Volume 2 Issue 4, January - April 2020 ISSN 2651-0669

Defence Technology Academic Journal : DTAJ

Defence Technology Institute

รายชื่อผู้จัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

คณะที่ปรึกษา

พลอากาศเอก ดร.ปรีชา ประดับมุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พลอากาศตรี ดร.สุธี จันทรพันธุ์
พันเอก วิทวัส สุขยางค์
นาวาอากาศเอก คมสันต์ ประพันธ์กาญจน์
พลตรี ดร.ชรัติ อุ่มสัมฤทธิ์

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ขุมทรัพย์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Professor Dr. Peter Haddawy	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิริวิภากร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ระดม พงษ์วุฒิธรรม	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.ทศพล บุญเกิน	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ธารีบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชุติมันต์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ ฉิมพาลี	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ กฤษเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ สกุลเสริมสุข	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา ภุมมะกาญจนะ โรแบร์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
พันเอก ดร.อรรคเดช ประทีปอุษานนท์	สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ
นาวาอากาศเอกหญิง ดร.คนึงนิจ อนุโรจน์	สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ
ดร.เกียรติอนันท์ ล้วนแก้ว	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ประจำกองบรรณาธิการ

นางสาวอินทีวรา จุลชาต
นางสาวสาวิตรี ระงับพิษ
นางสาวธนิสตา ประภาสิทธิ
นางสาวบุญญาภรณ์ วาณิชยชาติ
นางสาวสุนันทา โทวระ

สารบัญ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 มกราคม – เมษายน 2563

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน

วารสารวิชาการ DTAJ ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 เริ่มต้นปี พ.ศ. 2563 ในห้วงเวลาเดียวกับที่โลกกำลังเผชิญการระบาดของไวรัสโคโรนา หรือโควิด-19 นับจนถึงขณะที่วารสารฉบับนี้ตีพิมพ์สถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 อยู่ในระดับแพร่กระจายไปทั่วโลก ซึ่งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้จัดตั้งศูนย์ติดตามและแก้ไขสถานการณ์ฉุกเฉินจากการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) โดยมีมาตรการเฝ้าระวังและป้องกันอย่างเข้มงวด เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

เนื้อหาของวารสารฉบับนี้เพิ่มเติมบทความพิเศษเกี่ยวกับการวิจัยและการสนับสนุนทุนวิจัยของ สทป. ทั้งนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์การส่งเสริมและสนับสนุนการค้นคว้าวิจัยด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่ง พ.ร.บ. เทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 นั้น ให้ความหมายของเทคโนโลยีป้องกันประเทศไว้ว่าเป็นวิทยาการในการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่หลากหลายแขนงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการป้องกันประเทศและด้านการทหารอื่น ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม อีกทั้งกิจกรรมการสนับสนุนทุนอุดหนุนดังกล่าวยังเป็นตัวชี้วัดผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศประจำปีงบประมาณ 2563 ที่กำหนดให้มีทุนวิจัยด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศทั้งด้านการศึกษาและโครงการวิจัยอีกด้วย ส่วนเนื้อหาด้านการวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศฉบับนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับแนวโน้มของเทคโนโลยีป้องกันประเทศในปี 2020-2040 บทความวิชาการที่โดดเด่นเป็นการรวบรวมทฤษฎีและแนวทางในการตรวจสอบความเสียหายโครงข่ายสายส่งไฟฟ้าด้วยอากาศยานไร้นักบิน และบทความวิจัยต่าง ๆ ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เช่น หุ่นยนต์ในเทคโนโลยียานไร้คนขับ การประมวลผลภาพถ่ายในเทคโนโลยีสารสนเทศ การหาเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อการจัดตั้งสถานีเรดาร์ เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มตามเทคโนโลยีการจำลองยุทธ์และฝึกเสมือนจริง เป็นต้น

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การวิจัยและการสนับสนุนทุนวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ส่วนบัณฑิตศึกษา ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การวิจัยในปัจจุบันเป็นที่รู้จักและเข้าใจกันโดยแพร่หลายในหมู่นักวิชาการและบุคคลโดยทั่วไปทุกชาติทุกภาษาเพราะการวิจัยเป็นเครื่องมือหรือวิธีการในปัจจุบัน เพื่อการแสวงหาความรู้ของปัญหาต่าง ๆ ที่มนุษย์ไม่รู้และต้องการแสวงหาคำตอบ การวิจัยทำให้มนุษย์มีความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติของมนุษย์ การวิจัยทำให้มีความเจริญก้าวหน้า มีการพัฒนา มีความเจริญรุ่งเรืองอยู่ตลอดเวลาไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้น ชนชาติใดที่ให้ความสำคัญกับการวิจัยย่อมมีผลทำให้ชนชาตินั้นมีความเจริญรุ่งเรืองและพัฒนาและเป็นชนชาติที่มีความเข้มแข็งในทุก ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ การทหาร การเมือง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ฯลฯ

ความสำคัญของการวิจัยในปัจจุบันอาจดูได้จากสิ่งของรอบตัวเราที่ทำให้มีชีวิตอยู่ได้อย่างมีความสุขและสะดวกสบาย ด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น การมีไฟฟ้า โทรศัพท์ ยารักษาโรค มีคอมพิวเตอร์ช่วยในการทำงาน ฯลฯ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นผลผลิตที่เกิดจากการวิจัยทั้งสิ้น ในประเทศที่ให้ความสำคัญกับการวิจัย เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เยอรมนี อังกฤษ ฝรั่งเศส สวีเดน ออสเตรเลีย หรือประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออก เช่น จีน เกาหลี ไต้หวัน ต่างก็ทุ่มเททรัพยากรต่าง ๆ ให้กับการวิจัยเป็นจำนวนมากและเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่องโดยไม่หยุดยั้ง ถือเป็นนโยบายสำคัญของรัฐที่จะต้องให้การสนับสนุนเป็นพิเศษ ทั้งนี้ เพื่อให้ประเทศของตนเองมีความเจริญก้าวหน้าเหนือชาติอื่น ๆ ดังปรากฏให้เห็นในเชิงประจักษ์แก่สายตาโลกอยู่ทุกวันนี้

สำหรับประเทศไทยนั้นแม้ว่าจะมีการพัฒนางานวิจัยมาเป็นลำดับเป็นเวลานานพอสมควร แต่การวิจัยของไทยก็ยังไม่เจริญก้าวหน้าเหมือนประเทศอื่น ๆ ที่พัฒนาแล้ว และยังไม่อาจใช้เป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อผลักดันให้เกิดการพัฒนาในด้านเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคงของประเทศได้ ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาได้มีความพยายามผลักดันให้ทุกฝ่ายเห็นความสำคัญของการวิจัย และใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนา เช่น ในรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยหลายฉบับได้กำหนดไว้ในแนวนโยบายแห่งรัฐที่จะให้การส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย [1]

ความหมายของการวิจัย

การวิจัย หมายถึง กระบวนการแสวงหาความรู้ความจริงที่มีระบบและวิธีการที่น่าเชื่อถือ เพื่อนำความรู้ความจริงที่ได้นั้นไปใช้ในการตัดสินใจแก้ไขปัญหา หรือก่อให้เกิดความรู้ใหม่ ๆ [2]

Best and Kahn [3] ให้ความหมายของการวิจัยไว้ว่า การวิจัย หมายถึง การวิเคราะห์ที่มีระบบ ระเบียบ และจุดมุ่งหมายที่ชัดเจน อันจะนำไปสู่การพัฒนาเป็นข้อสรุปที่เป็นนัยทั่วไป หรือได้มาซึ่งหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี นำไปใช้ในการพยากรณ์ได้ และมีคุณลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การวิจัยจะต้องนำไปสู่การแก้ปัญหาเพื่อบรรลุเป้าหมายสุดท้าย (Ultimate goal) กล่าวคือการค้นพบความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างตัวแปร (Variable) ต่าง ๆ

2. การวิจัยควรเน้นการพัฒนาข้อสรุปที่เป็นนัยทั่วไป (Generalization) หลักการ (Principle) หรือทฤษฎี (Theory) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

3. การวิจัยต้องอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์ที่สามารถสังเกตได้ (Observable experience) หรือหลักฐานเชิงประจักษ์ (Empirical evidence) ซึ่งในหลายกรณีจะเห็นว่ามีคำถามที่น่าสนใจหลายประการที่ไม่สามารถนำไปสู่กระบวนการทำวิจัยได้ เพราะไม่สามารถสังเกตได้

4. การวิจัยต้องมีการสังเกตที่ถูกต้อง (Accurate observation) และพรรณาความได้ นักวิจัยอาจเลือกวิธีการวัดและเครื่องมือทางด้านปริมาณ หากมีความเหมาะสม และถ้าหากไม่สามารถใช้เครื่องมือด้านปริมาณที่เหมาะสม

ในการหาคำตอบได้ นักวิจัยก็จะต้องใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) หรือวิธีการที่ไม่ใช่เชิงปริมาณ (Non qualitative method) แทน

5. การวิจัยเกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลใหม่ ซึ่งเป็นข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลที่ใช้เป็นครั้งแรก หรือมิฉะนั้นก็จะเป็นการใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วสำหรับวัตถุประสงค์ใหม่ในทางตรงข้ามการจัดการใหม่ (Reorganizing) หรือการนำเอาผลงานของผู้ทำวิจัยไว้แล้วมาศึกษาใหม่ (Restating) ไม่ถือว่าเป็นการทำวิจัย เพราะการศึกษาดังกล่าวไม่ได้ทำให้เกิดความรู้ใหม่ขึ้นมา

6. การวิจัยมีวิธีการหรือแบบการวิจัย (Research procedure or research design) ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์ที่เข้มแข็งและถือได้ว่าเป็นการวิจัย

7. การทำวิจัยต้องการความรู้ ความชำนาญ หรือความเชี่ยวชาญ (expertise) ดังนั้น ผู้ทำวิจัยจะต้องรู้และเข้าใจปัญหา (problem) ที่จะทำ พร้อมกับต้องรู้ด้วยว่าคนอื่นได้ทำวิจัยอะไรไว้บ้างอย่างไร ผู้ทำวิจัยจะต้องรู้ถ้อยคำที่ใช้ (Terminology) แนวคิด (Concept) และทักษะด้านเทคนิค (Technical skill) เพื่อที่จะเข้าใจและวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้อย่างถูกต้อง

8. การวิจัยต้องมีวัตถุประสงค์และเหตุผลถูกต้องตามหลักตรรกวิทยา ดังนั้น ผู้ที่จะทำการวิจัยจึงควรใช้เครื่องทดสอบทุกอันที่เป็นไปได้เพื่อทำให้วิธีการศึกษา (procedure) ที่ใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา หรือแม้แต่ข้อสรุปของงานวิจัยที่ค้นพบมีเหตุผลและนักวิจัยต้องพยายามขจัดอคติส่วนตัว (bias) หรือไม่ใช้อารมณ์ในการวิเคราะห์ หากแต่ใช้เหตุผลและความรู้ทางวิชาการในการทำวิจัย

9. งานวิจัยที่จะทำจะต้องเกี่ยวข้องกับคำถามที่ต้องการคำตอบของปัญหาที่ยังแก้ไม่ได้

10. การทำวิจัยเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ความอดทน นักวิจัยควรคาดการณ์ไว้ก่อนถึงความผิดหวังหรือหมดกำลังใจ หากถึงตอนที่จะหาคำตอบสำหรับคำถามที่ตั้งขึ้นได้อย่างยากลำบาก

11. การทำวิจัยจะต้องมีการบันทึกและรายงานอย่างระมัดระวัง โดยจะต้องให้คำนิยาม (Definition) คำศัพท์สำคัญ (Key word) และจะต้องตระหนักถึงข้อจำกัด (Limitation) ต่าง ๆ ด้วย วิธีการศึกษาจะต้องกล่าวโดยละเอียด นอกจากนี้การอ้างอิง (Reference) ก็ต้องกระทำอย่างระมัดระวัง ผลการวิจัยจะต้องมีการบันทึกไว้อย่างชัดเจน และจะต้องเสนอข้อสรุป (Conclusion) ด้วยความระมัดระวัง

12. การทำวิจัยบางครั้งต้องการกำลังใจหรือการสนับสนุน ไม่ว่างานวิจัยนั้นจะมีผลเกื้อกูลหรือขัดขวางต่อกลุ่มคนใดก็ตาม

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยเป็นกระบวนการเพื่อเพิ่มพูนความรู้ใหม่ทางวิชาการ เป็นการแสวงหาความรู้ หรือความจริง เพื่อสร้างเป็นกฎ สูตรทฤษฎี ในแต่ละสาขาวิชา และเพื่อนำไปประยุกต์หรือใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ มีจุดมุ่งหมายในการนำผลการวิจัยไปใช้ในเชิงปฏิบัติโดยตรง

ประเภทของการวิจัย

งานวิจัยแบ่งออกได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้เกณฑ์อะไรในการจัดประเภท งานวิจัยโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ได้แก่ การวิจัยพื้นฐานหรือการวิจัยบริสุทธิ์ (Pure Research) และการวิจัยประยุกต์ (Applied Research)

2. ลักษณะวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research)

3. ประเภทของศาสตร์ ได้แก่ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Sciences Research) การวิจัยทางสังคมศาสตร์ (Social Research)

4. ระเบียบวิธีวิจัย ได้แก่ การวิจัยเชิงประวัติศาสตร์ (Historical Research) การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) และการวิจัยเชิงบรรยาย (Descriptive Research)

ขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ยึดถือและปฏิบัติตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก มีลำดับขั้นของการทำวิจัย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดปัญหา (Problem Identification)

ขั้นที่ 2 การตั้งสมมุติฐาน (Formulation Hypothesis)
ขั้นที่ 3 การรวบรวมข้อมูล (Collection of Data)
ขั้นที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)
ขั้นที่ 5 การสรุปผล (Conclusion)

การวิจัยถือเป็นกิจกรรมพัฒนาปัญญาเพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ แก่มนุษย์ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาวิถีการดำรงชีวิตทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และวัฒนธรรมให้ดีขึ้น ทั้งยังใช้ในการปรับตัวเองให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติและอารยธรรมของโลกที่เปลี่ยนไปได้เป็นอย่างดี การวิจัยได้มีบทบาทต่อการพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ ทั้งต่อการพัฒนา ในส่วนเฉพาะตัวมนุษย์เองหรือแม้แต่ด้านสังคม วัฒนธรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การค้าระหว่างประเทศ การเมืองการปกครองและทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยที่ผ่านมาช่วยทำให้ประเทศไทยสามารถพึ่งพาตนเองในทางปัญญาไปได้อีกขั้นหนึ่ง และยังเป็นการสร้างรากฐานของการพัฒนาประชากรไทยให้สามารถเข้าใจปัญหาของประเทศและร่วมมือกันเพื่อแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ ที่สำคัญดังตัวอย่างต่อไปนี้ [4]

การวิจัยด้านการเกษตร

เกษตรกรรมเป็นภาคเศรษฐกิจพื้นฐานของประเทศไทย ประชาชนประมาณร้อยละ 60 อยู่ในภาคการเกษตรซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารและวัตถุดิบสำหรับภาคอุตสาหกรรมรวมทั้งเป็นแหล่งนำรายได้เข้าสู่ประเทศได้ประมาณปีละ 3 แสนล้านบาท อีกด้วย การวิจัยด้านการเกษตรช่วยเสริมสร้างความสามารถในการผลิตสินค้าเพื่อใช้ภายในประเทศ สามารถส่งเป็นสินค้าออกไปขายในตลาดโลกและเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับภาคการเกษตรและทำให้ภาคอุตสาหกรรมการเกษตรขยายตัวเพิ่มขึ้นดังจะเห็นได้จากมูลค่าผลิตภัณฑ์รวมในประเทศของสาขาอุตสาหกรรมการเกษตรมีสัดส่วนสูงกว่าอุตสาหกรรมอื่นจึงอาจกล่าวได้ว่าการวิจัยด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมมีส่วนสนับสนุนและเป็นรากฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

การวิจัยด้านอุตสาหกรรม

การวิจัยเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมในสาขาต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมไฟฟ้า ยารักษาโรค คอมพิวเตอร์ รถยนต์ เสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม นม อาหาร เป็นต้น มีบทบาทและมีส่วนสำคัญในการพัฒนาประเทศ เพราะเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันให้ประเทศมีการพัฒนาก้าวไกลไปอย่างรวดเร็ว และทันต่อความเจริญของนานาอารยะประเทศ การวิจัยก่อให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรมและผลักดันให้การพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศบรรลุเป้าหมาย การวิจัยในภาคอุตสาหกรรมที่สำคัญเป็นการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีและประสิทธิภาพในการผลิตสินค้า การวิจัยเพื่อเพิ่มสมรรถนะทางเทคโนโลยีต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้ประเทศมีศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศ สามารถนำรายได้มาสู่ประเทศมากขึ้น

การวิจัยด้านพลังงาน

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจทุกสาขา อาทิ สาขาการเกษตรอุตสาหกรรม คมนาคม ขนส่ง ก่อสร้าง การสาธารณูปโภค ตลอดจนการพัฒนาสังคมเพื่อให้ประชาชนมีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น โดยในส่วนของการพัฒนาอุตสาหกรรมและบริการ การคมนาคมและการขนส่งของประเทศจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ในเชิงพาณิชย์สูงถึงร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานของประเทศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการดำเนินการวิจัยและพัฒนาการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งการวิจัยเพื่อหาพลังงานทดแทนจากธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพและราคาถูกลงได้ และช่วยแก้ปัญหามลภาวะที่เกิดจากการใช้พลังงานฟอสซิล ซึ่งจะเป็นแนวทางช่วยให้เกิดการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และสามารถรองรับการผลิตสินค้าและบริการของประเทศ ก่อให้เกิดรายได้ภายในประเทศมากขึ้น ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานจากต่างประเทศ อันเป็นประโยชน์ที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศด้านการวิจัยด้านพลังงาน

การวิจัยด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาประเทศโดยกระบวนการพัฒนาจากภาคการเกษตรสู่อุตสาหกรรมเท่าที่ผ่านมาส่งผลให้เกิดความเสื่อมโทรมด้านทรัพยากรธรรมชาติและมลภาวะของสิ่งแวดล้อมอันกระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนภายในประเทศและประชาคมโลกการวิจัยเพื่อการแก้ไข ฟื้นฟู อนุรักษ์และพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งจำเป็นที่ประชาคมโลกได้ตระหนักถึงและประเด็นของความเสื่อมโทรมด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้กลายเป็นประเด็นสำคัญในการกีดกันทางการค้าต่อประเทศคู่ค้าต่าง ๆ ในตลาดโลก ที่จำเป็นจะต้องมีการป้องกันและแก้ไขให้เกิดดุลยภาพอันเป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล การศึกษาวิจัยเพื่อการป้องกันแก้ไข อนุรักษ์ และคืนดุลยภาพให้แก่ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ

การวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการนำความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมวลมนุษย์และการพัฒนาอุตสาหกรรม โดยใช้การใช้เทคโนโลยีระดับสูงในกรรมวิธีการผลิตภัณฑ์เพื่อการค้า การส่งสินค้าออก ตลอดจนการพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาความยากจนโดยเฉพาะประเทศด้อยพัฒนา เพื่อสร้างผลผลิตที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ ได้แก่ อาหาร สุขภาพ การศึกษา และที่อยู่อาศัย นอกจากนั้นการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังเป็นเครื่องชี้วัดความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและพลังอำนาจทางการเมืองระหว่างประเทศได้ การผนึกกำลังทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศต่าง ๆ ทำให้โลกแข็งแกร่งและเจริญก้าวหน้าขึ้นทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และการทหาร ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างใหญ่หลวงในการพัฒนาประเทศในปัจจุบัน

การวิจัยด้านโครงสร้างพื้นฐานและบริการด้านโทรคมนาคม

โครงสร้างพื้นฐานและบริการโทรคมนาคมมีความจำเป็นต่อการพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ เนื่องจากเป็นการดำเนินงานที่เป็นประโยชน์ในการอำนวยความสะดวกสบายให้แก่ประชาชนในสังคม การวิจัยและพัฒนาด้านโครงสร้างพื้นฐานทำให้สามารถพัฒนาการคมนาคม การขนส่ง ระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน ตลอดจนเทคโนโลยีสารสนเทศทั้งในแง่การศึกษาเพื่อพัฒนาชีวิตและเสริมสร้างความมั่นคงให้แก่ประเทศ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาพื้นฐานในการอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตและการติดต่อสื่อสารกับนานาประเทศได้อย่างดี นับเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาประเทศ

การวิจัยด้านการแพทย์และสาธารณสุข

การแพทย์และสาธารณสุขมีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศ การวิจัยด้านการแพทย์และสาธารณสุขช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตและสุขภาพอนามัยของคนในประเทศให้ปลอดภัยจากโรคภัยไข้เจ็บที่คุกคามชีวิตมนุษย์อยู่ตลอดเวลา การวิจัยด้านการแพทย์และสาธารณสุขยังช่วยในเรื่องการลดค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพจากโรคร้ายแรงบางอย่างและทดแทนผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีด้านการแพทย์และสาธารณสุขที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ด้วย เช่น การวิจัยผลิตภัณฑ์และเวชภัณฑ์ที่ประเทศสามารถผลิตเองได้ การศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตภัณฑ์ด้านสุขภาพและเทคโนโลยีสาธารณสุข วัตถุดิบ เวชภัณฑ์และยาต่าง ๆ เป็นต้น รวมทั้งการใช้ยาอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพเพื่อให้ประเทศสามารถพึ่งตนเองได้

การวิจัยด้านคุณภาพชีวิตและสังคม

งานวิจัยเกี่ยวกับองค์รวมของคุณภาพชีวิตที่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ในครอบครัวและเครือญาติ การวิจัยเพื่อพัฒนาคุณธรรม จิตสำนึกที่เอื้อต่อการพัฒนาทั้งรูปแบบและกระบวนการที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญในการผลักดันการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ ความเข้มแข็งของชุมชนที่ยั่งยืน การพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่นรวมทั้งระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาชุมชนในด้านต่าง ๆ อย่างยั่งยืน เป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาประเทศให้พึ่งพาตนเองได้ และในขณะเดียวกันก่อให้เกิดศักยภาพในการแข่งขันทางเศรษฐกิจกับ

ต่างประเทศได้ด้วย

การวิจัยด้านการพัฒนาศักยภาพของคนและการศึกษา

การศึกษาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีศักยภาพสูงสุด การวิจัยด้านความต้องการกำลังคนในสาขาต่าง ๆ และการปฏิรูปการศึกษาของคนทั้งในและนอกระบบเพื่อตอบสนองความต้องการกำลังคนในสาขาต่าง ๆ เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมหลักและการพัฒนาประเทศ เนื่องจากพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาได้แก่ตัวทรัพยากรมนุษย์เอง หากทรัพยากรมนุษย์ได้รับการพัฒนาจนถึงระดับสูงสุดแล้ว การพัฒนาอื่นก็จะสามารถกระทำได้อย่างราบรื่น การวิจัยเพื่อพัฒนาศักยภาพของคนและการศึกษาจึงจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา

การวิจัยด้านการปกครองและกฎหมาย

ระบบการเมืองการปกครองที่ล้าสมัยจะเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้า การวิจัยจึงมีบทบาทสำคัญที่จะเข้ามาช่วยในการพัฒนาหาแนวทางในการปฏิรูปการเมืองไทย การพัฒนาวัฒนธรรมทางการเมือง การพัฒนาความร่วมมือระหว่างประเทศ และการปฏิรูประบบบริหารราชการไทยให้มีประสิทธิภาพ

โครงการวิจัยและแผนงานวิจัย

ในการทำวิจัยของนักวิจัยก่อนที่จะลงมือปฏิบัตินั้นก่อนอื่นนักวิจัยต้องคิดเรื่องที่จะทำวิจัยก่อน แล้วจึงลงมือวางแผนการวิจัย ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปเริ่มด้วยการเขียนข้อเสนอการวิจัย (Research Proposal) ในรูปแบบโครงการวิจัย (Research Project) ก่อนเสมอ ทำให้เป็นความเคยชินและคุ้นเคยสำหรับนักวิจัยทุกคนที่ขอรับทุน การเริ่มการวิจัยโดยการเขียนข้อเสนอโครงการวิจัยที่เป็น Research Project ถือเป็นข้อกำหนดของแหล่งทุนต่าง ๆ ที่นักวิจัยจะต้องจัดทำยื่นเสนอขอรับทุนจากแหล่งเงินทุน

ในปี พ.ศ. 2540 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติได้มีการปรับปรุงการให้ทุนเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยการให้ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทแผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัย (Research Program) ขึ้น โดยลักษณะของแผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัยดังกล่าวนี้เป็นการขยายมิติของทุนวิจัยประเภทวิจัยและพัฒนาให้กว้างขึ้น โดยการวิจัยจะต้องมีลักษณะการบูรณาการดังนี้

1. เป็นการวิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ หรือแก้ปัญหาที่สำคัญของประเทศ หรือนำไปใช้ในการพัฒนาประเทศ หรือนำไปสู่การผลิตทางด้านอุตสาหกรรม
2. เป็นการวิจัยพร้อม ๆ กันหลายโครงการที่สัมพันธ์หรือสนับสนุนกันรวมเป็นแผนงาน หรือครบวงจร และเป็นสหวิทยาการ
3. เป็นแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัยที่จะต้องดำเนินการในลักษณะบูรณาการและเกิดองค์รวม
4. เป็นแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัย ซึ่งอาจดำเนินการโดยภาครัฐและ/หรือภาคเอกชนร่วมด้วยก็ได้

ดังนั้น ในการขอรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติในระยะต่อมา นักวิจัยสามารถที่จะทำการวิจัยโดยเสนอข้อเสนอการวิจัยได้ทั้ง 2 รูปแบบ คือ เสนอในลักษณะที่เป็นโครงการวิจัย (Research Project) และเสนอในลักษณะที่เป็นแผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัย (Research Program)

เนื่องจากการเสนอแผนวิจัยในลักษณะที่เป็นแผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัย ยังเป็นของใหม่อยู่และทำยากกว่าการเขียนข้อเสนอโครงการวิจัย แผนวิจัยในลักษณะที่เป็นแผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัย จึงยังมีน้อยอยู่ แต่ในปัจจุบันนี้ก็มีการจัดทำแผนงานวิจัยเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ

โครงการวิจัย (Research Project) หมายถึง แผนวิจัยซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ดำเนินการให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยมีรายละเอียดที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโครงการ ได้แก่ คณะผู้วิจัย วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ระยะเวลา วิธีดำเนินงานการวิจัย งบประมาณและค่าใช้จ่าย เป็นต้น

แผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัย (Research Program) หมายถึง แผนซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยโครงการวิจัย (Projects) หลายโครงการ โดยมีความสัมพันธ์หรือสนับสนุนซึ่งกันและกัน มีลักษณะบูรณาการ (Integration) ทำให้เกิดองค์รวม (Holistic Ideology) เป็นการวิจัยที่เป็นสหวิทยา (Multi-disciplines) ครบวงจร (Complete Set) โดยมีเป้าหมายที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ชัดเจน

โครงการวิจัยแต่ละโครงการต่างก็มีวัตถุประสงค์เฉพาะตัวของแต่ละโครงการ นักวิจัยแต่ละคนต่างก็มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยแตกต่างกันไปตามความสนใจของแต่ละคน ขาดทิศทางรวม จึงทำให้ขาดความเชื่อมโยงระหว่างโครงการวิจัยแต่ละโครงการ ผลงานวิจัยจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย

แผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัย จะประกอบไปด้วยโครงการวิจัยจำนวนมาก มีวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย แต่วัตถุประสงค์ที่หลากหลายเหล่านี้เชื่อมโยงไปสู่วัตถุประสงค์เพียงหนึ่งเดียวของแผนงานวิจัย หรือชุดโครงการวิจัยนั้น

ความแตกต่างระหว่างโครงการวิจัยกับแผนงานวิจัย

ลักษณะโครงการวิจัย	ลักษณะแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัย
1. มักเป็นโครงการวิจัยขนาดเล็ก	1. เป็นโครงการวิจัยขนาดใหญ่
2. มีความเชื่อมโยงกับโครงการวิจัยอื่นน้อย	2. มีความเชื่อมโยงกับโครงการวิจัยอื่น ๆ
3. ส่วนมากนำไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการ	3. ส่วนมากนำไปใช้ประโยชน์ในทางพาณิชย์ หรือแก้ปัญหาได้
4. ทำการวิจัยสาขาเดียว	4. ทำการวิจัยหลายสาขา
5. ไม่ครบวงจรของการวิจัย	5. ทำการวิจัยครบวงจร
6. ขาดเป้าหมายที่ชัดเจนในการนำไปใช้ประโยชน์	6. มีเป้าหมายที่ชัดเจนในการนำไปใช้ประโยชน์
7. มีความเป็นอิสระในการทำวิจัย	7. ต้องทำวิจัยในลักษณะประสานงาน
8. มีการบริหารแบบง่าย ๆ	8. ต้องการความสามารถในการบริหารงานวิจัยมาก
9. การร่วมมือประสานงานน้อย	9. ต้องการความร่วมมือประสานงานสูง
10. ใช้งบวิจัยน้อย, คนน้อย	10. ใช้งบวิจัยจำนวนมาก, คนมาก
11. การคิดเรื่องที่จำทำการวิจัยไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ใช้เวลาน้อย	11. การคิดเรื่องที่จะทำการวิจัยยุ่งยาก ซับซ้อน ใช้เวลามาก
12. หัวหน้าโครงการเป็นนักวิจัยรุ่นใหม่, กลาง, อาวุโส	12. หัวหน้าโครงการเป็นนักวิจัยระดับกลาง, อาวุโส

การสนับสนุนทุนวิจัยของ สทป.

สำหรับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ สทป. มีภารกิจในการดำเนินการวิจัยและพัฒนาโครงการขนาดใหญ่ด้านยุทโธปกรณ์และเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่ใช้องค์ความรู้ระดับสูง โดยวิจัยและพัฒนาสร้างต้นแบบยุทโธปกรณ์ที่เป็นความต้องการของเหล่าทัพ ด้วยการรับถ่ายทอดเทคโนโลยีและศึกษาพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ รวมทั้งการร่วมมือกับหน่วยงานวิจัย สถาบันการศึกษา องค์กร และอุตสาหกรรมทั้งภาครัฐและเอกชน ร่วมกันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยียุทโธปกรณ์ และนำไปสู่การผลิตภาคอุตสาหกรรม สร้างความสามารถในการพึ่งพาตนเองด้านยุทโธปกรณ์เพื่อความมั่นคงที่ยั่งยืนของประเทศ

ยุทธศาสตร์ของกระทรวงกลาโหม

จากยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2580) ตามรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย ที่จะนำไปสู่การปฏิบัติเพื่อให้ประเทศไทยบรรลุวิสัยทัศน์ “ประเทศไทยมีความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน เป็นประเทศพัฒนาแล้ว ด้วยการพัฒนาตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง” ประกอบด้วย 6 ยุทธศาสตร์ ได้แก่ ยุทธศาสตร์ชาติด้านความมั่นคง ยุทธศาสตร์ชาติ ด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน ยุทธศาสตร์ชาติด้านการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพ ทรัพยากรมนุษย์ ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างโอกาสและความเสมอภาคทางสังคม ยุทธศาสตร์ชาติ ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยุทธศาสตร์ชาติด้านการปรับสมดุล และพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ โดยกระทรวงกลาโหม มีภารกิจหลักในการจัดทำแผนปฏิบัติงานและงบประมาณประจำปีที่เชื่อมโยงกับกรอบยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ 2560–2580) ในยุทธศาสตร์ที่ 1 ด้านความมั่นคง

ยุทธศาสตร์ชาติด้านความมั่นคง มีเป้าหมายการพัฒนาที่สำคัญคือ ประเทศชาติมั่นคง ประชาชนมีความสุข เน้นการบริหารจัดการสภาวะแวดล้อมของประเทศให้มีความมั่นคง ปลอดภัย เอกราช อธิปไตย และมีความสงบเรียบร้อยในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับชาติสังคม ชุมชน มุ่งเน้นการพัฒนาคน เครื่องมือ เทคโนโลยีและระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ให้มีความพร้อมสามารถรับมือกับภัยคุกคาม และภัยพิบัติได้ทุกรูปแบบ และทุกระดับความรุนแรง ควบคู่ไปกับการป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านความมั่นคงที่มีอยู่ในปัจจุบัน และที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ใช้กลไกการแก้ไขปัญหาแบบบูรณาการ ทั้งกับส่วนราชการ ภาคเอกชน ประชาสังคม และองค์กรที่ไม่ใช่รัฐ รวมถึงประเทศเพื่อนบ้าน และมิตรประเทศทั่วโลกบนพื้นฐานของหลักธรรมาภิบาล เพื่อเอื้ออำนวยประโยชน์ต่อการดำเนินการ ของยุทธศาสตร์ชาติด้านอื่น ๆ ให้สามารถขับเคลื่อนไปได้ตามทิศทางและเป้าหมายที่กำหนด

ยุทธศาสตร์ของ สทป. กับการสร้างเครือข่ายความร่วมมือและการให้ทุนวิจัย

ประเด็นยุทธศาสตร์และเป้าประสงค์เชิงยุทธศาสตร์ของการดำเนินงานของ สทป. ในช่วงปีงบประมาณ 2561-2564 ที่สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์ของกระทรวงกลาโหม มีดังนี้

ประเด็นยุทธศาสตร์	เป้าประสงค์เชิงยุทธศาสตร์
1. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ	กระทรวงกลาโหมและประเทศไทยมีขีดความสามารถในการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่ทันสมัย มีต้นแบบยุทโธปกรณ์ที่ระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศสามารถรองรับและสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมทางยุทธศาสตร์ของประเทศและภูมิภาค
2. การพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมสู่ประชาสังคม	กระทรวงกลาโหมและประเทศสามารถพัฒนา เก็บรักษา และเพิ่มพูนองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืนและถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ประชาสังคม เพื่อการใช้ประโยชน์ในทุกมิติ ทั้งภาคการศึกษา พาณิชย์ และการป้องกันประเทศ เป็นต้น
3. การพัฒนาเครือข่ายความร่วมมือ	กระทรวงกลาโหมและประเทศสามารถบริหารจัดการและใช้ประโยชน์องค์ความรู้และทรัพยากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศจากเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล
4. การพัฒนาองค์กรเพื่อความยั่งยืน	สถาบันมีการดำเนินงานตามหลักธรรมาภิบาล มีประสิทธิภาพ โปร่งใส ตรวจสอบได้ มีความเป็นเลิศในสาขาวิชาเฉพาะทางและการบริหารจัดการองค์กร เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ บุคลากรของสถาบันมีสมรรถนะสอดคล้องกับตำแหน่ง มีความเป็นนักวิชาการ นักบูรณาการ และนักบริหารและมีโครงสร้างพื้นฐานที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานของสถาบัน

สทป. โดยส่วนบัณฑิตศึกษา ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ ดำเนินงานภายใต้ส่วนยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมสู่สังคม มีการดำเนินงานด้านการสร้างเครือข่ายความร่วมมือ และสร้างองค์ความรู้ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ผ่านทางสถาบันการศึกษา ทั้งในรูปแบบการเรียนการสอนและการให้ทุนที่เกี่ยวข้อง รวมถึงแสวงหาความร่วมมือกับสถาบันการศึกษาเพื่อสนับสนุนในการดำเนินงานด้านการวิจัยที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีหลักของ สทป. ภายใต้ "โครงการพัฒนาบุคลากรในภาควิชาการภาคอุตสาหกรรมและภาคเอกชน" จัดสรรทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและวิทยานิพนธ์ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของ สทป. ในการส่งเสริมและสนับสนุนการฝึกอบรม การค้นคว้าวิจัยและการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ประกอบด้วยกิจกรรมทุนการศึกษา ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและวิทยานิพนธ์ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นทุนอุดหนุนการศึกษาสำหรับข้าราชการทหาร ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและทุนปริญญาเอกกาญจนาภิเษก พร้อมกิจกรรมความร่วมมือทางวิชาการกับภาคการศึกษา เช่น จัดงานเสวนาหัวข้อ การวิจัยร่วม สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ-สถาบันการศึกษา-โรงเรียนเหล่าทัพ จัดบรรยายทางวิชาการ การจัดการนำเสนอผลงานวิจัยโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สทป. การแสวงหาความร่วมมือภายในประเทศ เพื่อความร่วมมือด้านวิชาการและการวิจัย การบริหารสัญญา และติดตามโครงการวิจัยฯ การประชุมหารือและกิจกรรมสร้างความสัมพันธ์กับสถาบันการศึกษา

สทป. โดยส่วนบัณฑิตศึกษา ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ มีการดำเนินงานด้านการสร้างเครือข่ายความร่วมมือ และสร้างองค์ความรู้ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ผ่านทางสถาบันการศึกษา ทั้งในรูปแบบการเรียนการสอนและการให้ทุนที่เกี่ยวข้อง รวมถึงแสวงหาความร่วมมือกับสถาบันการศึกษาเพื่อสนับสนุนในการดำเนินงานด้านการวิจัยที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีหลักของ สทป.

สำหรับรูปแบบการดำเนินการร่วมกับสถาบันการศึกษาของ สทป. นั้นมี 2 รูปแบบ ได้แก่

รูปแบบที่ 1 การจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นโครงการความร่วมมือระหว่าง สทป. กับ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อพัฒนาและผลิตบุคลากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมทั้ง สทป. โดยส่วนบัณฑิตศึกษา ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ ได้ดำเนินการมอบทุนอุดหนุนการศึกษาระดับปริญญาโทแก่ข้าราชการทหารและบุคคลทั่วไปเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรดังกล่าว เพื่อสนับสนุนการสร้างบุคลากรและผลงานวิจัยคุณภาพสูงด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

รูปที่ 1 การร่วมมือกันระหว่างนักวิจัย สทป. กับหน่วยงานวิจัยต่าง ๆ

รูปแบบที่ 2 สทป. มอบทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและวิทยานิพนธ์ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศแก่คณาจารย์ นิสิตนักศึกษา ที่สังกัดในสถาบันการศึกษาที่มีบันทึกความร่วมมือด้านวิชาการและการวิจัยร่วมกับ สทป. รวมถึงโรงเรียนในสังกัดกระทรวงกลาโหม เพื่อสนับสนุนการสร้างผลงานวิจัยคุณภาพสูงด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ โดยโครงการวิจัยที่ได้รับทุนเหล่านี้จะเป็นโครงการวิจัยที่สนับสนุนและสอดคล้องการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหลักของ สทป. และอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

รูปที่ 2 สทป. มอบทุนอุดหนุนโครงการวิจัยแก่คณาจารย์ นิสิตนักศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] Somporn Promruksa, The importance and benefits of research in Curriculum and Instruction, https://sites.google.com/site/sompornpromruksacn513/khwam-sakhay-laea-prayochn-khxng-kar-wicay-thang-hlaksutr-laea-kar-sxn (in Thai).

[2] Chanwit Sarapanyatet, Educational research, http://chanwitsarapanyatet35021n.blogspot.com/2009/05/blog-post_7111.html (in Thai).

[3] Best, J.W. and Kahn, J.V. (2006) Research in Education. 10th Edition, Pearson Education Inc., Cape Town.

[4] Booncherd Sophon, Basic research practice guidelines for conducting research, https://statistic.cad.go.th/download/sim2.pdf (in Thai).

[5] Sotirios Sarantakos (2013), Social Research, 4th edition, Macmillan International Higher Education.

รูปแบบการตรวจสอบความเสียหาย โครงข่ายสายส่งไฟฟ้าด้วยอากาศยานไร้นักบิน

สุริยะเวช บุญธรารัตน์ [1*] , ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ [2] และ อรประภา ภุมมะกาญจนะ โรแบร์ [3***]**

วันที่รับ 30 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไข 15 เมษายน 2563 วันตอบรับ 17 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

หนึ่งในการสร้างความเชื่อมั่นและเสถียรภาพทางพลังงาน โดยเฉพาะระบบสายส่งไฟฟ้า มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตและสภาพทางเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้น การซ่อมบำรุงให้สายส่งไฟฟ้าคงสภาพและใช้งานได้อย่างต่อเนื่องจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีสำหรับการตรวจสอบสถานะสายส่งไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ณ ปัจจุบัน เทคโนโลยีอากาศยานไร้นักบิน (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) ได้ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้สำหรับสำรวจเพื่อการตรวจหาตำแหน่งความเสียหายของอุปกรณ์สายส่งไฟฟ้า ประกอบกับสามารถตรวจสอบสาเหตุการเสื่อมสภาพได้อย่างแม่นยำ ดังนั้น ผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินจึงจำเป็นต้องเรียนรู้ลักษณะของอากาศยาน รวมถึงข้อดี-ข้อเสีย สำหรับการใช้งานในแต่ละภารกิจ โดยการใช้งานอากาศยานไร้นักบินในแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็นสำคัญ อนึ่ง ปัจจัยความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสายส่งไฟฟ้ามักมีสาเหตุจากการดิสชาร์จทางไฟฟ้า (Partial discharge) ซึ่งกระบวนการเกิดความเสียหายของสายส่งไฟฟ้านี้มีลักษณะการแผ่ของสนามแม่เหล็กเป็นรูปแบบวงแหวนโคโรน่า (Corona ring) โดยรอบอุปกรณ์ ซึ่งการแผ่ของสนามแม่เหล็กนี้เองมีอิทธิพลต่อการบังคับควบคุมและการสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นและอากาศยานไร้นักบิน ทำให้การใช้งานอากาศยานของผู้บังคับการต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยสรุป เนื่องจากการตรวจสอบระบบสายส่งไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่มีความเสี่ยงแตกต่างกันไป ดังนั้น รูปแบบการใช้งานอากาศยานจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์สำหรับการวางแผนการบิน (Planning photogrammetric surveys) อีกทั้ง รูปแบบเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบความเสียหายต้องมีความจำเพาะและเหมาะสมต่อการตรวจวัด ทั้งนี้ การใช้งานอากาศยานไร้นักบิน ผู้บังคับอากาศยานต้องบริหารความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นเป็นสำคัญหรือพร้อมปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบใด ๆ ตามความเหมาะสม

คำสำคัญ : อากาศยานไร้นักบิน, การดิสชาร์จทางไฟฟ้า, การตรวจวัดด้วยรังสี UV

---

[1] ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[2] ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[3] ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร

[*] ผู้แต่ง, อีเมล์: suriyawate.b@dti.or.th

[**] ผู้แต่ง, อีเมล์: teerawong@msu.ac.th

[***] ผู้แต่ง, อีเมล์: robert_o@silpakorn.edu

An approach to the inspection of damages of power grid network using unmanned aerial technology

Suriyawate Boonthalarath [1*], Theerawong Laohsuwan [2**]
and Ornprapa Pummakarnchana Robert [3***]

Received 30 March 2020, Revised 15 April 2020, Accepted 17 April 2020

Abstract

One of the ways to build confidence on energy stability especially is to maitain good condition of a power transmission system because an adverse effect causes difficulties in living everyday life and ultimately the economy of the country. In order to keep the transmission line stable and continuously reliable, it is necessary to look for technologies for the checkup of transmission line status. At present, unmanned aerial technology has been developed and applied for surveying and detecting positions of an equipment grid as well as for accurately determining the cause of deterioration. Therefore, unmanned technology users need to learn the characteristics of the aircraft as well as the pros and cons for use in each mission. During the time of use of unmanned aircraft, topology must be taken into account. In addition, damage factors to the power transmission line are usually caused by the electrical discharge or partial discharge, whose process of damage to the power transmission line has associated with it characteristics of radiating the magnetic field in form of corona ring around a device. The spread of this magnetic field influences the control and communications between ground stations and unmanned aircraft, causing the aircraft operators to take extra care during the operation of the aircraft. Finally, the power transmission system in each area has different risks caused by different topology. Therefore, the use of aircraft requires expertise and experience to plan missions of photogrammetric surveys and to handle tools for checking damages specifically and suitably for measurement. In addition, the aircraft operator must exercise judgmental management upon significant risks or be ready to adjust measures in place for any incurring and popup incidence in the field

Keywords : Unmanned technology, electrical discharge, UV radiating inspection

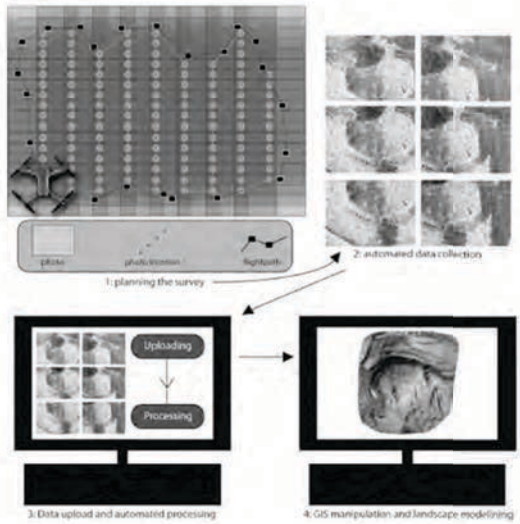
---

[1] Knowledge and Publication Management Department, Defence Technology Institute
[2] Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University
[3] Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University
[*] Corresponding author, E-mail: suriyawate.b@dti.or.th
[**] Corresponding author, E-mail: teerawong@msu.ac.th
[***] Corresponding author, E-mail: robert_o@silpakorn.edu

1. บทนำ

กว่าสองทศวรรษในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอากาศยานไร้นักบิน (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) ทั้งแบบปีกนิ่งและปีกหมุนให้มีขนาดเล็กลง ปลอดภัย รวดเร็วและฉลาดยิ่งขึ้น [1] โดยมิได้มุ่งหวังในภารกิจเฉพาะด้านอย่างการสำรวจเพื่อการจัดทำแผนที่ หรือการควบคุมด้านยุทธวิธีอีกต่อไป หากแต่เป็นการพัฒนาอากาศยานไร้นักบินให้ก้าวเข้าสู่การประยุกต์ใช้ในงานด้านอื่น ๆ รวมถึงการขยายขอบเขตการใช้งานเข้าสู่ภาคพลเรือนมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น การขนส่งสินค้า [2] การช่วยเหลือด้านภัยพิบัติ [3] รวมถึงเพื่อสันทนาการ [4] เป็นต้น ทั้งนี้การใช้อากาศยานไร้นักบินภาคพลเรือนส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้งานเพื่อสำรวจระบบสาธารณูปโภคและซ่อมแซมโครงสร้างขั้นพื้นฐาน ดังจะเห็นได้จากการสำรวจพื้นที่เพื่อการสร้างถนน การสำรวจแหล่งน้ำเพื่อสร้างเขื่อน และการสำรวจสายส่งเพื่อวางแนวสายไฟฟ้าสำหรับใช้กับชุมชน อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจและการตรวจวัดด้วยอากาศยานไร้นักบินจำเป็นต้องผนวกองค์ความรู้จากหลากหลายสาขาเชิงระบบร่วมกัน (Numerous disciplines) [5-7] เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลและประเมินผลกระทบเพื่อการจัดการข้อมูล (Data management) อย่างเป็นระบบ ดังนั้น ผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินจำเป็นต้องเรียนรู้คุณสมบัติอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ให้เหมาะสมในภารกิจแต่ละด้าน รวมถึงการใช้งานต้องสอดคล้องกับประเภทของอากาศยานไร้นักบินตามลักษณะงาน ตลอดจนข้อดีข้อด้อยตามวัตถุประสงค์ของอากาศยานไร้นักบินในแต่ละภารกิจ

จากการขยายตัวของประชากร ภาคสังคม และเศรษฐกิจที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ทำให้มีความต้องการใช้พลังงาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว การสำรวจพื้นที่ภูมิประเทศเพื่อขยายโครงข่ายและเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า พร้อมการสำรวจเพื่อการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโครงข่ายระบบไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย หน่วยงานผู้รับผิดชอบจึงได้อาศัยข้อดีของการใช้อากาศยานไร้นักบินที่สามารถสำรวจพื้นที่ภูมิประเทศขนาดใหญ่รวมถึงระบบสาธารณูปโภคที่มีอยู่ก่อนแล้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งใช้เวลาไม่นานเมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจในรูปแบบเดิมที่เคยใช้กันมามากยิ่งขึ้น [8] ซึ่งหลักการทั่วไปของการใช้อากาศยานไร้นักบินคือการเก็บภาพถ่ายทางอากาศพร้อมพิกัดภูมิศาสตร์จากระบบ Global Navigation Satellite System (GNSS) และระบบตรวจวัดความคลาดเคลื่อนเชิงพิกัด (Inertial Measurement Unit: IMU) จากการสำรวจครอบคลุมพื้นที่สังเกตการณ์ ในท้ายที่สุดจะได้ภาพถ่ายภูมิประเทศความละเอียดสูง (Orthomosaic) ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและอ้างอิงระวางตำแหน่ง ระยะห่างของระบบสาธารณูปโภคนั้น ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของการตรวจสอบตำแหน่งเพื่อค้นหาพิกัดและเชื่อมโยงโครงข่ายสามารถประเมินข้อมูลจากภาพถ่ายภูมิประเทศความละเอียดสูงได้โดยทันที [9] โดยรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการประมวลข้อมูลตามขั้นตอนการตรวจสอบตำแหน่งเพื่อค้นหาพิกัดโดยอากาศยานไร้นักบิน



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการประมวลข้อมูลตามขั้นตอนการตรวจสอบตำแหน่งเพื่อค้นหาพิกัด โดยอากาศยานไร้นักบิน [9]

สำหรับกรณีการซ่อมบำรุงโครงข่ายเสาไฟฟ้า ผู้ใช้อากาศยานไร้นักบินต้องอาศัยการตรวจสอบความเสียหายจากอุปกรณ์ตรวจวัด และต้องตระหนักถึงอันตรายจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบบริเวณเสาไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดิสชาร์จทางไฟฟ้า (Partial discharge) [10-13] ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเกิดความเสียหายของโครงข่ายเสาไฟฟ้าและลดทอนประสิทธิภาพการส่งกระแสไฟจากโครงข่ายสายส่ง [14] จากเหตุผลดังกล่าวจึงมีผู้ศึกษาความเสียหายของอุปกรณ์จากสาเหตุการเกิดการดิสชาร์จทางไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากต้นเหตุในหลายปัจจัย ได้แก่ มีฝนกรดบริเวณโครงข่าย การเกิดออกไซด์บนอุปกรณ์ รวมถึงการเกิด Corona discharges และ UV radiation [15-21] โดยจากปัจจัยข้างต้นทำให้เกิดสนามแม่เหล็กโดยรอบอุปกรณ์รั่วไหลผ่านระบบฉนวนของโครงข่ายสายส่งเป็นประจุอิเล็กตรอนปะปนกับอากาศ ณ สิ่งแวดล้อมรอบนอกและเกิดเป็นวงแหวนโคโรน่าขึ้น (Corona ring) ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าของระบบสายส่งลดลง เกิดคลื่นวิทยุแทรกสอด (Radio interference) ตามรอยรั่วของฉนวนของอุปกรณ์ ยิ่งไปกว่านั้นหากไม่เร่งดำเนินการแก้ไขจุดบกพร่องนี้จะนำมาสู่การสูญเสียระบบฉนวนทั้งระบบ และลุกลามภายในอุปกรณ์นั้น ๆ ทำให้ไม่มีระบบฉนวนคุ้มกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร อีกทั้งเกิดการขยายตัวของสนามแม่เหล็กประมาณการคือ 0.3–0.4 kV/mm [22] ตามตัวอย่างรูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ที่เสียหายจากการเกิดการดิสชาร์จทางไฟฟ้านำไปสู่การสูญเสียโครงข่ายระบบสาธารณูปโภคต่อไป

รูปที่ 2 การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์บนระบบสายส่งไฟฟ้าในสภาวะกำลังไฟสูง (High voltage) จากการทดสอบโดยการเร่งอายุหลัง 5 ปี [22]

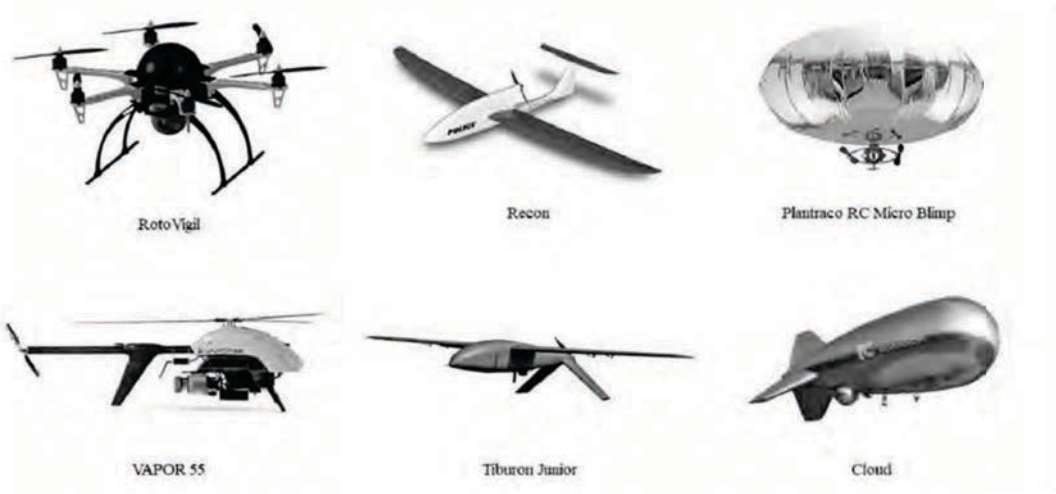
การศึกษาในครั้งนี้ จึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาอากาศยานไร้นักบินผนวกเข้ากับองค์ความรู้เชิงป้องกันจากความเสียหายของระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน ซึ่งจะนำไปสู่ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบ (Inspection) ความเสียหายโครงข่ายสายส่งไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการประยุกต์ใช้งานอากาศยานไร้นักบินก่อนการเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินเพื่อการเผชิญเหตุภาคประชาสังคม (Dual used) อีกทั้งได้นำเสนอผลการศึกษาการใช้เทคโนโลยีด้านอากาศยานไร้นักบินเพื่อการสำรวจพร้อมอธิบายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบหาสาเหตุข้อบกพร่อง และแนวโน้มการความเสียหายของอุปกรณ์ด้วยเครื่องตรวจวัด โดยมุ่งเน้นกับพื้นที่การเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

2. ชนิดของอากาศยานไร้นักบินและชนิดของระบบตรวจวัด

2.1 ชนิดของอากาศยานไร้นักบิน

การปฏิบัติภารกิจในรูปแบบต่าง ๆ นั้น ผู้ใช้อากาศยานไร้นักบินจำเป็นต้องเรียนรู้คุณลักษณะและโครงสร้างพร้อมข้อดี - ข้อด้อย ของอากาศยานไร้นักบินชนิดต่าง ๆ ตามแต่ละภารกิจ เพื่อที่จะเลือกใช้อากาศยานไร้นักบินให้เหมาะสมกับภารกิจและช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุต่อการนำมาใช้ โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งอากาศยานไร้นักบินตามโครงสร้างการใช้งานได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ อากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่ง (Fixed-Wings) แบบปีกหมุน (Rotary-Wings) และแบบโพยมยาน (Airships) แสดงตามรูปที่ 3 ซึ่งลักษณะทั่วไปของอากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่งสามารถทำความเร็วและมีระยะการบินได้ยาวนานกว่าอากาศยานไร้นักบินแบบปีกหมุนและแบบโพยมยาน เนื่องจากโครงสร้างของอากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่งถูกออกแบบตามหลักอากาศพลศาสตร์ส่งผลให้มีความเสถียรขณะลอยตัวและใช้พลังงานในการบินน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม อากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่งยังคงมีข้อด้อย ได้แก่ การไม่สามารถทำการบินในแนวดิ่ง

และหยุดนิ่งกลางอากาศได้เหมือนอากาศยานไร้นักบินแบบปีกหมุน ด้วยเหตุนี้ผู้ใช้งานจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้งานตามภารกิจเป็นหลัก เพื่อเลือกรูปแบบอากาศยานไร้นักบินได้ตามความเหมาะสม



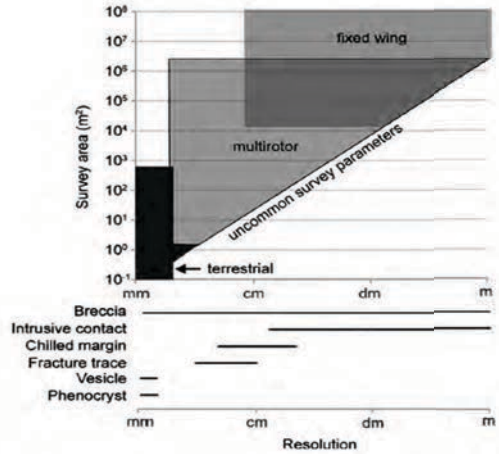
รูปที่ 3 ตัวอย่างการจัดแบ่งรูปแบบอากาศยานไร้นักบิน [23]

อากาศยานไร้นักบินแบบปีกหมุน เป็นอากาศยานที่นิยม ณ ปัจจุบัน เนื่องจากการบังคับควบคุมที่ง่ายกว่าอากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่งและมีความสามารถลอยตัวกลางอากาศได้ ทำให้ลดอุบัติเหตุได้ในขณะทำการบิน อีกทั้งการนำอากาศยานขึ้น - ลง สามารถขึ้นลงได้ตามแนวดิ่งใช้พื้นที่น้อย ดังนั้นผู้ผลิตในปัจจุบันจึงมีการออกแบบให้มีขนาดหลากหลายและสะดวกต่อการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม จากรูปร่างอากาศยานที่มีลักษณะสวนทิศทางลม (Drag) ทำให้ต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการทำการบิน ดังนั้นอากาศยานไร้นักบินแบบปีกหมุนจึงมีระยะเวลาสำหรับการบินที่ไม่ยาวนานนัก

ในส่วนของอากาศยานไร้นักบินแบบโพยมยานสามารถแบ่งแยกประเภทได้อีก 3 ลักษณะย่อยตามรูปร่างลำเรือ (Hull Shapes) ได้แก่ non-rigid airships, semi-rigid airships และ rigid airships โดยในแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างที่รูปร่างลำเรือตามการใช้งาน ซึ่งถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการผลิตก๊าซภายในบอลลูน (Internal pressure) ใช้สำหรับยกตัวในขณะปฏิบัติงาน ณ ปัจจุบัน อากาศยานไร้นักบินแบบโพยมยานมีการออกแบบโครงสร้างที่หลากหลายเพื่อเพิ่มความสามารถในการบิน รวมถึงสามารถทำระยะการบินได้ยาวนานขึ้นและมีความเสถียรขณะลอยตัวกลางอากาศ จากข้อดีดังกล่าวนี้เองทำให้อากาศยานไร้นักบินแบบโพยมยานมีคุณลักษณะการบินที่ครอบคลุมลักษณะการบินรูปแบบทั้งอากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่งและปีกหมุนเข้าไว้ด้วยกัน [24] แต่ทว่าอากาศยานไร้นักบินแบบโพยมยานจะมีความเสถียรกลางอากาศ ณ ความเร็วต่ำขณะทำการบิน และสามารถลอยตัวกลางอากาศได้เหมือนกับอากาศยานไร้นักบินแบบปีกหมุนเท่านั้น แต่ไม่สามารถทำความเร็วได้ดีเหมือนอากาศยานไร้นักบินแบบปีกนิ่ง อีกทั้งอากาศยานไร้นักบินแบบโพยมยานยังมีสถานะการบินที่ไวต่ออุณหภูมิภายนอก โดยอากาศยานไร้นักบินแบบโพยมยานเมื่อทำการบินในห้วงเวลากลางวัน (อากาศร้อน) ความร้อนจากพื้นดินจะทำให้เกิดลมยกตัวทำให้มีแรงยกตัวจึงยกลำเรือลอยตัวสูงขึ้นได้ง่าย ดังนั้นการนำอากาศยานลงเป็นจึงเป็นเรื่องยากลำบาก ผู้บังคับการบินต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเป็นอย่างมากในการบังคับเครื่องลง

ในทางตรงกันข้าม ขณะที่ทำการบินในห้วงเวลากลางคืน (อากาศเย็น) ผู้บังคับการบินจำเป็นต้องใช้อากาศร้อนหรือก๊าซที่เบากว่าอากาศจำนวนมากเพื่อพยุงลำเรือให้ลอยตัวอยู่ได้ ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้อากาศยานรูปแบบดังกล่าวในภารกิจช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency operation) หรือทำการถ่ายภาพภูมิประเทศในระยะใกล้ โดยเฉพาะกิจกรรมประเภทในร่ม (Indoor application) [25-26] เท่านั้น

อนึ่ง จากการออกแบบรูปร่าง ลักษณะการบิน รวมถึงระบบการนำเครื่องขึ้น - ลง ของอากาศยานไร้นักบินเพื่อตอบสนองในแต่ละภารกิจ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญก่อนการนำมาใช้ ได้แก่ ความสามารถในการทำความสูงขณะทำการบินของอากาศยาน (Flight altitude) ระยะเวลาและระยะทางทำการในการทำการบิน (Duration and range) ความสามารถในการบรรทุกสัมภาระ (Payload characteristics) และขนาดพื้นที่และความละเอียดของภาพถ่ายแผนที่ 3 มิติ ดังแสดงตัวอย่างรายละเอียดตามรูปที่ 4 โดยปัจจุบันแนวโน้มการวิจัยล้วนมุ่งเน้นการเพิ่มระยะเวลาและระยะทางทำการในการทำการบินเป็นสำคัญ [27] อย่างไรก็ตาม สำหรับผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินกลับให้ความสำคัญสำหรับการนำอากาศยาน ขึ้น - ลง ในแต่ละภูมิประเทศมากกว่า เนื่องจากการนำอากาศยานขึ้น - ลง มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและสร้างความเสียหายได้ในวงกว้างหากพื้นที่ทำการขึ้น - ลง ไม่เอื้ออำนวย ดังนั้นการพัฒนาอากาศยานไร้นักบินแบบขึ้น - ลงทางดิ่ง (Vertical movement) จะสามารถตอบสนองผู้ใช้งานในอนาคตต่อไปได้ดีกว่า เนื่องจากอากาศยานขึ้น - ลงทางดิ่ง (VTOL) เป็นอากาศยานที่ช่วยลดปัญหาการนำเครื่องออกปฏิบัติการในพื้นที่ที่มีอุปสรรคในการนำเครื่องขึ้น - ลง หรือบริเวณที่ไม่สามารถนำอากาศยานขึ้น - ลงได้ อีกทั้งลักษณะการขึ้น - ลงทางดิ่ง จะช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุที่ไม่จำเป็นจากการใช้งานของอากาศยานผิดวัตถุประสงค์อีกด้วย



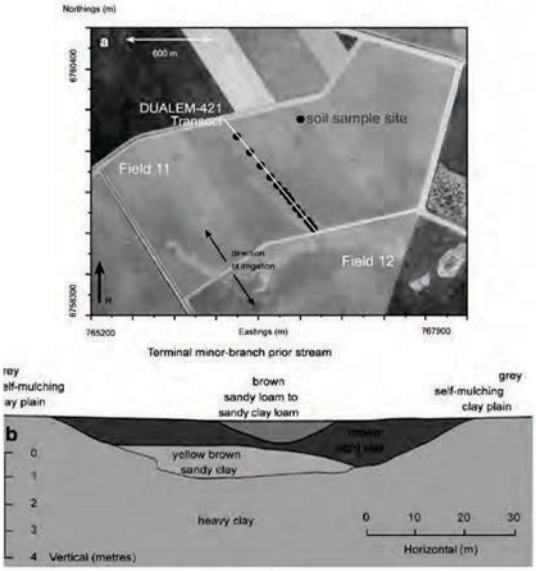
รูปที่ 4 ประมาณการความละเอียดของภาพถ่ายภูมิประเทศ บนพื้นที่สำรวจจากอากาศยานไร้นักบินรูปแบบต่าง ๆ [28] ปี

2.2 ลักษณะเครื่องตรวจวัด

เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมามีการขยายตัวของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคว้าด้านพื้นที่ภูมิประเทศด้วยภาพถ่ายความละเอียดสูงร่วมกับภูมิประเทศที่มีลักษณะทางกายภาพที่หลากหลาย [29] เพิ่มสูงขึ้น เนื่องด้วยงานวิจัยดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ พืชพรรณหรือแม้แต่การพยากรณ์ภัยพิบัติบนพื้นที่ล่วงหน้าด้วยความละเอียดจากภาพถ่ายดาวเทียม อีกทั้งข้อจำกัดอื่น ๆ ของภาพถ่ายดาวเทียม ได้แก่ ความต้องการช่วงเวลานั้น ๆ ในการถ่ายภาพของดาวเทียม และการรอคอยห้วงเวลาวงโคจรการหมุนรอบของดาวเทียมต่าง ๆ ทำให้นักวิจัยเริ่มนำเอาเทคโนโลยีอากาศยานไร้นักบินมาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดในลักษณะต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การค้นคว้าดังกล่าวยังคงอาศัยหลักการของวิชาสาขาธรณีเทคนิค (Geodetic techniques) บนพื้นฐานสำหรับจัดการข้อมูลที่ง่าย รวดเร็ว และอยู่ในงบประมาณที่จำกัด อีกทั้งต้องสามารถเข้าถึงพื้นที่สำรวจขนาดใหญ่ในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก

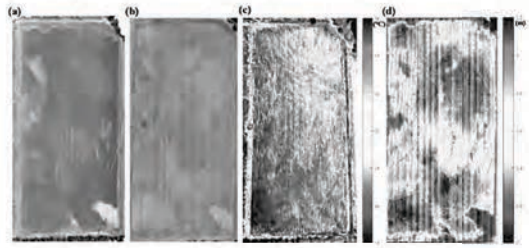
สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการตรวจสอบโครงข่ายสายส่งไฟฟ้า (ซึ่งใช้เป็นโมเดลการศึกษาครั้งนี้) คือ การตรวจวัดระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงของข้อมูล (Elevation changes) และลักษณะทางกายภาพ

ของพื้นที่สำรวจดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากระบบโครงข่ายสายส่งจะเสมือนลอยอยู่กลางอากาศเมื่อผู้วิจัยทำการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายความละเอียดสูง การประมวลผลการทดสอบจะมีการซ้อนเหลื่อมของชั้นข้อมูลพื้นดินกับแนวสายไฟของระบบเครือข่าย ดังนั้นข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความสูงที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้การตรวจสอบระบบโครงข่ายสายส่งผิดพลาด อีกทั้งได้มีการยืนยันผลการทดสอบความผิดพลาดของข้อมูลความสูงอยู่ระหว่าง 30-90 เมตร และความผิดพลาดแนวราบอยู่ระหว่าง 10-20 เมตร [30-31] ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นการวัดขนาดการเปลี่ยนแปลงความสูงของข้อมูลพื้นที่เป็นข้อมูลจำเป็นที่ผู้ใช้ต้องอาศัยความละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดและต้องใช้อุปกรณ์บนอากาศยานไร้นักบินให้เหมาะกับสภาพงาน



รูปที่ 5 ตัวอย่างพื้นที่สำรวจทั้งแนวราบและแนวดิ่งจากเครื่องตรวจวัดบนอากาศยานไร้นักบิน [32]

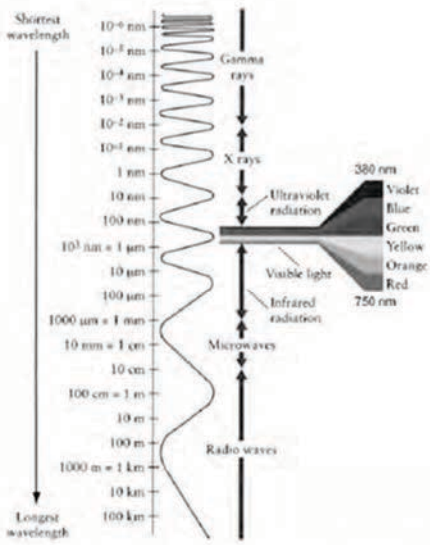
ในปัจจุบันมีการผลิตอุปกรณ์ตรวจวัดที่สามารถใช้งานร่วมกับอากาศยานไร้นักบินหลากหลายชนิด โดยเครื่องตรวจวัดที่นิยมจะมีวัตถุประสงค์ของการใช้งานขึ้นอยู่การตรวจวัดรังสี หรือประสิทธิภาพการแยกแยะรังสี (Radiation detected and detection efficiency) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดบนอากาศยานไร้นักบินที่นิยมใช้ เช่น เครื่องตรวจวัดด้วยรังสีแบบ Visible (VIS) เครื่องตรวจวัดแบบแยกแยะรังสีแบบ Multispectral (MS) เครื่องตรวจวัดรังสีความร้อนแบบ Thermal Infrared (TIR) และเทคโนโลยี Ground Penetrating Radar (GPR) หรือที่รู้จักในนาม LiDar เป็นต้น จากความหลากหลายในเทคโนโลยีของอุปกรณ์ตรวจวัดนี้เอง ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเรียนรู้ลักษณะพื้นฐานของรังสีในแต่ละด้านเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาให้ตรงตามความต้องการ ตัวอย่างแสดงตามรูปที่ 6 ในลักษณะพื้นที่บริเวณเดียวกันแต่ใช้เครื่องตรวจวัดที่แตกต่างกันในการตรวจสอบ

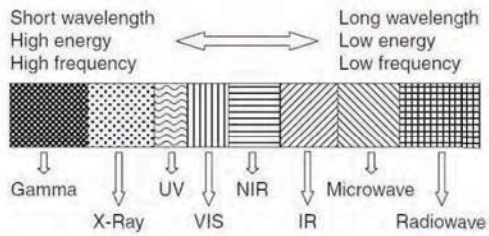


รูปที่ 6 ตัวอย่างภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ ได้แก่
a) ภาพถ่ายความละเอียดสูง (RGB)
b) ภาพถ่ายจากเครื่องตรวจวัดแบบ Multispectral
c) ภาพถ่ายจากเครื่องตรวจวัดความร้อน
d) ภาพถ่ายความละเอียดสูงที่ระบุความสูงของพื้นที่ [33]

การประมวลผลลัพธ์ของข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดบนอากาศยานนั้นเป็นการตรวจวัดพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากการสะท้อน (Reflect) หรือการแผ่ (Emitted) จากพื้นผิว โดยแหล่งพลังงานตั้งต้นมาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดสามารถตรวจวัดได้ในช่วงคลื่นตามองเห็น (Visible) และอินฟราเรด (Infrared) ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมาได้ เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric window) มีเฉพาะในช่วงคลื่น

ที่ยาวกว่าช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) เท่านั้น [34] ดังนั้น ความยาวคลื่น (λ) จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการใช้งาน ซึ่งความยาวคลื่นจะระบุคุณลักษณะจำเพาะของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกที่ผู้วิจัยต้องการตรวจสอบ ยกตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพภูมิประเทศ 3 มิติ ด้วยเครื่องตรวจวัดแสงแบบ RGB (กล้องถ่ายรูปธรรมดา) เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์แผ่รังสีทุกย่านคลื่นความถี่ตกกระทบลงบนวัตถุ (ลำแสงตกกระทบ) โดยวัตถุบนพื้นโลก เช่น พรรณพืชต่าง ๆ จะยินยอมให้แสงในช่วงคลื่นความถี่สูงที่ตามนุษย์มองไม่เห็นทะลุผ่านและดูดซับในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นบางย่านแต่กลับสะท้อนย่านคลื่นสีเขียวกลับไปและหักเหช่วงคลื่นในย่านความถี่ต่ำ ขณะทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจสอบบนอากาศยานไร้นักบิน โดยในการสะท้อนย่านคลื่นสีเขียวนี้เองที่ตัวตรวจวัดบนอากาศยานไร้นักบินสามารถตรวจวัดรังสีได้ พร้อมกันนี้เครื่องตรวจวัดแสงแบบ RGB จึงประมวลผลข้อมูลและบ่งชี้ว่าภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ บริเวณที่เป็นต้นไม้จะสะท้อนคลื่นสีเขียว ดังนั้นภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ จึงเห็นต้นไม้เป็นสีเขียว จากตัวอย่างข้างต้น ผู้วิจัยจึงต้องเข้าใจลักษณะและแยกแยะความแตกต่างของช่วงคลื่นตามการตรวจวัดของเครื่องมือตรวจสอบจากการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยหลายส่วนความยาวคลื่นตั้งแต่คลื่นสั้นไปจนถึงคลื่นยาว แสดงได้ตามรูปที่ 7 นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็นสามกลุ่มลักษณะใหญ่ ได้แก่ ช่วงความยาวคลื่นสั้น คือ Gamma rays, X-rays และ Ultra Violet rays (UV) ช่วงความยาวคลื่นยาว คือ IR rays, Microwaves และ Radio waves ในขณะที่ช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) มีความยาวคลื่นในช่วง 400-700 นาโนเมตร





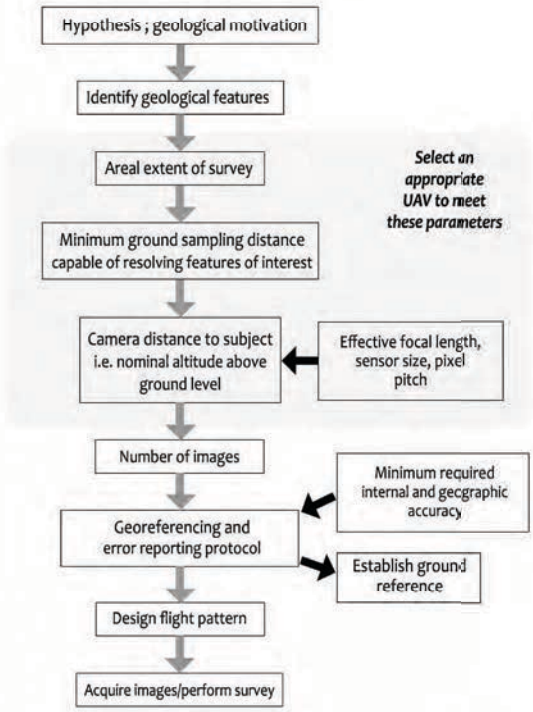
รูปที่ 7 แบบจำลองสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ตามความยาวคลื่น [35-36]

กรณีการสำรวจพื้นที่ภูมิประเทศในภารกิจต่าง ๆ ผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินจะดำเนินการจัดทำข้อมูลภาพถ่ายในรูปแบบของแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ (Digital Surface Model: DSM) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะมีข้อมูลความสูงของบริเวณพื้นผิวรวมอยู่ด้วย อีกทั้งภาพถ่ายทางอากาศ (Orthophoto) สามารถบ่งชี้ข้อมูลพิกัดได้เที่ยงตรงตามพิกัดแผนที่และความสูงของข้อมูลตามที่กล่าวมาแล้ว ทว่าอุปสรรคสำคัญในการแยกแยะข้อมูลของวัตถุคือ สายส่ง ออกจากข้อมูลผิวดินและความสำคัญของข้อมูลความสูงจากที่เคยกล่าวก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่าการตรวจสอบระบบโครงข่ายสายส่งบนพื้นที่ขนาดใหญ่ต้องอาศัยระบบ LiDar เนื่องจาก

ระบบดังกล่าวสามารถให้รายละเอียดด้านพื้นที่ที่สำรวจพร้อมข้อมูลความสูงจากสเปกตรัมใน 2 ช่วงคลื่น ประกอบด้วย ช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 400-700 นาโนเมตร ได้แก่ ช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง โดยช่วงคลื่นนี้ใช้แยกแยะพืชพรรณที่ปกคลุมดินออกจากวัตถุ และได้ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สำรวจทั้งหมด กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 700 - 3,000 นาโนเมตร โดยช่วงคลื่นนี้ใช้บ่งชี้ลักษณะความตื้น-ลึกที่แตกต่างของสภาพภูมิประเทศ ซึ่งแสดงถึงข้อมูลชั้นความสูงของภูมิประเทศนั่นเอง จากการยกตัวอย่างจะเห็นได้ว่าวัตถุ พืชพรรณหรือสภาวะที่นักวิจัยเฝ้าสังเกตต่างล้วนมีปรากฏการณ์การแผ่รังสีที่แตกต่างกันตามหลักวิทยาศาสตร์ทั่วไป ได้แก่ การทะลุผ่าน การดูดซับ การสะท้อน และการหักเห ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องตรวจวัดบนอากาศยาน ผู้ใช้อากาศยานจึงต้องเรียนรู้ปรากฏการณ์การสะท้อนรังสีให้ตรงตามการตรวจวัด เพื่อจะได้ตรวจวัดด้วยเครื่องมือและสามารถแยกแยะผลการทดสอบได้อย่างถูกต้อง

3. การสำรวจเพื่อการตรวจวัด

การออกแบบแผนการบินสำรวจพื้นที่ (Planning photogrammetric surveys) เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ ให้มีลักษณะครอบคลุมพื้นที่สำรวจที่ถูกต้อง มีความละเอียดของพื้นผิวพื้นที่ตามต้องการ และข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้สำหรับการตรวจวัดข้อมูลได้อย่างแม่นยำ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินต้องคำนึงถึงตัวแปรเหล่านี้เป็นสำคัญ ได้แก่ ความละเอียดของภาพถ่าย (Resolution) ความแม่นยำของข้อมูลภาพถ่าย (Ground Sampling Distance: GSD) และประสิทธิภาพของอากาศยานไร้นักบินที่ใช้งาน โดยก่อนการสำรวจพื้นที่ผู้ใช้อากาศยานจำเป็นต้องเรียนรู้ลักษณะเด่นของพื้นที่และเส้นทางการนำอากาศยานขึ้น-ลงอย่างปลอดภัย อีกทั้งต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดที่เหมาะสมให้ตรงตามความต้องการของข้อมูล และสิ่งสำคัญที่สุดคือการกำหนดความสูงของแผนการบิน เนื่องจากอุปสรรคของแผนการบินอาจเกิดจากคลื่นในลักษณะต่าง ๆ ที่ตามองไม่เห็น เช่น สนามแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นวิทยุ จากเสาอุปกรณ์สื่อสาร เสาสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งสามารถรบกวนระบบการสื่อสารของอากาศยานกับผู้บังคับที่ภาคพื้น อาจทำให้อากาศยานไร้นักบินตกขณะทำการบินได้ ทั้งนี้สามารถสรุปกระบวนการสำคัญก่อนทำการขึ้นบินสำรวจพื้นที่ต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 สรุปกระบวนการก่อนการนำอากาศยานไร้นักบินเข้าสำรวจพื้นที่ ณ ภูมิประเทศต่าง ๆ [37]

ในกรณีการสำรวจพื้นที่สังเกตการณ์ให้ครอบคลุมและมีความเที่ยงตรงเชิงพิกัดแผนที่ ผู้ใช้อากาศยานไร้นักบินจำเป็นต้องเข้าใจในระบบอ้างอิงพิกัด (Coordinate) ซึ่งในปัจจุบันการสำรวจเพื่อการอ้างอิงเชิงพิกัดแผนที่ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีดาวเทียมเพื่อระบุตำแหน่ง (Global Positioning System: GPS) และระบบการแก้ไขและคำนวณเชิงพิกัด โดยในการสำรวจระบบแรกนิยมใช้สำหรับการนำทาง

(Navigation) และผู้ใช้งานต้องการความถูกต้องแม่นยำของพิกัดสูง ดังจะเห็นได้จากการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวมาสำรวจทางธรณีวิทยาและการสำรวจการสั่นสะเทือนของพื้นพิภพผ่านการศึกษาทางธรณีวิทยาอื่น ๆ [38] โดยการสำรวจพื้นที่ด้วย GPS นี้จัดแบ่งได้เป็น 2 หมวดการทำงาน ได้แก่ หมวดภาคสถิต "Static mode" ซึ่งการสำรวจแบบนี้เริ่มจากผู้สำรวจต้องเข้าสำรวจพื้นที่บริเวณโดยรอบและหาจุดอ้างอิง (Certain position) เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงพิกัดภูมิศาสตร์ (Georeferencing) ให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่สำรวจทั้งหมด (อย่างน้อย 5 จุดครอบคลุมบริเวณทั้งหมด) จากนั้นทำการตรึงพิกัดทั้งหมดด้วย GPS ในการตรึงพิกัดด้วย GPS นี้มีหลักการทำงานคือตัวรับสัญญาณ (Receiver) จะรับข้อมูลเชิงพิกัดอย่างต่อเนื่องจากทุกดาวเทียมที่เครื่องตรวจรับสัญญาณสามารถตรวจพบได้ (การตรึงพิกัดด้วยเครื่อง GPS ควรใช้เวลาในแต่ละจุดอย่างน้อย 30 นาที) และจะทำการประมวลตำแหน่งพิกัด ณ จุดนั้น ๆ ในลักษณะค่าเฉลี่ย (Average value) ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนของพิกัดดังกล่าวจัดอยู่ในระดับ "มิลลิเมตร" [39] เนื่องจากตำแหน่งพิกัดโดยเฉลี่ยนี้เป็นพิกัดที่แน่นอนและเป็นข้อมูลที่คำนวณจากการเคลื่อนที่โดยตรงของดาวเทียมซึ่งไม่ผ่านการประมวลผลใด ๆ [40] จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยเชิงพิกัดที่ได้นำไปปรับแก้พิกัดบนภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ เพื่อประมวลข้อมูลต่อไป สำหรับตรึงพิกัดพื้นที่ด้วย GPS ในหมวดจลนศาสตร์ "Kinematic" ผู้สำรวจต้องทำการตรึงพิกัดด้วย GPS ณ ตำแหน่งจุดอ้างอิงพิกัดภูมิศาสตร์ที่เหมาะสมเพียงตำแหน่งเดียวในพื้นที่ซึ่งจุดนี้เองจะเรียกว่าจุดฐาน (Base) จากนั้นผู้สำรวจจะทำการ รับ-ส่ง ข้อมูลตำแหน่งโดยเฉลี่ยจากตัวรับสัญญาณที่เคลื่อนที่รอบบริเวณสำรวจอีกตัวหนึ่ง ซึ่งเรียกตัวรับสัญญาณนี้ว่า โรเวอร์ "Rover" ในระหว่างการ รับ-ส่ง ข้อมูลเชิงพิกัดระหว่างจุดฐานและโรเวอร์จะมีการคำนวณตำแหน่งพิกัดโดยเฉลี่ย ซึ่งอ้างอิงจากระยะห่างจากจุดฐานและจุดเคลื่อนที่เป็นสำคัญ โดยความคลาดเคลื่อนเชิงพิกัดเมื่อเปรียบเทียบกับการตรึงพิกัดด้วยระบบ GPS ในหมวดภาคสถิต ถือว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า อีกทั้งวิธีดังกล่าวยังคงเป็นที่ถกเถียงกันในหมู่นักวิชาการเรื่องการตรวจสอบพิกัดที่ได้ว่าเป็นการอนุมานจากการทดลองที่ไม่เป็นระบบ (non-systematic experiments) หรือเป็นเพียงแค่การแยกสัญญาณพิกัดที่ได้จากตัวรับสัญญาณเดียวกันไปยังตำแหน่งที่สอง [40–42]

จากความซับซ้อนในกระบวนการอ้างอิงพิกัดภูมิศาสตร์เพื่อการจัดทำแผนที่ข้างต้น จึงมีผู้พัฒนาระบบอ้างอิงพิกัดภูมิศาสตร์เพื่อลดขั้นตอนและความยุ่งยากต่อการระบุพิกัดภูมิประเทศในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วนหลัก ได้แก่ อุปกรณ์อ้างอิงพิกัดทางสถานีภาคพื้นดินด้วยระบบนำทางผ่านดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) และตัวรับสัญญาณสำหรับการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) เพื่อการอ้างอิงพิกัดภูมิศาสตร์ที่แม่นยำในการสำรวจพื้นที่ซึ่งติดตั้งบนอากาศยานไร้นักบิน [43] โดยอากาศยานไร้นักบินสามารถสำรวจพื้นที่ได้ตรงตามแผนการบินโดยที่ไม่จำเป็นต้องแก้ไขข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์อ้างอิงพิกัด GNSS อีกทั้งยังคงประสิทธิภาพในการบันทึกภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ ได้อย่างเหมาะสมและพร้อมสำหรับการประมวลผลข้อมูลต่อไป ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถลดเวลาในการติดตั้งจุดควบคุมภาคพื้นดินในกระบวนการสำรวจภาคสนาม อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนในการระบุพิกัดของระบบดังกล่าวยังคงจัดอยู่ในระดับ "เมตร" [44] และการใช้งานยังต้องอาศัยนักสำรวจพื้นที่ หรือผู้บังคับอากาศยานที่มีความเชี่ยวชาญโดยเฉพาะ [45] เพื่อที่จะขยายข้อจำกัดดังกล่าวและตอบสนองต่องานวิจัยในการขยายขอบเขตพื้นที่สำรวจ พร้อมทั้งลดขั้นตอนการปฏิบัติกอปรกับลดเวลาในการวางจุดควบคุมภาคพื้นดินบนสภาพพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ จึงมีการผนวกระบบ RTK (Real Time Kinematic) และระบบ PPK (Post Processed Kinematic) มาติดตั้งบนอากาศยานไร้นักบินเพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการระบุพิกัดภูมิศาสตร์ของภาพถ่าย

ทางอากาศหรือที่เรียกว่า "Geotags" จากระบบดังกล่าวทำให้การระบุพิกัดภูมิศาสตร์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับ "เซนติเมตร" ทั้งนี้ ผู้เขียนขออธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นของทั้งระบบ RTK และ PPK ดังต่อไปนี้ โดยในระบบ PPK จะเป็นการแยกการรับข้อมูลการระบุพิกัดภูมิศาสตร์ GNSS ในทุก ๆ แนวการบินของอากาศยานไร้นักบินตามแผนการบิน ซึ่งข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS ส่วนหนึ่งจะถูกบันทึกลงบนอากาศยานไร้นักบิน ซึ่งขณะทำการบินสำรวจนี้อากาศยานไร้นักบินจะเป็นตัวรับสัญญาณพิกัดแบบโรเวอร์ ในขณะที่ข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS อีกส่วนหนึ่งจะถูกบันทึกลงบนอุปกรณ์รับสัญญาณภาคพื้นซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณแบบจุดฐาน ทั้งนี้การรับข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS ของตัวรับสัญญาณทั้งสองจะดำเนินการควบคู่กันไป (simultaneously) และเมื่อทำการสำรวจแล้วเสร็จ ผู้บังคับอากาศยานไร้นักบินจะดำเนินการจัดทำพิกัดภูมิศาสตร์ของภาพถ่ายทางอากาศลงบนภาพถ่ายทางอากาศ โดยการเทียบเคียงข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS จากตัวรับสัญญาณทั้งสอง หากข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS ใกล้เคียงกันและมีความถูกต้องเพียงพอจึงสามารถบันทึกลงบนภาพถ่ายทางอากาศได้ โดยการสำรวจรูปแบบดังกล่าวผู้บังคับอากาศยานไร้นักบินไม่จำเป็นต้องทำการสำรวจและบันทึกจุดควบคุมภาคพื้นดินไว้ล่วงหน้า [46] ในขณะที่ระบบ RTK เป็นการพัฒนาระบบการบังคับทิศทางอากาศยานไร้นักบินผ่านทางการรับ-ส่งข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS ลงบนโปรแกรมควบคุมการบิน และใช้ข้อมูลอ้างอิงพิกัด GNSS เป็นแผนการบินด้วยคลื่นความถี่เชิงเดี่ยว (single frequency GNSS systems) [47] โดยการสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นกับอากาศยานไร้นักบิน ซึ่งจะทำการ รับ - ส่งข้อมูลแบบ real time ด้วยสัญญาณวิทยุ หรือสัญญาณโทรศัพท์ ทั้งนี้อุปกรณ์รับสัญญาณภาคพื้นเป็นตัวรับสัญญาณแบบจุดฐาน และอากาศยานไร้นักบินจะเป็นตัวรับสัญญาณแบบโรเวอร์

อนึ่ง การสำรวจพื้นที่เพื่อยืนยันตำแหน่ง ระวางหรือการสำรวจแนวโครงข่ายสาธารณูปโภคใด ๆ ก็ตาม ผู้บังคับอากาศยานจำเป็นต้องพิจารณาเทคนิคการสำรวจพื้นที่ตามความเหมาะสมของภูมิประเทศ และใช้แนวทางการสำรวจดังที่กล่าวไว้ข้างต้นให้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากการสำรวจโครงข่ายระบบไฟฟ้ามีการรบกวนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญ ดังนั้นการรบกวนสัญญาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงสูง อีกทั้งการเข้าถึงพื้นที่ตั้งของระบบโครงข่ายอาจเป็นไปได้ยาก ผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินจึงต้องพิจารณาว่าจะใช้กระบวนการสำรวจพื้นที่แบบใดจึงจะเหมาะสม ซึ่งไม่สามารถกำหนดลักษณะการสำรวจได้แบบตายตัว อย่างไรก็ตามข้อสังเกตของผู้ปฏิบัติคือต้องไม่สับสนระหว่างกระบวนการสำรวจพื้นที่ในหมวดภาคสถิต หรือ หมวดจลนศาสตร์ เนื่องจากแต่ละวิธีมีทั้งข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกันไป อีกทั้งระดับความคลาดเคลื่อนของหน่วยการวัดไม่เท่ากัน อาจเป็นสาเหตุให้การตรึงพื้นที่ผิดพลาดได้ง่าย

4. ปรากฏการณ์ดิสชาร์จทางไฟฟ้า

ความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายของระบบฉนวนบนเครือข่ายไฟฟ้าทางสายส่งจากปรากฏการณ์ดิสชาร์จทางไฟฟ้า สามารถเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ ได้แก่ การเกิดคลื่นวิทยุแทรกสอดในบริเวณนั้น ๆ การเกิดประกายไฟ การเกิดความร้อนสูง และการเกิดคลื่นเสียงทั้งในช่วงคลื่นที่สามารถได้ยินและไม่สามารถได้ยิน [48] ดังนั้น ก่อนที่จะทำการตรวจสอบการดิสชาร์จทางไฟฟ้า การระบุตำแหน่งที่เสียหายของระบบโครงข่ายสายส่ง การตรวจวัดปริมาณความเสียหายของระบบฉนวน และการวิเคราะห์ความรุนแรงการดิสชาร์จทางไฟฟ้า ผู้ใช้งานอากาศยานไร้นักบินจึงจำเป็นต้องเรียนรู้ต้นเหตุหรือจุดสำคัญพร้อมกับลักษณะและรูปแบบต่าง ๆ ของการดิสชาร์จทางไฟฟ้าก่อนทำการบิน เพื่อความปลอดภัยทั้งกับตนเองและอุปกรณ์ตรวจวัดบนอากาศยาน ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าปรากฏการณ์ดิสชาร์จทางไฟฟ้ามีความรุนแรงอยู่ในช่วง พิโคคูลอมม์

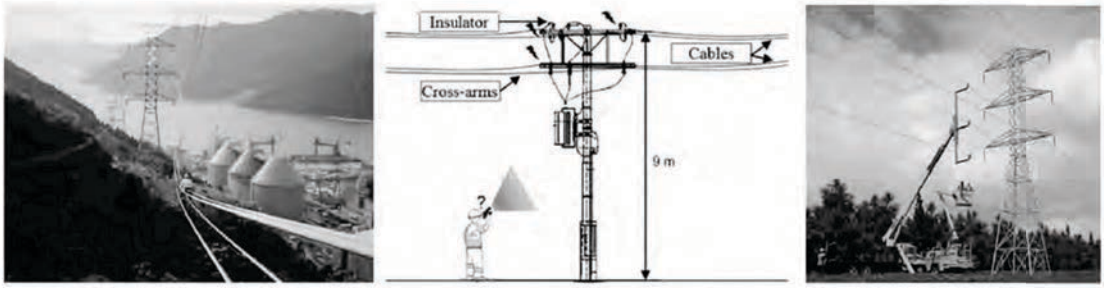
(picoCoulomb: pC) [48] ขึ้นอยู่กับความเสียหายของระบบฉนวนและระดับแหล่งพลังงานต้นกำเนิดของระบบเครือข่ายสายส่ง ฉะนั้นบริเวณที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้าของระบบฉนวนของสายส่งจึงเปรียบเสมือนตัวเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (Conductor) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวจะปล่อยกระแสไฟออกมาเป็นช่วง ๆ (Partial discharge pulse) ในแต่ละครั้งใช้เวลาน้อยกว่า 1 ไมโครวินาที [49] จึงเป็นสาเหตุให้การสำรวจความเสียหายด้วยอากาศยานเป็นไปด้วยความยากลำบาก ปรากฏการณ์ที่นักวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้องได้ทำการตรวจพบดิสชาร์จทางไฟฟ้า ได้แก่

1) การเกิดประกายไฟ
2) การเกิดเสียงแทรกสอด
3) กระแสไฟลดระดับลง
4) การเกิดคลื่นวิทยุแทรกสอด
5) การสั่นทางกล (Mechanical vibrations)
6) ปฏิกิริยาเคมีในบริเวณโดยรอบ (Chemical reactions)

ซึ่งปัจจัยทั้ง 6 ข้อที่กล่าวมานี้เอง มีส่วนที่สามารถทำให้อากาศยานไร้นักบินตกได้ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงพยายามค้นหาความเสี่ยงเพื่อป้องกันการเสียการควบคุมอากาศยานเหล่านั้นไป

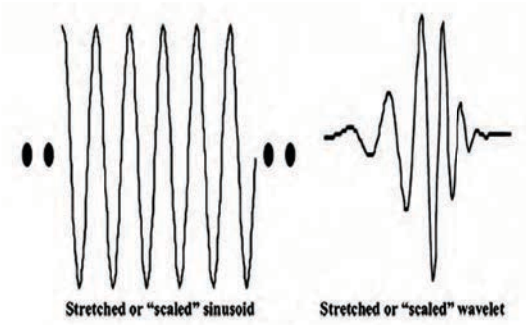
4.1 ลักษณะคลื่นเสียงบริเวณที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า

จากลักษณะการเกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้าบนระบบฉนวนโครงข่ายสายส่ง คลื่นเสียงเป็นหนึ่งในปรากฏการณ์ที่มักถูกใช้เป็นปัจจัยสำหรับการตรวจสอบ เนื่องจากสามารถตรวจพบได้ง่ายจากประสาทสัมผัสของมนุษย์ประกอบกับในตำแหน่งความเสียหายบนระบบฉนวนจะมีการแทรกของคลื่นวิทยุร่วมอยู่ด้วย ฉะนั้น การติดตามระบบโครงข่ายสายไฟฟ้าเมื่อตรวจพบสายไฟที่เกิดเสียงจึงสันนิษฐานได้ว่าบริเวณดังกล่าวเกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้าขึ้น อย่างไรก็ตาม ในภูมิประเทศที่ยากจะเข้าถึงการติดตามด้วยคลื่นเสียงก็มิอาจทำได้ง่ายนัก ดังนั้นการตรวจสอบด้วยวิธีนี้จึงมักนิยมใช้กับพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย แสดงตามรูปที่ 9 อนึ่ง ด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแทรกสอดด้วยคลื่นเสียงนี้เอง การติดตั้งเครื่องตรวจวัดเสียงด้วยอากาศยานไร้นักบินจึงเป็นอีกแนวทางในการตรวจสอบการดิสชาร์จทางไฟฟ้า แต่ก่อนจะทำการตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าวเราจำเป็นต้องเรียนรู้ตัวแปรที่สำคัญและการประเมินผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น

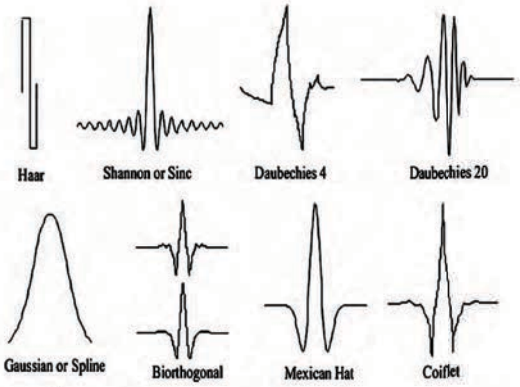


รูปที่ 9 ตัวอย่างการตรวจสอบความเสียหายของสายส่งจากภาคพื้น [50]

1) ลักษณะคลื่นเสียง เป็นการตรวจสอบการดิสชาร์จทางไฟฟ้าด้วยคลื่นเสียง นิยมอ้างอิงการแปรผลลัพธ์ด้วยตัวแปร wavelet ซึ่งการแปรผลเป็นไปตามค่าคณิตศาสตร์ แต่เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจและการนำมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ เบื้องต้นจึงขออธิบายข้อแตกต่างระหว่างเสียงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ กับเสียงที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ดิสชาร์จทางไฟฟ้า แสดงตามรูปที่ 10 พบว่า เมื่อเราพิจารณาคลื่นเสียงในห้วงหนึ่งของเวลา (limited duration) และขยายระยะเวลาการพิจารณาของคลื่นเสียงออกไปจนถึงระยะอนันต์ตามทฤษฎี wavelet จะมีจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดของคลื่นแสดงตามรูปที่ 10 ด้านขวา และรูปร่างของคลื่นมีลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ (irregular) ในขณะที่คลื่นเสียงปกติจะมีความเรียบ (smooth) เป็นระเบียบและสามารถทำนายการกวัดแกว่งของลูกคลื่นได้ อีกทั้งความถี่ของคลื่นเสียงปกติจะคงที่เมื่อเข้าสู่สภาวะหยุดนิ่ง (stationary) [51] แสดงลักษณะคลื่นตามรูปที่ 10 ด้านซ้าย จากนิยามเบื้องต้นได้มีนักวิจัยค้นคว้ารูปแบบเสียงของ wavelet ในลักษณะต่าง ๆ แสดงตามรูปที่ 11 ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เอง เราสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาแปรผลการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งความเสียหายจากดิสชาร์จทางไฟฟ้า ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งเราสามารถอ้างอิงพิกัดบนภาพถ่ายภูมิประเทศ 3 มิติ ที่เราทราบพิกัดอยู่แล้วได้

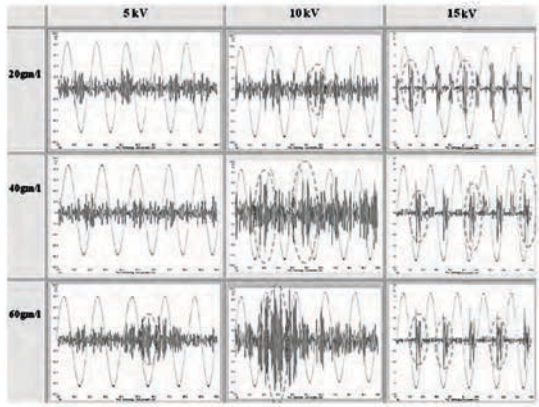


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบลักษณะความแตกต่างของคลื่นเสียงของอุปกรณ์ที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า [52]



รูปที่ 11 รูปแบบเสียงของ wavelet ในลักษณะต่าง ๆ [52]

2) การสังเกตลักษณะคลื่นเสียง จากการทดสอบการแสดงผลในลักษณะรูปแบบเสียงด้วยความต่างศักย์ขนาดต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมจำลองของห้องปฏิบัติการ [48] พบว่า แนวโน้มการเกิดรูปแบบเสียงของระบบเครือข่ายสายไฟเมื่อเกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า มีขนาดเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความต่างศักย์ แต่ทว่าสิ่งกีดขวางหรือมลภาวะในสภาพแวดล้อมมีส่วนที่ทำให้ไม่พบรูปแบบเสียงที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า ณ ความต่างศักย์ขนาดน้อย ๆ และจะไม่ส่งผลต่อตำแหน่งเครือข่ายที่มีความต่างศักย์ขนาดสูง ๆ แสดงผลตามรูปที่ 12 จากผลการทดสอบนี้เองเป็นเครื่องยืนยันว่าการตรวจสอบระบบเครือข่ายด้วยอากาศยานไร้นักบินด้วยเครื่องตรวจวัดเสียงมีความเป็นไปได้ในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ที่ยากเข้าถึง และเพื่อสำรวจระบบโครงข่ายที่มีความต่างศักย์สูง ๆ นั่นเอง



รูปที่ 12 รูปแบบเสียงที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า ณ ความต่างศักย์ต่าง ๆ ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน [48]

4.2 การเปล่งแสงบริเวณที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า

การเกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้าบนระบบโครงข่ายสายส่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งรูปแบบกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC) เมื่อบริเวณพื้นผิวฉนวนกันไฟฟ้ามีการสะสมของสนามไฟฟ้ามากเพียงพอ [53] และผลลัพธ์ที่ตามมาคือ การสูญเสียกระแสไฟและเกิดผลกระทบตามมาอีกมากดังที่เคยกล่าวไว้แล้วข้างต้น อนึ่ง ปฏิกิริยาเคมีในบริเวณโดยรอบดิสชาร์จทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น มีประโยชน์ต่อการตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจสอบเชิงแสง ซึ่งก่อนที่จะนำเครื่องมือตรวจสอบมาใช้งานอย่างถูกต้องจำเป็นต้องเรียนรู้กระบวนการเปล่งคลื่น (Emit) ณ บริเวณอุปกรณ์ฉนวนที่เสียหาย โดยดิสชาร์จทางไฟฟ้าจะเกิดการขยายตัวของสนามไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนภายในสนามไฟฟ้าทำปฏิกิริยาไอออไนเซชัน (Ionization) กับออกซิเจน เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน จากนั้นโมเลกุลดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศเกิดเป็นโอโซนขึ้น [54] แสดงตามสมการที่ 1 โดยที่ M คือ โมเลกุลของ ออกซิเจน (O_2) หรือ ไนโตรเจน (N_2) ในบรรยากาศรอบบริเวณดิสชาร์จทางไฟฟ้า

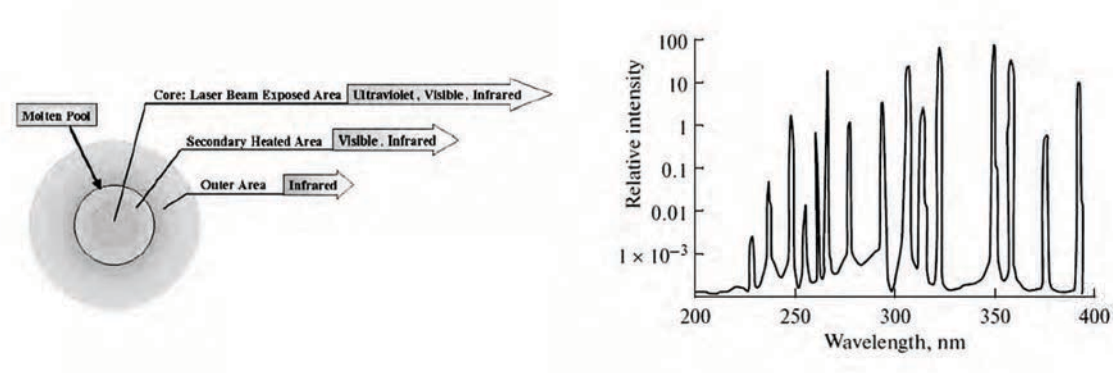
$$O + O_2 + M \rightarrow O_3^* + M \rightarrow O_3 + M \qquad (1)$$

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่า โอโซน (O_3) สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยากับทั้งก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนโตรเจนอีกต่อ ๆ ไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน แสดงดังสมการที่ 2 เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนมีพลังงานกระตุ้น (Excitation energy) อยู่ที่ระดับ 11 eV ซึ่งเป็นระดับพลังงานที่น้อยกว่าพลังงานกระตุ้นของก๊าซออกซิเจนอยู่ถึง 1.5 eV [55] จึงทำให้เกิดไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าเกิดปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นไนโตรเจนไอออน ไนโตรเจนอะตอมและโมเลกุลของไนโตรเจนรูปแบบต่าง ๆ [56-57] ต่อมาส่วนหนึ่งของไนโตรเจนเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน เกิดเป็นโอโซน หมุนเวียนต่อไป และอีกส่วนหนึ่งเกิดปฏิกิริยาต่อไปเกิดเป็นก๊าซในรูปแบบต่าง ๆ ของไนโตรเจน หรือที่เรียกว่า NO_x [58-59] ซึ่งก๊าซรูปแบบต่าง ๆ ของไนโตรเจนเหล่านี้เองเป็นตัวเร่งให้เกิดการขยายตัวของดิสชาร์จทางไฟฟ้า ณ ระบบฉนวนกันไฟฟ้าของโครงข่ายสายส่ง

$$\begin{aligned} O + NO + M &\rightarrow NO_2 + M \\ O + NO_2 &\rightarrow NO + O_2 \\ O + O &\rightarrow O_2 \end{aligned} \qquad (2)$$

จากคำอธิบายของการเกิดก๊าซข้างต้น เมื่อนานวันขึ้นจะทำให้เกิดการสะสมของสนามไฟฟ้าบริเวณดิสชาร์จทางไฟฟ้าบนระบบฉนวนและขยายตัวออกไปเป็นลักษณะวงแหวน หรือเรียกว่า “โคโรน่าดิสชาร์จ” และจะทำลายการเป็นฉนวนของอุปกรณ์ในขณะเดียวกันกับการเกิดปรากฏการณ์วงแหวนนี้เองจะเกิดปรากฏการณ์การแผ่รังสีและมีอุณหภูมิสูงขึ้นควบคู่กันไปด้วย จากมูลเหตุนี้เอง ผู้บังคับอากาศยานไร้นักบินจึงจำเป็นต้องหาเครื่องตรวจวัดการแผ่รังสีและความร้อนในย่านคลื่นที่เหมาะสม เพราะในกรณีความร้อนที่เกิดจากการดิสชาร์จทางไฟฟ้าจะมีความร้อนสูงขึ้นไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า เนื่องจากการส่งกระแสไฟตามสายส่งก็เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนอยู่แล้ว อีกทั้งกรณีการตรวจวัดการแผ่รังสีเครื่องตรวจวัดต้องสามารถแยกแยะปรากฏการณ์การแผ่รังสีจากวัตถุได้อย่างชัดเจน สำหรับการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อน (ในที่นี้คือ สายส่งกระแสไฟฟ้า) มีลักษณะการแผ่รังสีและความร้อนในรูปแบบ blackbody radiation นั่นหมายความว่าสสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิศูนย์องศาสัมบูรณ์ (0 k หรือ -273.15°C) จะสามารถเปล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้อย่างต่อเนื่องโดยมีขนาดและส่วนประกอบของช่วงคลื่นแตกต่างกันไปซึ่งพลังงานที่วัตถุแผ่ออกมามากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของผิววัตถุ [60] ตามภาพที่ 13 ฝั่งซ้ายจะ

เป็นการแผ่รังสีที่เกิดขึ้น 2 บริเวณ บริเวณแรกคือแกนกลาง (Core) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากการดิสชาร์จทางไฟฟ้าจะเกิดการแผ่ความร้อนและแผ่รังสีขึ้นโดยตรงจากแกนกลางออกสู่ด้านนอก ซึ่งการแผ่รังสีนี้อยู่ในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet wavelength region) เนื่องจากแกนกลางของแหล่งความร้อนมีอุณหภูมิสูงที่สุด จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงจนกระทั่งถึงขอบนอกของแกนกลาง จะเกิดการแผ่รังสีของช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) และช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared) ณ บริเวณที่ 2 (Secondary heated area) มากกว่าในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต จนกระทั่งถึงรอบนอกจึงมีการแผ่รังสีในช่วง infrared เท่านั้น [60] ดังนั้นเมื่อทำการตรวจสอบการเกิดปรากฏการณ์ดิสชาร์จทางไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการพบว่าเมื่อเกิดก๊าซในรูปแบบต่าง ๆ ของไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นทำให้ระบบฉนวนของอุปกรณ์สายส่งเสื่อมสภาพลงและเป็นการขยายสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนทำให้ความดันภายในของอุปกรณ์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการตรวจสอบการแผ่รังสีย่านคลื่นอัลตราไวโอเลตด้วยเครื่องตรวจวัดสามารถตรวจสอบสเปกตรัมได้ตามรูปที่ 13 ด้านขวา ซึ่งเป็นการยืนยันผลการตรวจสอบว่าการดิสชาร์จทางไฟฟ้าสามารถตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจวัดในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต



รูปที่ 13 ตัวอย่างการแผ่รังสีของโครงข่ายสายไฟ และการตรวจวัดรังสีในช่วงคลื่น UV [60,55]

จากผลการการศึกษาดิสชาร์จทางไฟฟ้าบนอุปกรณ์โครงข่ายไฟฟ้าพบว่าเครื่องมือตรวจสอบที่สามารถติดตั้งบนอากาศยานไร้นักบินควรเป็นเครื่องตรวจวัดการแผ่รังสีย่านอัลตราไวโอเลต อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยย่านความถี่อื่น ๆ ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากเครื่องตรวจวัดไม่สามารถตรวจวัดความแตกต่างทางความร้อนที่เกิดขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้ใช้งานอากาศยานจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องตรวจวัดประเภทนี้เพียงประเภทเดียว ซึ่งข้อควรระวังสำหรับการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่ การตรวจวัดด้วยคลื่นย่านอัลตราไวโอเลตมักมีความว่องไวต่อการแยกแยะสัญญาณรบกวนต่ำ (Signal to Noise Ratio) เนื่องจากการใช้อากาศยานบินสำรวจในช่วงเวลากลางวันจะมีการรบกวนของคลื่นอัลตราไวโอเลตจากแสงอาทิตย์ ทำให้สัญญาณที่ตรวจวัดได้มีขนาดต่ำหรือไม่สามารถแยกแยะได้เลย ดังนั้นการแก้ปัญหาสำหรับการตรวจวัดสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การเลือกช่วงเวลาการบิน โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมคือช่วงเวลาเช้าและมีแสงแดดรบกวนไม่มาก และการปรับแผนการบินโดยให้เพดานบินมีความสูงลดลงเพื่อให้ตัวตรวจวัดสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ย่านอัลตราไวโอเลตได้ อย่างไรก็ตาม การปรับลดเพดานบินมีความเสี่ยงต่อ

การทำให้อากาศยานตก เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณที่เกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้าอาจรบกวนระบบสื่อสารของอากาศยาน ดังนั้นในการตรวจวัดจึงนิยมเลือกช่วงเวลาในการตรวจวัดก่อน

5. บทสรุป

การตรวจสอบระบบโครงข่ายสาธารณูปโภคเพื่อซ่อมบำรุงเป็นส่วนหนึ่งของการบรรเทาสาธารภัยเชิงป้องกันด้านหนึ่ง ณ ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้นักบินมาประยุกต์ใช้ในการบรรเทาสาธารณภัยในด้านต่าง ๆ รวมถึงการใช้เพื่อการตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย ทั้งนี้ผู้ใช้อากาศยานไร้นักบินจะต้องมีทักษะด้านการวางแผนการบินอย่างปลอดภัย อีกทั้งยังจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้ลักษณะข้อดี - ข้อด้อยของเครื่องตรวจวัดเป็นอย่างดี เนื่องจากการตรวจวัดความเสียหายด้วยการถ่ายภาพพร้อมระบุตำแหน่งบนแผนที่ภูมิประเทศ 3 มิติ โดยเฉพาะแนวโครงข่ายสายไฟมีความเสี่ยงในการที่อากาศยานไร้นักบินจะตก เพราะมีการรบกวนระบบสื่อสารระหว่างอากาศยานและภาคพื้นดินด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อีกทั้งการระบุพิกัด หรือตำแหน่งของอุปกรณ์โครงข่ายสายส่งจำเป็นอย่างยิ่งต้องแยกแยะข้อมูลออกจากข้อมูลความสูงของพื้นดินซึ่งต้องมีการจัดการข้อมูลอย่างถูกต้อง และข้อควรระวังมากที่สุดคือ การตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจวัดย่าน UV ผู้บังคับอากาศยานมักแก้ไขแผนการบินเมื่อพบว่าไม่สามารถตรวจสอบบริเวณต้องสงสัยในการเกิดดิสชาร์จทางไฟฟ้า โดยการลดระดับเพดานบินเพื่อให้เครื่องตรวจวัดเข้าใกล้อุปกรณ์โครงข่ายสายส่งมากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นกระบวนการที่เสี่ยงมาก ทั้งนี้หากมีความจำเป็นต้องตรวจสอบบริเวณดังกล่าว ควรใช้วิธีอื่น ๆ เข้าร่วมหรือเปลี่ยนเครื่องตรวจวัดเป็นแบบตรวจสอบด้วยเสียง หรือวิธีใด ๆ ตามความเหมาะสม

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Kumar, V., Michael, N.: Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles. In: Robotics Research, pp.41–58. Springer (2017)

[2] Agha-mohammadi, A.-a., Ure, N.K., How, J.P., Vian. J.: Health aware stochastic planning for persistent package delivery missions using quadrotors. In: IEEE /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3389–3396. Chicago (2014)

[3] Alvissalim, M.S., Zaman, B., Hafizh, Z.A., Ma'sum, M.A., Jati, G., Jatmiko, W., Mursanto, P.: Swarm quadrotor robots for telecommunication network coverage area expansion in disaster area. In: Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan, pp. 2256–2261. Akita (2012)

[4] Augugliaro, F., Schoellig, A.P., D'Andrea, R.: Methods for designing and executing an aerial dance choreography. IEEE Robot. Autom. Mag. 20(4), 96–104 (2013)

[5] Aleotti, J., Micconi, G., Caselli, S., Benassi, G., Zambelli, N., Bettelli, M., Zappettini, A.: Detection of nuclear sources by UAV teleoperation using a visuo-haptic augmented reality interface. Sensors 17, 2234 (2017)

[6] Burtniak, V., Zabulonov, Y., Stokolos, M., Bulavin, L., Krasnoholovets, V.: The remote radiation monitoring of highly radioactive sports in the chornobyl exclusion zone. J. Intell. Robot. Syst. 90, 437–442 (2018)

[7] Falciglia, P.P., Biondi, L., Catalano, R., Immè, G., Romano, S., Vagliasindi, F.G.: Pre-

liminary investigation for quali-quantitative characterization of soils contaminated with 241 Am and 152 Eu by low-altitude unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with small size γ-ray spectrometer: detection efficiency and minimum detectable activity (MDA) concentration assessment. J. Soils Sediments 18, 2399–2409 (2018)

[8] Tziavou, O., Pytharouli S., Somber J.: Unmanned Aerial Vehicles (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results. Engineering Geology. 232, 12-21 (2018)

[9] Driscoll, J. O.: Landscape applications of photogrammetry using unmanned aerial vehicles. Journal of Archaeological Science: Reports. 22, 32–44 (2018)

[10] Pinnangudi, B., Gorur, R.S., Kroese, A.J.: Energy quantification of corona discharge on polymeric insulators, in: IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP)., 315–318 (2002)

[11] Yoshimura, N., Kumugai, S., Nishimura, S., Electrical and environmental aging of silicone rubber used for outdoor insulation, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 6, 632–650 (1999)

[12] Moreno, V.M., Gorur, R.S.: AC and DC performance of polymeric housing materials for HV outdoor insulation, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 5, 342–350 (1999)

[13] Montesinos, J.,. Gorur, R.S, Mobasher, B., Kingsbury, D.: Mechanism of brittle fracture in non ceramic insulators, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 9, 236–243 (2002)

[14] Ilhan, S., Ozdemir, A.: Effects of corona ring design on electric field intensity and potential distribution along an insulator string, in: IEEE ELECO07 Conference, Bursa, Turkey, 2007.

[15] Rowland, S.M., Robertson, J., Xiong, Y., Day, R.J., Electrical and materialcharacterization of field-aged 400 kV silicone rubber composite insulators,IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 17, 375–383 (2010)

[16] Terrab, H., El-hag, A.H., Bayadi, A., Surface analysis of field aged transmissionclass silicone rubber outdoor insulators, in: 2012 Annual Report Conferenceon Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Michigan, USA, 213–216 (2015)

[17] Cherney, E.A., et al., End-of-life and replacement strategies for RTV siliconerubber coatings, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 21, 253–261 (2014)

[18] R.A. Ghunem, L. Tay, H. Terrab, A.H. El-hag, Analysis of service-aged 200 kV and 400 kV silicone rubber insulation in the Gulf region, IEEE Trans. Dielectr.Electr. Insul. 23, 3539–3546 (2016)

[19] Gustavsson, T.G., Gubanski, S.M., Hillborg, H., Karlsson, S., Gedde, U.W.: Aging ofsilicone rubber under ac or dc voltages in a coastal environment, IEEE Trans.Dielectr. Electr. Insul. 8, 1029–1039 (2001)

[20] Guerrero, R.S., Corona, R.H., L.Gonzalez, F.A., García, L. R., Raizabal, V., Application of unusual techniques for characterizing ageing

on polymeric electricalinsulation, Electr. Power Syst. Res. 117, 202–209 (2014)

[21] Zhu, Y., Otsubo, M., Honda, C., Tanaka, S., Loss and recovery of hydrophobicity of silicone rubber exposed to corona discharge, Polym. Degrad. Stab. 91, 1448–1454 (2006)

[22] Phillips A.J., et al., Electric fields on AC composite transmission line insulators, IEEE Trans. Power Deliv. 23, 823–830 (2008)

[23] Lee, C., Kim, H. R., Optimizing UAV-based radiation sensor systems for aerial surveys, Journal of Environmental Radioactivity 204, 76–85 (2019)

[24] Liao, L., Pasternak, I., 2009. A review of airship structural research and development. Prog. Aero. Sci. 45, 83–96.

[25] Lacroix, S., Toward Autonomous Airships: Research and Developments at LAAS/CNRS, 3rd International Airship Convention and Exhibition. Citeseer, Friedrichshafen (Germany), juillet 2000.

[26] Rao, J., Gong, Z., Luo, J., Xie, S.: Unmanned airships for emergency management. In: IEEE International Safety, Security and Rescue Rototics, Workshop, 2005. IEEE, 125–130 (2005)

[27] Chan, S.H., Stempien, J.P., Ding, O.L., Su, P.-C., Ho, H.K.: Fuel cell and hydrogen technologies research, development and demonstration activities in Singapore–an update. Int. J. Hydrogen Energy 41, 13869–13878 (2016)

[28] Dering, G. M., Micklethwaite, S.,. Thiele, S. T., Vollgger, S. A., Cruden, A. R.: Review of drones, photogrammetry and emerging sensor technology for the study of dykes: Best practises and future potential. Journal of Volcanology and Geothermal Research 373, 148–166 (2019)

[29] Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P.D.A., Shea, J.M., Shrestha, A.B., Pellicciotti, F., Bierkens, M.F.P., de Jong, S.M.: High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles. Remote Sensing of Environment. 150, 93–103 (2014)

[30] Fujita, K., Suzuki, R., Nuimura, T., & Sakai, A. Performance of ASTER and SRTM DEMs, and their potential for assessing glacial lakes in the Lunana region, Bhutan Himalaya. Journal of Glaciology, 54 (185), 220–228 (2008)

[31] Nuimura, T., Fujita, K., Yamaguchi, S., & Sharma, R. R.. Elevation changes of glaciers revealed by multitemporal digital elevation models calibrated by GPS survey in the Khumbu region, Nepal Himalaya, 1992–2008. Journal of Glaciology, 58 (210), 648–656 (2012)

[32] Triantafilis, J., Monteiro Santos, F.A.: Electromagnetic conductivity imaging (EMCI) of soil using a DUALEM-421 and inversion modelling software (EM4Soil). Geoderma 211–212, 28–38 (2013)

[33] Feng, A., Zhou, J., Vories, E. D., Sudduth, K. A., Zhang, M., Yield estimation in cotton using UAV-based multi-sensor imagery, biosystems engineering 193, 101-114 (2020)

[34] Waldman, G., Introduction to Light: The Physics of Light, Vision, and Color. Dover Publications, New York 2002.

[35] Freedman, R.A., Kaufman III, W.J., Universe, seventh ed. W.H. Freeman and Company, New York 2005.

[36] Singh C. B. and Jayas D. S., 'Spectroscopic techniques for fungi and mycotoxins detection in agriculture and food', in De Sager S , ed., Determining Mycotoxins and Mycotoxigenic Fungi in Food and Feed , Cambridge : Woodhead Publishing , 401–414, 2010.

[37] Dering, G. M., Micklethwaite, S., Thiele, S. T., Vollgger, S. A., Cruden, A. R.: Review of drones, photogrammetry and emerging sensor technology for the study of dykes: Best practises and future potential, Journal of Volcanology and Geothermal Research. 373, 148–166 (2019)

[38] Larson, K.M., Agnew, D.C.: Application of the Global Positioning System to crustal deformation measurement 1. Precision and accuracy. J Geophys Res 96(B10), 16547–65 (1991)

[39] Nickitopoulou, A., Protopsalti, K., Stiros, S.: Monitoring dynamic and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: Accuracy, limitations and promises. Engineering Structures 28, 1471–1482 (2006)

[40] Nakamura, S.: GPS measurement of wind-induced suspension bridge girder displacements. J Struct Eng ASCE;126 (12), 1413–9 (2000)

[41] Breuer, P., Chmielewski, T., Gorski, P., Konopka, E.: Application of GPS technology to measurements of displacements of high-rise structures due to weak winds. J Wind Eng Ind Aerodyn,90(3), 223–30 (2002)

[42] Tamura, Y., Matsui, M., Pagnini, L-C, Ishibashi, R., Yoshida, A.: Measurement of wind-induced response of buildings using RTK-GPS. J Wind Eng Ind Aerodyn, 90, 1783–93 (2002)

[43] Brown, C., Karuna, R., Ashkenazi, V., Roberts, G., Evans, R.: Monitoring of structures using the Global Positioning System. Proc Inst Civ Eng. 134, 97–105 (1999)

[44] Hill, A., Limp, F., Casana, J., Laugier, E., Williamson, M., 2019. A new era in spatial data recording: low cost GNSS. Adv. Archaeol. Pract. https://doi.org/10.1017/aap.2018. 50. (In press).

[45] Gutierrez, G., Searcy, M., Introduction to the special edition: drones in archaeology. SAA Archaeol. Rec. 16 (2), 6–10. (2016)

[46] Gerke, M., Przybilla, H.J., 2016. Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns. Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation 2016 (1), 17–30.

[47] Stempfhuber, W., Buchholz, M.: A precise, low-cost RTK GNSS System for UAV applications. Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci. 38, 289–293 (2011)

[48] Al-geelani, N. A., · Piah, M. A. M.,· Abdul-Malek, Z., Identification of acoustic signals of corona discharges under different contamination levels using wavelet transform, Electr Eng 100, 1059–1067 (2018)

[49] Lemke, E., Berlinjn, S., Gulski, E., Muhr, M., Pultrum, E., Strehl, T., Hauschild, W., Rickmann, J., Rizzi, G., Guide for electrical partial discharge measurements in compliance to IEC 60270. Technical Brochure no 366 (2008)

[50] Finotto, V.C., Horikawa, O., Hirakawa, A., Chamas, F.A.: Pole type robot for distribution power line inspection. Conf Appl Robot Power Ind CARPI 2012, 88–93 (2012)

[51] Fugal, D.L.: Conceptual wavelets in digital signal processing: an in-depth, practical approach for the non-mathematician. Space & Signals Technical Pub (2009)

[52] Chui CK.: An introduction to wavelets, vol 1. Academic Press, New York (1992)

[53] Abdel-Salam, M.: High Voltage Engineering-theory and Practice, Marcel Dekker, New York, 2000.

[54] Pek´arek, S.: Effect of catalysts on dc corona discharge poisoning. Eur. Phys. J. D 61, 657–662 (2011)

[55] Krupenin, N. V., Zavidei, V. I.: Methods for Remote Monitoring and Defectoscopy Systems for Electrical Machine High Voltage Insulation by Using an Optical Radiation. Russian Electrical Engineering, 82(9) 460–463 (2011)

[56] Martinez, P., Brandvold, D.K., Atmos. Environ. 30, 4177 (1996)

[57] Rehbein, N., Cooray, V., J. Electrostat. 51-52, 333 (2001)

[58] Kogelschatz, U., Eliasson, B., Hirth, M., Ozone: Sci. Eng. 30, 367 (1988)

[59] Van Veldhuizen, E.M., Electrical discharges for environmental purposes: Fundamentals and Applications (Nova Science Publishers, Inc., New York, 1999)

[60] Sakurada, N., Ishii, Y., Watanabe, K., Kubota, Y.: Visualization of Molten Pools and Invisible Laser Beam Profiles Using an Ultraviolet CCD Camera. Journal of Visualization, 4(4) 349-356 (2001)

แบบจำลองเชิงคาดการณ์ อาชญากรรมในเขตพื้นที่รับผิดชอบ สถานีตำรวจภูธรช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่

สิทธิณัฐ มนเทียรอาสน์ [1] และ พลภัทร เหมวรรณ [1, 2*]

วันที่รับ 1 เมษายน 2563 วันที่แก้ไข 15 เมษายน 2563 วันตอบรับ 20 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรมและคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในพื้นที่ศึกษา การศึกษาได้รวบรวมข้อมูลของการเกิดเหตุคดีอาชญากรรมจากสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2558-2560 เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์รูปแบบทางพื้นที่ของการเกิดอาชญากรรมด้วยการวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspot analysis) ของตำแหน่งการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา โดยพบว่าเหตุอาชญากรรมประเภทประทุษร้ายต่อทรัพย์ในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่เขตเศรษฐกิจ เขตพาณิชยกรรม และเขตที่อยู่อาศัยหนาแน่น โดยเฉพาะเกิดขึ้นมากในช่วงเวลา 22.00 น. ไปจนถึง 02.00 น. จากรูปแบบและความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำไปสู่การวิเคราะห์คาดการณ์พื้นที่เกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ด้วยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในรูปแบบจำลองกริด ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับการพัฒนาแบบจำลองเชิงการคาดการณ์ ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยผลลัพธ์ของการคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ ปี 2559 ในพื้นที่ศึกษามีค่าระดับสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R2) เท่ากับ 0.683 โดยได้ประเมินความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ของผลลัพธ์ด้วยวิธีการ RMSE พบว่า พื้นที่ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำมีจำนวนคิดเป็นร้อยละ 86.92 ของพื้นที่ทั้งหมดจากการคาดการณ์ ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำที่ยอมรับได้ต่อการคาดการณ์

คำสำคัญ : แบบจำลองเชิงคาดการณ์ถดถอยเชิงพื้นที่, การวิเคราะห์เชิงพื้นที่, ภูมิสารสนเทศ, แบบจำลองกริด, อาชญากรรม

[1] ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2] ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) คณะสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[*] ผู้แต่ง, อีเมล์: phonpat.h@cmu.ac.th, p.hemwan@gmail.com

Crime predictive model in Chang Phueak police station neighborhood, Chiang Mai province

Sitinat Montien-art [1] and Phonpat Hemwan [1, 2*]

Received 1 April 2020, Revised 17 April 2020, Accepted 20 April 2020

Abstract

This study has objectives to study influential factors for crime and to predict crime occurrence in the study area. Data was collected to obtain crime occurrences from Chang Phueak police station, Chiang Mai province in 2015-2017 in order to analyze the spatial pattern of crime with hotspot analysis method. The results of this study showed that the spatial pattern of crime occurrence took place mostly in economic, business and residential districts and significantly at 10.00 pm to 02.00 am. Such pattern and relationship led to prediction analysis of crime area with grid model technique analysis in Geographic information system (GIS). For predictive modelling development, it was created by multiple linear regression equation. The result of a predictive model of crime occurrence in 2015 was at Coefficient of Determination (R^2) of 0.683. This study has evaluated the spatial error of the results from the model with RMSE method. There were low error areas with 86.92 % of all predictive area, meaning that this prediction was acceptable.

Keywords : Spatial Regression Predictive Model, Spatial Analysis, Geo-informatics, Grid Model, Crime

[1] Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University

[2] Geo-informatics and Space Technology Center (Northern Region), Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University

[*] Corresponding author, E-mail: phonpat.h@cmu.ac.th, p.hemwan@gmail.com

1. บทนำ

อาชญากรรม ถือเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากสังคมเป็นอย่างมาก เพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนและมีแนวโน้มที่จะรุนแรงมากขึ้นทำให้ส่งผลกระทบต่อความสงบสุข ต่อเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งอาชญากรรมจะมีความรุนแรงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยต่าง ๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสังคมมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้เกิดทั้งผลดีและผลเสีย ซึ่งทำให้เกิดความเดือดร้อนระหว่างมนุษย์ อาทิเช่น เกิดปัญหาความขัดแย้งในด้านผลประโยชน์ การทำร้ายร่างกาย หรือการลักทรัพย์ โดยที่อาชญากรรมหมายถึง การกระทำความผิดของบุคคลใดบุคคลหนึ่ง ซึ่งขัดต่อกฎหมายที่บัญญัติไว้เป็นข้อห้ามอาชญากรรม ในปัจจุบันมีแนวโน้มของความรุนแรงที่มากขึ้น เพราะอาจเกิดเนื่องจากการที่สังคมมีขนาดใหญ่มากเกินไป ทำให้การปกครองหรือการใช้กฎหมายไม่ทั่วถึง หรืออาจเกิดจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งทำให้ปัญหาอาชญากรรมเริ่มเกิดมากในสังคมเมืองมากกว่าชนบท เพราะจากปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น ปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและสังคม [1]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น สภาพเศรษฐกิจตกต่ำของประเทศทำให้มีแนวโน้มการเกิดอาชญากรรมที่สูงขึ้น โดยปัญหาอาชญากรรมจะมีมากในสังคมเมืองมากกว่าสังคมชนบท ซึ่งจากข้อมูลที่กล่าวไปข้างต้นประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในลักษณะการเจริญเติบโตเมืองเดี่ยว ทำให้มีการอพยพเข้าไปในเมืองหลวงและเมืองใหญ่ ๆ ตามภูมิภาคต่าง ๆ เช่น จังหวัดขอนแก่น จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดพิษณุโลก ฯลฯ ตามนโยบายของรัฐที่มีความต้องการขยายความเจริญสู่ภูมิภาคต่าง ๆ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจ ทำให้จังหวัดเหล่านี้เริ่มมีประชากรอพยพเข้าไปอยู่อาศัยมากขึ้น และเริ่มประสบปัญหาประชากรแออัดและนำไปสู่ปัญหาทางสังคมและปัญหาทางอาชญากรรม [2]

จังหวัดเชียงใหม่ถือได้ว่าเป็นเมืองศูนย์กลางเศรษฐกิจของภาคเหนือตอนบน ตั้งอยู่ที่ละติจูด 18 องศาเหนือ ลองจิจูด 98 องศาตะวันออก สูงจากระดับทะเลประมาณ 310 เมตร จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่ 20,107.057 ตารางกิโลเมตร หรือ 12,566,911 ไร่ มีพื้นที่กว้างใหญ่เป็นอันดับที่ 1 ของภาคเหนือ และเป็นอันดับที่ 2 ของประเทศ รองจากจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดเชียงใหม่แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 25 อำเภอ 204 ตำบล และ 2,066 หมู่บ้าน โดยมีประชากรทั้งหมด 1,732,712 คนเป็นชาย 841,916 คน และเป็นหญิง 890,798 คน (ข้อมูล ณ เดือนสิงหาคม 2559) อำเภอที่มีประชากรมากที่สุด ได้แก่ อำเภอเมืองเชียงใหม่ จำนวน 235,329 คน คิดเป็นร้อยละ 13.57 ของประชากรทั้งหมด รองลงมาได้แก่ อำเภอฝาง จำนวน 117,935 คน [3]

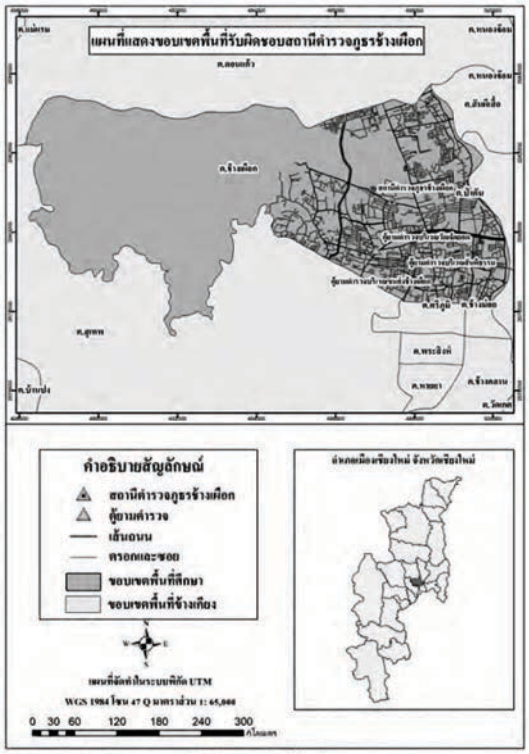
2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์จากปัจจัยทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรม

3. วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาในเขตอำเภอเมืองของจังหวัดเชียงใหม่ โดยอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่มีเนื้อที่ประมาณ 166.472 ตารางกิโลเมตร และมีประชากรจำนวนทั้งหมด 13,488 คน [3] สถานีตำรวจภูธรช้างเผือกถือเป็นหนึ่งในสถานีตำรวจที่รับผิดชอบในบริเวณอำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ โดยรับผิดชอบ 4 ตำบล ได้แก่ 1. ตำบลป่าตัน 2. ตำบลศรีภูมิ 3. ตำบลช้างเผือก 4. ตำบลช้างม่อย โดยมีพื้นที่รับผิดชอบทั้งสิ้น 28 ตารางกิโลเมตร และมีที่ทำการตั้งอยู่ที่ 199 ถนนแยกกองกำลังผาเมือง ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีลักษณะภูมิประเทศและอาณาเขตติดต่อ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา
ที่มา: Google Earth พ.ศ. 2561

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาปัจจัยและตำแหน่งที่ผลส่งต่อการเกิดอาชญากรรมในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ข้อมูลที่ใช้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ข้อมูลปฐมภูมิ และ ข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.2.1. ข้อมูลปฐมภูมิ

เป็นข้อมูลที่ได้จากการออกภาคสนาม โดยสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ข้อมูลประเภทลักษณะทางกายภาพที่ศึกษาได้จากการลงสำรวจพื้นที่จริง เช่น การใช้ที่ดิน สภาพชุมชนแออัด กลุ่มสังคมในพื้นที่ ลักษณะนิสัยหรือการใช้ชีวิตของคนในพื้นที่ ลักษณะความเป็นเมืองหรือกลุ่มสังคมที่อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดอาชญากรรม คือ แหล่งคนเร่ร่อน กลุ่มบุคคลเร่รอน หรือกลุ่มคนต่างด้าว ได้จากการเก็บแบบสอบถาม โดยการสุ่มจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ ประชากรในพื้นที่และจากเจ้าหน้าที่ตำรวจสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก โดยกลุ่มตัวอย่างประชากรในพื้นที่เก็บจากพื้นที่ในเขตรับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก ซึ่งประกอบด้วย 4 ตำบล นอกจากนี้ยังทำการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ตำรวจ เพื่อสอบถามเกี่ยวกับปัญหาและสาเหตุที่เกิดของคดีที่เกี่ยวกับการประทุษร้ายทรัพย์ หรือเส้นทางสายตรวจว่ามีการทับซ้อนหรือตรงกับจุดพื้นที่เสี่ยงหรือไม่ โดยสอบถามเจ้าหน้าที่ตำรวจของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือกจังหวัดชียงใหม่

3.2.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

- ข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลที่มีการรวบรวมไว้แล้ว ได้แก่ ข้อมูลสถิติคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2558 - 2560 จากสำนักงานสถิติแห่งชาติ

- คดีอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในช่วงปี พ.ศ. 2558 - 2560 ได้แก่ การลักทรัพย์ การวิ่งราวทรัพย์ การชิงทรัพย์ การปล้นทรัพย์ กรรโชกทรัพย์ การฉ้อโกงทรัพย์ การยักยอกทรัพย์ การลักรถยนต์และรถจักรยานยนต์ และการทำให้เสียทรัพย์ โดยทำการอ้างอิงจากสมุดสารระบบคดีอาญาในประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์เฉพาะคดีที่ได้รับการแจ้งความไว้ที่สถานีตำรวจภูธรช้างเผือก

- จำนวนประชากร พ.ศ. 2558 - 2560 จากสำนักงานสถิติแห่งชาติ

- เส้นทางสายตรวจในอำเภอเมืองหรือข้อมูลการจดบันทึกจากตู้แดงสายตรวจของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก

- แผนที่เส้นทางคมนาคม

- แผนที่การใช้ที่ดิน (Land Use) ตั้งแต่ พ.ศ.2558

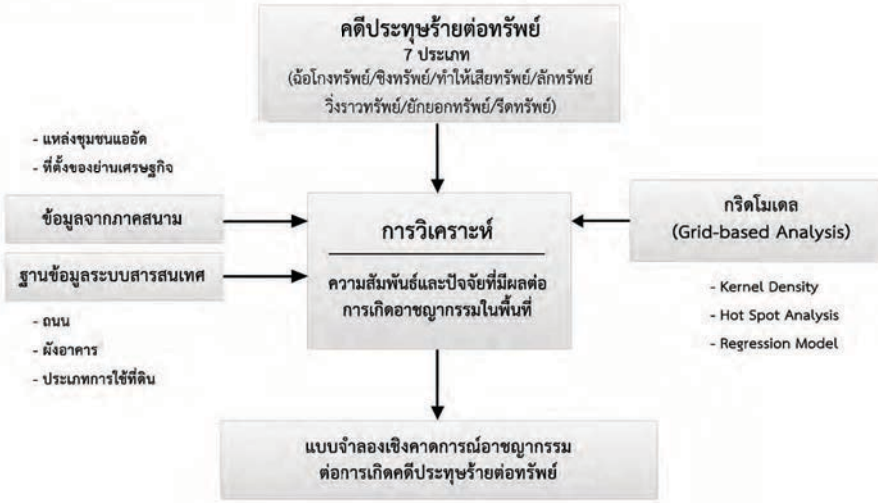
- 2560 จากสำนักงานโยธาธิการและผังเมือง

4. วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ 1) การศึกษารูปแบบทางพื้นที่ของความสัมพันธ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ทั้งทางด้านสังคมและด้านกายภาพ โดยได้ข้อมูลจาก

การลงพื้นที่เก็บแบบสอบถามกับกลุ่มประชากรตัวอย่าง และจากการลงภาคสนามเพื่อดูลักษณะสภาพพื้นที่จริง โดยเป็นการวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถึงรูปแบบทางพื้นที่และเวลาของการเกิดเหตุอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา [4] และ 2) การวิเคราะห์คาดการณ์การเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา โดยการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาชญากรรม ได้แก่ แหล่งเศรษฐกิจและสถานที่ท่องเที่ยว ความหนาแน่นอาคาร เส้นทางคมนาคม นำมาวิเคราะห์ร่วมกับตำแหน่งจุดเกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ด้วยการวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspot analysis) ของการเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ [5] โดยทำการหารูปแบบของการกระจายตัวของอาชญากรรมในรูปแบบความหนาแน่นเคอร์เนล (Kernel density) [6] จนนำไปสู่การกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรม เพื่อทำการพัฒนาแบบจำลองเชิงคาดการณ์ด้วยแบบจำลองถดถอย (Regression Model) ในการคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา ดังกรอบแนวคิดของการศึกษาในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 แนวทางของการศึกษาเริ่มจากการเก็บรวมรวมข้อมูลคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ความสัมพันธ์จากการบันทึกคดีของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก และนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามทั้งจากกระบวนการสังเกต การเก็บแบบสอบถาม การเก็บพิกัดตำแหน่งจริงของข้อมูล ได้แก่ แหล่งการค้าและการบริการ สถานที่ท่องเที่ยว สถานที่สำคัญ แหล่งชุมชนแออัดในพื้นที่ศึกษา ร่วมกับการใช้ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ เส้นทางคมนาคม ผังอาคาร การใช้ที่ดิน โดยการวิเคราะห์ดังกล่าวได้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในรูปแบบของข้อมูลกริดโมเดล (Grid-based Data Model) เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ปัจจัยมีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษาที่นำไปสู่การกำหนดปัจจัยต่อการพัฒนาแบบจำลองเชิงคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของการศึกษา

5. ผลการศึกษา

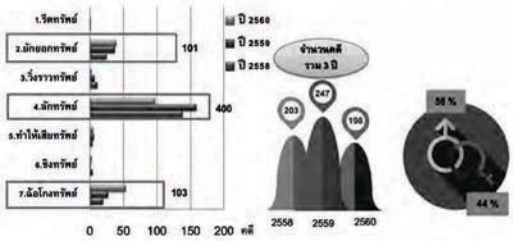
5.1 รูปแบบทางพื้นที่ของความสัมพันธ์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์

การเกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ถือเป็นหนึ่งในปัญหาทางสังคมที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานและยังคงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ดังข้อมูลในตารางที่ 1 ซึ่งการเกิดอาชญากรรมมักเกิดในบริเวณพื้นที่เศรษฐกิจหรือแหล่งที่มีผู้คนอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก [7] ซึ่งจังหวัดเชียงใหม่ถือได้ว่าเป็นจังหวัดที่มีจำนวนประชากรที่สูงและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเป็นศูนย์กลางของภูมิภาคเหนือตอนบน ทำให้เป็นแหล่งรวมทางเศรษฐกิจและการบริการต่าง ๆ มากมาย

ตารางที่ 1 จำนวนของคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์

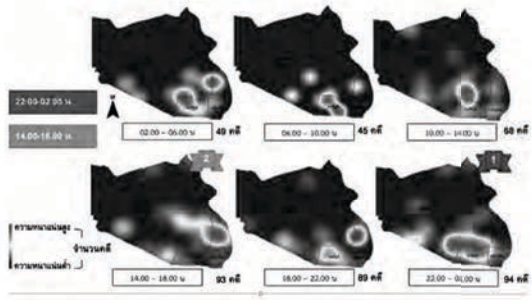
ประเภทคดี	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2560
ฉ้อโกงทรัพย์	20	30	53
ชิงทรัพย์	4	1	2
ทำให้เสียทรัพย์	4	6	5
ลักทรัพย์	138	165	97
วิ่งราวทรัพย์	11	7	2
ยักยอกทรัพย์	25	37	39
รีดทรัพย์	1	1	0
รวม	**203**	**247**	**198**

ที่มา: รายงานบันทึกประจำวันของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก



รูปที่ 3 รูปแบบของการเกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์

จำนวนการเกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ตามรูปที่ 3 ได้เกิดขึ้นมากที่สุดในบริเวณตำบลช้างเผือก รองลงมา คือ บริเวณตำบลศรีภูมิและตำบลป่าตัน โดยจำนวนคดีที่พบน้อยสุด คือ ตำบลช้างม่อย ซึ่งเมื่อดูจากจำนวนการเกิดสามารถสรุปได้ว่า บริเวณที่มีการเกิดมากที่สุด คือ บริเวณตำบลช้างเผือก ซึ่งมีลักษณะขอบเขตของพื้นที่ที่กว้างและมีแหล่งเศรษฐกิจต่าง ๆ ที่สำคัญตั้งอยู่ในบริเวณนั้น เช่น ห้างสรรพสินค้าเมญ่า เจ็ดยอดพลาซ่า หรือย่านสันติธรรม และมีสถานศึกษา คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ส่งผลทำให้มีจำนวนผู้คนอาศัยอยู่มากและเป็นตำบลที่มีเส้นทางเข้าสู่ใจกลางคูเมืองเชียงใหม่ ทำให้ลักษณะของตำบลเป็นทางผ่านที่มีโอกาสเสี่ยงสูงที่จะเกิดอาชญากรรม ส่วนตำบลที่มีจำนวนการเกิดคดีรองลงมา คือ ตำบลศรีภูมิ ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณคูเมืองมากที่สุดและเป็นตำบลที่ติดกับตำบลช้างเผือก ทำให้ลักษณะของตำบลมีถนนตัดผ่านเป็นแหล่งรวมของผู้คนที่อาจส่งผลให้เกิดอาชญากรรม ส่วนตำบลป่าตันและตำบลช้างม่อยมีแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัสคำเที่ยง และตลาดคำเที่ยง ซึ่งเป็นแหล่งเศรษฐกิจสำคัญของตำบลป่าตัน และตลาดเมืองใหม่ที่เป็นแหล่งเศรษฐกิจสำคัญของตำบลช้างม่อย



รูปที่ 4 รูปแบบการกระจายตัวทางพื้นที่ของการเกิดอาชญากรรมจำแนกตามช่วงเวลา

ทั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษารูปแบบทางพื้นที่และเวลา (Space-time patterns) ของการกระจายตัวทางพื้นที่ของอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในพื้นที่ศึกษา การศึกษาได้ใช้เทคนิควิธีการในการประมาณค่าความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล (Kernel Density Interpolation) โดยได้ทำการแสดงข้อมูลใน 6 ช่วงเวลา ดังรูปที่ 4 เพื่อแสดงผลความสัมพันธ์ของการเกิดอาชญากรรมกับเวลา ซึ่งพบว่า อาชญากรรมที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับบริเวณที่มีแหล่งเศรษฐกิจการค้าและย่านที่อยู่อาศัย

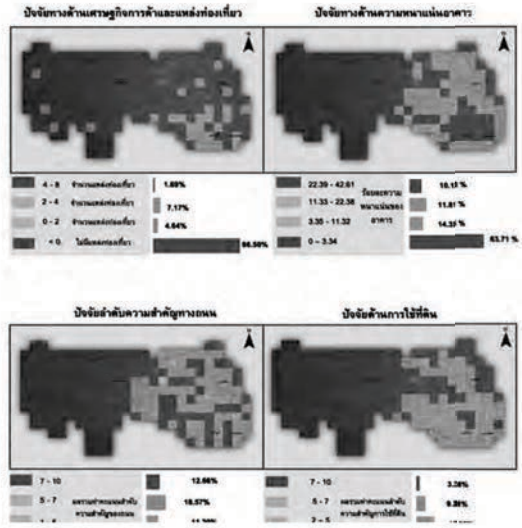
หนาแน่น และพบมากในช่วงเวลา คือ 22.00-02.00 น. และรองลงมา คือ 14.00-18.00 น. ตามลำดับ โดยถือได้ว่าเป็นช่วงเวลาที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดอาชญากรรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในพื้นที่ศึกษา

5.2 การกำหนดปัจจัยเชิงพื้นที่ในการพัฒนาแบบจำลองเชิงคาดการณ์การเกิดอาชญากรรม

ผู้ศึกษาได้กำหนดปัจจัยจากจุดพื้นที่เสี่ยงการเกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์โดยการลงพื้นที่และการสัมภาษณ์ประชากรในบริเวณพื้นที่ที่มีจำนวนการเกิดอาชญากรรมสูง ทำให้สามารถกำหนดปัจจัยเชิงพื้นที่เพื่อนำมาสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อคาดการณ์อัตราการเกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ได้ ดังนี้

1. ปัจจัยทางด้านแหล่งเศรษฐกิจการค้าและแหล่งท่องเที่ยว
2. ปัจจัยทางด้านความหนาแน่นของอาคาร
3. ปัจจัยทางด้านถนนหรือเส้นทางคมนาคม
4. ปัจจัยทางด้านการใช้ที่ดิน

การศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบข้อมูลเชิงกริด (Grid-based data) ที่มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตรต่อกริด เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial analysis) ในรูปแบบของข้อมูลเชิงปริมาณดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์จึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างจุดเกิดเหตุอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษาร่วมกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรม โดยจากการวิเคราะห์ดังกล่าวจึงได้กำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลในจำนวน 4 ปัจจัย และทำการกำหนดค่าคะแนน (Scoring) ของเงื่อนไขที่ส่งผลต่อการเกิดอาชญากรรมในแต่ละปัจจัย และทำการแสดงผลด้วยวิธีการวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspot analysis) เพื่อดูความสัมพันธ์ของอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลทั้ง 4 ปัจจัย ดังข้อมูลในรูปที่ 5



รูปที่ 5 รูปแบบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่อการเกิดอาชญากรรม

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรม ผู้ศึกษาจึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อการสร้างแบบจำลองเชิงคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เพื่อหาพื้นที่ในการเกิดอาชญากรรม โดยการกำหนดตัวแปรเพื่อหาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1(\chi_1) + \beta_2(\chi_2) + \beta_3(\chi_3) + \beta_4(\chi_4)$$

โดยที่

Y_i = ค่าสังเกตที่ i ของอัตราการเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์

$\beta_0, \ldots, \beta_4$ = สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปร

χ_1 = ปัจจัยด้านแหล่งเศรษฐกิจการค้าและแหล่งท่องเที่ยว

χ_2 = ปัจจัยด้านความหนาแน่นของอาคาร

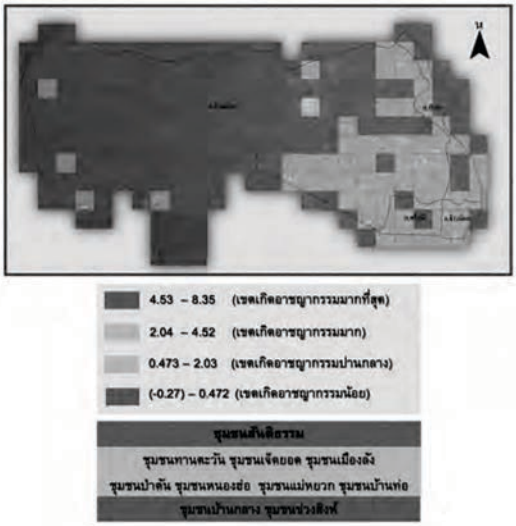
χ_3 = ปัจจัยด้านถนนหรือเส้นทางคมนาคม

χ_4 = ปัจจัยด้านการใช้ที่ดิน

จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาชญากรรมจึงสามารถสร้างสมการของแบบจำลองเชิงคาดการณ์ของการเกิดอาชญากรรม ดังนี้

$$Y = -0.137080+0.869553(X_1)+0.051849(X_2)+0.047194(X_3)+0.07846(X_4)$$

ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองเชิงคาดการณ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Squared (R2) เท่ากับ 0.6837 หรือคิดเป็นร้อยละ 68 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยผลที่ได้จากการคาดการณ์แสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ ปี 2559

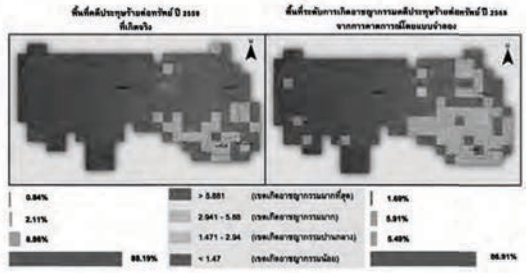
จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเชิงคาดการณ์โดยการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เพื่อใช้คาดการณ์การเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ โดยมีผลลัพธ์ คือ พื้นที่เกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์สูงยังคงเป็นภายในบริเวณตำบลศรีภูมิ บริเวณริมถนนช้างเผือก บริเวณถนนสันติธรรม ที่อยู่ในตำบลช้างเผือก และบริเวณห้างสรรพสินค้า

โดยบริเวณตำบลศรีภูมิและตำบลช้างเผือกจะเป็นเขตพื้นที่ที่เกิดคดีสูงสุด ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่แหล่งเศรษฐกิจสำคัญของตำบล ได้แก่ บริเวณถนนสันติธรรม ถนนช้างเผือก มหาวิทยาลัยราชภัฏ และบริเวณสถานีขนส่งช้างเผือก ส่วนในบริเวณตำบลช้างเผือก ได้แก่ บริเวณห้างสรรพสินค้าเมญ่าและบริเวณตำบลป่าตัน ได้แก่ บริเวณห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัสคำเที่ยง ซึ่งบริเวณที่มีอัตราการเกิดเหตุคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ รองลงมาเป็นบริเวณที่กระจายตัวออกไปจากโซนใจกลางเมืองหรือเขตที่อยู่อาศัยและเขตพาณิชยกรรมหนาแน่นตามลำดับไปยังบริเวณชานเมือง ได้แก่ บริเวณถนนโชตนาและถนนป่าตัน ซึ่งอยู่ในพื้นที่ของตำบลช้างเผือกและตำบลป่าตัน

5.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

ถือเป็นกระบวนการในการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณแบบกำลังสองน้อยสุดในการคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา โดยเป็นการหาความสัมพันธ์จากอัตราของจำนวนการเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ที่ได้จากแบบจำลองวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องกับจำนวนอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ที่เกิดขึ้นจริงจากรายงานของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก

การวิเคราะห์ได้ทำการกำหนดให้ค่า y prediction เป็นอัตราเกิดอาชญากรรมที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองเชิงคาดการณ์ใน ปี 2559 วิเคราะห์เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนกับค่า y actual เป็นข้อมูลจำนวนการเกิดอาชญากรรมที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษาใน ปี 2559 เช่นกัน โดยจากการวิเคราะห์ดังกล่าว จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีจำนวนอาชญากรรมเกิดขึ้นน้อยนั้นมีสัดส่วนของพื้นที่มากที่สุด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการเกิดอาชญากรรมที่เกิดขึ้นจริงและผลจากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง ปี 2559

ทั้งนี้ การประเมินความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ใช้กระบวนการประเมินความคลาดเคลื่อน RMSE (Root Mean Square Error) ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}(Predicted - Actual)^2}{n}}$$

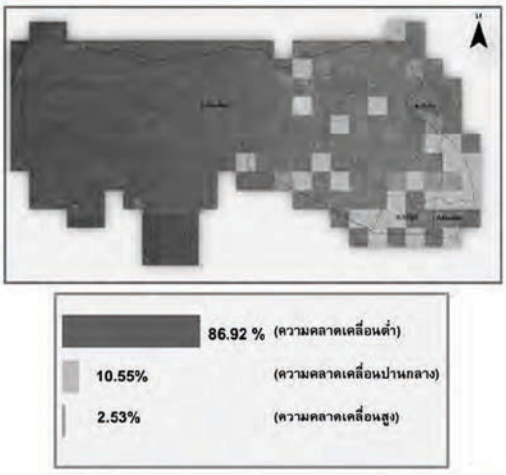
โดยที่

Predicted = จุดที่คาดการณ์จากแบบจำลอง

Actual = จุดที่เกิดจริง

N = จำนวนทั้งหมด

โดยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน RMSE ด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณค่าสแควร์รูท (Square root) ของผลรวมของค่าแตกต่างเฉลี่ย (mean) ระหว่างผลลัพธ์จากการคาดการณ์ของแบบจำลอง (predicted value) กับค่าที่เกิดขึ้นจริง (actual value) ของแต่ละพื้นที่เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงค่าคลาดเคลื่อน (error) ที่มีหน่วยเดียวกับตัวแปร y โดยค่า RMSE ได้ทำการแปลผลในรูปแบบถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ในแต่ละกริดพื้นที่ เพื่อแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ (Spatial error) ของข้อมูลใน 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับปานกลาง และระดับต่ำ โดยมีผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเชิงคาดการณ์

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ของแบบจำลองจะเห็นได้ว่า พื้นที่ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำมีจำนวนกริดพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 86.92 ของจำนวนกริดพื้นที่ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา พื้นที่ที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับปานกลางมีจำนวนคิดเป็นร้อยละ 10.55 ของจำนวนกริดพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่มีความคลาดเคลื่อนระดับสูงมีจำนวนพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 2.53 ของจำนวนกริดพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของการคาดการณ์การเกิดอาชญากรรมด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในพื้นที่ศึกษานี้มีความถูกต้องของการคาดการณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

6. สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาเรื่อง แบบจำลองเชิงคาดการณ์ต่อการเกิดอาชญากรรมในเขตพื้นที่สถานีตำรวจภูธรช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาและคาดการณ์อัตราการเกิดอาชญากรรมประเภทคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์จากปัจจัยทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรม พบว่า คดีประเภทประทุษร้ายต่อทรัพย์ที่เกิดมากที่สุด ได้แก่ คดีลักทรัพย์ รองลงมา ได้แก่ คดีฉ้อโกงทรัพย์และยักยอกทรัพย์ ซึ่งจากข้อมูลสถิติตำบลที่พบเหตุคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์มากที่สุด ได้แก่ ตำบลช้างเผือก รองลงมา ได้แก่ ตำบลป่าตัน ตำบลศรีภูมิ และตำบลช้างม่อย โดยลักษณะของการเกิดเหตุมักเกิดในบริเวณใจกลางเมืองหรือเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความหนาแน่นของที่อยู่อาศัยและเขตพาณิชยกรรม อีกทั้งส่วนใหญ่เกิดในช่วงเวลายามวิกาลในเวลา 22.00-02.00 น. และรองลงมาเป็นเวลา 14.00-18.00 น.

นอกจากนี้ จากการรวบรวมข้อมูลทางสถิติพบว่าผู้เสียหายส่วนใหญ่เป็นเพศชายมากกว่าเพศหญิง และการเกิดเหตุคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์เกิดขึ้นสูงบริเวณถนนที่สามารถติดต่อเข้าสู่เมืองและถนนที่มีลักษณะเป็นตรอกและซอย นอกจากนี้พบว่าการเกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ มักเกิดในบริเวณใกล้แหล่งเศรษฐกิจที่

สำคัญของตำบล เช่น บริเวณตำบลช้างเผือกมีแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ตลาดธานินทร์ ตำบลป่าตันมีแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ตลาดบ้านท่อ ห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส คำเที่ยง ตลาดคำเที่ยง และบริเวณพื้นที่ริมแม่น้ำปิงที่เป็นสวนสาธารณะ ในตำบลศรีภูมิมีแหล่งเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ สถานีขนส่งช้างเผือกและเป็นพื้นที่ที่ติดกับเขตคูเมือง ส่วนบริเวณตำบลช้างม่อยมีแหล่งเศรษฐกิจ ได้แก่ ตลาดช้างม่อย

การคาดการณ์พื้นที่การเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ ผู้ศึกษาได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการหาพื้นที่การเกิดอาชญากรรม โดยการกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ปัจจัยทางด้านความหนาแน่นของอาคาร ปัจจัยด้านแหล่งเศรษฐกิจและแหล่งท่องเที่ยว ปัจจัยด้านถนน และปัจจัยด้านการใช้ที่ดิน โดยการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมาช่วยคาดการณ์อัตราการเกิดคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ พบว่าแบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R2) อยู่ที่ 0.68 หรือคิดเป็นร้อยละ 68 โดยทางผู้ศึกษาได้ทำประเมินความถูกต้องของแบบจำลองเชิงคาดการณ์ดังกล่าวด้วยกระบวนการประเมินความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการ RMSE โดยการใช้ข้อมูลการเกิดอาชญากรรมคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ปี 2559 ในพื้นที่ศึกษา มาทำการตรวจสอบ โดยพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำ มีจำนวนกริดพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 86.92 ของจำนวนกริดพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองเชิงคาดการณ์อาชญากรรมมีความถูกต้องของการคาดการณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานีตำรวจภูธรช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับความกรุณาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนโดยได้คัดเลือกการศึกษาวิจัยนี้ให้เป็นตัวแทนของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันทางวิชาการ “การประชุมวิชาการนักศึกษาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 ปี 2562 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์” และได้รับรางวัลชนะเลิศอันดับหนึ่ง สาขาภูมิสารสนเทศ ประเภทการนำเสนอภาคบรรยาย (Oral presentation)

8. เอกสารอ้างอิง

[1] วิฑูรย์ จรัสเสนากุล. 2547. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างนิเวศวิทยาของเมืองกับการเกิดอาชญากรรม: กรณีศึกษาคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์ในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.

[2] กิติพงษ์ ใสยะ. 2550. การแจกกระจายและการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการถูกโจรกรรรถจักรยานยนต์ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. การค้นคว้าอิสระเชิงวิจัยทางภูมิศาสตร์ภาควิชาภูมิศาสตร์คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2561. สถิติประชากร. ระบบสถิติทางการทะเบียน [ระบบออนไลน์]. http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age_disp.php.

[4] สัญญา สราภิรมย์. 2550. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สถานีตำรวจภูธรช้างเผือก. ม.ป.ป. “สถานภาพอาชญากรรม”. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://changpuak.chiangmaipolice.go.th/index.php?page=about4. (วันที่ 4 มกราคม 2561)

[5] ธีรไนย ศรีธรรมรงค์. 2559. การประเมินพื้นที่เสี่ยงการเกิดอาชญากรรมด้วยการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่ [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา ithesisir.su.ac.th/dspace/bitstream/.../1/57311305%20ธีไนย%20ศรีธรรมรงค์.pdf. (วันที่ 2 สิงหาคม 2561)

[6] มณฑล เยี่ยมไพศาล และมานัส ศรีวณิช. 2553. ความหนาแน่นเชิงพื้นที่อาชญากรรม กรณีศึกษา เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร ศึกษาตามแบบเคอร์เนล. แหล่งที่มา tds.tu.ac.th (วันที่ 25 สิงหาคม 2561)

[7] ทับทิม วิเศษสมุน. 2556. การวิเคราะห์รูปแบบด้านเวลาและสถานที่ของอุบัติเหตุทางถนนในพื้นที่สถานีตำรวจนครบาลประชาชื่น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.arts.chula.ac.th/~geography/Senior%20project/Tubtim%202013.pdf

แนวโน้มเทคโนโลยีป้องกันประเทศปี 2020-2040

ธนรัฐ ธนะสมบูรณ์ [1*]

วันที่รับ 3 เมษายน 2563 วันที่แก้ไข 20 เมษายน 2563 วันตอบรับ 21 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นวิทยาการสาขาที่มีการวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่องในฐานะขององค์ความรู้จำเป็นทางความมั่นคง และเครื่องมือทางยุทธศาสตร์ของทุกประเทศ รวมถึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูงทั้งในเชิงเศรษฐกิจและการผลักดันนวัตกรรมใหม่ให้เกิดขึ้น และมีความแตกต่างจากอุตสาหกรรมภาคพลเรือนทั่วไปในเรื่องการเปิดเผยข้อมูลที่เป็นไปในวงจำกัด ยากต่อการเข้าถึงข้อมูลเนื่องจากชั้นความลับของแต่ละประเทศที่เป็นเจ้าของเทคโนโลยี ดังนั้นการศึกษาแนวโน้มเทคโนโลยีป้องกันประเทศระยะยาวในภาพรวมทั่วโลกจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการทำความเข้าใจเจตนาของชาติที่มีศักยภาพสูงว่ากำลังให้ความสนใจเทคโนโลยีประเภทใดเป็นหลัก ซึ่งจะส่งผลให้เข้าใจถึงแนวโน้มอุสาหกรรมและยุทธวิธีการป้องกันประเทศที่จะเกิดขึ้นทั่วโลกต่อไป

โดยบทความนี้ได้ทำการศึกษากรอบความน่าจะเป็นของเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ 8 กลุ่มที่มีความโดดเด่น มีศักยภาพสูง และจะเปลี่ยนรูปแบบยุทธวิธีการรบในอนาคตทั่วโลกอย่างมีนัยยะสำคัญ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการวางกลยุทธ์การบริหารจัดการทรัพยากรในการวิจัยพัฒนา หรือส่งเสริมอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ : เทคโนโลยีทางทหาร, เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

[1] ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล์: thanarat.t@dti.or.th

Defence Technology Trend 2020-2040

Thanarat Thanasomboon [1*]

Received 3 April 2020, Revised 20 April 2020, Accepted 21 April 2020

Abstract

Defence technology is the academic field that needs continuous research and development for fundamental knowledge of strategic and national security in every country. Moreover, defence technology can push forward on high valuable industry in terms of both economic and innovation in a different approach from civilian industry because of information and knowledge restriction for each country. Therefore, studying the trend of this technology is required to understand the idea of high-caliber nations of what they plan to do in the near future all around the world.

This article attempts to give the understanding of 8 defence technology trends that stand out with high probability to have high-impact on the current defence technology and battlefield tactics in the near future. Hopefully, the dicussions are beneficial to strategic management in the support of research and development policy.

Keyword : Military technology, defence Technology, defence Industry

[1] Defence Technology Analysis Deparment - TTA, Defence Technology Institute.

[*] Corresponding author, E-mail: thanarat.t@dti.or.th

1. บทนำ

ในปัจจุบัน (ค.ศ. 2020) เทคโนโลยีป้องกันประเทศมีการพัฒนาที่รวดเร็วอีกครั้ง จากการพัฒนาทางอุตสาหกรรมยุคใหม่ (Industry 4.0) รวมถึงการสิ้นสุดของยุคที่มีสหรัฐอเมริกาเป็นชาติมหาอำนาจหนึ่งเดียว จากการแผ่ขยายอิทธิพลของชาติมหาอำนาจระดับรอง เช่น รัสเซีย จีน และอินเดีย อีกทั้งนโยบายการแข่งขันอิทธิพลระดับชาติในยุคปัจจุบันได้มีการขยับจากการทำสงครามทางเศรษฐกิจ (Trade War) กลายเป็นการทำสงครามช่วงชิงเทคโนโลยี (Tech. War) รวมถึงเหตุการณ์อุบัติใหม่ เช่น โรคระบาดในปี 2020 (Covid-19) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) ในอุตสาหกรรมทุกรูปแบบ ส่งผลให้โลกมีการบีบให้เกิดการแข่งขันในด้านการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของชาติทุกด้านอย่างกว้างขวาง ทั้งในส่วนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับยุทโธปกรณ์และเทคโนโลยีสองทาง (Dual-Used)

เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศหากมีการเปรียบเทียบกับภาคพลเรือนแล้ว แม้ว่าจะมีความตั้งใจเหมือนกันในการยกระดับขีดความสามารถเดิมให้สูงขึ้นทั้งเชิงวิทยาการและเศรษฐกิจของแต่ละชาติ แต่มีจุดสำคัญที่แตกต่างคือเป็นส่วนงานที่ให้ความสำคัญเชิงความมั่นคงอย่างสูง เนื่องจากเป็นจุดสำคัญในเรื่องความเป็นความตายของประเทศจากการรบในสงครามทั้งตามรูปแบบปกติและสงครามนอกแบบ จนเกิดการพัฒนาให้เป็นอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ (Defence Industry) หรืออุตสาหกรรมทางทหารขนาดใหญ่ (Military Complex) ที่มีความสัมพันธ์อย่างเหนียวแน่นตลอดห่วงโซ่อุปทานที่ได้รับการคัดเลือกเป็นพิเศษจากความไว้วางใจระหว่างกัน อาทิ เครือข่ายอุตสาหกรรมทางทหารชาติตะวันตก กลุ่มพันธมิตร NATO หรือ อุตสาหกรรมพันธมิตรรัสเซีย-จีนแผ่นดินใหญ่ เป็นต้น ซึ่งการพัฒนาขีดความสามารถของแต่ละกลุ่มขั้วอำนาจมักเป็นไปในลักษณะแสวงหาความเหนือกว่าทางเทคโนโลยี (Technology Superior) หรือต่อต้านเทคโนโลยี (Counter Technology) ต่อยุทโธปกรณ์สำคัญของฝ่ายตรงข้าม เช่น การพัฒนาขีปนาวุธความเร็วสูงเพื่อต่อต้านเรือบรรทุกเครื่องบิน หรือ มัลแวร์จู่โจมทางไซเบอร์ทำลายระบบสื่อสารของชาติศักยภาพสูงกว่าเพื่อชดเชยกำลังรบตามแบบ ซึ่งส่งผลให้ยุทธศาสตร์ ยุทโธปกรณ์ และยุทธวิธีแบบเดิมถูกแก้ทางตอบโต้ไปมาอย่างไม่จบสิ้น โดยมีเทคโนโลยีอุบัติใหม่ (Emerging Technology) เป็นตัวแปรสำคัญ

บทความนี้ทางฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่กำลังอยู่ในความสนใจของแวดวงอุตสาหกรรมทางความมั่นคงทั่วโลกว่ามีศักยภาพ มีความต้องการตลาดอย่างไร โดยสังเคราะห์จากบทวิเคราะห์หน่วยงานต่าง ๆ ผ่านเอกสารวิเคราะห์และการบรรยายในเวทีสัมมนา สรุปเป็น 8 แนวโน้มเทคโนโลยีป้องกันประเทศสำคัญในวงรอบ 20 ปีข้างหน้า ซึ่งประเทศไทยควรพิจารณาความเหมาะสมถึงการวิจัยและพัฒนาที่จะเกิดขึ้น เพื่อลดความเสี่ยงในการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าจากการแข่งขันในตลาดหรือผลิตสินค้าที่ไม่เป็นที่ต้องการ (Out-Trend) ในอนาคต ขณะเดียวกันก็เป็นโอกาสที่จะแสวงหาความร่วมมือในการวิจัยพัฒนากับหน่วยงานอื่นเพื่อเติมเต็มเทคโนโลยีที่ยังมีช่องว่างในการเติบโตอีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นหนึ่งในสาขาวิชาการที่มีความเป็นพหุศาสตร์ อันมีความหลากหลายสูงต่างจากวิชาเฉพาะด้านทั่วไป เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับหลายส่วนกิจกรรมทั้งเชิงสังคมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และความสัมพันธ์ระหว่างประเทศที่มีบทบาทในการกำหนดแนวทางป้องกันประเทศในด้านต่าง ๆ อยู่เสมอ โดยบทวิเคราะห์นี้ผู้เขียนได้วางแนวทางการศึกษาโดยมีเป้าหมายในการตอบคำถามหลัก 2 ประการ คือ (1) แนวโน้มและเทคโนโลยีที่จะมีบทบาทสำคัญในอนาคตคืออะไร และ (2) ช่วงระยะเวลาที่แนวโน้มและเทคโนโลยีสำคัญนั้นคือเมื่อไร ซึ่งเหล่านี้เป็นคำถามปลายเปิดและไม่มีการวัดเชิงตัวเลขอย่างแน่นอน เนื่องจากเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีหลายประเภทอย่างมากและบางกลุ่มไม่เกี่ยวเนื่องกันจนไม่อาจวัดมูลค่าเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบได้ เช่น ไซเบอร์

เพื่อจะตอบคำถามข้างต้นดังกล่าว ผู้จัดทำบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงสถานภาพเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในปัจจุบันของชาติที่มีขีดความสามารถสูงเป็นหลัก เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการผลักดันยุทธศาสตร์และยุทธวิธีการรบในสมรภูมิต่าง ๆ ผ่านการวิจัยพัฒนายุทโธปกรณ์และกลยุทธ์ยุคอนาคตมากกว่าประเทศขนาดเล็กที่เป็นผู้ใช้งานโดยส่วนมาก โดยผู้เขียนทำการศึกษาด้านความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ ขีดความสามารถทางอุตสาหกรรมเทคโนโลยี ปัจจัยความน่าดึงดูดทางเศรษฐกิจ ตลอดจนสถานะการณ์อุบัติใหม่ที่ส่งผลกระทบ เช่น สงครามการค้า (Trade War) สงครามทางเทคโนโลยี (Tech. War) และปัจจัยภายนอกกิจการป้องกันประเทศแต่มีผลกระทบวงกว้างอย่างโรคระบาดอุบัติใหม่ (Covid-19) ที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมทุกประเทศ

ในการศึกษาผู้เขียนได้เริ่มต้นขั้นตอนแรกจากการค้นหาสถานะปัจจุบันด้านยุทธศาสตร์และยุทธวิธีการรบในปัจจุบัน (ก่อน ค.ศ. 2018) ผ่านหลักนิยมหลักในการรบและการจัดวางยุทโธปกรณ์สำคัญของชาติศักยภาพสูง ที่มีพื้นฐานตามการจัดกำลังตาม 3 เหล่าทัพ (บก-เรือ-อากาศ) เป็นหลัก ซึ่งประเภทอาวุธยุทโธปกรณ์ที่มีมูลค่าสูงมากในแต่ละเหล่าทัพได้แก่ ยานรบทางบก-เรือ-อากาศ (เช่น รถถัง เรือรบ เครื่องบินรบที่มีปริมาณมาก) อาวุธนิวเคลียร์ทางยุทธศาสตร์ ยานพาหนะคุณค่ายุทธการสูง (เช่น เรือบรรทุกเครื่องบิน เรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์) และระบบยานไร้คนขับ (Unmanned Vehicle) เป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาในเอกสารฉบับนี้

หลังจากผู้เขียนกำหนดยุทโธปกรณ์เป้าหมายขั้นต้นได้ดังกล่าว จึงเริ่มขั้นตอนที่ 2 โดยการตั้งสมมุติฐานว่าภายใต้หลักการตอบโต้ทางเทคโนโลยีปัจจุบัน (Counter-Technology) ว่ายุทโธปกรณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ (ภายใน 10 ปี) จะต้องมีนัยยะสำคัญในการเอาชนะหรือชิงความได้เปรียบจากอาวุธในปัจจุบันและเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานจริง เนื่องจากต้องมีการวิจัยพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาในระดับหนึ่งแล้ว อาทิเช่น อาวุธพลังงานจลน์ อาวุธหุ่นยนต์/ระบบอัตโนมัติ และอาวุธไซเบอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงภายใต้ราคาจำกัด (Cost-Effective) ในการใช้รับมือกับยุทโธปกรณ์ยุคปัจจุบัน

ในขั้นตอนที่ 3 ของการศึกษาเป็นการพิจารณา

ถึงอนาคตในระยะยาว (ภายใน 20 ปี) โดยผู้เขียนได้ทำการใช้สมมุติฐานเดิม (Counter-Technology) ว่ายุทโธปกรณ์ที่อุบัติใหม่ในช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องมีขีดความสามารถในการเอาชนะหรือชิงความได้เปรียบจากอาวุธในอนาคตระยะสั้น (ภายใน 10 ปี) เช่นกัน และมีการศึกษาในระดับพื้นฐานขั้นต้นและมีความเป็นไปได้ในความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL: Technology Readiness Level) ในระดับ 3 แล้วเป็นอย่างน้อยในปี ค.ศ. 2020 ซึ่งทำให้ผู้เขียนพิจารณาเลือกระบบยุทโธปกรณ์ใหม่อย่าง อาวุธพลังงาน ปฏิบัติการภาคอวกาศ และเทคโนโลยีการคำนวณทางควอนตัมเป็นตัวเลือกสำคัญในการศึกษา

ในขั้นตอนที่ 4 อันเป็นขั้นสุดท้าย ผู้ศึกษาได้ทำการประเมินองค์ประกอบโดยรอบที่จะมีผลกับการวิจัยพัฒนาอาวุธยุทโธปกรณ์ทั้งในอนาคตระยะสั้นและระยะยาวพร้อมกัน โดยประเมินแนวโน้มสำคัญ 2 กลุ่มคือ เทคโนโลยีและเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในหลักการป้องกันประเทศ โดยในส่วนเทคโนโลยีนั้นเล็งเห็นถึงการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ (AI) เป็นจุดสำคัญที่สุดในฐานะเทคโนโลยีที่เปลี่ยนโลก (Disruptive Tech.) ในทุกอุตสาหกรรมอันรวมถึงการพัฒนายุทโธปกรณ์และยุทธวิธีการรบขั้นสูง ในขณะเดียวกันส่วนทางเศรษฐกิจนั้นการเปลี่ยนแปลงของห่วงโซ่อุปทานป้องกันประเทศ (Defence Supply Chain) เนื่องจากการแข่งขันกันของมหาอำนาจและการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติแบบต่าง ๆ เพื่อสร้างความมั่นคงจะส่งผลกระทบให้เกิดการโยกย้ายฐานการผลิตระหว่างประเทศจำนวนมาก และเกิดการสูญเสียในภาคอุตสาหกรรมเดิมพร้อมทั้งเกิดเครือข่ายอุตสาหกรรมป้องกันประเทศใหม่ในหลายพื้นที่ทั่วโลก

ทั้งนี้ เมื่อได้ศึกษาทั้ง 4 ขั้นตอนแล้ว ผู้เขียนจึงได้ทำการสรุปภาพรวมต่าง ๆ เพื่อให้เห็นแนวโน้มที่มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดขึ้นภายในปี ค.ศ. 2040 โดยแยกออกตามระยะเวลาโดยสังเขป ซึ่งยังเป็นไปได้ที่แต่ละชาติอาจดำเนินการในเวลาที่ต่างกัน แต่ยังมีแนวโน้มในการวิจัยพัฒนาเพื่อให้สอดรับกับ 8 แนวโน้ม ดังผลการศึกษาในหัวข้อต่อไป

3. แนวโน้มเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 8 ด้าน

ในระหว่างปี พ.ศ. 2563-2583 (ค.ศ. 2020-2040) เทคโนโลยีป้องกันประเทศมีการพัฒนาออกมาในหลายประเภทที่ต่างจากเดิม ซึ่งเน้นไปที่การจัดเทคโนโลยีตามพื้นที่ปฏิบัติการ (Operation Domain) เช่น ยุทโธปกรณ์ภาคพื้นดิน-ทะเล-อากาศ (Air-Land-Sea) อาทิ รถถัง เรือรบ เครื่องบินรบ แต่ในอนาคตอันใกล้เทคโนโลยีทางทหารจะเริ่มถูกจัดกลุ่มใหม่ตามคุณลักษณะเฉพาะแทน เช่น กลุ่มสารสนเทศ กลุ่มวัสดุศาสตร์ โดยเทคโนโลยีเหล่านี้อาจถูกใช้งานได้ในหลายมิติ (Multiple Domain Tech.) [1] ซึ่งผู้วิเคราะห์ฯ ได้ประเมิน 8 กลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในระดับโลก (Global Scale) ภายใน 20 ปีข้างหน้า ได้ดังนี้

ปฏิบัติการไซเบอร์	หุ่นยนต์/ระบบอัตโนมัติ	ปัญญาประดิษฐ์ทางความมั่นคง	อาวุธพลังงาน
อาวุธพลังงานจลน์ขั้นสูง	ห่วงโซ่อุปทานทางความมั่นคง	ปฏิบัติการภาคอวกาศ	การคำนวณทางควอนตัม

ทั้งนี้ สามารถสังเกตได้ว่า เทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมสูงบางประการยังไม่ถูกจัดอยู่ในลำดับกระแสข้างต้น เนื่องจากมีการวิจัยพัฒนาไปมากจนอยู่ในระดับที่เสถียรและมีความพร้อมในอุตสาหกรรมแล้ว เช่น อาวุธจรวด ยานยนต์ทางทหาร หรือ เป็นเทคโนโลยีที่เติบโตในภาคอุตสาหกรรมพลเรือนมากกว่า เช่น การผลิตทางเลือกด้วยอุปกรณ์ 3 มิติ (3-D Printing Manufacturing) หรือเป็นเทคโนโลยีที่ท้าทายสูงจนยังมีความไม่แน่นอนว่าจะเข้าสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศในรูปแบบใด เช่น เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรมทางทหาร (Military Genetic Engineering) ที่ยังขาดความชัดเจนด้านหลักเกณฑ์ทางจริยธรรมในการวิจัยเป็นต้น

จากตารางข้างต้น 8 แนวโน้มเทคโนโลยีป้องกันประเทศดังกล่าวมีระยะเวลาในการวิจัยพัฒนาจนถึงขั้นที่ใช้งานได้ในอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันออกไป โดยผู้วิเคราะห์ได้จัดเกณฑ์พิจารณาออกเป็น 2 ส่วนหลัก มีคะแนนแต่ละหัวข้อตั้งแต่ 1 -5 คือ ความน่าจะเป็น (Likelihood: พิจารณาจากระยะเวลาเข้าสู่ตลาด) และระดับผลกระทบ (Impact: พิจารณาจากผลกระทบในการใช้ปฏิบัติการทางยุทธวิธี/ยุทธศาสตร์) ในการนำเทคโนโลยีเหล่านี้เข้าสู่กิจการป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นไปตามหลักการบริหารความเสี่ยงและโอกาส โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไปนี้

4. ปฏิบัติการทางไซเบอร์ (Cyber Operation)

ผลกระทบ สูงมาก (4) **ความน่าจะเป็น** สูงสุด (5)

เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นส่วนสำคัญของระบบอาวุธทางทหารยุคปัจจุบันเพิ่มขึ้นในแทบทุกส่วน ในขณะเดียวก็ทำให้ช่องโหว่ (Vulnerability) ที่เป็นไปได้มีสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งในภาคกองทัพและพลเรือน [2] ที่โครงข่ายสารสนเทศขนาดใหญ่ มีความจำเป็น และคุณค่าทางยุทธการสูงจะตกเป็นเป้าโจมตีได้ง่ายจากทั้งฝ่ายตรงข้ามและมือที่สาม ซึ่งทำให้ Cyber เกิดเป็นยุทธภูมิใหม่ที่แทบมองไม่เห็นในทางกายภาพ ซึ่งโดยปกติจะสามารถแบ่งปฏิบัติการทางไซเบอร์ได้ 3 รูปแบบหลัก คือ การจู่โจม (Offense) การปกป้อง (Defence) และการฟื้นฟู (Recovery) ซึ่งมีความแตกต่างจากปฏิบัติการทางทหารทั่วไปเป็นอย่างมาก เนื่องจากการจู่โจมทางไซเบอร์ไม่มีการแบ่งแยกพื้นที่เขตหน้า-หลังอย่างชัดเจน ทำให้การวางกำลังทางกายภาพเพื่อตรวจการณ์หรือป้องกันแทบไม่สามารถทำได้เลย และในขณะเดียวกันหากได้รับเสรีในการปฏิบัติการหน่วยรบทางไซเบอร์ก็สามารถบุกจู่โจมฝ่ายตรงข้ามให้เสียหายได้โดยการปกปิดตัวเอง

ปัจจุบันสภาวะสงครามไซเบอร์นั้นถือได้ว่าเกิดขึ้นไปแล้ว เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษคือการปิดบังตนเองของผู้โจมตี และสามารถปฏิเสธความรับผิดชอบได้ง่าย ทำให้อาวุธไซเบอร์ถูกใช้เป็นเครื่องมือหลักของรัฐชาติในการบ่อนทำลายหรือแทรกแซงกิจกรรมของเป้าหมายโดยไม่เกิดผลกระทบทางกฎหมายระหว่างประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การทำลายเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ของอิหร่าน การโจมตีสาธารณูปโภคของเวเนซุเอลา หรือการรบกวนการสื่อสารของเอสโตเนีย เป็นต้น ซึ่งอาวุธทางไซเบอร์เหล่านี้เป็นสิ่งที่ถูกผลิตและสร้างขึ้นมาในฐานะยุทโธปกรณ์แบบหนึ่ง เช่น มัลแวร์ ซึ่งถูกเรียกกันว่าเป็นระเบิดตรรกะ (Logic Bomb) ที่ผู้จู่โจมจะหาวิธีติดตั้งไปยังเป้าหมายล่วงหน้าก่อนและแอบแฝงตัวรอคำสั่งให้ทำงานยามที่ต้องการ และในขณะเดียวกันเทคโนโลยีเกิดใหม่ เช่น สายโซ่สารสนเทศ (Blockchain) สามารถเป็นอาวุธไซเบอร์เชิงรับที่สามารถประยุกต์ใช้ในทางทหารได้อย่างมากเช่นกัน ด้วยสถาปัตยกรรมเป็นแบบไร้ศูนย์กลางทำให้ยากต่อการจู่โจม

ทั้งนี้ การใช้งานอาวุธไซเบอร์เชิงรุก มีข้อพิจารณา

สำคัญอยู่หลายประการ คือ 1) การรักษาความลับในการใช้ 2) การใช้งานครั้งเดียว (One-time Used) และ 3) อาวุธขั้นสูงไม่มีจำหน่าย เพราะเมื่อถูกเปิดเผยหรือเริ่มมีการใช้งานเมื่อไร เป้าหมายจะทำการพัฒนาการป้องกันและปิดกั้นช่องโหว่ได้อย่างรวดเร็ว (Patching) ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานครั้งต่อไปลดลงอย่างมาก ทำให้ไม่มีประเทศใดจำหน่ายขีดความสามารถไซเบอร์เชิงรุกขั้นสูงแก่ประเทศอื่น

ในทางกลับกันขีดความสามารถในการป้องกันภัยคุกคามไซเบอร์อย่างเปิดเผยจะมีผู้ให้บริการเป็นจำนวนมากทั้งภาครัฐและเอกชน แต่อย่างไรก็ดีด้วยการที่เทคโนโลยีสารสนเทศมีการพัฒนารวดเร็วมาก การสร้างขีดความสามารถทางไซเบอร์โดยแท้จริงจะอยู่ที่การสร้างทีมงานบุคลากรที่เชี่ยวชาญ แล้วนำทักษะเหล่านั้นมาออกแบบอาวุธหรือระบบป้องกันไซเบอร์ในอนาคตมากกว่าจะเป็นการจัดซื้ออุปกรณ์ (Hardware/Software) มาใช้เป็นครั้งคราว ซึ่งจะล้าสมัยในเวลาไม่นานหลังจากการเปิดเผยตัวหรือระบบไซเบอร์ของเป้าหมายได้รับการปรับปรุง (Update) ต่างจากยุทโธปกรณ์หลักทั่วไปที่มีอายุนานตราบเท่าที่ยังได้รับการซ่อมบำรุง โดยสามารถวิเคราะห์ช่วงเวลาโดยสังเขปของเทคโนโลยีดังนี้

เวลา (ค.ศ.)	เทคโนโลยีสำคัญ	ยุทธวิธี/รูปแบบการใช้งาน
2020 - 2029	• Advance Persistent Threat (APT) • Defence Blockchain • Cyber Automation Analytic • Mobile and Cloud Security • การโจมตีผ่านพฤติกรรมผู้ใช้ (Social Engineering) และจิตวิทยา	• การฟื้นฟูไซเบอร์แบบรวดเร็ว (R3: Rapid Recovery Repair) • ระบบไซเบอร์อัตโนมัติ (Cyber-bot) • การโจมตีและปกป้องอุปกรณ์ IoT ทางทหาร เช่น Sensor หรือ Data-link • โจมตีข้อมูลของบุคลากรความมั่นคง
2030 - 2039	• บูรณาการภัยคุกคามขั้นสูง (APT) กับ ปัญญาประดิษฐ์ (AI) • มาตรฐานการทวนสอบสารสนเทศแบบใหม่ เพื่อค้นหาช่องโหว่ต้นกำเนิด (Backdoors) • Botnet ขนาดใหญ่ในโครงข่าย 5G และ IoT	• มัลแวร์ที่สามารถเรียนรู้สภาพไซเบอร์เป้าหมายและพัฒนาตัวเองได้อิสระ หรือการบิดเบือนข้อมูล (Data Manipulation) เพื่อโจมตีเป้าหมาย • มาตรการพิสูจน์ทราบความปลอดภัยทางสารสนเทศของอุปกรณ์ไซเบอร์

ภาพรวมในอนาคตอันใกล้ของเทคโนโลยีด้านปฏิบัติการทางไซเบอร์ ตั้งแต่ระยะ 0-20 ปีข้างหน้า สามารถคาดหมายได้ว่าจะมีการใช้งานต่อเนื่องและทวีความซับซ้อนตามแนวโน้มของเป้าหมายทั้งทางทหารและพลเรือนที่มีความเป็นสารสนเทศและมีคุณลักษณะอัจฉริยะ (Smart) มากขึ้น ทำให้ช่องโหว่ (Vulnerability) ในระบบงานมีโอกาสถูกโจมตีมากขึ้นไปด้วย อีกทั้งการเข้ามาของเทคโนโลยี

แวดล้อม เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติต่าง ๆ ตลอดเวลาทั้งในยุทธวิธีการจู่โจมและป้องกัน พร้อมทั้งรักษาขีดความสามารถในการฟื้นฟูทางไซเบอร์ (Cyber Resilience) อย่างต่อเนื่อง

5. อาวุธพลังงานจลน์ขั้นสูง (Advance Kinetic Weapons)

ผลกระทบ ปกติ (2) **ความน่าจะเป็น** สูง (3)

ในช่วง ค.ศ. 1990-2015 อาวุธในรูปแบบจรวดอาวุธปล่อยนำวิถี หรือขีปนาวุธ ถือเป็นอาวุธทางกายภาพ (Kinetic Weapon) ที่ได้รับความนิยมในตลาดยุทโธปกรณ์อย่างมากตั้งแต่ระดับพื้นฐาน คือ จรวดไม่นำวิถี (Unguided Rocket) จนถึงอาวุธที่มีความแม่นยำสูง (Precision Weapon) มีขีดประเภทหลากหลาย ระยะยิงไกล และติดตั้งอุปกรณ์ (Payload) ได้หลากหลายกว่าอาวุธประเภทปืนใหญ่หรือระเบิดทั่วไป จึงถือเป็นอาวุธจู่โจมที่มีประสิทธิภาพสูง อาทิ เช่น ขีปนาวุธระยะกลาง-ไกล ที่ยิงขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศบนก่อนจะโคจรกลับเข้าโจมตีเป้าหมายด้วยความเร็วสูง หรืออาวุธปล่อยนำวิถีอัจฉริยะ (Smart) ทว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีในการป้องกันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และมีการจัดวางเครือข่ายตั้งรับหลายชั้น (Multi-Layer Defense) เช่น โครงการโล่ห์ขีปนาวุธ (Missile Shield) ของสหรัฐอเมริกาที่ใช้ป้องกันพื้นที่ขนาดใหญ่หรือระบบสกัดกั้นทางอากาศความแม่นยำสูงเฉพาะพื้นที่ [3] เช่น Iron Dome ของอิสราเอล จนยากที่อาวุธจรวดในรูปแบบเดิมจะรักษาอัตราความสำเร็จในการเจาะทะลวงแนวรับของเป้าหมายสำคัญได้เช่นเดิม

ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 2010 จนถึงปัจจุบัน เพื่อต่อต้านแผ่ขยายอิทธิพลของ NATO ผ่านเครือข่ายป้องกันภัยทางอากาศเพื่อปิดล้อมรัสเซียและจีนแผ่นดินใหญ่ จึงได้เริ่มการวิจัยพัฒนาอาวุธแบบใหม่ที่มีขีดความสามารถในการโจมตีระยะไกลและความเร็วสูงอย่างยิ่ง ซึ่งถูกจัดเป็นกลุ่มอาวุธความเร็วเหนือเสียง (Hypersonic Weapon) และปรับปรุงเป็นพาหนะร่อนความเร็วเหนือเสียง (Hypersonic Glide Vehicle: HGV) ที่เป็นอาวุธโคจรในเพดานบินต่ำเพื่อหลบเลี่ยงเครือข่ายตรวจการณ์ พร้อมทั้งยังรักษาความเร็วสูงถึง 5 เท่าของความเร็วเสียง (หรือมากกว่า) ได้เกือบตลอดเวลาโคจร จนทำให้ฝ่ายตั้งรับมีเวลาตอบสนองน้อยมาก อีกทั้งยังคาดการณ์ทิศทางการโจมตีได้ยากเพราะสามารถเคลื่อนที่ทางยุทธวิธีได้อย่างคล่องตัวคล้ายกับการใช้อากาศยานโจมตี ซึ่งขีดความสามารถด้านนี้มีประเทศรัสเซียและจีนเป็นผู้นำ เช่น ขีปนาวุธ Zircon และ DF-17 รวมถึงอาวุธคุณลักษณะพิเศษ เช่น ตอร์ปิโด Poseidon (รัสเซีย) ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานนิวเคลียร์จนสามารถมีระยะยิงไม่จำกัดได้ เป็นต้น

ในขณะเดียวกันกลุ่มประเทศตะวันตก ก็ได้เริ่มมีการวิจัยพัฒนาอาวุธพลังงานจลน์ขั้นสูงเช่นกัน [3] เพื่อเป็นการตอบโต้ระบบป้องกันภัยทางอากาศขั้นสูงของรัสเซีย เช่น อาวุธปล่อยนำวิถีต่อสู้อากาศยานก้าวหน้า S-400 ที่มีขีดความสามารถในการต่อตีเครื่องบินความเร็วสูง ตรวจจับได้ยาก (Anti-Stealth) ซึ่งกลุ่มประเทศตะวันตกได้มีการพัฒนาที่หลากหลายกว่า เช่น สหรัฐอเมริกาพัฒนาทั้ง HGV ความเร็วสูง รวมถึงอาวุธปืนใหญ่แม่เหล็กไฟฟ้า (Railgun) ที่มีระยะยิงไกลมากโดยใช้กระสุนราคาประหยัด ส่วนสหภาพยุโรปมีการพัฒนาอาวุธพลังงานจลน์ประเภทตรวจจับได้ยากอย่างยิ่ง (Extreme Stealth) รวมถึงประเทศมหาอำนาจระดับรอง เช่น ญี่ปุ่น และอินเดีย ก็มีแผนการพัฒนาเช่นเดียวกัน โดยสามารถคาดหมายว่าอาวุธพลังงานจลน์ขั้นก้าวหน้า (ประเภท HGV) จะเริ่มถูกใช้งานอย่างเป็นรูปธรรมภายใน 2023 เป็นต้นไป โดยสามารถวิเคราะห์ช่วงเวลาโดยสังเขปของเทคโนโลยีดังนี้

เวลา (ค.ศ.)	เทคโนโลยีสำคัญ	ยุทธวิธี/รูปแบบการใช้งาน
2020 - 2029	• อาวุธร่อนนำวิถีความเร็วสูงมาก (Hypersonic Glide Vehicle) • เครื่องยนต์ผสมผสาน (Hybrid Engine) และระบบพลังงานก้าวหน้า (Advance Power) • การบูรณาการสื่อสารและชี้เป้าระยะไกล	• พลังงานขับเคลื่อนหลายแบบ เพื่อความคล่องตัวในปฏิบัติการ • โจมตีเป้าหมายคุณค่ายุทธการสูง (HVT) ที่มีการคุ้มกันแน่นหนา
2030 - 2039	• อาวุธปืนแม่เหล็กไฟฟ้า (Railgun) • เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาดเล็ก • ตรวจจับได้ยากขั้นสูง (Extreme Stealth)	• การโจมตีเป้าหมายคุณค่ายุทธการสูงจากระยะไกลมากหรือระยะอนันต์ • ป้องปรามโดยการปฏิเสธเสรีปฏิบัติการของฝ่ายตรงข้าม (A2D)

ภาพรวมของเทคโนโลยีอาวุธพลังงานจลน์ขั้นสูงในอนาคตนั้นคาดหมายว่าจะได้เห็นการประจำการอย่างเป็นรูปธรรมภายใน 5-10 ปีข้างหน้า โดยส่วนใหญ่จะถูกใช้ในฐานะยุทโธปกรณ์ป้องปรามเชิงยุทธศาสตร์ (Strategic Deterrence) โดยประเทศที่มีศักยภาพสูง เพื่อใช้ในการกดดันฝ่ายตรงข้ามในฐานะอาวุธที่ไม่อาจสกัดกั้นได้โดยง่ายเพื่อใช้ในการทำลายเป้าหมายคุณค่าสูงมาก เช่น กองเรือบรรทุกเครื่องบิน หรือกองบัญชาการ

6. อาวุธพลังงาน (Direct Energy Weapon)

ผลกระทบ สูง (4) **ความน่าจะเป็น** สูง (3)

อาวุธพลังงานเป็นหนึ่งในกระแสเทคโนโลยีใหม่ทางยุทโธปกรณ์ที่เติบโตขึ้นพร้อมกับการพัฒนาแหล่งพลังงานคุณภาพสูงขึ้นกว่าในอดีต รวมทั้งตอบสนองทางยุทธวิธีการใช้อาวุธแบบใหม่ที่มีจุดเด่นในเรื่องค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการที่ต่ำมาก (Low running-cost) และเวลาเข้าถึงเป้าหมายเป็นศูนย์ (Zero leading time) ซึ่งทำให้อาวุธพลังงานกลายเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้ตอบโต้เป้าหมายที่มีความเร็ว ความคล่องตัวสูง ปริมาณมาก และควบคุมการยิงได้อย่างแม่นยำ โดยประกอบด้วยอาวุธพลังงาน 5 ประเภทหลัก [3] คือ อาวุธคลื่นไมโครเวฟ อาวุธคลื่นเสียง (Sonic) อาวุธเลเซอร์ (Laser) อาวุธลำแสงอนุภาค (Particle Beam) และอาวุธพลาสมา (Plasma) ซึ่งมีจุดเด่นการใช้งานแตกต่างกันไป

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการทหารได้เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาอาวุธพลังงานอย่างเต็มรูปแบบ ซึ่งมีอาวุธเลเซอร์เป็นพื้นฐาน (Laser Based) ที่ได้รับความนิยมสูงสุด เพราะมีต้นทุนในการใช้งานน้อยและประยุกต์ได้หลากหลาย โดยในปี 2019 มีการพัฒนาระบบอาวุธต้นแบบขึ้นมาเป็นจำนวนมาก นำโดยประเทศสหรัฐอเมริกาและจีน โดยมีตัวอย่างเช่น

ระบบอัตตาจรบนยานรบ 8x8 ซึ่งมีขีดความสามารถในการโจมตีด้วยพลังงาน 50 เมกะวัตต์ สู่เป้าหมายที่ระยะ 3-5 กม. ต่อเนื่อง 5-10 เป้าหมาย ซึ่งเหมาะสมอย่างมากในการใช้ต่อต้านระบบอาวุธขนาดเล็กราคาประหยัดที่เข้าระดมโจมตีด้วยยุทธวิธีฝูงบินขนาดใหญ่ (Swarm Attack) เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้อาวุธปล่อยนำวิถีที่มีราคาแพง และแม่นยำกว่าปืนต่อสู้อากาศยาน และเนื่องจากมีความเร็วสูงกว่ากระสุนปืนปกติอย่างมากทำให้ระบบควบคุมการยิงลดภาระในการคำนวณวิถีกระสุนต่อเป้าหมาย ซึ่งจะเป็นมาตรการป้องกันตัวเองที่ลดทอนขีดความสามารถของอาวุธปล่อยนำวิถีหรือขีปนาวุธในปัจจุบันลงอย่างมีนัยยะสำคัญเพราะต้องสิ้นเปลืองอาวุธจำนวนมากในการโจมตี

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีด้านอาวุธพลังงานนั้นยังจัดอยู่ในระดับต้นแบบการผลิต (Testing Prototype) ในช่วงปี 2020 ซึ่งยังต้องมีการปรับปรุงในอนาคตอีกหลายประการ เช่น ระบบควบคุมการยิงแบบใหม่ เซ็นเซอร์การตรวจการณ์ ระบบพลังงาน (แบตเตอรี่) และชุดอุปกรณ์หล่อเย็นระบบที่จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยต่อไปก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรม ซึ่งคาดหมายว่าจะเป็นรูปธรรมภายในปี 2025 จึงจะเริ่มถูกใช้งานอย่างจริงจัง โดยสามารถประเมินเบื้องต้นได้ดังต่อไปนี้

เวลา (ค.ศ.)	เทคโนโลยีสำคัญ	ยุทธวิธี/รูปแบบการใช้งาน
2020 - 2029	• แบตเตอรี่ Li-Ion ขั้นก้าวหน้า • การบูรณาการ Sensor ตรวจการณ์กับระบบควบคุมการยิง (FCS) สำหรับอาวุธพลังงาน • เลเซอร์ปฏิกิริยาเคมี • เรดาร์ขั้นก้าวหน้า (Advance AESA)	• เลเซอร์สกัดกั้นเป้าหมายขนาดเบา เช่น UAV จรวดขนาดเล็ก • ใช้คลื่นวิทยุเพื่อสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (EW) • อาวุธป้องปรามทางจิตวิทยา เช่น การแจ้งเตือนฝ่ายตรงข้ามที่ล่วงล้ำพื้นที่
2030 - 2039	• แบตเตอรี่กราฟีนและ Supercapacitor • เลเซอร์กำลังสูง (High-Powered Laser) • ระบบ Pulsed Energy/Plasma	• การป้องปรามทางใต้ทะเล/น่านฟ้า • สกัดกั้นเป้าหมายแบบต่อเนื่อง (Anti-Swarm)

ภาพรวมของอาวุธพลังงานในอนาคตอันใกล้นั้นจะพบว่ามีความสัมพันธ์กับการพัฒนาแหล่งพลังงานใหม่ อาทิเช่น ตัวเก็บประจุประสิทธิภาพสูง (Supercapacitor) แบตเตอรี่แบบใหม่ เช่น กราฟีนแบตเตอรี่ ที่สามารถสะสมพลังงานได้จำนวนมากและคลายพลังงานให้หลอดเลเซอร์ได้รวดเร็วพอ โดยบูรณาการเข้ากับเซ็นเซอร์ ระบบควบคุมการยิงในปัจจุบัน พร้อมทั้งการศึกษาเครื่องมือที่ตอบสนองตัวแปรใหม่ ๆ ในการปฏิบัติการ เช่น อัลกอริทึมคำนวณสภาพแปรปรวนทางอากาศเทียบกับพลังงาน เป็นต้น ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้สามารถอนุมานได้ว่าอาวุธพลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ยังจำเป็นต้องอยู่บนฐานปฏิบัติการ (Platform Based) ขนาดใหญ่ เช่น ยานเกราะ เรือรบ หรือเครื่องบินที่ได้รับการดัดแปลงพิเศษ เป็นต้น

7. ปัญญาประดิษฐ์ทางความมั่นคง (AI in Defence)
ผลกระทบ สูงสุด (5) **ความน่าจะเป็น** สูง (3)

การศึกษาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ถูกพัฒนาอย่างจริงจังพร้อมกันในทั้งภาคส่วนความมั่นคงทางทหารและความต้องการภาคพลเรือน ในฐานะหัวหอกเทคโนโลยีที่ปฏิวัติอุตสาหกรรมทุกภาคส่วนในยุค 4.0 ที่มีการใช้งานฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และการเชื่อมโยงอุปกรณ์ (IoT) จำนวนมหาศาล ที่ไม่สามารถใช้บุคลากรที่เป็นมนุษย์ในการพิจารณาเป็นรายกรณีได้เพียงพอและทันสถานการณ์อีกต่อไป ดังนั้น AI ที่มีขีดความสามารถในการวิเคราะห์ ตัดสินใจ จึงกลายเป็นสิ่งที่จำเป็นทั้งในการบริหารจัดการระบบภาคพลเรือนและยุทโธปกรณ์ทางทหารที่มีการบูรณาการเป็นโครงข่าย (Network Centric) อย่างยิ่ง

ในส่วน AI ที่เกี่ยวข้องกับทางทหารโดยตรงจะถูกใช้ในกองทัพยุคใหม่ทุกมิติ ทั้งส่วนสนับสนุนการรบ เช่น การบริหารจัดการสายส่งกำลังบำรุงอัตโนมัติ (Autonomous Logistic) อาทิ การวางแผนเส้นทาง ลำดับ สำหรับการเติมเสบียงให้ยานพาหนะ การจัดช่องทางสัญญาณสื่อสาร รวมไปถึงการใช้งานในปฏิบัติการรบโดยตรง อย่างเช่น ระบบปฏิบัติการสนับสนุนการรบที่ตัดสินใจแยกแยะเป้าหมาย วิเคราะห์สถานะเป้าหมายเท็จ/จริง รวมถึงการตัดสินใจรบปะทะด้วยความเร็วสูงมากเกินกว่าเจ้าหน้าที่จะสามารถตอบสนองทัน อาทิ การวางแผนสกัดกั้นขีปนาวุธและ Drone ของข้าศึกจำนวนมากที่กำลังเข้าโจมตี หรือการบินผาดแผลงเพื่อหลบหลีกอาวุธนำวิถีหลายทิศทางขณะที่เข้าต่อตีเป้าหมายถัดไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

กรณีศึกษาการใช้งาน AI เพื่อการรบเต็มรูปแบบในอนาคตอย่างจริงจัง จะส่งผลให้บุคลากรที่เป็นมนุษย์จะถูกเปลี่ยนสถานะจากผู้ปฏิบัติการ (Operator) เป็นผู้บริหารจัดการ (Manager) เนื่องจากในสถานการณ์ที่กดดันคับขัน การเฝ้าระวังต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานมาก รวมถึงมีข้อมูลจำนวนมากโถมเข้าใส่ (Information Overload) เป็นไปได้ยากที่กำลังพลจะสามารถตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องตลอดเวลา แม้จะได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดีแค่ไหนก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น AI สำหรับควบคุมอากาศยานไร้คนขับในภารกิจรบทางอากาศ (Fighter UAV) ที่ช่วยให้ยุทโธปกรณ์ไม่ถูกจำกัดโดยสมรรถนะของนักบิน และสามารถตัดสินใจในยุทธวิธีการรบ (Tactical Decision) ได้เองโดยไม่ต้องพึ่งพาสัญญาณควบคุมภายนอก (Non-remote) ทำให้มีขีดความสามารถในการรบสูงขึ้นอย่างมาก ทั้งในการรบนอกระยะสายตา (BVR) และรบพัวพันระยะประชิด (Dogfight) เพราะสามารถมองเห็นทุกเป้าหมายที่เซ็นเซอร์ตรวจการณ์ได้โดยไม่พึ่งมนุษย์และตัดสินใจแบบอัตโนมัติในการต่อตีเป้าหมายทำให้ลดระยะเวลาการตอบสนองได้เป็นอย่างมากอันนำมาซึ่งความได้เปรียบในการดำเนินกลยุทธ์ [4] สามารถวิเคราะห์ช่วงเวลาโดยสังเขปของเทคโนโลยี ดังนี้

เวลา (ค.ศ.)	เทคโนโลยีสำคัญ	ยุทธวิธี/รูปแบบการใช้งาน
2020 - 2029	• Machine/Deep Learning • Natural Language Processing (NLP) • Big Data, Cloud Computing • Human-Machine Interface	• ระบุอัตลักษณ์/คุณสมบัติของมนุษย์และวัตถุเป้าหมายผ่านยุทโธปกรณ์ • การตอบสนองต่อภาษาธรรมชาติ • การบริหารทรัพยากรและกำลังรบ
2030 - 2039	• Quantum Computing • การตัดสินใจในการรบ (Combat Decision) • อาวุธ/อุปกรณ์อัจฉริยะ (AI-Embedded)	• สมองกลที่ควบคุมหุ่นยนต์ในการรบโดยเป็นอิสระจากมนุษย์ภายใต้เงื่อนไข • AI ฝังตัวเพื่อสนับสนุนมนุษย์ (Buddy)

ปัจจุบัน (ค.ศ. 2020) นั้น AI มีการใช้อยู่ในระดับหนึ่งแล้วในฐานะระบบสนับสนุนการรบและประเมินสถานการณ์ต่าง ๆ แต่จะมีผลมากขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญในอีก 10 ปีข้างหน้า สอดคล้องกับการเข้ามาของหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติต่าง ๆ ที่มีปัญญาประดิษฐ์คอยเสริมให้ยุทโธปกรณ์มีความฉลาดขึ้นอย่างแท้จริง และใช้เพื่อประกอบการรบทางยุทธวิธีเพื่อคงความเหนือกว่าในการตัดสินใจในสมรภูมิ โดยปัจจัยสำคัญว่า AI จะมีบทบาทขนาดไหนในการรบคือการกำหนดมาตรฐานทางจริยธรรม (Ethical-AI) ถึงระดับที่จะให้ AI ทำงานหรือตัดสินใจแทนผู้ปฏิบัติการที่เป็นมนุษย์ เช่น สิทธิในการสั่งยิงสังหารเป้าหมาย เป็นต้น

8. หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ (Robotic and Autonomous System)

ผลกระทบ สูง (3) **ความน่าจะเป็น** สูงมาก (4)

เทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัตินั้นถูกวิจัยพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ผ่านผู้นำทั้งจากภาคอุตสาหกรรมพลเรือนและหน่วยงานความมั่นคง เพราะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพต่อต้นทุน (Cost-Effective) ได้อย่างมาก โดยในส่วนเทคโนโลยีทางทหารนั้นจะมุ่งเน้นแนวทางใช้หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติใน 3 ส่วน คือ (1) การทำงานทดแทนมนุษย์ (2) การเสริมศักยภาพใหม่ของมนุษย์ และ (3) การต่อต้านหุ่นยนต์ฝ่ายตรงข้าม เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมักจะเริ่มจากระบบงานประเภทไร้ผู้ควบคุมบนพาหนะ (Unman Vehicle: UV) ต่างๆ เช่น UAV, UGV หรือ USV ในการปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งมีการใช้งานมานานนับ 10 ปีแล้ว แต่ในระยะ 10 ปีข้างหน้าก็จะมีการพัฒนาให้มีความซับซ้อน ฉลาด ประหยัด น่าเชื่อถือ และมีแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น [2] เพื่อให้สอดคล้องกับยุทธวิธีการใช้งานของเหล่าทัพในอนาคต

อย่างไรก็ดี เทคโนโลยีกลุ่มนี้ก็มีการศึกษาวิจัยการใช้งานเทคโนโลยีหุ่นยนต์ร่วมกับสิ่งมีชีวิตแบบต่าง ๆ เพิ่มเสริมขีดความสามารถ เช่นหุ่นยนต์กึ่งชีวภาพ (Cybernetic Organism: Cyborg) หุ่นยนต์ชีวภาพ (Bio-robotics) หุ่นยนต์จิ๋ว (Micro/Nano-bot) หรือใช้เพื่อปฏิบัติการร่วมระหว่างคน-เครื่องจักร (Human-Machine Interface) ในอนาคตที่น่าจะเห็นชัดเจนขึ้นภายใน 10 ปีข้างหน้า [6] อีกด้วย โดยอาจสรุปภาพรวมของเทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติที่กำลังเกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้

เวลา (ค.ศ.)	เทคโนโลยีสำคัญ	ยุทธวิธี/รูปแบบการใช้งาน
2010 - 2019	• UAV (Unmanned Aerial Vehicle) • UGV (Unmanned Ground Vehicle) • USV (Unmanned Surface Vehicle) • ระบบตรวจการณ์ (Surveillance Sys.)	• ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) • สายส่งกำลังบำรุง (Logistic Support) • เก็บกู้/ตรวจสอบวัตถุระเบิด (EOD) • ติดอาวุธ (Combat Support)
2020 - 2029	• UUV (Unmanned Underwater Vehicle) • Micro-bot (หุ่นเล็ก)/ Swarm (ฝูงหุ่นยนต์) • แหล่งพลังงานขั้นสูง เช่น กราฟีนแบตเตอรี่ • AI เพื่อการตัดสินใจและสนับสนุนการรบ • การต่อต้านระบบ Unmanned	• คลื่นโจมตีขนาดใหญ่ (Swarm Attack) • หน่วยสนับสนุนทางไกล เช่น UAV เติมเชื้อเพลิงกลางอากาศ • สงครามอิเล็กทรอนิกส์เพื่อต่อต้าน/ยับยั้งการต่อต้านการใช้หุ่นยนต์ เช่น Radio, GNSS Jammer
2030 - 2039	• Advance/Hybrid Propulsion • Exoskeleton (ชุดโครงเสริมกายภาพ) • Human-Machine interface • Cybernetic Organ • NeuraLink (ระบบประสาทจักรกล)	• การป้องปรามทางใต้ทะเล/น่านฟ้า • หุ่นรบภักดี (Loyalty Robot) • ชุดรบก้าวหน้า (Advance Suit) • ระบบสื่อสารระหว่างกำลังพล-หุ่นยนต์ • อวัยวะ/ระบบประสาทเทียมทางทหาร

ในช่วงปัจจุบันถึงอนาคตอันใกล้ เทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติในกิจการความมั่นคง/ป้องกันประเทศนี้มักถูกใช้ในภารกิจพื้นฐาน 3D (Danger-Dirty-Dull คือ กิจกรรมที่อันตราย สกปรก และซ้ำซาก) เป็นหลัก ผนวกกับภารกิจเชิงปริมาณและซับซ้อน หรือต้องการการตอบสนองที่รวดเร็วกว่าปกติ โดยระบบดังกล่าวสามารถแบ่งเบาภาระด้านทรัพยากรบุคคลได้เป็นอย่างมาก ทำให้มีข้อดี เช่น การเฝ้าระวังตรวจการณ์ การสนับสนุนการรบ เป็นต้น ก่อนจะยกระดับขึ้นด้วยเทคโนโลยีประสานคน-เครื่องจักรเข้าหากันในอนาคต [7]

9. ปฏิบัติการภาคอวกาศ (Space Operation)

ผลกระทบ สูง (4) **ความน่าจะเป็น** ปกติ (2)

อวกาศถือเป็นหนึ่งในพื้นที่ปฏิบัติการใหม่ที่ได้รับความสนใจในฐานะเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งเริ่มขยายวงกว้างจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการใช้งานเชิงพาณิชย์เป็นจำนวนมากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา จากการเติบโตของอุตสาหกรรมอวกาศที่เริ่มขยายตัวออกจากชาติมหาอำนาจหลัก [5] เช่น สหรัฐฯ รัสเซีย และสาธารณรัฐประชาชนจีน ไปยังชาติอุตสาหกรรมศักยภาพสูง เช่น ญี่ปุ่น อินเดีย สหภาพยุโรป รวมไปถึงภาคเอกชนที่มีขีดความสามารถ เช่น

SpaceX ทำให้ต้นทุนการปฏิบัติการในอวกาศต่ำลงอย่างต่อเนื่องจนแม้แต่ชาติกำลังพัฒนาก็สามารถใช้ประโยชน์จากห้วงอวกาศสากลได้อย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น ดาวเทียมขนาดเล็ก (CubeSat) ที่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ (Payload) หลากหลาย และสามารถส่งขึ้นอวกาศครั้งละมาก ๆ ผ่านบริการภาคเอกชนได้ในราคาประหยัด รวมไปถึงความพยายามของภาคเอกชนขนาดใหญ่ เช่น SpaceX และ Amazon ที่ผลักดันให้ห้วงอวกาศเป็นเครือข่ายโทรคมนาคมแห่งใหม่ด้วยดาวเทียมขนาดเล็กจำนวนหลายหมื่นดวง เพื่อทดแทนการวางโครงข่ายใยแก้วนำแสงข้ามทวีปแบบเดิม

อย่างไรก็ดี การใช้งานห้วงอวกาศในความมั่นคงยังคงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญในการบูรณาการการสื่อสาร การนำร่องทิศทาง และบริหารจัดการระบบภูมิสารสนเทศของยุทโธปกรณ์ขั้นสูง อย่างเช่นการใช้งานโครงข่ายข้อมูล (Data Link) การระบุพิกัดภูมิประเทศ (GNSS) และการเฝ้าตรวจการณ์ภัยคุกคามจากภาคอวกาศ (Space Early Warning) โดยชาติมหาอำนาจทั้งสหรัฐฯ รัสเซีย และจีน ต่างได้มีการจัดตั้งกองทัพอวกาศ (Space Force) หรือหน่วยงานความมั่นคงที่รับผิดชอบห้วงอวกาศแล้วทั้งสิ้น เพื่อรักษาขีดความสามารถในห้วงอวกาศของตน ส่วนหลายประเทศที่แม้จะไม่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากอวกาศอย่างเต็มที่ก็มีการเสริมขีดความสามารถในการป้องปรามทางอวกาศเช่นกัน อาทิ การพัฒนาอาวุธต่อต้านดาวเทียม (Anti-Satellite system) ของอินเดีย โดยสามารถวิเคราะห์ช่วงเวลาโดยสังเขปของเทคโนโลยีดังนี้

เวลา (ค.ศ.)	เทคโนโลยีสำคัญ	ยุทธวิธี/รูปแบบการใช้งาน
2020 - 2029	• เทคโนโลยีการเฝ้าตรวจการณ์ห้วงอวกาศ • อาวุธปล่อยนำวิถีต่อต้านดาวเทียม (ASAT) • การผลิต/นำส่งดาวเทียมราคาประหยัด • การบูรณาการเซ็นเซอร์หลายประเภท	• ติดตั้งอาวุธ ASAT ให้กับฐานปฏิบัติการอากาศยาน/เรือรบ • จัดตั้งฐานปฏิบัติการส่งดาวเทียมหลัก/สำรองในหลายพื้นที่
2030 - 2039	• อาวุธต่อต้านดาวเทียมในบริเวณกว้าง • ฐานปฏิบัติการอวกาศ (Space Platform) • ฐานปฏิบัติการบนเทหวัตถุ (Space Object)	• อาวุธแม่เหล็กไฟฟ้า (EMP) ห้วงอวกาศ • ต้นแบบยานอวกาศ (Spaceship) และสถานีอวกาศทางทหารบนดวงดาว

ในปัจจุบันรูปแบบสงครามในห้วงอวกาศยังไม่ได้มีการกำหนดหลักนิยมอย่างแน่ชัด ด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและต้นทุนการปฏิบัติการที่ยังสูงอยู่มาก และสงครามตามแบบ (Convention Warfare) ของแต่ละประเทศยังมีพื้นฐานอยู่บนดาวเคราะห์โลกเป็นหลัก ดังนั้นในช่วงระยะ 10 ปีข้างหน้า

หลักนิยมการรบในอวกาศจึงจำกัดอยู่ที่การปกป้องทรัพย์สินของฝ่ายเดียวกันในห้วงอวกาศ หรือสกัดกั้นฝ่ายตรงข้ามในการใช้อวกาศโดยเสรีเป็นสำคัญ รวมถึงภัยคุกคามทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เช่น การร่วงหล่นของอุกกาบาตหรือเศษซากชิ้นส่วนจากอวกาศ โดยมีตัวอย่างเช่นในประเทศสหรัฐฯ นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017 ได้เริ่มพัฒนาการฝึกประจำปีที่เรียกว่า "Space Flag" ขึ้นเพื่อจำลองการที่ดาวเทียมฝ่ายตนถูกจู่โจม

10. การคำนวณควอนตัม (Quantum Computing)

ผลกระทบ สูงมาก (5) **ความน่าจะเป็น** น้อย (1)

รากฐานการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีพื้นฐานจากการกำหนดเลข 0 และ 1 เพื่อใช้ในการคำนวณต่าง ๆ นำลงมาบรรจุลงแผงวงจรทรานซิสเตอร์ แล้วนำวงจรเหล่านั้นจำนวนมากมาประกอบกันเป็นหน่วยประมวลผล (CPU) ในอุตสาหกรรมหลายรูปแบบ โดยตามทฤษฎีของมัวร์ (Moore's Law) ระบุว่าจำนวนทรานซิสเตอร์ดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเท่าตัวในทุก 2 ปี บริษัทผู้ผลิตวงจรเหล่านี้ เช่น Intel, AMD มักใช้วิธีการสร้างสถาปัตยกรรมวงจรที่เล็กลงอย่างมาก (ระดับนาโนเมตร) เพื่อให้สามารถนำวงจรเหล่านี้ลงไปในหน่วยประมวลผลให้ได้มากที่สุด ซึ่งในปัจจุบันบริษัทดังกล่าวเริ่มเผชิญกับความท้าทายเชิงโครงสร้างทางเทคโนโลยีมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะความพยายามย่อส่วนวงจรจนเล็กมากจนส่งผลกระทบต่อความอ่อนไหวในการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนในวัสดุจนเริ่มจะเสียประสิทธิภาพการทำงานไปแล้ว อุตสาหกรรมสารสนเทศจึงเริ่มมองทางเลือกเทคโนโลยีอื่นด้านการคำนวณตั้งแต่ขั้นพื้นฐาน ซึ่งควอนตัมเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่ง ในฐานะเครื่องมือในการคำนวณ (Quantum Computing) ที่แตกต่างจากหลักการของหน่วยประมวลผลแบบเดิม (ที่มีสถานะ 0 หรือ 1) แต่ควอนตัมจะใช้สิ่งที่เรียกว่า 'คิวบิท' (Qubit) ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลที่สามารถแสดงสถานะได้ทั้ง 0 และ 1 ในเวลาเดียวกันโดยอาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของอะตอมที่เหนือสามัญสำนึกทั่วไป และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีอื่นทั้งภาคพลเรือนและทหารได้ ยกตัวอย่างเช่น

รูปแบบ	คุณลักษณะควอนตัม	เทคโนโลยีอนาคต
Quantum Superposition (หลักการซ้อนทับควอนตัม)	อะตอมหนึ่งตัวสามารถมีตัวตนอยู่หลายตำแหน่งได้เวลาเดียวกัน	• ประมวลผลปริมาณมาก • การถอดรหัสจำนวนอนันต์
Quantum Tunneling (อุโมงค์ควอนตัม)	อะตอมสามารถทะลุผ่านกำแพงได้โดยไม่จำเป็นต้องอ้อมหรือกระโดดข้าม	• เคลื่อนย้ายฉับพลันทางไกล (Teleport/Warp)
Quantum Entanglement (การพัวพันเชิงควอนตัม)	อะตอมหลายตัวสามารถสื่อสารกันโดยไม่ต้องมีการส่งสัญญาณหรือสื่อกลาง	• ระบบที่ไร้การดักฟังและไม่อาจถูกเจาะ (Hack) ได้ • ควอนตัมเรดาร์

ซึ่งกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติเหล่านี้ได้รับการพิสูจน์ผ่านทฤษฎีควอนตัมฟิสิกส์อย่างต่อเนื่อง และบริษัทด้าน ICT ขนาดใหญ่จำนวนมาก เช่น Google, IBM ก็เริ่มนำกฎเกณฑ์เหล่านี้มาศึกษาในการสร้างคอมพิวเตอร์แบบใหม่เพื่อตอบสนองเป้าหมายของตนเอง อาทิ เป้าหมายว่าต้องการพัฒนา AI ที่มีประสิทธิภาพสูงจนฮาร์ดแวร์พื้นฐานในปัจจุบันตอบสนองได้ยาก หรือถึงตอบสนองได้ก็ต้องใช้ทรัพยากรมากเกินกว่าจะบรรจุลงไปในอุปกรณ์ได้โดยสะดวก ตัวอย่างเช่น Google ได้ประเมินว่า Supercomputer ที่ใช้ในการพยากรณ์สภาพอากาศที่สามารถลดขนาดลงได้นับร้อยเท่าเมื่อเปลี่ยนวิธีการคำนวณมาใช้ Quantum-AI [5]

ปัจจุบันภาพรวมในอนาคตของคอมพิวเตอร์ควอนตัมนั้นยังไม่ชัดเจนมากว่าผู้วิจัยแต่ละหน่วยงานจะเลือกใช้ไปประยุกต์กับเทคโนโลยีแบบใดเป็นหลัก และยากต่อการคำนวณว่าเทคโนโลยีควอนตัมใดจะประสบความสำเร็จในตลาดก่อนหรือหลังจึงไม่อาจทำตารางประเมินระยะเวลาได้ในขณะนี้ อีกทั้งยังมีคู่แข่งของเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมเดิมทั้งส่วนฮาร์ดแวร์ (เซมิคอนดักเตอร์) และซอฟต์แวร์ (ระบบปฏิบัติการ: OS และโปรแกรมประยุกต์: Application) อีกทั้งการวิจัยควอนตัมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น มาตรฐานทางภาษาของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ทดสอบจำเป็นต้องอยู่ในอุณหภูมิเย็นจัดมาก เพื่อลดความแปรปรวน จนหน่วยงานวิจัยขนาดเล็กไม่สามารถดำเนินการได้ง่าย โดยคาดหมายได้ว่าจะเริ่มเห็นทิศทางของควอนตัมได้ชัดเจนในอีก 10 ปีข้างหน้าเป็นต้นไป อย่างไรก็ดี บางสาขาเทคโนโลยีทางการป้องกันประเทศสามารถได้รับประโยชน์โดยตรงได้รวดเร็ว เช่น กระบวนการเข้ารหัสทางควอนตัม (ยากต่อการเจาะระบบ/ดักฟัง) และกระบวนการใช้ควอนตัมเจาะระบบ/ถอดรหัสลับสารสนเทศแบบเดิม (Quantum Hacking) เป็นต้น และควอนตัมเรดาร์ที่ใช้หลักการของอะตอมแทนคลื่นวิทยุทำให้สามารถตรวจจับอากาศยานล่องหน (Stealth) ได้โดยไม่สามารถหลบเลี่ยง

11. ห่วงโซ่อุปทานทางความมั่นคง (Defense Supply chain)

ผลกระทบ ปกติ (2) **ความน่าจะเป็น** สูงมาก (4)

เนื่องจากในช่วงระยะเวลาปัจจุบันจนถึงอนาคตอันใกล้ มีการเปลี่ยนแปลงเชิงยุทธศาสตร์ภาพใหญ่ (Grand Strategy) ของชาติมหาอำนาจในปัจจุบัน โดยเฉพาะสหรัฐอเมริกากับชาติพันธมิตร เช่น กลุ่ม NATO พันธมิตรเอเชียตะวันออกไกล (เกาหลีใต้/ญี่ปุ่น/ไต้หวัน) และภูมิภาคตะวันออกกลาง รวมถึงอิทธิพลของจีนแผ่นดินใหญ่ที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดความขัดแย้งต่าง ๆ ทางเศรษฐกิจ เช่น สงครามการค้า (Trade War) และขยายผลเป็นสงครามชิงความได้เปรียบทางเทคโนโลยี (Technology War) ซึ่งยุทธศาสตร์ดังกล่าวนั้นจะส่งผลระยะยาวให้แต่ละประเทศเริ่มมีนโยบายแยกตัวทางเศรษฐกิจและความมั่นคงให้เป็นอิสระต่อกันมากขึ้น อันจะส่งผลต่อห่วงโซ่อุปทานทางอุตสาหกรรม (Industry Supply Chain) ทุกประเภททั่วโลก

การเปลี่ยนแปลงเชิงยุทธศาสตร์เหล่านี้จะส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมทุกประเภท รวมถึงอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในกลุ่มชาติตะวันตก ที่ปัจจุบันมักดำนินธุรกิจตามรูปแบบโลกาภิวัฒน์สุดขั้ว ที่กระจายสายการผลิต แหล่งวัตถุดิบ แรงงาน และตลาดไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกที่มีขีดความสามารถสูง เพื่อให้สามารถทำต้นทุนการผลิตได้ต่ำและผล

กำไรสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ พร้อมทั้งยังสร้างหุ้นส่วนธุรกิจจำนวนมากที่ค้าขายกันเองสร้างเม็ดเงินในระบบเศรษฐกิจตลอดห่วงโซ่อุปทานระยะยาวดังกล่าว (Long Distance Supply Chain) เช่น สายการผลิตเครื่องบินขับไล่ F35 และ Eurofighter ที่มีการกระจายชิ้นส่วนไปยังชาติพันธมิตรหลายสิบประเทศเพื่อสร้างเครือข่ายอุตสาหกรรมร่วมกัน แต่ในทางกลับกันหากเกิดข้อขัดแย้งระหว่างชาติสมาชิกก็จะส่งผลกระทบต่อสายการผลิตยุทโธปกรณ์นั้นโดยตรง เช่น กรณีที่สหรัฐฯ ขับไล่ตุรกีออกจากโครงการ F35 หรือ สาธารณรัฐประชาชนจีนตอบโต้สหรัฐฯ โดยการระงับการส่งออกสินแร่หายาก (Rare Earth) จนส่งผลกระทบต่อการจัดทำวัตถุดิบสำหรับการทำเชื้อเพลิงของอาวุธปล่อยนำวิถีหลายรุ่นของสหรัฐฯ หรือความเสี่ยงจากการที่พันธมิตรอาจไม่สามารถจัดส่งชิ้นส่วนจำเป็นได้ ตัวอย่างเช่น กรณีไต้หวันซึ่งเป็นผู้ผลิตชิป (Chip) ที่ก้าวหน้าที่สุดในปัจจุบันและจำหน่ายให้กับยุทโธปกรณ์ขั้นสูงของสหรัฐฯ เป็นจำนวนมาก แต่มีความเสี่ยงในการถูกจีนแผ่นดินใหญ่กดดันหรือครอบครอง อันจะทำให้ห่วงโซ่อุปทานด้านอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกเสียหายอย่างร้ายแรงได้

ข้อแตกต่างประการสำคัญในการกีดกันทางการค้าระหว่างอุตสาหกรรมภาคพลเรือนกับทหารมักอยู่ในกระบวนการบังคับใช้ที่จับต้องได้และจับต้องไม่ได้ เช่น ในภาคพลเรือนมักถูกบังคับทางธุรกิจผ่านกระบวนการกฎหมายทรัพย์สินทางปัญญา ซึ่งมีหน่วยงานกลางระหว่างประเทศควบคุม อาทิ องค์กรทรัพย์สินทางปัญญาโลก (WIPO) ขณะที่องค์ความรู้ขั้นสูงในอุตสาหกรรมทางทหารมักไม่มีการขึ้นทะเบียนอย่างเปิดเผยเพื่อหลีกเลี่ยงการทำวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) จากผู้อื่น จึงมักใช้การควบคุมทางวัตถุดิบตั้งต้น หรือผลิตภัณฑ์มูลฐานที่ระบบย่อยสำคัญแทน อาทิ เหล็กเกรดสูง วัตถุกัมมันตรังสี หรือชิปนำร่อง ความแม่นยำสูงที่ใช้ในขีปนาวุธเป็นต้น โดยสามารถวิเคราะห์ช่วงเวลาโดยสังเขปของเทคโนโลยีดังนี้

เวลา (ค.ศ.)	การเปลี่ยนแปลงทางอุตสาหกรรมสำคัญ	ผลกระทบในการเปลี่ยนแปลง
2020 - 2029	• การวิจัยออกแบบบนพื้นฐานของการใช้อุปกรณ์หลายแหล่ง (Multi-Sourcing) • การจัดทำมาตรฐานสากลทางวัตถุดิบ • สายการผลิต OEM ที่สามารถชดเชยกัน (Redundancy Source/Manufacturing)	• เทคโนโลยีร่วมภาคพลเรือนและความมั่นคง (Dual-Used) จะขยายตัวตามความผ่อนปรนของภาครัฐ • การส่งเสริม Defense OEM ในประเทศเกิดใหม่และเป็นกลาง
2030 - 2039	• การรวมศูนย์การผลิตสมบูรณ์ภายในประเทศ • การฟื้นฟูอุตสาหกรรมวัตถุดิบต้นน้ำ • มาตรฐานการบังคับใช้ทรัพย์สินทางปัญญา	• หลักความน่าเชื่อถือในสายการผลิตเริ่มสำคัญกว่ากำไร • การควบรวมอุตสาหกรรมเพื่อความสามารถในการแข่งขัน

อย่างไรก็ดี อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นสิ่งที่ผูกพันระหว่างประเทศกันอย่างเหนียวแน่นเป็นเวลานาน จึงไม่สามารถถอนตัวจากกันอย่างกระทันหันได้โดยง่าย เนื่องจากมีผลกระทบทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของแต่ละประเทศเป็นอย่างสูง ดังนั้น ภาพรวมที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีก 10-15 ปีข้างหน้า คือ โครงการที่มีข้อผูกมัดในระยะสั้นจะยังคงดำเนินการต่อไป แต่ละชาติจะพยายามพึ่งพาทรัพยากรและศักยภาพของตนเองให้มากขึ้น โดยเพิ่มความมั่นคงในห่วงโซ่อุปทานให้มีความหลากหลายอย่างค่อยเป็นค่อยไป แม้จะสูญเสียกำไรหรือต้องลงทุนวิจัยเพิ่มเติมก็มักจะยินดี เช่น ความพยายามในการพัฒนาเครื่องบินรบยุคที่ 6 ด้วยตัวเองของสหราชอาณาจักร และการลงทุนพัฒนาเครื่องบินรบยุคที่ 5 ของญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ แม้จะเป็นพันธมิตรที่เหนียวแน่นกับสหรัฐฯ อยู่แล้วเพื่อให้เป็นอิสระในการดำเนินการจากอิทธิพลต่างประเทศมากขึ้น รวมถึงประเทศขนาดเล็กจะมีการลงทุนเรื่องวัตถุดิบและยุทโธปกรณ์อย่างจริงจัง โดยเฉพาะอาวุธพื้นฐานหรืออาวุธเชิงป้องปรามที่มีต้นทุนต่ำ เช่น ยุทโธปกรณ์เบาสำหรับทหารและอาวุธไซเบอร์ เป็นต้น

จาก 8 แนวโน้มอุตสาหกรรมภาพรวมข้างต้นจะเห็นได้ว่าในระยะสั้นช่วง 10 ปีแรกนั้น มักอยู่ในรูปของอุตสาหกรรมหรือตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype) เป็นหลัก เนื่องจากยุทโธปกรณ์ตามรูปการจัดกำลังรบในรูปแบบเดิมยังมีอยู่ในเหล่าทัพต่าง ๆ ทั่วโลกเป็นจำนวนมาก เช่น ยานรบทางบก-ทะเล-อากาศ ซึ่งด้วยงบประมาณกลาโหมที่ค่อนข้างจำกัดทั่วโลก โดยเฉพาะหลังภาวะวิกฤติทางเศรษฐกิจในหลายประเทศหลังสงครามการค้าและภาวะโรคระบาด จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการทยอยปลดประจำการและทดแทนด้วยยุทโธปกรณ์เทคโนโลยีใหม่ดังกล่าว ยกเว้นแต่จะเกิดสถานการณ์สงครามหรือความขัดแย้งระหว่างประเทศศักยภาพสูงด้วยกันอย่างกระทันหัน จึงอาจจะทำให้กระบวนการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีดังกล่าวเร็วขึ้นได้

12. บทสรุป

การจัดกลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ 8 ชนิด ช่วงปี 2020-2040 ตามหัวข้อข้างต้นได้ประเมินจากระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นทางยุทธศาสตร์การป้องกันประเทศ และระยะเวลาในการเข้าสู่ตลาดหรืออุตสาหกรรมในระดับโลกเป็นสำคัญ โดยผู้จัดทำบทความจัดลำดับความสำคัญเบื้องต้นได้ดังตารางในหน้า 60

จากตารางจะเห็นได้ว่าในลำดับคะแนนรวม กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศ (ICT) อย่างปฏิบัติการไซเบอร์และปัญญาประดิษฐ์มีผลกระทบอย่างสูงในปัจจุบัน เนื่องจากได้รับการส่งเสริมอย่างมากทั้งจากภาคพลเรือนและฝ่ายความมั่นคงในแทบทุกประเภท มีการใช้งานเต็มรูปแบบในปัจจุบันและยังมีแนวโน้มใช้งานอย่างต่อเนื่องในอนาคต ในขณะที่กลุ่มลำดับรอง อาทิ หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ รวมถึงอาวุธพลังงานนั้นเป็นสาขาวิชาที่ได้รับการวิจัยพัฒนาอย่างเต็มที่ แต่เนื่องจากยังไม่ได้มีการนำยุทโธปกรณ์เหล่านี้เข้าประจำการเป็นจำนวนมาก จึงคาดหมายได้ว่าจะถูกส่งเสริมให้มีบทบาทในกองกำลังทั่วโลกต่อไป ส่วนกลุ่มคะแนนระดับท้ายมักเป็นสาขาวิชาที่ยังต้องได้รับการพิสูจน์อีกระยะหนึ่ง (ควอนตัม) หรือเป็นอาวุธสำคัญเชิงยุทธศาสตร์ที่อาจมีผลกระทบมาก แต่การใช้งานจริงเชิงปริมาณยังมีข้อจำกัดกว่า จึงถูก

ประเภทเทคโนโลยี	ระดับผลกระทบ (A)	เวลาในการเข้าสู่ตลาด (B)	คะแนนรวม (AxB)
ปฏิบัติการทางไซเบอร์	4	5	20
ปัญญาประดิษฐ์	5	3	15
หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ	3	4	12
อาวุธพลังงาน	4	3	12
ห่วงโซ่อุปทานทางทหาร	2	4	8
ปฏิบัติการภาคอวกาศ	4	2	8
อาวุธพลังงานจลน์ขั้นสูง	2	3	6
เทคโนโลยีควอนตัม	5	1	5

ประเมินว่ามีความสำคัญในภาพรวมเป็นลำดับรอง

ทั้งนี้ สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีสถานะในปัจจุบันเป็นชาติเป็นกลางขนาดเล็ก และมีขีดความสามารถในเทคโนโลยีป้องกันประเทศอยู่ในวงจำกัด เมื่อเทียบกับชาติมหาอำนาจที่กำลังวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสำคัญทั้ง 8 ด้านขั้นต้น จึงเป็นไปได้ยากที่จะแข่งขันกันในเชิงผลิตภัณฑ์/บริการยุทโธปกรณ์โดยตรงในตลาดสากล แต่เนื่องจากเทคโนโลยีกลุ่มนี้ยังเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่มากแม้ในกลุ่มวิจัยพัฒนาของชาติมหาอำนาจ จึงยังมีโอกาสบางส่วนที่ประเทศไทยจะสร้างขีดความสามารถแท้จริงของเทคโนโลยีเหล่านี้ โดยเล็งผลที่ระบบ/เทคโนโลยี/บริการ ที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น การพัฒนาขีดความสามารถสารสนเทศเพื่อสนับสนุน AI ด้านภาษาธรรมชาติของประเทศไทยหรือภูมิภาค หรือการพัฒนาขีดความสามารถอุตสาหกรรมด้านเครื่องยนต์ พลังงานทางเลือก หรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นการต่อยอดอุตสาหกรรมเดิมในประเทศ โดยอาศัยคุณลักษณะเฉพาะทางภูมิศาสตร์และรัฐศาสตร์ในการเข้าสู่ตลาดยุทโธปกรณ์โลกได้ทั้งค่ายตะวันตกและตะวันออก ซึ่งเป็นการสอดคล้องกับนโยบายระดับชาติ เช่น Thailand 4.0 หรือการส่งเสริมทางเศรษฐกิจ เช่น EEC ต่อไปในอนาคตกับชาติมหาอำนาจที่กำลังวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสำคัญ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Michael O'Hanlon, Forecasting Change in Military Technology 2020-2040.

[2] Frost&Sulivan, Global Defense Outlook, 2019.

[3] Frost&Sullivan, ADEC Exhibition - Milsim 2018, Singapore.

[4] M.L.Cummings, Artificial Intelligence and the Future of Warfare, International Security Department and US and the Americas Program 2017.

[5] Siva Banda, Aerospace System Directorate Overview, Air Force Research Laboratory (AFRL) 2019.

[6] CCDC CBC-TR-1599, Cyborg Soldier 2050: Human/Machine Fusion and the Implications for the Future of the DOD.

[7] Strategic Plan FY19-23, DoD Digital Modernization Strategy, 2019.

การสร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2018 “ลูกช่วงมังกรบิน”

สุประวิทย์ เมืองเจริญ [1*]

วันที่รับ 14 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไข 2 เมษายน 2563 วันตอบรับ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างหุ่นยนต์ให้สามารถทำภารกิจ“การโยนลูกช่วง” โดยการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นอาดูโน่ในการควบคุมระบบกลไกทั้งหมดของหุ่นยนต์ โดยการรับสัญญาณอินพุตจากจอยสติ๊กเพลย์สเตชันไร้สายสำหรับอาดูโน่ เพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และชุดควบคุมระบบนิวเมติก หุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัว หุ่นยนต์บังคับมือ และหุ่นยนต์อัตโนมัติ โดยภารกิจเริ่มจากพื้นที่สตาร์ทหุ่นยนต์บังคับมือ แล้วทำการบังคับหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังพื้นที่บรรจุ เพื่อไปหยิบลูกช่วงจำนวน 2 ลูก จากชั้นวาง หลังจากนั้นส่งลูกช่วงให้กับหุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งรอรับอยู่ในพื้นที่สตาร์ทหุ่นยนต์อัตโนมัติ เพื่อทำการโยนลูกช่วงในบริเวณการโยนลูกช่วงซึ่งเป็นจุดบริเวณโยนลูกที่ 1 และจุดบริเวณโยนลูกที่ 2 ส่วนภารกิจสุดท้ายหุ่นยนต์บังคับมือเคลื่อนที่ไปหยิบลูกช่วงสีทองจำนวน 1 ลูก ส่งให้กับหุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งรอรับอยู่ เพื่อทำการโยนลูกช่วงในจุดบริเวณโยนลูกที่ 3 ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัว คือ หุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติ สามารถทำภารกิจได้สำเสร็จครบถ้วนภายในเวลา 3 นาที ตามข้อกำหนดของกฎกติกา

คำสำคัญ : ไมโครคอนโทรลเลอร์, หุ่นยนต์, ควบคุม

[1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

[*] Supavitjack@gmail.com

The creation and design Robot ABU 2018 “Shuttlecock Throwing”

Supavit Muangjaroen [1*]

Received 14 March 2020, Revised 2 April 2020, Accepted 3 April 2020

Abstract

The purpose of this research is to build a robot that can perform the "shuttlecock throwing" mission by applying the Arduino microcontroller board to control all robot systems by receiving input signals from wireless joystick play station for Arduino to send signals to control the motor drive and pneumatic system controller in either manual or automatic robots. The task started with the manual robot start zone, forcing the robot to move to the loading zone to pick up 2 shuttlecocks from Rack, and then, sending the shuttlecock to the automatic robot waiting to receive in the automatic robot start zone to the shuttlecock throwing in the throwing area which is the 1st and 2nd The last mission was that the manual the robot moving to pick up 1 golden shuttlecock and send it to automatic. The robot is waiting to receive it for the shuttlecock throwing in the 3rd throw area. The results showed that both robots managed to complete the task within 3 minutes according to the rules.

Keywords : microcontroller, robot, control

[1] Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

[*] Supavitjack@gmail.com

1. บทนำ (Introducton)

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการพัฒนาหุ่นยนต์เป็นอีกด้านหนึ่งที่ได้รับความสนใจจากเยาวชนไทย โดยการแข่งขันหุ่นยนต์ในระดับชาติมีหลายประเภทแตกต่างกันไป โดยมีการพัฒนาศักยภาพของหุ่นยนต์มากขึ้นเรื่อย ๆ ในทุกปี ทั้งในด้านของการออกแบบกลไกของหุ่นยนต์ [1] และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ [2] ให้เหมาะสมกับการแข่งขันในแต่ละปี รวมถึงปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการดำเนินงาน โดยเฉพาะความรู้ความสามารถที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ [12] ทำให้เห็นและได้เรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ จากประสบการณ์ที่ได้รับ เพื่อใช้กับการพัฒนาหุ่นยนต์ในปีต่อ ๆ ไป

เอบียูโรบอตคอนเทสต์ (ABU Robot Contest) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ABU Robocon เป็นการแข่งขันหุ่นยนต์ของนักเรียนนักศึกษาในระดับอาชีวศึกษา และระดับอุดมศึกษาที่จัดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยมีกติกาให้หุ่นยนต์ทำภารกิจต่างๆ และให้นานาประเทศสมาชิกของเอบียูหมุนเวียนผลัดเปลี่ยนกันเป็นเจ้าภาพ [6]

การแข่งขัน ABU Robocon 2018 นั้น ประเทศเวียดนาม หรือสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ได้เป็นเจ้าภาพในการจัดการแข่งขัน และเป็นผู้กำหนดธีมแนวคิดและกติกา ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากการละเล่นพื้นบ้านที่เรียกว่า "การโยนลูกช่วง" และได้นำมาใช้เป็นกฎเกณฑ์ในงานการแข่งขันหุ่นยนต์ ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย ประจำปี 2561 ชิงถ้วยพระราชทานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ประเภทการแข่งขันหุ่นยนต์ ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย ครั้งที่ 25 ภายใต้ธีม "การแข่งขันหุ่นยนต์ลูกช่วงมังกรบิน" ระหว่างวันที่ 8-10 มิถุนายน 2561 ณ เอ็มซีซี ฮอลล์ เดอะมอลล์บางกะปิ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2018 "ลูกช่วงมังกรบิน" ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย คือ

1. เพื่อศึกษาการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน่ (Arduino) และอุปกรณ์เชื่อมต่อในแบบต่าง ๆ

2. เพื่อออกแบบการเขียนคำสั่งโปรแกรมควบคุมการทำงานของเซนเซอร์ ระบบนิวเมติก และมอเตอร์ขับเคลื่อน [5-7]

3. เพื่อสามารถสร้างหุ่นยนต์ทั้ง 2 ตัว คือ หุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติ ให้สามารถเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ABU Robot Contest ปี 2018 และทำตามเงื่อนไขกฎกติกาของการแข่งขันหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นการพัฒนาความรู้ [3-4] และศักยภาพของผู้วิจัย โดยในการแข่งขันจะมีกติกาและเงื่อนไขที่ต้องทำให้สำเร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด

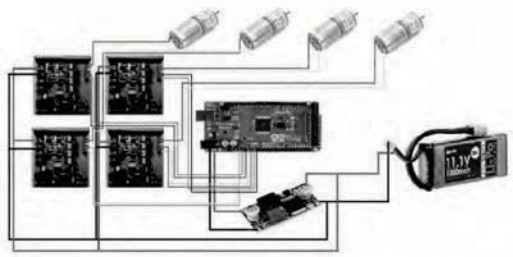
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากอดีตที่ผ่านมา สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ได้เข้าร่วมแข่งขันในปี พ.ศ. 2556 โดยสร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2013 ชื่อ "หุ่นยนต์พิทักษ์รักโลกสีเขียว" ประเทศเวียดนามเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ, ในปี พ.ศ. 2557 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2014 ชื่อ "อุ่นไอรัก" โดยประเทศอินเดียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2015 ชื่อ "หุ่นยนต์แบดมินตัน" โดยมีประเทศอินโดนีเซียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ [10], ในปี พ.ศ. 2559 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2016 ชื่อ "พลังงานบริสุทธิ์จุดประกายโลก" ประเทศไทยเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ [9] และในปี พ.ศ. 2560 ได้สร้างหุ่นยนต์เข้าแข่งขัน ABU 2017 ชื่อ "ยุทธการจานร่อน" โดยประเทศอินโดนีเซียเป็นผู้ออกแบบเกมการแข่งขันในฐานะเจ้าภาพ [11] จากอดีตตั้งแต่ พ.ศ. 2553 ถึงปัจจุบัน สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ส.ส.ท. ชิงแชมป์ประเทศไทย เพื่อเป็นตัวแทนประเทศไทยเข้าร่วมแข่งขันในระดับนานาชาติ จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ [1-5] รวมถึงความเหมาะสม เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไข

ในบทนี้จึงเป็นการอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและหลักการของอุปกรณ์แต่ละส่วน เริ่มตั้งแต่การทำความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบควบคุมการทำงานเชื่อมต่อวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการสร้างหุ่นยนต์นี้

2.1 การควบคุมของมอเตอร์กระแสตรง

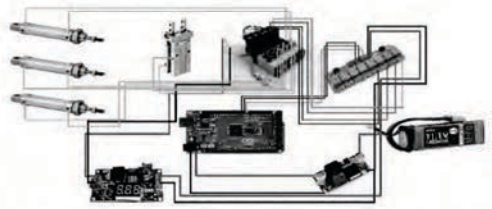
การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการหมุนและทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงนั้น จะต้องมีส่วนของวงจรที่เรียกว่า วงจรขับมอเตอร์ (Driver) ส่วนของวงจรกลับทิศทางของมอเตอร์สามารถที่จะใช้รีเลย์เป็นสวิตช์เพื่อกลับทิศทางของมอเตอร์ได้ หรืออาจใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่เป็นวงจรขับ เช่น ทรานซิสเตอร์มอสเฟต แล้วแต่วิธีที่เราจะเลือกใช้งาน การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งอาจจะใช้วิธีการควบคุมแบบพื้นฐานทั่วไป เช่น การควบคุมด้วยวิธีการใช้ตัวต้านทานปรับค่า โดยต่ออนุกรมกับมอเตอร์หรือใช้วิธีการการควบคุมโดยการเปลี่ยนค่าของระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่การควบคุมในวิธีดังกล่าวถึงแม้ว่าจะควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้คงที่ได้ แต่ที่ความเร็วต่ำจะส่งผลให้แรงบิดต่ำไปด้วย ดังนั้นเราจึงเลือกใช้วิธีการควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เป็นช่วง ๆ โดยอาศัยกระแสไฟที่ป้อนให้กับมอเตอร์



รูปที่ 1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์
ต่อกับบอร์ด ไดรฟ์มอเตอร์ และ DC มอเตอร์

2.2 การควบคุมโซลินอยด์วาล์วลม

การใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมโซลินอยด์วาล์ว เพราะอุปกรณ์นี้เป็นแบบสวิตช์ โดยอาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า ทำงานโดยใช้การป้อนไฟเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในการทำงานควบคุมให้ลิ้นกลไกปิดหรือเปิด ดังนั้นเราจึงเลือกใช้อุปกรณ์นี้ในการใช้โซลินอยด์วาล์วควบคุมกระบอกลมในการเสิร์ฟและตีโต้ตอบของตัวหุ่นยนต์



รูปที่ 2 แสดงการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อกับบอร์ด
4 Channesl Relay กับตัวควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

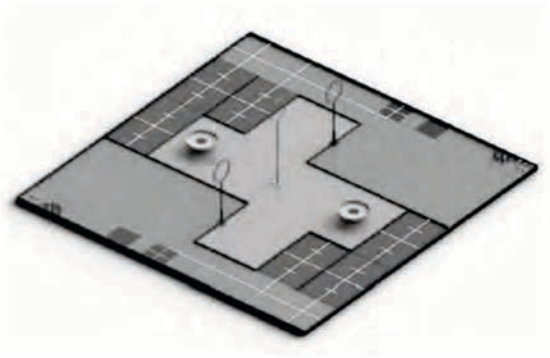
2.3 ภาษาและโปรแกรมที่ใช้

ภาษาเครื่อง (Machine Language) เป็นภาษาที่อยู่ในรูปแบบของรหัสเลขฐานสอง ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าใจภาษานี้ได้ทันที โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการแปล แต่เป็นภาษาที่ยากต่อการเรียนรู้ เพราะอยู่ในรูปแบบของเลขฐานสอง และผู้ใช้ต้องมีความรู้เกี่ยวกับฮาร์ดแวร์เป็นอย่างดี ข้อดีของภาษานี้ คือ มีขนาดเล็ก ทำงานได้รวดเร็ว และสามารถติดต่อกับฮาร์ดแวร์ได้โดยตรง ส่วนภาษาระดับสูงนั้นทำหน้าที่แปลโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาทั้งหมดให้เป็นภาษาเครื่อง จากนั้นจึงนำเอาโปรแกรมที่แปลเสร็จแล้วเข้าไปเก็บในหน่วยความจำ หลังจากนั้นจึงสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ปฏิบัติตามคำสั่งนั้น ๆ ทำให้ทำงานได้เร็วขึ้น ตัวอย่างเช่น ภาษา C เป็นต้น

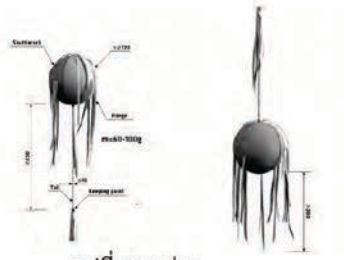
รูปที่ 3 แสดงการเขียนคำสั่งโปรแกรม Arduino

2.4 กติกาการแข่งขัน

การแข่งขัน ABU Robocon 2018 ได้รับการออกแบบเกมตามวัฒนธรรมดั้งเดิมของประเทศเวียดนาม อันเป็นสมบัติของชาตินั้น โดยดัดแปลงมาจากการละเล่นพื้นบ้านที่เรียกว่า “การโยนลูกช่วง” ลูกช่วงจะทำมาจากลูกบอลผ้าฝ้าย หรืออาจจะใส่แกลบไว้ข้างใน ซึ่งเป็นสัญลักษณ์แสดงถึงความมั่งคั่งและความสุข ลูกช่วงจะมีเชือกเย็บติดไว้ที่ตรงกลางของลูก และมีการตกแต่งด้วยผ้าฝ้ายหลากสีสันที่แสดงถึงสีของสายรุ้ง ในการเล่นผู้เล่นจะถือปลายเชือกของลูกช่วงและหมุนแกว่งตามทิศเข็มนาฬิกาหลาย ๆ รอบ ก่อนที่จะโยนไปที่ตรงกลางของวงแหวนไม้ไผ่ หากผู้เล่นสามารถโยนลูกช่วงทะลุวงแหวนไม้ไผ่ได้จะถือว่าเป็นผู้ชนะ ลูกช่วงที่ลอยบนอากาศเปรียบเสมือนกับมังกรที่บินอยู่ ซึ่งเป็นสัญลักษณ์แห่งพลังของมนุษย์และจักรวาล ดังนั้นแต่ละทีมจะต้องประดิษฐ์หุ่นยนต์ 2 ตัว ประกอบด้วย หุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติ โดยภารกิจเริ่มจากหุ่นยนต์บังคับมือเคลื่อนที่จากจุดสตาร์ทบังคับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปหยิบลูกช่วงหลากสีจำนวน 2 ลูก จากแท่นวาง หลังจากนั้นส่งให้กับหุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งรอรับอยู่ เพื่อทำการโยนลูกช่วงในจุดบริเวณโยนลูกที่ 1 และจุดบริเวณโยนลูกที่ 2 ภารกิจสุดท้ายคือหุ่นยนต์บังคับมือเคลื่อนที่ไปหยิบลูกช่วงสีทองจำนวน 1 ลูก ส่งให้กับหุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งรอรับอยู่ เพื่อทำการโยนลูกช่วงในจุดบริเวณโยนลูกที่ 3 ภายในเวลา 3 นาที



รูปที่ 4 สนามการแข่งขัน

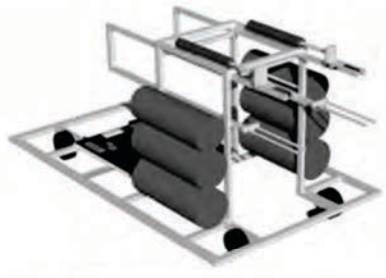


รูปที่ 5 ลูกช่วง

3. วิธีการดำเนินงานและการออกแบบ

การออกแบบสำหรับหุ่นยนต์ ABU 2018 โดยการทำโครงสร้างเพื่อทำการเคลื่อนที่และการออกแบบวงจรเพื่อใช้ในส่วนของการควบคุมการทำงานด้านต่าง ๆ ของตัวหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานตามขอบเขตและเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ (Automatic) โดยโปรแกรม SketchUp 2018

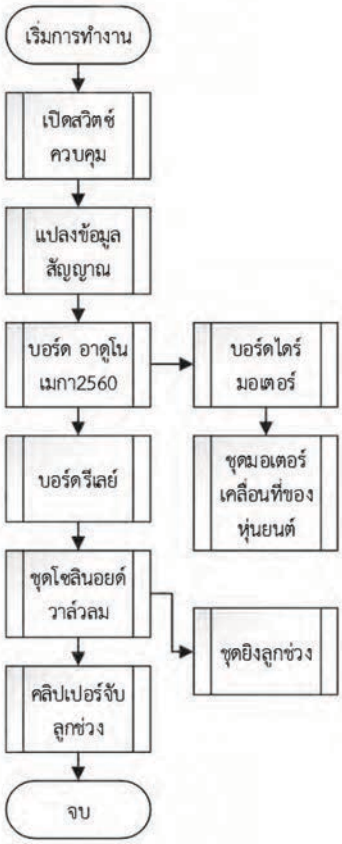


รูปที่ 6 หุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ (Automatic)

3.2 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบบังคับมือ (Manual) โดยโปรแกรม SketchUp 2018

รูปที่ 7 หุ่นยนต์แบบบังคับมือ (Manual)

3.3 บล็อกไดอะแกรมของหุ่นยนต์ 2 ตัว

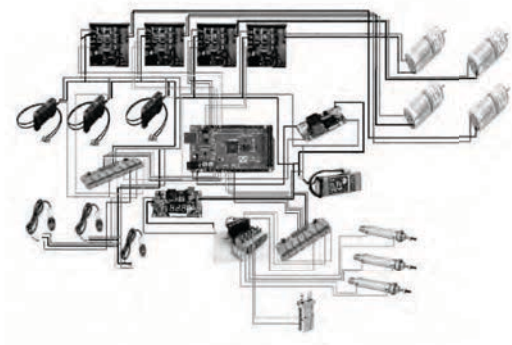


จากบล็อกไดอะแกรมของหุ่นยนต์ควบคุมและรับคำสั่งการกดปุ่มและส่งข้อมูลไปที่ตัวรับ ตัวรับจะมีหัวต่อแปลงข้อมูลของจอย PS2 ให้เป็นข้อมูลของ Arduino ต่อไปยังบอร์ด Arduino เพื่อประมวลผลตามคำสั่งที่ได้เขียนไว้ส่งออกเอาต์พุต ในส่วนเอาต์พุตของ Arduino จะมี 2 ส่วน คือ

3.3.1. ส่วนที่เข้าอินพุตของบอร์ดไดร์มอเตอร์ บอร์ดไดร์มอเตอร์จะทำการควบคุมการหมุนของมอเตอร์จำนวน 4 ชุด คือ มอเตอร์เคลื่อนที่

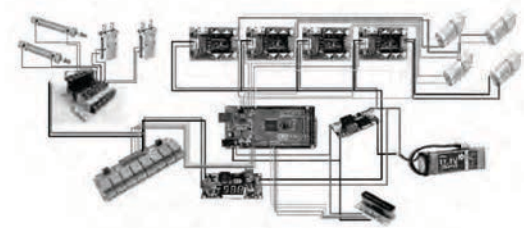
3.3.2. ส่วนที่เข้าชุดควบคุมโซลินอยด์วาล์ว คือ การโยนลูกช่วง ด้วยการใช้บอร์ดรีเลย์ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้จ่ายไปที่โซลินอยด์วาล์ว

3.4 การโปรแกรมเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานวงจรทั้งหมดของหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 8 การควบคุมหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ

3.5 การโปรแกรมเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานวงจรทั้งหมดของหุ่นยนต์แบบบังคับมือ



รูปที่ 9 การควบคุมหุ่นยนต์แบบบังคับมือ

4. ผลการวิจัย

การออกแบบหุ่นยนต์ตามกฎกติกาการแข่งขัน ABU 2018 ได้ทำการสร้างหุ่นยนต์และเชื่อมต่อวงจรบอร์ดต่าง ๆ จากนั้นได้เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมคอนโทรลการทำงานในส่วนต่าง ๆ ทั้งการควบคุมระบบหุ่นยนต์ 2 ตัว ประกอบด้วย หุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติ โดยภารกิจเริ่มจากหุ่นยนต์บังคับมือเคลื่อนที่จากจุดสตาร์ท บังคับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปหยิบลูกช่วงหลากสีจำนวน 2 ลูก จากแท่นวาง หลังจากนั้นส่งให้กับหุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งรอรับอยู่ เพื่อทำการโยนลูกช่วงในจุดบริเวณโยนลูกที่ 1 และจุดบริเวณโยนลูกที่ 2 ภารกิจสุดท้ายคือหุ่นยนต์บังคับมือเคลื่อนที่ไปหยิบ

ลูกช่วงสีทองจำนวน 1 ลูก ส่งให้กับหุ่นยนต์อัตโนมัติซึ่งรอรับอยู่ เพื่อทำการโยนลูกช่วงในจุดบริเวณโยนลูกที่ 3 ภายในเวลา 3 นาที

จากการออกแบบหุ่นยนต์ตามกฎกติกาการแข่งขัน ABU 2018 ได้ทำการสร้างหุ่นยนต์และเชื่อมต่อวงจรบอร์ดต่าง ๆ จากนั้นได้เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมคอนโทรลการทำงานในส่วนต่าง ๆ ทั้งการควบคุมระบบหุ่นยนต์ซึ่งมีชุดขับมอเตอร์ในการบังคับทิศทาง ชุดเซ็นเซอร์เพื่อบอกระยะทางในการวิ่ง ชุดควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วลม และชุดยิงลูกช่วงลักษณะการเหวี่ยงโดยใช้แกน การทำงานของหุ่นยนต์ทั้งหมดทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งผลการทดลองได้บรรลุวัตถุประสงค์และสอดคล้อง

สามารถเข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ ABU 2018 โดยการใช้แต้มรวมทั้งหมดที่ดีที่สุดในการทำงานและทำตามเงื่อนไขกฎกติกา "การแข่งขันหุ่นยนต์เอบียูชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย (ABU Robot Contest Thailand Championship) ได้ครบถ้วนทุกข้อ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์

ครั้งที่ทดสอบ	ลูกช่วงหลากสี	ลูกช่วงทองคำ	คะแนนโยนลูกจุดที่ 1	คะแนนโยนลูกจุดที่ 2	คะแนนโยนลูกจุดที่ 3	คะแนนรวม	เวลาที่ทำภารกิจ (นาที)
1	10	5	13	0	0	13	3
2	10	5	20	15	0	35	3
3	10	5	22	25	30	77	3
4	10	5	20	15	30	65	3
5	10	5	10	15	60	85	3

5. สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยที่ได้ดำเนินการสร้างหุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัตินี้ มีการใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 เข้ามาเป็นหน่วยประมวลผลควบคุมการทำงานตามคำสั่งของจอยสติ๊กของเครื่องเพลย์สเตชันไร้สายสำหรับอาดูโน่ที่มีการส่งข้อมูลมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 เข้ามาประมวลผลตามคำสั่งในการบังคับหุ่นยนต์ สำหรับวิธีการควบคุมนั้นจะควบคุมโดยการเขียนโปรแกรมในภาษาซี และส่งโปรแกรมลงในบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 เพื่อให้หุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติทำงานตามกฎ กติกา และเงื่อนไขได้

6. กิตติกรรมประกาศ

การสร้างสร้างหุ่นยนต์ให้สามารถทำภารกิจ “การโยนลูกช่วง” ทั้งหุ่นยนต์บังคับมือและหุ่นยนต์อัตโนมัติสำเร็จลงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของนายชาลี วีระพันธ์ นายณัฐชนน แสงมุข นายปณต พลับเที่ยง และนายศุภกร นรสิงห์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ศูนย์สุพรรณบุรี ในการสร้างหุ่นยนต์ ABU 2018 และขอบคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมทุกท่านอย่างยิ่งที่ได้ให้คำปรึกษาการสร้างหุ่นยนต์และการทดลอง รวมทั้งให้คำแนะนำและข้อคิดต่าง ๆ มาโดยตลอดตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเรียบร้อย จึงขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ดอนสัน ปงผาบ, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน", กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

[2] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, "การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C (Programming with C)", กรุงเทพฯ, ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2552.

[3] โอภาส ศิริครรชิตถาวร, "เปิดโลก 32 บิต กับ STM32-Discovery", กรุงเทพฯ, วี เจ พริ้นติ้ง, 2552.

[4] นคร ภักดีชาติ และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, "ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3 กับ STM32", กรุงเทพฯ, อินโนเวตีฟเอ็กเพอริเมนต์, 2552

[5] บุญสืบ โพธิ์ศรี และคณะ, "งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น", กรุงเทพมหานคร, วีพริ้นท์, 2555.

[6] Wikipedia. หุ่นยนต์. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/หุ่นยนต์. 1 พฤศจิกายน 2561.

[7] สหพล เลิศวิริยะไพศาล และคณะ, "การพัฒนาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์". วารสารคณิตศาสตร์ MJ-MATh 61(688), มกราคม-เมษายน, 2559, หน้า 1-8.

[8] กฤษดา ขันกสิกรรม และยศวัฒน์ พิลาถ้อย, "การพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจแบบกึ่งอัตโนมัติบนโยโยแพลทฟอร์ม", วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 8 มกราคม-ธันวาคม 2559, หน้า 1-14.

[9] สุประวิทย์ เมืองเจริญ, "การศึกษาและประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Arduino MEGA ในการควบคุมหุ่นยนต์ ABU 2016", การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 2, วันที่ 31 มีนาคม 2560, หน้า 322–329.

[10] Supavit Muangjaroen, "A Study of using Arduino for ABU 2015 Robot Control", The 6th International Symposium on the Fusion of Science and Technologies (ISFT2017), Jeju, S.KOREA 17–21 July, 2017, pp.(25)

[11] สุประวิทย์ เมืองเจริญ และภูสิทฐ บวรวัฒนดิลก, "การสร้างและออกแบบหุ่นยนต์ ABU 2017 "ยุทธการจานร่อน", การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 10, วันที่ 1-3 สิงหาคม 2561, หน้า 922–929.

[12] สุประวิทย์ เมืองเจริญ และภูสิทฐ บวรวัฒนดิลก, "การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต่อสู้". การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 10, วันที่ 1-3 สิงหาคม 2561, หน้า 930–939.

การหาปริมาตรด้วยความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายเพื่อใช้ประเมินความเสียหายจากภัยพิบัติ

ธีรไนย ศรีธรรมรงค์ [1*] สุริยะเวช บุญธรารัตน์ [2] และ สมสฤษฎิ์ สินหนัง [3]

วันที่รับ 20 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไข 20 มีนาคม 2563 วันตอบรับ 1 มีนาคม 2563

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกต่างต้องเผชิญเหตุการณ์ภัยพิบัติเพิ่มมากขึ้น โดยได้สร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชากรโลกเป็นจำนวนมาก ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่ได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ภัยพิบัติเช่นกัน ดังนั้นคณะวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างเทคโนโลยียานไร้คนขับร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาปริมาตรความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UVS และเพื่อนำวิธีการหาปริมาตรความสูงของอาคารไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติ พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่อาคารเรียน มหาวิทยาลัยพะเยา ขั้นตอนการศึกษานำอากาศยานไร้คนขับ eBee Plus บินสำรวจและผลิตภาพถ่ายทางอากาศ ผลผลิตที่ได้รับ ได้แก่ ภาพออร์โธโมเสค แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DTM) จากนั้นนำผลผลิตที่ได้รับไปใช้ในการหาปริมาตรความสูงของอาคาร โดยทำการตัดความสูงของ DTM ออกจาก DSM ให้เหลือเพียงค่าความสูงของวัตถุบนพื้นโลก (DSM) เท่านั้น และแสดงผลร่วมกับฐานข้อมูลอาคารที่ทำการจำแนกจากภาพออร์โธโมเสค ผลการศึกษาพบว่า ความสูงของอาคารที่ได้จากการศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 6-14 เมตร จากการศึกษานี้ทำให้ได้รับองค์ความรู้ในเรื่องการหาปริมาตรความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติได้ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : ภาพออร์โธ, การประเมินความเสียหาย, ระบบยานไร้คนขับ, ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

[1, 3] ส่วนบัณฑิตศึกษา (Academic Cooperation Division - TAC), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[2] ส่วนบริหารองค์ความรู้ (Knowledge Management Division - TKM), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล์: Teeranai.s@dti.or.th

Determining building volumes with heights extracted from aerial imagery data for natural disaster damage assessment

Teeranai Srithamarong [1*] Suriyawate Boonthalarath [2] and Somsarit Sinnung [3]

Received 20 March 2020, Revised 20 March 2020, Accepted 1 March 2020

Abstract

Nowadays many countries around the world are facing more and more with natural disasters that have caused damages and effected the lives and property of a large number of the world's population. Thailand is also one of the countries that have been damaged by various natural disasters. Therefore, the research team came up with the idea of integrating the knowledge of an unmanned vehicle system and Geographic Information Systems. The objective of this study is to determine the volume from building heights extracted from aerial imagery data. The aerial images were acquired by an eBee Plus drone. The calculation was applied to gain the volume of the buildings. The result data will be used later on in a disaster damage assessment process. University of Phayao, a university in the northern part of Thailand, was selected as the study area. The study process started with the eBee image acquisition to produce orthoimages. DSM and DTM were then obtained and used to determine the volume and height of the building. The technique of cutting the height of the DTM from the DSM was applied to come up with the height of the bear terrain of the campus. The result was incorporated with the GIS building vector layer that was classified from the produced orthoimages. The findings show that the heights of the buildings in the study campus are between 6 - 14 meters. The knowledge gained from this study is the technique of determining the volume from the building height extracted from aerial imagery data. Further studies will cover topics of applying the result data for natural disaster damage assessment.

Keywords : Orthoimage, damage assessment, unmanned vehicle system, GIS

[1,3] Academic Cooperation Division - TAC, Defence Technology Institute

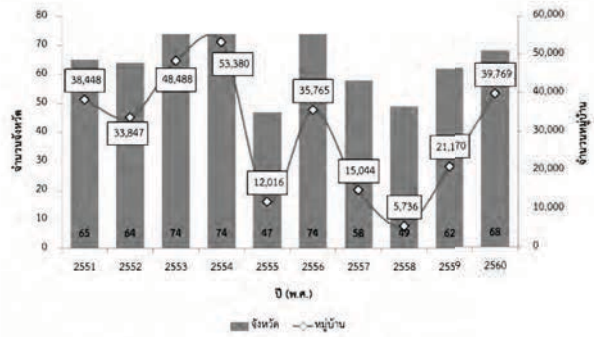
[2] Knowledge Management Division - TKM, Defence Technology Institute

[*] Corresponding author, E-mail: Teeranai.s@dti.or.th

1. บทนำ

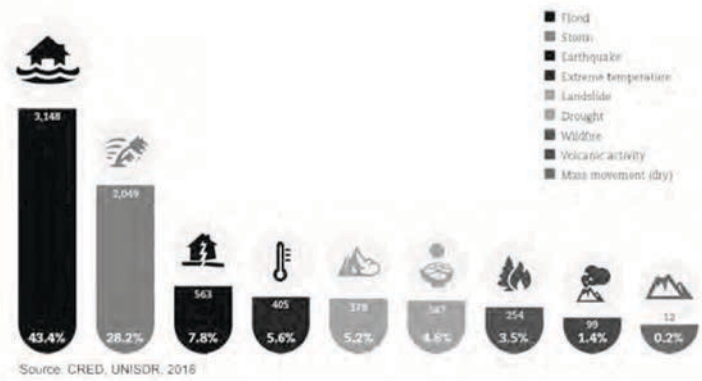
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาหลายประเทศทั่วโลกต่างต้องเผชิญเหตุการณ์ภัยพิบัติในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น ไฟป่า พายุ น้ำท่วม ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ได้สร้างความเสียหายและส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชากรโลกจนไม่อาจนับมูลค่าได้ ปัจจุบันองค์กรภาครัฐและเอกชนในประเทศต่าง ๆ ได้มีการจัดทำมาตรการในการป้องกัน ช่วยเหลือ และลดผลกระทบจากภัยพิบัติอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน สำนักงานเพื่อการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติแห่งสหประชาชาติ (United Nations Office for Disaster Risk Reduction: UNISDR) (2018) [1] ได้แบ่งประเภทของภัยพิบัติออกเป็น 9 ประเภท ได้แก่ อุทกภัย วาตภัย แผ่นดินไหว ดินถล่ม ภัยแล้ง ไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว และการเคลื่อนย้ายมวล จากข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทั่วโลกในช่วงปี พ.ศ. 2541-2560 แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าเหตุการณ์ภัยพิบัติประเภท อุทกภัย มีอัตราการเกิดสูงสุดจำนวน 3,148 ครั้ง คิดเป็น 43.4% ของเหตุการณ์ทั้งหมด

จากการรวบรวมข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติของประเทศไทยในช่วง 10 ปี (พ.ศ. 2551-2560) พบว่าเหตุการณ์ภัยพิบัติประเภทอุทกภัยมีอัตราการเกิดสูงสุด โดยมีพื้นที่ประสบเหตุสูงสุด 74 จังหวัด 30,366 หมู่บ้าน [2] แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเกิดภัยพิบัติในประเทศไทย [2]

จะเห็นได้ว่าเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นนั้นสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมากและเป็นสิ่งที่ไม่อาจควบคุมได้ เพราะฉะนั้นการเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการรับมือทั้งก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้สามารถวางแผนเพื่อรับมือกับภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นได้ รวมไปถึงการเตรียมความพร้อมในการฟื้นฟูและช่วยเหลือผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ภัยพิบัติได้



รูปที่ 1 การเกิดภัยพิบัติทั่วโลกปี พ.ศ. 2541-2560 [1]

ดังนั้นคณะวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างระบบยานไร้คนขับ (Unmanned Vehicle System: UVS) ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

1) เพื่อศึกษาการหาปริมาตรความสูงของอาคารจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจาก UVS

2) เพื่อนำวิธีการหาปริมาตรความสูงของอาคารไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติ

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 พื้นที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ คือ พื้นที่อาคารเรียนมหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา มีพื้นที่ประมาณ 1.18 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นพื้นที่เนินเขาสลับพื้นที่ราบ แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 พื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1) คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows 10 64-bit core i7 RAM 8 GB

2) อากาศยานไร้คนขับ รุ่น eBee Plus กล้อง Sensor Optimised for Drone Applications (S.O.D.A.)

3) ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ Pix4D mapper 4.4.12

4) ซอฟต์แวร์วางแผนการบิน eMotion3

5) ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcMap 10.5

2.3 ระบบยานไร้คนขับ (UVS) และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

ปัจจุบัน UVS เข้ามามีบทบาทในงานสำรวจและงานแผนที่เป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถลดงบประมาณและระยะเวลาการทำงาน ลดความเสี่ยงในการเข้าพื้นที่ที่ยากลำบากและอันตราย อีกทั้งผลลัพธ์ของข้อมูล เช่น ภาพถ่ายออร์โธโมเสค (Orthomosaic) แบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Terrain Model: DTM) และ จุดความสูงหนาแน่น (Point Cloud) [3] ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) คือ ข้อมูลแสดงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ และข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) คือ ข้อมูลที่อธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ชื่อสถานที่ ความสูง และคำอธิบายอื่น ๆ เป็นต้น

2.4 ทบทวนวรรณกรรม

Binard, Devriendt, Cornet, and Donnay (2006) [4] ทำการวิเคราะห์ความสูงอาคารจากภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS ที่มีความละเอียดสูง (VHR satellite) พื้นที่ศึกษาบริเวณเทือกเขา Liège ประเทศเบลเยียม โดยใช้ภาพ DSM จากดาวเทียม (DSM_{sat}) และภาพ DSM ที่คณะวิจัยจัดทำเป็นตัวอ้างอิง (DSM_{ref}) จากนั้นทำการตัดพื้นที่ฐานของอาคาร (Building footprint) ออกจากภาพ DSM ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพแบบ Erosion (การทำให้ความหนาหรือขนาดของวัตถุในภาพลดลง) ขนาด 7*7 พิกเซล (m7*7) เพื่อประมาณความสูงของพื้นที่นั้นด้วยค่าความสูงของพื้นดินในบริเวณ

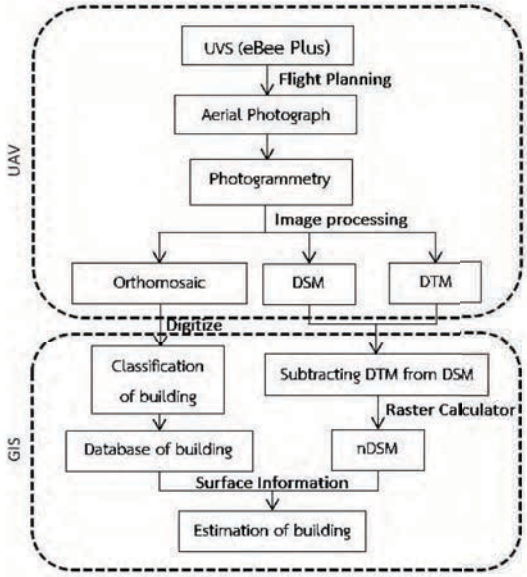
รอบ ๆ อาคาร (3 เมตร) จากนั้นคำนวณหาความสูงของอาคารจากสมการ ดังนี้ Building height = Mean DSM – Min DSM_m7*7 และคำนวณความคาดเคลื่อนจากผลของความสูงอาคารระหว่างค่า Building height ของภาพดาวเทียม และภาพที่คณะวิจัยจัดทำเป็นตัวอ้างอิง ผลการศึกษาพบว่า ความสูงเฉลี่ยของอาคารประมาณ 4.07 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) 6.37 กล่าวคือ ค่าความสูงจากการศึกษานั้นมีค่าความถูกต้องต่ำ

Lim et al. (2015) [5] ทำการคำนวณความสูงและขนาดเรือนยอดของต้นไม้จากภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้โดรน มีขั้นตอนการศึกษา คือ นำข้อมูล DTM มาลบออกจาก DSM เพื่อให้ได้ความสูงของพื้นผิวปกติ (Normalized Digital Surface Model: nDSM) และนำภาพออร์โธโมเสคมาทำการแบ่งจำแนกพื้นที่ต้นไม้ในรูปแบบ shapefiles จากนั้นคำนวณความสูงของต้นไม้จากค่าของ nDSM ที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่ต้นไม้ที่จำแนกไว้ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของค่าความสูงโดยนำกล้องสำรวจประมวลผลรวม (Total station: TS) มาตรวจวัดความสูงต้นไม้เปรียบเทียบกับค่าความสูงต้นไม้ที่คำนวณได้จากภาพถ่าย ผลการตรวจสอบความถูกต้องพบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงของสองวิธีมีความแตกต่างกันที่ 0.5 เมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง 0.84 กล่าวคือ ทั้งสองวิธีแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

3. การดำเนินการวิจัย

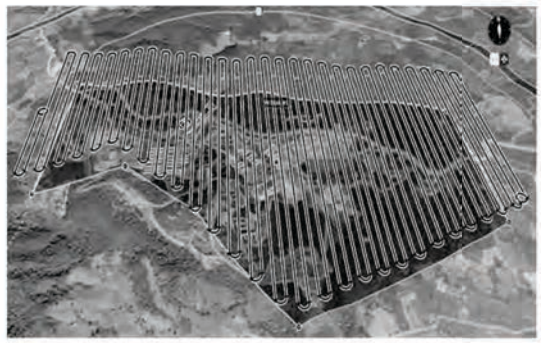
กรอบแนวความคิดของการวิจัยครั้งนี้ คือการนำระบบยานไร้คนขับและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาวิเคราะห์หาปริมาตรความสูงของอาคาร แสดงดังรูปที่ 4 โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

3.1 การผลิตถ่ายภาพทางอากาศจาก UVS รุ่น eBee Plus กล้อง S.O.D.A. วางแผนการบิน (Flight Planning) ด้วยซอฟต์แวร์ eMotion3 โดยกำหนดค่าส่วนซ้อน (Overlap) 75% และส่วนเกย (Sidelap) 70% ความสูงการบิน 170 เมตร ความละเอียดจุดภาพ



รูปที่ 4 กรอบแนวความคิด

(Ground sampling distance: GSD) 4 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5 จากนั้นนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเข้าสู่การประเมินผล (Image processing) ด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ Pix4D mapper 4.4.12 เพื่อประมวลผลข้อมูลภาพ Orthomosaic, DSM และ DTM [6]



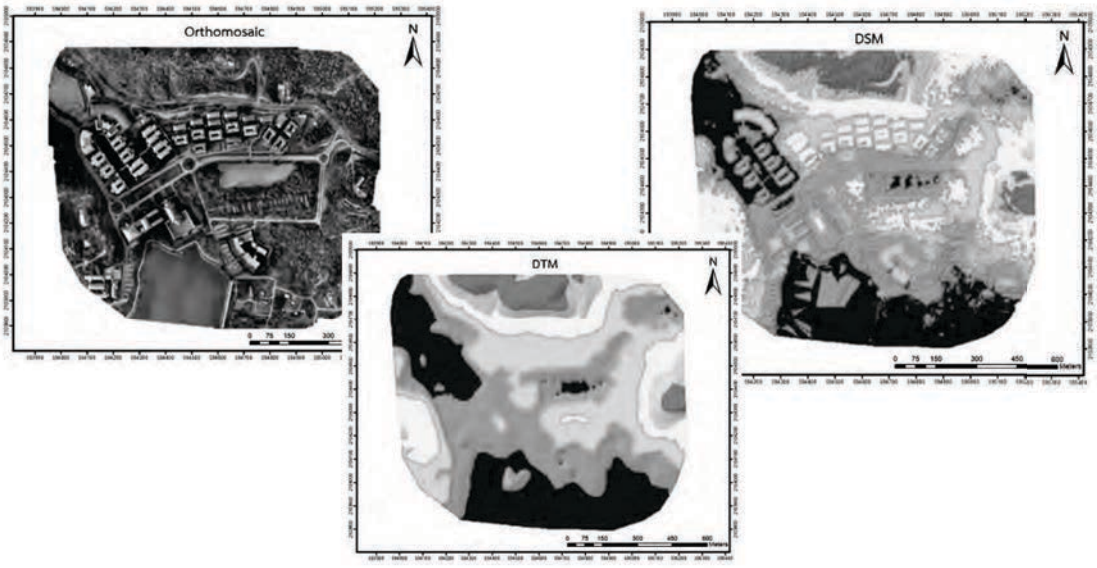
รูปที่ 5 การวางแผนการบิน

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาตรความสูงของอาคาร ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การสร้างฐานข้อมูลอาคารในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยจำแนกพื้นที่อาคาร (Classification of building) ในข้อมูลภาพออร์โธโมเสคให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Digitize) [7] เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล (Database of building) สำหรับคำนวณปริมาตรความสูงของอาคาร และส่วนที่ 2 การคำนวณความสูงของพื้นที่ศึกษาโดยทำการตัดความสูงของภูมิประเทศออกให้เหลือเพียงค่าความสูงของวัตถุบนพื้นโลกเท่านั้น (Subtracting DTM from DSM) โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculator ขั้นตอนสุดท้ายนำข้อมูลความสูงของวัตถุบนพื้นโลก (nDSM) แสดงผลร่วมกับฐานข้อมูลอาคารโดยใช้เครื่องมือ Surface Information [8]

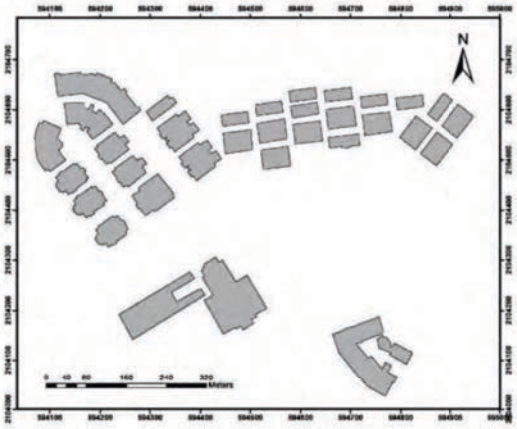
4. ผลการศึกษา

4.1 การผลิตถ่ายภาพทางอากาศ ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ ประกอบด้วย ข้อมูลภาพออร์โธโมเสค แบบจำลองพื้นผิวดิจิตอล และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข แสดงดังรูปที่ 6

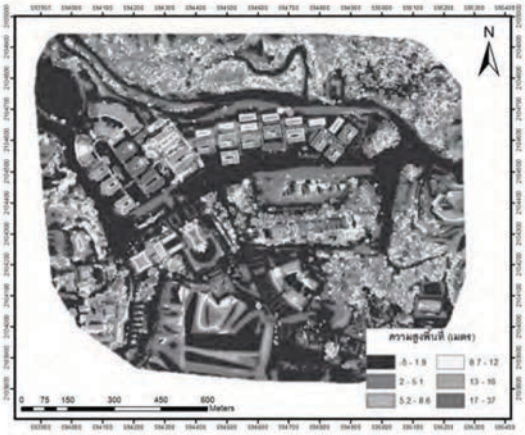
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาตรความสูงของอาคาร ส่วนที่ 1 การสร้างฐานข้อมูลอาคารในรูปแบบเวกเตอร์ แสดงดังภาพที่ 7 ส่วนที่ 2 การคำนวณความสูงของวัตถุบนพื้นโลกในพื้นที่ศึกษา พบว่า หลังจากทำการตัดความสูงของภูมิประเทศออกมีความสูงอยู่ระหว่าง -5 ถึง 37 เมตร แสดงดังรูปที่ 8 และเมื่อแสดงผลร่วมกับฐานข้อมูลอาคาร พบว่า อาคารมีความสูงอยู่ระหว่าง 6 ถึง 14 เมตร แสดงดังรูปที่ 9 และตารางที่ 1



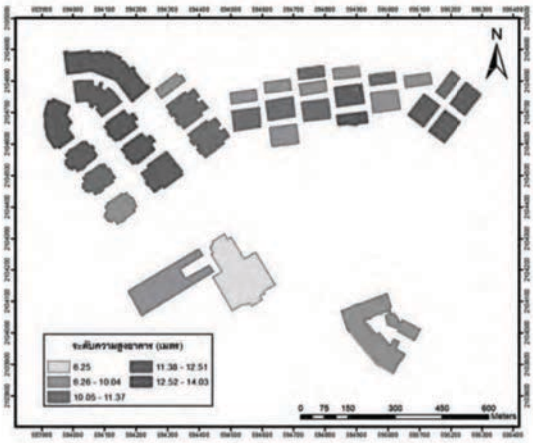
รูปที่ 6 ข้อมูลจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ



รูปที่ 7 ฐานข้อมูลอาคารในรูปแบบเวกเตอร์



รูปที่ 8 ความสูงของวัตถุบนพื้นโลก



รูปที่ 9 ความสูงอาคารจากการคำนวณ

ตารางที่ 1 ความสูงอาคารจากการคำนวณ

FID	Height (m)	FID	Height (m)
1	11.09	18	9.33
2	10.61	19	11.09
3	9.51	20	11.31
4	8.61	21	10.04
5	11.81	22	9.70
6	10.64	23	11.58
7	9.36	24	14.03
8	11.87	25	9.59
9	13.12	26	11.30
10	13.62	27	9.67
11	13.52	28	10.68
12	12.51	29	12.10
13	13.50	30	12.10
14	9.69	31	12.04
15	10.79	32	9.96
16	11.37	33	6.25
17	9.85		

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การผลิตภาพถ่ายทางอากาศจาก UVS รุ่น eBee Plus เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล Orthomosaic, DSM และ DTM ที่มีประสิทธิภาพนั้นควรให้ความสำคัญเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งโดยการรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบ RTK (Real time kinetics) [9] และการวางแผนการบิน ควรเลือกตำแหน่งของการบินที่สามารถขึ้นบินและลงจอดได้สะดวก อยู่ในบริเวณกลางแนวบิน ระยะการติดต่อระหว่างรีโมตกับอากาศยานจะต้องไม่ถูกบดบังด้วยอาคารหรือต้นไม้ที่หนาแน่นหรือสันเขา

การนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศไปใช้ในการศึกษาหาปริมาตรความสูงของอาคารนั้น เนื่องด้วยข้อจำกัดของงานวิจัยในครั้งนี้ทางคณะวิจัยไม่มีข้อมูล Point Cloud ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำในการหาปริมาตรความสูงมากกว่า ทำให้การหาปริมาตร

ความสูงที่ได้จากการศึกษานี้ เป็นเพียงการประมาณค่าความสูงเฉลี่ยของอาคารเท่านั้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจจะไม่ถูกต้องและแม่นยำมากนัก ดังนั้นการจะนำขั้นตอนของการวิจัยในครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันและประเมินความเสียหายด้านภัยพิบัติ จึงจำเป็นต้องมีการใช้ข้อมูล Point Cloud ที่มีความถูกต้องและแม่นยำควบคู่ไปกับการตรวจสอบความสูงอาคารโดยใช้เครื่องมือวัดสำรวจตามมาตรฐานสากลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของการวิเคราะห์ต่อไป

รายงานผลการศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาองค์ความรู้โครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน ภายใต้กิจกรรมการประชุมเตรียมการร่วมภาคีนักวิจัยโครงการ เพื่อการเผยแพร่ผลงานโครงการ รหัสงบประมาณ 113.0200163 C2 TKP

6. เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2018. Disaster Data & Statistics. Available from: www.preventionweb.net/knowledgebase/disaster-statistics [Accessed 12 March 2020]

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2559. ข้อมูลตัวชี้วัด "จำนวนพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติทางธรรมชาติ". ข้อมูลจาก www.onep.go.th/env_data/2016/01_77 [ค้นเมื่อ 12 มีนาคม 2563]

[3] Eversmann B., 2013, Digital Elevation Models and Relief Shading. Royal University of Agriculture, Faculty of Land Management and Land Administration

[4] Lim YS, La PH, Park JS, Lee MH, Pyeon MW, Kim JI. 2015. Calculation of Tree Height and Canopy Crown from Drone Images Using Segmentation, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 33, No. 6, 605-613, 2015.

[5] Marc, B., Dennis, D., Yves, C. & Jean-Paul, D. 2006. Analysis of buildings height computed on a DSM generated from a VHR satellite stereopair. 1st EARSeL workshop of the SIG Urban Remote Sensing Humboldt Universität zu Berlin, 2-3 March 2006.

[6] ชำนาญ ขุมทรัพย์ (2562) การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการวิจัยและพัฒนาสู่ภาคการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม (The Technology Transfer of Research and Development Project to Academic and Industrial Sectors). วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ (National Defence Studies Institute Journal) ฉบับที่ 2 ปีที่ 10 พฤษภาคม – สิงหาคม 2562, น. 12-25.

[7] รศ.สุเพชร จิรขจรกุล. 2552. เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท เอส.อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

[8] Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). 2020. Add Surface Information. Available from: https://desktop.arcgis.com /en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox /add-surface-information.htm [Accessed 12 March 2020]

[9] ธีรศักดิ์ อุปการ และชำนาญ ขุมทรัพย์. 2561. การบินถ่ายภาพด้วย UVS เพื่อวัตถุประสงค์การผลิตแผนที่ภาพถ่ายมาตราส่วนใหญ่. วารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. ปีที่ 3 ฉบับที่ 23. กรกฎาคม–กันยายน. น. 88–90.

การจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลวที่ส่งผลต่อความเสียหายของเหล็กกล้าไร้สนิมในกระบวนการงานหล่ออินเวสต์เมนต์เข็มทออวน

วรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ [1*] พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์ [1] และ พิมพ์รภัส งามสันติวงศ์ [2***]**

วันที่รับ 16 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไข 26 มีนาคม 2563 วันตอบรับ 8 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

ในการผลิตเข็มทออวนซึ่งสามารถทนต่อการสึกหรอและใช้งานได้ยาวนานทำให้การผลิตสินค้าประเภทตาข่ายมีประสิทธิภาพดีได้รับการศึกษาอย่างละเอียด เพื่อกำหนดวิธีการขึ้นรูปให้ได้คุณภาพที่ต้องการ กระบวนการหล่อโลหะเป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดที่รู้จักกันในการผลิต โดยกระบวนการหล่อในการหล่อการลงทุน เรียกว่า "หล่อขี้ผึ้ง" สำหรับการออกแบบการหล่อแม่พิมพ์ในกระบวนการหล่อขี้ผึ้งนั้นเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องมีพฤติกรรมการไหลที่ราบรื่นของเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิสูงกว่า 1600 ℃ โปรแกรม CAST-DESIGNER™ วิเคราะห์การไหลของโลหะเหลวเพื่อแสดงการจำลองการแข็งตัวของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์ ความไม่เหมาะสมของปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนและการใช้แม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสมเป็นเงื่อนไขหลักที่นำไปสู่การหล่อที่มีข้อบกพร่อง เช่น การหมุนที่ไม่ถูกต้อง การปิดเย็น การหดตัว รูเข็ม รูอากาศ และความพรุนในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

คำสำคัญ : กระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์, การจำลองสถานการณ์, เหล็กกล้าไร้สนิม

[1] วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล์: wannalak.l@cit.kmutnb.ac.th

[**] ผู้แต่ง, อีเมล์: patrpimol.s@cit.kmutnb.ac.th

[***] ผู้แต่ง, อีเมล์: phimraphas.n@dti.or.th

Simulating the flow behavior of liquid metal affecting the damage of stainless steel in the Investment Casting process

Wannalak Laotweesub [1*] Patpimol Suwankan [1**] and Phimraphas Ngamsantivongsa [2***]

Received 16 March 2020 Revised 26 March 2020 Accepted 8 April 2020

Abstract

In the production of hook which could endure the wear and be used for a long lifetime, enabling the net production with a good efficiency has been intensively studied to determine the forming method for achieving the desired quality and getting a higher fine surface of net hook. The metal casting process is the oldest method known to produce by a casting process in Investment Casting so called "Lost Wax" casting. For the design of mold casting in the lost wax casting process, it is critical to get the smooth flow behavior of stainless steel at a temperature higher than 1600 °C. The CAST-DESIGNER™ program was used to analyze the flow of liquid metal to represent the simulation of the solidification for stainless steel cause defects in the products. The unsuitability of heat transfer phenomena and the use of the unsuitable mold are the main conditions leading to the defective casting with defects such as misruns, cold shuts, shrinkage, pin holes, air holes and porosity in the final products.

Keywords : Investment casting, simulation, stainless steel.

[1] Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[2] Knowledge and Publication Management Department-TKP, Defence Technology Institute.

[*] Corresponding author, E-mail: wannalak.l@cit.kmutnb.ac.th

[**] Corresponding author, E-mail: patrpimol.s@cit.kmutnb.ac.th

[***] Corresponding author, E-mail: phimraphas.n@dti.or.th

1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรมผู้ผลิตส่วนใหญ่มีการแข่งขันเพื่อความเป็นเลิศในวงการอุตสาหกรรมนั้น ๆ มีวิสัยทัศน์และนโยบายเพื่อการพัฒนาโดยการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ทั้งในด้านคุณภาพและการให้บริการ อุตสาหกรรมหล่อโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากงานหล่อมักถูกนำไปใช้เป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์เครื่องจักรกล รวมไปถึงชิ้นส่วนยานยนต์อื่น ๆ ซึ่งโดยมากมีรูปทรงที่มีความซับซ้อนเกินกว่าจะทำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีอื่นได้ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการหล่อในประเทศยังได้รับการพัฒนาและสนับสนุนไม่มากนัก ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพโดยรวมของอุตสากรรมหล่อในประเทศยังต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมเดียวกันในประเทศที่พัฒนาแล้ว [1] ปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง คือ การมีความรู้และความเข้าใจในพื้นฐานของกระบวนการผลิต สมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ต้องการหล่อ [2] การออกแบบระบบงานหล่อที่เหมาะสม และตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการวิเคราะห์รอยบกพร่องที่เกิดจากการหล่อ [3] ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรให้ทนทานต่อการใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาในภาคอุตสาหกรรม [4] เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนที่มีความแข็งแรงทนทาน ดังเช่นเครื่องทอที่ใช้ในการผลิตอวน ชิ้นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตอวนโดยตรงในการทออวน คือ เข็มทออวน (Hook)

การผลิตเข็มทออวนที่สามารถทนทานการสึกหรอใช้งานได้ยาวนาน โดยสามารถใช้ในการผลิตแหอวนให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี จึงมีการศึกษาค้นคว้ากรรมวิธีขึ้นรูปชิ้นงานที่มีคุณภาพและได้ผิวชิ้นงานที่มีความละเอียดสูง [5] สำหรับเข็มทออวน ซึ่งในกระบวนการหล่อโลหะที่รู้จักกันเก่าแก่มากที่สุดจะสร้างโดยวิธีกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า งานหล่อขี้ผึ้งหาย (Lost Wax) ทั้งยังได้ผิวชิ้นงานที่มีความเรียบละเอียดสูง โดยมีจำนวนหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตงานหล่อประเภทนี้ ซึ่งต้องอาศัยความแม่นยำในการปฏิบัติงานเป็นสำคัญ ทำให้ได้ชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพตามความต้องการ

2. กระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting)

กระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์หลายขั้นตอนในการเตรียมวัสดุโลหะการศึกษาครั้งนี้ใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 431 เพื่อหล่อเข็มทออวน อุณหภูมิในการเท (Pouring Temperature) 1650 °C เทวัสดุลงในแม่พิมพ์หล่อก่อนที่จะเทโลหะลงในแม่พิมพ์ ตั้งเตาให้ร้อนที่อุณหภูมิแม่พิมพ์ 1150 °C จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ [6]

จากการศึกษาปัจจัยในงานหล่ออินเวสต์เมนต์ที่ส่งผลต่อชิ้นงานหล่อเข็มทออวน เช่น อุณหภูมิในการเท (Pouring Temperature) อุณหภูมิการอบแม่พิมพ์ (Preheating Temperature) เวลาในการอบแม่พิมพ์ (Preheat Time) อัตราการเท (Pouring Rate) และเวลาในการปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (Cooling Rate) ของแม่พิมพ์งานหล่อ โดยทำการศึกษากระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการไหลของน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์หล่อ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

(a) (b)

รูปที่ 1 (a) ตำแหน่งเข็มทออวนในเครื่องทออวน
(b) เข็มทออวนที่ผลิตในโรงงาน

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อชิ้นงานหล่อจากกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์

ที่	ขั้นตอนการผลิต	ผลกระทบ	ปัจจัยสาเหตุ
1	ฉีดขี้ผึ้ง (wax)	1.1 ชิ้นงานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ 1.2 ชิ้นงานมีครีบมาก	- อุณหภูมิของวัสดุยังไหลตัวไม่ดี - เครื่องฉีดชำรุด - แม่พิมพ์ชำรุด
2	ตกแต่งชิ้นงาน	2.1 มีรอยตำหนิ	- คนงานขาดความชำนาญในการตกแต่ง
3	ตกแต่งชิ้นงาน	3.1 ชิ้นงานไม่ติดหรือหลุดออกก้านรูเท ได้ง่าย	- วิธีการบัดกรีเชื่อมขี้ผึ้ง - คนงานขาดความละเอียดถี่ถ้วน
4	ล้างน้ำยาทำความสะอาด (IPA)	4.1 มีเศษผงติดชิ้นงาน	- น้ำยามีการใช้ซ้ำอีก ไม่ได้กำจัดตะกอนหลังใช้งาน
5	จุ่มน้ำกาวและโปรยทราย ชั้น 1 ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ชั้น 2-5 ทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง ชั้น 6 ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	5.1 น้ำกาวร่อนไม่ติดชิ้นงาน 5.2 มีรอยร้าวหรือรอยแตกที่ผิวแม่พิมพ์ 5.3 เกิดฟองอากาศที่ผิวน้ำกาว	- น้ำกาวมีความหนืดมากเกินไป - ความชำนาญในการจุ่มกาวของคนงาน - ส่วนผสมและคุณสมบัติของน้ำกาว - ความชื้นของอากาศของห้องจุ่มน้ำกาว - ระยะเวลาปล่อยให้แห้งก่อนโปรยทราย - วิธีการจุ่มน้ำกาวโดยการสลัดฟองอากาศ
6	ดีแวกซ์แม่พิมพ์ (Dewax) ใช้เวลา 15 นาที/รอบ ที่อุณหภูมิ 150 °C	6.1 ผิวแม่พิมพ์ภายในไม่เรียบ 6.2 ผิวงานภายในแม่พิมพ์ไม่สะอาด	- วิธีการกำจัดขี้ผึ้งไม่เหมาะสม เช่น เวลาและอุณหภูมิ - ส่วนผสมขี้ผึ้งใหม่กับขี้ผึ้งที่ใช้แล้ว - วิธีการวางจัดเก็บแม่พิมพ์หลังเอาขี้ผึ้งออก - สถานที่มีฝุ่นละอองมาก
7	อบแม่พิมพ์ จากอุณหภูมิ 25-1150 °C เผาแช่ในเตาไว้ 2 ชั่วโมง	7.1 แม่พิมพ์แตกร้าว	- วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ - อุณหภูมิในการอบเริ่มต้น - การจัดวางตำแหน่งแม่พิมพ์ในเตา
8	เทหลอมโลหะ อุณหภูมิหลอม 1650 °C กำจัดออกซิเจนด้วยก๊าซอาร์กอน ทุก 5 นาที และเติมอะลูมิเนียม	8.1 เทไม่เต็มแบบ 8.2 ชิ้นงานมีตามดและรูพรุน	- อุณหภูมิในเผาอุ่นแม่พิมพ์ไม่พอ ปูนยังไม่สุก - ส่วนผสมของน้ำโลหะ - แม่พิมพ์มีผงเศษปูนติดอยู่ภายใน - อัตราการเย็นตัวของน้ำโลหะ
9	กระแทกเปลือกโมลด์	-	-
10	ยิงทราย	-	-
11	ตัดแม่พิมพ์	-	-
12	เจียรตกแต่งชิ้นงาน	-	-

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อชิ้นงานหล่อจากกระบวนการหล่ออินเวสต์เมนต์ (ต่อ)

ที่	ขั้นตอนการผลิต	ผลกระทบ	ปัจจัยสาเหตุ
13	อบชิ้นงานปรับโครงสร้างเหล็ก (Heat Treatment)	13.1 ชิ้นงานมีความแข็งไม่สม่ำเสมอ มีความแข็งเปราะ	- อุณหภูมิของเตา - เวลาในการอบต่อจำนวนชิ้นงานแต่ละครั้ง - สมบัติและโครงสร้างวัสดุที่หล่อ
14	โม่ทรายขัดผิว	14.1 มีร่องดำตรงหัวตะขอ 14.2 เกิดสนิมบริเวณมุมร่องตะขอ	- ขนาดเบอร์เม็ดทรายหยาบเกินไป - รูปทรงชิ้นงานมีมุมแคบยากต่อการขัดผิว - ชิ้นงานถูกความชื้นจากน้ำ - ส่วนผสมเคมีเหล็กกล้าไร้สนิม - ความสะอาดของเศษโลหะต่าง ๆ
15	เคาะตรง	-	-
16	กลึงปอกบ่าและเจาะรู	16.1 ชิ้นงานมีรอยร้าวในเนื้อเหล็ก	- อุณหภูมิในการเทหลอมโลหะ - ขนาดหน้าตัดทางเข้าน้ำโลหะไหลเข้าชิ้นงาน

3. การจำลอง (Simulation)

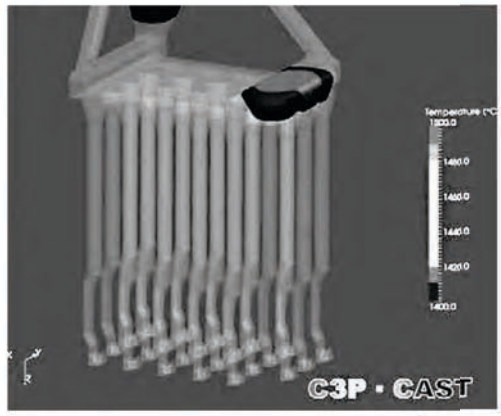
ปัญหาที่พบนั้นมักเกิดขึ้นในกระบวนการหล่อ การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้เป็นตามมาตรฐานการปฏิบัติงานให้คงที่ ซึ่งมักเกิดจากพนักงานในโรงงานขาดทักษะและความเข้าใจ การเอาใจใส่ในงานที่รับผิดชอบ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ในเบื้องต้น และในการศึกษาครั้งนี้ยังได้ใช้โปรแกรมมาทำการวิเคราะห์แม่พิมพ์งานหล่อ ซึ่งปัจจุบันโรงงานทำการออกแบบระบบป้อนเติมน้ำโลหะให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับชิ้นงาน เพื่อความประหยัดในเรื่องของต้นทุนและเวลา จากการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ชิ้นงานหล่อโดยจำลองการไหลและการเย็นตัวด้วยซอฟต์แวร์ CAST-DESIGNER™

จึงทำการศึกษาและออกแบบระบบป้อนเติมน้ำโลหะ (Gating System) ซึ่งมีหน้าตัดทางวิ่งน้ำโลหะ (Runner) จากนั้นศึกษาความแตกต่างของมุมทางเข้าน้ำโลหะของชิ้นงาน (Gate) ส่งผลต่อเวลาในการไหลเติมน้ำโลหะ (Filling Time) การเทน้ำโลหะไหลเข้าจนเต็มแม่พิมพ์เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิในการเท ซึ่งอาจมีผลความเสียหายในงานหล่อที่เกิดขึ้น โดยเป็นปัจจัยทำให้การไหลของน้ำโลหะไหลเข้าสู่แบบแม่พิมพ์ไม่สมบูรณ์

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

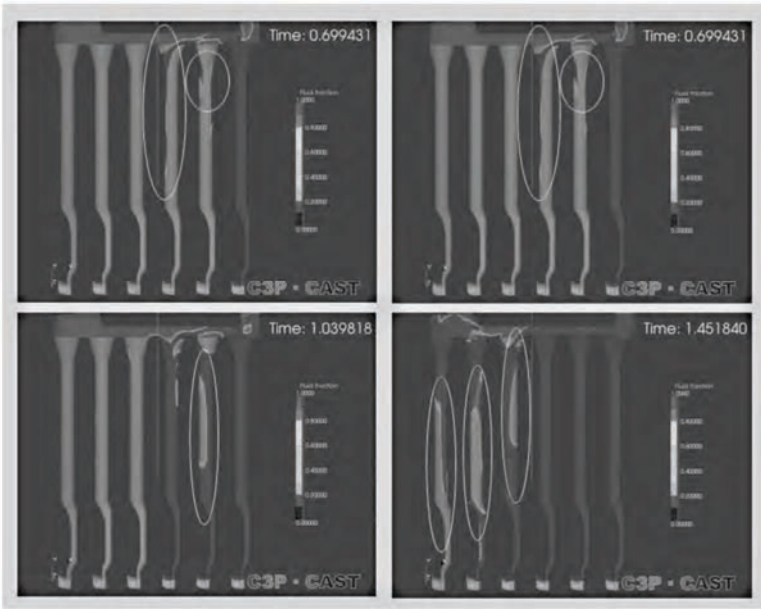
เพื่อออกแบบระบบป้อนเติมน้ำโลหะจากการหารูปแบบหน้าตัดที่ส่งผลดีต่อการไหลของน้ำโลหะให้เต็มแม่พิมพ์ (Fluid Fraction) อุณหภูมิการเทน้ำโลหะเหลว และเวลาในการแข็งตัวของโลหะ (Solidification Time) สามารถนำมาเปรียบเทียบความเสียหายที่เกิดขึ้นจากรูปแบบแม่พิมพ์ของงานหล่อที่โรงงานใช้อยู่จริงในปัจจุบัน และเป็นแนวทางในการคิดสร้างแม่พิมพ์ที่ออกแบบใหม่ได้ โดยการใช้โปรแกรมจำลองการไหลให้เต็มแม่พิมพ์อย่างสมบูรณ์ โดยโปรแกรมสามารถจำลองวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะที่วิ่งเข้าสู่ชิ้นงาน เห็นความเป็นไปได้ของความเสียหายในชิ้นงานหล่อเนื่องจากการออกแบบระบบทางเข้าของน้ำโลหะ (Gating System) ที่นำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานจริง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลจากพฤติกรรมการไหลของน้ำโลหะในแม่พิมพ์งานหล่อ แสดงให้เห็นดังในรูปที่ 2 และ 3

รูปที่ 2 การเย็นตัวของชิ้นงานหล่อ



รูปที่ 3 แสดงการเกิดโพรงอากาศในชิ้นงาน

จากการจำลองการไหลของน้ำโลหะด้วยโปรแกรมจำลองสถานการณ์ดังกล่าวเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงาน จังหวะในการไหลของน้ำโลหะที่อุณหภูมิเท 1650 °C ไหลเข้าสู่โพรงแบบแม่พิมพ์หล่อ ซึ่งตัดส่วนของระบบเติมป้อนน้ำโลหะออกไป นำมาแสดงเฉพาะตำแหน่งชิ้นงานหล่อ โดยได้แสดงให้เห็นในภาพจำลองการไหลเป็นช่วงจังหวะเวลาออกเป็น 4 ขั้นตอนการทำงาน ดังนี้



รูปที่ 4 การจำลองการไหลของการวิเคราะห์สาเหตุของข้อผิดพลาดในการหล่ออินเวสต์เมนต์

จากการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของน้ำโลหะที่วิ่งเข้าสู่โพรงแบบแม่พิมพ์ มีการไหลของน้ำโลหะไม่สม่ำเสมอ และมีการไหลวนของน้ำโลหะและอากาศที่อยู่ภายในโพรงแบบของแม่พิมพ์ชิ้นงานหล่อ ซึ่งทำให้เกิดช่องว่างอากาศในเนื้อชิ้นงานส่งผลให้บริเวณที่มีมุมร่องขนาดเล็ก (Undercut) ที่ไหลเข้าถึงได้ยาก ปรากฏผลว่าน้ำโลหะไหลเข้าไปไม่เต็มแม่พิมพ์ เนื่องจากอุณหภูมิน้ำโลหะเย็นตัวลงจนถึงจุดแข็งตัวเป็นของแข็งก่อนที่จะไหลเข้าสู่ส่วนปลายชิ้นงานของเข็มทออวน ซึ่งลักษณะข้อบกพร่องความเสียหายแบบนี้เรียกว่า Misrun และ เป็นปัญหาใหญ่ที่สำคัญในการผลิตของโรงหล่อที่เกิดของเสียในชิ้นงานหล่อมากที่สุด

จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการหล่อชิ้นงานเข็มทออวน พบว่า ปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการหล่อส่งผลความเสียหายของชิ้นงานหล่อที่เกิดขึ้น เช่น การเทหล่อไม่เต็มแบบแม่พิมพ์ (Misrun/Cold Shut) รูพรุน ตามด (Blowholes/Pin Holes) โพรงอากาศในชิ้นงานหล่อเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage Porosity) ดังแสดงในรูปที่ 5 ตามลำดับ

รูปที่ 5 ความเสียหายที่ได้รับผลกระทบต่อการหล่ออินเวสต์เมนต์

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของแบบแม่พิมพ์ที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากรูปแบบระบบทางวิ่งน้ำโลหะ (Gating System) ซึ่งควรมีการทดลองออกแบบระบบทางวิ่งน้ำโลหะรูปแบบใหม่ให้มีระบบป้อนเติมในการไหลของน้ำโลหะมีความต่อเนื่อง เพื่อให้โพรงแบบมีทางวิ่งน้ำโลหะของชิ้นงานหล่อสามารถไหลเต็มแบบแม่พิมพ์ได้ง่ายและสม่ำเสมอ ให้ความเหมาะสมกับชิ้นงาน และอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นสาเหตุให้การไหลน้ำโลหะไหลเข้าโพรงแบบไม่เต็มแบบแม่พิมพ์ ซึ่งน้ำโลหะมีอุณหภูมิที่เทหล่อสูงกว่าอุณหภูมิจุดแข็งตัวไม่มาก ทำให้น้ำโลหะแข็งตัวเป็นของแข็งก่อนไหลเข้าเต็มแบบแม่พิมพ์ซึ่งส่วนปลายเข็มทออวนมีรูปร่างขนาดเล็กซับซ้อน หากอุณหภูมิสูงไม่พอก็ไม่สามารถไหลเข้าสู่แบบแม่พิมพ์ได้เต็มถึงส่วนปลายของชิ้นงานหล่อ ทั้งสองสาเหตุจึงมีส่วนส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องให้ชิ้นงานหล่อเกิดความเสียหายได้มากจนกลายเป็นต้นทุนในการผลิตชิ้นงานหล่อที่สูงขึ้นได้

6. กิตติกรรมประกาศ

การจำลองในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยโปรแกรมนักออกแบบจาก 4D corporation Co., Ltd. และสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการทดลองได้รับการสนับสนุนโดย Khon Kaen Fishing Net (Public) Co., Ltd.

7. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Jones, C. Yuan. (2003), Advances in shell moulding for investment casting, Journal of Materials Processing Technology 135, 258–265.

[2] Adrian S. Sabau, Srinath Viswanathan. (2003), Material properties for predicting wax pattern dimensions in investment casting, Materials Science and Engineering A362, 125–134.

[3] S. Lun Sin, D. Dube, R. Tremblay. (2008), An investigation on microstructural and mechanical properties of solid mould investment casting of AZ91D magnesium alloy, Materials Characterization 59, 178-187.

[4] Barbara Previtali, Dante Pocci, Cataldo Taccardo. (2008), Application of traditional investment casting process to aluminium matrix composites, Composites: Part A39, 1606–1617.

[5] M.M.A. Rafique, J. Iqbal. (2009) Modeling and simulation of heat transfer phenomena during investment casting, International Journal of Heat and Mass Transfer 52, 2132–2139.

[6] Patpimol Suwankan, Nuttaphong Sornsuwit, Nuchthana Poolthong. (2015), Design of runner and gating systems for the investment casting of 431 stainless steel netting hook through numerical simulation, Key Engineering Materials 659, 647-651

การหาเส้นทางที่เหมาะสม ในสภาพแวดล้อมที่มีอันตรายโดยใช้แผนภาพโวโรนอย

เทียนสิริ เหลืองวิไล [1*] วีระพล วิลามาศ [1] สมภูมิ มีชาวนา [1] และ สุภาวดี ลีลายุทธ [1]

วันที่รับ 1 เมษายน 2563 วันที่แก้ไข 18 เมษายน 2563 วันตอบรับ 20 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการวิเคราะห์การนำไปประยุกต์ใช้ของแผนภาพโวโรนอย ในกระบวนการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอากาศยานทางทหารในพื้นที่เสี่ยงภัย ในอดีตการเลือกเส้นทางของกองกำลังทหารนั้นจะอาศัยประสบการณ์และความสามารถเฉพาะตัวของผู้นำทางทหาร แต่ด้วยสมรภูมิในยุคปัจจุบันมีความซับซ้อนมากขึ้น กองกำลังใหญ่ขึ้น มีการรวมกำลังทั้งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ มีการใช้เรดาร์ตรวจจับแบบเคลื่อนที่ มีการใช้อากาศยานและยานยนต์ไร้คนขับมากยิ่งขึ้น ทำให้การตัดสินใจในการเลือกเส้นทางสำหรับปฏิบัติภารกิจมีความซับซ้อนและยากยิ่งขึ้น ดังนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีอัลกอริทึมมาช่วยในการวิเคราะห์และคาดเดาเส้นทางที่ดีที่สุดในการปฏิบัติภารกิจแต่ละครั้ง ในงานวิจัยนี้พื้นที่สนใจในสมรภูมิจะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ด้วยแผนภาพโวโรนอย จากนั้นพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมด้วยระบบเรดาร์ของข้าศึกจะถูกคำนวณแล้วตัดออกจากเส้นทางที่สามารถใช้เดินทางได้ เส้นทางที่เหลืออยู่ทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์หาเส้นทางที่สั้นที่สุดด้วยอัลกอริทึมของไดก์สตรา ในกระบวนการสุดท้ายจะดำเนินการปรับเส้นทางบินของอากาศยานให้ราบเรียบขึ้นด้วยกระบวนการประมาณค่าด้วยสมการพหุนาม

คำสำคัญ : ระบบเรดาร์, แผนภาพโวโรนอย, อัลกอริทึมของไดก์สตรา, เส้นทางที่เหมาะสม

[1] กองวิชาคอมพิวเตอร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช กรุงเทพฯ

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: thiansiri.l@gmail.com

Optimal path in a hostile environment using Voronoi diagram

Thiansiri Luangwilai [1*] Weerapol Welamas [1] Sompoom Meechown [1] and Supavadee Leelayuth [1]

Received 1 April 2020 Revised 18 April 2020 Accepted 20 April 2020

Abstract

The objective of this study is to investigate the use of Voronoi diagram to find optimal paths for military aircrafts in hostile environment. In the past, choosing the best paths for military forces depended on commanders' experience and expertise. For modern warfare, battlefields become more sophisticated with bigger forces, combined forces, mobile radars, autonomous systems etc. As a result, making decision and choosing the best possible options are complicated and difficult. It is essential to have an algorithm which is able to aid and predict the best available choice. In this study, the area of interest was divided by Voronoi diagram. Then areas which covered by radar systems were calculated and removed from Voronoi diagram. The Dijkstra's algorithm was used to search throughout the remaining paths for the optimal path. Then polynomial interpolation was used to smoothen the path and make it possible for air mission.

Keyword : Radar, Voronoi diagram, Dijkstra's algorithm, optimal path.

[1] Mathematics and Computer science Division, Navarminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy.
[*] Corresponding author, E-mail: thiansiri.l@gmail.com

1. บทนำ

ในสมรภูมิรบและการปฏิบัติภารกิจส่วนใหญ่ในอดีต จะดำเนินการเลือกเส้นทางในการปฏิบัติภารกิจโดยขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชา ซึ่งการเลือกเส้นทางเหล่านี้ จะถูกไตร่ตรองจากประสบการณ์และการฝึกของผู้บังคับบัญชาเหล่านั้น โดยการรบในอดีตมิติของสมรภูมิยังไม่ซับซ้อนมากนัก แต่สมรภูมิในยุคปัจจุบันมีการพัฒนาไปจากเดิมมาก ทำให้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น กองกำลังใหญ่ขึ้น มีการรวมกำลังทั้งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ มีการใช้เรดาร์ตรวจจับแบบเคลื่อนที่ มีการใช้อากาศยานและยานยนต์ไร้คนขับมากยิ่งขึ้น ทำให้การตัดสินใจในการเลือกเส้นทางสำหรับปฏิบัติภารกิจมีความยากยิ่งขึ้น อีกทั้งท่วงทำนองการรบมีความเร็วมากขึ้น ทำให้ผู้บังคับบัญชาเหลือเวลาในการตัดสินใจน้อยลง ความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยในสมรภูมิยุคปัจจุบันอาจจะนำมาซึ่งหายนะของทั้งประเทศได้ ดังนั้นในกระบวนการตัดสินใจนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีอัลกอริทึมมาช่วยในการวิเคราะห์และคาดการเส้นทางที่ดีที่สุดในการปฏิบัติภารกิจแต่ละครั้ง [4] [19] [28]

งานวิจัยในการหาเส้นทางที่เหมาะสมในแต่ละภารกิจนั้นได้มีการดำเนินการวิจัยในหลายรูปแบบ โดยมีการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาหลายชนิด [14] เพื่อให้มีความเหมาะสมกับโจทย์ของแต่ละปัญหา โดยแต่ละรูปแบบจะมีความยากง่ายและความต้องการข้อมูลขั้นต้นที่แตกต่างกันไป

Garrido & Moreno (2015) ได้ให้ความเห็นไว้กับการประยุกต์ใช้แผนภาพโวโรนอยมาใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นทางว่ามีข้อดีหลายประการ เช่น กระบวนการนี้มีความง่ายและตรงประเด็น การนำไปใช้ไม่ซับซ้อน มีความเร็วในการคำนวณ ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ สามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้หลายรูปแบบ รองรับสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด ซึ่งจากคุณสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นมีความเหมาะสมกับปัญหาของการวิเคราะห์เส้นทางของอากาศยานในพื้นที่อันตราย ที่ต้องการความเร็วในการวิเคราะห์และต้องการความยืดหยุ่นต่อความเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

โดยการประยุกต์ใช้แผนภาพโวโรนอยนั้นมีมากว่าร้อยปี ในแต่ละงานวิจัยจะมีแนวทางการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันไปและมีการประยุกต์ร่วมกับอัลกอลิทึมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการดำเนินการแก้ไข

ตัวอย่างงานวิจัยที่ดำเนินการใช้แผนภาพโวโรนอยควบคู่กับอัลกอลิทึมอย่างอื่น ๆ เพื่อหาเส้นทางเดินให้หุ่นยนต์หรือเครื่องจักรเช่น งานวิจัยของ Garrido & Moreno (2015), งานวิจัยของ Al-Dahhan & Schmidt (2019) และงานวิจัยของ Özcan and Yaman (2019)

งานวิจัยที่ดำเนินการใช้แผนภาพโวโรนอยเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เช่น งานวิจัยชอง Candeloro et al. (2017) ได้ดำเนินการประยุกต์ใช้แผนภาพโวโรนอยในการวิเคราะห์หาขอบของสิ่งกีดขวาง แล้วดำเนินการหาเส้นทางเดินเรือที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งกีดขวางเหล่านั้น งานวิจัยของ Makarov et al. (2018) ได้ประยุกต์ใช้ในกระบวนการวางแผนหาเส้นทางให้หลบสิ่งกีดขวางในเกมชนิด First Person Shooting (FPS) และงานวิจัยของ Tang et al. (2020) ที่ประยุกต์ร่วมกับแผนภาพความน่าจะเป็นแบบหกเหลี่ยมมาใช้ในการหลบสิ่งกีดขวางทั่วไป นอกจากนี้แล้วยังมีงานวิจัยของ Shi et al. (2019) ได้นำแผนภาพโวโรนอยไปใช้ในการหาเส้นทางของจรวดต่อต้านเรือผิวน้ำ

จากตัวอย่างที่กล่าวมากนั้น จะเห็นได้ว่าแผนภาพโวโรนอยสามารถนำไปใช้ได้อย่างหลากหลาย เพราะเป็นกระบวนการที่มีข้อดีหลายประการและประยุกต์ใช้ได้กับหลายรูปแบบของภารกิจ [5] [6] [12] [18]

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะทดสอบการประยุกต์รวมกระบวนการสร้างแผนภาพโวโรนอย [3] [12] ร่วมกับการหาพื้นที่ครอบคลุมของระบบเรดาร์ [15] [16] [25] [26] [29] จากนั้นจะดำเนินการใช้อัลกอริทึมของไดก์สตรา [9] [11] และการประมาณค่าด้วยสมการพหุนาม [23] เพื่อสร้างเส้นทางที่เหมาะสมในการปฏิบัติภารกิจทางอากาศต่อไป

2. กระบวนการวิจัย

ในกระบวนการวิเคราะห์หาเส้นทางที่ดีที่สุดในการปฏิบัติภารกิจของอากาศยานโดยการประยุกต์ใช้แผนภาพโวโรนอยนั้น มีขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน คือ 1) การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมด้วยระบบเรดาร์ตรวจจับของข้าศึก 2) สร้างแผนภาพตาข่ายโวโรนอยในพื้นที่สนใจของการปฏิบัติภารกิจ 3) หาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ไม่เข้าไปในพื้นที่การตรวจจับของระบบเรดาร์ข้าศึก 4) ดำเนินการปรับเส้นทางให้ราบเรียบเหมาะสมกับการเดินทางของอากาศยาน

2.1 การวิเคราะห์หาพื้นที่ครอบคลุมของระบบเรดาร์

ในกระบวนการหาพื้นที่ครอบคลุมของระบบเรดาร์นั้น จำเป็นที่จะต้องดำเนินการหาระยะตรวจจับไกลสุดของระบบเรดาร์นั้น ๆ ก่อน โดยระยะตรวจจับที่ไกลที่สุดหมายถึง ระยะที่ค่าพลังงานน้อยสุดที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุแล้วยังสามารถนำมาวิเคราะห์ตรวจจับวัตถุเป้าหมายได้ โดยสมการที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมเหล่านี้ [15] [16] [22] [25] [26] [29] คือ

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_e B F (SNR)_{min}}\right)^{1/4} \quad (1)$$

ในสมการนี้มีตัวแปรที่สำคัญในระบบเรดาร์หลายตัว โดยมี R_{max} เป็นระยะตรวจจับไกลสุดของระบบเรดาร์, P_t (Peak Power) เป็นค่าพลังงานสูงสุดของระบบเรดาร์ที่สามารถปล่อยออกไปได้, G (Gain) คือค่ากำลังขยายของระบบเรดาร์, λ คือ ความยาวคลื่นของระบบเรดาร์, σ (Radar Cross Section: RCS) คือค่าเฉพาะที่สะท้อนจากเป้าหมายแต่ละชนิดหรือเรียกว่าพื้นที่หน้าตัดเรดาร์, k (Boltzman Constant) คือค่าคงที่ของบ็อลทซ์มัน, B (Bandwidth) คือ ความกว้างของช่วงคลื่นที่ถูกส่งออกแล้วในแต่ละครั้ง, T_e (Effective Temperature) คืออุณหภูมิที่เหมาะแก่การทำงานของระบบเรดาร์, F (Number of Noise Figure) คืออัตราส่วนค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ของสัญญาณฝั่งเข้ากับค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ของสัญญาณฝั่งออกและตัวแปรตัวสุดท้ายคือ $(SNR)_{min}$ เป็นค่าสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดที่ยังสามารถตรวจจับเป้าหมายได้

ในกระบวนการคำนวณหาค่า $(SNR)_{min}$ จำเป็นที่จะต้องดำเนินการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นในการตรวจจับ (Probability of Detection: P_d) กับความน่าจะเป็นในการแจ้งเตือนภัยผิดพลาดของระบบเรดาร์ (Probability of False Alarm: P_{FA}) โดยได้มีงานวิจัยหลายชิ้นเพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรนี้และจากหลายงานวิจัยที่เกิดขึ้นมา ได้สรุปกระบวนการวิเคราะห์หาค่าของ $(SNR)_{min}$ ในรูปสมการอย่างง่าย โดยใช้สมการของอัลเบิร์ตซีม [22] [25] [26]

$$SNR = -5\log_{10} N + \left(6.2 + \frac{4.54}{\sqrt{N+0.44}}\right) C \quad (2)$$

โดยมีค่าของตัวแปรคือ

$$A = ln\left(\frac{0.62}{P_{FA}}\right)$$

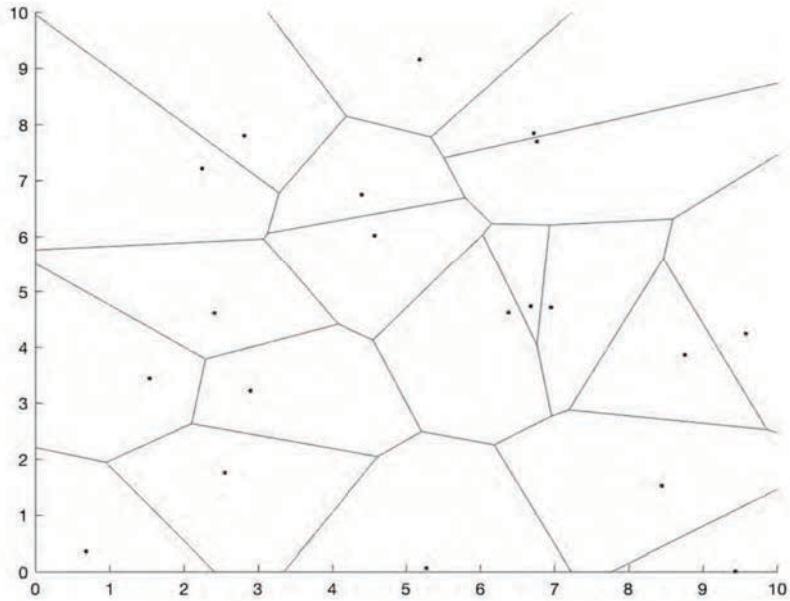
$$B = ln\left(\frac{P_d}{1 - P_d}\right)$$

$$C = \log_{10}(A + 0.12AB + 1.7B)$$

เมื่อคำนวณหาค่าของ $(SNR)_{min}$ ในระบบเรดาร์ของข้าศึกแล้ว ค่าเหล่านี้จะถูกนำกลับไปแทนค่าในสมการหาระยะการตรวจจับไกลสุดของระบบเรดาร์ในสมการที่ (1) เพื่อหาการครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์ข้าศึกต่อไป

2.2 สร้างแผนภาพตาข่ายโวโรนอยในพื้นที่สนใจของการปฏิบัติภารกิจ

แผนภาพโวโรนอย เป็นอัลกอริทึมชนิดหนึ่งในการสร้างแผนภาพตาข่ายขึ้นมา โดยในกระบวนการสร้างแผนภาพตาข่ายจะดำเนินการให้จุดแต่ละจุดบนเส้นเชื่อม (Path) (เส้นสีแดงในรูปที่ 1) ของแผนภาพโวโรนอยจะมี



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของแผนภาพโวโรนอย จุดที่กำหนด (Site) เป็นจุดน้ำเงิน เส้นเชื่อม (Path) เป็นเส้นสีแดง

ระยะห่างระหว่างไซต์ (Site) หรือจุดที่ถูกกำหนดขึ้นมาก่อน (จุดสีน้ำเงินในรูปที่ 1) สองไซต์ที่อยู่ติดกันเป็นระยะทางที่เท่ากัน [3] [13]

2.3 การหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ไม่เข้าไปในพื้นที่การตรวจจับของระบบเรดาร์ข้าศึก

ในกระบวนการต่อไปคือการดำเนินการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายโดยที่จะต้องดำเนินการหลบหลีกระบบเรดาร์ตรวจจับของข้าศึก ในงานวิจัยชิ้นนี้จะดำเนินการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมของไดก์สตรา (Dijkstra's Algorithm) [9] [11] โดยอัลกอริทึมนี้ถูกคิดค้นขึ้นมาโดยการใช้ทฤษฎีกราฟเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ เป็นอัลกอริทึมสำหรับการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยจะดำเนินการค้นหาโดยการไล่หาจุดแต่ละจุดและบวกค่าระยะทางหรือค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างจุด เพื่อให้ได้เส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ง่ายและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้ เช่น การค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการเดินรถ การวางแผนโครงข่ายการส่งสินค้า การจัดเส้นทางขนส่ง อัลกอริทึมของไดก์ยังมีความนิยมอย่างมากในหลายงานวิจัย เช่น ในงานวิจัยของ Broumi et al. (2016) และ Qing et al. (2017)

2.4 ดำเนินการปรับเส้นทางให้ราบเรียบเหมาะสมกับการเดินทางของอากาศยาน

เนื่องจากเส้นทางที่ได้จากประยุกต์ใช้อัลกอริทึมของไดก์สตราจะเป็นเส้นทางที่เชื่อมแผนภาพโครงข่ายของโวโรนอย ซึ่งจะมีการหักมุมและมีการเลี้ยวที่มุมแคบอยู่ โดยเส้นทางเหล่านี้ยังไม่เหมาะสมกับการวางแผนเดินทางของอากาศยาน ในกระบวนการต่อไปคือการนำจุดแต่ละจุดของเส้นทางเดินจากผลลัพธ์ของอัลกอริทึมของไดก์สตรามาดำเนินการทำให้เส้นทางราบเรียบขึ้น โดยในกระบวนการนี้จะใช้การประมาณค่าด้วยสมการพหุนาม (Polynomial Interpolation) [23] ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการพื้นฐานในการประมาณค่าของเส้นกราฟ อีกทั้งยังเป็นที่นิยมในหลายงานวิจัย เช่น ในงานวิจัย Dai & Cochran (2010) และ Artuñedo et al. (2017)

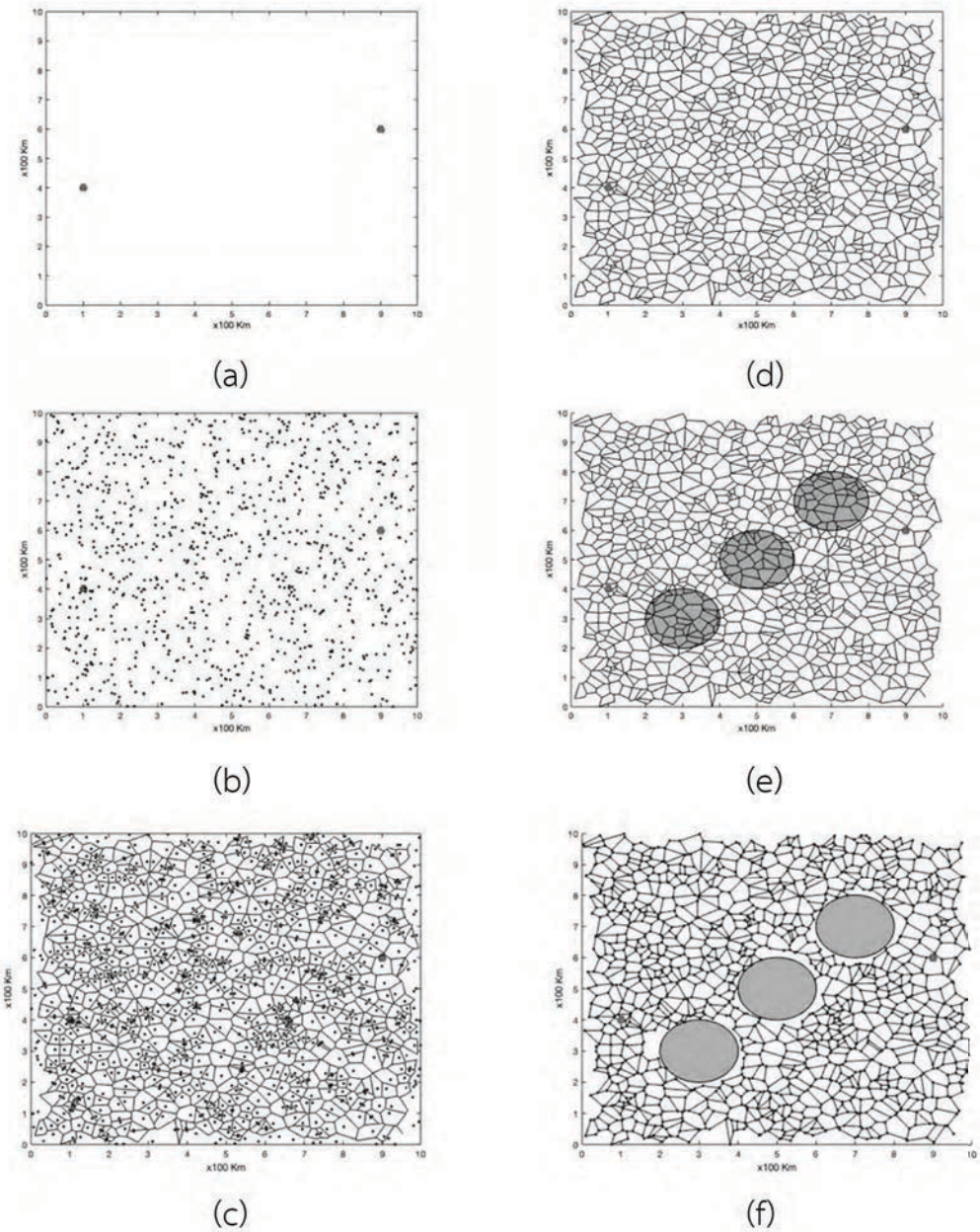
3. ผลการทดสอบ

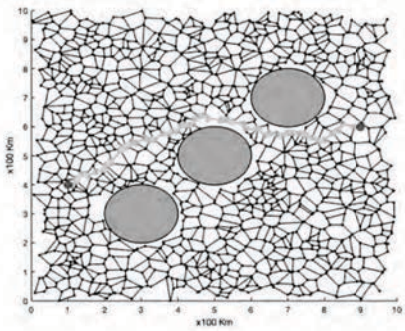
ในการประยุกต์ใช้แผนภาพโวโรนอยมาดำเนินการหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการปฏิบัติภารกิจของอากาศยานนั้น เพื่อเป็นการทดสอบอัลกอริทึมและการประยุกต์ใช้ ในขั้นตอนแรก คือการทดสอบอัลกอริทึม โดยในกระบวนการนี้จะดำเนินการสมมุติค่าตัวแปรต่าง ๆ ขึ้นมา ซึ่งค่าตัวแปรเหล่านี้สามารถปรับเปลี่ยนให้ถูกต้องได้ในภายหลัง เมื่อดำเนินการนำอัลกอริทึมชนิดนี้ไปใช้จริง แต่อย่างไรก็ตามค่าตัวแปรเหล่านี้ก็ยังใกล้เคียงกับค่าตัวแปรของระบบเรดาร์และอากาศยานที่มีใช้จริงในประเทศไทย

โดยค่าของตัวแปรต่าง ๆ มีค่าดังนี้คือ Pd = 0.95, PFA = 0.0001 ซึ่งสองค่านี้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหา $(SNR)_{min}$ = 12.2387 dB จากนั้นจะเป็นการนำค่า $(SNR)_{min}$ ไปใช้ในการกระบวนการคำนวณหาระยะตรวจจับไกลสุด (R_{max}) โดยค่าตัวแปรที่เหลือมีดังนี้ P_t = 1 MW, f = 1 Ghz, λ = 0.3 m, G = 20 dB, B = 0.1 Mhz, F = 0 และ L = 3 dB จากค่าตัวแปรเหล่านี้ ทำให้สามารถคำนวณระยะการตรวจจับไกลสุด โดยได้เท่า R_{max} = 100.4260 กิโลเมตร ซึ่งระยะตรวจจับไกลสุดของระบบเรดาร์ข้าศึกจะถูกนำไปใช้ในประยุกต์ใช้ในอัลกอริทึมต่อไป

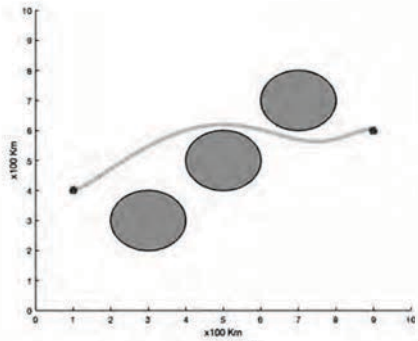
ในการทดสอบอัลกอริทึมครั้งนี้ ได้กำหนดพื้นที่สนใจ (Area of Interest) ของสมรภูมิไว้ 1,000 x1,000 ตารางกิโลเมตร และกำหนดพิกัดจุดเริ่มต้นของอากาศยานอยู่ที่พิกัด (1, 4) และพิกัดของเป้าหมายในการปฏิบัติภารกิจอยู่ที่พิกัด (9, 6) โดยพิกัดทั้งสองจุดอยู่ห่างกัน 824.6211 กิโลเมตร ในสถานการณ์นี้จะมีเรดาร์ตรวจจับของข้าศึกอยู่ที่พิกัด (3, 4), (5, 4) และ (7, 6) ซึ่งเรดาร์ทั้งสามมีระยะตรวจจับที่เท่ากันอยู่ที่ 100.4260 กิโลเมตร

ในรูปที่ 2 (a) เป็นพื้นที่สนใจในการปฏิบัติภารกิจ (Area of Interest) โดยมีพิกัดของจุดเริ่มต้นและพิกัดของเป้าหมายแสดงด้วยจุดสีแดง ในรูปที่ 2 (b) อัลกอริทึมจะดำเนินการสุ่มสร้างจุดขึ้นมา 1,000 จุด ซึ่งจุดนี้จะถูกใช้เป็นไซต์ (Site) ในอัลกอริทึมโวโรนอย ในกระบานการนี้จำนวนจุดที่ยิ่งมากจะทำให้เส้นทางการเดินทางของอากาศยานมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่เวลาที่ใช้ในกระบวนการคำนวณก็จะเสียมากขึ้นเช่นกัน รูปที่ 2 (c) จะดำเนินการใช้อัลกอริทึมสร้างแผนภาพโวโรนอยรอบ ๆ จุดที่ดำเนินการสุ่มขึ้นมาในกระบวนการที่แล้ว ซึ่งแผนภาพโครงข่ายเหล่านี้คือเส้นทางเดิน (Path) ในอัลกอริทึมของโวโรนอย รูปที่ 2 (d) ดำเนินการตัดจุดที่สุ่มขึ้นมาเพื่อให้คงเหลือไว้แต่เส้นทางเดินตาม เพื่อจะนำไปใช้ต่อไป รูปที่ 2 (e) ดำเนินการสร้างระบบเรดาร์ทั้งสามระบบลงในแผนภาพตามพิกัดที่ได้กล่าวไว้แล้ว ในรูปที่ 2 (f) อัลกอริทึมจะดำเนินการตัดเส้นทางที่ถูกครอบคลุมด้วยระบบเรดาร์ข้าศึกและไม่เหมาะสมต่อการเดินทางของอากาศยานออกไป รูปที่ 2 (g) ได้ดำเนินการใช้อัลกอริทึมของไดก์สตราหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ตรวจจับ และในรูปสุดท้ายรูปที่ 2 (h) ดำเนินการใช้การประมาณค่าจุดตามเส้นทางเดินบนแผนภาพโวโรนอยมาทำให้ราบเรียบขึ้นด้วยการใช้การประมาณค่าด้วยสมการพหุนามดีกรี 7 โดยผลลัพธ์เป็นเส้นทางเดินที่มีความยาว 879.1108 กิโลเมตร จากพิกัดเริ่มต้น จากนั้นหลบหลีกระบบเรดาร์ทั้งสามไปยังเป้าหมายสุดท้าย ด้วยระยะทางที่มากกว่าเส้นตรงอยู่ 54.4897 กิโลเมตร


x100 Km
x100 Km
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)



(g)



(h)

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการนำไปใช้ของแผนภาพโวโรนอย ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมในการปฏิบัติภารกิจของอากาศยาน

4. สรุปผล

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้แสดงแนวทางการประยุกต์ใช้แผนภาพโวโรนอยมาช่วยในการหาเส้นทางของอากาศยานในการปฏิบัติภารกิจ ในสมรภูมิที่มีความซ้ำซ้อนมากโดยทดสอบในสถานการณ์ที่จำลองขึ้นมา โดยในสมรภูมิมีพื้นที่สนใจอยู่ที่ 1,000x1,000 ตารางกิโลเมตร และระบบเรดาร์ตรวจจับของข้าศึกจำนวน 3 ระบบ ซึ่งทั้งสามระบบมีคุณสมบัติเหมือนกัน โดยสามารถตรวจจับได้ระยะไกลสุดอยู่ที่ 100.4260 กิโลเมตร และเส้นทางที่สั้นที่สุดที่สามารถเดินทางหลบระยะตรวจจับของระบบเรดาร์ทั้งสามมีระยะอยู่ที่ 896.11 กิโลเมตร จากพิกัดเริ่มต้น

ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าแผนภาพโวโรนอยสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับอัลกอริทึมอื่นจนสามารถดำเนินใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางของอากาศยานในการปฏิบัติภารกิจได้ดี โดยอัลกอริทึมไม่ซับซ้อนรองรับกับสถานการณ์ได้หลายรูปแบบ โดยสามารถดำเนินการประยุกต์เพิ่มเติมได้ง่าย ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มจำนวนระบบเรดาร์ รูปแบบเรดาร์ การเคลื่อนที่ของระบบเรดาร์

นอกจากนี้แล้วอัลกอริทึมนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการช่วยคำนวณข้อมูลพื้นฐานให้นักบินในสถานการณ์ที่สมรภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งจำนวนเรดาร์ ตำแหน่งเรดาร์เคลื่อนที่ อากาศยานข้าศึก ตำแหน่งปืนต่อสู้อากาศยานเคลื่อนที่ ที่มีความซ้ำซ้อนมากจนการตัดสินใจด้วยตัวนักบินเองอาจมีโอกาสผิดพลาดได้ และในการพัฒนาต่อยอดของอัลกอริทึมนั้นยังทำได้ง่ายและหลากหลาย เช่น เพิ่มความถูกต้องของพื้นที่ครอบคลุมของระบบเรดาร์โดยวิเคราะห์พื้นที่ครอบคลุมของระบบเรดาร์จากผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ความสูงต่ำของภูมิประเทศ การเลี้ยวเบนของคลื่น การรบกวนสัญญาณของระบบอิเล็กทรอนิกส์ อีกทั้งยังสามารถกำหนดพื้นที่ห้ามบินเข้าและตัวแปรอื่น ๆ ให้ละเอียดมากยิ่งขึ้นได้อีกด้วย

อีกแนวทางของการพัฒนาต่อยอดอัลกอริทึมนี้ คือใช้ในการวิเคราะห์การวางระบบเรดาร์ในการตรวจจับข้าศึกของฝ่ายเรา โดยอัลกอริทึมนี้จะช่วยวิเคราะห์หาเส้นทางที่เป็นจุดอ่อนของระบบป้องกันข้าศึกว่าอยู่แนวใด ระยะทางเท่าใด ข้าศึกสามารถโจมตีพื้นที่ใดได้บ้าง ทำให้ทราบความเป็นไปได้ของเส้นทางที่ศัตรูจะใช้ในภาวะสงคราม ทำให้สามารถมีการวางแผนป้องกัน หรือมีการ เพิ่มเติมระบบเรดาร์แบบเคลื่อนที่ได้ เพื่อให้มีระบบเรดาร์ที่มีความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงภัยได้อย่างครอบถ้วนในภาวะสงครามอีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Al-Dahhan, M. R. H., & Schmidt, K. W. Path Planning Based on Voronoi Diagram and PRM for Omnidirectinal Mobile Robots. 2019.

[1] Artuñedo, A., Godoy, J., & Villagra, J. A comparison of local path-planning interpolation methods for autonomous driving in urban environments. In Industriales research meeting, p. 147, 2017.

[2] Aurenhammer, F., Voronoi diagrams: A survey of a fundamental geometric data structure, ACM Computing Surveys, 23, 345-405, 1991.

[3] Banfi, J., & Campbell, M., High-Level Path Planning in Hostile Dynamic Environments, In Proceedings of the 18th International Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems, 1799-1801, 2019.

[4] Beard, R. W., McLain, T. W., Goodrich, M. and Anderson, E. P., Coordinated target assignment and intercept for unmanned air vehicles, IEEE Transactions on Robotics and Automation, 18, 911–922, 2002.

[5] Bortoff, S. A., Path planning for UAVs, In Proceedings of the American Control Conference, 6, 364 – 368, 2000.

[6] Broumi, S., Bakal, A., Talea, M., Smarandache, F., & Vladareanu, L., Applying Dijkstra algorithm for solving neutrosophic shortest path problem, In 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), 412-416, IEEE, 2016.

[7] Candeloro, M., Lekkas, A. M., & Sørensen, A. J., A Voronoi-diagram-based dynamic path-planning system for underactuated marine vessels, Control Engineering Practice, 61, 41-54. 2017.

[8] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C., Dijkstra's algorithm, Introduction to Algorithms (Second ed.), MIT Press and McGraw-Hill, 595–601, 2001.

[9] Dai, R., & Cochran Jr, J., Path planning and state estimation for unmanned aerial vehicles in hostile environments, Journal of guidance, control, and dynamics, 33(2), 595-601. 2010.

[10] Dijkstra, E., A note on two problems in conexion with graphs, Numerische Mathematik, 1, 269-271, 1959.

[11] Garrido, S., Moreno, L., and Blanco, D., Voronoi diagram and Fast Marching applied to path planning, In Proceedings of ICRA, 3049-3054, 2006.

[12] Garrido, S., & Moreno, L., Mobile robot path planning using voronoi diagram and fast marching, In Robotics, Automation, and Control in Industrial and Service Settings, 92-108, IGI Global, 2015.

[13] Liang, Y., Juntong, Q., Jizhong, X. and Xia, Y., A literature review of UAV 3D path planning, IEEE Xplore, 2015.

[14] Mahafza, B., Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, Chapman & Hall/ CRC, 2000.

[15] Mahafza, B and Elsherbeni, A., MATLAB Simulations for Radar Systems Design, Chapman & Hall/CRC, 2004.

[16] Makarov, I., Polyakov, P., & Karpichev, R., Voronoi-based Path Planning based on Visibility and Kill/Death RatioTactical Component, In AIST (Supplement), 129-140, 2018.

[17] Mclain T. W. and Beard, R. W., Trajectory planning for coordinated rendezvous of unmanned air vehicles, In Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 1247–1254, 2000.

[18] Murphy, R., Uryasev, S. and Zabarankin, M., Trajectory optimization in a threat environment, Research report 9, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida, 2003.

[19] Özcan, M., & Yaman, U., A continuous path planning approach on Voronoi diagrams for robotics and manufacturing applications, Procedia Manufacturing, 38, 1-8. 2019.

[20] Qing, G., Zheng, Z., & Yue, X., Path-planning of automated guided vehicle based on improved Dijkstra algorithm, In 2017 29th Chinese control and decision conference (CCDC), 7138-7143, IEEE, 2017.

[21] Richards, 2005 Richards, M. A., Fundamentalsof Radar Signal Processing, New York: McGraw-Hill, 2005.

[22] Schatzman, M., Numerical Analysis: A Mathematical Introduction, Oxford, Clarendon Press, 2002.

[23] Shi, Y., Zhang, L., & Dong, S., Path Planning of Anti-ship Missile based on Voronoi Diagram and Binary Tree Algorithm, Defence Science Journal, 69(4), 369-377. 2019.

[24] Skolnik, M., Radar Handbook, McGraw-Hill, 1990.

[25] Skolnik, M. Introduction to Radar Systems, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

[26] Tang, F., You, X., Zhang, X., & Li, K., Hexagon-Based Generalized Voronoi Diagrams Generation for Path Planning of Intelligent Agents, Mathematical Problems in Engineering, 2020.

[27] Turnbull, O., Lawry, J., Lowenberg, M., & Richards, A., A cloned linguistic decision tree controller for real-time path planning in hostile environments, Fuzzy Sets and Systems, 293, 1-29, 2016.

[28] Willis, N. J. Bistatic Radar, Raleigh, NC: SciTech Publishing, 2005.

[29] Yang, L., Qi, J., Xiao, J., & Yeng, X., A literature review of UAV 3D path planning, In Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2376-2381, IEEE, 2014.

เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มตามความต้องการ หลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ

วิภาส คงคารัตน์ [1*] และสมสฤษฎิ์ สินหนัง [2]

วันที่รับ 4 เมษายน 2563 วันที่แก้ไข 15 เมษายน 2563 วันตอบรับ 17 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้รายงานผลการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มตามความต้องการหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ โดยชี้ให้เห็นผลสัมฤทธิ์ของการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ โดยมีหลักฐานการขอรับการสนับสนุนผลการวิจัยและพัฒนาซึ่งมีการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมและบังคับร่มตามหลักการทางวิศวกรรมระบบของร่มชนิด MC1-1B มีการประเมินภาระกรรมในการหมุนร่มตามอัตรา Descent Rate การคำนวณแรงบิด การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นเชือกซึ่งนำไปสู่การออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์จากการคำนวณ Moment of Inertia ของการหมุนและได้ข้อสรุปในการเลือกมอเตอร์และการเลือกขนาดสายไฟและขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร นอกจากนี้ยังเสนอแนะแนวทางในการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มต่อไปในเชิงสถิติและการคำนวณประสิทธิผลให้ออกมาเป็นตัวเลขก่อนนำระบบเข้าสู่การพัฒนาในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ : เครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม, เครื่องช่วยฝึกเทคโนโลยีสูง, โรงเรียนสงครามพิเศษ

[1] โรงเรียนสงครามพิเศษ ศูนย์สงครามพิเศษ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษ

[2] ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

[*] ผู้แต่ง, อีเมล์: somsarit.s@dti.or.th

The development of parachute simulation in compliance with the requirements of Air Delivery course of the Special Warfare school

Vipas Kongkarat [1*] and Somsarit Sinnung [2]

Received 4 April 2020, Revised 15 April 2020, Accepted 17 April 2020

Abstract

This research paper reports the development of parachute simulation in compliance with the requirements of Air Delivery Course of the Special Warfare School. By pointing out the achievement of research and development of the Air Delivery course, it is evident that the project achieved the goal in which the Special Warfare School issued the letter of request for the support of research and development of this kind. The simulator was designed to closely follow the system engineering concept after the investigation of the parachute type MC1-1B. The rotation load was evaluated according to the Descent Rate and force calculation. The twist calculation of force in each rope was determined, leading to the motor detailed design and selection from the Moment of Inertia calculation of rotation. The conclusion of motor selection and selection of the wire size and short circuit protection device was finalized. In addition, further studies for research and development were suggested on statistically calculated and numerical effectiveness before the system is commercially developed.

Keywords : Parachute simulator, advanced simulator, Special Warfare school

[1] Special Warfare Command

[2] Knowledge and Publication Management Department - TKP, Defence Technology Institute.

[*] Corresponding author, E-mail: somsarit.s@dti.or.th

1. บทนำ

โรงเรียนสงครามพิเศษ ศูนย์สงครามพิเศษ เป็นสถาบันการฝึกศึกษาทางด้านการสงครามพิเศษ เปิดการสอนหลักสูตรส่งทางอากาศ โดยแบ่งการฝึกออกเป็น 2 ภาคการฝึก คือ การฝึกภาคพื้นดินในภาคที่ 1 และการฝึกภาคอากาศในภาคที่ 2 ซึ่งเป็นการกระโดดร่มจากอากาศยาน โดยในภาคที่ 1 แบ่งออกเป็น 6 สถานีฝึก คือ สถานีฝึกที่ 1 การปฏิบัติบนอากาศยาน สถานีฝึกที่ 2 การฝึกกระโดดหอสูง 34 ฟุต สถานีฝึกที่ 3 การบังคับร่ม สถานีฝึกที่ 4 การฝึกการลงพื้นจากแท่น 2 และ 4 ฟุต สถานีฝึกที่ 5 การใช้ร่ม และสถานีฝึกที่ 6 การลงพื้นจากรอกวิ่ง

นักเรียนในหลักสูตรส่งทางอากาศจะต้องเรียนรู้และฝึกความชำนาญให้เคลื่อนไหวได้อย่างแม่นยำ การควบคุมร่มจะทำได้เมื่อผ่านการฝึกซ้ำ R.H. Jeffrey [1] อธิบายการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มที่ใช้งบประมาณต่ำ แต่ได้รับการปรับแต่งเป็นพิเศษเพื่อให้ครูฝึกใช้สอนและฝึกทักษะการบังคับร่มแบบมืออาชีพ ทำให้ครูฝึกสามารถฝึกและสอนได้ในขณะที่ผู้รับการฝึกอยู่บนสายร่ม ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถเรียนรู้เทคนิคการบังคับร่มที่ดีและเรียนรู้ผลที่ตามมาของเทคนิคที่ไม่ดีในด้านความปลอดภัยได้อย่างสมบูรณ์แบบ เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มจึงจำเป็นในการสอนและเพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกได้ฝึกทักษะที่จำเป็นในการรับมือกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะอยู่ในอากาศ และการตรวจสอบความถูกต้องผ่านรายงานของผู้ฝึกจะนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพของผู้เข้ารับการฝึกในภายหลัง

การจำลองการฝึกกระโดดร่มชูชีพมีต้นกำเนิดมานานกว่า 12 ปี แล้ว [2] เป็นการฝึกอบรมเพื่อปรับปรุงความปลอดภัยและประสิทธิภาพของนักกระโดดร่มสมัครเล่นและนักกระโดดร่มทางทหาร โดยมีการปรับปรุงการฝึกด้วยการแขวนตัวผู้เข้ารับการฝึกบนบังเหียน แขวนไว้จากด้านบนด้วยสายรัดแบบชุดสวมนักบิน มีถุงมือ หมวกกันน็อก หน้ากากออกซิเจน และที่บังหมวกเป็นอุปกรณ์เสริม มีหลักการคือ เมื่อนักโดดร่มดึงเชือกเขาจะหมุนตัวไปในทิศทางที่ดึง ลักษณะเช่นนี้ถือว่าเป็นข้อได้เปรียบในระบบที่ไม่มีเครื่องจำลองแม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมต่อการมองเห็นนั้นจะไม่ดีนัก ความพร้อมใช้งานของเครื่องมือจำลองของร่มชูชีพได้นำไปสู่การพัฒนาความต้องการเพื่อการใช้งานที่หลากหลาย ความต้องการเหล่านี้ก่อให้เกิดการปรับปรุงด้านโปรแกรมจำนวนมากที่เป็นประโยชน์ต่อการฝึกบังคับร่ม [3] และ [4]

บทความวิจัยฉบับนี้อธิบายการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มให้เป็นไปตามความต้องการหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความต้องการผลงานวิจัยและพัฒนาไปประยุกต์ใช้ในการฝึกบังคับร่ม บทความอธิบายความสำคัญของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มจากความต้องการของหน่วยใช้งาน คือ หลักสูตรส่งทางอากาศตามภารกิจของโรงเรียนสงครามพิเศษ วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากกระบวนการในเชิงวิศวกรรมระบบ เพื่อวิเคราะห์ส่วนขับเคลื่อนและระบบควบคุมของเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม จากนั้นจึงทำการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มโดยการประเมินภาระกรรมของการหมุนร่ม การออกแบบระบบไฟฟ้าในการบังคับร่ม และบทความนี้สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและพัฒนาซึ่งเป็นไปตามความต้องการของหน่วยผู้ใช้ โดยการนำหนังสือแจ้งความต้องการเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มไป

ใช้ในหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษมาเป็นสาระสำคัญของข้อสรุป

2. ความสำคัญของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

2.1 ความต้องการเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

เครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม ฝึกให้ผู้เข้ารับการฝึกทราบถึงการปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ เมื่อโดดออกจากอากาศยานแล้วร่มกาง ผู้เข้ารับการฝึกจะต้องบังคับร่มอย่างไร หันหน้าไปในทิศทางใด และตรวจสอบความสูง ตรวจสอบทิศทางลม จนกระทั่งถึงขั้นตอนในการเตรียมตัวสู่พื้นได้อย่างปลอดภัย การฝึกในหลักสูตรส่งทางอากาศที่สถานีที่ 3 การฝึกบังคับร่มนั้น ผู้เข้ารับการฝึกจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ของการฝึกในสถานีนี้เป็นอย่างดี จึงจะสามารถบังคับร่มได้อย่างถูกต้อง ตั้งแต่การโดดออกจากอากาศยาน ขณะที่ร่มลดระดับต่ำลงเรื่อย ๆ จนถึงขั้นตอนการลงพื้น การจำลองบริบทของการฝึกปฏิบัติที่เสมือนจริงเป็นเรื่องสำคัญ และสิ่งที่จะช่วยให้การฝึกดังกล่าวบรรลุผลตามที่ต้องการได้นั้น ต้องอาศัยเครื่องช่วยฝึกที่มีลักษณะคล้ายหรือสามารถจำลองการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากที่สุด

2.2 เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในหลักสูตรส่งทางอากาศ

ในอดีตโรงเรียนสงครามพิเศษใช้เครื่องช่วยฝึกในสถานีที่ 3 เป็นแบบระบบคู่ฝึก โดยแยกเป็นผู้ปฏิบัติและผู้ช่วย ซึ่งการจำลองการหมุนของร่มนั้นจะให้ผู้ปฏิบัติดึงสายบังคับ และผู้ช่วยเป็นผู้หมุนไปในทิศทางที่ตนเองเข้าใจ ทำให้อัตราเร็วที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันและไม่เหมือนร่มจริง อีกทั้งหมุนไม่ตรงทิศทางที่ผู้ปฏิบัติต้องการ การฝึกจึงไม่สอดคล้องกับการปฏิบัติจริง ผู้เข้ารับการฝึกขาดทักษะและประสบการณ์ในการปฏิบัติ ไม่สามารถวัดความรู้ความเข้าใจ ของผู้รับการฝึกได้อย่างถูกต้อง

ต่อมาได้มีการปรับปรุงเครื่องช่วยฝึกของสถานีดังกล่าว โดยใช้เหล็กดัดเป็นวงกลมเกี่ยวกับชุดสายโยงบ่าของร่ม (รูปที่ 1) ขณะกางปกติในอากาศ ซึ่งสายโยงบ่านั้นจะยึดติดกับชุดสายรัดตัว ซึ่งขณะทำการฝึกเท้าจะลอยพ้นพื้นเหมือนกับกำลังลอยตัวอยู่ในอากาศ และสายบังคับร่มจะเชื่อมต่อกับสวิตช์แบบกระเดื่อง เมื่อดึงสายบังคับด้านที่ต้องการ จะทำให้สวิตช์ทำงานเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าผ่านโซ่และเฟืองซึ่งยึดติดกับวงเหล็ก ทำให้วงเหล็กหมุนในอัตราเร็วเท่ากับการดึงสายบังคับเพื่อหมุนร่มให้เปลี่ยนทิศทางในอากาศโดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟและการตั้งอัตราเร็ว ซึ่งเครื่องช่วยฝึกที่ปรับปรุงขึ้นใหม่นั้นเป็นการนำอุปกรณ์มาดัดแปลง ทำให้มีข้อจำกัดอีกหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมอัตราเร็วที่ไม่คงที่เนื่องจากเป็นการปรับด้วยมือ การตัดกระแสไฟโดยอัตโนมัติเมื่อผู้เข้ารับการฝึกบังคับร่มผิดทาง และยังคงต้องใช้ระบบคู่ฝึกเมื่อเครื่องเกิดปัญหาขัดข้องขึ้น

รูปที่ 1 เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มของโรงเรียนสงครามพิเศษ

2.3 ความสำคัญของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

การฝึกบังคับร่มที่ให้ผู้เข้ารับการฝึกได้รับการฝึกปฏิบัติที่เสมือนจริง จำเป็นต้องมีเครื่องช่วยฝึกที่มีประสิทธิภาพ สามารถจำลองสถานการณ์ได้และมีความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก เพื่อให้สามารถใช้ในการฝึกปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง สามารถวัดความรู้ ความเข้าใจของผู้เข้ารับการฝึกได้อย่างถูกต้อง และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก อีกทั้งเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มที่มีจำหน่ายอยู่ในหลายประเทศมีราคาสูงมาก การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มขึ้นมาใช้เองนอกจากจะทำให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างขีดความสามารถและองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาประเทศแล้ว ยังนำไปสู่การลดการซื้อและนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เกิดการผสมผสานเทคโนโลยีจากสาขาวิชาต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ประกอบด้วย เครื่องกล ไฟฟ้า ระบบอัตโนมัติ หรือการจำลองภาพเสมือนจริง เป็นต้น

3. การวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมระบบเพื่อพัฒนาส่วนขับเคลื่อนและระบบควบคุม

ในการออกแบบเครื่องช่วยฝึกร่มนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจในระบบการควบคุมร่มจริง โดยชนิดของร่มที่เลือกใช้ในการออกแบบคือ ร่มชนิด MC1-1B (รูปที่ 2) หรือร่มกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Canopy เท่ากับ 35 ฟุต น้ำหนักโดยประมาณ 30 ปอนด์ มีสายร่มทั้งหมด 30 เส้น โดยแต่ละเส้นยาว 25.5 ฟุต และสามารถรับแรงดึงในแต่ละเส้นได้ 375 ปอนด์ ร่มชนิดนี้จะมีช่องผ่าหลังและมีสายบังคับ โดยในการควบคุมร่มจริงนั้นจะบังคับให้ร่มหันหน้าเข้าหาทิศทางลม โดยช่องผ่าหลังอยู่ด้านหลังเพื่อช่วยลดการสร้างการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อมีการปะทะด้านข้างจะมีการกระตุกสายบังคับข้างที่ลมปะทะลง เพื่อให้เกิดการหมุนของร่มให้หันหน้าไปที่ทิศทางลมนั้น ๆ หลักการพื้นฐานในการบังคับใช้ร่มนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมระบบ เพื่อกำหนดแนวทางการทำงาน การออกแบบ และการพัฒนาระบบหลักของเครื่องช่วยฝึกนี้ หลักการการออกแบบระบบร่มที่ได้จากการวิเคราะห์สรุปดังนี้

1. ทำความเข้าใจพฤติกรรมของแรงที่กระทำกับร่มฝึกและพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการดึงร่มฝึก
2. ออกแบบระบบเชิงกลที่สามารถจำลองสถานการณ์การโดดร่มจริงได้ ในที่นี้จะใช้การดึงสาย บังคับร่มเป็นตัวสั่งการให้ระบบมอเตอร์ทำงานและหมุนชุดเครื่องช่วยฝึกร่มไปในทิศทางที่ต้องการ
3. ประเมินภาระกรรมที่ใช้ในการหมุนร่มฝึกจากการตอบจากแรงที่ใช้ในการดึงและแรงที่มากระทำกับร่มฝึก
4. นำภาระกรรมที่ได้ไปออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม
5. ออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและอุปกรณ์ทางฟ้าหลัก
6. ออกแบบระบบเชิงกลและการจัดวางอุปกรณ์บนเครื่องช่วยฝึกการกระโดดร่ม

ทำซ้ำกระบวนการ 1 ถึง 6 จนการออกแบบระบบรวมมีความลงตัวและเป็นไปตามทฤษฎีการออกแบบพื้นฐาน

รูปที่ 2 แสดงภาพเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มจากไฟล์ CAD

4. การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

4.1 การประเมินภาระกรรมในการหมุนร่ม

4.1.1 อัตรา Descent Rate ของร่ม MC1-1B

โดยทั่วไปแล้วอัตรา Descent Rate ของร่มชูชีพแบบกลมสามารถแสดงได้ดังสมการ (1)

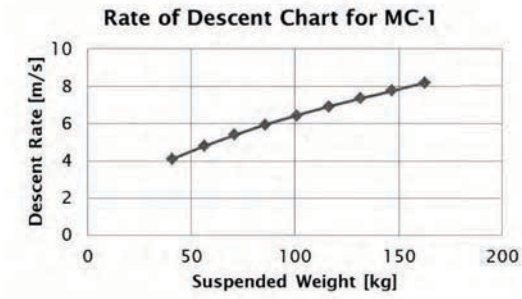
$$v = \sqrt{\frac{2W}{\rho CS}} \qquad (1)$$

โดยที่ V เป็นอัตรา Descent W เป็นน้ำหนักของร่มรวมกับของที่แขวนอยู่กับร่ม ρ เป็นความหนาแน่นของอากาศ C เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสำหรับร่มกลมจะมีค่าอยู่ที่ 0.75 และ S เป็นพื้นที่ผิวของร่ม

จากข้อมูลที่ได้จากไฟล์ CAD ของรูปที่ 2 ร่มนี้จะมีพื้นที่ผิว 6.65 ตารางเมตร น้ำหนักร่มและภาระที่แขวนกับร่มนั้นมีค่าอยู่ที่ 213 กิโลกรัม ดังนั้นจะหาค่าอัตรา Descent Rate ของร่มได้เท่ากับ 8.3 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตาม อัตรา Descent Rate ที่ผู้ผลิตกำหนดมาให้นั้นมีค่าตามสมการ (2)

$$V = 0.0000005W^3 - 0.0002W^2 + 0.0649W + 1.8055 \quad (2)$$

ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วพบว่า ค่าอัตรา Descent Rate จะมีค่า 10.78 เมตร/วินาที ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3 จึงนำไปใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ Decent Rate และ Suspended Weight

4.1.2 แรงที่เกิดขึ้นในร่ม

จากค่าอัตรา Descent Rate ที่คำนวณได้ นำมาจำลองทางการไหลเพื่อหาแรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ตัวร่ม จากผลการคำนวณได้แรงต้านทานที่เกิดขึ้นในแนวแกน Y มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6,586 นิวตัน

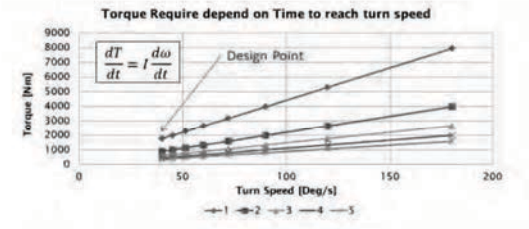
4.1.3 อัตราการหมุนร่ม

จากคุณลักษณะของร่มที่ได้จากทางผู้ผลิตร่มนั้นระบุว่าร่มมีอัตราการหมุนอยู่ที่ 4-9 วินาที/รอบ

หรือเท่ากับ 40-90 องศา/วินาที ด้วยอัตราการหมุนนี้จะสามารถหาแรงบิดที่เกิดขึ้นในร่มเพื่อให้ร่มหมุนได้ดังสมการ (3)

$$\frac{dT}{dt} = I\frac{d\omega}{dt} \qquad (3)$$

จากแคดไฟล์สามารถคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้ที่ 1,251 กิโลกรัม/ตารางเมตร ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาแรงบิดที่ขึ้นกับอัตราการหมุนและอัตราการตอบสนองของร่มได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าแรงบิดน้อยสุดที่ควรจะมีเพื่อให้หมุนร่มได้นั้นอยู่ที่อย่างน้อย 500 นิวตัน แต่ร่มจะตอบสนองต่อการหมุนนี้ได้ช้าที่ 5 วินาที จนร่มหมุนได้ด้วยความเร็ว 40 องศา/นาที



รูปที่ 4 คำนวณหาแรงบิดที่ขึ้นกับอัตราการหมุนและอัตราการตอบสนองของร่ม

4.1.4 แรงที่ใช้ในการบังคับร่ม

ผู้กระโดดร่มจะบังคับร่มโดยการดึงสายบังคับที่มีทั้งซ้ายและขวาลงด้วยแรงที่ไม่เกินกว่าแรงที่มนุษย์จะสามารถดึงได้ จากการรวบรวมข้อมูลทราบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 100-200 นิวตัน แต่เพื่อหาแรงดึงบังคับร่มสำหรับการนำไปใช้งานต่อนั้น จะเลือกใช้ที่ 90 นิวตัน เนื่องจากเป็นแรงที่ใช้ในการดึงร่มที่วัดโดย US Navy [5] แรงต้านทั้งหมดที่เกิดในตัวร่มนี้จะส่งผ่านมาตามเส้นเชือกของร่มทั้ง 30 เส้น ผ่านมาจนถึงตัวคนที่แขวนอยู่ที่ปลายล่างสุด จากรูปทรงของร่มนั้นสามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นเชือกได้เท่ากับ 344 นิวตัน

4.2 การออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์

4.2.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับการออกแบบเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม กำหนดให้อัตราความเร็วสูงสุดการหมุนร่มอยู่ที่ 4 วินาที/รอบ น้ำหนักของนักโดดร่มพร้อมสัมภาระไม่เกิน 200 กิโลกรัม และความกว้างของแท่นหมุนเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร มีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

1) มอเตอร์และชุดเกียร์หมุนแท่น
2) มอเตอร์และชุดเกียร์สายร่มด้านขวา
3) มอเตอร์และชุดเกียร์สายร่มด้านซ้าย
4) มอเตอร์และชุดเกียร์ยกด้านหลัง

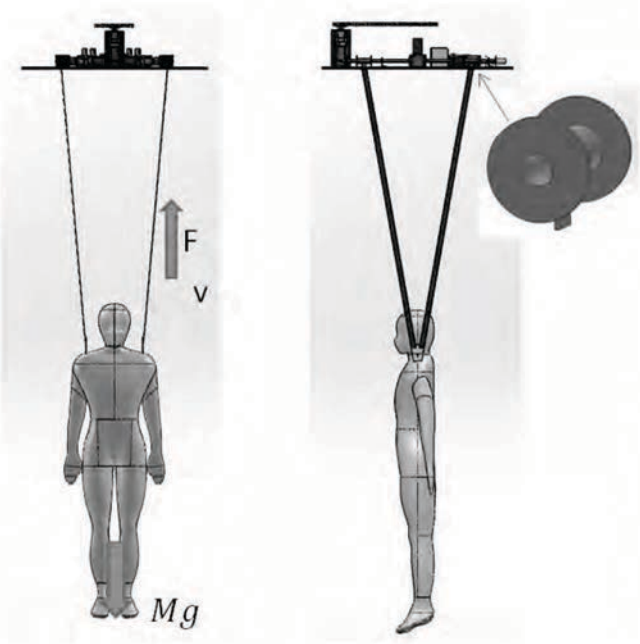
4.2.2 การคำนวณ Moment of Inertia ของการหมุน

คำนวณจากข้อกำหนดใน 4.2.1 ที่อัตราการหมุนของแท่น 4 วินาที/รอบ ด้วย ω = 1.75 เรเดียน/วินาที = 15 รอบ/นาที, อัตราเชิงมุม α = 0.437 เรเดียน/วินาที^{2} ใช้ค่า Moment of Inertia (I) ของแท่น = 10.66 กิโลกรัม.เมตร^2 เผื่อค่า Moment of inertia ของแท่นไว้ 2 เท่า เนื่องจากยังต้องมีอุปกรณ์อื่น ๆ อยู่บนแท่นอีก โดยใช้ I = 20 กิโลกรัม.เมตร^2, Torque (τ) ของแท่น $I^*\alpha$ = 20 x 0.437 = 8.74 Nm. ความเร็วรอบมอเตอร์สูงสุดที่ 3,000 รอบ/นาที ต้องการให้แท่นหมุนด้วยความเร็ว 15 รอบ/นาที (ออกแบบให้มีการตอบสนองเร็วเป็น 2 เท่า) เมื่อต้องออกแบบความเร็วแท่นหมุนเป็น 30 รอบ/นาที ต้อง

ใช้อัตราทดเฟืองจากมอเตอร์ G=100 เท่า G=100 Motor Torque = 0.874 การพัฒนาครั้งนี้เลือกมอเตอร์ Omron รุ่น G40030 ขนาด 400 วัตต์ ได้ Torque =1.3 Nm.

4.2.3 การคำนวณแรงดึงในเส้นเชือกของร่ม

จากรูปที่ 5 สามารถหาแรงที่กระทำในเชือกร่มแต่ละข้างจาก F=Mg/2=(200x9.81)/2=981 N, กำหนดให้รัศมีของล้อหมุนสายร่ม r = 13.5 มิลลิเมตร Torque ดึงสายร่มแต่ละข้าง T = Fr = 981x0.0135 = 13.24 Nm., กำหนดให้สายร่มดึงขึ้นด้วยความเร็ว v=0.5 เมตร/วินาที ล้อหมุนสายร่มด้วยความเร็ว = 95 รอบ/นาที เนื่องจากมอเตอร์มีความเร็ว 3,000 รอบ/นาที จะต้องทดเฟือง Gy = 3000/95 = 31.58 เลือกเกียร์อัตราทด Gy = 30 Torque ที่มอเตอร์ = 0.44 Nm.



รูปที่ 5 แสดงแรงที่กระทำต่อเชือกแต่ละข้าง

4.2.4 การออกแบบรายละเอียด

1. เลือกมอเตอร์และชุดเกียร์ตามภาระกรรมที่คำนวณได้โดยระบุยี่ห้อและรุ่นให้ชัดเจนแล้วทำการเขียนแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่เลือกไว้
2. ประกอบแบบชิ้นส่วนต่าง พร้อมกับออกแบบโครงสร้างตามความต้องการของผู้ใช้งาน
3. ออกแบบจุดจับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยละเอียด
4. ทำแบบชิ้นส่วนสำหรับสร้าง

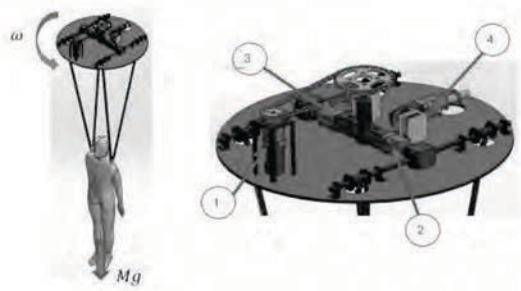
4.3 การออกแบบระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์หลัก

เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบและความปลอดภัยในการใช้งาน โดยมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการออกแบบมีดังนี้

1. มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 (มาตรฐาน ว.ส.ท.: EIT Standard 2001-56)
2. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของประเทศไทย
3. IEC (International Electro-technical Commission) มาตรฐานนานาชาติทางด้านไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์
4. ANSI (American National Standard Institute) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
5. BS (British standard) ของประเทศสหราชอาณาจักร
6. DIN (German Industrial Standard) ของประเทศเยอรมนี
7. VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker) ของประเทศเยอรมันนี
8. JIS (Japanese Industrial Standard) ของประเทศญี่ปุ่น

4.3.1 ภาระโหลดชุดฝึกโดดร่ม

ภาระโหลดของเครื่องฝึกบังคับร่มออกแบบไว้โดยประกอบด้วยมอเตอร์ทั้งหมดจำนวน 4 ตัว คือ มอเตอร์สำหรับชุดเกียร์แท่นหมุน มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มด้านขวา มอเตอร์ชุดเกียร์มอเตอร์ด้านซ้าย และมอเตอร์ชุดเกียร์ยกด้านหลัง โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 และรูปที่ 6



รูปที่ 6 มอเตอร์ 4 ตัว ของเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

4.3.2 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้าของวงจรมอเตอร์

วงจรย่อยของมอเตอร์ชุดฝึกโดดร่มสามารถออกแบบได้ตามตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ขนาดของสายไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่า 1.25 เท่า ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตามสมการ (4)

$$I_c \geq 1.25 * I_m \qquad (4)$$

กำหนดให้

I_c = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า (A)

I_m = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ (A)

สายป้อนวงจรมอเตอร์เป็นวงจรแบบมอเตอร์หลายตัว ซึ่งตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ขนาดของสายไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่า 1.25 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุดในวงจร และบวกด้วยกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวที่เหลือในวงจร ดังสมการ (5)

$$I_C \geq 1.25 * I_{m,max} + I_{m1} \ldots I_{mn} \qquad (5)$$

โดย

I_c = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า (A)

$I_{m,max}$ = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด (A)

I_{m1} = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ที่เหลือตัวที่ 1 (A)

I_{mn} = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ตัวที่เหลือตัวที่ n (A)

ดังนั้น จากภาระโหลดในตารางที่ 1 สามารถคำนวณหาขนาดสายวงจรย่อยของมอเตอร์จากกระแสพิกัดของมอเตอร์สามารถคำนวณหาสายไฟฟ้าของ มอเตอร์แต่ละตัวตามสมการ (4) ได้ดังนี้

1) มอเตอร์ชุดเกียร์หมุนแท่น = 1.25X2.6 = 3.25 A เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

2) มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มด้านขวา = 1.25X1.6 = 2 A เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

3) มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มด้านซ้าย = 1.25X1.6 = 2 A เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

4) มอเตอร์ชุดเกียร์ยกด้านหลัง = 1.25X1.6 = 2 A เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

ชนิดมอเตอร์	แรงดันไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	กระแสพิกัด
เกียร์หมุนแท่น (1)	220 V. 50Hz	400 W	2.6 A
เกียร์สายร่มด้านขวา (2)	220 V. 50Hz	200 W	1.6 A
เกียร์สายร่มด้านซ้าย (3)	220 V. 50Hz	200 W	1.6 A
เกียร์ยกด้านหลัง (4)	220 V. 50Hz	200 W	1.6 A

ตารางที่ 1 รายละเอียดมอเตอร์ชุดฝึกโดดร่ม

คำนวณหาขนาดสายป้อนจากกระแสพิกัดของมอเตอร์สามารถคำนวณหาสายไฟฟ้าของมอเตอร์แต่ละตัวตามสมการ (5) ได้ดังนี้

$$I_c = 1.25x2.6+1.6+1.6+1.6 = 8.05 \text{ A}$$

ดังนั้นเลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

4.3.3 การกำหนดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

วงจรมอเตอร์เป็นวงจรมอเตอร์หลายตัวในการทำงาน โดยจากการคำนวณมีกระแสในวงจรสายป้อน 8.05 A. ซึ่งเป็นวงจรย่อยไม่เกิน 15 A. และกำลังมอเตอร์ไม่เกิน 1 แรงม้า ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ยอมให้มอเตอร์ในวงจรย่อยไม่ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินประจำแต่ละเครื่อง ถ้ามอเตอร์เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้ทุกข้อ

1) กระแสใช้งานเต็มที่ของมอเตอร์แต่ละตัวไม่เกิน 6 A.

2) ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัวที่ระบุไว้ในเครื่องควบคุมมอเตอร์มีค่าไม่น้อยกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย

3) มอเตอร์แต่ละตัวมีการติดตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

ดังนั้นในวงจรสายป้อนวงจรมอเตอร์จึงสามารถออกแบบวงจรให้มีเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรจำนวน 1 เครื่องได้ โดยคำนวณได้ตาม (6)

$$I_{CB} = K_2 * I_{max} + I_{m1} \ldots I_{mn} \quad (6)$$

โดย

I_{CB} = ขนาดกระแสเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (A)

I_{max} = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด (A)

I_{m1} = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ที่เหลือตัวที่ 1 (A)

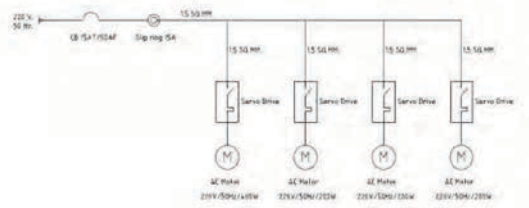
I_{mn} = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ตัวที่เหลือตัวที่ n (A)

K_2 = ค่าคงที่ปรับตั้งกระแสลัดวงจร (A)

คำนวณหาขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร จากกระแสพิกัดของมอเตอร์สามารถคำนวณหาเครื่องป้องกัน กระแสลัดวงจรตามสมการ (6) ได้ดังนี้

$$I_C = 2.5xI_{max}+I_{m1}+I_{M2}+I_{m3} = 2.5x2.6+1.6+1.6+1.6 = 11.3\ A$$

ดังนั้น จึงเลือกขนาด Circuit Breaker ขนาด 15 A. จะได้อุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจร และมีไดอะแกรมของวงจรเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มดังแสดงตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ไดอะแกรมวงจรเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

4.3.4 สรุปการออกแบบระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์หลัก

จากการออกแบบระบบไฟฟ้าในส่วนของสายป้อน สามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

1) ขนาดสายวงจรย่อย

- มอเตอร์ชุดเกียร์หมุนแท่น เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.
- มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มด้านขวา เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.
- มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มด้านซ้าย เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.
- มอเตอร์ชุดเกียร์ยกด้านหลัง เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

2) ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Circuit Breaker) เลือก Circuit Breaker 15AT/50AF

3) ขนาด Slip ring เลือก Slip ring 15A

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

5.1 การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มตามความต้องการ

การฝึกบังคับร่มในหลักสูตรส่งทางอากาศนั้น สถานีฝึกทุก ๆ สถานีมีความจำเป็นและมีความสำคัญเท่า ๆ กัน แต่ในสถานีฝึกที่ 3 เพื่อการบังคับร่ม ผู้เข้ารับการฝึกจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ของการฝึกในสถานีนี้เป็นอย่างดี จึงจะสามารถบังคับร่มได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องอาศัยเครื่องช่วยฝึกที่มีลักษณะคล้ายหรือสามารถจำลองการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากที่สุด สามารถวัดความรู้ความเข้าใจ ของผู้เข้ารับการฝึกได้อย่างถูกต้อง และเกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก

การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มเริ่มจากการทำความเข้าใจในระบบการควบคุมร่มชนิด MC1-1B เพื่อการวิเคราะห์เชิงระบบของร่ม ตามหลักการการบังคับให้ร่มหันหน้าเข้าหาทิศทางลม ซึ่งช่องผ่าหลังด้านหลังจะช่วยลดการสร้างการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อมีการปะทะด้านข้างจะมีการกระตุกสายบังคับข้างที่ลมปะทะลง เพื่อให้เกิดการหมุนของร่มให้หันหน้าไปที่ทิศทางลมนั้น การประเมินภาระกรรมในการหมุนร่มตามอัตรา Descent Rate นั้นมีค่า 10.78 เมตร/วินาที ผลแรงที่เกิดขึ้นในร่มมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6,586 นิวตัน อัตราการหมุนร่มที่ 4-9 วินาที/รอบ หรือเท่ากับ 40-90 องศา/วินาที ใช้แรงบิดอยู่ที่อย่างน้อย 500 นิวตัน แต่ร่มจะตอบสนองต่อการหมุนนี้ได้ช้าที่ 5 วินาที จนร่มหมุนได้ด้วยความเร็ว 40 องศา/นาที

แรงต้านทั้งหมดที่เกิดในตัวร่มนี้จะส่งผ่านมาตามเส้นเชือกของร่มทั้ง 30 เส้น สามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นเชือกได้เท่ากับ 344 นิวตัน การออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์จากการคำนวณ Moment of Inertia ของการหมุนได้ข้อสรุปการเลือกมอเตอร์ Omron รุ่น G40030 ขนาด 400 วัตต์ ที่ให้ Torque = 1.3 Nm. การคำนวณหาขนาดสายป้อนจากกระแสพิกัดของมอเตอร์สามารถทำให้เลือกขนาดสายที่ 1.5 ตร.มม. ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Circuit Breaker) เลือก Circuit Breaker 15AT/50AF และขนาด Slip ring เลือก Slip ring 15A

5.2 สรุปความต้องการของโรงเรียนสงครามพิเศษ

โรงเรียนสงครามพิเศษ [6] รายงานเครื่องช่วยฝึกในหลักสูตรชำรุดและมีสภาพใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ ไม่มีความทันสมัย และความรู้สึกของผู้เข้ารับการฝึกในการปฏิบัติไม่เหมือนกับการปฏิบัติงานจริง ขาดการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์เข้ากับเครื่องช่วยฝึก จึงขอความอนุเคราะห์จากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศร่วมจัดทำโครงการวิจัยพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกให้มีประสิทธิภาพ ทันสมัย มีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ ดำรงสภาพยุทโธปกรณ์ของกองทัพให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

จากนั้นโรงเรียนสงครามพิเศษจึงรายงานความคืบหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในหลักสูตรส่งทางอากาศ [7] ซึ่งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุม ตลอดจนการจัดซื้อวัสดุและครุภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว อยู่ระหว่างการรอรับวัสดุและครุภัณฑ์ เพื่อนำไปติดตั้งเป็นเครื่องช่วยฝึกสำหรับทดลองใช้งานในโรงเรียนสงครามพิเศษ ซึ่งระบบเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มต้นแบบสามารถรองรับระบบ Virtual Reality สำหรับร่มสายดึงประจำที่และร่มแบบกระตุกเองได้

ในการดังกล่าวโรงเรียนสงครามพิเศษได้ขออนุมัติเสนอโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ (สถานีบังคับร่ม) และขออนุมัติการมอบอำนาจลงนามในสัญญาความร่วมมือระหว่างโรงเรียนสงครามพิเศษกับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อสนับสนุนการทำโครงการ [8] ในการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกสถานีบังคับร่มให้มีคุณภาพ ตอบสนองต่อการควบคุมของผู้ปฏิบัติได้โดยตรง จำลองสถานการณ์ในการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง และสามารถรองรับระบบ Virtual Reality สำหรับร่มสายดึงประจำที่และร่มแบบกระตุกเองได้ในอนาคต

5.3 ข้อเสนอแนะเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มโดยศึกษาหลักการของระบบร่มชนิด MC1-1B ตามหลักการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมระบบสามารถพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มได้ตามความต้องการหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ ทำให้ได้ต้นแบบเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มที่มีลักษณะคล้ายและจำลองการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง ผู้ควบคุมการฝึกมีเครื่องมือสนับสนุนให้สามารถวัดความรู้ ความเข้าใจ ของผู้เข้ารับการฝึกต่อกระบวนการฝึกในสถานีฝึกที่ 3 เพื่อการบังคับร่มได้อย่างถูกต้องและให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก

บทความได้รายงานผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม ซึ่งเกิดจากโรงเรียนสงครามพิเศษขอความอนุเคราะห์จากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ในการวิจัยพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศให้มีประสิทธิภาพ ทันสมัย มีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ ดำรงสภาพยุทโธปกรณ์ของกองทัพได้สูงสุด จากนั้นได้รายงานความคืบหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม ซึ่งมีการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมเรียบร้อยแล้ว สามารถนำไปติดตั้งเป็นเครื่องช่วยฝึกสำหรับทดลองใช้งานในโรงเรียนสงครามพิเศษได้และขอทำความร่วมมือกับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศในการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกสถานีบังคับร่มให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น โดยให้สามารถรองรับระบบ Virtual Reality สำหรับร่มสายดึงประจำที่และร่มแบบกระตุกเองได้

อย่างไรก็ตาม บทความนี้ขอเสนอแนะให้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มต่อเนื่องในการวิเคราะห์เชิงสถิติของผู้เข้ารับการฝึกเมื่อเข้ารับการฝึกด้วยเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มนี้แล้วว่ามีขีดความสามารถใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากขึ้นในเชิงตัวเลขอย่างไร อีกทั้งการวัดความรู้และความเข้าใจของผู้เข้ารับการฝึกได้อย่างถูกต้องในเชิงตัวเลข จะช่วยให้ไม่เพียงแต่เกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึกแต่รวมไปถึงการสร้างมาตรฐานของเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในเชิงประสิทธิผลในการนำไปใช้เป็นเครื่องช่วยฝึก ซึ่งจะสร้างความมั่นใจให้ความต้องการในตลาดเครื่องช่วยฝึกหากต้องการยกระดับเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มชนิดตามที่พัฒนาขึ้นนี้ไปสู่เชิงพาณิชย์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] R. H. Jeffrey, W. A. Johnson, and R. W. Allen. 1992. A Simulator Solution for the Parachute Canopy Control and Guidance Training Problem. SAE Transactions. Journal of Aerospace. Vol. 101, Section 1, pp. 142-148.

[2] J. R. Hogue, R. W. Allen, J. MacDonald, C. Schmucker, S. Markham and A. Harms. 2001. Virtual Reality Parachute Simulation for Training and Mission Rehersal. 16th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Seminar and Conference, 21 - 24 May 2001, Boston, MA.

[3] J. R. Hogue, G. A. Frederick, C. A. Pelz, R. W. Allen, S. Markham, A. Harmsen. 1998. Parachute Simulation Enhancements for Post-Ejection/Egress Training, 36th Annual SAFE Symposium, September 14-16, 1998, Phoenix, AZ.

[4] J. R. Hogue, G. A. Frederick, C. A. Pelz, R. W. Allen, R. Gates, S. Markham, A. Harmsen, 1999. Beyond the Basics: Enhanced Parachute Simulation Training, presented at the 1999 Parachute Industry Association International Symposium, January 10-14, 1999, San Diego, California.

[5] US Department Of Defense. 1985 US Navy Aircrew Survival Equipmenman 1 & C, Department of Defense, Delene Kvasnicka,

United States Government US Army, United States Army, Department of the Army, U. S. Army, Army, DOD, The United States Army.

[6] ณัฐวุฒิ นาคะนคร (2560) การวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ หนังสือโรงเรียนสงครามพิเศษ ที่ กห 0485.3/1535 ลง 12 กรกฎาคม 2560

[7] ภูวดล พลนาค (2562) รายงานความคืบหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในหลักสูตรส่งทางอากาศ หนังสือ นสศ. ด่วนมาก ที่ กห 0485)/1155 ลง 10 มิ.ย.62

ความพึงพอใจต่อสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ "การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับด้วยปัญญาประดิษฐ์"

นุกุลรัตน์ ลวงลายทอง [1*] และ พิมพ์รภัส งามสันติวงศ์ [1*]

วันที่รับ 30 มีนาคม 2563 วันที่แก้ไข 15 เมษายน 2563 วันตอบรับ 17 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมในการเข้าร่วมกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ "การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับด้วยปัญญาประดิษฐ์" จำแนกตามข้อมูลส่วนบุคคลที่แตกต่างกันของผู้เข้าร่วมสัมมนา ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ

ผลการประเมินข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมสัมมนา พบว่า ผู้เข้าร่วมสัมมนาส่วนใหญ่เป็นผู้ที่รับราชการทหาร คิดเป็นร้อยละ 23 มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 46 อายุของผู้เข้าร่วมสัมมนาอยู่ในช่วง 30-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 30 ระดับความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมสัมมนาด้านความรู้ในเรื่องเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและปัญญาประดิษฐ์ในระดับมากเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 34 และ 26 ตามลำดับ และกิจกรรมนี้มีแนวทางจะวิจัยและพัฒนา หรือประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับให้เกิดประโยชน์ได้ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 56 ด้านเนื้อหาของหัวข้อบรรยายมีความพึงพอใจในส่วนใหญ่ระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 83 ด้านวิทยากรมีทักษะและประสิทธิภาพในการให้ความรู้มีความพึงพอใจในส่วนใหญ่ระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 70

คำสำคัญ: ความพึงพอใจ, เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ, ปัญญาประดิษฐ์

[1] ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล์: nukulrat.l@dti.or.th, phimraphas.n@dti.or.th

Satisfaction towards creating the armed forces network of knowledge management on "Research and development of unmanned aerial vehicle technology with artificial intelligence"

Nukulrat Launglaythong [1*] and Phimraphas Ngamsantivongsa [2*]

Received 30 March 2020, Revised 15 April 2020, Accepted 17 April 2020

Abstract

This research aim is to study the audience satisfaction from the creating a knowledge management network seminar classified by different personal information of the audiences. The instrument used for data collection was a questionnaire. The statistics used for data analysis was percentage. From the result it was found that most of the audience who took the questionnaires were military, 23%, had bachelor degree, 46%, lived in the period 30-40 years, 30%. The overall audience satisfaction before and after attending the seminar about knowledge of unmanned aerial vehicle technology and artificial intelligence was in high level increase by 34% and 26% respectively. In addition, this seminar has guidelines for research and development of artificial intelligence application of unmanned aerial vehicle technology at a high level by 56%. The content of the lecture topics satisfied the most level by 83%. With regard to the speakers, their skills and knowledge were effectively satisfied in high level of 70%.

Keywords: Satisfaction, unmanned aerial vehicle technology, artificial intelligence

[1] Knowledge and Publication Management Department - TKP, Defence Technology Institute.

* Corresponding author, E-mail nukulrat.l@dti.or.th, phimraphas.n@dti.or.th

1. บทนำ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) จัดตั้งขึ้นเพื่อวิจัยและพัฒนาโครงการขนาดใหญ่ตามที่สภากลาโหมกำหนดและอนุมัติให้มีแผนแม่บทในการดำเนินโครงการศึกษา ค้นคว้า วิจัย และดำเนินการอื่นที่เกี่ยวข้องหรือต่อเนื่องกับการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศให้เป็นศูนย์ข้อมูลความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศแก่กระทรวงกลาโหม เพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ส่วนบริหารองค์ความรู้ ซึ่งอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ กลุ่มงานบริการทางวิชาการและเทคนิค มีหน้าที่จัดทำวารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (DTech) เผยแพร่สู่ประชาสังคมและจัดเก็บองค์ความรู้จากตัวบุคคลและเอกสารของโครงการวิจัยและพัฒนาต่าง ๆ ของ สทป.

ทั้งนี้ เพื่อให้การดำเนินงานในการจัดกิจกรรมสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ "การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับด้วยปัญญาประดิษฐ์" โดยประสานความร่วมมือกับกองทัพและสถาบันอุดมศึกษา จากหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของ สทป. กับเหล่าทัพ และนำผลที่ได้จากการจัดกิจกรรมขยายผลในโครงการเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีประเทศและอุตสากรรมป้องกันประเทศของ สทป. และต่อยอดองค์ความรู้ทางด้านการจัดการองค์ความรู้ที่มีชื่อเสียงจากสถาบันการศึกษาชั้นนำในต่างประเทศมาถ่ายทอด เพื่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในเครือข่ายบริหารองค์ความรู้เหล่าทัพ

"เครือข่าย (Network)" คือ กลุ่มของคนหรือองค์กรที่สมัครใจแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูลระหว่างกันหรือทำกิจกรรมร่วมกัน [1] ทั้งนี้ หากมองในเชิงโครงสร้าง "เครือข่าย" หมายถึง กลุ่มของจุดต่าง ๆ ซึ่งเชื่อมต่อด้วยเส้น จุดต่าง ๆ ที่ว่านี้ คือบุคคลหรือกลุ่ม ส่วนเส้นที่เชื่อมต่อหมายถึงความสัมพันธ์ที่บุคคลหรือกลุ่มต่าง ๆ มีต่อกัน เครือข่ายจึงเป็นรูปแบบหนึ่งของกลุ่ม แต่กลุ่มไม่ใช่เครือข่ายเสมอไป [2]

"ความพึงพอใจ (Satisfaction)" ได้มีผู้ให้ความหมายของความพึงพอใจไว้หลายความหมาย ดังนี้

พึงพอใจ [3] หมายถึง รัก ชอบใจ และพึงใจ หมายถึง พอใจ ชอบใจ

ความพึงพอใจ [4] เป็นความรู้สึกส่วนตัวที่รู้สึกเป็นสุขหรือยินดีที่ได้รับการตอบสนองความต้องการในสิ่งที่ขาดหายไป หรือสิ่งที่ทำให้เกิดความ ไม่สมดุล ความพึงพอใจเป็นสิ่งกำหนดพฤติกรรมที่จะแสดงออกของบุคคล ซึ่งมีผลต่อการเลือกที่จะปฏิบัติในกิจกรรมใด ๆ

ความพึงพอใจ [5] หมายถึง ความรู้สึกหรือทัศนคติของบุคคลที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งโดยอาจเป็นไปในเชิงประเมินค่าว่าความรู้สึกหรือทัศนคติต่อสิ่งหนึ่งสิ่งใดนั้นเป็นไปในทางบวกหรือทางลบ

สรุปได้ว่า ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกที่ดีหรือทัศนคติที่ดีของบุคคล ซึ่งมักเกิดจากการได้รับการตอบสนองตามที่ตนต้องการ ก็จะเกิดความรู้สึกที่ดีต่อสิ่งนั้น ตรงกันข้ามหากความต้องการของตนไม่ได้รับการตอบสนองความไม่พึงพอใจก็จะเกิดขึ้น

"การจัดการความรู้ (Knowledge Management: KM)" หมายถึง การรวบรวมองค์ความรู้ที่มีอยู่ในองค์กรซึ่งกระจัดกระจายอยู่ในตัวบุคคลหรือเอกสาร มาพัฒนาให้เป็นระบบ เพื่อให้ทุกคนในองค์กรสามารถเข้าถึงความรู้และพัฒนาตนเองให้เป็นผู้รู้ รวมทั้งปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันจะส่งผลให้องค์กรมีความสามารถในเชิงแข่งขันสูงสุด โดยที่ความรู้มี 2 ประเภท คือ

1. ความรู้ที่ฝังอยู่ในคน (Tacit Knowledge) เป็นความรู้ที่อยู่ในตัวของแต่ละบุคคล เกิดจากประสบการณ์ การเรียนรู้ พรสวรรค์ หรือสัญชาตญาณของแต่ละบุคคลในการทำความเข้าใจในสิ่งต่าง ๆ เป็นความรู้ที่ถ่ายทอดออกมาเป็นคำพูดหรือลายลักษณ์อักษรได้ยาก พัฒนาและแบ่งปันกันได้ เป็นความรู้ที่ก่อให้เกิดความได้เปรียบในการ

แข่งขัน เช่น ทักษะในการทำงาน งานฝีมือ หรือการคิดเชิงวิเคราะห์ บางครั้งจึงเรียกว่าเป็นความรู้แบบนามธรรม

2. ความรู้ที่ชัดแจ้ง (Explicit Knowledge) เป็นความรู้ที่เป็นเหตุเป็นผล ผ่านการวิเคราะห์ สังเคราะห์ จนเป็นหลักทั่วไป ไม่ขึ้นอยู่กับบริบทใดโดยเฉพาะ สามารถรวบรวมและถ่ายทอดได้ โดยผ่านวิธีต่าง ๆ เช่น การบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร ทฤษฎี หนังสือ คู่มือต่าง ๆ และบางครั้งเรียกว่าเป็นความรู้แบบรูปธรรม

"การจัดการความรู้" [6] คือ เครื่องมือเพื่อการบรรลุเป้าหมายอย่างน้อย 4 ประการ ไปพร้อม ๆ กัน ได้แก่ บรรลุเป้าหมายของงาน บรรลุเป้าหมายการพัฒนาคน บรรลุเป้าหมายการพัฒนาองค์กรไปเป็นองค์กรเรียนรู้ และบรรลุความเป็นชุมชน เป็นหมู่คณะ ความเอื้ออาทรระหว่างกันในที่ทำงาน

"เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Technology)" หมายถึง วิทยาการในการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่หลากหลายแขนงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการป้องกันประเทศและด้านการทหารอื่น ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม [7]

"อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ (Defence Industry)" หมายถึง การวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ โดยอาจมีค่าตอบแทนหรือไม่ก็ได้ [7]

"ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI)" เป็นศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในการสร้างความฉลาดให้กับเครื่องจักร ในปี ค.ศ. 1956 ศาสตราจารย์ John McCarthy [8] ได้นิยามไว้ จึงอาจกล่าวได้ว่า ปัญญาประดิษฐ์เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการสร้างความฉลาดให้กับเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถคำนวณ คิดหาเหตุผล มีการเรียนรู้ได้เสมือนกับสมองของมนุษย์ และตอบสนองต่อสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับปัญญาประดิษฐ์ หรือ Artificial Intelligence นั้น เราสามารถแยกออกได้เป็น 2 คำ ซึ่งต่างก็มีความหมายในตัวเอง โดยคำว่า Artificial มีความหมายว่า สิ่งที่ไม่มีชีวิต ถูกสร้างหรือสังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์ และคำว่า Intelligence มีความหมายว่า ความฉลาด ความคิดคำนวณที่จะนำไปสู่ผลสำเร็จ ซึ่งความฉลาดเหล่านี้ พบได้ทั้งในมนุษย์และสัตว์ รวมถึงเครื่องจักรบางชนิดอีกด้วย [9]

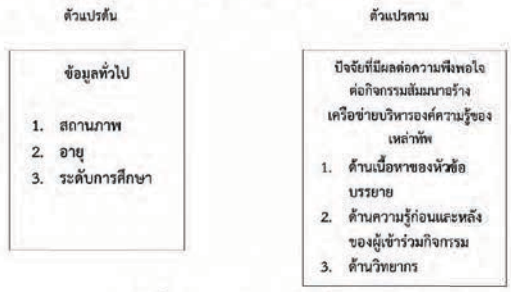
"อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)" เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่โดยใช้เครื่องบินบังคับวิทยุขนาดเล็ก เป็นอากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง เป็นอากาศยานที่ไร้คนขับ ที่นักบินสามารถควบคุมได้ทางระยะไกล อากาศยานไร้ คนขับมีรูปร่าง ขนาด รูปแบบและเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันออกไป การใช้งานอากาศยานไร้คนขับในช่วงแรกนั้นเป็นการใช้เพื่อทางการทหารเท่านั้นและมีราคาสูง แต่ในปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายมากขึ้น เพราะเทคโนโลยีมีการพัฒนาทำให้ราคาของอากาศยานไร้คนขับไม่แพงเหมือนในสมัยก่อน [10]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินการจัดกิจกรรมสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของ สทป. กับเหล่าทัพ

2. นำผลการประเมินตามข้อ 1 ไปขยายผลในโครงการเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสากรรมป้องกันประเทศของ สทป.

2.1 กรอบแนวความคิดในการทำวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

2.2 วิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ เพื่อประเมินการจัดกิจกรรมสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของ สทป. กับเหล่าทัพ ไปขยายผลในโครงการเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการด้านเทคโนโลยีประเทศและอุตสากรรมป้องกันประเทศของ สทป.

1. กลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยกำหนดกลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เข้าร่วมกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ จำนวน 104 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบถามเชิงปริมาณ ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบสอบถามโดยอาศัยข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวมในแบบสอบถามแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1 มีจำนวน 3 ข้อ เป็นการสอบถามแบบสำรวจ (Check List) โดยคำถามเป็นแบบให้ผู้ตอบเลือกตอบ โดยมีคำถามสำหรับกรองคุณสมบัติของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยมีข้อมูลส่วนบุคคล เช่น สถานภาพ อายุ ระดับการศึกษา

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นในด้านเนื้อหาของหัวข้อบรรยาย ด้านความรู้ก่อนและหลังของผู้เข้าร่วมกิจกรรม และด้านวิทยากร โดยจะใช้มาตรวัดความสำคัญ (Rating Scale) โดยแต่ละข้อแบ่งเป็น 5 มาตราวัด คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยสร้างคำถามให้ครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการ โดยในแต่ละระดับมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ (ตาราง Likert's Scale)

5 หมายความว่า มากที่สุด
4 หมายความว่า มาก
3 หมายความว่า ปานกลาง
2 หมายความว่า น้อย
1 หมายความว่า น้อยที่สุด

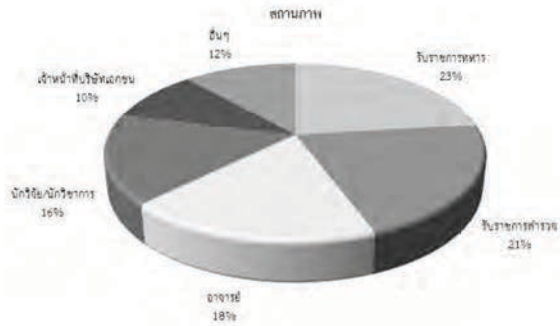
ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม โดยเป็นคำถามปลายเปิดให้ผู้ตอบแบบสอบถามเขียนข้อความในส่วนข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

3. ผลการวิจัย

จากการวิจัย เรื่อง ความพึงพอใจต่อกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ "การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับด้วยปัญญาประดิษฐ์" ได้ผลการประเมินดังนี้

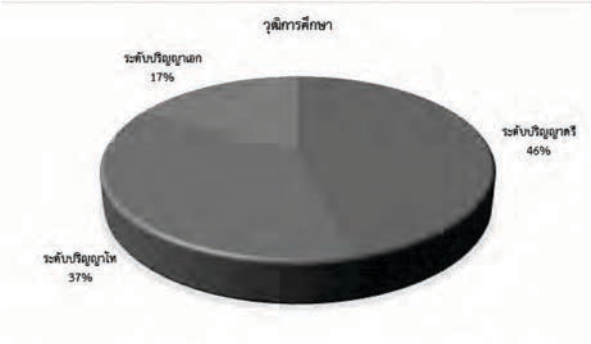
3.1 ข้อมูลทั่วไป

3.1.1 สถานภาพ จากผลการสำรวจพบว่ามีจำนวนผู้เข้าร่วมสัมมนาเป็นผู้ที่รับราชการทหาร จำนวน 24 คน รับราชการตำรวจ 22 คน อาจารย์ 19 คน นักวิจัย/นักวิชาการ 17 คน เจ้าหน้าที่บริษัทเอกชน 10 คน และอื่น ๆ เช่น นักศึกษา รวมอีกจำนวน 12 คน ดังแสดงในรูปที่ 2



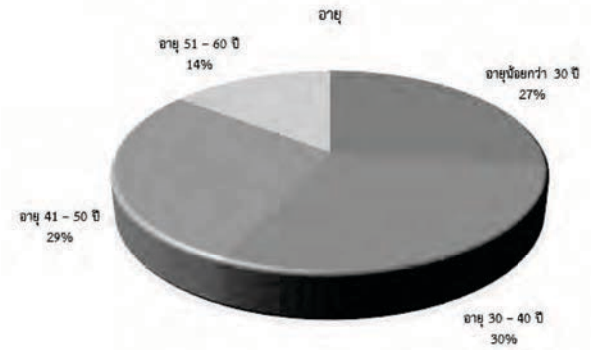
รูปที่ 2 ผลการสำรวจสถานภาพ

3.1.2 วุฒิการศึกษา จากผลการสำรวจด้านวุฒิการศึกษาพบว่า มีผู้เข้าร่วมสัมมนาจบการศึกษาในระดับปริญญาตรี จำนวน 48 คน ระดับปริญญาโท จำนวน 38 คน และระดับปริญญาเอก จำนวน 18 คน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการสำรวจวุฒิการศึกษา

3.1.3 อายุ จากผลการสำรวจด้านอายุพบว่า ผู้เข้าร่วมสัมมนามีอายุน้อยกว่า 30 ปี จำนวน 28 คน อายุ 30 – 40 ปี จำนวน 31 คน อายุ 41 – 50 ปี จำนวน 30 คน และอายุ 51 – 60 ปี จำนวน 15 คน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการสำรวจอายุ

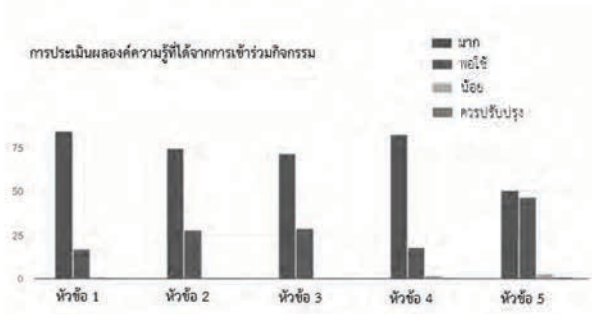
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจต่อกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ

3.2.1 ด้านเนื้อหาของหัวข้อบรรยาย

การประเมินผลองค์ความรู้ที่ได้จากการเข้าร่วมกิจกรรมที่ให้ผู้เข้าร่วมสัมมนาประเมินระดับความคิดเห็นจากคำถาม จำนวน 5 ข้อ ประกอบด้วย

1. ความสำคัญของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในด้านการวิจัยและพัฒนา
2. ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในสิงคโปร์
3. ความตระหนักรู้ต่อการวิจัยและพัฒนาอากาศยานไร้คนขับในสิงคโปร์
4. ความสำคัญของการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ
5. โอกาสในการวิจัยและพัฒนาด้วยการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในประเทศไทย

ผลการประเมินดังรูปที่ 5



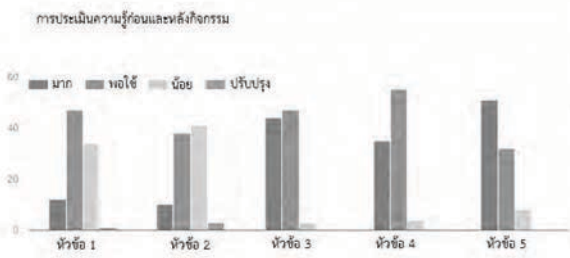
รูปที่ 5 ผลการประเมินองค์ความรู้ที่ได้จากการเข้าร่วมกิจกรรม

3.2.2 ด้านความรู้ก่อนและหลังของผู้เข้าร่วมกิจกรรม

การประเมินความรู้ก่อนและหลังกิจกรรมที่ให้ผู้เข้าร่วมสัมมนาประเมินระดับความคิดเห็นจากคำถาม จำนวน 5 ข้อ ประกอบด้วย

1. ก่อนเข้าร่วมกิจกรรมท่านมีความรู้ในเรื่องอากาศยานไร้คนขับ
2. ก่อนเข้าร่วมกิจกรรมท่านมีความรู้ในเรื่องปัญญาประดิษฐ์
3. หลังเข้าร่วมกิจกรรมท่านมีความรู้ในเรื่องอากาศยานไร้คนขับ
4. หลังเข้าร่วมกิจกรรมท่านมีความรู้ในเรื่องปัญญาประดิษฐ์
5. กิจกรรมนี้ทำให้ท่านมีแนวทางจะวิจัยและ

พัฒนา หรือประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในอากาศยานไร้คนขับให้เกิดประโยชน์ได้ ผลการประเมินดังรูปที่ 6



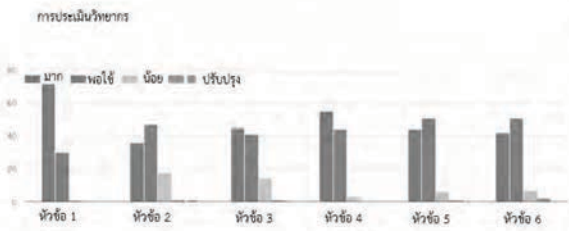
รูปที่ 6 ผลการประเมินความรู้ก่อนและหลังของผู้เข้าร่วมกิจกรรม

3.2.3 ด้านวิทยากร

การประเมินวิทยากรที่ให้ผู้เข้าร่วมสัมมนาประเมินระดับความเห็นจากคำถาม จำนวน 6 ข้อ ประกอบด้วย

1. วิทยากรสามารถถ่ายทอดได้ชัดเจนและเข้าใจง่าย
2. เปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมแสดงความคิดเห็น
3. การตอบคำถามชัดเจนและตรงประเด็น
4. เทคนิค/รูปแบบการเสวนามีความเหมาะสม
5. บรรยากาศในการแลกเปลี่ยน
6. โอกาสในการวิจัยและพัฒนาร่วมกับวิทยากร (ผ่านความร่วมมือกับ สทป.)

ผลการประเมินดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการประเมินวิทยากร

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ "การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับด้วยปัญญาประดิษฐ์" เพื่อการประเมินผลการจัดกิจกรรมมีประเด็นที่น่าสนใจ ดังนี้

ผลการประเมินข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมสัมมนาพบว่า ผู้เข้าร่วมสัมมนาส่วนใหญ่เป็นผู้ที่รับราชการทหาร คิดเป็นร้อยละ 23 ส่วนใหญ่มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 46 อายุของผู้เข้าร่วมสัมมนาอยู่ในช่วง 30-40 ปี คิดเป็นร้อยละ 30 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้เข้าร่วมสัมมนา ด้านความรู้ในเรื่องเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ และ ปัญญาประดิษฐ์ในระดับมากเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 34 และ 26 ตามลำดับ และกิจกรรมนี้มีแนวทางจะวิจัยและพัฒนา หรือประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับให้เกิดประโยชน์ได้ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 56 ด้านเนื้อหาของหัวข้อบรรยายมีความพึงพอใจส่วนใหญ่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 33 ด้านวิทยากรมีทักษะและประสิทธิภาพในการให้ความรู้มีความพึงพอใจส่วนใหญ่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 70

ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจต่อกิจกรรมสัมมนาสร้างเครือข่ายบริหารองค์ความรู้ของเหล่าทัพ ในด้านเนื้อหาของหัวข้อบรรยาย โดยภาพรวมผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เน้นความสำคัญของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในด้านวิจัยและพัฒนา และการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ ในด้านความรู้ก่อนและหลังของผู้เข้าร่วมกิจกรรมบรรยาย โดยภาพรวมผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เนื่องจากหลังเข้าร่วมกิจกรรมนี้ผู้เข้าร่วมมีความรู้ในเรื่องเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและปัญญาประดิษฐ์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องในด้านวิทยากรที่มีทักษะและประสิทธิภาพในการให้ความรู้ ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

5. ข้อเสนอแนะ

ผู้บริหารของหน่วยงานเห็นถึงความสำคัญและนำมากำหนดเป็นนโยบายของหน่วยงานที่ชัดเจน รวมถึงการสนับสนุนให้เกิดกิจกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการองค์ความรู้อย่างต่อเนื่อง ควรมีการประเมินการวิจัยในเรื่องนี้เป็นระยะ ๆ เพื่อทำการประเมินและติดตามว่าแนวทางการดำเนินงานด้านจัดการความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนั้น ผู้เข้าร่วมงานมีการรับรู้เพิ่มขึ้นหรือไม่ อย่างไร รวมถึงการเห็นความสำคัญและนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ให้เกิดประโยชน์ต่อการปฏิบัติงาน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ขนิฏฐา กาญจนรังสีนนท์, การสร้างเครือข่ายเพื่อการพัฒนา. (http://www.northphc.org/doc/net.ppt)

[2] นฤมล นิราทร, การสร้างเครือข่ายการทำงาน : ข้อควรพิจารณาบางประการ. มปท. การสร้างเครือข่าย (Networking). (http://www.med.md.kku.ac.th/site_data/mykku_med/...//Networking.doc), 2534

[3] ราชบัณฑิตสถาน 2542. พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถาน 2542. กรุงเทพมหานคร: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่น

[4] สุภาลักษณ์ ชัยอนันต์, ความพึงพอใจของเกษตรกรที่มีต่อโครงการส่งเสริมการปลูกมะเขือเทศแบบมีสัญญาผูกพันในจังหวัดลำปาง. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540

[5] อุทัยพรรณ สุดใจ, ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อการให้บริการขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จังหวัดชลบุรี. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

[6] ศ.นพ. วิจารณ์ พานิช, การจัดการความรู้ (KM) คืออะไร? จำเป็นแค่ไหนต้องใช้ KM? (Online) Available :http://www.okmd.or.th/upload/pdf/chapter1_kc.pdf)

[7] เปี่ยมพงศ์ นุ้ยบ้านด่าน, http://www.natres.psu.ac.th/Journal/Learn_Organ/index.htm เปี่ยมพงศ์ นุ้ยบ้านด่าน, องค์การแห่งการเรียนรู้. วารสารการศึกษาพยาบาล 10(3), 2543 : 13-17.

[8] J. McCarthy, What is Artificial Intelligence, Retrived on July 17, 2010, from: http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/node1.html, 2007.

[9] ณัฏฐ์ อรุณ, ปัญญาประดิษฐ์กับการประยุกต์ใช้งาน Artificial Intelligence and the Application, Executive Journal, Oct.-Dec. 2010, pp. 167-171.

[10] ธราวุฒิ บุญเหลือ, การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อจัดทำภาพถ่ายทางอากาศสำหรับการออกแบบชุมชนเมือง: กรณีศึกษาพื้นที่มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตขามเรียง. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่ 34, ฉบับที่ 5 (ก.ย.–ต.ค. 2558). หน้า 55-68.

คำแนะนำในการส่งผลงานเพื่อตีพิมพ์ ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (DTAJ)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เป็นวารสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สำหรับการบริหาร การจัดการ การส่งเสริม การแบ่งปัน และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และบทวิเคราะห์ จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัย การพัฒนา และการวิเคราะห์ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการบริหารจัดการ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งจัดพิมพ์เป็นราย 4 เดือน ผู้สนใจเขียนบทความสามารถติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่โทร. 02 980 6688 ต่อ 2142 หรือ e-mail: admin-dtaj@dti.or.th

หลักเกณฑ์การพิจารณากลั่นกรองบทความ

1. บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อนและต้องไม่อยู่ในกระบวนการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด

2. บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการและมีประโยชน์ในเชิงทฤษฎีหรือเชิงปฏิบัติ โดยผ่านการพิจารณาและให้ความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ซึ่งต้องมีคุณสมบัติอย่างต่ำตามเกณฑ์มาตรฐาน คือเป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ ทำงานวิจัยและมีผลงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง จำนวนอย่างน้อย 3 ท่านขึ้นไปต่อบทความ และ/หรือ ผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นรายกรณี

บทความที่รับพิจารณาลงพิมพ์

บทความวิจัย

มีความยาวไม่เกิน 9 หน้ากระดาษ A4 พิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows หรือไม่น้อยกว่า 2,500 คำ โดยการใช้คำสั่ง word count ใน MS Word เพื่อนับคำ (แต่ไม่ควรเกิน 9 หน้ากระดาษ A4) ประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน (Title) สถานที่ทำงาน (Work place of author & co-authors) การติดต่อผู้เขียน (Contact address of correspondence) บทคัดย่อ (Abstract) และคำสำคัญ (Keywords ไม่เกิน 3-5 คำ) โดยเนื้อหาดังกล่าวทั้งหมดข้างต้นต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตามด้วยเนื้อเรื่อง กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง ภาคผนวก (ถ้ามี)

เนื้อเรื่องจะประกอบด้วย บทนำ (Introduction), ขอบเขตการวิจัย/วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย/ทดลอง (Materials and Methods), ผลการวิจัย/ทดลอง (Results), วิจารณ์ อภิปรายผล (Discussion) บทสรุป (Conclusions) กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement, ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง (References)

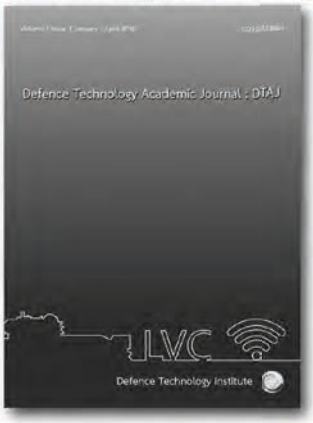
บทความวิชาการ

มีความยาวไม่น้อยกว่า 9 หน้ากระดาษ A4 พิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows หรือไม่น้อยกว่า 2,500 คำ โดยการใช้คำสั่ง word count ใน MS Word เพื่อนับคำ (แต่ไม่ควรเกิน 9 หน้ากระดาษ A4) เป็นบทความที่รวบรวมหรือเรียบเรียงจากหนังสือ เอกสาร ประสบการณ์ หรือเรื่องแปลเพื่อเผยแพร่ความรู้ในสาขาต่างๆ หรือแสดงข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์มีคุณค่าทางวิชาการ

บทความวิชาการต้องประกอบด้วย ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน สถานที่ทำงาน วิธีการติดต่อผู้เขียน บทคัดย่อ (Abstract) และคำสำคัญ (Keywords ไม่เกิน 5 คำ) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตามด้วยเนื้อเรื่อง ซึ่งลักษณะองค์ประกอบของเนื้อเรื่องอาจจะคล้ายคลึงกับบทความวิจัย แต่ไม่มีเนื้อหาของ วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง ผลการวิจัยหรือผลการทดลอง เป็นต้น ■

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.)
Defence Technology Institute (DTI)

DTAJ
Defence Technology Academic Journal



เป้าประสงค์ (Aim)

- เป็นวารสารทางวิชาการสำหรับการบริหาร การจัดการ การส่งเสริม การแบ่งปัน และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ซึ่งอยู่ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และบทวิเคราะห์ จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัย การพัฒนา และการวิเคราะห์ เทคโนโลยีป้องกันประเทศ
- เพื่อให้การบริหารองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีการบริหารจัดการและส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยการนำเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน และเกิดนวัตกรรมการบริหารองค์ความรู้ด้วยการจัดทำระบบฐานข้อมูลโครงการวิจัยและพัฒนาและข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
- สามารถตอบสนองภารกิจการเป็นศูนย์กลางการให้บริการข้อมูลและสารสนเทศด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

Call for Paper
วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ขอบเขต (Scope)

1. ครอบคลุมองค์ความรู้จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการจัดการ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
2. เป็นบทความวิชาการและบทวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นการขับเคลื่อน การพัฒนา และการยกระดับการแข่งขันของประเทศไทย ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีเศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและนวัตกรรมการบริการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
3. มีเนื้อหาและการอภิปรายผลที่เผยแพร่ในบทความวิจัย มีความถูกต้อง แม่นยำ และเที่ยงตรง ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีเศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและนวัตกรรมการบริการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

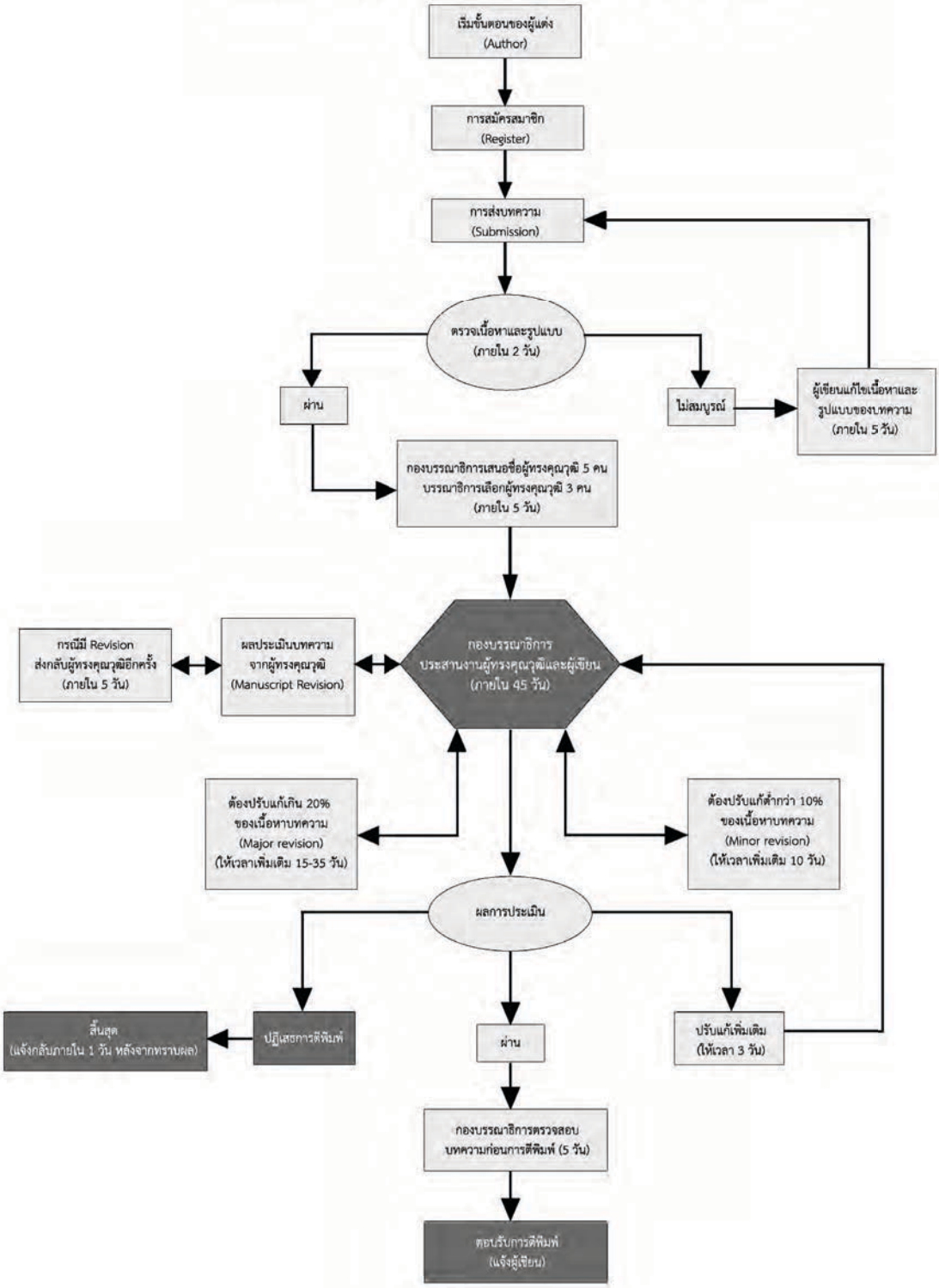
2020
ระยะเวลาการเผยแพร่และเนื้อหาของ DTAJ

1. การเผยแพร่แบ่งเป็น 3 ฉบับ/ปี ของปีปฏิทิน คือ ฉบับแรกของปีปฏิทินในห้วงเดือนมกราคม – เมษายน ฉบับต่อมาของปีปฏิทินในห้วงเดือนพฤษภาคม – สิงหาคม และฉบับสุดท้ายของปีปฏิทินในเดือนกันยายน – ธันวาคม
2. เนื้อหาภายใน DTAJ แบ่งเป็น 4 ส่วนที่สำคัญประกอบด้วย
   1) บทความพิเศษ (Special Articles) เพื่อการรวบรวมภารกิจหรืองานสำคัญของ สทป.
   2) บทวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Technology Analysis Articles) เพื่อสะท้อนเศรษฐศาสตร์และธุรกิจด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
   3) บทความวิชาการ (Academic Articles) เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลปฐมภูมิอันเป็นผลมาจากการศึกษาและการค้นคว้าวิทยาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
   4) บทความวิจัย (Research Articles) เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลปฐมภูมิอันเป็นผลมาจากการวิจัยและพัฒนาที่เป็นนวัตกรรมและนำไปสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

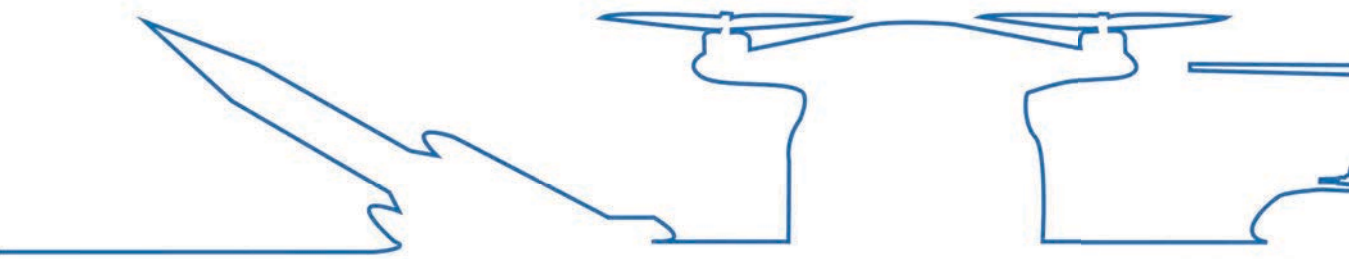
สนใจข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ โทร. 0 2980 6688 ต่อ 2142 หรือ E-mail: admin-dtaj@dti.or.th

www.dti.or.th

ขั้นตอนการประเมินบทความของกองบรรณาธิการ DTAJ (2 เดือน)



วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 มกราคม - เมษายน 2563



สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
www.dti.or.th