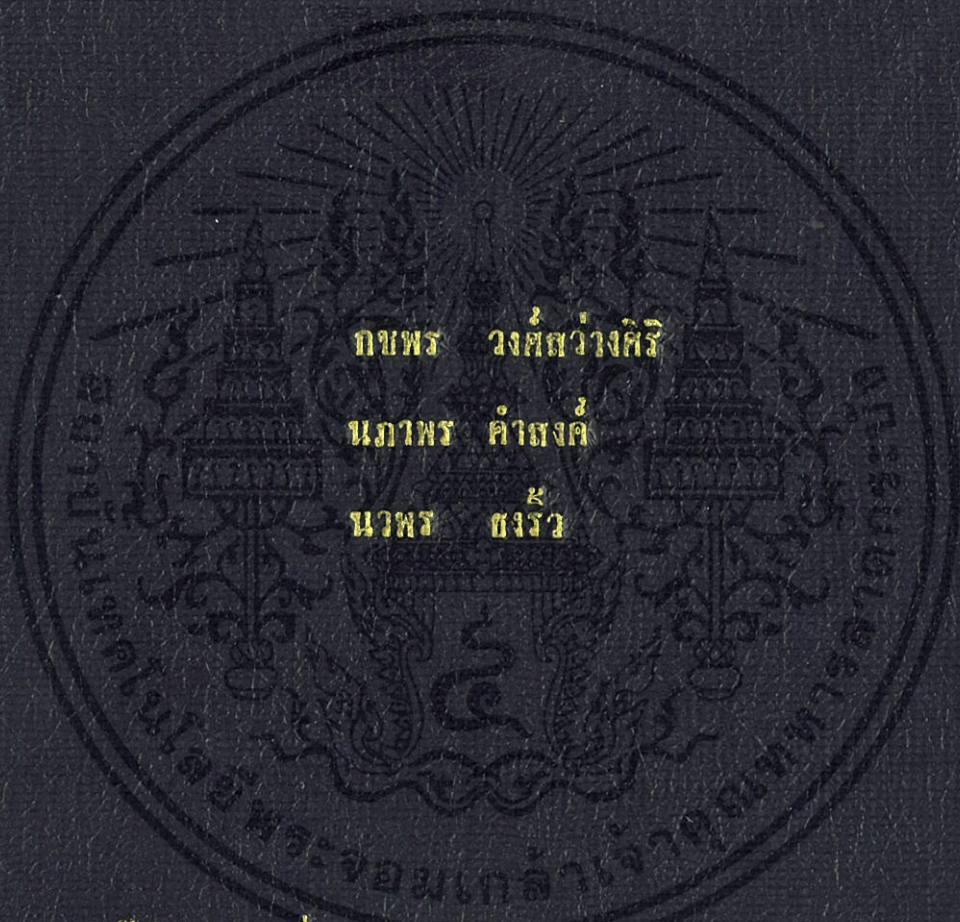


แบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย
CERVICAL CANCER MODEL IN THAILAND



กษพร วงศ์สว่างศิริ

นภาพร คำสงค์

นภาพร ชงรว

ปัญหาพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

แบบจำลองโรคมะเร็งเรื้องปากลมดลูกในประเทศไทย
CERVICAL CANCER MODEL IN THAILAND



กชพร วงศ์สว่างศิริ
นภาพร คำสงค์
นภาพร ธงธีว

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2556 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CERVICAL CANCER MODEL IN THAILAND



KOTCHAPORN WONGSAWANGSIRI
NAPAPORN KHAMSONG
NAVAPORN TONGRIEW

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED MATHEMATICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2013** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ แบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย
Cervical Cancer Model in Thailand

ชื่อนักศึกษา นางสาวกชพร วงศ์สว่างศิริ 53050001
นางสาวนภาพร คำสงค์ 53050050
นางสาวนวพร ธงรีว 53050059

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
หลักสูตร คณิตศาสตร์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (คณิตศาสตร์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์ ประธานกรรมการ	
อ.เทิดขวัญ ช่างเผือก กรรมการ	
รศ.ดร.พันธินี พงศ์สัมพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	แบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย Cervical Cancer Model in Thailand		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกชพร วงศ์สว่างศิริ	53050001	
	นางสาวนภาพร คำสงค์	53050050	
	นางสาวนวพร ธงรวิ	53050059	
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
หลักสูตร	คณิตศาสตร์ประยุกต์		
ปีการศึกษา	2556		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พนธนี พงศ์สัมพันธ์		

บทคัดย่อ

ปัญหาพิเศษนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นแนวทางในการลดแนวโน้มของจำนวนผู้ที่จะเป็นโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย ผู้จัดทำได้นำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อนำไปเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทยต่อไป การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้จากการศึกษาเชื้อ Human Papilloma Virus (HPV) ซึ่งเป็นเชื้อที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งปากมดลูก ผู้จัดทำได้พิจารณาลักษณะการแพร่กระจายของโรค ประชากรผู้ป่วยในแต่ละภาค ช่วงอายุ การวินิจฉัยโรคมะเร็งปากมดลูก และระยะของโรคตามรายปีแล้วจึงนำข้อมูลของผู้ป่วยและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลเฉลยเชิงตัวเลขได้นำมาแสดงโดยการใช้โปรแกรม ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถใช้เพื่อเป็นแนวทางการหาวิธีการลดจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

คำสำคัญ: โรคมะเร็งปากมดลูก ไวรัสหูด สมการเชิงอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Problem Title	Cervical Cancer Model in Thailand	
Students	Ms.Kotchaporn Wongsawangsi	53050001
	Ms.Napaporn Khamsong	53050050
	Ms.Navaporn Thongriew	53050059
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Applied Mathematics	
Academic Year	2013	
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Puntani Pongsumpun	

ABSTRACT

The purpose of this special problem is to decrease the trend of Cervical Cancer in Thailand. We apply the mathematical knowledge for finding the appropriate model. This will be helpful for controlling Human Papilloma Virus (HPV) disease in Thailand. The mathematical model is created by learning that HPV, HPV is the main cause of Cervical Cancer. We consider the yearly Cervical Cancer cases by type of extensions, regions, age-groups, diagnosis and stages. Then we take the real data and mathematical theorem to formulate the mathematical model. The numerical results are shown by the created program. The results of this study would be an alternative way to decrease the Cervical Cancer cases in Thailand.

Keywords: Cervical Cancer, Human Papilloma Virus, Differential equations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งจะสำเร็จได้เนื่องจากได้รับคำแนะนำ และตอบคำถามต่างๆในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ปัญหาพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พันธณี พงศ์สัมพันธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และเป็นกำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ดร.สิริพร แชนน่า วินเทอร์ อ.เทิดขวัญ ช่างเผือก และคณาจารย์ประจำภาคคณิตศาสตร์ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอน และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้จัดทำตลอดมา รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาคคณิตศาสตร์ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในด้านการอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ

ขอขอบพระคุณ สถาบันมะเร็งแห่งชาติ และห้องสมุดโรงพยาบาลรามธิบดี ในการให้ข้อมูลผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูก และข้อมูลโรคมะเร็งปากมดลูก ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมา ตลอดจนเพื่อนๆทุกคน ประโยชน์ และคุณความดีงามที่เกิดจากปัญหาพิเศษ คณะผู้จัดทำขอมอบให้บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนคณาจารย์ที่เคารพทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ
มีนาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XIX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของปัญหา	3
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน	4

บทที่ 2 นิยาม ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำลักษณะเฉพาะ	5
2.2 พหุนามลักษณะเฉพาะ	5
2.3 จาคอบีเยนเมทริกซ์	6
2.4 จุดสมดุล	6
2.5 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ	7
2.5.1 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง	7
2.5.2 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง	7
2.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	8
2.6.1 แบบจำลอง	8
2.6.2 ประเภทของแบบจำลอง	10
2.6.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ	13
2.7.1 แบบจำลอง <i>SIR</i>	13
2.7.2 แบบจำลอง <i>SIRS</i>	17
2.7.3 แบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)	22
2.7.4 แบบจำลอง <i>SIS</i>	29
2.8 โรคมะเร็งปากมดลูก	33
2.8.1 สาเหตุของมะเร็งปากมดลูก	33
2.8.2 ปัจจัยเสี่ยงของการเป็นมะเร็งปากมดลูก	34
2.8.3 อาการของมะเร็งปากมดลูก	36
2.8.4 การวินิจฉัยมะเร็งปากมดลูก (Diagnosing cervical cancer)	37
2.8.5 ระยะของมะเร็งปากมดลูก (Stages of cervical cancer)	41
2.8.6 การรักษามะเร็งปากมดลูก	46
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
บทที่ 3 ความก้าวหน้าของงานวิจัย	
3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	47
3.1.1 แบ่งตามแต่ละภาคของประเทศไทย 4 ภาค และกรุงเทพมหานคร	47
3.1.2 แบ่งตามวิธีวินิจฉัย	49
3.1.3 แบ่งตามการแพร่กระจายของโรค	51
3.1.4 แบ่งตามระยะของโรค	54
3.1.5 แบ่งตามช่วงอายุ	56
3.2 การสร้างแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย	57
3.3 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูก	61
3.4 จุดสมดุล	69
3.5 ความเสถียรของจุดสมดุล	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข	79
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Mathematica	85
4.3 การประยุกต์ใช้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	170
บทที่ 5 สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษ และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	190
5.2 ข้อจำกัดของโปรแกรม	191
5.3 ข้อเสนอแนะ	191
เอกสารอ้างอิง	192



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง	11
รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	12
รูปที่ 2.3 แบบจำลอง <i>SIR</i>	13
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIR</i> ของสมการ (2.1)	15
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIR</i> ของสมการ (2.2)	15
รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIR</i> ของสมการ (2.3)	16
รูปที่ 2.7 แบบจำลอง <i>SIRS</i>	18
รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIRS</i> ของสมการ (2.7)	19
รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIRS</i> ของสมการ (2.8)	20
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIRS</i> ของสมการ (2.9)	20
รูปที่ 2.11 แบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)	23
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต) ของสมการ (2.13)	25
รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต) ของสมการ (2.14)	25
รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต) ของสมการ (2.15)	26
รูปที่ 2.15 แบบจำลอง <i>SIS</i>	29
รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIS</i> ของสมการ (2.19)	31
รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง <i>SIS</i> ของสมการ (2.20)	31
รูปที่ 2.18 แสดงการตรวจมะเร็งด้วยวิธีแปปสเมียร์แบบดั้งเดิม	38
รูปที่ 2.19 แสดงการตรวจมะเร็งด้วยวิธีแปปสเมียร์แบบสมัยใหม่	39
รูปที่ 2.20 แสดงปากมดลูกลักษณะเป็นรูปกรวย	40
รูปที่ 2.21 แสดงขนาดมะเร็งบริเวณปากมดลูกในระยะที่ 1	42
รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะการกระจายของมะเร็งออกจากปากมดลูกในระยะที่ 2	43
รูปที่ 2.23 แสดงการกระจายของมะเร็งไปยังผนังอวัยวะในช่องท้องใน ระยะที่ 3	44
รูปที่ 2.24 แสดงการกระจายของมะเร็งออกจากอวัยวะในช่องท้องไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกายในระยะที่ 4	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.25 แสดงการตัดปากมดลูกเป็นรูปกรวยเพื่อนำไปตรวจทางพยาธิวิทยา	46
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกตามแต่ละภาค	47
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามวิธีวินิจฉัย	49
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามการแพร่กระจาย	51
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามระยะของโรค	54
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามช่วงอายุ	56
รูปที่ 3.6 แบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย	58
รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.1)	62
รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.2)	63
รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.3)	64
รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.4)	65
รูปที่ 3.11 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.5)	66
รูปที่ 3.12 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.6)	66
รูปที่ 3.13 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.7)	67
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เทียบกับเวลา (วัน)	85
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เทียบกับเวลา (วัน)	86
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เทียบกับเวลา (วัน)	87
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เทียบกับเวลา (วัน)	88
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เทียบกับเวลา (วัน)	89
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา โดยขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้ง (M_T) ลัดลมมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ 90 ๕

สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.79 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากร ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง	163
รูปที่ 4.80 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากร ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง	164
รูปที่ 4.81 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็ง ปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น	165
รูปที่ 4.82 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากร ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น	166
รูปที่ 4.83 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากร ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น	167
รูปที่ 4.84 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากร ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น	168
รูปที่ 4.85 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากร ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น	169
รูปที่ 4.86 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 1.	171
รูปที่ 4.87 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 2.	172
รูปที่ 4.88 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 3.	173
รูปที่ 4.89 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 4.	174
รูปที่ 4.90 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 5.	175
รูปที่ 4.91 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 6.	176

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.92 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 6.	177
รูปที่ 4.93 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 7.	178
รูปที่ 4.94 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 8.	179
รูปที่ 4.95 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 8.	180
รูปที่ 4.96 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 8.	181
รูปที่ 4.97 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 9.	182
รูปที่ 4.98 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมมูล S ด้วยโปรแกรม	183
รูปที่ 4.99 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมมูล I_{CCST} ด้วยโปรแกรม	184
รูปที่ 4.100 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมมูล I_{CCSU} ด้วยโปรแกรม	185
รูปที่ 4.101 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมมูล I_{CCUT} ด้วยโปรแกรม	186
รูปที่ 4.102 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมมูล I_{CCUU} ด้วยโปรแกรม	187
รูปที่ 4.103 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 10.	188
รูปที่ 4.104 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 10.	189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง <i>SIR</i>	14
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง <i>SIR</i>	14
ตารางที่ 2.3 แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง <i>SIRS</i>	18
ตารางที่ 2.4 แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง <i>SIRS</i>	18
ตารางที่ 2.5 แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)	23
ตารางที่ 2.6 แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง <i>SIRS</i> (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)	23
ตารางที่ 2.7 แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง <i>SIS</i>	29
ตารางที่ 2.8 แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง <i>SIS</i>	29
ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปร (variables) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมาเร็งปากมดลูก ในประเทศไทย	59
ตารางที่ 3.2 แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมาเร็งปากมดลูก ในประเทศไทย	59
ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปร (variables) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมาเร็งปากมดลูก ในประเทศไทย	79
ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลองโรคมาเร็งปากมดลูก ในประเทศไทย	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มะเร็งปากมดลูกเป็นมะเร็งที่พบมากที่สุดในเพศหญิง พบได้ในสตรีตั้งแต่วัยรุ่นจนถึงวัยชรา พบมากในช่วงอายุ 30-50 ปี ในแต่ละปี ผู้หญิงทั่วโลกป่วยด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกเพิ่มขึ้นปีละ 500,000 คน เสียชีวิตปีละ 200,000 คน ซึ่งประมาณร้อยละ 80 ของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา สำหรับประเทศไทยโรคมะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของคนไทยเป็นอันดับหนึ่ง และมะเร็งที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิตมากที่สุดคือมะเร็งปากมดลูก จากรายงานสถานการณ์การเสียชีวิตจากมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 ถึง พ.ศ. 2553 พบผู้เสียชีวิตมากที่สุดในพื้นที่ภาคกลาง รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคใต้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหญิงไทยมีแนวโน้มการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งปากมดลูกสูงขึ้นทุกปี เฉลี่ยปีละประมาณ 5,000 คน หรือคิดเป็นผู้เสียชีวิตวันละ 14 คน

จากรายงานสถานการณ์การป่วยรายใหม่จากมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549 ถึง พ.ศ.2552 พบว่าพื้นที่ภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคกลาง มีอัตราการป่วยรายใหม่ ประมาณ 4,000 ราย ต่อปี ส่วนพื้นที่ภาคใต้พบว่ามีประมาณ 1,400 รายต่อปี โดยจะเห็นได้ว่าอัตราการป่วยจากโรคมะเร็งปากมดลูกมีแนวโน้มลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยในแต่ละปีนั้นมีจำนวนผู้ป่วยรายใหม่ประมาณ 10,000 คน หรือคิดเฉลี่ยเป็นวันละประมาณ 27 คน

เนื่องจากในแต่ละปีจะมีผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกรายใหม่ปีละประมาณ 10,000 คน หรือ เทียบเท่ากับอัตราป่วย 27 รายต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี (incidence rate = 27/ 100,000 / year) นั้นหมายความว่าในประชากรหญิงหนึ่งแสนคน จะมีผู้ป่วยรายใหม่ปีละ 27 คน เราจะนำข้อมูลส่วนนี้มาใช้อ้างอิงในคำนวณหาอัตราการติดเชื้อเอชพีวี

นักวิทยาศาสตร์พบว่า การเกิดมะเร็งปากมดลูกนั้นมีส่วนสัมพันธ์กับการติดเชื้อไวรัส HPV (Human Papilloma Virus) ซึ่งมีหลายร้อยสายพันธุ์ แต่เชื่อว่าสตรีที่มีเชื้อไวรัสนี้จะต้องเป็นมะเร็งปากมดลูกทุกคน เพราะเชื้อไวรัสเอชพีวีที่เป็นตัวก่อมะเร็งจะมีอยู่ 4 สายพันธุ์หลักๆ ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งปากมดลูกถึง 70 % ของทั้งหมด ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงนำสายพันธุ์เหล่านั้นมาพัฒนาเป็นวัคซีนชนิด 2 และ 4 สายพันธุ์ได้สำเร็จ โดยมีเงื่อนไขในการนำมาใช้ที่สำคัญคือ

- (1) จะเกิดประโยชน์และคุ้มค่าสูงสุดเมื่อฉีดในเด็กนักเรียนอายุ 10-13 ปี ก่อนที่จะมีเพศสัมพันธ์
- (2) ต้องฉีดครบ 3 เข็ม ในเวลา 6 เดือน จึงมีประสิทธิภาพเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) ไม่สามารถทดแทนการตรวจหาเซลล์มะเร็งปากมดลูกด้วยวิธีแป็ปสเมียร์ (pap smear) ได้ แม้ว่าจะได้รับวัคซีนป้องกันครบแล้ว แต่ก็ยังมีโอกาสเกิดมะเร็งอีก 30 % จึงยังจะต้องรณรงค์ให้มีการตรวจแป็ปสเมียร์อย่างสม่ำเสมอต่อไป
- (4) ห้ามฉีดในหญิงมีครรภ์ เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลเพียงพอในด้านผลต่อทารกในครรภ์

เนื่องจากโรคมะเร็งปากมดลูกใช้ระยะเวลาในการดำเนินโรคค่อนข้างนาน และไม่คอยแสดงอาการให้เห็นชัดเจนในระยะเริ่มต้น ทำให้ไม่สามารถระบุเวลาที่ผู้ป่วยติดเชื้อได้ และไม่สามารถหาอัตราการติดเชื้อไวรัสที่แน่นอนโดยตรงได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่กล่าวไว้ข้างต้นมาอ้างอิงในการคำนวณอัตราการติดเชื้อ ดังนี้

นำค่าอัตราป่วยเท่ากับ 27 รายต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปีมาใช้ โดยจะกำหนดให้อัตราป่วยดังกล่าวเป็นอัตราที่เกิดจากประชากรหญิงที่ไม่ได้เข้ารับวัคซีน ดังนั้นจะได้อัตราป่วยที่ไม่มีการฉีดวัคซีน (Incidence Without Treatment) เท่ากับ 27/100,000 ประชากร/ปี และเมื่อผู้ป่วยได้รับวัคซีน อัตราป่วยจะลดลงประมาณ 70% (Relative risk reduction = 70%) นั่นคือ อัตราป่วยเมื่อมีการฉีดวัคซีน (Incidence with Treatment) จะลดลงเท่ากับ 8.1/100,000 ประชากร/ปี แต่ในทางวิชาการ ตัวเลขอัตราป่วยที่ลดลงต่อประชากรนั้น ไม่ใช่ 70% เพราะไม่ใช่ว่าผู้หญิงจะป่วยเป็นโรคนี้อันทุกคน ดังนั้นอัตราป่วยสุทธิที่ลดลงหรือ Absolute Risk Reduction (ARR) จึงเท่ากับ อัตราป่วยเมื่อไม่มีการฉีดวัคซีนลบด้วยอัตราป่วยเมื่อมีการฉีดวัคซีน ซึ่งเท่ากับ 18.9/100,000 ประชากร/ปี แล้วจะนำตัวเลขที่ได้จากการอัตราป่วยสุทธิและอัตราป่วยเมื่อมีการฉีดวัคซีน คือ 8.1/100,000 และ 18.9/100,000 ไปใช้ในการคำนวณในบทถัดไป

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้อีกกล่าวมาทั้งหมด จึงต้องมีการควบคุม การป้องกันโรคมะเร็งปากมดลูก เพื่อให้สตรีไทยลดการเป็นโรคนี้อีก โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ของปัญหาพิเศษ

- 1) เพื่อศึกษาอัตราการเพิ่มลดของจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี ซึ่งแบ่งตามภาค ตามวิธีวินิจฉัย ตามการแพร่กระจาย ตามระยะ และตามช่วงอายุของโรคมะเร็งปากมดลูก
- 2) เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรค แล้วยังใช้เป็นตัวบ่งชี้วัดจำนวนผู้ป่วยในแต่ละปี อีกทั้งเป็นแนวทางหาวิธีการป้องกันโรคและลดจำนวนผู้ป่วยต่อปี
- 3) เพื่อใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการควบคู่กับสถิติการเกิดโรคของประเทศไทยทั่วทุกภูมิภาคของโรคที่เฝ้าระวังของสถาบันมะเร็งแห่งชาติ (National Cancer Institute)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปัญหา

วิเคราะห์จำนวนผู้ป่วยสำหรับในแต่ละปี ซึ่งแบ่งตามแต่ละภาค ตามวิธีวินิจฉัย ตามการแพร่กระจายของโรค ตามระยะของโรค และตามช่วงอายุ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2545 – พ.ศ.2554 เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

- 1) ค้นหาหาข้อมูลการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูก
- 2) รวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูก
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูก
- 4) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 5) วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ว่าสามารถใช้ได้จริงหรือไม่
- 6) ทดสอบแบบจำลองที่ได้ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่
- 7) พัฒนาแบบจำลองที่ได้ใหม่ ถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสม
- 8) สรุปผลที่ได้จากแบบจำลองและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาแบบจำลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพื่อลดความเสี่ยงของประชากรสตรีไทยในการเป็นโรคมะเร็งปากมดลูก
- 2) เสนอแนวทางใหม่เพื่อลดการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูก
- 3) ช่วยลดงบประมาณของประเทศในการป้องกันการติดเชื้อโรคมะเร็งปากมดลูก
- 4) เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน

จากเดือนเมษายน 2556 – มีนาคม 2557

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

บทที่ 2

นิยาม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าลักษณะเฉพาะ

นิยาม 2.1 ให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ และ λ เป็นจำนวนจริง เรียกว่า ค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) ของ A ก็ต่อเมื่อ มีเวกเตอร์แนวตั้ง X ใน R^n ที่ไม่เป็นศูนย์ ซึ่งทำให้

$$AX = \lambda X$$

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

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

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

2.2 พหุนามลักษณะเฉพาะ

นิยาม 2.2 พหุนามลักษณะเฉพาะ (characteristic polynomial) ของเมทริกซ์ A ขนาด $n \times n$ ถูกกำหนดโดย

$$c_A(x) = \det(xI - A)$$

ทฤษฎีบท 2.1 ให้ A เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times n$ ค่าลักษณะเฉพาะของ A เป็นรากที่เป็นจำนวนจริงของพหุนามลักษณะเฉพาะของ A นั่นคือ มีจำนวนจริง λ ที่สอดคล้องกับสมการ

$$c_A(\lambda) = \det(\lambda I - A) = 0$$

เรียกสมการนี้ว่า สมการลักษณะเฉพาะ (characteristic equation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 จาโคเบียนเมทริกซ์

นิยาม 2.3 ให้ $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ และ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันเวกเตอร์ของ x โดยที่ $f(x) = [f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots, f_m(x)]^T$ ดังนั้นอนุพันธ์ของ $f(x)$ เทียบกับ x จะเรียกว่า จาโคเบียนเมทริกซ์ (Jacobian matrix) หรือ จาโคเบียนของ $f(x)$

นิยามโดย

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

2.4 จุดสมดุล

นิยาม 2.4 จุด $X_e \in \mathbb{R}^n$ เป็นจุดสมดุล (Equilibrium point) ของ

$$\frac{dX}{dt} = f(t, X)$$

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

นิยาม 2.5 ความเสถียรของจุดสมดุล (Stable of equilibrium point) พิจารณาจาก

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การหาผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ

2.5.1 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดไม่ต่อเนื่อง

สมการผลต่างไม่เชิงเส้น คือ สมการที่อยู่ในรูปของ

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

เมื่อ x_n คือ ค่าของ x ในลำดับที่ n และ f เป็นฟังก์ชันของการทำซ้ำๆกัน

ผลเฉลยจุดสมดุลของระบบ ซึ่งเมื่อ \bar{x} ถูกกำหนดให้ค่าสัมพันธ์ได้อย่างชัดเจน คือ

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

ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในลำดับที่ n ถึงลำดับที่ $n+1$ จากสมการที่อยู่ในรูป

$x_{n+1} = f(x_n)$ จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นอีก คือ

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

และนำมาอ้างอิงเช่นเดียวกับจุดตรึง (Fixed point) ของฟังก์ชัน f

นิยาม 2.6 จุด x เป็นจุดตรึง (Fixed point) ของฟังก์ชัน f ก็ต่อเมื่อ $f(x) = x$

2.5.2 แบบจำลองจุดสมดุลของระบบสมการเชิงเส้นชนิดต่อเนื่อง

การหาจุดสมดุลของระบบสมการ หาได้โดยพิจารณาแบบจำลองที่มีรูปแบบดังนี้

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

ผลเฉลยจุดสมดุลของระบบสมการนี้ สามารถหาได้จากการจับให้สมการทุกสมการของ (a)

เท่ากับศูนย์ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.6.1 แบบจำลอง

แบบจำลองหมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบหรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง แบบจำลองอาจนำไปใช้งานในหลายลักษณะดังนี้

1. เป็นเครื่องช่วยคิด (An aid to thought) เช่น แบบจำลองโครงข่าย (Network Model) ช่วยทำให้ผู้สร้างแบบได้มองเห็นว่าจะมีกิจกรรมที่ต้องทำอะไรบ้าง และทำอะไรก่อนอะไรหลัง
2. เป็นเครื่องสื่อความหมาย (An aid to communication) แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของปัญหาที่เราสนใจ และช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรมปัญหา และการแก้ไขปัญหาที่เราสนใจ
3. เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (Purpose of training and instruction) เช่น แบบจำลองเครื่องควบคุมการบิน จะช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและทำความเข้าใจความคุ้นเคยกับระบบการควบคุมเครื่องบินจริงก่อนขึ้นฝึกบินจริง
4. เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนาย (A tool of prediction) จากการที่แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของปัญหา ก็จะช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองสามารถคาดคะเนหรือทำนายได้ว่า เมื่อมีเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของแบบจำลองขึ้น จะมีผลอะไรเกิดขึ้นกับสถานการณ์ที่เราสนใจ
5. เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An aid to experimentation) โดยที่แบบจำลองเป็นสิ่งซึ่งสร้างขึ้นแทนปัญหาที่เราสนใจ ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่างๆกับระบบงานจริงแต่ทำไม่ได้ ก็ให้นำเอาเงื่อนไขนั้นๆมาทดลองกับแบบจำลองเพื่อดูว่า จะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้นๆไปใช้กับสถานการณ์ในโลกแห่งความเป็นจริงได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของแบบจำลองประกอบไปด้วย

1. องค์ประกอบ (Components) ในทุกแบบจำลองจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆในแบบจำลองที่ใช้แทนข้อมูลทั้งหมด ก็จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงานที่จำเป็นของแบบจำลอง
2. ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and parameters) ตัวแปรเป็นค่าที่ผันแปร มีได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรจากภายนอก (Exogeneous Variables) หรือตัวแปรนำเข้า (Input Variables) หมายถึง ตัวแปรจากภายนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือเป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกระบบและตัวแปรภายใน (Endogeneous Variables) หมายถึงตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตัวแปรนี้อยู่ในลักษณะตัวแปรสถานะภาพ (Status Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ ในทางสถิติ ตัวแปรจากภายนอกคือตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในคือตัวแปรตาม (Dependent Variables) ส่วนพารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่ที่ผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนดอาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล
3. ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) คือฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์ ฟังก์ชันความสัมพันธ์นี้อาจอยู่ในลักษณะแน่นอนตายตัว (Deterministic) เป็นลักษณะที่เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาได้ว่าผลลัพธ์จะเป็นเท่าไรแน่นอนและอาจอยู่ในลักษณะไม่แน่นอน (Stochastic) ซึ่งเมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชัน ไม่แน่ว่าผลลัพธ์ออกมาเท่าไร ลักษณะของฟังก์ชันความสัมพันธ์มักอยู่ในรูปของสมการทาวคณิตศาสตร์ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้ อาจหาได้จากการสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีทางสถิติหรือคณิตศาสตร์
4. ขอบข่ายจำกัด (Constraint) คือ ข้อจำกัดของค่าของตัวแปรต่างๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ประเภทของแบบจำลอง (Model Classification)

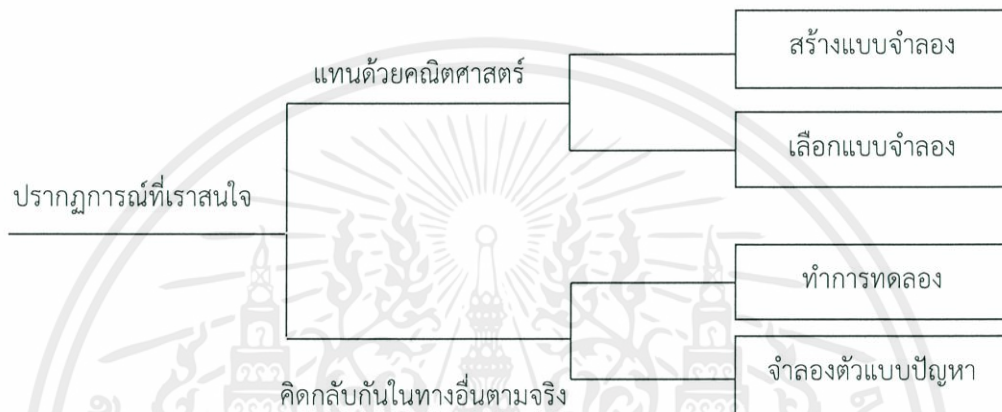
แบบจำลองมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน พอที่จะจำแนกประเภทได้อย่างคร่าวๆดังนี้

1. Deterministic model เป็นแบบจำลองที่ตัววัดต่างๆ เช่น อัตราการเติบโตมีค่าแน่นอน (deterministic) เนื่องจากไม่คำนึงถึงการสั่นไหวแบบไร้ทิศทาง (random fluctuations) ของสภาพแวดล้อม
2. Stochastic model เป็นแบบจำลองที่รวมเอาการสั่นไหวแบบไร้ทิศทางของสภาพแวดล้อมเข้ามาด้วย ทำให้ตัววัดต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณฝน อัตราการไหลของน้ำทั้งหมดมีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ย (mean) เป็นตัวแทนและยังมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอีกด้วย นอกจากนี้ตัววัดบางตัวมีค่าที่กระจายในช่วงเช่น ขนาดของอนุภาคดิน ขนาดของฟองอากาศจากเครื่องเติมอากาศ ดังนั้นจึงต้องใช้ค่ากระจายทางสถิติ (statistical distributions) เช่น Gaussian, Poisson, binomial เป็นต้น มาอธิบายตัววัดเหล่านี้ การจำลองสถานการณ์โดยใช้แบบจำลองนี้ทำโดยการเลือกค่าตัววัดแบบสุ่ม (random) มาใช้หลายค่า จนได้ค่ากระจายของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เรียกว่า Monte Carlo simulation
3. Steady state models เป็นแบบจำลองที่ใช้ปรากฏการณ์อันใดอันหนึ่ง เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งคำนวณทางคณิตศาสตร์ง่ายขึ้น เพราะสมการของแบบจำลองจะเป็นสมการพีชคณิต (algebraic equations) ได้แก่ แบบจำลองของกระบวนการบำบัดน้ำเสียต่างๆที่ทำงานภายใต้สภาวะคงที่ (steady state) เป็นต้น
4. Dynamic models เป็นแบบจำลองที่คำนึงถึงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระบบมักจะซับซ้อนเนื่องจากประกอบด้วยทั้งสมการพีชคณิตและสมการเชิงอนุพันธ์ (differential equations) การแก้สมการจะยุ่งยาก ซับซ้อนหากไม่ใช่เทคนิคการหาปริพันธ์แบบใช้ตัวเลข (numerical integration techniques) ด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) คือ การสร้างหรือการออกแบบเพื่อที่จะศึกษาสิ่งที่เราสนใจในระบบหรือปรากฏการณ์ใดๆ ซึ่งการสร้างหรือออกแบบจะต้องอาศัยการประกอบกันของการจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบปัญหา สัญลักษณ์ กราฟต่างๆ และสิ่งที่ได้จากผลการทดลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของปรากฏการณ์นั้นๆและถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาปรากฏการณ์นั้นๆแล้วแบบจำลองก็ยังใช้สร้างลักษณะพิเศษเพื่อที่จะศึกษา ปรากฏการณ์พิเศษเหล่านั้นอีกด้วย



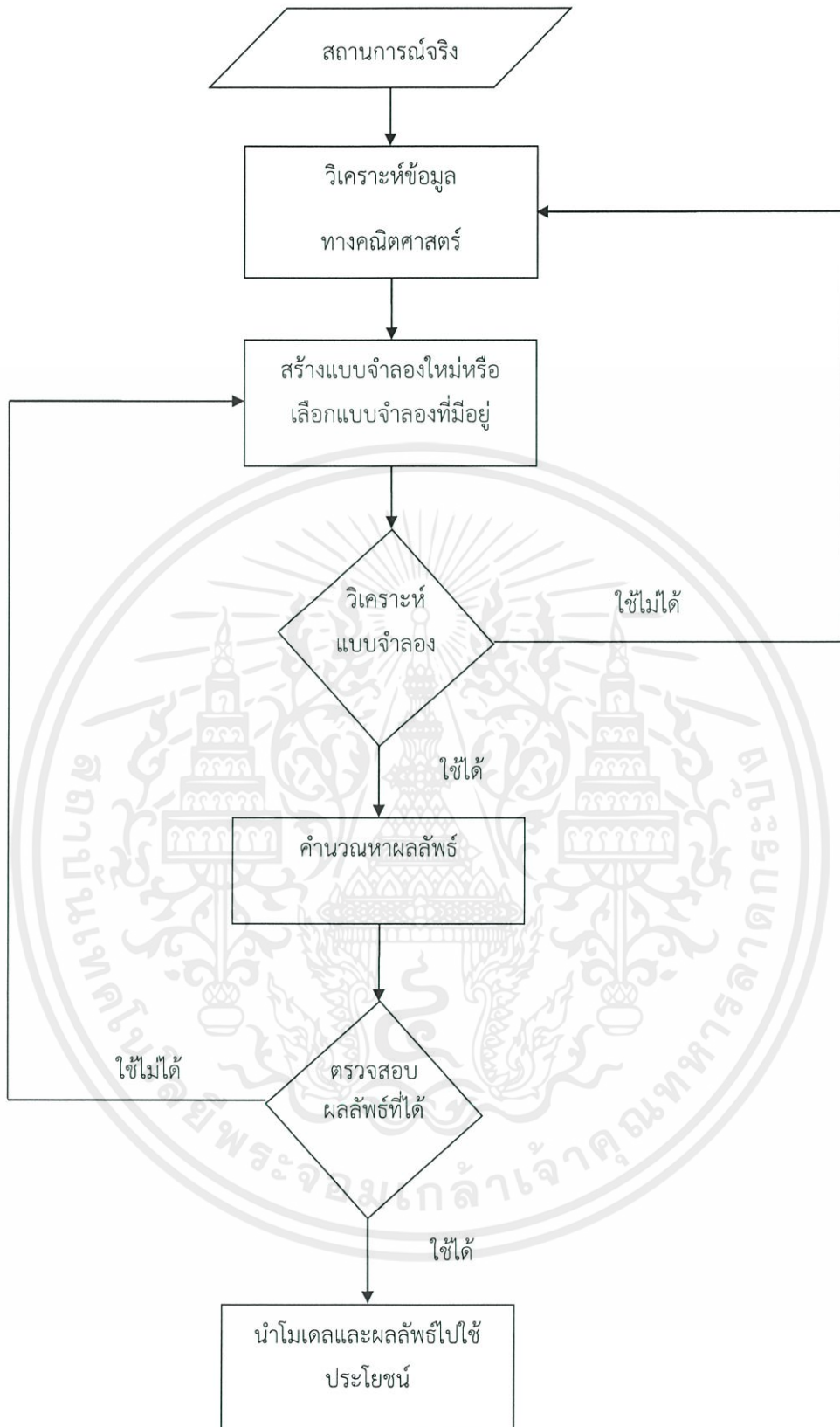
รูปที่ 2.1 แสดงการอธิบายขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

เริ่มจากปรากฏการณ์บางปรากฏการณ์ของโลกแห่งความเป็นจริงและเราสามารถแทนเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยการสร้างแบบจำลองใหม่หรือเลือกมาจากที่มีอยู่แล้ว ในทางตรงกันข้ามเราสามารถคิดกลับด้านกันได้จากปรากฏการณ์ของผลการทดลอง

การพิจารณาคำถามของการสร้างแบบจำลองซึ่งมีเงื่อนไขที่หลากหลายหรือที่เราอาจจะไม่ได้สนใจและเพราะคณิตศาสตร์อาจจะซับซ้อนมากเกินไปและควบคุมได้ยาก

ความซับซ้อนนี้เกิดขึ้นได้ เช่น เมื่อเราพยายามใช้แบบจำลองที่เรากำหนดให้เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยหรือระบบสมการพีชคณิตไม่เชิงเส้นหรือปัญหาอาจจะใหญ่เกินไปซึ่งอาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะจับกลุ่มกันให้ได้ออกมาเป็นเพียงแบบจำลองเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการคิดของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคติดเชื้อ

การสร้างแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อ จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- (1) กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ (Susceptible) แทนด้วย S
- (2) กลุ่มติดเชื้อ (Infected) แทนด้วย I
- (3) กลุ่มฟื้นไข้หรือกลุ่มที่ได้รับการรักษาหรือกลุ่มที่หายป่วย (Recovered) แทนด้วย R

เมื่อกำหนดให้จำนวนประชากรทั้งหมดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ณ เวลา $t=0$ เริ่มมีการติดเชื้อภายในกลุ่มประชากรทั้ง 3 กลุ่ม จากนั้นเชื้อจะแพร่กระจายออกไปภายในกลุ่มประชากร เป็นการแพร่กระจายจากคนหนึ่งไปสู่อีกคนหนึ่ง แบบจำลองนี้สมมติให้เวลาที่ใช้ในการฟักตัวของโรคนั้นน้อยมากจนไม่ต้องคำนึงถึง นั่นคือ เมื่อประชากรในกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อและได้รับเชื้อ แล้วจะเปลี่ยนไปเป็นผู้ป่วยที่เป็นโรคทันที โดยไม่ต้องรอการแสดงอาการของโรค ซึ่งแบบจำลองสำหรับโรคติดเชื้อมี 4 รูปแบบ ดังนี้

2.7.1 แบบจำลอง SIR

แบบจำลอง SIR นี้เป็นแบบจำลองที่ไม่ขึ้นกับเวลา (discrete model) เพราะเป็นระยะเวลาสั้นๆ จะไม่คำนึงถึงอัตราการเกิดและอัตราการเสียชีวิต แบบจำลองนี้จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ แทนด้วย S กลุ่มติดเชื้อแทนด้วย I และกลุ่มที่หายป่วยแทนด้วย R

โรคติดเชื้อมีแบบจำลองลักษณะนี้ คือ เมื่อเป็นโรคนั้นแล้วจะไม่กลับมาเป็นอีก เช่น โรคอีสุกอีใส โรคงูสวัด เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แบบจำลอง SIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง SIR

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
R	จำนวนประชากรที่หายป่วย (ได้รับการรักษา) จากการติดเชื้อ	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด = $S + I + R$	คน

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง SIR

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
β	อัตราการติดเชื้อ	ต่อวัน
ν	อัตราการหายป่วย	ต่อวัน

คำอธิบายแบบจำลอง SIR

จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อจะลดจำนวนลง แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ ทำให้ประชากรที่ติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อได้รับการรักษา ทำให้มีจำนวนลดลง แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่หายป่วย และส่งผลให้กลุ่มผู้ที่หายป่วยมีจำนวนเพิ่มขึ้น

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \quad (2.1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \nu I \quad (2.2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \nu I \quad (2.3)$$

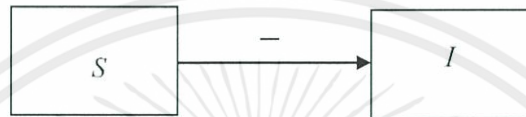
โดยกำหนดให้ $N = S + I + R$

หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น
อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่ม
= สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของประชากร –
สิ่งที่มีผลต่ออัตราการลดของประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

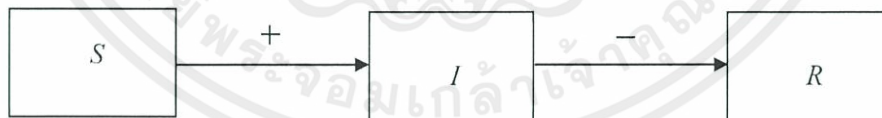
อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลอง SIR ได้ดังนี้

- สมการ (2.1) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ โดยที่ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะติดเชื้อมีอัตรา β จะสังเกตได้ว่า ผลของการติดเชื้อนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I ซึ่งแสดงถึงการที่ผู้รับเชื้อและผู้แพร่เชื้อจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง SIR ของสมการ (2.1)

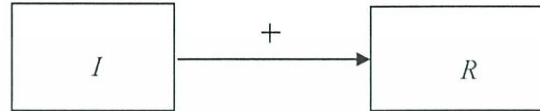
- สมการ (2.2) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ โดยที่ $+\beta SI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อ I ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ในขณะที่ $-vI$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มที่ติดเชื้อ I เพราะหายป่วยด้วยอัตรา v แล้วเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่หายป่วย R ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง SIR ของสมการ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สมการ (2.3) $\frac{dR}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่หายป่วย โดยที่ $+vI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่หายป่วย R ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อ I ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่หายป่วย R ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง SIR ของสมการ (2.3)

นำสมการ (2.1)–(2.3) มาหาจุดสมดุล ดังนี้

ให้ (S^*, I^*, R^*) เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ

$$-\beta S^* I^* = 0 \quad (2.4)$$

$$I^* (\beta S^* - \nu) = 0 \quad (2.5)$$

$$\nu I^* = 0 \quad (2.6)$$

จาก (2.6) จะได้ $I^* = 0$

แทนค่า $I^* = 0$ ใน (2.5)

จะได้ว่า $I^* = 0$ หรือ $\beta S^* - \nu = 0$

$$S^* = \frac{\nu}{\beta}$$

กรณีที่ 1 แทนค่า $I^* = 0$ ใน (2.4)

$$\text{จะได้ว่า } -\beta S^* (0) = 0$$

$$\text{ดังนั้น } S^* = 0 \text{ หรือ } S^* \neq 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จาก } N = S^* + I^* + R^*$$

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

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

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

กรณีที่ 2 แทนค่า $S^* = \frac{v}{\beta}$ ใน (2.4)

$$\text{จะได้ว่า } -vI^* = 0 \quad ; \quad v \neq 0$$

$$\text{ดังนั้น } I^* = 0$$

$$\text{จาก } R^* = N - S^* - I^*$$

$$R^* = N - \frac{v}{\beta} - 0$$

$$R^* = N - \frac{v}{\beta}$$

ดังนั้น จะได้จุดสมดุล (S^*, I^*, R^*) ดังนี้

จากกรณีที่ 1 $I^* = 0$ คือ $(S^*, I^*, R^*) = (N, 0, 0)$

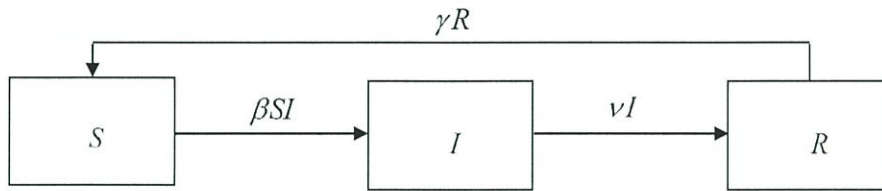
จากกรณีที่ 2 $S^* = \frac{v}{\beta}$ คือ $(S^*, I^*, R^*) = \left(\frac{v}{\beta}, 0, N - \frac{v}{\beta}\right)$

2.7.2 แบบจำลอง SIRS

แบบจำลอง SIRS นี้เป็นแบบจำลองที่ไม่ขึ้นกับเวลา (discrete model) เพราะเป็นระยะเวลาสั้นๆ จะไม่คำนึงถึงอัตราการเกิดและอัตราการเสียชีวิต แบบจำลองนี้จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ แทนด้วย S กลุ่มติดเชื้อ แทนด้วย I และกลุ่มที่หายป่วยแทนด้วย R

โรคติดเชื้อที่มีแบบจำลองลักษณะนี้ คือ เมื่อเป็นโรคนี้อาจจะสามารถกลับมาเป็นได้อีก เช่น โรคไขหวัด โรคไขมาลาเรีย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 แบบจำลอง *SIRS*ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง *SIRS*

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
R	จำนวนประชากรที่หายป่วย (ได้รับการรักษา) จากการติดเชื้อ	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด = $S+I+R$	คน

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง *SIRS*

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
β	อัตราการติดเชื้อ	ต่อวัน
ν	อัตราการหายป่วย	ต่อวัน
γ	อัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ	ต่อวัน

คำอธิบายแบบจำลอง *SIRS*

จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อจะลดจำนวนลง แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ ทำให้ประชากรที่ติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อได้รับการรักษา ทำให้มีจำนวนลดลง แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่หายป่วย และส่งผลให้กลุ่มผู้ที่หายป่วยมีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งกลุ่มที่หายป่วยสามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อได้อีก

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dS}{dt} = \gamma R - \beta SI \quad (2.7)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \nu I \quad (2.8)$$

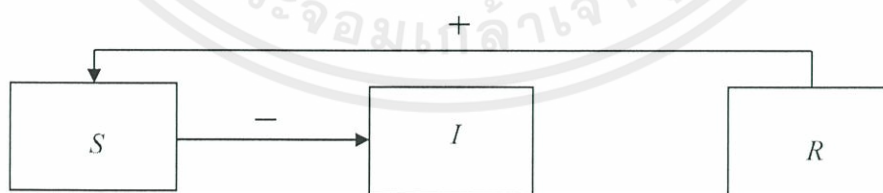
$$\frac{dR}{dt} = \nu I - \gamma R \quad (2.9)$$

โดยกำหนดให้ $N = S + I + R$

หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่ม = สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของประชากร - สิ่งที่มีผลต่ออัตราการลดของประชากร

อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลอง *SIRS* ได้ดังนี้

- สมการ (2.7) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ โดยที่ $+\gamma R$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะกลุ่มที่หายป่วย R สามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ได้อีก ด้วย อัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ γ ในขณะที่ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะติดเชื้อด้วยอัตรา β จะสังเกตได้ว่า ผลของการติดเชื้อนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I ซึ่งแสดงถึงการที่ผู้รับเชื้อและผู้แพร่เชื้อจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง *SIRS* ของสมการ (2.7)

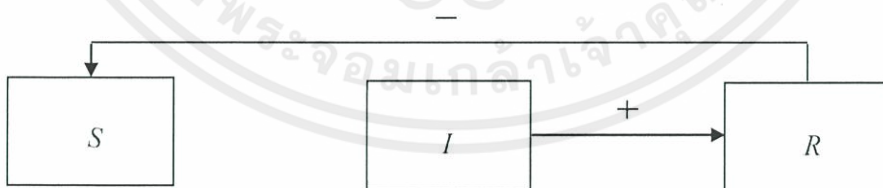
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สมการ (2.8) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ โดยที่ $+\beta SI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อ I ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ในขณะที่ $-vI$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มที่ติดเชื้อ I เพราะหายป่วยด้วยอัตรา v แล้วเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่หายป่วย R ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง $SIRS$ ของสมการ (2.8)

3. สมการ (2.9) $\frac{dR}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่หายป่วย โดยที่ $+vI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่หายป่วย R ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อ I ในขณะที่ $-\gamma R$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่หายป่วย R เพราะกลุ่มที่หายป่วย R สามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ได้อีก ด้วยอัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ γ ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่หายป่วย R และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่หายป่วย R ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง $SIRS$ ของสมการ (2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการ (2.7)–(2.9) มาหาจุดสมดุล ดังนี้
ให้ (S^*, I^*, R^*) เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ

$$\gamma R^* - \beta S^* I^* = 0 \quad (2.10)$$

$$I^* (\beta S^* - \nu) = 0 \quad (2.11)$$

$$\nu I^* - \gamma R^* = 0 \quad (2.12)$$

จาก (2.12) จะได้ว่า $I^* = \frac{\gamma R^*}{\nu}$

แทนค่า $I^* = \frac{\gamma R^*}{\nu}$ ใน (2.11) จะได้

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

จะได้ว่า

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

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

กรณีที่ 1 แทนค่า $R^* = 0$ ใน (2.10)

$$\text{จะได้ว่า } \gamma(0) - \beta S^* I^* = 0$$

$$-\beta S^* I^* = 0$$

$$\text{ดังนั้น } I^* = 0$$

$$\text{จาก } N = S^* + I^* + R^*$$

$$\text{จะได้ } N = S^*$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 แทนค่า $S^* = \frac{\nu}{\beta}$ ใน (2.10)

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

$$\gamma R^* - \nu I^* = 0$$

ดังนั้น $I^* = \frac{\gamma R^*}{\nu}$

จาก $N = S^* + I^* + R^*$

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

ดังนั้น $R^* = N - \frac{\nu}{\beta} - \frac{\gamma R^*}{\nu}$

ดังนั้น จะได้จุดสมดุล (S^*, I^*, R^*) ดังนี้

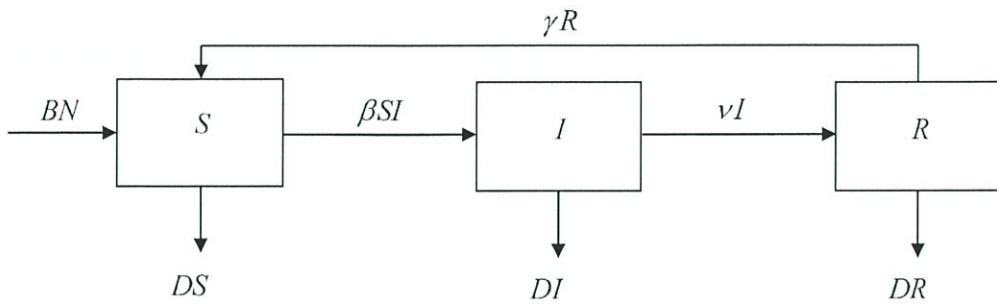
จากกรณีที่ 1 $R^* = 0$ คือ $(S^*, I^*, R^*) = (N, 0, 0)$

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

2.7.3 แบบจำลอง SIRS (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)

แบบจำลอง SIRS นี้เป็นแบบจำลองที่ขึ้นกับเวลา (continuous model) เพราะเป็นระยะเวลานาน จะคำนึงถึงอัตราการเกิดและอัตราการเสียชีวิต แบบจำลองนี้จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ แทนด้วย S กลุ่มติดเชื้อ แทนด้วย I และกลุ่มที่หายป่วย แทนด้วย R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แบบจำลอง *SIRS* (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)

ตารางที่ 2.5 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง *SIRS* (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
R	จำนวนประชากรที่หายป่วย (ได้รับการรักษา) จากการติดเชื้อ	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด $= S + I + R$	คน

ตารางที่ 2.6 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง *SIRS* (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
β	อัตราการติดเชื้อ	ต่อวัน
ν	อัตราการหายป่วย	ต่อวัน
γ	อัตราการเสียชีวิตที่จะติดเชื้อ	ต่อวัน
B	อัตราการเกิดของประชากร	ต่อวัน
D	อัตราการเสียชีวิตของประชากร	ต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายแบบจำลอง *SIRS* (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)

จำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาให้จัดอยู่ในประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ ในขณะที่ประชากรกลุ่มเสี่ยงนี้จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ ทำให้จำนวนประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมีเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อจะลดลงจากการการเสียชีวิตโดยธรรมชาติและจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่หายป่วย และส่งผลให้กลุ่มผู้ที่หายป่วยมีจำนวนเพิ่มขึ้น และสามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อได้อีก ซึ่งกลุ่มที่หายป่วยก็จะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วย

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = BN + \gamma R - \beta SI - DS \quad (2.13)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \nu I - DI \quad (2.14)$$

$$\frac{dR}{dt} = \nu I - \gamma R - DR \quad (2.15)$$

โดยกำหนดให้ $N = S + I + R$

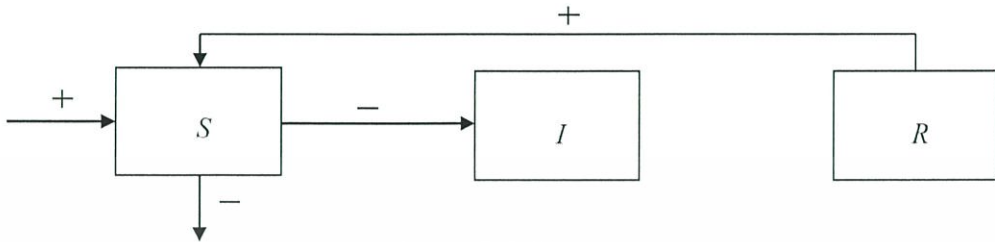
หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่ม
 $=$ สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของประชากร $-$
 สิ่งที่มีผลต่ออัตราการลดของประชากร

อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลอง *SIRS* (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต) ได้ดังนี้

1. สมการ (2.13) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ โดยที่ $+BN$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S เพราะจำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาใหม่ด้วยอัตรา B และ $+\gamma R$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะกลุ่มที่หายป่วย R สามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ได้อีก ด้วยอัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ γ ในขณะที่ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะติดเชื้อด้วยอัตรา β จะสังเกตได้ว่า ผลของการติดเชื้อนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I ซึ่งแสดงถึงการที่ผู้รับเชื้อและผู้แพร่เชื้อจะมีความสัมพันธ์กัน และ $-DS$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S

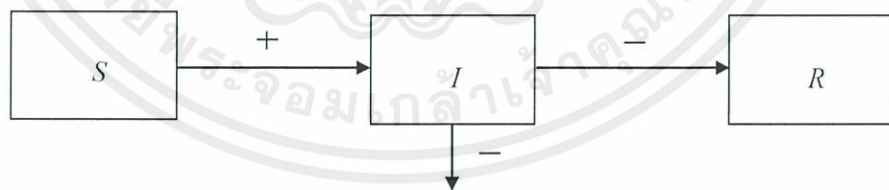
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง $SIRS$ (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)
ของสมการ (2.13)

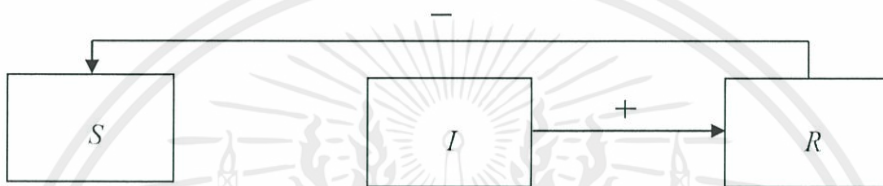
2. สมการ (2.14) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ โดยที่ $+\beta SI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อ I ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ในขณะที่ $-vI$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มที่ติดเชื้อ I เพราะหายป่วยด้วยอัตรา v แล้วเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่หายป่วย R และ $-DI$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง $SIRS$ (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต)
ของสมการ (2.14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สมการ (2.15) $\frac{dR}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่หายป่วย โดยที่ $+vI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่หายป่วย R ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อ I ในขณะที่ $-\gamma R$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่หายป่วย R เพราะกลุ่มที่หายป่วย R สามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ได้อีกด้วย อัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ γ และ $-DR$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่หายป่วย R เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่หายป่วย R และ เครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่หายป่วย R ดังแผนภาพ



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง $SIRS$ (โดยคำนึงถึงอัตราการเสียชีวิต) ของสมการ (2.15)

นำสมการ (2.13)–(2.15) มาหาจุดสมดุล ดังนี้

ให้ (S^*, I^*, R^*) เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ

$$BN + \gamma R^* - \beta S^* I^* - DS^* = 0 \quad (2.16)$$

$$\beta S^* I^* - vI^* - DI^* = 0 \quad (2.17)$$

$$vI^* - \gamma R^* - DR^* = 0 \quad (2.18)$$

จาก (2.18) จะได้ว่า

$$I^* = \frac{\gamma R^* + DR^*}{v}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าใน (2.17) จะได้

$$\beta S^* \left(\frac{\gamma R^* + DR^*}{\nu} \right) - \nu \left(\frac{\gamma R^* + DR^*}{\nu} \right) - D \left(\frac{\gamma R^* + DR^*}{\nu} \right) = 0$$

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

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

ดังนั้น จะได้ $R^* = 0$ หรือ $\frac{\beta \gamma S^*}{\nu} + \frac{\beta D S^*}{\nu} - \gamma - D - \frac{D \gamma}{\nu} - \frac{D^2}{\nu} = 0$

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

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

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

กรณีที่ 1 แทนค่า $R^* = 0$ ใน (2.16)

จะได้ว่า $DN - \beta S^* I^* - DS^* = 0$; $B = D$

$$DN - S^* (\beta I^* + D) = 0$$

ดังนั้น $S^* = \frac{DN}{\beta I^* + D}$

จาก $N = S^* + I^* + R^*$

ดังนั้น $N = \frac{DN}{\beta I^* + D} + I^*$

และ $I^* = N - \frac{DN}{\beta I^* + D}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 แทนค่า $S^* = \frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)}$ ใน (2.16)

$$DN + \gamma R^* - \beta \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)} \right) I^* - D \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)} \right) = 0 ; B = D$$

ดังนั้น $R^* = \frac{-DN}{\gamma} + \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma(\gamma + D)} \right) I^* + D \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma\beta(\gamma + D)} \right)$

จาก $I^* = N - S^* - R^*$ จะได้

$$I^* = N - \frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)} + \frac{DN}{\gamma} - \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma(\gamma + D)} \right) I^* - D \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma\beta(\gamma + D)} \right)$$

ดังนั้น จะได้จุดสมดุล (S^*, I^*, R^*) ดังนี้

จากกรณีที่ 1 $R^* = 0$ คือ

$$(S^*, I^*, R^*) = \left(\frac{DN}{\beta I^* + D}, N - \frac{DN}{\beta I^* + D}, 0 \right)$$

จากกรณีที่ 2 $S^* = \frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)}$ คือ (S^*, I^*, R^*)

เมื่อ $S^* = \frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)}$

$$I^* = N - \frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\beta(\gamma + D)} + \frac{DN}{\gamma} - \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma(\gamma + D)} \right) I^* - D \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma\beta(\gamma + D)} \right)$$

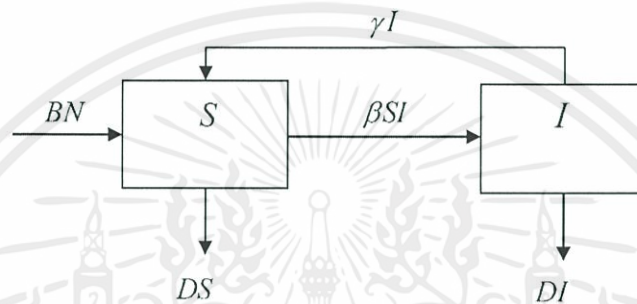
$$R^* = \frac{-DN}{\gamma} + \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma(\gamma + D)} \right) I^* + D \left(\frac{v\gamma + Dv + D\gamma + D^2}{\gamma\beta(\gamma + D)} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 แบบจำลอง SIS

แบบจำลอง SIS นี้เป็นแบบจำลองที่ขึ้นกับเวลา (continuous model) เพราะเป็นระยะเวลานาน จะคำนึงถึงอัตราการเกิดและอัตราการเสียชีวิต แบบจำลองนี้จะแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ แทนด้วย S และกลุ่มติดเชื้อ แทนด้วย I

โรคติดเชื้อที่มีแบบจำลองลักษณะนี้ คือ เมื่อเป็นโรคนี้แล้วจะเป็นตลอดชีวิต เช่น โรคเอดส์ โรคมะเร็ง เป็นต้น



รูปที่ 2.15 แบบจำลอง SIS

ตารางที่ 2.7 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ของแบบจำลอง SIS

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ	คน
I	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด = $S+I+R$	คน

ตารางที่ 2.8 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลอง SIS

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
β	อัตราการติดเชื้อ	ต่อวัน
γ	อัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ	ต่อวัน
B	อัตราการเกิดของประชากร	ต่อวัน
D	อัตราการเสียชีวิตของประชากร	ต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายแบบจำลอง SIS

จำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาให้จัดอยู่ในประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ ในขณะที่ประชากรกลุ่มเสี่ยงนี้จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อ ทำให้ประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมีจำนวนเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อจะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อได้อีก

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = BN + \gamma I - \beta SI - DS \quad (2.19)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I - DI \quad (2.20)$$

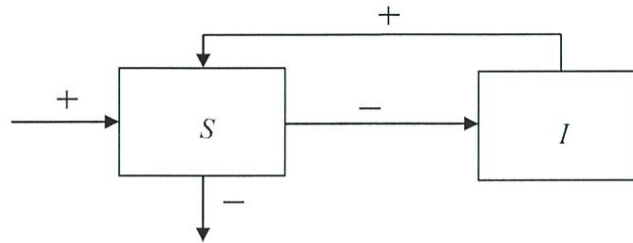
โดยกำหนดให้ $N = S + I + R$

หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น
อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่ม
= สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของประชากร -
สิ่งที่มีผลต่ออัตราการลดของประชากร

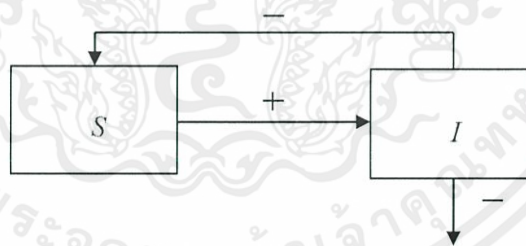
อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลอง SIS ได้ดังนี้

- สมการ (2.19) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ โดยที่ $+BN$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S เพราะจำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาใหม่ด้วยอัตรา B และ $+\gamma I$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะกลุ่มที่ติดเชื้อ I สามารถกลับมาเป็นผู้เสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ได้อีก ด้วยอัตราการเสี่ยงที่จะติดเชื้อ γ ในขณะที่ $-\beta SI$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S เพราะติดเชื้อมีอัตรา β จะสังเกตได้ว่า ผลของการติดเชื้อมีขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I ซึ่งแสดงถึงการที่ผู้รับเชื้อและผู้แพร่เชื้อจะมีความสัมพันธ์กัน และ $-DS$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S ดังแผนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง SIS ของสมการ (2.19)

2. สมการ (2.20) $\frac{dI}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ โดยที่ $+\beta SI$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อ I ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อ S ในขณะที่ $-\gamma I$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มที่ติดเชื้อ I เพราะเสี่ยงที่จะติดเชื้อได้ตลอดด้วยอัตรา γ แล้วเปลี่ยนไปเป็นประชากรกลุ่มที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ S และ $-DI$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อ I ดังแผนภาพ

รูปที่ 2.17 แสดงส่วนประกอบแบบจำลอง SIS ของสมการ (2.20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการ (2.19)–(2.20) มาหาจุดสมดุล ดังนี้

ให้ (S^*, I^*, R^*) เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ

$$BN + \gamma I^* - \beta S^* I^* - DS^* = 0 \quad (2.21)$$

$$\beta S^* I^* - \gamma I^* - DI^* = 0 \quad (2.22)$$

จาก (2.22) จะได้ $I^*(\beta S^* - \gamma - D) = 0$

ดังนั้น จะได้ $I^* = 0$ หรือ $\beta S^* - \gamma - D = 0$

ดังนั้น
$$S^* = \frac{\gamma + D}{\beta}$$

กรณีที่ 1 แทนค่า $I^* = 0$ ใน (2.21)

$$DN - DS^* = 0 \quad ; \quad B = D$$

$$D(N - S^*) = 0 \quad \text{แต่ } D \neq 0$$

ดังนั้น
$$S^* = N$$

จาก
$$N = S^* + I^* + R^*$$

$$N = N + 0 + R^*$$

ดังนั้น
$$R^* = 0$$

กรณีที่ 2 แทนค่า $S^* = \frac{\gamma + D}{\beta}$ ใน (2.21)

$$DN + \gamma I^* - \beta \left(\frac{\gamma + D}{\beta} \right) I^* - D \left(\frac{\gamma + D}{\beta} \right) = 0$$

$$DN - DI^* - D \left(\frac{\gamma + D}{\beta} \right) = 0$$

$$-DI^* = D \left(\frac{\gamma + D}{\beta} \right) - DN$$

$$I^* = \frac{-D(\gamma + D) + \beta DN}{\beta D}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้น } I^* = \frac{-(\gamma+D)}{\beta} + N$$

$$\text{จาก } N = S^* + I^* + R^*$$

$$N = \frac{\gamma+D}{\beta} - \frac{\gamma+D}{\beta} + N + R^*$$

ดังนั้น จะได้จุดสมดุล (S^*, I^*, R^*) ดังนี้

$$\text{จากกรณีที่ 1 } R^* = 0 \text{ คือ}$$

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

$$\text{จากกรณีที่ 2 } S^* = \frac{\gamma+D}{\beta} \text{ คือ}$$

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

2.8 โรคมะเร็งปากมดลูก

ปัจจุบันอัตราการเพิ่มขึ้นของผู้หญิงที่ป่วยด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกเพิ่มขึ้นอย่างน่าตกใจ ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลกระบุว่า มะเร็งปากมดลูกเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอันดับต้นๆของผู้หญิงทั่วโลก มีการประมาณกันไว้ว่า ในทุกๆปีจะพบผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งปากมดลูกรายใหม่ มากกว่า 500,000 ราย และครึ่งหนึ่งในจำนวนนั้นจะเสียชีวิตลง ซึ่งนับได้ว่าทุกๆ 1 ชั่วโมง จะมีผู้หญิงทั่วโลกเสียชีวิตจากมะเร็งปากมดลูกถึง 30 คน ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใกล้เคียงจากอุบัติเหตุเลยทีเดียว

สำหรับในประเทศไทย มะเร็งปากมดลูกเป็นมะเร็งที่พบเป็นอันดับ 2 รองจากมะเร็งเต้านมและปัจจุบันยังคงเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศ แต่จะปีจะพบผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกรายใหม่ประมาณ 10,000 ราย และเสียชีวิตจากมะเร็งปากมดลูกประมาณ 5,000 ราย ถ้าคิดเป็นวันแล้วจะตรวจพบมะเร็งปากมดลูกในสตรีไทยวันละประมาณ 27 ราย และมีสตรีไทยเสียชีวิตจากมะเร็งปากมดลูกเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 7 คน เป็น 14 คน ต่อวัน นั่นคือ สตรีไทยมีอัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งปากมดลูกเป็นอันดับ 2 รองจากมะเร็งตับ

2.8.1 สาเหตุของมะเร็งปากมดลูก

โรคมะเร็งปากมดลูก (Cancer of Cervix) เกิดจากเชื้อไวรัสตัวหนึ่งที่ชื่อว่า HPV (Human Papilloma Virus) ภาษาไทยเรียกว่า ไวรัสหูด ไวรัสชนิดนี้ติดต่อทางการสัมผัส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการสัมผัสทางเพศสัมพันธ์ที่ทำให้มีรอยถลอกของผิวหรือเยื่อ และเชื้อไวรัสจะเข้าไปที่ปากมดลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮอริโมนคุมกำเนิด โดยมีความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 0.9, 1.3 และ 2.5 ถ้าใช้ยาคุมกำเนิดนานไม่เกิน 5 ปี นาน 5-9 ปีและนานกว่า 10 ปีตามลำดับ การคุมกำเนิดแบบขวางกั้น (Barrier method) เช่นถุงยางอนามัยหรือแผ่นครอบปากมดลูกช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูก

- 6) การไม่มารับการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูก เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุบัติการณ์ของมะเร็งปากมดลูกยังคงสูงอยู่ในประเทศไทย เนื่องจากผู้ป่วยส่วนใหญ่ไม่เคยมารับการตรวจคัดกรองมะเร็งปากมดลูกหรือ Pap smear เลย

สำหรับปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับประจำเดือนและการเจริญพันธุ์ เช่น อายุเมื่อมีประจำเดือนครั้งแรก อายุเมื่อหมดประจำเดือน จำนวนครั้งของการแท้งเองและการทำแท้ง จำนวนครั้งของการผ่าตัดคลอดทางหน้าท้อง ไม่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับการเป็นมะเร็งปากมดลูก

2. ปัจจัยเสี่ยงทางฝ่ายชาย

ภูมิภาคที่มีอุบัติการณ์ของมะเร็งปากมดลูกสูงจะมีอุบัติการณ์ของมะเร็งองคชาตสูงด้วยเช่นกัน สตรีที่แต่งงานกับผู้ชายที่เป็นมะเร็งองคชาต จะมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูกสูงขึ้น รวมทั้งสตรีที่แต่งงานกับผู้ชายที่เคยมีภรรยาเป็นมะเร็งปากมดลูกจะมีโอกาสเป็นมะเร็งปากมดลูกสูงขึ้นเช่นกัน คุณนอนของสตรีที่เป็นมะเร็งปากมดลูกอาจมีประวัติว่ามีคู่นอนหลายคนหรือเป็นโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ เช่น โรคหนองใน เริมหรือหูดหงอนไก่ และชอบเที่ยวโสเภณี ซึ่งจะมีความเสี่ยงสูงต่อการติดเชื้อ HPV ผู้ชายเหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีการติดเชื้อ HPV อยู่ในท่อปัสสาวะที่องคชาตหรือที่อวัยวะเพศภายนอกแต่ไม่มีอาการผิดปกติ

3. ปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ

- 1) การสูบบุหรี่ สตรีที่ติดเชื้อ HPV ถ้าสูบบุหรี่ด้วยจะมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูกสูงขึ้น 2-10 เท่า ขึ้นกับปริมาณและระยะเวลาที่สูบ สตรีที่ไม่ได้สูบบุหรี่แต่ได้รับควันบุหรี่โดยอ้อมก็มีความเสี่ยงสูงต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูกเช่นกัน
- 2) ภาวะภูมิคุ้มกันต่ำ สตรีที่ได้รับยากดภูมิคุ้มกัน สตรีที่ได้รับการปลูกถ่ายไต และสตรีที่ติดเชื้อ HIV จะมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ HPV แบบฝังแน่น (persistent infection) และเป็นมะเร็งปากมดลูกได้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) สตรีที่มีฐานะทางเศรษฐกิจและสังคมต่ำ มีความชุกของการติดเชื้อ HPV สูงกว่าและมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูกสูงขึ้น 5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสตรีที่มีฐานะสูงกว่า
- 4) พันธุกรรม จากการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า มะเร็งปากมดลูกเกิดขึ้นได้บ่อยในมารดาและพี่สาวหรือน้องสาวของผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูก ทั้งนี้อาจจะเป็นผลจากการมีหน่วยพันธุกรรมที่ไวต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูกหรืออาจจะเป็นผลจากสิ่งแวดล้อมในครอบครัวที่เหมือนกันก็ได้ อย่างไรก็ตามผลของกรรมพันธุ์ต่อมะเร็งปากมดลูกมีน้อยมากจนไม่น่าวิตกกังวล
- 5) การขาดสารอาหารบางชนิดการรับประทานอาหารที่มีวิตามินเอ วิตามินซี และกรด โพลีคต่ำอาจเกี่ยวข้องกับการเป็นมะเร็งปากมดลูก แต่โดยทั่วไปแล้ว การขาดสารอาหารดังกล่าวมีผลน้อยมากต่อการเป็นมะเร็งมดลูก

การรับประทานฮอร์โมนรักษาในสตรีวัยหมดประจำเดือนไม่มีผลต่อการเป็นมะเร็งปากมดลูก สตรีที่เป็นมะเร็งปากมดลูกสามารถรับประทานฮอร์โมนเอสโตรเจนได้ตามข้อบ่งชี้จำเป็นของการให้ฮอร์โมนรักษา

2.8.3 อาการของมะเร็งปากมดลูก

อาการที่อาจจะพบในผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งปากมดลูกนั้นพบว่า อาจจะพบในผู้ป่วยโรคอื่นได้เช่นกัน ผู้ป่วยที่มีอาการเหล่านี้จึงควรที่จะไปปรึกษาแพทย์เพื่อการวินิจฉัยที่แน่ชัด

1. อาการที่อาจจะพบในผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกได้แก่
 - 1) การมีเลือดออกทางช่องคลอด (การตกเลือดทางช่องคลอด)
 - 2) การมีสารคัดหลังผิดปกติออกจากช่องคลอด เช่น ตกขาว
 - 3) อาการปวดท้องน้อย
 - 4) อาการเจ็บขณะมีเพศสัมพันธ์
 - 5) เลือดออกหลังมีเพศสัมพันธ์
 - 6) เลือดออกหลังวัยหมดประจำเดือน
2. อาการในระยะหลังเมื่อมะเร็งลุกลามมากขึ้น ได้แก่
 - 1) ชาบวม
 - 2) ปวดหลังรุนแรง ปวดก้นกบและต้นขา
 - 3) ปัสสาวะเป็นเลือด
 - 4) ถ่ายอุจจาระเป็นเลือด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 การวินิจฉัยมะเร็งเร็งปากมดลูก (Diagnosing cervical cancer)

โดยปกติมะเร็งเร็งปากมดลูกในระยะแรกๆจะไม่แสดงอาการใดๆเลยและใช้เวลาก่อตัวนานมากกว่า10-15 ปี ดังนั้นผู้ป่วยอาจไม่ทราบเลยว่าเป็นโรคนี้อแล้วและถ้ามีอาการอาจหมายถึงโรคได้ลุกลามไปมากจนยากต่อการรักษาแล้วก็เป็นได้ ดังนั้นผู้หญิงทุกคนจึงควรตรวจเช็คมะเร็งเร็งปากมดลูกทุกปี เพราะถ้าตรวจพบมะเร็งเร็งปากมดลูกตั้งแต่ระยะแรกๆ จะมีโอกาสในการหายจากโรคมะเร็งเร็งปากมดลูกได้มากกว่า

การตรวจที่สามารถวินิจฉัยมะเร็งเร็งปากมดลูกได้ ได้แก่

1. การตรวจเช็คมะเร็งเร็งปากมดลูกโดยการทำแปบ (Pap smear)

เป็นการเก็บเซลล์จากบริเวณพื้นผิวของปากมดลูกและช่องคลอดโดยใช้สำลีพันปลายไม้ แปรง หรือแท่งไม้เล็กๆ ชูดเบาๆบริเวณปากมดลูกและช่องคลอดแล้วป้ายลงบนแผ่นสไลด์ จากนั้นแพทย์จะส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูเซลล์ดังกล่าวและหาความผิดปกติของเซลล์เหล่านั้น การตรวจวิธีนี้ เรียกว่าการตรวจแปบ (Pap test) การตรวจคัดกรองเพื่อหาเชื้อมะเร็งเร็งปากมดลูก หรือแปบสเมียร์ (Pap Smear) โดยมี 2 วิธี คือ

1.1 การตรวจแปบสเมียร์ด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional Pap Smear)

เป็นวิธีแบบดั้งเดิม มีมานานกว่า 70 ปีแล้ว โดยแพทย์จะใช้แปรงป้ายเก็บเซลล์บริเวณปากมดลูก จากนั้นป้ายลงบนแผ่นสไลด์ เมื่อป้ายเสร็จแล้วก็ทิ้งแปรง และนำเซลล์ที่ได้ส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการ ข้อจำกัดของการตรวจแปบสเมียร์ด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional Pap Smear) คือ

- 1) หากเก็บมูกเลือด หรือสิ่งปนเปื้อนจากตัวคนไข้มากเกินไป อาจทำให้การแปลผลจากแผ่นสไลด์ทำได้ลำบาก เนื่องจากเซลล์ที่ได้ซ้อนทับกันมาก และทำให้ดบังเซลล์ที่อาจผิดปกติไปได้ ดังนั้นผลที่ได้จึงไม่แม่นยำ การวิจัยทางการแพทย์ยืนยันว่า (ผลตรวจออกมาว่าไม่มีสัญญาณของโรคมะเร็ง แต่แท้ที่จริงแล้วมีเซลล์มะเร็งซ่อนอยู่) อาจสูงถึง 55%
- 2) หลังจากที่ใช้แปรงป้ายเก็บเซลล์จากตัวคนไข้มาแล้วนั้น เวลาที่นำมาป้ายลงบนแผ่นสไลด์ เซลล์อาจจะไม่ติดลงบนแผ่นสไลด์ทั้งหมด ซึ่งเซลล์ที่มีความสำคัญ (เซลล์มะเร็ง) อาจจะยังคงเหลืออยู่บนแปรงที่ถูกทิ้งไป ด้วยเหตุนี้ จึงอาจทำให้สูญเสียเซลล์ที่ผิดปกติไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงการตรวจมะเร็งด้วยวิธีแปปสเมียร์แบบดั้งเดิม

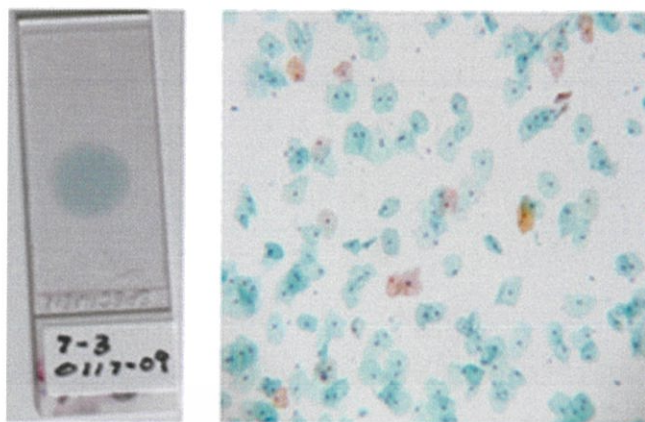
1.2 การตรวจแปปสเมียร์วิธี Liquid Based Cytology ด้วย

Liqui PREP™

เป็นวิธีแบบใหม่ในการตรวจแปปสเมียร์ โดยแพทย์จะใช้แปรงที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ (หัวแปรงจะสามารถปลดออกได้) เก็บเซลล์บริเวณปากมดลูก จากนั้นจึงปลดหัวแปรงลงเก็บในขวดน้ำยารักษาสภาพเซลล์ที่สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ เช่น มูก เลือด เป็นต้น แปรงที่สามารถปลดหัวแปรงได้ จะทำให้เก็บเซลล์บริเวณปากมดลูกได้อย่างครบถ้วนครอบคลุม ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่า 100% ของเซลล์ที่เก็บได้จะถูกส่งไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ผล ทำให้สามารถวิเคราะห์เซลล์ต่างๆ ได้อย่างชัดเจน และยังเพิ่มโอกาสในการพบเซลล์ที่มีความผิดปกติได้มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ Liqui Prep™ ทำให้สามารถแปลผลได้ถูกต้อง และมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ตัวอย่างเซลล์ที่ถูกเก็บรักษาอยู่ในขวด Liqui PREP™ ยังสามารถนำไปตรวจหาสายพันธุ์ของเชื้อไวรัส HPV รวมถึงยังสามารถตรวจหาเชื้อของโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ได้อีก เช่น เชื้อไวรัสเริม เชื้อราในช่องคลอด เชื้อแบคทีเรียในช่องคลอด หรือพยาธิในช่องคลอดได้อีก ด้วยซึ่งวิธีการตรวจแปปสเมียร์ด้วยวิธี Liquid Based Cytology เป็นวิธีที่ได้รับการศึกษาและยอมรับแล้วว่า มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการตรวจแปปสเมียร์ด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional Pap Smear)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการตรวจมะเร็งด้วยวิธีแปปสเมียร์แบบสมัยใหม่

2. การตรวจคอลโปสโคปี (Colposcopy)

เป็นการตรวจปากมดลูกและช่องคลอดโดยการส่องกล้องขยาย ตรวจหาบริเวณที่ผิดปกติจากนั้นอาจจะมีการเก็บเนื้อเยื่อไปตรวจโดยการใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายเข็ญติเล็กๆขูดบริเวณที่ผิดปกติ แล้วนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อหาความผิดปกติต่อไป

3. การตัดชิ้นเนื้อ (Biopsy)

เป็นการตัดชิ้นส่วนเล็กๆของเนื้อเยื่อออกมาจากปากมดลูกที่ผิดปกติ จากนั้นพยาธิแพทย์จะนำมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจหาเซลล์มะเร็ง โดยปกติจะทำการตัดชิ้นเนื้อเมื่อมีการตรวจเช็คมะเร็งปากมดลูกโดยการทำแปปแล้วผิดปกติ การตัดชิ้นเนื้อในบางรายอาจทำการตัดชิ้นเนื้อรูปโคน (Cone biopsy) ซึ่งจะได้ชิ้นเนื้อจากปากมดลูกขนาดใหญ่กว่า

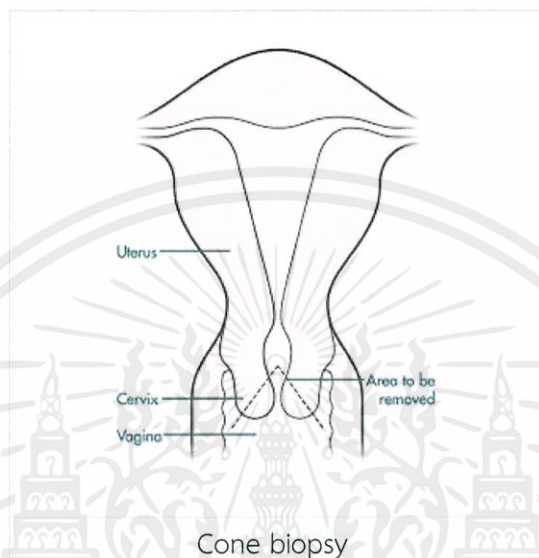
4. การตรวจภายใน (Pelvic exam)

เป็นการตรวจช่องคลอด ปากมดลูก มดลูก ท่อนำไข่ รังไข่ และทวารหนัก โดยการใช้นิ้วมือหนึ่งหรือสองนิ้วของมือข้างหนึ่งใส่ถุ่มมือและหล่อลื่นด้วยน้ำยาหล่อลื่นสอดเข้าไปในช่องคลอด และวางมืออีกข้างหนึ่งที่บริเวณท้องน้อยของผู้ป่วยเพื่อจะได้รู้ถึงขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของมดลูกและรังไข่และยังมีการตรวจอีกอย่างหนึ่งคือการใช้เครื่องมือซึ่งเรียกว่า สเปคูลัม (Speculum) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีรูปร่างคล้ายปากเปิด สอดเข้าไปในช่องคลอดเพื่อดูความผิดปกติของช่องคลอดและปากมดลูก โดยอาจจะทำการตรวจเช็คมะเร็งปากมดลูก โดยการทำแปปในขณะที่ใส่เครื่องมือนี้ด้วย นอกจากนี้อาจจะมีการตรวจทางทวารหนัก โดยการใช้นิ้วมือซึ่งใส่ถุ่มมือและหล่อลื่นแล้ว สอดเข้าไปในทวารหนัก เพื่อตรวจหาก้อนหรือบริเวณที่ผิดปกติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาทานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การขูดเนื้อเยื่อบริเวณด้านในของปากมดลูก (Endocervical curettage)

เป็นการใช้อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะคล้ายช้อนอันเล็กๆ ขูดเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่อยู่ในรูของปากมดลูก จากนั้นเนื้อเยื่อตัวอย่างที่ได้จากการขูดออกมานั้นจะถูกส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อหาเซลล์มะเร็งการขูดมดลูกนี้ ในบางครั้งอาจทำพร้อมกันกับการตรวจคอลโปสโกปีด้วย



รูปที่ 2.20 แสดงปากมดลูกลักษณะเป็นรูปกรวย

การเตรียมตัวก่อนรับการตรวจค้นหาหามะเร็งในระยะแรกด้วยการตรวจแปปสเมียร์

- 1) ไม่ควรมีการตรวจภายในมาก่อน 24 ชั่วโมง
- 2) ห้ามสวนล้างภายในช่องคลอดมาก่อน 24 ชั่วโมง
- 3) งดการมีเพศสัมพันธ์คืนวันก่อนมารับการตรวจภายใน
- 4) ไม่ควรเหน็บยาใด ๆ ในช่องคลอดมาก่อน 48 ชั่วโมง
- 5) ควรมารับการตรวจมะเร็งหลังประจำเดือนหมดแล้วประมาณ 2 สัปดาห์ สำหรับผู้ที่ไม่มีประจำเดือนแล้วให้มาได้ตามสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 ระยะของมะเร็งปากมดลูก (Stages of cervical cancer)

ระยะของมะเร็งปากมดลูกแบ่งได้ ดังนี้

- 1) ระยะที่ 0 คือการตรวจพบเซลล์ที่ผิดปกติบริเวณผิวหนังนอกสุดของปากมดลูกโดยยังไม่ใช่เซลล์มะเร็ง แต่เซลล์ผิดปกตินี้อาจจะกลายเป็นเซลล์มะเร็ง ในเวลาถัดมาและอาจกระจายไปยังเนื้อเยื่อปกติบริเวณนั้นได้ ระยะที่ 0 เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Carcinoma in situ
- 2) ระยะที่ 1 คือการตรวจพบมะเร็งอยู่ในปากมดลูกเท่านั้น ในระยะที่ 1 นี้แบ่งออกเป็นระยะ 1 เอ (1A) และ ระยะ 1 บี (1B) ซึ่งแบ่งโดยขนาดของมะเร็งที่ตรวจพบ
 - 2.1) ระยะ 1A เป็นระยะที่พบมะเร็งน้อยมาก สามารถเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์เท่านั้น ระยะนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นระยะ 1 เอ 1 (1A1) และระยะ 1 เอ 2 (1A2) โดยแบ่งจากขนาดของมะเร็ง
 - 2.1.1) ระยะ 1A1 เป็นระยะที่ตรวจพบมะเร็งที่มีความลึกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 มิลลิเมตร
 - 2.1.2) ระยะ 1A2 เป็นระยะที่ตรวจพบมะเร็งที่มีความลึกมากกว่า 3 มิลลิเมตรแต่ไม่มากกว่า 5 มิลลิเมตร และความกว้างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 มิลลิเมตร
 - 2.2) ระยะ 1B เป็นระยะที่ตรวจพบมะเร็งที่มีความลึกมากกว่า 5 มิลลิเมตร หรือ ความกว้างมากกว่า 7 มิลลิเมตร หรือสามารถมองเห็นมะเร็งได้ด้วยตาเปล่า โดยมะเร็งจะยังคงอยู่ในปากมดลูกเท่านั้น ระยะนี้สามารถแบ่งออกเป็น ระยะ 1 บี 1 (1B1) และระยะ 1 บี 2 (1B2) โดยแบ่งจากขนาดของมะเร็ง
 - 2.2.1) ระยะ 1B1 เป็นระยะที่ตรวจพบมะเร็งขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 4 เซนติเมตร
 - 2.2.2) ระยะ 1B2 เป็นระยะที่ตรวจพบมะเร็งขนาดใหญ่กว่า 4 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

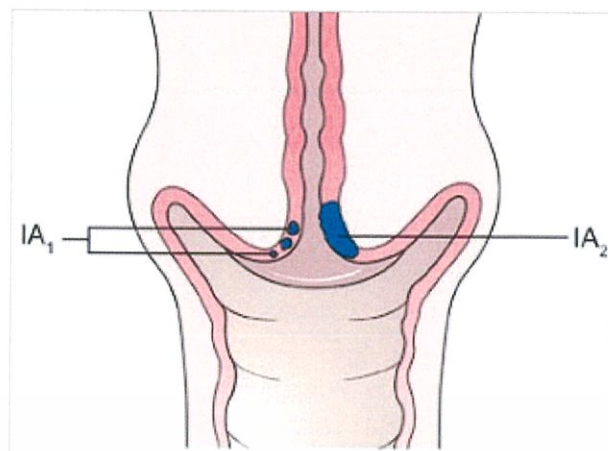


Diagram showing stage 1A cervical cancer
Copyright © CancerHelp UK

ระยะ 1A

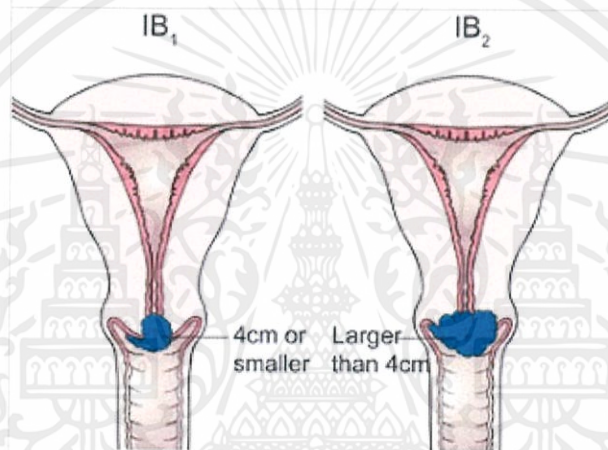


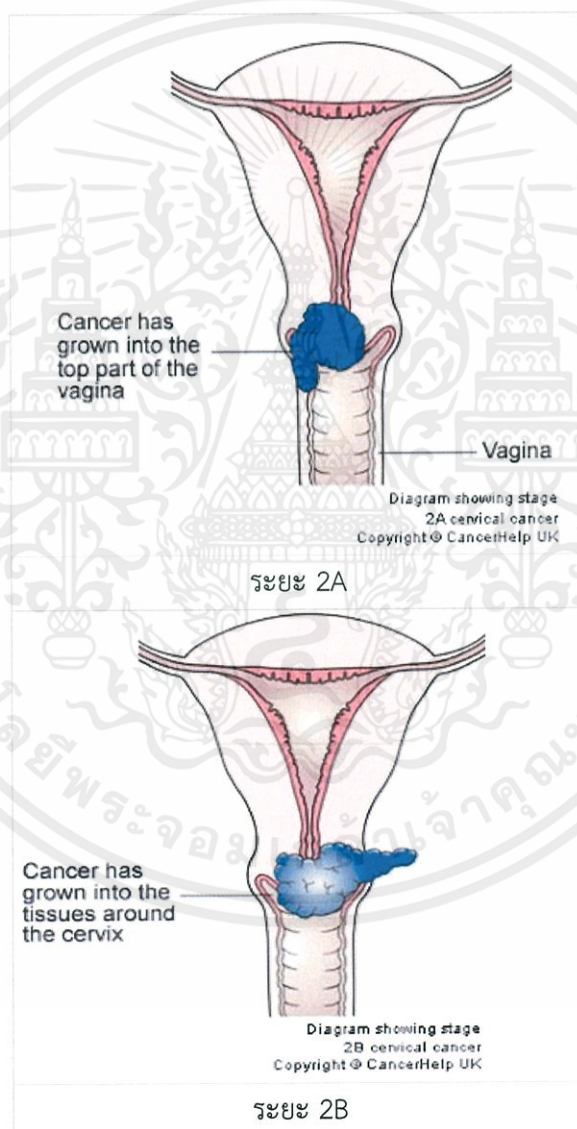
Diagram showing stage 1B cervical cancer
Copyright © CancerHelp UK

ระยะ 1B

รูปที่ 2.21 แสดงขนาดมะเร็งบริเวณปากมดลูกในระยะที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ระยะที่ 2 คือการตรวจพบมะเร็งกระจายออกไปจากปากมดลูกแล้วแต่ยังไม่ถึงเนื้อเยื่อของผนังด้านข้างของอุ้งเชิงกราน (Pelvic wall) หรือมีการกระจายไปยังช่องคลอดแล้วแต่ยังไม่ถึงหนึ่งในสามส่วนล่างของช่องคลอด ระยะที่ 2 นี้ยังแบ่งออกเป็นระยะ 2 เอ (2A) และ 2 บี (2B) ซึ่งแบ่งโดยความไกลในการกระจายของมะเร็ง
- 3.1) ระยะ 2A เป็นระยะที่มะเร็งกระจายออกจากปากมดลูกไปยังสองในสามส่วนบนของช่องคลอดแต่ยังไม่มีการกระจายเข้าไปในเนื้อเยื่อข้างตัวมดลูก
 - 3.2) ระยะ 2B เป็นระยะที่มะเร็งกระจายออกจากปากมดลูกไปยังเนื้อเยื่อข้างตัวมดลูก

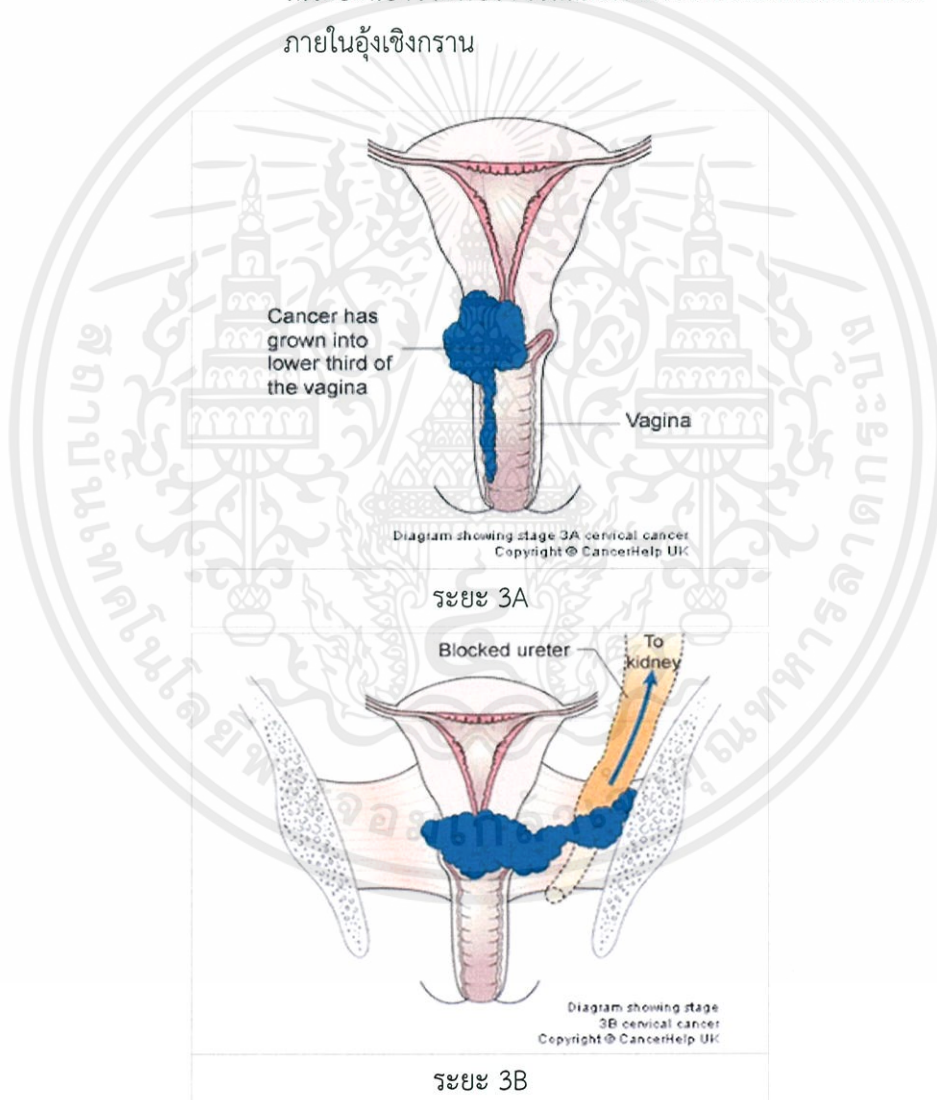


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับความรู้เท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะการกระจายของมะเร็งออกจากปากมดลูก ในระยะที่ 2
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ระยะที่ 3 คือการตรวจพบว่ามะเร็งกระจายออกไปยังหนึ่งในสามส่วนล่างของช่องคลอด โดยอาจจะมีการกระจายไปยังผนังด้านข้างของอุ้งเชิงกราน และ/หรือ ทำให้ไตทำงานได้แยกลงในระยะเวลาที่ 3 นี้แบ่งออกเป็น ระยะ 3 เอ (3A) และ ระยะ 3 บี (3B) ซึ่งแบ่งโดย ความไกลในการกระจายของมะเร็ง

4.1) ระยะ 3A เป็นระยะที่มะเร็งกระจายไปยังหนึ่งในสามส่วนล่างของช่องคลอด แต่ยังไม่มีการกระจายไปยังผนังด้านข้างของอุ้งเชิงกราน

4.2) ระยะ 3B เป็นระยะที่มะเร็งกระจายไปยังผนังด้านข้างของอุ้งเชิงกราน และ/หรือ มะเร็งขยายตัวไปกดบริเวณท่อไต (Ureter) ทำให้เกิดการอุดตันของระบบปัสสาวะทำให้ไตมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือทำงานได้แยกลง ในระยะนี้อาจจะพบว่า เซลล์มะเร็งกระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองภายในอุ้งเชิงกราน

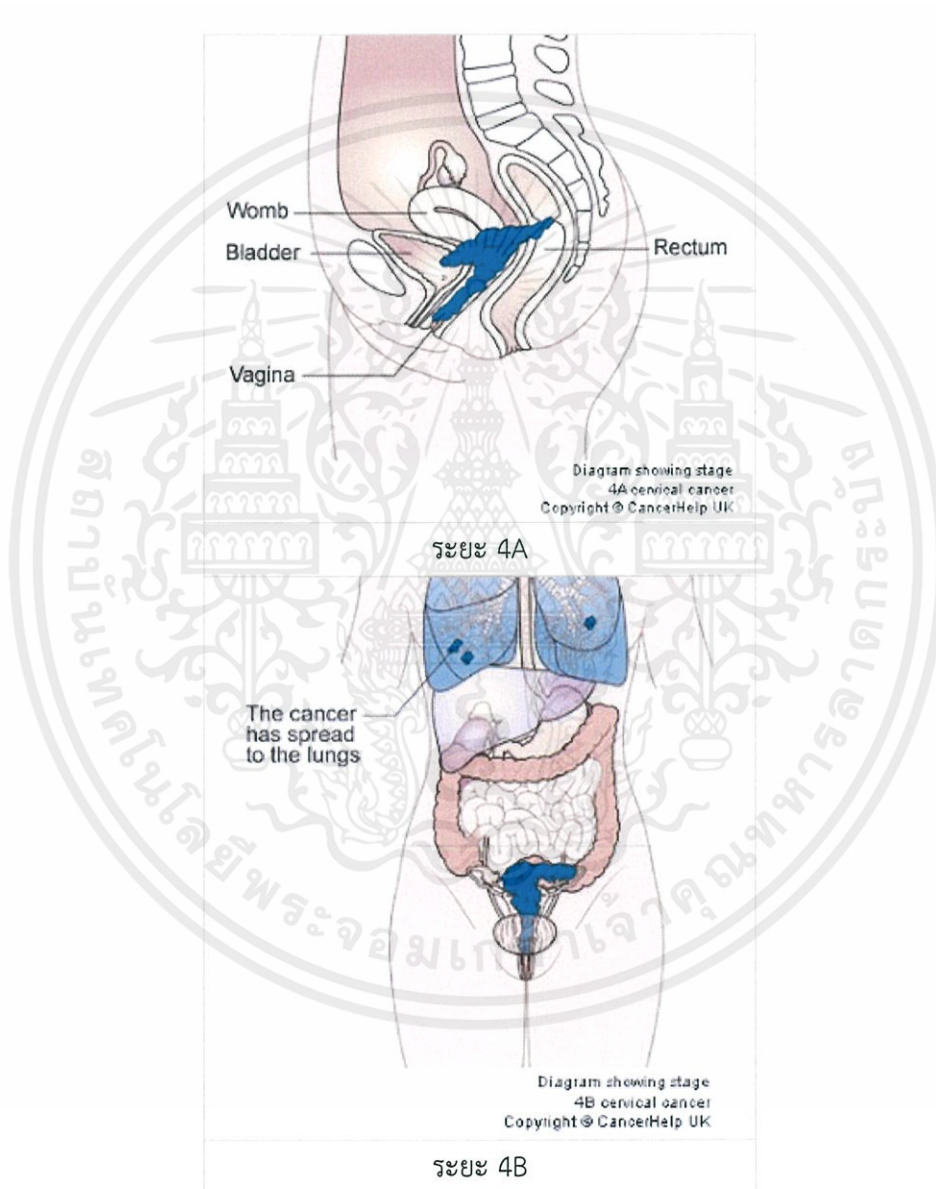


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้นเพื่อการศึกษาเรื่องมะเร็งไปยั้งผนังอุ้งเชิงกราน ในระยะที่ 3 ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ระยะที่ 4 คือการตรวจพบว่ามะเร็งกระจายไปยังกระเพาะปัสสาวะ ทวารหนัก หรือส่วนอื่นๆของร่างกาย ในระยะนี้จะแบ่งออก เป็นระยะ 4 เอ (4A) และ ระยะ 4 บี (4B) ซึ่งแบ่งจากตำแหน่งที่มะเร็งกระจาย

5.1) ระยะ 4A เป็นระยะที่มะเร็งกระจายไปยังกระเพาะปัสสาวะหรือทวารหนัก

5.2) ระยะ 4B เป็นระยะที่มะเร็งกระจายออกจากอุ้งเชิงกราน ไปยังส่วนอื่นๆของร่างกาย เช่น ช่องท้อง ตับ ลำไส้ หรือปอด เป็นต้น



รูปที่ 2.24 แสดงการกระจายของมะเร็งออกจากอุ้งเชิงกรานไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย

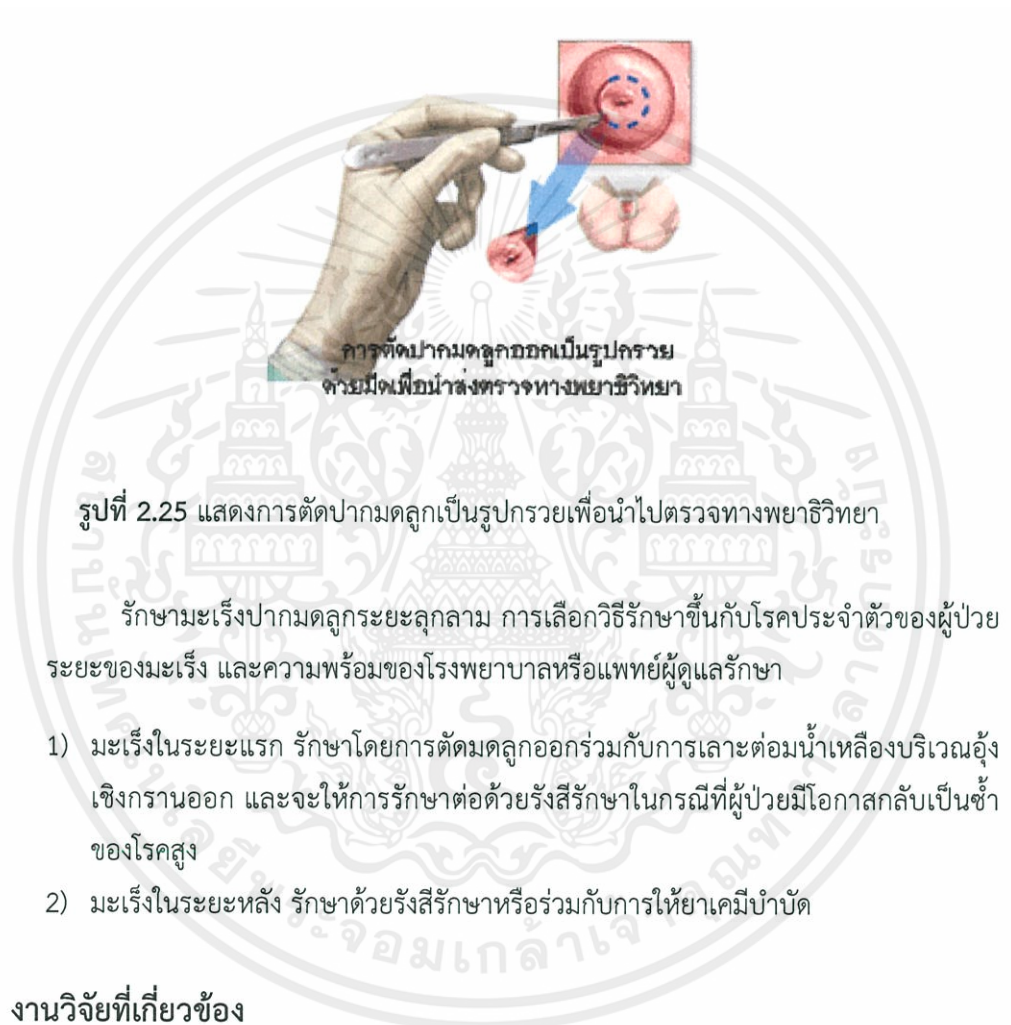
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในระยะที่ 4

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6 การรักษามะเร็งปากมดลูก

วิธีการรักษามะเร็งปากมดลูกขึ้นกับระยะของมะเร็ง ความต้องการมีบุตรของผู้ป่วย และโรคทางนรีเวชอื่น ๆ ที่เป็นร่วมด้วยการรักษาในระยะก่อนเป็นมะเร็งหรือระยะก่อนลุกลาม มีวิธีการติดตามและรักษาได้หลายวิธี ได้แก่ การตัดปากมดลูกด้วยห่วงไฟฟ้า การจี้ปากมดลูกด้วยความเย็น การจี้ด้วยเลเซอร์ การตัดปากมดลูกออกเป็นรูปกรวยด้วยมีด หลังจากนั้นควรตรวจติดตามผลการรักษาอย่างใกล้ชิด โดยการตรวจภายในและทำแปปส-เมียร์ หรือตรวจด้วยกล้องขยาย ทุก 4 – 6 เดือน โดยรอยโรคขั้นต่ำบางชนิดสามารถหายไปได้เองภายใน 1 – 2 ปี



รูปที่ 2.25 แสดงการตัดปากมดลูกเป็นรูปกรวยเพื่อนำไปตรวจทางพยาธิวิทยา

รักษามะเร็งปากมดลูกระยะลุกลาม การเลือกวิธีการรักษาขึ้นกับโรคประจำตัวของผู้ป่วย ระยะของมะเร็ง และความพร้อมของโรงพยาบาลหรือแพทย์ผู้ดูแลรักษา

- 1) มะเร็งในระยะแรก รักษาโดยการตัดมดลูกออกพร้อมกับการเลาะต่อมน้ำเหลืองบริเวณอุ้งเชิงกรานออก และจะให้การรักษาต่อด้วยรังสีรักษาในกรณีที่มีโอกาสกลับเป็นซ้ำของโรคสูง
- 2) มะเร็งในระยะหลัง รักษาด้วยรังสีรักษาหรือร่วมกับการให้ยาเคมีบำบัด

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shernita L. Lee (2012) สร้างแบบจำลอง (SI) คณิตศาสตร์สำหรับเชื้อ HPV ที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งปากมดลูกของประชากรสตรีชาวผิวดำที่อาศัยอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีอายุ 16 ปีในปี 2010 ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ แบบจำลอง SI สอดคล้องกับหลักการความเป็นจริงโดยทำให้ทราบว่าการเกิดโรคมะเร็งปากมดลูกนั้นขึ้นอยู่กับการติดเชื้อ HPV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

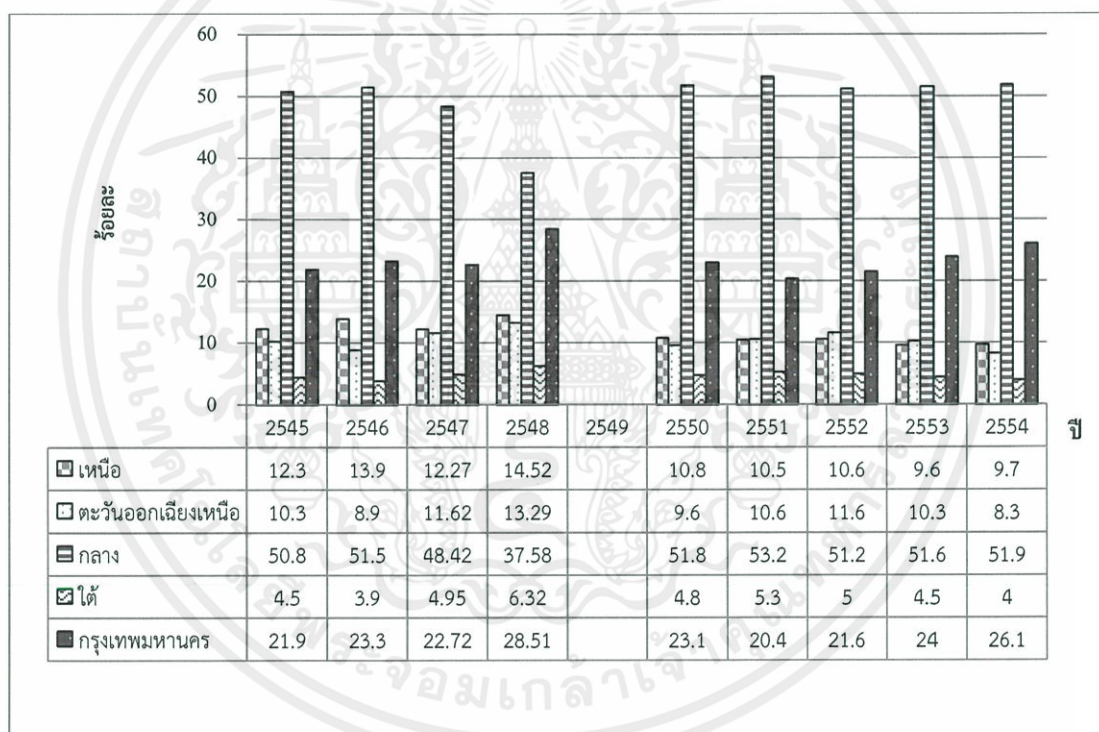
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.1.1 แบ่งตามแต่ละภาคของประเทศไทย 4 ภาค และกรุงเทพมหานคร ดังนี้

- 1) ภาคเหนือ
- 2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- 3) ภาคกลาง
- 4) ภาคใต้
- 5) กรุงเทพมหานคร



หมายเหตุ ปี 2549 ไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ

(http://www.nci.go.th/th/cancer_record/cancer/cancer_rec1.html)

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกตามแต่ละภาค

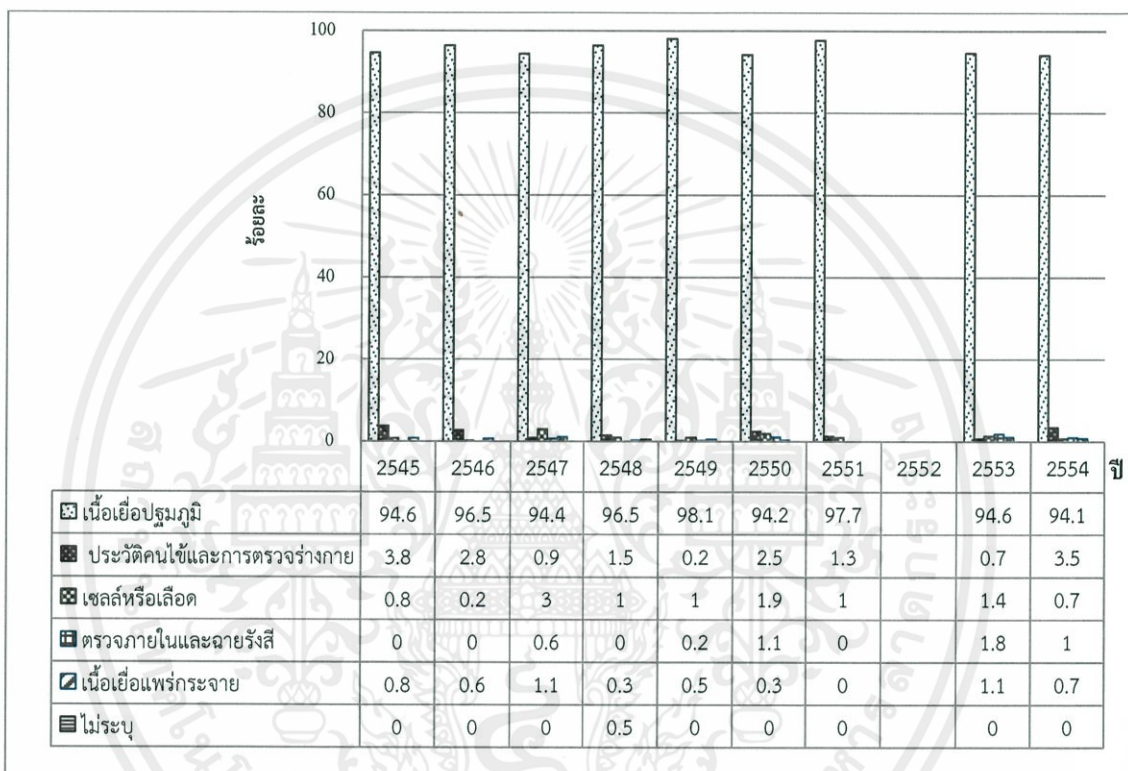
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2545 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 605 คน แบ่งเป็นภาคเหนือ 75 คนหรือร้อยละ 12.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 62 คนหรือร้อยละ 10.3 ภาคกลาง 307 คนหรือร้อยละ 50.8 ภาคใต้ 27 คนหรือร้อยละ 4.5 และกรุงเทพมหานคร 134 คนหรือร้อยละ 21.9
- ปี 2546 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 507 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 70 คนหรือร้อยละ 13.9 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 44 คนหรือร้อยละ 8.9 ภาคกลาง 260 คนหรือร้อยละ 51.5 ภาคใต้ 17 คนหรือร้อยละ 3.9 และกรุงเทพมหานคร 116 คนหรือร้อยละ 23.3
- ปี 2547 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 534 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 68 คนหรือร้อยละ 12.72 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 62 คนหรือร้อยละ 11.62 ภาคกลาง 256 คนหรือร้อยละ 48.42 ภาคใต้ 26 คนหรือร้อยละ 4.95 และกรุงเทพมหานคร 122 คนหรือร้อยละ 22.72
- ปี 2548 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 397 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 57 คนหรือร้อยละ 14.52 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 53 คนหรือร้อยละ 13.29 ภาคกลาง 149 คนหรือร้อยละ 37.58 ภาคใต้ 25 คนหรือร้อยละ 6.32 และกรุงเทพมหานคร 113 คนหรือร้อยละ 28.51
- ปี 2549 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 412 คน ซึ่งไม่มีการบันทึกข้อมูลตามแต่ละภาคของประเทศไทย
- ปี 2550 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 363 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 39 คนหรือร้อยละ 10.8 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 35 คนหรือร้อยละ 9.6 ภาคกลาง 188 คนหรือร้อยละ 51.8 ภาคใต้ 17 คนหรือร้อยละ 4.8 และกรุงเทพมหานคร 84 คนหรือร้อยละ 23.1
- ปี 2551 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 301 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 32 คนหรือร้อยละ 10.5 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 32 คนหรือร้อยละ 10.6 ภาคกลาง 160 คนหรือร้อยละ 53.2 ภาคใต้ 16 คนหรือร้อยละ 5.3 และกรุงเทพมหานคร 61 คนหรือร้อยละ 20.4
- ปี 2552 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 297 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 32 คนหรือร้อยละ 10.6 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 34 คนหรือร้อยละ 11.6 ภาคกลาง 152 คนหรือร้อยละ 51.2 ภาคใต้ 15 คนหรือร้อยละ 5 และกรุงเทพมหานคร 64 คนหรือร้อยละ 21.6
- ปี 2553 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 276 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 27 คนหรือร้อยละ 9.6 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 28 คนหรือร้อยละ 10.3 ภาคกลาง 142 คนหรือร้อยละ 51.6 ภาคใต้ 12 คนหรือร้อยละ 4.5 และกรุงเทพมหานคร 67 คนหรือร้อยละ 24
- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 289 คน แบ่งเป็น ภาคเหนือ 28 คนหรือร้อยละ 9.7 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 24 คนหรือร้อยละ 8.3 ภาคกลาง 150 คนหรือร้อยละ 51.9 ภาคใต้ 12 คนหรือร้อยละ 4 และกรุงเทพมหานคร 75 คนหรือร้อยละ 26.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 แบ่งตามวิธีวินิจฉัย

- 1) เนื้อเยื่อปฐมภูมิ (Histology of Primary)
- 2) ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย (History & Physical examination)
- 3) เซลล์หรือเลือด (Cytology or Hematology)
- 4) ตรวจภายในและฉายรังสี (Endoscopy & Radiology)
- 5) เนื้อเยื่อแพร่กระจาย (Histology of Metastasis)
- 6) ไม่ระบุ (Unknown)



หมายเหตุ ปี 2552 ไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ

(http://www.nci.go.th/th/cancer_record/cancer/cancer_rec1.html)

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามวิธีวินิจฉัย

ปี 2545 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 605 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ

ปฐมภูมิ 572 คนหรือร้อยละ 94.6 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 23 คนหรือร้อยละ

3.8 เซลล์หรือเลือด 5 คนหรือร้อยละ 0.8 ตรวจภายในและฉายรังสี 0 คนหรือร้อยละ 0

เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 5 คนหรือร้อยละ 0.8 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารของศูนย์วิจัยมะเร็งปากมดลูกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

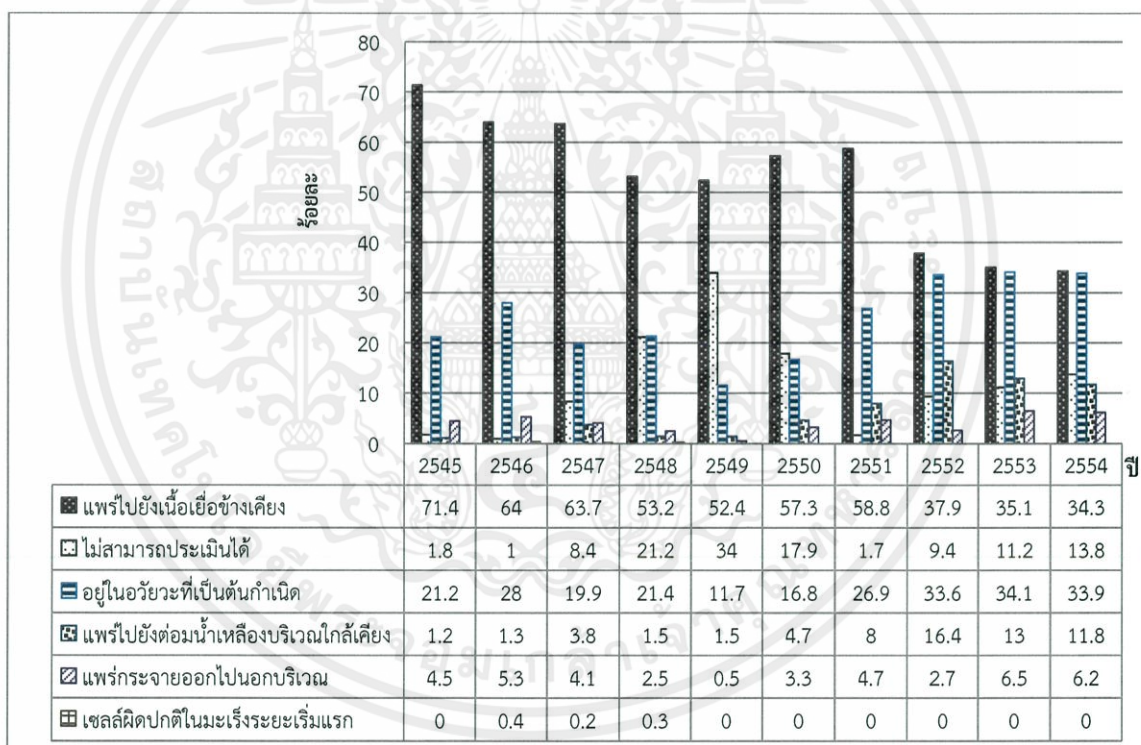
- ปี 2546 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 507 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 489 คนหรือร้อยละ 96.5 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 14 คนหรือร้อยละ
 2.8 เซลล์หรือเลือด 1 คนหรือร้อยละ 0.2 ตรวจภายในและฉายรังสี 0 คนหรือร้อยละ 0
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 3 คนหรือร้อยละ 0.6 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2547 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 534 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 504 คนหรือร้อยละ 94.4 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 5 คนหรือร้อยละ
 0.9 เซลล์หรือเลือด 16 คนหรือร้อยละ 3 ตรวจภายในและฉายรังสี 3 คนหรือร้อยละ 0.6
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 6 คนหรือร้อยละ 1.1 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2548 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 397 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 383 คนหรือร้อยละ 96.5 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 7 คนหรือร้อยละ
 1.5 เซลล์หรือเลือด 4 คนหรือร้อยละ 1 ตรวจภายในและฉายรังสี 0 คนหรือร้อยละ 0
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 1 คนหรือร้อยละ 0.3 และไม่ระบุ 2 คนหรือร้อยละ 0.5
- ปี 2549 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 412 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 404 คนหรือร้อยละ 98.1 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 1 คนหรือร้อยละ
 0.2 เซลล์หรือเลือด 4 คนหรือร้อยละ 1.0 ตรวจภายในและฉายรังสี 1 คนหรือร้อยละ 0.2
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 2 คนหรือร้อยละ 0.5 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2550 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 363 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 342 คนหรือร้อยละ 94.2 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 9 คนหรือร้อยละ
 2.5 เซลล์หรือเลือด 7 คนหรือร้อยละ 1.9 ตรวจภายในและฉายรังสี 4 คนหรือร้อยละ 1.1
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 1 คนหรือร้อยละ 0.3 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2551 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 301 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 294 คนหรือร้อยละ 97.7 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 4 คนหรือร้อยละ
 1.3 เซลล์หรือเลือด 3 คนหรือร้อยละ 1 ตรวจภายในและฉายรังสี 0 คนหรือร้อยละ 0
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 0 คนหรือร้อยละ 0 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2552 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 297 คน ซึ่งไม่มีการบันทึกข้อมูลตามวิธี
 วินิจฉัย
- ปี 2553 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 276 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 261 คนหรือร้อยละ 94.6 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 2 คนหรือร้อยละ
 0.7 เซลล์หรือเลือด 4 คนหรือร้อยละ 1.4 ตรวจภายในและฉายรังสี 6 คนหรือร้อยละ 1.8
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 3 คนหรือร้อยละ 1.1 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 289 คน แบ่งตามวิธีวินิจฉัย ดังนี้ เนื้อเยื่อ
 ปฐมภูมิ 272 คนหรือร้อยละ 94.1 ประวัติคนไข้และการตรวจร่างกาย 10 คนหรือร้อยละ
 3.5 เซลล์หรือเลือด 2 คนหรือร้อยละ 0.7 ตรวจภายในและฉายรังสี 3 คนหรือร้อยละ 1
 เนื้อเยื่อแพร่กระจาย 2 คนหรือร้อยละ 0.7 และไม่ระบุ 0 คนหรือร้อยละ 0

3.1.3 แบ่งตามการแพร่กระจายของโรค

- 1) แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง (Direct extension)
- 2) ไม่สามารถประเมินได้ (Unknown)
- 3) อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด (Localized)
- 4) แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง (Regional lymph nodes)
- 5) แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ (Distance metastasis)
- 6) เซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก (In situ)



ที่มา: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ

(http://www.nci.go.th/th/cancer_record/cancer/cancer_rec1.html)

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามการแพร่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2545 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 605 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 432 คนหรือร้อยละ 71.4 ไม่สามารถประเมินได้ 11 คนหรือร้อยละ 1.8 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 128 คนหรือร้อยละ 21.2 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 7 คนหรือร้อยละ 1.2 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 27 คนหรือร้อยละ 4.5 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2546 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 507 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 323 คนหรือร้อยละ 64 ไม่สามารถประเมินได้ 5 คนหรือร้อยละ 1 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 142 คนหรือร้อยละ 28 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 7 คนหรือร้อยละ 1.3 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 28 คนหรือร้อยละ 5.3 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 2 คนหรือร้อยละ 0.4
- ปี 2547 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 534 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 340 คนหรือร้อยละ 63.7 ไม่สามารถประเมินได้ 45 คนหรือร้อยละ 8.4 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 106 คนหรือร้อยละ 19.9 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 20 คนหรือร้อยละ 3.8 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 22 คนหรือร้อยละ 4.1 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 1 คนหรือร้อยละ 0.2
- ปี 2548 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 397 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 211 คนหรือร้อยละ 53.2 ไม่สามารถประเมินได้ 84 คนหรือร้อยละ 21.2 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 85 คนหรือร้อยละ 21.4 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 6 คนหรือร้อยละ 1.5 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 1 คนหรือร้อยละ 0.25 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 1 คนหรือร้อยละ 0.3
- ปี 2549 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 412 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 216 คนหรือร้อยละ 52.4 ไม่สามารถประเมินได้ 140 คนหรือร้อยละ 34 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 48 คนหรือร้อยละ 11.7 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 6 คนหรือร้อยละ 1.5 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 2 คนหรือร้อยละ 0.5 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2550 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 363 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 208 คนหรือร้อยละ 57.3 ไม่สามารถประเมินได้ 65 คนหรือร้อยละ 17.9 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 61 คนหรือร้อยละ 16.8 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 17 คนหรือร้อยละ 4.7 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 12 คนหรือร้อยละ 3.3 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0

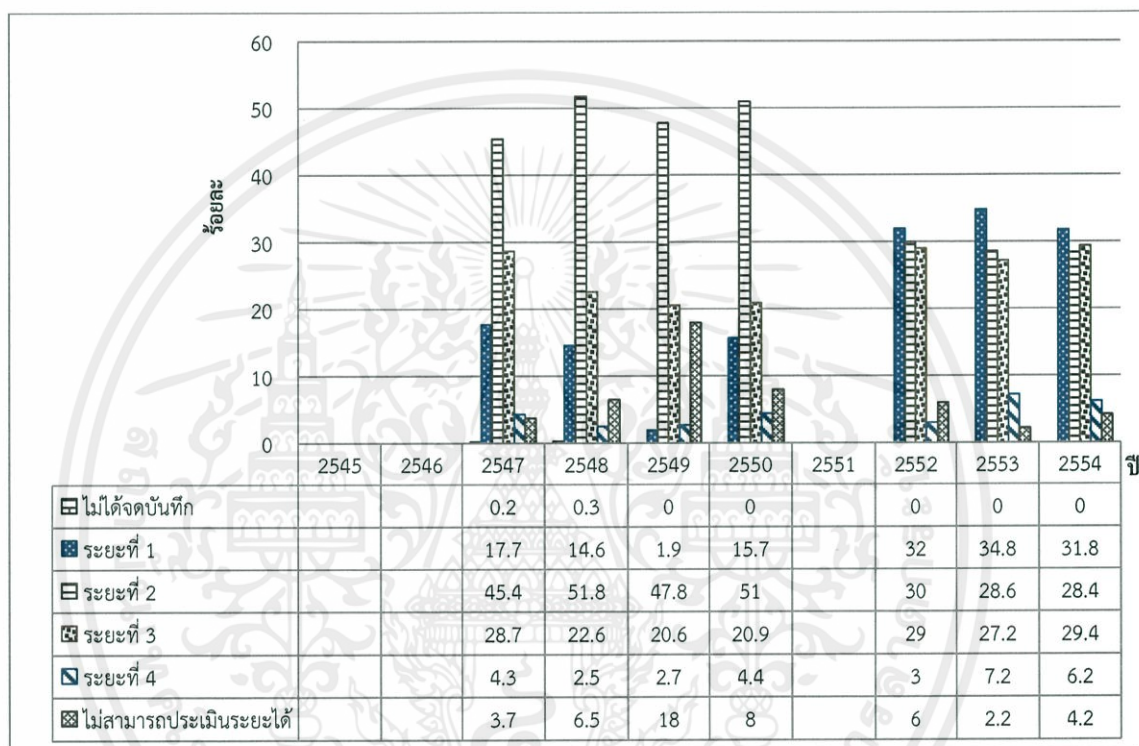
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2551 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 301 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 177 คนหรือร้อยละ 58.8 ไม่สามารถประเมินได้ 5 คนหรือร้อยละ 1.7 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 81 คนหรือร้อยละ 26.9 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 24 คนหรือร้อยละ 8 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 14 คนหรือร้อยละ 4.7 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2552 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 297 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 113 คนหรือร้อยละ 37.9 ไม่สามารถประเมินได้ 28 คนหรือร้อยละ 9.4 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 99 คนหรือร้อยละ 33.6 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 49 คนหรือร้อยละ 16.4 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 8 คนหรือร้อยละ 2.7 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2553 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 276 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 97 คนหรือร้อยละ 35.1 ไม่สามารถประเมินได้ 31 คนหรือร้อยละ 11.2 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 94 คนหรือร้อยละ 34.1 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 36 คนหรือร้อยละ 13 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 18 คนหรือร้อยละ 6.5 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0
- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 289 คน แบ่งตามการแพร่กระจาย ดังนี้ แพร่ไปยังเนื้อเยื่อข้างเคียง 99 คนหรือร้อยละ 34.3 ไม่สามารถประเมินได้ 4 คนหรือร้อยละ 1.38 อยู่ในอวัยวะที่เป็นต้นกำเนิด 98 คนหรือร้อยละ 33.9 แพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณใกล้เคียง 34 คนหรือร้อยละ 11.8 แพร่กระจายออกไปนอกบริเวณ 18 คนหรือร้อยละ 6.2 และเซลล์ผิดปกติในมะเร็งระยะเริ่มแรก 0 คนหรือร้อยละ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 แบ่งตามระยะของโรค

- 1) ไม่ได้จัดบันทึก (Not record)
- 2) ระยะที่ 1 (Stage I)
- 3) ระยะที่ 2 (Stage II)
- 4) ระยะที่ 3 (Stage III)
- 5) ระยะที่ 4 (Stage IV)
- 6) ไม่สามารถประเมินระยะได้ (Unknown Stage)



หมายเหตุ ปี 2545, 2546 และ 2551 ไม่ปรากฏข้อมูล

ที่มา: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ

(http://www.nci.go.th/th/cancer_record/cancer/cancer_rec1.html)

รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามระยะของโรค

ปี 2545 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 605 คน ซึ่งไม่มีการบันทึกข้อมูลตามระยะของโรค

ปี 2546 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 507 คน ซึ่งไม่มีการบันทึกข้อมูลตามระยะของโรค

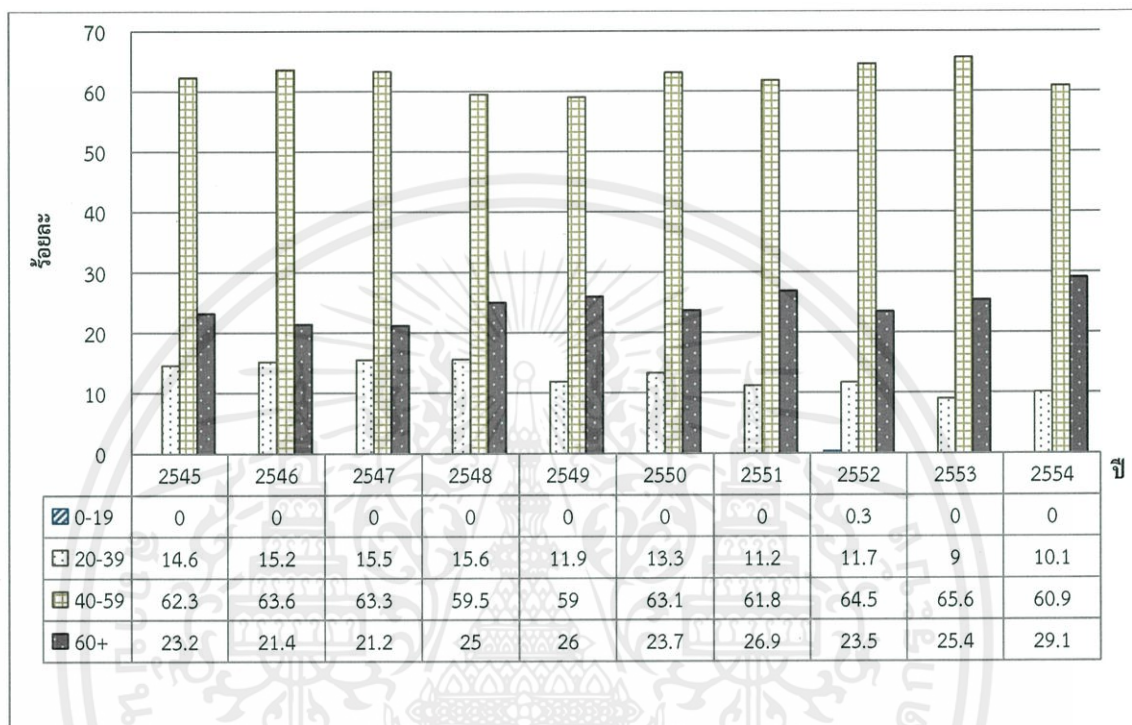
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2547 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 534 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 1 คนหรือร้อยละ 0.2 ระยะที่ 1 95 คนหรือร้อยละ 17.7 ระยะที่ 2 242 คนหรือร้อยละ 45.4 ระยะที่ 3 153 คนหรือร้อยละ 28.7 ระยะที่ 4 23 คนหรือร้อยละ 4.3 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 2 คนหรือร้อยละ 3.7
- ปี 2548 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 397 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 1 คนหรือร้อยละ 0.3 ระยะที่ 1 59 คนหรือร้อยละ 14.6 ระยะที่ 2 21 คนหรือร้อยละ 51.8 ระยะที่ 3 91 คนหรือร้อยละ 22.6 ระยะที่ 4 10 คนหรือร้อยละ 2.5 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 26 คนหรือร้อยละ 6.5
- ปี 2549 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 412 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 0 คนหรือร้อยละ 0 ระยะที่ 1 45 คนหรือร้อยละ 1.9 ระยะที่ 2 197 คนหรือร้อยละ 47.8 ระยะที่ 3 85 คนหรือร้อยละ 20.6 ระยะที่ 4 11 คนหรือร้อยละ 2.7 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 74 คนหรือร้อยละ 18
- ปี 2550 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 363 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 0 คนหรือร้อยละ 0 ระยะที่ 1 57 คนหรือร้อยละ 15.7 ระยะที่ 2 185 คนหรือร้อยละ 51 ระยะที่ 3 76 คนหรือร้อยละ 20.9 ระยะที่ 4 16 คนหรือร้อยละ 4.4 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 29 คนหรือร้อยละ 8
- ปี 2551 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 301 คน ซึ่งไม่มีการบันทึกข้อมูลตามระยะของโรค
- ปี 2552 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 297 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 0 คนหรือร้อยละ 0 ระยะที่ 1 95 คนหรือร้อยละ 32 ระยะที่ 2 89 คนหรือร้อยละ 30 ระยะที่ 3 86 คนหรือร้อยละ 29 ระยะที่ 4 9 คนหรือร้อยละ 3 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 18 คนหรือร้อยละ 6
- ปี 2553 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 276 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 0 คนหรือร้อยละ 0 ระยะที่ 1 96 คนหรือร้อยละ 34.8 ระยะที่ 2 79 คนหรือร้อยละ 28.6 ระยะที่ 3 75 คนหรือร้อยละ 27.2 ระยะที่ 4 20 คนหรือร้อยละ 7.2 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 6 คนหรือร้อยละ 2.2
- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 289 คน แบ่งตามระยะของโรค ดังนี้ ไม่ได้จัดบันทึก 0 คนหรือร้อยละ 0 ระยะที่ 1 92 คนหรือร้อยละ 31.8 ระยะที่ 2 82 คนหรือร้อยละ 28.4 ระยะที่ 3 85 คนหรือร้อยละ 29.4 ระยะที่ 4 18 คนหรือร้อยละ 6.2 และไม่สามารถประเมินระยะได้ 12 คนหรือร้อยละ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้

- 1) อายุ 0-19 ปี
- 2) อายุ 20-39 ปี
- 3) อายุ 40-59 ปี
- 4) อายุ 60 ปี ขึ้นไป



ที่มา: สถาบันมะเร็งแห่งชาติ

(http://www.nci.go.th/th/cancer_record/cancer/cancer_rec1.html)

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกแยกตามช่วงอายุ

ปี 2545 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 605 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 88 คนหรือร้อยละ 14.6 อายุ 40-59 ปี 377 คนหรือร้อยละ 62.3 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 140 คนหรือร้อยละ 23.2

ปี 2546 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 507 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 77 คนหรือร้อยละ 15.2 อายุ 40-59 ปี 322 คนหรือร้อยละ 63.6 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 108 คนหรือร้อยละ 21.4

ปี 2547 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 534 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 83 คนหรือร้อยละ 15.5 อายุ 40-59 ปี 338 คนหรือร้อยละ 63.3 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 113 คนหรือร้อยละ 21.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล เมื่ออยู่ใต้เห็นว่าเป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปี 2548 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 397 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 62 คนหรือร้อยละ 15.6 อายุ 40-59 ปี 236 คนหรือร้อยละ 59.5 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 99 คนหรือร้อยละ 25
- ปี 2549 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 412 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 49 คนหรือร้อยละ 11.9 อายุ 40-59 ปี 243 คนหรือร้อยละ 59 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 120 คนหรือร้อยละ 26
- ปี 2550 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 363 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 48 คนหรือร้อยละ 13.3 อายุ 40-59 ปี 229 คนหรือร้อยละ 63.1 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 86 คนหรือร้อยละ 23.7
- ปี 2551 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 301 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 34 คนหรือร้อยละ 11.2 อายุ 40-59 ปี 186 คนหรือร้อยละ 61.8 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 81 คนหรือร้อยละ 26.9
- ปี 2552 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 297 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 1 คนหรือร้อยละ 0.3 อายุ 20-39 ปี 35 คนหรือร้อยละ 11.7 อายุ 40-59 ปี 192 คนหรือร้อยละ 64.5 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 69 คนหรือร้อยละ 23.5
- ปี 2553 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 276 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 25 คนหรือร้อยละ 9 อายุ 40-59 ปี 181 คนหรือร้อยละ 65.6 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 70 คนหรือร้อยละ 25.4
- ปี 2554 จำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกทั้งหมด 289 คน แบ่งตามช่วงอายุ ดังนี้ อายุ 0-19 ปี 0 คนหรือร้อยละ 0 อายุ 20-39 ปี 29 คนหรือร้อยละ 10.1 อายุ 40-59 ปี 176 คนหรือร้อยละ 60.9 และอายุ 60 ปี ขึ้นไป 84 คนหรือร้อยละ 29.1

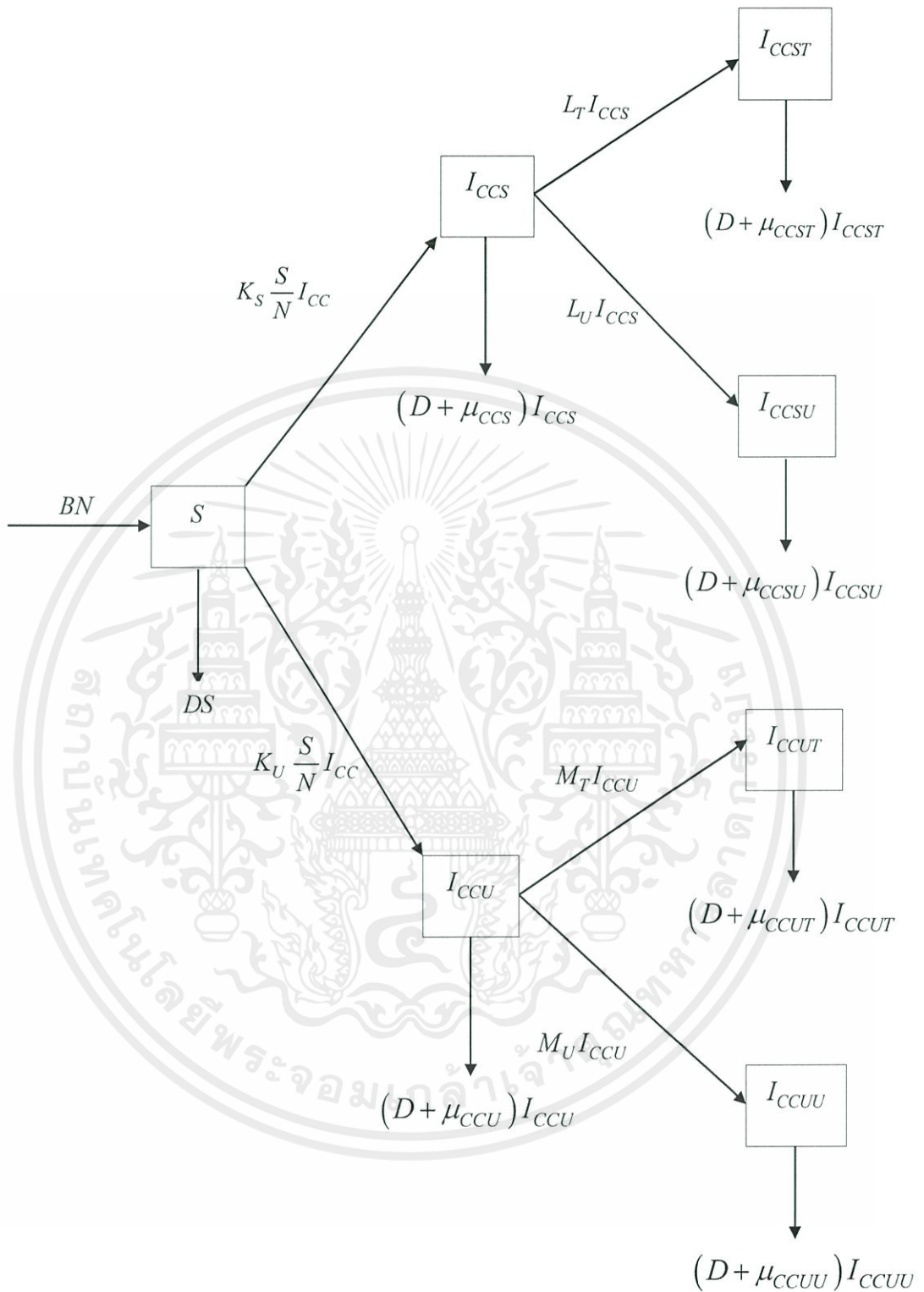
3.2 การสร้างแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

ในปัญหาพิเศษนี้ผู้ทำจะนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับโรคมะเร็งปากมดลูก ซึ่งจำนวนประชากรมีขนาดไม่คงที่ เนื่องจากมีการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกของแต่ละกลุ่มประชากรด้วย โดยจะแบ่งประชากรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แทนด้วย S
2. กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แทนด้วย I_{CC}

สำหรับแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกนี้ กำหนดให้กลุ่มประชากรที่เมื่อเป็นโรคมะเร็งปากมดลูกแล้วจะไม่หายป่วยจากโรคนี้อีก และจะเสียชีวิตในที่สุด มีแบบจำลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.6 แบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทยนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์แสดงตัวแปร (variables) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก	คน
I_{CC}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก $= I_{CCS} + I_{CCU}$	คน
I_{CCS}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย (อาการรุนแรง) $= I_{CCST} + I_{CCSU}$	คน
I_{CCST}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา	คน
I_{CCSU}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา	คน
I_{CCU}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น $= I_{CCUT} + I_{CCUU}$	คน
I_{CCUT}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา	คน
I_{CCUU}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด $= S + I_{CCS} + I_{CCU}$	คน

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
B	อัตราการเกิดของประชากร	ต่อวัน
D	อัตราการเสียชีวิตของประชากร(เสียชีวิตโดยธรรมชาติ)	ต่อวัน
K_S	อัตราการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกต่อ 1 คน ในระยะสุดท้าย	ต่อวัน
K_U	อัตราการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกต่อ 1 คน ในระยะเริ่มต้น	ต่อวัน
L_T	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา	ต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) สัญลักษณ์แสดงตัวแปรเสริม (parameters) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
L_U	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา	ต่อวัน
M_T	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา	ต่อวัน
M_U	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา	ต่อวัน
μ_{CCS}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย	ต่อวัน
μ_{CCST}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา	ต่อวัน
μ_{CCSU}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา	ต่อวัน
μ_{CCU}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น	ต่อวัน
μ_{CCUT}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา	ต่อวัน
μ_{CCUU}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา	ต่อวัน

คำอธิบายแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูก

จำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาให้จัดอยู่ในประชากรกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในขณะที่ประชากรกลุ่มเสี่ยงนี้จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติ และจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายและระยะเริ่มต้น ทำให้จำนวนประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย และระยะเริ่มต้นมีจำนวนเพิ่มขึ้น กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย และจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา และระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา ทำให้ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา และระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา มีจำนวนเพิ่มขึ้น และจะมีจำนวนลดลงจากการเสียชีวิตโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

ธรรมชาติและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษาและระยะระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา ในขณะที่กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น จะลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น และจากการเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษาและระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา ทำให้ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษาและระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษามีจำนวนเพิ่มขึ้น และจะมีจำนวนลดลงจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษาและระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา

3.3 สมการคณิตศาสตร์จากแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูก

จากแบบจำลอง สามารถเขียนสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรแต่ละกลุ่มได้ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = BN - DS - K_S \frac{I_{CC}}{N} S - K_U \frac{I_{CC}}{N} S \quad (3.1)$$

$$\frac{dI_{CCS}}{dt} = K_S \frac{I_{CC}}{N} S - (D + \mu_{CCS}) I_{CCS} - L_T I_{CCS} - L_U I_{CCS} \quad (3.2)$$

$$\frac{dI_{CCST}}{dt} = L_T I_{CCS} - (D + \mu_{CCST}) I_{CCST} \quad (3.3)$$

$$\frac{dI_{CCSU}}{dt} = L_U I_{CCS} - (D + \mu_{CCSU}) I_{CCSU} \quad (3.4)$$

$$\frac{dI_{CCU}}{dt} = K_U \frac{I_{CC}}{N} S - (D + \mu_{CCU}) I_{CCU} - M_T I_{CCU} - M_U I_{CCU} \quad (3.5)$$

$$\frac{dI_{CCUT}}{dt} = M_T I_{CCU} - (D + \mu_{CCUT}) I_{CCUT} \quad (3.6)$$

$$\frac{dI_{CCUU}}{dt} = M_U I_{CCU} - (D + \mu_{CCUU}) I_{CCUU} \quad (3.7)$$

โดยกำหนดให้ $N = S + I + R$

และด้วยสามเงื่อนไข ดังนี้

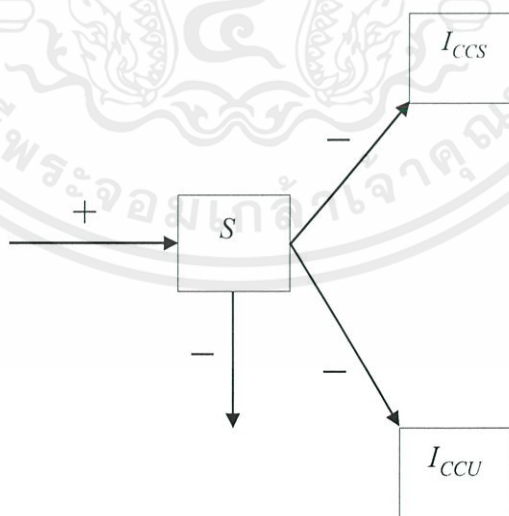
$$I_{CC} = I_{CCS} + I_{CCU}, \quad I_{CCS} = I_{CCST} + I_{CCSU}, \quad I_{CCU} = I_{CCUT} + I_{CCUU}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ เนื่องจากสมการเป็นการบอกถึงการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น
 อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรกลุ่ม
 = สิ่งที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มของประชากร -
 สิ่งที่มีผลต่ออัตราการลดของประชากร

อธิบายความหมายแต่ละสมการของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูก ได้ดังนี้

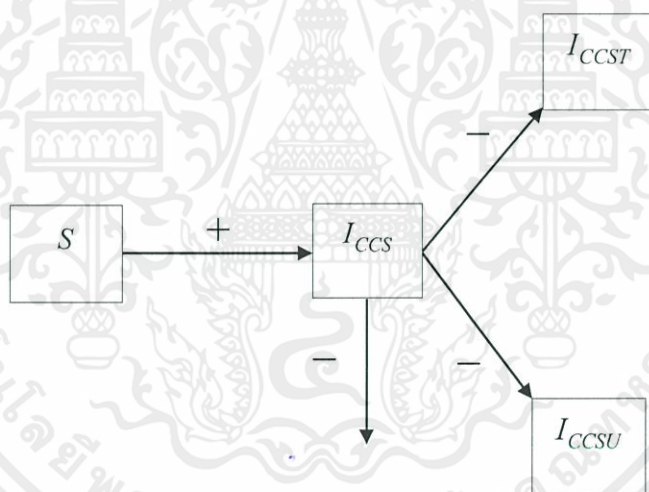
1. สมการ (3.1) $\frac{dS}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ
 มะเร็งปากมดลูก โดยที่ $+BN$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็ง
 ปากมดลูก S เพราะจำนวนประชากรที่เพิ่มเข้ามาใหม่ด้วยอัตรา B และ $-DS$ หมายถึง การ
 ลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก S เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วย
 อัตรา D ในขณะที่ $-K_S \frac{S}{N} I_{CC}$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ
 มะเร็งปากมดลูก S เพราะคนหนึ่งคนจะติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกที่จัดอยู่ในระยะรุนแรงด้วยอัตรา
 K_S จะสังเกตได้ว่า ผลของการติดเชื้อนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I_{CC} ซึ่งทั้งหมดจะหารด้วย
 N และ $-K_U \frac{S}{N} I_{CC}$ หมายถึง การลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปาก
 มดลูก S เพราะคนหนึ่งคนจะติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกที่จัดอยู่ในระยะเริ่มต้นด้วยอัตรา K_U จะ
 สังเกตได้ว่า ผลของการติดเชื้อนี้ขึ้นอยู่กับผลคูณของ S และ I_{CC} ซึ่งทั้งหมดจะหารด้วย N
 ซึ่งแสดงถึงการที่ผู้รับเชื้อและผู้แพร่เชื้อจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเครื่องหมาย $+$ แสดงถึง อัตราการ
 เพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก S และเครื่องหมาย $-$ แสดงถึง
 อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก S ดังแผนภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.7 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.1)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สมการ (3.2) $\frac{dI_{CCS}}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง

ปากมดลูกในระยะสุดท้ายและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ โดยที่ $+K_S \frac{S}{N} I_{CC}$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก S ในขณะที่ $-(D + \mu_{CCS}) I_{CCS}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายด้วยอัตรา μ_{CCS} ในขณะที่ $-L_T I_{CCS}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} ที่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา L_T และ $-L_U I_{CCS}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} ที่ไม่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา L_T ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} ดังแผนภาพ

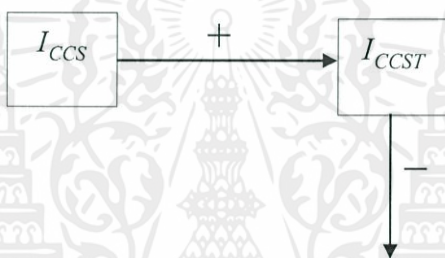


รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สมการ (3.3) $\frac{dI_{CCST}}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง

ปากมดลูกในระยะสุดท้ายแล้วได้รับการรักษา โดยที่ $+L_T I_{CCS}$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายแล้วได้รับการรักษา I_{CCST} ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} ในขณะที่ $-(D + \mu_{CCST}) I_{CCST}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา I_{CCST} เพราะจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา μ_{CCST} ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา I_{CCST} และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCST} ดังแผนภาพ

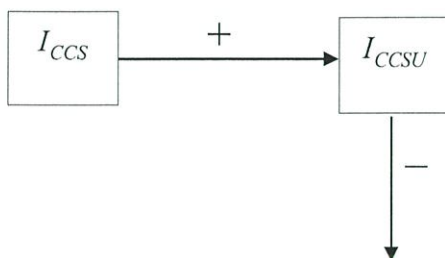


รูปที่ 3.9 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.3)

4. สมการ (3.4) $\frac{dI_{CCSU}}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง

ปากมดลูกในระยะสุดท้ายแล้วไม่ได้รับการรักษา โดยที่ $+L_U I_{CCS}$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายแล้วไม่ได้รับการรักษา I_{CCSU} ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย I_{CCS} ในขณะที่ $-(D + \mu_{CCSU}) I_{CCSU}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา I_{CCSU} เพราะจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา μ_{CCSU} ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา I_{CCSU} และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา I_{CCSU} ดังแผนภาพ

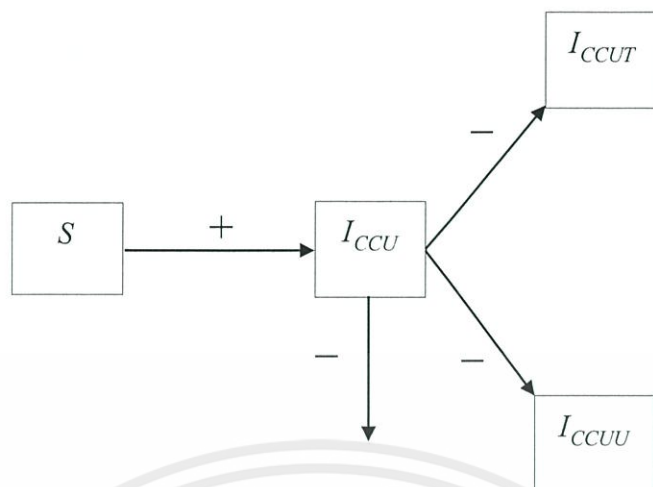
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.4)

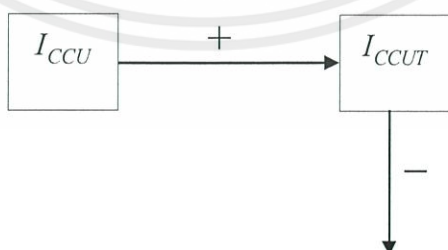
5. สมการ (3.5) $\frac{dI_{CCU}}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ โดยที่ $+K_U \frac{S}{N} I_{CC}$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มเสี่ยงที่จะติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก S ในขณะที่ $-(D+\mu_{CCU})I_{CCU}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} เพราะเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นด้วยอัตรา μ_{CCU} ในขณะที่ $-M_T I_{CCU}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} ที่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา M_T และ $-M_U I_{CCU}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} ที่ไม่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา M_T ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} ดังแผนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.5)

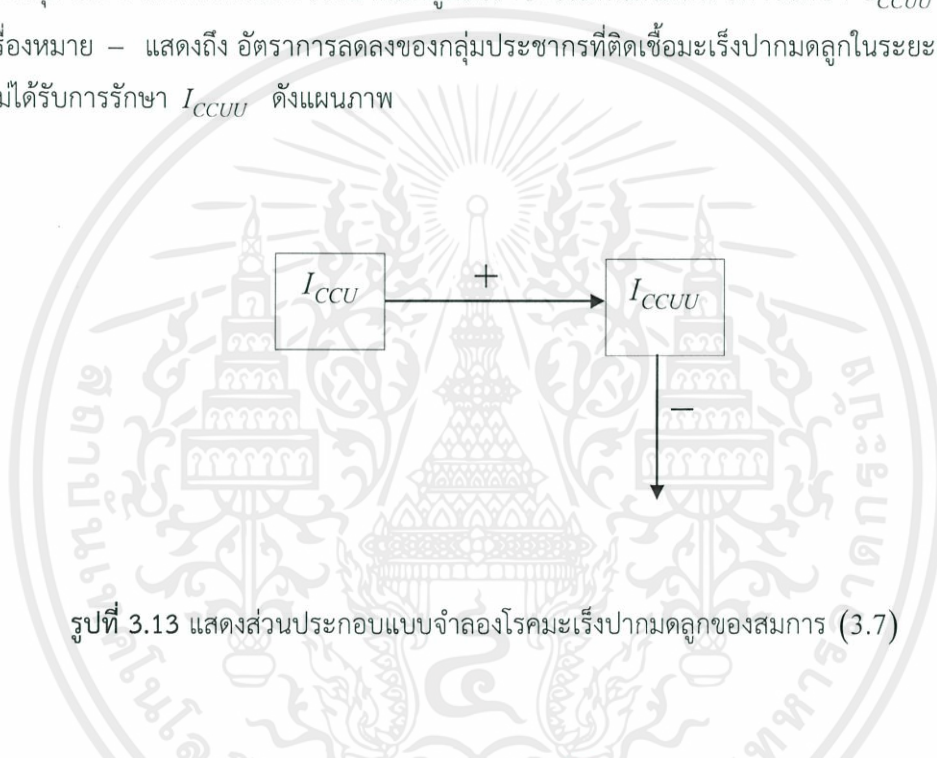
6. สมการ (3.6) $\frac{dI_{CCUT}}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นแล้วได้รับการรักษา โดยที่ $+M_T I_{CCU}$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นแล้วได้รับการรักษา I_{CCUT} ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} ในขณะที่ $-(D + \mu_{CCUT}) I_{CCUT}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา I_{CCUT} เพราะจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา μ_{CCUT} ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา I_{CCUT} และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCUT} ดังแผนภาพ



รูปที่ 3.12 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

7. สมการ (3.7) $\frac{dI_{CCUV}}{dt}$ หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นแล้วไม่ได้รับการรักษา โดยที่ $+M_U I_{CCU}$ หมายถึง การเพิ่มขึ้นของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นแล้วไม่ได้รับการรักษา I_{CCUV} ซึ่งเปลี่ยนมาจากกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น I_{CCU} ในขณะที่ $-(D + \mu_{CCUV}) I_{CCUV}$ หมายถึง การลดลงของประชากรกลุ่มที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา I_{CCUV} เพราะจากการเสียชีวิตโดยธรรมชาติด้วยอัตรา D และเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษาด้วยอัตรา μ_{CCUV} ซึ่งเครื่องหมาย + แสดงถึง อัตราการเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา I_{CCUV} และเครื่องหมาย - แสดงถึง อัตราการลดลงของกลุ่มประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา I_{CCUV} ดังแผนภาพ



รูปที่ 3.13 แสดงส่วนประกอบแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกของสมการ (3.7)

เขียนสมการ (3.1)–(3.7) ในรูปประโยคสัญลักษณ์ได้ดังนี้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S)

- = จำนวนของประชากรที่เกิดใหม่
- จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แล้วเสียชีวิต
 - จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย
 - จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย (I_{CCS})

- = จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย
- จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายแล้วเสียชีวิต
 - จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา
 - จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST})

- = จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา
- จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษาแล้วเสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU})

- = จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา
- จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษาแล้วเสียชีวิต

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น (I_{CCU})

- = จำนวนของประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก แล้วเปลี่ยนไปเป็นผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น
- จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นแล้วเสียชีวิต
 - จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา
 - จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT})

- = จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา
- จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษาแล้วเสียชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU})

- = จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา
- จำนวนของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษาแล้วเสียชีวิต

3.4 จุดสมดุล

จากเงื่อนไขทั้งสามของระบบสมการ $I_{CC} = I_{CCS} + I_{CCU}$, $I_{CCS} = I_{CCST} + I_{CCSU}$ และ $I_{CCU} = I_{CCUT} + I_{CCUU}$ แทนในสมการ (3.1)–(3.7) จะได้ระบบสมการใหม่ 2 ชุด ดังนี้

ระบบสมการชุดที่ 1

$$\frac{dS}{dt} = BN - DS - K_S \frac{(I_{CCS} + I_{CCU})}{N} S - K_U \frac{(I_{CCS} + I_{CCU})}{N} S \quad (3.8)$$

$$\frac{dI_{CCS}}{dt} = K_S \frac{(I_{CCS} + I_{CCU})}{N} S - (D + \mu_{CCS}) I_{CCS} - L_T I_{CCS} - L_U I_{CCS} \quad (3.9)$$

$$\frac{dI_{CCU}}{dt} = K_U \frac{(I_{CCS} + I_{CCU})}{N} S - (D + \mu_{CCU}) I_{CCU} - M_T I_{CCU} - M_U I_{CCU} \quad (3.10)$$

ระบบสมการชุดที่ 2

$$\frac{dS}{dt} = BN - DS - (K_S + K_U) \frac{(I_{CCST} + I_{CCSU} + I_{CCUT} + I_{CCUU})}{N} S \quad (3.11)$$

$$\frac{dI_{CCST}}{dt} = L_T (I_{CCST} + I_{CCSU}) - (D + \mu_{CCST}) I_{CCST} \quad (3.12)$$

$$\frac{dI_{CCSU}}{dt} = L_U (I_{CCST} + I_{CCSU}) - (D + \mu_{CCSU}) I_{CCSU} \quad (3.13)$$

$$\frac{dI_{CCUT}}{dt} = M_T (I_{CCUT} + I_{CCUU}) - (D + \mu_{CCUT}) I_{CCUT} \quad (3.14)$$

$$\frac{dI_{CCUU}}{dt} = M_U (I_{CCUT} + I_{CCUU}) - (D + \mu_{CCUU}) I_{CCUU} \quad (3.15)$$

เนื่องจากระบบสมการทั้งสองชุดเท่ากัน จึงนำระบบสมการชุดที่ 2 มาหาจุดสมดุล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาจุดสมดุลของระบบสมการ

ให้ $(S^*, I_{CCST}^*, I_{CCSU}^*, I_{CCUT}^*, I_{CCUU}^*)$ เป็นจุดสมดุลของระบบสมการ (3.11)–(3.15)

$$BN - DS^* - (K_S + K_U) \frac{(I_{CCST}^* + I_{CCSU}^* + I_{CCUT}^* + I_{CCUU}^*)}{N} S^* = 0$$

$$L_T (I_{CCST}^* + I_{CCSU}^*) - (D + \mu_{CCST}) I_{CCST}^* = 0$$

$$L_U (I_{CCST}^* + I_{CCSU}^*) - (D + \mu_{CCSU}) I_{CCSU}^* = 0$$

$$M_T (I_{CCUT}^* + I_{CCUU}^*) - (D + \mu_{CCUT}) I_{CCUT}^* = 0$$

$$M_U (I_{CCUT}^* + I_{CCUU}^*) - (D + \mu_{CCUU}) I_{CCUU}^* = 0$$

จะแสดงการแก้ระบบสมการเพื่อหาค่า $S^*, I_{CCST}^*, I_{CCSU}^*, I_{CCUT}^*, I_{CCUU}^*$

จาก (3.12) และ (3.13) จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$(L_T - D - \mu_{CCST}) I_{CCST}^* + L_T I_{CCSU}^* = 0$$

$$L_U I_{CCST}^* + (L_U - D - \mu_{CCSU}) I_{CCSU}^* = 0$$

เขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} L_T - D - \mu_{CCST} & L_T \\ L_U & L_U - D - \mu_{CCSU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{CCST}^* \\ I_{CCSU}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

โดยดำเนินการมูลฐานตามแนวนอน เพื่อหาค่า I_{CCST}^* และ I_{CCSU}^*

จะได้เมทริกซ์แต่งเต็ม คือ $\left[\begin{array}{cc|c} L_T - D - \mu_{CCST} & L_T & 0 \\ L_U & L_U - D - \mu_{CCSU} & 0 \end{array} \right]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1 \leftarrow \frac{1}{L_T - D - \mu_{CCST}} R_1 \quad \left[\begin{array}{cc|c} 1 & \frac{L_T}{L_T - D - \mu_{CCST}} & 0 \\ L_U & L_U - D - \mu_{CCSU} & 0 \end{array} \right]$$

$$R_2 \leftarrow R_2 - L_U R_1 \quad \left[\begin{array}{cc|c} 1 & \frac{L_T}{L_T - D - \mu_{CCST}} & 0 \\ 0 & L_U - D - \mu_{CCSU} - \frac{L_T L_U}{L_T - D - \mu_{CCST}} & 0 \end{array} \right]$$

จะได้

$$I_{CCST}^* + \left(\frac{L_T}{L_T - D - \mu_{CCST}} \right) I_{CCSU}^* = 0 \quad (3.16)$$

$$\left(L_U - D - \mu_{CCSU} - \frac{L_T L_U}{L_T - D - \mu_{CCST}} \right) I_{CCSU}^* = 0 \quad (3.17)$$

จาก (3.17) จะได้ว่า $I_{CCSU}^* = 0$ แทนลงใน (3.16)

$$\text{จะได้ } I_{CCST}^* = 0$$

จาก (3.14) และ (3.15) จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$(M_T - D - \mu_{CCUT}) I_{CCUT}^* + M_T I_{CCUU}^* = 0$$

$$M_U I_{CCUT}^* + (M_U - D - \mu_{CCUU}) I_{CCUU}^* = 0$$

เขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} M_T - D - \mu_{CCUT} & M_T \\ M_U & M_U - D - \mu_{CCUU} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{CCUT}^* \\ I_{CCUU}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยดำเนินการมูลฐานตามแนวนอนเพื่อหาค่า I^*_{CCUT} และ I^*_{CCUU}

$$\text{จะได้เมทริกซ์แต่งเต็ม คือ } \begin{bmatrix} M_T - D - \mu_{CCUT} & M_T & \left| \begin{array}{l} 0 \\ 0 \end{array} \right. \\ M_U & M_U - D - \mu_{CCUU} & \end{bmatrix}$$

$$R_1 \leftarrow \frac{1}{M_T - D - \mu_{CCUT}} R_1 \quad \begin{bmatrix} 1 & \frac{M_T}{M_T - D - \mu_{CCUT}} & \left| \begin{array}{l} 0 \\ 0 \end{array} \right. \\ M_U & M_U - D - \mu_{CCUU} & \end{bmatrix}$$

$$R_2 \leftarrow R_2 - M_U R_1 \quad \begin{bmatrix} 1 & \frac{M_T}{M_T - D - \mu_{CCUT}} & \left| \begin{array}{l} 0 \\ 0 \end{array} \right. \\ 0 & M_U - D - \mu_{CCUU} - \frac{M_T M_U}{M_T - D - \mu_{CCUT}} & \end{bmatrix}$$

จะได้

$$I^*_{CCUT} + \left(\frac{M_T}{M_T - D - \mu_{CCUT}} \right) I^*_{CCUU} = 0 \quad (3.18)$$

$$\left(M_U - D - \mu_{CCUU} - \frac{M_T M_U}{M_T - D - \mu_{CCUT}} \right) I^*_{CCUU} = 0 \quad (3.19)$$

จาก (3.19) จะได้ว่า $I^*_{CCUU} = 0$ แทนลงใน (3.18)

$$\text{จะได้ } I^*_{CCUT} = 0$$

แทนค่า I^*_{CCST} , I^*_{CCSU} , I^*_{CCUT} และ I^*_{CCUU} ที่หามาได้ลงใน (3.11)

$$\text{จะได้ } S^* = \frac{BN}{D}$$

ดังนั้น จุดสมดุล (Equilibrium point) ของระบบสมการคือ

$$(S^*, I^*_{CCST}, I^*_{CCSU}, I^*_{CCUT}, I^*_{CCUU}) = \left(\frac{BN}{D}, 0, 0, 0, 0 \right)$$

เอกสารนี้เป็นที่นี่ยังคือ ระบบสมการนี้มีจุดสมดุลเพียงจุดเดียว การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความเสถียรของจุดสมดุล

ความเสถียรของจุดสมดุลสามารถพิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมทริกซ์จากระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ordinary differential equations) ของสมการ (3.11)–(3.15) ดังนี้

$$\frac{d}{dt} S(t) = BN - DS - (K_S + K_U) \frac{(I_{CCST} + I_{CCSU} + I_{CCUT} + I_{CCUU})}{N} S = f_S$$

$$\frac{d}{dt} I_{CCST}(t) = L_T (I_{CCST} + I_{CCSU}) - (D + \mu_{CCST}) I_{CCST} = f_{I_{CCST}}$$

$$\frac{d}{dt} I_{CCSU}(t) = L_U (I_{CCST} + I_{CCSU}) - (D + \mu_{CCSU}) I_{CCSU} = f_{I_{CCSU}}$$

$$\frac{d}{dt} I_{CCUT}(t) = M_T (I_{CCUT} + I_{CCUU}) - (D + \mu_{CCUT}) I_{CCUT} = f_{I_{CCUT}}$$

$$\frac{d}{dt} I_{CCUU}(t) = M_U (I_{CCUT} + I_{CCUU}) - (D + \mu_{CCUU}) I_{CCUU} = f_{I_{CCUU}}$$

นำระบบสมการดังกล่าวทั้งหมดมาเขียนในรูปจาโคเบียนเมทริกซ์ โดยกำหนดให้จาโคเบียนเมทริกซ์ ขนาด 5×5 คือ

$$J_f = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & J_{15} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & J_{25} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} & J_{35} \\ J_{41} & J_{42} & J_{43} & J_{44} & J_{45} \\ J_{51} & J_{52} & J_{53} & J_{54} & J_{55} \end{bmatrix}$$

ที่จุดสมดุล $(S^*, I_{CCST}^*, I_{CCSU}^*, I_{CCUT}^*, I_{CCUU}^*)$ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวที่ 1 จะได้

$$J_{11} = \frac{\partial}{\partial S} f_S = -D - (K_S + K_U) \frac{(I_{CCST}^* + I_{CCSU}^* + I_{CCUT}^* + I_{CCUU}^*)}{N}$$

$$J_{12} = \frac{\partial}{\partial I_{CCST}} f_S = \frac{-S^* (K_S + K_U)}{N}$$

$$J_{13} = \frac{\partial}{\partial I_{CCSU}} f_S = \frac{-S^* (K_S + K_U)}{N}$$

$$J_{14} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUT}} f_S = \frac{-S^* (K_S + K_U)}{N}$$

$$J_{15} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUU}} f_S = \frac{-S^* (K_S + K_U)}{N}$$

แถวที่ 2 จะได้

$$J_{21} = \frac{\partial}{\partial S} f_{I_{CCST}} = 0$$

$$J_{22} = \frac{\partial}{\partial I_{CCST}} f_{I_{CCST}} = L_T - D - \mu_{CCST}$$

$$J_{23} = \frac{\partial}{\partial I_{CCSU}} f_{I_{CCST}} = L_T$$

$$J_{24} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUT}} f_{I_{CCST}} = 0$$

$$J_{25} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUU}} f_{I_{CCST}} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวที่ 3 จะได้

$$J_{31} = \frac{\partial}{\partial S} f_{I_{CCSU}} = 0$$

$$J_{32} = \frac{\partial}{\partial I_{CCST}} f_{I_{CCSU}} = L_U$$

$$J_{33} = \frac{\partial}{\partial I_{CCSU}} f_{I_{CCSU}} = L_U - D - \mu_{CCSU}$$

$$J_{34} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUT}} f_{I_{CCSU}} = 0$$

$$J_{35} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUU}} f_{I_{CCSU}} = 0$$

แถวที่ 4 จะได้

$$J_{41} = \frac{\partial}{\partial S} f_{I_{CCUT}} = 0$$

$$J_{42} = \frac{\partial}{\partial I_{CCST}} f_{I_{CCUT}} = 0$$

$$J_{43} = \frac{\partial}{\partial I_{CCSU}} f_{I_{CCUT}} = 0$$

$$J_{44} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUT}} f_{I_{CCUT}} = M_T - D - \mu_{CCUT}$$

$$J_{45} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUU}} f_{I_{CCUT}} = M_T$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวที่ 5 จะได้

$$J_{51} = \frac{\partial}{\partial S} f_{I_{CCUU}} = 0$$

$$J_{52} = \frac{\partial}{\partial I_{CCST}} f_{I_{CCUU}} = 0$$

$$J_{53} = \frac{\partial}{\partial I_{CCSU}} f_{I_{CCUU}} = 0$$

$$J_{54} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUT}} f_{I_{CCUU}} = M_U$$

$$J_{55} = \frac{\partial}{\partial I_{CCUU}} f_{I_{CCUU}} = M_U - D - \mu_{CCUU}$$

ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$J_f = \begin{bmatrix} -D \cdot (K_S + K_U) & \frac{(I_{CCST} + I_{CCSU} + I_{CCUT} + I_{CCUU})}{N} & \frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} & \frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} & \frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} & \frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \\ 0 & L_T - D - \mu_{CCST} & L_T & 0 & 0 \\ 0 & L_U & L_U - D - \mu_{CCSU} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_T - D - \mu_{CCUT} & M_T \\ 0 & 0 & 0 & M_U & M_U - D - \mu_{CCUU} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาหาค่าลักษณะเฉพาะได้จากสมการลักษณะเฉพาะ

$$\det(\lambda I_5 - J_f) = 0$$

เมื่อ I_5 คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 5×5 หรือ $I_5 =$

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

จะได้

$$\lambda I_5 - J_f = \begin{bmatrix} \lambda - \left(-D - (K_S + K_U) \frac{(I'_{ccsr} + I'_{ccsu} + I'_{ccur} + I'_{ccvu})}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) \\ 0 & \lambda - (L_T - D - \mu_{ccsr}) & -L_T & 0 & 0 \\ 0 & -L_U & \lambda - (L_U - D - \mu_{ccsu}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda - (M_T - D - \mu_{ccur}) & -M_T \\ 0 & 0 & 0 & -M_U & \lambda - (M_U - D - \mu_{ccvu}) \end{bmatrix}$$

$$\det(\lambda I_5 - J_f) = \begin{bmatrix} \lambda - \left(-D - (K_S + K_U) \frac{(I'_{ccsr} + I'_{ccsu} + I'_{ccur} + I'_{ccvu})}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) & -\left(\frac{-S^*(K_S + K_U)}{N} \right) \\ 0 & \lambda - (L_T - D - \mu_{ccsr}) & -L_T & 0 & 0 \\ 0 & -L_U & \lambda - (L_U - D - \mu_{ccsu}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda - (M_T - D - \mu_{ccur}) & -M_T \\ 0 & 0 & 0 & -M_U & \lambda - (M_U - D - \mu_{ccvu}) \end{bmatrix}$$

$$= \left[\lambda - \left(-D - (K_S + K_U) \frac{(I'_{ccsr} + I'_{ccsu} + I'_{ccur} + I'_{ccvu})}{N} \right) \right] [\lambda - (L_T - D - \mu_{ccsr})] [\lambda - (L_U - D - \mu_{ccsu})] [\lambda - (M_T - D - \mu_{ccur})] [\lambda - (M_U - D - \mu_{ccvu})]$$

= 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้สมการหาค่าลักษณะเฉพาะแต่ละตัว ได้ดังนี้

$$\rightarrow \lambda_1 - \left(-D - (K_S + K_U) \frac{(I_{CCST}^* + I_{CCSU}^* + I_{CCUT}^* + I_{CCUU}^*)}{N} \right) = 0$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_1 = -D - (K_S + K_U) \frac{(I_{CCST}^* + I_{CCSU}^* + I_{CCUT}^* + I_{CCUU}^*)}{N}$$

แทนค่าจุดสมดุล จะได้ $\lambda_1 = -D$

$$\rightarrow \lambda_2 - (L_T - D - \mu_{CCST}) = 0$$

เมื่อ $\lambda_2 = -D - \mu_{CCST} + L_T$ และ λ_2 มีค่าเป็นลบเมื่อ $L_T < D + \mu_{CCST}$

$$\rightarrow \lambda_3 - (L_U - D - \mu_{CCSU}) = 0$$

เมื่อ $\lambda_3 = -D - \mu_{CCSU} + L_U$ และ λ_3 มีค่าเป็นลบเมื่อ $L_U < D + \mu_{CCSU}$

$$\rightarrow \lambda_4 - (M_T - D - \mu_{CCUT}) = 0$$

เมื่อ $\lambda_4 = -D - \mu_{CCUT} + M_T$ และ λ_4 มีค่าเป็นลบเมื่อ $M_T < D + \mu_{CCUT}$

$$\rightarrow \lambda_5 - (M_U - D - \mu_{CCUU}) = 0$$

เมื่อ $\lambda_5 = -D - \mu_{CCUU} + M_U$ และ λ_5 มีค่าเป็นลบเมื่อ $M_U < D + \mu_{CCUU}$

จากค่าลักษณะเฉพาะทั้งหมด คือ $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ และ λ_5 มีค่าเป็นลบ

แสดงว่า จุดสมดุลมีความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

หัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลข โดยการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลเชิงสถิติในชีวิตจริงเกี่ยวกับโรคมะเร็งปากมดลูก ซึ่งมีค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปร (variables) ต่างๆ ของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าตัวแปร	หน่วย
S	จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก	3,000	คน
I_{CCST}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา	100	คน
I_{CCSU}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา	200	คน
I_{CCUT}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา	400	คน
I_{CCUV}	จำนวนประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา	300	คน
N	จำนวนประชากรทั้งหมด	4,000	คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
B	อัตราการเกิดของประชากร	$\frac{1}{365 \times 70}$	ต่อวัน
D	อัตราการเสียชีวิตของประชากร (เสียชีวิตโดยธรรมชาติ)	$\frac{1}{365 \times 74.6}$	ต่อวัน
K_S	อัตราการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกต่อ 1 คน ในระยะสุดท้าย	$\frac{1}{365 \times 5}$	ต่อวัน
K_U	อัตราการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกต่อ 1 คน ในระยะเริ่มต้น	$\frac{1}{365 \times 12.5}$	ต่อวัน
M_T	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง ปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการ รักษา	$\left(\frac{8.1}{10^5} \right)$ $\frac{1}{365 \times 32 \times 10^6}$	ต่อวัน
M_U	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง ปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับ การรักษา	$\left(\frac{18.9}{10^5} \right)$ $\frac{1}{365 \times 32 \times 10^6}$	ต่อวัน
L_T	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง ปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการ รักษา	$0.3 \times \left(\frac{8.1}{10^5} \right)$ $\frac{1}{365 \times 32 \times 10^6}$	ต่อวัน
L_U	อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็ง ปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับ การรักษา	$0.3 \times \left(\frac{18.9}{10^5} \right)$ $\frac{1}{365 \times 32 \times 10^6}$	ต่อวัน
μ_{CCS}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจาก การติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะ สุดท้าย	$\frac{1}{365 \times 1.25} + \frac{1}{365 \times 0.9}$	ต่อวัน
μ_{CCST}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจาก การติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะ สุดท้ายที่ได้รับการรักษา	$\frac{1}{365 \times 1.25}$	ต่อวัน
μ_{CCSU}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจาก การติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะ สุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา	$\frac{1}{365 \times 0.9}$	ต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าตัวแปรเสริม (parameters) ของแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

สัญลักษณ์	ความหมาย	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
μ_{CCU}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น	$\frac{1}{365 \times 5} + \frac{1}{365 \times 3}$	ต่อวัน
μ_{CCUT}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา	$\frac{1}{365 \times 5}$	ต่อวัน
μ_{CCUU}	อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา	$\frac{1}{365 \times 3}$	ต่อวัน

คำอธิบายค่าตัวแปรเสริมของแบบจำลองในตารางที่ 4.2

B คือ อัตราการเกิดของประชากร คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรต่อคนในปีนั้น

ดังนั้น จะได้
$$B = \frac{1}{365 \times 70} \quad \text{/วัน}$$

D คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากร (เสียชีวิตโดยธรรมชาติ) คิดจาก อายุเฉลี่ยของประชากรต่อคนในปีนั้น

ดังนั้น จะได้
$$D = \frac{1}{365 \times 74.6} \quad \text{/วัน}$$

K_S คือ อัตราการติดเชื้อต่อ 1 คน ในระยะสุดท้าย คิดจาก ระยะเวลาที่เชื้อ HPV ในโรคมะเร็งปากมดลูกระยะเริ่มต้นเปลี่ยนไปเป็นโรคมะเร็งปากมดลูกระยะรุนแรง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 5 ปี

ดังนั้น จะได้
$$K_S = \frac{1}{365 \times 5} \quad \text{/วัน}$$

K_U คือ อัตราการติดเชื้อต่อ 1 คน ในระยะเริ่มต้น คิดจาก ระยะเวลาที่เชื้อ HPV เปลี่ยนไปเป็นระยะก่อนมะเร็ง จะใช้เวลาประมาณ 10 - 15 ปี

ดังนั้นจะได้
$$K_U = \frac{1}{365 \times 12.5} \quad \text{/วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M_T คือ อัตราของประชากรที่ติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (ได้รับวัคซีน) คิดจาก อัตราป่วยเมื่อได้รับวัคซีน ซึ่งจะมีผลในการป้องกันโรคมะเร็งปากมดลูก (ลดความรุนแรงของโรคลง) ได้ถึง 70 % หรือ เท่ากับ 8.1 รายต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จะได้} \quad M_T &= \left(\frac{8.1}{10^5} \right) \\ &= \left(\frac{0.000081}{365 \times 32 \times 10^6} \right) \quad \text{/ประชากรหญิงแสนคน/วัน} \end{aligned}$$

M_U คือ อัตราของประชากรที่ติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (ไม่ได้รับวัคซีน) คิดจาก อัตราป่วยสุทธิของผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูก โดยจะหาได้จากอัตราป่วยเมื่อไม่มีการฉีดวัคซีนลบด้วยอัตราป่วยเมื่อมีการฉีดวัคซีน (อัตราป่วยของผู้ป่วยโรคมะเร็งปากมดลูกซึ่งมีค่าเท่ากับ 27 ราย ต่อประชากรหญิงแสนคนใน 1 ปี)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จะได้} \quad M_U &= \left(\frac{18.9}{10^5} \right) \\ &= \left(\frac{0.000189}{365 \times 32 \times 10^6} \right) \quad \text{/ประชากรหญิงแสนคน/วัน} \end{aligned}$$

L_T คือ อัตราของประชากรที่ติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา คิดจาก โอกาสเกิดมะเร็งปากมดลูกกรณีผู้ป่วยได้รับการรักษา ในที่นี้จะคิดจากอัตราป่วยที่ได้รับวัคซีน (M_T) เท่ากับ 30 %

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จะได้} \quad L_T &= 0.3 \times \left(\frac{8.1}{10^5} \right) \\ &= 0.3 \times \left(\frac{0.000081}{365 \times 32 \times 10^6} \right) \quad \text{/ประชากรหญิงแสนคน/วัน} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L_U คือ อัตราของประชากรที่ติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา คิดจาก โอกาสเกิดมะเร็งปากมดลูกกรณีที่ผู้ป่วยไม่ได้รับการรักษา ในที่นี้จะคิดจากอัตราป่วยที่ไม่ได้รับวัคซีน (M_U) เท่ากับ 30 %

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จะได้} \quad L_U &= 0.3 \times \left(\frac{18.9}{10^5} \right) \\ &= 0.3 \times \left(\frac{0.000189}{365 \times 32 \times 10^6} \right) \quad / \text{ประชากรหญิงแสนคน/วัน} \end{aligned}$$

μ_{CCST} คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา คิดจากการรอดชีวิตใน 5 ปี หลังจากได้รับการรักษา โดยจะมีโอกาสรอดชีวิตประมาณ 25 % หรือประมาณ 1.25 ปี

$$\text{ดังนั้น จะได้} \quad \mu_{CCST} = \frac{1}{365 \times 1.25} \quad / \text{วัน}$$

μ_{CCSU} คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา คิดจากการรอดชีวิตใน 5 ปีของผู้ป่วยหลังจกได้รับการรักษา โดยจะมีโอกาสรอดชีวิตประมาณ 18 % หรือประมาณ 0.9 ปี

$$\text{ดังนั้น จะได้} \quad \mu_{CCSU} = \frac{1}{365 \times 0.9} \quad / \text{วัน}$$

μ_{CCS} คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะสุดท้าย คิดจาก ผลรวมของอัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) กับ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

$$\text{นั่นคือ} \quad \mu_{CCS} = \mu_{CCST} + \mu_{CCSU}$$

$$\text{ดังนั้น จะได้} \quad \mu_{CCS} = \frac{1}{365 \times 1.25} + \frac{1}{365 \times 0.9} \quad / \text{วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ_{CCUT} คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา คิดจากการรอดชีวิตใน 5 ปีของผู้ป่วยหลังจากได้รับการรักษา โดยจะมีโอกาสรอดชีวิตประมาณ 99 % หรือประมาณ 5 ปี

ดังนั้น จะได้
$$\mu_{CCUT} = \frac{1}{365 \times 5} \quad /\text{วัน}$$

μ_{CCUU} คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา คิดจากการรอดชีวิตใน 5 ปีของผู้ป่วยหลังจากได้รับการรักษา โดยจะมีโอกาสรอดชีวิตประมาณ 60 % หรือประมาณ 3 ปี

ดังนั้น จะได้
$$\mu_{CCUU} = \frac{1}{365 \times 3} \quad /\text{วัน}$$

μ_{CCU} คือ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะเริ่มต้น คิดจาก ผลรวมของอัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) กับ อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU})

นั่นคือ
$$\mu_{CCU} = \mu_{CCUT} + \mu_{CCUU}$$

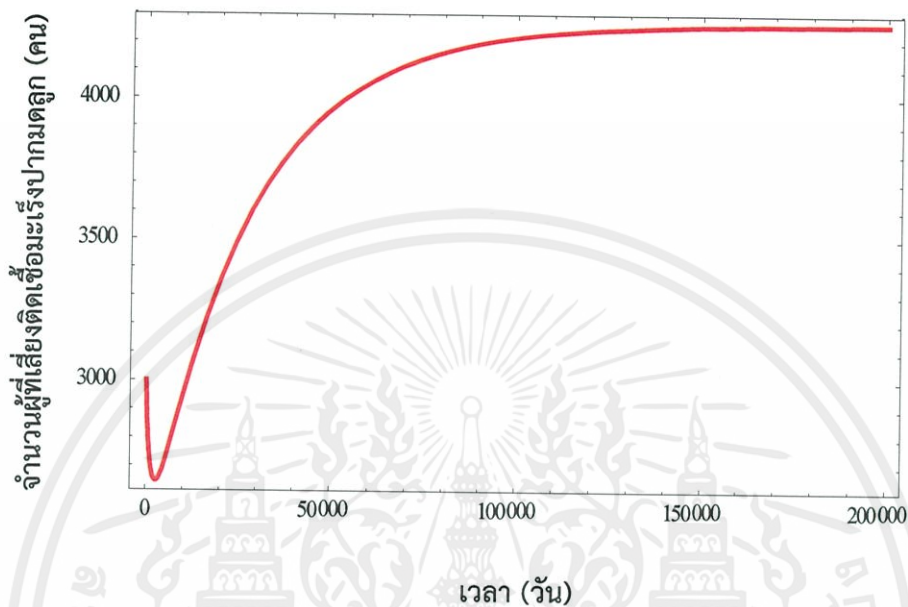
ดังนั้น จะได้
$$\mu_{CCU} = \frac{1}{365 \times 5} + \frac{1}{365 \times 3} \quad /\text{วัน}$$

หมายเหตุ จำนวนปีในการรอดชีวิตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ในที่นี่จะกำหนดให้ค่าที่ใส่เข้าไปอยู่ระหว่าง 0-5 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Mathematica

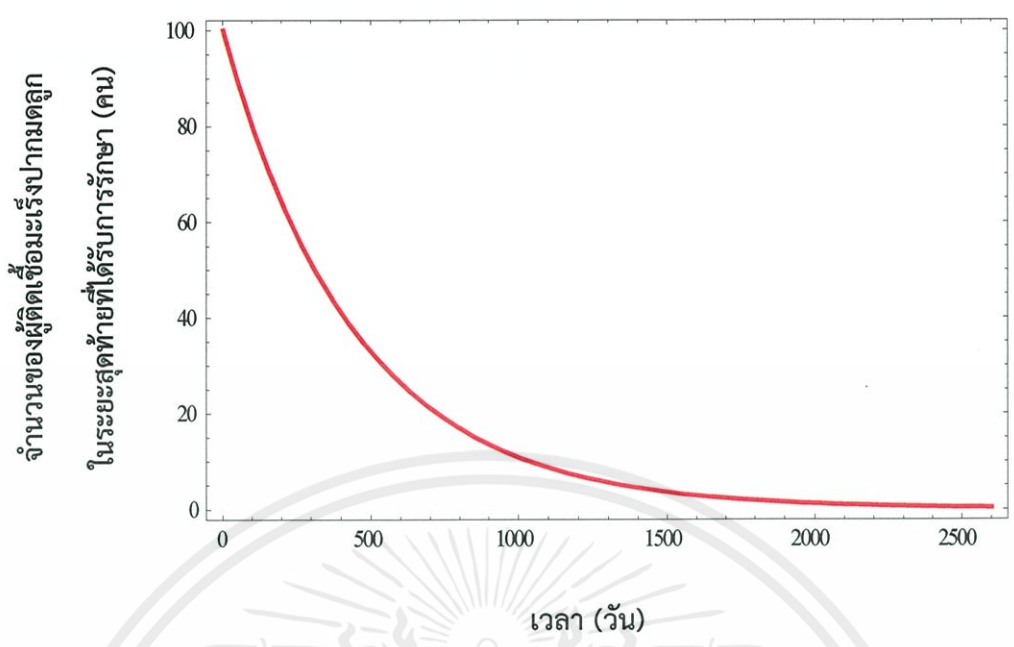
จากการศึกษาเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาคำนวณแล้ว ทำให้ได้กราฟ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงจำนวนผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เทียบกับเวลา (วัน)

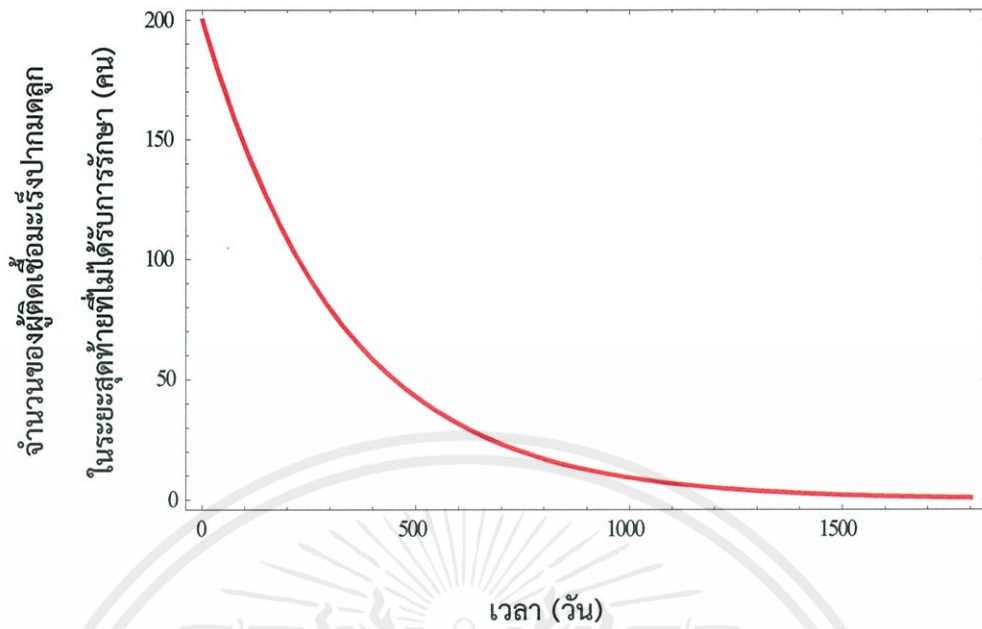
จากรูปที่ 4.1 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) จะลู่เข้าสู่ค่า 4262.86 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 200,000 วัน นั้นแสดงว่าจำนวนผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) มีจำนวนคงที่ ณ เวลา 200,000 วัน และสามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เทียบกับเวลา (วัน)

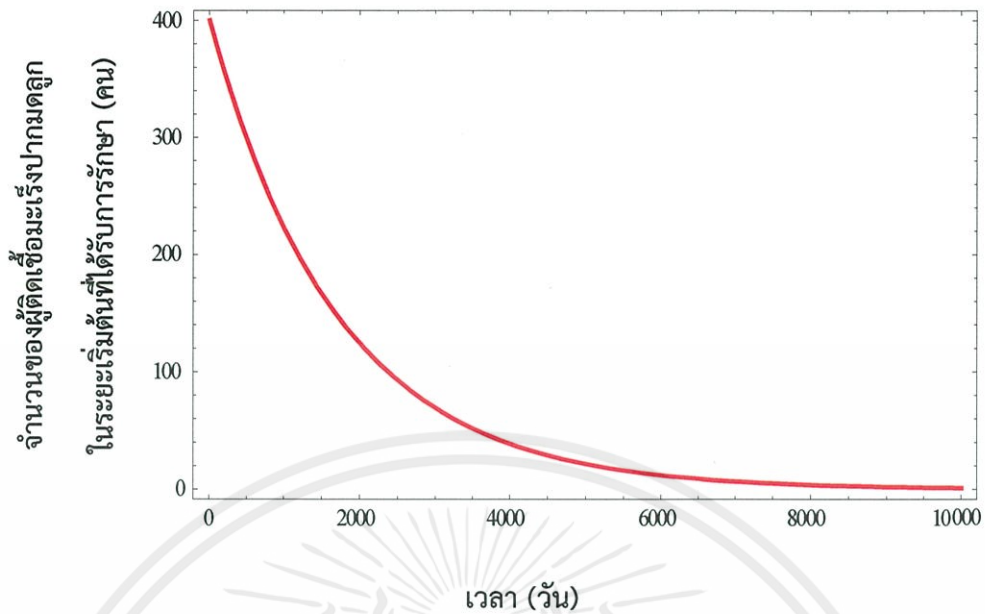
จากรูปที่ 4.2 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 2,600 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ดังนั้น ณ เวลา 2,600 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เทียบกับเวลา (วัน)

จากรูปที่ 4.3 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมมูล) เมื่อเวลา 1,800 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ดังนั้น ณ เวลา 1,800 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

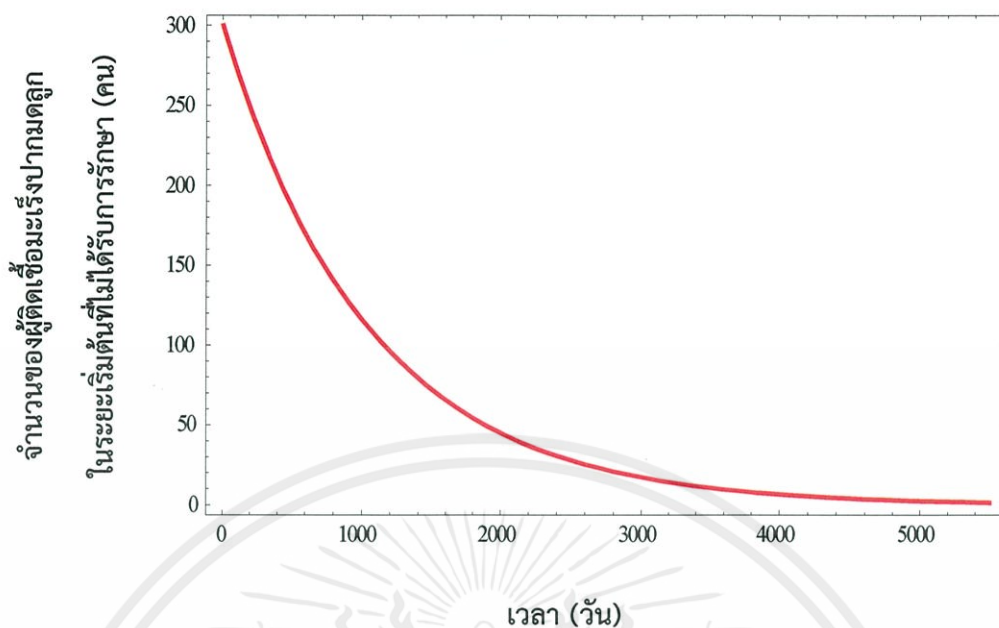
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เทียบกับเวลา (วัน)

จากรูปที่ 4.4 อธิบายได้ว่า จำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมดุล) เมื่อเวลา 10,000 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ดังนั้น ณ เวลา 10,000 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เทียบกับเวลา (วัน)

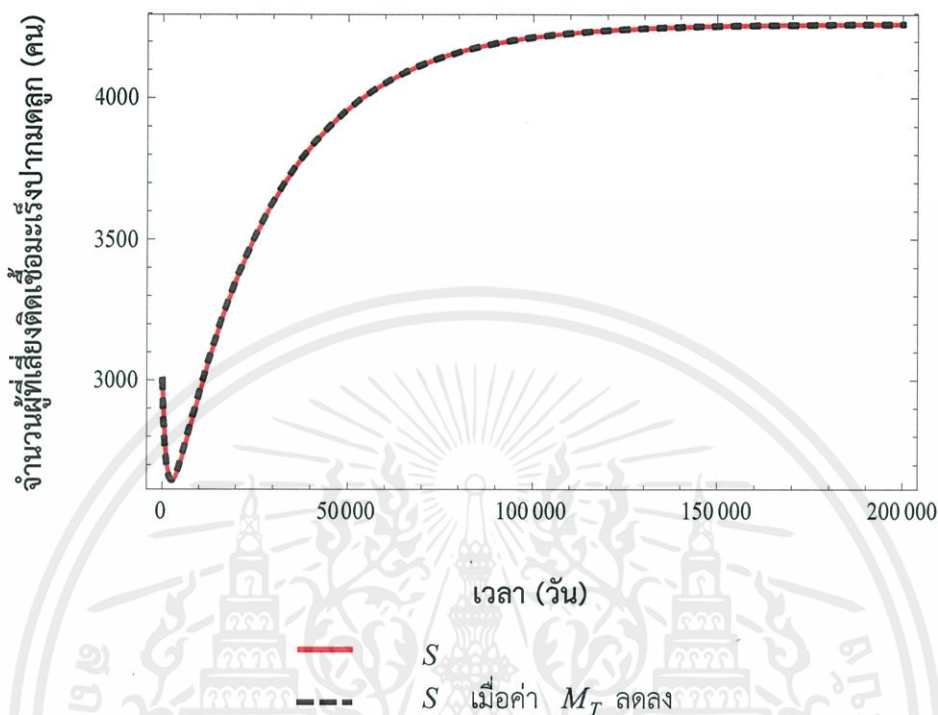
จากรูปที่ 4.5 อธิบายได้ว่า สัดส่วนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) จะลู่เข้าสู่ค่า 0 (ลู่เข้าสู่จุดสมมูล) เมื่อเวลา 5,500 วัน นั่นแสดงว่าไม่มีผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ดังนั้น ณ เวลา 5,500 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

พิจารณาค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว พบว่า M_T , M_U , L_T , L_U , μ_{CCST} , μ_{CCSU} , μ_{CCUT} และ μ_{CCUU} เป็นค่าไม่คงที่ สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ แล้วนำค่ามาคำนวณในโปรแกรม Mathematica เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่กล่าวไปแล้วข้างต้นดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ M_T เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ M_U , L_T , L_U , μ_{CCST} , μ_{CCSU} , μ_{CCUT} และ μ_{CCUU} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

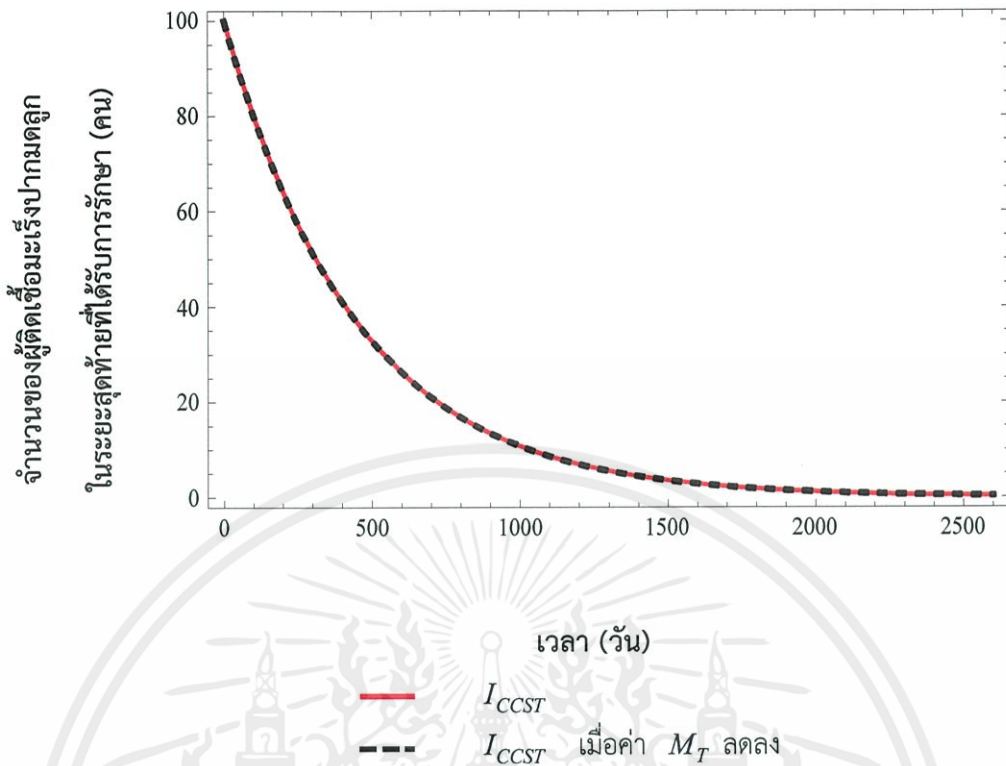
1.1 เมื่อค่า M_T ลดลง จากการลดอัตราผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีนจาก 8.1 ราย เป็น 2 รายต่อ ประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการลุ่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ตีดเชื่อมโยงเสียงปากลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

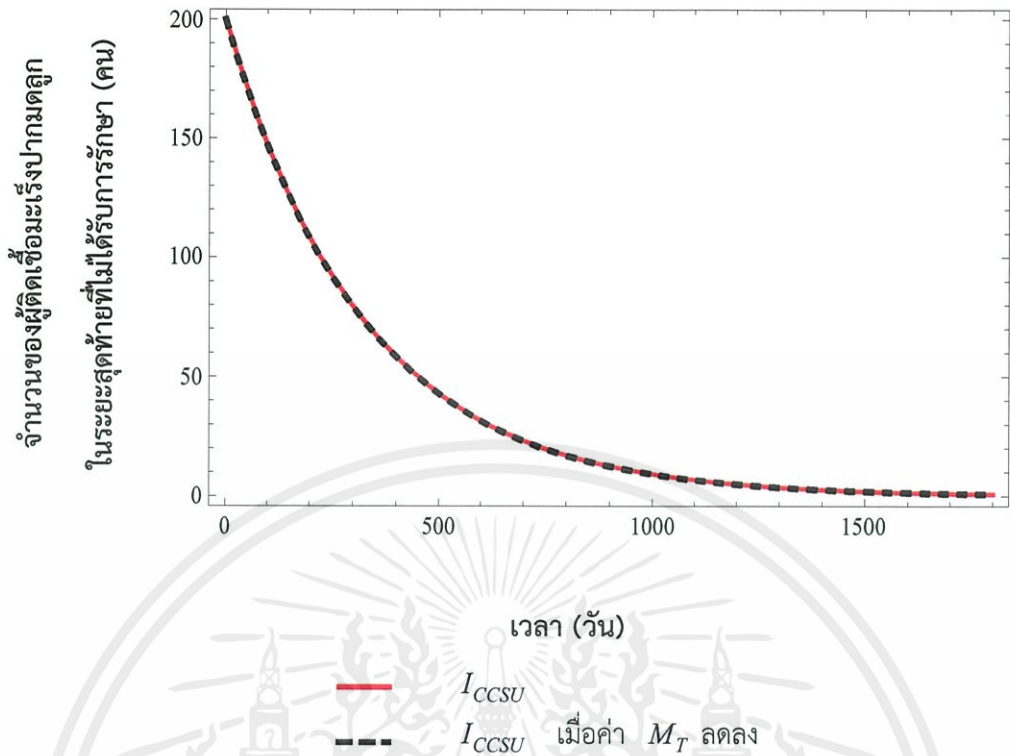
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

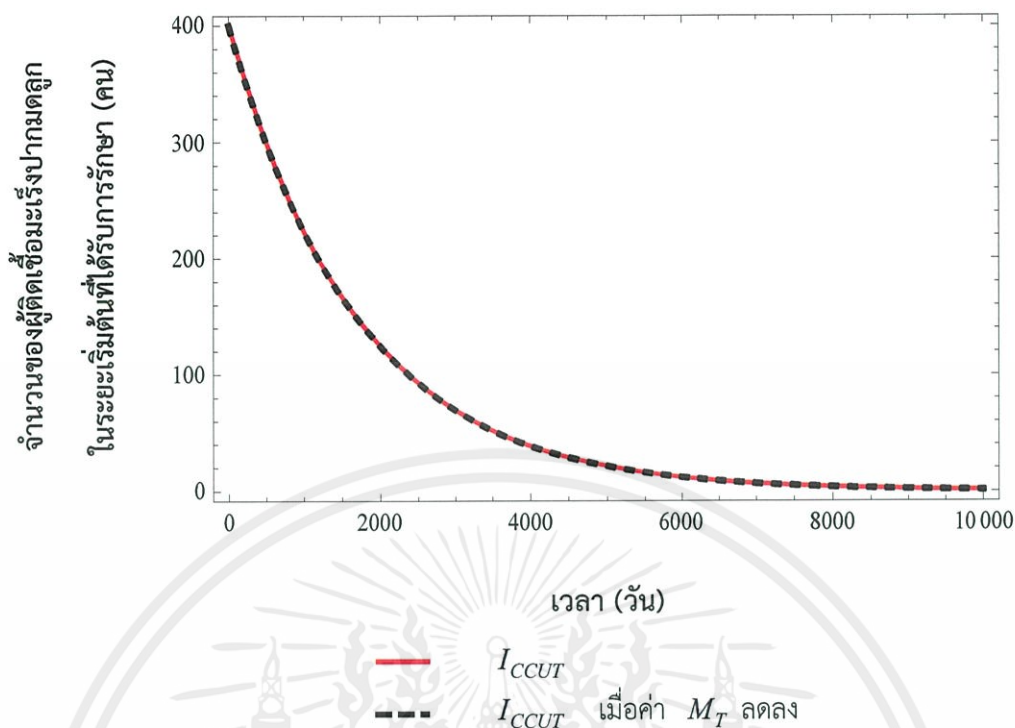
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

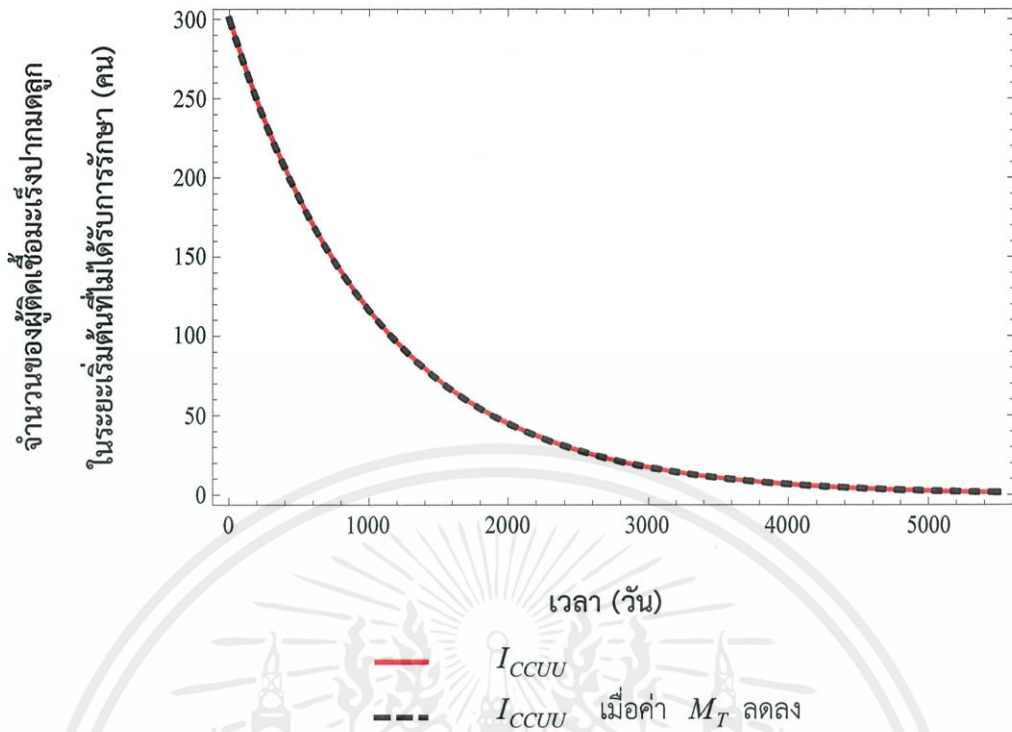
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

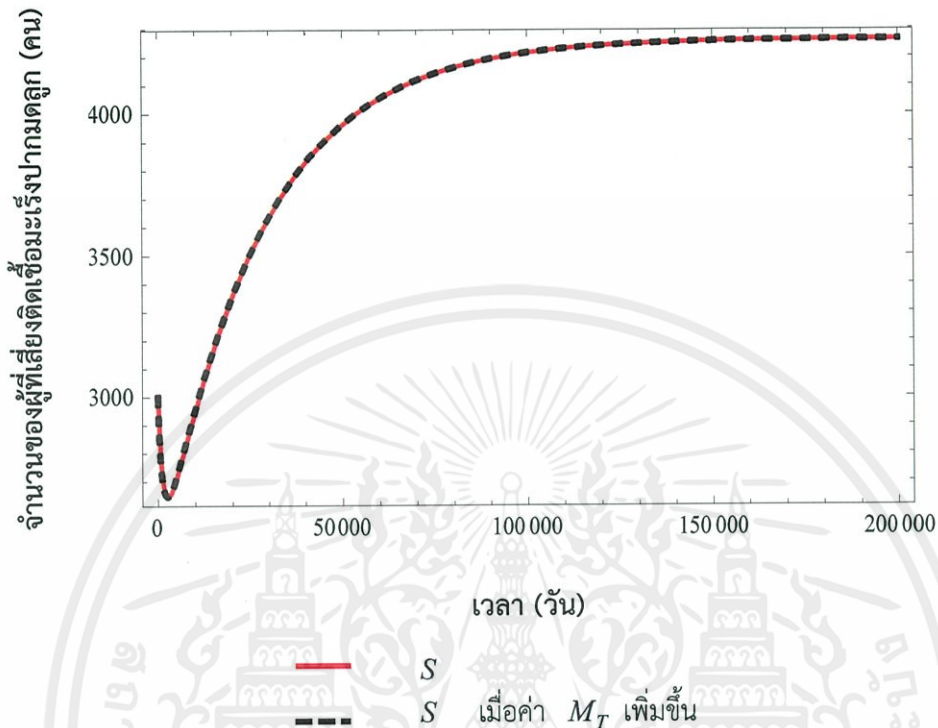


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

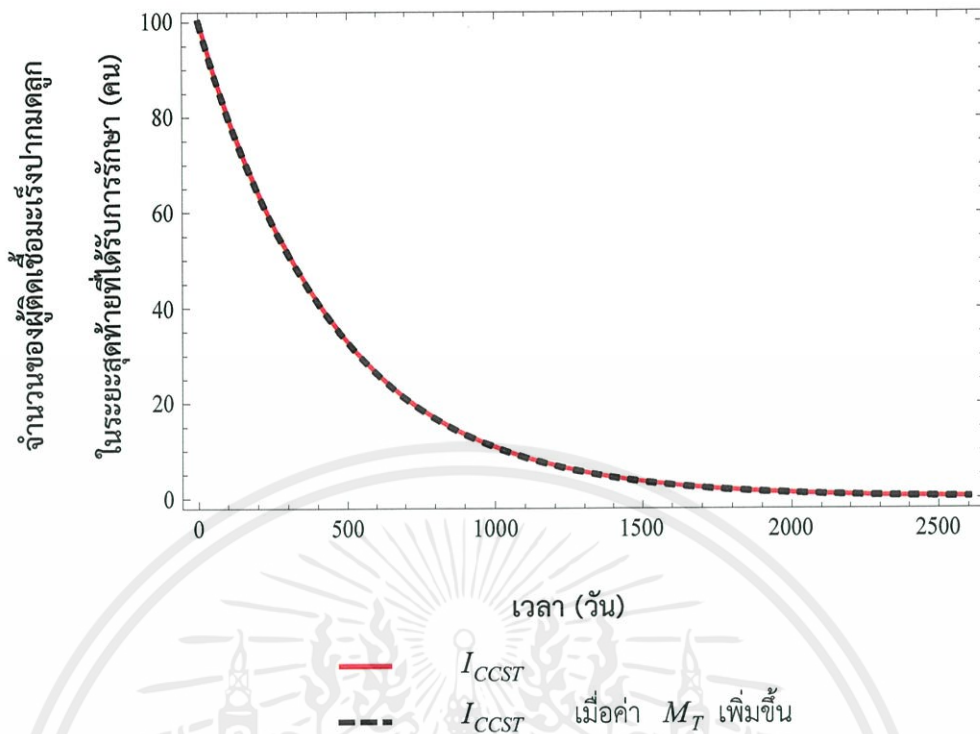
1.2 เมื่อค่า M_T เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มอัตราผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีนจาก 8.1 ราย เป็น 100 ราย ต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการเข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

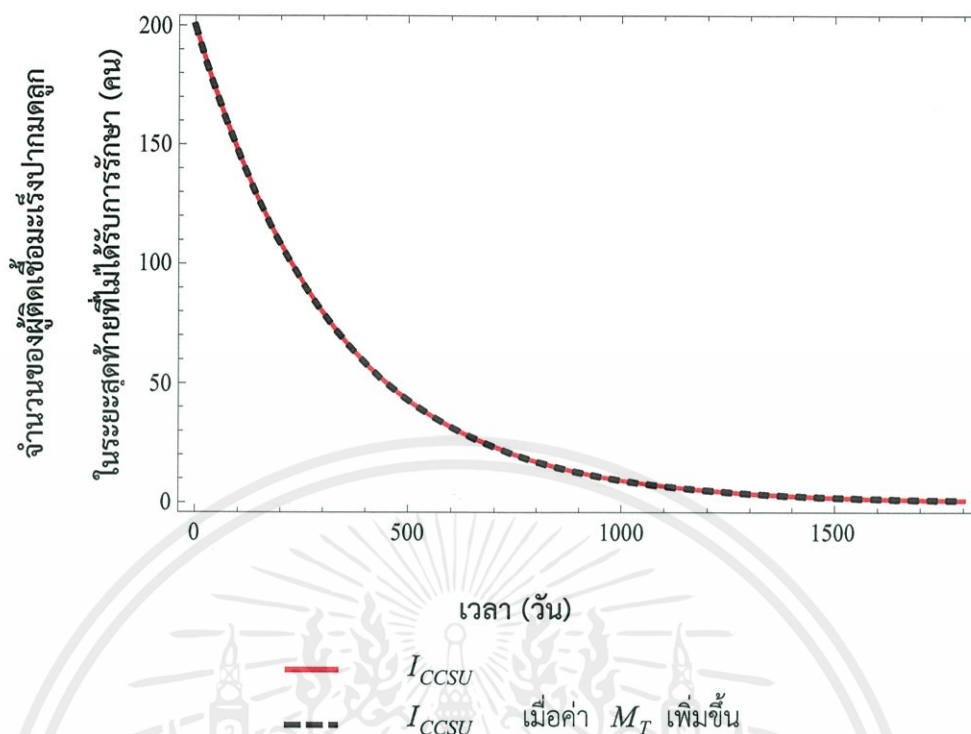
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

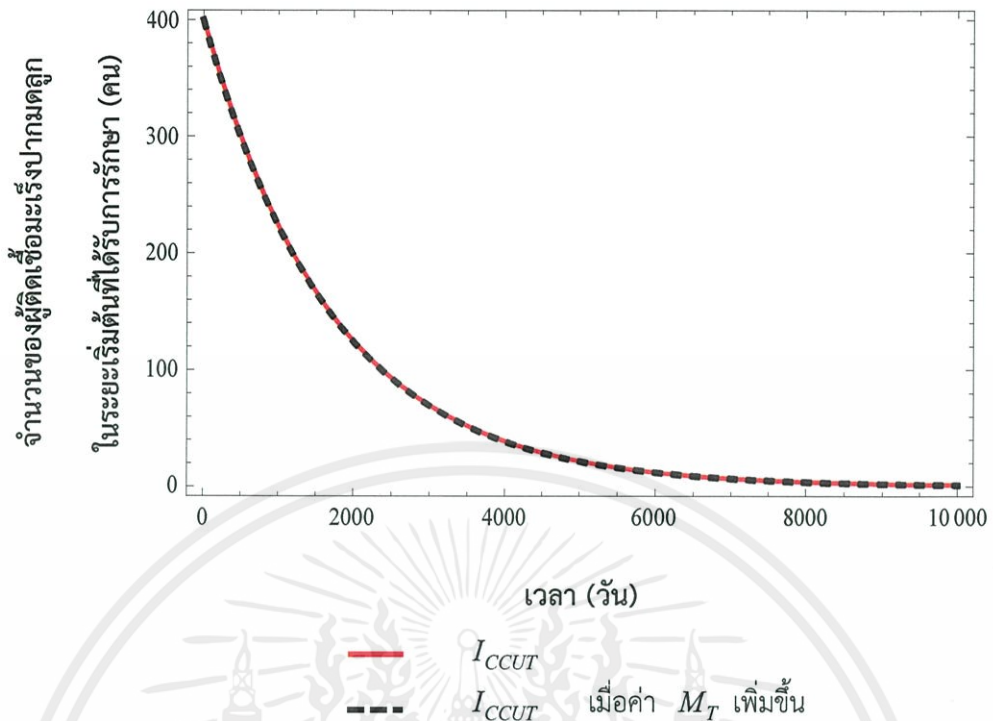
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งเรื้อรังปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

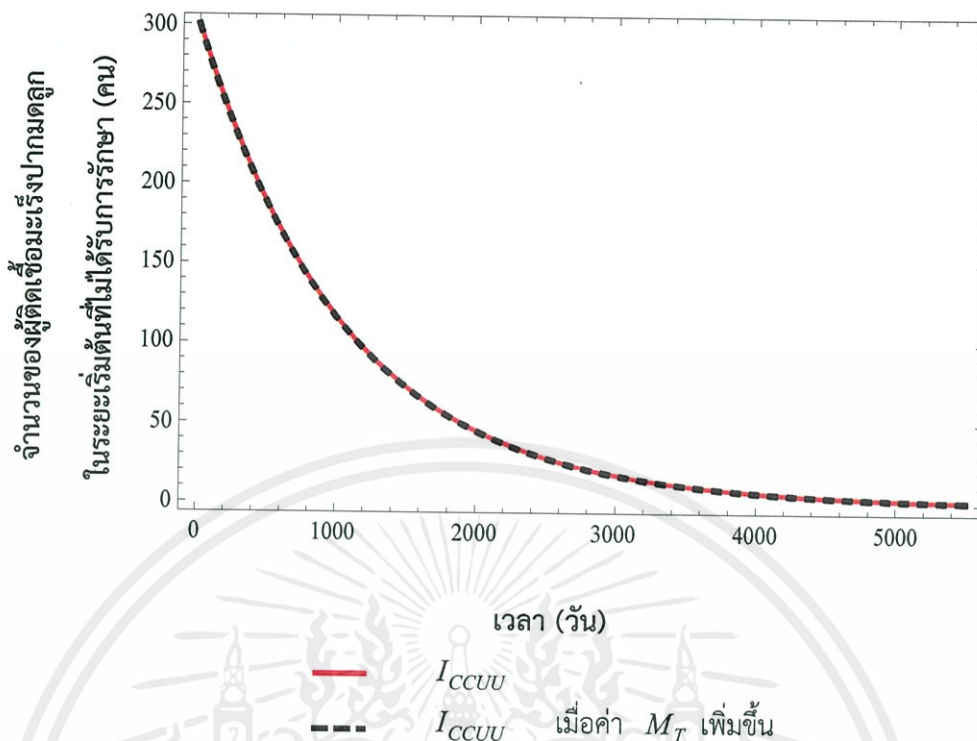
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้ออะโงกวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



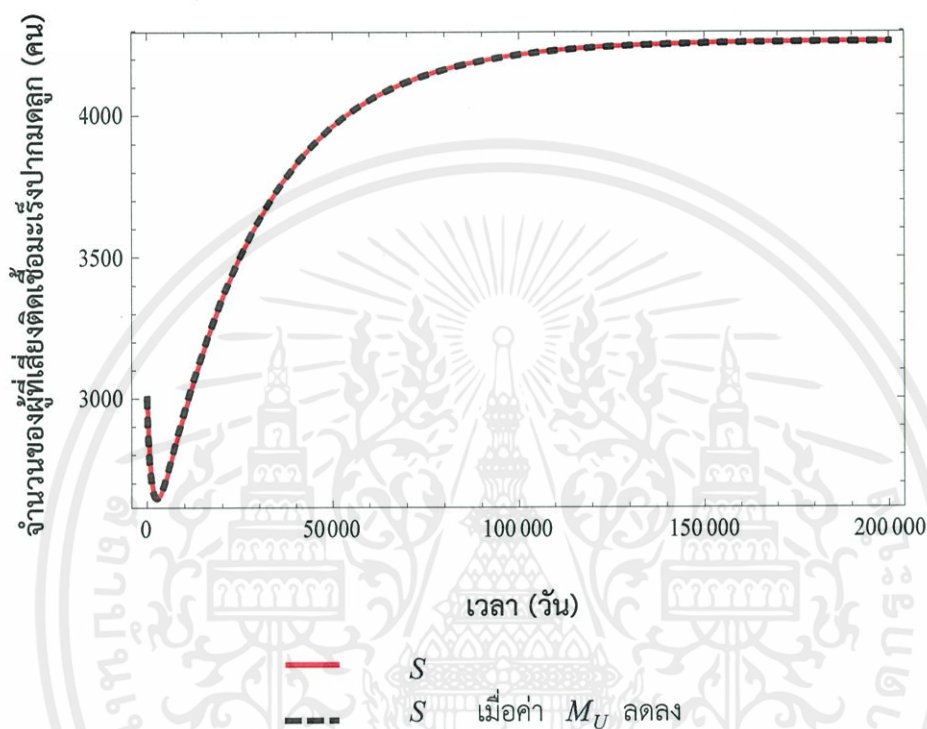
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ M_U เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ M_T , L_T , L_U , μ_{CCST} , μ_{CCSU} , μ_{CCUT} และ μ_{CCUU} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

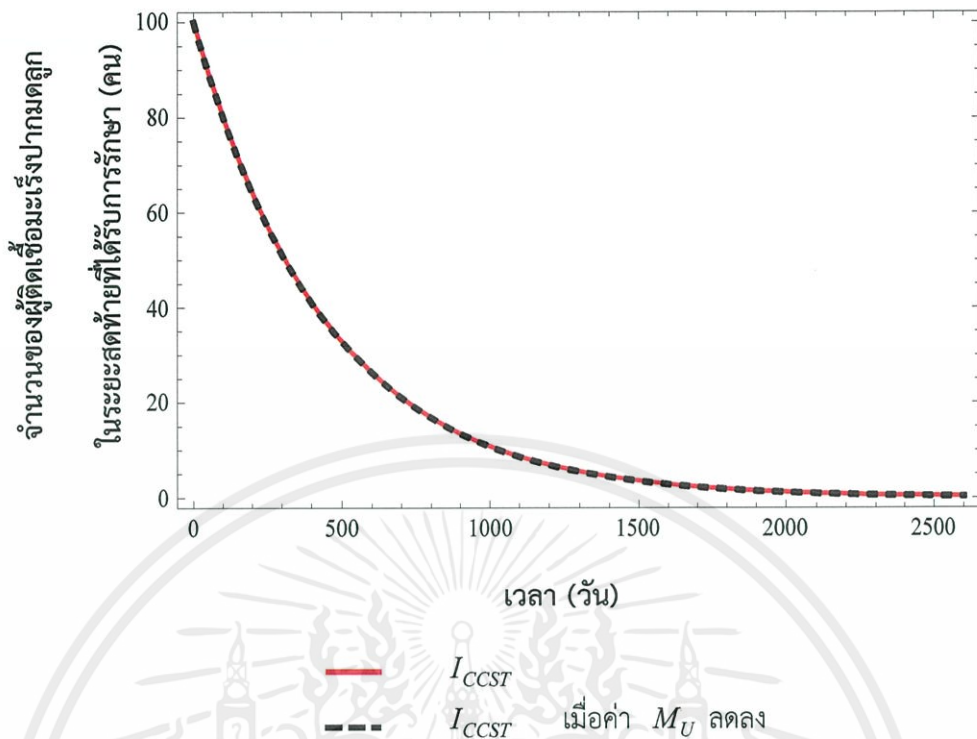
2.1 เมื่อค่า M_U ลดลง จากการลดอัตราผู้ป่วยที่ไม่ได้รับวัคซีนจาก 18.9 ราย เป็น 5 ราย ต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

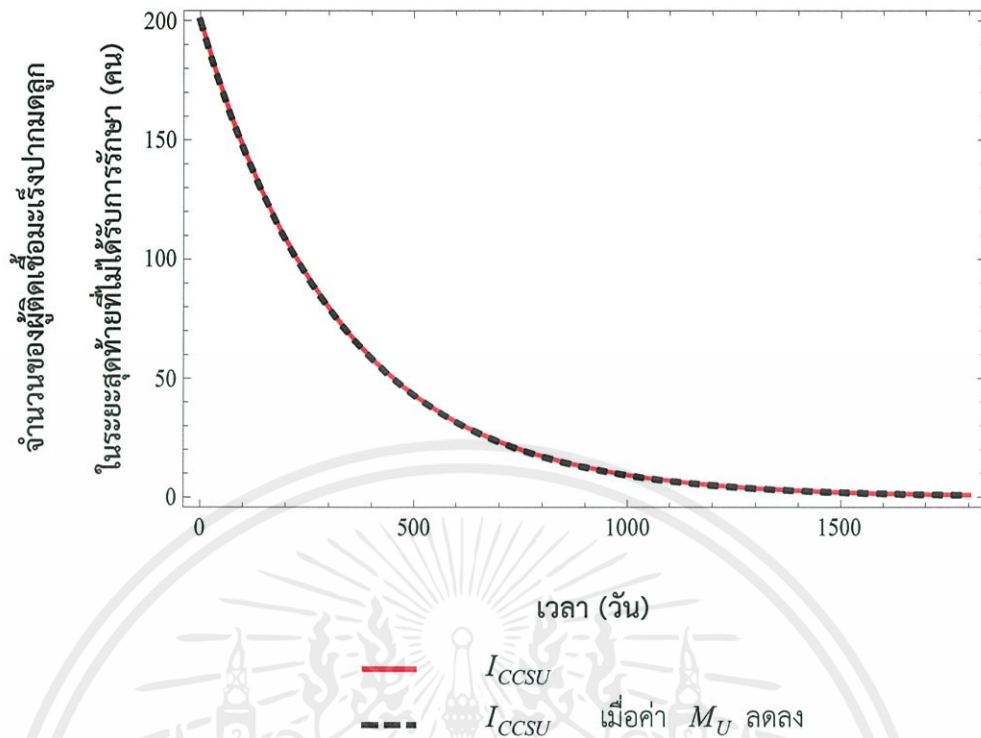
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ จะถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

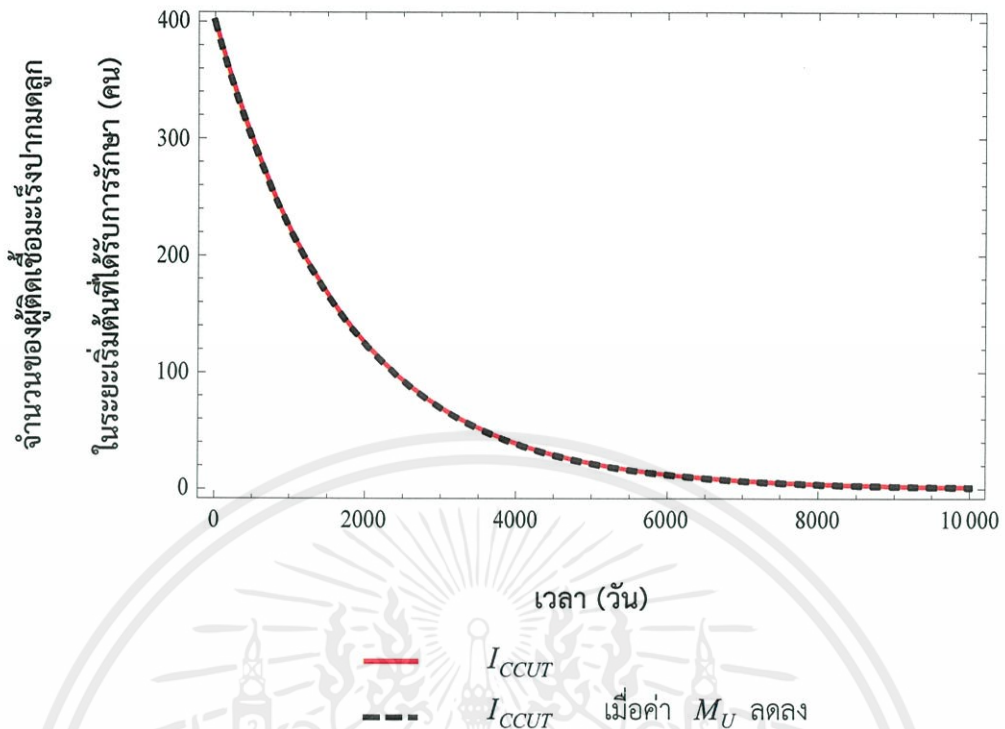
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

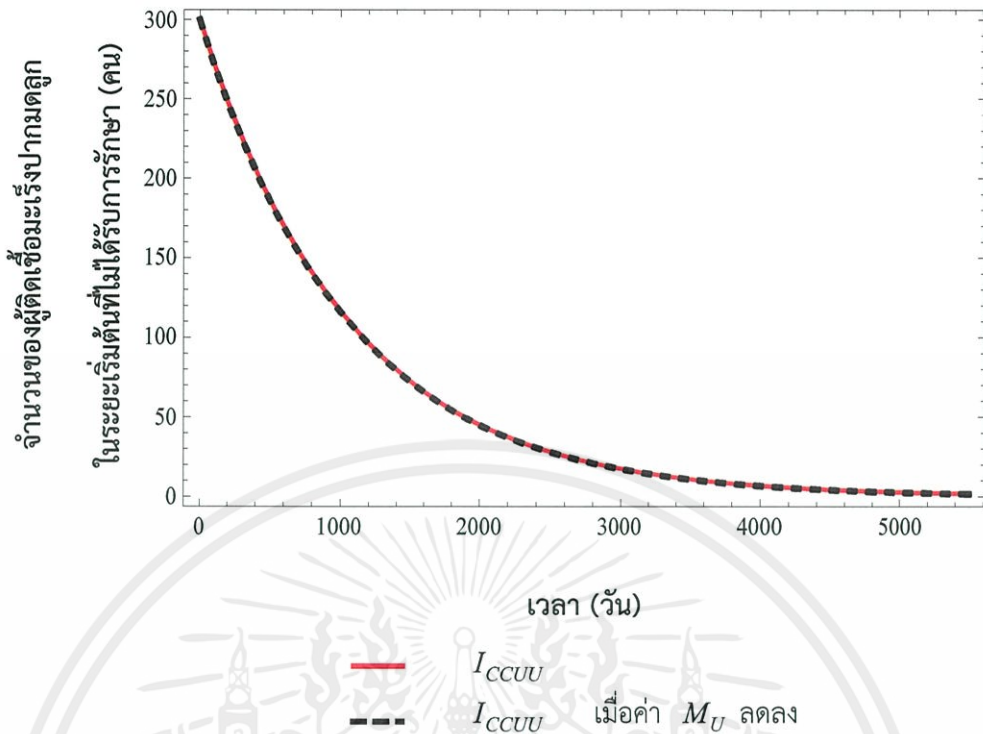
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

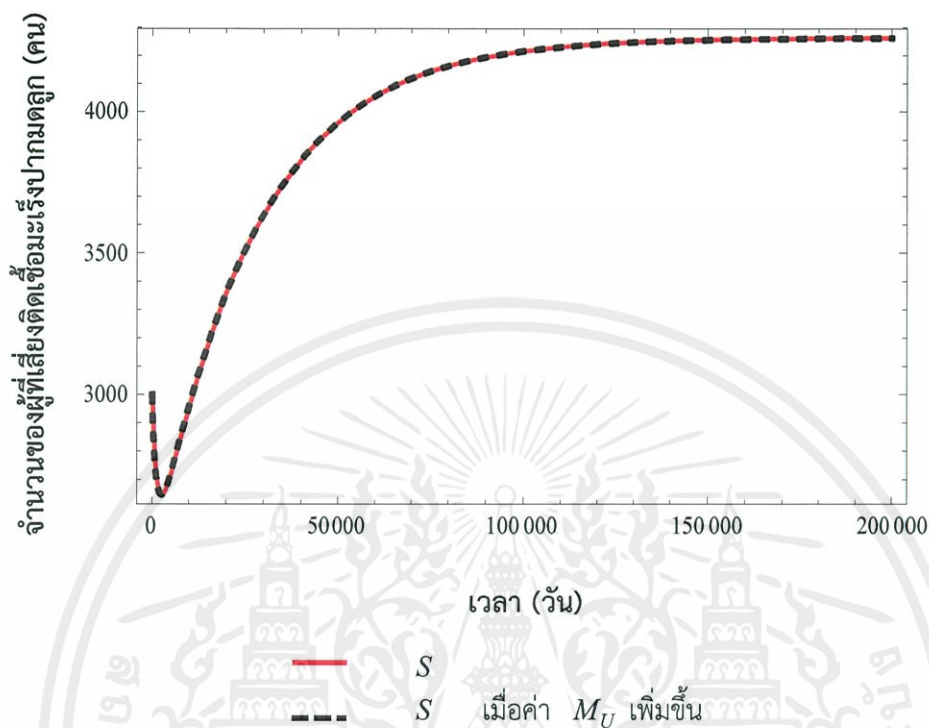


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมเริงปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

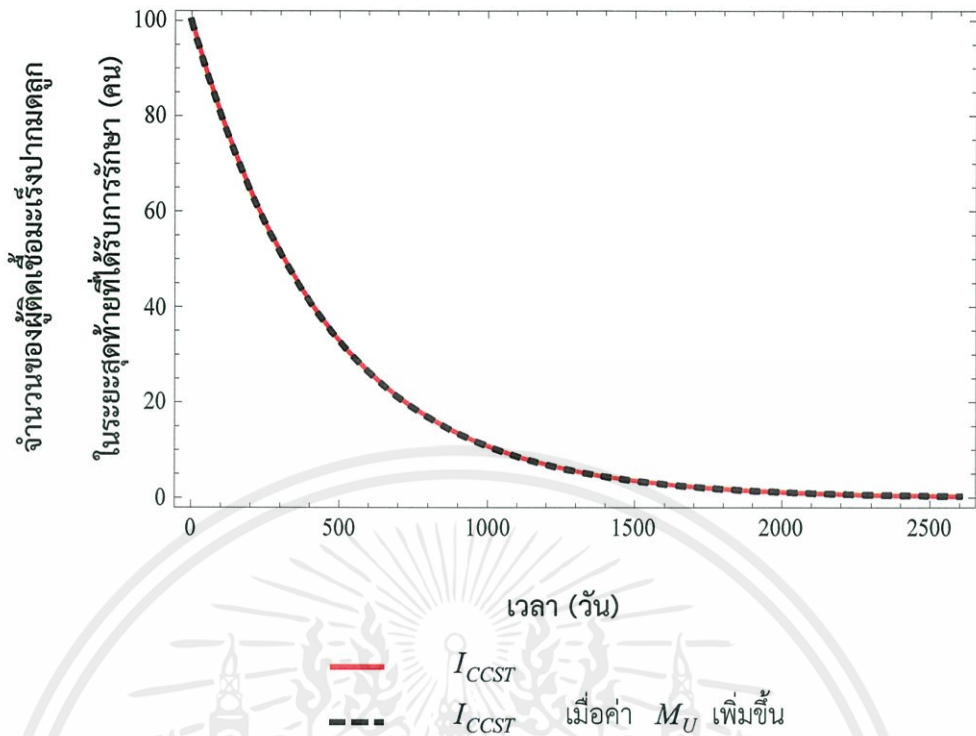
2.2 เมื่อค่า M_U เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มอัตราผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีนจาก 18.9 ราย เป็น 80 ราย ต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

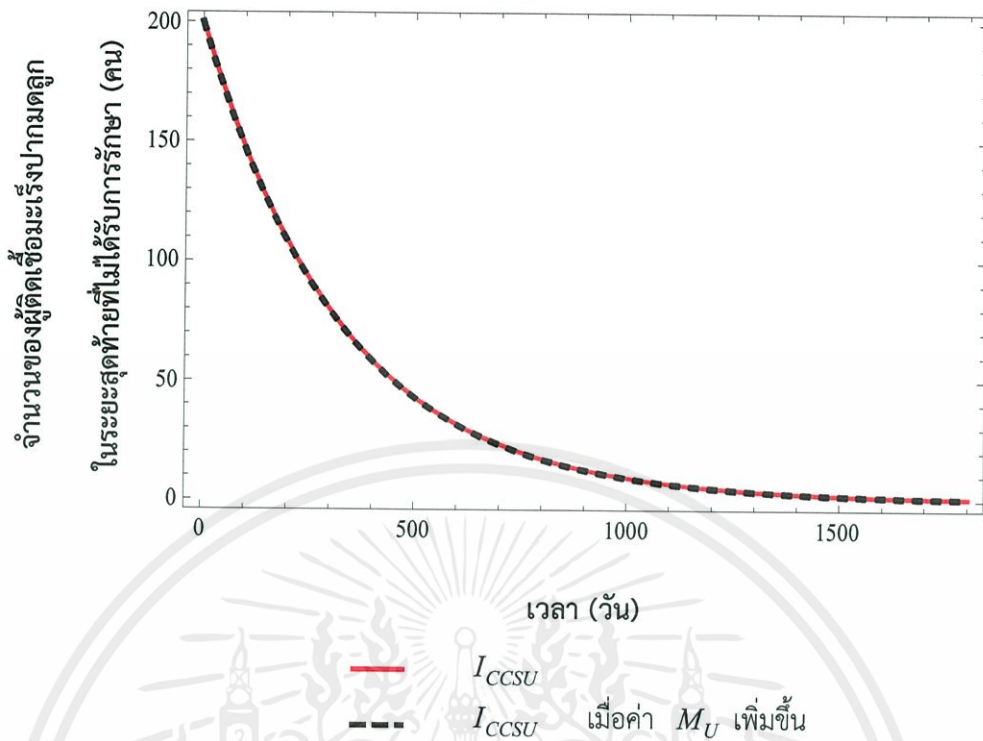
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

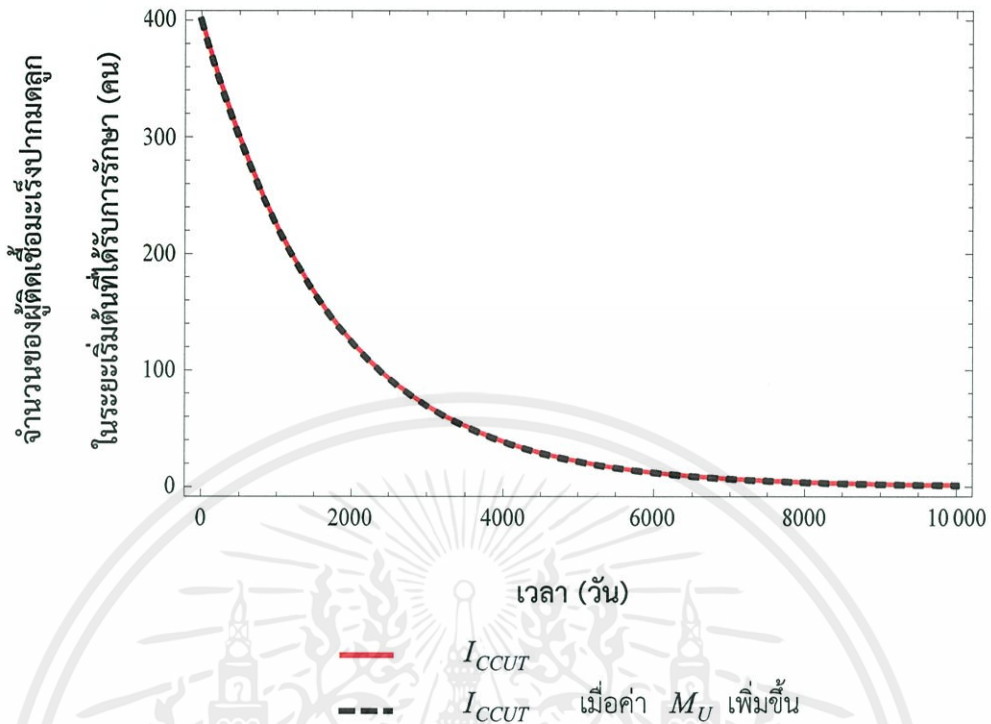
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

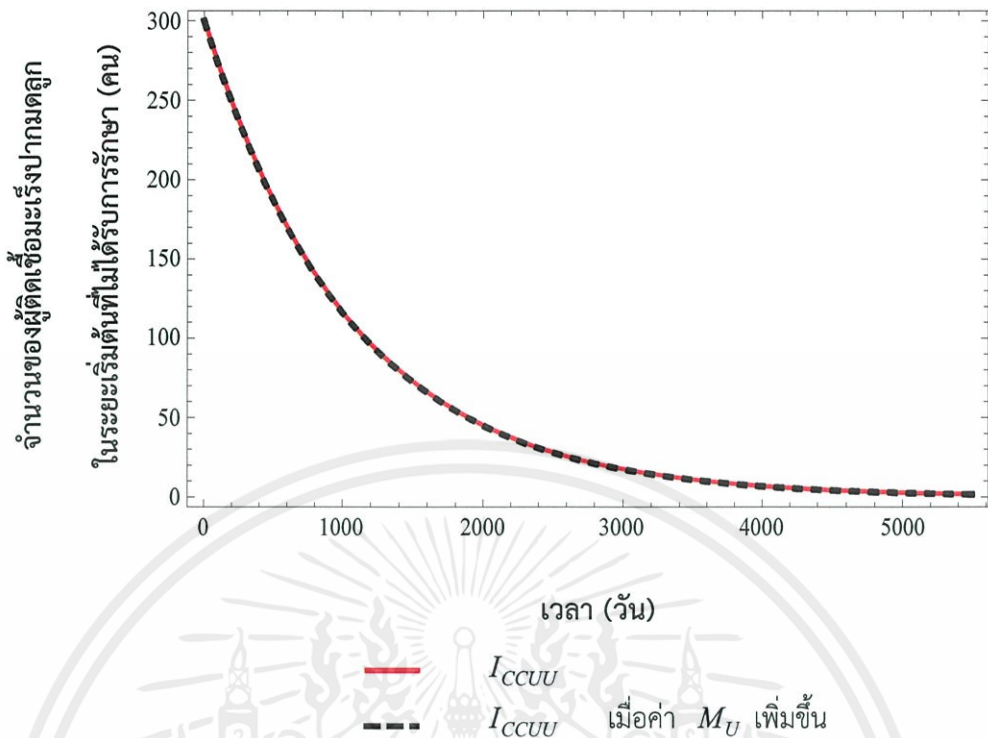
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



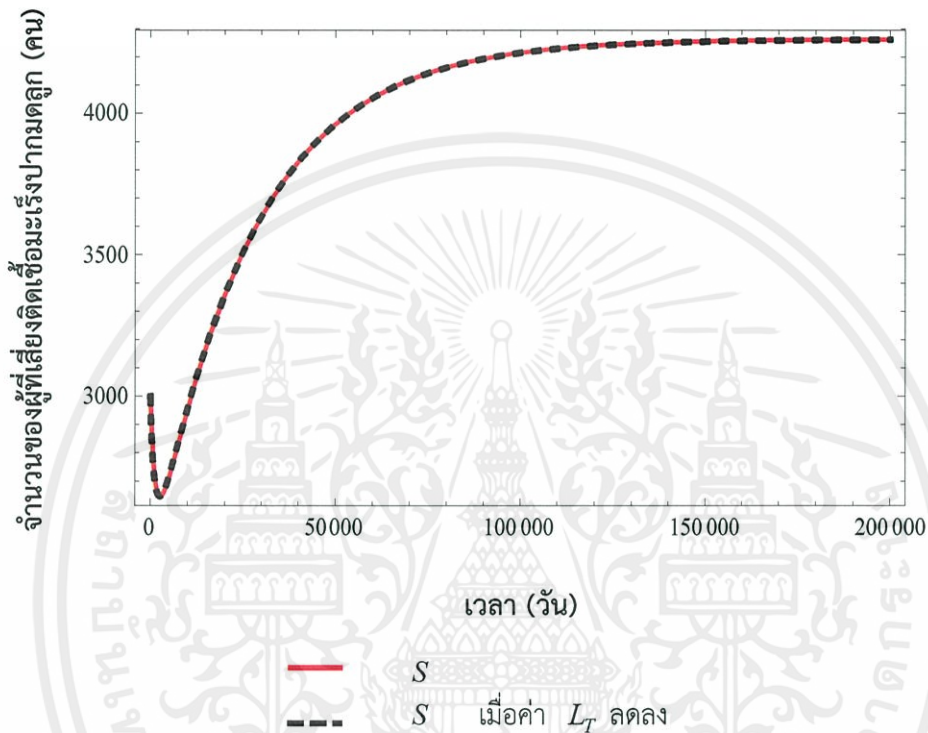
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ L_T เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ M_T , M_U , L_U , μ_{CCST} , μ_{CCSU} , μ_{CCUT} และ μ_{CCUU} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

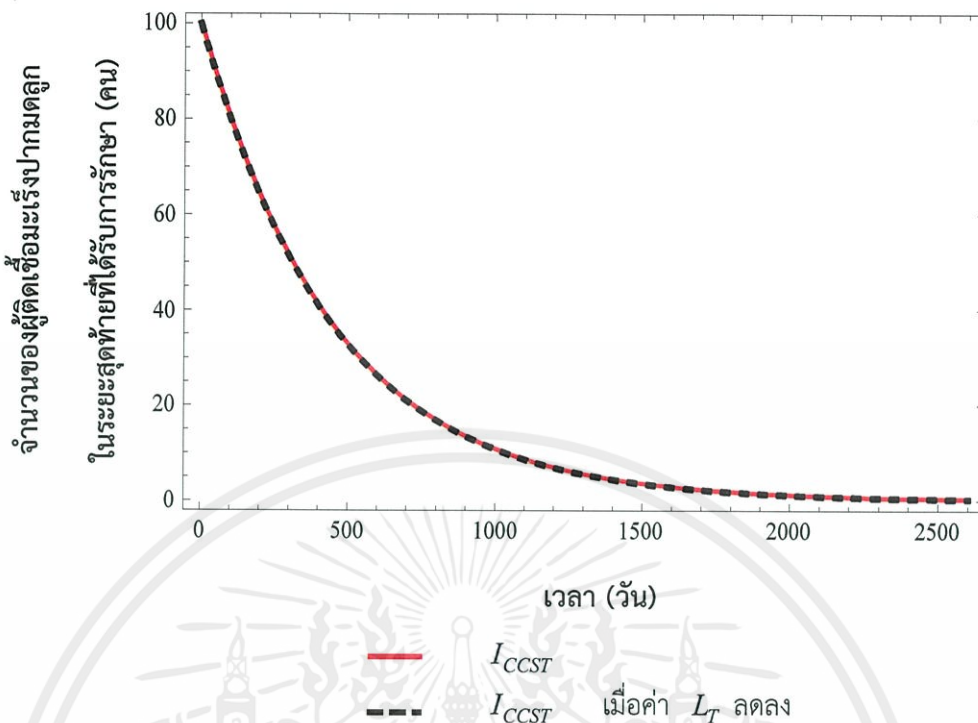
3.1 เมื่อค่า L_T ลดลง จากการลดอัตราผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีนจาก 8.1 ราย เป็น 5 รายต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการเข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมต่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

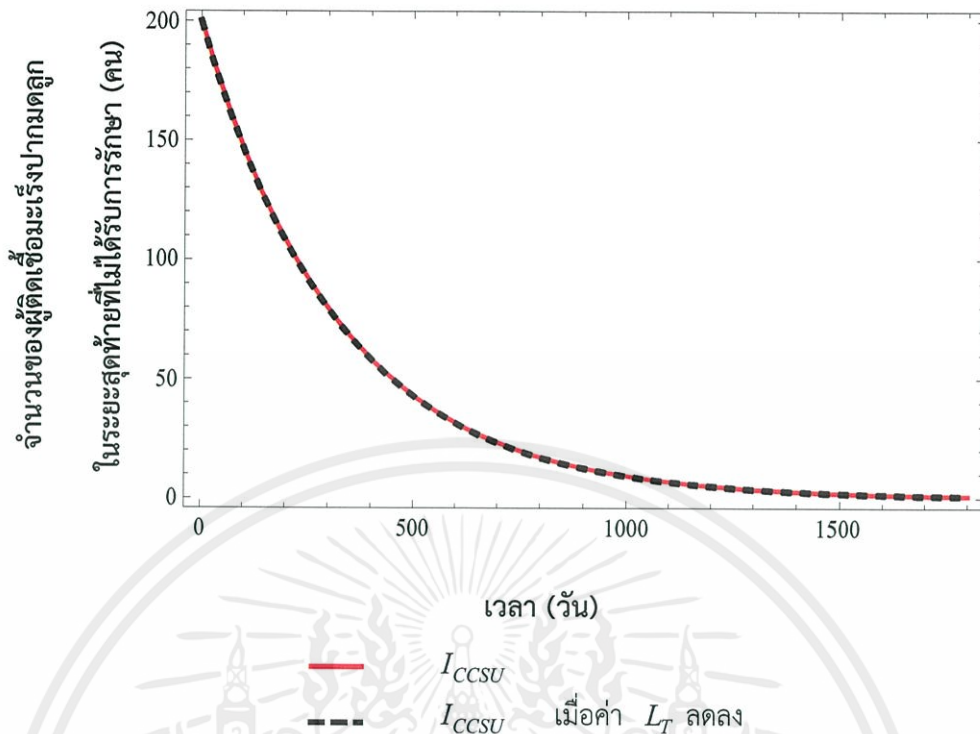
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาอื่นใดที่มีอยู่ หากท่านได้เข้ามาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวกมตลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

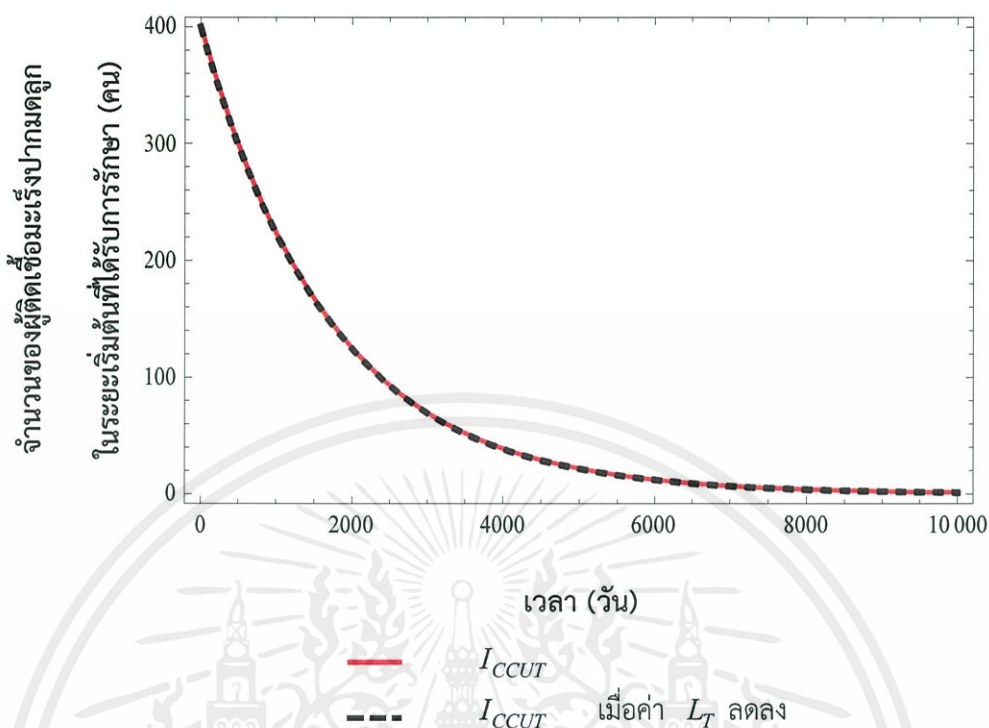
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

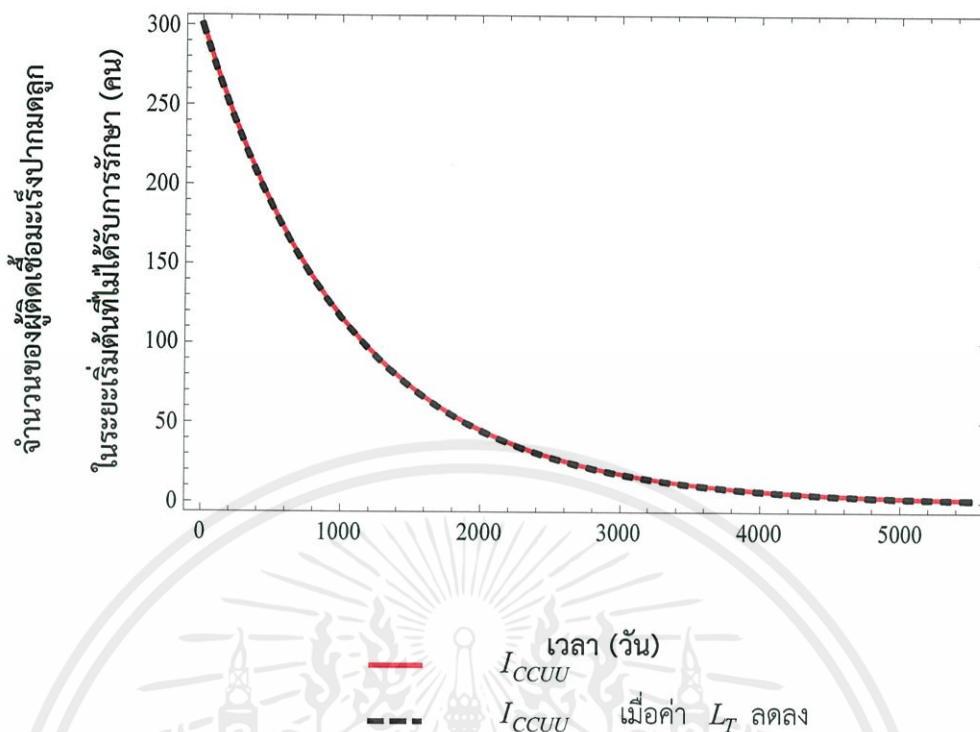
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.29 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

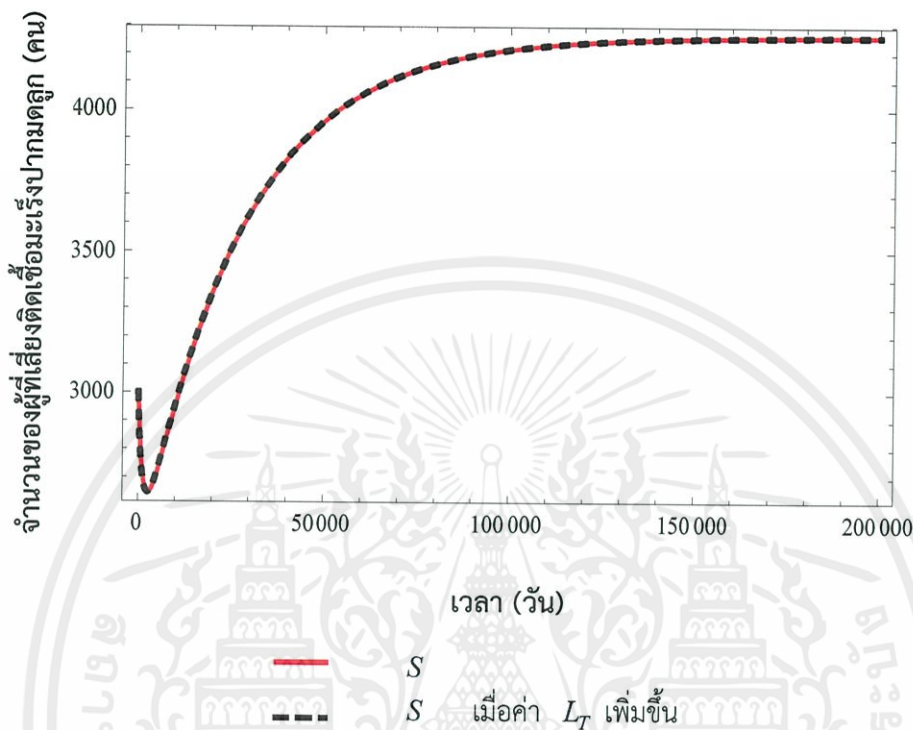


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

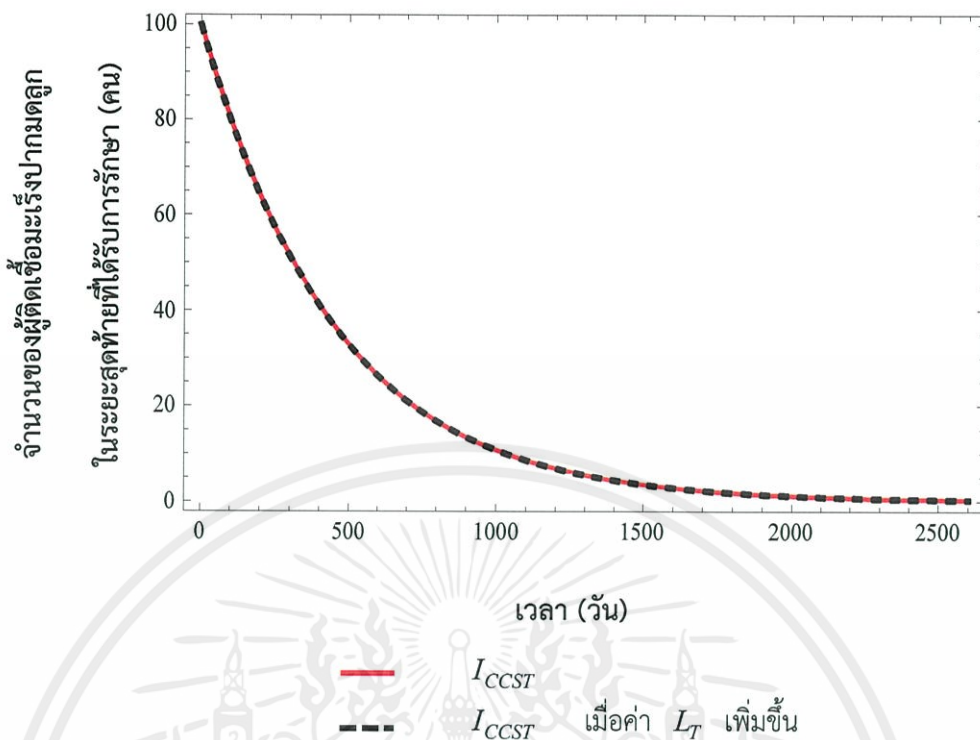
3.2 เมื่อค่า L_T เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มอัตราผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีนจาก 8.1 ราย เป็น 80 รายต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการเข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

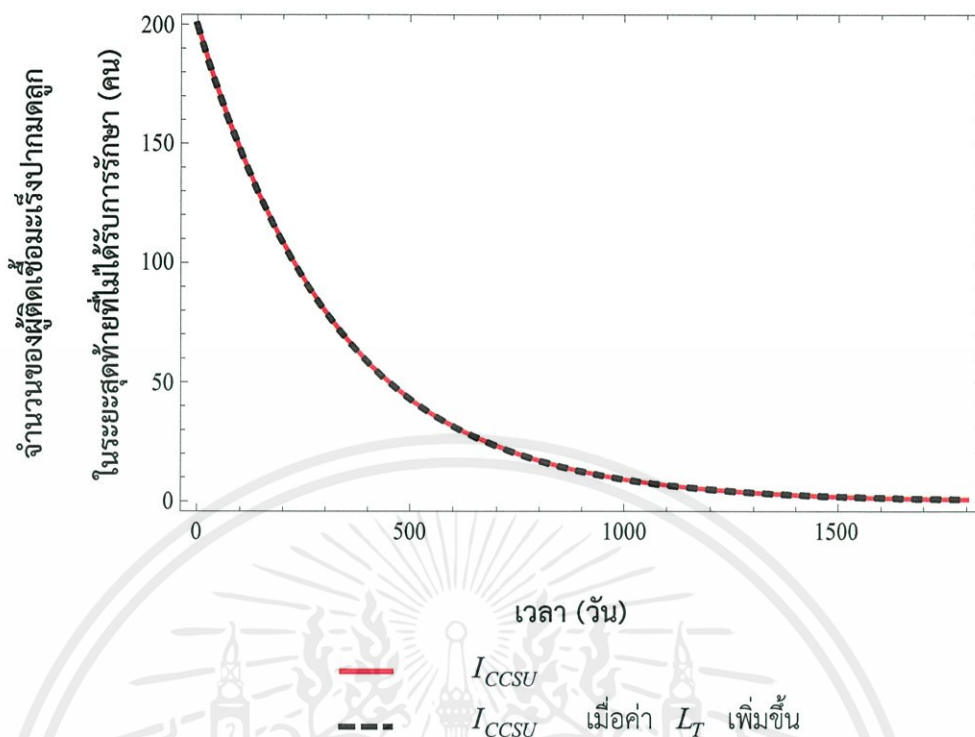
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปวกมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

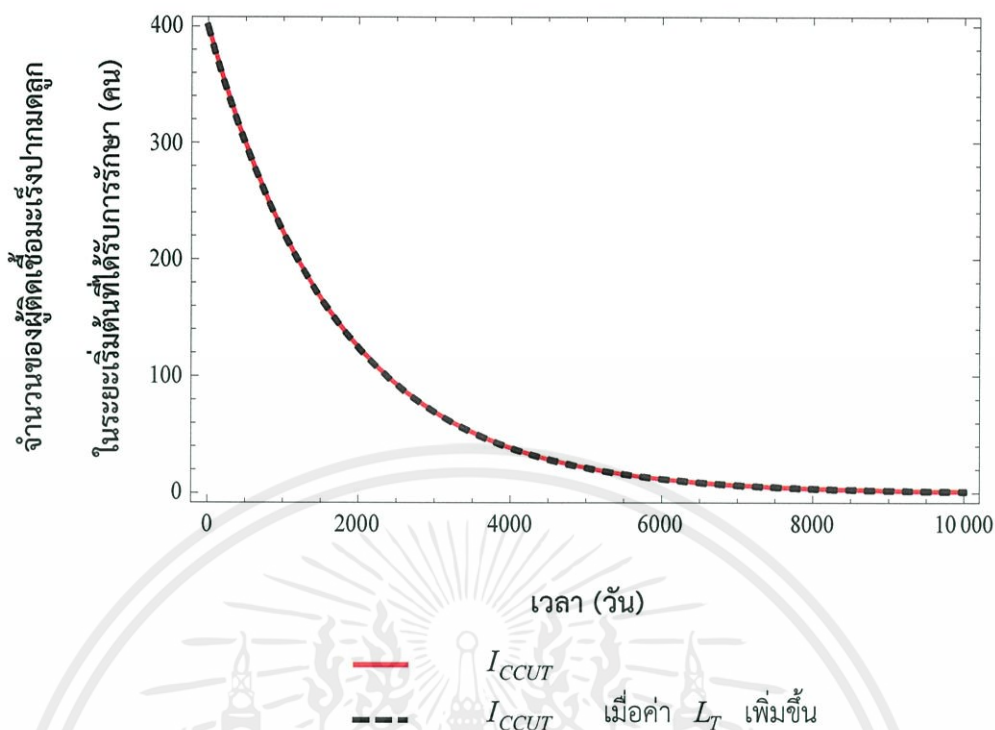
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

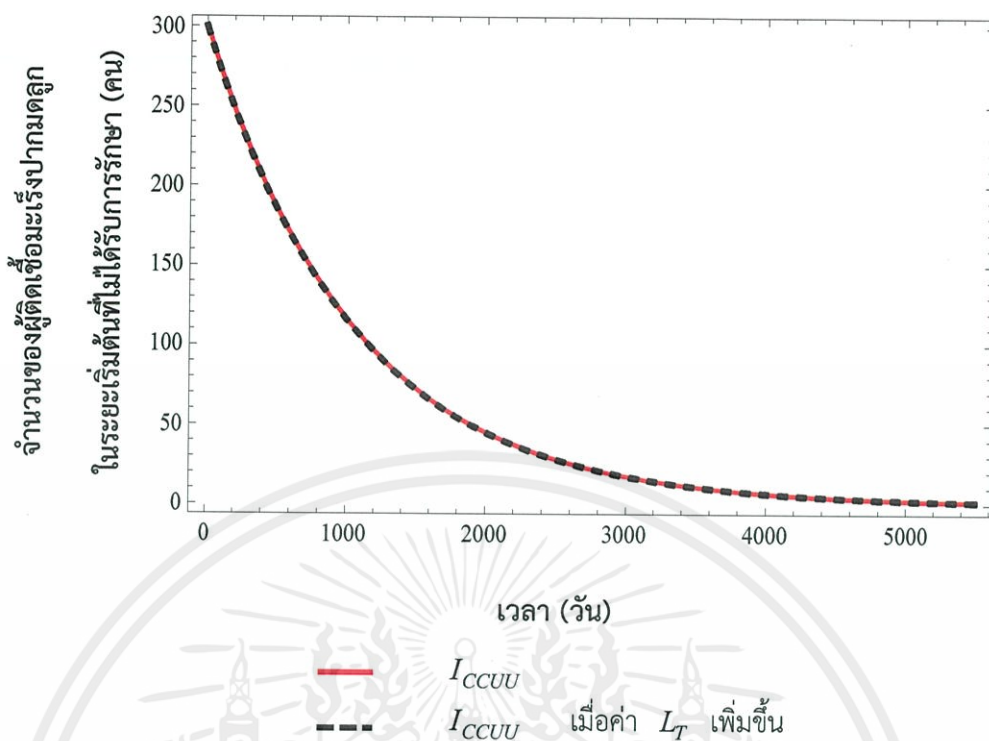
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.34 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



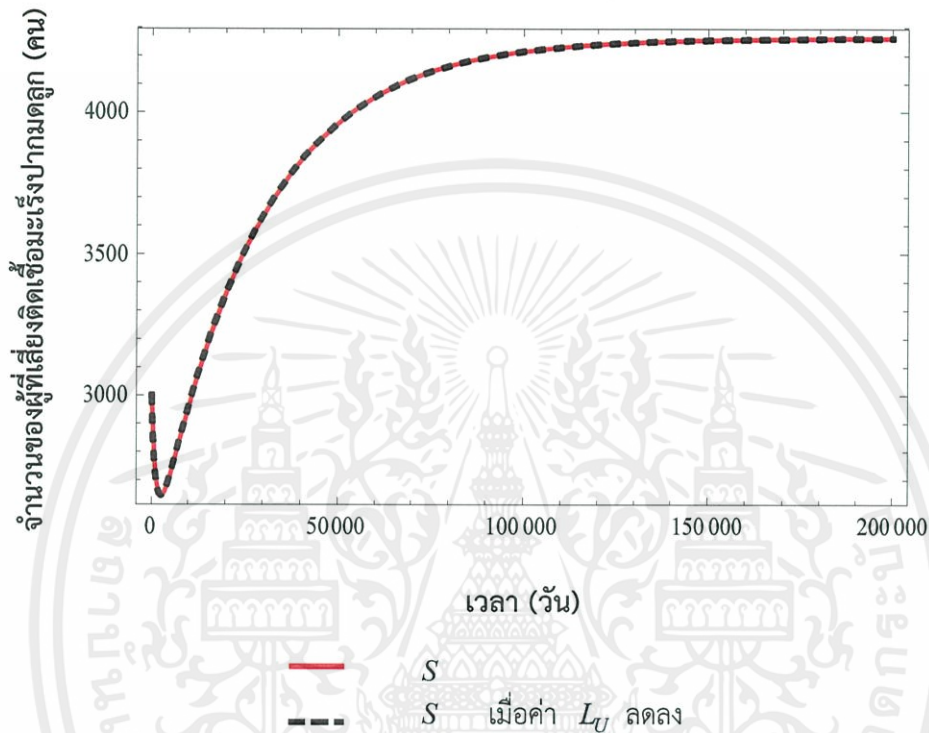
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.35 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ L_U เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ M_T , M_U , L_T , μ_{CCST} , μ_{CCSU} , μ_{CCUT} และ μ_{CCUV} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

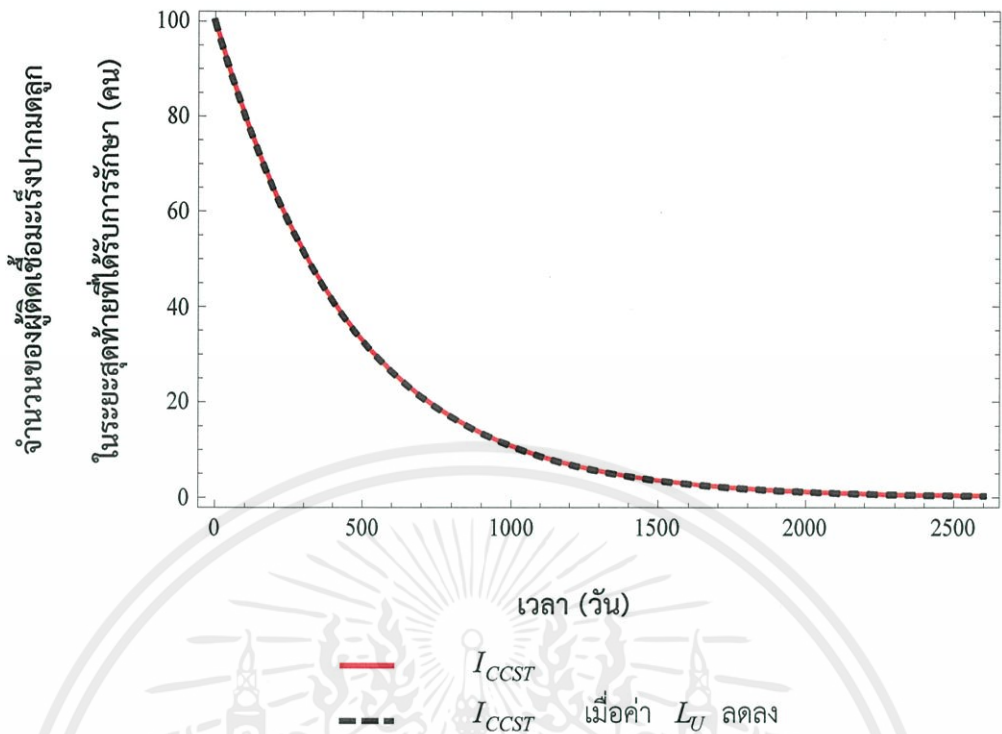
4.1 เมื่อค่า L_U ลดลง จากการลดอัตราผู้ป่วยที่ไม่ได้รับวัคซีนจาก 18.9 ราย เป็น 5 ราย ต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการเข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียตีดัดเข็มะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเข็มะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.36 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดัดเข็มะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดัดเข็มะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเข็มะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียตีดัดเข็มะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเข็มะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา

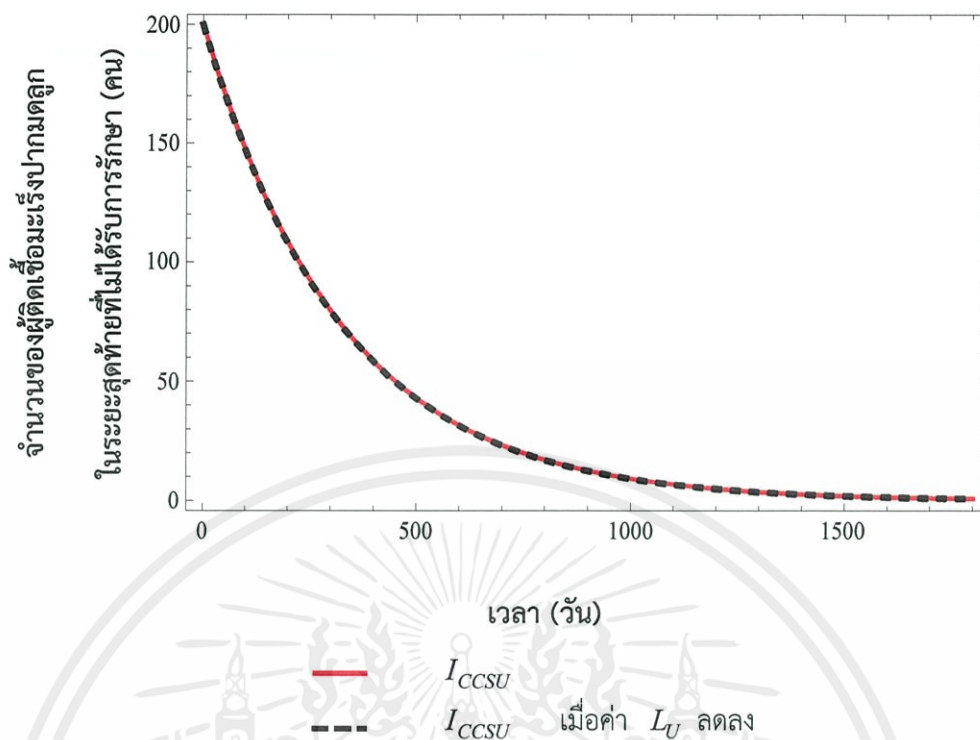
เอกสารนี้เป็น (L_U) สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.37 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

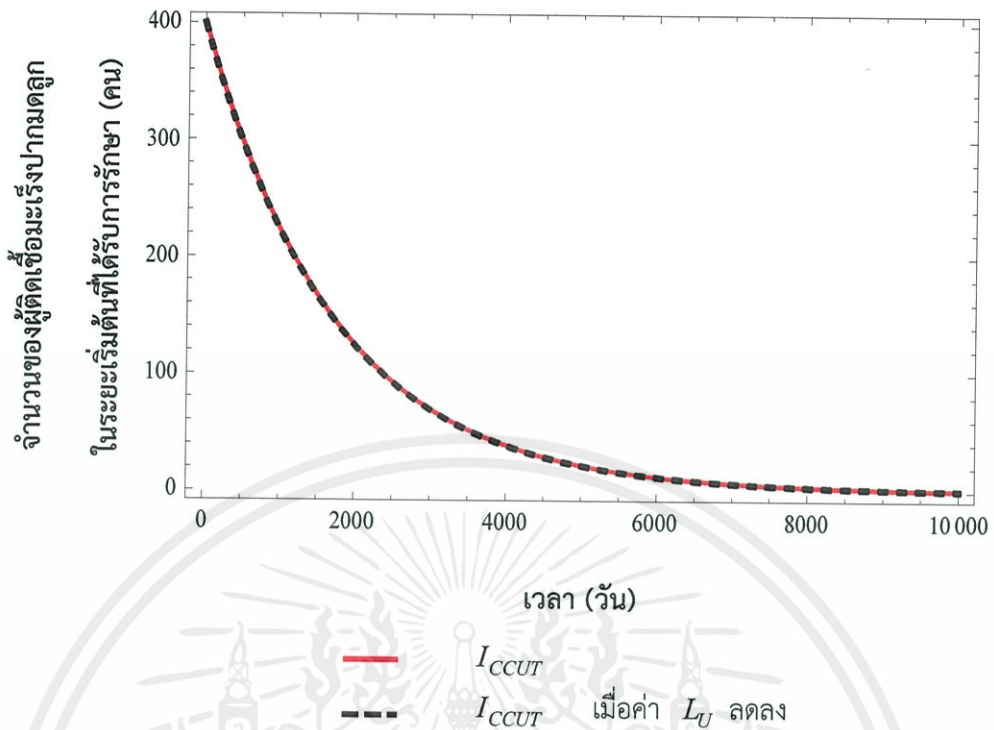
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.38 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

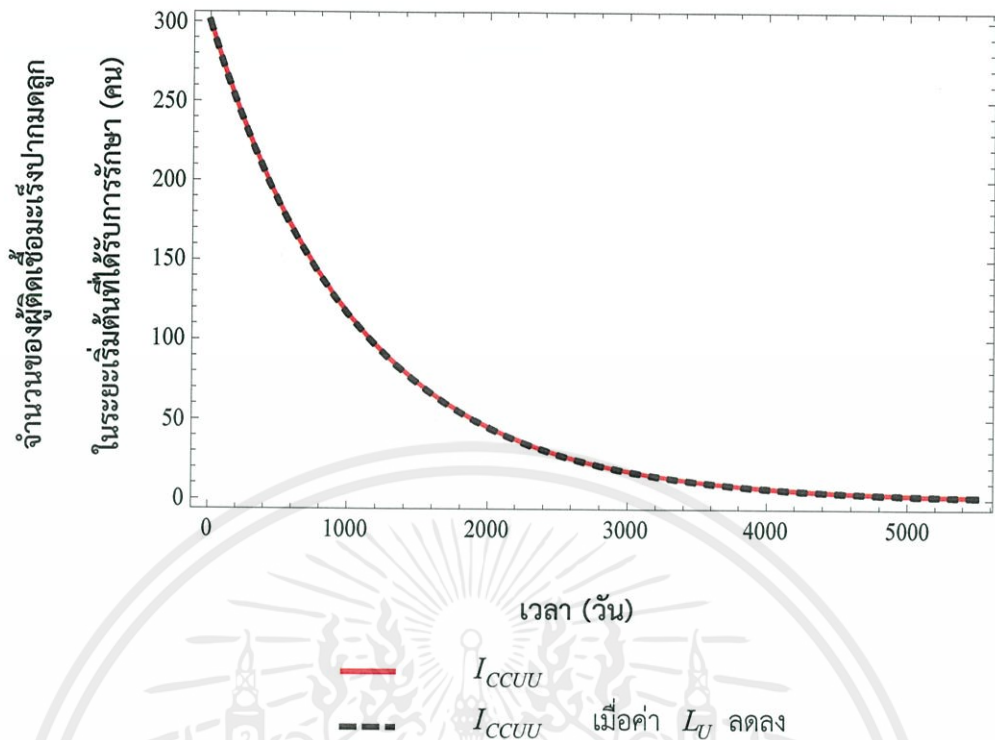
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มแรกที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มแรกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.39 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มแรกที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มแรกที่ได้รับรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มแรกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มแรกที่ได้รับรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มแรกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

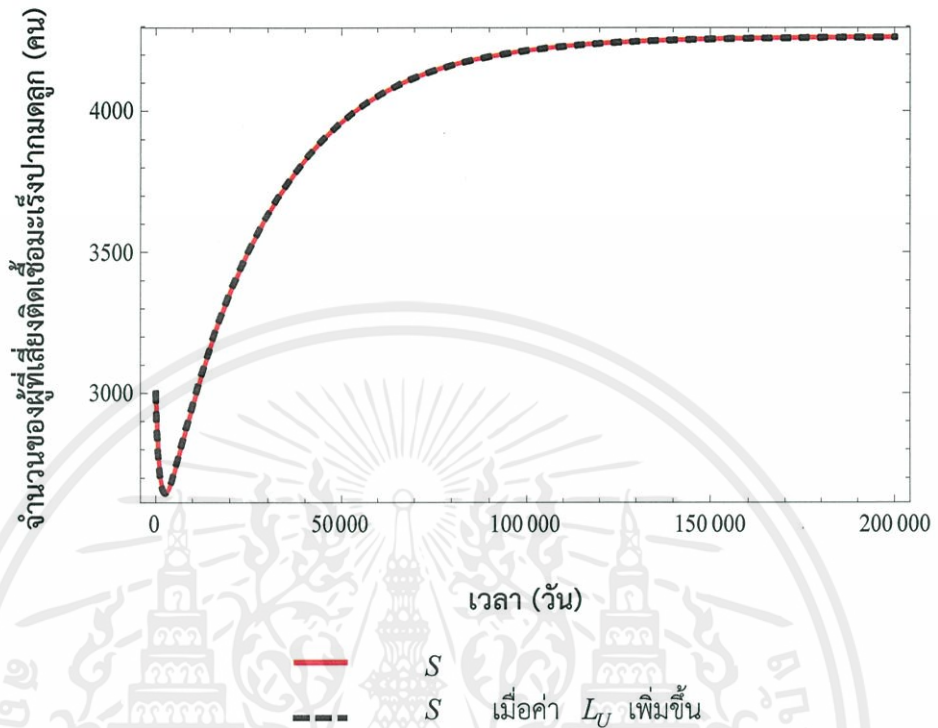


รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง

จากรูปที่ 4.40 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราของประชากรที่ติดเชื้ออะมีบะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

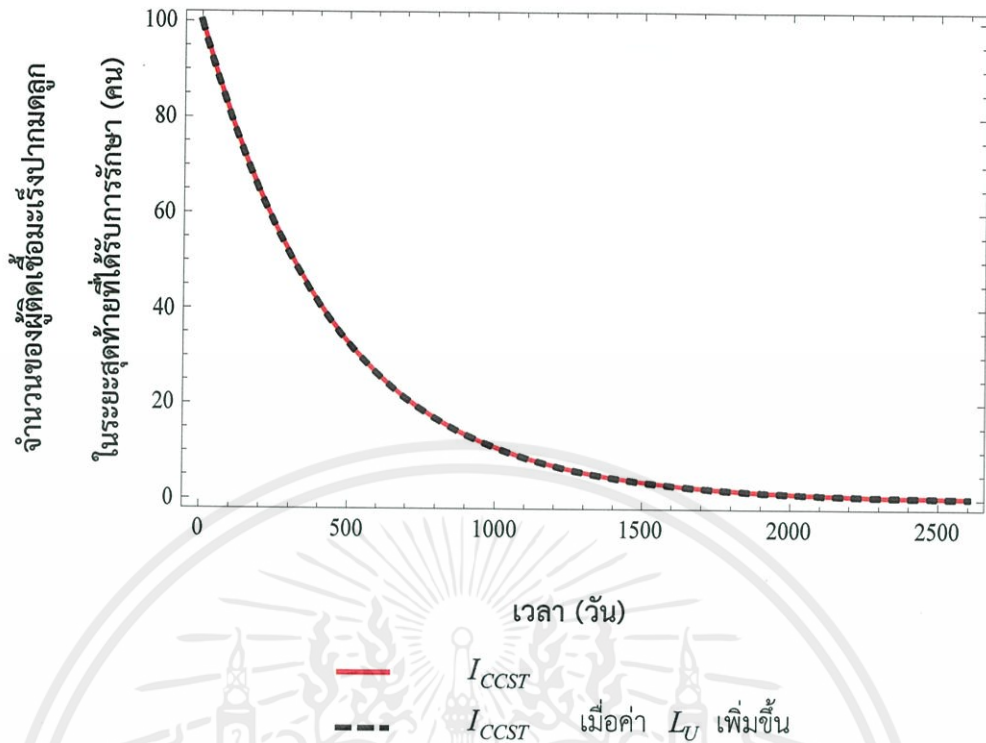
4.2 เมื่อค่า L_U เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มอัตราผู้ป่วยที่ได้รับวัคซีนจาก 18.9 ราย เป็น 80 ราย ต่อประชากรหญิงแสนคนต่อปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.41 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

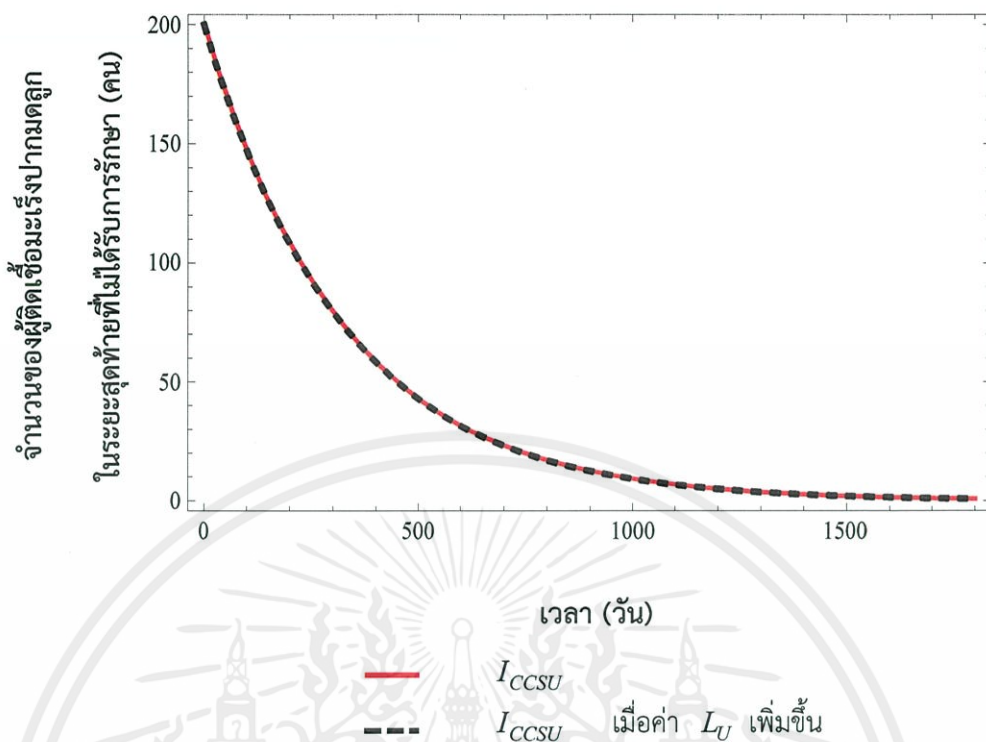
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.42 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

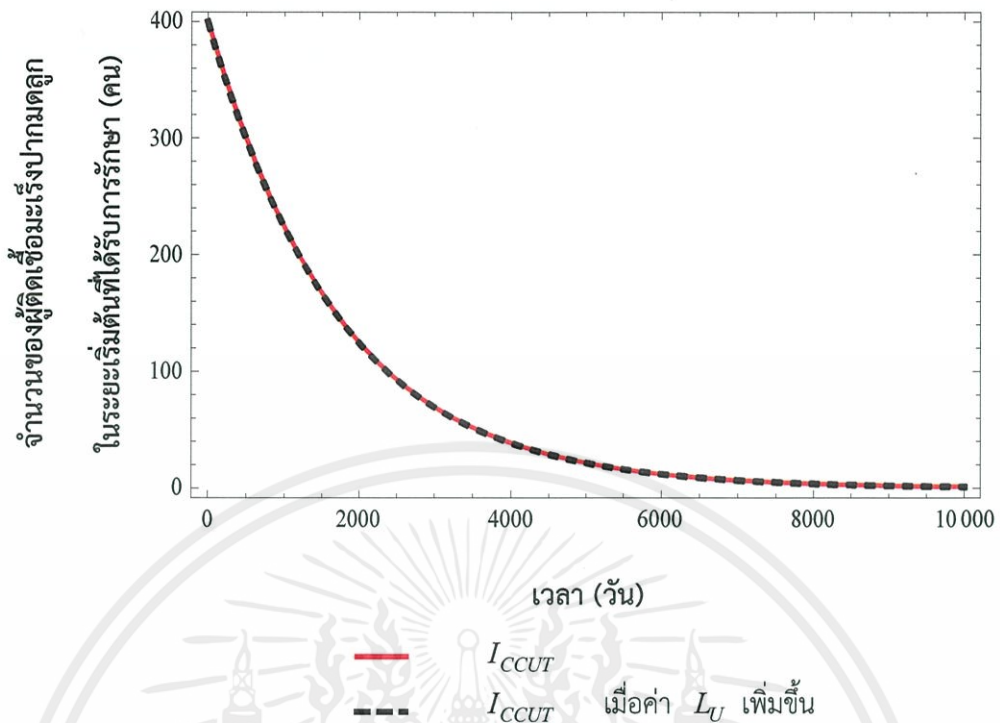
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.43 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

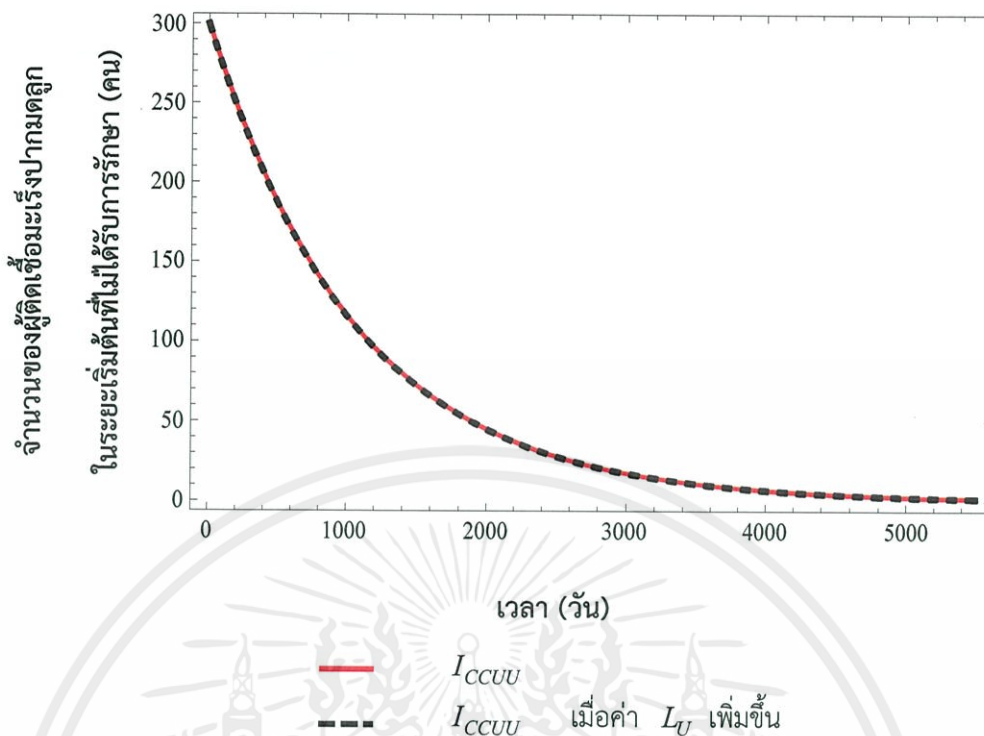
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.44 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น

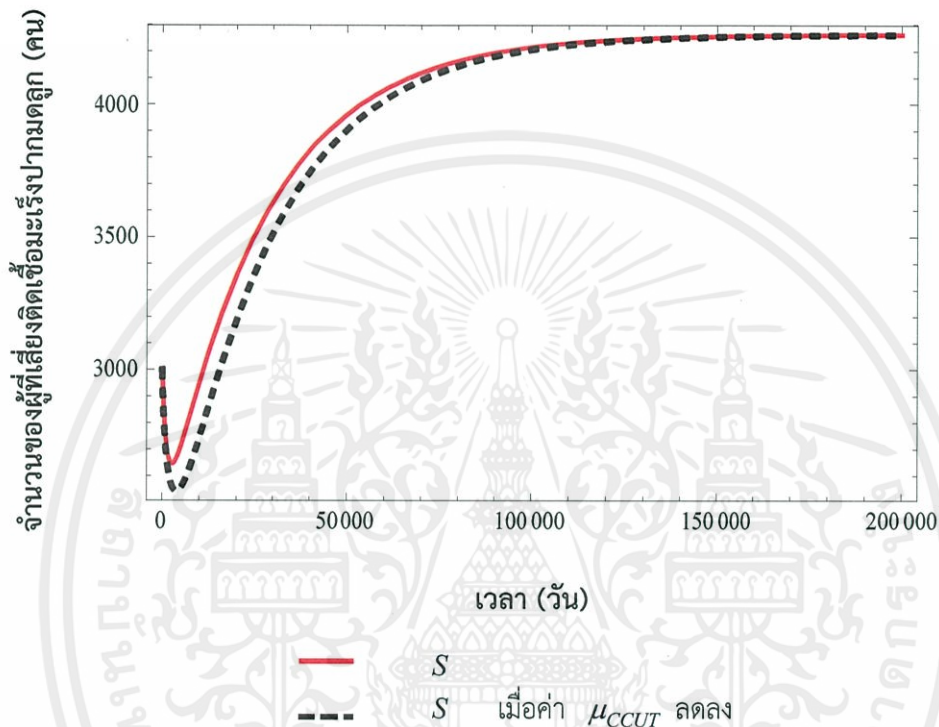
จากรูปที่ 4.45 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U)

สรุป จะเห็นได้ว่า หากลดหรือเพิ่มค่าพารามิเตอร์ M_T , M_U , L_T และ L_U โดยที่ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆคงที่ ส่งผลให้กราฟ S , I_{CCSU} , I_{CCSU} , I_{CCUT} , และ I_{CCUU} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ μ_{CCUT} เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ M_T , M_U , L_T , L_U , μ_{CCUU} , μ_{CCST} และ μ_{CCSU} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

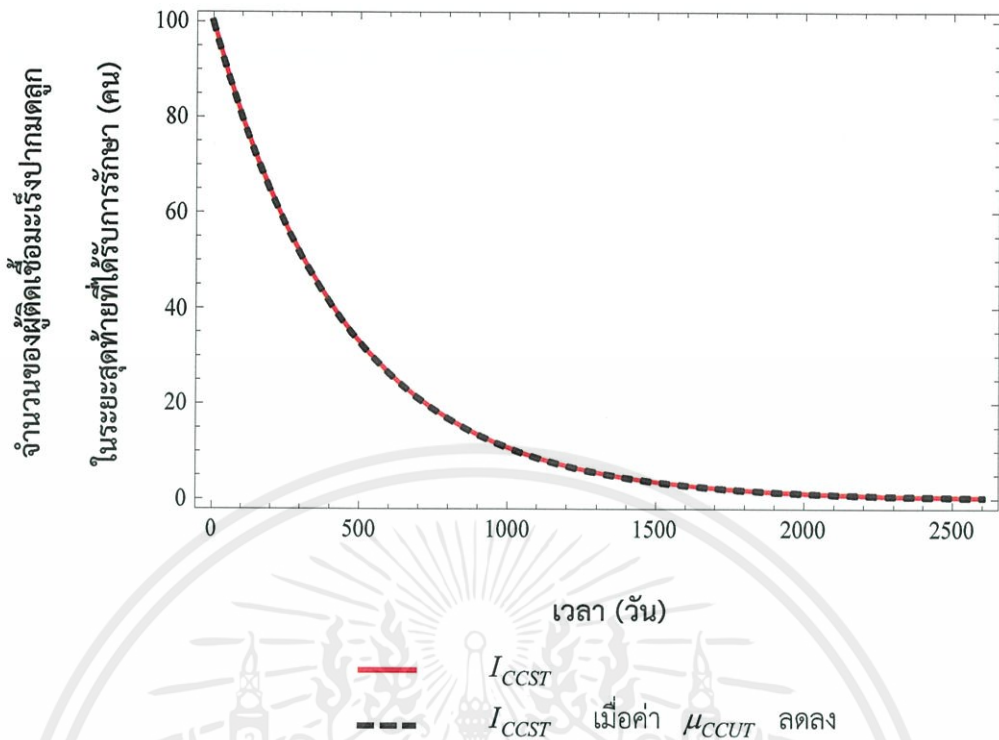
5.1 เมื่อค่า μ_{CCUT} ลดลง จากการเพิ่มจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 5 เป็น 10 ปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) ลดลง

จากรูปที่ 4.46 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่กราฟทั้งสองลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 200,000 วัน

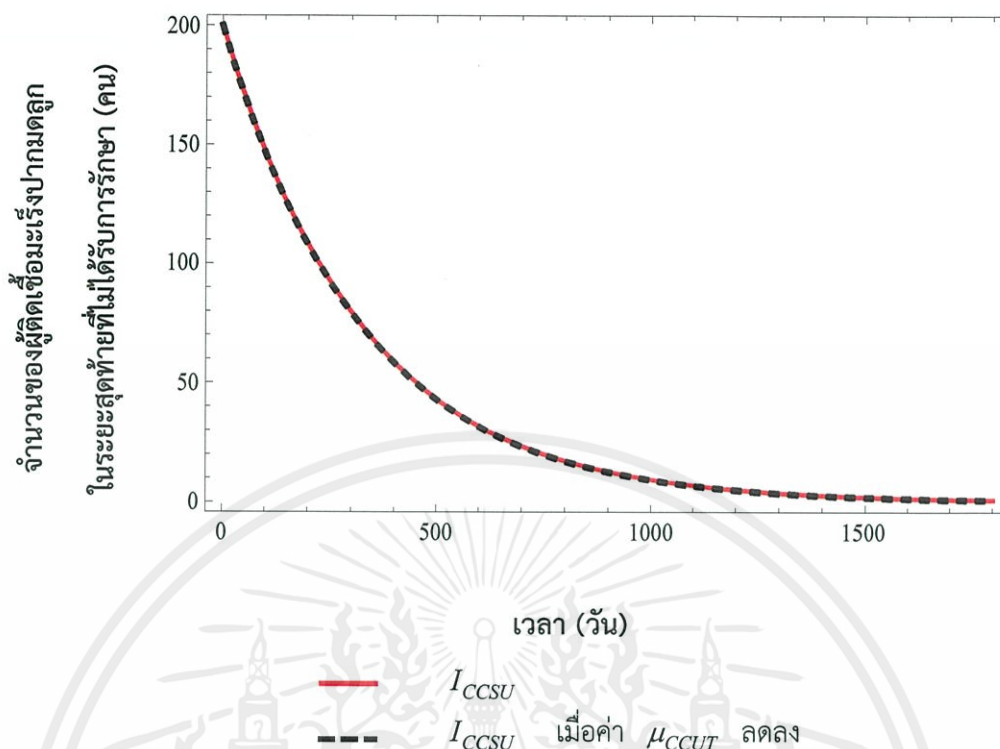
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) ลดลง

จากรูปที่ 4.47 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT})

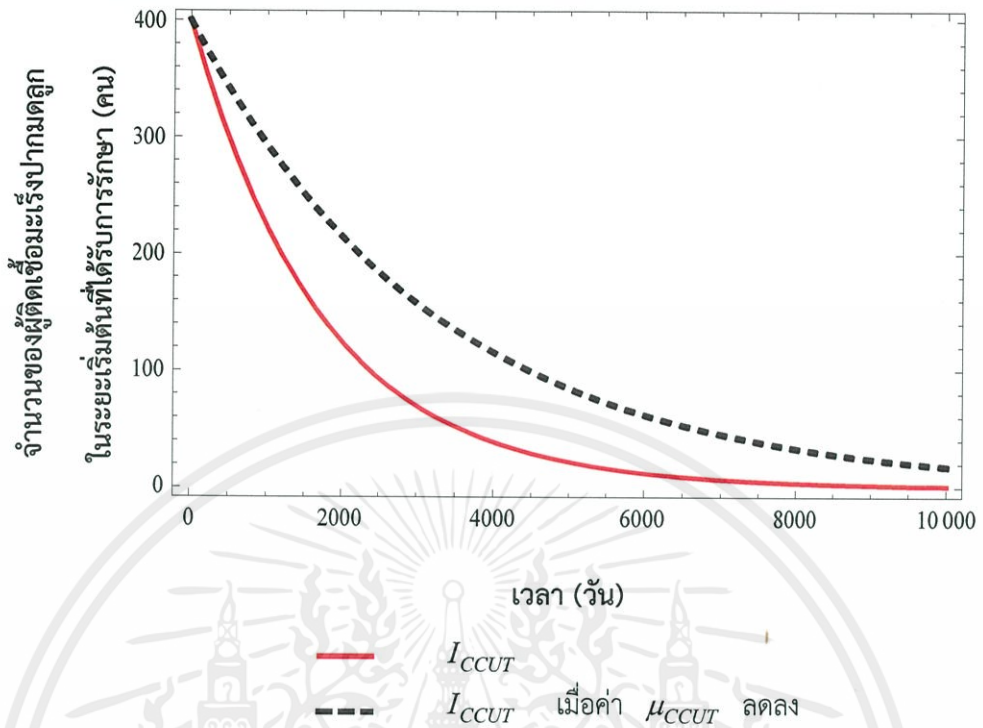
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUt}) ลดลง

จากรูปที่ 4.48 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUt}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUt})

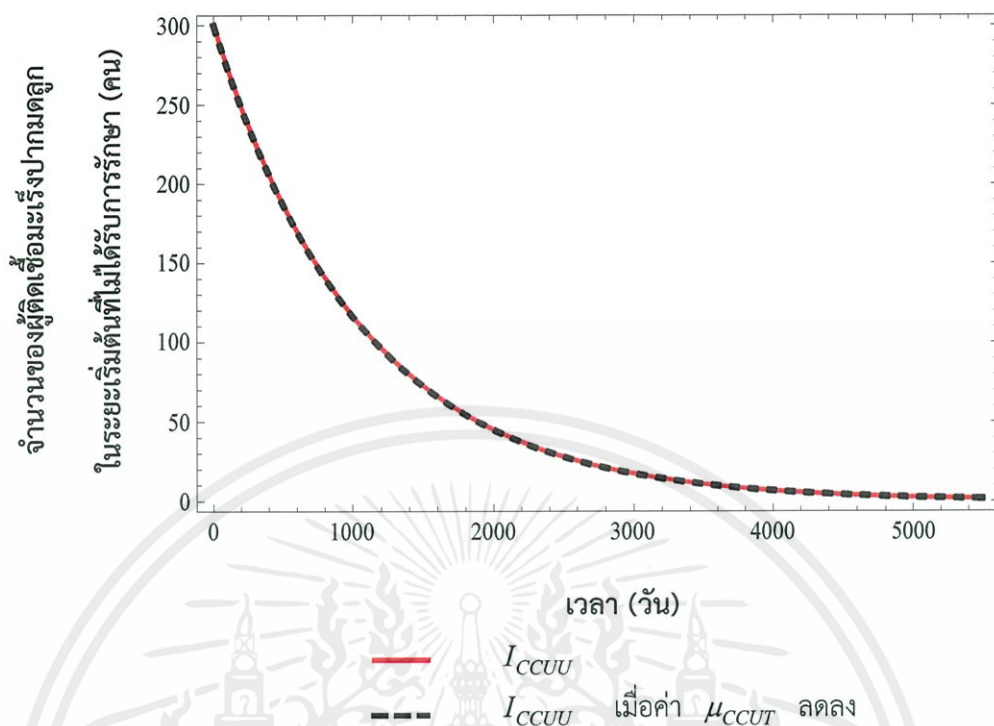
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) ลดลง

จากรูปที่ 4.49 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 10,000 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ที่ยังไม่ลู่เข้า ณ เวลาเดียวกัน จึงสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนปีเพิ่มขึ้น กราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

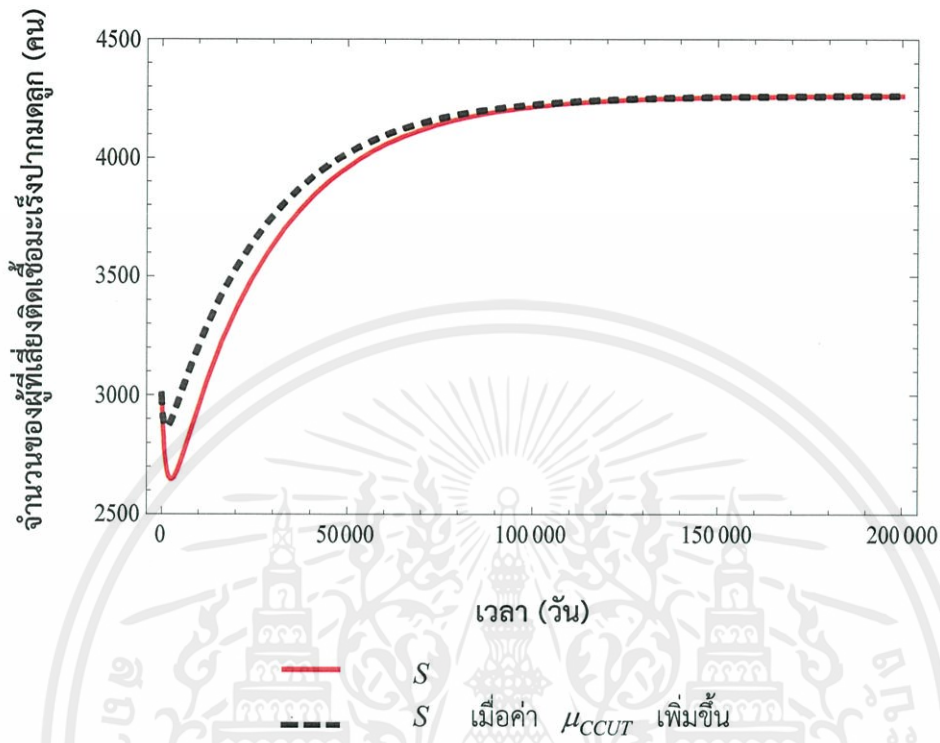


รูปที่ 4.50 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) ลดลง

จากรูปที่ 4.50 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

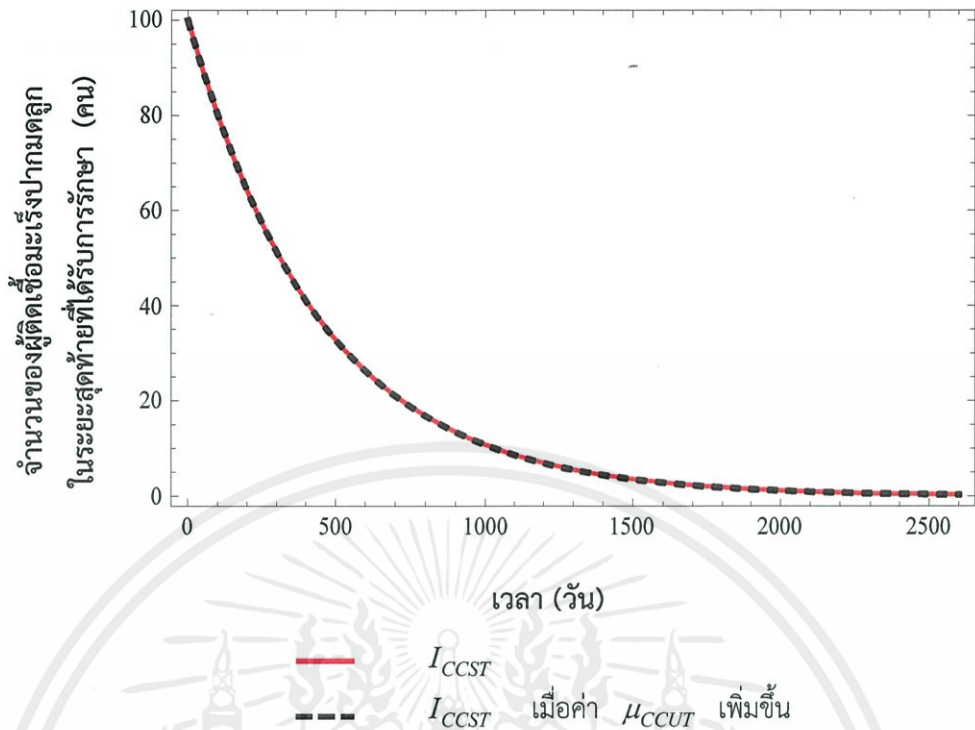
5.2 เมื่อค่า μ_{CCUT} เพิ่มขึ้น จากการลดจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 5 เป็น 0.2 ปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.51 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่กราฟทั้งสองลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 200,000 วัน

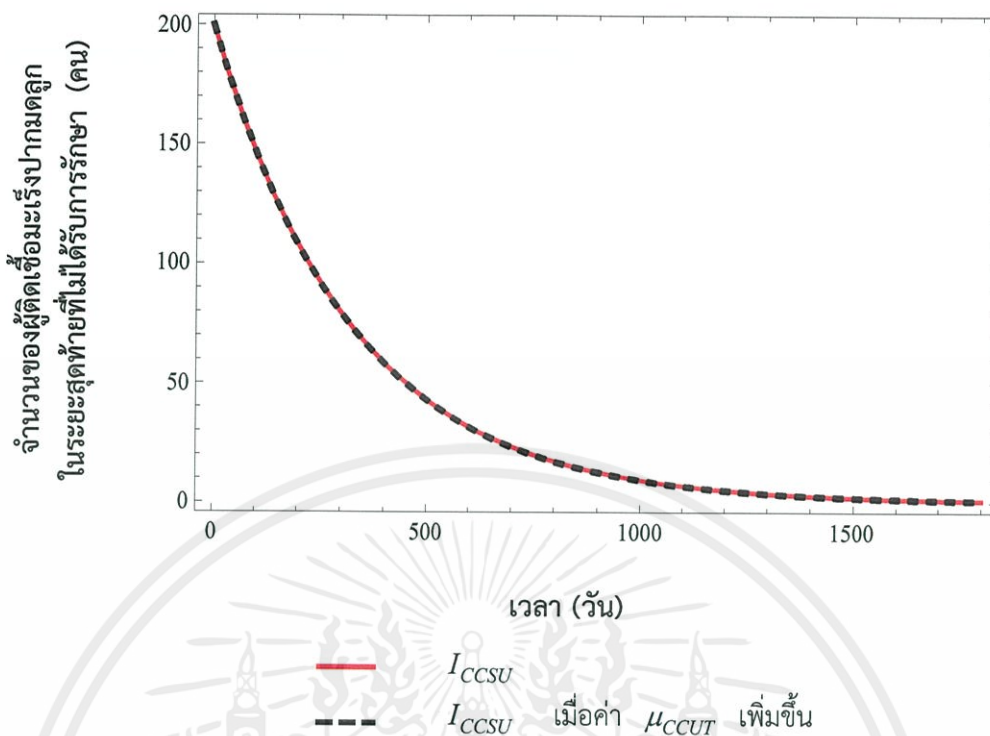
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.52 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT})

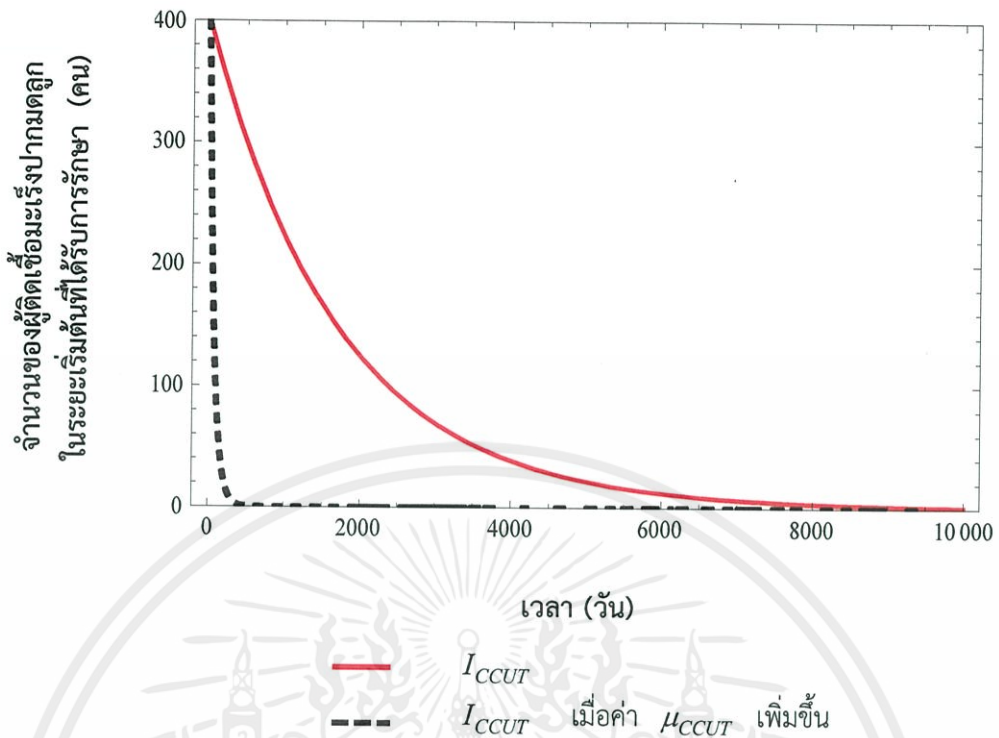
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.53 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT})

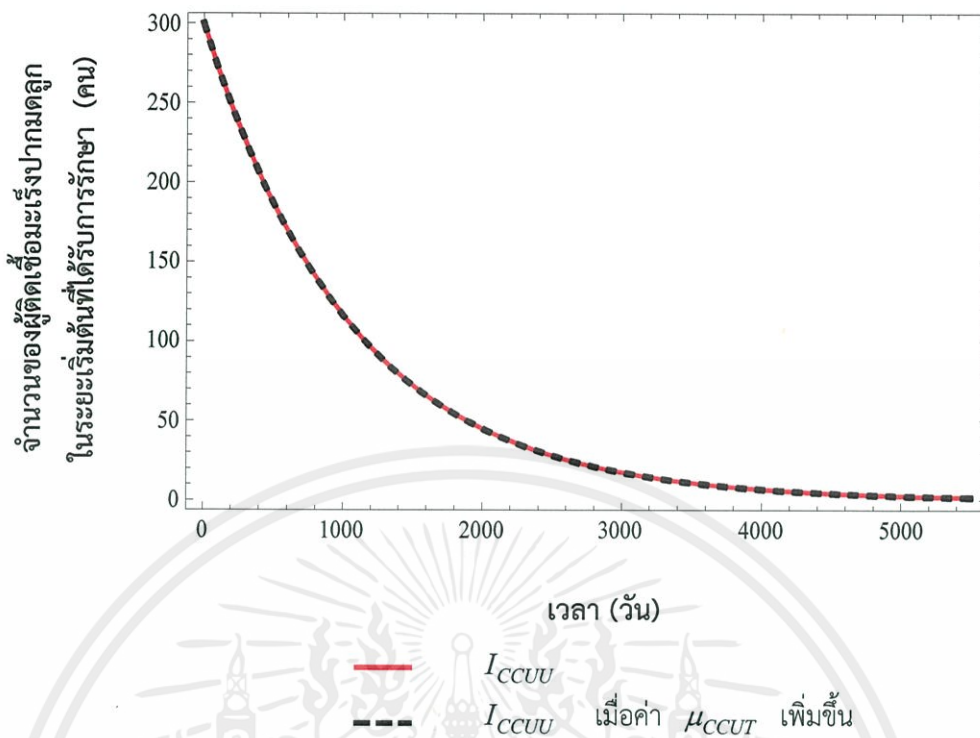
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้ออะเร้งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้ออะเร้งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.54 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะเร้งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 10,000 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้ออะเร้งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้ออะเร้งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 500 วัน จึงสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนปัดลง กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



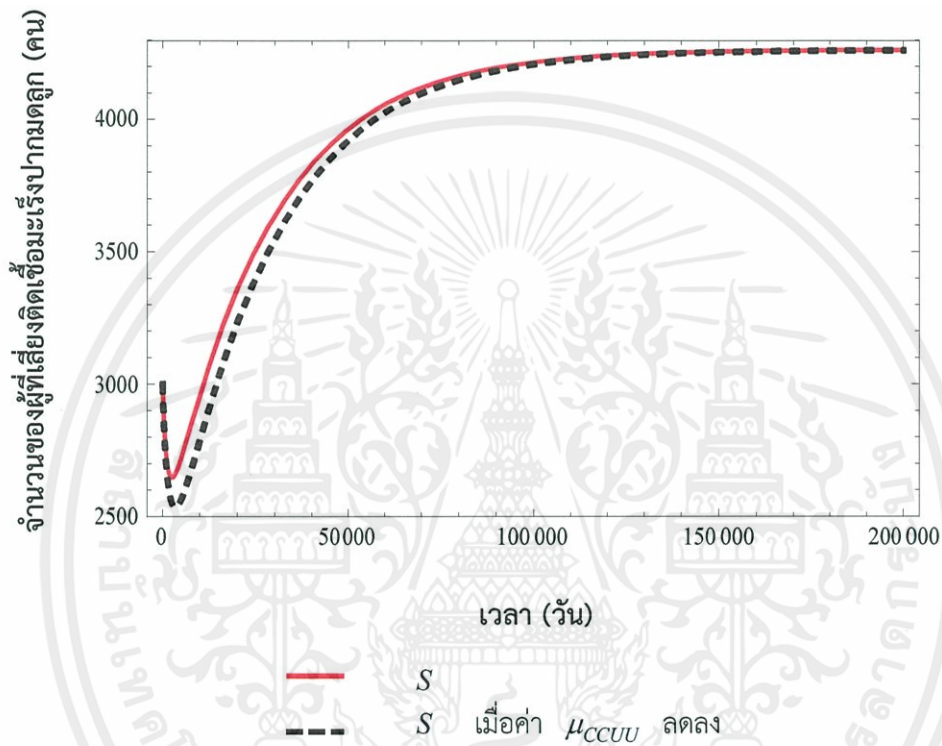
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUV}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.55 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUV}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUV}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUV}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (μ_{CCUT})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ μ_{CCUU} เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ M_T , M_U , L_T , L_U , μ_{CCUT} , μ_{CCST} และ μ_{CCSU} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

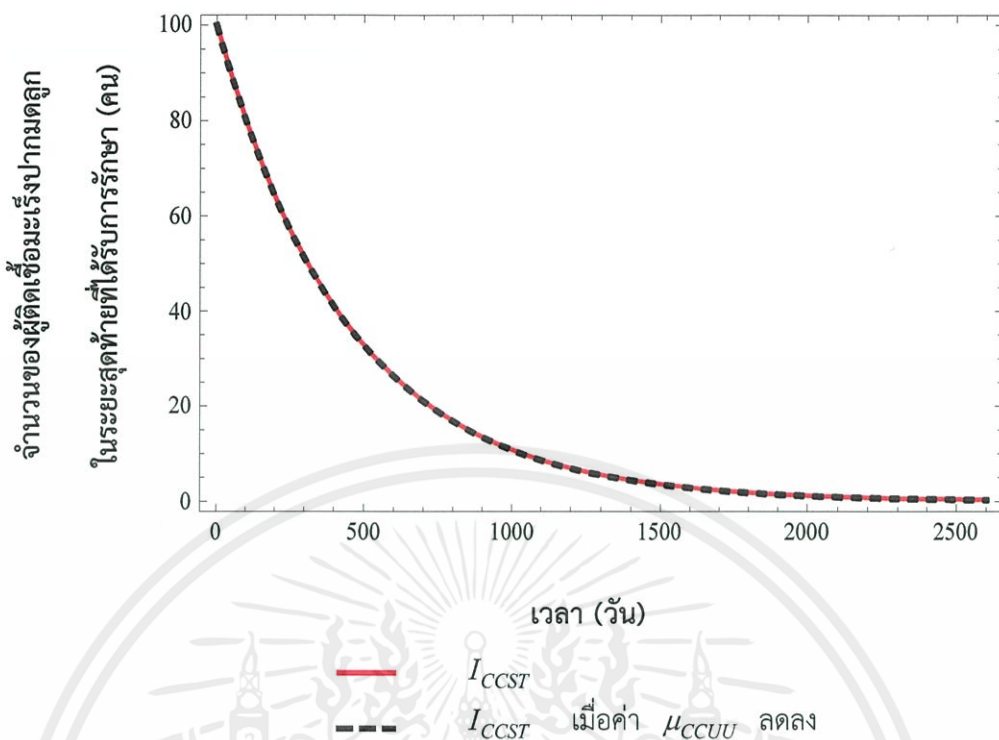
6.1 เมื่อค่า μ_{CCUU} ลดลง จากการเพิ่มจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 3 เป็น 8 ปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.56 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่กราฟทั้งสองลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 200,000 วัน

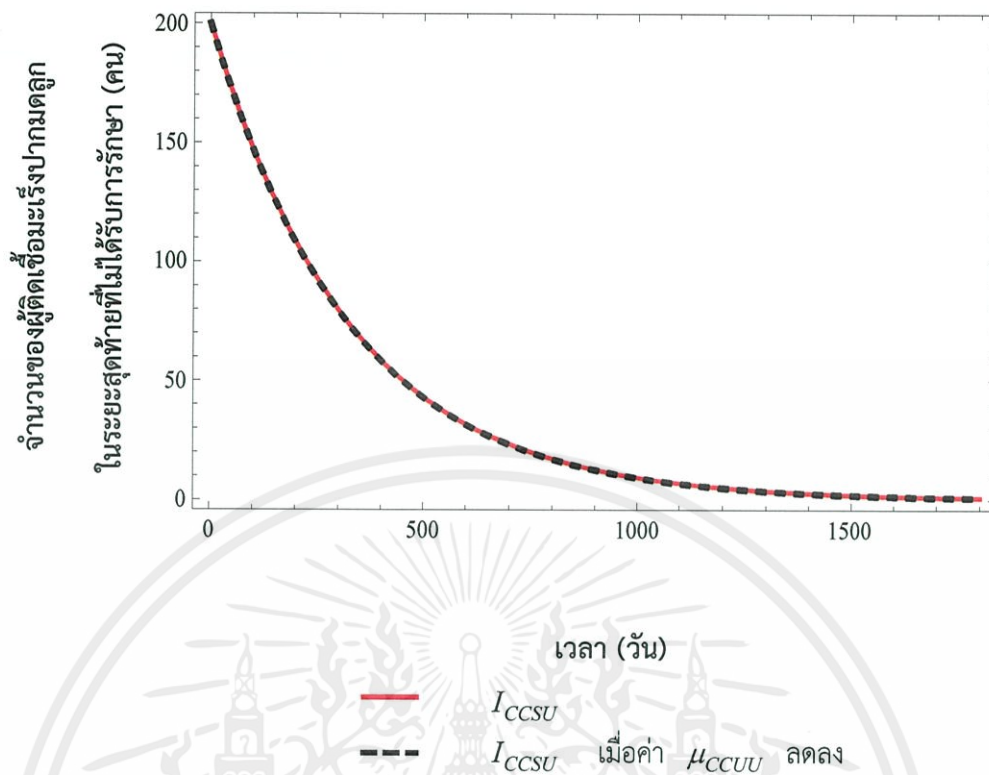
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.57 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในระยะเวลาเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU})

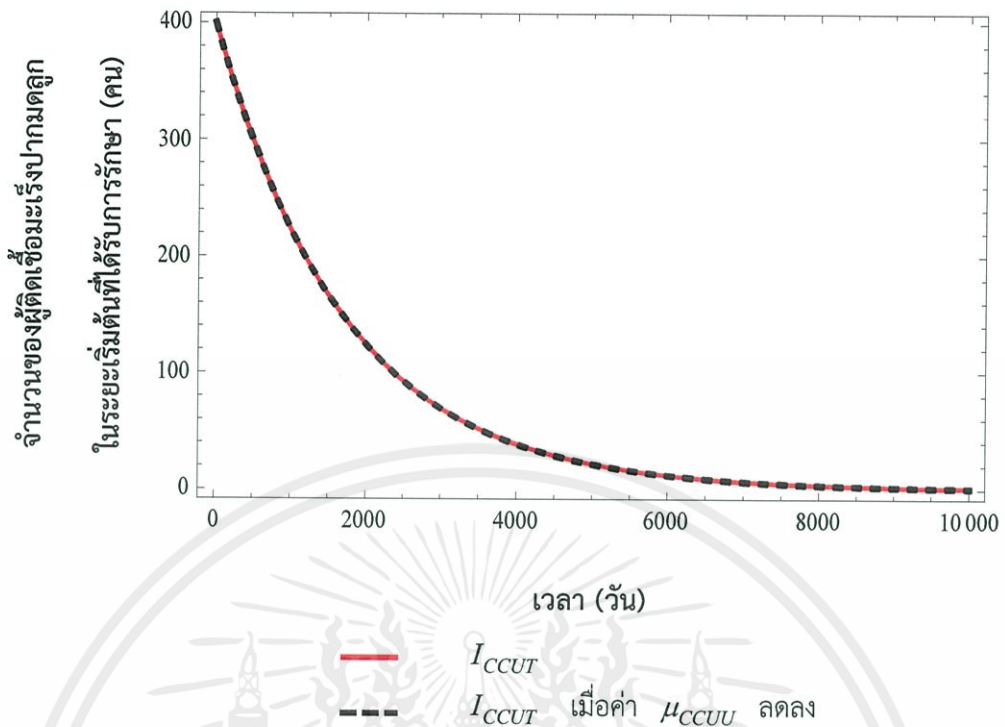
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.58 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU})

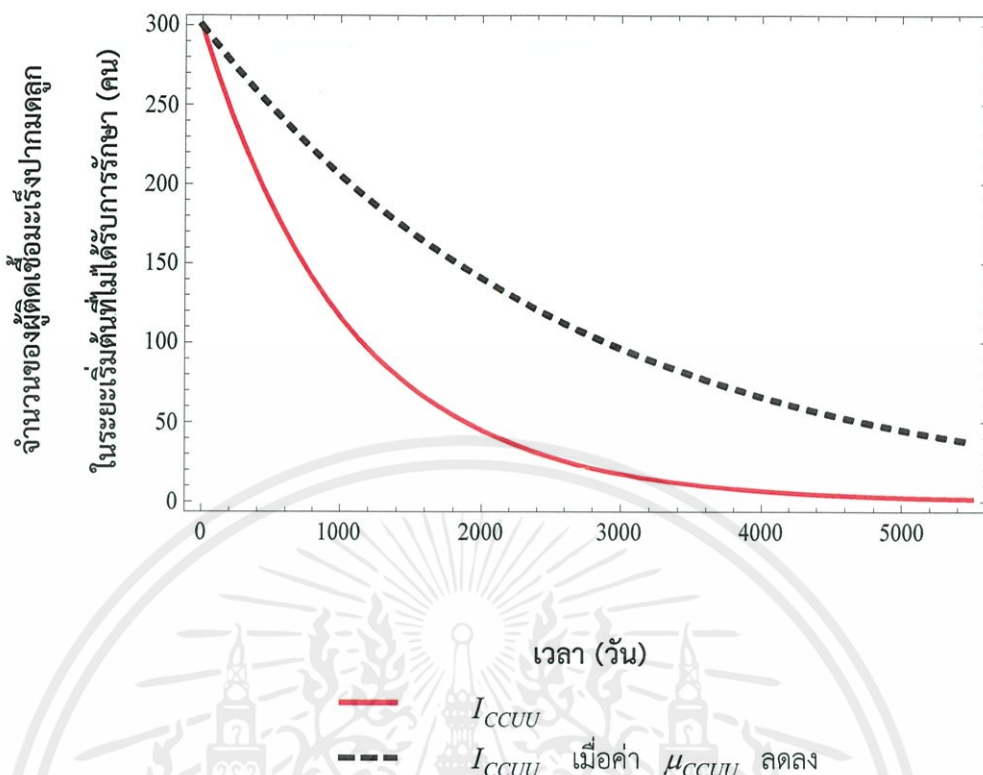
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.59 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

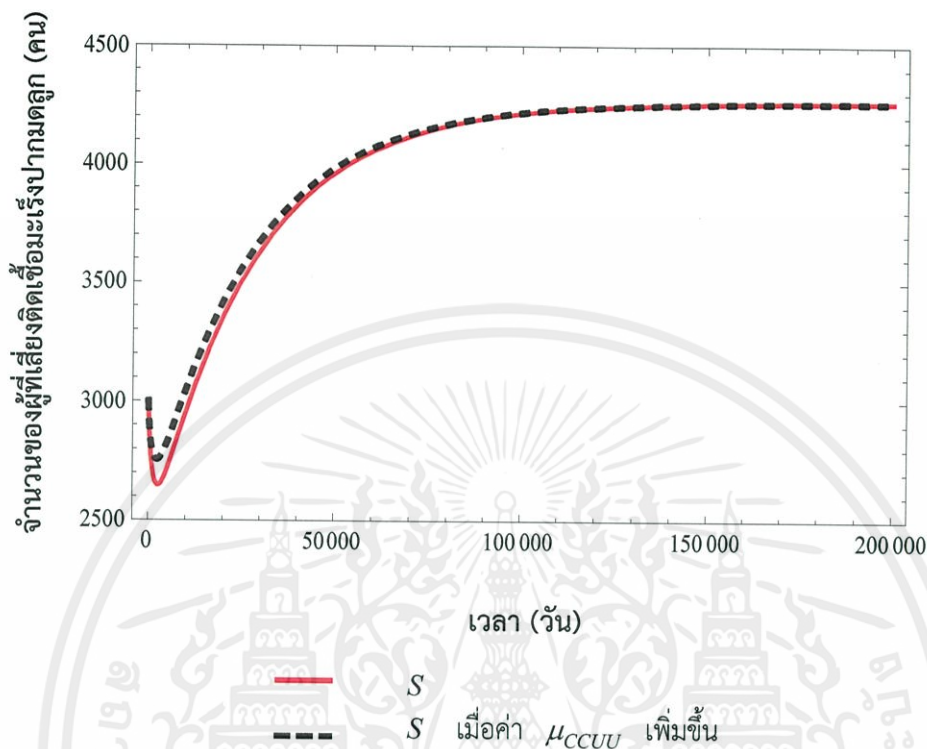


รูปที่ 4.60 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.60 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 5,500 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ที่ยังไม่เข้าสู่ ณ เวลาเดียวกัน จึงสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนปีเพิ่มขึ้นกราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

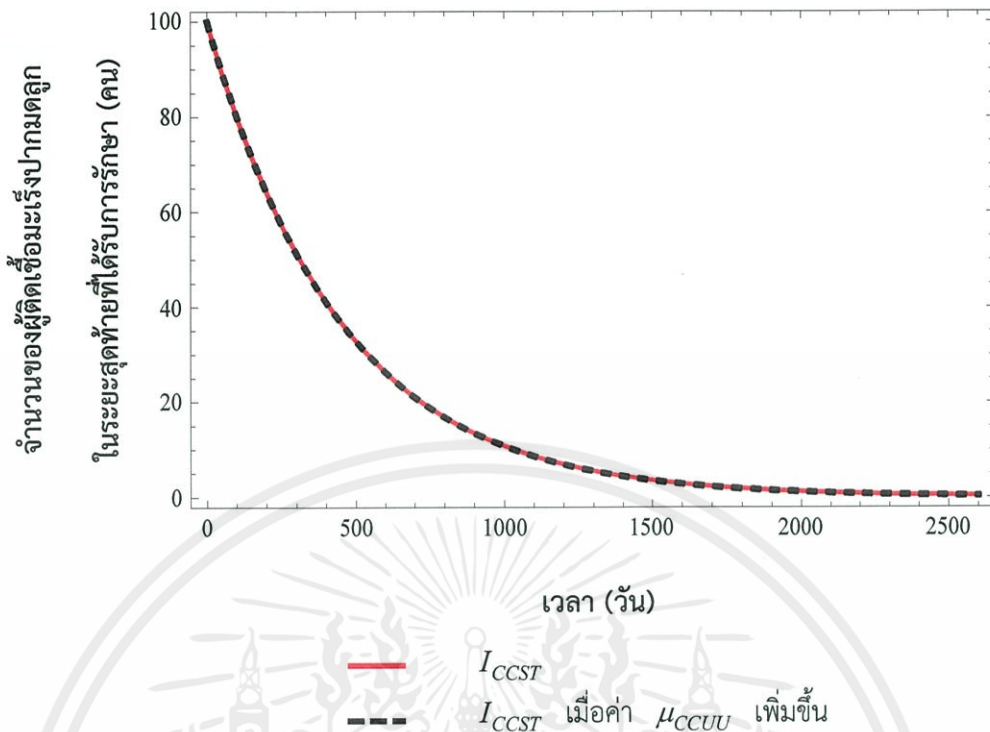
6.2 เมื่อค่า μ_{CCUV} เพิ่มขึ้น จากการลดจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 3 เป็น 0.5 ปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUV}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.61 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUV}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่กราฟทั้งสองลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 200,000 วัน

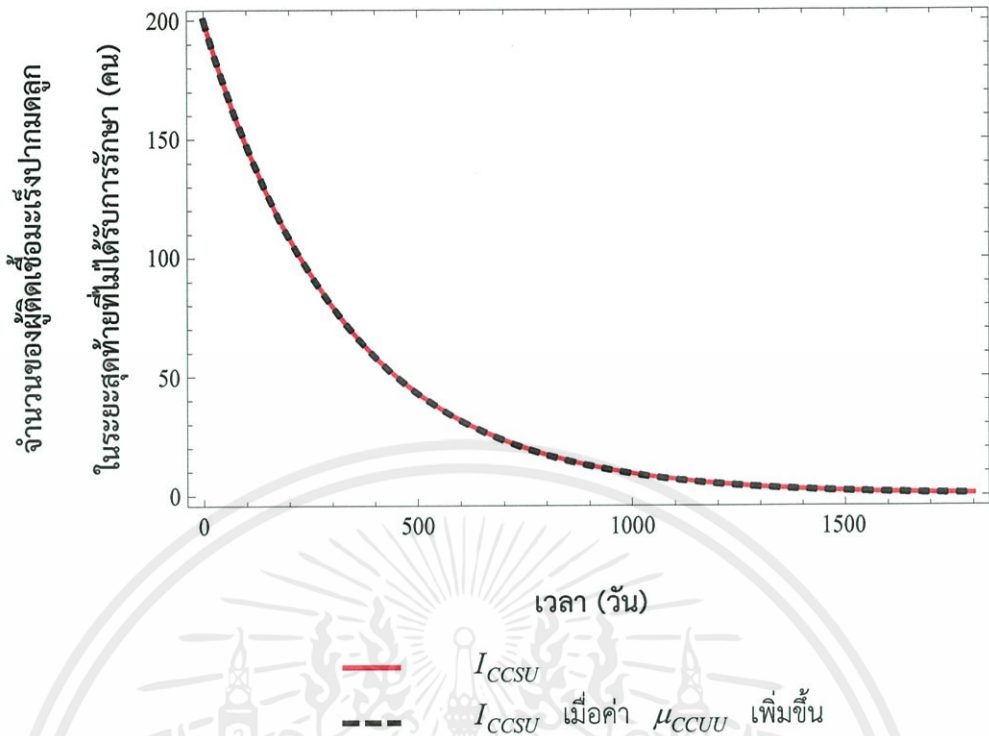
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUV}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.62 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUV}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้มาลาเลียในระยะเวลาเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUV})

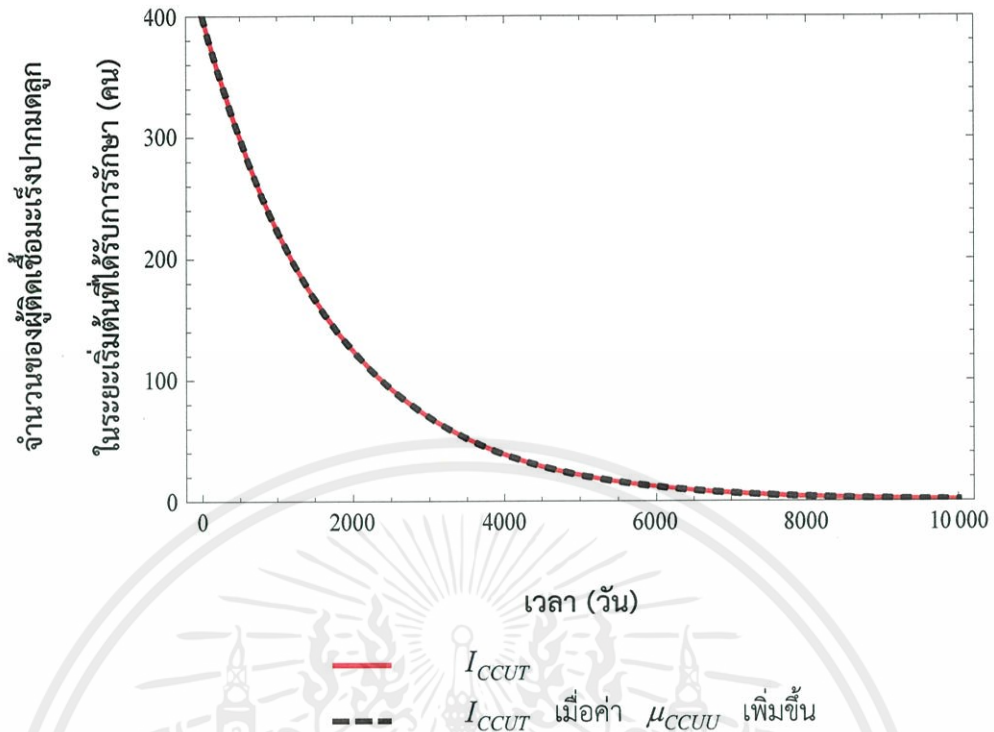
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.63 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU})

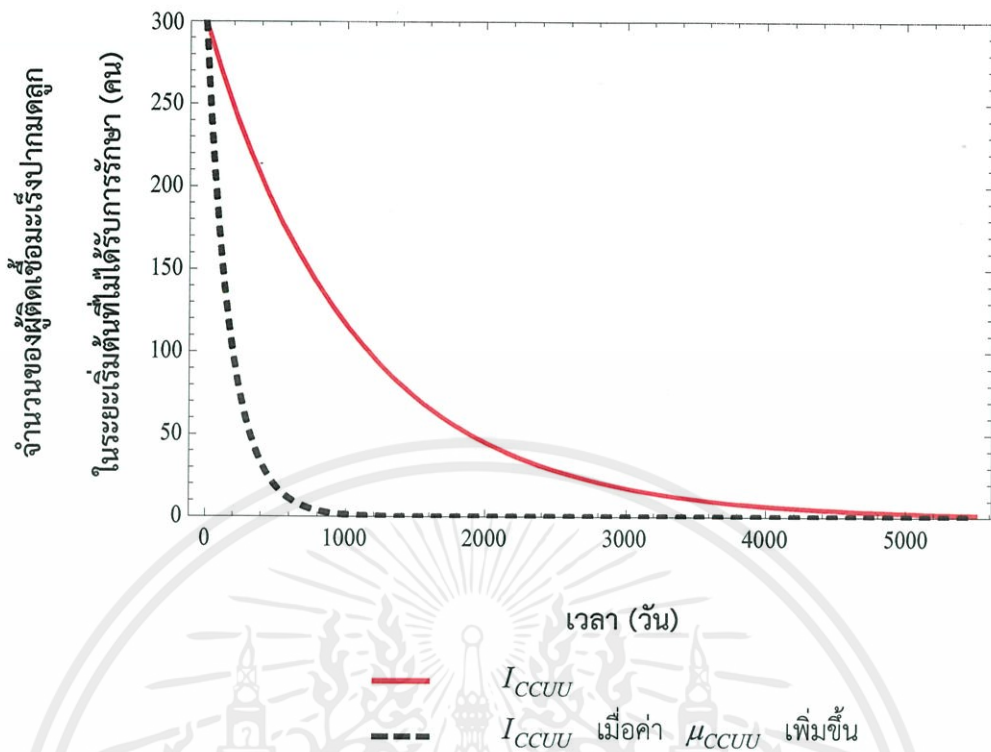
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.64 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปวมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



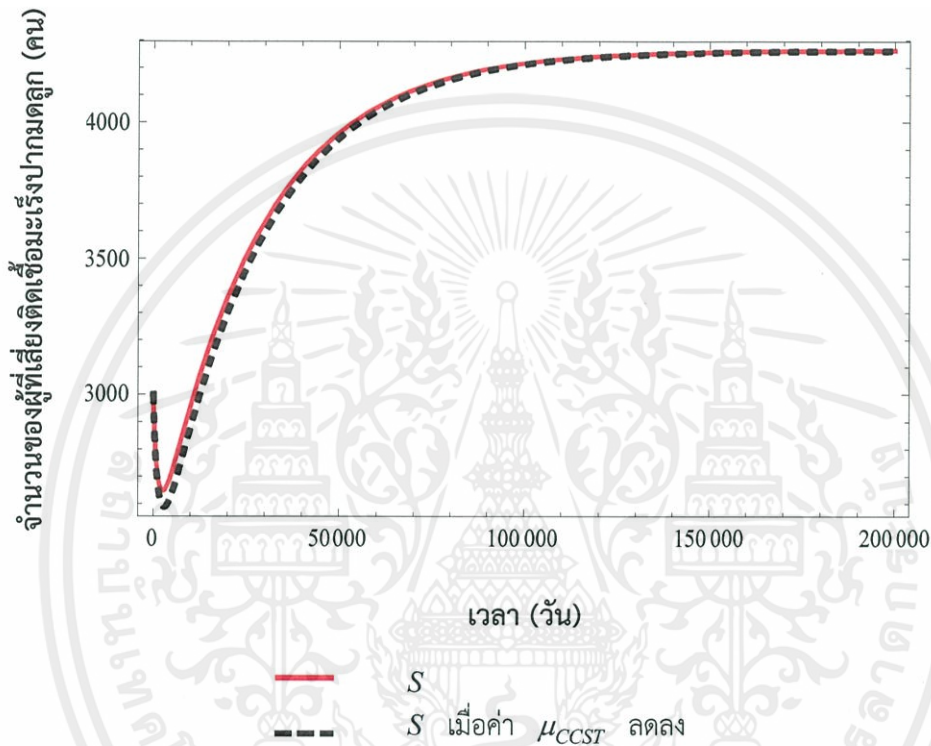
รูปที่ 4.65 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.65 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 5,500 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1,000 วัน จึงสรุปได้ว่า เมื่อจำนวนปีมีค่าน้อยลง กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ μ_{CCST} เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ $M_T, M_U, L_T, L_U, \mu_{CCUT}, \mu_{CCUU}$ และ μ_{CCSU} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

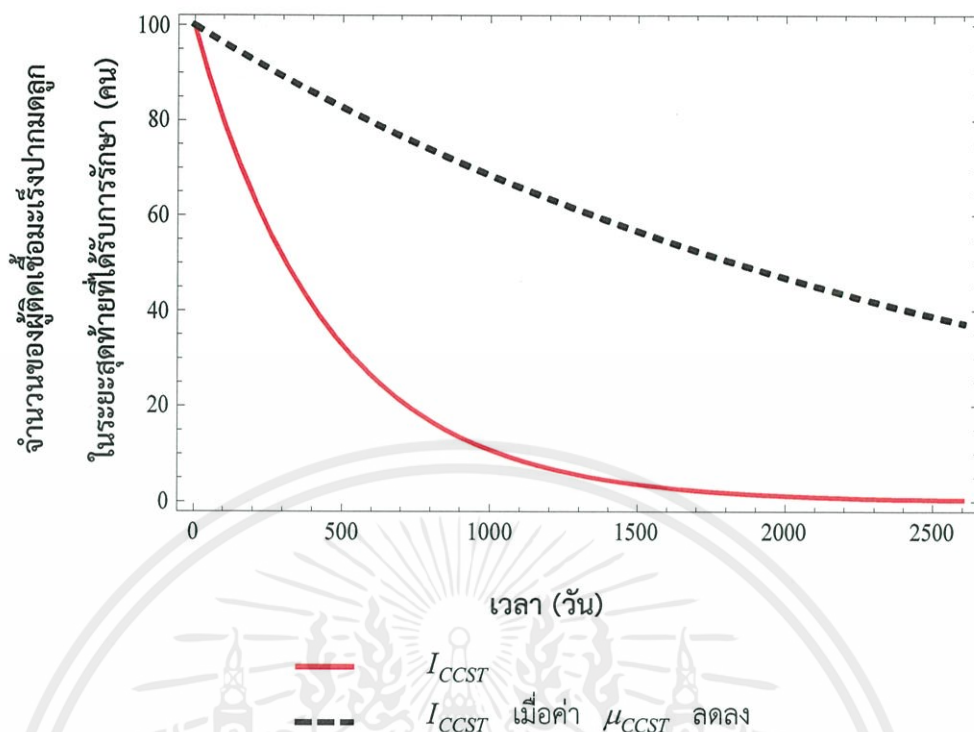
7.1 เมื่อค่า μ_{CCST} ลดลง จากการเพิ่มจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 2.25 เป็น 8 ปี จะได้กราฟการเข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.66 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับ การรักษา (μ_{CCST}) ลดลง

จากรูปที่ 4.66 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสียชีวิตเชื่อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับ การรักษา (μ_{CCST}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่กราฟทั้งสองเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 200,000 วัน

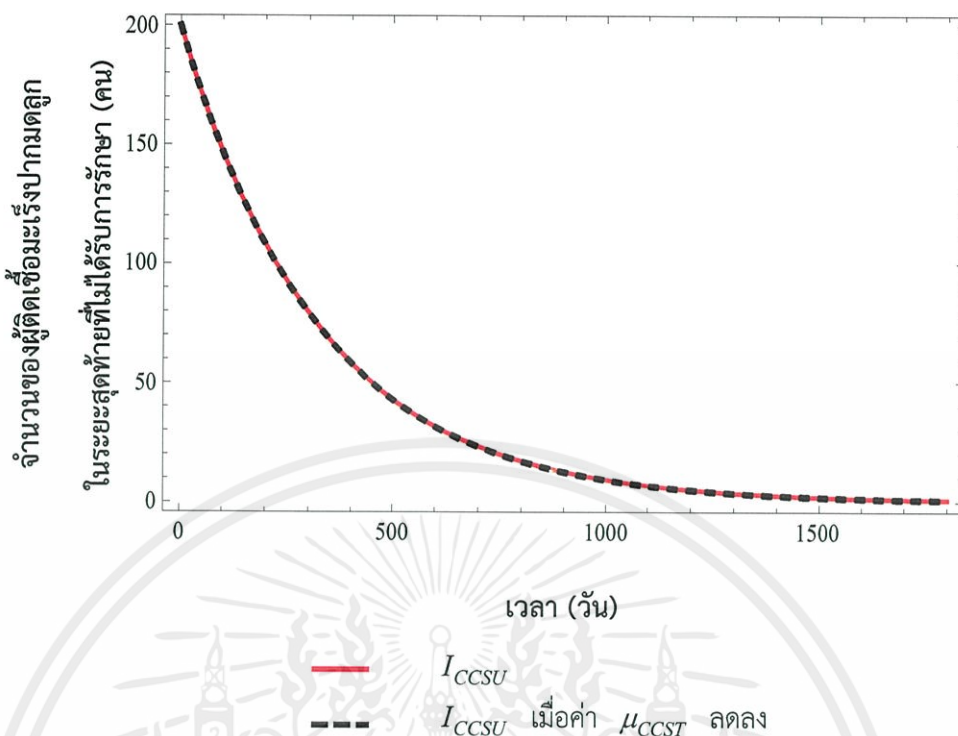
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.67 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง

จากรูปที่ 4.67 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 2,600 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ที่ยังไม่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนปมมีค่าเพิ่มขึ้น กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลช้าลง

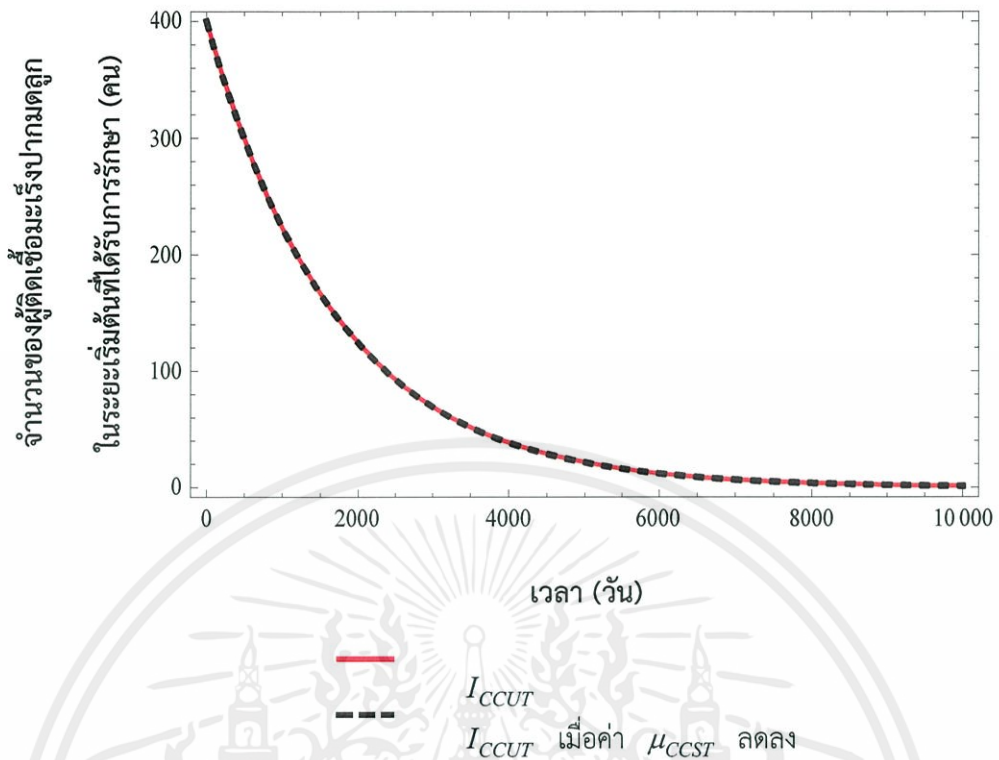
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.68 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง

จากรูปที่ 4.68 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

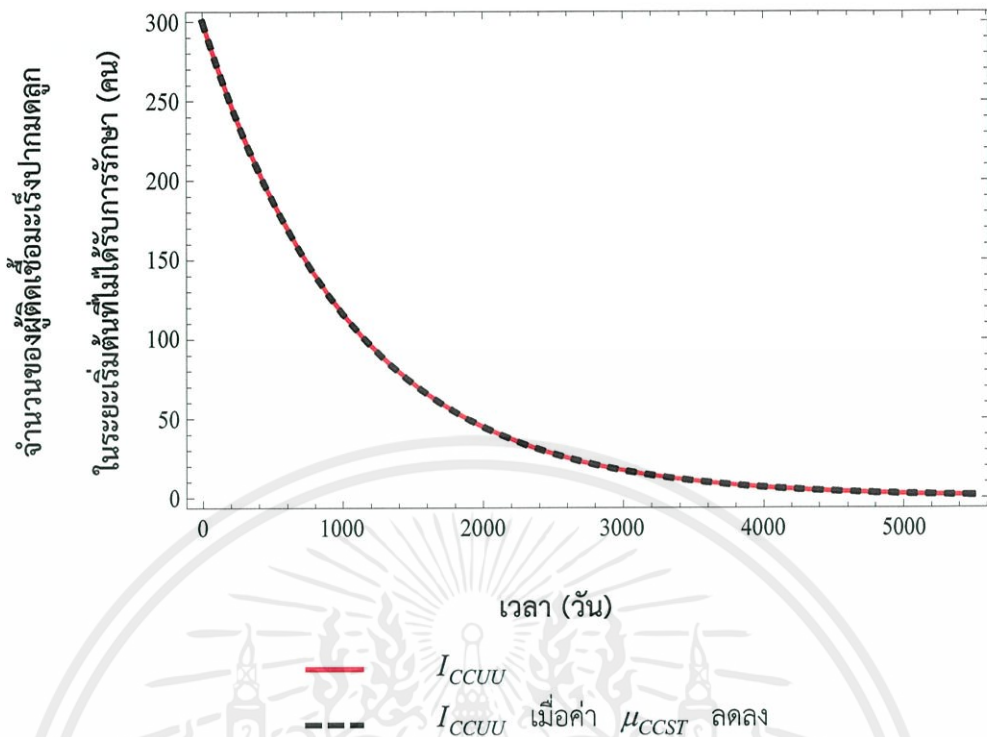
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.69 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง

จากรูปที่ 4.69 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

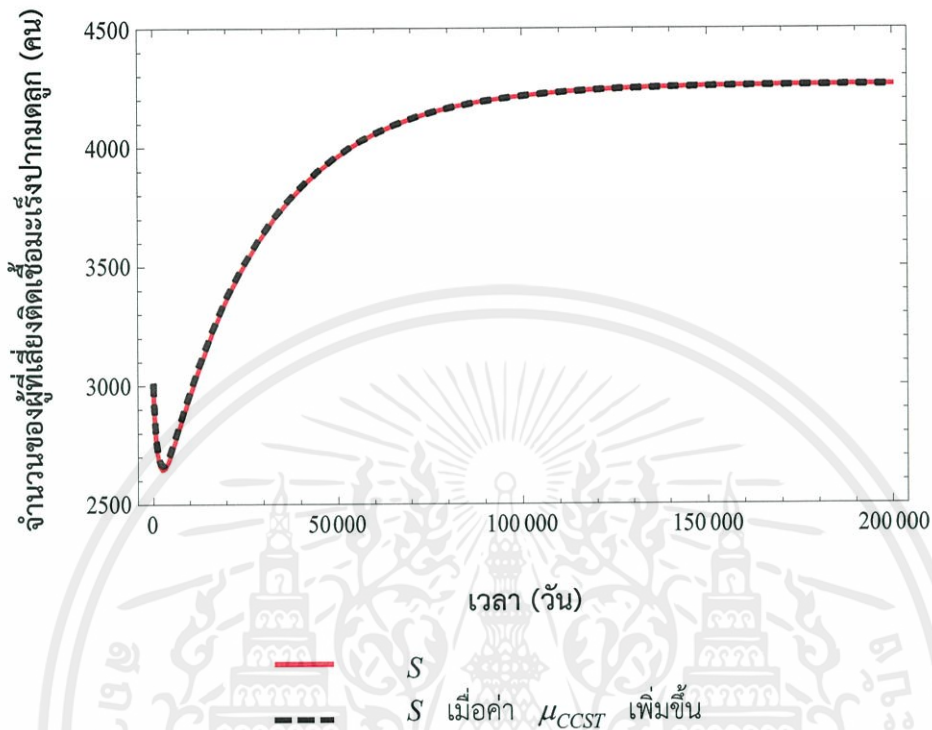


รูปที่ 4.70 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง

จากรูปที่ 4.70 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมต่อเครื่องปาลมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

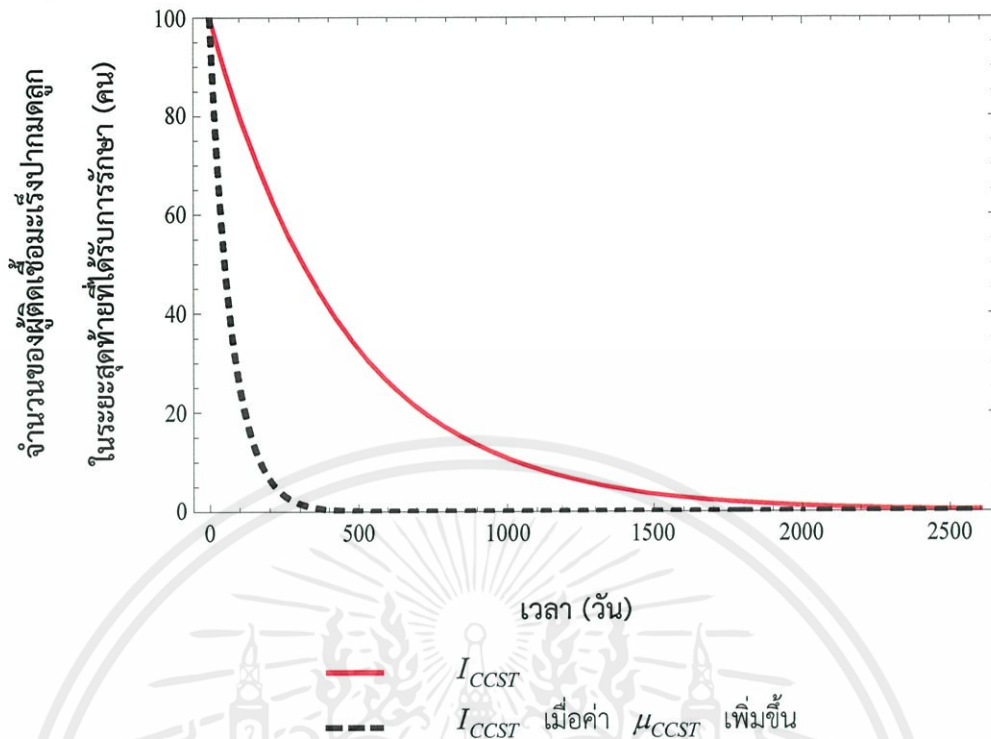
7.2 เมื่อค่า μ_{CCST} เพิ่มขึ้น จากการลดจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 2.25 เป็น 0.2 ปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.71 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.71 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

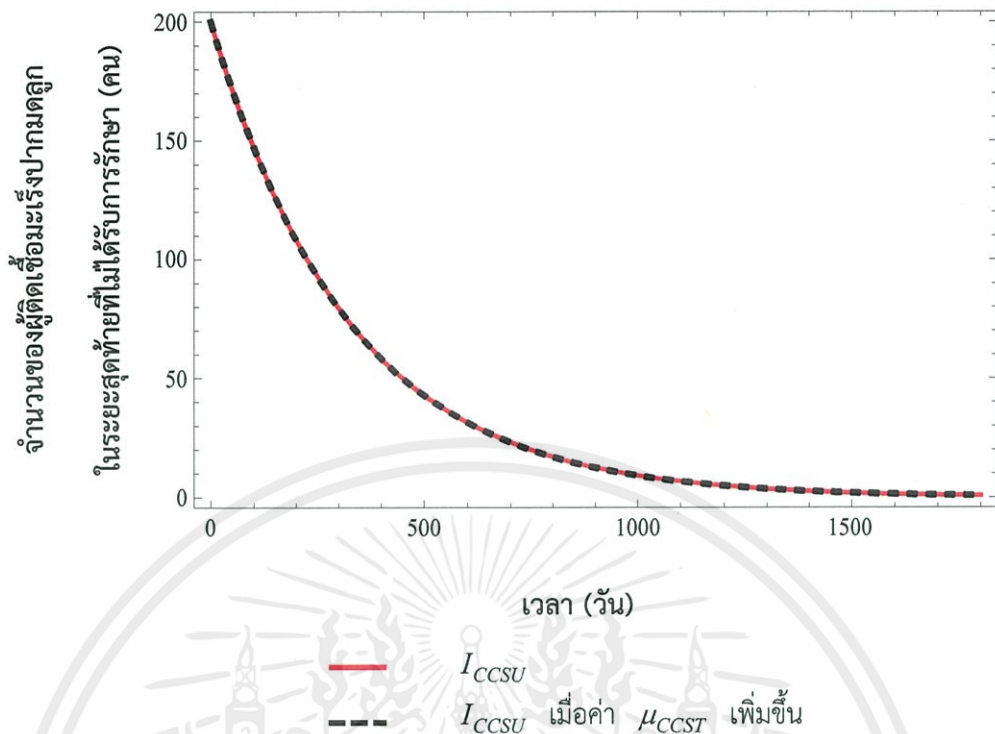
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.72 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.72 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 2,600 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 500 วัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนปีมีค่าน้อยลง กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น

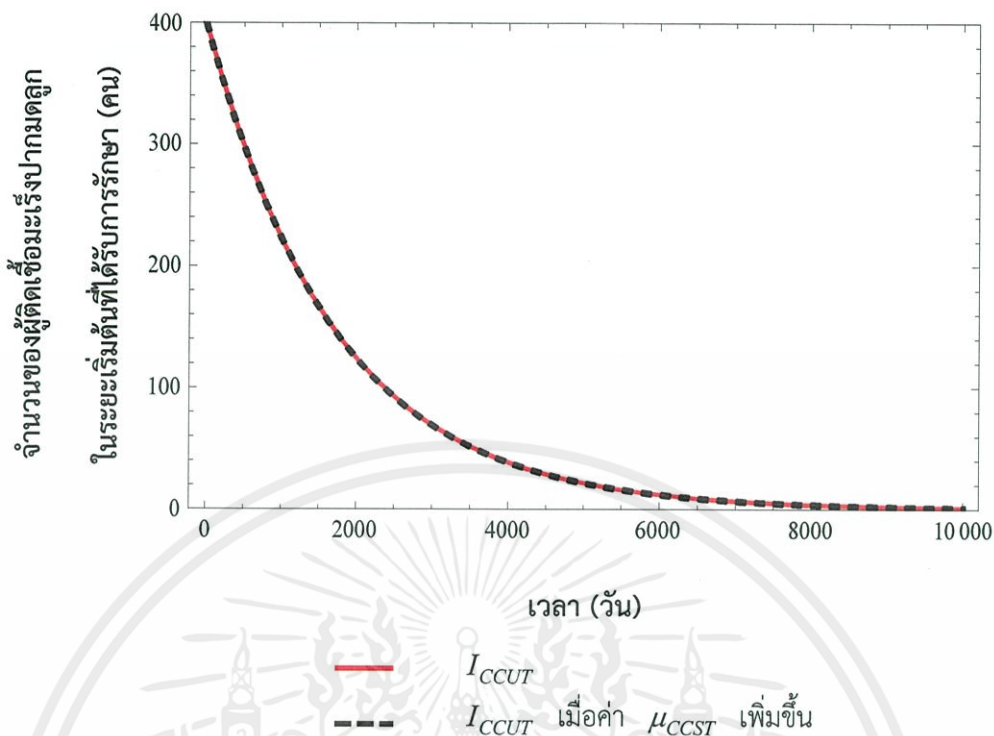
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.73 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.73 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริมปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

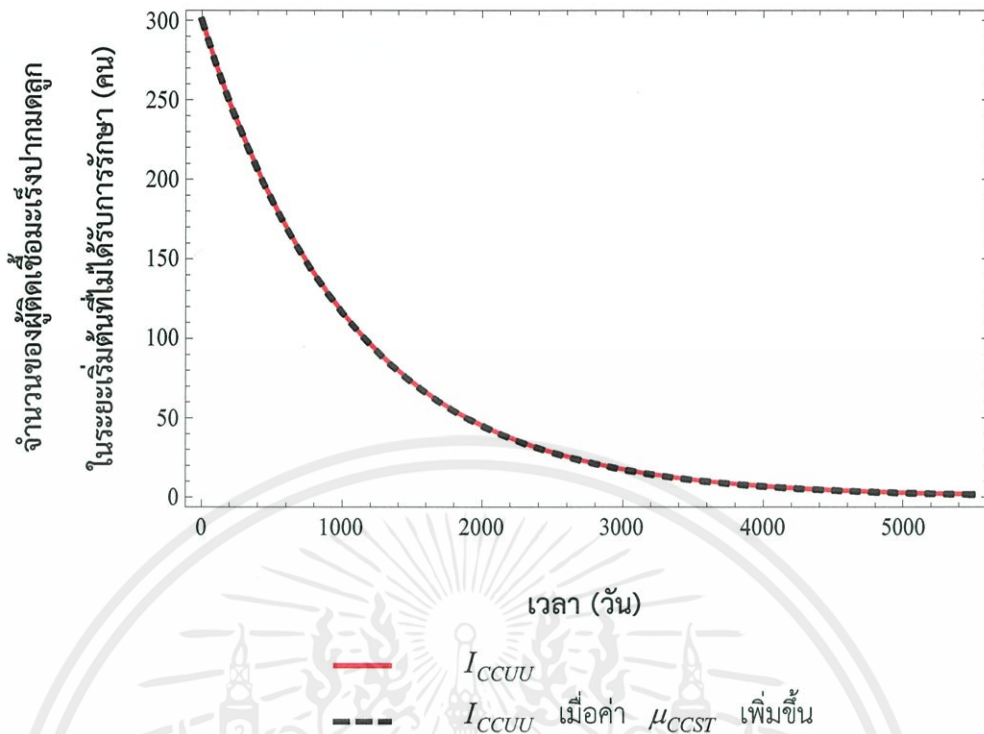
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.74 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.74 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มรับประทานมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



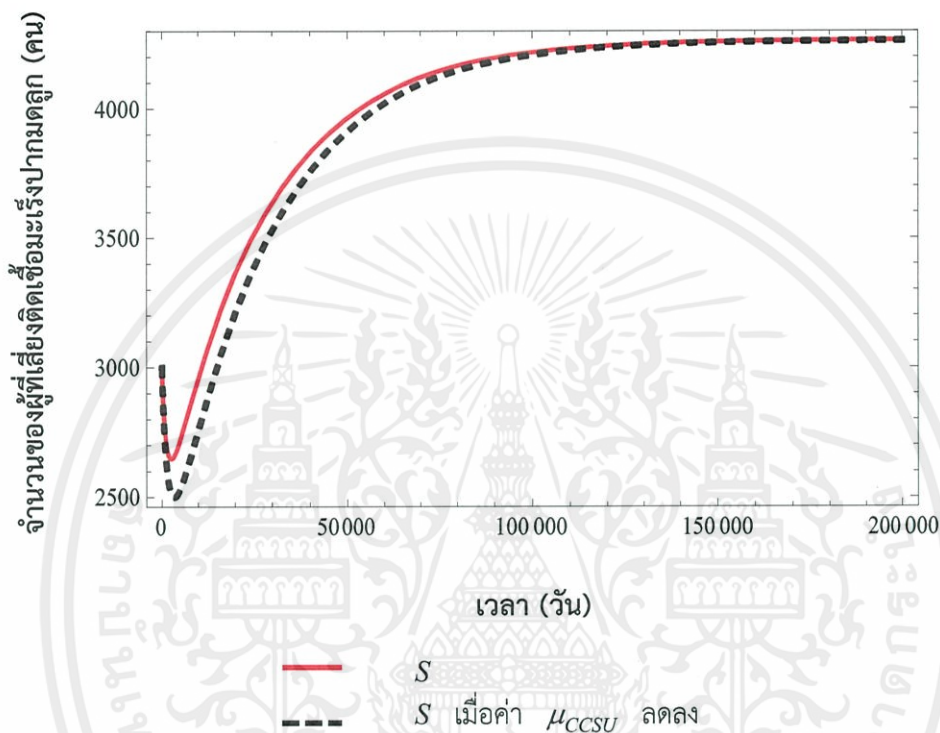
รูปที่ 4.75 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.75 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้ปวดมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (μ_{CCST})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ μ_{CCSU} เปลี่ยน โดยที่ค่าพารามิเตอร์ $M_T, M_U, L_T, L_U, \mu_{CCUT}, \mu_{CCUU}$ และ μ_{CCST} คงที่ แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

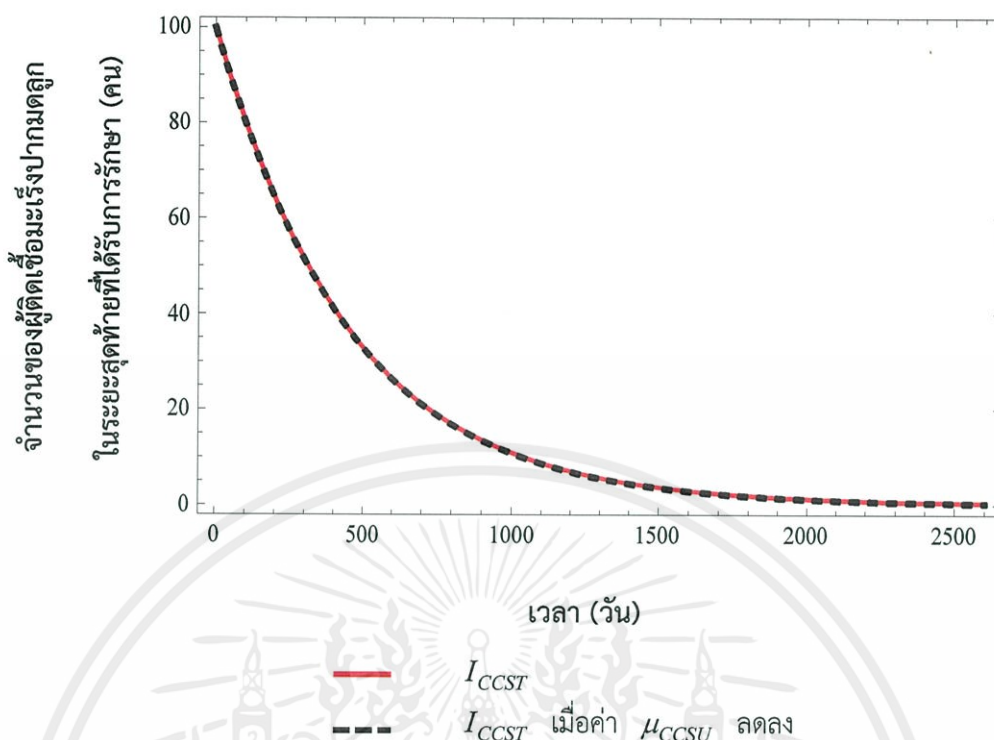
8.1 เมื่อค่า μ_{CCSU} จากการเพิ่มจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 0.9 เป็น 10 ปี จะได้กราฟการเข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.76 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.76 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) น้อยลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่กราฟทั้งสองเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกันที่ 200,000 วัน

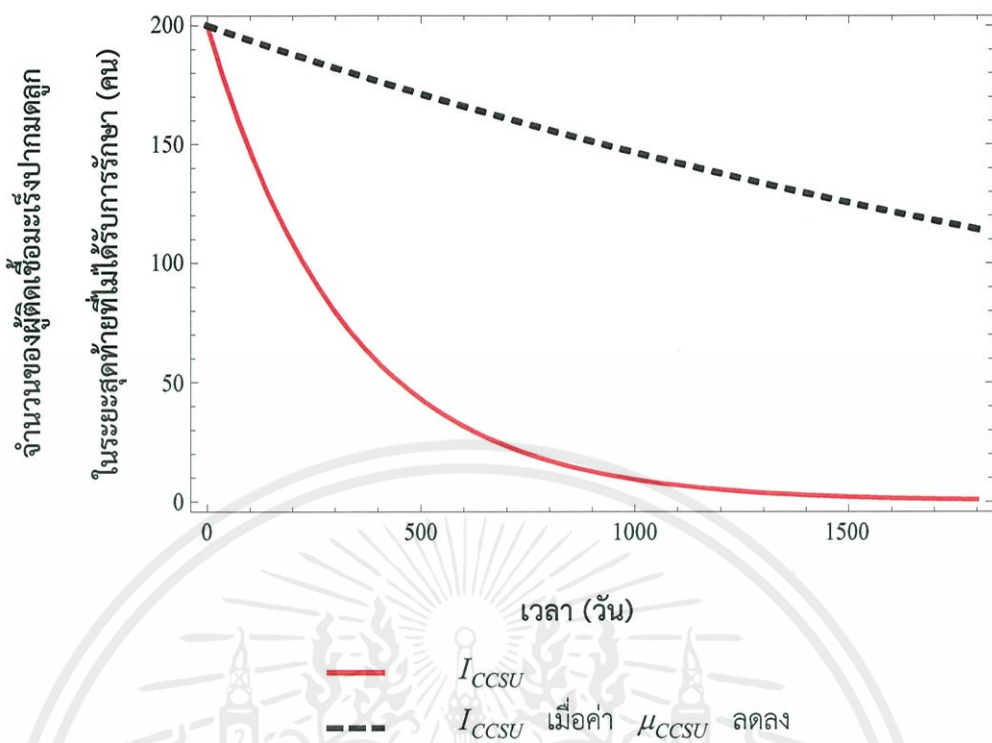
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.77 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.77 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อมะเร็งปวมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

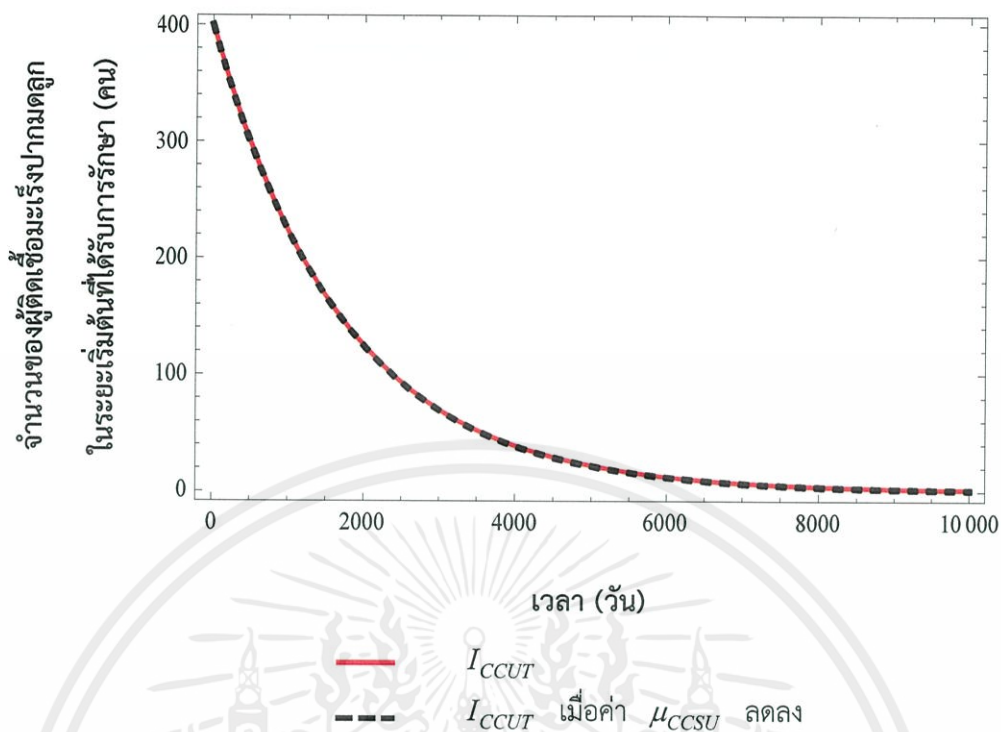
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.78 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.78 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) ลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1,800 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) ที่ยังไม่ลู่เข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลาเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนปมมีค่าเพิ่มขึ้นกราฟจะลู่เข้าสู่จุดสมดุลช้าลง

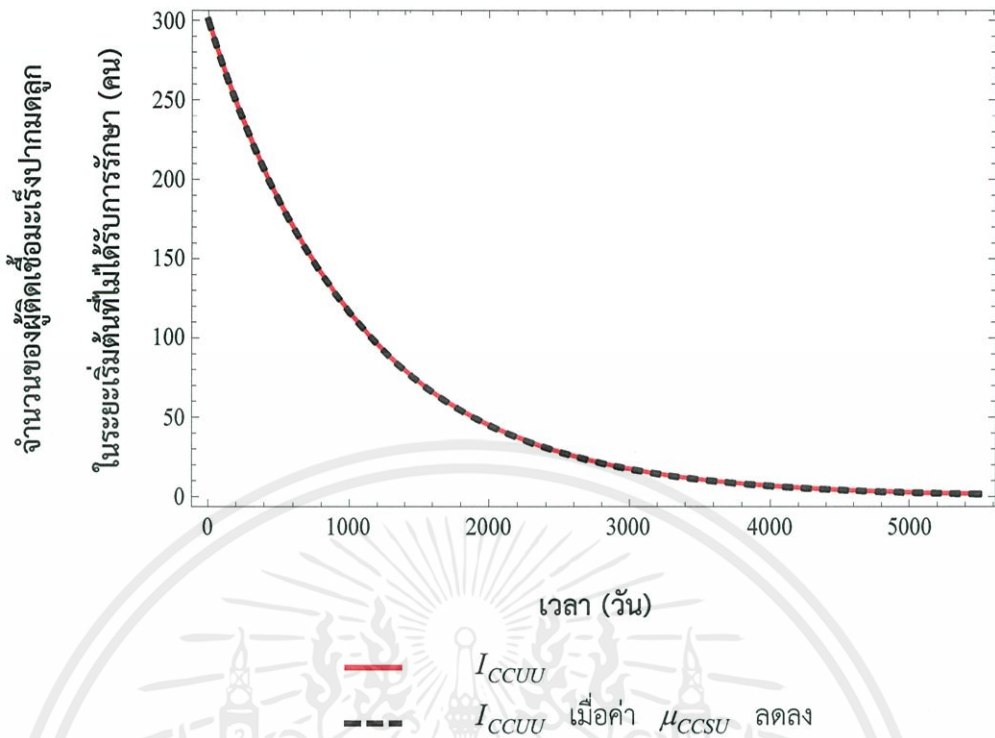
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.79 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.79 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่า กราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื่อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื่อ มะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

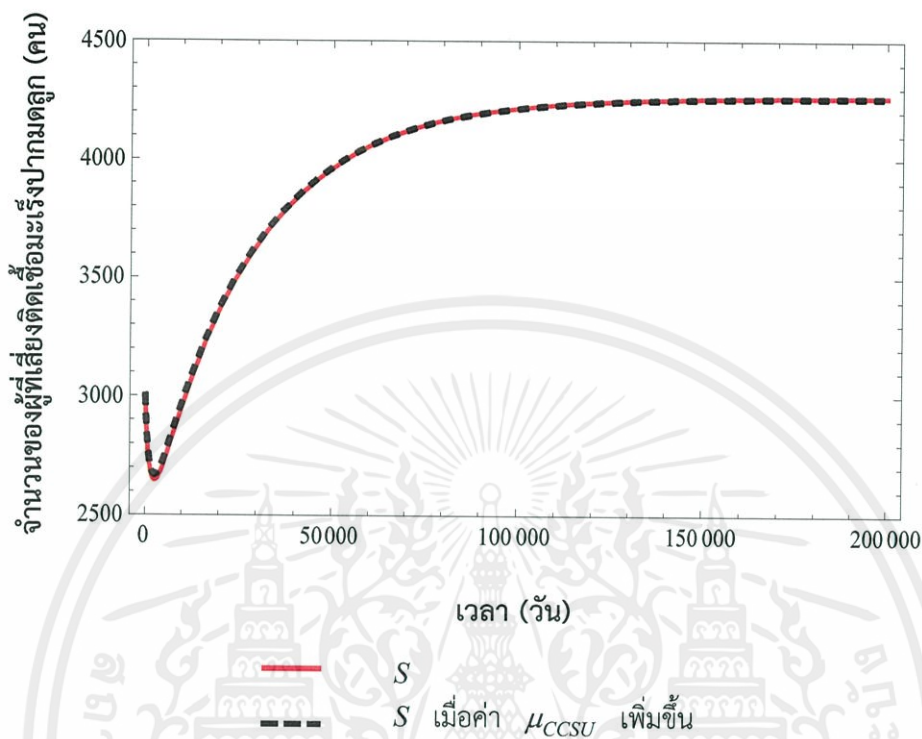


รูปที่ 4.80 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง

จากรูปที่ 4.80 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) ลดลง (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อลดอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

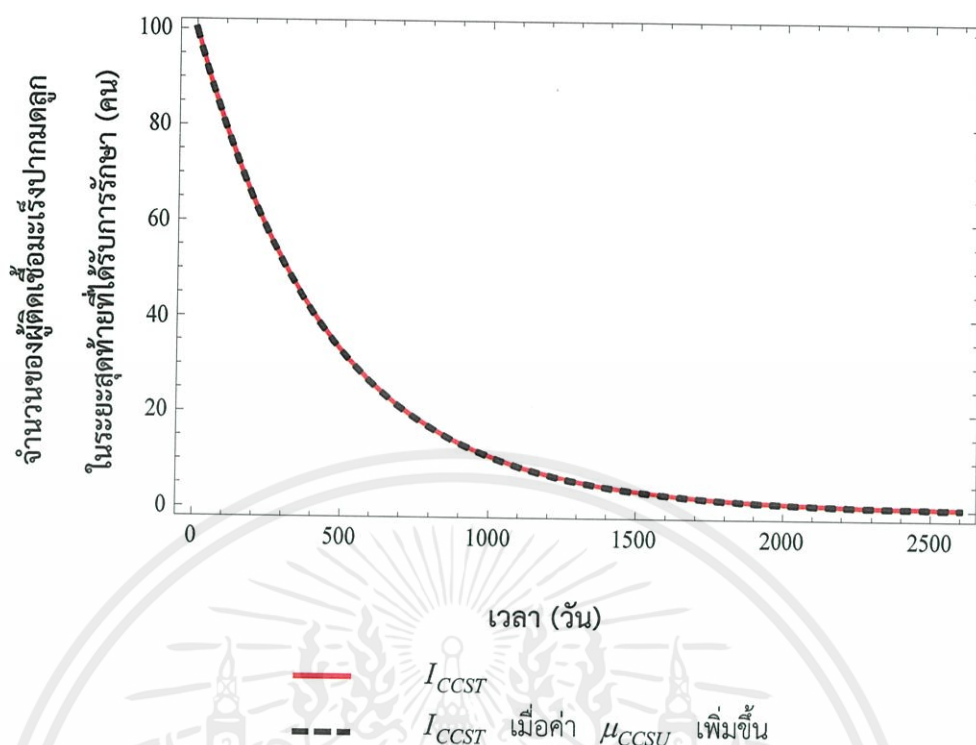
8.2 เมื่อค่า μ_{CCSU} เพิ่มขึ้น จากการลดจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดโดยเปลี่ยนค่าจาก 0.9 เป็น 0.2 ปี จะได้กราฟการลู่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนี้



รูปที่ 4.81 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.81 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ที่เสี่ยงติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก (S) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

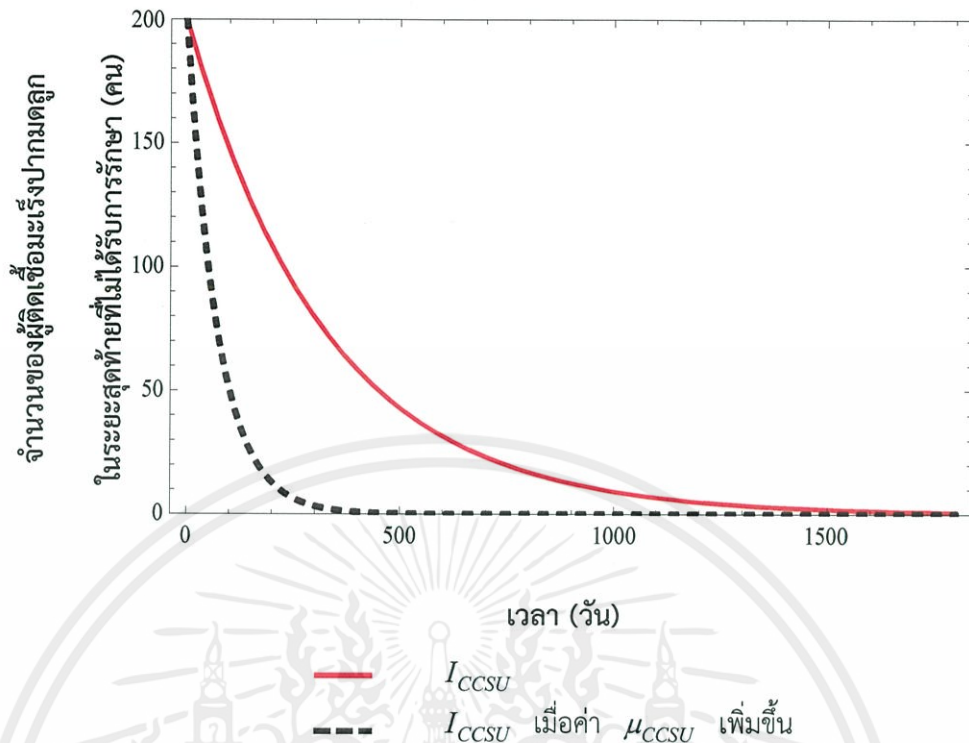
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.82 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.82 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

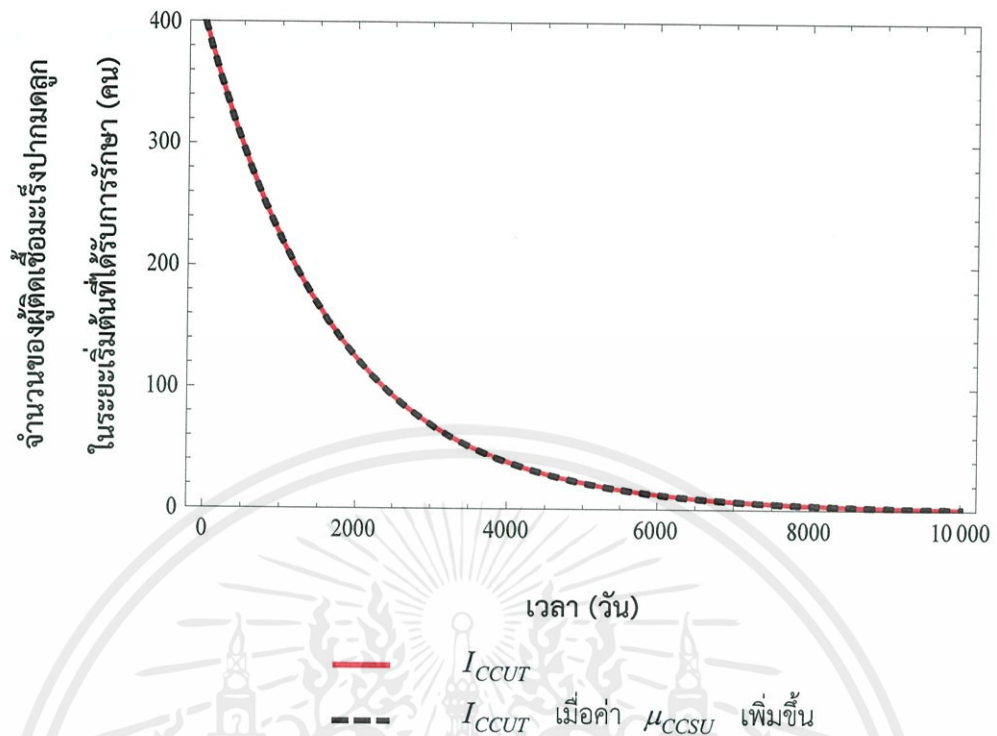
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.83 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.83 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) จะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 1,800 วัน ต่างกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อไข้เลือดออกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) (แทนด้วยเส้นประสีดำ) กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุล ณ เวลา 500 วัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนปีมีค่าน้อยลง กราฟจะเข้าสู่จุดสมดุลเร็วขึ้น

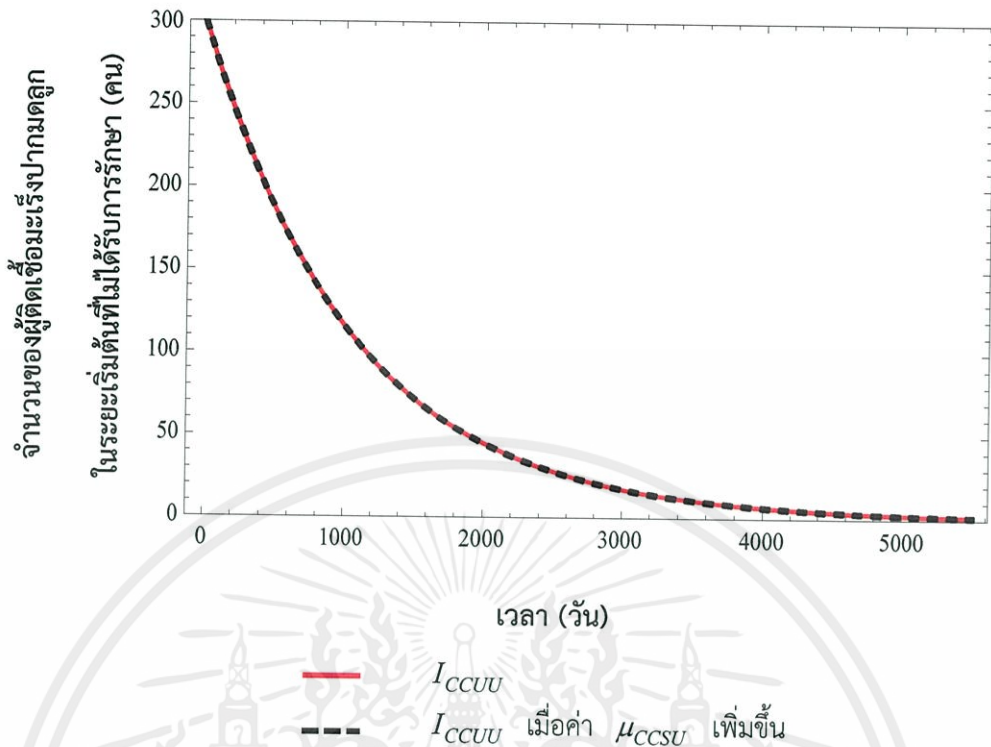
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.84 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.84 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อเริ่มป่วยปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.85 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.85 จะเห็นว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) (แทนด้วยเส้นสีแดง) เหมือนกับกราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) เมื่ออัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU}) เพิ่มขึ้น (แทนด้วยเส้นประสีดำ) จะได้ว่ากราฟแสดงจำนวนของผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อเพิ่มอัตราการเสียชีวิตของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (μ_{CCSU})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเข้าสู่ของจุดสมดุล S , I_{CCST} , I_{CCSU} , I_{CCUT} และ I_{CCUU} คือ μ_{CCUT} , μ_{CCUU} , μ_{CCST} และ μ_{CCSU} โดยที่

μ_{CCUT}	ส่งผลกระทบต่อกราฟ	I_{CCUT}
μ_{CCUU}	ส่งผลกระทบต่อกราฟ	I_{CCUU}
μ_{CCST}	ส่งผลกระทบต่อกราฟ	I_{CCST}
μ_{CCSU}	ส่งผลกระทบต่อกราฟ	I_{CCSU}

4.3 การประยุกต์ใช้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เราใช้โปรแกรม MATLAB ในการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญด้วยระเบียบวิธีของรุงเง-คุททาคอนดับสี่ โดยการเขียนโปรแกรม

คู่มือการใช้โปรแกรม ดังนี้

ในหน้า Editor เมื่อ save โปรแกรมเรียบร้อยแล้ว จะทำการทำการ run โปรแกรมโดยคลิกที่สัญลักษณ์  หรือกดปุ่ม F5 แล้ว จะได้หน้าต่าง Command Window ขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูล ดังนี้

1. Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 (L_T): ...

คือ ให้ผู้ใช้ใส่ค่าอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (L_T)

ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 เช่น 0.5 ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
```

รูปที่ 4.86 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 (L_U): ... คือ ให้ผู้ใช้ใส่ค่าอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (L_U) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 เช่น 0.2 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
  
```

รูปที่ 4.87 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 (M_T): ...

คือ ให้ผู้ใช้ใส่ค่าอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (M_T) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 เช่น 0.3 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
  
```

รูปที่ 4.88 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 (M_U): ...
คือ ให้ผู้ใช้ใส่ค่าอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (M_U) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 เช่น 0.4 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
  
```

รูปที่ 4.89 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 (NL_T): ... คือ ให้ผู้ใช้ใส่จำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เช่น 0.2 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

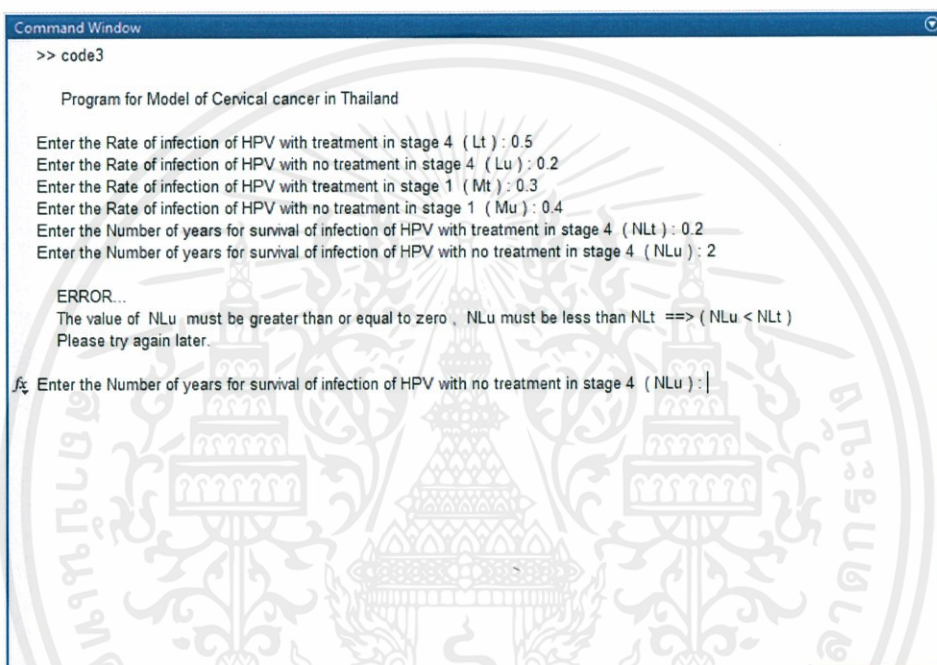
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ) : 0.2
  
```

รูปที่ 4.90 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 (NLU): ... คือ ให้ผู้ใช้ใส่จำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU})

หากผู้ใช้ใส่ข้อมูลจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) มากกว่าจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) เช่น 2 โปรแกรมจะให้กรอกข้อมูลใหม่ ดังรูป



```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLT ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLU ) : 2

ERROR...
The value of NLU must be greater than or equal to zero, NLU must be less than NLT ==> (NLU < NLT)
Please try again later.

fx Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLU ) : |
  
```

รูปที่ 4.91 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลใหม่ เช่น 0.05 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ): 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ): 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ): 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ): 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ): 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ): 2

ERROR...
The value of NLu must be greater than or equal to zero , NLu must be less than NLt ==> ( NLu < NLt )
Please try again later.

⌘ Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ): 0.05
  
```

รูปที่ 4.92 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 (NM_T): ... คือ ให้ผู้ใช้ใส่จำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูก ในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เช่น 2 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLT ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLU ) : 2

ERROR...
The value of NLU must be greater than or equal to zero , NLU must be less than NLT ==> ( NLU < NLT )
Please try again later.

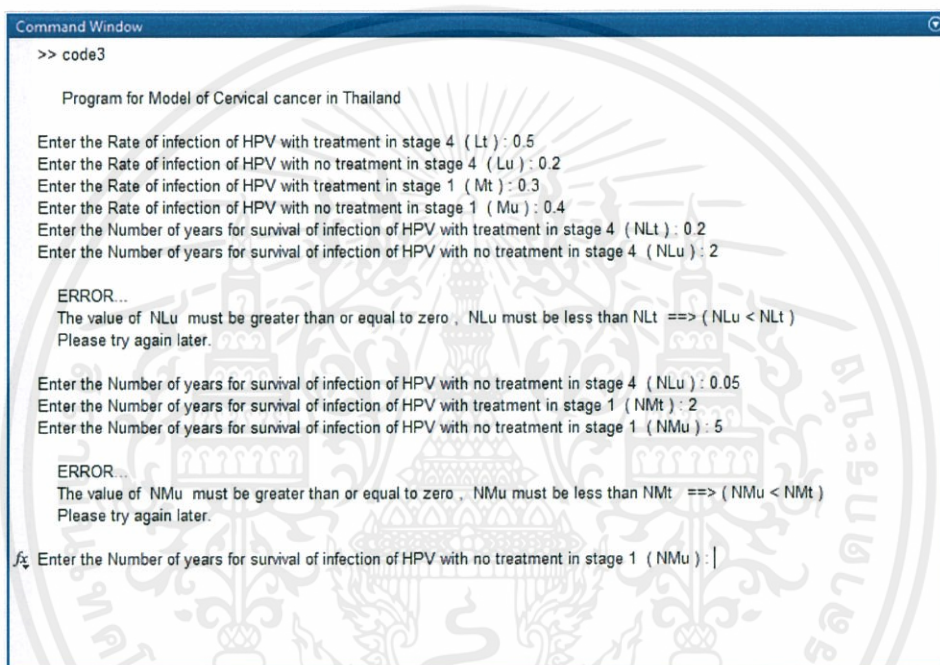
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLU ) : 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMT ) : 2
  
```

รูปที่ 4.93 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 (NM_U): ... คือ ให้ผู้ใช้ใส่จำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU})

หากผู้ใช้กรอกข้อมูลจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUU}) มากกว่าจำนวนปีของการมีชีวิตอยู่รอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) เช่น 5 โปรแกรมจะให้กรอกข้อมูลใหม่ ดังรูป



```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ): 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ): 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ): 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ): 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ): 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLU ): 2

ERROR...
The value of NLU must be greater than or equal to zero , NLU must be less than NLt ==> ( NLU < NLt )
Please try again later.

Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLU ): 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMt ): 2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ): 5

ERROR...
The value of NMu must be greater than or equal to zero , NMu must be less than NMt ==> ( NMu < NMt )
Please try again later.

Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ): |
  
```

รูปที่ 4.94 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากผู้ใช้กรอกข้อมูลเป็นจำนวนลบ เช่น -5.6 โปรแกรมจะให้ผู้ใส่กรอกข้อมูลใหม่ ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ) : 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMt ) : 2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : -5.6

ERROR...
The value of NMu must be greater than or equal to zero , NMu must be less than NMt ==> ( NMu < NMt )
Please try again later.

✖ Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : |
  
```

รูปที่ 4.95 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้อกรอกข้อมูลใหม่ เช่น 0.1 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ) : 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMt ) : 2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : 5

ERROR...
The value of NMu must be greater than or equal to zero , NMu must be less than NMt ==> ( NMu < NMt )
Please try again later.

fx Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : 0.1
  
```

รูปที่ 4.96 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Enter the time (day): ... คือ ให้ผู้ใช้กรอกจำนวนเวลา (วัน) ที่ต้องการจะคำนวณ เช่น 1,000 วัน ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ) : 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMt ) : 2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : 0.1
Enter the number of time ( day ) : 1000

time      S          lccst      lccsu      lccut      lccuu
000100    2972.2796    25.3210    0.8313    347.5143    19.3054
000200    2957.4499    6.4115     0.0035    301.9154    1.2423
000300    2946.1011    1.6235     0.0000    262.2998    0.0799
000400    2937.0993    0.4111     0.0000    227.8823    0.0051
000500    2930.0095    0.1041     0.0000    197.9808    0.0003
000600    2924.5438    0.0264     0.0000    172.0029    0.0000
000700    2920.4729    0.0067     0.0000    149.4337    0.0000
000800    2917.6047    0.0017     0.0000    129.8258    0.0000
000900    2915.7745    0.0004     0.0000    112.7908    0.0000
001000    2914.8412    0.0001     0.0000    97.9910     0.0000

1000 2914.8412 0.0001 0.0000 97.9910 0.0000

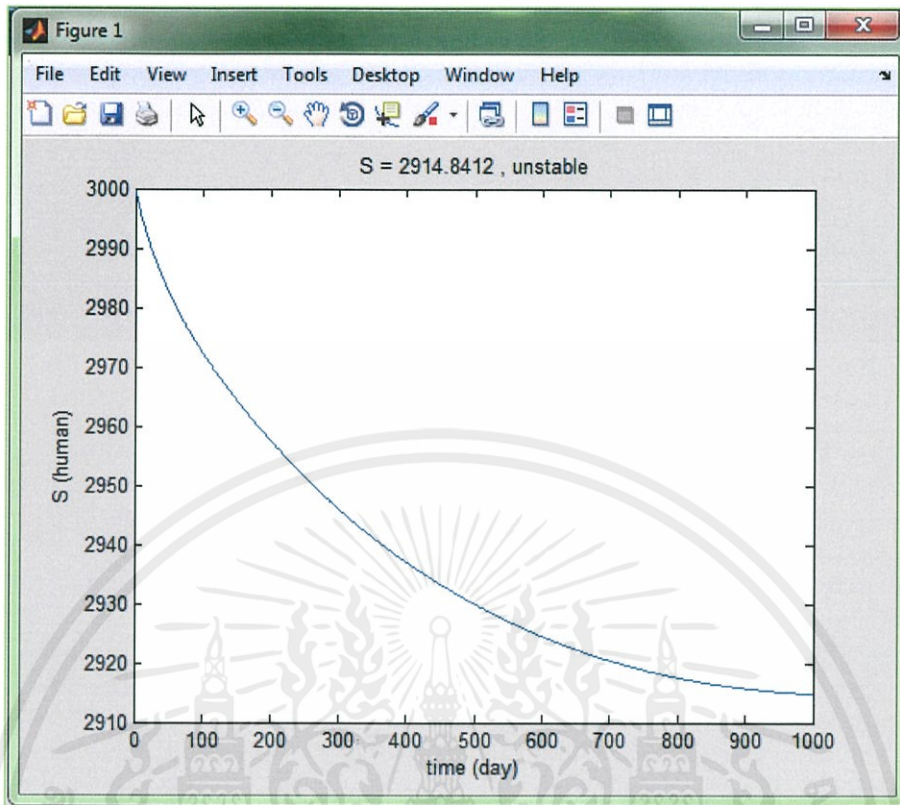
if continue program enter 1 or no continue program enter 0 :

```

รูปที่ 4.97 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 9.

จะได้ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยที่เวลา (t) จะเพิ่มขึ้นทีละ 100 วัน จนถึง t สุดท้าย เช่น $t = 1,000$ วัน และจะแสดงกราฟการลู่เข้าของจุดสมดุลแต่ละจุด ดังนี้

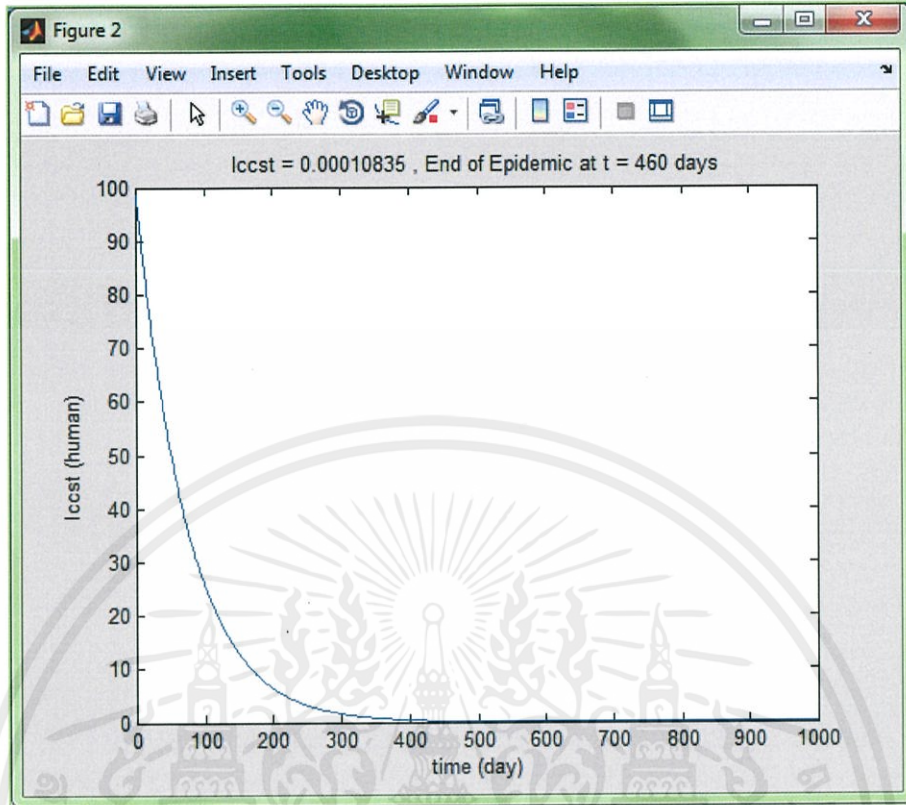
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.98 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมดุล S ด้วยโปรแกรม

จากกราฟ อธิบายได้ว่า ค่าของจุดสมดุล S คือ 2,914.8412 ซึ่งยังไม่ลู่เข้าสู่จุดสมดุล
 ดังนั้น ณ เวลา 1,000 วัน ยังไม่สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

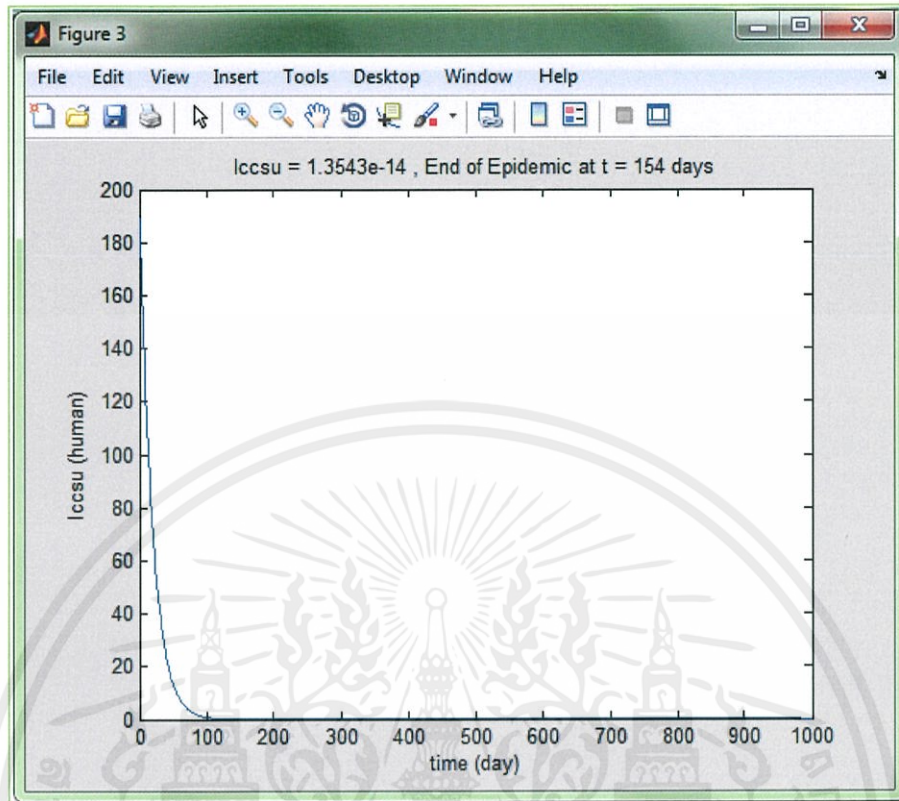
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.99 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมดุล I_{CCST} ด้วยโปรแกรม

จากกราฟ อธิบายได้ว่า ค่าของจุดสมดุล I_{CCST} คือ 0.0001 ซึ่งลู่เข้าสู่จุดสมดุล
ตั้งนั้น ณ เวลา 460 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

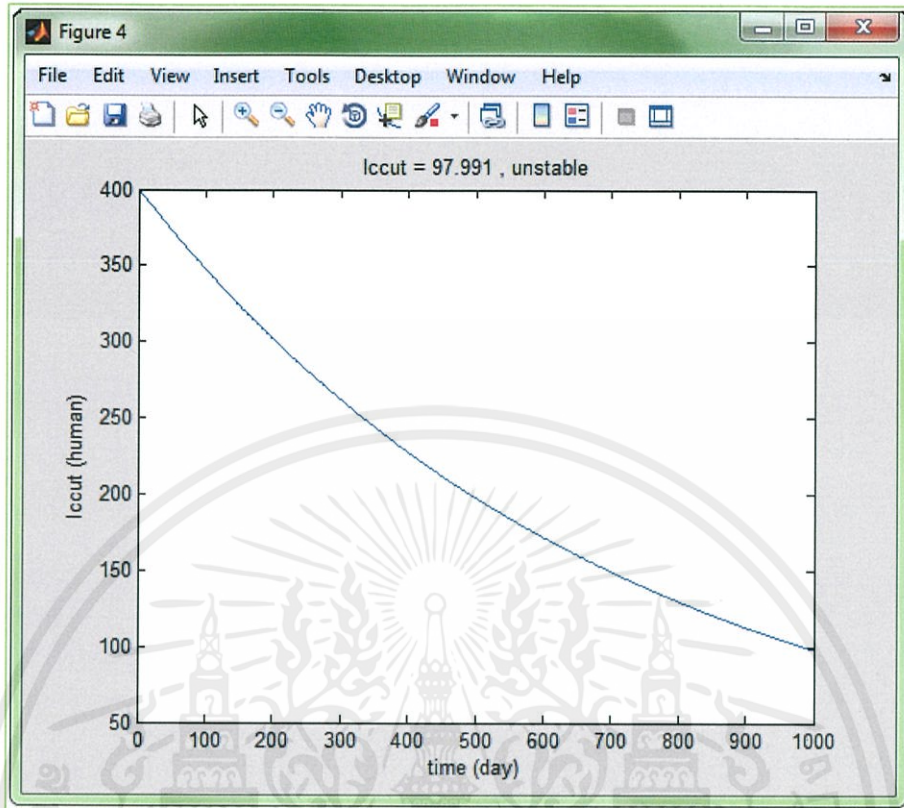
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.100 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมดุล I_{CCSU} ด้วยโปรแกรม

จากกราฟ อธิบายได้ว่า ค่าของจุดสมดุล I_{CCSU} คือ 0.0000 ซึ่งลู่เข้าสู่จุดสมดุล
ดังนั้น ณ เวลา 154 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

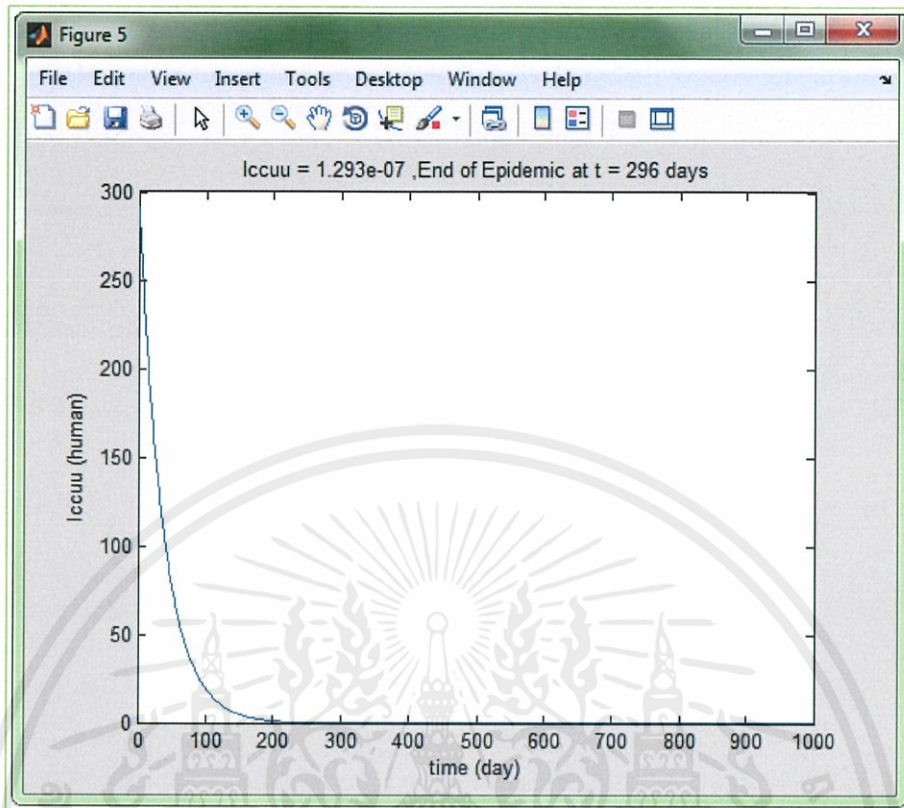
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.101 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมดุล I_{CCUT} ด้วยโปรแกรม

จากกราฟ อธิบายได้ว่า ค่าของจุดสมดุล I_{CCUT} คือ 97.9910 ซึ่งยังไม่เข้าสู่จุดสมดุล ดังนั้น ณ เวลา 1,000 วัน ยังไม่สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.102 กราฟแสดงการลู่เข้าของจุดสมดุล I_{ccuu} ด้วยโปรแกรม

จากกราฟ อธิบายได้ว่า ค่าของจุดสมดุล I_{ccuu} คือ 0.0000 ซึ่งลู่เข้าสู่จุดสมดุล
 ดังนั้น ณ เวลา 296 วัน สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ถ้าผู้ใช้ต้องการคำนวณใหม่หรือต้องการออกจากโปรแกรม

หากผู้ใช้ต้องการคำนวณต่อ แต่เปลี่ยนเป็นข้อมูลชุดใหม่ ให้ กด 1 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ) : 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMt ) : 2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : 0.1
Enter the number of time ( day ) : 1000

time      S          lccst          lccsu          lccut          lccuu
000100    2972.2796    25.3210        0.8313         347.5143       19.3054
000200    2957.4499    6.4115         0.0035         301.9154       1.2423
000300    2946.1011    1.6235         0.0000         262.2998       0.0799
000400    2937.0993    0.4111         0.0000         227.8823       0.0051
000500    2930.0095    0.1041         0.0000         197.9808       0.0003
000600    2924.5438    0.0264         0.0000         172.0029       0.0000
000700    2920.4729    0.0067         0.0000         149.4337       0.0000
000800    2917.6047    0.0017         0.0000         129.8258       0.0000
000900    2915.7745    0.0004         0.0000         112.7908       0.0000
001000    2914.8412    0.0001         0.0000         97.9910        0.0000

1000 2914.8412 0.0001 0.0000 97.9910 0.0000

if continue program enter 1 or no continue program enter 0 1

```

รูปที่ 4.103 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากผู้ใช้ต้องการออกจากโปรแกรม ให้ กด 0 ดังรูป

```

Command Window
>> code3

Program for Model of Cervical cancer in Thailand

Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 4 ( Lt ) : 0.5
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( Lu ) : 0.2
Enter the Rate of infection of HPV with treatment in stage 1 ( Mt ) : 0.3
Enter the Rate of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( Mu ) : 0.4
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 4 ( NLt ) : 0.2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 4 ( NLu ) : 0.05
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with treatment in stage 1 ( NMt ) : 2
Enter the Number of years for survival of infection of HPV with no treatment in stage 1 ( NMu ) : 0.1
Enter the number of time ( day ) : 1000

time          S          lccst          lccsu          lccut          lccu
000100        2972.2796        25.3210        0.8313        347.5143        19.3054
000200        2957.4499        6.4115        0.0035        301.9154        1.2423
000300        2946.1011        1.6235        0.0000        262.2998        0.0799
000400        2937.0993        0.4111        0.0000        227.8823        0.0051
000500        2930.0095        0.1041        0.0000        197.9808        0.0003
000600        2924.5438        0.0264        0.0000        172.0029        0.0000
000700        2920.4729        0.0067        0.0000        149.4337        0.0000
000800        2917.6047        0.0017        0.0000        129.8258        0.0000
000900        2915.7745        0.0004        0.0000        112.7908        0.0000
001000        2914.8412        0.0001        0.0000        97.9910        0.0000

1000 2914.8412 0.0001 0.0000 97.9910 0.0000

fx if continue program enter 1 or no continue program enter 0 : 0

```

รูปที่ 4.104 แสดงหน้าผลลัพธ์ของโปรแกรมในข้อ 10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการจัดทำปัญหาพิเศษ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ปัญหาพิเศษนี้ได้เสนอรายละเอียดของโรคมะเร็งปากมดลูก (Cancer of Cervix) ที่เกิดจากเชื้อไวรัส HPV (Human Papilloma Virus) และนำเอาองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับการติดเชื้อไวรัสนี้ จากนั้นก็พิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยนำเสนอและอธิบายแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย เพื่อพิจารณาการควบคุมการระบาดของโรค

แบบจำลองนี้ เราได้สมมติประชากร อัตราการเกิดและเสียชีวิตของประชากร เป็นค่าไม่คงที่ เพราะประชากรมีการเสียชีวิตด้วยโรค อัตราการติดเชื้อต่อ 1 คน ในระยะสุดท้าย และระยะเริ่มต้น เป็นค่าคงที่ อัตราของประชากรที่ติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา และไม่ได้รับการรักษา อัตราของประชากรที่ติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา และไม่ได้รับการรักษา อัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา และไม่ได้รับการรักษา และอัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการติดเชื้อระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา และไม่ได้รับการรักษา เป็นค่าไม่คงที่ ซึ่งได้นำข้อมูลจากสถาบันมะเร็งแห่งชาติ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2545 – พ.ศ.2554 [7] และข้อมูลจากบทความวิจัย [5] ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองโรคมะเร็งปากมดลูกในประเทศไทย

จากนั้นได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยเจ็ดสมการเชิงอนุพันธ์ในรูปแบบของผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (S) ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้าย (I_{CCS}) ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา (I_{CCST}) ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCSU}) ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้น (I_{CCU}) ผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา (I_{CCUT}) และผู้ที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ไม่ได้รับการรักษา (I_{CCUV}) ด้วยเงื่อนไขทั้งสามของระบบสมการ จะได้ระบบสมการใหม่ที่มีเพียงห้าสมการ จากนั้นเราหาจุดสมดุล และความเสถียรของจุดสมดุล

สำหรับโปรแกรมการควบคุมการระบาดของโรค เป็นโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นจากแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้จริง โดยโปรแกรมจะรับค่าอัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษาและไม่ได้รับการรักษา อัตราของประชากรที่ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นที่ได้รับการรักษา และไม่ได้รับการรักษา จำนวนปีของการมีชีวิตรอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในแต่ละระยะ เพื่อดูระยะเวลาที่สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อจำกัดของโปรแกรม

1. ข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกจะต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวกที่มีค่าเท่ากับศูนย์หรือน้อยกว่าหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถเป็นตัวอักษรได้
2. ข้อมูลจำนวนปีของการมีชีวิตรอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นและระยะสุดท้ายที่ไม่ได้รับการรักษาจะต้องมีค่าน้อยกว่าจำนวนปีของการมีชีวิตรอดสำหรับผู้ติดเชื้อมะเร็งปากมดลูกในระยะเริ่มต้นและระยะสุดท้ายที่ได้รับการรักษา และจะต้องอยู่ในข้อจำกัดที่ 1 ด้วย
3. โปรแกรมนี้ใช้ระเบียบวิธีการของรุงง-คุททา อันดับสี่ ในการหาคำตอบของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ อาจเกิดค่าคลาดเคลื่อนของคำตอบได้บ้าง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการความละเอียดของกราฟที่ได้จากโปรแกรมมากขึ้น ควรศึกษาเครื่องมือเกี่ยวกับกราฟในโปรแกรม Mathematica และโปรแกรม MATLAB
2. หากต้องการหน้าต่างของโปรแกรมที่เป็นบทบาทที่แนะนำเกี่ยวกับโรคมะเร็งปากมดลูกก่อนเข้าสู่โปรแกรมการคำนวณ ควรใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จตุพล ศรีสมบุรณ์. *มะเร็งปากมดลูก : การวินิจฉัยและการรักษา*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสูติศาสตร์และนรีเวชวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547.
- [2] จิตติ ชาญประเสริฐพงษ์ และ สายบัว ชีไจริญ (บรรณาธิการ). *วิทยาการร่วมสมัยในมะเร็งนรีเวชวิทยา Contemporary Evidence-Based Medicine in Gynecologic Oncology*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชาญเมืองการพิมพ์ : สงขลา, มีนาคม 2554.
- [3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ นิพนธ์ วรรณโสภาคย์. *ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555
- [4] สมบุรณ์ คุณาธิคม และ ชำนาญ เกียรติพิรกุล. *มะเร็งนรีเวชวิทยา Gynecologic Oncology*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ราชวิทยาลัยสูตินรีแพทย์แห่งประเทศไทย ชุดที่ 11 (พ.ศ.2553 – 2555), ตุลาคม2554.
- [5] <http://www.jcancer.org/v03p0262.htm#headingA3>
- [6] http://www.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge_Model_meth.htm
- [7] http://www.nci.go.th/th/cancer_record/cancer_rec1.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้