

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมการวิเคราะห์ความ  
เสี่ยงของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ในประเทศไทย

Mathematical Model and Program for Analysis the  
Risk of G6PD disease in Thailand



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)  
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mathematical Model and Program for Analysis the  
Risk of G6PD disease in Thailand





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

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมการวิเคราะห์ความเสี่ยง ของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ในประเทศไทย		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรชาพิมพ์ นันทโชคชวพันธ์	รหัสนักศึกษา	57050062
	นางสาววรรณลดา มงคลธง	รหัสนักศึกษา	57050124
	นางสาวศุภรดา คิมพงษ์	รหัสนักศึกษา	57050142
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)		
ภาควิชา	คณิตศาสตร์		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (คณิตศาสตร์  
ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วรรณพร สรรประเสริฐ ประธานกรรมการ	
ดร.ภูษนิศา ล้อมทอง กรรมการ	ภูษนิศา ล้อมทอง
รศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	สิริพร

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ในประเทศไทย		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธชาพิมพ์ นันทโชคชวพันธ์	รหัสนักศึกษา	57050062
	นางสาววรรณลดา มงคลธง	รหัสนักศึกษา	57050124
	นางสาวศุภรดา คิมพงษ์	รหัสนักศึกษา	57050142
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)		
ภาควิชา	คณิตศาสตร์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. พันธนี พงศ์สัมพันธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดแนวโน้มของจำนวนผู้ป่วยเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ในประเทศไทย ผู้จัดทำได้ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมโรคทางพันธุกรรมนี้ในประเทศไทย โดยพิจารณา ลักษณะของโรค สาเหตุ การรักษา การถ่ายทอดทางพันธุกรรม ทฤษฎีการจับคู่ของยีน แล้วจึงนำข้อมูลของผู้ป่วยและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลเฉลยเชิงตัวเลขได้นำมาแสดงโดยการสร้างเป็นโปรแกรมที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางหาวิธีการลดจำนวนผู้ป่วยโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ในประเทศไทย

คำสำคัญ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โรคพร่องเอนไซม์ G6PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Mathematical Model and Program for Analysis the Risk of G6PD in Thailand
<b>Student</b>	MissTachapim Nantachokchawapan Student ID 57050062 MissWanlada Mongkolthong Student ID 57050124 MissSuparada Kimphong Student ID 57050142
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Applied Mathematics)
<b>Department</b>	Mathematics
<b>Faculty</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academics Year</b>	2017
<b>Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun
<b>Co-advisor</b>	Dr.Siripawn Henna Winter

## ABSTRACT

The purpose of this research is to decrease the trend of G6PD disease in Thailand. We apply the mathematical knowledge for finding the appropriated model. This will be helpful for reducing genetic disease in Thailand. The mathematical model is created by learning mechanism of genetic transmission of G6PD disease. We consider the patient's rate of inheritance from the parent. We find the analytical and numerical results of our model. The genetics and recurrence relation are used in this study. Then we take the real data and mathematical theorem to formulate the mathematical model. The numerical results are shown by creating program. The results of this study would be an alternative way to decrease the case of G6PD disease in Thailand

**Keywords** : G6PD disease , Inheritance , Mathematical Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งสำเร็จได้เนื่องจากได้รับคำแนะนำและตอบคำถามต่างๆ ในปัญหาพิเศษฉบับนี้ ทางผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือดังนี้

รศ.ดร.พันธ์ พงศ์สัมพันธ์ และ ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่อง ต่างๆ มาโดยตลอดจนปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.วรรณพร สรรประเสริฐ ดร.ภูษณิศ ล้อมทอง และ คณาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อบรมและมอบความรู้ในด้านคณิตศาสตร์ให้ด้วยดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ท้ายที่สุด ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ เกี่ยวกับการเลือกคำ และเกี่ยวกับปัญหาพิเศษเล่มนี้

อนึ่ง ผู้ศึกษาหวังว่าปัญหาพิเศษฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องสำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้ศึกษาขอน้อมรับผิดแต่เพียงผู้เดียวและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์สืบไป

ธชาพิมพ์ นันทโชควพันธ์  
วรรณลดา มงคลธง  
ศุภรดา คิมพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	3
<b>บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 สาเหตุ.....	4
2.2 อาการ.....	4
2.3 การวินิจฉัย.....	4
2.3.1 การย้อมเซลล์เม็ดเลือดแดง.....	4
2.3.2 Haptoglobin.....	5
2.3.3 Beutler fluorescent spot test.....	5
2.3.4 ลักษณะการเกิดโรค.....	5
2.4 สิ่งกระตุ้น.....	5
2.4.1 อาหาร.....	5
2.4.2 การติดเชื้อ.....	5
2.4.3 การเป็นโรคเบาหวาน.....	5
2.4.4 การได้รับยาต่าง ๆ.....	5
2.4.4.1 กลุ่มยาแก้ปวด ลดไข้.....	5
2.4.4.2 กลุ่มยารักษาโรคมalaria.....	5
2.4.4.3 กลุ่มยารักษาโรคหัวใจ.....	6
2.4.4.4 กลุ่มยา Sulfonamides/Sulfones.....	6
2.4.4.5 กลุ่มยาปฏิชีวนะ.....	6
2.4.4.6 ยาอื่นๆ.....	6
2.5 การรักษา.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลข้างเคียง.....	7
2.6.1 หัวใจวาย.....	7
2.6.2 ภาวะไตวายเฉียบพลัน.....	7
2.6.3 ภาวะหัวใจหยุดเต้น.....	7
2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	9
2.8 ความสัมพันธ์เวียนเกิด.....	10
2.9 การสร้างแบบจำลองการถ่ายทอดทางพันธุกรรม.....	10
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 แบบจำลองสำหรับโรคพร่องเอนไซม์ G6PD .....	17
3.1.1 ความเสี่ยงในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD.....	17
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์แบบจำลอง</b>	
4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	27
4.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม.....	32
4.3 ตัวอย่างการทำนาย.....	57
4.3.1 กรณีแต่งงานนอกเครือญาติ.....	58
4.3.2 กรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	158
<b>บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 วิเคราะห์ผลงานวิจัย.....	163
5.2 สรุปผลงานวิจัย.....	163
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	163
บรรณานุกรม.....	168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินงานตามแผนงาน.....	3
ตารางที่ 2.1 ตารางการจับคู่.....	11
ตารางที่ 2.2 ตารางของรุ่นบุตร.....	12
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงลักษณะทางพันธุกรรม.....	19
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลักษณะทางพันธุกรรมของบุตร.....	26
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 1.....	65
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 1.....	65
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 1.....	65
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 1.....	66
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 1.....	66
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 2.....	71
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 2.....	71
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 2.....	71
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 2.....	72
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 2.....	72
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 3.....	77
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 3.....	77
ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 3.....	77
ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 3.....	78
ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 3.....	78
ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 4.....	83
ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 4.....	83
ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 4.....	83
ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 4.....	84
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 4.....	84
ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 5.....	89
ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 5.....	89
ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 5.....	89
ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 5.....	90
ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 5.....	90
ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 6.....	95
ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 6.....	95
ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 6.....	95
ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 6.....	96
ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 6.....	96



## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.63 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 13.....	137
ตารางที่ 4.64 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 13.....	138
ตารางที่ 4.65 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 13.....	138
ตารางที่ 4.66 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 14.....	143
ตารางที่ 4.67 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 14.....	143
ตารางที่ 4.68 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 14.....	143
ตารางที่ 4.69 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 14.....	144
ตารางที่ 4.70 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 14.....	144
ตารางที่ 4.71 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 15.....	149
ตารางที่ 4.72 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 15.....	149
ตารางที่ 4.73 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 15.....	149
ตารางที่ 4.74 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 15.....	150
ตารางที่ 4.75 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 15.....	150
ตารางที่ 4.76 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 16.....	155
ตารางที่ 4.77 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 16.....	155
ตารางที่ 4.78 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 16.....	155
ตารางที่ 4.79 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 16.....	156
ตารางที่ 4.80 ตารางแสดงสัดส่วนประชากรหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 16.....	156
ตารางที่ 4.81 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค.....	160
ตารางที่ 4.82 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค.....	160
ตารางที่ 4.83 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ.....	160
ตารางที่ 4.84 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค.....	161
ตารางที่ 4.85 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค.....	161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	4
รูปที่ 2.2	8
รูปที่ 2.3	13
รูปที่ 2.4	13
รูปที่ 2.5	14
รูปที่ 2.6	14
รูปที่ 2.7	15
รูปที่ 2.8	15
รูปที่ 3.1	20
รูปที่ 3.2	21
รูปที่ 3.3	22
รูปที่ 3.4	23
รูปที่ 3.5	24
รูปที่ 3.6	25
รูปที่ 4.1	28
รูปที่ 4.2	29
รูปที่ 4.3	30
รูปที่ 4.4	31
รูปที่ 4.5	31
รูปที่ 4.6	32
รูปที่ 4.7	32
รูปที่ 4.8	33
รูปที่ 4.9	33
รูปที่ 4.10	34
รูปที่ 4.11	35
รูปที่ 4.12	36
รูปที่ 4.13	36
รูปที่ 4.14	37
รูปที่ 4.15	37
รูปที่ 4.16	38
รูปที่ 4.17	38
รูปที่ 4.18	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.19 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 1.....	39
รูปที่ 4.20 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 1 (1).....	40
รูปที่ 4.21 หน้าต่างแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลที่ถูกต้อง.....	40
รูปที่ 4.22 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 1 (2) .....	41
รูปที่ 4.23 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2.....	41
รูปที่ 4.24 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 (2) .....	42
รูปที่ 4.25 หน้าต่างแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 หากนำเพศชายในรุ่นที่ 1 มาคำนวณ....	42
รูปที่ 4.26 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 (3) .....	43
รูปที่ 4.27 หน้าต่างแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 หากนำเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาคำนวณ....	43
รูปที่ 4.28 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 (4).....	44
รูปที่ 4.29 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 3.....	44
รูปที่ 4.30 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 4.....	45
รูปที่ 4.31 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 5.....	45
รูปที่ 4.32 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของรุ่นที่ 5.....	46
รูปที่ 4.33 หน้าต่างแสดงกราฟ.....	46
รูปที่ 4.34 หน้าต่างแสดงกราฟ (1).....	47
รูปที่ 4.35 หน้าต่างแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ไม่เป็นโรค.....	47
รูปที่ 4.36 หน้าต่างแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นพาหะ.....	48
รูปที่ 4.37 หน้าต่างแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นโรค.....	48
รูปที่ 4.38 หน้าต่างแสดงโปรแกรมกรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	49
รูปที่ 4.39 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในกรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	49
รูปที่ 4.40 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์กรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	50
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเพศที่ไม่เป็นโรคในกรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	50
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเพศที่เป็นพาหะในกรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	51
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเพศที่เป็นโรคในกรณีแต่งงานในเครือญาติ.....	51
รูปที่ 4.44 หน้าต่างแสดงหน้าผู้จัดทำ.....	52
รูปที่ 4.45 หน้าต่างหน้าแรกของโปรแกรม (3) .....	52
รูปที่ 4.46 หน้าต่างแสดงการออกจากโปรแกรม.....	53
รูปที่ 4.47 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร.....	53
รูปที่ 4.48 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (1).....	54
รูปที่ 4.49 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (2).....	54
รูปที่ 4.50 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (3).....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.51 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (4).....	55
รูปที่ 4.52 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (5).....	56
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 1.....	67
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 1.....	67
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 1.....	67
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 2.....	73
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 2.....	73
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 2.....	73
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 3.....	79
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 3.....	79
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 3.....	79
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 4.....	85
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 4.....	85
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 4.....	85
รูปที่ 4.65 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 5.....	91
รูปที่ 4.66 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 5.....	91
รูปที่ 4.67 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 5.....	91
รูปที่ 4.68 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 6.....	97
รูปที่ 4.69 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 6.....	97
รูปที่ 4.70 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเป็นโรคในกรณีที่ 6.....	97
รูปที่ 4.71 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 7.....	103
รูปที่ 4.72 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 7.....	103
รูปที่ 4.73 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 7.....	103
รูปที่ 4.74 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 8.....	109
รูปที่ 4.75 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 8.....	109
รูปที่ 4.76 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 8.....	109
รูปที่ 4.77 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 9.....	115
รูปที่ 4.78 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 9.....	115
รูปที่ 4.79 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 9.....	115
รูปที่ 4.80 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรไม่เป็นโรคในกรณีที่ 10.....	121
รูปที่ 4.81 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 10.....	121
รูปที่ 4.82 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 10.....	121
รูปที่ 4.83 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 11.....	127

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.84 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 11.....	127
รูปที่ 4.85 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 11.....	127
รูปที่ 4.86 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 12.....	133
รูปที่ 4.87 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 12.....	133
รูปที่ 4.88 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 12.....	133
รูปที่ 4.89 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 13.....	139
รูปที่ 4.90 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 13.....	139
รูปที่ 4.91 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 13.....	139
รูปที่ 4.92 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 14.....	145
รูปที่ 4.93 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 14.....	145
รูปที่ 4.94 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 14.....	145
รูปที่ 4.95 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 15.....	151
รูปที่ 4.96 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 15.....	151
รูปที่ 4.97 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 15.....	151
รูปที่ 4.98 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรค.....	162
รูปที่ 4.99 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะ .....	162
รูปที่ 4.100 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรค .....	162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคนี้เกิดจากภาวะที่พร่องเอนไซม์ G6PD (Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมในวิถี Pentose Phosphate Pathway (PPP.) ของน้ำตาลกลูโคส ที่จะเปลี่ยน  $NADP^+$  ไปเป็น NADPH ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ Glutathione reductase และ Glutathione peroxidase ต่อไป ส่งผลให้เกิดการทำลายสารอนุมูลอิสระ (Oxidants) ต่าง ๆ เช่น  $H_2O_2$  ที่เป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกายโดยเฉพาะเซลล์เม็ดเลือดแดง ดังนั้นเอนไซม์ G6PD จึงเป็นเอนไซม์ที่ช่วยป้องกันเม็ดเลือดแดงจากการทำลายของสารอนุมูลอิสระ (Oxidants) คนที่เกิดภาวะพร่องเอนไซม์ชนิดนี้แล้วจะทำให้เกิดอาการเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolysis) ได้ง่าย สาเหตุของการพร่องเอนไซม์ G6PD เกิดจากความผิดปกติของพันธุกรรมแบบ X-linked recessive โรคนี้จึงพบในผู้ชายได้มากกว่าผู้หญิง จากการศึกษาข้อมูลต่างๆของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD จึงแสดงให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความจำเป็น เนื่องจากโรคพร่องเอนไซม์ G6PD มีผู้เป็นจำนวนน้อยและผู้ป่วยบางรายอาจจะไม่มีการแสดงออกทางกายภาพจึงอาจทำให้ได้รับการรักษาที่ล่าช้าต่ออาการที่เกิดขึ้นกับร่างกายแม้ว่าโรคพร่องเอนไซม์ G6PD จะมีผู้ป่วยจำนวนไม่มากนัก แต่ก็ส่งผลกระทบต่อชีวิตและการดำเนินชีวิต ในปัญหาพิเศษนี้จึงสนใจศึกษาสัดส่วนของการเกิดโรค ซึ่งจะสามารถนำมาเป็นแนวทางการป้องกันและลดจำนวนผู้ป่วยลงได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมวิเคราะห์สัดส่วนในการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

1.2.2) เพื่อสร้างโปรแกรมทำนายจำนวนผู้ป่วยที่มีสัดส่วนที่จะเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1) วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ที่เกิดจากการถ่ายทอดทางพันธุกรรมในประเทศไทยและนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ที่เกิดจากการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

1.3.2) เขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนผู้เสี่ยงต่อการติดโรคเพื่อเป็นแนวทางการป้องกันและควบคุมโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

### 1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ

1.4.1) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

1.4.2) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.4.3) เขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนของการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.4) สรุปผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และโปรแกรมวิเคราะห์สัดส่วนของการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1) เพื่อเสนอแนวทางในการลดจำนวนผู้ป่วยโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
- 1.5.2) เพื่อเฝ้าระวังการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
- 1.5.3) เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยสำหรับผู้ที่มีความสนใจในหัวข้อและแนวคิดเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6. ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินงานตามแผนงาน

ตาราง	ระยะเวลาในการดำเนินงาน									
	ปีการศึกษา 2560					ปีการศึกษา 2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
<b>ก.การเตรียมการ</b>										
1.หาหัวข้อปัญหาพิเศษ	↔									
2.ค้นคว้าหาข้อมูลของปัญหาพิเศษ		↔								
3.เก็บรวบรวมข้อมูล			↔							
4.ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง				↔						
5.สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์					↔					
<b>ข. การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล</b>										
6.วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆในการเกิดโรค						↔				
7.เขียนโปรแกรม							↔	↔	↔	
<b>ค.การเขียนรายงาน</b>										
8.เขียนรายงาน										↔
9.นำเสนอ										↔
10.ทำรูปเล่ม										↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# เอกสารที่เกี่ยวข้อง

โรคพร่องเอนไซม์ G6PD (อังกฤษ: Glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency) เป็นโรคทางพันธุกรรมโรคหนึ่งซึ่งทำให้เม็ดเลือดแดงแตกเมื่อได้รับสิ่งกระตุ้นต่างๆ

### 2.1 สาเหตุ

โรคที่มีการถ่ายทอดจากพันธุกรรม ที่พบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง ซึ่ง G6PD เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์ทั่วไปของร่างกาย รวมทั้งเม็ดเลือดแดง ถ้าร่างกายขาดเอนไซม์ชนิดนี้ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยของแสลง โดยเฉพาะการทานยาบางชนิด หรือทานถั่วปากอ้า จะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกตัวง่าย ซึ่งเป็นที่มาของชื่อโรคอีกอย่างหนึ่งว่า โรคแพ้ถั่วปากอ้า

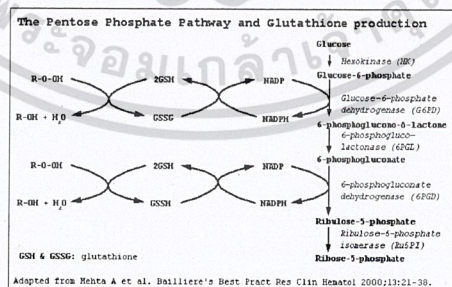
### 2.2 อาการ

อาการของโรคก็คือ Acute hemolytic anemia (ภาวะซีดจากการที่เม็ดเลือดแดงแตกอย่างฉับพลัน) โดยในเด็กทารกจะพบว่ามีอาการดีซ่านที่ยาวนานผิดปกติ ส่วนในผู้ใหญ่จะพบว่าปัสสาวะมีสีดํา ถ่ายปัสสาวะน้อยจนอาจนำไปสู่ภาวะไตวายเฉียบพลัน (Acute renal failure) ได้นอกจากนี้ยังส่งผลให้การควบคุมสมดุลของ Electrolytes (สารเกลือแร่ต่างๆในร่างกาย) ของร่างกายเสียไปด้วย โดยเฉพาะการเกิดภาวะ Hyperkalemia (โพแทสเซียมในเลือดสูง)

### 2.3 การวินิจฉัย

#### 2.3.1 การย้อมเซลล์เม็ดเลือดแดง (Completed Blood Count - CBC)

ในคนที่ป่วยโรคนี้ ถ้าย้อมพิเศษจะเห็นลักษณะที่เป็น "Heinz body" ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของฮีโมโกลบินที่ไม่คงตัว มักพบร่วมกับภาวะต่างๆ ที่ทำให้เม็ดเลือดแดงแตกหรือ มีการทำลายเม็ดเลือดแดงและมีปฏิกิริยา Oxidation เกิดขึ้นกับฮีโมโกลบินภายในเม็ดเลือดแดง เมื่อเม็ดเลือดแดงที่มี Heinz body ผ่านไปที่ตับหรือม้าม เม็ด Heinz body จะถูกกำจัดออกจนเม็ดเลือดแดงมีลักษณะเป็น Bite cell หรือ Defected spherocyte ซึ่งสามารถเห็นได้ใน CBC (Completed Blood Count) ปกติ



#### รูปที่ 2.1 แผนภาพกระบวนการเมแทบอลิซึมวิถี Pentose Phosphate Pathway

(ที่มา : [http://www.wikiwand.com/th/โรคพร่องเอนไซม์\\_G-6PD](http://www.wikiwand.com/th/โรคพร่องเอนไซม์_G-6PD))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 Haptoglobin

Haptoglobin เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งในพลาสมา ซึ่งในภาวะปกติ Haptoglobin จะจับกับฮีโมโกลบินอิสระ (Free hemoglobin) โดยค่า Haptoglobin จะมีค่าลดลงในคนที่มีการแตกเม็ดเลือดแดงแตก (Hemolysis)

### 2.3.3 Beutler fluorescent spot test

เป็นการทดสอบที่บ่งบอกถึงภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD โดยตรง ซึ่งจะแสดงให้เห็นปริมาณ NADPH ที่ผลิตได้จากเอนไซม์ G6PD โดยผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ถ้าไม่มีการเรืองแสงภายใต้ UV แสดงว่าบุคคลนั้นมีภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD

### 2.3.4 ลักษณะการเกิดโรค

โรคพร่องเอนไซม์ G6PD เป็นโรคที่เกิดกับโครโมโซม X ผิดปกติ โครโมโซมของเพศหญิงคือ XX ทำให้ในเพศหญิงเกิดเป็นพาหะโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และ เกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD แต่โครโมโซมของเพศชายคือ XY ทำให้เกิดกรณีที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

## 2.4 สิ่งกระตุ้น

### 2.4.1 อาหาร

โดยเฉพาะ ถั่วปากอ้า (Fava beans, Feva beans, Broad beans) ซึ่งมีสาร Vicine, Devicine, Convicine และ Isouramil ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระ (Oxidants)

### 2.4.2 การติดเชื้อ

การติดเชื้อโรคต่างๆซึ่งจะทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวหลั่งสารอนุมูลอิสระ (Oxidants) มากขึ้น

### 2.4.3 การเป็นโรคเบาหวานที่ทำให้เกิดกรด (Diabetic ketoacidosis)

### 2.4.4 การได้รับยาต่าง ๆ ดังนี้

#### 2.4.4.1 กลุ่มยาแก้ปวด ลดไข้ (Analgesics/Antipyretics)

- Acetanilid
- Acetophenetidin (Phenacetin)
- Amidopyrine (Aminopyrine)
- Antipyrene
- Aspirin
- Phenacetin
- Probenicid
- Pyramidone

#### 2.4.4.2 กลุ่มยารักษาโรคมาลาเรีย (Antimalarial drugs)

- Chloroquine
- Hydroxychloroquine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน Mepacrine (Quinacrine) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาของเอกสารอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Quinine
- Quinocde

#### 2.4.4.3 กลุ่มยารักษาโรคหัวใจ (Cardiovascular drugs)

- Procainamide
- Quinidine

#### 2.4.4.4 กลุ่มยา Sulfonamides/Sulfones

- Dapsone
- Sulfacetamide
- Sulfamethoxypyrimidine
- Sulfanilamide
- Sulfapyridine
- Sulfasalazine
- Sulfisoxazole

#### 2.4.4.5 กลุ่มยาปฏิชีวนะ (Cytotoxic/Antibacterial drugs)

- Chloramphenicol
- Co-trimoxazole
- Furazolidone
- Furmethonol
- Nalidixic acid
- Neoarsphenamine
- Nitrofurantoin
- Nitrofurazone
- Para-amino salicylic acid (PAS)

#### 2.4.4.6 ยาอื่นๆ

- Alpha-methyldopa
- Ascorbic acid
- Dimercaprol (BAL)
- Hydralazine
- Mestranol
- Methylene blue
- Nalidixic acid
- Naphthalene
- Niridazole
- Phenylhydrazine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Toluidine blue
- Trinitrotoluene
- Urate oxidase
- Vitamin K (Water soluble)

## 2.5 การรักษา

สิ่งสำคัญที่สุดในการรักษาผู้ป่วยภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (Glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency) คือการป้องกันและหลีกเลี่ยงยาและอาหารที่ทำให้มีการสลายของเม็ดเลือดแดง การได้รับวัคซีนป้องกันโรคที่พบบ่อยบางชนิด (เช่น วัคซีนตับอักเสบบี เอ และบี) อาจช่วยป้องกันเหตุเม็ดเลือดแดงสลายที่เกิดจากการติดเชื้อต่างๆ ได้ ในระยะเฉียบพลันของการสลายของเม็ดเลือดแดง ผู้ป่วยอาจจำเป็นต้องได้รับเลือด หรือต้องรับการชำระเลือด (dialysis) หากมีภาวะไตวายเฉียบพลันเกิดขึ้น การให้เลือดเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาอาการ เนื่องจากเม็ดเลือดแดงในเลือดที่ได้รับนั้นโดยทั่วไปจะไม่พร่องเอนไซม์ G6PD ดังนั้นจะมีอายุขัยปกติในร่างกายของผู้รับเลือด ผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการดีขึ้นจากการตัดม้าม เนื่องจากม้ามเป็นแหล่งทำลายเม็ดเลือดแดงของร่างกาย กรดโฟลิกจะช่วยได้ในกรณีที่มีการทำลายและสร้างเม็ดเลือดแดงใหม่มาก ในขณะที่วิตามินบีและซีลีเนียมนั้นแม้จะมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันแต่ก็ไม่ช่วยลดความรุนแรงของภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD แต่อย่างใด

## 2.6 ผลข้างเคียง

ในภาวะที่มีเม็ดเลือดแดงแตกจากภาวะขาดเอนไซม์ G6PD หากเกิดอาการรุนแรงและให้การรักษาไม่ทันจะเกิดโรคแทรกซ้อนดังนี้

### 2.6.1 หัวใจวาย

หากเกิดอาการรุนแรงและได้รับการรักษาไม่ทันผู้ป่วยอาจมีโลหิตจางมากจนทำให้เกิดภาวะหัวใจวาย

### 2.6.2 ภาวะไตวายเฉียบพลัน

หากมีสารฮีโมโกลบินที่เกิดจากเม็ดเลือดแดงแตกไปค้างอยู่ในท่อไตปริมาณมากในสภาวะปัสสาวะเป็นกรด สารนี้จะตกตะกอนอุดกั้นทางเดินปัสสาวะ ท่อไตทำให้เกิดภาวะไตวายเฉียบพลัน

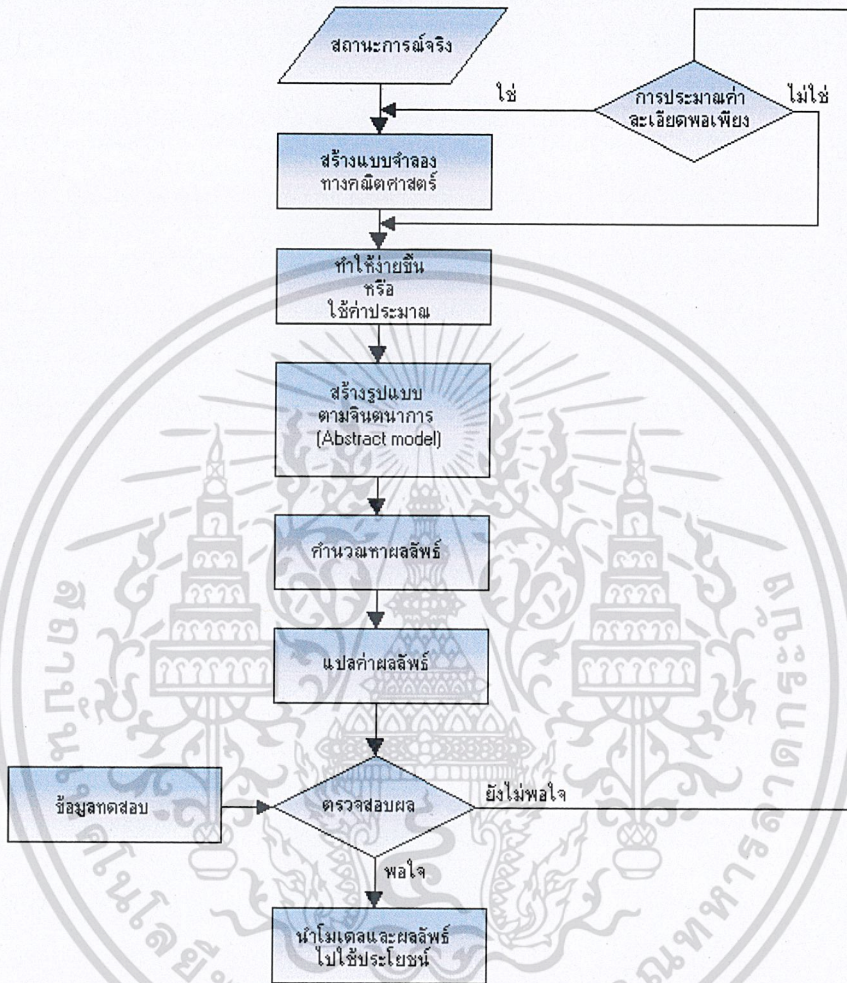
### 2.6.3 ภาวะหัวใจหยุดเต้น

การแตกของเม็ดเลือดแดงทำให้สารโพแทสเซียมซึ่งอยู่ในเม็ดเลือดแดงเข้าไปอยู่ในกระแสเลือดมาก ซึ่งเมื่อสารนี้สูงมากเกินไปอาจทำให้เกิดภาวะหัวใจหยุดเต้น

## 2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) คือ การสร้างหรือการออกแบบ เพื่อที่จะศึกษาปัญหาที่เราสนใจในระบบหรือปรากฏการณ์ใดๆ ซึ่งการสร้างหรือการออกแบบจะ ประกอบด้วย การจำลองปัญหา สัญลักษณ์ กราฟต่างๆ และสิ่งที่ได้จากผลการทดลอง

กระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 รูปแสดงกระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

(ที่มา:[https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge\\_math/cr\\_model\\_math.htm](https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge_math/cr_model_math.htm))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling) เป็นการแปลงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ วิจัย และการดำเนินงานในภายหลัง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ และคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อปัญหาที่ต้องการแก้ไข

### หลักการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์นี้รวมถึงการสร้างแบบจำลองของระบบขึ้นมาจริงและกระทำการสร้างแล้วทดลองซ้ำหลายๆครั้งแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. **นิยามปัญหา (Problem Definition)** เป็นขั้นตอนที่ผู้ตัดสินใจจะต้องตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นและจัดแบ่งให้เป็นหมู่ นอกจากนี้ต้องมีการกำหนดขอบเขตของระบบ รวมทั้งจะต้องปรับให้รูปการของปัญหามีความชัดเจนและเข้าใจง่ายขึ้น

2. **สร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model Construction)** ขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดค่าตัวแปรและความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น รวมถึงการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในขั้นตอนต่อไป มักนำ Flowchart มาใช้เพื่ออธิบายกระบวนการ จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมตาม Flowchart ที่สร้างขึ้น

3. **คำนวณหาผลลัพธ์ (Calculated result)** นำมาหาผลลัพธ์

4. **ทดสอบและตรวจสอบความถูกต้อง (Model Testing and Validation)** เนื่องจากแบบจำลองสถานการณ์ จะต้องถูกนำไปศึกษาแทนเหตุการณ์จริง ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จะต้องทดสอบและค้นหาสิ่งผิดพลาดทั้งหมด เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะสามารถนำไปใช้แทนเหตุการณ์จริงได้อย่างสมบูรณ์

5. **ออกแบบสถานการณ์เพื่อการทดลอง (Experimental Design)** หลังจากที่แบบจำลองได้รับการพิสูจน์จากขั้นตอนที่แล้ว จากนั้น จะเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการจำลองสถานการณ์ขึ้น 3 กรณี ได้แก่ กรณี Best-case กรณี Worst-case และกรณี Median-case ซึ่งการทำเช่นนี้จะช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ได้ และยังช่วยในการแก้ไขจุดพร่องในแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างเสร็จแล้วด้วย

6. **การควบคุมการทดลอง (Experimental Conduction)** ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองใส่ค่าตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลอง เพื่อแสดงสถานการณ์ต่างๆ ตามตัวแปรที่ทดลองเปลี่ยนไปแล้ว นำเสนอผลลัพธ์ออกมาให้เห็น

7. **การประเมินผลลัพธ์จากการทดลอง (Result Evaluation)** จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งหากเป็นที่น่าพอใจก็จะนำไปใช้ในการแก้ปัญหานั้นที่ แต่ถ้าไม่พอใจ อาจเลือกย้อนกลับไปในขั้นตอนที่ 5 หรืออาจย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2 เพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ใหม่อีกครั้ง

8. **การนำไปใช้แก้ปัญหาจริง (Implementation)** นำแบบจำลองมาทดลองใช้กับโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 ความสัมพันธ์เวียนเกิด

ความสัมพันธ์เวียนเกิดนี้เป็นแนวทางหนึ่งในการหาคำตอบของปัญหาการนับ โดยขั้นตอนในการหาผลเฉลยคือ สร้างความสัมพันธ์เวียนเกิดนั้นจากนั้นจึงหาผลเฉลยของรูปแบบปิด

นิยาม ให้  $m \in \mathbb{N}$   $c_1, c_2, \dots, c_m \in \mathbb{R}$  โดยที่  $c_m \neq 0$  และ  $f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}$  เป็นฟังก์ชันแล้ว ความสัมพันธ์เวียนเกิดในรูปแบบ  $a_n = c_1 a_{n-1} + c_2 a_{n-2} + \dots + c_m a_{n-m} + f(n)$  เรียกว่าความสัมพันธ์เวียนเกิดแบบเชิงเส้น (Linear Recurrence Relation) อันดับ  $m$  ที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว และในกรณีที่  $f(n) = 0$  เรียกว่า ความสัมพันธ์เวียนเกิดแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Recurrence Relation)

## 2.9 การสร้างแบบจำลองการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

สมมติว่า มียีน 2 อัลลีล นิยามเป็น  $a$  และ  $A$  และยีนทั้ง 2 ของอัลลีลจะส่งต่อไปยังประชากรในรุ่น ถัดไป เมื่อนำมาจับคู่กันจะได้ลักษณะ  $AA$ ,  $aa$  หรือ  $aA$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $Aa$

ในปี ค.ศ. 1908 หลังจากที่มีการรื้อฟื้นกฎเกณฑ์การถ่ายทอดพันธุกรรมของเมนเดลไม่นาน นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อว่า จี.เอช.ฮาร์ดี (G.H. Hardy) และนายแพทย์ชาวเยอรมัน ชื่อ ดับเบิลยูไวน์ เบิร์ก (W. Weinberg) ได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่อัลลีลกับค่าความถี่ ความจริงแล้ว ความสัมพันธ์นี้ ดับเบิลยู แคสเทิล (W. Castle) นักพันธุศาสตร์ชาวอเมริกัน ได้ค้นพบมาก่อนแล้ว

ในปี ค.ศ. 1903 แต่ในปัจจุบันความสัมพันธ์นี้รู้จักกันในชื่อ กฎฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (The Hardy – Weinberg principle) ที่กว่า ในประชากรที่ปราศจากกระบวนการที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้แก่การกลายพันธุ์ (mutation) การอพยพ (migration) การผกผันทางพันธุกรรม (genetic drift) และการคัดเลือก (selection) ค่าความถี่ของ อัลลีลจะยังคงเหมือนเดิม ไม่ว่าจะถ่ายทอดไปที่รุ่นก็ตาม กฎฮาร์ดี – ไวน์เบิร์ก ถ้าประชากรมีระบบการผสมพันธุ์แบบสุ่ม ค่าความถี่ของจีโนไทป์จะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของอัลลีลด้วยสูตร และค่าความถี่จีโนไทป์ที่สมดุล (equilibrium) ของยีนที่อยู่บนออโตโซม จะเกิดขึ้นเมื่อมีการผสมพันธุ์แบบสุ่ม 1 รุ่น ถ้าความถี่ของ อัลลีลเริ่มต้นในเพศทั้งสองมีค่าเท่ากัน

$$p = \text{สัดส่วนของประชากร } A = \frac{\text{จำนวนทั้งหมดของอัลลีล } A}{2N}$$

$$q = \text{สัดส่วนของประชากร } a = \frac{\text{จำนวนทั้งหมดของอัลลีล } a}{2N}$$

เมื่อ  $p+q=1$  และ  $N$  = ขนาดของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมมติฐานดังนี้

1. จับคู่ยีนด้วยวิธีการสุ่ม
2. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงยีนของรุ่นลูกหลานในบิดามารดาที่มียีนลักษณะต่างกัน
3. ยีนรุ่นลูกหลานมีค่าเท่ากัน มีโอกาสสอยูรอดเท่ากัน
4. ไม่มีการกลายพันธุ์

กำหนดให้สัดส่วนของลักษณะของยีนเป็น  $AA$  ,  $aA$  และ  $aA$  ของประชากร

โดยกำหนดให้

$$u = \text{สัดส่วนของ } AA$$

$$v = \text{สัดส่วนของ } aA$$

$$w = \text{สัดส่วนของ } aa$$

แล้ว  $u+v+w=1$  ซึ่ง  $aA$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $Aa$  แสดงว่า

$$p = u + \frac{1}{2}v$$

$$q = \frac{1}{2}v + w$$

ขั้นตอนต่อไปคือคำนวณค่าความน่าจะเป็นของลักษณะเหมือนกันจับคู่กัน

ตารางที่ 2.1 ตารางการจับคู่

ลักษณะทางพันธุกรรม			บิดา		
			$AA$	$aA$	$aa$
มารดา			สัดส่วนของยีน		
			$u$	$v$	$w$
	$AA$	$u$	$u^2$	$uv$	$uw$
	$aA$	$v$	$vu$	$v^2$	$vw$
	$aa$	$w$	$wu$	$wv$	$w^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางของรุ่นบุตร

ลักษณะทางพันธุกรรม		สัดส่วนของยีนในรุ่นลูก		
		สัดส่วนของยีน	AA	Aa
AA × AA	$u^2$	$u^2$	0	0
AA × Aa	$2uv$	$uv$	$uv$	0
AA × aa	$2uw$	0	$2uw$	0
Aa × Aa	$v^2$	$\frac{1}{4}v^2$	$\frac{1}{2}v^2$	$\frac{1}{4}v^2$
Aa × aa	$2vw$	0	$vw$	$vw$
aa × aa	$w^2$	0	0	$w^2$
รวม		$u^2 + uv + \frac{1}{4}v^2$	$uv + 2uw + \frac{1}{2}v^2 + vw$	$\frac{1}{4}v^2 + vw + w^2$

การนับผลรวมสัดส่วนของรุ่นบุตรแต่ละแบบของยีน จะได้ค่าสำหรับ  $u, v$  และ  $w$  เพื่อคิดต่อในรุ่นถัดไป ซึ่งแทนโดย  $u_{n+1}, v_{n+1}$  และ  $w_{n+1}$  สามารถแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนในบุตรรุ่นที่  $n$  ด้วย

สมการดังนี้

$$u_{n+1} = u_n^2 + u_n v_n + \frac{1}{4} v_n^2$$

$$v_{n+1} = u_n v_n + 2u_n w_n + \frac{1}{2} v_n^2 + v_n w_n$$

$$w_{n+1} = \frac{1}{4} v_n^2 + v_n w_n + w_n^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

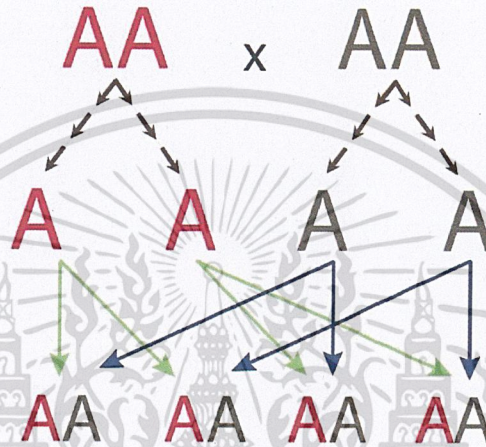
แผนภาพแสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตร

กำหนดให้  $A$  แทน ยีนเด่นของพันธุกรรม

$a$  แทน ยีนด้อยของพันธุกรรม

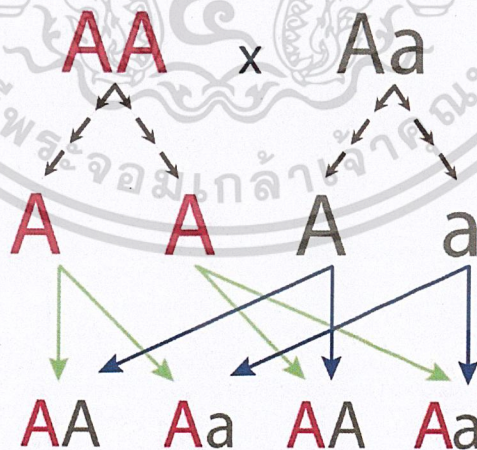
ดังนั้น เมื่อนำมาจับคู่กันจะได้ว่า  $AA$ ,  $Aa$  หรือ  $aA$  จะแสดงยีนเด่น และ  $aa$  จะแสดงยีนด้อย  
จับคู่จะได้กรณี ดังนี้

กรณี 1 :  $AA \times AA$



รูปที่ 2.3 : แสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตรของ  $AA \times AA$

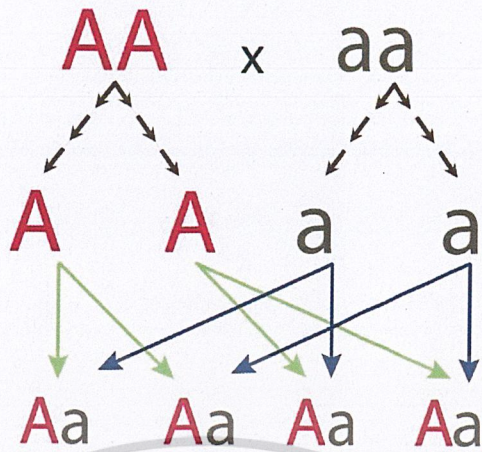
กรณี 2 :  $AA \times Aa$



รูปที่ 2.4 : แสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตรของ  $AA \times Aa$

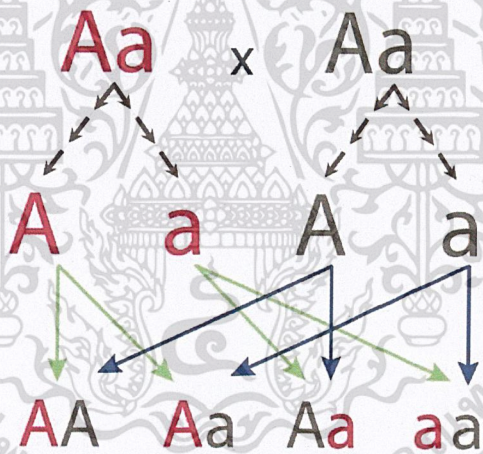
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 3 :  $AA \times aa$



รูปที่ 2.5: แสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตรของ  $AA \times aa$

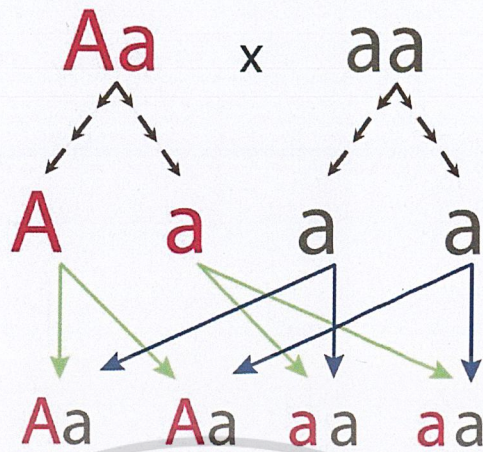
กรณี 4 :  $Aa \times Aa$



รูปที่ 2.6 : แสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตรของ  $Aa \times Aa$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี 5 :  $Aa \times aa$



รูปที่ 2.7 : แสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตรของ  $Aa \times aa$

กรณี 6 :  $aa \times aa$



รูปที่ 2.8: แสดงการถ่ายทอดพันธุกรรมของรุ่นบุตรของ  $aa \times aa$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาภากร กาญจนวิทยากุล และ ชาลิสสา หลุยเจริญ ชีพสุนทร (2012) ได้ศึกษาความชุกของภาวะพร่องเอนไซม์ กลูโคส 6-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส และความหลากหลายทางพันธุกรรมของยีน G6PD ในชาวกะเหรี่ยงด้วยวิธีเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์จากการศึกษาการกลายพันธุ์ของยีน G6PD ในชาวกะเหรี่ยงกลุ่มปากะญอ พบการกลายพันธุ์ของยีน G6PD ชนิด G6PD Mahidol มากที่สุด อีกทั้งยังพบ G6PD B haplotype 1311C, 93T มากที่สุด เช่นเดียวกับพม่าและมอญ (Nuchprayoon et al., 2008) จึงแสดงให้เห็นว่าชาวกะเหรี่ยงกลุ่มปากะญอน่าจะสืบเชื้อสายชาติพันธุ์ร่วมกับชาวพม่าและ มอญ โดยมี G6PD B haplotype 1311C, 93T เป็นอัลลีลบรรพบุรุษของประชากร

หนึ่งฤทัย นิลศรี (2013) ได้ศึกษาความชุกของภาวะพร่องเอนไซม์กลูโคส 6 ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส ของชนเผ่าที่อาศัยอยู่ในเขต ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จากการศึกษาความชุกของภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ในชนเผ่าม้ง ลื้อ เย้า และ มลาบรี ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยด้วยวิธีเชิงคุณภาพวิเคราะห์ พบ ภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ร้อยละ 1.8 และพบผู้ที่พร่อง เอนไซม์บางส่วน (partial deficiency) ร้อยละ 3.0 ซึ่งผลที่ได้ ไม่สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบภาวะพร่อง เอนไซม์ G6PD ในประชากรเขตภาคเหนือที่สูงถึงประมาณร้อยละ 8-15อาจเป็นเพราะการศึกษาครั้งนี้มีจำนวนตัวอย่างที่ค่อนข้างน้อยประชากรกลุ่มนี้แยกตัวออกจาก ประชากรภายนอกและมีการแต่งงานระหว่างสายเลือดที่ใกล้ ชิดกัน ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของ ประชากร คือทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมภายในประชากรลดลง

อิศรางค์ นุชประยูร (2013) ได้ศึกษาภาวะพร่องเอนไซม์G6PD ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จากการศึกษาพบว่าภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD และภาวะกรรมพันธุ์แฝงอื่น ๆ ที่พบบ่อยในประชากรแถบนี้ เช่น ธาลัสซีเมียแฝง จึงเป็นพันธุ์ดีที่เราควรภาคภูมิใจ ว่าช่วยให้บรรพบุรุษของเราอยู่รอดได้จนถึงปัจจุบัน แต่เนื่องจากเรา มียามาเลเรียที่มีประสิทธิภาพแล้ว เราจึงมองไม่เห็นประโยชน์ของพันธุกรรมแฝงเห็น เราจึงนำเสนอความจริงข้อนี้ให้แก่ประชาชนเพื่อให้มีทัศนคติต่อเชิงบวกโรคเลือดกรรมพันธุ์ที่พบบ่อย คลายกังวลและความรู้สึกผิดที่อาจเกิดขึ้น และช่วยกันดูแลผู้ป่วยอย่างดีที่สุด

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 แบบจำลองสำหรับโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

##### 3.1.1 สัดส่วนในการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

ในปัญหาพิเศษนี้ แบ่งประชากรออกเป็นกลุ่มดังนี้

1. ประชากรที่ไม่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
2. ประชากรที่เป็นพาหะโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
3. ประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

กำหนดให้

$XY$	แทน	ชายปกติ
$XX$	แทน	หญิงปกติ
$X^hX$	แทน	หญิงเป็นพาหะ
$X^hY$	แทน	ชายเป็นโรค
$X^hX^h$	แทน	หญิงเป็นโรค

และ สัดส่วนของจีโนไทป์แทนได้ดังนี้

$a$	แทน	สัดส่วนของ $XY$
$b$	แทน	สัดส่วนของ $XX$
$c$	แทน	สัดส่วนของ $X^hX$
$d$	แทน	สัดส่วนของ $X^hY$
$e$	แทน	สัดส่วนของ $X^hX^h$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงลักษณะทางพันธุกรรม

ลักษณะทางพันธุกรรม			บิดา	
			$XY$	$X^hY$
สัดส่วนของยีน			$a$	$d$
			มารดา	$XX$
$X^hX$	$c$	$ac$		$dc$
$X^hX^h$	$e$	$ae$		$de$

แผนภาพแสดงสัดส่วนของกาถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

กำหนดให้รุ่นพ่อแม่มีสัญลักษณ์ดังนี้



แทน ชายปกติ



แทน หญิงปกติ



แทน ชายเป็นโรค



แทน หญิงเป็นพาหะ



แทน หญิงเป็นโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้รุ่นลูกมีสัญลักษณ์ดังนี้



แทน ชายปกติ



แทน หญิงปกติ



แทน ชายเป็นโรค



แทน หญิงเป็นพาหะ



แทน หญิงเป็นโรค

โดยพิจารณาเป็นกรณีดังนี้

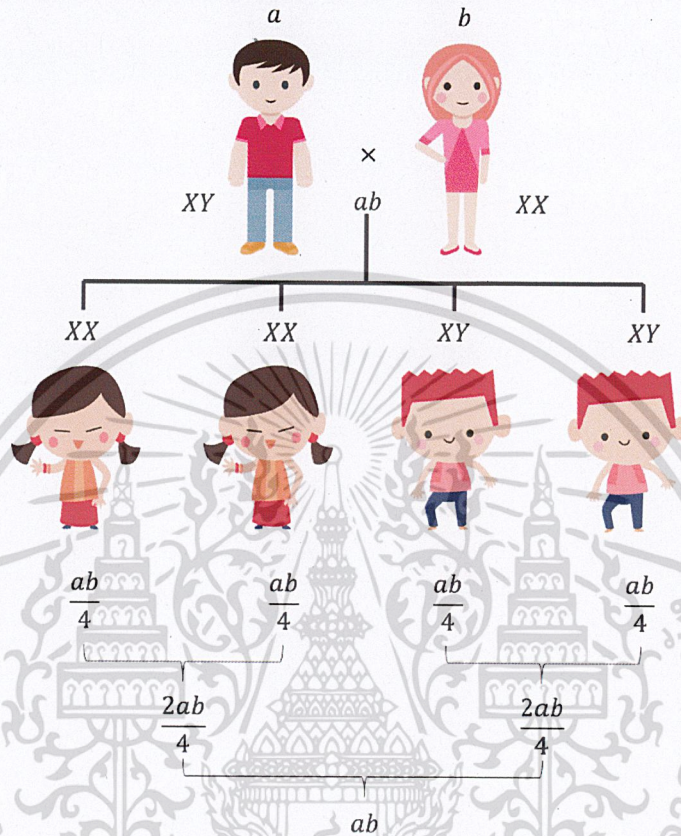
1. กรณีบิดาและมารดาปกติทั้งคู่
2. กรณีที่บิดาปกติและมารดาเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
3. กรณีที่บิดาปกติและมารดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
4. กรณีบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และมารดาปกติ
5. กรณีบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD มารดาเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD
6. กรณีบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PDและมารดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาเขียนแผนภาพได้ดังนี้

1. กรณีบิดาและมารดาปกติทั้งคู่

สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนของบิดาเป็น  $a$  และยีนของมารดาเป็น  $b$   
 ดังนั้น จับคู่ของยีนได้เป็น  $ab$



รูปที่ 3.1 แสดงการจับคู่จีโนไทป์ของบิดาและมารดา เมื่อบิดาและมารดาปกติทั้งคู่

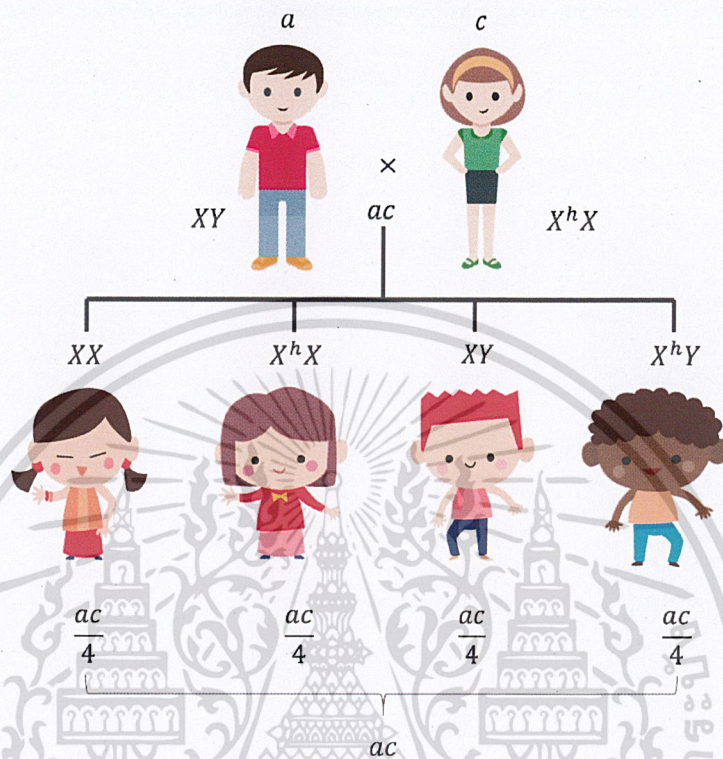
จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 100% บุตรสาวปกติ 100%

ดังนั้น กรณีนี้ไม่มีบุตรที่ป่วยเป็นโรค GP6PD และ ไม่มีบุตรที่เป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรณีที่บิดาปกติและมารดาเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนของบิดาเป็น  $a$  และยีนของมารดาเป็น  $c$   
 ดังนั้น จับคู่ของยีนได้เป็น  $ac$



รูปที่ 3.2 แสดงการจับคู่จีโนไทป์ของบิดาและมารดา  
 เมื่อบิดาปกติและมารดาเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

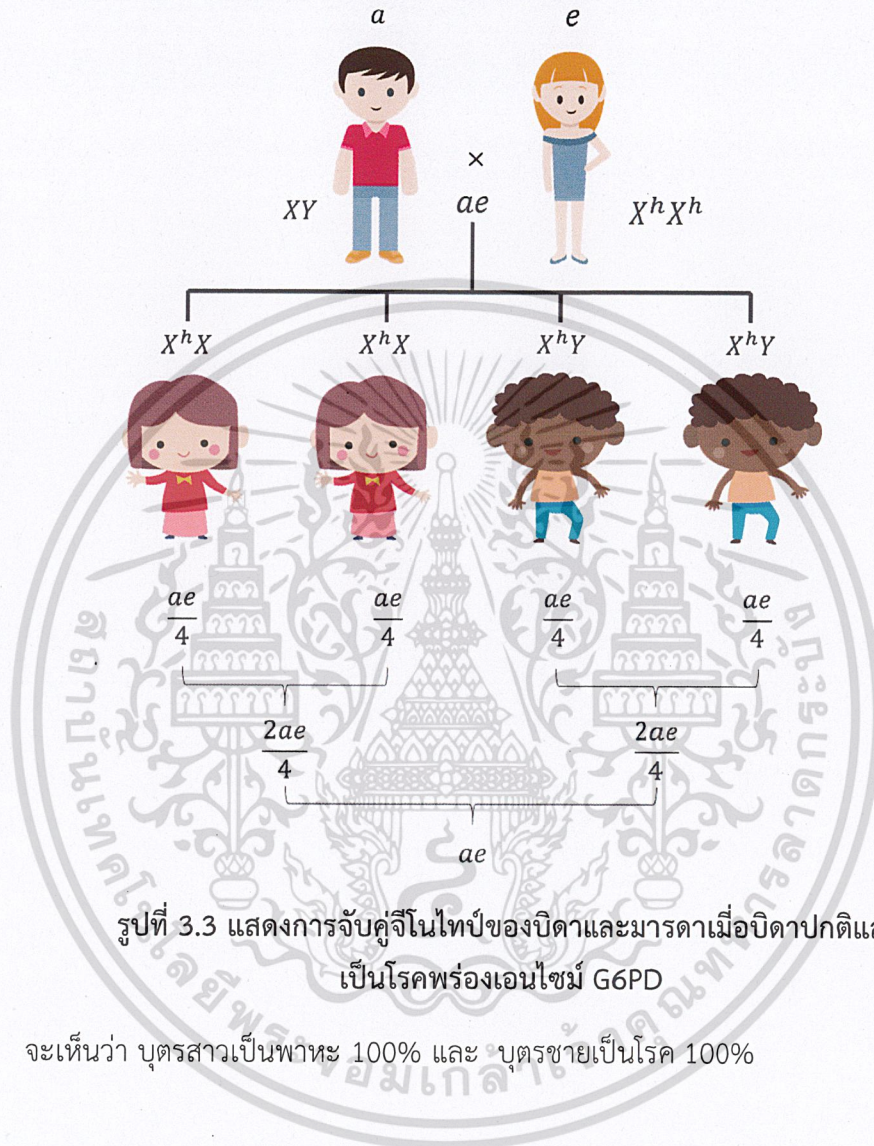
จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 50% บุตรชายเป็นโรค 50% บุตรสาวปกติ 50% และ  
 บุตรสาวเป็นพาหะ 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. กรณีที่บิดาปกติและมารดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนของบิดาเป็น  $a$  และยีนของมารดาเป็น  $e$

ดังนั้น จับคู่ของยีนได้เป็น  $ae$



รูปที่ 3.3 แสดงการจับคู่จีโนไทป์ของบิดาและมารดาเมื่อบิดาปกติและมารดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

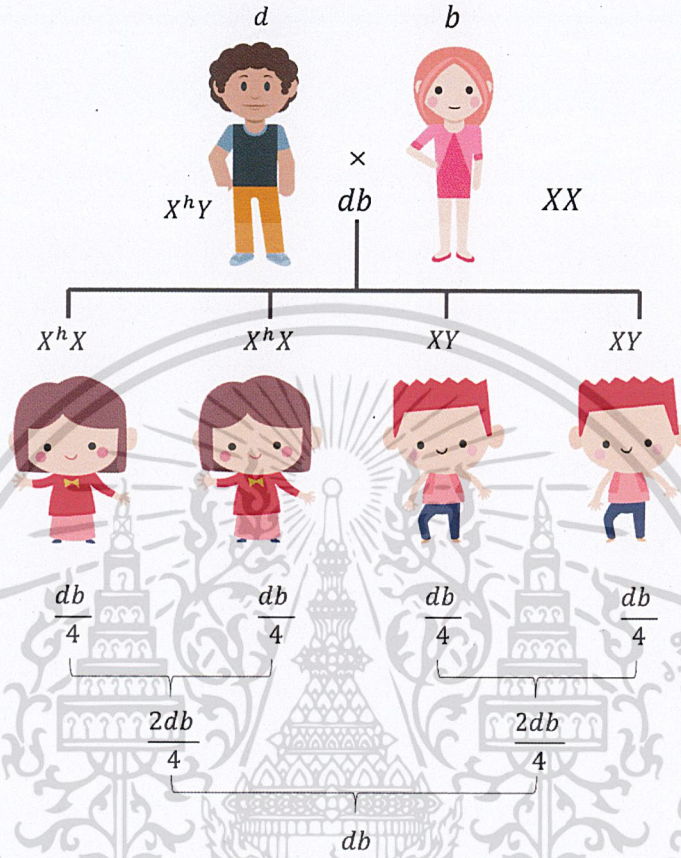
จะเห็นว่า บุตรสาวเป็นพาหะ 100% และ บุตรชายเป็นโรค 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กรณีบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และมารดาปกติ

สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนของบิดาเป็น  $d$  และยีนของมารดาเป็น  $b$

ดังนั้น จับคู่ของยีนได้เป็น  $db$



รูปที่ 3.4 แสดงการจับคู่จีโนไทป์ของบิดาและมารดาเมื่อบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์G6PD และมารดาปกติ

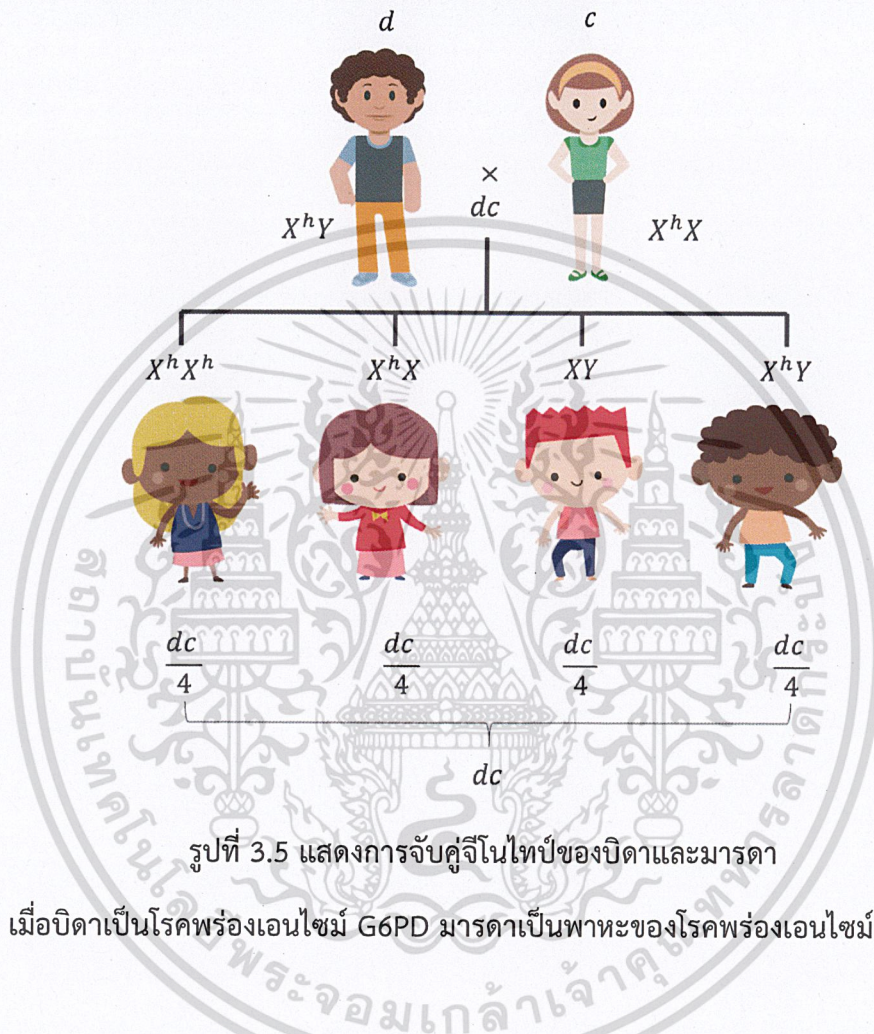
จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 100% และ บุตรสาวเป็นพาหะ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กรณีบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD มารดาเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนของบิดาเป็น  $d$  และยีนของมารดาเป็น  $c$

ดังนั้น จับคู่ของยีนได้เป็น  $dc$



รูปที่ 3.5 แสดงการจับคู่จีโนไทป์ของบิดาและมารดา

เมื่อบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD มารดาเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

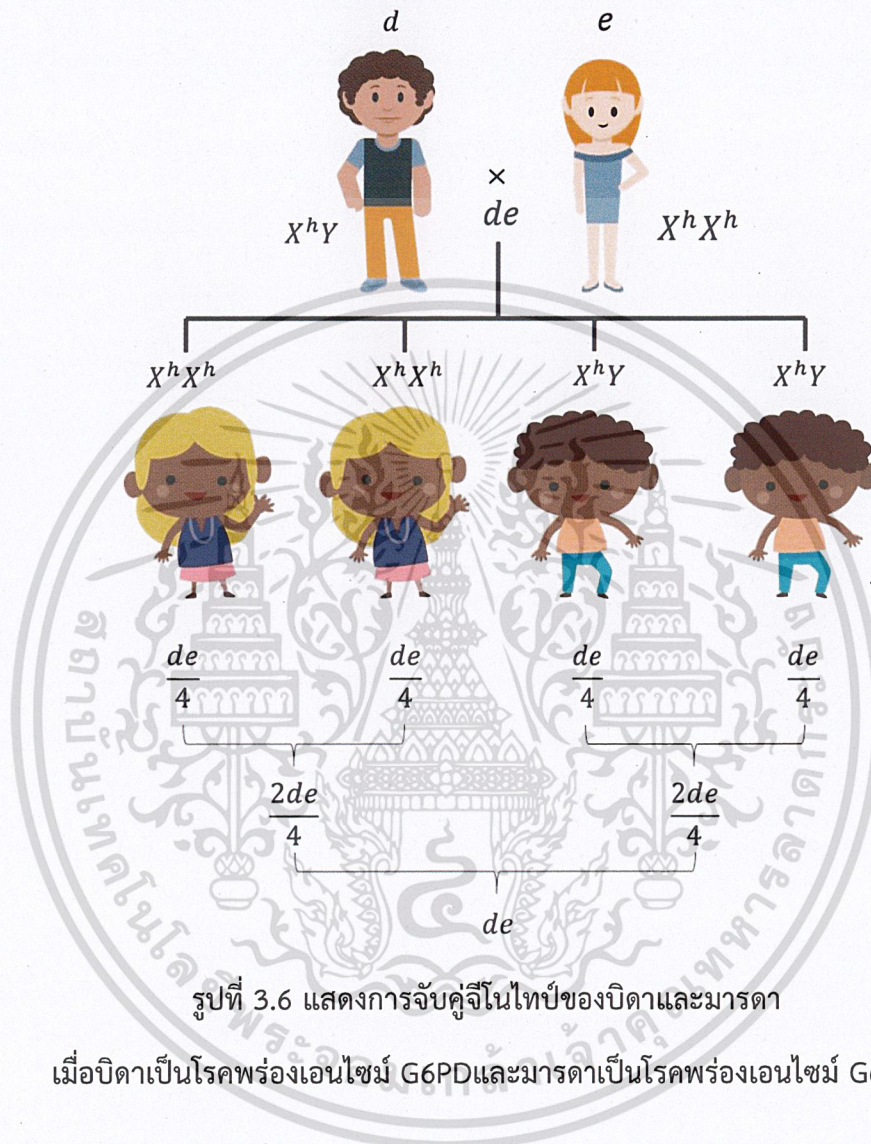
จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 50% บุตรชายเป็นโรค 50% บุตรสาวเป็นพาหะ 50% และ บุตรสาวเป็นโรค 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กรณีบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และมารดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

สำหรับกรณีนี้ ให้ ยีนของบิดาเป็น  $d$  และยีนของมารดาเป็น  $e$

ดังนั้น จับคู่ของยีนได้เป็น  $de$



รูปที่ 3.6 แสดงการจับคู่จีโนไทป์ของบิดาและมารดา

เมื่อบิดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และมารดาเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

จะเห็นว่า บุตรสาวเป็นโรค 100% และ บุตรชายเป็นโรค 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ของบิดาและมารดา สามารถหาลักษณะทางพันธุกรรมของรุ่นบุตรได้ดังตารางนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลักษณะทางพันธุกรรมของบุตร

ชนิดยีนของบิดา และมารดา		สัดส่วนของลักษณะยีนรุ่นบุตร				
		XY	XX	X <sup>h</sup> X	X <sup>h</sup> Y	X <sup>h</sup> X <sup>h</sup>
		a	b	c	d	e
XY × XX	ab	$\frac{1}{2}ab$	$\frac{1}{2}ab$	0	0	0
XY × X <sup>h</sup> X	ac	$\frac{1}{4}ac$	$\frac{1}{4}ac$	$\frac{1}{4}ac$	$\frac{1}{4}ac$	0
XY × X <sup>h</sup> X <sup>h</sup>	ae	0	0	$\frac{1}{2}ae$	$\frac{1}{2}ae$	0
X <sup>h</sup> Y × XX	db	$\frac{1}{2}db$	0	$\frac{1}{2}db$	0	0
X <sup>h</sup> Y × X <sup>h</sup> X	dc	$\frac{1}{4}dc$	0	$\frac{1}{4}dc$	$\frac{1}{4}dc$	$\frac{1}{4}dc$
X <sup>h</sup> Y × X <sup>h</sup> X <sup>h</sup>	de	0	0	0	$\frac{1}{2}de$	$\frac{1}{2}de$
รวม		$\frac{1}{2}ab + \frac{1}{4}ac + \frac{1}{2}db + \frac{1}{4}dc$	$\frac{1}{2}ab + \frac{1}{4}ac$	$\frac{1}{4}ac + \frac{1}{2}ae + \frac{1}{2}db + \frac{1}{4}dc$	$\frac{1}{4}ac + \frac{1}{2}ae + \frac{1}{4}dc + \frac{1}{2}de$	$\frac{1}{4}dc + \frac{1}{2}de$

จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$b_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n$$

$$c_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$d_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

$$e_{n+1} = \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

โดยที่  $n$  แทนประชากรรุ่นที่  $n$  และ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

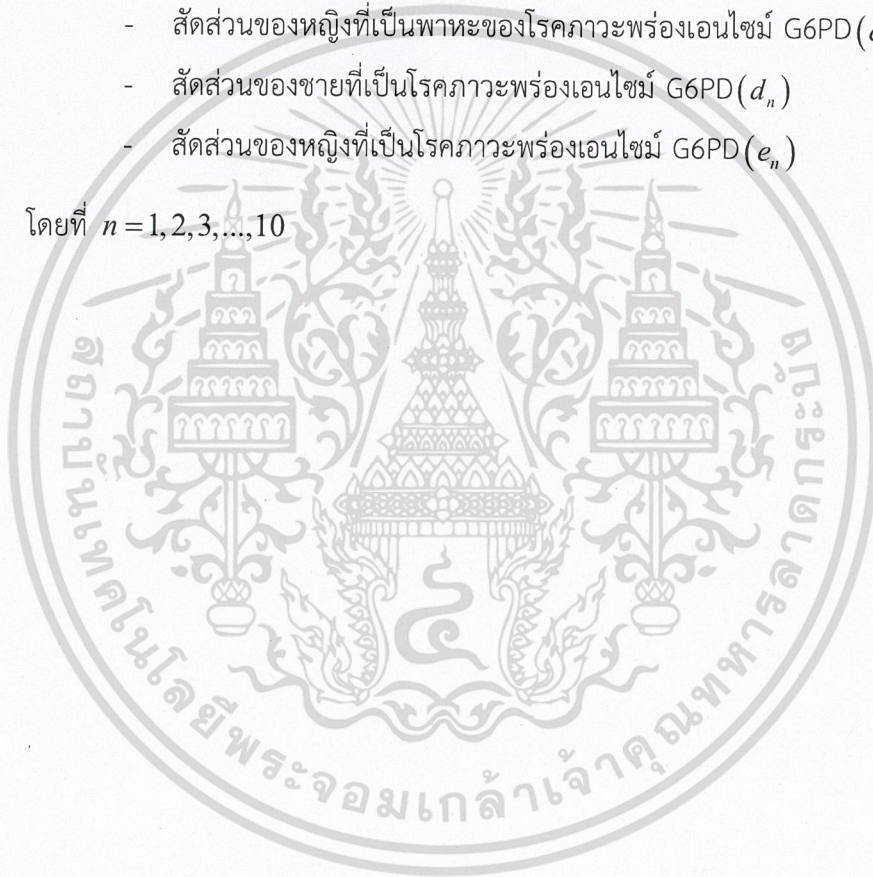
### การวิเคราะห์แบบจำลอง

#### 4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

สัดส่วนในการเกิดการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD จะรับค่า  
ดังนี้

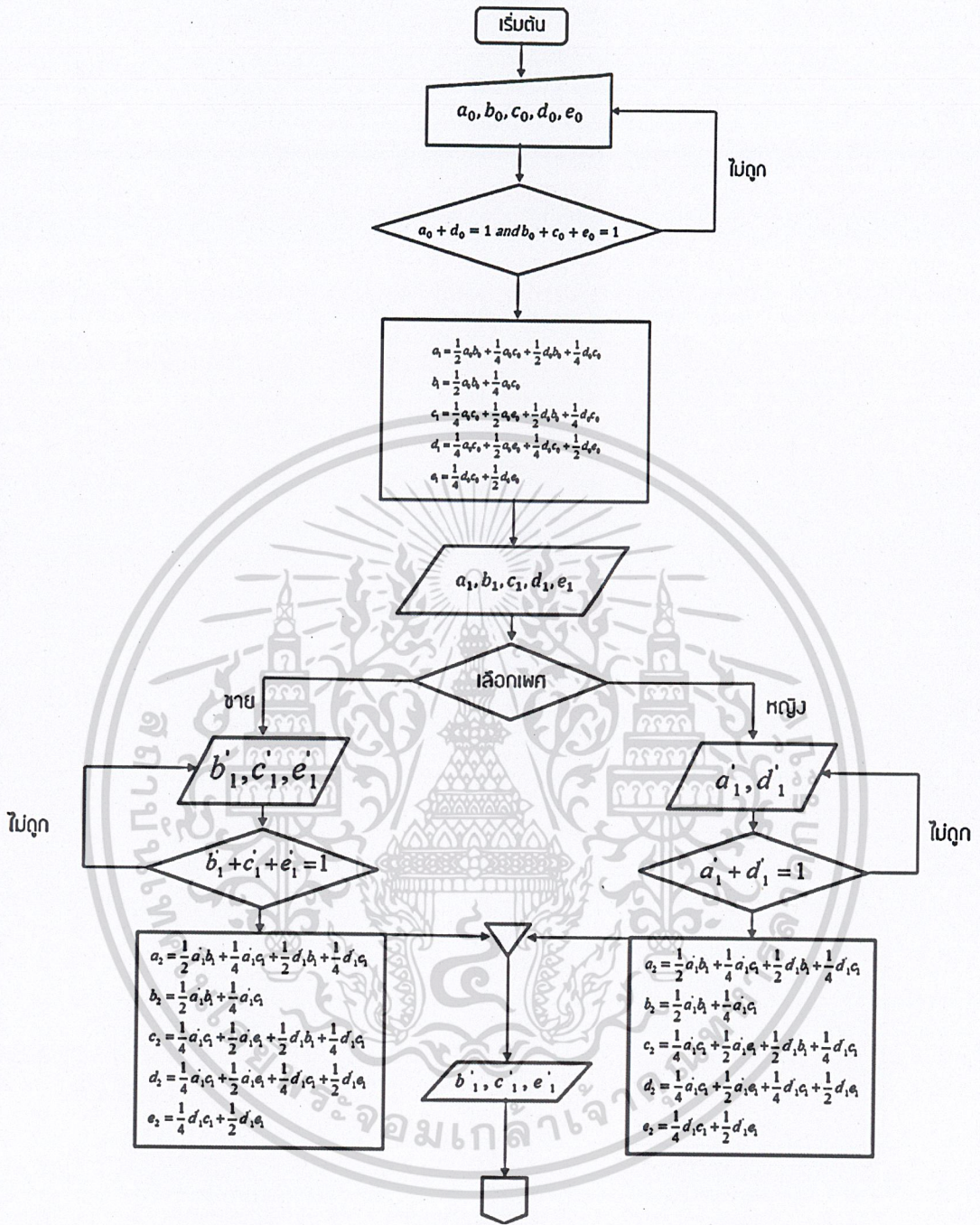
- สัดส่วนของชายที่เป็นปกติ ( $a_n$ )
- สัดส่วนของหญิงที่เป็นปกติ ( $b_n$ )
- สัดส่วนของหญิงที่เป็นพาหะของโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $c_n$ )
- สัดส่วนของชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $d_n$ )
- สัดส่วนของหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $e_n$ )

โดยที่  $n = 1, 2, 3, \dots, 10$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

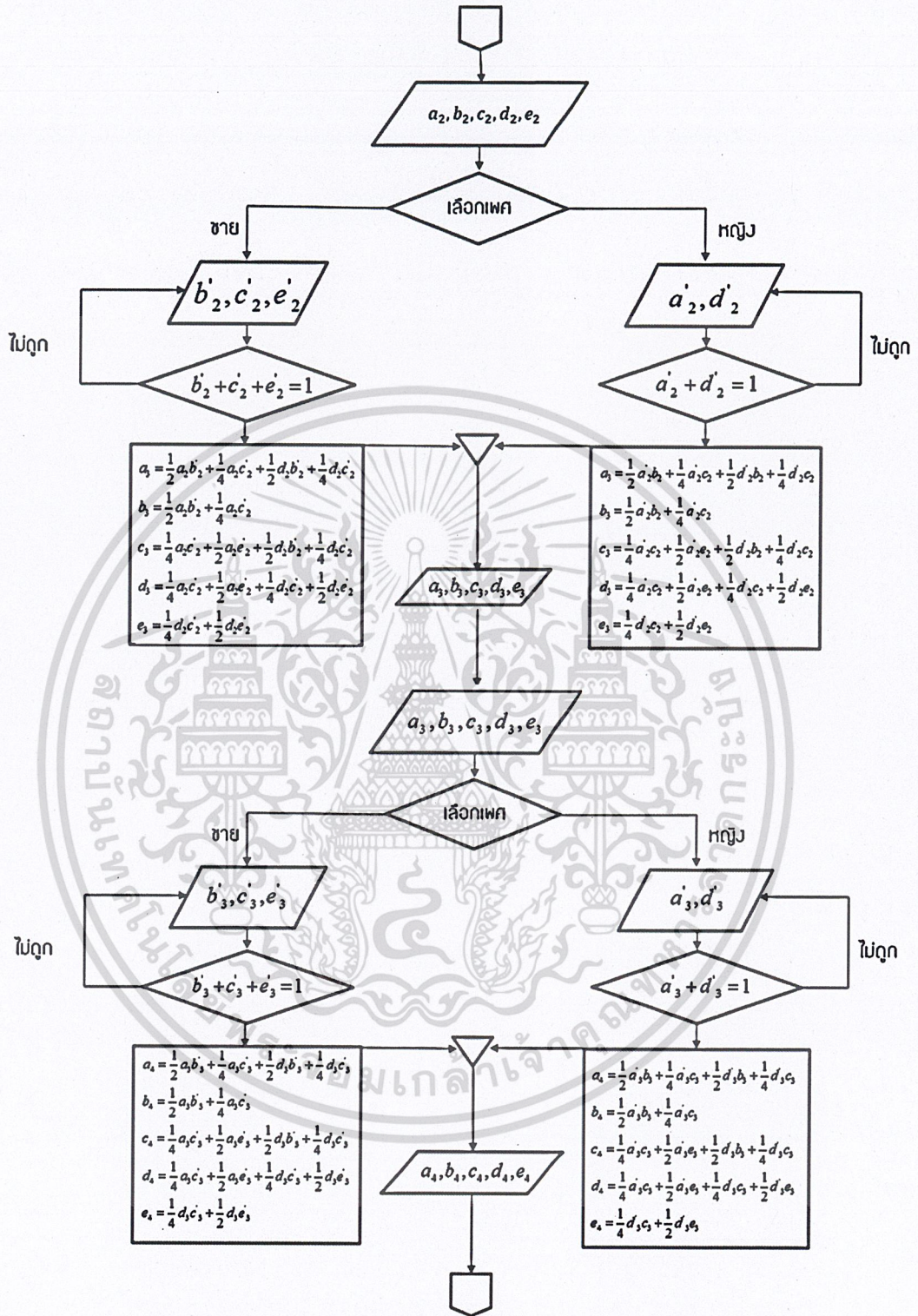
แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

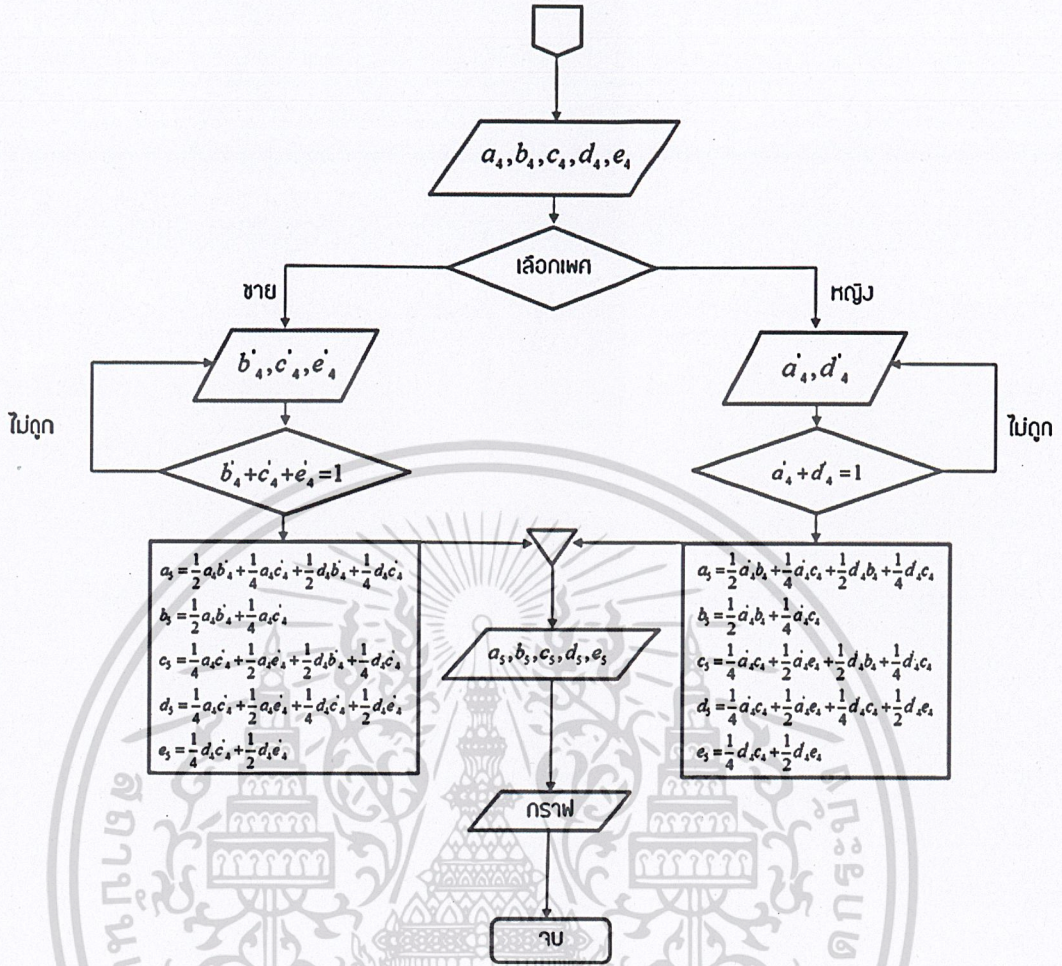
แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม(ต่อ)



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม(ต่อ)

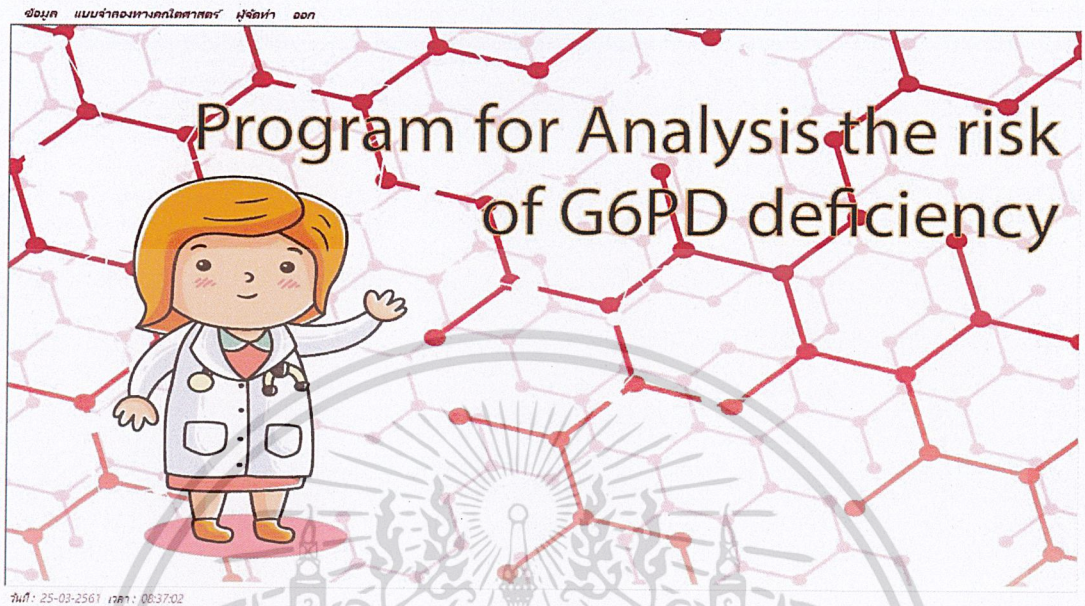


รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม(2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

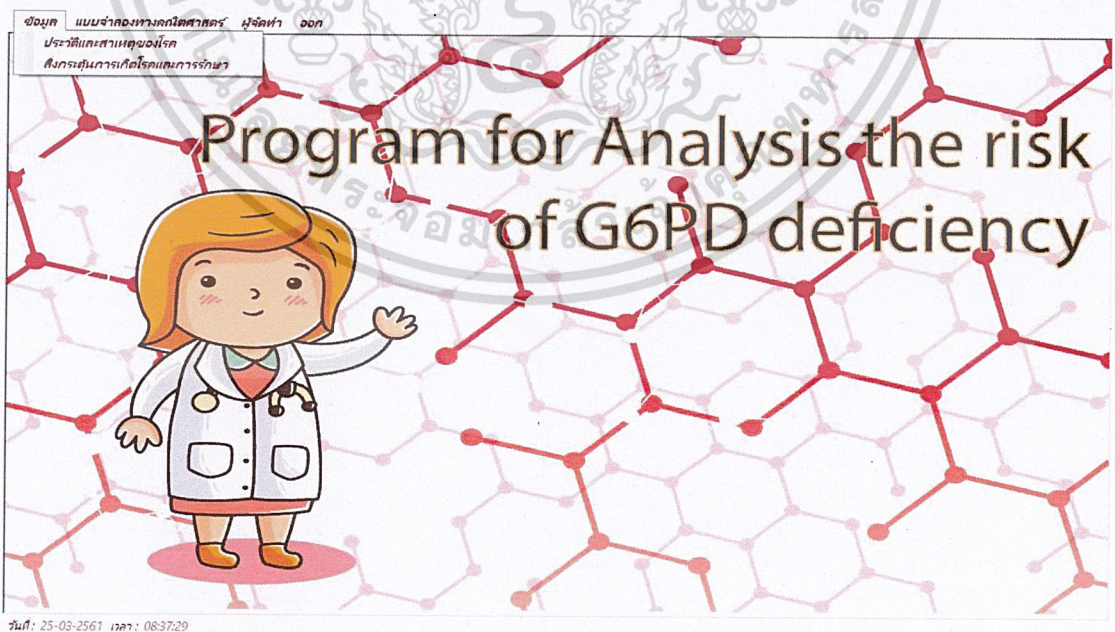
### 4.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม

เมื่อเข้าสู่หน้าจอหลักจะประกอบด้วยแถบข้อมูล แถบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ แถบออก



รูปที่ 4.4 หน้าต่างหน้าแรกของโปรแกรม

เมื่อกดแถบข้อมูล จะแสดงแถบความเป็นมาและสาเหตุของโรค และ สิ่งกระตุ้นการเกิดโรค และการรักษา และ ผู้จัดทำ



รูปที่ 4.5 หน้าต่างหน้าแรกของโปรแกรม (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เมื่อเลือกแถบความเป็นมาและสาเหตุของโรค จะแสดงข้อมูลดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ๑๑๓

**ประวัติของโรค**

การพบพว่องเอน ไซม์ G6PD ถูกค้นพบว่าเป็นเอนไซม์ของไตซึ่งถูกทำลายโดยโรคที่เกิดจากปรสิตในคน ใช้ปริมาณที่ได้รับรักษาด้วย โรคมาลาเรีย ด้วยยา 6-methoxy-8-aminoquinoline Cordes5 การเกิด hemolysis (การทำลายทางสรีรวิทยาของเซลล์เม็ดเลือด) เดิมพบได้ในผู้ป่วยดังกล่าวในปี พ.ศ. 2469

เนื่องจากภาวะการพว่องเอน ไซม์ G6PD ทำให้สภาวะของเม็ดเลือดแดงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของซึ่งมาลาเรีย จึงพบว่าการพว่องเอน ไซม์ G6PD เป็นพันธุกรรมแฝงที่สามารถช่วยรักษาโรค G6PD ได้ แต่เนื่องจากในปัจจุบันมียาที่รักษาโรค มาลาเรียที่มีประสิทธิภาพแล้วเราจึงมองไม่เห็นประโยชน์ของพันธุกรรมแฝงเหล่านี้

**สาเหตุ**


โรคที่มีการถ่ายทอดจากพันธุกรรม ที่พบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง ซึ่ง G6PD เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดแดงของร่างกายรวมทั้งเม็ดเลือดแดงในไขกระดูกด้วย ซึ่งเกิดในไขกระดูกด้วยของแดง โดยเฉพาะการทานยาบางชนิด หรือทานถั่วปากอ้า จะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกสลายซึ่งเป็นที่มาของชื่อโรคอีกอย่างหนึ่งว่า "โรคแพ้ถั่วปากอ้า"

**อาการ**

ในเด็กทารกจะพบว่ามีอาการดีซ่านที่ยาวนานผิดปกติ ส่วนใหญ่อยู่ในระยะที่บวม บัสสาจะมีสีดํา ถ่ายบัสสาจะน้อยจนองงนำไปสู่ภาวะ โลหิตจางโดยเฉียบพลันได้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้การควบคุมสมดุลของสารเกลือแร่ต่างๆในร่างกายเสียไป ด้วย โดยเฉพาะการเกิดภาวะ โทเทสซีซึมในเม็ดเลือด

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 08:51:21



รูปที่ 4.6 หน้าต่างแสดงหน้าความเป็นมาและสาเหตุของโรค

### เมื่อเลือกแถบสิ่งกระตุ้นการเกิดโรคและการรักษาจะแสดงข้อมูลดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ๑๑๓

**สิ่งกระตุ้น**


- 1.อาหาร: โดยเฉพาะ ถั่วปากอ้า
- 2.การติดเชื้อ: การติดเชื้อโรคต่างๆ จะทำให้มีเม็ดเลือดขาวหรือเม็ดเลือดขาวต่ำ
- 3.การเป็นโรคเบาหวาน: โดยเฉพาะเบาหวานที่หัวใจให้เกิดโรค
- 4.การได้รับยาต่างๆ ดังนี้
  - กลุ่มยาแก้ปวด คลื่นไส
  - กลุ่มยารักษาโรคมาลาเรีย
  - กลุ่มยารักษาโรคหัวใจ
  - กลุ่มยา Sulfonamides/Sulfones
  - กลุ่มยาปฏิชีวนะ
  - กลุ่มยาอื่นๆ เช่น ไรตามิน K

**การรักษา**

สิ่งสำคัญที่สุดในการรักษาผู้ป่วยภาวะพว่องเอน ไซม์ G6PD คือการป้องกันและหลีกเลี่ยงยาและอาหารที่ทำให้มีภาวะของเม็ดเลือดแดง การได้รับวัคซีนป้องกันโรคที่พบบ่อยบางชนิด เช่น วัณโรคและโรคหัด มีผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการดีขึ้นจากความคิดนี้ เนื่องจากมันเป็นแหล่งทำลายเม็ดเลือดแดงของร่างกาย

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

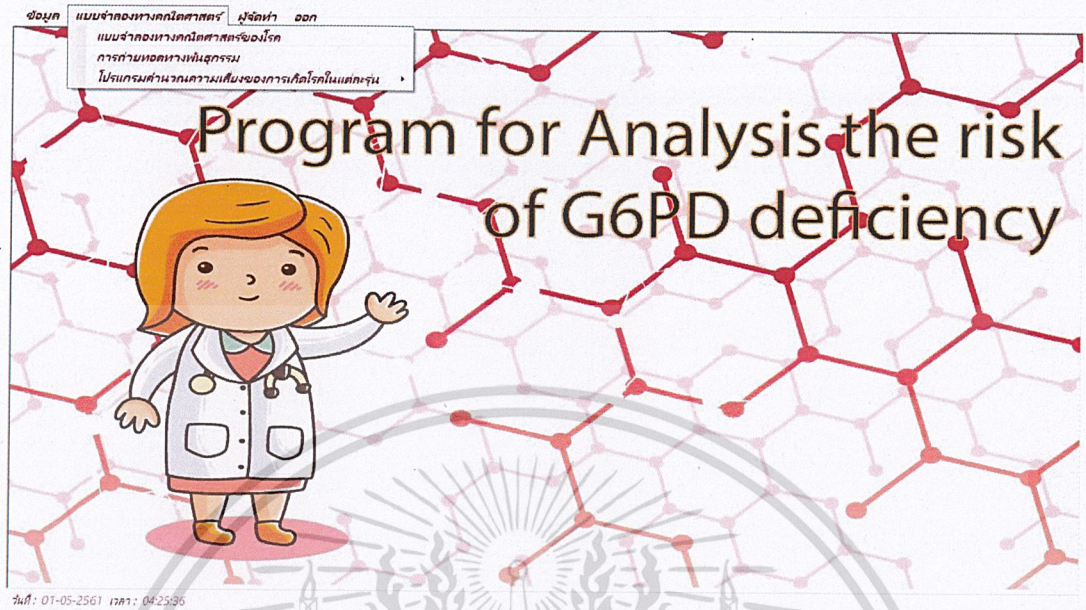
วันที่: 25-03-2561 เวลา: 08:51:33



รูปที่ 4.7 หน้าต่างแสดงหน้าสิ่งกระตุ้นการเกิดโรคและการรักษา

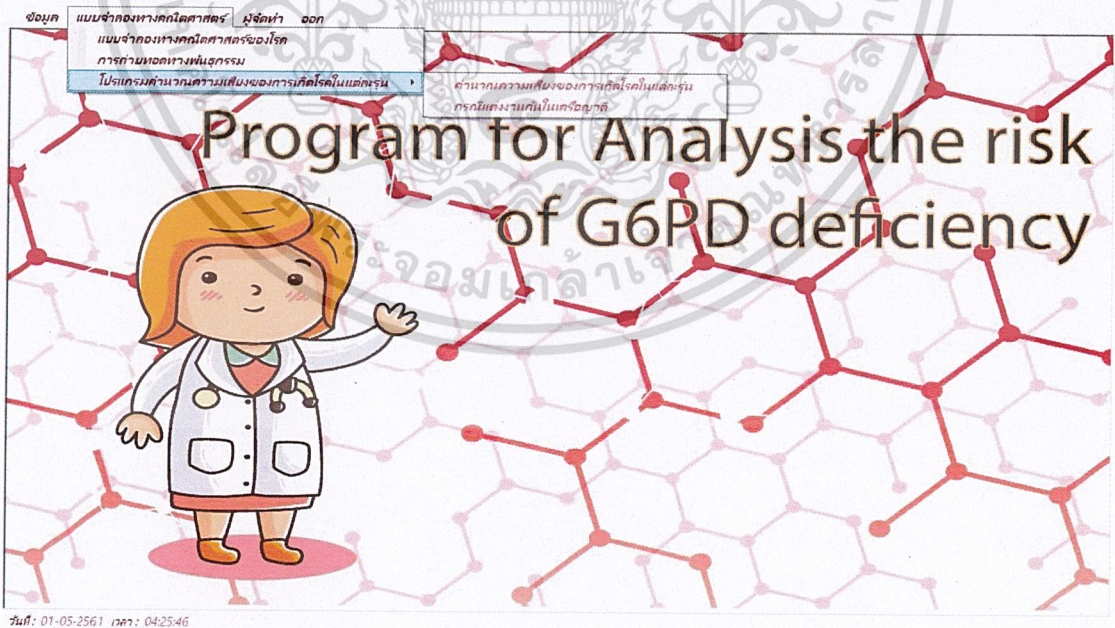
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะแสดง แบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรค  
และการถ่ายทอดทางพันธุกรรมและแถบโปรแกรมคำนวณสัดส่วนของการเกิดโรคในแต่ละรุ่น



รูปที่ 4.8 หน้าต่างหน้าแรกของโปรแกรม (2)

จากรูป 4.8 เมื่อเลือกแถบโปรแกรมแบบจำลองสัดส่วนของการเกิดโรคในแต่ละรุ่นจะแสดง  
แถบคำนวณสัดส่วนการเกิดโรคในแต่ละรุ่น และ แถบกรณีแต่งงานในเครือญาติ



รูปที่ 4.9 หน้าต่างหน้าแรกของโปรแกรม (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.8 เมื่อเลือกแถบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรค จะแสดงข้อมูลดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มุจฉา ดน

**เงื่อนไขการใช้งาน**  
กำหนดให้

- ๑ แถบ ชายปกติ
- ๒ แถบ หญิงปกติ
- ๓ แถบ หญิงที่เป็นพาหะ
- ๔ แถบ ชายที่เป็นโรค
- ๕ แถบ หญิงที่เป็นโรค

ค่า a b c d และ e ต้องมีค่ามากกว่า 0 แต่ไม่เกิน 1  
a+d=1 และ b+c+e=1

**แบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

$$a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$


$$b_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n$$

$$c_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$d_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

$$e_{n+1} = \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

โดยที่ n แทนรุ่นของประชากร n และ n = 0,1,2,...



Program for Analysis the risk of G6PD deficiency

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:26:18

รูปที่ 4.10 หน้าต่างแสดงหน้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรค



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.8 เมื่อเลือกแถบการถ่ายทอดทางพันธุกรรม จะแสดงข้อมูลดังนี้

ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้

- กำหนดลักษณะของรุ่นพ่อแม่
- กำหนดลักษณะของรุ่นลูก
- กรณี 1
- กรณี 2
- กรณี 3
- กรณี 4
- กรณี 5
- กรณี 6

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ อจก

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ | กำหนดลักษณะรุ่นลูก | กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

แทน พ่อปกติ      แทน พ่อเป็นโรค

แทน แม่ปกติ      แทน แม่เป็นพาหะ

แทน แม่เป็นโรค

Program for Analysis the risk of G6PD deficiency

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:26:27

รูปที่ 4.11 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ กำหนดลักษณะรุ่นลูก กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

Program for Analysis the risk of G6PD deficiency

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:26:35

รูปที่ 4.12 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (1)

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ กำหนดลักษณะรุ่นลูก กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

บิดาและมารดาปกติ

จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 100% บุตรสาวปกติ 100%  
ดังนั้น กรณีนี้ ไม่มีบุตรที่เป็นโรค G6PD และ ไม่มีตัวที่เป็นพาหะของโรค G6PD

Program for Analysis the risk of G6PD deficiency

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:26:41

รูปที่ 4.13 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ | กำหนดลักษณะรุ่นลูก | กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

**บิดาปกติและมารดาเป็นพาหะของโรค G6PD**

จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 50% บุตรชายเป็นโรค 50%  
บุตรสาวปกติ 50% และ บุตรสาวเป็นพาหะ 50%

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:26:48

รูปที่ 4.14 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (3)

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ | กำหนดลักษณะรุ่นลูก | กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

**บิดาปกติและมารดาเป็นโรค G6PD**

จะเห็นว่า บุตรสาวเป็นพาหะ 100% และ บุตรชายเป็นโรค 100%

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:26:54

รูปที่ 4.15 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ | กำหนดลักษณะรุ่นลูก | กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

**บิดาเป็นโรค G6PD และมารดาปกติ**

จะเห็นได้ว่าบุตรชายปกติ 100% และ บุตรสาวเป็นพาหะ 100%

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:27:01

รูปที่ 4.16 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (5)

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มุ่งจัดทำ ๑๓๓

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ | กำหนดลักษณะรุ่นลูก | กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

**บิดาเป็นโรค G6PD มารดาเป็นพาหะของโรค G6PD**

จะเห็นว่า บุตรชายปกติ 50% บุตรชายเป็นโรค 50%  
บุตรสาวเป็นพาหะ 50% และ บุตรสาวเป็นโรค 50%

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:27:08

รูปที่ 4.17 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มุ่งจัดทำ ๑๓๓

กำหนดลักษณะรุ่นพ่อแม่ | กำหนดลักษณะรุ่นลูก | กรณี 1 | กรณี 2 | กรณี 3 | กรณี 4 | กรณี 5 | กรณี 6

**บิดาเป็นโรค G6PD และ มารดาเป็นโรค G6PD**

จะเห็นว่าบุตรสาวเป็นโรค 100% และ บุตรชายเป็นโรค 100%

**Program for Analysis the risk of G6PD deficiency**

วันที่ : 01-05-2561 เวลา : 04:27:14

รูปที่ 4.18 หน้าต่างแสดงหน้าการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (7)

จากรูป 4.9 เมื่อเลือกแถบโปรแกรมคำนวณสัดส่วนของการเกิดโรคในแต่ละรุ่นจะแสดงข้อมูลดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มุ่งจัดทำ ๑๓๓

การเริ่มต้น

เพศชาย  เพศหญิง

ชายปกติ  หญิงปกติ

ชายเป็นโรค  หญิงเป็นโรค

จำนวน  ถึง

รุ่นที่ 2 | รุ่นที่ 3 | รุ่นที่ 4 | รุ่นที่ 5

รุ่นที่ 1  การขยายตัวของเพศ

รุ่นที่ 1  แฉงงานเต็ม

จำนวน

ถึง

วันที่ : 25-03-2561 เวลา : 08:54:13

รูปที่ 4.19 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดการ ๑๐๓

ถ้าเริ่มต้น

เพศชาย		หญิงหญิง		จำนวน	ล้าง
ชายปกติ	0.9	หญิงปกติ	0.5		
ชายเป็นโรค	0.1	หญิงเป็นเฉพาะ	0.3		
		หญิงเป็นโรค	0.2		

วันที่ 1

ชายปกติ	
หญิงปกติ	
ชายเป็นโรค	
หญิงเป็นโรค	

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5

วันที่ 1

กรุงเทพมหานคร

แสดงงานกับ

วันที่ 1

จำนวน

ล้าง

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:40:55

รูปที่ 4.20 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 1 (1)

ถ้าเริ่มต้น

เพศชาย		หญิงหญิง		จำนวน	ล้าง
ชายปกติ	0.9	หญิงปกติ	0.5		
ชายเป็นโรค	0.1	หญิงเป็นเฉพาะ	0.3		
		หญิงเป็นโรค	0.2		

รูปที่ 4.21 หน้าต่างแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนข้อมูลถูกต้อง และ กดปุ่ม **คำนวณ** จะได้ค่าในรุ่นที่ 1 ดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ อดก

คำนวณต้น

เพศชาย		เพศหญิง		รุ่นที่ 1	
ชายปกติ	0.9	หญิงปกติ	0.5	ชายปกติ	0.65
ชายเป็นโรค	0.1	หญิงเป็นเกาะ	0.3	หญิงปกติ	0.585
		หญิงเป็นโรค	0.2	หญิงเป็นเกาะ	0.38
				ชายเป็นโรค	0.35
				หญิงเป็นโรค	0.035

รุ่นที่ 2 | รุ่นที่ 3 | รุ่นที่ 4 | รุ่นที่ 5

รุ่นที่ 1

แสดงฉบับ

รุ่นที่ 1

**คำนวณ**

**ล้าง**

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:42:42

รูปที่ 4.22 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 1 (2)

เมื่อได้ค่าในรุ่นที่ 1 เลือกแถบรุ่นที่ 2 แล้วเลือกเพศที่ต้องการนำค่าจากรุ่นที่ 1 มาคำนวณ

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ อดก

คำนวณต้น

เพศชาย		เพศหญิง		รุ่นที่ 1	
ชายปกติ	0.9	หญิงปกติ	0.5	ชายปกติ	0.65
ชายเป็นโรค	0.1	หญิงเป็นเกาะ	0.3	หญิงปกติ	0.585
		หญิงเป็นโรค	0.2	หญิงเป็นเกาะ	0.38
				ชายเป็นโรค	0.35
				หญิงเป็นโรค	0.035

รุ่นที่ 2 | รุ่นที่ 3 | รุ่นที่ 4 | รุ่นที่ 5

รุ่นที่ 1

แสดงฉบับ

รุ่นที่ 1

**คำนวณ**

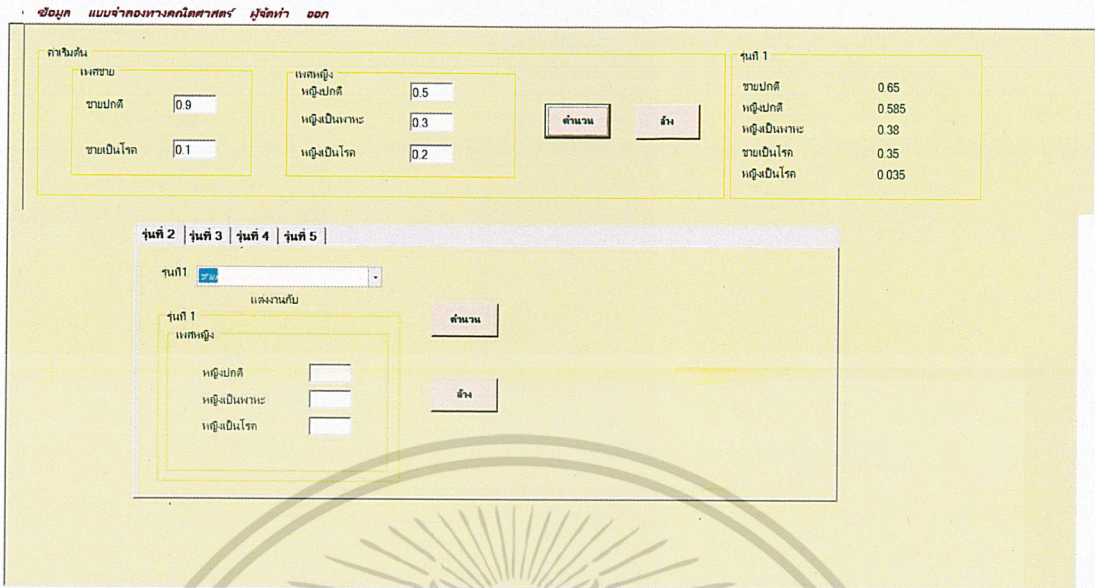
**ล้าง**

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 08:56:09

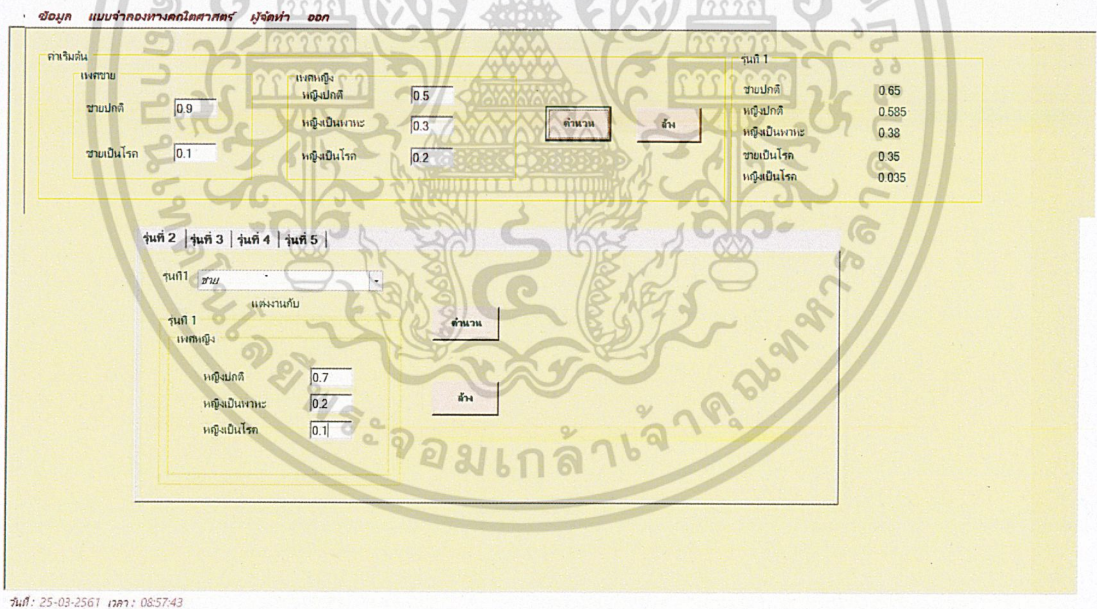
รูปที่ 4.23 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเลือกค่าเพศชายจากรุ่นที่ 1 มาคำนวณ จะแสดงหน้าต่างดังนี้



รูปที่ 4.24 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 (2)



รูปที่ 4.25 หน้าต่างแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 หากนำเพศชายในรุ่นที่ 1 มาคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเลือกค่าเพศหญิงจากรุ่นที่ 1 มาคำนวณ จะแสดงหน้าต่างดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ๑๑๑

กำลังเริ่มต้น

เพศชาย	ชายปกติ	0.9	เพศหญิง	หญิงปกติ	0.5	คำนวณ	ล้าง	รุ่นที่ 1	ชายปกติ	0.65	
	ชายเป็นโรค	0.1		หญิงเป็นเกาะ	0.3					หญิงปกติ	0.585
				หญิงเป็นโรค	0.2					หญิงเป็นเกาะ	0.38
								ชายเป็นโรค	0.35		
								หญิงเป็นโรค	0.035		

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 |

รุ่นที่ 1

แสดงงานเก็บ

รุ่นที่ 1	เพศชาย	ชายปกติ		คำนวณ
	ชายเป็นโรค			ล้าง

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 08:58:56

รูปที่ 4.26 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 (3)

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ๑๑๑

กำลังเริ่มต้น

เพศชาย	ชายปกติ	0.9	เพศหญิง	หญิงปกติ	0.5	คำนวณ	ล้าง	รุ่นที่ 1	ชายปกติ	0.65	
	ชายเป็นโรค	0.1		หญิงเป็นเกาะ	0.3					หญิงปกติ	0.585
				หญิงเป็นโรค	0.2					หญิงเป็นเกาะ	0.38
								ชายเป็นโรค	0.35		
								หญิงเป็นโรค	0.035		

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 |

รุ่นที่ 1

แสดงงานเก็บ

รุ่นที่ 1	เพศชาย	ชายปกติ	0.8	คำนวณ
	ชายเป็นโรค	0.2		ล้าง

รุ่นที่ 2	ชายปกติ	0.775
	หญิงปกติ	0.62
	หญิงเป็นเกาะ	0.335
	ชายเป็นโรค	0.225
	หญิงเป็นโรค	0.045

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:47:29

รูปที่ 4.27 หน้าต่างแสดงตัวอย่างการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 หากนำเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนข้อมูลถูกต้อง และ กดปุ่ม **คำนวณ** จะได้ค่าในรุ่นที่ 2 ดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มัจจุห่า ๑๐๓

คำนวณ

เพศชาย	หญิง	รุ่นที่ 1
ชายปกติ 0.9	หญิงปกติ 0.5	ชายปกติ 0.65
ชายเป็นโรค 0.1	หญิงเป็นเฉพาะ 0.3	หญิงปกติ 0.585
	หญิงเป็นโรค 0.2	หญิงเป็นเฉพาะ 0.38
		ชายเป็นโรค 0.35
		หญิงเป็นโรค 0.035

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 |

รุ่นที่ 1 **ชาย**

รุ่นที่ 1

หญิง	รุ่นที่ 2
หญิงปกติ 0.6	ชายปกติ 0.7
หญิงเป็นเฉพาะ 0.2	หญิงปกติ 0.455
หญิงเป็นโรค 0.2	หญิงเป็นเฉพาะ 0.44
	ชายเป็นโรค 0.3
	หญิงเป็นโรค 0.105

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:46:19

รูปที่ 4.28 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 2 (4)

ทำตามขั้นตอนดังรูปที่ 4.22 - 4.28 แต่เปลี่ยนแถบจากรุ่นที่ 2 เป็น รุ่นที่ 3 รุ่นที่ 4 และ รุ่นที่ 5

ด า ม ลี า

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มัจจุห่า ๑๐๓

คำนวณ

เพศชาย	หญิง	รุ่นที่ 1
ชายปกติ 0.9	หญิงปกติ 0.5	ชายปกติ 0.65
ชายเป็นโรค 0.1	หญิงเป็นเฉพาะ 0.3	หญิงปกติ 0.585
	หญิงเป็นโรค 0.2	หญิงเป็นเฉพาะ 0.38
		ชายเป็นโรค 0.35
		หญิงเป็นโรค 0.035

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 |

รุ่นที่ 2 **การพัฒนารถไฟ**

รุ่นที่ 2

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 09:00:11

รูปที่ 4.29 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ๑๑๓

การเริ่มต้น

ประเภทขาย	แหล่งหญิง	วันที่ 1
ชายปกติ	หญิงปกติ	ชายปกติ
0.9	0.5	0.65
ชายเป็นโรค	หญิงเป็นเกาะ	หญิงปกติ
0.1	0.3	0.585
	หญิงเป็นโรค	หญิงเป็นเกาะ
	0.2	0.38
		ชายเป็นโรค
		0.35
		หญิงเป็นโรค
		0.035

จำนวน    ถึง

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5

วันที่ 3 การนำเด็กทะเล

แหล่งงานเก็บ

วันที่ 3

จำนวน    ถึง

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 09:00:19

รูปที่ 4.30 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 4

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ๑๑๓

การเริ่มต้น

ประเภทขาย	แหล่งหญิง	วันที่ 1
ชายปกติ	หญิงปกติ	ชายปกติ
0.9	0.5	0.65
ชายเป็นโรค	หญิงเป็นเกาะ	หญิงปกติ
0.1	0.3	0.585
	หญิงเป็นโรค	หญิงเป็นเกาะ
	0.2	0.38
		ชายเป็นโรค
		0.35
		หญิงเป็นโรค
		0.035

จำนวน    ถึง    กรรพ

วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5

วันที่ 4 การนำเด็กทะเล

แหล่งงานเก็บ

วันที่ 4

จำนวน    ถึง    กรรพ

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 09:00:25

รูปที่ 4.31 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในรุ่นที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานดังนี้

เพศชาย	ชายปกติ 0.9	หญิงปกติ 0.5	คำนวณ	ส่ง	รุ่นที่ 1	ชายปกติ 0.65	
ชายเป็นโรค	0.1	หญิงเป็นเฉพาะ 0.3			หญิงเป็นโรค 0.2	ชายปกติ 0.85	หญิงเป็นเฉพาะ 0.38

รุ่นที่ 2 | รุ่นที่ 3 | รุ่นที่ 4 | รุ่นที่ 5

รุ่นที่ 4 | หญิง

ทำงานกับ

รุ่นที่ 4	เพศชาย	คำนวณ	รุ่นที่ 5	ชายปกติ 0.02338671875
ชายปกติ	0.8	ส่ง	หญิงปกติ 0.018709375	หญิงเป็นเฉพาะ 0.0079078125
ชายเป็นโรค	0.2	กราฟ	ชายเป็นโรค 0.00545703125	หญิงเป็นโรค 0.00174921875

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 09:01:31

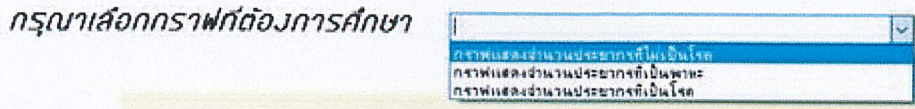
รูปที่ 4.32 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ของรุ่นที่ 5



รูปที่ 4.33 หน้าต่างแสดงกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดแถบ **กรุณาเลือกกราฟที่ต้องการศึกษา** จะ  
แสดงแถบให้เลือกดังนี้



รูปที่ 4.34 หน้าต่างแสดงกราฟ (1)

จากรูป 4.34 ถ้าเลือกกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ไม่เป็นโรคและกดปุ่ม จะแสดงดังนี้

คลิก

กรุณาเลือกกราฟที่ต้องการศึกษา

กราฟแสดงจำนวนประชากรที่ไม่เป็นโรค

คลิก

ดู

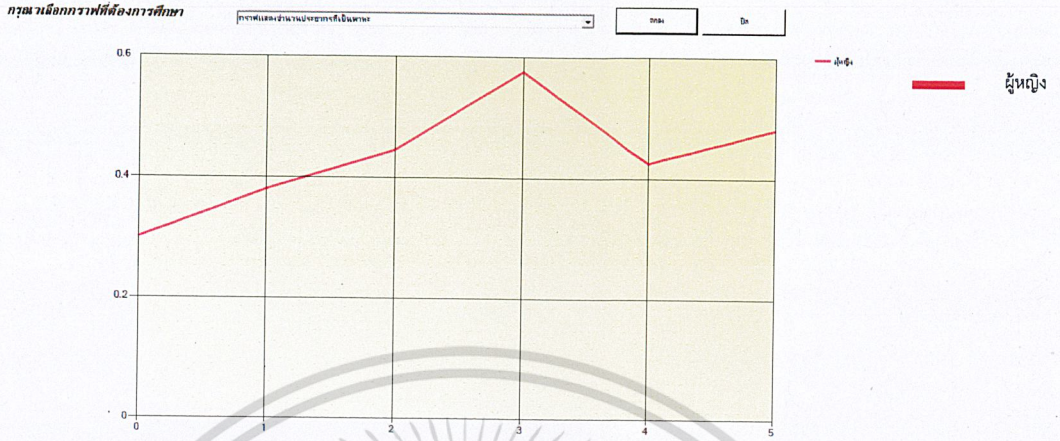


— ผู้ชาย  
— ผู้หญิง

รูปที่ 4.35 หน้าต่างแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ไม่เป็นโรค

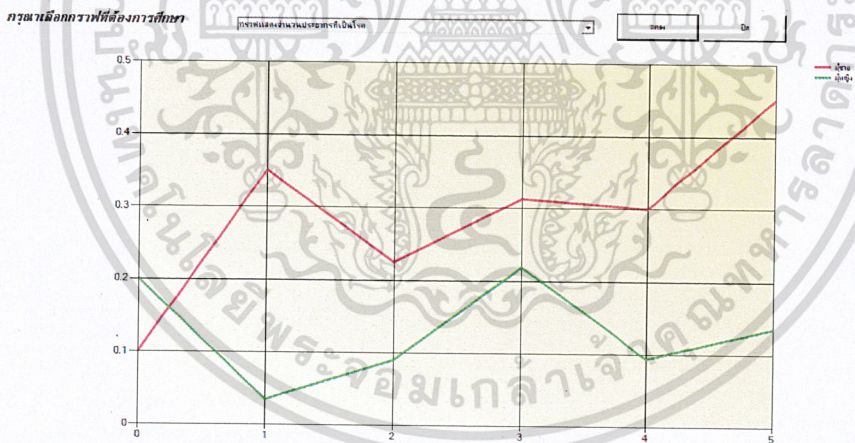
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.34 ถ้าเลือกกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นพาหะและกตปุม  
จะแสดงดังนี้



รูปที่ 4.36 หน้าต่างแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นพาหะ

จากรูป 4.34 ถ้าเลือกกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นโรคและกตปุม  
จะแสดงดังนี้



รูปที่ 4.37 หน้าต่างแสดงกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่ม **ปิด** จะแสดงข้อมูลดังรูป 4.30

จากรูป 4.9 ถ้าเลือก แถบกรณีแต่งงานในเครือญาติจะแสดงดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ อดก

เพศชาย ชายปกติ <input type="text"/> ชายเป็นโรค <input type="text"/>		เพศหญิง หญิงปกติ <input type="text"/> หญิงเป็นภรรยา <input type="text"/> หญิงเป็นโรค <input type="text"/>		จำนวน <input type="text"/>
กรณี 1 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	กรณี 2 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	กรณี 3 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค		
กรณี 4 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	กรณี 5 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	ตรวจ <input type="button"/>		

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:54:07

รูปที่ 4.38 หน้าต่างแสดงโปรแกรมกรณีแต่งงานในเครือญาติ

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ อดก

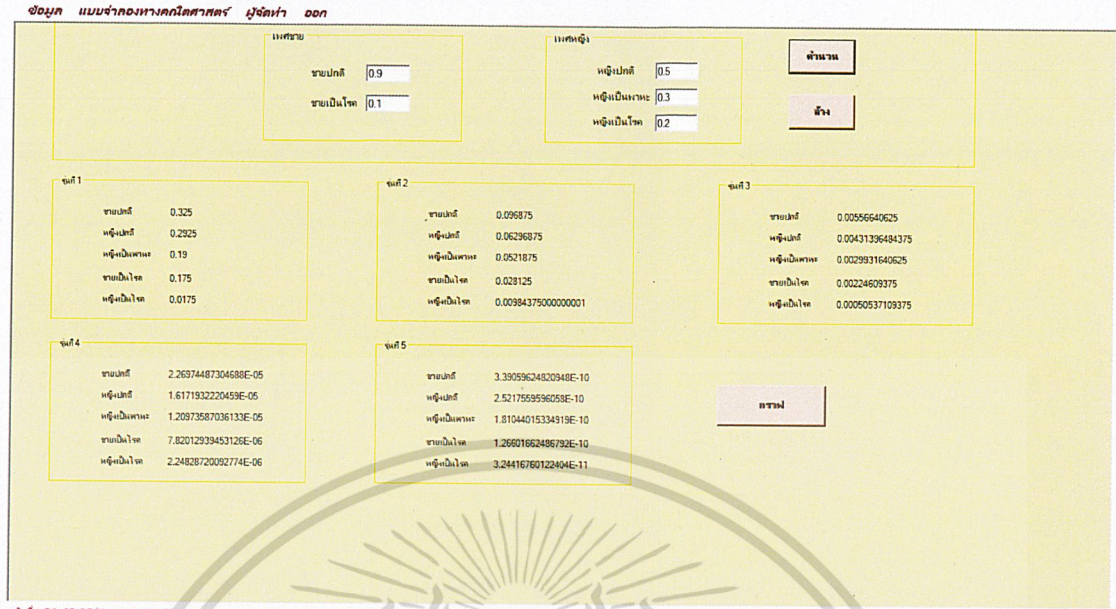
เพศชาย ชายปกติ <input type="text" value="0.9"/> ชายเป็นโรค <input type="text" value="0.1"/>		เพศหญิง หญิงปกติ <input type="text" value="0.5"/> หญิงเป็นภรรยา <input type="text" value="0.3"/> หญิงเป็นโรค <input type="text" value="0.2"/>		จำนวน <input type="text"/>
กรณี 1 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	กรณี 2 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	กรณี 3 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค		
กรณี 4 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	กรณี 5 ชายปกติ หญิงปกติ ชายเป็นภรรยา ชายเป็นโรค หญิงเป็นโรค	ตรวจ <input type="button"/>		

วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:55:06

รูปที่ 4.39 หน้าต่างแสดงการป้อนข้อมูลในกรณีแต่งงานในเครือญาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่ม **คำนวณ** จะได้ดังนี้

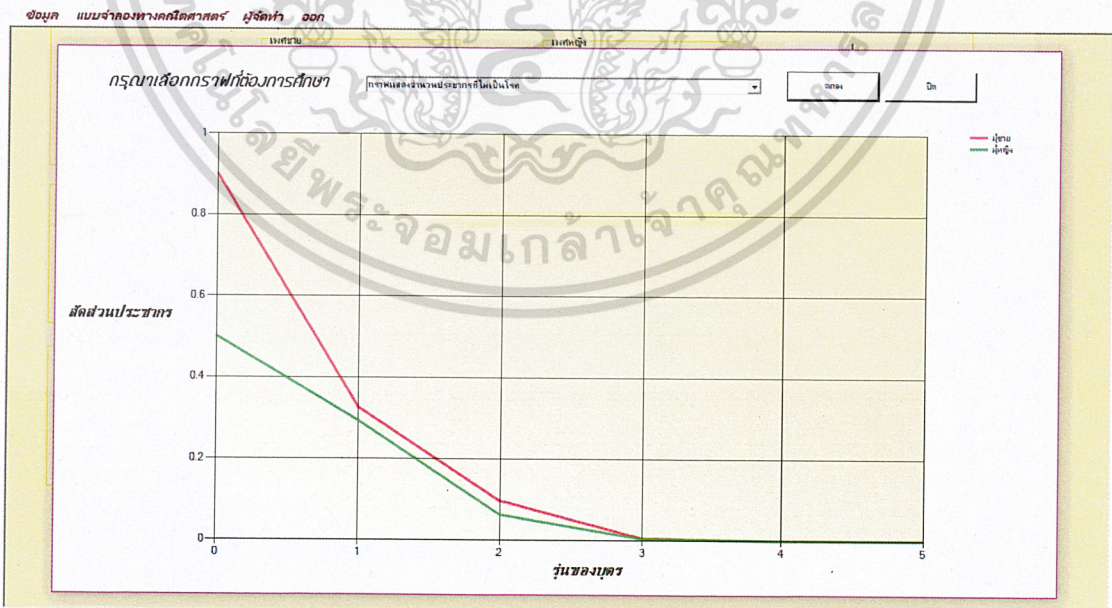


วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:56:29

รูปที่ 4.40 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์กรณีแต่งงานในเครือญาติ

เมื่อกดปุ่ม **กราฟ** จะแสดงดังรูป 4.33

จากรูป 4.33 ถ้าเลือกกราฟแสดงจำนวนประชากรที่ไม่เป็นโรคและกดปุ่ม **ตกลง** จะแสดงดังนี้



วันที่: 01-05-2561 เวลา: 05:02:14

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเพศที่ไม่เป็นโรคในกรณีแต่งงานในเครือญาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.33 ถ้าเลือกกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นพาหะและกตปุม จะแสดงดังนี้

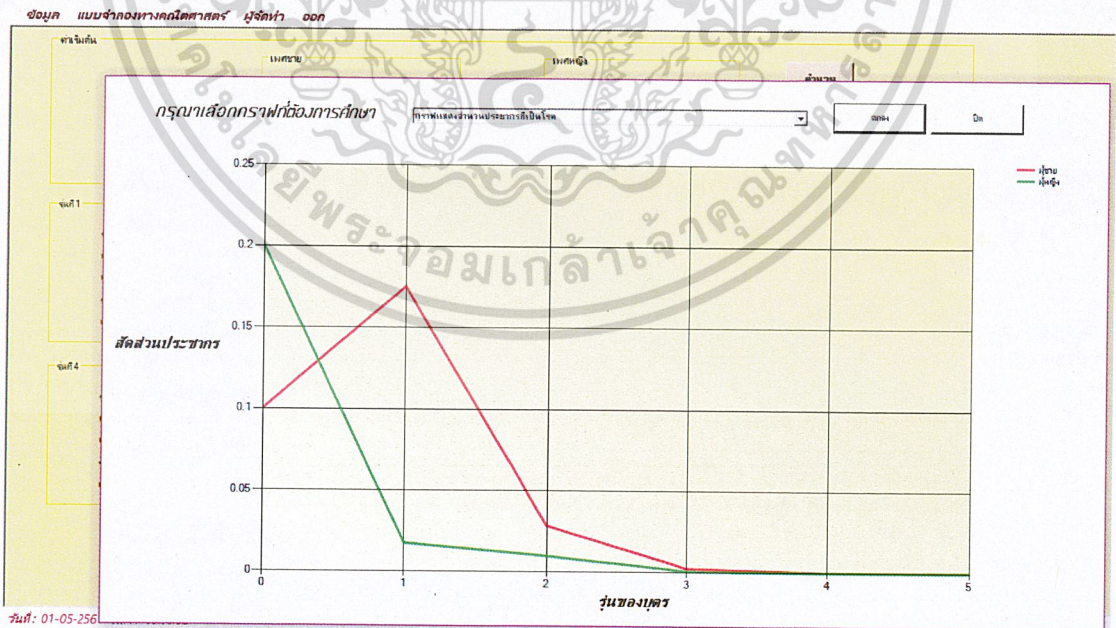
คลิก



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเพศที่เป็นพาหะในกรณีแต่งงานในเครือญาติ

จากรูป 4.33 ถ้าเลือกกราฟแสดงจำนวนประชากรที่เป็นโรคและกตปุม จะแสดงดังนี้

คลิก



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเพศที่เป็นโรคในกรณีแต่งงานในเครือญาติ


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.4 เมื่อเลือกแถบผู้จัดทำจะแสดงข้อมูลดังนี้

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ออก

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมวิเคราะห์ความเสี่ยงของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD  
ภาควิชาคณิตศาสตร์ (คณิตศาสตร์ประยุกต์) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะผู้จัดทำและอาจารย์ที่ปรึกษา




ผู้จัดทำ

- นางสาวชานันท์ นันทโชตชาพันธ์ 57050062
- นางสาววรรณดา มงทอง 57050124
- นางสาวศุภรดา คัมพจน์ 57050062

อาจารย์ที่ปรึกษา

- รศ.ดร. พันธณี พงศ์สัมพันธ์
- ดร.สิริพร แสนนำ วันทอง

Program for Analysis the risk of G6PD deficiency




วันที่: 01-05-2561 เวลา: 04:27:39

รูปที่ 4.44 หน้าต่างแสดงหน้าผู้จัดทำ

เมื่อกดแถบ “ออก” จะแสดงหน้าต่างดังนี้ 6

ข้อมูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผู้จัดทำ ออก

Program for Analysis the risk of G6PD deficiency



ผลการคำนวณ

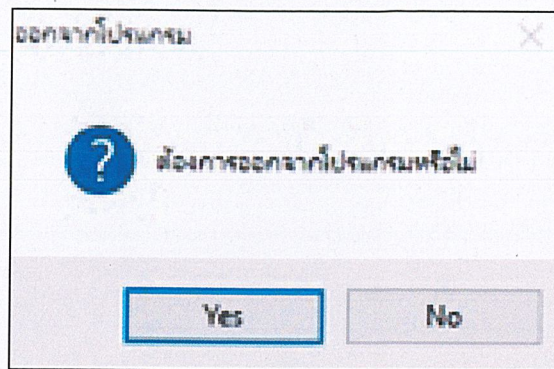
ต้องการจะคำนวณใหม่หรือไม่

Yes No

วันที่: 25-03-2561 เวลา: 09:45:58

รูปที่ 4.45 หน้าต่างหน้าจอแรกของโปรแกรม (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



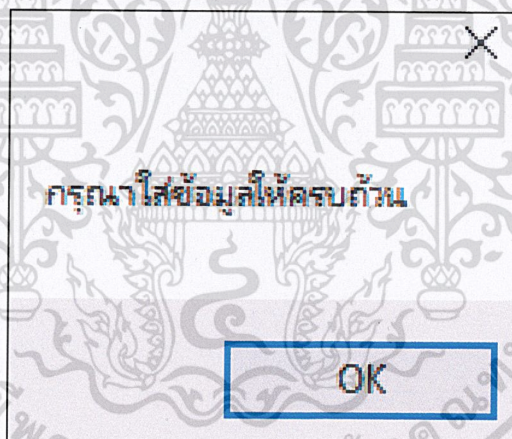
รูปที่ 4.46 หน้าต่างแสดงการออกจากโปรแกรม

จากรูป 4.46 ถ้าเลือก  Yes จะออกจากโปรแกรม

จากรูป 4.46 ถ้าเลือก  No จะอยู่ในโปรแกรม

หากผู้ใช้ป้อนข้อมูลไม่ตรงตามเงื่อนไขโปรแกรมจะไม่คำนวณและแสดงหน้าต่างดังนี้

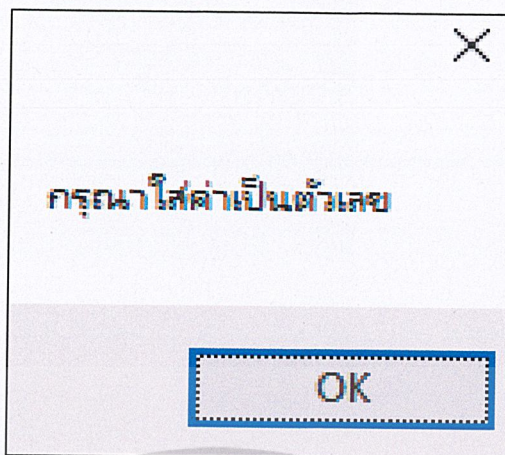
- ถ้าผู้ใช้กรอกข้อมูลไม่ครบถ้วน



รูปที่ 4.47 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร

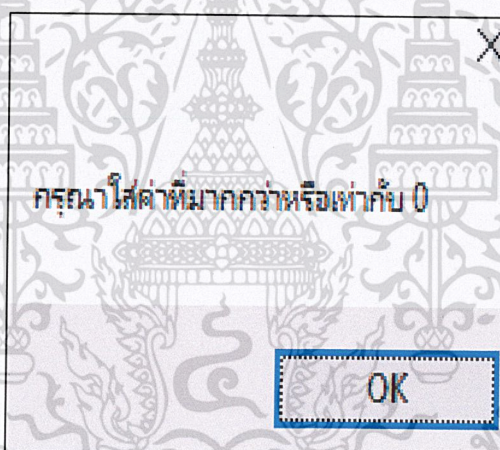
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่นอกเหนือจากตัวเลข



รูปที่ 4.48 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (1)

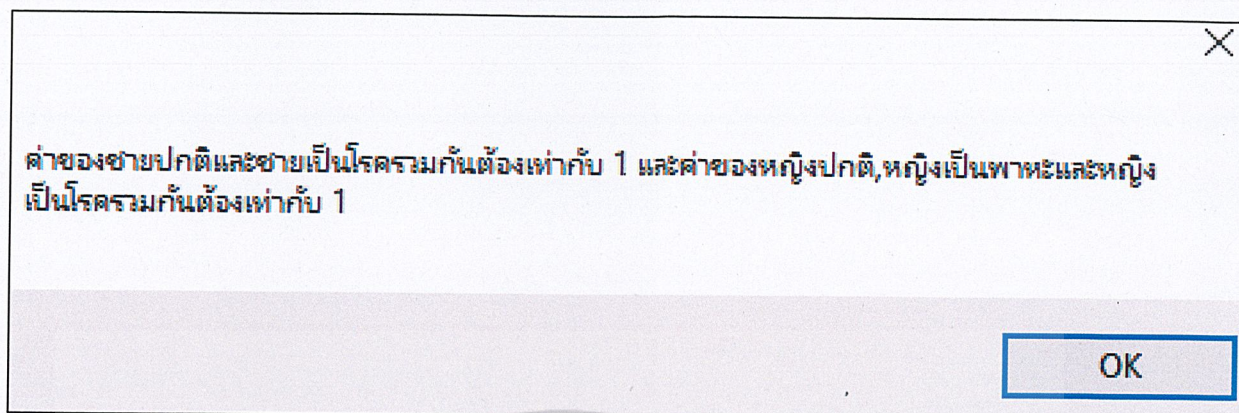
- ถ้าผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่ติดลบ



รูปที่ 4.49 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (2)

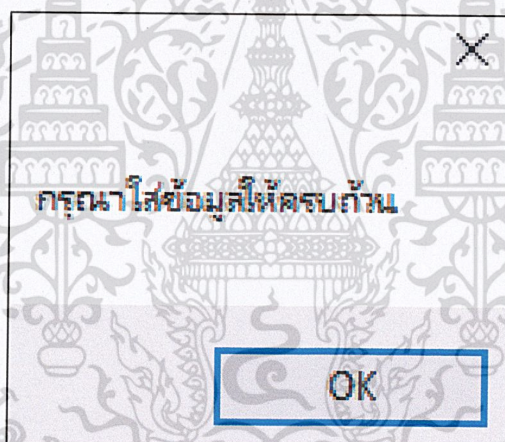
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าผู้ใช้งานป้อนค่าขายปกติและขายที่เป็นโรครวมกันไม่เท่ากับ 1 หรือ ป้อนค่าหญิงปกติ หญิงเป็นพาหะ และ หญิงที่เป็นโรคไม่เท่ากับ 1



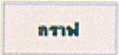
รูปที่ 4.50 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (3)

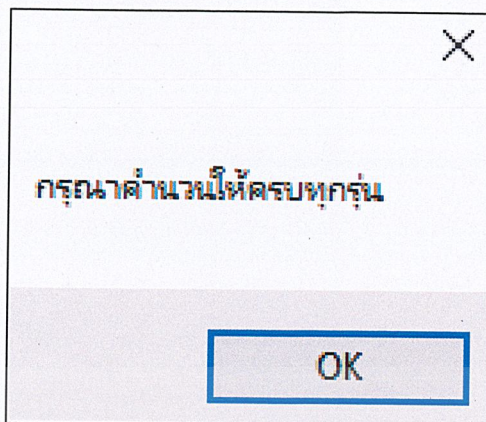
- ถ้าผู้ใช้กดปุ่ม **คำนวณ** โดยที่ยังกรอกข้อมูลไม่ครบ



รูปที่ 4.51 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้าผู้ใช้กดปุ่ม  โดยที่ยังกรอกข้อมูลไม่ครบ



รูปที่ 4.52 หน้าต่างแสดงการตรวจสอบข้อมูลของตัวแปร (5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ตัวอย่างการทำนาย

จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD โดยให้

สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a)

มีโครโมโซมเป็น  $XY$

สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b)

มีโครโมโซมเป็น  $XX$

สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะของโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c)

มีโครโมโซมเป็น  $X^h X$

สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d)

มีโครโมโซมเป็น  $X^h Y$

สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e)

มีโครโมโซมเป็น  $X^h X^h$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD

$$a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$b_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n$$

$$c_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$d_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

$$e_{n+1} = \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

โดยที่  $n$  แทนประชากรรุ่นที่  $n$  และ  $n=0,1,2,3,\dots$

ในปัญหาพิเศษนี้จะทำการพิจารณา 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 : กรณีแต่งงานนอกเครือญาติ

กรณีที่ 2 : แต่งงานกันในเครือญาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.1 กรณีแต่งงานนอกเครือญาติ

จะแบ่งได้ทั้งหมด 16 กรณีดังนี้

- 1.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง
- 2.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย
- 3.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง
- 4.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย
- 5.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง
- 7.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย
- 8.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย
- 9.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง
- 10.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย
- 12.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย
- 13.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง
- 14.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง
- 15.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 2 เลือกเพศหญิง  
 รุ่นที่ 3 เลือกเพศชาย  
 รุ่นที่ 4 เลือกเพศหญิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 16.) รุ่นที่ 1 เลือกเพศหญิง  
รุ่นที่ 2 เลือกเพศชาย  
รุ่นที่ 3 เลือกเพศหญิง  
รุ่นที่ 4 เลือกเพศชาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 1

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.3

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.10496875$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) = 0.094471875$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.031$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.01278125$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.00380625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.2)(0.031) + \frac{1}{2}(0.8)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.8)(0.031) = 0.0549859375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.2)(0.031) = 0.04948734375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.031) + \frac{1}{2}(0.2)(0.00380625) + \frac{1}{2}(0.8)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.8)(0.031) = 0.01418640625$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.031) + \frac{1}{2}(0.2)(0.00380625) + \frac{1}{4}(0.8)(0.031) + \frac{1}{2}(0.8)(0.00380625) = 0.09653125$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.031) + \frac{1}{2}(0.8)(0.00380625) = 0.00164515625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n=4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.7)(0.04948734375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.01418640625) + \frac{1}{2}(0.3)(0.04948734375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.01418640625) = 0.0282902734375$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.7)(0.04948734375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.01418640625) = 0.02546124609375$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.7)(0.01418640625) + \frac{1}{2}(0.7)(0.00164515625) + \frac{1}{2}(0.3)(0.04948734375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.01418640625) = 0.0067612890625$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.7)(0.01418640625) + \frac{1}{2}(0.7)(0.00164515625) + \frac{1}{4}(0.3)(0.01418640625) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00164515625) = 0.0043691796875$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.3)(0.01418640625) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00164515625) = 0.00075044921875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 1

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.6875
4	0.49375
5	0.346875

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 1

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.20625
4	0.09875
5	0.2428125

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 1

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.575
4	0.49625
5	0.56125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 1

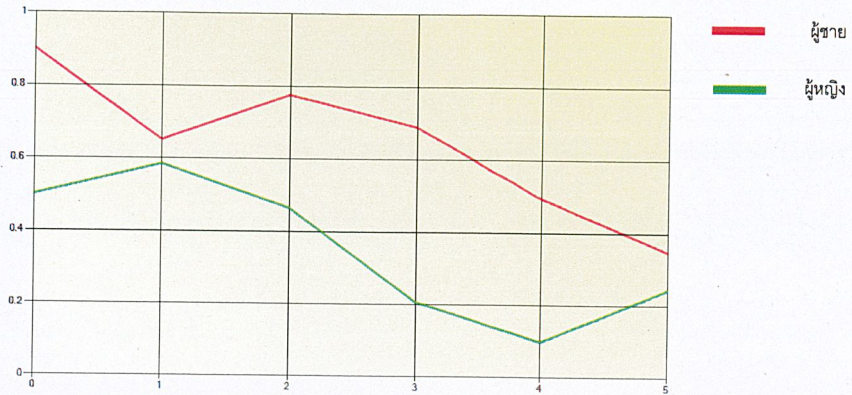
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.3125
4	0.50625
5	0.653125

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 1

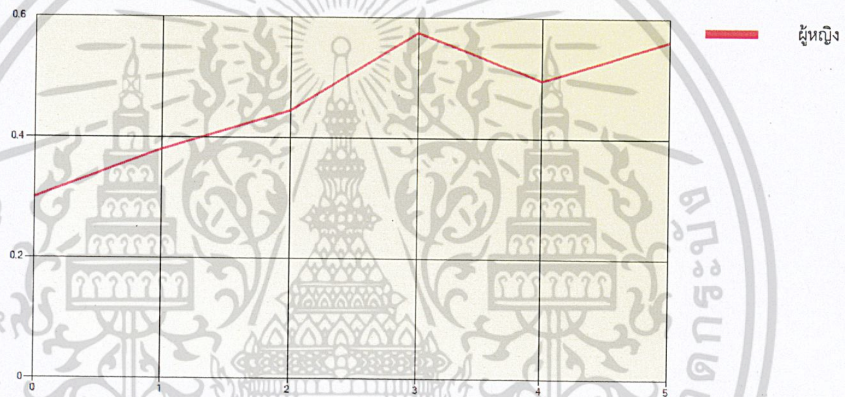
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.21875
4	0.405
5	0.1959375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

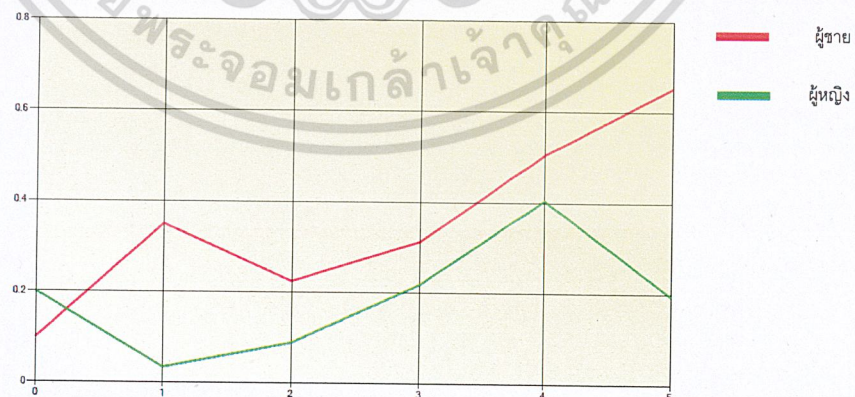
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 1



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 1



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 2

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.10496875$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) = 0.094471875$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.031$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.01278125$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.00380625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.2)(0.031) + \frac{1}{2}(0.8)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.8)(0.031) = 0.0549859375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.2)(0.031) = 0.04948734375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.031) + \frac{1}{2}(0.2)(0.00380625) + \frac{1}{2}(0.8)(0.094471875) + \frac{1}{4}(0.8)(0.031) = 0.01418640625$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.031) + \frac{1}{2}(0.2)(0.00380625) + \frac{1}{4}(0.8)(0.031) + \frac{1}{2}(0.8)(0.00380625) = 0.09653125$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.031) + \frac{1}{2}(0.8)(0.00380625) = 0.00164515625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_s = \frac{1}{2}(0.0549859375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0549859375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.09653125)(0.4) + \frac{1}{4}(0.09653125)(0.3) = 0.0201746875$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.0549859375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0549859375)(0.3) = 0.008687421875$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.0549859375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0549859375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.09653125)(0.4) + \frac{1}{4}(0.09653125)(0.3) = 0.01859515625$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.0549859375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0549859375)(0.3) + \frac{1}{4}(0.09653125)(0.3) + \frac{1}{2}(0.09653125)(0.3) = 0.0165065625$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.09653125)(0.3) + \frac{1}{2}(0.09653125)(0.3) = 0.009398671875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 2

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.6875
4	0.49375
5	0.55

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 2

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.20625
4	0.09875
5	0.2715625

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 2

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.575
4	0.49625
5	0.500625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 2

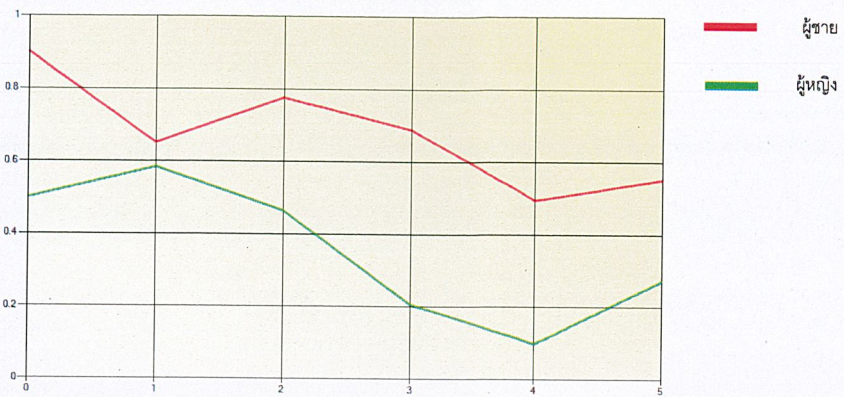
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.3125
4	0.50625
5	0.45

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 2

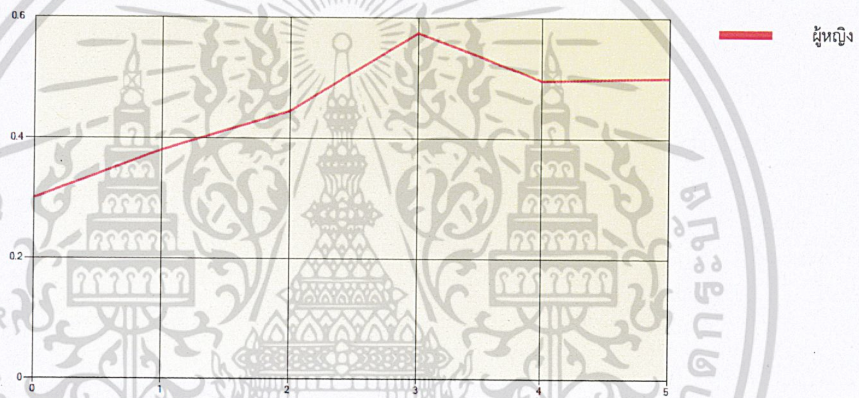
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.21875
4	0.405
5	0.2278125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

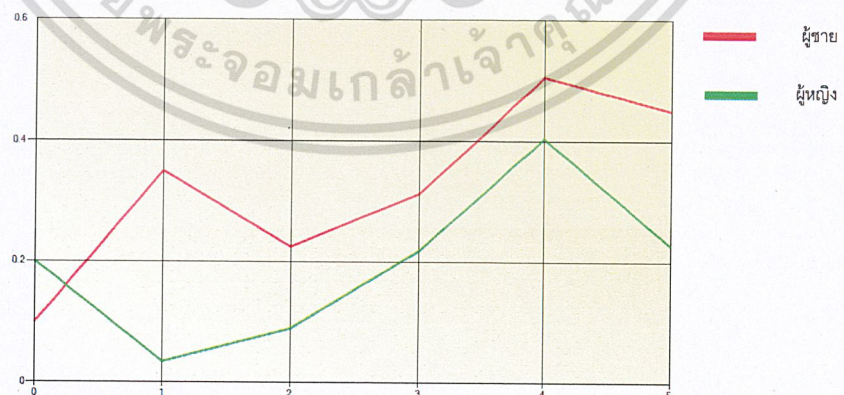
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 2



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 2



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 3

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.10496875$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) = 0.094471875$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.031$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.01278125$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.00380625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.10496875)(0.7) + \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0.7) + \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) = 0.04694375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.10496875)(0.7) + \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) = 0.03014375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.10496875)(0) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0.7) + \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) = 0.02971875$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.10496875)(0) + \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0) = 0.02011875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0) = 0.0108$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n=4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.2)(0.03014375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.02971875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.03014375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.02971875) = 0.0225015625$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.2)(0.03014375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.02971875) = 0.01575109375$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.2)(0.02971875) + \frac{1}{2}(0.2)(0.0108) + \frac{1}{2}(0.8)(0.03014375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.02971875) = 0.01573125$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.2)(0.02971875) + \frac{1}{2}(0.2)(0.0108) + \frac{1}{4}(0.8)(0.02971875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.0108) = 0.0128296875$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.8)(0.02971875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.0108) = 0.0052678125$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 3

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.6875
4	0.7
5	0.55

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 3

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.20625
4	0.48125
5	0.385

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 3

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.575
4	0.425
5	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 3

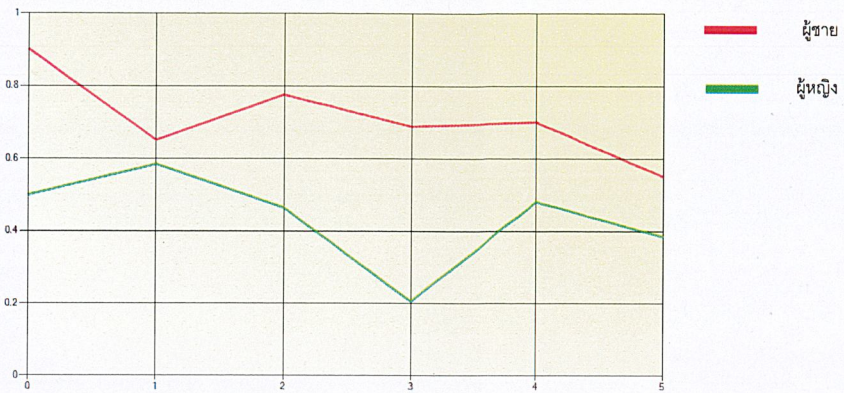
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.3125
4	0.3
5	0.45

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 3

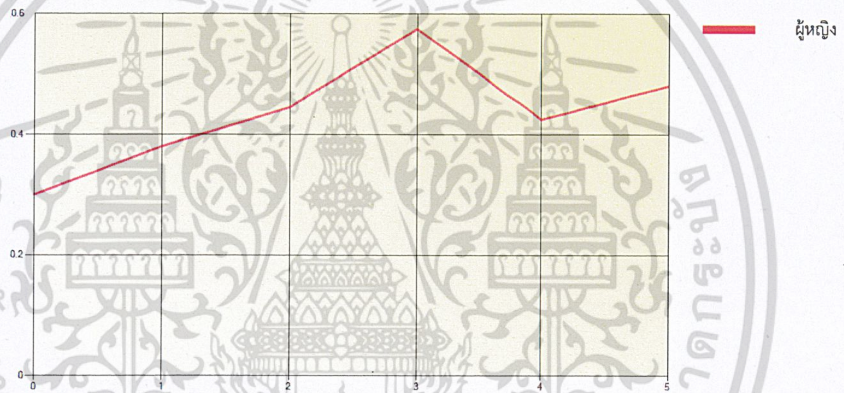
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.21875
4	0.09375
5	0.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

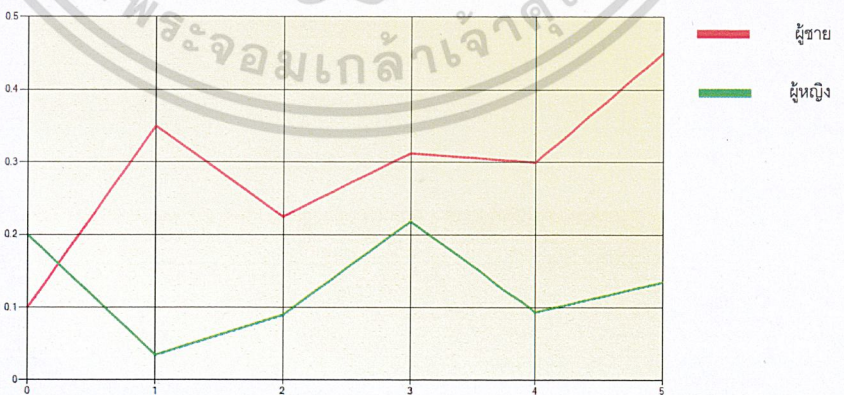
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 3



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 3



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 4

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.10496875$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) = 0.094471875$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{2}(0.7)(0.174375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) = 0.031$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.01) + \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.01278125$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.071125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.01) = 0.00380625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.10496875)(0.7) + \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0.7) + \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) = 0.04694375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.10496875)(0.7) + \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) = 0.03014375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.10496875)(0) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0.7) + \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) = 0.02971875$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.10496875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.10496875)(0) + \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0) = 0.02011875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.01278125)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01278125)(0) = 0.0108$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n=4$

$$a_s = \frac{1}{2}(0.04694375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.04694375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.02011875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.02011875)(0.3) = 0.0184421875$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.04694375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.04694375)(0.3) = 0.01290953125$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.04694375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.04694375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.02011875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.02011875)(0.3) = 0.016095$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.04694375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.04694375)(0.3) + \frac{1}{4}(0.02011875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.02011875)(0.3) = 0.0150890625$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.02011875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.02011875)(0.3) = 0.00452671875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 4

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.6875
4	0.49375
5	0.55

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 4

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.20625
4	0.09875
5	0.2715625

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 4

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.575
4	0.49625
5	0.500625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 4

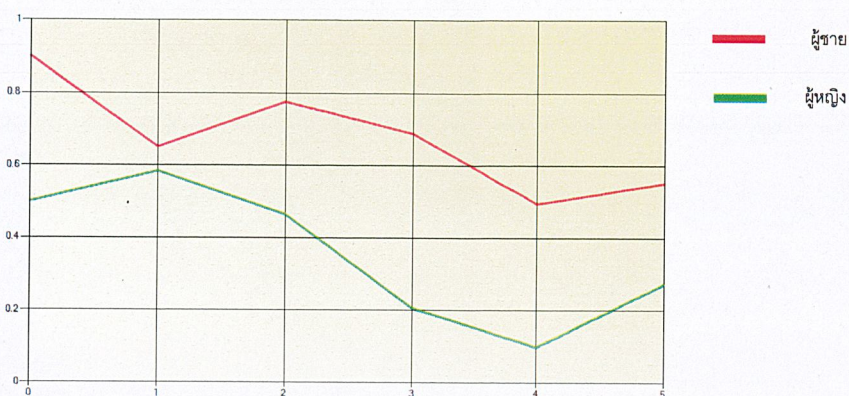
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.3125
4	0.50625
5	0.45

ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 4

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.21875
4	0.405
5	0.2278125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

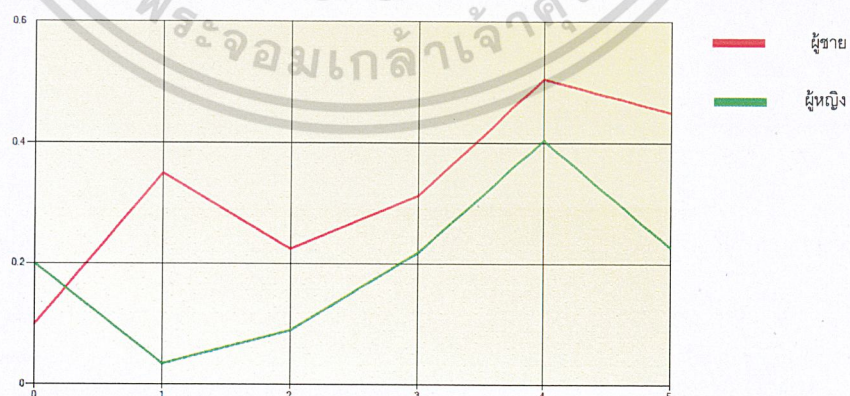
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 4



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 4



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 5

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.10678125$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) = 0.08234375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.03896875$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.01884375$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.008625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) = 0.0509140625$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) = 0.0101828125$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.2)(0.008625) + \frac{1}{2}(0.8)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) = 0.0435421875$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.2)(0.008625) + \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.008625) = 0.0140546875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.008625) = 0.0173125$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.7)(0.0101828125) + \frac{1}{4}(0.7)(0.0435421875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0101828125) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0435421875) = 0.015976953125$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.7)(0.0101828125) + \frac{1}{4}(0.7)(0.0435421875) = 0.0111838671875$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.7)(0.0435421875) + \frac{1}{2}(0.7)(0.0173125) + \frac{1}{2}d_4(0.0101828125) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0435421875) = 0.01847234375$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.7)(0.0435421875) + \frac{1}{2}(0.7)(0.0173125) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0435421875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0173125) = 0.019541796875$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.3)(0.0435421875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0173125) = 0.007829765625$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 5

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.85
4	0.815
5	0.80625

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 5

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.65875
4	0.65
5	0.564375

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 5

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.3075
4	0.3125
5	0.3775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณี 5

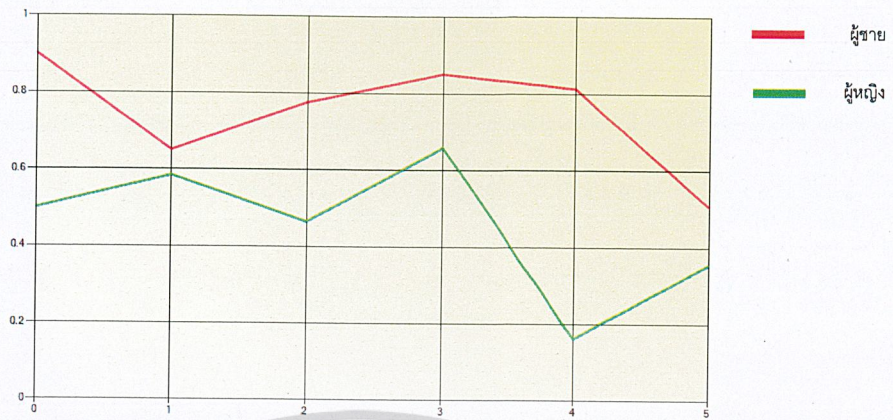
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.15
4	0.1875
5	0.19375

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณี 5

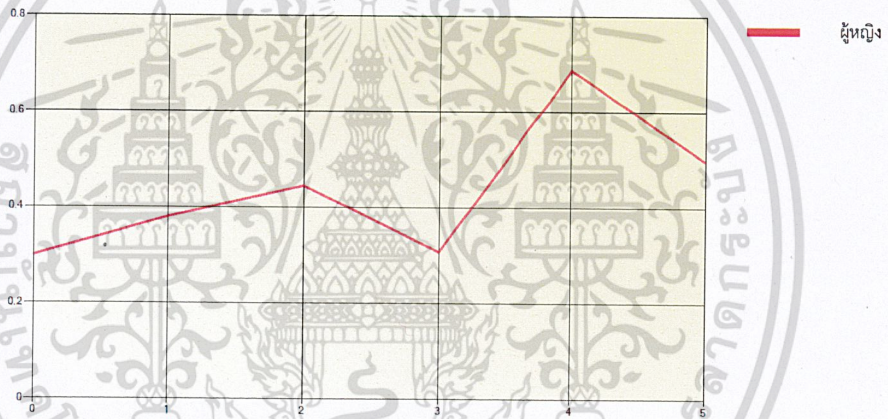
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.03375
4	0.0375
5	0.058125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

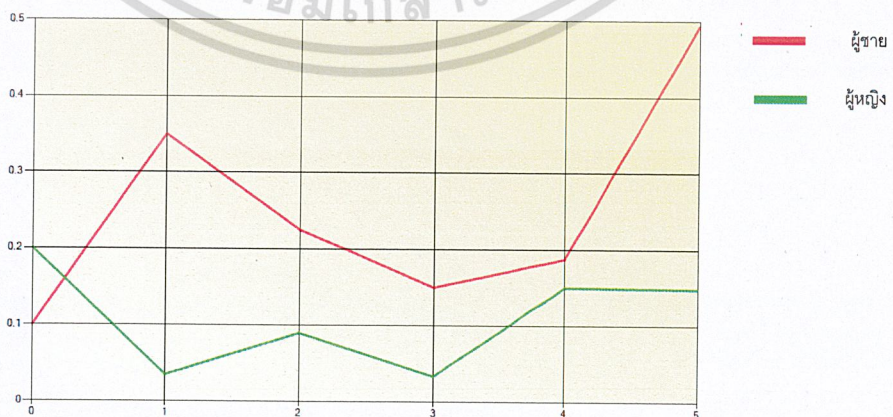
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.65 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 5



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.67 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 5 ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 6

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.10678125$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) = 0.08234375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.03896875$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.01884375$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.008625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.10678125)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) = 0.04396875$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.10678125)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) = 0.0373734375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10678125)(0.1) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) = 0.0226125$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10678125)(0.1) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.1) = 0.01884375$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.1) = 0.00423984375$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$

$$a_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.0373734375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.0226125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0373734375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0226125) = 0.02433984375$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.0373734375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.0226125) = 0.0170307890625$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.0226125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.00423984375) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0373734375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0226125) = 0.0127430859375$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.0226125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.00423984375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0226125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00423984375) = 0.007773046875$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.3)(0.0226125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00423984375) = 0.00370986328125$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 6

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.85
4	0.7
5	0.775

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 6

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.65875
4	0.595
5	0.5425

ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 6

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.3075
4	0.36
5	0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 6

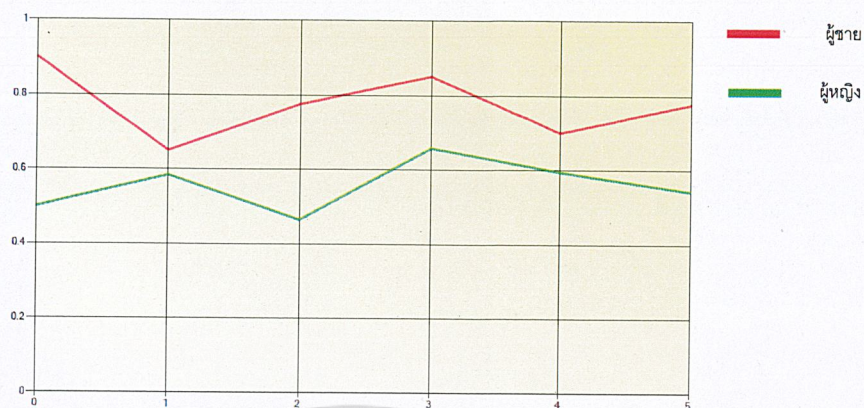
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.15
4	0.3
5	0.225

ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 6

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.03375
4	0.045
5	0.0675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

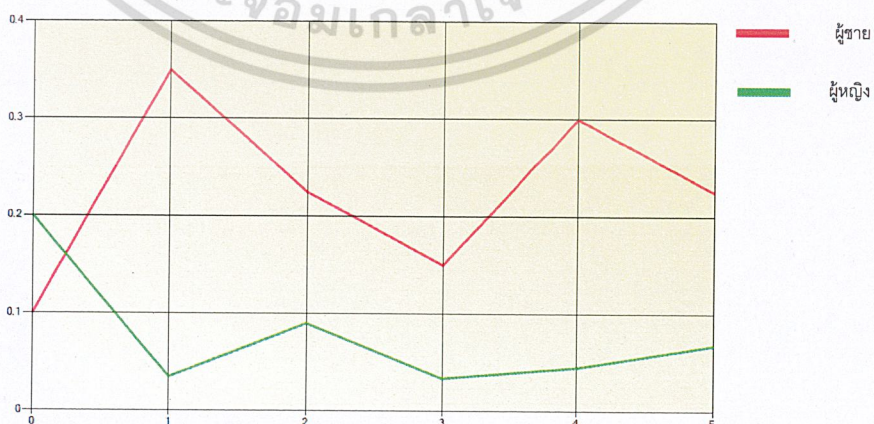
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.68 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 6



รูปที่ 4.69 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 6



รูปที่ 4.70 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรเป็นโรคในกรณีที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 7

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.10678125$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) = 0.08234375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.03896875$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.01884375$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.008625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.10678125)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) = 0.04396875$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.10678125)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) = 0.0373734375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10678125)(0.1) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) = 0.0226125$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.10678125)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10678125)(0.1) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.1) = 0.01884375$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.01884375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.1) = 0.00423984375$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n=4$ 

$$a_s = \frac{1}{2}(0.04396875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.04396875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.3) = 0.10678125$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.04396875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.04396875)(0.3) = 0.08234375$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.04396875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.04396875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.3) = 0.03896875$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.04396875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.04396875)(0.3) + \frac{1}{4}(0.01884375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.3) = 0.01884375$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.01884375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01884375)(0.3) = 0.008625$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 7

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.7
4	0.7
5	0.55

ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 7

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.468
3	0.5425
4	0.49
5	0.385

ตารางที่ 4.33 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 7

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.39
4	0.42
5	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 7

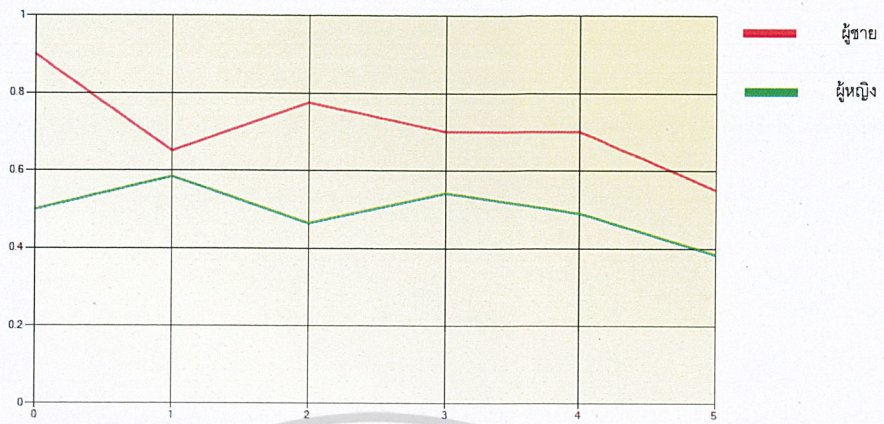
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.3
4	0.3
5	0.45

ตารางที่ 4.35 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 7

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.0675
4	0.09
5	0.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

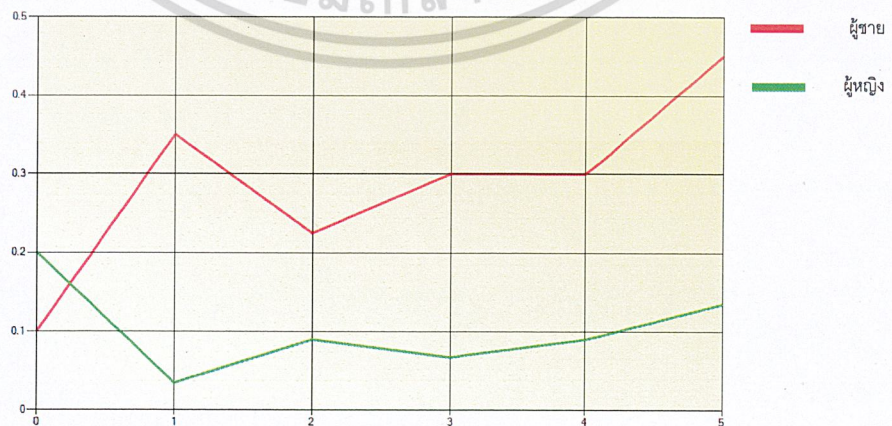
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.71 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 7



รูปที่ 4.72 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 7



รูปที่ 4.73 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 8

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.10625$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) = 0.074375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.045$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01875$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01125$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.10625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) = 0.04375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.10625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) = 0.0371875$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10625)(0.1) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) = 0.0225$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10625)(0.1) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.1) = 0.01875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.1) = 0.00421875$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.04375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.04375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.3) = 0.0171875$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.04375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.04375)(0.3) = 0.01203125$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.04375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.04375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.3) = 0.015$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.04375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.04375)(0.3) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.3) = 0.0140625$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.01875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.3) = 0.00421875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.36 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 8

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.85
4	0.7
5	0.55

ตารางที่ 4.37 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 8

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.445
3	0.595
4	0.595
5	0.385

ตารางที่ 4.38 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 8

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.36
4	0.36
5	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.39 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 8

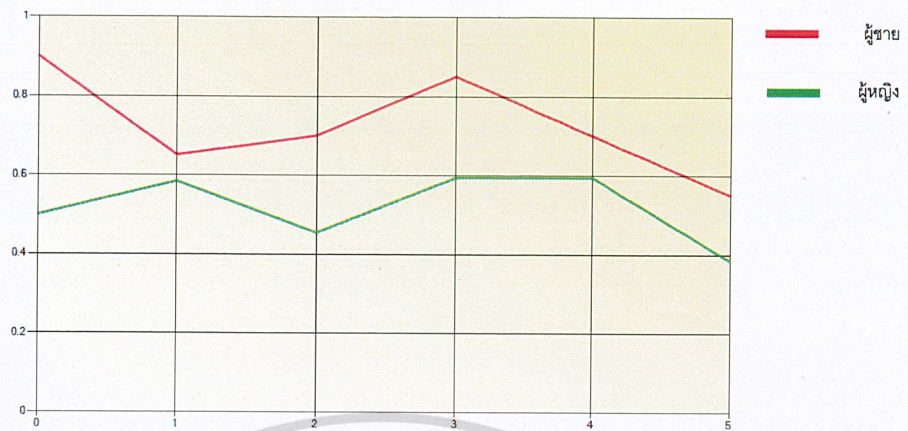
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.15
4	0.3
5	0.45

ตารางที่ 4.40 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 8

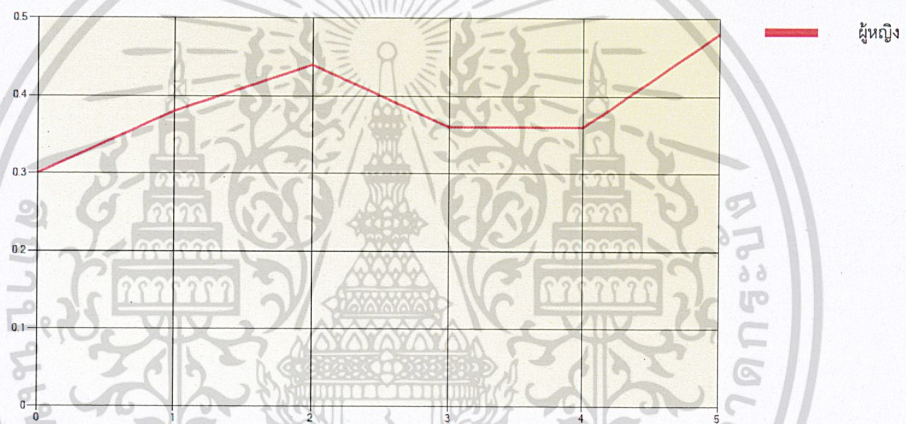
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.045
4	0.045
5	0.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

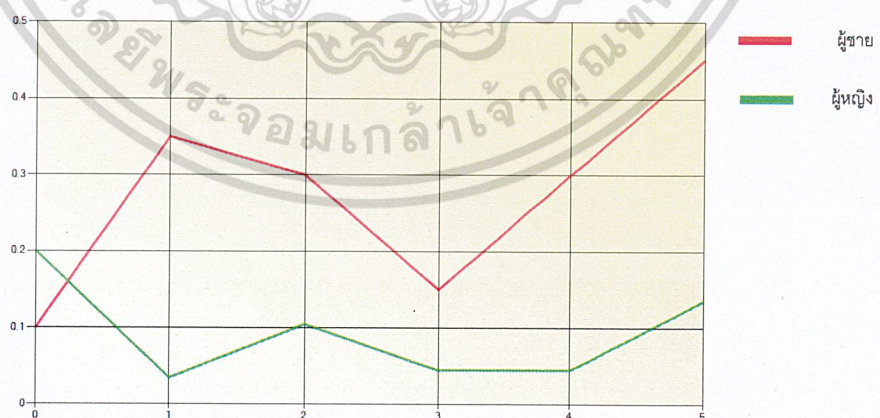
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.74 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 8



รูปที่ 4.75 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 8



รูปที่ 4.76 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 9

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสียหายของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.10625$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) = 0.074375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.045$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01875$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01125$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.10625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) = 0.04375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.10625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) = 0.0371875$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10625)(0.1) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) = 0.0225$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.10625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.10625)(0.1) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.1) = 0.01875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.1) = 0.00421875$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.7)(0.0371875) + \frac{1}{4}(0.7)(0.0225) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0371875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0225) = 0.02421875$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.7)(0.0371875) + \frac{1}{4}(0.7)(0.0225) = 0.016953125$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.7)(0.0225) + \frac{1}{2}(0.7)(0.00421875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0371875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0225) = 0.0126796875$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.7)(0.0225) + \frac{1}{2}(0.7)(0.00421875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.0225) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00421875) = 0.007734375$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.3)(0.0225) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00421875) = 0.00369140625$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.41 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 9

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.85
4	0.7
5	0.775

ตารางที่ 4.42 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 9

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.595
4	0.595
5	0.5425

ตารางที่ 4.43 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 9

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.36
4	0.49625
5	0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.44 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 9

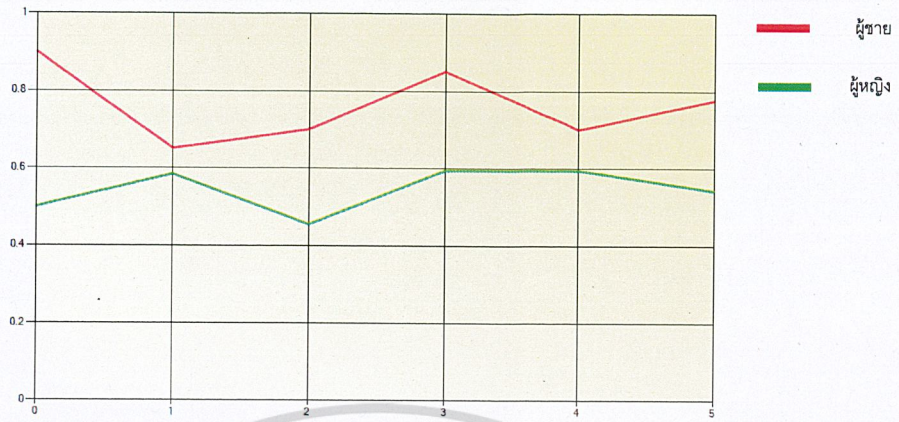
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.15
4	0.3
5	0.225

ตารางที่ 4.45 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 9

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.045
4	0.045
5	0.0675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

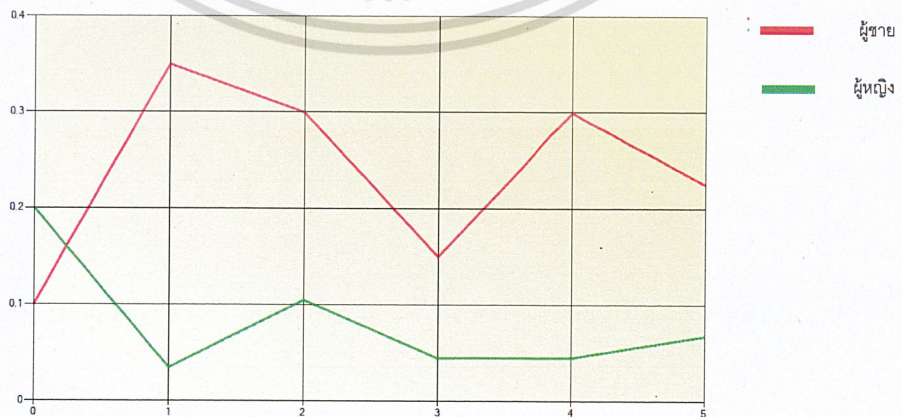
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.77 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 9



รูปที่ 4.78 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.79 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 9  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 10

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.10625$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) = 0.074375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.045$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01875$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01125$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.045) + \frac{1}{2}(0.8)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.045) = 0.0484375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.045) = 0.0096875$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.045) + \frac{1}{2}(0.2)(0.01125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.045) = 0.042125$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.045) + \frac{1}{2}(0.2)(0.01125) + \frac{1}{4}(0.8)(0.045) + \frac{1}{2}(0.8)(0.01125) = 0.016875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.045) + \frac{1}{2}(0.8)(0.01125) = 0.02025$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.0484375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0484375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.016875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.016875)(0.3) = 0.0179609375$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.0484375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0484375)(0.3) = 0.0133203125$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.0484375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0484375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.016875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.016875)(0.3) = 0.0155390625$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.0484375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0484375)(0.3) + \frac{1}{4}(0.016875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.016875)(0.3) = 0.0146953125$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.016875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.016875)(0.3) = 0.003796875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.46 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 10

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.85
4	0.775
5	0.55

ตารางที่ 4.47 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 10

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.595
4	0.155
5	0.42625

ตารางที่ 4.48 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 10

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.36
4	0.665
5	0.4725

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.49 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 10

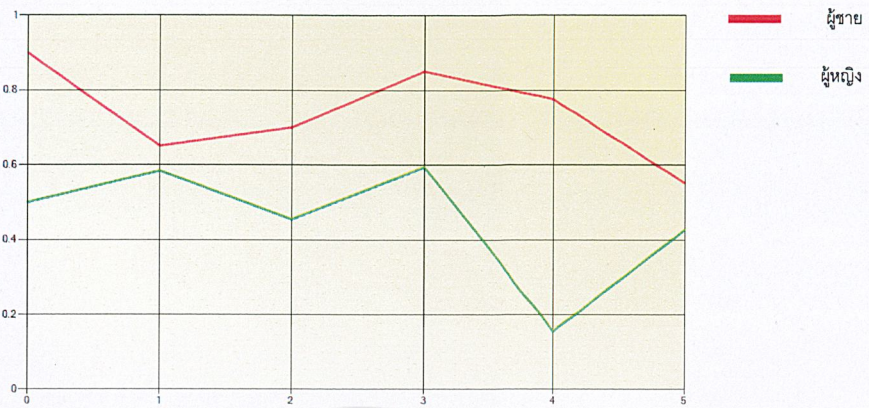
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.15
4	0.225
5	0.45

ตารางที่ 4.50 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 10

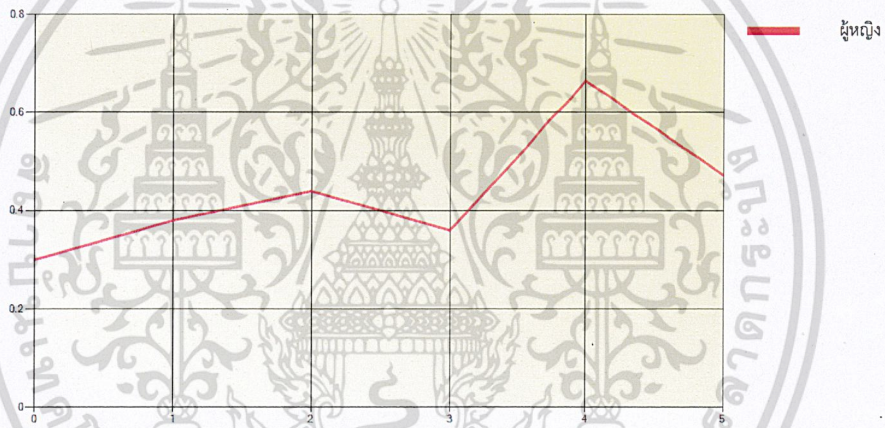
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.045
4	0.18
5	0.10125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

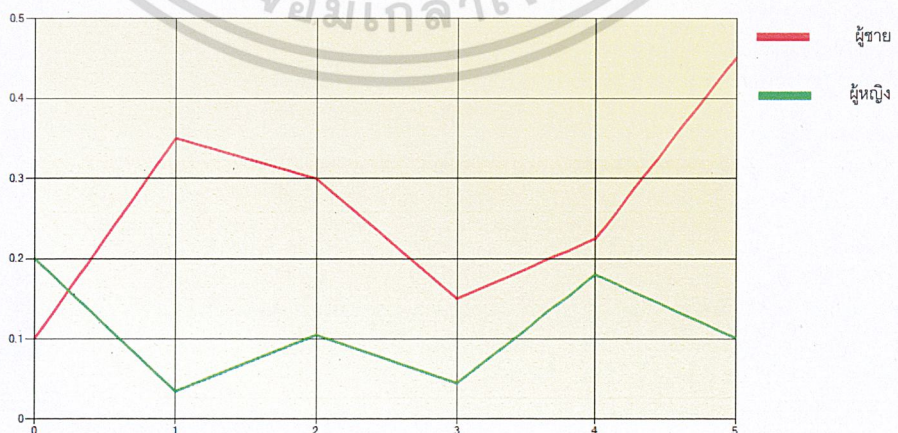
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.80 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรไม่เป็นโรคในกรณีที่ 10



รูปที่ 4.81 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.82 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 10 ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีศึกษา 11

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*a*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*d*) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*b*) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*c*) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (*e*) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.084375$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) = 0.0253125$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.07125$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.040625$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.04309375$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.084375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) = 0.04375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.084375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) = 0.026875$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.084375)(0.1) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) = 0.02953125$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.084375)(0.1) + \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.1) = 0.01875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.1) = 0.009140625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.04375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.04375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) = 0.0171875$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.04375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.04375)(0.4) = 0.01203125$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.04375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.04375)(0.1) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.5) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) = 0.015$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.04375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.04375)(0.1) + \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.1) = 0.0140625$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.01875)(0.4) + \frac{1}{2}(0.01875)(0.1) = 0.00421875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.51 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 11

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.85
4	0.7
5	0.55

ตารางที่ 4.52 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 11

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.595
4	0.4725
5	0.385

ตารางที่ 4.53 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 11

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.36
4	0.43
5	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.54 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณี 11

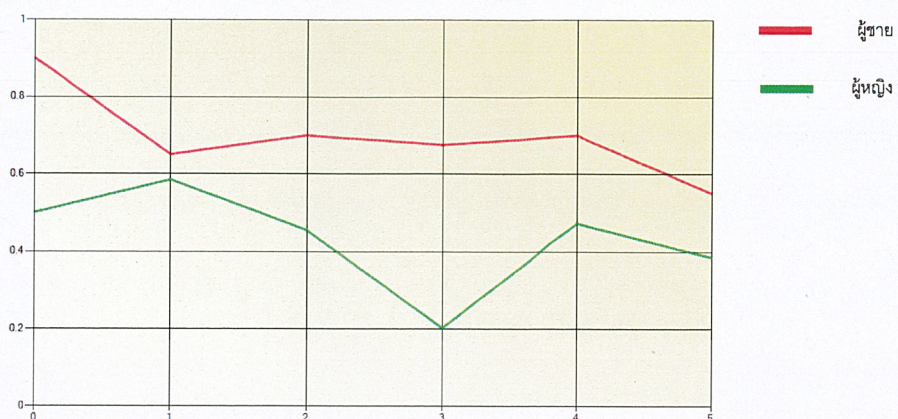
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.15
4	0.3
5	0.45

ตารางที่ 4.55 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณี 11

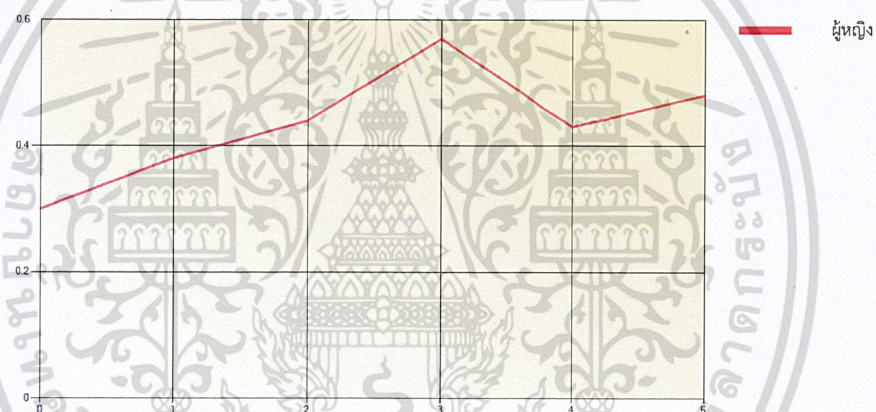
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.045
4	0.0975
5	0.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

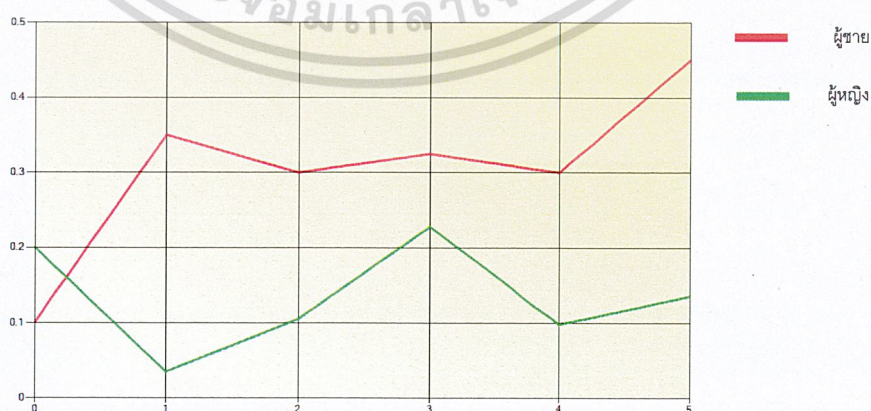
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.83 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 11



รูปที่ 4.84 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 11



รูปที่ 4.85 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นหนังสือระเบียบข้อบังคับด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 12

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n = 0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n = 1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n = 2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.084375$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) = 0.0253125$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.07125$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.040625$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.04309375$$

เมื่อ  $n = 3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) = 0.03046875$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) = 0.00609375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.2)(0.04309375) + \frac{1}{2}(0.8)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) = 0.032246875$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.2)(0.04309375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.04309375) = 0.039359375$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.04309375) = 0.03711875$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_s = \frac{1}{2}(0.03046875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.03046875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.039359375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.039359375)(0.3) = 0.019202734375$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.03046875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.03046875)(0.3) = 0.00837890625$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.03046875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.03046875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.039359375)(0.4) + \frac{1}{4}(0.039359375)(0.3) = 0.017679296875$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.03046875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.03046875)(0.3) + \frac{1}{4}(0.039359375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.039359375)(0.3) = 0.0158711328125$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.039359375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.039359375)(0.3) = 0.008855859375$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.56 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 12

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.675
4	0.4875
5	0.55

ตารางที่ 4.57 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 12

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.2025
4	0.0975
5	0.268125

ตารางที่ 4.58 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 12

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.57
4	0.4925
5	0.50125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.59 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 12

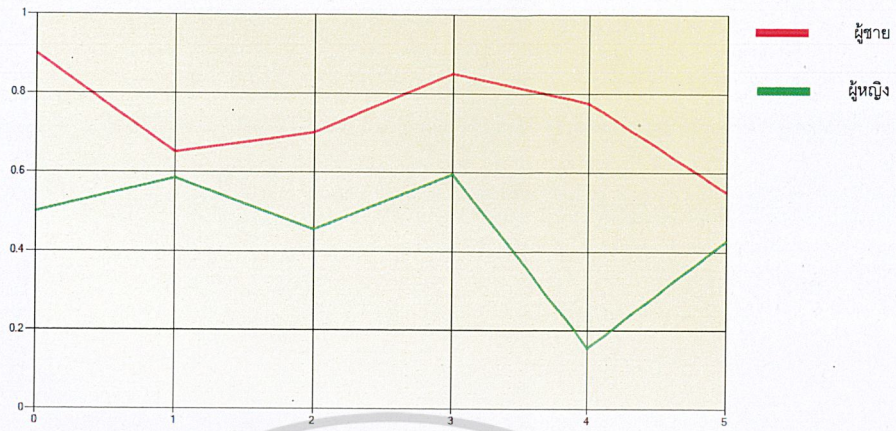
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.325
4	0.5125
5	0.45

ตารางที่ 4.60 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 12

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.2275
4	0.41
5	0.230625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

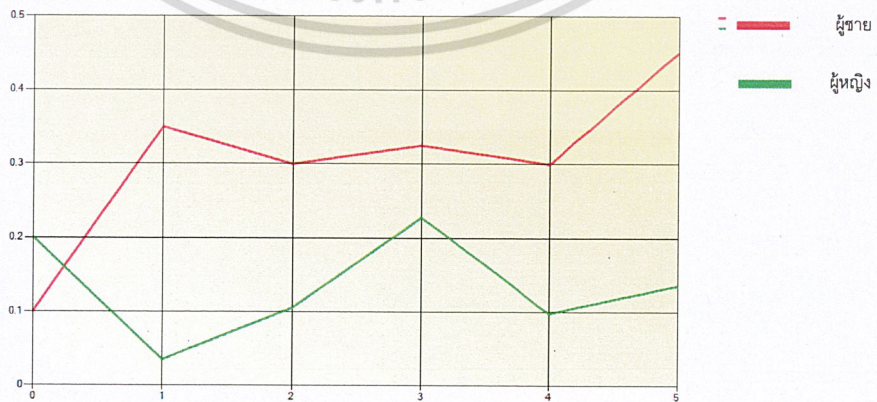
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.86 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 12



รูปที่ 4.87 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.88 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 12 ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 13

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n = 0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n = 1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n = 2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.10625$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.175)(0.7) + \frac{1}{4}(0.175)(0.3) = 0.074375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{2}(0.075)(0.7) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) = 0.045$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.175)(0.3) + \frac{1}{2}(0.175)(0) + \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01875$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.075)(0.3) + \frac{1}{2}(0.075)(0) = 0.01125$$

เมื่อ  $n = 3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.045) + \frac{1}{2}(0.8)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.045) = 0.0484375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.045) = 0.0096875$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.045) + \frac{1}{2}(0.2)(0.01125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.074375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.045) = 0.042125$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.045) + \frac{1}{2}(0.2)(0.01125) + \frac{1}{4}(0.8)(0.045) + \frac{1}{2}(0.8)(0.01125) = 0.016875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.045) + \frac{1}{2}(0.8)(0.01125) = 0.02025$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$

$$a_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.0096875) + \frac{1}{4}(0.7)(0.042125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0096875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.042125) = 0.015375$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.0096875) + \frac{1}{4}(0.7)(0.042125) = 0.0107625$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.042125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02025) + \frac{1}{2}(0.3)(0.0096875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.042125) = 0.019071875$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.042125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02025) + \frac{1}{4}(0.3)(0.042125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02025) = 0.02065625$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.3)(0.042125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02025) = 0.0078375$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.61 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 13

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.85
4	0.775
5	0.55

ตารางที่ 4.62 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 13

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.595
4	0.155
5	0.42625

ตารางที่ 4.63 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 13

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.36
4	0.665
5	0.4725

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.64 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 13

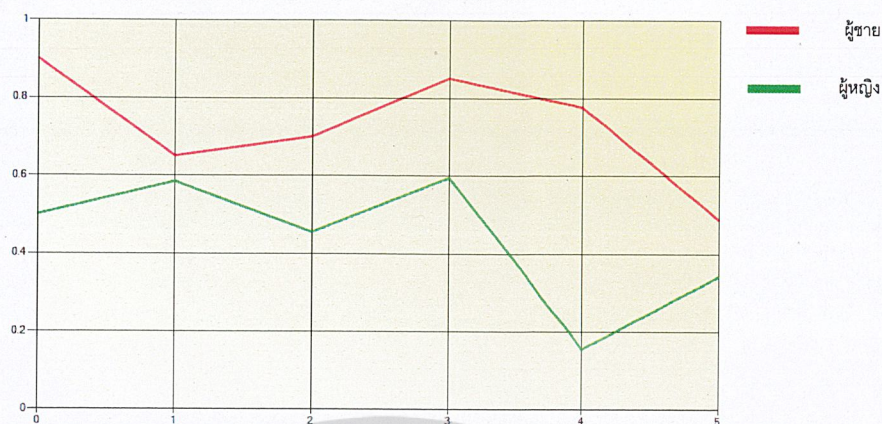
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.15
4	0.225
5	0.45

ตารางที่ 4.65 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 13

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.045
4	0.18
5	0.10125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

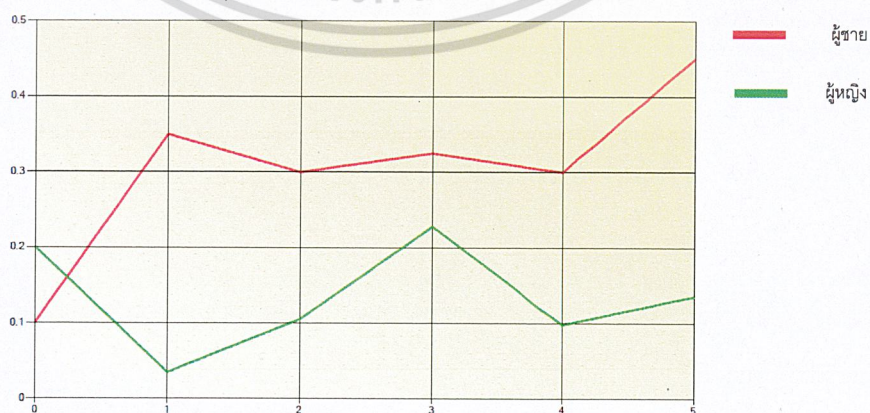
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.89 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 13



รูปที่ 4.90 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 13



รูปที่ 4.91 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 14

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $a$ ) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $b$ ) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $c$ ) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $d$ ) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $e$ ) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $b$ ) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $c$ ) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $e$ ) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $a$ ) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $d$ ) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $a$ ) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $d$ ) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $a$ ) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $d$ ) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.084375$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) = 0.0253125$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.07125$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.040625$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.04309375$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) = 0.03046875$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) = 0.00609375$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.2)(0.04309375) + \frac{1}{2}(0.8)(0.0253125) + \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) = 0.032246875$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.2)(0.04309375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.04309375) = 0.039359375$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.07125) + \frac{1}{2}(0.8)(0.04309375) = 0.03711875$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$n = 4$$

$$a_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.00609375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.032246875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00609375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.032246875) = 0.01110859375$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.00609375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.032246875) = 0.007776015625$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.032246875) + \frac{1}{2}(0.7)(0.03711875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.00609375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.032246875) = 0.02196734375$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.032246875) + \frac{1}{2}(0.7)(0.03711875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.032246875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.03711875) = 0.02662109375$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.3)(0.032246875) + \frac{1}{2}(0.3)(0.03711875) = 0.0076209375$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.66 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 14

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.675
4	0.4875
5	0.34375

ตารางที่ 4.67 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 14

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.2025
4	0.0975
5	0.240625

ตารางที่ 4.68 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 14

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.57
4	0.4925
5	0.5625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.69 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 14

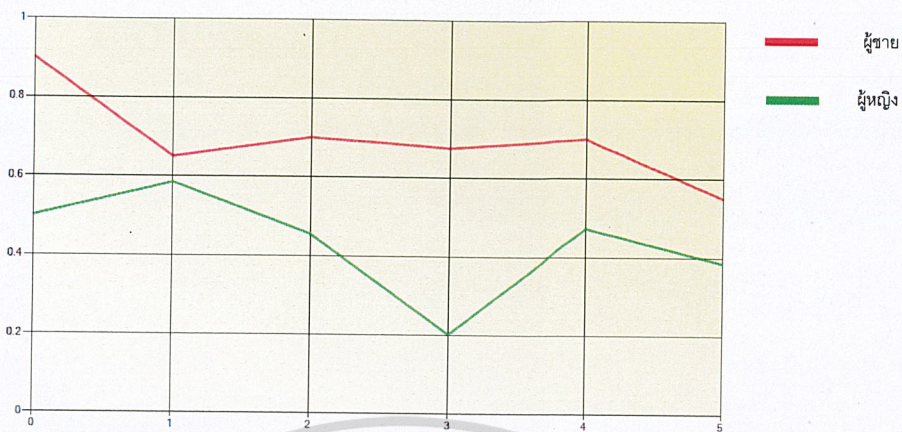
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.325
4	0.5125
5	0.65625

ตารางที่ 4.70 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 14

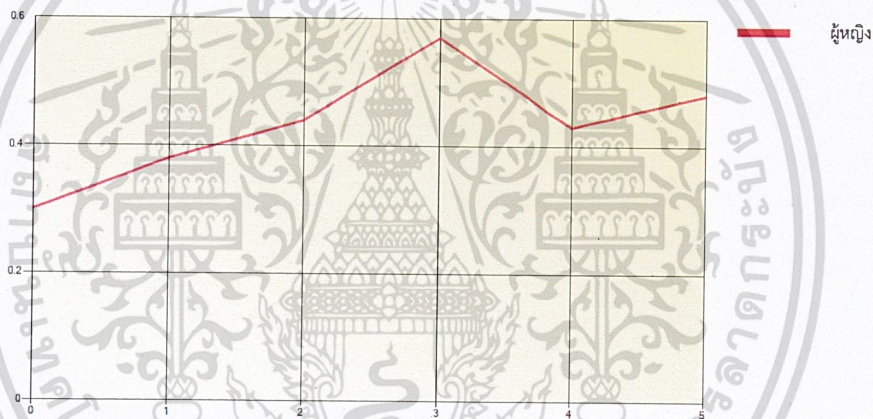
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.2275
4	0.41
5	0.196875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

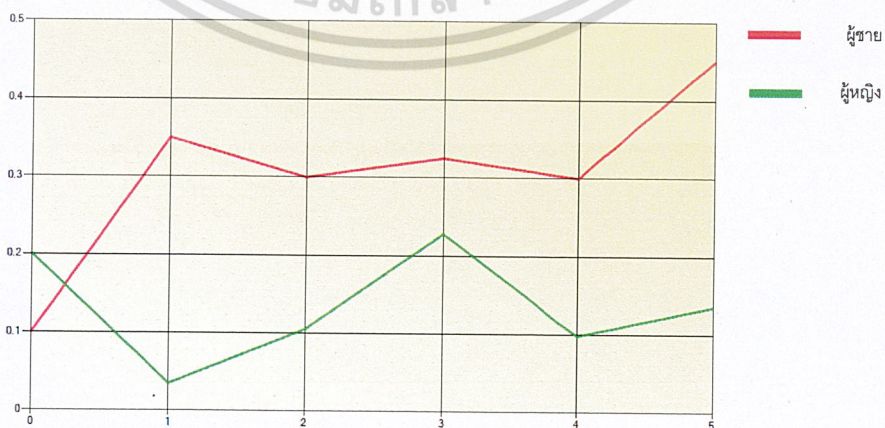
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.92 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 14



รูปที่ 4.93 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปไว้สำหรับการใช้แบบฝึกหัดการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 4.94 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 14  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 15

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.7

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.1

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสียงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n = 0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n = 1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.175$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.325)(0.6) + \frac{1}{4}(0.325)(0.2) = 0.11375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.6) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) = 0.11$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.325)(0.2) + \frac{1}{2}(0.325)(0.2) + \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.075$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.175)(0.2) + \frac{1}{2}(0.175)(0.2) = 0.02625$$

เมื่อ  $n = 2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.084375$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.3)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.3)(0.11) = 0.0253125$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{2}(0.7)(0.11375) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) = 0.07125$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.3)(0.11) + \frac{1}{2}(0.3)(0.02625) + \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.040625$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.7)(0.11) + \frac{1}{2}(0.7)(0.02625) = 0.04309375$$

เมื่อ  $n = 3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.084375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) = 0.04375$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.084375)(0.5) + \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) = 0.026875$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.084375)(0.1) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.5) + \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) = 0.02953125$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.084375)(0.4) + \frac{1}{2}(0.084375)(0.1) + \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.1) = 0.01875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.040625)(0.4) + \frac{1}{2}(0.040625)(0.1) = 0.009140625$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$

$$a_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.026875) + \frac{1}{4}(0.7)(0.02953125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.026875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.02953125) = 0.021484375$$

$$b_s = \frac{1}{2}(0.7)(0.026875) + \frac{1}{4}(0.7)(0.02953125) = 0.0150390625$$

$$c_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.02953125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.009140625) + \frac{1}{2}(0.3)(0.026875) + \frac{1}{4}(0.3)(0.02953125) = 0.01434765625$$

$$d_s = \frac{1}{4}(0.7)(0.02953125) + \frac{1}{2}(0.7)(0.009140625) + \frac{1}{4}(0.3)(0.02953125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.009140625) = 0.0112890625$$

$$e_s = \frac{1}{4}(0.3)(0.02953125) + \frac{1}{2}(0.3)(0.009140625) = 0.004716796875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.71 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 15

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.7
3	0.675
4	0.7
5	0.6875

ตารางที่ 4.72 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 15

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.455
3	0.2025
4	0.4725
5	0.48125

ตารางที่ 4.73 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 15

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.44
3	0.57
4	0.43
5	0.425

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.74 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 15

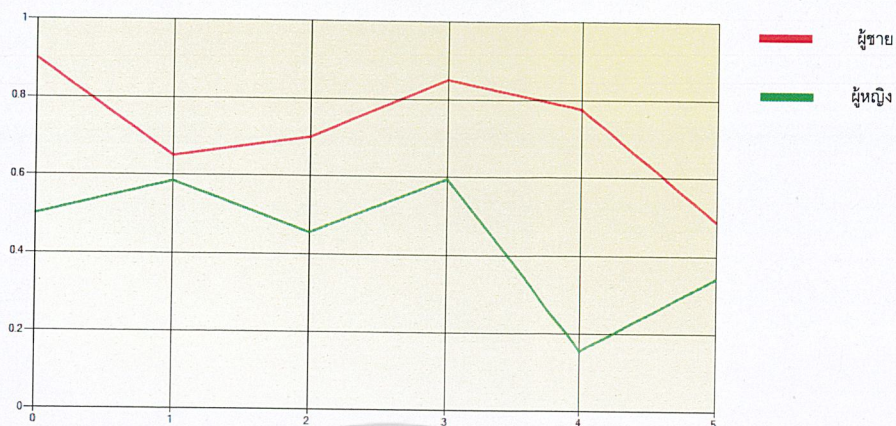
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.3
3	0.325
4	0.3
5	0.3125

ตารางที่ 4.75 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 15

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.105
3	0.2275
4	0.0975
5	0.09375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

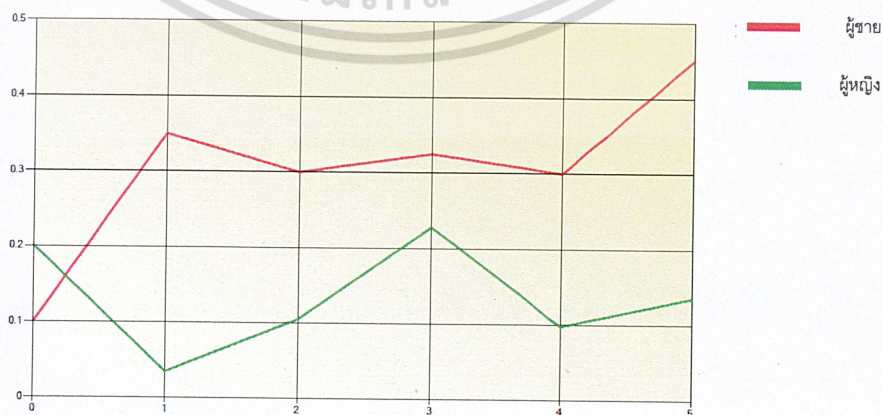
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.95 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที 15



รูปที่ 4.96 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที 15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... รูปที่ 4.97 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที 15  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณี 16

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.9
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.5
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.1
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.2

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 1 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.6
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.4

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 2 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0

ถ้าเลือกเพศหญิงในรุ่นที่ 3 มาจับคู่กับเพศชายที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (a) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (d) เป็น 0.8

ถ้าเลือกเพศชายในรุ่นที่ 4 มาจับคู่กับเพศหญิงที่มีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (b) เป็น 0.4
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (c) เป็น 0.3
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD (e) เป็น 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.325$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.9)(0.5) + \frac{1}{4}(0.9)(0.3) = 0.2925$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{2}(0.1)(0.5) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) = 0.19$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.9)(0.3) + \frac{1}{2}(0.9)(0.2) + \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.175$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.1)(0.3) + \frac{1}{2}(0.1)(0.2) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.19375$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.6)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.6)(0.19) = 0.174375$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{2}(0.4)(0.2925) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) = 0.071125$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.6)(0.19) + \frac{1}{2}(0.6)(0.02) + \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.0575$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.19) + \frac{1}{2}(0.4)(0.02) = 0.01$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.10678125$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.19375)(0.7) + \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) = 0.08234375$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{2}(0.0575)(0.7) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) = 0.03896875$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.19375)(0.3) + \frac{1}{2}(0.19375)(0) + \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.01884375$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.0575)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0575)(0) = 0.008625$$

เมื่อ  $n=3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) = 0.0509140625$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.2)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) = 0.0101828125$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.2)(0.008625) + \frac{1}{2}(0.8)(0.08234375) + \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) = 0.0435421875$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.2)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.2)(0.008625) + \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.008625) = 0.0140546875$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.8)(0.03896875) + \frac{1}{2}(0.8)(0.008625) = 0.0173125$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 4$ 

$$a_5 = \frac{1}{2}(0.0509140625)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0509140625)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0140546875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0140546875)(0.3) = 0.01786640625$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(0.0509140625)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0509140625)(0.3) = 0.0140013671875$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(0.0509140625)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0509140625)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0140546875)(0.4) + \frac{1}{4}(0.0140546875)(0.3) = 0.015320703125$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(0.0509140625)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0509140625)(0.3) + \frac{1}{4}(0.0140546875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0140546875)(0.3) = 0.01461796875$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(0.0140546875)(0.3) + \frac{1}{2}(0.0140546875)(0.3) = 0.0031623046875$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.76 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 16

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.65
2	0.775
3	0.85
4	0.8125
5	0.55

ตารางที่ 4.77 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 16

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.585
2	0.465
3	0.65875
4	0.1625
5	0.446875

ตารางที่ 4.78 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะในกรณีที่ 16

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.38
2	0.445
3	0.3075
4	0.6875
5	0.46875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.79 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคในกรณีที่ 16

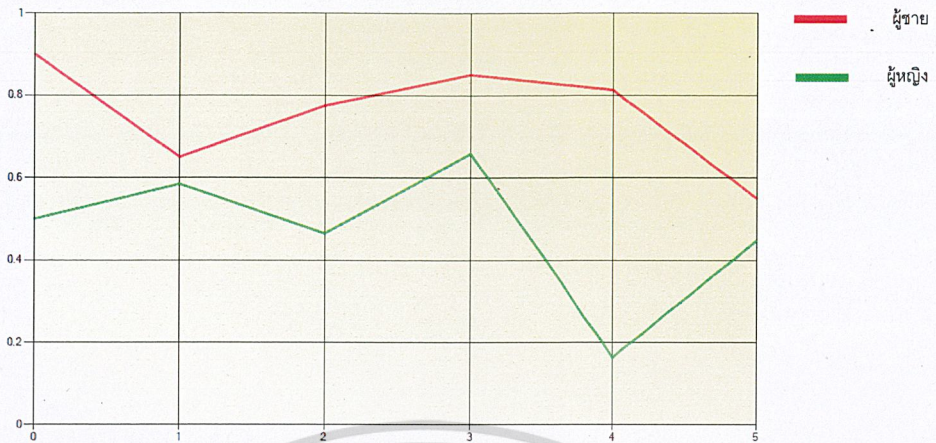
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.35
2	0.225
3	0.15
4	0.1875
5	0.45

ตารางที่ 4.80 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคในกรณีที่ 16

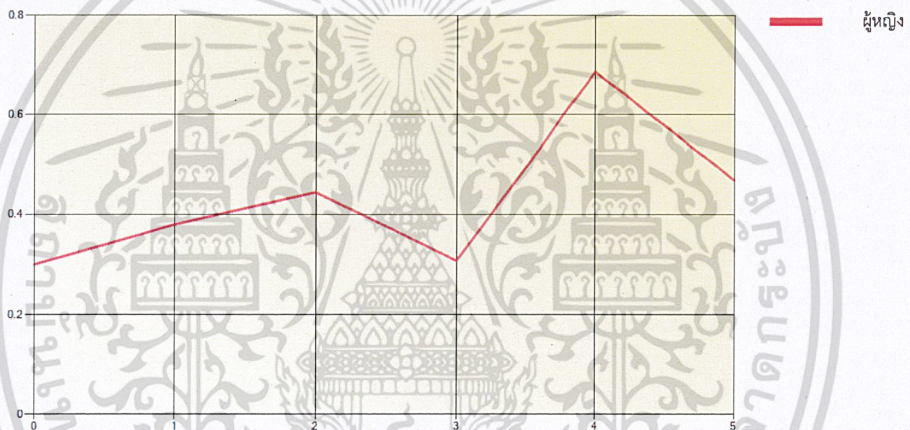
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.035
2	0.09
3	0.03375
4	0.15
5	0.084375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

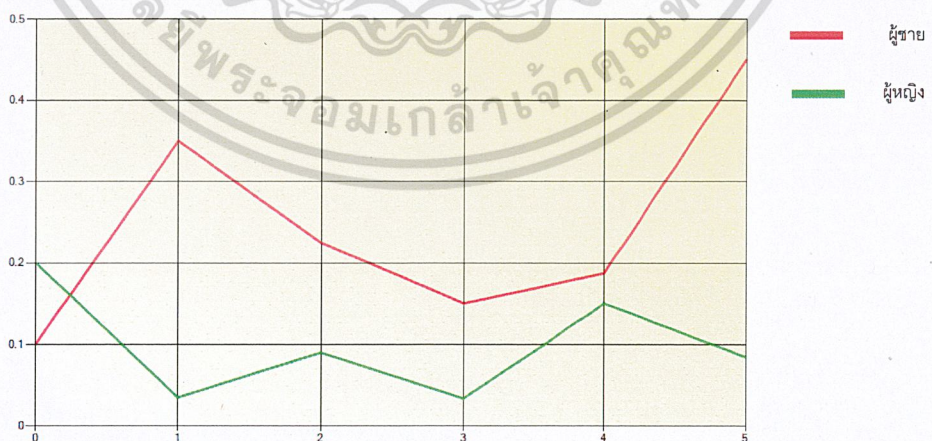
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.98 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 16



รูปที่ 4.99 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 16



รูปที่ 4.100 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 กรณีแต่งงานในเครือญาติ

กำหนดให้ค่าเริ่มต้นมีสัดส่วนของประชากรเพศดังนี้

- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $a$ ) เป็น 0.8
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $b$ ) เป็น 0.7
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $c$ ) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $d$ ) เป็น 0.2
- สัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรคภาวะพร่องเอนไซม์ G6PD ( $e$ ) เป็น 0.1

จะได้ความเสี่ยงของประชากรแต่ละรุ่นดังนี้

เมื่อ  $n=0$

$$a_1 = \frac{1}{2}(0.8)(0.7) + \frac{1}{4}(0.8)(0.2) + \frac{1}{2}(0.2)(0.7) + \frac{1}{4}(0.2)(0.2) = 0.4$$

$$b_1 = \frac{1}{2}(0.8)(0.7) + \frac{1}{4}(0.8)(0.2) = 0.32$$

$$c_1 = \frac{1}{4}(0.8)(0.2) + \frac{1}{2}(0.8)(0.1) + \frac{1}{2}(0.2)(0.7) + \frac{1}{4}(0.2)(0.2) = 0.16$$

$$d_1 = \frac{1}{4}(0.8)(0.2) + \frac{1}{2}(0.8)(0.1) + \frac{1}{4}(0.2)(0.2) + \frac{1}{2}(0.2)(0.1) = 0.1$$

$$e_1 = \frac{1}{4}(0.2)(0.2) + \frac{1}{2}(0.2)(0.1) = 0.02$$

เมื่อ  $n=1$

$$a_2 = \frac{1}{2}(0.4)(0.32) + \frac{1}{4}(0.4)(0.16) + \frac{1}{2}(0.1)(0.32) + \frac{1}{4}(0.1)(0.16) = 0.1$$

$$b_2 = \frac{1}{2}(0.4)(0.32) + \frac{1}{4}(0.4)(0.16) = 0.08$$

$$c_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.16) + \frac{1}{2}(0.4)e_n + \frac{1}{2}(0.1)(0.32) + \frac{1}{4}(0.1)(0.16) = 0.04$$

$$d_2 = \frac{1}{4}(0.4)(0.16) + \frac{1}{2}(0.4)e_n + \frac{1}{4}(0.1)(0.16) + \frac{1}{2}(0.1)(0.02) = 0.025$$

$$e_2 = \frac{1}{4}(0.1)(0.16) + \frac{1}{2}(0.1)(0.02) = 0.005$$

เมื่อ  $n=2$

$$a_3 = \frac{1}{2}(0.1)(0.08) + \frac{1}{4}(0.1)(0.04) + \frac{1}{2}(0.025)(0.08) + \frac{1}{4}(0.025)(0.04) = 0.00625$$

$$b_3 = \frac{1}{2}(0.1)(0.08) + \frac{1}{4}(0.1)(0.04) = 0.005$$

$$c_3 = \frac{1}{4}(0.1)(0.04) + \frac{1}{2}(0.1)(0.005) + \frac{1}{2}(0.025)(0.08) + \frac{1}{4}(0.025)(0.04) = 0.0025$$

$$d_3 = \frac{1}{4}(0.1)(0.04) + \frac{1}{2}(0.1)(0.005) + \frac{1}{4}(0.025)(0.04) + \frac{1}{2}(0.025)(0.005) = 0.0015625$$

$$e_3 = \frac{1}{4}(0.025)(0.04) + \frac{1}{2}(0.025)(0.005) = 0.0003125$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n = 3$

$$a_4 = \frac{1}{2}(0.00625)(0.005) + \frac{1}{4}(0.00625)(0.0025) + \frac{1}{2}(0.0015625)(0.005) + \frac{1}{4}(0.0015625)(0.0025) = 2.4414 \times 10^{-5}$$

$$b_4 = \frac{1}{2}(0.00625)(0.005) + \frac{1}{4}(0.00625)(0.0025) = 1.9531 \times 10^{-5}$$

$$c_4 = \frac{1}{4}(0.00625)(0.0025) + \frac{1}{2}(0.00625)(0.0003125) + \frac{1}{2}(0.0015625)(0.005) + \frac{1}{4}(0.0015625)(0.0025) = 9.7656 \times 10^{-5}$$

$$d_4 = \frac{1}{4}(0.00625)(0.0025) + \frac{1}{2}(0.00625)(0.0003125) + \frac{1}{4}(0.0015625)(0.0025) + \frac{1}{2}(0.0015625)(0.0003125) = 6.1035 \times 10^{-5}$$

$$e_4 = \frac{1}{4}(0.0015625)(0.0025) + \frac{1}{2}(0.0015625)(0.0003125) = 1.2207 \times 10^{-5}$$

เมื่อ  $n = 4$

$$a_5 = \frac{1}{2}(2.4414 \times 10^{-5})(1.9531 \times 10^{-5}) + \frac{1}{4}(2.4414 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) + \frac{1}{2}d_4(1.9531 \times 10^{-5}) + \frac{1}{4}(6.1035 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) = 3.7253 \times 10^{-10}$$

$$b_5 = \frac{1}{2}(2.4414 \times 10^{-5})(1.9531 \times 10^{-5}) + \frac{1}{4}(2.4414 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) = 2.9802 \times 10^{-10}$$

$$c_5 = \frac{1}{4}(2.4414 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) + \frac{1}{2}(2.4414 \times 10^{-5})(1.2207 \times 10^{-5}) + \frac{1}{2}(6.1035 \times 10^{-5})(1.9531 \times 10^{-5}) + \frac{1}{4}(6.1035 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) = 1.4901 \times 10^{-10}$$

$$d_5 = \frac{1}{4}(2.4414 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) + \frac{1}{2}(2.4414 \times 10^{-5})(1.2207 \times 10^{-5}) + \frac{1}{4}(6.1035 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) + \frac{1}{2}(6.1035 \times 10^{-5})(1.2207 \times 10^{-5}) = 9.3132 \times 10^{-11}$$

$$e_5 = \frac{1}{4}(6.1035 \times 10^{-5})(9.7656 \times 10^{-5}) + \frac{1}{2}(6.1035 \times 10^{-5})(1.2207 \times 10^{-5}) = 1.8626 \times 10^{-11}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 4.81 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนประชากรเพศชายที่ไม่เป็นโรค
1	0.8
2	0.8
3	0.8
4	0.8
5	0.8

ตารางที่ 4.82 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนประชากรเพศหญิงที่ไม่เป็นโรค
1	0.64
2	0.64
3	0.64
4	0.64
5	0.64

ตารางที่ 4.83 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ

ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนประชากรเพศหญิงที่เป็นพาหะ
1	0.32
2	0.32
3	0.32
4	0.32
5	0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.84 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศชายที่เป็นโรค

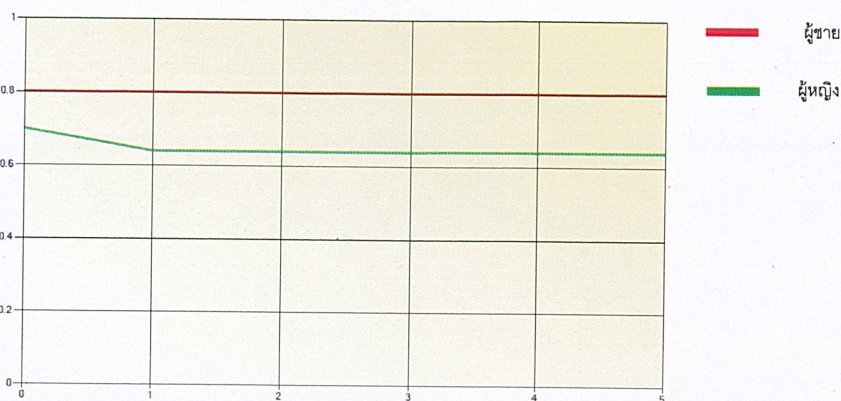
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนประชากรเพศชายที่เป็นโรค
1	0.2
2	0.2
3	0.2
4	0.2
5	0.2

ตารางที่ 4.85 ตารางแสดงสัดส่วนของประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค

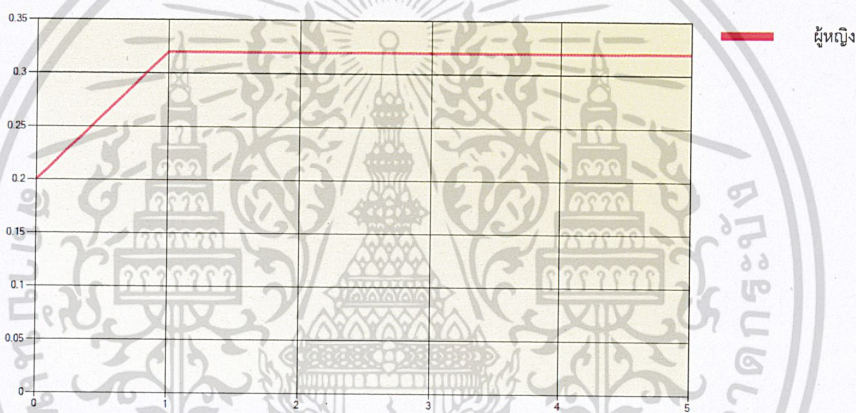
ประชากรรุ่นที่	สัดส่วนประชากรเพศหญิงที่เป็นโรค
1	0.04
2	0.04
3	0.04
4	0.04
5	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

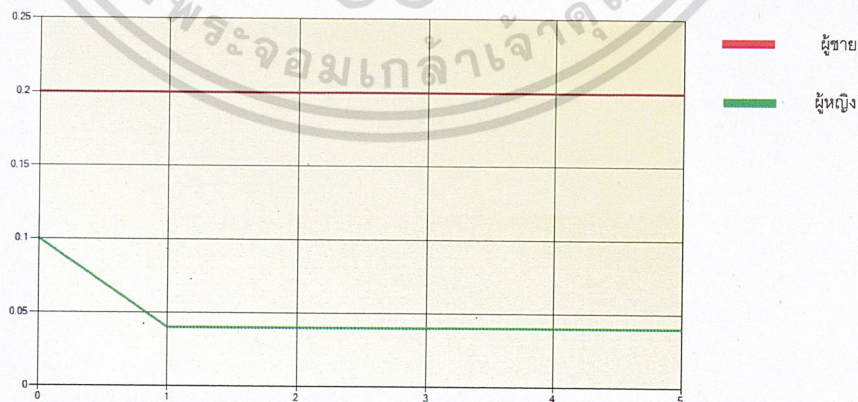
ได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.98 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคในกรณีที่ 16



รูปที่ 4.99 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะในกรณีที่ 16



รูปที่ 4.100 กราฟแสดงสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคในกรณีที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษและข้อเสนอแนะ

## 5.1 วิเคราะห์ผลงานวิจัย

จะได้ว่าความเสี่ยงของประชากรที่ไม่เป็นโรค ความเสี่ยงประชากรที่เป็นพาหะโรคพร่อง  
เอนไซม์ G6PD และ ความเสี่ยงประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD คำนวณได้จาก

$$a_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$b_{n+1} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n$$

$$c_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$d_{n+1} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

$$e_{n+1} = \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

โดยที่  $n$  แทนประชากรรุ่นที่  $n$  และ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

จะได้ว่าความเสี่ยงของประชากรที่ไม่เป็นโรค ความเสี่ยงประชากรที่เป็นพาหะโรคพร่อง  
เอนไซม์ G6PD และ ความเสี่ยงประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD คำนวณได้จาก

กำหนดให้

$$\delta_{a_{n+1}} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$\delta_{b_{n+1}} = \frac{1}{2}a_n b_n + \frac{1}{4}a_n c_n$$

$$\delta_{c_{n+1}} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{2}d_n b_n + \frac{1}{4}d_n c_n$$

$$\delta_{d_{n+1}} = \frac{1}{4}a_n c_n + \frac{1}{2}a_n e_n + \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

$$\delta_{e_{n+1}} = \frac{1}{4}d_n c_n + \frac{1}{2}d_n e_n$$

โดยที่  $n$  แทนประชากรรุ่นที่  $n$  และ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

สัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรค สัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะโรคพร่อง

เอนไซม์ G6PD และ สัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD คำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่  
- กรณีแต่งงานนอกเครือญาติ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_{a_{n+1}} = 2^n \delta_{a_{n+1}}$$

$$\beta_{b_{n+1}} = 2^n \delta_{b_{n+1}}$$

$$\beta_{c_{n+1}} = 2^n \delta_{c_{n+1}}$$

$$\beta_{d_{n+1}} = 2^n \delta_{d_{n+1}}$$

$$\beta_{e_{n+1}} = 2^n \delta_{e_{n+1}}$$

โดยที่  $n$  แทนประชากรรุ่นที่  $n$  และ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

- กรณีแต่งงานในเครือญาติ

$$\beta_{a_{n+1}} = \left(2^{2^n - 1}\right) \delta_{a_{n+1}}$$

$$\beta_{b_{n+1}} = \left(2^{2^n - 1}\right) \delta_{b_{n+1}}$$

$$\beta_{c_{n+1}} = \left(2^{2^n - 1}\right) \delta_{c_{n+1}}$$

$$\beta_{d_{n+1}} = \left(2^{2^n - 1}\right) \delta_{d_{n+1}}$$

$$\beta_{e_{n+1}} = \left(2^{2^n - 1}\right) \delta_{e_{n+1}}$$

โดยที่  $n$  แทนประชากรรุ่นที่  $n$  และ  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์จากค่าความเสี่ยงที่จะเกิดโรคของแต่ละรุ่นแล้วพบว่าความเสี่ยงของการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และการเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD จะลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดไป

แต่ถ้าวิเคราะห์จากสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรค สัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และ สัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD จะพบว่าในกรณีแต่งงานนอกเครือญาติค่าจะเปลี่ยนไปตามการรับค่าสัดส่วนของประชากรใหม่ในแต่ละรุ่น แต่กรณีแต่งงานในเครือญาติสัดส่วนของประชากรในรุ่นถัดไปจะพบว่าสัดส่วนของประชากรที่ไม่เป็นโรคจะมากกว่าสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 สรุปผลงานวิจัย

สำหรับปัญหาพิเศษนี้เป็นการนำความรู้ในเรื่องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับการลดสัดส่วนของผู้ป่วยโรคพร่องเอนไซม์ G6PD สำหรับปัญหาพิเศษนี้เป็นการวิเคราะห์โอกาสของการเกิดโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ซึ่งเป็นโรคที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรมผ่านทางโครโมโซม  $X$

ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการวางแผนครอบครัวโดยใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์โอกาสที่เป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ร่วมกับการปรึกษาแพทย์ในการวางแผนการมีบุตรโดยพิจารณาจากสัดส่วนยีนของบิดาและมารดาว่าเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD หรือเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD หรือไม่ และนำสัดส่วนยีนของบิดามารดามาวิเคราะห์เพื่อหาโอกาสที่บุตรจะเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD หรือ เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

อันตรายที่เกิดจากโรคพร่องเอนไซม์ G6PD หากผู้ป่วยที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD รับประทานอาหารที่มีสารกระตุ้นอนุมูลอิสระเข้าไป จะเกิดการสลายของเซลล์เม็ดเลือดแดง หากคู่สมรสที่ต้องการจะมีบุตร แล้วพบว่าตนเป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD หรือเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD จะต้องรับความเสี่ยงที่บุตรจะเกิดมามีโอกาสเป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD

ทางคณะผู้จัดทำได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการหาสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงเป็นกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา ซึ่งพบว่าสัดส่วนของประชากรที่เป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และสัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD จะลดลงเรื่อยๆ ในรุ่นถัดไปจนค่าเข้าใกล้ศูนย์

### - ข้อดี

มีความสะดวกในการหาสัดส่วนของประชากรเพศที่เป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และ สัดส่วนของประชากรที่เป็นโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ผลลัพธ์สุดท้ายจะแสดงออกมาเป็นกราฟซึ่งง่ายต่อการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

### - ข้อเสีย

ส่วนผลลัพธ์ของสัดส่วนของประชากรเพศที่เป็นพาหะของโรคพร่องเอนไซม์ G6PD และสัดส่วนของประชากรโรคพร่องเอนไซม์ G6PD ในรุ่นต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจะวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากตัวเลขได้ยาก

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบโปรแกรมที่สามารถเพิ่มข้อมูลและบันทึกไว้ในฐานข้อมูลได้
2. นำโค้ดที่หลากหลายมาเพิ่มในโปรแกรมเพื่อให้มีฟังก์ชันในการทำงานที่สะดวกมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- พอน สิงหามাত্র และ คณะ(2552).การศึกษาทางเคมีและโมเลกุลของกลูโคส 6 ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนสในเม็ดเลือดแดง ใน กุมารเวชสาร ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 กย.-ธค. 2552.หน้าที่157-165.  
กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ ชัยเจริญ
- มัลทิเปิลแอลลีลกับระบบหมู่เลือดในคน (2501) ใน <http://e-book.ram.edu/>  
สืบค้นจาก [http://e-book.ram.edu/e-book/b/BI251\(51\)/bi251-6](http://e-book.ram.edu/e-book/b/BI251(51)/bi251-6) 2.
- วิน เขยชมสร (2550) โลหิตวิทยา  
สืบค้นจาก <http://pirun.ku.ac.th/~fsciwcc/HEMATO2.PDF>
- ศุภชัย สมพานิช (2559) Professional Visual Basic 2015.นนทบุรี :ไอดีซี
- สมชาย โสภณธฤทธิ์(2540) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์  
สืบค้นจาก [http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2033/5/299622\\_ch5.pdf](http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2033/5/299622_ch5.pdf)
- หนึ่งฤทัย นิลสร(2556).ความชุกของภาวะพร่องเอนไซม์กลูโคส 6 ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนสของชนเผ่าที่อาศัยอยู่ในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประเภท การศึกษาเบื้องต้น ใน วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ ปีที่47 ฉบับที่ 1 .หน้า 18-22.พิษณุโลก : โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- อาภากร กาญจนวิทยากุล และ คณะ (2555).ความชุกของภาวะพร่องเอนไซม์กลูโคส 6-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส และ ความหลากหลายทางพันธุกรรมของยีนG6PDในชาวกะเหรี่ยง ใน Pharmacy Profession in Harmony . หน้า 159-164.ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อิศรางค์ นุชประยูร(2556).ภาวะพร่องเอนไซม์G6PD ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ใน วารสารการประชุมวิชาการพันธุศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 18.หน้าที่ 23-27.กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Paul Schick ( 2016) Glucose- 6- Phosphate Dehydrogenase ( G6PD) Deficiency Available from <http://emedicine.medscape.com/article/200390-overview#a4>