

แนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมบนพื้นฐานแบบจำลอง  
เชิงคณิตศาสตร์สำหรับรับมือกับการระบาดของโรคมะลาเรีย

เอกสารวิจัยส่วนบุคคล



โดย

พันเอก อาคิส บุญยะประภัศร  
อาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

วิทยาลัยการทัพบก

กันยายน 2567

เอกสารวิจัยเรื่อง แนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมบนพื้นฐานแบบจำลอง  
เชิงคณิตศาสตร์สำหรับรับมือกับการระบาดของโรคมะลาเรีย


โดย พันเอก อาศิร บุญยะประภัศร

อาจารย์ที่ปรึกษา พันเอกหญิง กนิษฐา ฐิติวัฒนา

---

วิทยาลัยกองทัพบก อนุมัติให้เอกสารวิจัยส่วนบุคคลฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรหลักประจำ วิทยาลัยการทัพบก ปีการศึกษา 2567 และเห็นชอบให้เป็น  
เอกสารวิจัยส่วนบุคคลที่อยู่ในเกณฑ์ระดับ **ดีมาก**

พลตรี

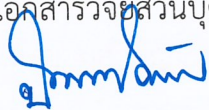


(ทนงศักดิ์ มหาวงศ์)

ผู้บัญชาการวิทยาลัยการทัพบก

คณะกรรมการควบคุมเอกสารวิจัยส่วนบุคคล

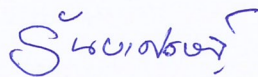
พันเอก



ประธานกรรมการ

(ประภาส แก้วศรีงาม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.



ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษา

(อินยเศรษฐ์ เศรษฐบุต)

พันเอกหญิง



กรรมการ

(กนิษฐา ฐิติวัฒนา)

พันเอกหญิง



กรรมการ

(จิตติมา รวยรื่น)



## บทคัดย่อ

ผู้วิจัย	พันเอก อาศิส บุญยะประภัศร
เรื่อง	แนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมบนพื้นฐานแบบจำลอง เชิงคณิตศาสตร์สำหรับรับมือกับการระบาดของโรคมาลาเรีย
วันที่	11 กันยายน 2567      จำนวนคำ : 11650      จำนวนหน้า : 44
คำสำคัญ	โรคระบาด โรคมาลาเรีย การควบคุมป้องกันไม่เชิงเส้น การควบคุมแบบซินเนอร์เจติก
ชั้นความลับ	ไม่มีชั้นความลับ

โรคมาลาเรียเป็นโรคระบาดหนึ่งที่เป็นปัญหาสาธารณสุขของประเทศในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนรวมถึงประเทศไทย ดังนั้นการกำหนดมาตรการควบคุมจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรให้ความสำคัญและทำการศึกษา จากการศึกษาพลวัตของระบบการระบาดของโรคมาลาเรียสามารถนำเสนอด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการอนุพันธ์ ทำให้การกำหนดมาตรการควบคุมสามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้องกันแบบซินเนอร์เจติก วิธีการควบคุมนี้ยังมีข้อได้เปรียบที่เหนือการควบคุม แบบสไลด์ดิ้งโหมดหรือแบบแผนเลื่อนในแง่ของการปราศจากปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายที่ความถี่สูงในสัญญาณควบคุม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ประการแรกคือ การศึกษาการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบซินเนอร์เจติกในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมาลาเรียบนพื้นฐานแบบจำลอง และมีวัตถุประสงค์ถัดมาคือการศึกษาพฤติกรรมพลวัตของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการออกแบบตัวควบคุมแบบซินเนอร์เจติก สำหรับวัตถุประสงค์สุดท้ายคือ การศึกษาแนวทางการนำการควบคุมป้องกันไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมาลาเรียของหน่วยงานในกองทัพบก จากผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่ามาตรการควบคุมที่กำหนดขึ้นสามารถควบคุมประชากรกลุ่มเป้าหมายไปสู่ระดับที่ต้องการได้ ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ของกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ด้วยการวิเคราะห์แบบ SWOT และ 4M เพื่อนำไปสู่การกำหนดกลยุทธ์

โดยใช้เครื่องมือ TOWS Matrix ทำให้ได้โครงการที่สอดคล้องกับกลยุทธ์สำหรับ  
กวค.สทศ.รร.จปร. และกลยุทธ์เหล่านี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำการออกแบบ  
ตัวควบคุมแบบซินเนอร์เจติกและตัวควบคุมป้อนกลับแบบอื่น ๆ สำหรับนำไปประยุกต์ใช้  
กำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียโดยหน่วยงานต่าง ๆ ของกองทัพบก



## ABSTRACT

**AUTHOR:** Colonel Arsit Boonyaprapasorn  
**TITLE:** Approach of Setting Control Measures Based on Mathematical Model for Suppressing of Malaria Epidemic  
**DATE:** 11 September 2024 **WORD COUNT:** 11650 **PAGES:** 44  
**KEY TERMS:** Epidemic disease, Malaria disease, Nonlinear feedback control, Synergetic control  
**CLASSIFICATION** Unclassified

Malaria is an epidemic disease which is considered as a serious public health problem in tropical and subtropical countries including Thailand. Thus, the formulation of control measures is an important issue to be studied. Given that the dynamics of a malaria epidemic system can be presented by mathematical models in the form of a differential equation, the formulation of control measures can be efficiently achieved by applying the synergetic feedback controller design process. This control method also has a key advantage over sliding mode control in terms of its chattering-free characteristic. Therefore, the first purpose of this study was to examine the application of the synergetic control in formulating malaria control measures based on the mathematical model. The second purpose was to study the dynamic behavior of the epidemic control system under the synthesized control measures via simulation. The last purpose was to determine the required implementations for units in the Royal Thai Army in applying feedback control to set the malaria control measures. The simulation results showed that the control measures could manipulate the target subpopulation to the desired levels. In this study, SWOT and 4M analyses were employed to evaluate the factors collected from the Department of

Mechanical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy. The TOWS Matrix tool was then used to formulate strategies, resulting in projects aligned with the strategies for the Department of Mechanical Engineering. These strategies can serve as a guideline for implementing synergetic controller and other feedback controller designs, which can be applied to set measures for controlling malaria outbreaks by units in the Royal Thai Army.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในหัวข้อ “แนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับรับมือกับการระบาดของโรคมาลาเรีย” สามารถดำเนินการให้สำเร็จได้ ผู้วิจัยต้องกราบขอบพระคุณ ผู้บัญชาการวิทยาลัยการทัพบก ที่ได้กรุณาอนุมัติให้กระผมได้มีโอกาสในการทำวิจัยในหัวข้อวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พันเอกหญิง กนิษฐา ฐิติวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำด้านกระบวนการคิดเชิงยุทธศาสตร์ จนทำให้โครงการนี้ได้ดำเนินการอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ดร. วีระพัฒน์ กฤตธนาทิพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษประจำกลุ่มวิจัย ที่ได้กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเครื่องมือของการบริหารเชิงกลยุทธ์ต่าง ๆ

อีกทั้งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พันเอก. ประภาส แก้วศรีงาม ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉันทเศรษฐ์ เศรษฐบุตร์ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษา และ พันเอกหญิง จิตติมา รวยรื่น กรรมการ ที่กรุณาสละเวลาร่วมทำการสอบการศึกษาวิจัยนี้ รวมถึงการให้ความเห็น กรุณาตรวจสอบความถูกต้อง และความสมบูรณ์ด้านเนื้อหาสาระของผลงานทางวิชาการ ตลอดจนให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่าน ทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาและความรู้ให้กับผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

สุดท้ายแต่ไม่ท้ายสุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ให้การสนับสนุนทุก ๆ ด้าน ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จด้วยความเรียบร้อยและสมบูรณ์

# สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	3
กรอบแนวคิดการวิจัย	3
วิธีการศึกษา	6
ประโยชน์ที่ได้รับ	7
<b>บทที่ 2 บทวิเคราะห์</b>	<b>8</b>
ทบทวนวรรณกรรม	8
แบบจำลองการระบาดของโรคมะเร็ง	11
การควบคุมป้องกันแบบซินเนอร์เจติก	13
การกำหนดมาตรการควบคุมโรคมะเร็งโดยการควบคุมป้องกันแบบซินเนอร์เจติก	14
การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมายของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้กำหนดขึ้นโดยการจำลองสถานการณ์	16
การศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งด้วยการควบคุมป้องกันไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบก	29
<b>บทที่ 3 บทอภิปรายผล</b>	<b>40</b>
อภิปรายผลการศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งที่ได้นำเสนอและพฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมายของระบบควบคุม	40



อภิปรายผลการศึกษานำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุม การระบาดของโรคมลาเรียด้วยการควบคุมป้อนกลับไปประยุกต์ใช้ โดยหน่วยงานในกองทัพบก	41
<b>บทที่ 4 บทสรุป</b>	<b>43</b>
สรุปผลการศึกษา	43
ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย	44
ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป	44
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	
<b>ภาคผนวก</b>	
<b>ประวัติย่อผู้วิจัย</b>	

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากโรคระบาดเป็นหนึ่งในภัยคุกคามต่อความมั่นคงรูปแบบใหม่ (Non-traditional threat)<sup>1</sup> ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงในหลายมิติ ทั้งการทหาร<sup>1-9</sup> เศรษฐกิจ<sup>10-13</sup> การเมือง<sup>14-18</sup> สังคมจิตวิทยา<sup>10, 19, 20</sup> ฯลฯ และผลกระทบดังกล่าวสามารถลดทอนพลังอำนาจของชาติอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังจะเห็นจากผลกระทบของโรคระบาดที่เกิดขึ้นในสมัยโบราณ นำไปสู่การตกเป็นอาณานิคมสเปนของอาณาจักรในทวีปอเมริกาใต้เนื่องจากความอ่อนแอของรัฐที่เกิดจากโรคระบาด<sup>21</sup> นอกจากนี้ยังมีการนำโรคระบาดมาใช้ในรูปแบบของอาวุธชีวภาพซึ่งมีอำนาจการทำลายล้างสูง (Weapon of mass destruction) ในรูปแบบของสงครามชีวภาพ (Biological warfare) และการก่อการร้ายทางชีวภาพ (Bioterrorism) ดังเช่นการรบที่แอนซิโอ (Battle of Anzio) ประเทศอิตาลี ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยฝ่ายเยอรมันได้พยายามทำให้เกิดการเพิ่มจำนวนของยุงพาหะ เพื่อให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคมาลาเรียในเหล่าทหารสัมพันธมิตร อย่างไรก็ตามผู้ที่ได้รับผลกระทบคือพลเรือน เนื่องจากขาดแคลนเวชภัณฑ์และสิ่งจำเป็นในการป้องกันและการรักษาโรคมาลาเรีย<sup>6</sup>

โรคมาลาเรียเป็นโรคติดต่อเชื้อโรคหนึ่ง ที่เป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญ ซึ่งองค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ได้ให้ความสนใจ<sup>22, 23</sup> จากรายงานขององค์การอนามัยโลก พบว่าในปี ค.ศ. 2021 จำนวนของประชากรที่มีความเสี่ยงในการติดเชื้อโรคมาลาเรียอยู่ที่ประมาณครึ่งหนึ่งของประชากรโลก โดยพบว่ามีผู้ติดเชื้อจำนวน 247 ล้านคนและมีผู้เสียชีวิตจากโรคมาลาเรียไม่น้อยกว่า 600,000 คน<sup>22</sup> และมีการระบาดของโรคนั้นพบได้ไม่น้อยกว่า 80 ประเทศทั่วโลก ในหลายทวีป เช่น แอฟริกา อเมริกาใต้ เอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตะวันออกกลาง ยุโรปตะวันออก และพื้นที่ในมหาสมุทรแปซิฟิกใต้<sup>22, 24, 25</sup> โรคมาลาเรียมีสาเหตุมาจากเชื้อโปรโตซัวในสกุลพลาสโมเดียม (Genus *Plasmodium*) โดยมียุงก้นปล่อง (*Anopheles*) เป็นพาหะนำโรค<sup>22-24</sup> สำหรับอาการโดยทั่วไปของโรคมาลาเรียที่ปรากฏคือการเป็นไข้จับสั่นซึ่งผู้ป่วยจะมีไข้ ปวดหัว และหนาวสั่น รวมทั้งอาจมีอาการปวดกล้ามเนื้อร่วมด้วย ในบางกรณีอาการของผู้ป่วยสามารถพัฒนาไปสู่ระดับที่มีความรุนแรงได้แก่ อ่อนเพลีย สูญเสียความรู้สึกตัว ตัวเหลือง มีภาวะเลือดจาง อวัยวะภายในทำงาน

ผิดปกติ นำไปสู่การหมดสติ และเสียชีวิตได้<sup>22, 26</sup> การควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียสามารถดำเนินการผ่านมาตรการป้องกันและการรักษา มาตรการป้องกันที่สำคัญคือ 1) ป้องกันการถูกกัดจากยุงก้นปล่อง เช่น การใช้มุ้งหรือมุ้งที่มีการเคลือบน้ำยา ยาทาที่ยุง การกำจัดยุงรวมทั้งกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ยุง 2) กินยาป้องกันก่อนเข้าพื้นที่ที่มีการระบาดของโรคมาลาเรีย (Chemoprophylaxis) อย่างไรก็ตามการนำวัคซีนมาใช้ในการป้องกันยังไม่สามารถดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากวัคซีนสำหรับโรคนี้อยู่ในขั้นตอนของการศึกษาวิจัย<sup>22, 27</sup> ในส่วนของการรักษา โดยทั่วไปยารักษาจะเป็นยาสูตรผสมระหว่าง Artemisinin กับยาชนิดอื่น ๆ <sup>22, 28</sup> สำหรับสถานการณ์ในประเทศไทย โรคมาลาเรียถือเป็นโรคประจำถิ่น โดยพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งแพร่เชื้อจะเป็นพื้นที่ของจังหวัดตามแนวชายแดนที่ติดกับประเทศเพื่อนบ้าน เนื่องจากเป็นพื้นที่ป่าที่มียุงก้นปล่องที่เป็นพาหะของโรคอาศัยอยู่ จากรายงานการสำรวจโดยกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข พบว่าในปี 2566 มีรายงานผู้ป่วยจากโรคมาลาเรียมากกว่า 16,000 ราย ประเทศไทยมีการจัดทำยุทธศาสตร์การกำจัดโรคมาลาเรียในประเทศไทย โดยมีเป้าหมายในการกำจัดโรคไข้มาลาเรียให้หมดไปจากประเทศภายในปี พ.ศ. 2567<sup>29-31</sup> ในส่วนของการกักตักพบได้ให้ความสำคัญกับการควบคุมการระบาดและดูแลสุขภาพของกำลังพลที่ปฏิบัติภารกิจในพื้นที่ตามแนวชายแดนซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการระบาด<sup>4, 5, 8, 9, 32</sup>

การอธิบายพลวัตของการระบาดต่าง ๆ สามารถกระทำได้ผ่านแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ซึ่งเป็นเซตของสมการอนุพันธ์ซึ่งเรียกว่าแบบจำลองแบบแบ่งส่วนหรือแบบจำลองห้อง (Compartment model) ซึ่งถูกนำไปใช้ในการอธิบายพลวัตของระบบโรคระบาดหลายโรค เช่น วัณโรค โรคซิฟิลิส ไข้โรคไข้เลือดออก เป็นต้น<sup>21, 33-57</sup> เนื่องจากในแบบจำลองได้มีการอธิบายความสัมพันธ์ของประชากรกลุ่มย่อยต่าง ๆ ในระบบโรคระบาดแต่ละโรครวมถึงผลจากมาตรการควบคุมต่าง ๆ และผลกระทบ จากปัจจัยต่าง ๆ <sup>21, 33-59</sup> สำหรับโรคมาลาเรีย แบบจำลองในรูปแบบนี้ได้ถูกพัฒนา อย่างหลากหลายโดยผู้วิจัยก่อนหน้า <sup>35-41, 60-79</sup>

จากรูปแบบการนำเสนอแบบจำลองแบบแบ่งส่วนนี้ ทำให้มีความเป็นไปได้ในการนำกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมในรูปแบบวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาเป็นปัญหาการควบคุมป้อนกลับไม่เชิงเส้นดังเช่นงานวิจัยที่มีก่อนหน้าและเอกสารที่ปรากฏในงานวิจัยเหล่านี้<sup>57, 80-102</sup> โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการประยุกต์ใช้แนวทางการหาค่าเหมาะสมที่สุดพลวัต<sup>57-59, 70-74, 98, 103-110</sup>



จากความสำคัญของการควบคุมโรคมมาลาเรีย ทั้งในแง่ปัญหา ด้านความมั่นคงและปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ที่ใช้อธิบายพฤติกรรมพลวัตการระบาด และความเป็นไปได้ในการกำหนดมาตรการควบคุม ตามแนวทางการควบคุมย้อนกลับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการประยุกต์ใช้ การควบคุมย้อนกลับในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมมาลาเรีย และศึกษาถึงพฤติกรรม พลวัตของระบบควบคุมการระบาดของโรคมมาลาเรียภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้กำหนด ขึ้น

เนื่องจากความสำคัญของปัญหาการระบาดของโรคมมาลาเรียที่เกิดขึ้น ในพื้นที่ตามแนวชายแดน และควมมีประสิทธิภาพของแนวทางการกำหนดมาตรการ ควบคุมการระบาดของโรคมมาลาเรียด้วยการควบคุมย้อนกลับ และยังสามารถนำแนวทาง ดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมให้กับโรคระบาดชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย และการศึกษานำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมมาลาเรียด้วยการควบคุม ย้อนกลับไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบกจึงเป็นอีกหนึ่งประเด็น ที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

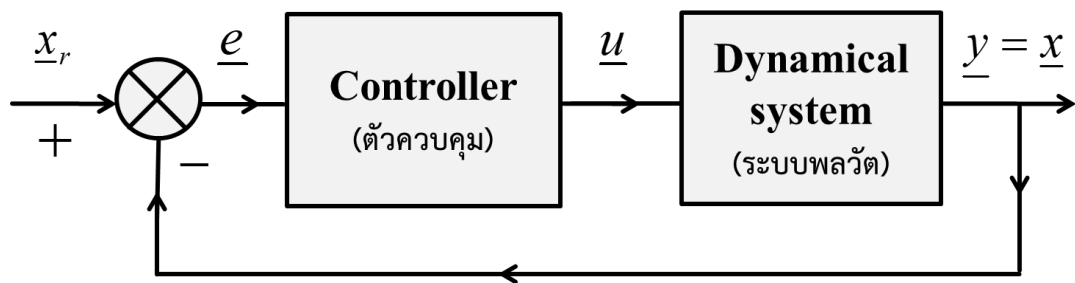
1. เพื่อศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมมาลาเรีย บนพื้นฐานของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์โดยการควบคุมย้อนกลับ
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมาย ของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้กำหนดขึ้น
3. เพื่อศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมที่ใช้ในการศึกษานี้ ไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบก

## 3. กรอบแนวคิดการวิจัย

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ การศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของ โรคได้ถูกดำเนินการโดยใช้หลักการของการควบคุมย้อนกลับ (Feedback control) ซึ่งสามารถอธิบายอย่างสังเขปได้ตามแผนผังในภาพที่ 1.1 ตามเอกสารอ้างอิง<sup>57, 59, 103-107, 111-113</sup> โดยมีหัวใจสำคัญคือ การดำเนินการออกแบบตัวควบคุม (Controller) เพื่อให้ได้ เวกเตอร์ของตัวแปรควบคุม (Control variable vector) หรือ อินพุตควบคุม (Control input vector;  $\underline{u}$ ) ซึ่งทำให้เวกเตอร์สัญญาณขาออก (Output vector;  $\underline{y}$ ) ที่เป็น

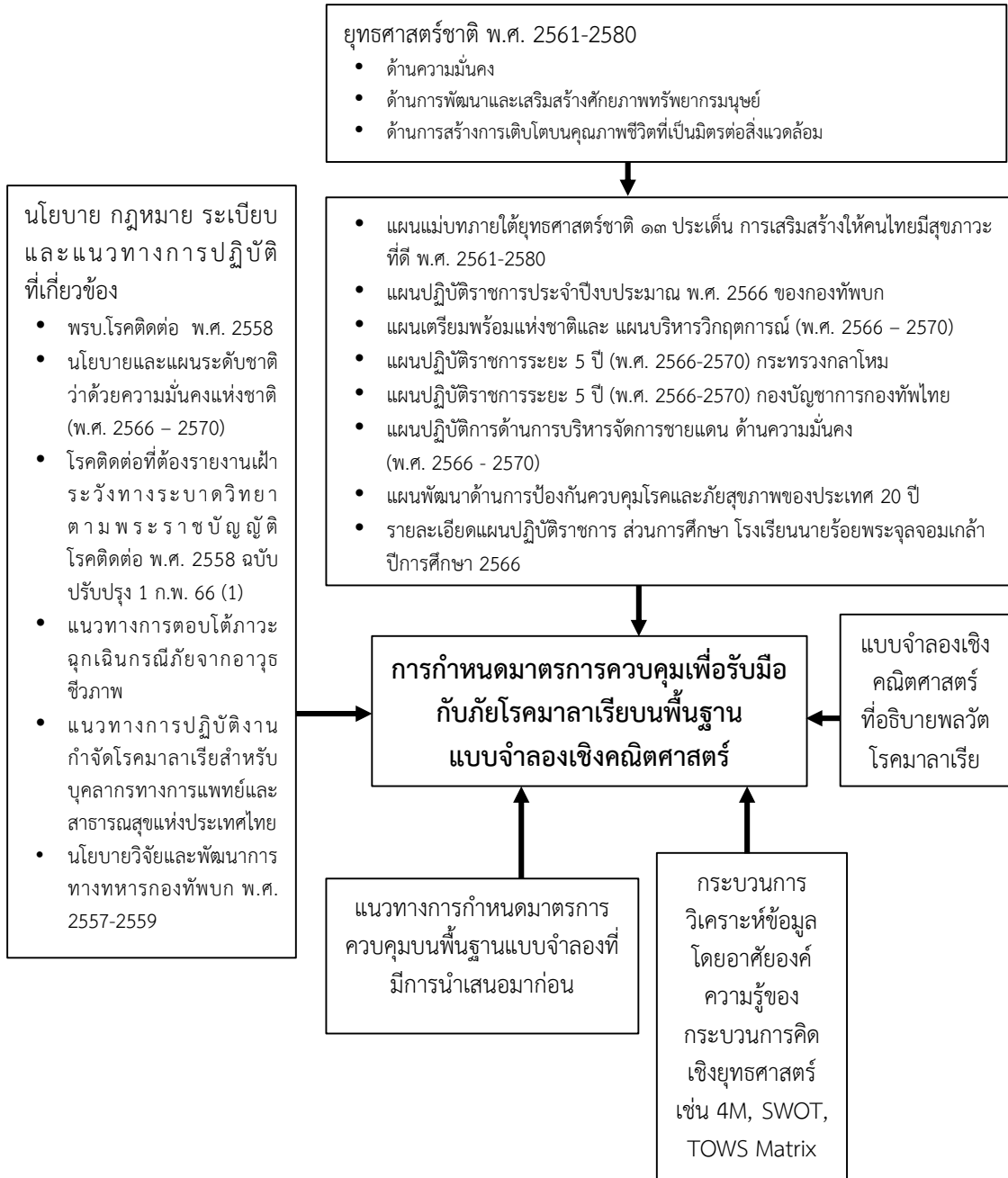
ฟังก์ชันของเวกเตอร์ตัวแปรสเตทหรือเวกเตอร์ตัวแปรสภาวะ (State vector;  $\underline{x}$ ) สามารถติดตาม (Track) เวกเตอร์สัญญาณอ้างอิง (Reference signal vector;  $\underline{x}_r$ ) โดยผลต่างระหว่างสัญญาณขาออกและสัญญาณอ้างอิงนี้คือ เวกเตอร์ค่าความผิดพลาด (Error vector;  $\underline{e}$ )<sup>57, 59, 103-107, 111-113</sup>

สำหรับการศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการควบคุมป้อนกลับในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคระบาดนั้น เริ่มจากพิจารณาการระบาดของโรคเป็นระบบพลวัตแบบหนึ่ง จากนั้นดำเนินการออกแบบกฎการควบคุม (Control law) ที่อยู่ภายในตัวควบคุมทำให้ได้เวกเตอร์ควบคุมซึ่งคือมาตรการควบคุมที่ถูกป้อนให้กับระบบโรคระบาดเพื่อให้สามารถควบคุมการระบาดของโรคได้ตามวัตถุประสงค์การควบคุมการระบาด<sup>57, 59, 103-107, 111-113</sup>



ภาพที่ 1.1 หลักการควบคุมป้อนกลับ (Feedback control) ซึ่งประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคระบาด<sup>57, 59, 103-107, 111-113</sup>

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการนำองค์ความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์มาศึกษาวิเคราะห์ปัญหาด้านความมั่นคง รวมทั้งศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมไปใช้โดยหน่วยงานของกองทัพบกโดยอาศัยการวิเคราะห์ของกระบวนการคิดเชิงยุทธศาสตร์ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในเอกสาร<sup>57, 114-117</sup> กรอบการวิจัยของการศึกษานี้จึงสามารถสรุปและแสดงได้ดังภาพที่ 1.2<sup>21, 32-41, 57-74, 80-110, 114-144</sup>



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย<sup>21, 32-41, 57-74, 80-110, 114-144</sup>



## 4. วิธีการศึกษา

### 1. รูปแบบหรือแนวทางที่ใช้ในการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้ ใช้การทบทวนวรรณกรรมและการวิจัยเชิงยุทธศาสตร์ตามแนวทางที่วิทยาลัยการทัพบกกำหนด

### 2. ขอบเขตการศึกษา

1) การศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมalaria เรื้อผ่านกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติกบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

2) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา เป็นแบบจำลองซึ่งอธิบายพฤติกรรมพลวัตของโรคมalaria เรื้ออยู่ตัวแบบเชิงกำหนด (Deterministic model) และเป็นสมการอนุพันธ์สามัญเชิงเส้น (Linear) หรือไม่เชิงเส้น (Nonlinear)

3) ทำการศึกษาพฤติกรรมของระบบควบคุมการระบาดของโรคมalaria เรื้อ โดยการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

4) การวิเคราะห์การนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมที่ใช้ในการศึกษาไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการระบาดของโรคมalaria เรื้อในกองทัพบก ดำเนินการบนพื้นฐานองค์ความรู้ของกระบวนการคิดเชิงยุทธศาสตร์

### 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การจำลองสถานการณ์ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา โดยข้อมูลจะได้รับการจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมการระบาดของโรคมalaria เรื้อ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมที่ใช้ในการศึกษาไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานของกองทัพบก ได้จากการรวบรวมหลักฐานและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้องในรูปแบบต่าง ๆ

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของระบบโรคระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่กำหนดขึ้น

กระบวนการคิดเชิงยุทธศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมที่ใช้ในการศึกษาไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานของกองทัพบก

## 5. ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ช่วงเวลา	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
		66	67	67	67	67	67	67
เลือกเรื่องและกำหนดหัวข้อการวิจัย		↔						
สอบการนำเสนอโครงร่างเอกสารวิจัย			↔					
ศึกษาค้นคว้าที่มาของปัญหา			↔	↔				
วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล					↔			
สรุปผลการวิจัย						↔		
นำเสนอผลการวิจัย							↔	
จัดทำรูปเล่ม								↔

## 5. ประโยชน์ที่ได้รับ

1) มาตรการควบคุมโรคมาลาเรียในรูปแบบวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับแบบจำลองการระบาดของโรคที่พิจารณา สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการควบคุมเพื่อรับมือกับการระบาดของโรคมาลาเรีย ทั้งในรูปแบบของการเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือการเกิดจากกระทำของมนุษย์ ในรูปแบบของสงครามชีวภาพ (Biological warfare) หรือการก่อการร้ายทางชีวภาพ (Bioterrorism)

2) เนื่องจากการใช้อาวุธชีวภาพนั้นสามารถสร้างจากโรคระบาดที่หลากหลาย ซึ่งก่อให้เกิดการระบาดของโรคที่แตกต่างกัน จากแนวคิดในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคผ่านกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้องกันที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปขยายผล เพื่อประยุกต์ใช้ควบคุมกับโรคระบาดอื่น ๆ ที่มีการอธิบายพลวัตของระบบการระบาดด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ได้เช่นกัน

3) ผลการจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียสามารถอธิบายขีดความสามารถของมาตรการควบคุมที่กำหนดขึ้นให้ชัดเจนและเข้าใจได้ง่าย และทำให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถเห็นภาพหรือทำนายผลจากการใช้มาตรการควบคุมตามที่กำหนดขึ้นได้

4) ได้แนวทางการดำเนินการสำหรับการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมที่ใช้ในการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบก

## บทที่ 2

### บทวิเคราะห์

เนื้อหาในบทนี้ ประกอบด้วยหัวข้อย่อย 6 หัวข้อดังต่อไปนี้ 1. การทบทวนวรรณกรรม 2. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของโรคมะเร็ง 3. การควบคุมป้องกันแบบซินเนอร์เจติก 4. การกำหนดมาตรการควบคุมโรคมะเร็งโดยกระบวนการออกแบบตัวควบคุมแบบซินเนอร์เจติก 5. การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมายของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้กำหนดขึ้น โดยการจำลองสถานการณ์ และ 6. การศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งด้วยการควบคุมป้องกันไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบก

#### 1. ทบทวนวรรณกรรม

ในส่วนของทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายพฤติกรรมพลวัตของโรคระบาดด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ และการกำหนดมาตรการควบคุมสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

การระบาดของโรคเป็นหนึ่งในระบบพลวัตที่สามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ในลักษณะของเซตของสมการอนุพันธ์ไม่เชิงเส้น (Set of nonlinear differential equations) สำหรับพลวัตการระบาดของโรคโดยทั่วไป จะมีการพัฒนาในรูปแบบของแบบจำลองห้องหรือแบบจำลองแบบแบ่งส่วน (Compartment model)<sup>21, 33-57, 60-76, 78, 79, 98, 145</sup> โดยแบบจำลองนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประชากรกลุ่มย่อยที่เกี่ยวข้องกับการระบาด เช่น ประชากรกลุ่มย่อยไวต่อการติดเชื้อ (Susceptible subpopulation) ประชากรกลุ่มย่อยติดเชื้อ (Infected subpopulation) ประชากรกลุ่มย่อยหายจากโรค (Recovered subpopulation) เป็นต้น<sup>21, 33-57, 60-76, 78, 79, 98, 145</sup> โดยที่ประชากรกลุ่มย่อยเหล่านี้ถูกพิจารณาเป็นตัวแปรสถานะ (State variable) ของระบบพลวัต และมาตรการควบคุมต่าง ๆ เช่น การรักษา (Treatment) การกักกัน (Quarantine) การให้วัคซีน (Vaccination) การกำจัดพาหะ (Vector) ของโรคระบาดและแหล่งเพาะพันธุ์พาหะ เป็นต้น ซึ่งมาตรการเหล่านี้ถูกพิจารณาเป็น ตัวแปรควบคุม (Control variable) หรืออินพุตควบคุม (Control input) ของระบบพลวัต<sup>21, 33-57, 70-76, 78, 79, 84, 98</sup> นอกจากนี้ได้มีการนำปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบาดเข้ามาอยู่ในโครงสร้างของแบบจำลองด้วย เช่น ผลกระทบ



จากฤดูกาล รูปแบบของการติดเชื้อ การเดินทางข้ามประเทศ ฯลฯ<sup>21, 33-57, 60-69, 75</sup> องค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ประชากรกลุ่มย่อย มาตรการควบคุม ปัจจัยต่าง ๆ และรายละเอียดต่าง ๆ ที่ผู้สร้างแบบจำลองได้เพิ่มเติมเข้ามาในโครงสร้างของแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถอธิบายหรือสะท้อนถึงพฤติกรรมพลวัตของการระบาดให้มีความถูกต้องและมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมพลวัตการระบาดที่เกิดขึ้นของโรคระบาดนั้น ๆ ให้ได้มากที่สุด ดังจะเห็นได้จากแบบจำลองต่าง ๆ สำหรับโรคระบาดชนิดต่าง ๆ ได้ถูกสร้างขึ้นหรือพัฒนาอย่างหลากหลายและได้มีการนำเสนอโดยคณะผู้วิจัยก่อนหน้า<sup>21, 33-57, 60-76, 78, 79, 98, 145</sup> จากเอกสารอ้างอิง<sup>21, 58</sup> การศึกษาบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มีข้อได้เปรียบที่สำคัญได้แก่ 1) ค่าใช้จ่ายน้อย 2) สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย 3) แบบจำลองทำให้มีข้อมูลที่เพียงพอในการศึกษาวิเคราะห์ ซึ่งอาจไม่เพียงพอจากการศึกษาโดยการทดลอง และ 4) สามารถนำมาใช้กำหนดมาตรการควบคุมพฤติกรรมพลวัตของระบบพลวัตนั้น ๆ<sup>21, 33, 34, 57, 58, 103</sup>

โดยทั่วไป การหาค่าเหมาะสมที่สุดพลวัต (Dynamic optimization) ตามหลักการค่าสูงสุดของพอนทรียาจิน (Pontryagin's maximum principles) เป็นแนวทางที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคระบาดบนพื้นฐานแบบจำลองแบบแบ่งส่วนหรือแบบจำลองห้อง ในแนวทางนี้ การแก้หาผลเฉลยจากเซตของสมการแฮมิลตัน-จาโคบี (Hamilton-Jacobi's equation) จะทำให้ได้ตัวแปรควบคุมซึ่งก็คือมาตรการควบคุมการระบาด ในการกำหนดมาตรการควบคุมตามแนวทางนี้ แบบจำลองของระบบจะต้องมีความแม่นยำ และการหาผลเฉลยจากเซตของสมการแฮมิลตัน-จาโคบี เพื่อหาตัวแปรควบคุมในรูปแบบวิเคราะห์ (Analytical form) จะมีความซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบไม่เชิงเส้นที่มีอันดับสูง (High-order nonlinear system) การหาค่าตัวแปรควบคุมมักจะอยู่ในรูปแบบเชิงตัวเลข (Numerical form) เป็นส่วนใหญ่<sup>21, 33-74, 98</sup>

การควบคุมป้อนกลับเป็นแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมบนพื้นฐานแบบจำลองแบบแบ่งส่วนที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล<sup>57-59, 103-110</sup> โดยดำเนินการกำหนดมาตรการควบคุมผ่านกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับ (Feedback controller design procedure) บนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ยิ่งไปกว่านั้น การสังเคราะห์ตัวแปรควบคุมในรูปแบบวิเคราะห์มีความซับซ้อนน้อยกว่าการสังเคราะห์ด้วยการหาค่าเหมาะสมที่สุดพลวัต และสามารถดำเนินการได้แม้ว่าจะได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง และการมีอยู่ของสัญญาณรบกวน ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักเกิดขึ้นและ/หรือหลีกเลี่ยงได้ยากในทางปฏิบัติ<sup>57, 58</sup> จึงมีผู้วิจัย

ได้ทำการประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมป้อนกลับแบบต่าง ๆ เพื่อกำหนดมาตรการควบคุมบนพื้นฐานแบบจำลองห้องหรือแบบแบ่งส่วน ดังแสดงในงานวิจัยก่อนหน้า<sup>57, 80-90, 98-102</sup> นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างของระบบพลวัตของโรคระบาดจะเห็นได้ว่า ระบบพลวัตของโรคระบาดนั้นมีองค์ประกอบของประชากรกลุ่มย่อยและมาตรการซึ่งมีประเภทและจำนวนของประชากรกลุ่มย่อยแตกต่างกัน<sup>21, 33-57</sup> ในกรณีที่แบบจำลองประกอบด้วยประชากรกลุ่มย่อยหลายกลุ่มและมีมาตรการควบคุมหลายมาตรการ การกำหนดมาตรการควบคุมสามารถพิจารณาเป็นปัญหาการควบคุมป้อนกลับของระบบไม่เชิงเส้นอันดับสูงที่มีหลายสัญญาณขาเข้าและหลายสัญญาณขาออก (Multiple-input and multiple-output; MIMO)<sup>57, 80-102</sup> วิธีการควบคุมป้อนกลับหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมคือการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด (Sliding mode control; SMC)<sup>57, 105, 108-110</sup> หรือการควบคุมเลื่อนไถล<sup>112</sup> หรือการควบคุมแบบแผนเลื่อน<sup>113</sup> ดังเช่นงานวิจัยที่มีมาก่อน<sup>57, 80, 83, 88-97, 102</sup> แม้ว่าวิธีการควบคุมนี้จะมีประสิทธิภาพในการกำหนดมาตรการควบคุมและมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวน (Disturbance) และความไม่แน่นอน (Uncertainties)<sup>57, 89, 105, 108-110</sup> การประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมนี้ยังมีข้อด้อยในการนำไปใช้ในทางปฏิบัติคือปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุม (Chattering phenomenon)<sup>57, 105, 108-110, 112, 113</sup>

จากรูปแบบปัญหาการควบคุมที่กล่าวมาจะเห็นว่า หนึ่งในวิธีการควบคุมที่น่าสนใจและมีความเหมาะสมกับการนำกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมคือ การควบคุมแบบซินเนอร์เจติก (Synergetic control; SC)<sup>57, 59, 98-101, 146-161</sup> เป็นการควบคุมป้อนกลับที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบพลวัตไม่เชิงเส้นอันดับสูงที่มีหลายสัญญาณขาเข้าและหลายสัญญาณขาออก<sup>57, 59, 146-156</sup> ซึ่งเป็นคุณลักษณะเดียวกับโครงสร้างของแบบจำลองที่อธิบายพลวัตโรคระบาดที่มีหลายมาตรการควบคุมและประชากรกลุ่มย่อยหลายกลุ่มดังที่กล่าวมาข้างต้น และวิธีการควบคุมนี้ได้ถูกนำไปใช้ในควบคุมระบบพลวัตต่าง ๆ เช่น ระบบไฟฟ้ากำลัง<sup>150-153, 162, 163</sup> ระบบเชิงกล<sup>149</sup> หุ่นยนต์<sup>154, 164</sup> ระบบปรับอากาศ<sup>165, 166</sup> เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน<sup>158</sup> ระบบชีวภาพ<sup>57, 59, 98-101, 157, 159-161</sup> ฯลฯ ซึ่งมีข้อได้เปรียบสำคัญคือ การปราศจากปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุม (Chattering phenomenon)<sup>105, 108-110, 149-151, 154, 164</sup> ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการควบคุมแบบแผนเลื่อน ตามที่ได้กล่าวในเอกสารอ้างอิง<sup>57, 59, 109, 150, 151, 154</sup>

จากการทบทวนวรรณกรรมและความรู้ที่ดีที่สุดของผู้วิจัย การนำการควบคุมแบบซินเนอร์เจติกมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมสำหรับการระบาดของโรคมาลาเรีย ยังไม่มีการนำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้

จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมสำหรับโรคมาลาเรียโดยอาศัยกระบวนการออกแบบตัวควบคุมแบบซินเนอร์เจติกบนพื้นฐานแบบจำลองห้องหรือแบบแบ่งส่วนซึ่งใช้อธิบายพลวัตการระบาดของโรค

ดังที่กล่าวในบทที่ 1 การศึกษาแนวทางการนำการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียด้วยการควบคุมป้อนกลับบนพื้นฐานแบบจำลองไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานของกองทัพบกเป็นประเด็นที่จะทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยอาศัยองค์ความรู้ของกระบวนการคิดเชิงยุทธศาสตร์หรือการบริหารเชิงกลยุทธ์ เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิเคราะห์<sup>117, 125-127, 133-135, 138-143</sup> เนื่องจากองค์ความรู้นี้มีหลักการและวิธีการวิเคราะห์ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สถานะแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกองค์กรหรือหน่วยงานในกองทัพบกที่จะทำการศึกษา ตลอดจนสามารถนำไปสู่การกำหนดกลยุทธ์ให้กับองค์กรหรือหน่วยงานของกองทัพบกเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำการควบคุมป้อนกลับไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรีย

## 2. แบบจำลองการระบาดของโรคมาลาเรีย

เนื่องจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในรูปแบบของแบบจำลองห้องหรือแบบจำลองแบบแบ่งส่วน (Compartment model) เป็นแบบจำลองซึ่งใช้ในการอธิบายพลวัตการระบาดของโรคมาลาเรียเช่นเดียวกับโรคระบาดอื่น ๆ ในส่วนของโรคมาลาเรียซึ่งเป็นโรคที่มีพาหะนำโรค (Vector borne disease) นอกเหนือจากประชากรมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับการระบาดแล้ว ยังมีพลวัตของประชากรพาหะเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างหลากหลายโดยคณะผู้วิจัยก่อนหน้าและ/หรือทำการศึกษาวัดและการควบคุมการระบาดบนพื้นฐานแบบจำลองเหล่านี้<sup>35-41, 57, 60-76, 78, 145, 167</sup>

ในการศึกษานี้ได้เลือกแบบจำลองซึ่งได้มีการนำเสนอโดย Okosun และคณะ<sup>38, 40</sup> เนื่องจากแบบจำลองนี้มีมาตรการควบคุมที่ได้มีการใช้ในทางปฏิบัติ<sup>4, 5, 8, 9, 22, 25, 26, 28, 32</sup> อีกทั้งแบบจำลองนี้ยังได้ถูกนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมด้วยกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับโดย Rajaei และคณะ<sup>84</sup> ซึ่งแบบจำลองนี้ประกอบด้วยประชากรกลุ่มย่อยต่าง ๆ ของมนุษย์และยุง ในส่วนของประชากรมนุษย์ได้แก่ ประชากรกลุ่มย่อยไวต่อการติดเชื้อ (Susceptible subpopulation;  $S_h$ ), ประชากรกลุ่มย่อยที่รับเชื้อ (Exposed subpopulation;  $E_h$ ), ประชากรกลุ่มย่อยติดเชื้อ และสามารถแพร่เชื้อได้ (Infected subpopulation;  $I_h$ ), ประชากรกลุ่มย่อยหายจากโรค

(Recovered subpopulation;  $R_h$ ) และประชากรกลุ่มย่อยต่าง ๆ ของยุงก้นปล่องได้แก่ ประชากรยุงกลุ่มย่อยไวต่อการติดเชื้อ (Susceptible mosquito subpopulation;  $S_v$ ), ประชากรยุงกลุ่มย่อยที่รับเชื้อ (Mosquito exposed subpopulation;  $E_v$ ), และ ประชากรยุงกลุ่มย่อยติดเชื้อและสามารถแพร่เชื้อได้ (Infected mosquito subpopulation;  $I_v$ ) สำหรับมาตรการควบคุมในแบบจำลองนี้ประกอบด้วย การใช้มุ้ง อาน้ำยา (Treated bednets;  $u_1$ ) การรักษา (Treatment;  $u_2$ ) และการพ่นยาฆ่าแมลง เพื่อกำจัดยุง (Insecticide spray;  $u_3$ ) จากเอกสารอ้างอิง<sup>40, 84</sup> แบบจำลองถูกแสดง ดังต่อไปนี้<sup>40, 84</sup>:

$$\begin{aligned}
\dot{S}_h &= \Lambda_h + \kappa R_h - (1 - u_1(t))\beta_m S_h - \mu_h S_h \\
\dot{E}_h &= (1 - u_1(t))\beta_m S_h - (\alpha_1 + \mu_h)E_h \\
\dot{I}_h &= \alpha_1 E_h - (b + \tau u_2(t))I_h - (\psi_p + \mu_h)I_h \\
\dot{R}_h &= (b + \tau u_2(t))I_h + (\kappa + \mu_h)R_h \\
\dot{S}_v &= \Lambda_v - (1 - u_1(t))\lambda_v S_v - p u_3(t) S_v - \mu_v S_v \\
\dot{E}_v &= (1 - u_1(t))\lambda_v S_v - p u_3(t) E_v - (\alpha_2 + \mu_v)E_v \\
\dot{I}_v &= \alpha_2 E_v - p u_3(t) I_v - \mu_v I_v.
\end{aligned} \tag{2.1}$$

โดยที่  $\beta_m = \beta \epsilon \phi I_v / N_h$  และ  $\lambda_v = \lambda \epsilon \phi I_h / N_h$  สำหรับค่าพารามิเตอร์ของระบบในสมการ (2.1) นั้นเป็นไปตามที่กำหนดในงานวิจัย<sup>38, 40, 84</sup> โดยสามารถรวบรวมและสรุปได้ดังนี้ (i)  $\phi$  แทนอัตราของการติดต่อกับมนุษย์ และ  $\epsilon$  แทนอัตราของการกัดของยุง (ii)  $\beta$  และ  $\lambda$  แทนความน่าจะเป็นที่มนุษย์และยุงมีโอกาสติดเชื้อตามลำดับ (iii)  $\Lambda_v$  และ  $\Lambda_h$  แทนอัตราการเกิดของมนุษย์และยุง (iv)  $\mu_h$  และ  $\mu_v$  อัตราการตายตามธรรมชาติของมนุษย์และยุง (v)  $b$  แทนการหายจากโรคโดยธรรมชาติ (vi)  $\alpha_1$  และ  $\alpha_2$  อัตราก้าวหน้าของมนุษย์และยุงจากสถานะรับเชื้อไปสู่สถานะติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ (vii)  $\tau$  แทนสัดส่วนของประชากรกลุ่มย่อยที่ได้รับการรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ (viii)  $\psi_p$  แทนการชักนำไปสู่การตาย และ (ix)  $p$  แทนประสิทธิภาพในการพ่นฆ่ายุง

เพื่อความสะดวกและความเหมาะสมในการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับ กำหนดให้  $x_1 = S_h$ ,  $x_2 = E_h$ ,  $x_3 = I_h$ ,  $x_4 = R_h$ ,  $x_5 = S_v$ ,  $x_6 = E_v$  และ  $x_7 = I_v$  ระบบพลวัตใน (2.1) สามารถเขียนได้ในรูปแบบแอฟฟิน (Affine form) ได้ดังนี้

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}(\mathbf{x})\mathbf{u}, \tag{2.2}$$

เมื่อ  $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7]^T$ ,  $\mathbf{u} = [u_1 \ u_2 \ u_3]^T$ ,

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}) \\ f_2(\mathbf{x}) \\ f_3(\mathbf{x}) \\ f_4(\mathbf{x}) \\ f_5(\mathbf{x}) \\ f_6(\mathbf{x}) \\ f_7(\mathbf{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda_h + \kappa x_4 - \beta_m x_1 - \mu_h x_1 \\ \beta_m x_1 - (\alpha_1 + \mu_h) x_2 \\ \alpha_1 x_2 - b x_3 - (\psi + \mu_h) x_3 \\ b x_3 + (\kappa + \mu_h) x_4 \\ \Lambda_v - \lambda_v x_5 - \mu_v x_5 \\ \lambda_v x_5 - (\alpha_2 + \mu_v) x_6 \\ \alpha_2 x_6 - \mu_v x_7 \end{bmatrix},$$

$$\text{และ } \mathbf{g}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} g_{11}(\mathbf{x}) & g_{12}(\mathbf{x}) & g_{13}(\mathbf{x}) \\ g_{21}(\mathbf{x}) & g_{22}(\mathbf{x}) & g_{23}(\mathbf{x}) \\ g_{31}(\mathbf{x}) & g_{32}(\mathbf{x}) & g_{33}(\mathbf{x}) \\ g_{41}(\mathbf{x}) & g_{42}(\mathbf{x}) & g_{43}(\mathbf{x}) \\ g_{51}(\mathbf{x}) & g_{52}(\mathbf{x}) & g_{53}(\mathbf{x}) \\ g_{61}(\mathbf{x}) & g_{62}(\mathbf{x}) & g_{63}(\mathbf{x}) \\ g_{71}(\mathbf{x}) & g_{72}(\mathbf{x}) & g_{73}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_m x_1 & 0 & 0 \\ -\beta_m x_1 & 0 & 0 \\ 0 & -\tau x_3 & 0 \\ 0 & \tau x_3 & 0 \\ \lambda_v x_5 & 0 & -p x_5 \\ -\lambda_v x_5 & 0 & -p x_6 \\ 0 & 0 & -p x_7 \end{bmatrix}.$$

โดยที่ตัวแปรสแตท (State variables) ของระบบพลวัตของการระบาด เป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้  $0 \leq x_1, x_2, \dots, x_4 \leq \lim_{t \rightarrow \infty} N_h(t) \leq \frac{\Lambda_h}{\mu_h}$  และ  $0 \leq x_5, x_6, x_7 \leq \lim_{t \rightarrow \infty} N_v(t) \leq \frac{\Lambda_v}{\mu_v}$

สำหรับมาตรการควบคุมจะเป็นไปตามเงื่อนไข  $0 \leq u_1, u_2, u_3 \leq 1$  <sup>38, 40, 84</sup>

### 3. การควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติก

หลักการควบคุมนี้ได้ถูกนำเสนอโดย Kolesnikov และคณะ<sup>57, 59, 146-156</sup> นอกเหนือจากการปราศจากปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุม (Chattering phenomenon)<sup>105, 108-110, 149-151, 154</sup> การควบคุมแบบซินเนอร์เจติกยังสามารถทำให้ระบบควบคุมมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ผู้ออกแบบต้องการได้แก่ เสถียรภาพวงกว้าง (Global stability) ความไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ (Parameter insensitivity) และการระงับสัญญาณรบกวน (Noise suppression) โดยที่ระบบพลวัตภายใต้การควบคุมแบบซินเนอร์เจติกจะมีคุณสมบัติเหล่านี้ได้นั้นขึ้นกับการเลือกตัวแปรแมโคร (Macro variable) ในกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติกของผู้ออกแบบ<sup>57, 149-151, 156</sup> วิธีการควบคุมนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการควบคุมโรคระบาดต่าง ๆ เช่น โรคไวรัสฮีโบล่า<sup>57, 98</sup> โรคอีโบล่า<sup>99</sup> และโรคไวรัสตับอักเสบบี (Hepatitis B; HBV)<sup>100</sup>

จากเอกสารอ้างอิง <sup>57, 59, 98-101, 146-148, 150-154, 157-161, 164</sup> ขั้นตอนในการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับ (Feedback controller design procedure) ตามแนวทางการควบคุมแบบซินเนอร์เจติกมีดังนี้

1) กำหนดตัวแปรแมโคร (Macro variable) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันของตัวแปรสแตท (State variable)  $\psi(x, t)$  ซึ่งสอดคล้องกับมิติของอินพุตและวัตถุประสงค์การควบคุมซึ่งใช้ในการสร้างแมนิโฟลด์ (Manifold)  $\psi = 0$

2) กำหนดพลวัตการเปลี่ยนแปลง (Dynamic evolution) ของตัวแปรแมโครที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1) ซึ่งอยู่ในรูปแบบ  $T_c \dot{\psi} + \psi = 0$  เมื่อ  $T_c$  เป็นพารามิเตอร์ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการเข้าสู่แมนิโฟลด์ (Manifold)  $\psi = 0$

3) หาอินพุตควบคุม (Control input) หรือตัวแปรควบคุม (Control variable) โดยการแก้สมการพลวัตการเปลี่ยนแปลงร่วมกับระบบพลวัตที่พิจารณา

#### 4. การกำหนดมาตรการควบคุมโรคมลาเรียโดยการควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติก

เนื่องจากแนวทางการศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมลาเรียด้วยการควบคุมแบบซินเนอร์เจติก (Synergetic control; SC) ในหัวข้อย่อยนี้ จึงได้แสดงกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับของวิธีการควบคุมแบบซินเนอร์เจติก ซึ่งขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติกซึ่งกล่าวในหัวข้อ 3 จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมลาเรียนบนพื้นฐานแบบจำลองในสมการ (2.1) และแสดงโดยสังเขปดังต่อไปนี้

สำหรับวัตถุประสงค์การควบคุม (Control objectives) คือการทำให้ประชากรกลุ่มย่อยของมนุษย์ได้แก่ ประชากรกลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2 = E_h$ ) ประชากรกลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3 = I_h$ ) และประชากรยุงกลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_7 = I_v$ ) มีค่าน้อยที่สุดหรือเข้าสู่ศูนย์ที่เวลานั้น<sup>38, 40, 84</sup> วัตถุประสงค์การควบคุมนี้สามารถเขียนได้รูปของความผิดพลาด ( $e_i$ ) ดังสมการ (2.3)<sup>84</sup>:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_i(t) \rightarrow 0 \quad (2.3)$$

เมื่อ  $e_i = x_i - x_{ir}$  สำหรับ  $i=2,3,7$  สำหรับ  $x_{ir}$  คือสัญญาณอ้างอิงที่สอดคล้องกับ  $x_i$  ซึ่งกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การควบคุมตามที่ได้นำเสนอโดย Rajaei และคณะ<sup>84</sup> และปรากฏในเอกสารอ้างอิงโดย Sharifi และ Moradi<sup>88</sup> ดังสมการ (2.4):



$$x_{ir} = (x_{ir0} - x_{irf})e^{-at} + x_{irf} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $x_{ir0}$  และ  $x_{irf}$  คือค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายของสัญญาณอ้างอิงสำหรับ  $i=2,3,7$  อีกรูปแบบของสัญญาณอ้างอิงที่กำหนดคือ  $x_{ir} = 0$  สำหรับ  $i=2,3,7$  <sup>57, 98, 100</sup>

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอินพุตควบคุมทั้งสามมาตรการอยู่ภายใต้ข้อจำกัด (Input constraint) หรือการอิ่มตัวของสัญญาณควบคุม (Input saturation) เพื่อที่จะชดเชยผลกระทบนี้ ค่าความผิดพลาดในสมการ (2.3) จะต้องถูกดัดแปลงดังนี้ <sup>57, 158, 160, 168-171</sup>

$$e_i = x_i - x_{ir} - z_i \quad (2.5)$$

โดยที่  $\dot{z}_i = -c_{zi}z_i - \sum_{j=1}^3 g_{ij}\Delta u_j$  เมื่อ  $\Delta u_j = u_j - v_j$  ซึ่ง  $v_j$  คือ อินพุตควบคุมตัวแทน (Nominal control input) ในขณะที่  $u_j$  จะถูกพิจารณาเป็น อินพุตควบคุมจริง (Actual control input) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ <sup>57, 158, 160, 168-171</sup>

ในการกำหนดมาตรการควบคุมนี้ได้ใช้การควบคุมแบบซินเนอร์เจติกตามขั้นตอนการออกแบบในหัวข้อก่อนหน้าโดยอ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง <sup>51-53, 57, 59, 98-101, 150-154, 157-161, 163, 164, 172</sup> ในการศึกษาี้ จากวัตถุประสงค์การควบคุมและจำนวนอินพุตควบคุม (มาตรการควบคุม) ตัวแปรแมคโครได้ถูกกำหนดในรูปแบบของตัวแปรแมคโครอินทิกรัลแปรตามเวลา (Time-varying integral macro variable) ดังสมการ (2.6) <sup>102, 158, 172</sup>:

$$\psi_i = e_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \phi_i, \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\phi_i = m_i e^{-t/n_i}$  สำหรับ  $m_i$  และ  $k_{ii}$  ถูกกำหนดที่  $t=0$ ,  $\psi_i = 0$  สำหรับ  $i=2,3,7$  <sup>102, 158, 172</sup>

ในส่วนของพลวัตการเปลี่ยนแปลง (Dynamic evolution) ของตัวแปรแมคโครในสมการ (2.6) สำหรับการศึกษาี้ได้กำหนดพลวัตการเปลี่ยนแปลงดังสมการ (2.7) <sup>51, 53, 57, 59, 98-101, 109, 146-148, 150-154, 157-164</sup>:

$$T_{ci}\dot{\psi}_i + \psi_i = 0 \quad (2.7)$$

สำหรับ  $i=2,3,7$

หลังจากดำเนินการขั้นตอนของกระบวนการออกแบบตัวควบคุมแบบซินเนอร์เจติกข้างต้นแล้วจะได้มาวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัลซินเนอร์เจติกแปรตามเวลา (Time-varying integral synergetic control; TVISC) ดังสมการ (2.8):

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \\ g_{71} & g_{72} & g_{73} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \left( -T_{c_2}^{-1} \psi_2 \right) - \left( f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z_2} z_2 + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \\ \left( -T_{c_3}^{-1} \psi_3 \right) - \left( f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z_3} z_3 + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \\ \left( -T_{c_7}^{-1} \psi_7 \right) - \left( f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z_7} z_7 + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

สำหรับรายละเอียดของกระบวนการออกแบบตัวควบคุมที่ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมแบบ TVISC และการพิสูจน์เสถียรภาพของระบบควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งภายใต้มาตรการควบคุมที่นำเสนอนี้ ได้ถูกแสดงในภาคผนวก ก.

## 5. การศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมายของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้กำหนดขึ้นโดยการจำลองสถานการณ์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมายของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัลซินเนอร์เจติกแปรตามเวลา (Time-varying integral synergetic control; TVISC) ในหัวข้อที่ 4 และแสดงขีดความสามารถของมาตรการควบคุมที่กำหนดขึ้นนี้ การจำลองสถานการณ์ของระบบการระบาดของโรคมะเร็งภายใต้มาตรการควบคุมที่กำหนดขึ้น จึงถูกนำมาใช้แบบจำลองและค่าเชิงตัวเลขของพารามิเตอร์ของระบบจากเอกสารอ้างอิง<sup>38, 40, 84</sup> ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวอย่งการจำลองสถานการณ์ในการศึกษา<sup>88</sup> สำหรับสัญญาณอ้างอิงที่พิจารณามีรูปแบบคือ  $x_{r,c} : x_{ir} = 0$ <sup>57, 98, 100</sup> และ  $x_{r,exp} : x_{i,r} = (x_{i,0} - x_{i,f}) e^{(-a_i t)} + x_{i,f}$ <sup>84, 88</sup> สำหรับ  $i = 2, 3, 7$

จากนั้นนำมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบซินเนอร์เจติก (Synergetic control; SC) และวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัลสไลด์ดิ้งโหมด หรือแผนเลื่อนอินทิกรัล (Integral sliding mode control; ISMC) ไป

ประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมalaria และทำการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสถานการณ์ภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบ TVISC ซึ่งมาตรการควบคุมตัวแทน  $v_1$ ,  $v_2$ , และ  $v_3$  ของแต่ละวิธีการควบคุมต่าง ๆ สามารถกำหนดและแสดงได้ดังนี้

สำหรับมาตรการควบคุมการระบาดโดยวิธีการควบคุมแบบ SC ได้ทำการกำหนดตัวแปรแมคโคร  $\psi_i = e_i$  เมื่อ  $e_i = x_i - x_{ir} - z_i$  และกำหนดพลวัตการเปลี่ยนแปลง  $T_{ci}\dot{\psi}_i + \psi_i = 0$  สำหรับ  $i = 2, 3, 7$ <sup>57, 146-148, 152, 154, 156, 159, 161, 162, 164</sup> โดยการสังเคราะห์มาตรการควบคุมในลักษณะเดียวกับการกำหนดมาตรการควบคุมโดยวิธีการควบคุมแบบ TVISC จะได้มาตรการควบคุมตัวแทนดังนี้  $i = 2, 3, 7$ <sup>57, 146-148, 152, 154, 156, 161, 162, 164</sup>.

$$\begin{bmatrix} v_{1,SC} \\ v_{2,SC} \\ v_{3,SC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \\ g_{71} & g_{72} & g_{73} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (-T_{c2}^{-1}\psi_2) - (f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2) \\ (-T_{c3}^{-1}\psi_3) - (f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3) \\ (-T_{c7}^{-1}\psi_7) - (f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

เนื่องจากการควบคุมแบบแผนเลื่อนอินทิกรัล (ISMC) ได้ถูกนำมาใช้กำหนดมาตรการควบคุมสำหรับโรคมalaria บนพื้นฐานแบบจำลองการระบาดในสมการ (2.1) ตามที่แสดงในเอกสารอ้างอิง<sup>84</sup> อย่างไรก็ตามไม่มีการใช้ระบบช่วย (Auxiliary system) ในการชดเชยผลกระทบจากการอิ่มตัวของสัญญาณควบคุม (Input saturation) หรือข้อจำกัดของสัญญาณควบคุม (Input constraint) ในการจำลองสถานการณ์นี้จึงทำการกำหนดมาตรการควบคุมตัวแทนโดยวิธีการควบคุมแบบ ISMC ในลักษณะเดียวกับที่ดำเนินการในหัวข้อ 4 โดยการกำหนดพื้นผิวสลับ (Switching surface)<sup>113</sup> หรือ พื้นผิวเลื่อน (Sliding surface;  $s_i$ ) ในรูปแบบ  $s_i = e_i + k_{si} \int_0^t e_i(\tau) d\tau$  เมื่อ  $e_i = x_i - x_{ir} - z_i$  และกำหนดกฎการเข้าถึง (Reaching law)  $\dot{s}_i = k_{sw,i} \text{sign}(s_i)$  สำหรับ  $i = 2, 3, 7$  ตามวิธีการควบคุมแผนเลื่อนอินทิกรัล (Integral sliding mode control; ISMC)<sup>80, 84, 94, 102, 110</sup> จะได้

$$\begin{bmatrix} v_{1,ISMC} \\ v_{2,ISMC} \\ v_{3,ISMC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \\ g_{71} & g_{72} & g_{73} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -k_{sw2} \text{sign}(s_2) - (f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2) - k_{I2}e_2 \\ -k_{sw3} \text{sign}(s_3) - (f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3) - k_{I3}e_3 \\ -k_{sw7} \text{sign}(s_7) - (f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7) - k_{I7}e_7 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

ค่าพารามิเตอร์ของระบบพลวัตการระบาดของโรคมาลาเรียที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ได้อ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง<sup>38, 40, 57, 84</sup>  $\phi = 0.502 \text{ day}^{-1}$   $\beta = 0.8333$   $\lambda = 0.09$   $\Lambda_h = 0.2 \text{ day}^{-1}$   $\Lambda_v = 1000 \text{ day}^{-1}$   $\mu_h = 0.00004 \text{ day}^{-1}$   $\mu_v = 0.1429 \text{ day}^{-1}$   $b = 0.005 \text{ day}^{-1}$   $\alpha_1 = 1/17 \text{ day}^{-1}$   $\alpha_2 = 1/18 \text{ day}^{-1}$   $0.01 \leq \tau \leq 0.7$   $\psi_p = 0.05 \text{ day}^{-1}$  และ  $p = 0.25$  สำหรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมถูกกำหนดดังนี้  $K_{I_2} = 0.0010$   $K_{I_3} = 1$   $K_{I_7} = 0.010$   $n_2 = 1000$   $n_3 = 0.0000010$   $n_7 = 10$  และ  $T_{c_2} = T_{c_3} = T_{c_7} = 60$  ในส่วนของเงื่อนไขเริ่มต้น  $x_1(0) = 1100$   $x_2(0) = 200$   $x_3(0) = 400$   $x_4(0) = 0$   $x_5(0) = 800$   $x_6(0) = 250$  และ  $x_7(0) = 80$  คน เวลาเริ่มต้นและเวลาสุดท้ายในการจำลองสถานการณ์คือ  $t_0 = 0$  และ  $t_f = 1000 \text{ day}$  (วัน) และขั้นเวลาคือ  $0.1 \text{ day}$  (วัน) วิธีรุงเง-คุดตา (Runge-Kutta method) เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical integration) สำหรับการจำลองสถานการณ์นี้

ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียภายใต้มาตรการควบคุมแบบ TVISC ซึ่งประกอบด้วย ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2$ ), ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3$ ), และประชากรพาหะกลุ่มย่อยติดเชื้อ ( $x_7$ ) กรณีสัญญาณอ้างอิง  $x_{i,r} = 0$  สำหรับ  $i = 2, 3, 7$  แสดงดังภาพที่ 2.1 ในขณะที่มาตรการควบคุมซึ่งประกอบด้วยการใช้มุ้งอาบนํ้ายา, การรักษา, และการพ่นยาฆ่าแมลงทั้งมาตรการควบคุมตัวแทน ( $v_1, v_2, v_3$ ) และมาตรการควบคุมจริง ( $u_1, u_2, u_3$ ) แสดงในภาพที่ 2.2 สำหรับกรณีสัญญาณอ้างอิง  $x_{i,r} = (x_{i,0} - x_{i,f})e^{-a_i t} + x_{i,f}$  เมื่อ  $a_i = 0.055$  สำหรับ  $i = 2, 3, 7$ <sup>84, 88</sup> ผลตอบสนองเชิงเวลาและมาตรการควบคุมทั้งสองถูกแสดงในภาพที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

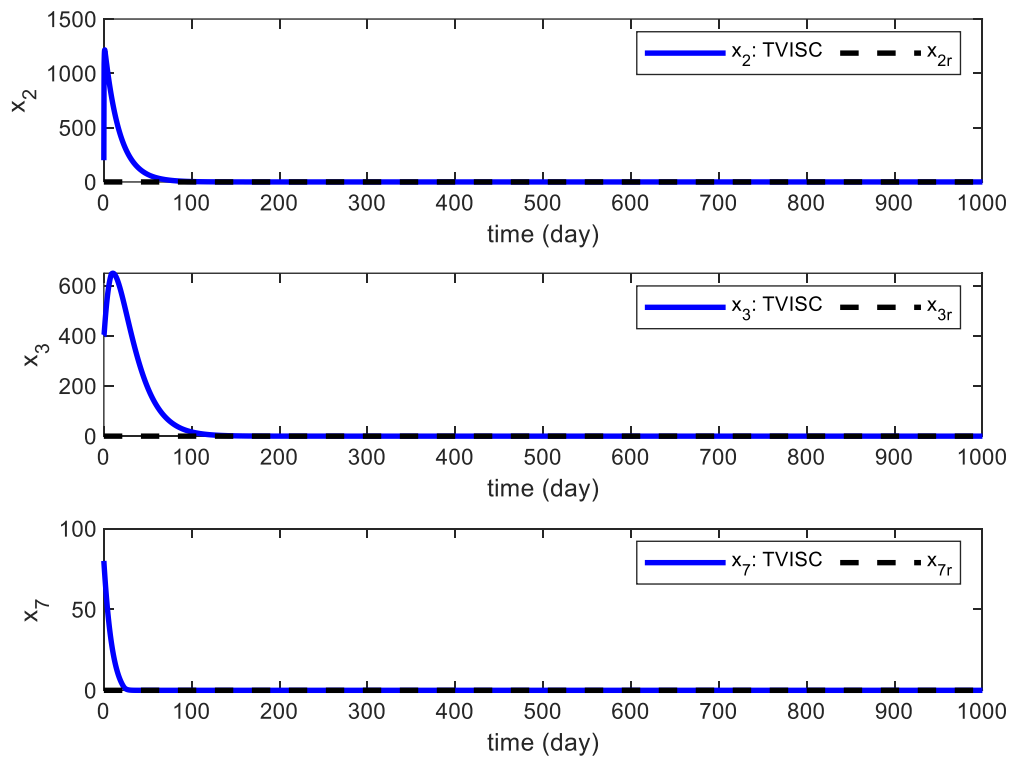
ผลการจำลองสถานการณ์ในภาพที่ 2.1 และ 2.3 แสดงให้เห็นว่ามาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียซึ่งสังเคราะห์ขึ้นได้จากกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติกสามารถควบคุมให้ประชากรกลุ่มย่อยเป้าหมายเข้าสู่ระดับที่ต้องการได้ตามวัตถุประสงค์การควบคุมทั้งกรณีสัญญาณอ้างอิงทั้ง 2 รูปแบบ นั่นคือประชากรกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ ประชากรกลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2 = E_h$ ) ประชากรกลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3 = I_h$ ) และประชากรยุงกลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_7 = I_v$ ) เข้าสู่ศูนย์ที่เวลานอนันต์ ในกรณีสัญญาณอ้างอิงแบบค่าคงที่เท่ากับศูนย์ มาตรการควบคุมจริงของการใช้มุ้งอาบนํ้ายาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าสู่ค่าสูงสุด และอยู่ที่ค่าค่านี้นจนกระทั่งเวลาสุดท้าย มาตรการควบคุมจริงของการรักษาจะมีค่าสูงสุด

ที่เวลาเริ่มต้น จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วสู่ค่าต่ำสุด และอยู่ที่ค่าค่านี้นี้ในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นสู่ค่าสูงสุดอย่างรวดเร็ว และอยู่ที่ค่าสูงสุดจนเวลาสุดท้าย มาตรการควบคุมจริงของการพ่นยาฆ่าแมลงจะมีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง จากนั้นจะลดลงและเพิ่มขึ้นสู่ค่าสูงสุดและอยู่ที่ค่าค่านี้นี้ในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นจะลดลงสู่ค่าต่ำสุดและอยู่ที่ค่าสูงสุดจนเวลาสุดท้าย กรณีสัญญาณอ้างอิงในรูปแบบฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียล แนวโน้มของมาตรการควบคุมจริงของการใช้มุ้งอาบน้ำยาและการรักษาจะมีลักษณะเดียวกันกับกรณีสัญญาณอ้างอิงค่าคงที่เท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตาม มาตรการควบคุมจริงของการพ่นยาฆ่าแมลงจะมีค่าเริ่มต้นอยู่ระหว่างศูนย์ถึงหนึ่งและลดลงสู่ค่าหนึ่งแล้วเพิ่มขึ้นสู่ค่าสูงสุดและอยู่ที่ค่าค่านี้นี้ในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นจะลดลงสู่ค่าต่ำสุดและอยู่ที่ค่าค่านี้นี้ในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นสู่ค่าสูงสุด และอยู่ที่ค่าสูงสุดจนเวลาสุดท้าย

ในการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์ภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้จากวิธีการควบคุม TVISC, SC, และ ISMC จะพิจารณาเฉพาะกรณีสัญญาณอ้างอิงอยู่ในรูปแบบคงที่ มาตรการควบคุมที่ได้จาก SC มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับมาตรการควบคุมที่ได้จาก TVISC เมื่อ  $K_{ii} = 0$  และ  $\phi_i = 0$  สำหรับ  $i = 2, 3, 7$  ในส่วนของมาตรการควบคุมจากการควบคุมที่ได้จาก ISMC พารามิเตอร์ควบคุมได้มีการกำหนดให้อัตราการลู่เข้าใกล้เคียงกับอัตราการเข้าของมาตรการควบคุมที่ได้จาก SC โดยที่  $k_{svi} = 1$  ผลการจำลองสถานการณ์ของมาตรการควบคุมที่ได้จาก SC แสดงในภาพที่ 2.5 และ 2.6 ในขณะที่ผลการจำลองสถานการณ์ของมาตรการควบคุมที่ได้จาก ISMC ซึ่งถูกแสดงในภาพที่ 2.7 และ 2.8

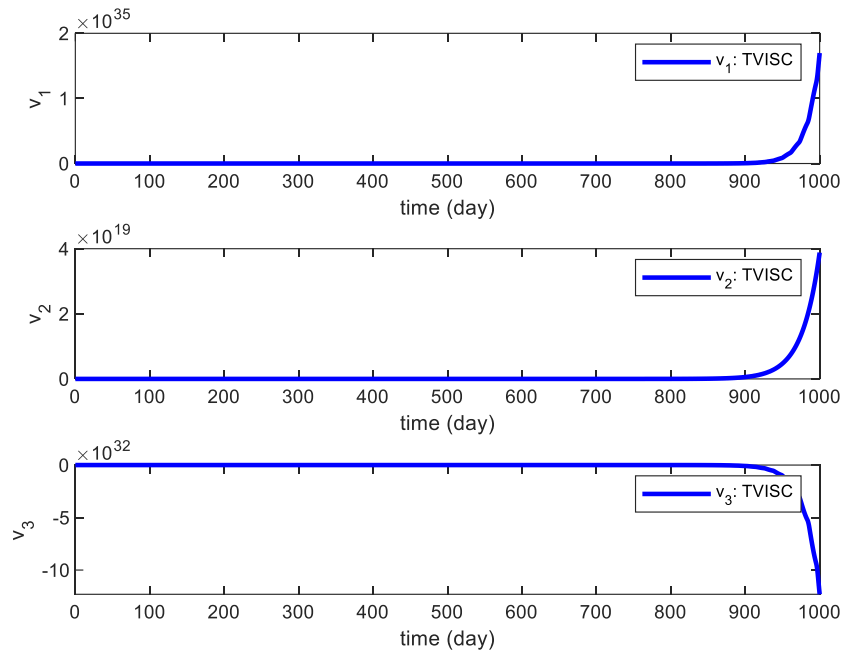
เมื่อพิจารณาผลการจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมภายใต้มาตรการควบคุมที่ได้จาก TVISC, SC, และ ISMC ดังภาพที่ 2.9 จะเห็นได้ว่ามาตรการควบคุมที่ได้นำเสนอ (TVISC) สามารถควบคุมการระบาดได้เช่นเดียวกับมาตรการควบคุมที่มีมาก่อน อย่างไรก็ตาม จากเซตพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษานี้ มาตรการควบคุมที่ได้จาก TVISC สามารถเพิ่มอัตราการลู่เข้าให้กับระบบควบคุมได้ และสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิดปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุม (Chattering phenomenon) ได้ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 2.1 และ 2.2 ในขณะที่ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในกรณีมาตรการควบคุมจาก ISMC ทั้งอินพุตควบคุมตัวแทนและอินพุตควบคุมจริง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแนวโน้มของมาตรการควบคุมจริงแบบ TVISC และ SC ในภาพที่ 2.2 และ 2.6 แล้ว จะเห็นว่าการใช้มุ้งอาบน้ำยาของมาตรการควบคุมจริงแบบ TVISC และ SC จะมีลักษณะเดียวกัน ในขณะที่การรักษา

ของมาตรการควบคุมจริงแบบ TVISC จะมีช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ค่าสูงสุดมากกว่าการรักษาของมาตรการควบคุมจริงแบบ SC สำหรับการพ่นยาฆ่าแมลงของมาตรการควบคุมจริงแบบ TVISC จะมีช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ค่าต่ำสุดนานกว่าช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ค่าต่ำสุดของมาตรการควบคุมจริงแบบ SC

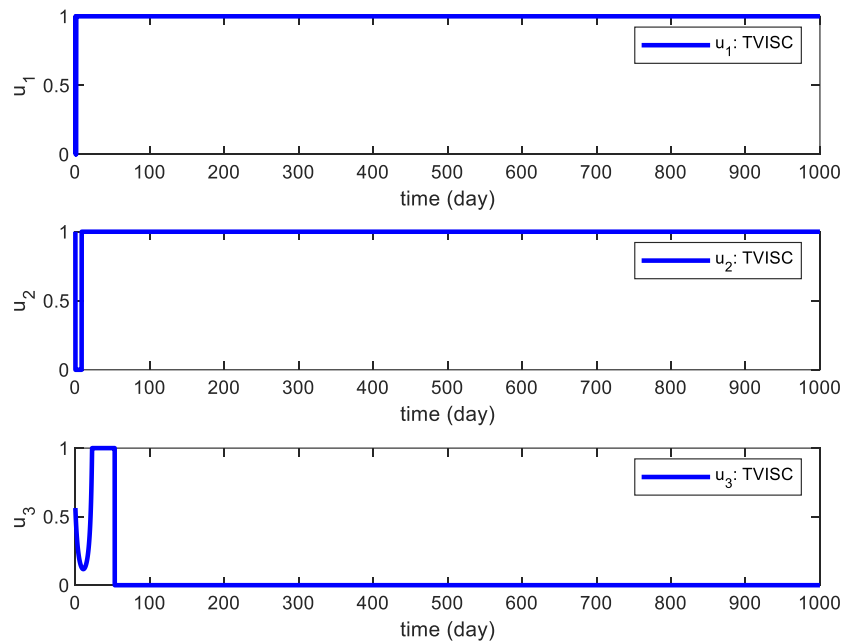


ภาพที่ 2.1 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมแบบ TVISC เมื่อ  $x_{r,c}$ : ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2$ ), ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3$ ), และประชากรพาหะกลุ่มย่อยติดเชื้อ ( $x_7$ )





(ก)

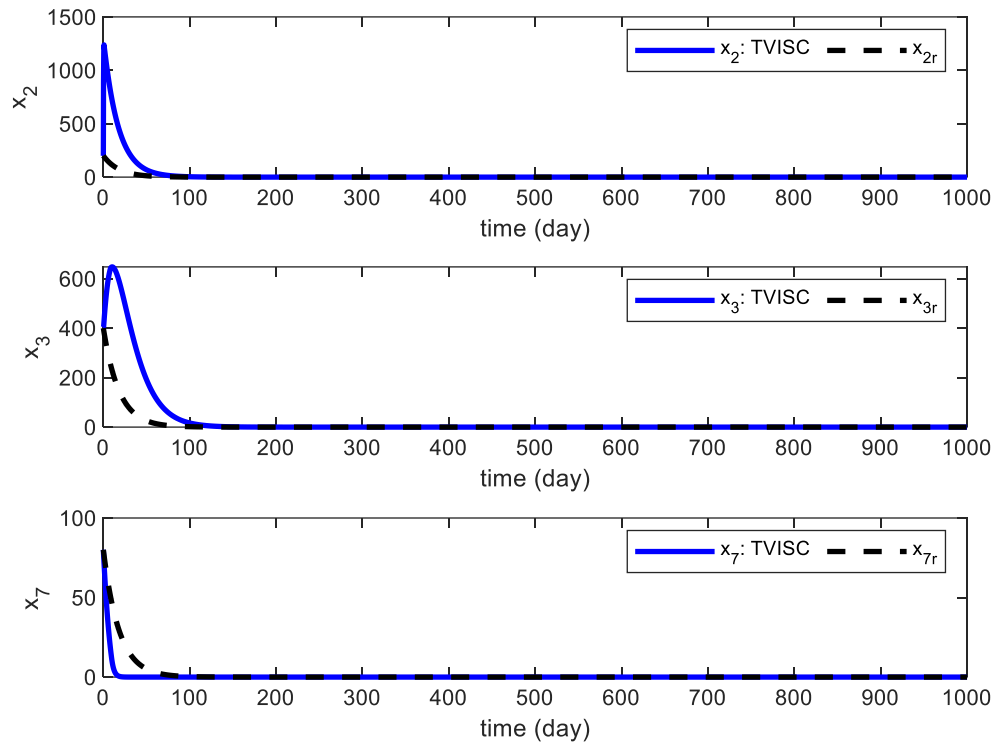


(ข)

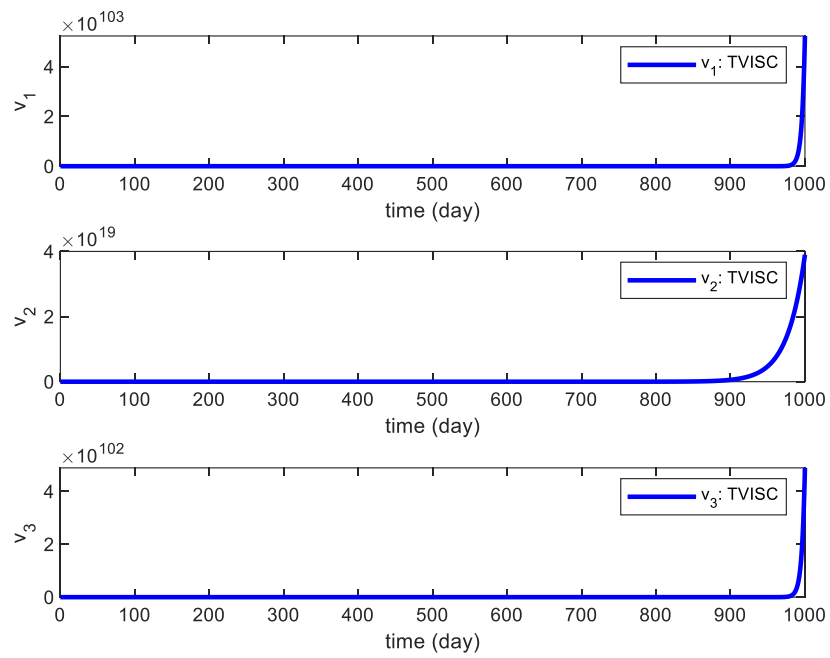
ภาพที่ 2.2 มาตรการควบคุมตัวแทนและมาตรการควบคุมจริงโดย TVISC เมื่อ  $x_{r,c}$ :

(ก) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $v_1$ ), การรักษา ( $v_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $v_3$ )

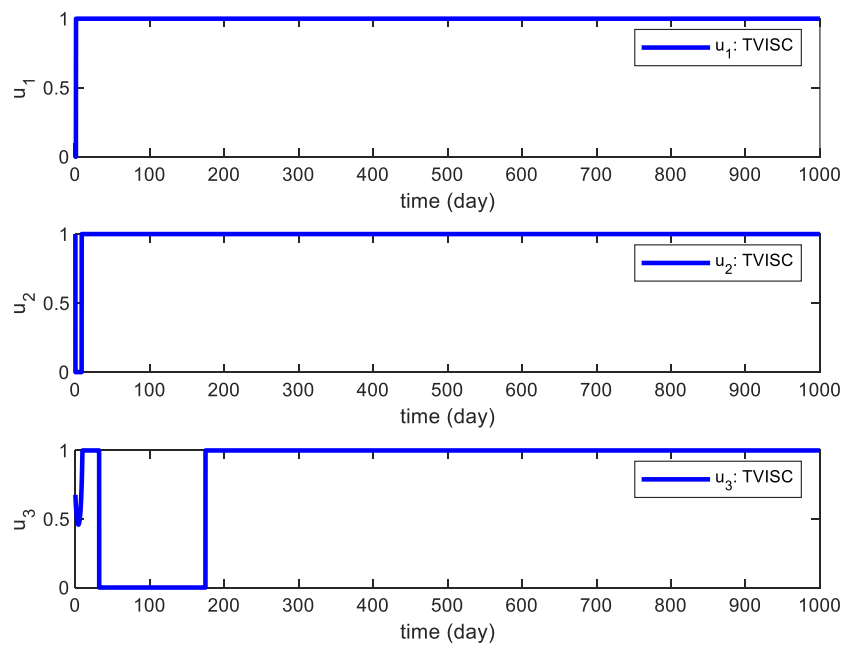
(ข) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $u_1$ ), การรักษา ( $u_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $u_3$ )



ภาพที่ 2.3 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมแบบ TVISC เมื่อ  $x_{r,exp}$ : ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2$ ), ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3$ ), และประชากรพาหะกลุ่มย่อยติดเชื้อ ( $x_7$ )



(ก)

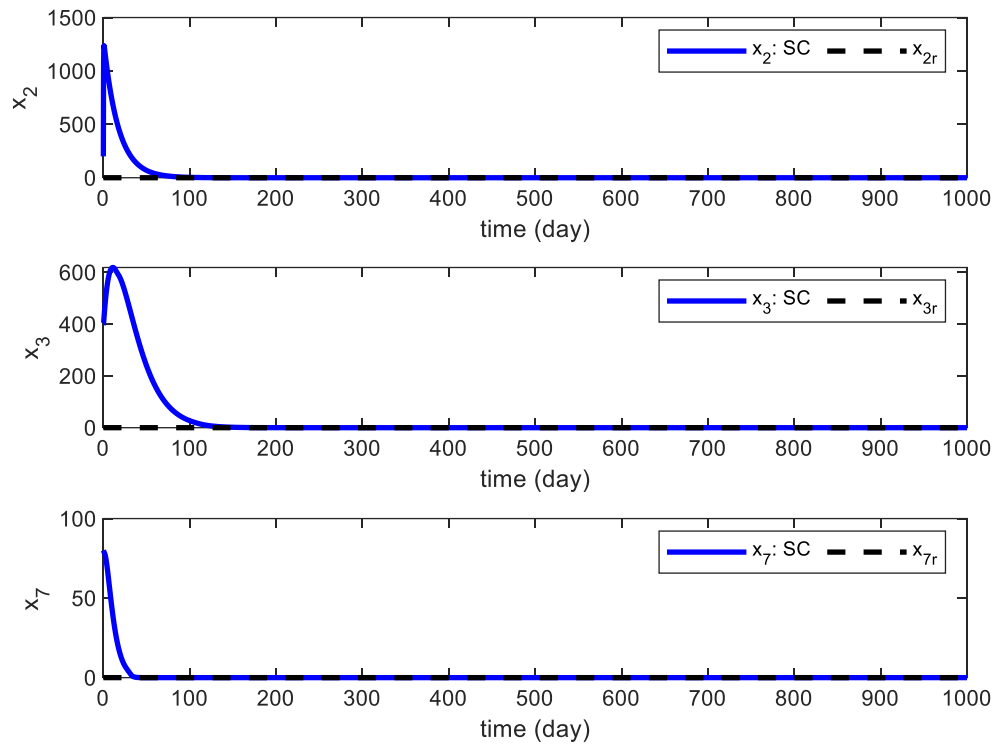


(ข)

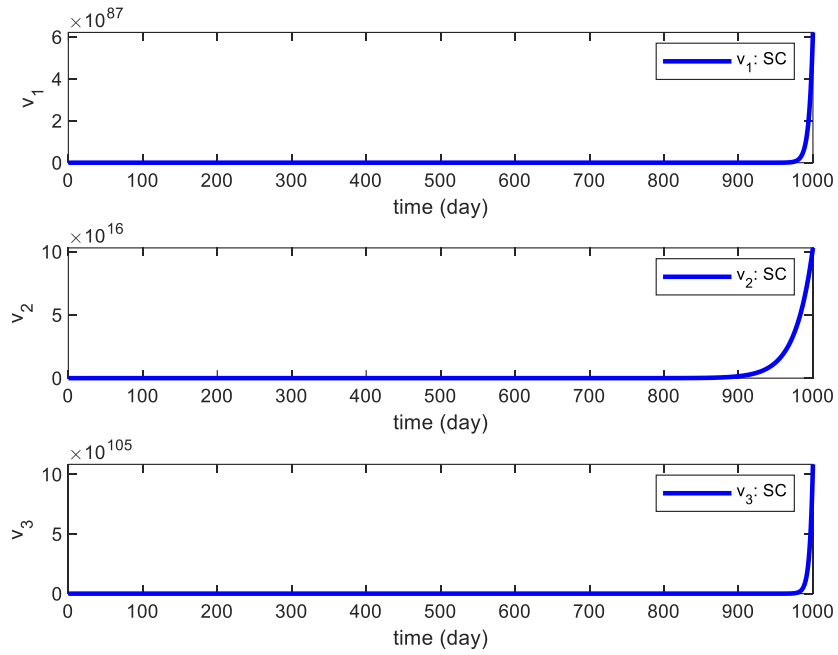
ภาพที่ 2.4 มาตรการควบคุมตัวแทนและมาตรการควบคุมจริงโดย TVISC เมื่อ  $x_{r,exp}$  :

(ก) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $v_1$ ), การรักษา ( $v_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $v_3$ )

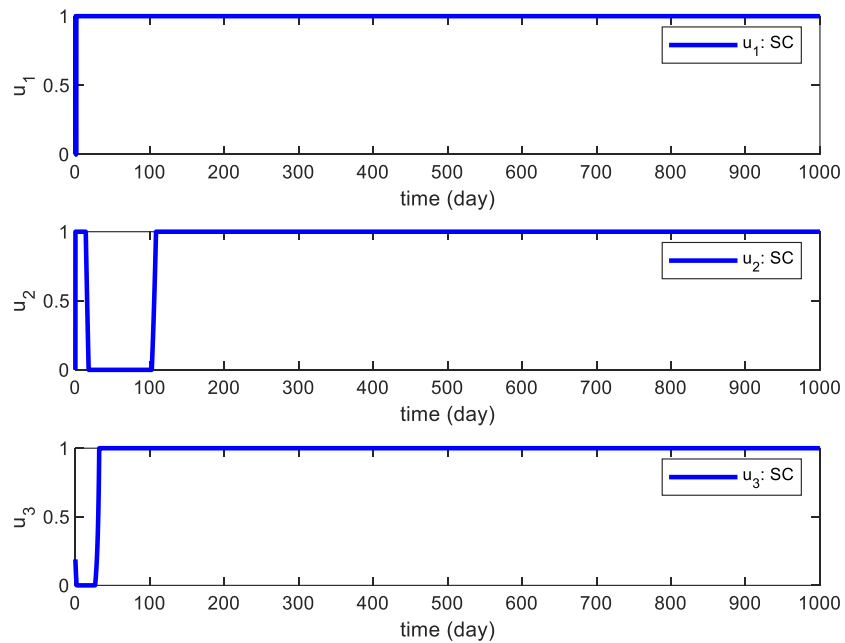
(ข) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $u_1$ ), การรักษา ( $u_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $u_3$ )



ภาพที่ 2.5 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมแบบ SC เมื่อ  $x_{r,c}$ : ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2$ ), ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3$ ), และประชากรพาหะกลุ่มย่อยติดเชื้อ ( $x_7$ )



(ก)

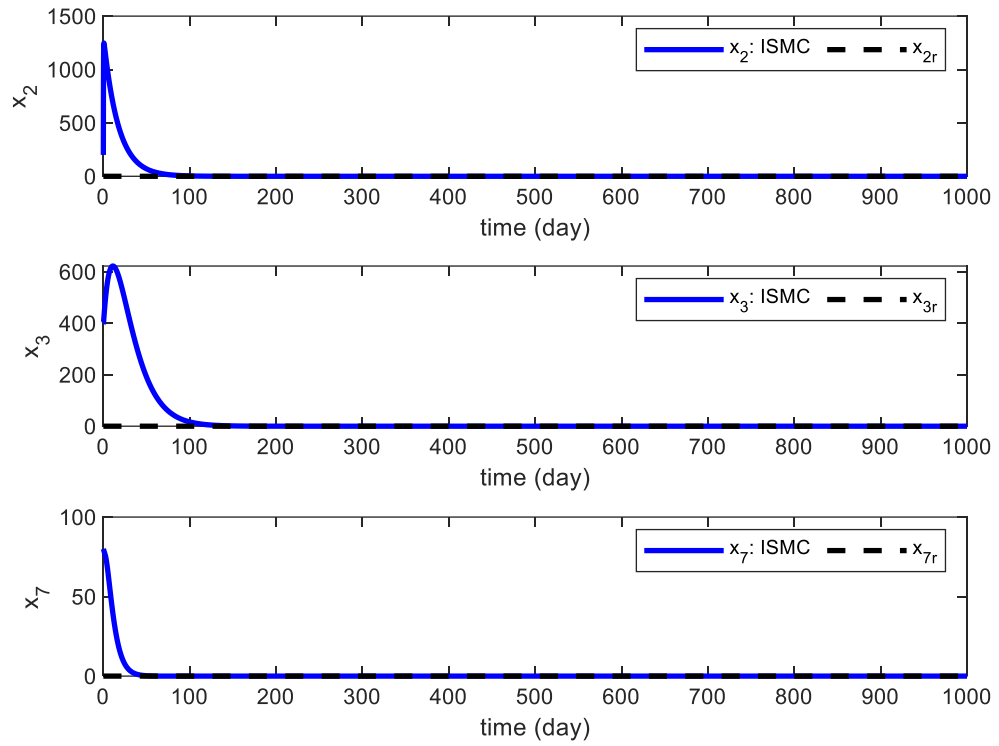


(ข)

ภาพที่ 2.6 มาตรการควบคุมตัวแทนและมาตรการควบคุมจริงโดย SC เมื่อ  $x_{r,c}$  :

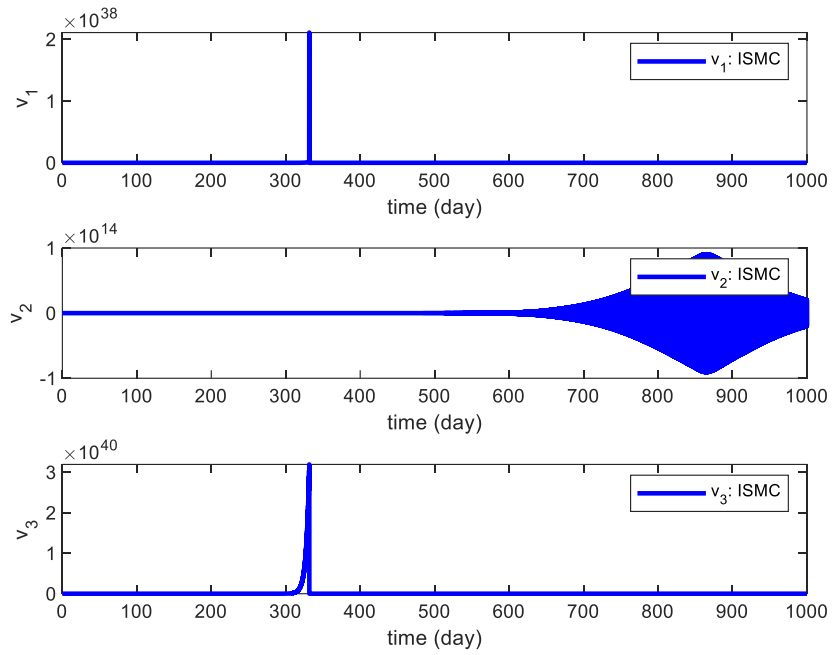
(ก) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $v_1$ ), การรักษา ( $v_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $v_3$ )

(ข) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $u_1$ ), การรักษา ( $u_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $u_3$ )

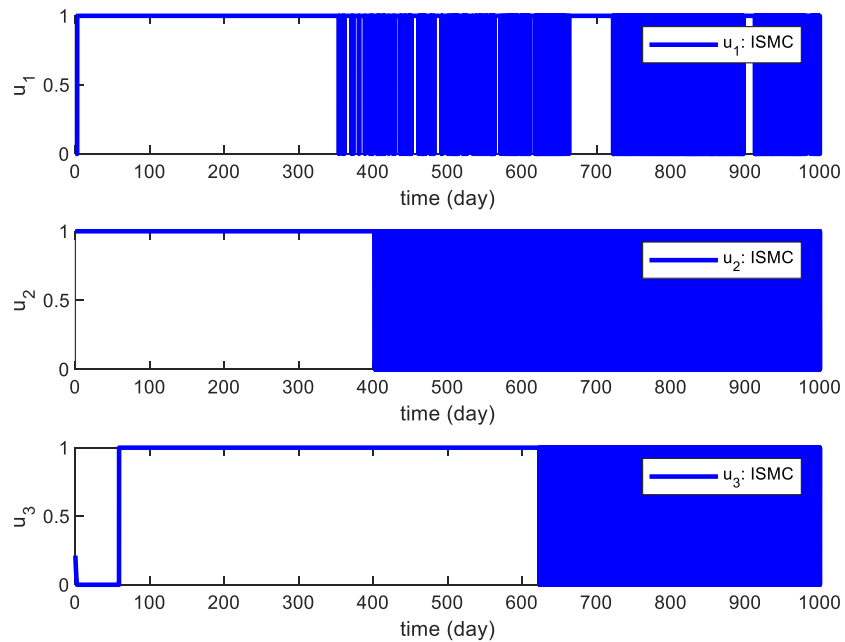


ภาพที่ 2.7 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมแบบ ISMC เมื่อ  $x_{r,c}$ : ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2$ ), ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3$ ), และประชากรพาหะกลุ่มย่อยติดเชื้อ ( $x_7$ )





(ก)

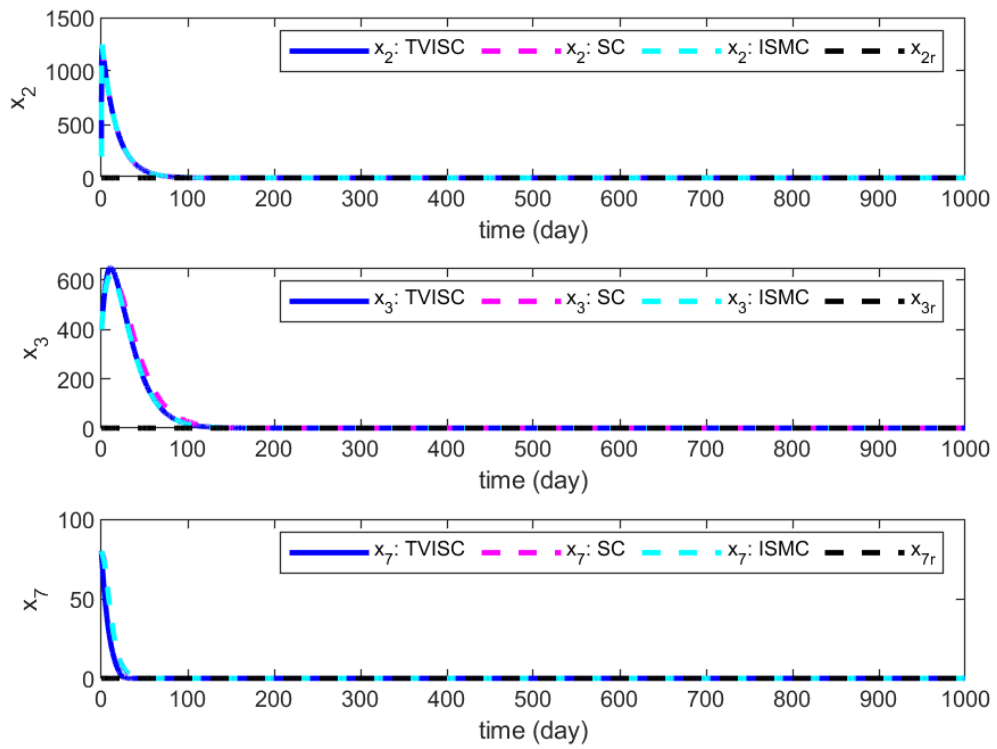


(ข)

ภาพที่ 2.8 มาตรการควบคุมตัวแทนและมาตรการควบคุมจริงโดย ISMC เมื่อ  $x_{r,c}$ :

(ก) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $v_1$ ), การรักษา ( $v_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $v_3$ )

(ข) การใช้มุ้งอาบนํ้ายา ( $u_1$ ), การรักษา ( $u_2$ ), และการพ่นยาฆ่าแมลง ( $u_3$ )



ภาพที่ 2.9 ผลตอบสนองเชิงเวลาของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมแบบ TVISC, SC, และ ISMC เมื่อ  $x_{r,c}$ : ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยรับเชื้อ ( $x_2$ ), ประชากรมนุษย์กลุ่มย่อยติดเชื้อและแพร่เชื้อได้ ( $x_3$ ), และประชากรพาหะกลุ่มย่อยติดเชื้อ ( $x_7$ )

## 6. การศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียด้วยการควบคุมป้อนกลับไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบก

เนื่องจากแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียเป็นไปตามกรอบของยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 และแผนระดับต่าง ๆ จนถึงแผนปฏิบัติราชการ สกศ.รร.จปร. นโยบาย กฎระเบียบ แนวทางการปฏิบัติ และประเด็นที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ตามที่ได้แสดงในกรอบการวิจัย และควมมีประสิทธิภาพของแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียโดยการควบคุมป้อนกลับผ่านกระบวนการแบบตัวควบคุม ดังนั้นการศึกษานำแนวทางการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบกจึงเป็นประเด็นที่มีความน่าสนใจและมีความสำคัญในการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมทางยุทธศาสตร์ สำหรับการศึกษาวิจัยได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมทางยุทธศาสตร์ร่วมกัน 2 แนวทางคือ การวิเคราะห์ SWOT และ 4M ซึ่งมีการดำเนินการดังต่อไปนี้

เริ่มจากการวิเคราะห์ 4M (4M analysis) โดยอ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง<sup>126, 133, 135, 138-140</sup> ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ คน (Man) วิธีการ (Method) เครื่องจักร (Machine) และวัตถุดิบ (Material)<sup>126, 133, 135, 138-140</sup> ของกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (กวค.สกศ.รร.จปร.) เพื่อศึกษาแนวทางการนำการควบคุมป้อนกลับต่าง ๆ รวมถึงการควบคุมป้อนกลับแบบซินเนอร์เจติก ไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียในพื้นที่ตามแนวชายแดนที่มีการระบาดชุกชุม<sup>29-31</sup> ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีราษฎรอาศัยอยู่และที่สำคัญมีกองกำลังต่าง ๆ ของกองทัพบกปฏิบัติภารกิจด้านความมั่นคง การระบาดของโรคมาลาเรียจึงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของกำลังพลและส่งผลกระทบต่อภารกิจที่ได้รับมอบหมาย การศึกษาแนวทางการนำการควบคุมป้อนกลับไปใช้กำหนดมาตรการควบคุมการระบาดในพื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญ<sup>4, 5, 8, 9</sup>

จากการวิเคราะห์ปัจจัยภายในและภายนอกโดยใช้หลักการวิเคราะห์ SWOT โดย Stewart และคณะ<sup>116, 141, 142</sup> เพื่อวิเคราะห์ จุดแข็ง (Strength; S) จุดอ่อน (Weakness; W) โอกาส (Opportunity; O) และภัยคุกคาม (Threat; T) ของ กวค.สกศ.รร.จปร ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1<sup>116, 141, 142</sup> และสุดท้ายสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปกำหนดกลยุทธ์โดยทำการวิเคราะห์ผ่านเมตริกซ์โทว์ (TOWS matrix)

ซึ่งนำเสนอโดย Wehrich<sup>143</sup> โดยประกอบด้วยกลยุทธ์ดังต่อไปนี้ 1) กลยุทธ์เชิงรุก (SO)  
2) กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO) 3) กลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST) และ 4) กลยุทธ์เชิงรับ (WT)  
ดังแสดงในตารางที่ 2.2<sup>116, 142, 143</sup>

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการวิเคราะห์ SWOT: ก) ปัจจัยภายใน และ ข) ปัจจัยภายนอก  
 ตารางที่ 2.1ก ปัจจัยภายใน (จุดแข็งและจุดอ่อน)

จุดแข็ง (S)	จุดอ่อน (W)
<p><b>Man:</b></p> <p>S1.1.1: ทักษะ (Skill): มีบุคลากรที่มีความรู้และความชำนาญด้านระบบพลวัตและการควบคุม 89, 98, 100, 173</p> <p>S1.1.2: มีบุคลากรมีทักษะวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical method) 89, 98, 100, 173</p> <p>S1.2: คุณสมบัติ (Qualifications): บุคลากรส่วนใหญ่มีคุณวุฒิระดับปริญญาโทและเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและ/หรือวิศวกรรมสาขาอื่น ๆ รวมทั้งมีทักษะในการทำวิจัย<sup>173</sup></p> <p>S1.3: พฤติกรรมและนิสัย (Behaviors &amp; Habits): มีความร่วมมือการดำเนินการศึกษาวิจัยของบุคลากรภายใน กวค.สทศ.ร.ร.จปร. <sup>174-176</sup></p> <p>S1.4: การฝึกอบรม (Training): บุคลากรของ กวค.สทศ.ร.ร.จปร. ได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการ 89, 98, 100, 174-178</p> <p>S1.5: แรงจูงใจ (Motivation): การทำผลงานทางวิชาการในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อดำรงตำแหน่งทางวิชาการที่สูงขึ้น<sup>177, 179, 180</sup></p> <p><b>Method:</b></p> <p>S2.1: การควบคุมป้อนกลับบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสำหรับกำหนดมาตรการควบคุมโรคมะเร็ง<sup>21, 58, 59, 103-110</sup></p> <p>S2.2: การจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมทำให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมการระบาดของโรคมะเร็งได้อย่างชัดเจน<sup>21</sup></p> <p><b>Machine:</b></p> <p>S3.1: มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะเพียงพอสำหรับการจำลองสถานการณ์ระบบควบคุมการระบาดของโรคมะเร็ง</p> <p><b>Material:</b></p> <p>-</p>	<p><b>Man:</b></p> <p>W1.1: ทักษะ (Skill): มีอาจารย์ที่มีความรู้และความชำนาญด้านระบบพลวัตและการควบคุมจำนวนไม่มาก<sup>89, 98, 100, 102</sup></p> <p><b>Method:</b></p> <p>-</p> <p><b>Machine:</b></p> <p>W2.1: ซอฟต์แวร์หรือซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือสำหรับใช้ดำเนินการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมะเร็งผ่านกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับ</p> <p><b>Material:</b></p> <p>W3.1: ซอฟต์แวร์จำลองที่เหมาะสมสำหรับอธิบายพลวัตการระบาดของโรคมะเร็งสำหรับพื้นที่ตามแนวชายแดนในประเทศไทย</p>

ตารางที่ 2.1ข ปัจจัยภายนอก (โอกาสและภัยคุกคาม)

โอกาส (O)	ภัยคุกคาม (T)
<p>O1.1: รร.จปร. เปิดโอกาสให้บุคลากร สกศ.รร.จปร. สามารถให้บริการวิชาการกับสถาบันภายนอกได้<sup>177, 181-185</sup></p> <p>O2.1: มีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับองค์ความรู้ของการควบคุมป้องกันทั้งในแง่ของทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบต่าง ๆ<sup>58, 85, 99-102, 157</sup></p> <p>O2.2: การนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในรูปแบบบทความวิจัยทั้งวารสารวิชาการและการประชุมวิชาการ<sup>60-69, 84</sup></p> <p>O2.3: การให้ความสำคัญในการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ<sup>38, 60-69</sup></p> <p>O2.4: ความร่วมมือระหว่างองค์กรต่าง ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ<sup>3, 10, 11, 14, 18, 20, 22, 28, 186</sup></p> <p>O3.1: กองทุนที่มีทุนการศึกษาให้กับกำลังพลเพื่อไปศึกษาต่อในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก<sup>187-192</sup></p> <p>O4.1: แหล่งทุนวิจัยจากหน่วยงานภายในและภายนอก รร.จปร.: กองทุนพัฒนาโรงเรียน-นายร้อยพระจุลจอมเกล้า<sup>193</sup> วช.<sup>194</sup> สก.สว.<sup>195</sup></p>	<p>T1.1 มีข้อมูลไม่เพียงพอในการพัฒนาแบบจำลองการระบาดของโรคมะเร็งในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย</p> <p>T2.1: ขั้นตอนการจัดหาซอฟต์แวร์ด้วยงบประมาณประจำปีมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน</p>

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์ TOWS Matrix

	จุดแข็ง (S)	จุดอ่อน (W)
โอกาส (O)	<p>กลยุทธ์เชิงรุก (SO)</p> <p>SO1: โครงการสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านพลวัตและการควบคุมโรคระบาดโดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย (S1-S3, O2.1-O2.2, O4.1)</p> <p>SO2: โครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมลาเรีย (S1-S3, O1.1 O2.3 O2.4)</p>	<p>กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO)</p> <p>WO1: โครงการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง (W1.1, O3.1)</p>
ภัยคุกคาม (T)	<p>กลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST)</p> <p>ST1: โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการด้านระบบพลวัตและการควบคุม กวค.สกศ.ร.จปร. (S1-S3, T2.1)</p>	<p>กลยุทธ์เชิงรับ (WT)</p> <p>WT1: โครงการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการระบาดของโรคมลาเรียในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย (W3.1, T1.1)</p>

จากการวิเคราะห์ด้วย c แนวทางการประยุกต์ใช้การควบคุมป้องกันกลับ ในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคระบาดเพื่อนำไปใช้โดย กวค.สภค.รร.จปร. ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งในกองทัพบกควรมีแนวทางการดำเนินการในรูปแบบของโครงการ หรือกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้ขอใช้คำว่า โครงการ ดังต่อไปนี้

### กลยุทธ์เชิงรุก (SO)

แนวทางการดำเนินการที่ 1 (SO1) โครงการสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านพลวัตและการควบคุมโรคระบาดโดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย (S1-S3, O2.1-O2.2, O4.1):

เมื่อพิจารณาจุดแข็งของกวค.สภค.รร.จปร. ได้แก่ (S1) ด้านบุคลากร (S2) ด้านวิธีการ และ (S3) ด้านเครื่องจักร และโอกาส ได้แก่ (O2.1) มีการศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับองค์ความรู้ของการควบคุมป้องกันทั้งในแง่ของทฤษฎี และการประยุกต์ใช้งานกับระบบต่าง ๆ<sup>58, 85, 99-102, 157</sup> (O2.2) การนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในรูปแบบบทความวิจัยทั้งวารสารวิชาการและการประชุมวิชาการ<sup>60-69, 84</sup> และ (O4.1) แหล่งทุนวิจัยภายในและภายนอก รร.จปร. จึงควรมีการดำเนินการผ่านโครงการสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านพลวัตและการควบคุมโรคระบาดโดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย

การดำเนินการของโครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การนำองค์ความรู้ด้านพลวัตและการควบคุมซึ่งเป็นแขนงหนึ่งในสาขาวิศวกรรมเครื่องกลมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคระบาดต่าง ๆ รวมถึงโรคมาลาเรียซึ่ง กวค.สภค.รร.จปร. มีบุคลากรที่มีความรู้และความชำนาญด้านนี้<sup>89, 98-100, 102</sup>

สำหรับการจัดทำบทความวิจัยนั้นมีความสำคัญเนื่องจากการควบคุมคุณภาพของงานวิจัยเนื่องจากผลงานวิจัยได้รับการพิจารณาและตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้น ๆ ทำให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ และการจัดทำผลงานในรูปแบบดังกล่าวนี้ ทำให้ได้เนื้อหาที่กระชับและง่ายต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดโดยนักวิจัยท่านอื่น ๆ ได้ อีกทั้งยังเป็นการสร้างชื่อเสียงด้านวิชาการให้กับ รร.จปร.

การนำผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาจัดทำในรูปแบบวารสารวิชาการหรือรายงานสืบเนื่องการประชุมทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ส่งผลให้อาจารย์สามารถนำผลงานวิจัยเหล่านี้ยื่นขอรับการประเมินเพื่อดำรงตำแหน่งทางวิชาการที่สูงขึ้นเป็นการสร้างขวัญและกำลังใจให้กับอาจารย์ที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัย<sup>180</sup>

เมื่อพิจารณาโครงการนี้จะเห็นได้ว่าเป็นโครงการที่มีความสอดคล้องและเกี่ยวข้องกับการขอรับรองหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา



วิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (รร.จปร.) นั่นคืออาจารย์ที่มีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบวารสารทางวิชาการและ/หรือรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ สามารถดำรงตำแหน่งอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรฯ<sup>196</sup> หาก กวค.สกศ.รร.จปร. มีจำนวนอาจารย์ที่มีคุณสมบัติด้านนี้ไม่เพียงพอก็ไม่สามารถเปิดหลักสูตรได้<sup>196</sup>

เนื่องจาก พ.ร.บ.การศึกษาแห่งชาติ ทำให้ รร.จปร.ต้องมีการประกันคุณภาพการศึกษา<sup>197</sup> ในส่วนของ สกศ.รร.จปร. มีแผนปฏิบัติการซึ่งมีโครงการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประกันคุณภาพการศึกษานั้นคือการสนับสนุนการตีพิมพ์/เผยแพร่ผลงานทางวิชาการเพื่อพัฒนานักวิจัย รร.จปร. และจำนวนอาจารย์ที่มีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบวารสารและ/หรือรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการมีจำนวนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้คะแนนประกันคุณภาพในแง่คุณภาพของอาจารย์เพิ่มขึ้น<sup>179</sup>

ทั้งนี้บุคลากรของ กวค.สกศ.รร.จปร. สามารถยื่นขอรับการพิจารณาทุนวิจัยจากกองทุนพัฒนา รร.จปร. และ/หรือ ทุนวิจัยจากหน่วยงานภายนอก เช่น สกสว.<sup>195</sup> วช.<sup>194</sup> เป็นต้น เพื่อสนับสนุนในการดำเนินการวิจัย

**แนวทางการดำเนินการที่ 2 (SO2):** โครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมะลาเรีย (S1-S3, O1.1 O2.3 O2.4)

เมื่อพิจารณาจุดแข็ง (S) ทั้ง 3 ด้าน (S1-S3) และโอกาส (O) ได้แก่ (O1.1) รร.จปร.เปิดโอกาสให้บุคลากร สกศ.รร.จปร. สามารถให้บริการวิชาการกับสถาบันภายนอกได้<sup>177, 181-185, 198-200</sup> ดังที่บุคลากรของ กวค.สกศ.รร.จปร. ได้รับการอนุมัติให้สามารถบริการวิชาการกับสถาบันภายนอกกองทัพบก ส่งผลให้อาจารย์ได้มีโอกาสได้เพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์การทำวิจัยในหัวข้อต่าง ๆ (O2.3) การให้ความสำคัญในการควบคุมการระบาดของโรคมะลาเรียทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ<sup>38, 60-69</sup> และ (O2.4) ความร่วมมือระหว่างองค์กรต่าง ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ<sup>3, 10, 11, 14, 18, 20, 22, 28, 186</sup> จึงควรมีการดำเนินการผ่านโครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมะลาเรีย

โครงการนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ที่สำคัญคือการแบ่งปันทรัพยากรด้านต่าง ๆ และ/หรือแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยระหว่าง กวค.สกศ.รร.จปร. กับหน่วยงานภายนอก ทำให้สามารถแก้ปัญหาคาดแคลนทรัพยากรและข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย เช่น ข้อมูลที่จำเป็นในการพัฒนาแบบจำลอง

การระบาดของโรคมลาเรียในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ฐานข้อมูลสำหรับการสืบค้นโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นการดำเนินการร่วมกันของผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่แตกต่างกัน จะมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือการนำความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาวิชามาดำเนินการวิจัยร่วมกันทำให้ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าและมีความก้าวหน้ายิ่งขึ้น

โครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกทั้งภาครัฐและเอกชน นอกเหนือจากการแก้ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรในการทำวิจัยและการมีโอกาสดูแลเปลี่ยนแปลงองค์ความรู้แล้ว การให้บริการทางวิชาการกับสถาบันภายนอกในรูปแบบของผู้ร่วมวิจัยการมีความร่วมมือกับสถาบันภายนอก เป็นการดำเนินการที่สอดคล้องกับแผนปฏิบัติการ สกศ.รร.จปร. ในโครงการหรือกิจกรรมความร่วมมือทางวิชาการระหว่าง รร.จปร. กับองค์กรและสถาบันอุดมศึกษาทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ<sup>131</sup> และสามารถนำไปนับเป็นคะแนนประกันคุณภาพการศึกษาได้<sup>179</sup>

ปัจจุบันโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าร่วมกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้จัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการป้องกันประเทศ (วศ.ม.)<sup>201</sup> ซึ่งเปิดโอกาสให้อาจารย์ส่วนการศึกษาได้ทำการสอนและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมกับอาจารย์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งทำให้มีการทำวิจัยร่วมกันในหัวข้อต่าง ๆ และมีส่วนร่วมในผลงานวิจัย<sup>202</sup>

### กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO)

แนวทางการดำเนินการที่ 3 (WO1): โครงการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง (W1.1, O3.1)

เมื่อพิจารณาจุดอ่อน (W) ได้แก่ (W1.1) มีอาจารย์ที่มีความรู้และความชำนาญด้านระบบพลวัตและการควบคุมจำนวนไม่มาก<sup>89, 98, 100, 102</sup> และโอกาส (O) ได้แก่ (O3.1) กองทัพบกมีทุนการศึกษาให้กับกำลังพลเพื่อไปศึกษาต่อในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก<sup>187-192</sup> จึงควรมีการดำเนินการผ่านโครงการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง

โครงการนี้สามารถดำเนินการได้ในรูปแบบแผนพัฒนาบุคลากร โดยส่งบุคลากรไปศึกษาต่อ หรือแผนการจัดการกำลังพลโดยรับสมัครบุคลากรที่มีความรู้ตามสาขาที่ต้องการ

โครงการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถดำเนินการตามแผนพัฒนาบุคลากรเรียนต่อสามารถดำเนินการได้ เนื่องจากกองทัพบกสนับสนุนให้มีการพัฒนาความรู้ และยกระดับคุณวุฒิทางการศึกษาให้กับกำลังพลของกองทัพบก<sup>189, 190</sup> ในส่วนของแผนจัดการกำลังพลโดยรับสมัครบุคลากรที่มีความรู้ตามสาขาวิชาที่ต้องการนั้นสามารถกระทำได้โดยการเสนอความต้องการบุคคลพลเรือนเข้ามาเป็นอาจารย์ของกองวิชา ตามสายการบังคับบัญชา และเป็นไปตามระเบียบกระทรวงกลาโหม ว่าด้วย การบรรจุ การโอน และการบรรจุกลับเข้ารับราชการ พ.ศ. 2529<sup>187, 188</sup> ซึ่งการคัดเลือกบุคลากรใหม่ของ กวค.สกศ.รร.จปร. นี้ จะทำให้กองวิชาสามารถคัดเลือกบุคคลที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญตรงกับความต้องการของ กวค.สกศ.รร.จปร. ในการดำเนินการศึกษาวิจัยการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมาลาเรียด้วยวิธีการควบคุมป้องกัน

### กลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST)

แนวทางการดำเนินการที่ 4 (ST1): โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการด้านระบบพลวัตและการควบคุม กวค.สกศ.รร.จปร. (S1-S3, T2.1)

เมื่อพิจารณาจุดแข็งทั้ง 4 ด้าน (S1-S3) และภัยคุกคาม (T2.1) ในแง่ของขั้นตอนการจัดซื้อคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ที่มีความซับซ้อนและใช้เวลานาน จึงควรมีการดำเนินผ่านโครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการด้านระบบพลวัตและการควบคุม กวค.สกศ.รร.จปร.

ห้องปฏิบัติการที่จัดตั้งขึ้นนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาและวิจัยในหัวข้อต่อไปนี้

- 1) ศึกษาพฤติกรรมพลวัตและการควบคุมพฤติกรรมพลวัตของระบบต่าง ๆ ทั้งระบบทางวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์ ระบบสันสะเทือน และระบบชีวภาพต่าง ๆ รวมถึงระบบโรคระบาด
- 2) การควบคุมการระบาดบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์
- 3) การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของระบบพลวัตต่าง ๆ และ
- 4) การพัฒนาโปรแกรมฟรีแวร์ (Freeware) สำหรับการจำลองสถานการณ์ระบบควบคุม

พิจารณาภัยคุกคาม (T2.1) ขั้นตอนการจัดหาซอฟต์แวร์ด้วยงบประมาณประจำปีมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน สามารถจัดการกับภัยคุกคามโดยการอาศัยจุดแข็งด้านทักษะของบุคลากร: (S1.1.1) มีบุคลากรที่มีความรู้และความชำนาญด้านระบบพลวัตและการควบคุม (S1.1.2) มีบุคลากรที่มีทักษะด้านวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical method) ในการพัฒนาโปรแกรมฟรีแวร์ (Freeware program)

ขึ้นมาใช้เองสำหรับการจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมโรคระบาดและระบบพลวัตอื่น ๆ ที่สนใจ

สำหรับงบประมาณในการจัดตั้งห้องวิจัย อุปกรณ์ต่าง ๆ และสนับสนุนการดำเนินการวิจัยต่าง ๆ บุคลากรของห้องปฏิบัติการนี้สามารถหาจากแหล่งทุนทั้งต่าง ๆ ดังที่กล่าวในข้างต้น

การมีห้องปฏิบัติการของ กวค.สทศ.รร.จปร. ทำให้สามารถกำหนดเป้าหมายของการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับระบบพลวัตและการควบคุมของระบบต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วได้อย่างชัดเจน และทำให้ กวค.สทศ.รร.จปร. สามารถบริหารจัดการทรัพยากรของ กวค.สทศ.รร.จปร. นำไปสู่การดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบพลวัตและการควบคุมของ กวค.สทศ.รร.จปร. เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่จำกัดเฉพาะการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียโดยการควบคุมป้อนกลับ

ห้องปฏิบัติการนี้เป็นสิ่งสนับสนุนและอำนวยความสะดวกให้กับบุคลากรในการทำวิจัยด้านระบบพลวัตและการควบคุมในการเรียนการสอนให้กับนักเรียนนายร้อยในวิชาต่าง ๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เช่น การควบคุมอัตโนมัติ กลศาสตร์การสั่นสะเทือน หุ่นยนต์เบื้องต้น ฯลฯ<sup>188</sup>

### กลยุทธ์เชิงรับ (WT)

แนวทางการดำเนินการที่ 5 (WT1): โครงการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการระบาดของโรคมาลาเรียในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย (W3.1, T1.1)

เมื่อพิจารณาจุดอ่อน (W3.1) การขาดแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับอธิบายพลวัตการระบาดของโรคมาลาเรียสำหรับพื้นที่ตามแนวชายแดนในประเทศไทย และภัยคุกคาม (T1.1) การมีข้อมูลไม่เพียงพอในการพัฒนาแบบจำลองการระบาดของโรคมาลาเรียในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย จึงควรมีการดำเนินการผ่านโครงการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการระบาดของโรคมาลาเรียในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย

เนื่องจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายพฤติกรรมพลวัตของโรคระบาดนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการกำหนดมาตรการควบคุม โดยกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับดังแสดงในหัวข้อที่ 4 ในบทที่ 2 แม้ว่าการควบคุมป้อนกลับจะสามารถจัดการกับสัญญาณรบกวนภายนอกและความไม่แน่นอน

ของพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้<sup>58, 84</sup> ความถูกต้องและสอดคล้องของแบบจำลองกับพลวัตการระบาดของโรคมลาเรียจะนำไปสู่การกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมลาเรียที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ดังจะเห็นได้จากกรณีที่แบบจำลองของโรคมลาเรียได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีโครงสร้างที่แตกต่างกันทั้งในแง่ของ ประชากรกลุ่มย่อย มาตรการควบคุม และปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อพลวัตการระบาด ดังแสดงในงานวิจัยก่อนหน้า<sup>35-41, 60-69, 75</sup>

เพื่อให้ได้มาตรการควบคุมที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับควบคุมการระบาดของโรคมลาเรียที่เกิดขึ้นตามแนวชายแดนของประเทศไทย จึงควรมีการพัฒนาแบบจำลองที่สอดคล้องกับพลวัตการระบาดในพื้นที่ตามแนวชายแดนซึ่งมีความจำเพาะจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น การข้ามแดนของประชากรจากประเทศเพื่อนบ้าน<sup>79, 144</sup> การค้ามนุษย์<sup>144</sup> ความแตกต่างของมาตรฐานสาธารณสุขระหว่างประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน<sup>144</sup> การดื้อยารักษาและการกลายพันธุ์ของเชื้อก่อโรค<sup>4, 203</sup> การขาดภูมิคุ้มกันตามธรรมชาติของกำลังพลผู้ซึ่งไม่ได้มีภูมิลำเนาในพื้นที่ที่มีการระบาด<sup>4</sup> ห้วงเวลาการสับเปลี่ยนกำลังพล<sup>4</sup> ฯลฯ เพื่อที่จะได้แบบจำลองที่สอดคล้องกับพลวัตการระบาดของโรคในพื้นที่ตามแนวชายแดน จึงควรนำปัจจัยเหล่านี้เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างแบบจำลอง เช่นเดียวกับแนวทางการพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยก่อนหน้า<sup>35-41, 60-69, 75, 76, 78, 79</sup> และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพด้วยการควบคุมย้อนกลับสำหรับพื้นที่ตามแนวชายแดน

นอกจากนี้เพื่อสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมดังกล่าวจะต้องอาศัยข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง<sup>60-69, 75, 76, 78, 79, 84</sup> เช่น ข้อมูลเชิงสถิติของประชากรรับเชื้อ ประชากรที่หายจากโรค ประชากรที่ได้รับการรักษา ฯลฯ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้อาจไม่แม่นยำหรือมีไม่เพียงพอ การจะได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องอาศัยความร่วมมือในแง่มุมมองต่าง ๆ เช่น ข้อมูลเชิงสถิติและองค์ความรู้อื่น ๆ จากหน่วยงานของกระทรวงสาธารณสุข และหน่วยงานสายแพทย์ของกองทัพบก องค์ความรู้และทรัพยากรในการศึกษาวิจัยจากหน่วยงานภายนอกทั้งภาครัฐและเอกชน เป็นต้น

ดังนั้นโครงการนี้ควรดำเนินการควบคู่ไปกับแนวทางที่ 2 ของกลยุทธ์เชิงรุก (SO2) โครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอก ในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมลาเรีย โดยผ่านโครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการด้านระบบพลวัตและการควบคุม ตามกลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST1) จะทำให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผล

## บทที่ 3

### บทอภิปรายผล

#### 1. อภิปรายผลการศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งที่ได้นำเสนอและพฤติกรรมพลวัตของประชากรกลุ่มเป้าหมายของระบบควบคุม

มาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งที่ได้จากกระบวนการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลซิงเนอรัลเจติกแปรตามเวลา (TVISC) สามารถควบคุมประชากรกลุ่มเป้าหมายตามวัตถุประสงค์การควบคุมได้

จากผลการจำลองสถานการณ์ภายใต้ข้อจำกัดของสัญญาณขาเข้า (Input constraint) หรือความอิ่มตัวของสัญญาณขาเข้า (Input saturation) เมื่อมีการเลือกพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสม จะได้มาตรการควบคุมตัวแทน ( $v_1, v_2, v_3$ ) และมาตรการควบคุมจริง ( $u_1, u_2, u_3$ ) การกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดโดยวิธีการ TVISC นั้นเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ออกแบบตัวควบคุมหรือผู้กำหนดมาตรการควบคุมการระบาด เนื่องจากสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์การควบคุมระดับประชากรกลุ่มเป้าหมายให้มีค่าเข้าสู่ศูนย์ได้ และสามารถทำให้อัตราการลุ่เข้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าพารามิเตอร์ของระบบและตัวควบคุมที่เงื่อนไขเริ่มต้นเดียวกัน อีกทั้งยังสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุม (Chattering phenomenon) ดังที่เกิดขึ้นในสัญญาณควบคุมของมาตรการควบคุมโดยวิธีการควบคุมแบบ ISMC

จากการปราศจากปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุมและสามารถเพิ่มอัตราการลุ่เข้าของประชากรกลุ่มย่อยเป้าหมายได้ ทำให้มาตรการควบคุมการระบาดที่กำหนดโดยวิธีการควบคุมแบบ TVISC นั้นเป็นมาตรการที่สามารถนำไปใช้ได้ทางปฏิบัติ ดังนั้นการประยุกต์ใช้กระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับแบบอินทิกรัลซิงเนอรัลเจติกแปรตามเวลา (TVISC) จึงเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็ง

## 2. อภิปรายผลการศึกษาการนำแนวทางการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียด้วยการควบคุมป้อนกลับไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานในกองทัพบก

ผลจากการวิเคราะห์ SWOT ร่วมกับ 4M จะทำให้สามารถหากกลยุทธ์จากการสร้าง TOWS Matrix ทำให้ได้แนวทางการประยุกต์ใช้การควบคุมป้อนกลับสำหรับกำหนดมาตรการควบคุมโรคมาลาเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับแนวทางการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

- 1) โครงการสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านพลวัตและการควบคุมโรคระบาดโดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย
- 2) การสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรีย
- 3) การพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง
- 4) การจัดตั้งห้องปฏิบัติการด้านระบบพลวัตและการควบคุม กวค.สกศ.รร.จปร. และ
- 5) การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมระบาดของโรคมาลาเรียในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย ซึ่งแนวทางเหล่านี้สามารถดำเนินการในรูปแบบของกิจกรรมหรือโครงการตามความเหมาะสม

เมื่อพิจารณาแนวทางการดำเนินการในรูปแบบกิจกรรมหรือโครงการต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่กำหนดจาก TOWS Matrix จะเห็นได้ว่า การดำเนินการในแต่ละแนวทางเพื่อนำแนวทางการควบคุมป้อนกลับไปใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมาลาเรียนั้นมีความสอดคล้องกับนโยบายและระเบียบต่าง ๆ ของกระทรวงกลาโหม<sup>198, 199</sup> กองทัพบก<sup>131, 137</sup> รร.จปร.<sup>200</sup> และ สกศ.รร.จปร.<sup>136</sup> ตลอดจนภารกิจต่าง ๆ ของ กวค.สกศ.รร. ที่เกี่ยวข้องกับ การวิจัย การเรียนการสอน การจัดทำหลักสูตร<sup>196, 204</sup> และประกันคุณภาพ<sup>179, 197</sup> และการดำเนินการเหล่านี้ไม่ได้เป็นการเพิ่มภาระงานใหม่ให้กับ กวค.สกศ.รร.จปร. และบุคลากรของ กวค.สกศ.รร.จปร. เพียงแต่ต้องอาศัยการวางแผนที่ดี การบริหารจัดการทรัพยากรของ กวค.สกศ.รร.จปร. อย่างมีประสิทธิภาพ และความร่วมมือของบุคลากรใน กวค.-สกศ.รร.จปร. ในส่วนของการสนับสนุนด้านงบประมาณ การมีกองทุนพัฒนา รร.จปร. เป็นแหล่งทุนที่สำคัญที่สามารถนำไปสนับสนุนโครงการต่าง ๆ ได้ นอกเหนือจากการสนับสนุนทุนวิจัยให้กับอาจารย์สำหรับดำเนินการวิจัยแล้ว ยังช่วยให้การจัดการเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับดำเนินการวิจัยเป็นไปด้วยความสะดวกและคล่องตัวอีกด้วย นอกจากนี้โครงการเหล่านี้มีหลายโครงการที่มีความเชื่อมโยงกันและ/หรือควรมี

การดำเนินการควบคู่กันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการด้านระบบพลวัตและการควบคุม (ST1) มีส่วนในการสนับสนุนโครงการสนับสนุนการทำวิจัยและนำเสนอผลงานในรูปแบบบทความวิจัย (SO1) เนื่องจากสามารถสนับสนุนทรัพยากรในการดำเนินการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงโครงการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการระบาดของโรคมะเร็งในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย (WT1) ในส่วนของโครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็ง (SO2) ก็จะช่วยสนับสนุนการดำเนินการทุกโครงการของกลยุทธ์เชิงรุก กลยุทธ์เชิงป้องกัน และกลยุทธ์เชิงรับ และโครงการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง (WO1) เมื่อดำเนินการแล้วจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของจุดแข็งในแง่ของทรัพยากรด้านบุคลากรซึ่งสนับสนุนโครงการต่าง ๆ ในกลยุทธ์เชิงรุกและกลยุทธ์เชิงป้องกันซึ่งควรดำเนินการควบคู่ไปกับโครงการอื่น ๆ

จากความสัมพันธ์กันของนโยบายและระเบียบต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น แนวทางการดำเนินการเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการดำเนินการให้กับหน่วยงานอื่น ๆ ในกองทัพบก สำหรับการประยุกต์ใช้กระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้อนกลับในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคมะเร็งและโรคระบาดโรคอื่น ๆ



## บทที่ 4

### บทสรุป

#### 1. สรุปผลการศึกษา

เนื่องจากโรคมะเร็งเป็นโรคระบาดที่ส่งผลกระทบต่อกำลังพลของกองทัพบกและประชาชนทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ตามแนวชายแดน อีกทั้งยังเคยถูกนำมาใช้ในรูปแบบอาวุธชีวภาพดังที่กล่าวก่อนหน้านี้

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งบนพื้นฐานแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ผ่านกระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้องกันแบบซินเนอร์เจติกตามเวลาร่วมกับระบบช่วย เพื่อคิดผลกระทบจากข้อจำกัดของอินพุตควบคุม จากนั้นพิสูจน์เสถียรภาพของระบบควบคุมด้วยทฤษฎีเสถียรภาพของเลียปูนอฟ (Lyapunov stability theorem) การจำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมการระบาดภายใต้มาตรการควบคุมที่นำเสนอ แสดงให้เห็นถึงขีดความสามารถในการกำหนดมาตรการควบคุม นั่นคือสามารถทำให้ประชากรเข้าสู่ระดับที่ต้องการได้ และจากเซตของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ในการศึกษาครั้งนี้ มาตรการควบคุมที่นำเสนอสามารถเพิ่มอัตราการเข้าสู่ของระบบควบคุมได้เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการควบคุมที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบแผนเลือนอินทิกรัล และอีกทั้งยังสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดปรากฏการณ์การสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงในสัญญาณควบคุม (Chattering phenomena) ได้อีกด้วย

จากนั้นได้ทำการศึกษานำแนวทางการควบคุมป้องกันไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดมาตรการควบคุมโรคระบาดโดยหน่วยงานในกองทัพบก โดยใช้การวิเคราะห์ SWOT ร่วมกับการวิเคราะห์ 4M ซึ่งเกี่ยวข้องกับ คน (Man) วิธีการ (Method) เครื่องจักร (Machine) และวัตถุดิบ (Material) สำหรับหน่วยงานที่เลือกมาทำการวิเคราะห์ คือ กวค.สทศ.รร.จปร.

ผลจากการวิเคราะห์สถานะแวดล้อมนำไปสู่การกำหนดผ่านการวิเคราะห์ TOWS Matrix ทำให้ได้กลยุทธ์ต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของโครงการหรือกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้ 1) โครงการสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านพลวัตและการควบคุมโรคระบาดโดยนำเสนอในรูปแบบบทความวิจัย 2) โครงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการศึกษาและวิจัยการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็ง 3) โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการ

ด้านระบบพลวัตและการควบคุม กวค.สภค.รร.จปร. 4) โครงการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้และความชำนาญตามคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง 5) โครงการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการระบาดของโรคมะเร็งในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย

## 2. ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

จากผลการศึกษานี้ในภาพรวมแสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้การควบคุมป้องกัน ดั่งเช่น การควบคุมแบบซินเนอร์เจติกและวิธีการควบคุมแบบอื่น ๆ ในการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งนั้นมีความเป็นไปได้และมีประสิทธิภาพ ในส่วนของ การนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้โดยหน่วยงานของกองทัพบกสามารถดำเนินการได้โดยอาศัยการจัดการและการส่งเสริมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

## 3. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

เพื่อให้การศึกษาวิจัยที่มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจากงานวิจัยนี้ จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1) ดำเนินการพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายพลวัตการระบาดของโรคมะเร็งสำหรับพื้นที่ตามแนวชายแดนที่มีโครงสร้างสอดคล้องและครอบคลุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพลวัตของการระบาดในพื้นที่ดังกล่าว

2) ทำการศึกษาการกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมะเร็ง โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการออกแบบตัวควบคุมป้องกันแบบซินเนอร์เจติกและ/หรือตัวควบคุมป้องกันแบบอื่น ๆ บนพื้นฐานแบบจำลองที่มีการพัฒนาสำหรับการระบาดของโรคมะเร็งในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย เพื่อให้ได้มาตรการควบคุมที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมสำหรับควบคุมการระบาดของโรคมะเร็งในพื้นที่ตามแนวชายแดนของประเทศไทย

## เอกสารอ้างอิง

- 1 กองวิทยาลัยการทัพบก. เอกสารประกอบการศึกษา หมวดวิชาที่ 2 ตอนที่ 1 วิชาหลักความมั่นคงและยุทธศาสตร์ ยศ. 2100. หลักสูตรหลักประจำวิทยาลัยการทัพบก. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566.
- 2 Brabin JB. Malaria's contribution to world war one – the unexpected adversary. *Malar J.* 2014; 13:497. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-497>.
- 3 Teneza-Mora N, Lumsden J, and Villasante E. A malaria vaccine for travelers and military personnel: requirements and top candidates. *Vaccine.* 2015; 33(52):7551-8. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.10.004>.
- 4 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์ทหาร กรมแพทย์ทหารบก (สวพท.). การติดอาวุธต่อสู่โรคไข้มาลาเรียสำหรับกำลังพลที่ปฏิบัติหน้าที่ภาคสนามในพื้นที่ระบาดตามแนวชายแดน [อินเทอร์เน็ต]. *Medical Scientific Report.* ปีที่ 2 ฉบับที่ 11. พฤษภาคม 2562. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://www.afirms.go.th/main/download/upload/document-20210831192620.pdf>
- 5 แผนกระบาดวิทยา กองวิจัย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์ทหาร กรมแพทย์ทหารบก (สวพท.). โครงการเฝ้าระวังโรคไข้มาลาเรียสำหรับทหารที่ปฏิบัติภารกิจตามแนวชายแดน. จดหมายข่าวจากโต๊ะผู้บริหารฉบับที่ 3 ของปีงบประมาณ 2565. ธันวาคม 2564. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://www.afirms.go.th/main/download/upload/document-20211230111012.pdf>
- 6 Snowden FM. *The conquest of malaria Italy, 1900-1962*: New Haven, London: Yale University Press; 1962.
- 7 สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 10. ทัศนคติและการปฏิบัติตนในการป้องกันโรคไข้มาลาเรียของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในเขตเทือกเขาพนมดงรัก จังหวัดศรีสะเกษ. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 10 มกราคม-มิถุนายน 2563; ปีที่ 18 เล่ม 1. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/odpc10ubon/article/view/249615>

- 8 กรมแพทย์ทหารบก กองทัพบก. ประกาศกรมแพทย์ทหารบก เรื่อง คำแนะนำการป้องกันและควบคุมโรคมาลาเรีย ณ วันที่ 6 ตุลาคม 2559. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก : [https://www.geocities.ws/logistmed/pdf/6\\_10.pdf](https://www.geocities.ws/logistmed/pdf/6_10.pdf)
- 9 กรมแพทย์ทหารบก กองทัพบก. ประกาศกรมแพทย์ทหารบก เรื่อง การกำหนดพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง พื้นที่ที่มีความเสี่ยง และพื้นที่เฝ้าระวังการติดเชื้อโรคมาลาเรีย ณ วันที่ 21 กันยายน 2558. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก : [https://www.geocities.ws/logistmed/pdf/6\\_6.pdf](https://www.geocities.ws/logistmed/pdf/6_6.pdf)
- 10 Sachs J, Malaney P. The economic and social burden of malaria. *Nature*. 2002; 415(6872):680-5. <https://doi.org/10.1038/415680a>.
- 11 Andrade MV, Noronha K, Diniz BPC, Guedes G, Carvalho LR, Silva VA, et al. The economic burden of malaria: a systematic review. *Malar J*. 2022; 21:283. <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04303-6>.
- 12 Rossello J, Santana-Gallego M, Awan W. Infectious disease risk and international tourism demand. *Health Policy Plan*. 2017; 32(4):538-548. <https://doi.org/10.1093/heapol/czw177>.
- 13 Karabulut G, Bilgin MH, Demir E, Doker AC. How pandemics affect tourism: international evidence. *Ann Tour Res*. 2020; 84:102991. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102991>.
- 14 Clever H. Malaria and the political economy of public health. *Int J Health Serv*. 1977; 7(4):557-79. <https://doi.org/10.2190/WXDB-Y7DN-FU49-DLFG>.
- 15 Ren M. Greater political commitment needed to eliminate malaria. *Infect. Dis. Poverty*. 2019; 8:28. <https://doi.org/10.1186/s40249-019-0542-8>.
- 16 Chen H, Wang Z, Han E. Infectious disease and political violence: evidence from malaria and civil conflicts in Sub-Saharan Africa. *Res. Politics*. 2023; 10(2):1-7. <https://doi.org/10.1177/2053168023118276>.
- 17 Parkhurst J, Ghilardi L, Webster J, Snow RW, Lynch CA. Competing interest, clashing ideas and institutionalizing influence: insights into the political economy of malaria control from seven African countries.

- Health Policy Plan. 2021; 36(1):35-44. <https://doi.org/10.1093/heapol/czaa166>.
- 18 Constantine B, Hal TN, Siddharth S. Towards comprehensive malaria planning: the effect of government capacity, health policy, and land use variables on malaria incidence in India. *Soc. sci. med.* 2012; 75(7):1213-1221. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.05.023>.
  - 19 เรณู สุขารมณ, ชมพูนุท โกลสลากร เพิ่มพูนวิวัฒน์. รายงานวิจัยเรื่อง การศึกษาต้นทุนสังคมของผลกระทบที่เกิดจากการกลับมาระบาดของเชื้อไข้มาลาเรียในไทย. 2557. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม 2566. เข้าถึงได้จาก : <https://ir.swu.ac.th/jspui/handle/123456789/2505>
  - 20 Angelo KM, Libman M, Caumes E, Hamer DH, Kain KC, Leder K, et al. Malaria after international travel: a GeoSentinel analysis, 2003-2016. *Malaria Journal* 2017; 16(1):293. <https://doi.org/10.1186/s12936-017-1936-3>.
  - 21 Brauer F, Castillo-Chavez C. *Mathematical models in population biology and epidemiology*. 2nd ed. New York: Springer; 2010.
  - 22 World Health Organization. Malaria [Internet]. [updated 2023 Dec 4; cited 2024 Jan 15]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malaria>
  - 23 Buck E, Finnigan NA. Malaria [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; [updated 2023 Jul 31; cited 2024 Jan 15]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551711/>.
  - 24 Tan K, Abanyie F. Malaria [Internet]. *CDC Yellow Book: Travel-Associated Infections & Diseases*; National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Global Migration and Quarantine (DGMQ); 2024 [cited 2024 Jan 15]. Available from: <https://wwwnc.cdc.gov/travel/yellowbook/2024/infections-diseases/malaria>.
  - 25 Ashey EA, Phyto AP, Woodrow CJ. Malaria. *The Lancet*. 2018; 391(10130):1608-1621. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30324-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30324-6).

- 26 Phillips MA, Manyando C, Van Huijsduijnen RH, Van Voorhis WC, Wells TNC. Nat. Rev. Dis. Primers. 2017; 3(17050). <http://dx.doi.org/10.1038/nrdp.2017.50>.
- 27 ภาควิชาปรสิตวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. โรคมาลาเรีย (Malaria) [อินเทอร์เน็ต]. เชียงใหม่: คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [เข้าถึงเมื่อ 15 ม.ค. 2567]. เข้าถึงจาก <https://w1.med.cmu.ac.th/parasite/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%A7%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B9%82%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%AA/4690/>
- 28 Plewes K, Leopold S, Kingston HWF, Dondorp AM. Malaria: What's New in the Management of Malaria?. Infect. Dis. Clin. North Am. 2019; 33(1):39-60. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2018.10.002>.
- 29 สำนักโรคติดต่อโดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. ยุทธศาสตร์การกำจัดโรคไข้มาลาเรียประเทศไทย พ.ศ.2560-2569. กรุงเทพฯ: อักษรกราฟฟิกแอนด์ดีไซน์; ปี 2559.
- 30 สำนักโรคติดต่อโดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. โครงการกำจัดโรคไข้มาลาเรียประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข; 2567 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก <https://malaria.ddc.moph.go.th/malariaR10/home.php>.
- 31 สำนักโรคติดต่อโดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการทำงานเพื่อกำจัดโรคไข้มาลาเรียสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเครือข่ายสุขภาพ. กรุงเทพฯ: อักษรกราฟฟิกแอนด์ดีไซน์; ปี 2562.
- 32 พ.อ. สุขชนา แทบประสิทธิ์. การพัฒนา และเสริมสร้างศักยภาพกำลังพล ก่อนเข้าปฏิบัติงานภาคสนาม สำหรับกำลังพลกองทัพบกที่ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคไข้มาลาเรียตามแนวชายแดนไทย. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยกองทัพบก; ปี 2565.
- 33 Keeling MJ, Rohani P. Modeling infectious diseases in humans and animals. New Jersey: Princeton University Press; 2008.

- 34 Jørgensen SE, Bendoricchio G. Fundamentals of ecological modeling. 3rd ed. Oxford: Elsevier Science; 2001.
- 35 Fatmawati, Herdicho FF, Windarto, Chukwu W, Tasman H. An optimal control of malaria transmission model with mosquito seasonal factor. *Results Phys.* 2021; 25:104238. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.104238>.
- 36 Keno TD, Dano LB, Makinde OD. Modeling and optimal control analysis for malaria transmission with role of climate variability. *Comput. Math. Methods.* 2022; 9667396. <https://doi.org/10.1155/2022/9667396>.
- 37 Kilgour DM, Kunze H, Makarov R, Melnik R, Wang X. Recent developments in mathematical, statistical and computational sciences. In: The V AMMCS International Conference; 2019 Aug 18-23; Waterloo, Canada.
- 38 Olaniyi S, Okosun KO, Adesanya SO, Lebelo RS. Modelling malaria dynamics with partial immunity and protected travellers: optimal control and cost-effectiveness analysis. *J. Biol. Dyn.* 2020; 14(1):90-115. <https://doi.org/10.1080/17513758.2020.1722265>.
- 39 Affandi P, Faisal. Optimal control mathematical SIR model of malaria spread in South Kalimantan. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1116. 2018; 1116(2):022001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1116/2/022001>.
- 40 Okosun KO, Rachid O, Marcus N. Optimal control strategies and cost-effectiveness analysis of malaria model. *BioSystems.* 2013; 111(2):83-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2012.09.008>.
- 41 Handari BD, Vitra F, Ahya R, Nadya TS, Aldila D. Optimal control in malaria model: intervention of fumigation and bed nets. *Adv. Differ. Equ.* 2019; 2019:497. <https://doi.org/10.1186/s13662-019-2424-6>.
- 42 Kyere SN, Prah JA, Okyere E, Marmah S, Afram T. Hepatitis B optimal control model with vertical transmission. *Appl. Math.* 2017; 7(1):5-13. <https://doi.org/10.5923/j.am.20170701.02>.

- 43 Edmunds WJ, Medley GF, Nokes DJ. The transmission dynamics and control of hepatitis B virus in the Gambia. *Stat Med.* 1996; 15(20):2215-2233. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0258\(19961030\)15:20<2215::AID-SIM369>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0258(19961030)15:20<2215::AID-SIM369>3.0.CO;2-2).
- 44 Khan T, Zaman G, Chohan MI. The transmission dynamic and optimal control of acute and chronic hepatitis B. *J Biol Dyn.* 2017; 11(1): 172-189. <https://doi.org/10.1080/17513758.2016.1256441>.
- 45 Deepa OS, Nallamalli S, Naik LNS, Teja GVS. Mathematical model for transmission of ebola. In: International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence (ICCC-2015). Interscience Institute of Management and Technology, Bhubaneswar, Odisha, India.
- 46 Ahmad MD, Usman M, Khan A, Imran M. Optimal control analysis of ebola disease with control strategies of quarantine and vaccination. *Infect. Dis. Poverty.* 2016; 5:72. <https://doi.org/10.1186/s40249-016-0161-6>.
- 47 Rachah A, Torres DFM. Dynamics and optimal control of ebola transmission. *MCS.* 2016; 10:331-342. <https://doi.org/10.1007/s11786-016-0268-y>.
- 48 Silva CJ, Torres DFM. Optimal control for a tuberculosis model with reinfection and post-exposure interventions. *Math. Biosci.* 2013; 244(2):154-164. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2013.05.005>.
- 49 Kereyu D, Demie S. Transmission dynamics model of tuberculosis with optimal control strategies in Haramaya district, Ethiopia. *Adv Differ Equ.* 2021; 2021:289. <https://doi.org/10.1186/s13662-021-03448-z>.
- 50 Denysiuk R, Silva CJ, Torres DFM. Multiobjective approach to optimal control for a tuberculosis model. *Optim. Methods Softw.* 2015; 30(5):893-910. <http://dx.doi.org/10.1080/10556788.2014.994704>.
- 51 Biswas S. Mathematical modeling of visceral leishmaniasis and control strategies. *Chaos Solit. Fractals.* 2017; 104:546-556. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.09.005>.



- 52 Zhao S, Kuang Y, Wu CH, Arieh DB, Ortigao MR, Bi K. Zoonotic visceral leishmaniasis transmission: modeling, backward bifurcation, and optimal control. *J Math Biol.* 2016; 73(6-7):1525-1560. <https://doi.org/10.1007/s00285-016-0999-z>.
- 53 Ibrahim ME, Rayan MA. An optimal control model for the dynamics of visceral leishmaniasis. *Int. J. Comput. Sci.* 2015; 2(12). <https://doi.org/10.3390/math5040080>.
- 54 Murad D, Badshah N, Syed MA. Mathematical approaches for optimization of dengue fever dynamics. *Int. J. Model. Simul. Sci. Comput.* 2019; 10(2):1950006. <https://doi.org/10.1142/S1793962319500065>.
- 55 Denysiuk R, Rodrigues HS, Monteiro MTT, Costa L, Santo IE, Torres DFM. Multiobjective approach to optimal control for a dengue transmission model. *Stat. Optim. Inf. Comput.* 2015; 3:206-220. <https://doi.org/10.19139/soic.v3i3.144>.
- 56 Rodrigues HS, Monteiro MTT, Torres DFM. Optimal control of a dengue epidemic model with vaccination. *AIP Conf. Proc.* 2011; 1389:1232–1235. <https://doi.org/10.1063/1.3637839>.
- 57 อาศิส บุญยะประภัศร. การศึกษาการควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับพลวัตของระบบชีวภาพ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2564.
- 58 Puebla H, Roy PK, Perez AV, Brambila MMG. Biological pest control using a model-based robust feedback. *IET Syst Biol.* 2018; 12(6):233-240. <https://doi.org/10.1049/iet-syb.2018.5010>.
- 59 Boonyaprapasorn A, Choopojcharoen T, Sa Ngiamsunthorn P, Kuntanapreeda P, Pengwang E, Natsupakpong S, et al. Fixed-time synergetic approach for biological pest control based on lotka-volterra model. *IEEE Access.* 2021; 9:47303-47319. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066550>.

- 60 Bashir AB, Parvaneh I, Isa AB. Optimal control approach to study two strain malaria model. *AIP Conf. Proc.* 2019; 2183: 0700041-0700044. <https://doi.org/10.1063/1.5136166>.
- 61 Basir FA, Abraha T. Mathematical modelling and optimal control of malaria using awareness-based interventions. *Mathematics.* 2023; 11:1687. <https://doi.org/10.3390/math11071687>.
- 62 Fatmawati, Tasman H, Purwati UD, Herdicho FF, Chukwu CW. An optimal control problem of malaria model with seasonality effect using real data. *Commun. Math. Biol. Neurosci.* 2021; 66. <https://doi.org/10.28919/cmbn/6059>.
- 63 Mwanga GG. Mathematical modeling and optimal control of malaria [Thesis for the degree of Doctor of Science]. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology; 2014.
- 64 Hincapie D, Ospina J. Optimal control in a model of malaria with differential susceptibility. In: Sarka O. Southern, Mark A. Mentzer, Isaac Rodriguez-Chavez, Virginia E. Wotring, editor. *Proceedings of SPIE 2014: Sensing Technologies for Global Health, Military Medicine, and Environmental Monitoring IV*; 2016 Mar 7; 9112:91121P1-91121P11. <https://doi.org/10.1117/12.2049782>.
- 65 Khamis D, Mouden CE, Kura K, Bonsall MB. Optimal control of malaria: combining vector interventions and drug therapies. *Malar. J.* 2018; 17:174. <https://doi.org/10.1186/s12936-018-2321-6>.
- 66 Ndi MZ, Adi YA. Understanding the effects of individual awareness and vector controls on malaria transmission dynamics using multiple optimal control. *Chaos Solitons Fractals.* 2021; 153:111476. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111476>.
- 67 Osman M, Adu IK. Mathematical model of malaria transmission with optimal control in Democratic Republic of the Congo. *Glob. j. sci. front. res.* 2019; 19(1).

- 68 Oladapo AO, Olayiwola MO, Adedokun KA, Alaje IA, Adedeji JA, Kabiru KO, Yunus AO. Optimal control analysis on mathematical model of dynamical transmission of HIV-Malaria co-infection. *J. Southwest Jiaotong Univ.* 2023; 58(1). <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.58.1.44>.
- 69 Panja P, Mondal SK, Chattopadhyay J. Stability, bifurcation and optimal control analysis of a malaria model in a periodic environment. *Int. J. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 2017; 19(6):627-642. <https://doi.org/10.1515/ijnsns-2017-0221>.
- 70 Lashari AA, Zaman G. Optimal control of a vector borne disease with horizontal transmission. *Nonlinear Anal. Real World Appl.* 2012; 13:203-212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nonrwa.2011.07.026>.
- 71 Athithan S, Ghosh M. Stability analysis and optimal control of a malaria model with larvivorous fish as biological control agent. *Appl. Math. Inf. Sci.* 2015; 9(4):1893-1913. <http://dx.doi.org/10.12785/amis/090428>.
- 72 Blayneh K, Cao Y, Kwon HD. Optimal control of vector-borne diseases: treatment and prevention. *Discrete Continuous Dyn. Syst. Ser. B.* 2009;11(3):587-611. <https://doi.org/10.3934/dcdsb.2009.11.587>.
- 73 Otiunno G, Koske JK, Mutiso JM. Transmission dynamics and optimal control of malaria in Kenya. *Discrete Dyn. Nature Soc.* 2016; 2016:8013574. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8013574>.
- 74 Lashari AA, Aly S, Hattaf K, Zaman G, Jung IH, Li XZ. Presentation of malaria epidemics using multiple optimal controls. *J. Appl. Math.* 2012; 2012:946504. <http://doi:10.1155/2012/946504>.
- 75 กัญญารัตน์ หนูชุม, สุจารี ดาศรี, สุรพล เนาวรัตน์. ผลของการใช้ยากันยุงที่มีต่อตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์การระบาดของโรคมาลาเรีย. 2560.
- 76 พันธนี พงศ์สัมพันธ์. รายงานการวิจัยเรื่อง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการระบาดของโรคมาลาเรียตามกลุ่มอายุของผู้ป่วยและฤดูกาลในประเทศไทย. คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.

- 77 พันธนี พงศ์สัมพันธ์.รายงานการวิจัยเรื่อง การใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กระบวนการสโทแคสติก และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อนำมาศึกษาการระบาดของโรคมาลาเรีย. คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2556.
- 78 พันธนี พงศ์สัมพันธ์.รายงานการวิจัยเรื่อง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการควบคุมการแพร่ระบาดของไวรัสตับอักเสบบี โดยการรณรงค์ให้ความรู้. คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2559.
- 79 Makinde OD, Okosun KO. Impact of chemo-therapy on optimal control of malaria disease with infected immigrants. *Biosystems*. 2011;104(1):32-41.
- 80 Ibeas A, De la Sen M, Quesada SA. Sliding mode robust control of SEIR epidemic models. In: 2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE); 2013; Mashhad, Iran; p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/IranianCEE.2013.6599820>.
- 81 Ullah N, Ibeas A, Shafi M, Ishfaq M, Ali M. Vaccination controllers for SEIR epidemic models based on fractional order dynamics. *Biomed. Signal Process. Control*. 2017; 38:136–142. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2017.05.013>.
- 82 Mehra AHA, Zamani I, Abbasi Z, Ibeas A. Observer-based adaptive PI sliding mode control of developed uncertain SEIAR influenza epidemic model considering dynamic population. *J. Theor. Biol.* 2019; 482:109984. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.08.015>.
- 83 Xiao Y, Xu X, Tang S. Sliding mode control of outbreaks of emerging infectious diseases. *Bull Math Biol.* 2012; 74:2403-2422. <https://doi.org/10.1007/s11538-012-9758-5>.
- 84 Rajaei A, Moghaddam AV, Chizfahm A, Sharifi M. Control of malaria outbreak using a non-linear robust strategy with adaptive gains. *IET Control. Theory Appl.* 2019; 13(14):2308-2317. <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2018.5292>.

- 85 De la Sen M, Ibeas A, Quesada SA. Feedback linearization-based vaccination control strategies for true-mass action type SEIR epidemic models. *Nonlinear Anal. Model. Control.* 2011; 16(3):283-314. <https://doi.org/10.15388/NA.16.3.14094>.
- 86 De la Sen M, Ibeas A, Quesada SA. On vaccination controls for the SEIR epidemic model. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat.* 2012; 17(6):2637-2658. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2011.10.012>.
- 87 Verriest E, Delmotte F, Egerstedt M. Control of epidemics by vaccination. *Proceedings of the 2005 American Control Conference; 2005 June 8-10; Portland, OR, USA, IEEE.* <https://doi.org/10.1109/ACC.2005.1470088>.
- 88 Sharifi M, Moradi H. Nonlinear robust adaptive sliding mode control of influenza epidemic in the presence of uncertainty. *J. Process Control.* 2017; 56:48-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprocont.2017.05.010>.
- 89 Boonyaprapasorn A, Kuntanapreeda S, Sa Ngaimsunthorn P, Kumsaen T, Sethaput T. Fractional order sliding mode controller for HBV epidemic systems. *Math. Model. Eng. Probl.* 2022; 9(6):1622-1630. <https://doi.org/10.18280/mmep.090623>.
- 90 Assegaf F, Saragih R, Handayani D. Adaptive sliding mode control for Cholera epidemic model. *IFAC-PapersOnLine.* 2020; 53(2):16092-16099. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.428>.
- 91 Badfar E, Zaferani EJ, Nikoofard A. Design a robust sliding mode controller based on the state and parameter estimation for the nonlinear epidemiological model of Covid-19. *Nonlinear Dyn.* 2022; 109(1):5-18. <https://doi.org/10.1007/s11071-021-07036-4>.
- 92 Jiao H, Shen Q. Dynamics analysis and vaccination-based sliding mode control of a more generalized SEIR epidemic model. *IEEE.* 2020; 8:174507-174515. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3026089>.
- 93 Santos DML, Rodrigues VHP, Oliveira TR. Epidemiological control of COVID-19 through the theory of variable structure and sliding mode

- systems. *J. Control Autom. Electr. Syst.* 2022; 33:63-77. <https://doi.org/10.1007/s40313-021-00826-6>.
- 94 Tripathi JP, Abbas S. Global dynamics of autonomous and nonautonomous SI epidemic models with nonlinear incidence rate and feedback controls. *Nonlinear Dyn.* 2016; 86:337-351. <https://doi.org/10.1007/s11071-016-2892-0>.
- 95 Nuñez S, Inthamoussou A, Valenciaga F, De Battista HD, Garelli F. Potentials of constrained sliding mode control as an intervention guide to manage COVID19 spread. *Biomed. Signal Process. Control.* 2021; 67:102557. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.102557>.
- 96 Wonvanich N. The effect of media in mitigating epidemic outbreaks: the sliding mode control approach. *Symmetry.* 2022; 14:1010. <https://doi.org/10.3390/sym14051010>.
- 97 Ibeas A, De la Sen M. Robust sliding control of SEIR epidemic models. *Math. Probl. Eng.* 2014; 2014:104764. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/104764>.
- 98 Boonyaprapasorn A, Choopojcharoen T, Pengwang E, Maneewarn T, Natsupakpong S, Sa-Ngiamsunthorn P, et al. Control of ebola epidemic system based on terminal synergetic controller design. In: 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS); 2019; Selangor, Malaysia. p. 204-209. <https://doi.org/10.1109/I2CACIS.2019.8825074>.
- 99 Boonyaprapasorn A, Choopojcharoen T, Pengwang E, Natsupakpong S, Maneewarn T, Sa-Ngiamsunthorn P, et al. The design of a synergetic controller for tuberculosis epidemic system. *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.* 2020; 9(10). <https://doi.org/10.18178/ijmerr>.
- 100 Boonyaprapasorn A, Choopojcharoen T, Sa-Ngiamsunthorn P, Thung-od K. Synergetic controller for hepatitis B epidemic system. In: ICRC '18: Proceedings of the 3rd International Conference on Robotics, Control and Automation; 2018 Aug; New York, United States: Association for

- Computing Machinery; 2018. p. 31–36. <https://doi.org/10.1145/3265639.3265655>.
- 101 Boonyaprapasorn A, Natsupakpong S, Sa Ngiamsunthorn P, Thung-od K. An application of finite time synergetic control for vaccination in epidemic systems. Proceeding of the IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2017); 2017 Dec 15–17; Melaka, Malaysia. New York City: IEEE; 2017. <https://doi.org/10.1109/SPC.2017.8313017>.
  - 102 Boonyaprapasorn A, Kuntanapreeda S, Sa-ngiamsunthorn P, Sethaput T, Kumsaen T. HBV epidemic control using time-varying sliding mode control method. Proceeding of The ICAROB 2022 International of Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB); 2022 Jan 20-23; [online] Oita, Japan: p. 205-212. <https://doi.org/10.5954/ICAROB.2022.GS3-3>.
  - 103 Haddad WM, Chellaboina VS, Hui Q. Nonnegative and compartmental dynamical systems. United States of America: Princeton University Press; 2010.
  - 104 Khalil HK. Nonlinear control. Courier Westford: Pearson Education; 2015.
  - 105 Slotine JJE, Li W. Applied nonlinear control. New Jersey: Prentice-Hall; 1991.
  - 106 Nise NS. Control systems engineering. 6th ed. Jefferson City: John Wiley & Sons; 2011.
  - 107 Ogata K. Modern control engineering. 5th ed. New Jersey: Pearson Education; 2010.
  - 108 Utkin V. Sliding mode control in electro-mechanical systems. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2009.
  - 109 Liu J, Wang X. Advance sliding mode control for mechanical systems. Beijing: Tsinghua University Press; 2011.
  - 110 Shtessel Y, Edwards C, Fridman L, Levant A. Sliding mode control and observation. New York: Springer; 2010.

- 111 สุวัฒน์ กุศลธนปรีดา. วิศวกรรมการควบคุมอัตโนมัติ [Automatic Control Engineering]. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); ปี 2552.
- 112 สุวัฒน์ กุศลธนปรีดา. การควบคุมไม่เชิงเส้นเบื้องต้น (Introduction to nonlinear control). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; ปี 2553.
- 113 เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย. ระบบควบคุมพลวัต: การวิเคราะห์ ออกแบบ และการประยุกต์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; ปี 2551.
- 114 เผชญ์ แสงบุษราคัม. การพัฒนาห้องผู้ป่วยติดเชื้อเพื่อรองรับโรคระบาดอุบัติใหม่ [หลักสูตรหลักประจำวิทยาลัยการทัพบก ชุดที่ 64]. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยการทัพบก; ปี 2564.
- 115 อุศนา พรหมโยธิน. แนวทางการพัฒนาปฏิบัติในรูปแบบองค์กรรวมทั้งเหมาะสมต่อการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 [หลักสูตรหลักประจำวิทยาลัยการทัพบก ชุดที่ 65]. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยการทัพบก; ปี 2565. คณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561-2580). ปี 2561.
- 116 สุดใจ วันอุดมเดชาชัย. การจัดการเชิงกลยุทธ์. กรุงเทพฯ: สามลดา; ปี 2556.
- 117 เอกสารประกอบการศึกษา หมวดวิชาที่ 1 ตอนที่ 1 วิชาหลักบริหาร บ. 1100 หลักสูตรประจำวิทยาลัยการทัพบก ส่วนการวิจัยและพัฒนาวิชาการบริหาร, วิทยาลัยกองทัพบก.
- 118 กองความมั่นคงด้านการเตรียมพร้อมและการป้องกันประเทศ สำนักงานสภาความมั่นคงแห่งชาติ. เรื่อง แผนเตรียมพร้อมแห่งชาติและ แผนบริหารวิกฤตการณ์ (พ.ศ. 2566 – 2570). เข้าถึงเมื่อ 15 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก : [https://www.nsc.go.th/wp-content/uploads/2023/02/NPCM\\_Plan2023\\_2027.pdf](https://www.nsc.go.th/wp-content/uploads/2023/02/NPCM_Plan2023_2027.pdf)
- 119 กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. โรคติดต่อที่ต้องรายงานเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ตามพระราชบัญญัติโรคติดต่อ พ.ศ. 2558 กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. โรคติดต่อที่ต้องรายงานเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ตามพระราชบัญญัติโรคติดต่อ พ.ศ. 2558. เข้าถึงเมื่อ 15 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก : <https://ddc.moph.go.th/uploads/files/3181820230207100710.pdf>
- 120 ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 ประกาศพระราชโองการ เรื่องยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2561 – 2580) (2561, 13 ตุลาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 135.



- 121 นโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยความมั่นคงแห่งชาติ (พ.ศ. 2566 – 2570) ประกาศสำนักงานสภาความมั่นคงแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี เรื่องนโยบายและแผนระดับชาติว่าด้วยความมั่นคงแห่งชาติ (พ.ศ. 2566 – 2570) (2566, 20 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 140.
- 122 สำนักงานนโยบายและแผนกลาโหม สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม. เรื่อง แผนปฏิบัติราชการระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) กระทรวงกลาโหม. เข้าถึงเมื่อ 15 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก : [https://mod.go.th/File/PDF/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%9A%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3-%E0%B8%81%E0%B8%AB-\(66-70\)-%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%95.aspx](https://mod.go.th/File/PDF/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%9A%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3-%E0%B8%81%E0%B8%AB-(66-70)-%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%A1%E0%B8%95.aspx)
- 123 กองบัญชาการกองทัพไทย. เรื่อง แผนปฏิบัติราชการระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) กองบัญชาการกองทัพไทย. ณ มีนาคม พ.ศ. 2565. เข้าถึงเมื่อ 15 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก : [https://2023rtarf.rtarf.mi.th/attachments/article/6244/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%20%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%20%E0%B9%95%20%E0%B8%9B%E0%B8%B5%20\(66-70\)%2029%20%E0%B8%A1%E0%B8%B5.%E0%B8%84.65.pdf](https://2023rtarf.rtarf.mi.th/attachments/article/6244/%E0%B9%81%E0%B8%9C%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%8F%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%20%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%20%E0%B9%95%20%E0%B8%9B%E0%B8%B5%20(66-70)%2029%20%E0%B8%A1%E0%B8%B5.%E0%B8%84.65.pdf)
- 124 นายแพทย์ธนรักษ์ ผลิพัฒน์, นางสาวพรทิพย์ ศิริภาณุมาศ บรรณาธิการ. แผนพัฒนาด้านการป้องกันควบคุมโรคและภัยสุขภาพของประเทศ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579). กรุงเทพฯ: กองแผนงาน กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข; 2561.
- 125 Marcetic N. 4M Method Meaning [Internet]. 2022 [cited 2024 Mar 30]. Available from: <https://leancommunity.org/4m-method-meaning/>
- 126 Uslay C, Morgan RE and Shet JN. Peter Drucker on marketing: An exploration of five tenets. J. of the Acad. Mark. Sci. Rev. 2008; 227057130. <http://doi.10.1007/s11747-008-0099-8>.

- 127 Drucker PF and Maciariello JA. Management revised edition. New York: Harper Business Collins; 2008.
- 128 กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการตอบโต้ภาวะฉุกเฉินกรณีภัยจากอาวุธชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพระบรมราชูปถัมภ์; 2558.
- 129 กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. พระราชบัญญัติ โรคติดต่อ พ.ศ. 2558. 2558.
- 130 กองโรคติดต่อโดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการปฏิบัติงานกำจัดโรคมาลาเรียสำหรับบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุขแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ: อักษรกราฟฟิกแอนด์ดีไซน์; 2562.
- 131 สำนักงานปลัดบัญชีกองทัพบก. แผนปฏิบัติราชการประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ของกองทัพบก. 2566.
- 132 สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ ๑๓ ประเด็น การเสริมสร้างให้คนไทยมีสุขภาพที่ดี พ.ศ. 2561-2580. 2562.
- 133 Drucker PF. Management Task Responsibilities Practices. New York: Harper & Row;1993.
- 134 Porter ME. Competitive strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. New York: The free press, A division of Simon & Schuster Inc; 1998.
- 135 Favi C, Germani M, Marconi M. A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines. Proceeding of the 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2017); 2017 Jun 27-30; Modena, Italy. p. 1510-1518. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.283>.
- 136 ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. รายละเอียดแผนปฏิบัติราชการ สกศ.ร.จปร. ปีการศึกษา 2566; 2566.
- 137 คำสั่งกองทัพบก ที่ 295/2556 เรื่อง นโยบายการวิจัยและพัฒนาการทางการทหาร กองทัพบก พ.ศ.2557-2559 (10 ต.ค. 2556)

- 138 อลงกต สารกาล, พุทธิพร พลอยผักแว่น, บารมี วรรณพงศ์เจริญ. การประยุกต์ใช้ 4M ในการป้องกันโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา - 2019 ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในจังหวัดนครราชสีมา 2565. 2565.
- 139 Liliana L. A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. In: 20<sup>th</sup> Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference (IManEE 2016), 2016; 161(012099). <http://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>.
- 140 Ishikawa K, Loftus J H. Introduction to quality control, Tokyo Japan: 3A Corporation. 1990.
- 141 Stewart RF, Benepe OJ, Mitchell A. Formal planning: The staff planner's role at start up (No. 250). California: Stanford Research Institute. 1965.
- 142 Puyt RW, Lie FB, Wilderom CPM. The origins of SWOT analysis. Long Range Plan. 2023; 53(3): 102304. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2023.102304>
- 143 Wehrich H. The TOWS matrix - A tool for situational analysis. Long Range Plan. 1982; 15(2): 54-66. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(82\)90120-0](https://doi.org/10.1016/0024-6301(82)90120-0).
- 144 แผนปฏิบัติการด้านการบริหารจัดการชายแดน ด้านความมั่นคง (พ.ศ. ๒๕๖๖ – ๒๕๗๐). สำนักงานสภาพความมั่นคงแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. เข้าถึงเมื่อ 30 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก : <https://www.nsc.go.th/wp-content/uploads/2023/04/Action-Plan-on-Border-Security-Management-66-70.pdf>
- 145 อนุวัตร จิรวัฒนพานิช. ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการควบคุมการแพร่ระบาดของไวรัสตับอักเสบบีโดยการรณรงค์ให้ความรู้. วารสารวิชาการชาชนันท์เทคโนโลยี. 2564; 5(2).
- 146 Kolesnikov AA. Introduction of synergetic control. In: 2014 American Control Conference (ACC); 2014 Jun 4-6; Portland, Oregon, USA. <https://doi.org/10.1109/ACC.2014.6859397>.
- 147 Kolesnikov AA. Synergetics control theory. Moscow: Energoatomizdat, 1994.
- 148 Kolesnikov AA. Modern applied control theory. Under edition of A.A. Kolesnikov. Moscow-Taganrog: Integracia-TSURE publ.; 2000.

- 149 Nusawardhana, Zak, S. H., & Crossley, W. A. Nonlinear synergetic optimal controllers. *J. Guid. Control Dyn.* 2007; 30(4):1134-1147. <https://doi.org/10.2514/1.27829>.
- 150 Santi E, Monti A, Li D, Proddatur K, Dougal RA. Synergetic control for DC-DC boost converter: implementation options. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2003; 39(6):1803-1813. <https://doi.org/10.1109/TIA.2003.818967>.
- 151 Santi E, Monti A, Li D, Proddatur K, Dougal RA. Synergetic control for power electronics applications: a comparison with the sliding mode approach. *J. Circuits, Syst. Comput.* 2004; 13(4): 737-760. <https://doi.org/10.1142/S0218126604001520>.
- 152 Kondratiev I. Synergetic control: converter based autonomous dc power distribution systems. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2009.
- 153 Kondratiev I, Santi E, Dougal R. Robust nonlinear synergetic control for m-parallel-connected DC-DC boost converters. In: 2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference; 2008; Rhodes, Greece. p. 2222-2228. <https://doi.org/10.1109/PESC.2008.4592272>.
- 154 Liu CH, Hsiao M. A finite time synergetic control scheme for robot manipulators. *Comput. Math. with Appl.* 2014; 64(5):1163-1169. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2012.03.058>.
- 155 Veselov GE, Sklyarov AA, Sklyarov SA. Synergetic approach to quadrotor helicopter control with attractor-repeller strategy of nondeterministic obstacles avoidance. In: 2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT); 2014; St. Petersburg, Russia. p. 228-235. <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2014.7002107>.
- 156 Kolesnikov AA, Mushenko AS. Applied theory of nonlinear system design: method comparison, In: 2019 III International Conference on Control in Technical Systems (CTS); 2019; St. Petersburg, Russia. p. 50-53. <https://doi.org/10.1109/CTS48763.2019.8973304>.

- 157 Boonyaprapasorn A, Kuntanapreeda S, Sa-Ngiamsunthorn P, Thung-Od K. Prostate cancer treatment using fixed-time synergetic controller. SAUJOURNALS. 2022; 8(1).
- 158 Boonyaprapasorn A, Simatrang S, Kuntanapreeda S, Sa Ngiamsunthorn P, Kumsaen T, Sethaput T. Terminal synergetic control for plate heat exchanger. J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci. 2024; 117(1):189-202. <https://doi.org/10.37934/arfmts.117.1.189202>.
- 159 Boonyaprapasorn A, Ngiamsunthorn PS, Sethaput T. Synergetic control for HIV infection system of CD4 + T cells. 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS); 2016 16-19 Oct.
- 160 Boonyaprapasorn A, Simatrang S, Kuntanapreeda S, Sethaput T. Application of the terminal synergetic control for biological control for sugarcane borer. IEEE 2024; 12: 49562 - 49577. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3384608>.
- 161 Boonyaprapasorn A, Sa-Ngiamsunthorn P, Natsupakpong S. Biological pest control using synergetic controller with ant colony optimization. 28th Annual Meeting of Thai Society for Biotechnology and International Conference; Chiang Mai, Thailand; 2016 Nov. 28-30.
- 162 Kuzmenko AA, Kolesnikov AA, Kolesnitchenko DA. Novel robust control of hydrogenerator: the synergetic approach. IFAC-PapersOnLine. 2015; 48(11):451-456. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.09.227>.
- 163 Kanchanaharuthai A, Mujjalinvimut E. Application of adaptive synergetic control to power systems with superconducting magnetic energy storage system. IJICIC 2017; 13(6):1873-1885.
- 164 Liu CH, Hsiao MY. Synchronization on Unified Chaotic Systems via PI-type Terminal Synergetic Control. Proceeding of the CACS International Automatic Control Conference (CACS); 2013 Dec 2-4; Sun Moon Lake, Taiwan. New York City: IEEE; 2013. <https://doi.org/10.1109/CACS.2013.6734101>.

- 165 Ettouil R, Chabir K, Sauter D, Abdelkrim MN. Synergetic control for HVAC system control and VAV box Fault compensation. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.* 2019; 29(3):555-570. <http://doi.org/10.2478/amcs-2019-0041>.
- 166 Ettouil R, Chabir K, Sauter D, Abdelkrim MN. Chapter17 Integral synergetic FTC for HVAC system. *Proceeding of the 15<sup>th</sup> European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD 2019)*; 2019 Nov 21-22; Bologna, Italy. Springer Nature Switzerland AG; 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-85318-1>.
- 167 Ahifar A RA, Rahmani Z. Finite-time terminal synergetic control of a class of nonlinear systems with unmatched uncertainties. *IMA J Math Control Inf.* 2020; 37: 765-76. <https://doi.org/10.1093/imamci/dnz014>
- 168 Chen M, Ge SS, Ren B. Adaptive tracking control of uncertain MIMO nonlinear systems with input constraints. *Automatica.* 2011; 47:452-465.
- 169 Chen M, Ren B, Wu Q, Jiang C. Anti-disturbance control of hypersonic flight vehicles with input saturation using disturbance observer. *Sci. China Inf. Sci.* 2015; 58:070202:1–0702021:2. <http://doi.org/10.1007/s11432-015-5337-3>.
- 170 Zhou T, Xu Y, Wu B. Smooth Fractional order sliding mode controller for spherical robots with input saturation. *Appl. Sci.* 2020; 10:2117. <http://dx.doi.org/10.3390/app10062117>.
- 171 Wu Q, Wang C, Li A, Huang B. Integral sliding mode controller design for near space vehicle with input constraints. *Proceedings of 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference*; 2016 Aug 12-14; Nanjing, China. IEEE; 2017. <https://doi.org/10.1109/CGNCC.2016.7828781>.
- 172 Zheng X, Jian X, Wenzheng D, Liang L, Yang G. Time-varying integral adaptive sliding mode control for the large erecting system. *Math. Probl. Eng.* 2014; 2014(9507680). <http://dx.doi.org/10.1155/2014/950768>.

- 173 อาจารย์ สกศ.รร.จปร. [อินเทอร์เน็ต]. นครนายก: กองวิชาการวิศวกรรมเครื่องกล สกศ.รร.จปร. [เข้าถึงเมื่อ 30 มี.ค. 2567] เข้าถึงได้จาก: <http://medept.crma.ac.th/personnel/006/>
- 174 Kiatpacha P, Boonyaprapasorn A, Borisut W, Suksangpanomrung A, Duangthongsuk W. The structure design of backpacks for energy harvesting. SAUJOURNALSST; 2021:7(2).
- 175 นนร. สรวิศ เป็กทอง, นนร. เขตเชาว์น จิพยัคฆ์, นนร. ธรณัฒันย์ ศีลาจันท์, นนร. นพณัฐ ปามุทา, นนร. แทนไท คนมัน, นนร. อัคคพล เพียรเลิศ, และคณะ. การศึกษา การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะพลาสติกและไม้ไผ่ด้วยเครื่องอัดแบบสกรู. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36 (ME-NETT 2022); วันที่ 19-22 เดือนกรกฎาคม 2565; จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
- 176 Palangwatanakul R, Thungsang A, Thungod K, Boonyaprapasorn A, Borisut W, Maneewarn T, et al. Curvature surface magnetic wheel climbing robot with adaptive electromagnetic adhesive force. Proceedings of the 2020 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2020); 2020 Jan 13-16; B-Con Plaza, Beppu, Oita, Japan. 2020.
- 177 หนังสือ กยข.รร.จปร. ที่ต่อ กท. 0460.1.3/3240 เรื่อง ขออนุมัติให้ข้าราชการเข้าร่วมการสัมมนาหน่วยงานวิจัยเหล่าทัพ ลง 21 ก.ค. 66
- 178 หนังสือ กวฟ.สกศ.รร.จปร. ที่ กท. 0460.2.10/129 เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ร่วมวิจัยโครงการวิจัย ลง 2 พ.ค. 65
- 179 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. (2565). คู่มือประกันคุณภาพการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า พ.ศ. 2565 กองคุณภาพการศึกษา; [เข้าถึงเมื่อ 30 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: [http://kmlo.crma.ac.th/qaedu\\_crma/](http://kmlo.crma.ac.th/qaedu_crma/)
- 180 ประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2564 (2565, 7 มกราคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139
- 181 หนังสือ กยข.รร.จปร. ที่ กท. 0460.1.3/1075 เรื่อง ขออนุมัติให้ข้าราชการ ทบ. เข้าร่วมทีมวิจัย ลง 11 เม.ย. 66

- 182 หนังสือ กวย.สกศ.รร.จปร. ที่ กท. 0460.2.11/42 เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ร่วมวิจัยโครงการวิจัย ลง 18 ก.พ. 65
- 183 หนังสือ กยข.รร.จปร. ที่ กท. 0460.1.3/2112 เรื่อง ขอรับการสนับสนุนผู้ร่วมวิจัย ลง 29 พ.ค. 66
- 184 คำสั่ง กวค. สกศ. รร.จปร. (เฉพาะ) ที่ 1/60 เรื่อง ยกเลิกและแต่งตั้งอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2558 (5 ปี). โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- 185 คำสั่ง กวค. (เฉพาะ) ที่ 6/60 เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการกำกับมาตรฐานการศึกษา กวค.สกศ.รร.จปร. ปีการศึกษา 2561
- 186 ภาควิชาพยาธิโปรโตซัว คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล. Tropical Medicine Guide Book Malaria [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล; 2551 [เข้าถึงเมื่อ 15 ม.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก <https://www.tm.mahidol.ac.th/eng/tmpz/download/2008-malaria.pdf>.
- 187 กองควบคุมคุณภาพ กรมสารบรรณทหารบก ในกองบัญชาการกองทัพก. บุคคลพลเรือน เข้ารับราชการเป็นนายทหารสัญญาบัตร [อินเทอร์เน็ต]. เข้าถึงเมื่อ 15 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก: <https://e-learning.rta.mi.th/archives/5896>
- 188 กระทรวงกลาโหม. ระเบียบกระทรวงกลาโหม. เรื่อง. เข้าถึงเมื่อ 15 เมษายน 2567. เข้าถึงได้จาก: <https://j1.rtarf.mi.th/new/index.php/2016-11-11-09-08-31/2016-11-11-09-09-00/file/243>
- 189 ระเบียบ ทบ. ปี 57 กองทัพก. ระเบียบกองทัพก 2557 ว่าด้วยการให้ข้าราชการลาไปศึกษา และการส่งข้าราชการไปศึกษาในสถานศึกษาภายในประเทศ นอกสังกัดกระทรวงกลาโหม พ.ศ. 2557.
- 190 ระเบียบกองทัพก ว่าด้วยการให้ยืมเงินเรียนเพื่อการศึกษาเพิ่มเติม สำหรับข้าราชการกองทัพก พ.ศ. 2551 (25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551)
- 191 หนังสือ กพ.ทบ. ที่ กท. 0460/3421 เรื่อง การอนุมัติให้ข้าราชการ เดินทางไปศึกษาต่อระดับปริญญาเอก ณ ต่างประเทศ ลง 13 ก.ค. 66
- 192 หนังสือ กพ.ทบ. ที่ กท. 0401/1944 เรื่อง ขออนุมัติให้ข้าราชการ เดินทางไปศึกษาต่อระดับปริญญาเอก ณ ต่างประเทศ ลง 30 มิ.ย. 64



- 193 กองทุนพัฒนา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า [อินเทอร์เน็ต]. นครนายก: กองทุนพัฒนา; [เข้าถึงเมื่อ 30 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://www2.crma.ac.th/fund/fund02.html>
- 194 ข่าวนวัตกรรม [อินเทอร์เน็ต]. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.); [เข้าถึงเมื่อ 30 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nrct.go.th/fund>
- 195 การประกาศทุนวิจัยจากหน่วยบริหารและจัดการทุน (PMUs) [อินเทอร์เน็ต]. (2566). คู่สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) [เข้าถึงเมื่อ 30 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.tsri.or.th/>
- 196 ประกาศคณะกรรมการมาตรฐานการอุดมศึกษา เรื่องหลักเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2565 (2565, 9 กันยายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139
- 197 พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ (ฉบับที่ 4). (2562, พฤษภาคม 1). ราชกิจจานุเบกษา, 136 (57ก), 49-53.
- 198 กระทรวงกลาโหม. ข้อบังคับกระทรวงกลาโหมว่าด้วยการเข้าสมาคม เข้าศึกษา หรือบอกความในราชการ พ.ศ. 2510 (2510, 20 กรกฎาคม). 2510.
- 199 หนังสือ กพ.ทบ. ที่ กท. 0401/3929 เรื่อง แนวทางการปฏิบัติในการรายงานขออนุมัติเกี่ยวกับงานการศึกษา และการลา ลง 22 พ.ย. 50
- 200 หนังสือ กตค.สกศ.รร.จปร. ที่ กท. 0460.2.1/2332 เรื่อง แนวทางการปฏิบัติในการไปเป็นวิทยากรภายนอก ลง 20 ส.ค. 55
- 201 หลักสูตรวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการป้องกันประเทศ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [เข้าถึงเมื่อ 30 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.defengtech.eng.chula.ac.th/about.html>
- 202 Santayakorn N, Kwanmuang S, Boonyaprapasorn A. Increase of pedestrian tracking performance in the stationary close-circuit camera system using mobile camera system. In: The 9th TSME International Conference on Mechanical Engineering (ICoME 2018), 2018; 9:446-451.
- 203 กองโรคติดต่อฯ โดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการดำเนินงาน โครงการกำจัดเชื้อมาลาเรียที่ตัวยุง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; ปี 2564.

- 204 ประกาศสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม เรื่องหลักเกณฑ์การพิจารณาวารสารทางวิชาการ สำหรับการเผยแพร่ผลงานทาง วิชาการ พ.ศ. 2562 (2562, 12 มิถุนายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 136.
- 205 Wang X, Guo J, Tang S, Qi S. Fixed-time disturbance observer based fixed-time back-stepping control for an air-breathing hypersonic vehicle. ISAE Trans. 2019; 88:233-245. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.12.013>.

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก.

ในภาคผนวกนี้ จะแสดงถึงกระบวนการออกแบบตัวควบคุมแบบซินเนอร์เจติกสำหรับกำหนดมาตรการควบคุมการระบาดของโรคมalariaเรีย และการพิสูจน์เสถียรภาพของระบบควบคุมการระบาดของโรคมalariaเรีย

สำหรับขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมโดยมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การควบคุมและโครงสร้างของแบบจำลองในสมการ (2.3) สามารถสรุปได้อย่างสังเขปโดยอ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง<sup>51-53, 57, 59, 98-101, 150-154, 157-161, 163, 164, 168-172</sup> และแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 1) กำหนดตัวแปรแมโคร (Macro variable)

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดตัวแปรแมโครที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การควบคุมและจำนวนอินพุตควบคุม (มาตรการควบคุม) ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรแมโครได้ดังสมการ (ก.1)<sup>102, 158, 172</sup>.

$$\psi_i = e_i + k_{i_i} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \phi_i, \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ  $\phi_i = m_i e^{-t/n_i}$  สำหรับ  $m_i$  และ  $k_{i_i}$  ถูกกำหนดที่  $t=0$ ,  $\psi_i = 0$  สำหรับ  $i=2,3,7$ <sup>102, 158, 172</sup> หรืออาจให้  $k_{i_i} \int_0^t e_i(\tau) d\tau = 0$  หากต้องการให้ตัวแปรแมโคร  $\psi_i = e_i$

#### 2) กำหนดพลวัตการเปลี่ยนแปลง (Dynamic evolution)

พลวัตการเปลี่ยนแปลง (Dynamic evolution) เป็นข้อจำกัดทางพลวัตของตัวแปรแมโคร สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดพลวัตการเปลี่ยนแปลง<sup>57, 109, 146-148, 150-154, 159, 161, 162, 164</sup>.

$$T_{ci} \dot{\psi}_i + \psi_i = 0 \quad (\text{ก.2})$$

สำหรับ  $i=2,3,7$

3) สังเคราะห์ตัวแปรควบคุม (Control variable) หรืออินพุตควบคุม (Control input)

ขั้นตอนนี้เป็นการสังเคราะห์อินพุตควบคุมหรือตัวแปรควบคุมให้ได้กฎการควบคุม (Control law) ของตัวควบคุม (Controller) ซึ่งในที่นี้คือมาตรการควบคุม

สำหรับระบบการระบาดของโรคมลาเรีย โดยการแก้หาจากสมการพลวัตการเปลี่ยนแปลงในสมการ (ก.2)<sup>57, 109, 146-148, 150-154, 159, 161, 162, 164</sup> พิจารณาพลวัตการเปลี่ยนแปลงในสมการ (ก.2) เมื่อแทนตัวแปรแมคโครในสมการ (ก.1) จะได้

$$\begin{aligned} T_{ci} \left( \dot{e}_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) + \psi_i &= 0 \\ T_{ci} \left( \dot{x}_i - \dot{x}_{ir} - \dot{z}_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) + \psi_i &= 0 \end{aligned} \quad (\text{ก.3})$$

สำหรับ  $i=2,3,7$  จากเอกสารอ้างอิง<sup>57, 158, 160, 168-171</sup> การสังเคราะห์ตัวแปรควบคุมสามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

เมื่อแทน  $\dot{x}_i$  และ  $\dot{z}_i$  จาก (2.3) และ (2.5) ลงใน (ก.3) จะได้

$$\begin{aligned} T_{ci} \left( f_i(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^3 g_{ij}(\mathbf{x}) u_j - \dot{x}_{ir} - \dot{z}_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) + \psi_i &= 0 \\ T_{ci} \left( f_i(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^3 g_{ij}(\mathbf{x}) u_j - \dot{x}_{ir} + c_{zi} z_i - \sum_{j=1}^3 g_{ij}(\mathbf{x}) \Delta u_j + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) + \psi_i &= 0 \\ T_{ci} \left( f_i(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^3 g_{ij}(\mathbf{x}) (u_j - \Delta u_j) - \dot{x}_{ir} + c_{zi} z_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) + \psi_i &= 0 \\ T_{ci} \left( f_i(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^3 g_{ij}(\mathbf{x}) v_j - \dot{x}_{ir} + c_{zi} z_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) + \psi_i &= 0 \end{aligned} \quad (\text{ก.4})$$

จากสมการ (ก.4) สามารถแก้อินพุตควบคุมตัวแทน  $v_j$  สำหรับ  $j=1,2,3$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^3 g_{ij}(\mathbf{x}) v_j &= \left[ (-T_{ci}^{-1} \psi_i) - \left( f_i(\mathbf{x}) - \dot{x}_{ir} + c_{zi} z_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \right] \\ v_j &= \sum_{j=1}^3 g_{ij}^{-1}(\mathbf{x}) \left[ (-T_{ci}^{-1} \psi_i) - \left( f_i(\mathbf{x}) - \dot{x}_{ir} + c_{zi} z_i + k_{ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{ก.5})$$

โดยสมการ (ก.5) สามารถแสดงในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \\ g_{71} & g_{72} & g_{73} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (-T_{c2}^{-1}\psi_2) - \left( f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2 + k_{li} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \\ (-T_{c3}^{-1}\psi_3) - \left( f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3 + k_{li} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \\ (-T_{c7}^{-1}\psi_7) - \left( f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7 + k_{li} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i \right) \end{bmatrix} \quad (ก.6)$$

จากมาตรการควบคุมที่สังเคราะห์ได้จากขั้นตอนที่ 3) เพื่อให้แน่ใจว่ามาตรการควบคุมที่ได้ ดังสมการ (ก.6) หรือ (2.8) สามารถทำให้การควบคุมพลวัตของการระบาดของโรคเป็นไปตามวัตถุประสงค์การควบคุม การพิสูจน์เสถียรภาพของระบบควบคุมจึงต้องมีการดำเนินการโดยอาศัยทฤษฎีเสถียรภาพของเลียปูนอฟ (Lyapunov stability theorem) จากเอกสารอ้างอิง<sup>51-53, 57, 59, 98-101, 150-154, 157-161, 163, 164, 172</sup> ได้ดังนี้

เริ่มจากกำหนดฟังก์ชันเลียปูนอฟ (Lyapunov function) ดังสมการ (ก.7)<sup>63, 98, 100, 102, 105, 149-151, 154, 158-161, 163</sup>.

$$V = \frac{1}{2}\psi_2^2 + \frac{1}{2}\psi_3^2 + \frac{1}{2}\psi_7^2 \quad (ก.7)$$

และมีอนุพันธ์เทียบกับเวลาคือ

$$\dot{V} = \psi_2\dot{\psi}_2 + \psi_3\dot{\psi}_3 + \psi_7\dot{\psi}_7 \quad (ก.8)$$

จากพลวัตของโรคระบาดในสมการ (2.1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
\dot{V} &= \psi_2 \dot{\psi}_2 + \psi_3 \dot{\psi}_3 + \psi_7 \dot{\psi}_7 = [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \begin{bmatrix} \dot{\psi}_2 \\ \dot{\psi}_3 \\ \dot{\psi}_7 \end{bmatrix} \\
&= [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \begin{bmatrix} (\dot{x}_2 - \dot{x}_{2r} + k_{12} \int_0^t e_2(\tau) d\tau + \dot{\phi}_2 - \dot{z}_2) \\ (\dot{x}_3 - \dot{x}_{3r} + k_{13} \int_0^t e_3(\tau) d\tau + \dot{\phi}_3 - \dot{z}_3) \\ (\dot{x}_7 - \dot{x}_{7r} + k_{17} \int_0^t e_7(\tau) d\tau + \dot{\phi}_7 - \dot{z}_7) \end{bmatrix} \\
&= [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \begin{bmatrix} \left( \begin{array}{l} f_2(\mathbf{x}) + g_{21}(\mathbf{x})u_1 + g_{22}(\mathbf{x})u_2 + g_{23}(\mathbf{x})\Delta u_3 - \dot{x}_{2r} \\ + k_{12} \int_0^t e_2(\tau) d\tau + \dot{\phi}_2 + c_{z2}z_2 \\ - g_{21}(\mathbf{x})\Delta u_1 - g_{22}(\mathbf{x})\Delta u_2 - g_{23}(\mathbf{x})\Delta u_3 \end{array} \right) \\ \left( \begin{array}{l} f_3(\mathbf{x}) + g_{31}(\mathbf{x})u_1 + g_{32}(\mathbf{x})u_2 + g_{33}(\mathbf{x})\Delta u_3 - \dot{x}_{3r} \\ + k_{13} \int_0^t e_3(\tau) d\tau + \dot{\phi}_3 + c_{z3}z_3 \\ - g_{31}(\mathbf{x})\Delta u_1 - g_{32}(\mathbf{x})\Delta u_2 - g_{33}(\mathbf{x})\Delta u_3 \end{array} \right) \\ \left( \begin{array}{l} f_7(\mathbf{x}) + g_{71}(\mathbf{x})u_1 + g_{72}(\mathbf{x})u_2 + g_{73}(\mathbf{x})\Delta u_3 - \dot{x}_{7r} \\ + k_{17} \int_0^t e_7(\tau) d\tau + \dot{\phi}_7 + c_{z7}z_7 \\ - g_{71}(\mathbf{x})\Delta u_1 - g_{72}(\mathbf{x})\Delta u_2 - g_{73}(\mathbf{x})\Delta u_3 \end{array} \right) \end{bmatrix} \\
&= [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \begin{bmatrix} f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2 + k_{12} \int_0^t e_2(\tau) d\tau + \dot{\phi}_2 + g_{21}(\mathbf{x})v_1 + g_{22}(\mathbf{x})v_2 + g_{23}(\mathbf{x})v_3 \\ f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3 + k_{13} \int_0^t e_3(\tau) d\tau + \dot{\phi}_3 + g_{31}(\mathbf{x})v_1 + g_{32}(\mathbf{x})v_2 + g_{33}(\mathbf{x})v_3 \\ f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7 + k_{17} \int_0^t e_7(\tau) d\tau + \dot{\phi}_7 + g_{71}(\mathbf{x})v_1 + g_{72}(\mathbf{x})v_2 + g_{73}(\mathbf{x})v_3 \end{bmatrix} \\
&= [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \begin{bmatrix} f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2 + k_{12} \int_0^t e_2(\tau) d\tau + \dot{\phi}_2 \\ f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3 + k_{13} \int_0^t e_3(\tau) d\tau + \dot{\phi}_3 \\ f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7 + k_{17} \int_0^t e_7(\tau) d\tau + \dot{\phi}_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_{21}(\mathbf{x}) & g_{22}(\mathbf{x}) & g_{23}(\mathbf{x}) \\ g_{31}(\mathbf{x}) & g_{32}(\mathbf{x}) & g_{33}(\mathbf{x}) \\ g_{71}(\mathbf{x}) & g_{72}(\mathbf{x}) & g_{73}(\mathbf{x}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} \quad (ก.9)
\end{aligned}$$

ให้  $\bar{\mathbf{g}}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} g_{21}(\mathbf{x}) & g_{22}(\mathbf{x}) & g_{23}(\mathbf{x}) \\ g_{31}(\mathbf{x}) & g_{32}(\mathbf{x}) & g_{33}(\mathbf{x}) \\ g_{71}(\mathbf{x}) & g_{72}(\mathbf{x}) & g_{73}(\mathbf{x}) \end{bmatrix}$  เมื่อแทนอินพุตควบคุมจะได้  $\dot{V}$  คือ

$$\begin{aligned}
\dot{V} &= [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \left( \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2 + k_{I2} \int_0^t e_2(\tau) d\tau + \dot{\phi}_2 \\ f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3 + k_{I3} \int_0^t e_3(\tau) d\tau + \dot{\phi}_3 \\ f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7 + k_{I7} \int_0^t e_7(\tau) d\tau + \dot{\phi}_7 \end{array} \right] \\ \left[ \begin{array}{c} (-T_{c2}^{-1}\psi_2) \\ (-T_{c3}^{-1}\psi_3) \\ (-T_{c7}^{-1}\psi_7) \end{array} \right] \\ \left( \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} -\left( f_2(\mathbf{x}) - \dot{x}_{2r} + c_{z2}z_2 + k_{I2} \int_0^t e_2(\tau) d\tau + \dot{\phi}_2 \right) \\ -\left( f_3(\mathbf{x}) - \dot{x}_{3r} + c_{z3}z_3 + k_{I3} \int_0^t e_3(\tau) d\tau + \dot{\phi}_3 \right) \\ -\left( f_7(\mathbf{x}) - \dot{x}_{7r} + c_{z7}z_7 + k_{I7} \int_0^t e_7(\tau) d\tau + \dot{\phi}_7 \right) \end{array} \right] \\ \left[ \begin{array}{c} (-T_{c2}^{-1}\psi_2) \\ (-T_{c3}^{-1}\psi_3) \\ (-T_{c7}^{-1}\psi_7) \end{array} \right] \end{array} \right) \right) \\
&= [\psi_2 \quad \psi_3 \quad \psi_7] \left[ \begin{array}{c} (-T_{c2}^{-1}\psi_2) \\ (-T_{c3}^{-1}\psi_3) \\ (-T_{c7}^{-1}\psi_7) \end{array} \right] \\
&= \psi_2 (-T_{c2}^{-1}\psi_2) + \psi_3 (-T_{c3}^{-1}\psi_3) + \psi_7 (-T_{c7}^{-1}\psi_7) \\
&= -\psi_2 (T_{c2}^{-1})^2 (0.5\psi_2^2) - \psi_3 (T_{c3}^{-1})^2 (0.5\psi_3^2) - \psi_7 (T_{c7}^{-1})^2 (0.5\psi_7^2)
\end{aligned} \tag{ก.10}$$

จากสมการ (ก.10) และเอกสารอ้างอิง<sup>205</sup> จะได้

$$\dot{V} \leq \hat{T}_c \left[ (0.5\psi_2^2) + (0.5\psi_3^2) + (0.5\psi_7^2) \right] \tag{ก.11}$$

เมื่อ  $\hat{T}_c = 2 \min \left\{ \left( \frac{1}{T_{c2}} \right), \left( \frac{1}{T_{c3}} \right), \left( \frac{1}{T_{c7}} \right) \right\}$  จากสมการ (ก.7) และเอกสารอ้างอิง<sup>205</sup> สมการ (ก.11)

สามารถเขียนได้ดังนี้<sup>51, 53, 57, 59, 98-102, 150-154, 157, 159-161, 164, 172</sup>:

$$\dot{V} \leq 0 \tag{ก.12}$$

จากสมการ (ก.12) และโครงสร้างแบบจำลองในสมการ (2.1) ตัวแปรแมคโคร ทั้งสามลู่อู่เข้าสู่ศูนย์ ที่  $\psi_2 = \psi_3 = \psi_7 = 0$  จะได้ว่า

$e_i + k_{Ii} \int_0^t e_i(\tau) d\tau + \dot{\phi}_i = 0$  สำหรับ  $i=2,3,7$  นั่นคือค่าความผิดพลาด  $e_i$  ลู่เข้าสู่ศูนย์

เมื่อเวลาเข้าสู่อนันต์<sup>102, 158, 172</sup>

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ยศ ชื่อ พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาศิส บุญยะประภัศร  
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
วัน เดือน ปีเกิด 21 กันยายน พ.ศ. 2519

### ประวัติสำเร็จการศึกษา

พ.ศ. 2537 โรงเรียนเทพศิรินทร์  
พ.ศ. 2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
พ.ศ. 2546 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและควบคุม  
มหาวิทยาลัยเคส เวสเทิร์น รีเสิร์ฟ  
พ.ศ. 2552 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเคส เวสเทิร์น รีเสิร์ฟ

### ประวัติสำเร็จการศึกษาทางทหาร

พ.ศ. 2553 หลักสูตร ชั้นนายร้อย เหล่า ม. รุ่นที่ 1  
พ.ศ. 2554 หลักสูตร ชั้นนายพัน เหล่า ม. รุ่นที่ 1

### ตำแหน่งที่สำคัญ

พ.ศ. 2546 รักษาราชการอาจารย์ส่วนการศึกษา  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
(อัตราพันตรี)  
พ.ศ. 2554 อาจารย์ส่วนการศึกษา  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
(อัตราพันโท)  
พ.ศ. 2560 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ส่วนการศึกษา  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
(อัตราพันโท)



พ.ศ. 2561 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ส่วนการศึกษา  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
(อัตรापันเอก)

### ความถนัดทางงานวิจัย

การควบคุมป้อนกลับ การควบคุมป้อนกลับบนพื้นฐานแคลคูลัสอันดับ  
เศษส่วน การควบคุมป้อนเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น การควบคุมแบบแผนเลื่อน  
การประยุกต์ใช้การควบคุมป้อนกลับในระบบชีวภาพ หุ่นยนต์เคลื่อนที่และหุ่นยนต์ใต้น้ำ  
การควบคุมการเคลื่อนที่หยดของเหลวด้วยพฤติกรรมเปียกบนฉนวนภายใต้สนามไฟฟ้า

### บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่

1. Boonyaprapasorn, A., Maneewarn, T., Pengwang, E. (2015). Position Control of Droplet in Electrowetting on Dielectric System Using Feedback Linearization, **presented at the 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, Petchburi, Thailand.
2. Boonyaprapasorn, A., Sa Ngiamsunthorn, P. and Sethaput, T., (2016). Synergetic Control for HIV Infection System of CD4+T Cells, **presented at the 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016)**, HICO, Gyeongju, Korea.
3. Boonyaprapasorn, A., Sethaput, T., Laoaroon, S., Natsupakpong, S., and Sa Ngiamsunthorn, S. (2016). “Synergetic Control for Double Inverted Pendulum on a Cart.” **presented at the 7th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, Chiang Mai, Thailand.
4. Thung-od, K., Boonyaprapasorn A., Maneewarn, T., Lohit, S. and Siritanon, N. (2017). Adjustable magnetic force system for climbing robot. **presented at the 8th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 12-15 December 2017, Bangkok, Thailand.
5. Boonyaprapasorn, A., Choopojcharoen, T., Sa-Ngiamsunthorn, P., Thung-od, Kaned, (2018). Synergetic Controller for Hepatitis B Epidemic System, **presented at ICRC '18: Proceedings of the 3rd International Conference on Robotics, Control and Automation**, August 2018, Chendu, China.

6. Palangwatanakul, P., Thungsang, A., Thung-od, K., Boonyaprapasorn, A., Borisut, W., Maneewarn, T., Natsupakpong, S., Sethaput, T., (2020). Curvature surface wheel climbing robot with adaptive electromagnetic adhesive force, **presented at the International Conference on Artificial life and Robotics (ICAROB 2020)**, B-Con Plaza, Bebpu, Oita, Japan.
7. Kiatpachai, P., Boonyaprapasorn, A., Borisut, W., Suksangpanomrung, A., and Duangthongsuk, W., (2021). “The Structure Design of Backpacks for Energy Harvesting,” **SAU Journal of Science & Technology**, Vol. 7, No. 2.
8. Boonyaprapasorn, A., Kuntanapreeda, S., Sa Ngiamsunthorn, P., Sethaput, T., Kumsaen, T., (2022). HBV epidemic control using time-varying sliding mode control method, **presented at the international conference on artificial life and robotics**, pp. 205-212.
9. Thung-Od, K., Kanjanawanishkul, K., Maneewarn, T., Sethaput, T., Boonyaprapasorn, A. (2022). “An In-Pipe Inspection Robot with Permanent Magnets and Omnidirectional Wheels: Design and Implementation,” **Applied Sciences**, Vol. 12, No. 3, Article ID 1226, doi: 10.3390/app12031226
10. Boonyaprapasorn, A., Kuntanapreeda, S., Sa Ngiamsunthorn, P., and Thung-Od, K., (2022). “Prostate Cancer Treatment Using Fixed-Time Synergetic Controller,” **SAU Journal of Science & Technology**, Vol. 8, No. 1, pp. 40–50.
11. Boonyaprapasorn, A., Kuntanapreeda, S., Ngiamsunthorn, P., Kumsaen, T., and Sethaput, T., (2023). “Fractional Order Sliding Mode Controller for HBV Epidemic System,” **Mathematical Modelling of Engineering Problems**, Vol. 9, No. 6, pp. 1622-1630
12. Boonyaprapasorn, A., Kuntanapreeda, S., Sa Ngiamsunthorn, P., Kumsaen, T., and Sethaput, T., (2023) “Time-varying sliding mode controller for heat exchanger with dragonfly algorithm,” **International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)**, Vol. 13, No. 4, pp. 3958-3968, ISSN: 2088-8708, DOI: 10.11591/ijece.v13i4.pp3958-3968