00025636
21	21	0.95473251	0.95491803	0.00018552	0.00018552
15	15	0.96707819	0.96721311	0.00013493	0.00013493
9	9	0.97448560	0.97459016	0.00010457	0.00010457
9	9	0.98189300	0.98196721	0.00007421	0.00007421
9	9	0.98930041	0.98934426	0.00004385	0.00004385
9	9	0.99670782	0.99672131	0.00001349	0.00001349
4	4	1.00000000	1.00000000	0.00000000	0.00000000
1215	1220				0.00227349
	34.928498				MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณจากตาราง เมื่อ $\alpha = 0.05$

$$\frac{1.36}{\sqrt{N}} = 0.038937$$

$D_{\text{คำนวณ}} = 0.002273 < D_{\text{ตาราง}} = 0.038937$ (ตาราง Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test แสดงไว้ในภาคผนวก)

หมายความว่า เรายอมรับ H_0 คือ ข้อมูลที่ได้เป็นไปตามทฤษฎีที่สร้างไว้

สรุป

ค่าของตัวแปรทั้งหมดของแต่ละจังหวัดที่ได้มานั้นเป็นค่าที่ได้จากการหาโดยพยายามให้จำนวนผู้ป่วยกับจำนวนผู้ที่ฟื้นฟูมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งได้นำทฤษฎีการทดสอบของโคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ สำหรับตัวอย่างชุดเดียว (The Kolmogorov – Smirnov One Sample Test) และ การเปรียบเทียบการทดสอบการแจกแจงด้วยวิธีไคสแควร์ และ โคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ (Chi – square and Kolmogorov – Smirnov goodness of fit tests : a comparison) ทางสถิติ ช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ดังนั้น ถ้าเราควบคุมตัวแปรให้สอดคล้องกับที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว เราจะสามารถลดการระบาดของโรคมาลาเรียได้

บรรณานุกรม

- [1] กรมควบคุมโรค. ม.ป.ป. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2539.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [2] กรมควบคุมโรค. ม.ป.ป. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2540.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [3] กรมควบคุมโรค. ม.ป.ป. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2541.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [4] กรมควบคุมโรค. ม.ป.ป. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2542.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [5] กรมควบคุมโรค. ม.ป.ป. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2543.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [6] กรมควบคุมโรค. ม.ป.ป. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2544.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [7] กรมควบคุมโรค. 2547. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2545.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [8] กรมควบคุมโรค. 2547. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2545.** พิมพ์ครั้งที่ 1 (ฉบับเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [9] กรมควบคุมโรค. 2547. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2546.** กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [10] กรมควบคุมโรค. 2547. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2547.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [11] กรมควบคุมโรค. 2547. **สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี พ.ศ. 2548.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักโรคบาดวิทย์ฯ กระทรวงสาธารณสุข.
- [12] กรมควบคุมโรค. 2548. **มาลาเรีย.** [Online]. Available : <http://www.thaivbd.org/cms/index.php>.
- [13] กรมควบคุมโรค. 2548. **โรคในระบบเฝ้าระวัง.** [Online]. Available : <http://epid.moph.go.th/>.
- [14] จันทรา เหล่าถาวร และ ศรชัย หล่อวิริยสุวรรณ. **มาลาเรีย.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ศักดิ์โสภณการพิมพ์. 2540.
- [15] ฉันทวุฒิ พิษผล. **คู่มือเรียน Visual Basic6.** (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น. 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] ฉัททวุฒิ พิษผล และคณะ. **คู่มือเรียน Visual Basic 6**. พิมพ์ครั้งที่ 11 (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น. 2547.
- [17] ชูชาติ ยับบรรเทา. **พจนานุกรมศัพท์ชีววิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 2546.
- [18] บุญส่ง สอนส่งเสริม. 2548. **โรคมาลาเรีย**. [Online]. Available : <http://student.nu.ac.th/Malaria/1.html>.
- [19] ปรัชญา สมบูรณ์. 2548. **มาลาเรีย(Malaria)**. [Online]. Available : www.med.cmu.ac.th/dept/parasite/Lecture%20Note/malaria_pradya.doc.
- [20] ยงยุทธ ยุทธวงศ์ และคณะ. **มาลาเรีย**. งานสื่อสิ่งพิมพ์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. 254-
- [21] รัชนีพงศ์ เวียงเจริญ. 2544. **มาลาเรีย : โรคที่นักท่องเที่ยวต้องระวัง**. [online]. Available : <http://www.thaiclinic.com/medbible/malaria.html>.
- [22] ราชบัณฑิตยสถาน. **ศัพท์แพทยศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ**. ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พิมพ์ครั้งที่ 3 (แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน. 2547.
- [23] ราชบัณฑิตยสถาน. **ศัพท์คณิตศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน. 2545.
- [24] วนิดา เหมาะกุล. **คณิตศาสตร์คิซคริค**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2535.
- [25] วิทย์ เทียงบูรณธรรม และ เกษม เทียงบูรณธรรม. **พจนานุกรมแพทยศาสตร์ เล่ม1**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : รวมสาส์น. 2541.
- [26] วิทย์ เทียงบูรณธรรม และ เกษม เทียงบูรณธรรม. **พจนานุกรมแพทยศาสตร์ เล่ม2**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : รวมสาส์น. 2541.
- [27] วิทย์ เทียงบูรณธรรม. **พจนานุกรมยาและยาใหม่ในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : รวมสาส์น. 2545.
- [28] วิทยา วัชรวิทยากุล และ สมชาย ประสิทธิ์ฐิตระกูล. **คณิตศาสตร์คิซคริคเชิงประยุกต์**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2536.
- [29] สมชาย ประสิทธิ์ฐิตระกูล. **ภินทคณิตศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี : งานประชาสัมพันธ์และ มัลติมีเดีย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2544.
- [30] สัจจะ จรัสรุ่งรวีร. **คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน Visual Basic 6.0**. นนทบุรี : อินโฟเพรส. 2544.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา. [ม.ป.ท. : ม.ป.พ.]. 2529.
- [32] ศิริพรต ผลสินธุ์. ศัพท์และคำอธิบายศัพท์ชีววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ดิ. ดี. บั๊คสโตร์. 2536.
- [33] อภิชาติ ภูพลับ. **สนุก! กับการประยุกต์ใช้ Visual Basic : เก่ง VB แบบง่ายๆ สไตล์มือสมัครเล่น**. นนทบุรี : อินโฟเพรส. 2546.
- [34] อุมพร จันทศร. **สถิติที่ไม่ใช่พารามิเตอร์**. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2542.
- [35] B.S. Kakkilaya. 2006. **Malaria Site**. [Online]. Available : <http://www.malariasite.com/>.
- [36] Leah Edelstein-Keshet. **Mathematical models in biology**. New York : Random House, Inc. 1988.
- [37] Frank R. Giordano, Maurice D. Weir, William P. Fox. **A first course in mathematical modelling**. 3rd ed. Australia : Thomson, Inc. 2003.
- [38] Lourdes E. and Cristobal V. 1998. **Analysis of a dengue disease transmission model**. Mathematical Biosciences, Volume 150, Issue 2, 15 June 1998, Pages 131-151.
- [39] Nasser_K. and Andrew_L. 2006. **Malaria**. [Online]. Available : http://www.brown.edu/Courses/Bio_160/Projects1999/malaria/malmain.html.
- [40] Redaction Committee. 2006. **Malaria**. [Online]. Available : http://www.impact-malaria.com/en/index_prehome.asp
- [41] DPDx Laboratory Identification of Parasites of Public Health Concern. 2006. **Parasite**. [Online]. Available : <http://www.dpd.cdc.gov/dpdx/Default.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table
Critical values of D in the Kolmogorov-Smirnov one-sample test*

Sample size(N)	Level of significance for $D = \text{maximum } F_0(X) - S_N(X) $				
	.20	.15	.10	.05	.01
1	.900	.925	.950	.975	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.21	.22	.24	.27	.32
30	.19	.20	.22	.24	.29
35	.18	.19	.21	.23	.27
Over 35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

* Adapted from Massey. F. J., Jr. (1951). The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*. 46. 70, with the kind permission of the author and publisher.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้