4ST-O08: ศึกษาอัตราการรณรงค์ป้องกันที่มีผลต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่

Study the prevention campaign rate affecting SEIR mathematical model for controlling the spread of influenza

อนุวัตร จิรวัฒนพาณิช[1*] ยุวดี ทองปิด[2] นเรศน์ ซุ่นหลี[2] และ ชฎาภรณ์ ชัยฤทธิ์[2]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์เสถียรภาพของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่โดยอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ วิเคราะห์ตัวแบบโดยใช้วิธีมาตรฐาน ศึกษาจุดสมดุล ศึกษาเสถียรภาพของจุดสมดุล หาคำตอบเชิงวิเคราะห์ ศึกษาประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ (ρ) ในตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์และหาคำตอบเชิงตัวเลข

ผลการวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์พบว่า ณ จุดสมดุลที่ไม่มีโรคเมื่อประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ ($\rho = 0.8$) มีค่าระดับการติดเชื้อ (R_0) เท่ากับ 0.8497090 และประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ ($\rho = 0.7$) มีค่าระดับการติดเชื้อ (R_0) เท่ากับ 1.274563 และประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ถ้าประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่จะส่งผลให้การแพร่ระบาดของโรคลดลง

คำสำคัญ: ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โรคไข้หวัดใหญ่ การควบคุมการแพร่ระบาดของโรค อัตราการรณรงค์ให้ความรู้

Abstract

The purpose of this research is to develop and analyze the stability of mathematical models for controlling the spread of influenza by prevention campaign rate, Analyze the model using standard methods, Study balance Study the stability of the balance point, Find analytical answers, Study the effectiveness of the prevention campaign rate (ρ) in a mathematical model and numerical answers.

The results of the mathematical model showed that there was no disease at the equilibrium point when the effectiveness of the prevention campaign rate ($\rho = 0.8$) had the infection level (R_0) equal to 0.8497090 and the effectiveness of the prevention campaign rate ($\rho = 0.7$) with the level of infection (R_0) equal to 1.274563 and the effectiveness of the prevention campaign rate is a factor that affects the mathematical model. If the population at risk of infection has knowledge of the prevention of influenza will result in the spread of the disease.

Keywords: Mathematical model, influenza, epidemic control, prevention campaign rate

[1] สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

[2] นักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

[*] Corresponding author. E-mail: anuwat.j@pkru.ac.th

บทนำ

คณิตศาสตร์ได้เข้ามามีบทบาทเกี่ยวข้องในการดำรงชีวิตของมนุษย์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย โดยเฉพาะทางการแพทย์ คณิตศาสตร์สามารถประยุกต์ใช้ เพื่อจำลองการเกิดโรคและการควบคุมโรคต่าง ๆ รวมทั้งเป็นเครื่องมือช่วยทำความเข้าใจเกี่ยวกับสุขภาพหลาย ๆ ด้าน อาทิ สภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดโรคต่าง ๆ การป้องกันโรค การทดสอบปริมาณยา เป็นต้น ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคติดต่อได้ง่าย มีการแพร่ระบาดอย่างรวดเร็วส่งผลต่อสุขภาพ ทำให้มนุษย์เสียชีวิตได้ง่าย ดังนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยให้มนุษย์มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

จากการศึกษาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นถึงบทบาทและประโยชน์ของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่มีส่วนช่วยในการแก้วิกฤตการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นจากโรคภัยต่าง ๆ โดยจะจำลองประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ ตัวเชื้อโรค ตัวพาหะนำโรค และผู้ติดเชื้อ โดยแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายถึงการระบาดและการดำเนินของโรค โดยที่ผู้วิจัยไม่จำเป็นต้องไปศึกษากับมนุษย์โดยตรง ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อชีวิตของผู้วิจัยและผู้ป่วยได้ อีกทั้งยังช่วยลดงบประมาณสำหรับมาตรการการป้องกันและการรักษาโรคตามความต้องการที่แท้จริงได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมมากที่สุด

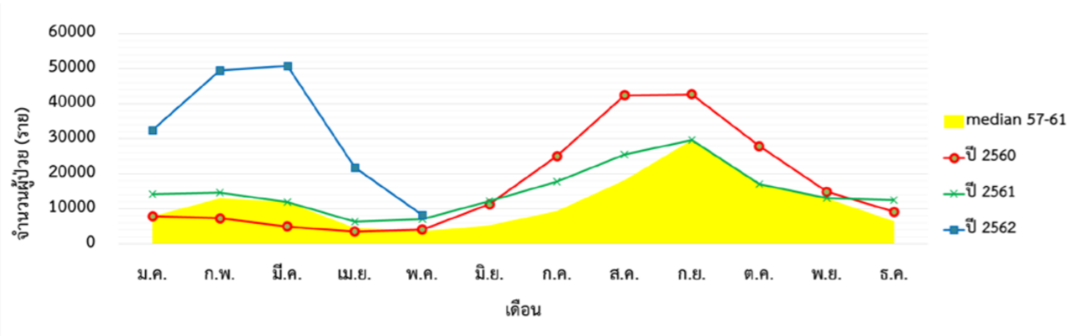
โรคที่สามารถถ่ายทอดหรือติดต่อโดยการแพร่กระจายทางอากาศและแพร่กระจายจากการสัมผัสสู่ผู้อื่นเป็นภัยคุกคามที่ต้องตระหนัก เนื่องจากลักษณะของการแพร่ระบาดตามธรรมชาติส่งผลให้มีการติดต่อจากคนสู่คน และมีตัวพาหะนำโรค เช่น หมู นก ม้า ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ (Influenza virus) ซึ่งเชื้อนี้มี หลายชนิดมาก โดยทั่วไปไวรัสของสัตว์ชนิดใดก็จะก่อให้เกิดโรคเฉพาะสัตว์ชนิดนั้น เช่น ไวรัสไข้หวัดนก (H5N1) จะก่อโรคในสัตว์ปีกเป็นหลัก แต่ในช่วงหลังนี้ไวรัสนี้มีการเปลี่ยนแปลงทำให้มีการติดต่อมายังมนุษย์ หรือสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ และมีความรุนแรงสูง ทำให้เสียชีวิตได้

โรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ (Influenza virus) เป็นการติดเชื้อไวรัสที่ระบบทางเดินหายใจแบบเฉียบพลัน เกิดจากเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ซึ่งมี 3 ชนิด (type) คือ A, B และ C ไวรัสชนิด A เป็นชนิดที่ทำให้เกิดการระบาดอย่างกว้างขวางทั่วโลก ไวรัสชนิด B ทำให้เกิดการระบาดในพื้นที่ระดับภูมิภาค ส่วนชนิด C มักเป็นการติดเชื้อที่แสดงอาการอย่างอ่อนหรือไม่แสดงอาการ และไม่ทำให้เกิดการระบาด โดยมีลักษณะอาการที่สำคัญคือ มีไข้สูงแบบทันทีทันใด ปวดศีรษะ ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ อ่อนเพลีย ไข้หวัดใหญ่เป็นโรคที่สำคัญที่สุดโรคหนึ่งในกลุ่มโรคติดเชื้ออุบัติใหม่และโรคติดเชื้ออุบัติซ้ำ เนื่องจากเกิดการระบาดของไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ H1N1 เริ่มต้นขึ้นในปี 2009 มีการระบาดในทวีปอเมริกาเหนือ อย่างในประเทศเม็กซิโก และประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นก็มีการระบาดไปทั่วโลก โดยจะระบาดตามฤดูกาลพบในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว ซึ่งมีการระบาดในประเทศไทยหลังจาก ปี 2009 เป็นต้นมาพบว่ามีผู้ติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ในทุก ๆ ปี

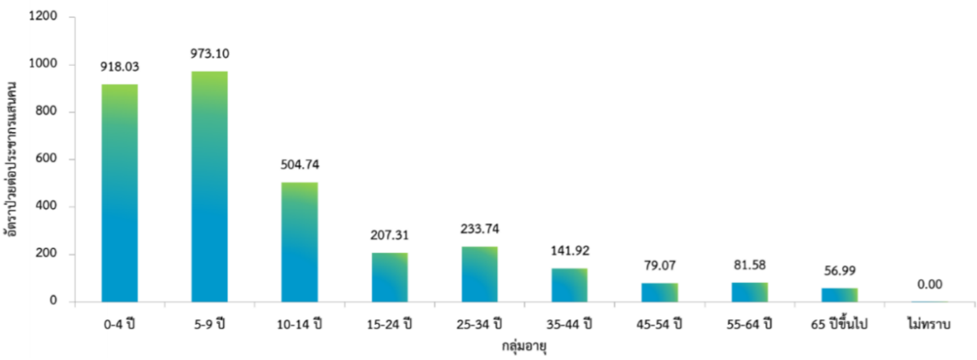
โรคไข้หวัดใหญ่สายพันธุ์ H1N1 สามารถพบได้ในทุกเพศทุกวัยโดยติดต่อทางการหายใจ ซึ่งจะได้รับเชื้อที่ออกมาปนเปื้อนอยู่ในอากาศเมื่อผู้ป่วยไอ จาม หรือพูด ในพื้นที่ที่มีคนอยู่รวมกันหนาแน่นการแพร่เชื้อจะเกิดได้มาก นอกจากนี้การแพร่เชื้ออาจเกิดโดยการสัมผัสฝอยละอองน้ำมูก น้ำลายของผู้ป่วย จากมือที่สัมผัสกับพื้นผิวที่มีเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ แล้วใช้มือสัมผัสที่จมูกและปาก มีระยะฟักตัวประมาณ 1-3 วัน ในผู้ใหญ่ผู้ป่วยสามารถแพร่เชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ตั้งแต่ 1 วันก่อนมีอาการและจะแพร่เชื้อต่อไปอีก 3-5 วันหลังมีอาการ ส่วนในเด็กอาจแพร่เชื้อได้นานกว่า 7 วัน ผู้ที่ได้รับเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่แต่ไม่มีอาการก็สามารถแพร่เชื้อในช่วงเวลานั้นได้เช่นกัน อาการจะเริ่มหลังได้รับเชื้อ 1-4 วัน ผู้ป่วยจะมีไข้แบบทันที พร้อมกับมีอาการปวดศีรษะ หนาวสั่น ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ อ่อนเพลียมาก และอาจพบอาการคัดจมูก เจ็บคอ ถ้าป่วยเป็นระยะเวลานานอาจจะมีอาการไอจากหลอดลมอักเสบ อาการจะรุนแรง

และป่วยนานกว่าไข้หวัดธรรมดา ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะหายเป็นปกติภายใน 1-2 สัปดาห์ แต่มีบางรายที่มีอาการรุนแรง เนื่องจากมีภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญคือ ปอดบวม ซึ่งอาจทำให้เสียชีวิตได้ ผู้ที่เสี่ยงสูงต่อการเกิดภาวะแทรกซ้อนหรือเสียชีวิต ได้แก่ ผู้ที่อายุ 65 ปีขึ้นไป เด็กที่อายุต่ำกว่า 2 ปี ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง เช่น โรคปอด โรคหัวใจ โรคไต เบาหวาน ภูมิคุ้มกันบกพร่อง เด็กที่ได้รับการรักษาด้วยยาแอสไพรินเป็นเวลานาน และหญิงตั้งครรภ์

จากผลการสำรวจจำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ ปี 2562 (1 มกราคม- 28 พฤษภาคม 2562) เทียบกับ ปี 2560 ปี 2561 และค่ามัธยฐานย้อนหลัง 5 ปี (ปี พ.ศ. 2557-2561) พบว่าสถานการณ์โรคไข้หวัดใหญ่ในปี 2562 ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม- 28 พฤษภาคม 2562 มีรายงานผู้ป่วยทั่วประเทศจำนวน 162,826 ราย คิดเป็นอัตราป่วย 246.48 ต่อประชากรแสนคน เสียชีวิต 11 ราย คิดเป็นอัตราป่วยตาย ร้อยละ 0.01 จำนวนผู้ป่วยสะสมในภาพรวมพบว่าสูงกว่าค่ามัธยฐาน 5 ปีย้อนหลัง และสูงกว่าปีที่ผ่านมา โดยส่วนใหญ่พบผู้ป่วยอยู่ในช่วงกลุ่มอายุ 5-9 ปี มีอัตราป่วยสูงสุด คือ 973.10 ต่อประชากรแสนคน รองลงมาคือกลุ่มอายุ 0-4 ปี มีอัตราป่วย 918.03 ต่อประชากรแสนคน และกลุ่มอายุ 10-14 ปี มีอัตราป่วย 504.74 ต่อประชากรแสนคน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กลุ่มผู้ป่วยที่มีอัตราป่วยสูงจะอยู่ในช่วงวัยเด็ก แสดงดัง ภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงจำนวนผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ ปี 2562 (1 มกราคม- 28 พฤษภาคม 2562) เทียบกับ ปี 2560 ปี 2561 และค่ามัธยฐานย้อนหลัง 5 ปี (ปี พ.ศ. 2557-2561)



ภาพที่ 2 แสดงอัตราป่วยโรคไข้หวัดใหญ่ จำแนกตามกลุ่มอายุ (1 มกราคม- 28 พฤษภาคม 2562)

ในปี 2009 Biophysics Group ได้ศึกษาโรคไข้หวัดใหญ่ที่ระบาดเกือบทุกปีด้วยความรุนแรงที่แตกต่างกันออกไป เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงบทบาทและประโยชน์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่จะมีส่วนช่วยสำคัญในการแก้ปัญหาการเกิดโรคระบาดได้ ซึ่งแบบจำลองพลวัตรของประชาชน ทั้งของตัวเชื้อโรค ตัวพาหะนำโรค และผู้ติดโรค

จะถูกเขียนอยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ ที่จะสามารถสะท้อน หรือบรรยายความเป็นไปของการระบาดหรือดำเนินไปของโรคได้ พลวัตรของโรคที่สมจริงนั้นโดยทั่วไปนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรของเวลา และตำแหน่ง จากนั้นพิจารณาถึงผลของการควบคุม หรือการกำจัดโรคที่มีต่อการระบาดซึ่งผลการทำนายนี้อาจนำไปสู่การนำเสนอมาตรการต่อสู้กับการระบาดต่อไป

ในปี 2014 รุจิรา คงนุ้ย และคณะ ได้ศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการระบาดระหว่างโรคไข้หวัด ไข้หวัดใหญ่ ไข้หวัดนก ไข้หวัดหมู และอิทธิพลที่ส่งผลให้เกิดการระบาดของโรคในประเทศไทยในจังหวัดตรัง ซึ่งมีข้อมูลการระบาดของโรคสูงสุดในรอบ 17 ปี (พ.ศ 2540 – พ.ศ 2556) ตลอดจนพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบาดวิทยาของโรค ในตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการระบาดของโรคในจังหวัดตรัง โดยพิจารณาฤดูกาลและระยะ ฟักเชื้อ โดยสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เชิงเส้นและแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ กลุ่มในฤดูร้อนและกลุ่มในฤดูฝน โดยศึกษาพฤติกรรมของผลเฉลยของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยประยุกต์วิธีการของการจำลองเชิงพลวัตมาตรฐาน เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับตัวแปรที่ทำให้เกิดความเสถียรภายในของจุดสมดุลที่ไม่มีโรคและสภาวะระบาดอย่างเรื้อรัง ความเสถียร ผลเฉลยเชิงตัวเลขแสดงการระบาดของโรคในจังหวัดตรังเพื่อสนับสนุนสมมุติฐานตามหลักวิชาการแนวทางใหม่ในการควบคุมการระบาดของโรค

ในปี 2015 มนัสนันท์ ลิมปวิทยากุล และชมพูนุช โมรา ได้ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาอุปสรรค เงื่อนไขและปัจจัยแห่งความสำเร็จของรูปแบบการเฝ้าระวังโรคไข้หวัดใหญ่ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่ชายแดนไทย-สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้กระบวนการวิจัยเชิงสำรวจ เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์ที่นักวิจัยพัฒนาขึ้นจากบุคลากรสาธารณสุข กลุ่มผู้นำ ชุมชน องค์การบริหารส่วนตำบล กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน อาสาสมัครสาธารณสุข และกลุ่มบุคลากรที่ปฏิบัติงานในหน่วยบริการสุขภาพ ประเทศ สปป.ลาว ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มบุคลากรสาธารณสุขที่ปฏิบัติงานในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลมีความพร้อมรับการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ในทุกด้าน ทั้งด้านนโยบายและการบริหารจัดการ ด้านเฝ้าระวังป้องกันโรค ด้านเวชภัณฑ์ วัสดุ อุปกรณ์ และด้านการควบคุมการ ระบาดฉุกเฉิน ปัญหาอุปสรรคที่พบ คือ คนไข้ไม่มาพบแพทย์ในระยะแรก ไม่เห็นความสำคัญ ควบคุมยากโดยเฉพาะผู้ป่วยจาก สปป. ลาว ส่วนพฤติกรรมการเฝ้าระวังและการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ของบุคลากรนั้น โดยภาพรวมมีการปฏิบัติอยู่ในระดับมาก [6]

ในปี 2016 ศรีพรหม และคณะ ได้ศึกษาการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ ซึ่งมีผลกระทบมาจากปริมาณน้ำฝน โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการจำลองสถานการณ์จริง ผู้วิจัยได้ทำการหาจุดสมดุลหาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดเสถียรภาพของจุดสมดุลที่ไม่มีโรคและสภาวะระบาดเรื้อรัง มีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อแสดงผลลัพธ์ของการจำลอง หลังจากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ป่วยคือปริมาณน้ำฝนมากผู้ป่วยก็จะมีจำนวนมาก ปริมาณน้ำฝนน้อยผู้ป่วยก็จะมีจำนวนน้อย

จากเหตุข้างต้น ผู้วิจัยได้ตระหนักและเห็นประโยชน์ที่ได้รับจึงดำเนินการวิจัย เรื่องศึกษาอัตราการป้องกันที่มีผลต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการป้องกันโรค และลดจำนวนผู้ป่วยจากโรคไข้หวัดใหญ่

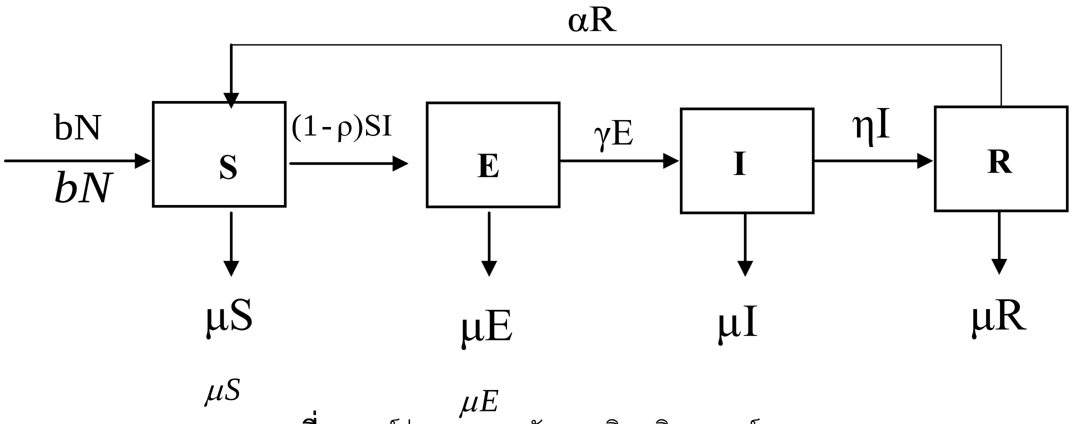
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอัตราการรณรงค์ป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่
2. เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอัตราการรณรงค์ป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับโรคไข้หวัดใหญ่ที่สอดคล้องกับกลุ่มประชากร และลักษณะของการเกิดโรค ซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัย 3 ขั้นตอนดังนี้

1. **การพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์** ผู้วิจัยได้ศึกษาแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ โดยกำหนดให้จำนวนประชากรทั้งหมดมีขนาดคงที่ ซึ่งจะแบ่งประชากรออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดได้ กลุ่มประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และกลุ่มประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้อ ดังนี้



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR
ของการรณรงค์ป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่

โดยที่ S เป็นจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ E เป็นจำนวนประชากรที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ I เป็นจำนวนประชากรที่ติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ และ R เป็นจำนวนประชากรที่ฟื้นจากการติดเชื้อ b เป็นอัตราการเกิดของประชากร μ เป็นอัตราการเสียชีวิตของประชากร ρ เป็นประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้การป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ γ เป็นอัตราการฟักตัวของเชื้อ η เป็นอัตราการหายจากโรคไข้หวัดใหญ่ และ α เป็นอัตราการเสี่ยงกลับมาเป็นไข้หวัดใหญ่นี้อีกครั้ง และ N เป็นจำนวนประชากรทั้งหมด ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดให้จำนวนประชากรมนุษย์คงที่

2. **การตรวจสอบตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์** การตรวจสอบตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของการรณรงค์ป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์นี้โดยตรง ได้แก่ นักระบาดวิทยาและนักคณิตศาสตร์

3. **การวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์** การวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน (Standard Method) โดยการศึกษาจุดสมดุลและศึกษาเสถียรภาพของจุดสมดุลเพื่อเงื่อนไขของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของจุดสมดุล หาค่าระดับการติดเชื้อโดยใช้วิธี Next Generation Method หาคำตอบเชิงวิเคราะห์และคำตอบเชิงตัวเลข โดยวิธี Numerical Analysis ดังวิธีการต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ตามวิธีการมาตรฐาน (Standard Method)

การวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานเป็นการศึกษาหาจุดสมดุล ค่าระดับการติดเชื้อ และเสถียรภาพของระบบ ได้ดังนี้

3.1.1 การหาจุดสมดุล (Equilibrium Point)

การหาจุดสมดุลดำเนินการโดยจัดสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เชิงเส้นของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ให้เท่ากับศูนย์ คือ $\frac{dS}{dt}=0$, $\frac{dE}{dt}=0$, $\frac{dI}{dt}=0$, $\frac{dR}{dt}=0$ จากสมการข้างต้นจะได้ค่า ณ จุดสมดุลที่ไม่มีโรค (Disease Free Equilibrium Point: E_0) โดยกำหนดให้ $\bar{E}=0$ จะได้ $\bar{I}=0$ และแทนในสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เชิงเส้นจะได้ $\bar{S}=1$ ดังนั้น $E_0(\bar{S},\bar{E},\bar{I})=E_0=(1,0,0)$ และ ณ จุดสมดุลที่มีโรค (Endemic Equilibrium Point: E_1) โดยกำหนดให้ $\bar{E}^*\neq 0$ และ $\bar{E}^*>0$ จะได้ $E_1(\bar{S}^*,\bar{E}^*,\bar{I}^*)$

3.1.2 การหาค่าระดับการติดเชื้อ (Basic Reproductive Number: R_0)

ค่าระดับการติดเชื้อเป็นค่าเฉลี่ยที่ผู้ป่วยหนึ่งคนสามารถทำให้คนกลุ่มเสี่ยงป่วยเป็นจำนวนกี่คนในช่วงของเวลาที่เขายังป่วยอยู่ โดยใช้วิธีการ Next Generation Method โดยจัดสมการเชิงอนุพันธ์ไม่เชิงเส้นในรูป $\frac{dX}{dt}=F(X)-V(X)$ เพื่อหาค่า R_0 จากเมตริกซ์ $\rho(FV^{-1})$ ซึ่ง $F(X)$ คือเมตริกซ์ของผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้น, $V(X)$ คือเมตริกซ์ของผู้ป่วยที่เปลี่ยนสถานะจากกลุ่มหนึ่งไปอีกกลุ่มหนึ่ง ได้จากอนุพันธ์ย่อย (Partial Derivative) ดังนี้

$$x=\begin{bmatrix}S\\E\\I\\R\end{bmatrix},\quad F=\left[\frac{\partial(F_i(E_0))}{\partial x_i}\right] \text{ และ } V=\left[\frac{\partial\left(V_i(E_0)\right)}{\partial x_i}\right]$$ โดยพิจารณาค่า R_0 ดังนี้

1. ถ้า $R_0>1$ แสดงว่า โรคมีการระบาดเพิ่มขึ้น (Epidemic)
2. ถ้า $R_0=1$ แสดงว่า โรคเริ่มเสถียร (Endemic)
3. ถ้า $R_0<1$ แสดงว่า โรคไม่มีการระบาด

3.1.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis)

เป็นการหาค่าลักษณะเฉพาะ (Eigen Value) เพื่ออธิบายคำตอบของสมการเกี่ยวกับค่าความสมดุลสำหรับการตรวจสอบว่าเป็น Local Asymptotically Stable มี 2 กรณี ดังนี้

1) Local Asymptotically Stable ณ จุด E_0 ของจุดสมดุลที่ไม่มีโรคโดยการตรวจสอบค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมตริกซ์ ณ สภาวะที่ไม่มีโรค (E_0) ซึ่งจะได้สมการลักษณะเฉพาะจาก $\det(J_0-\lambda I)=0$ ซึ่ง J_0 คือ จาโคเบียนเมตริกซ์ ณ จุด E_0 และ I คือเมตริกซ์เอกลักษณ์ โดยมีข้อกำหนดว่า λ ทุกค่าส่วนจริงจะเป็นลบซึ่งจะสอดคล้องตามเงื่อนไขของ Routh-Hurwizt ซึ่งจะส่งผลให้ค่า $R_0<1$

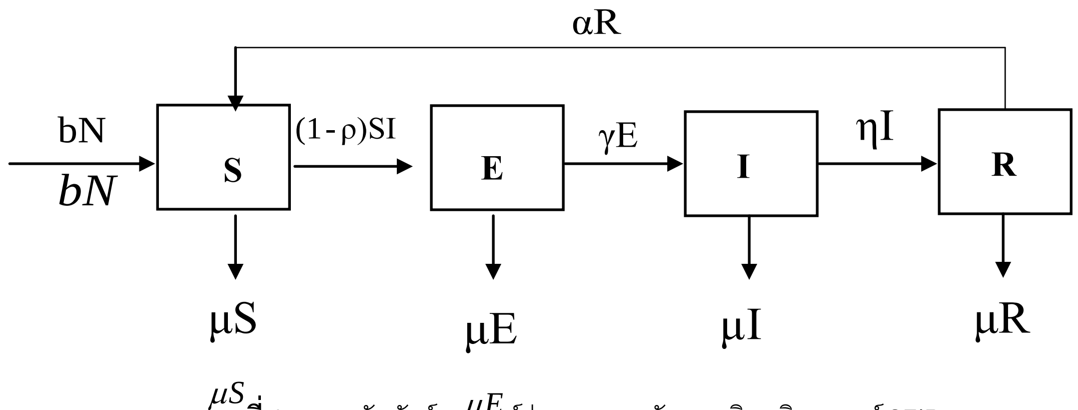
2) Local Asymptotically Stable ณ จุด E_1 ของจุดสมดุลที่มีโรคโดยการตรวจสอบค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมตริกซ์ ณ สภาวะที่มีการแพร่ระบาดของโรค (E_1) ซึ่งจะได้สมการลักษณะเฉพาะจาก $\det(J_1-\lambda I)=0$ ซึ่ง J_1 คือจาโคเบียนเมตริกซ์ ณ จุด E_1 และ I คือเมตริกซ์เอกลักษณ์ โดยมีข้อกำหนดว่า λ ทุกค่าส่วนจริงจะเป็นลบซึ่งจะสอดคล้องตามเงื่อนไขของ Routh-Hurwizt ซึ่งจะส่งผมให้ค่า $R_0>1$

3.2 การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis)

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขเป็นการพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้จุดสมดุลที่ไม่มีโรค (Disease Free Equilibrium Point: E_0) และจุดสมดุลที่เกิดการแพร่ระบาดของโรค (Endemic Equilibrium Point: E_1) ที่ทำให้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์เป็น Local Asymptotically Stable เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ไปคำนวณหาคำตอบเชิงตัวเลข โดยจำลองแบบด้วยโปรแกรม Matlab

4. การสร้างตัวแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบ

การสร้างและวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานจากการวิจัยตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ สามารถสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 4 ดังนี้



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์และองค์ประกอบของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR ของการรณรงค์ป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่

จากภาพที่ 4 ผู้วิจัยได้ดำเนินการส่งให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒิทางคณิตศาสตร์และบุคลากรทางการแพทย์ ช่วยตรวจสอบแผนภาพและสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น เมื่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ ผู้วิจัยได้ทำการแก้ไข ปรับปรุงตามคำแนะนำแล้วนำตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้มาวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ซึ่งจากรูปที่ 4 ได้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น[8] ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = bN - (1-\rho)SI - \mu S + \alpha R \qquad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = (1-\rho)SI - \mu E - \gamma E \qquad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = -\mu I + \gamma E - \eta I \qquad (3)$$

$$\frac{dR}{dt} = -\mu R - \alpha R + \eta I \qquad (4)$$

จาก (1) จะได้ว่า $bN - (1-\rho)SI - \mu S + \alpha R = 0$

$$(1-\rho)SI + \mu S = bN + \alpha R$$

$$S\left[(1-\rho)I + \mu\right] = bN + \alpha R$$

$$S = \frac{bN + \alpha R}{(1-\rho)I + \mu}$$

แทน $$R = \frac{\eta I}{(\mu + \alpha)}$$

จะได้ $$S = \frac{bN + \alpha\left(\frac{\eta I}{(\mu+\alpha)}\right)}{(1-\rho)I + \mu} \qquad (\mathrm{I})$$

จาก (2) จะได้ว่า $(1-\rho)SI - \mu E - \gamma E = 0$

$$(1-\rho)SI = \mu E + \gamma E$$

$$(1-\rho)SI = E(\mu + \gamma)$$

$$E = \frac{(1-\rho)SI}{(\mu+\gamma)}$$

แทน $$S = \frac{bN + \alpha\left(\frac{\eta I}{(\mu+\alpha)}\right)}{(1-\rho)I + \mu}$$

จะได้ $$E = \frac{(1-\rho)\left(\frac{bN + \alpha\left(\frac{\eta I}{(\mu+\alpha)}\right)}{(1-\rho)I + \mu}\right)I}{(\mu+\gamma)} \qquad (\mathrm{II})$$

จาก (3) จะได้ว่า $-\mu I + \gamma E - \eta I = 0$

$$\gamma E = \mu I + \eta I$$

$$\gamma E = I(\mu + \eta)$$

$$I = \frac{\gamma E}{(\mu + \eta)}$$

แทน $$E = \frac{(1-\rho)\left(\frac{bN + \alpha\left(\frac{\eta I}{(\mu+\alpha)}\right)}{(1-\rho)I + \mu}\right)I}{(\mu+\gamma)}$$

จะได้
$$I=\frac{\gamma\left(\frac{(1-\rho)\left(\frac{bN+\alpha\left(\frac{\eta I}{(\mu+\alpha)}\right)}{(1-\rho)I+\mu}\right)I}{(\mu+\gamma)}\right)}{(\mu+\eta)} \quad (III)$$

จาก (4) จะได้ว่า
$$-\mu R-\alpha R+\eta I=0$$
$$\eta I=\mu R+\alpha R$$
$$\eta I=R(\mu+\alpha)$$

จะได้
$$R=\frac{\eta I}{(\mu+\alpha)} \quad (IV)$$

โดยที่ $N=S+E+I+R$ จากสมการ (1) - (4) ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ได้ผลดังนี้

เมื่อกำหนดให้ $\bar{S}=\frac{S}{N}$, $\bar{E}=\frac{E}{N}$, $\bar{I}=\frac{I}{N}$ และ $\bar{R}=\frac{R}{N}$ สามารถจัดสมการ (1) - (4) ใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{d\bar{S}}{dt}=b-(1-\rho)\bar{S}\,\bar{I}-\mu\bar{S}+\alpha\left(1-\left(\bar{S}+\bar{E}+\bar{I}\right)\right) \quad (5)$$

$$\frac{d\bar{E}}{dt}=(1-\rho)\bar{S}\,\bar{I}\,N-\mu\bar{E}-\gamma\bar{E} \quad (6)$$

$$\frac{d\bar{I}}{dt}=-\mu\bar{I}+\gamma\bar{E}-\eta\bar{I} \quad (7)$$

และ $\bar{R}$ สามารถหาได้จากเงื่อนไข $\bar{S}+\bar{E}+\bar{I}+\bar{R}=1$ จะได้ $\bar{R}=1-\left(\bar{S}+\bar{E}+\bar{I}\right)$

ต่อไปจะแสดงว่าระบบสมการอนุพันธ์นี้มีคำตอบและตัวแปรค่าแต่ละตัวในบริเวณที่ไม่เปลี่ยนแปลง (Existence and positivity of solutions)

$$S(t)\ge S(t_0)e^{-[(1-\rho)I-\mu]t}$$
$$E(t)\ge E(t_0)e^{-(\mu+\gamma)t}$$
$$I(t)\ge I(t_0)e^{-(\mu+\eta)t}$$
$$R(t)\ge R(t_0)e^{-(\mu+\alpha)t}$$

ดังนั้น $S(t)\ge 0$, $E(t)\ge 0$, $I(t)\ge 0$ และ $R(t)\ge 0$

เมื่อ $\Omega=\{(S, E, I, R)\in R^4 \mid S(t), E(t), I(t), R(t)\ge 0\}$

4.1 **การหาจุดสมดุล** (Equilibrium Point)

เนื่องจาก $\frac{dN}{dt} = F(X)$ โดยที่ $F(X) = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$ และ $X = (\bar{S}, \bar{E}, \bar{I})^t$ ดังนั้น เมื่อ กำหนดให้จำนวนประชากรทั้งหมดเป็นค่าคงที่ นั่นคือ $\frac{dN}{dt} = 0$ จะได้ $\frac{dN}{dt} = \frac{dS}{dt} + \frac{dE}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dR}{dt}$

ดังนั้น $0 = bN - \mu N$ จะได้ $\mu = b$

เมื่อกำหนด $\frac{d\bar{S}}{dt} = 0, \frac{d\bar{E}}{dt} = 0, \frac{d\bar{I}}{dt} = 0$ จากสมการ (5), (6) และ (7) จะได้

$$\bar{S}^* = \frac{(\eta+\mu)(\eta+\mu)}{(1-\rho)\gamma} \tag{8}$$

$$\bar{E}^* = \frac{(\eta+\mu)\left(-b(1-\rho)+\mu(\gamma+\mu)(\eta+\mu)\right)+\alpha\left(-(1-\rho)\gamma+(\gamma+\mu)(\eta+\mu)\right))}{(1-\rho)\gamma\left((\gamma+\mu)(\eta+\mu)+\alpha(\gamma+\eta+\mu)\right))} \tag{9}$$

$$\bar{I}^* = \frac{\left(b(1-\rho)\gamma-\mu(\gamma+\mu)(\eta+\mu)+\alpha\left((1-\rho)\gamma-(\gamma+\mu)(\eta+\mu)\right)\right)}{\left((1-\rho)\left((\gamma+\mu)(\eta+\mu)+\alpha(\gamma+\eta+\mu)\right)\right)} \tag{10}$$

เสถียรภาพของจุดสมดุลสามารถพิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะของจาโคเบียนเมตริกซ์ จากสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น (5)-(7) สามารถแปลงเป็นจาโคเบียนเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$J = \begin{bmatrix} -(1-\rho)\bar{I}-\mu-\alpha & -\alpha & -(1-\rho)\bar{S}-\alpha \\ (1-\rho)\bar{I} & -\mu-\gamma & (1-\rho)\bar{S} \\ 0 & \gamma & -\mu-\eta \end{bmatrix}$$

และพิจารณาค่าลักษณะเฉพาะได้จาก $\det(J-\lambda I_3) = 0$ เมื่อ I_3 คือ เมตริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 3×3

4.1.1 **การหาจุดสมดุลที่ไม่มีโรค** (Disease Free Equilibrium Point)

กำหนดให้ $\bar{E} = 0$ ในสมการที่ (10) จะได้ $\bar{I} = 0$ และแทน $\bar{I} = 0$ ในสมการ (8) จะได้ $\bar{S} = 1$ ดังนั้น $E_0(\bar{S}, \bar{E}, \bar{I}) = E_0(1, 0, 0)$ เสถียรภาพของระบบ (Stability of Systems) ที่จุด E_0 โดยดำเนินการหาสมการลักษณะเฉพาะ $\det(J-\lambda I_3) = 0$ เพื่อหาค่า λ เมื่อ λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะ (Eigen Values) และ I_3 เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 3×3 ดังนี้

$$J_0 = \begin{bmatrix} -\mu-\alpha & -\alpha & -(1-\rho)-\alpha \\ 0 & -\mu-\gamma & (1-\rho) \\ 0 & \gamma & -\mu-\eta \end{bmatrix}$$

$$J_0 - \lambda I_3 = \begin{bmatrix} (-\mu-\alpha)-\lambda & -\alpha & -(1-\rho)-\alpha \\ 0 & (-\mu-\gamma)-\lambda & (1-\rho) \\ 0 & \gamma & (-\mu-\eta)-\lambda \end{bmatrix}$$

$$\det\left(J_0-\lambda I_3\right)=\begin{vmatrix}(-\mu-\alpha)-\lambda & -\alpha & -(1-\rho)-\alpha \\ 0 & (-\mu-\gamma)-\lambda & (1-\rho) \\ 0 & \gamma & (-\mu-\eta)-\lambda\end{vmatrix}=0$$

$$0=\left[\left((-\mu-\alpha)-\lambda\right)\left((-\mu-\gamma)-\lambda\right)\left((-\mu-\eta)-\lambda\right)+(-\alpha)\left((1-\rho)\right)(0)+\left(-(1-\rho)-\alpha\right)(0)(\gamma)\right]-$$
$$\left[(0)\left((-\mu-\gamma)-\lambda\right)\left(-(1-\rho)-\alpha\right)+(\gamma)\left((1-\rho)\right)\left((-\mu-\alpha)-\lambda\right)+\left((-\mu-\eta)-\lambda\right)(0)(-\alpha)\right]$$
$$0=(-\lambda-\mu-\alpha)\left(\lambda^2+(2\mu+\gamma+\eta)\lambda+(\mu^2+\gamma\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma-\rho\gamma\right)$$

จะได้ $(-\lambda-\mu-\alpha)=0$ หรือ $\left(\lambda^2+(2\mu+\gamma+\eta)\lambda+(\mu^2+\gamma\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma-\rho\gamma\right)=0$

จะได้ค่าสมการลักษณะเฉพาะดังนี้ $\lambda_1=-\mu-\alpha$ และ λ_2,λ_3 หาได้จากการแก้สมการลักษณะเฉพาะ $\lambda^2+a_1\lambda+a_2=0$ โดยที่ $a_1=2\mu+\gamma+\eta$ และ $a_2=\mu^2+\gamma\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma+\rho\gamma$

จากเงื่อนไขของ Routh – Hurwitz จุดสมดุลอยู่ในสภาวะระบาดไร้โรคมีความเสถียรภาพเมื่อ $a_1>0$ และ $a_2>0$ นั่นคือ $2\mu+\gamma+\eta>0$ และ $\mu^2+\gamma\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma+\rho\gamma>0$

จะได้ว่า $\lambda_2,\lambda_3=\dfrac{-(2\mu+\gamma+\eta)\pm\sqrt{(2\mu+\gamma+\eta)^2-4[\mu^2+\gamma\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma+\rho\gamma]}}{2}$

จะพบว่า λ_2 และ λ_3 ส่วนจริงมีค่าเป็นลบเมื่อ

$$2\mu+\gamma+\eta>\sqrt{(2\mu+\gamma+\eta)^2-4[\mu^2+\gamma\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma+\rho\gamma]}$$

ดังนั้น จุดสมดุลที่ไม่มีโรคมีเสถียร เมื่อ $R_0<1$ โดยที่ $R_0=\dfrac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}$

4.1.2 **การหาจุดสมดุลที่มีโรค** (Disease Endemic Equilibrium Point)

กำหนด $\bar{E}>0$ พิจารณา $E_1\left(\bar{S}^*,\bar{E}^*,\bar{I}^*\right)$ ซึ่งได้จาก $\left(\bar{S}^*,\bar{E}^*,\bar{I}^*\right)=$

$$\left[\frac{(\eta+\mu)(\eta+\mu)}{(1-\rho)\gamma},\frac{(\eta+\mu)\left(-b(1-\rho)+\mu(\gamma+\mu)(\eta+\mu)\right)+\alpha\left(-(1-\rho)\gamma+(\gamma+\mu)(\eta+\mu)\right)))}{(1-\rho)\gamma\left((\gamma+\mu)(\eta+\mu)+\alpha(\gamma+\eta+\mu)\right))},\frac{\left(b(1-\rho)\gamma-\mu(\gamma+\mu)(\eta+\mu)+\alpha\left((1-\rho)\gamma-(\gamma+\mu)(\eta+\mu)\right)\right)}{\left((1-\rho)\left((\gamma+\mu)(\eta+\mu)+\alpha(\gamma+\eta+\mu)\right)\right)}\right]$$

ดังนั้น สมการลักษณะเฉพาะที่จุด $E_1\left(\bar{S}^*,\bar{E}^*,\bar{I}^*\right)$ โดยให้ $\det\left(J_1-\lambda I_3\right)=0$ เพื่อหาค่า λ เมื่อ λ เป็นค่าเฉพาะ และ I_3 เป็นเมตริกซ์เอกลักษณ์ขนาด 3×3 ดังนี้

$$J_1=\begin{bmatrix}-(1-\rho)\bar{I}^*-\mu-\alpha & -\alpha & -(1-\rho)\bar{S}^*-\alpha \\ (1-\rho)\bar{I}^* & -\mu-\gamma & (1-\rho)\bar{S}^* \\ 0 & \gamma & -\mu-\eta\end{bmatrix}$$

$$J_1-\lambda I_3=\begin{bmatrix}\left(-(1-\rho)\bar{I}^*-\mu-\alpha\right)-\lambda & -\alpha & -(1-\rho)\bar{S}^*-\alpha \\ (1-\rho)\bar{I}^* & (-\mu-\gamma)-\lambda & (1-\rho)\bar{S}^* \\ 0 & \gamma & (-\mu-\eta)-\lambda\end{bmatrix}$$

$$\det\left(J_1-\lambda I_3\right)=\begin{vmatrix}\left(-(1-\rho)\bar{I}^*-\mu-\alpha\right)-\lambda & -\alpha & -(1-\rho)\bar{S}^*-\alpha \\ (1-\rho)\bar{I}^* & (-\mu-\gamma)-\lambda & (1-\rho)\bar{S}^* \\ 0 & \gamma & (-\mu-\eta)-\lambda\end{vmatrix}$$

$$
\begin{aligned}
0 &= \left(-(1-\rho)\overline{I}^{*}-\mu-\alpha-\lambda\right)(-\mu-\gamma-\lambda)(-\mu-\eta-\lambda)-\alpha(1-\rho)\overline{s}^{*}(0)+\\
&\quad \left(-(1-\rho)\overline{s}^{*}-\alpha\right)(1-\rho)\overline{I}^{*}\gamma-0(-\mu-\gamma-\lambda)\left(-(1-\rho)\overline{s}^{*}-\alpha\right)\\
&\quad -\gamma(1-\rho)\overline{s}^{*}\left(-(1-\rho)\overline{I}^{*}-\mu-\alpha-\lambda\right)-(-\mu-\eta-\lambda)(1-\rho)\overline{I}^{*}(-\alpha)\\
0 &= -\left(\lambda+\overline{I}^{*}-\rho\overline{i}^{*}+\mu-\alpha-\lambda\right)(-\lambda-\mu-\gamma)(-\lambda-\mu-\eta)+0\\
&\quad -\left(\overline{s}^{*}-\rho\overline{s}^{*}+\alpha\right)(1-\rho)\overline{I}^{*}\gamma+0+\gamma(1-\rho)\overline{s}^{*}\left(\lambda+\overline{I}^{*}-\rho I^{*}+\mu+\alpha\right)+(1-\rho)\overline{I}^{*}\alpha(-\lambda-\mu-\eta)\\
0 &= -\left(\lambda+\overline{I}^{*}-\rho\overline{i}^{*}+\mu-\alpha-\lambda\right)(-\lambda-\mu-\gamma)(-\lambda-\mu-\eta)\\
&\quad +\gamma(1-\rho)\overline{s}^{*}\left(\lambda+\overline{I}^{*}-\rho I^{*}+\mu+\alpha\right)+(1-\rho)\overline{I}^{*}\alpha(-\lambda-\mu-\eta)-\left(\overline{s}^{*}-\rho\overline{s}^{*}+\alpha\right)(1-\rho)\overline{I}^{*}\gamma\\
0 &= -\lambda^{3}-\left(\overline{I}^{*}-\rho\overline{I}^{*}+3\mu+\alpha+\gamma+\eta\right)\lambda^{2}\\
&\quad -\left(2\overline{I}^{*}\mu-2\rho\overline{I}^{*}\mu+3\mu^{2}+2\alpha\mu+\overline{I}^{*}\gamma-\rho\overline{I}^{*}\gamma+2\mu\gamma+\alpha\gamma+\overline{I}^{*}\eta-\rho\overline{I}^{*}\eta+2\mu\eta+\alpha\eta+\gamma\eta\right)\lambda\\
&\quad -\overline{I}^{*}\mu^{2}+\rho\overline{I}^{*}\mu^{2}-\mu^{3}-\alpha\mu^{2}-\overline{I}^{*}\gamma\mu+\rho\overline{I}^{*}\gamma\mu-\mu^{2}\gamma-\alpha\gamma\mu-\overline{I}^{*}\mu\eta+\rho\overline{I}^{*}\mu\eta\\
&\quad -\mu^{2}\eta-\alpha\mu\eta-\overline{I}^{*}\gamma\eta+\gamma(1-\rho)\overline{s}^{*}\lambda+\gamma\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}-\gamma\left(2\rho\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}\right)+\\
&\quad \gamma\rho^{2}\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}+\gamma\rho^{2}\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}+\gamma\overline{s}^{*}\alpha+\gamma\rho\overline{s}^{*}\alpha-(1-\rho)\overline{I}^{*}\alpha\lambda-\overline{I}^{*}\alpha\mu+\rho\overline{I}^{*}\alpha\mu-\overline{I}^{*}\alpha\eta+\rho\overline{I}^{*}\alpha\eta\\
&\quad -\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}\gamma+2\rho\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}\gamma-\alpha\overline{I}^{*}\gamma-\rho^{2}\overline{s}^{*}\overline{I}^{*}\gamma+\alpha\rho\overline{I}^{*}\gamma\\
0 &= -\lambda^{3}-\left(\overline{I}^{*}-\rho\overline{I}^{*}+3\mu+\alpha+\gamma+\eta\right)\lambda^{2}\\
&\quad +\left(-2\overline{I}^{*}\mu+2\rho\overline{I}^{*}\mu-3\mu^{2}-2\alpha\mu-\alpha\gamma-\overline{I}^{*}\eta+\rho\overline{I}^{*}\eta-2\mu\eta-\alpha\eta-\gamma\eta+\gamma\overline{s}^{*}-\gamma\rho\overline{s}^{*}-\overline{I}^{*}\alpha+\rho\overline{I}^{*}\alpha\right)\lambda\\
&\quad -\overline{I}^{*}\mu^{2}+\rho\overline{I}^{*}\mu^{2}-\mu^{3}-\alpha\mu^{2}-\overline{I}^{*}\gamma\mu+\rho\overline{I}^{*}\mu\eta-\mu^{2}\eta-\alpha\gamma\mu-\overline{I}^{*}\mu\eta+\rho\overline{I}^{*}\gamma\eta-\mu\gamma\eta-\alpha\gamma\eta+\gamma\overline{s}^{*}\mu\\
&\quad -\gamma\rho\overline{s}^{*}\mu-\gamma\rho\overline{s}^{*}\alpha-\overline{I}^{*}\alpha\mu+\rho\overline{I}^{*}\alpha\eta-\alpha\overline{I}^{*}\gamma+\alpha\rho\overline{I}^{*}\gamma
\end{aligned}
$$

จัดในรูปของ $\lambda^3+a\lambda^2+b\lambda+c=0$ เมื่อ $a=\left(3\mu+\eta+\gamma-\alpha+(1-\rho)\overline{I}^{*}\right)$

$b=(3\mu^{2}+2\eta\mu+2(1-\rho)\overline{I}^{*}\mu+(1-\rho)\overline{I}^{*}\eta+(1-\rho)\overline{I}^{*}\gamma-(1-\rho)\overline{S}^{*}\gamma-(1-\rho)\overline{I}^{*}\alpha+\mu-2\alpha\mu+\gamma\eta-\alpha\eta-\alpha\gamma+\mu\gamma)$

$c=\left(\mu^{2}+\mu+\mu\eta+\gamma\eta-\gamma\overline{S}^{*}+\rho\gamma\overline{S}^{*}\right)\left(\alpha-\overline{I}^{*}+\rho\overline{I}^{*}-\mu\right)-\left(\alpha+\overline{S}^{*}-\rho\overline{S}^{*}\right)(1-\rho)\overline{I}^{*}\gamma$

ดังนั้น λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะ (Eigen Values) โดยหาได้จากสมการลักษณะเฉพาะจากสมการ $\lambda^3+a\lambda^2+b\lambda+c=0$ จะได้ว่า $ab>c$ นั้นคือสมการ $\lambda^3+a\lambda^2+b\lambda+c=0$ สอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz

4.2 การหาค่าระดับการติดเชื้อ (Basic Reproductive Number : R_0)

การหาค่าระดับการติดเชื้อหาค่า Spectral Radius ของ FV^{-1} โดยใช้ Next Generation Method ซึ่งได้จากสมการ (1) - (4) จะได้เมตริกซ์ในรูป $\frac{dX}{dt}=F(X)-V(X)$ เพื่อหาค่า Spectral Radius FV^{-1} ซึ่ง $F(X)$ และ $V(X)$ ได้จากอนุพันธ์ย่อย (Partial Derivative) ดังนี้

$$X = \begin{bmatrix} S \\ E \\ I \\ R \end{bmatrix},\ F = \left[\frac{\partial\left(F_i(E_0)\right)}{\partial X_i}\right] \text{และ } V = \left[\frac{\partial\left(V_i(E_i)\right)}{\partial X_i}\right]$$

เมื่อ $F(X)$ คือ เมตริกซ์ของผู้ป่วยเพิ่มขึ้น และ $V(X)$ คือเมตริกซ์ของผู้ป่วยที่เปลี่ยนสถานะ จากกลุ่มหนึ่งไปอีกหนึ่งโดยพิจารณาค่าระดับการติดเชื้อ R_0 ดังนี้

$$F(X) = \begin{bmatrix} 0 \\ (1-\rho)SI \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V(X) = \begin{bmatrix} -bN + (I-\rho)SI + \mu S + \alpha R \\ \mu E + \gamma E \\ \mu I - \gamma E + \eta I \\ \mu R + \alpha R - \eta I \end{bmatrix}$$

ดังนั้น
$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ (1-\rho)I & 0 & (1-\rho)S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$F(E_0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\rho)N & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} (1-\rho)I + \mu & 0 & (1-\rho)S & \alpha \\ 0 & \mu + \gamma & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma & \mu + \eta & 0 \\ 0 & 0 & -\eta & \mu + \alpha \end{bmatrix}$$

$$FV^{-1}(E_0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dfrac{(\alpha\gamma\eta - (\mu+\alpha)\gamma(1-\rho)N)(1-\rho)N}{\mu(\alpha+\mu)(\eta+\mu)(\gamma+\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{N(1-\rho)}{\mu+\gamma} & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)} & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{\eta\gamma(1-\rho)N}{(\alpha+\mu)(\eta+\mu)(\gamma+\mu)} & 0 \end{bmatrix}$$

พิจารณา $\left|Fv^{-1}(E_0) - \lambda I_4\right| = 0$

$$\left|\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{(\alpha\gamma\eta-(\mu+\alpha)\gamma(1-\rho)N)(1-\rho)N}{\mu(\alpha+\mu)(\eta+\mu)(\gamma+\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{N(1-\rho)}{\mu+\gamma} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\eta\gamma(1-\rho)N}{(\alpha+\mu)(\eta+\mu)(\gamma+\mu)} & 0 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\right| = 0$$

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 0 & \frac{(\alpha\gamma\eta-(\mu+\alpha)\gamma(1-\rho)N)(1-\rho)N}{\mu(\alpha+\mu)(\eta+\mu)(\gamma+\mu)} & 0 \\ 0 & -\lambda & \frac{N(1-\rho)}{\mu+\gamma} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}-\lambda & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\eta\gamma(1-\rho)N}{(\alpha+\mu)(\eta+\mu)(\gamma+\mu)} & -\lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$-\lambda(-\lambda)\left(\gamma N \times \frac{1-\rho}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)} - \lambda\right)(-\lambda) = 0$$

$$-\lambda(-\lambda)\left(-\lambda + \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}\right)(-\lambda) = 0$$

$$-\lambda^3\left(-\lambda + \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}\right) = 0$$

จะได้ $\lambda^3 = 0$ หรือ $\left(-\lambda + \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}\right) = 0$

นั่นคือ $\lambda = 0$ หรือ $\lambda = \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}$

ดังนั้น คำนวณหาค่า Spectral Radius ของ $FV^{-1}(E_0)$ เขียนแทนด้วย

$$\rho\left[FV^{-1}(E_0)\right] = \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}$$

จะได้ $R_0 = \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}$

ดังนั้น จุดสมดุลที่มีโรคมีเสถียรภาพ เมื่อ $R_0 > 1$ โดย $R_0 = \frac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}$

โดยพิจารณา ดังนี้

1. ค่า R_0 ณ จุดสมดุลที่ไม่มีโรคมีค่า $R_0 < 1$ จะไม่เกิดการแพร่ระบาด และ
2. ค่า R_0 ณ จุดสมดุลที่มีโรคมีค่า $R_0 > 1$ จะเกิดการแพร่ระบาด

4.3 การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis)

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ ซึ่งมีค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโรคไข้หวัดใหญ่

ข้อความ	สัญลักษณ์	พารามิเตอร์	หน่วย
อัตราการเสียชีวิตของประชากรมนุษย์	μ	0.00003702	ต่อวัน
อัตราการเกิดของประชากร	b	0.00003702	ต่อวัน
ประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้	ρ	0-1	ต่อวัน
อัตราการฟักตัวของเชื้อ	γ	0.0015	ต่อวัน
อัตราการหายจากโรคไข้หวัดใหญ่	η	0.085	ต่อวัน
อัตราการเสี่ยงกลับมาเป็นโรคไข้หวัดใหญ่อีกครั้ง	α	0.001	ต่อวัน

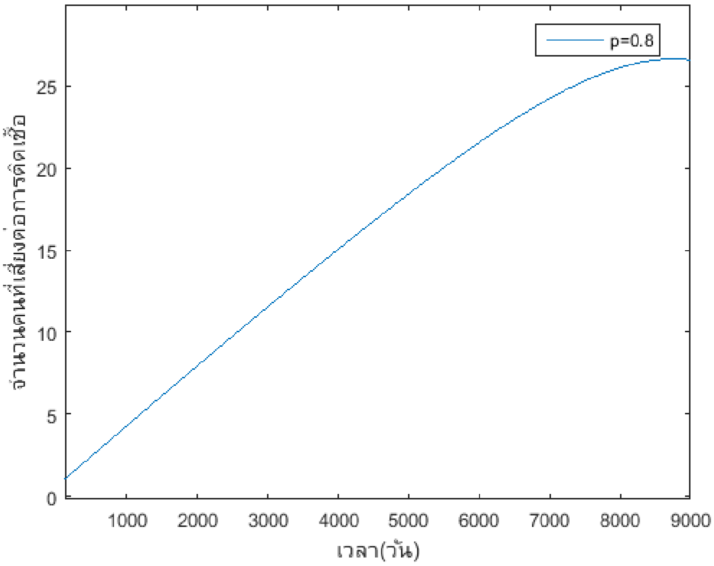
ผู้วิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้แล้วหาค่าระดับการติดเชื้อ (Basic Reproductive Number : R_0) พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ของประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้กับค่าระดับการติดเชื้อได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ของประสิทธิภาพอัตราการรณรงค์ให้ความรู้กับค่าระดับการติดเชื้อ

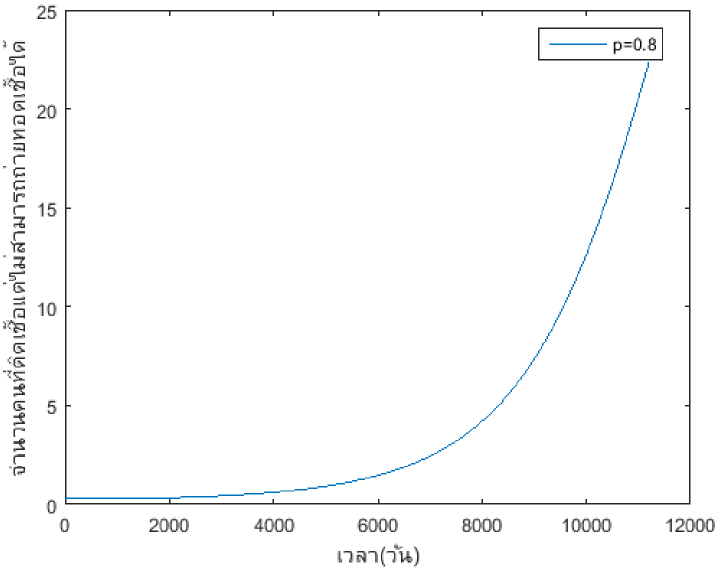
ประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ (ρ)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
ค่าระดับการติดเชื้อ (R_0)	4.249	3.824	3.399	2.974	2.549	2.124	1.699	1.275	0.850	0.425	0

จากกตารางที่ 2 พบว่าค่าระดับการติดเชื้อ (R_0) มีค่า $R_0 < 1$ เมื่อประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ $\rho > 0.8$ วิเคราะห์ได้ว่า ณ จุดสมดุลจะไม่มีโรคจึงไม่เกิดการแพร่ระบาดของโรคและมีค่า $R_0 > 1$ เมื่อประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ $\rho < 0.7$ วิเคราะห์ได้ว่า ณ จุดสมดุลมีโรคจึงเกิดการแพร่ระบาดของโรค

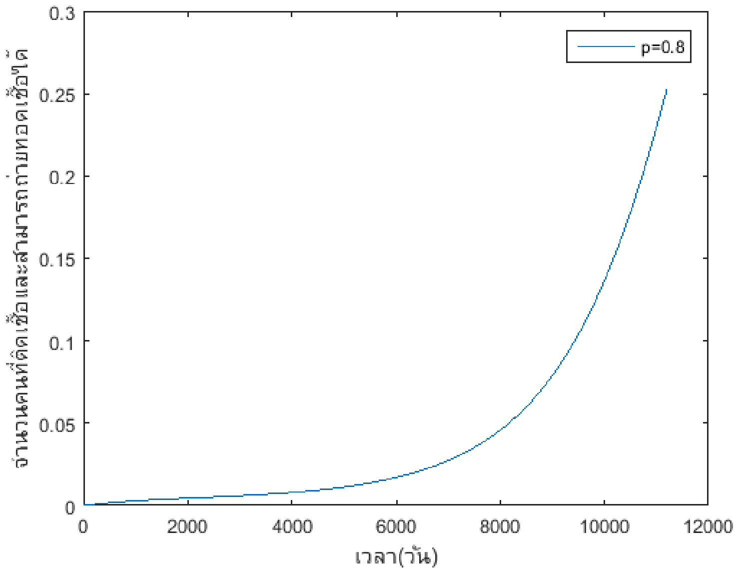
เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของระบบ ณ จุดสมดุลที่ไม่มีโรค จะพบว่าค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda_1 =$ -0.00103702, $\lambda_2 =$ -0.013822195 และ $\lambda_3 =$ -0.012248155 ซึ่งทุกค่ามีส่วนจริงเป็นค่าลบและสอดคล้องกับเงื่อนไขของ Routh-Huewitz ส่งผลให้คำตอบจะลู่เข้าสู่จุด $E_0 =$ (10000, 0, 0, 0) ดังนั้น จุดสมดุลที่ไม่มีโรค E_0 จะเป็น Local asymptotically ดังภาพ



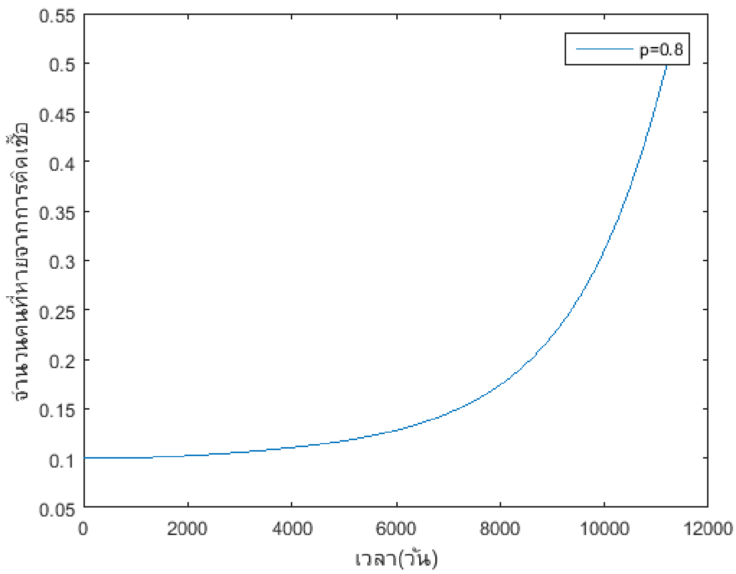
ภาพที่ 5 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง (S) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.8$ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่ไม่มีโรค



ภาพที่ 6 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.8$ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่ไม่มีโรค

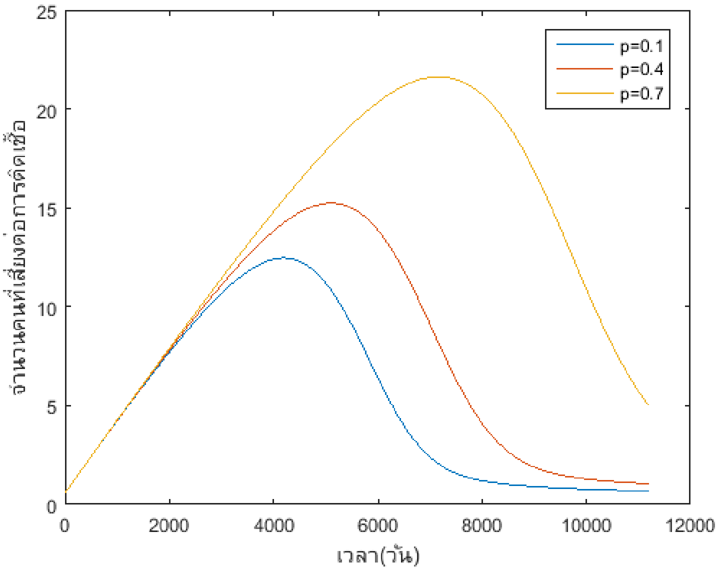


ภาพที่ 7 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.8$ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่ไม่มีโรค

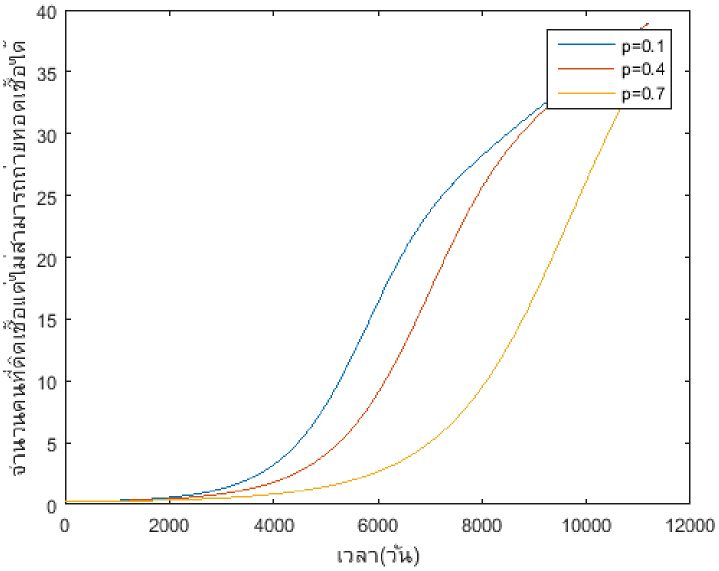


ภาพที่ 8 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มที่หาย (R) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.8$ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่ไม่มีโรค

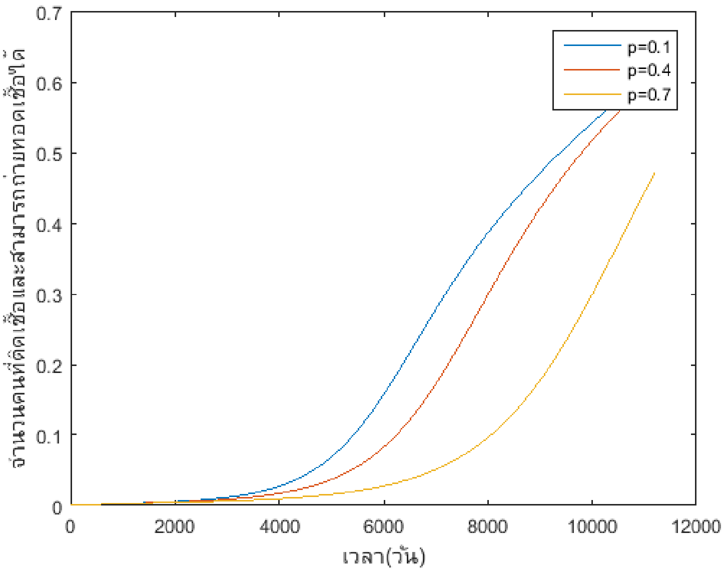
เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของระบบ ณ จุดสมดุลที่มีโรค จะพบว่าค่าลักษณะเฉพาะจากสมการ $\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c = 0$ โดยที่ a=0.09143136, b=-0.00664893, ab=-0.000607921 และ c=-0.00077867 จะได้ค่า $ab > c$ นั่นคือสมการ $\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c = 0$ สอดคล้องกับเงื่อนไข Routh-Hurwitz ส่งผลให้คำตอบจะลู่เข้าสู่จุด $E_1(\overline{S}^*, \overline{E}^*, \overline{I}^*, \overline{R}^*)$ ดังนั้น จุดสมดุลที่มีโรค $E_1(\overline{S}^*, \overline{E}^*, \overline{I}^*, \overline{R}^*)$ จะเป็น Local Asymptotically เมื่อแทนค่า ρ = 0.1, 0.4 และ 0.7 ดังรูป



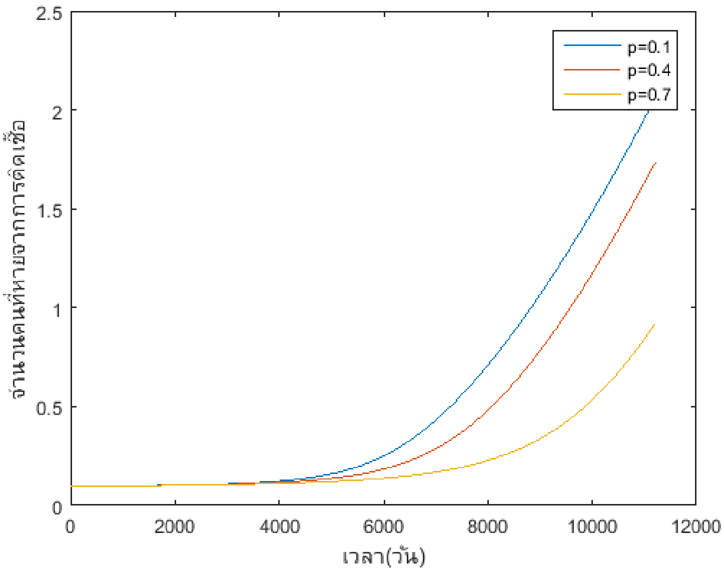
ภาพที่ 9 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง (S) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.1, 0.4$ และ 0.7 ตามลำดับ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่มีโรค



ภาพที่ 10 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มติดเชื้อแต่ไม่สามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (E) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.1, 0.4$ และ 0.7 ตามลำดับ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่มีโรค



ภาพที่ 11 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มติดเชื้อและสามารถถ่ายทอดเชื้อได้ (I) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.1, 0.4$ และ 0.7 ตามลำดับ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่มีโรค



ภาพที่ 12 อัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรกลุ่มที่หาย (R) ณ เวลา t ใด ๆ เมื่อ $\rho = 0.1, 0.4$ และ 0.7 ตามลำดับ ณ เสถียรภาพของจุดสมดุลที่มีโรค

จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ โดยพบว่าถ้าประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อไข้หวัดใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่เป็นจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้การแพร่ระบาดของโรคลดลงจนกระทั่งไม่มีการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่และจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่เป็นจำนวนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของประชากรทั้งหมด จะส่งผลให้การแพร่ระบาดของโรคลดลงจนกระทั่งไม่มีการแพร่ระบาดของเชื้อ

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอัตราการรณรงค์ป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ และวิเคราะห์เสถียรภาพของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอัตราการรณรงค์ป้องกันการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ ระบบสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ซึ่งประกอบด้วยประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ ประชากรที่ติดเชื้อแต่ไม่สามารถแพร่เชื้อได้ ประชากรที่ติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ และประชากรที่หายป่วยจากโรค ซึ่งผู้วิจัยได้เพิ่มค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้ (ρ) เป็นปัจจัยสำคัญในตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์แล้วใช้วิธีการวิเคราะห์วิธีมาตรฐาน และวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับตรวจสอบการแพร่ระบาดของโรค

ผู้วิจัยได้พิจารณาจุดสมดุลที่ไม่มีโรคและจุดสมดุลที่เกิดการแพร่ระบาดของโรค โดยการวิเคราะห์จุดสมดุลและเสถียรภาพของจุดสมดุลด้วยวิธีการวิเคราะห์วิธีมาตรฐาน ซึ่งค่าเสถียรภาพของระบบ Local Asymptotically State ที่ได้ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของ Routh-Hurwitz เพื่อให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ R_0 ซึ่งมีความจำเป็นภายใต้เงื่อนไข เพื่อให้ Local Asymptotically Stability of Equilibrium State ที่มีเสถียรภาพในส่วนของจุดสมดุลที่ไม่มีโรคและจุดสมดุลที่มีการแพร่ระบาดของโรค โดยที่ $R_0 = \dfrac{\gamma N(1-\rho)}{(\mu+\eta)(\mu+\gamma)}$ สามารถพิจารณาค่าระดับการติดเชื้อ (R_0) โดยที่ $R_0 < 1$ วิเคราะห์ได้ว่า ณ จุดสมดุลจะไม่มีโรคจึงไม่เกิดการแพร่ระบาดของโรคและค่า $R_0 > 1$ วิเคราะห์ได้ว่า ณ จุดสมดุลมีการติดเชื้อจึงเกิดการแพร่ระบาดของโรค จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข พบว่า จุดสมดุลทั้งสองเป็น Local Asymptotically State ณ จุดสมดุลที่ไม่มีโรค เมื่อ $\rho =$ 0.8, 0.9 และ1.0 พบว่าค่าระดับการติดเชื้อ $R_0 =$ 0.8497090, 0.424854 และ 0 ตามลำดับ และ ณ จุดสมดุลที่มีการแพร่ระบาดของโรค เมื่อ $\rho =$ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, และ0.7 พบว่าค่าระดับการติดเชื้อ $R_0 =$ 3.82369, 3.398835, 2.973981, 2.549126, 2.124272, 1.699418 *และ* 1.274563 ตามลำดับ

สรุป

จากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของอัตราการรณรงค์ให้ความรู้เป็นผลปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ โดยพบว่าถ้าประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคไข้หวัดใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่เป็นจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้การแพร่ระบาดของโรคลดลง จนกระทั่งไม่มีการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ ดังนั้นสามารถนำผลจากการวิจัยตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่โดยการรณรงค์ให้ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ให้จำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อมีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่เป็นจำนวนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของประชากรทั้งหมด

ดังนั้นสามารถนำผลจากการวิจัยตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ นำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการป้องกันโรคเพื่อลดจำนวนผู้ป่วยและใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการให้กับหน่วยงานที่เฝ้าระวังของสำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข รวมทั้งนำเสนอข้อมูลต่อหน่วยงานด้านสาธารณสุขดำเนินการหามาตรการควบคุมและป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่โดยการรณรงค์ให้ความรู้ให้กับประชาชนทั่วไปที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ

ข้อเสนอแนะ

1. ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรคชนิดอื่นที่มีลักษณะการแพร่ระบาดคล้ายกับโรคไข้หวัดใหญ่ได้

2. สามารถวิจัยและศึกษาองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ โดยการเพิ่มค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ การฉีดวัคซีนป้องกันโรค เป็นต้น

คำขอบคุณ)

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.บัณฑิตย์ อันยงค์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย และขอบคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตที่ให้การสนับสนุน คำปรึกษาและสถานที่ในการดำเนินการจัดทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

อนุวัตร จิรวัฒนาพาณิชและคณะ. (2560). ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ SEIR สำหรับการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคอิสุกอิใสโดยการรณรงค์ให้ความรู้. มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

กรมควบคุมโรค. (2561). ไข้หวัดใหญ่ (Influenza). สำนักระบาดวิทยา กระทรวงสาธารณสุข. [Online].www.boe.moph.go.th/fact/Influenza.htm , (16 กรกฎาคม 2562)

จักรพงษ์ บรูมินเหนทร์. (มปป).ไข้หวัดใหญ่ H1N1 ระบาด ถึงตายถ้าไม่ป้องกัน.[Online].https://med.mahidol.ac.th, (18 กรกฎาคม 2562)

เอกพงษ์ บุญเซ็น. (มปป). แบบจำลอง SIR สำหรับการย้ายถิ่นของประชากรหนึ่งกลุ่ม. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รุจิรา คงนุ้ย และคณะ. (2557). ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์กับวิวัฒนาการระบาดวิทยาของโรคไข้หวัด ไข้หวัดใหญ่ ไข้หวัดนก ไข้หวัดหมูในประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

มนัสนันท์ ลิมปวิทยากุล และชมพูนุช โมรา. (2558). การเฝ้าระวังโรคไข้หวัดใหญ่ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่ชายแดนไทย-สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว : กรณีศึกษา จังหวัดอุบลราชธานี.มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

มาลี ศรีพรหม และคณะ. (2559). ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของโรคไข้หวัดใหญ่ โดยพิจารณาผลกระทบจากปริมาณน้ำฝน. มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

Kermack, W. O. and McKendrick, A. G.. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. Proc. Roy. Soc. Lond. A 115: 700-721.