

Defence Technology Academic Journal : DTAJ



รายชื่อผู้จัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

คณะที่ปรึกษา

พลอากาศเอก ดร.ปรีชา ประดับมุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พลอากาศตรี ดร.สุธี จันทพันธ์

นาวาอากาศเอก คมสันต์ ประพันธ์กาญจน์

พลตรี ดร.ชรัติ อุ่มสัมฤทธิ์

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ชุมทรัพย์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์

Professor Dr. Peter Haddawy

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิรวิภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ

รองศาสตราจารย์ ดร.ระดม พงษ์วุฒิธรรม

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.ทศพล บุญเกิน

รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ธารีบุญ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชูติมันต์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ ฉิมพาลี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ กฤษเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ สกลเสริมสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา ภูมิยะกาญจนะ โรแบร์

พลตรี ดร.อรรคเดช ประทีปอุษานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล จี๊ฟู

ดร.เกียรติอนันท์ ล้วนแก้ว

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหิดล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ

มหาวิทยาลัยพะเยา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ประจำกองบรรณาธิการ

นางสาวอินทิรา จุลชาติ

นางสาวสวดี ระวังภัย

นางสาวบุญญาภรณ์ วาณิชชาติ

นางสาวสุนันทา ไทวระ

สารบัญ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
ปีที่ 2 ฉบับที่ 6 กันยายน - ธันวาคม 2563

บทความพิเศษ (Special Article)

- การจัดการความรู้ในบริบทของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 4
ส่วนบริหารองค์ความรู้ ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- แนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ 16
อรรถพร ภูมิเมษกาญจนะ โรแบร์
- หลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนนสำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ 26
ธีรไนย ศรีธรรมรงค์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Articles)

- การศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย 44
กรณีศึกษาเปรียบเทียบ จังหวัดชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี
บดีรินทร์ สันทัด

บทความวิจัย (Research Articles)

- ผลของการวางเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน 56
เพชร เจียรนัยศิลาวงศ์ และ บัณฑิต พึ่งสวระ
- GIS for Vertical Takeoff and Landing Site Selection 66
Teeranai Srithamarong and Phimraphas Ngamsantivongsa
- การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์ค่าอนุพันธ์ของข้อมูล 76
จากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ระบบ MODIS
ธนเดช โรจนกุล, สาทิต แสงประดิษฐ์, ภูมิพล อิศระวิสุทธิ และ อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ
- การออกแบบพารามิเตอร์แบบสองจุดประสงค์สำหรับตะขอยก 86
นิตยา ศิริวัน, กมลชนก ประสาททอง, อภิชาติ มณีงาม, พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์ และ กัลยา อุบลทิพย์
- การขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ ที่มีคุณภาพต่อระบบจำลองยุทธ 94
จรรยาพร ทองทิพย์รัตน์
- การจำแนกและการตรวจหารอยบกพร่องบนเพลาชัดผิว 106
ด้วยวิธีประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับการใช้คุณลักษณะ A-KAZE
อุดมศักดิ์ วงคง, สุทธิเทพ สุขวิบูลย์, พลาย จันทร์สม และ ทศพร แก้ววิจิตร

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 2 ฉบับที่ 6 มีเพิ่มเติมบทความพิเศษเพื่อประชาสัมพันธ์การจัดการความรู้ในบริบทของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เนื่องจาก พระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 กำหนดวัตถุประสงค์ให้ สทป. ศึกษา ค้นคว้า วิจัยและพัฒนา นวัตกรรมและเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งผลทางตรงที่เกิดขึ้นคือ องค์ความรู้เทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ส่วนกิจกรรมด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศนั้น บทวิเคราะห์ในฉบับนี้เป็นเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย สืบเนื่องจากยังไม่มีงานวิชาการใดทั้งของไทยและต่างประเทศทำการศึกษาศึกษาปัจจัยเพื่อพิจารณาการจัดตั้งหรือดำเนินการด้านนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่ชัดเจน นอกจากนี้ ภายในฉบับยังมีเนื้อหาอื่น ๆ ด้านเทคโนโลยีเป้าหมายของ สทป. และผลงานการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เช่น การขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ ที่มีคุณภาพต่อระบบจำลองยุทธ์ ในเทคโนโลยีการจำลองยุทธ์และการฝึกเสมือนจริงโดยนักวิจัย สทป. เป็นต้น และผลงานจากการให้ทุนอุดหนุนของ สทป. กับอาจารย์ในสถาบันการศึกษาที่มีบันทึกความเข้าใจกับ สทป. เช่น ผลของการวางเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน เป็นต้น ซึ่งเป็นการวิจัยและพัฒนาภายใต้เทคโนโลยียานรบและระบบอาวุธ

นอกจากนี้ เทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งหมายถึงวิทยาการการนำองค์ความรู้ที่มีหลากหลายแขนงมาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม ยังสะท้อนให้เห็นในบทความวิจัยเรื่องการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์ค่าอนุพันธ์ของข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ระบบ MODIS ซึ่งเป็นการนำข้อมูลจากดาวเทียมมาวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว และสามารถนำวิธีการในการศึกษารังสีไปใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่อื่น ๆ ของประเทศไทยได้ และผลงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change) ของโลกเรา

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การจัดการความรู้ในบริบทของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ส่วนบริหารองค์ความรู้ ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

1. บทนำ

พระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 มาตรา 22 กำหนดให้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา การค้นคว้า การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีป้องกันประเทศและดำเนินการอื่นที่เกี่ยวข้องหรือต่อเนื่องเพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ การส่งเสริมและสนับสนุนกิจการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของกระทรวงกลาโหม หน่วยงานอื่นของรัฐและภาคเอกชน การส่งเสริมและสนับสนุนการฝึกอบรม การค้นคว้าวิจัย การเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ การประสานความร่วมมือด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศกับหน่วยงานของรัฐ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชน ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และการเป็นศูนย์ข้อมูลความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศให้แก่กระทรวงกลาโหมและหน่วยงานของรัฐ เพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาวินยาศาสตร์และเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 มาตรา 11 กำหนดให้ส่วนราชการมีหน้าที่พัฒนาความรู้ในองค์กรเพื่อให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ โดยต้องรับรู้ข้อมูลข่าวสารและสามารถ

ประมวลความรู้ในด้านต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติราชการได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว เหมาะสมกับสถานการณ์ รวมทั้งต้องส่งเสริมและพัฒนาความรู้ ความสามารถ สร้างวิสัยทัศน์ และปรับเปลี่ยนทัศนคติของข้าราชการในสังกัดให้เป็นบุคลากรที่มีประสิทธิภาพและมีการเรียนรู้ร่วมกัน ตลอดจนเกณฑ์การบริหารจัดการภาครัฐสู่ความเป็นเลิศ (PMQA) หมวด 4 การวัด วิเคราะห์ และการจัดการความรู้ ที่มุ่งเน้นกระบวนการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และการจัดการความรู้ถือเป็นหัวใจสำคัญที่จะเป็นฐานให้เกิดการพัฒนาไปสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ที่ยั่งยืนที่จะส่งผลไปยังหมวดต่าง ๆ เพื่อสร้างผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่องค์กรต้องการ ดังนั้น เพื่อให้การปฏิบัติราชการของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารที่ดี และเกณฑ์การบริหารจัดการภาครัฐสู่ความเป็นเลิศ (PMQA) การบริหารองค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศจึงต้องประยุกต์หลักการของการจัดการองค์ความรู้ให้สอดคล้องกับบริบทการจัดการความรู้เทคโนโลยีป้องกันประเทศของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

2. ความรู้ในบริบทของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

จากพระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 มาตรา 3 เทคโนโลยีป้องกันประเทศ หมายความว่า วิทยาการในการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่หลากหลายแขนงมาประยุกต์ใช้ให้เกิด

ประโยชน์ต่อการป้องกันประเทศและด้านการทหาร
อื่น ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์แก่ประเทศ
เป็นส่วนรวม ดังนั้น ความรู้ในบริบทของสถาบัน
เทคโนโลยีป้องกันประเทศจึงเป็นวิทยาการแบบพหุ
สาขาที่นำมาบูรณาการเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่
ประเทศเป็นส่วนรวม

ส่วนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ พระราช
บัญญัติให้หมายความว่า การวิจัย การพัฒนา การ
ออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง
การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ
หรือการให้บริการซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกัน
ประเทศ โดยอาจมีค่าตอบแทนหรือไม่ก็ได้ ซึ่งเป็น
บริบทของกิจกรรมในการบูรณาการพหุวิทยาการ
เพื่อสร้างประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม

วิสัยทัศน์ของ พลอากาศเอก ดร.ปรีชา ประดับมุข
ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ท่าน
ปัจจุบัน คือ เป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
ในภูมิภาค ตอบสนองความต้องการของกองทัพไทย
และพันธมิตรอาเซียน ภายใต้ขอบเขตกระบวนการ
วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศ การให้บริการและองค์ความรู้
ทางเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ขับเคลื่อนภารกิจ
ตามวัตถุประสงค์ของสถาบันด้วยแผนยุทธศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ดังนั้น สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
จึงเป็นหน่วยงานหลักด้านการวิจัยและพัฒนา
เทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อการนำไปสู่อุตสาหกรรม
ป้องกันประเทศในสังกัดกระทรวงกลาโหม ในการ
ส่งเสริมและสนับสนุนการฝึกอบรม การค้นคว้าวิจัย
การเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ และการพัฒนา
บุคลากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและ

อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งมี 4 ประเด็น
ดังต่อไปนี้

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 การวิจัยและพัฒนา เทคโนโลยีป้องกันประเทศ

เป้าประสงค์ กระทรวงกลาโหมและประเทศไทย
มีขีดความสามารถในการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศที่ทันสมัย มีต้นแบบยุทธโศปกรณ์ที่
ระบบอุตสาหกรรมภายในประเทศสามารถรองรับ
และสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมทางยุทธศาสตร์ของ
ประเทศและภูมิภาค ประกอบด้วย 2 แผนกลยุทธ์
คือ 1) การวิจัยและพัฒนา และ 2) การถ่ายทอด
องค์ความรู้และเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรมการผลิต

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาองค์ความ รู้และนวัตกรรมสู่ประชาสังคม

เป้าประสงค์ กระทรวงกลาโหมและประเทศไทย
สามารถพัฒนา เก็บรักษา และเพิ่มพูนองค์ความรู้ด้าน
เทคโนโลยีป้องกันประเทศได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน
และถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ประชาสังคมเพื่อการใช้
ประโยชน์ในทุกมิติ ทั้งภาคการศึกษา พาณิชย์ และ
การป้องกันประเทศ ประกอบด้วย 3 แผนกลยุทธ์
คือ 1) การพัฒนาศูนย์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ และ
เทคโนโลยีป้องกันประเทศ 2) การพัฒนาบุคลากร
ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
และ 3) การบริหารจัดการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
สู่ประชาสังคม

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาเครือข่าย ความร่วมมือ

เป้าประสงค์ กระทรวงกลาโหมและประเทศไทย
สามารถบริหารจัดการและใช้ประโยชน์องค์ความรู้
และทรัพยากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศจาก

เครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ประกอบด้วย 2 แผนกลยุทธ์ คือ 1) การพัฒนา นโยบายและวิสัยทัศน์ร่วม และ 2) การพัฒนากลไก ความร่วมมือและการมีส่วนร่วม

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาองค์กรเพื่อความยั่งยืน

เป้าประสงค์ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีการดำเนินงานตามหลักธรรมาภิบาล มีประสิทธิภาพ โปร่งใสตรวจสอบได้ มีความเป็นเลิศในสาขาวิชา เฉพาะทาง เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ บุคลากรของ สถาบันมีสมรรถนะสอดคล้องกับตำแหน่ง มีความ เป็นนักวิชาการ นักบูรณาการ และนักบริหาร และมีโครงสร้างพื้นฐานที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงาน ของสถาบัน ประกอบด้วย 4 แผนกลยุทธ์ คือ 1) การ พัฒนาด้านการเงิน 2) การตอบสนองต่อความ พึงพอใจของลูกค้า 3) การจัดการภายในองค์กร และ 4) การเรียนรู้และการพัฒนา

3. หน่วยงานด้านการจัดการความรู้ของสถาบัน เทคโนโลยีป้องกันประเทศ

จากประกาศสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศที่ 18/2563 เรื่อง การแบ่งส่วนงาน กำหนด หน้าที่ความรับผิดชอบ และกำหนดอำนาจการ บังคับบัญชา ลงวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2563 กำหนด กลุ่มบริการทางวิชาการและเทคโนโลยี (Technology and Academic Service Group - TG) มีหน้าที่ และความรับผิดชอบด้านการวิเคราะห์เทคโนโลยี ป้องกันประเทศและเป็นแหล่งข้อมูลด้านเทคโนโลยี ป้องกันประเทศให้แก่กระทรวงกลาโหม การจัดทำ แผนแม่บทเทคโนโลยีป้องกันประเทศ การวิเคราะห์ และสังเคราะห์องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยและ

พัฒนาและการปฏิบัติงานภายในองค์กร การผลิตและ การพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมทั้งการเผยแพร่ข้อมูลด้านเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ การให้บริการทางวิชาการและเทคนิค ตลอดจน การพัฒนาและให้บริการเทคโนโลยีสารสนเทศ ภายในองค์กร โดยมีรองผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ (กลุ่มบริการทางวิชาการและเทคโนโลยี) เป็นผู้บังคับบัญชารับผิดชอบ แบ่งส่วนงานภายใน กลุ่มบริการทางวิชาการและเทคโนโลยีออกเป็น ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Technology Analysis Department - TTA) ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ (Knowledge and Publication Management Department - TKP) ฝ่ายบริการทางวิชาการและเทคนิค (Defence Technology Service Department - TTS) และฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology Department - TID)

โดยฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ หรือ TKP มีหน้าที่และความรับผิดชอบร่วมกับคณะทำงาน บริหารองค์ความรู้ในการบริหารจัดการองค์ความรู้ และส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ การรวบรวม ข้อมูลข่าวสารและประวัติของสถาบัน รวมทั้งเผยแพร่ ข้อมูลข่าวสารด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ดำเนินงานด้านบัณฑิตศึกษาร่วมกับสถาบันการศึกษา ต่าง ๆ ตลอดจนปฏิบัติงานอื่น ๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย จากผู้บังคับบัญชา มีผู้อำนวยการฝ่ายองค์ความรู้ และการเผยแพร่เป็นผู้บังคับบัญชารับผิดชอบ โดยในการ บริหารองค์ความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศนั้น ได้มีการออกคำสั่งสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศที่ 5/2564 เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานบริหาร องค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อให้ การดำเนินการบริหารองค์ความรู้ของสถาบัน

เทคโนโลยีป้องกันประเทศมีการบริหารจัดการและส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยการนำเทคโนโลยีมาช่วยเสริมประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน เกิดนวัตกรรมการบริหารองค์ความรู้ด้วยการจัดทำระบบฐานข้อมูลโครงการวิจัยและพัฒนา และข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมทั้งส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นไปอย่างเหมาะสมและต่อเนื่อง โดยมีรองผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (กลุ่มบริการทางวิชาการและเทคโนโลยี) เป็นประธานคณะทำงาน ผู้อำนวยการฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ เป็นรองประธานคณะทำงาน และผู้อำนวยการส่วนบริหารองค์ความรู้เป็นคณะทำงาน และเลขานุการโดยคณะทำงานบริหารองค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีหน้าที่หนึ่งที่สำคัญ คือ การจัดทำแผนการจัดการองค์ความรู้ (KM Action Plan) ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

4. ความสำคัญในการจัดการความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

จากพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 มาตรา 11 กำหนดไว้เป็นหลักการว่า “ส่วนราชการต้องมีหน้าที่ในการพัฒนาความรู้ เพื่อให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ” โดยมีแนวทางปฏิบัติตามคู่มือ คำอธิบาย และแนวทางปฏิบัติตามพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 ดังนี้

1. สร้างระบบให้สามารถรับรู้ข่าวสารได้อย่างกว้างขวาง

2. ประมวลผลความรู้ในด้านต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติราชการได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และเหมาะสมกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป

3. ส่งเสริมและพัฒนาความรู้ความสามารถสร้างวิสัยทัศน์ และปรับเปลี่ยนทัศนคติของข้าราชการเพื่อให้เป็นผู้ที่มีความรู้ในวิชาการสมัยใหม่ และปฏิบัติหน้าที่ให้เกิดประสิทธิภาพและมีคุณธรรม

4. สร้างความมีส่วนร่วมในหมู่ข้าราชการ เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน เพื่อนำมาพัฒนาใช้ในการปฏิบัติงานร่วมกันให้เกิดประสิทธิภาพ

จากพระราชกฤษฎีกาฉบับดังกล่าว นำไปสู่ความพยายามในการสร้างระบบการจัดการความรู้ให้กับส่วนราชการต่าง ๆ โดยกำหนดเป็นเกณฑ์การบริหารจัดการภาครัฐสู่ความเป็นเลิศ (PMQA) หมวด 4 การวัด วิเคราะห์ และการจัดการความรู้ ที่มุ่งเน้นกระบวนการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และการจัดการความรู้ถือเป็นหัวใจสำคัญที่จะเป็นฐานให้เกิดการพัฒนาไปสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างยั่งยืนที่จะส่งผลไปยังหมวดต่าง ๆ เพื่อสร้างผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่องค์กรต้องการ

องค์ความรู้เทคโนโลยีป้องกันประเทศของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเกิดจากกิจกรรมหลัก 2 ประเภท คือ โครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ และงานตามฟังก์ชันของหน่วยงานในสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เช่น ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มืองค์ความรู้ของโครงการอันจะเกิดจากประเด็นยุทธศาสตร์และงานตามฟังก์ชันของหน่วยงานดังต่อไปนี้

1. องค์ความรู้จากโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ นับเป็นองค์ความรู้ที่สามารถรวบรวมถ่ายทอดได้

โดยผ่านวิธีต่าง ๆ เช่น การบันทึกใน Technical Report ทัศนคติ คู่มือต่างๆ เป็นต้น และในบางครั้ง เรียกว่า เป็นความรู้ที่เป็นรูปธรรม มีการจัดการความรู้เด่นชัด จะเน้นไปที่การเข้าถึงแหล่งความรู้ ตรวจสอบ และ ตีความได้ เมื่อนำไปใช้แล้วเกิดความรู้ใหม่ ก็นำมาสรุปไว้ เพื่อใช้อ้างอิง หรือให้ผู้อื่นเข้าถึงได้

การจัดการองค์ความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ดำเนินการ ตามรูปแบบของการบริหารโครงการ ดังนี้

โครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 จำนวน 13 โครงการ ประกอบด้วย 1) หุ่นยนต์เก็บกู้วัตถุระเบิด 2) องค์ประกอบพื้นฐานระบบยานไร้คนขับระยะที่ 2 3) เครื่องช่วยฝึกยานรบเสมือนจริง 4) ประยุกต์ใช้แผนที่ สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจการช่วยเหลือทาง ทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน 5) ต้นแบบระบบเครื่อง ช่วยฝึกใช้อาวุธเสมือนจริงขั้นสูง (AVSS) 6) เทคโนโลยี ระบบสารสนเทศแบบรวมศูนย์และโปรแกรม ประยุกต์สำหรับเจ้าหน้าที่หน่วยงานด้านความมั่นคง เพื่อสนับสนุนการแก้ไขปัญหา 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ระยะที่ 3 7) ยานเกราะล้อสำหรับปฏิบัติการกิจ ของ นย. 8) ยานเกราะล้อ ระยะที่ 2 9) รถบรรทุก 4x4 ทางทหาร 10) ระบบจรวดแบบนำวิถี DTI-1G ระยะที่ 2 11) ระบบจรวดสมรรถนะสูง แบบ DTI-2 12) จรวดหลายลำกล้องนำวิถี 13) ระบบจรวดดัดแปร สภาพอากาศ

โครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 จำนวน 4 โครงการ ประกอบด้วย 1) การพัฒนาฐานข้อมูล เพื่อการวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ 2) การ จัดทำบทความวิชาการ 3) การพัฒนาบุคลากรใน ภาควิชาการ ภาควิชาวิศวกรรม และภาคเอกชน และ

4) การพัฒนานวัตกรรมการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยีป้องกันประเทศสู่ประชาชนสังคม

โครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 จำนวน 3 โครงการ ประกอบด้วย 1) การพัฒนาความร่วมมือด้านการวิจัยและพัฒนา กับภาคส่วนต่างๆ 2) การ ประชาสัมพันธ์ และ 3) ความรับผิดชอบต่อสังคม

โครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4 จำนวน 3 โครงการ ประกอบด้วย 1) การวิจัยพื้นฐาน 2) การสร้างวัฒนธรรมและส่งเสริมค่านิยมองค์กร และ 3) การพัฒนาบุคลากร

2. องค์ความรู้จากงานตามฟังก์ชันของหน่วยงาน เปรียบเทียบได้กับความรู้เฉพาะตัวหรือเจ้าหน้าที่ของ สถาบัน เป็นความรู้ที่ได้จากประสบการณ์ พรสวรรค์ หรือสัญชาตญาณของแต่ละบุคคลในการทำ ความเข้าใจสิ่งต่าง ๆ เป็นความรู้ที่ไม่สามารถถ่ายทอดออกมา เป็นคำพูดหรือลายลักษณ์อักษรได้โดยง่าย เช่น ทักษะ ในการทำงาน งานฝีมือ หรือการคิดเชิงวิเคราะห์ บางคน จึงเรียกว่าเป็นความรู้แบบนามธรรม การจัดการความรู้ ตามงานฟังก์ชันของสถาบัน จะเน้นไปที่การจัดเวที เพื่อให้มีการแบ่งปันความรู้ที่อยู่ในตัวผู้ปฏิบัติ ทำให้ เกิดการเรียนรู้ร่วมกัน อันนำไปสู่การสร้างความรู้ใหม่ ที่แต่ละคนสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานได้ต่อไป

ดังนั้น จากประกาศสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศที่ 18/2563 เรื่อง การแบ่งส่วนงาน กำหนดหน้าที่ ความรับผิดชอบ และกำหนดอำนาจการบังคับบัญชา ลงวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2563 จะเห็นว่าองค์ความรู้ ที่อยู่ติดตัวผู้ปฏิบัติงานของสถาบันจะฝังอยู่ตาม ฟังก์ชันงานต่างๆ เช่น การวิจัยและพัฒนา วิศวกรรม ระบบ การวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ การ

บริการวิชาการและเทคนิค การบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นต้น

คณะกรรมการบริหารองค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ จึงเป็นผู้กำหนดแนวทางการบริหารองค์ความรู้จากโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ และองค์ความรู้จากงานตามฟังก์ชันของหน่วยงาน เพื่อตอบสนองภารกิจการเป็นศูนย์กลางการให้บริการข้อมูลและสารสนเทศด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สอดคล้องกับวิสัยทัศน์และยุทธศาสตร์ เกิดการจัดทำแผนการจัดการองค์ความรู้

5. ธรรมชาติของความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 “ความรู้” คือ “สิ่งที่สั่งสมมาจากการศึกษาเล่าเรียน การค้นคว้า หรือประสบการณ์ รวมทั้งความสามารถเชิงปฏิบัติและทักษะ ความเข้าใจ หรือสารสนเทศที่ได้รับมาจากการประสบการณ์ สิ่งที่ได้รับมาจากการได้ยิน ได้ฟัง การคิด หรือการปฏิบัติองค์วิชาในแต่ละสาขา” ซึ่งเมื่อพิจารณาต่อเนื่องไปในเรื่องของ แหล่งความรู้ ซึ่งมีอยู่มากมาย ทั้งความรู้ในตัวบุคลากรของสถาบัน ซึ่งแบ่งบุคลากรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มนักวิจัย กลุ่มบริหาร และกลุ่มเทคนิค ความรู้ในสถาบันจากการดำเนินกิจกรรมด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศดังกล่าวข้างต้น และการดำเนินกิจกรรมด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งตามพระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 มาตรา 3 “อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ” หมายความว่า การวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการ

ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ โดยอาจมีค่าตอบแทนหรือไม่ก็ได้ และความรู้จากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของสถาบัน ซึ่งประกอบด้วยภาคเอกชน และบริษัทที่เข้ามาผ่านกระบวนการจัดซื้อจัดจ้าง และการทำสัญญาว่าจ้างโดยสถาบัน และกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่มีความร่วมมือในลักษณะการจัดทำบันทึกความเข้าใจ (Memorandum of Understanding) หรือ MOU กับ สถาบัน

ตามหลักการแล้ว ความรู้ส่วนใหญ่จะอยู่ในตัวบุคลากรมากที่สุด ซึ่งนับว่าเป็นความรู้ที่ฝังอยู่ในคน (Tacit Knowledge) ในขณะที่ความรู้ที่อีกประเภทหนึ่งคือ ความรู้ที่ชัดเจน (Explicit Knowledge) ซึ่งเป็นนามธรรม จับต้องได้ ทั้งนี้ ความรู้ที่ฝังอยู่ในคน (Tacit Knowledge) จะฝังซ่อนเร้นอยู่ในตัวคน มีลักษณะเหมือนภูเขาน้ำแข็งที่ฝังซ่อนอยู่ใต้ทะเล ซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

1) อธิบายได้แต่ยังไม่ถูกนำไปบันทึก ให้เป็น Explicit Knowledge ซึ่งการบันทึกนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นแค่การเขียนหรือเอกสารเพียงอย่างเดียว แต่รวมถึง เสียง วิดีโอ เป็นต้น กระบวนการในการจัดเก็บองค์ความรู้ผ่านการบันทึกเสียงและวิดีโอในสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ดำเนินการผ่านกิจกรรม Knowledge Sharing และ Storytelling เป็นการภายในมาโดยต่อเนื่อง และในกิจกรรมดังกล่าวทีมงานบริหารองค์ความรู้ของสถาบันได้จัดการบันทึกวิดีโอและจัดเก็บใน Microsoft SharePoint เพื่อแบ่งปันกับผู้ที่ต้องการเข้าถึงกิจกรรม

2) อธิบายได้แต่ไม่ยากอธิบาย เพื่อนำมาทำให้เป็น Explicit Knowledge ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากวัฒนธรรมองค์กรหรือพฤติกรรมส่วนบุคคล รวมถึง

ความพร้อมของคน ๆ นั้น ดังนั้น จะต้องมียุทธศาสตร์ในการทำให้บุคคลเหล่านี้ยินดีที่จะแบ่งปันความรู้ เช่น การสร้างแรงจูงใจทั้งเชิงลบและเชิงบวก ทีมงานบริหารองค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ได้จัดดำเนินกิจกรรมการสัมภาษณ์ผู้ที่ไม่พร้อมเข้าเป็น



รูปที่ 1 กิจกรรม Knowledge Sharing และ Storytelling ภายในสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ส่วนหนึ่งของ Knowledge Sharing หรือ Storytelling และมีการถอดคำสัมภาษณ์ พร้อมกันนี้เนื้อหาบางส่วนได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร DTech ของสถาบันแล้ว เพื่อแบ่งปันกับผู้อ่านของวารสาร DTech ซึ่งเป็นบุคคลทั่วไป แสดงดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 2 ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ร่วมกิจกรรม Knowledge Sharing

3) อธิบายไม่ได้ เนื่องจากเป็นความสามารถพิเศษเฉพาะตัว เป็นพรสวรรค์ หรือทักษะ ประสบการณ์ที่สั่งสมมานาน และไม่สามารถถ่ายทอดด้วยการอธิบายได้เป็นความรู้ที่ไม่สามารถถ่ายทอดด้วยการอธิบายออกมาได้ทั้งหมดและทำให้เป็น Explicit Knowledge ได้ จึงต้องมีวิธีการจัดการกับความรู้แบบนี้ เช่น หากคนมาถ่ายทอดต่อ โดยการฝึกฝนด้วยกัน เป็นการสร้างคนให้มี Tacit Knowledge แบบเดียวกัน ขึ้นมาอีกซึ่งต้องใช้เวลาในการสั่งสม หรือใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยโดยการสร้างเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งกิจกรรมนี้ทีมงานบริหารองค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศใช้กระบวนการจัดทำ Learning Object ด้วยการบันทึกวิดีโอ เช่น โครงการความร่วมมือการผลิตกระสุนขนาด 30 มม. ดำเนินการบันทึกวิดีโอการยิงทดสอบการทำงานของกระสุน 30x173 มม. แบบ ทอ. เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2561 ณ สนามยิงปืนใหญ่

เขาพลูน ศูนย์การทหารปืนใหญ่ จังหวัดลพบุรี พร้อมสัมภาษณ์นักวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

6. องค์ประกอบในการจัดการความรู้เทคโนโลยีป้องกันประเทศ

6.1 บุคลากร เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นทั้งแหล่งความรู้และเป็นผู้นำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้น การจัดเก็บองค์ความรู้จึงต้องเน้นให้ความสำคัญที่องค์ประกอบนี้ โดยต้องรู้ว่าคุณ้อยู่ที่บุคลากรคนใด และคน ๆ นั้นเป็นอย่างไร เพื่อที่จะดึงความรู้จากบุคคลนั้นออกมาถ่ายทอดให้ได้ตามพระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 หมวด 4 ผู้ปฏิบัติงานหรือบุคลากรตามองค์ประกอบในการจัดการความรู้ มาตรา 43 ผู้ปฏิบัติงานของสถาบันมี 3 ประเภท ได้แก่ 1) เจ้าหน้าที่หรือลูกจ้าง ซึ่งปฏิบัติงานโดยได้รับเงินเดือน หรือค่าจ้างจากงบประมาณของ

สถาบัน นอกจากตำแหน่งผู้อำนวยการ โดยเจ้าหน้าที่สถาบันแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มวิจัย หรือ ว กลุ่มบริหาร หรือ บ และกลุ่มเทคนิค หรือ ท 2) ที่ปรึกษาหรือผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งสถาบันจ้างให้ปฏิบัติหน้าที่โดยมีสัญญาจ้าง และ 3) เจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งมาปฏิบัติงานของสถาบันเป็นการชั่วคราว โดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหมอาจขอให้ข้าราชการ พนักงานเจ้าหน้าที่ หรือผู้ปฏิบัติงานอื่นในกระทรวง ทบวง กรม องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ องค์การมหาชนอื่น หรือหน่วยงานอื่นของรัฐมาปฏิบัติงานเป็นเจ้าหน้าที่หรือลูกจ้างของสถาบันเป็นการชั่วคราวได้ ทั้งนี้ เมื่อได้รับการอนุมัติจากผู้บังคับบัญชา หรือ นายจ้างของผู้นั้น และมีข้อตกลงที่ทำไว้ในการอนุมัติ

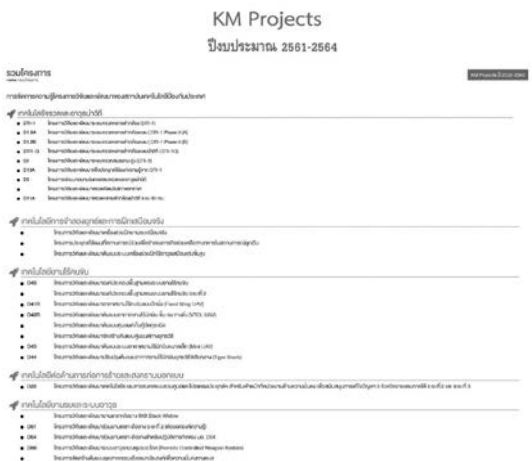
6.2 เทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือเพื่อให้บุคลากรสามารถค้นหา จัดเก็บ แลกเปลี่ยน และนำความรู้ไปใช้ได้อย่างง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้อง ดังต่อไปนี้

6.2.1 เทคโนโลยีสำหรับการค้นหาและจัดเก็บความรู้

ความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เกิดจากการศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนานวัตกรรม และเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปัจจุบันสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศสร้างเครื่องมือจากเทคโนโลยีเว็บ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานของสถาบันได้ค้นหาความรู้ ประกอบด้วย 1) คลังข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Technology Repository) 2) KM องค์การ เป็นเว็บไซต์ที่เชื่อมโยงไปยัง Microsoft SharePoint เก็บเอกสารสำคัญขององค์กร แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 3) เว็บไซต์วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (DTA) และ 4) เว็บไซต์ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ



รูปที่ 3 Microsoft SharePoint ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ



รูปที่ 4 โครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

6.2.2 เทคโนโลยีสำหรับการแลกเปลี่ยนและการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ โดยส่วนบริหารองค์ความรู้ ได้จัดกิจกรรมสัมมนาแลกเปลี่ยนเรียนรู้เชิงวิชาการ ประจำปี 2564 ที่มีชื่อว่า "MULTI SENSOR DETECTION AND AERIAL ROBOT" ในวันพฤหัสบดีที่ 12 พฤศจิกายน 2563 เพื่อแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ประสบการณ์ และสร้างเครือข่ายในการบริหารและจัดเก็บองค์ความรู้กับหน่วยงานภายนอกและเหล่าทัพ ตลอดจนหน่วยงานด้านความมั่นคงและสถาบันการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน โครงสร้างพื้นฐานเป็นการสัมมนาแบบสด ซึ่งสามารถดูภาพวิดีโอได้ในเว็บไซต์ที่ประกาศต่อสาธารณะ การถ่ายภาพนิ่ง

และการลงทะเบียนออนไลน์ ภาษาที่ใช้ในการสัมมนาเป็นภาษาไทย วิทยากรเป็นคนไทย 3 คน ที่ทำงานเป็นศาสตราจารย์ในมหาวิทยาลัยในญี่ปุ่น ฮองกง และสิงคโปร์ วิทยากรทั้ง 3 คน บรรยายผ่านระบบ Zoom โดยอินเทอร์เน็ตไร้สายบรอดแบนด์เพื่อเปิดใช้งานการสัมมนาแบบสลับระหว่างผู้เข้าร่วมการสัมมนาในประเทศไทยกับวิทยากรทั้ง 3 คน แสดงดังรูปที่ 5 และ 6

การประชุมทางวิดีโอผ่านระบบ Zoom นี้ ใช้โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารโดยใช้อินเทอร์เน็ตความเร็ว 10 GB ระบบทดสอบได้สมบูรณ์แบบไม่มีปัญหาเล็กน้อย เนื่องจากต้องใช้ฟังก์ชันหลาย

อย่างพร้อมกัน เช่น เสียง งานสำรองข้อมูลออนไลน์ และออฟไลน์ ภายหลังการบรรยายในหัวข้อ Aerial-Terrestrial-Aquatic Robots (ATA-Robots) for search, rescue and inspection in an ATA Extreme Environment, Introduction to swarm operation for UAVs, Advancing Aerial Robots with Mechanical Intelligence และ Multi Target and Multi Sensor Detection in Autonomous Vehicle มีการแจกแบบสอบถามเพื่อประเมินผลการแลกเปลี่ยนและแนวทางการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์



รูปที่ 5 กิจกรรมสัมมนาแลกเปลี่ยนเรียนรู้เชิงวิชาการ ประจำปี 2564 ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

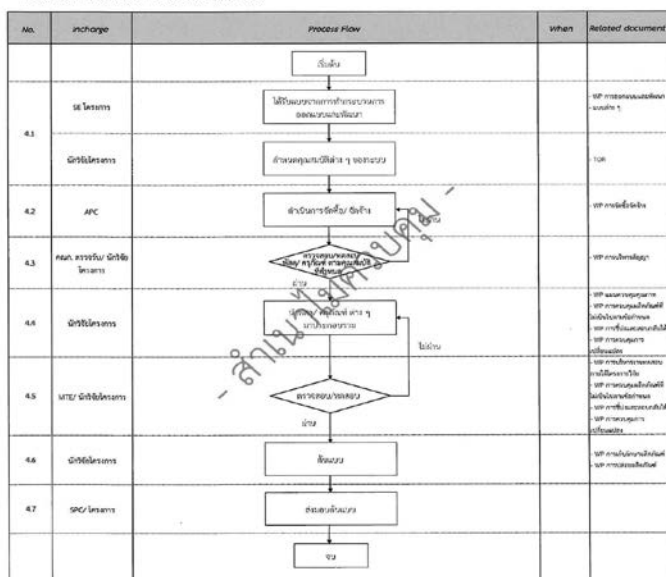


รูปที่ 6 วิทยากรในกิจกรรมสัมมนาแลกเปลี่ยนเรียนรู้เชิงวิชาการ ประจำปี 2564 ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

6.3 กระบวนการความรู้ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ได้กำหนดนโยบายคุณภาพ เพื่อแสดงถึงความมุ่งมั่นที่จะดำเนินการพัฒนา ปรับปรุง กระบวนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ การให้บริการและองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เป็นการบริหารจัดการเพื่อนำความรู้จากแหล่งโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์และงานตามฟังก์ชันของส่วนงานไปให้ผู้ใช้งานในและนอกกระทรวงกลาโหม เพื่อทำให้เกิดอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยกิจกรรมการวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ

6.3.1 กระบวนการความรู้ของโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์

เป็นกระบวนการวิจัยและพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าและผู้ถือประโยชน์ร่วม ข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ ข้อกำหนดกฎหมาย รวมถึงข้อกำหนดขององค์กรถูกต้อง 100% ตัวอย่างเช่น กระบวนการความรู้ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Procedure - WP) เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตต้นแบบของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้มีการกำหนดกระบวนการและลำดับขั้นตอนในการพัฒนาต้นแบบงานวิจัยเบื้องต้นให้มีคุณภาพในทุกขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนา ซึ่งถือเป็นการประกันคุณภาพสำหรับงานวิจัยต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 7 แสดงกระบวนการผลิตต้นแบบตามเทคโนโลยีการจำลองยุทธ์และการฝึกเสมือนจริง ซึ่งเป็นกระบวนการความรู้ในโครงการวิจัยและพัฒนาตามประเด็นยุทธศาสตร์

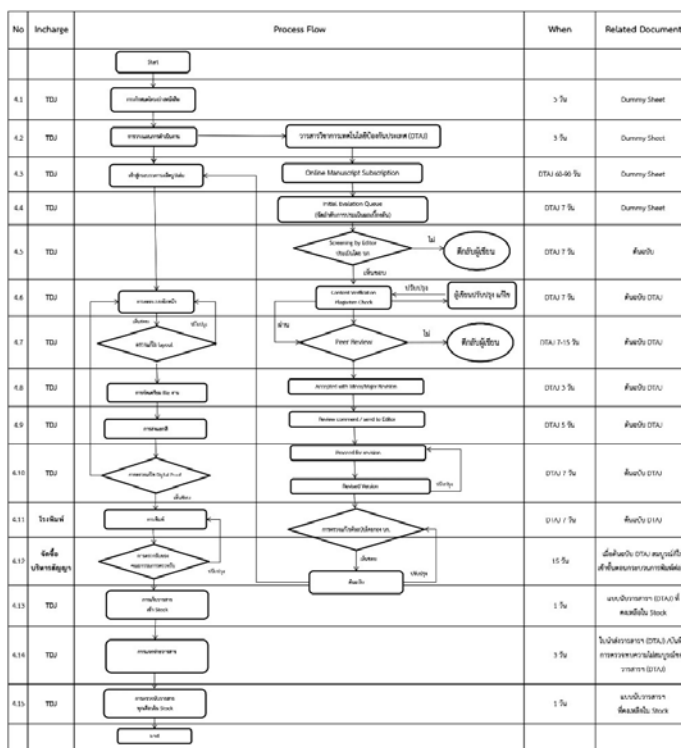


รูปที่ 7 ตัวอย่างกระบวนการความรู้ตามขั้นตอนการผลิตต้นแบบของโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์

6.3.2 กระบวนการความรู้ตามฟังก์ชันของส่วนงาน

ส่วนวารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ภายใต้ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ กลุ่มบริการทางวิชาการและเทคโนโลยี มีอำนาจและหน้าที่ในการเผยแพร่ข้อมูลทางวิชาการ การศึกษา การค้นคว้า การวิจัย การพัฒนา การวิเคราะห์ ทางด้านวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการจัดการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ โดยอ้างอิงตามหลักทางวิชาการผ่านวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ได้กำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อใช้เป็นวิธีการในการกำหนดขั้นตอนในการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างกระบวนการความรู้ตามขั้นตอนการปฏิบัติงานฟังก์ชัน

7. การจัดการองค์ความรู้ในบริบทของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ตามหลักเกณฑ์การบริหารจัดการภาครัฐสู่ความเป็นเลิศ (PMQA) หมวด 4 การวัด วิเคราะห์ และการจัดการความรู้ตามวัตถุประสงค์การก่อตั้ง

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีการกำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบลงไปยังหน่วยงานระดับเล็กที่สุดของสถาบัน คือ ส่วนบริหารองค์ความรู้ และเนื่องจากองค์ความรู้เทคโนโลยีป้องกันประเทศของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เกิดจากกิจกรรมหลัก 2 ประเภท คือ โครงการตาม

ประเด็นยุทธศาสตร์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นองค์ความรู้ที่ชัดเจน (Explicit Knowledge) และงานตามฟังก์ชันของหน่วยงานในสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่ฝังอยู่ในคน (Tacit Knowledge) การออกคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานบริหารองค์ความรู้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อให้การดำเนินการบริหารองค์ความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีการบริหารจัดการและส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ และส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและต่อเนื่อง นอกจากนี้ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศยังนำระบบมาตรฐานคุณภาพมากำกับกระบวนการวิจัยและพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ การให้บริการและองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เกิดกระบวนการความรู้ตามขั้นตอนการผลิตต้นแบบของโครงการตามประเด็นยุทธศาสตร์ และกระบวนการความรู้ตามขั้นตอนการปฏิบัติงานฟังก์ชัน สอดคล้องกับหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี ซึ่งกำหนดให้ส่วนราชการต้องมีหน้าที่ในการพัฒนาความรู้ เพื่อให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ

8. บรรณานุกรม

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน : การจัดทำวารสาร (DTech & DTAJ Publishing) ฉบับร่าง. 2564. ส่วนวารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. จำนวน 12 หน้า.

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน : การผลิตต้นแบบตามเทคโนโลยีการจำลองยุทธและการฝึกเสมือน

จริง. 2563. ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. จำนวน 7 หน้า.

พระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. 2562. ราชกิจจานุเบกษา (2562) เล่ม 136 ตอนที่ 56 ก. หน้า 17 – 38.

พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี. 2546. เล่ม 120 ตอนที่ 100 ก หน้า 1 - 16.

พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี (ฉบับที่ 2). 2562. เล่ม 136 ตอนที่ 56 ก หน้า 253 - 256.

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. 2555. แผนแม่บทการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจำลองยุทธและการฝึกเสมือนจริง (พ.ศ. 2555 – 2564). จำนวน 315 หน้า.

แนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ

อรประภา ภูมิชะกาญจนะ โรแบร์ ^{1*}

วันที่รับ 12 ตุลาคม 2563 วันที่แก้ไข 4 พฤศจิกายน 2563 วันที่ตอบรับ 10 พฤศจิกายน 2563

บทคัดย่อ

การจัดการการฝึกศึกษาในหลักสูตรของกองทัพบกได้มีการออกแบบให้เหมาะสมกับภารกิจที่ได้รับในแต่ละระดับ เมื่อเข้ารับการศึกษาในระดับหลักสูตรที่สูงขึ้น ตามแนวทางการรับราชการในกองทัพบก การฝึกจะถูกปรับจากการฝึกในระดับยุทธวิธี เป็นระดับยุทธการ และยุทธศาสตร์ ซึ่งจะมีความซับซ้อนและมีความท้าทายเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติด้วยเทคโนโลยีการจำลองยุทธและการฝึกเสมือนจริง เพื่อสนับสนุนการฝึกการออกแบบและวางแผนทางยุทธการของกองทัพบก แนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองนี้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดสนามฝึกจำลองสามมิติ ซึ่งเดิมใช้สำหรับการฝึกในระดับยุทธวิธี ให้สามารถนำมาใช้กับการออกแบบทางยุทธการ สนามฝึกจำลองสามมิติสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลในระดับยุทธการและทำการแปลงเป็นแผนยุทธการ เพื่อให้ผู้บัญชาการสามารถใช้ฟังก์ชันการบังคับบัญชาแบบมอบภารกิจและอำนาจกำลังรบได้อย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ สนามฝึกจำลองสามมิติยังสามารถสนับสนุนการใช้งานระบบจำลองยุทธของกองทัพบก ก่อให้เกิดผลกระทบในวงกว้างต่ออุตสาหกรรมป้องกันประเทศ New S-Curve 11 และเป็นหนึ่งในการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านการพัฒนาระบบเตรียมพร้อมแห่งชาติ

คำสำคัญ : การออกแบบและวางแผนทางยุทธการ, การบังคับบัญชาแบบมอบภารกิจ, การจำลองยุทธ, การฝึกเสมือนจริง, สนามฝึกจำลองสามมิติ

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร

* ผู้แต่ง, อีเมล: robert_o@silpakorn.edu

Development Guidelines of Three-Dimensional Training Field Simulation for Supporting Operational Design

Ornprapa Pummakarnchana Robert ^{1*}

Received 12 October 2020, Revised 4 November 2020, Accepted 10 November 2020

Abstract

The management of training and education in the Professional Army Education in the Royal Thai Army was designed to suit the missions acquired at each level. When undergo higher professional military courses in accordance with the Royal Thai Army service guidelines, the training will be developed from tactical to operational and strategic level, which is more complex and challenging. The objective of this study was to investigate the development guidelines of three-dimensional training simulation for supporting the process of operational design using simulation technology and virtual training. The proposed development guidelines will be used for further development of the current three-dimensional tactical training simulation, which make it possible as operational design training simulation. This proposed three-dimensional training field simulation is employed as a tool to analyse, synthesize information and help in understanding of operational environment at operational level, which will be transformed into operational approach to enable commander to employ concrete mission command and combat power. Furthermore, the three-dimensional training field simulation also supports the Royal Thai Army's simulation system, causing broad positive impact on the national defence industry, New S-Curve 11 and driving strategies for national security system development.

Keywords: Operational design, Mission command, Battlefield simulation, Virtual training, 3D training field simulation

¹ Department of environmental science, Faculty of science, Silpakorn.edu

* Corresponding author, E-mail: robert_o@silpakorn.edu

1. บทนำ

หลักนิยมและการฝึกทางทหาร รวมถึงการฝึกภาวะความเป็นผู้นำได้ถูกปรับเปลี่ยนจากในระดับยุทธวิธีเป็นในระดับยุทธการ เมื่อเข้ารับการศึกษาทางทหารในระดับที่สูงขึ้นไปตามลำดับประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นต้นแบบในการศึกษาทางการทหารของหลาย ๆ ประเทศได้ทำการปรับตัวอย่างต่อเนื่องให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่มีความท้าทายมากขึ้น [1] กองทัพบกเองก็เช่นกัน ที่ควรทำการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมภายใต้ภัยคุกคามที่มีความโดดเด่นและรุนแรงเพิ่มขึ้น กองทัพบกจึงได้มีการจัดการหลักสูตรการศึกษาที่ปรับเปลี่ยนไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่การศึกษาในระดับชั้นนายร้อย ชั้นนายพัน โรงเรียนเสนาธิการทหารบก จนถึงวิทยาลัยการทัพบก ซึ่งเป็นการศึกษาในระดับสูงสุดของกองทัพบก เมื่อเข้ารับการศึกษาในระดับที่สูงขึ้น การฝึกจะถูกปรับจากระดับยุทธวิธี เป็นระดับยุทธการ และระดับยุทธศาสตร์ ซึ่งจะมีความซับซ้อนและมีความท้าทายเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ แต่ทั้งนี้การฝึกในระดับยุทธการของกองทัพบกในปัจจุบันนั้น เป็นการฝึกภาคสนาม โดยการวาดภาพการรบด้วยแผ่นภาพสถานการณ์ แผ่นภาพหลักนิยม และแผ่นภาพตกลงใจด้วยการใช้สนามฝึกจำลองแบบสองมิติเท่านั้น ซึ่งยังขาดความเป็นพลวัตและต้องใช้ทรัพยากรด้านเวลาอย่างมาก ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาแนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกได้ตลอดเวลาและทุกสถานการณ์ ซึ่งผู้วิจัยจะอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ในบทความฉบับนี้

การออกแบบทางยุทธการ (Operational Design) [2] ประกอบด้วย (1) การเข้าใจแนวทางทางยุทธศาสตร์ของผู้บังคับบัญชาระดับสูง (2) การเข้าใจสภาพแวดล้อมทางยุทธการที่ฝ่ายอำนวยการจะต้องใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิเคราะห์และประเมินสภาพแวดล้อมทางยุทธการ เช่น การวิเคราะห์ DIME (Diplomacy, Information, Military และ Economy) และ PMESII (Political, Military, Economic, Social, Information และ Infrastructure) ร่วมกับการใช้การคิดเชิงระบบ ในการทำความเข้าใจกับสภาพแวดล้อมทางยุทธการ (3) การระบุปัญหาที่ฝ่ายอำนวยการต้องใช้การคิดเชิงวิพากษ์ [3] ร่วมกับการคิดเชิงสร้างสรรค์ในการวิเคราะห์ปัญหาเชิงลึกเพื่อกำหนดปัญหาที่แท้จริงภายใต้สถานการณ์ทางยุทธการ และ (4) การพัฒนาแนวทางการวางแผนการยุทธ (Operational Approach) เพื่อแปลงแนวความคิดทางยุทธศาสตร์ของผู้บังคับบัญชาให้เป็นการปฏิบัติให้มีความเป็นรูปธรรมมากขึ้น การจัดทำแนวความคิดทางยุทธการและการวางแผนในระดับยุทธการ จะต้องมีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งเกินกว่าความสามารถในการประมวลผลของมนุษย์ ดังนั้น ผู้บัญชาการรบและฝ่ายอำนวยการควรมีการนำเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันมาช่วยในการจัดการข้อมูลร่วมกับการใช้เครื่องมือการวางแผนทางยุทธการแบบเดิมที่อยู่ในรูปแบบสองมิติ และใช้เวลาในการทำความเข้าใจ เพื่อให้การดำเนินการกับข้อมูลที่ได้รับมีความรวดเร็ว ทันเหตุการณ์ และถูกต้องมากยิ่งขึ้น เครื่องมือทางการวางแผนที่ผู้บัญชาการรบและฝ่ายอำนวยการสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินด้านการข่าวและสภาพแวดล้อมแบบองค์รวม เพื่อให้ได้มาซึ่งปัญหาที่แท้จริง ทำให้ทราบถึงผลของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการปฏิบัติการร่วมของฝ่ายเรา ทั้งหน่วยทหาร และ

มิใช่ทหาร ได้แก่ การเตรียมสภาพแวดล้อมทางยุทธการด้านการข่าวกรองร่วม (Joint Intelligence Preparation of the Operational Environment: JIPOE) การจัดเตรียมสนามรบด้านการข่าวแบบซับซ้อน (Complex Intelligence Preparation of the Battlefield) [4] การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในเชิงระบบด้วย PMESII และระบบการเตรียมสภาพแวดล้อมด้วยภาพ (Geo-intelligence: GeoINT) เครื่องมือดังกล่าวข้างต้นเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในแง่มุมต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจในสภาพแวดล้อมทางยุทธการและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับการปฏิบัติการทั้งของฝ่ายเราและฝ่ายข้าศึกในลักษณะองค์รวม (Holistic) โดยการนำปัจจัยพลังอำนาจของชาติและข้อพิจารณาทางด้านพลเรือนมาร่วมในการวิเคราะห์ด้วย ในการดำเนินการกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ทั้งทางทหาร และพลเรือนดังกล่าว เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่มีท่วมท้นเกินกว่าความสามารถของบุคคลที่จะประเมินผลได้อย่างรวดเร็ว ทันเหตุการณ์ และมีความถูกต้อง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการที่จะนำเทคโนโลยีการจัดการและประมวลผลข้อมูลที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมาช่วยในการดำเนินการกับข้อมูลเหล่านั้น เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้บังคับบัญชา และฝ่ายอำนวยการ รวมทั้งหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปใช้ในการบูรณาการวางแผนร่วมกัน

ในบทความฉบับนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติ สำหรับการออกแบบทางยุทธการที่ผู้วิจัยได้ทำการบูรณาการหลักนิยามการออกแบบทางยุทธการ [2, 5, 6] และเทคโนโลยีด้านการจำลองยุทธและการสร้างโลกเสมือนจริง เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์สภาพแวดล้อมทางยุทธการ จะต้อง

ถูกบรรจุอยู่ในระบบสนามฝึกจำลองสามมิติ พร้อมด้วยฟังก์ชันการบังคับบัญชาแบบมอบภารกิจ (Mission Command) [7, 8] และพันธกิจในการรบ (Warfighting Function) เพื่อใช้ในการออกแบบในระดับยุทธการ สนามฝึกจำลองสามมิติ สำหรับการออกแบบทางยุทธการนี้จะสามารถสนับสนุนและต่อยอดเครื่องช่วยฝึกจำลองทางทหารในรูปแบบระบบจำลองยุทธแบบ Constructive ของกองทัพบก โดยผู้เข้ารับการฝึกจะสามารถฝึกการจัดทำแผนทางยุทธการด้วยการบูรณาการระหว่างเครื่องช่วยฝึกกระบวนจำลองยุทธในรูปแบบการฝึกกระบวนการคิดในการแก้ปัญหาและการวางแผน (Constructive) และระบบจำลองยุทธในรูปแบบโลกเสมือนจริง (Virtual World) วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือเพื่ออธิบายคุณลักษณะและแนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการของผู้บัญชาการรบร่วมและฝ่ายอำนวยการการรบร่วม

2. วิธีการศึกษา

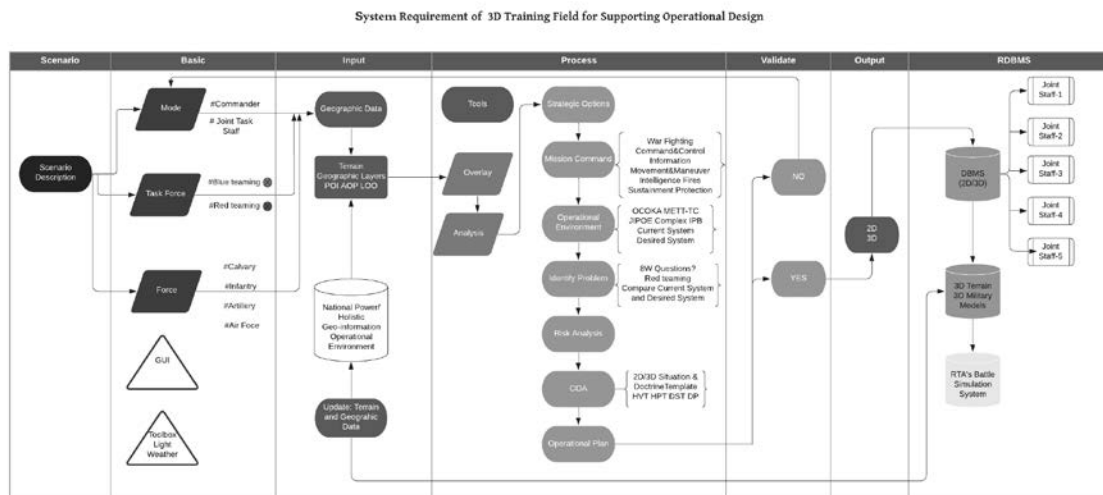
การศึกษาในครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงยุทธศาสตร์ในลักษณะของการวิจัยเอกสาร โดยผู้วิจัยได้ค้นหารูปแบบของการฝึกในระดับยุทธการในปัจจุบันของกองทัพบก และนำเสนอแนวทางการพัฒนารูปแบบของการฝึกในระดับยุทธการให้มีความสอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมภายใต้ภัยคุกคามที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลและหลักนิยามที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางยุทธการ ได้แก่ หลักนิยามกระบวนการวางแผนการรบร่วม (Joint Operational Planning Process: JOPP) หลักนิยามที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสภาพแวดล้อมทางยุทธการด้านการข่าวกรองร่วมจาก Joint Publication 5-0 [9] และ

Joint Publication 2-01.3 [10] หลักนิยมนี้นี้ได้ถูกทำการบูรณาการร่วมกับหลักการด้านเทคโนโลยีด้านการจำลองยุทธ์ และการสร้างโลกเสมือนจริงได้มาซึ่งแนวทางการพัฒนสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ ดังรายละเอียดในหัวข้อผลการวิจัย

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยแนวทางการพัฒนสนามฝึกจำลองสามมิติ สำหรับการออกแบบทางยุทธการ แสดงดังรูปที่ 1 แพลตฟอร์มของสนามฝึกจำลอง

สามมิติ สำหรับการออกแบบทางยุทธการ ประกอบด้วย 7 ฟังก์ชันการทำงาน ได้แก่ (3.1) ฟังก์ชันการกำหนดสถานการณ์ฝึก (Scenario Description) (3.2) ฟังก์ชันพื้นฐาน (Basic) (3.3) ฟังก์ชันการนำเข้าข้อมูล (Input) (3.4) ฟังก์ชันการประมวลผล (Process) (3.5) ฟังก์ชันการตรวจสอบความถูกต้อง และสมเหตุสมผล (Validation) (3.6) ฟังก์ชันการแสดงผล (Output) และ (3.7) ฟังก์ชันระบบการจัดการฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์ (Relational Database Management System: RDBMS) รายละเอียดของฟังก์ชันต่าง ๆ อธิบายเพิ่มเติมได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 System Requirement ของระบบสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อการออกแบบในระดับยุทธการ

3.1 ฟังก์ชันการกำหนดสถานการณ์ฝึก

ฟังก์ชันการกำหนดสถานการณ์ฝึก ผู้เข้ารับการฝึกสามารถกำหนดรูปแบบภูมิประเทศตามสถานการณ์ที่กำหนด และเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินผลผู้เข้ารับการฝึก รวมถึงเวลาที่ผู้เข้ารับการฝึกใช้ในการตัดสินใจต่อสถานการณ์นั้น ๆ

3.2 ฟังก์ชันพื้นฐาน

ฟังก์ชันพื้นฐาน ประกอบด้วย การกำหนดบทบาท (Mode) ผู้เข้ารับการฝึกสามารถเลือกบทบาทของตนเอง ได้แก่ ผู้บัญชาการรบร่วม และฝ่ายเสนาธิการร่วม (สธร.1 - สธร.5) ฟังก์ชันการกำหนดกองกำลัง (Task Force) ที่สามารถกำหนดได้ระหว่างกองกำลังฝ่ายเราและกองกำลังฝ่ายข้าศึก ฟังก์ชันการกำหนดประเภทของกำลัง (Force) ประกอบด้วย กำลังทหารราบ ทหารม้า ทหารปืนใหญ่ และกำลังทางอากาศ ฝ่ายเสนาธิการร่วมสามารถจัดวางตำแหน่งการวางกำลังของกองกำลังฝ่ายเราและกองกำลังฝ่ายข้าศึกได้ ฟังก์ชันส่วนต่อประสานผู้ใช้แบบกราฟิก (Graphical User Interface) ที่บรรจุกล่องเครื่องมือพื้นฐานต่าง ๆ เช่น เครื่องมือการจัดการแผนที่ เข็มทิศ เส้นกริดพิกัดทางทหาร เครื่องมือซูมเข้า-ซูมออก เป็นต้น และฟังก์ชันกล่องเครื่องมือ (Toolbox) สำหรับการปรับแต่งแก้ไขสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

3.3 ฟังก์ชันการนำเข้าข้อมูล

ผู้เข้ารับการฝึกจะสามารถเรียกใช้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศของสภาพแวดล้อมแบบองค์รวม (Holistic Geo-information Operational Environment) ที่ประกอบด้วยฐานข้อมูลด้านการเมือง การทหาร

เศรษฐกิจ สังคม ข้าราชการ และโครงสร้างพื้นฐาน จากนั้นผู้เข้ารับการฝึกสามารถทำการจำลองข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบสามมิติ หรือฝ่ายเสนาธิการร่วมจะสามารถใช้ข้อมูลภูมิประเทศจำลองนี้ในการกำหนดจุดที่สนใจ พื้นที่ที่สนใจ พื้นที่ทางยุทธการ เส้นการปฏิบัติการ ร่วมกับการวางกองกำลัง และการจัดกำลังของฝ่ายเราและฝ่ายข้าศึกได้

3.4 ฟังก์ชันการประมวลผล

ฟังก์ชันการประมวลผล ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันดังนี้

3.4.1 การซ้อนทับข้อมูล (Overlay)

การซ้อนทับข้อมูล ผู้บัญชาการรบและฝ่ายเสนาธิการร่วมสามารถทำการซ้อนทับข้อมูลจุดที่สนใจ พื้นที่ที่สนใจ พื้นที่ทางยุทธการ เส้นการปฏิบัติการ การวางกองกำลัง การจัดกำลังของฝ่ายเราและฝ่ายข้าศึก ร่วมกับชั้นข้อมูลภูมิประเทศจำลอง เพื่อนำเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.4.2 ฟังก์ชันการวิเคราะห์

ประกอบด้วยการกำหนดแนวทางทางยุทธศาสตร์ของผู้บัญชาการรบร่วม เพื่อให้การบัญชาการรบร่วมทำการมอบภารกิจที่ก่อให้เกิดเสริมในการปฏิบัติของหน่วยรบ และฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านการยุทธ (สธร.3) จะสามารถทำการวางแผนอย่างละเอียดได้ ผู้บัญชาการรบร่วมสามารถใช้ความเป็นผู้นำ [11] ข้อมูลข่าวสาร และพันธกิจในการรบ เพื่อให้ฝ่ายอำนวยการในระดับยุทธวิธีนำแผนการยุทธไปปฏิบัติ (Execution) [12]

จากนั้นฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านการข่าว (สสร.2) จะต้องทำการตรวจสอบสภาพแวดล้อมทางยุทธการจากฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศของสภาพแวดล้อมในรูปแบบองค์รวม เพื่อการประเมินสภาพแวดล้อมจะเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยสนับสนุนการตรวจสอบสภาพแวดล้อมปัจจุบัน สภาพแวดล้อมที่ต้องการให้เป็น และสภาพแวดล้อมของฝ่ายตรงข้ามในรูปแบบสามมิติได้อย่างชัดเจน รวดเร็ว และมีความถูกต้อง ขั้นตอนต่อไปเป็นการระบุปัญหาที่แท้จริง โดยฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านการข่าว (สสร.2) จะใช้แพลตฟอร์มนี้ในการนำเสนอวางแผนเข้าศึกสมมุติ (Red Teaming) เพื่อกำหนดระบบสภาพแวดล้อมของฝ่ายข้าศึก (Enemy System) และเปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมปัจจุบัน และสภาพแวดล้อมที่ต้องการเมื่อได้ทราบปัญหาที่แท้จริงฝ่ายเสนาธิการร่วมจะต้องทำการประเมินความเสี่ยง โดยผู้วิจัยได้เสนอการใช้ระบบการประเมินที่เรียกว่า Recognition Primed Decision Making (RPDM) [13] ที่สามารถใช้ได้ทั้งการประเมินความเสี่ยงในระดับยุทธการและยุทธวิธี ผู้บัญชาการรบร่วมจะต้องทำการตั้งสมมุติฐานของการประเมินความเสี่ยงของแผนการยุทธก่อนการจัดทำรายละเอียดของแผนต่อไป ก่อนที่จะได้มาซึ่งการวางแผนทางการยุทธ (Operational Plan) ฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านการยุทธ (สสร.3) จะต้องใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ และกำหนดแนวทางปฏิบัติต่อผู้บัญชาการรบร่วม ให้ได้มาซึ่งแผนภาพสถานการณ์ แผนภาพหลักนิยม ที่มีการกำหนดเป้าหมายที่มีค่าสูง และเป้าหมายที่คุ้มค่าในรูปแบบสองมิติ และสามมิติ ที่มีการระบุทิศทางทหารตามมาตรฐาน เมื่อได้แนวทางปฏิบัติทางยุทธการที่แสดงด้วยแผนภาพสถานการณ์สามมิติแล้วนั้น ผู้บัญชาการรบร่วมจะทำการเปรียบเทียบแนวทางปฏิบัติหลักและแนวทางปฏิบัติรองด้วยการใช้

เครื่องมือการวิเคราะห์แบบ Multi-attribute Utility Analysis [14] และนำเสนอด้วยฟังก์ชันการนำเสนอในรูปแบบภาพสนับสนุนการตัดสินใจที่มีการกำหนดเป้าหมายสนใจและจุดตกลงใจทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติได้

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องและสมเหตุสมผล

จากแนวทางปฏิบัติดังกล่าวข้างต้น ผู้บัญชาการรบร่วมจะต้องใช้ฟังก์ชันการตรวจสอบความถูกต้องและสมเหตุสมผลของแผนการยุทธที่ได้ออกแบบไว้ก่อนนำเสนอ โดยการใช้ฟังก์ชันแสดงผลการประเมินความสมเหตุสมผลจะใช้ข้อมูลพื้นฐานจากขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง และทำการประเมินโดยกำหนดตัวชี้วัดของระบบด้วยเกณฑ์วัดความสำเร็จด้านประสิทธิภาพและเกณฑ์วัดความสำเร็จด้านการปฏิบัติ โดยฝ่ายอำนวยการต้องพิจารณาความสมบูรณ์และความถูกต้องของการปฏิบัติการ รวมถึงการประเมินกำลังที่เหลือว่าจะเพียงพอต่อการปฏิบัติการกิจที่เหลือหรือไม่ ดังนั้นถ้าแผนการยุทธที่ถูกประเมินไม่ผ่านการประเมินตามเงื่อนไขที่อธิบายข้างต้น ผู้บัญชาการรบร่วมจะต้องทำการออกแบบใหม่ หรือทำการ redesign ย้อนกลับไปที่ขั้นตอนที่ 1 ของการออกแบบทางยุทธการ

3.6 ฟังก์ชันการแสดงผล

ระบบสนามฝึกจำลองสามมิติ จะบรรจุฟังก์ชันการแสดงผลให้กับผู้บัญชาการรบร่วมและฝ่ายเสนาธิการร่วม ทั้งในรูปแบบสองมิติและสามมิติ รวมถึงมุมมองในรูปแบบ Top View มุมมองแบบฝ่ายเดียว และมุมมองของฝ่ายตรงข้าม

3.7 ฟังก์ชันระบบการจัดการฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์

จากผลผลิตทั้งหมดที่ได้รับจากการใช้สนามฝึกจำลองสามมิติในการออกแบบทางยุทธการ จะถูกนำเข้าสู่ระบบการจัดการฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์ (ในรูปแบบสองมิติและสามมิติ) ฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านกำลังพล (สธร.1) สามารถใช้งานระบบในการประเมินกำลังพลต่อสถานการณ์ที่ถูกสมมุติ รวมถึงการสนับสนุนด้านกำลังพล ฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านการข่าว (สธร.2) สามารถทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ภูมิประเทศด้วยเครื่องมือ OCOKA, METT-TC การเตรียมสภาพแวดล้อมทางยุทธการด้านการข่าวกรองร่วมและการจัดเตรียมสนามรบด้านการข่าวแบบซับซ้อน ฝ่ายเสนาธิการด้านการยุทธ (สธร. 3) สามารถกำหนดการใช้กำลังทางทหารต่าง ๆ การนำเสนอแผนที่สถานการณ์ แผนที่หลักนิยม แผ่นภาพตกลงใจ เส้นทางทางการยุทธ และเส้นทางความพยายามต่อผู้บัญชาการรบ ฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านการส่งกำลังบำรุง (สธร.4) ทำการใช้ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศแบบองค์รวมร่วมกับภูมิประเทศจำลองในการประเมินความต่อเนื่องของการส่งกำลังบำรุงและการส่งกำลังยุทธโประกรณ์ กองพันเสนารักษ์สามารถวิเคราะห์ภูมิประเทศ เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์การเข้าให้ความช่วยเหลือ และฝ่ายเสนาธิการร่วมด้านกิจการพลเรือน (สธร.5) สามารถใช้ภูมิประเทศจำลองในการวิเคราะห์ปัจจัยด้านประชาชน เพื่อประเมินสถานการณ์และให้ความช่วยเหลือ (ปัจจัย C จาก METT-TC) ในกรณีที่มีการรบในเมืองและจำเป็นต้องอพยพประชาชนออกจากพื้นที่

จากที่ได้กล่าวข้างต้นในหัวข้อ 3.1-3.7 นั้น เป็นฟังก์ชันการทำงานที่จะต้องถูกบรรจุลงในสนามฝึก

จำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ และจากแนวทางการพัฒนาระบบสนามฝึกจำลองสามมิติที่ประกอบด้วยฟังก์ชันต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอเป็นการเพิ่มเติมให้กับรูปแบบการฝึกการวางแผนทางยุทธการแบบเดิมที่อยู่ในรูปแบบสองมิติ ด้วยการบูรณาการเทคโนโลยีด้านการจำลองยุทธและการสร้างโลกเสมือนจริงร่วมกับการออกแบบทางยุทธการและยุทธศิลป์ การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในเชิงระบบด้วย PMESII และ DIME การเตรียมสภาพแวดล้อมด้วยภาพ และการเตรียมสภาพแวดล้อมทางยุทธการด้านการข่าวกรองร่วม ดังนั้น ระบบสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการนี้ สามารถสนับสนุนในการฝึกศึกษาในระดับยุทธการของกองทัพบกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ ที่ได้เสนอแนะแนวทางในบทความนี้ ถือได้ว่าเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการฝึกการวางแผนการยุทธให้มีจังหวะของการรบในระดับยุทธการ (OPTEMPO) ได้ ระบบสนามฝึกจำลองสามมิติควรมีขีดความสามารถในการตอบสนองภารกิจการฝึกการวางแผนในระดับยุทธการให้กับผู้บัญชาการรบร่วมและฝ่ายเสนาธิการร่วมที่สามารถใช้ประสบการณ์จากการรบ การประยุกต์ใช้หลักนิยมต่าง ๆ และวิสัยทัศน์ของผู้บัญชาการรบร่วมได้ การวางแผนการยุทธต้องมีการใช้ทักษะความคิดเชิงสร้างสรรค์ร่วมกับทักษะความคิดเชิงระบบและเชิงวิพากษ์ ทักษะการประมาณสถานการณ์และที่สำคัญยังต้องสามารถนำยุทธศิลป์มาใช้ร่วมกับสนามฝึกจำลองสามมิตินี้ เพื่อการออกแบบและ

วางแผนการยุทธ ระบบสนามฝึกจำลองสามมิตินี้จะต้องมีขีดความสามารถให้กับผู้บัญชาการรวบรวมในการฝึกทักษะการมองความต้องการทางยุทธศาสตร์ว่าจะต้องทำอะไร พร้อมเหตุผล (what to do and why?) โดยพิจารณาจากทิศทางของยุทธศาสตร์ร่วมด้วย เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์สุดท้ายที่ต้องการทั้งทางทหารและที่ไม่ใช่ทางทหาร ผู้บัญชาการรวบรวมจะต้องสามารถใช้ระบบสนามฝึกจำลองสามมิตินี้ในการมองการรบในแต่ละยุทธบริเวณ เพื่อมองความสมดุลระหว่างยุทธบริเวณ จากนั้นทำการสร้างเส้นความสัมพันธ์ระหว่างทางทหาร และไม่ใช่ทางทหาร และนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายโดยรวมได้ (always zoom out) นอกจากนี้ สิ่งสำคัญที่ผู้บัญชาการรวบรวมต้องคำนึง คือ การออกแบบการยุทธจากระดับล่างสู่ระดับบน ที่เป็นการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันการบังคับบัญชาแบบมอบภารกิจที่ก่อให้เกิดเสรีในการปฏิบัติของหน่วยรบ นอกเหนือจากการออกแบบจากระดับบนสู่ระดับล่าง ที่เป็นการคิดเพียงฝ่ายเดียวเท่านั้น ทั้งนี้ เพื่อให้การแปลงแผนการยุทธให้อยู่ในรูปแบบรายละเอียดแผนหรือแผนและคำสั่งที่เป็นรูปธรรมและมีการระดมความคิดแบบองค์รวม และควรทำการพิจารณาถึงปัจจัยทางการทูต ข่าวสาร สังคม และเศรษฐกิจเพิ่มเติมจากการพิจารณาปัจจัยทางทหารด้วย จากที่กล่าวข้างต้น แนวทางการพัฒนาระบบสนามฝึกจำลองสามมิติเพื่อการออกแบบในระดับยุทธการนั้น ควรทำการต่อยอดจากผลการศึกษาที่ได้รับจากผลงานวิจัย โครงการ ‘สนามฝึกจำลองสามมิติ ศูนย์ฝึกทางยุทธวิธีกองทัพบก’ โดยทำการวิจัยแบบบูรณาการร่วมกันกับกองฝึกจำลองยุทธ ศูนย์พัฒนาหลักนิยม และยุทธศาสตร์ กรมยุทธศึกษาทหารบก

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษา ได้แก่ การพัฒนาต่อยอดสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการ

ออกแบบในระดับยุทธการนี้ให้อยู่ในรูปแบบสื่อการสอนตามหลักสูตรการศึกษาของกองทัพบก และเป็นการฝึกผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกสามารถทำการทดสอบความรู้และทักษะการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมแบบองค์รวมในระดับยุทธการได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พันเอก ภรัธ เทียนทองดี อาจารย์ประจำวิทยาลัยการทัพบก สำหรับคำแนะนำทั้งในด้านวิชาการทางทหารและทักษะในการเขียนรายงานวิจัยเชิงยุทธศาสตร์ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ปรึกษาวิจัย พันเอก บรรณศิริ บัวเผื่อน ผู้อำนวยการกองฝึกจำลองยุทธ ศพย.ยศ.ทบ. ที่ได้ให้คำปรึกษาทางด้านการจำลองยุทธและการฝึกเสมือนจริง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Beaty, E.D. “Required an adaptation in an increasingly complex operational environment”, Available: <https://publications.armywarcollege.edu /pubs/3646.pdf>, 25 March 2020.
- [2] ภรัธ เทียนทองดี. “เอกสารประกอบการบรรยายวิชาการวางแผนและการปฏิบัติการสงคราม”, วิทยาลัยการทัพบก, กรุงเทพมหานคร, 2562.
- [3] Paul, R., and Elder L. “The miniature guide to critical thinking: Concepts and Tools. The foundation for critical thinking”, Available: <https://www.criticalthinking.org/>

files/ Concepts_Tools.pdf. 5 May 2020.

[4] Morris, R.V. “Complex intelligence preparation of the battlefield in Ukrainian antiterrorism operations”, in Military review, The professional journal of the U.S. Army, 97 (1), 2017, pp. 58.

[5] สุภกิจ นุตสถิต. “เอกสารประกอบกรบรรยายวิชายุทธศิลป์ และการออกแบบทางยุทธการ”, วิทยาลัยการทัพบก, กรุงเทพมหานคร, 2559.

[6] McKercher B.J.C., and Hennessy, M.A. “The Operational art: Developments in the theories of war”, Westport, Connecticut, London, 1996, pp. 61.

[7] James D., Sharpe Jr. and Crevis-ton, T.E. “Understanding mission command”, Available: https://www.army.mil/article/106872/article/106872/understanding_mission_command, 2 May 2020.

[8] Department of U.S. Army. “Mission command. command and control of army forces”, Available: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN19189_ADP_6-0_FINAL_WEB_v2.pdf, 21 May 2020.

[9] Joint Chiefs of Staff. “Joint doctrine publication, Joint publication 5-0 (16 June 2017)”, Available: https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp5_0_20171606.pdf, 28 March 2020.

[10] National Defense University Press. “JP 2-01.3, Joint intelligence preparation of the operational environment (May 21, 2014)”, Available: <https://ndupress.ndu.edu/Media/News/Article/577578/joint-doc->

[trine%20update/](https://ndupress.ndu.edu/Media/News/Article/577578/joint-doc-trine%20update/), 30 November 2019.

[11] Department of the U.S. Army. “ADP 6-22 Army Leadership and the Profession”, Available:https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN20039_ADP%206-22%20C1%20FINAL%20WEB.pdf, 23 May 2020.

[12] Department of the U.S. Army. “Mission command: Command and control of army forces”, Available: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN19189_ADP_6-0_FINAL_WEB_v2.pdf, 2 May 2020.

[13] Ross KG., Klein GA., Thunholm P., Schmitt JF., and Baxter HC. “Recognition-primed decision model, US army military review July-August 2004”, Available: <https://cgsc.congical/collection/p16040coll2/id/23>, 9 May 2020.

[14] Endsley, M.R. “Measurement of situation awareness in dynamic systems”, Human factors, 37, 1995, pp. 65-84.

หลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนน สำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ

ธีรไนย ศรีธรรมรงค์^{1*}

วันที่รับ 7 ธันวาคม 2563 วันที่แก้ไข 16 ธันวาคม 2563 วันที่ตอบรับ 16 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

บทความวิชาการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งขององค์ความรู้ในการจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน ด้วยการนำเสนอหลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนนสำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ โดยใช้ให้เห็นความสำคัญในการนำหลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนนสำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ มาสร้างเครื่องมือช่วยตัดสินใจเพื่อลดอุปสรรคในการเดินทางและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะขับเคลื่อนลงเขาที่มีความลาดชัน ซึ่งศึกษาเส้นทางขนส่งทางบกปกติระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 ในเส้นทางช่วงระหว่าง จ.อุตรดิตถ์ และ จ.แพร่ ตามทางหลวงหมายเลข 11 ซึ่งเป็นเส้นทางขึ้นลงเขาสูงชันระยะทางทั้งสิ้น 31.4 กิโลเมตร ถือเป็นทั้งอุปสรรคในการเดินทาง รถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ และอาจก่อให้เกิดอันตรายขณะขับเคลื่อนลงเขาที่มีความลาดชัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูล DEM รายละเอียดจุดภาพ 12.5 เมตร สามารถนำไปประเมินอุปสรรคในการเดินทางและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะขับเคลื่อนลงเขา โดยพบว่า มีระยะทาง 2.09 กิโลเมตร ที่มีความชันเกิน 21.61 องศา ซึ่งเกินขีดความสามารถในการใช้เดินทางรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ จึงเสนอแนะให้หลีกเลี่ยงเส้นทางขนส่งทางบกปกติระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้วงระยะทาง 2.09 กิโลเมตร

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ความลาดชัน, การเคลื่อนย้ายรถบรรทุก, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, การวิเคราะห์เส้นทาง

¹ ส่วนบริหารองค์ความรู้, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: teerania.s@dti.or.th

Concept of Road Slope Analysis for the Transport of A Modified 6-Wheel Truck

Teeranai Srithamarong ^{1*}

Received 7 December 2020, Revised 16 December 2020, Accepted 16 December 2020

Abstract

This academic paper is part of an ongoing project that acquires the knowledge of simulating military rescue missions in emergency situations. The work addressed the application of road slope analysis principle commonly practiced in GIS for 6-wheel modified truck transport. It highlighted the importance of applying road slope analysis principles for 6-wheel modified truck movement to create a decision-making tool. The ultimate objective was to study obstacles in the car transport and to prevent hazards that may occur when driving up and down hills with steep slopes. The study chose the normal land transport routes between the Defence Technology Institute in Nonthaburi and the Mobile Development Unit 31 in Nan with the route between Uttaradit and Phrae Province along Highway No. 11 was found to contain a steep up and down route in a total distance of 31.4 kilometers. That was considered both a barrier in 6-wheel truck operation and condition modification that may cause danger while driving up and down hills with steep slopes. The results of the analysis of the 12.5 m DEM data were obvious to clarify that the obstacles in the road slope and the danger could be prevented from driving up and down the hill in a distance of 2.09 kilometers. The data analysis showed that along the 2.09 kilometers each collected location had a slope of 21.61 degrees, which was beyond the limited ability of the 6-wheel truck. Therefore, it was suggested to avoid the studied route that included that 2.09 km range.

Keywords : Road slope analysis, Truck transport, GIS, Route selection

¹ Knowledge Management Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: teeranai.s@dti.or.th

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา

โครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน เป็นโครงการวิจัยและพัฒนาของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อสนับสนุนการป้องกันและแก้ไขปัญหาจากสถานการณ์ฉุกเฉินของกระทรวงกลาโหม ซึ่งหน่วยบัญชาการทหารพัฒนามีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงในการป้องกันและแก้ไขปัญหาจากภัยพิบัติ [1]

จากการศึกษาความต้องการของหน่วยบัญชาการทหารพัฒนานั้น มีความต้องการเครื่องมือสื่อสารเพื่อเชื่อมโยงระบบเข้าสู่ศูนย์บัญชาการเหตุการณ์ ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและทันเวลามากกว่าการสื่อสารผ่านระบบสื่อสารด้วยดาวเทียม อีกทั้งการอำนวยความสะดวกระหว่างผู้บังคับบัญชาและผู้ปฏิบัติต้องดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบควบคุมและบัญชาการ (Command and Control หรือ C^2) และรวดเร็วกว่าที่ใช้งานอยู่

ภายใต้ความต้องการดังกล่าวโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน จึงพัฒนาระบบอำนวยความสะดวกเคลื่อนที่เพื่อการบรรเทาภัยพิบัติและสาธารณภัย [2] เพื่อแสดงผลการปฏิบัติหน้าที่ของทหารขณะปฏิบัติการในสถานการณ์ฉุกเฉิน ซึ่งประกอบไปด้วย 4 สถานี ที่ต้องเชื่อมโยงกันได้อย่างไม่มีการขาดตอน ประกอบด้วย 1) สถานีภาคอากาศ 2) สถานีชุดเผชิญเหตุ

3) สถานีควบคุมและบัญชาการ และ 4) สถานีบัญชาการเหตุการณ์

สถานีบัญชาการเหตุการณ์ใช้รถบรรทุก 6 ล้อดัดแปลงสภาพ มาทำการเพิ่มขีดความสามารถให้ตอบสนองการอำนวยความสะดวกปฏิบัติในสถานการณ์ฉุกเฉิน ประกอบด้วยการจำลองภูมิประเทศ 3 มิติ และจัดทำแผนที่สถานการณ์ การวิเคราะห์วิดีโอภาพ และข้อมูลใกล้เคียงเวลาจริง และการเป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างสถานีและชุดเผชิญเหตุกับสถานีควบคุมและบัญชาการเหตุการณ์ ซึ่งการดัดแปลงส่วนหนึ่งหมายถึงการบรรจุครุภัณฑ์คอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ภาครับส่งในการถ่ายทอดสัญญาณภาพและพิกัดทหารขณะปฏิบัติในเวลาจริง

1.2 หลักการและเหตุผล

นักวิจัยโครงการฯ ได้มีความคืบหน้าในการปฏิบัติงานร่วมกับหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 สำนักงานภาค 3 หน่วยบัญชาการทหารพัฒนา อ.บัว จ.น่าน มาเป็นลำดับ ประกอบด้วยการรวบรวมองค์ความรู้เพื่อการวิจัยและพัฒนา นำเสนอแผนการดำเนินงาน และรวบรวมข้อมูลการใช้งานให้กับหน่วยบัญชาการทหารพัฒนาได้รับทราบมาอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 มีหนังสือขอรับการสนับสนุนเครื่องมือโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน จำนวน 1 ระบบ [3] เพื่อเป็นหน่วยนำร่องทดลองใช้งานภารกิจด้านบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ และเพื่อพัฒนาระดับมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ

ให้สามารถตอบสนองต่อการให้ความช่วยเหลือประชาชนได้อย่างถูกต้องและทันเวลา ในการนี้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ตอบรับให้การสนับสนุนเครื่องมือดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว [4]

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ดำเนินการประสานการปฏิบัติกับกองบัญชาการกองทัพไทยเพื่อร่วมจัดทำบันทึกความเข้าใจ (Memorandum of Understanding หรือ MOU) ว่าด้วยความร่วมมือด้านการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีป้องกันประเทศแล้ว ดังนั้น สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศจึงดำเนินการประสานและหารือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกิจด้านการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ ซึ่งคือหน่วยบัญชาการทหารพัฒนา เพื่อดำเนินการจัดทำบันทึกข้อตกลง (Memorandum of Agreement หรือ MOA) ว่าด้วยความร่วมมือในโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน

สถานียบัญชาการเหตุการณ์ ในที่นี้หมายถึงรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ ที่จะกล่าวถึงในบทความฉบับนี้ โดยในรถจะบรรจุทุกเจ้าหน้าที่ประจำพร้อมพลขับจำนวน 4 คน เพื่อการสื่อสารโดยบัญชาการเหตุการณ์ที่รับถ่ายทอดมาจากสถานีควบคุมและบังคับบัญชา ที่สถานีนี้มีการติดตั้งซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และ Workstation สมรรถนะสูงเพื่อการจำลองภูมิประเทศ 3 มิติ และการสร้างแผนที่ภาพถ่าย 3 มิติ อีกทั้งซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพ วิดีโอ และข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการสร้างข่าวกรองสำหรับการตัดสินใจและส่งต่อไปยังสถานีควบคุมและบังคับบัญชา เพื่ออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติการบรรเทาสาธารณภัยและภัยพิบัติ [5]

รถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ เป็นรถที่ปรับปรุงภายใต้สัญญาระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศกับ บริษัท บางกอก โปร เวนเจอร์ จำกัด [6] ซึ่งดำเนินการเรียบร้อยแล้ว อยู่ในระหว่างรอดำเนินการส่งมอบตามบันทึกข้อตกลงในหัวข้อ 1.2 ซึ่งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศจะต้องดำเนินการจัดส่งรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพให้ถึงหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 อ.ปัว จ.น่าน เพื่อดำเนินการทดสอบตามวัตถุประสงค์ของบันทึกข้อตกลง ดังนั้น ความปลอดภัยและอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในการนำรถออกจากที่ตั้งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ไปยังจุดหมาย จึงอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ



รูปที่ 1 เส้นทางผลการสืบค้นใน Google Map©

เส้นทางขนส่งทางบกปกติระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและหน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 31 มีระยะทางทั้งสิ้น 710 กิโลเมตร หากใช้ความเร็วปกติระหว่าง 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง 13 นาที (รูปที่ 1 ซ้าย) โดยในเส้นทางปกตินี้ช่วงระหว่าง จ.อุตรดิตถ์ และ จ.แพร่ ตามทางหลวงหมายเลข 11 (รูปที่ 1 ขวา) มีลักษณะเป็นเส้นทางขึ้นลงเขาสูงชันระยะทางทั้งสิ้น 31.4 กิโลเมตร ถือเป็นทั้งอุปสรรคในการเดินทางรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ และอาจก่อให้เกิดอันตราย

ขณะขับเคลื่อนลงเขาที่มีความลาดชัน ดังนั้น จึงเป็นหลักการและเหตุผลของบทความฉบับนี้ที่ผู้เขียนจะชี้ให้เห็นความสำคัญในการนำหลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนนสำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ เพื่อลดอุปสรรคในการเดินทางและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะขับเคลื่อนลงเขาที่มีความลาดชัน

1.3 วัตถุประสงค์ของการเสนอหลักการ

เพื่อเสนอหลักการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในการคำนวณความลาดชันของถนนที่ใช้เดินรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ โดยใช้ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่มีความละเอียดต่ำในปัจจุบัน ก่อนการใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงขึ้น

1.4 ขอบเขตและข้อจำกัดของหลักการในบทความวิชาการนี้

ขอบเขตในการเลือกชุดข้อมูลเฉพาะที่ครอบคลุมเส้นที่เป็นเส้นทางขึ้นลงเขาสูงชันระยะทางทั้งสิ้น 31.4 กิโลเมตร ซึ่งระบุว่าเป็นทั้งอุปสรรคในการเดินทาง รถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ และอาจก่อให้เกิดอันตรายขณะขับเคลื่อนลงเขาที่มีความลาดชัน ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อจำกัดของรายละเอียดความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้คือจุดภาพของแบบจำลองความสูงเชิงเลขขนาด 12.5 เมตร ซึ่งอยู่ในระดับหยาบเมื่อเทียบกับขนาดความยาวรถที่ 8.14 เมตร อย่างไรก็ตาม บทความฉบับนี้ต้องการชี้ให้เห็นความสำคัญของการเลือกเส้นทางเดินทาง และอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นเมื่อต้องเดินทาง เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบภูมิสารสนเทศ

2.1.1 ภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics)

เป็นวิวัฒนาการการใช้ความหมายของ Geo หมายถึง โลกหรือการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่เป็นอยู่บนโลก และคำว่า Informatics หมายถึง ข้อมูลข่าวสารหรือ Information มีจุดเริ่มต้นมาจากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems หรือ GIS) ในบางครั้งถูกเรียกเป็น GIS ดังนั้น ระบบภูมิสารสนเทศและระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์จึงใช้แทนกันได้อย่างไม่นัยสำคัญ GIS เป็นระบบที่มีการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และวิเคราะห์จนเกิดเป็นข้อมูลข่าวสาร ทำให้การสืบค้น (Query) การแก้ไข (Editing) การปรับปรุง (Manipulation) และการแสดงผล (Visualization) ได้ในระบบคอมพิวเตอร์ [7]

ข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นรูปลักษณะที่ปรากฏจริงบนพื้นโลก สามารถใช้การตรวจวัดและจัดทำใหถูกต้องและทันสมัยได้อย่างรวดเร็วด้วยหลักการรังวัดด้วยภาพถ่ายหรือการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม จากนั้นจึงดำเนินการปรับแก้และปรับปรุงให้มีความถูกต้องและแม่นยำในระบบพิกัดแผนที่ด้วยเทคโนโลยีระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System หรือ GPS) ดังนั้น ข้อมูลเชิงพื้นที่จะมีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงในเชิงคุณลักษณะและในเชิงพิกัดแผนที่มากที่สุดได้นั้น ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถที่ผู้จัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่จะใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีทั้งสองดังกล่าว ผนวกกับความชำนาญของผู้จัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่

และการใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วยบริหารจัดการตาม คำจำกัดความของ GIS

ข้อมูลอธิบายคุณลักษณะ (Attribute Data) เป็นส่วนสำคัญที่สุดที่จะกำหนดคุณค่าของข้อมูล GIS บ่อยครั้งที่ขีดความสามารถของ GIS ผ่านข้อมูล นี้ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าผู้คนสามารถติดต่อและเชื่อมโยงกับข้อมูลอธิบายคุณลักษณะนี้ได้มากขึ้น ทำให้เกิดคุณค่ามากขึ้นต่อข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้ใช้จะเห็นเท่าที่มีและมีเท่าที่เห็น แต่ข้อมูลอธิบายคุณลักษณะเป็นส่วนที่เพิ่มเติม ปรับปรุง และแก้ไขได้เท่าที่ความฉลาดของผู้จัดทำข้อมูลจะสร้างมูลค่าให้แก่ข้อมูลข่าวสาร ส่วนใหญ่แล้วข้อมูลอธิบายคุณลักษณะที่น่าเชื่อถือจะได้อมาจากการลงพื้นที่สำรวจในพื้นที่จริงเท่านั้น

2.1.2 องค์ประกอบของ GIS

ตามหลักการเบื้องต้นใน [8] ระบุไว้ว่า GIS ประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ประการ ดังต่อไปนี้

การนำเข้าข้อมูล (Data Input) มีหน้าที่แปลงข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งอาจประกอบด้วยแผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น ให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้งานใน GIS ได้

การจัดการข้อมูล (Data Management) มีหน้าที่จัดเก็บและแก้ไขข้อมูลจากฐานข้อมูล (Database) มีหลากหลายวิธีในการจัดการข้อมูล ให้อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลที่คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าได้ มีการจัดการโครงสร้างข้อมูล เพื่อการเชื่อมโยงแฟ้มข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ ง่ายต่อการ

สืบค้นและแก้ไข

การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) เป็นการดำเนินการใน GIS เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสาร ซึ่งต้องดำเนินการต่อทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลอธิบายคุณลักษณะ เป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดของ GIS เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารในการตัดสินใจ

การแสดงผลข้อมูล (Data Display) มีหน้าที่นำเสนอข้อมูลข่าวสารในการตัดสินใจต่อผู้ใช้ในรูปแบบแผนที่ ตาราง คำบรรยาย โดยให้ปรากฏทั้งบนกระดาษ หน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือแฟ้มข้อมูลในรูปสำเนาชั่วคราว

2.1.3 โครงสร้างของข้อมูล GIS

ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ใน GIS ซึ่งอธิบายไว้อย่างละเอียดใน [9] แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

ข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบเวกเตอร์ (Vector Data Structure) ตัวแทนของเวกเตอร์นี้อาจแสดงด้วย จุด เส้น หรือพื้นที่ที่ถูกกำหนดโดยจุดพิกัด ซึ่งข้อมูลประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X, Y) และ/หรือแนวดิ่ง (Z) หรือ ถ้าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียว ก็จะเป็นค่าของจุด ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่า จะเป็นเส้น (ดังแสดงในรูปที่ 2 บน) ส่วนพื้นที่นั้นจะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไป และจุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้าย จะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ข้อมูลเวกเตอร์ ได้แก่ ถนน แม่น้ำ ลำคลอง ขอบเขตการปกครอง เป็นต้น

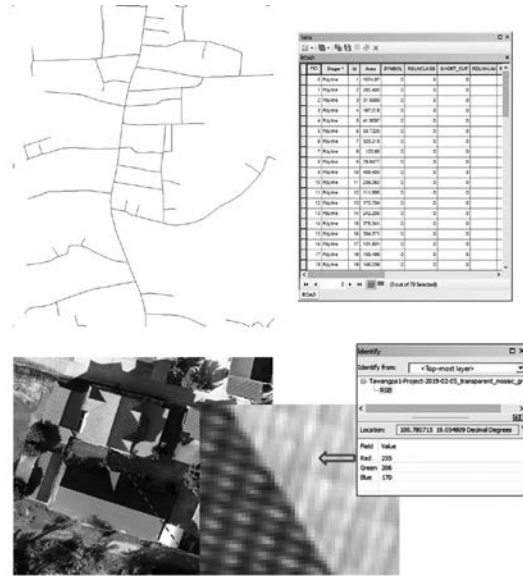
ข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบแรสเตอร์ (Raster

Data Structure) จัดเก็บข้อมูลเป็นลักษณะตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็กๆ (Grid หรือ Pixel) เท่ากันและต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถอ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ ขนาดของตารางกริดหรือความละเอียด (Resolution) ในการเก็บข้อมูลจะใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับการจัดแบ่งจำนวนแถวและจำนวนคอลัมน์ ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บโดยใช้ตารางกริด ได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพดาวเทียม เป็นต้น

2.1.4 การประยุกต์ใช้

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ GIS ในการแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ที่มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากการรายงานความก้าวหน้าทางวิชาการในวารสารนานาชาติว่าด้วยเรื่อง GIS และการประยุกต์ใช้งานในหลากหลายมิติ ตัวอย่างเช่น การจำลองโรคติดต่อโดยการบูรณาการการมีลักษณะในเชิงพื้นที่กับการมีลักษณะเฉพาะตน [10] ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ในทางสาธารณสุข การสร้างแบบจำลองความแม่นยำสูงเพื่อทำแผนที่เสี่ยงดินถล่มในประเทศตุรกี ซึ่งใช้ Neural Network และการทดสอบ Bivariate Spearman Correlation เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับสกัดข้อมูลและลดเวลาในการคำนวณ ซึ่งต้องใช้ในขณะมีการทำการสอนระบบผ่านข้อมูล (Data Training) และการสร้างแผนที่ [11]

ทิมนักวิจัยใน [12] ใช้ GIS สร้างหลักการและเหตุผลในการเสนอแบบจำลองซึ่งพิสูจน์โดยการใช้กรณีศึกษาของระบบเดินรถประจำทางในเมืองเซินเจิ้น (Shenzhen) เพื่อหาความแตกต่างในเชิงพื้นที่และห้วงเวลาของระบบการให้บริการรถประจำทาง การศึกษาพบว่า การปรับตารางเวลาของ



รูปที่ 2 ข้อมูลเวกเตอร์ (บน) และข้อมูลแรสเตอร์ (ล่าง)

รถเข้ากับอุปสงค์การเดินทางที่เปลี่ยนไปตามเวลา ส่งผลต่อการเข้าถึงระบบเดินรถประจำทาง รวมถึงการพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความเร็วของรถประจำทาง และพื้นที่จอดรถ ล้วนแล้วแต่ส่งผลในเชิงบวกต่อการเข้าถึงระบบเดินรถประจำทาง

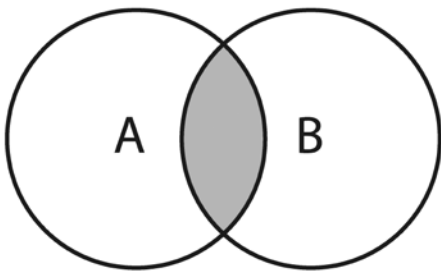
2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

หลักในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ต่อไปนี้จะมาเพียงบางส่วนจาก [9] เพื่อแสดงให้เห็นความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของ GIS อันจะนำไปสู่การสร้างทางเลือกเพื่อเป็นตัวเลือกในการตัดสินใจ

2.2.1 การเลือกและการจำแนกประเภท (Selection and Classification)

การเลือก (Selection) เป็นการระบุสัญลักษณ์เชิงพื้นที่ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขหรือหลักการ 1 ข้อหรืออีกหลาย ๆ ข้อ ในการดำเนินการเลือกนี้ข้อมูล

อธิบายคุณลักษณะหรือรูปทรงเรขาคณิตของรูป
ลักษณะเชิงพื้นที่ที่จะถูกตรวจสอบเทียบกับเงื่อนไข
และหลักการ และส่วนที่ตรงกับเงื่อนไขและหลัก
การจะถูกเลือกออกมา ทั้งนี้ อาจจะไปสร้างชั้น
ข้อมูลใหม่ ๆ หรืออาจถูกปรับปรุงโดยให้อยู่ภายใต้
ชั้นข้อมูลเดิม ตัวอย่างการเลือกพีชคณิตของเซตโดย
หาค่าน้อยกว่า (<) มากกว่า (>) เท่ากับ (=) หรือไม่
เท่ากับ (≠) หรือบูลีนพีชคณิต เช่น OR, AND, NOT
เป็นต้น ตัวอย่างการใช้บูลีนพีชคณิตในรูปแบบที่ 3 โดย
(a) คือ A AND B หรือการเลือกในเชิงพื้นที่ เช่น ใกล้
เคียง (Adjacency) เป็นต้น



รูปที่ 3 บูลีนพีชคณิต AND ที่กระทำระหว่าง A กับ B

การจำแนกประเภท (Classification) เป็น
กระบวนการสร้างโมเดลจัดการข้อมูลให้อยู่ในกลุ่ม
ที่กำหนดมาให้จากกลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่เรียกว่า
ข้อมูลสอนระบบ (Training Data) ที่แต่ละแถวของ
ข้อมูลประกอบด้วยข้อมูลอธิบายคุณลักษณะจำนวน
มาก จุดประสงค์ของการจำแนกประเภทข้อมูลคือ
การสร้างโมเดลการแยกข้อมูลอธิบายคุณลักษณะ
หนึ่งโดยขึ้นกับข้อมูลอธิบายคุณลักษณะอื่น โมเดล
ที่ได้จากการจำแนกประเภทข้อมูลจะทำให้สามารถ
พิจารณาคลาสในข้อมูลที่ยังไม่ได้แบ่งกลุ่มในอนาคต
ได้ เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลนี้ได้นำไป

ประยุกต์ใช้ในหลายด้านนอกเหนือจากใน GIS เช่น
การจัดกลุ่มลูกค้าทางการตลาด การตรวจสอบความ
ผิดปกติ และการวิเคราะห์ทางการแพทย์ เป็นต้น

2.2.2 ฟังก์ชันการวิเคราะห์เชิงประมาณค่า และการสร้างพื้นที่กันชน (Proximity Functions and Buffering)

ฟังก์ชันการวิเคราะห์เชิงประมาณค่า (Proximity
Functions) เป็นฟังก์ชันที่ใช้หาความสัมพันธ์
ระหว่างจุดที่กำหนดกับสิ่งที่อยู่บริเวณรอบ ๆ
เป็นการดัดแปลงรูปลักษณะที่กำหนดหรือสร้างรูป
ลักษณะขึ้นมาใหม่โดยให้ขึ้นอยู่กับระยะทาง เช่น
การใช้ฟังก์ชันนี้ประมาณค่าระยะทางจากแหล่ง
น้ำธรรมชาติในเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ป่า เป็นต้น
เนื่องจากแหล่งน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต
ของสัตว์ป่า ดังนั้น เจ้าหน้าที่จึงต้องสร้างความ
มั่นใจว่าพื้นที่ที่รายล้อมแหล่งน้ำนั้นมีระยะทางไป
ยังแหล่งน้ำไม่ไกลมาก

การสร้างพื้นที่กันชน (Buffering) เป็นการ
สร้างขอบเขตพื้นที่ล้อมรอบวัตถุที่เป็นเป้าหมาย
โดยวัตถุเป้าหมายอาจเป็นจุด เส้น หรือพื้นที่รูป
ปิดก็ได้ เช่น การสร้างขอบเขตพื้นที่รอบตำแหน่ง
เสาไฟฟ้าแรงสูงในระยะ 20 เมตร เป็นต้น โดย
องค์ประกอบของการวิเคราะห์รูปแบบนี้จะต้อง
มีตำแหน่งของเป้าหมายอย่างน้อย 1 แห่ง เช่น
ตำแหน่งเสาไฟฟ้าแรงสูง ถนน หรือแปลงที่ดิน
จากนั้นจึงกำหนดระยะห่างว่าจะให้เป็นเท่าไร ซึ่ง
ผลที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์โดยใช้คำสั่งอื่น ๆ
ต่อไป เช่น เมื่อได้รัศมีรอบเสาไฟฟ้าแรงสูงใน
ระยะ 20 เมตร แล้วห้ามไม่ให้มีพืชหรือต้นไม้สูง
ขึ้นภายในระยะนี้

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ (Terrain Analysis)

2.3.1 ความชันและด้าน (Slope and Aspect)

ความชันแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับสูงของจุดภาพของแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model หรือ DEM) ความชันแสดงความลาดชัน (Steepness) ของพื้นผิว และมักใช้สัญลักษณ์แบบเป็นชั้น ๆ ด้วยการแสดงความสว่างของสี (Brightness) ส่วนด้าน (Aspect) ระบุว่าทิศทางของทางลาดของอัตราสูงสุดของการเปลี่ยนแปลงในค่าจากแต่ละจุดภาพไปยังจุดภาพข้างเคียง ด้านมองได้ว่าเป็นทิศทางของความชันค่าของการคำนวณที่ได้จะเป็นทิศในตามเข็มทิศของด้าน มักใช้แสดงเป็นสีเรื่อ (Hue)

2.3.2 เส้นชั้นความสูง (Contour Lines) เป็นเส้นที่ลาดไปบนแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศเพื่อบ่งชี้การยกกระดบหรือการจมลงของพื้น ช่วงชั้นความห่าง (Contour Interval) เป็นระยะแนวตั้งหรือความแตกต่างในระดับสูงระหว่างเส้นชั้นความสูง เส้นชั้นความสูงหลัก (Index Contour) ใช้สีทึบหรือสีเข้มแสดงกับทุก ๆ เส้นที่ 5 ของเส้นชั้นความสูง

2.3.3 พื้นที่การมองเห็น (Viewshed) เป็นพื้นที่บนพื้นผิวที่สามารถมองเห็นได้จากจุดสังเกตสำหรับตำแหน่งที่มองเห็นได้ สามารถหาได้ว่ามีผู้สังเกตกี่คนที่สามารถมองเห็นตำแหน่งนั้นได้ รวมถึงกำหนดค่าความสูงของผู้สังเกต จำกัดความห่างความสูง และทิศทางที่จะมอง การหาตำแหน่งที่สามารถมองเห็นได้นั้นสามารถหาได้จากหนึ่งหรือหลายจุดสังเกต หรืออาจเป็นแนวเส้นสังเกตก็ได้

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงออกมาเป็นค่า 0 แทนพื้นที่ที่ไม่สามารถมองเห็น 1 แทนพื้นที่ที่สามารถมองเห็นได้ พื้นที่การมองเห็นสามารถนำไปใช้ในการหาพื้นที่สำหรับการสร้างสถานีเรดาร์ทางทหาร หอควบคุมไฟฟ้า หรือกำหนดจุดชมวิวในสถานที่ท่องเที่ยว เป็นต้น

2.3.4 แผนที่การให้เงา (Shaded Relief Map)

การให้เงาเป็นวิธีการหนึ่งของการแสดงลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ หลักการให้เงา นิยมถือหลักว่ามีแสงส่องมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือด้านที่อยู่ตรงข้ามกับทิศทางที่แสงส่องจะเกิดเงาสีดำ ความต่างของความเข้มของเงาจะช่วยให้เห็นลักษณะความสูงต่ำที่แตกต่างกัน ที่สูงชันเงาจะเข้มมาก ถ้าเป็นที่ลาดเงาจะมีสีจาง ข้อมูลข่าวสารนี้มีความสำคัญในการนำร่องและแสดงภูมิทัศน์ได้อย่างแม่นยำ แต่การให้เงาไม่ใช่การวัดค่าความสูงที่ถูกต้องหรือแสดงความสูงจริงของเทือกเขา แต่เป็นการให้นัยยะถึงความลึกของภูมิประเทศได้

2.4 การวิเคราะห์เส้นทางที่เหมาะสมใน GIS

การศึกษาใน [13] เป็นการนำเอาแนวทางการจำลองด้วย GIS มาคำนวณหาเส้นทางที่เร็วที่สุดเพื่อการส่งผักสด ดังนั้น จึงเป็นการลดต้นทุนการขนส่งสุทธิ สิ่งค้นพบหลักของงานวิจัยนี้ได้แก่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น เขตที่อยู่อาศัยและจำนวนประชากร เป็นต้น เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเวลาในการขับขี่ ดังนั้น ตัวแปรที่นำเข้ามาคำนวณจะส่งผลต่อสิ่งค้นพบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น [14] จึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเส้นทางถนนในป่า ทำให้เกิดการจัดการชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์ข้อมูล

จำนวนมาก ๆ เช่นนี้และการได้มาซึ่งข้อมูลที่รวดเร็ว และแม่นยำจึงมีความเป็นไปได้ด้วยระบบ GIS การศึกษานี้ใช้การคำนวณเส้นทางถนนผ่านป่าโดยใช้ระบบช่วยตัดสินใจ เรียกว่า FOROR (Forest Road Route) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัย เป็นระบบที่ใช้ข้อมูลแรสเตอร์เป็นหลัก การวิเคราะห์ทำด้วย 5 วิธีการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นเส้นทางที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงนำเส้นทางเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกัน และนำไปเปรียบเทียบกับเส้นทางที่มีในปัจจุบัน

อีกทั้งแบบจำลอง GIS ยังได้ถูกพัฒนาขึ้นใน [15] เพื่อการกำหนดเส้นทางและการปรับเส้นทางเพื่อสร้างโปรแกรมประยุกต์หาเส้นทางด่วนเพื่อเป็นทางเลือก ภายหลังเส้นทางเลือกเหล่านั้นถูกนำไปออกแบบในซอฟต์แวร์ CADD (Softdesk 8.0) จึงมีการวิเคราะห์ ประเมินผล และเลือกทางเลือกที่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ทางเศรษฐกิจ และทางการเมืองน้อยที่สุด ผลของการศึกษานี้มีความชัดเจนว่ามีความเป็นไปได้ในการนำ GIS ไปใช้และศักยภาพในการเป็นเครื่องมือในการเลือกเส้นทางและการปรับเส้นทางด่วนโดยผลกระทบที่เกิดขึ้นมีน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม เครือข่ายถนนจะเพิ่มความซับซ้อนในการสร้างแบบจำลองยิ่งขึ้นไปอีก วัตถุประสงค์หลักของงาน [16] คือ การเสนอการวิเคราะห์เครือข่ายที่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นการใช้ขีดความสามารถของ GIS ในการระบุเส้นทางที่ดีที่สุดจากตำแหน่งของเหตุการณ์ในการให้บริการด้านสุขภาพของผู้ให้บริการในพื้นที่เขตเมืองกรุงโครี ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเวลาในการเดินทางผ่านเส้นทางที่ดีที่สุดดีกว่าเส้นทางที่สั้นที่สุดถึง 22% ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากผลการศึกษานี้จึงมีข้อเสนอว่าอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด

ด้วย GIS จึงดีกว่าอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใกล้ที่สุดในสถานการณ์ฉุกเฉินของเขตเมืองใหญ่ดังเช่นกรุงโครีเป็นต้น

จะเห็นได้ว่า GIS เป็นระบบช่วยในการตัดสินใจที่มีขีดความสามารถในการจำลองด้วยการใช้ตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อการคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมหรือเส้นทางใกล้ที่สุด ในการตัดสินใจดำเนินการอย่างหนึ่งอย่างใด อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนได้เสนอหลักการเพื่อการนำขีดความสามารถดังกล่าวของ GIS มาเป็นเครื่องมือคำนวณหาหลักฐานในทางวิชาการเพื่อเสนอแนวทางในการตัดสินใจ จากการคำนวณความลาดชันที่ปรากฏจากข้อมูล DEM ที่สามารถจัดหาได้ ทั้งนี้ เพื่อชี้ให้เห็นอุปสรรคและความเสี่ยงในการเลือกเส้นทางเดินทางตามปกติสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ ซึ่งมีปัจจัยด้านน้ำหนัก มิติ และอื่น ๆ ที่ต้องนำมาพิจารณา เพื่อหลีกเลี่ยงอุปสรรคที่อาจทำให้ภารกิจการส่งมอบรถบรรทุกไม่สัมฤทธิ์ผลและความเสียหายที่อาจเกิดแก่ทรัพย์สินของทางราชการ

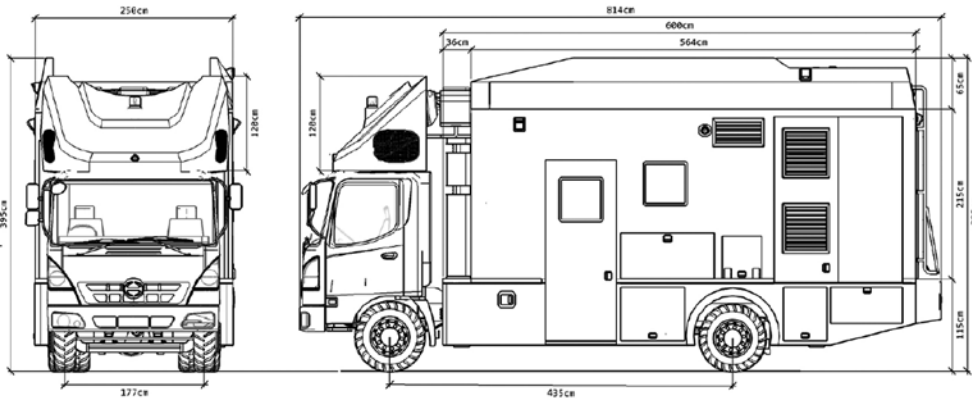
3. รถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ

3.1 รถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่ Mobile GCS

โครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน ได้พัฒนาต้นแบบรถสำหรับการควบคุมและสั่งการให้เป็นสถานีควบคุมและสั่งการ โดยได้นำรถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่ Mobile GCS (Mobile Ground Control System) ตามรูปที่ 4 สำหรับทดสอบอากาศยานไร้คนขับปีกนึ่งขึ้น-ลงทางตั้ง (FUVEC) มาปรับปรุงและเพิ่มเติม

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับรองรับการวิเคราะห์ จัดเก็บ และแจกจ่ายข้อมูลข่าวสาร (Intelligence) จากการลาดตระเวน (Reconnaissance) ในระบบแผนที่สถานการณ์ร่วม และติดตั้งระบบรับส่งสัญญาณการปฏิบัติหน้าที่ทางทหารขณะปฏิบัติการกิจในสถานการณ์ฉุกเฉินเพื่อการตรวจการณ์

(Surveillance) มิติของรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ ฮีโน่รุ่น FC9JLA ในรูปที่ 4 มีความกว้าง 250 เซนติเมตร ยาว 814 เซนติเมตร สูง 395 เซนติเมตรฐานล้อหน้า-หลังห่างกัน 435 เซนติเมตร กว้าง 177 เซนติเมตร มีความสามารถขึ้นทางชันสูงสุด 39.7% (21.61 องศา) [17]



รูปที่ 4 รถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่ Mobile GCS

3.2 ความจำเป็นในการดัดแปลงสภาพรถ

การนำรถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่ Mobile GCS ไปพัฒนาต่อยอดให้เป็นรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ อยู่ภายใต้เหตุผลและความจำเป็นดังต่อไปนี้

เพื่อปรับปรุงรถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่ สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมและสั่งการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พร้อมผลการศึกษาการวัดสัญญาณรบกวนที่นำตามสายของรถปรับปรุงให้เหมาะสำหรับการควบคุมและสั่งการแบบเคลื่อนที่ในการกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน

เพื่อบรรจุระบบคอมพิวเตอร์รองรับข้อมูลการข่าวกรอง การตรวจการณ์ และการลาดตระเวนของ

โครงการ พร้อมการติดตั้งครุภัณฑ์ที่จำเป็นในการกิจดังกล่าว และเพื่อประยุกต์ใช้รถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่ สำหรับการพัฒนาระบบควบคุม และสั่งการในสถานการณ์ฉุกเฉิน สำหรับอำนวยความสะดวกในการกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน

3.3 ขีดความสามารถภายหลังการดัดแปลงสภาพ

เพื่อดำรงขีดความสามารถในการเป็นตัวกลางสื่อสารข้อมูล จำลองภูมิประเทศ 3 มิติ และจัดทำแผนที่สถานการณ์ร่วม วิเคราะห์วีดีโอ ภาพ และข้อมูลใกล้เคียงเวลาจริง ระบบสื่อสารและคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนรถภายหลังการดัดแปลงสภาพดังในรูปที่ 5 ถูกออกแบบให้ประกอบด้วย



รูปที่ 5 รถบรรทุกดัดแปลงสภาพพร้อมคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ปฏิบัติงาน (Workstation) จำนวน 1 หน่วย ซึ่งมีหน่วยประมวลผลกลาง 4 แกนหลัก มีสัญญาณนาฬิกา 2.7 GHz หน่วยประมวลผลกลางมีความจำแบบ Cache Memory รวมในระดับเดียวกันขนาด 8 MB มีหน่วยความจำหลัก (RAM) ชนิด DDR4 ขนาด 64 GB มีหน่วยจัดเก็บข้อมูล Solid State Drive 256 GB

เครื่องคอมพิวเตอร์ปฏิบัติงานแบบ Rack Mountable จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งมีหน่วยประมวลผลกลาง 8 แกนหลัก มีสัญญาณนาฬิกา 1.7 GHz หน่วยประมวลผลกลางมีความจำแบบ Cache Memory รวมในระดับเดียวกันขนาด 10 MB มีหน่วยความจำหลัก (RAM) ชนิด DDR4 ขนาด 16 GB มีหน่วยจัดเก็บข้อมูล Solid State Drive 256 GB มีหน่วยประมวลผลเพื่อแสดงภาพแยกจากแผงวงจรหลักที่มีหน่วยความจำขนาด 4 GB ชนิด DDR5

อุปกรณ์กระจายสัญญาณ (L2 Switch) จำนวน 1 เครื่อง เครื่องจ่ายไฟฟ้าสำรอง (UPS) จำนวน 5 เครื่อง ตู้จัดเก็บคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ อุปกรณ์ค้นหาเส้นทางเครือข่ายแบบไร้สาย (Wireless Router 3G/4G/LTE) จำนวน 1 ชุด เครื่องปั่นไฟดีเซล จำนวน 1 เครื่อง เป็นชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สามารถจ่ายกำลังไฟได้ต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 5 kVA ในการใช้งานปกติ โดยใช้ไฟ 1 เฟส

4. ข้อมูลและกรรมวิธีวิเคราะห์ความชัน

4.1 อุปกรณ์และข้อมูล

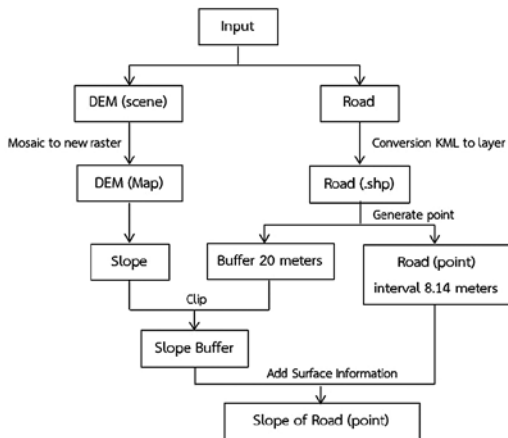
ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows 10 64-bit Core i7 RAM 8 GB ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcMap 10.5 และข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ แบบจำลองความสูงเชิงเลขและข้อมูลถนน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูล	รายละเอียด	แหล่งที่มา
DEM (.tiff)	ดาวเทียม ALOS ระบบ PALSAR ความละเอียดภาพ 12.5 เมตร ปี 2008	Alaska Satellite Facility, Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks (assigned by NASA), USA.
ถนน (.kml)	เส้นทางที่ใช้ในการศึกษา	Google map/ Google earth

กรอบแนวความคิดของการวิจัยครั้งนี้ คือ การนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มาใช้ในการศึกษาหลักการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในการคำนวณความลาดชันของถนนที่ใช้เดินรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ แสดงดังรูปที่ 6 โดยการนำชั้นข้อมูล DEM มาวิเคราะห์หาความชัน และชั้นข้อมูลถนน มาสร้างพื้นที่กันชน จากนั้นจึงคำนวณหาความชันของถนน ในการนี้กำหนดความชันของถนนที่

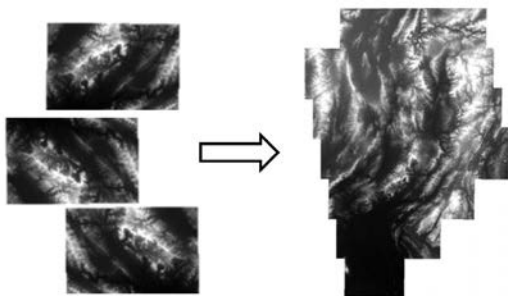
ไม่เหมาะสมในการเดินทางตามรายละเอียดของรถบรรทุก 6 ล้อ คัดแปลงสภาพ ที่มีความสามารถขึ้นทางชันสูงสุด 21.61 องศา



รูปที่ 6 กรอบแนวคิดในการเสนอหลักการ

4.2 การเตรียมข้อมูล

นำข้อมูล DEM ที่ได้จากดาวเทียม ALOS เข้าสู่ซอฟต์แวร์ GIS เพื่อทำการต่อ (Mosaic) ข้อมูลภาพแต่ละภาพ (Scene) ให้เป็นชุดข้อมูลแผนที่ (Map) ครอบคลุมพื้นที่ถนนช่วงที่กล่าวไว้ในรูปที่ 1 ขวา ผลของการต่อภาพแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การรวมข้อมูลภาพเข้าด้วยกันเป็นชุดข้อมูล

โดยใช้ซอฟต์แวร์ ArcGIS เครื่องมือ Mosaic to new raster ทั้งนี้ ภายหลังจากต่อภาพต้องตรวจสอบให้จุดภาพที่เชื่อมต่อกันเป็นจุดเดียวกันของทั้งสองภาพข้างเคียงกัน เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดสะสมที่จะเกิดขึ้นในการคำนวณความชัน เนื่องจากข้อมูล DEM ที่นำมาใช้พิสูจน์หลักการมีรายละเอียดของภาพเดิมหายาอยู่แล้ว คือ 12.5 เมตร เมื่อเทียบกับความยาวรถ 8.14 เมตร

นำข้อมูลถนนที่ได้จาก Google My Maps เข้าสู่ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อแปลงรูปแบบข้อมูล Keyhole Markup Language (.kml) เป็น Shapefile (.shp) แสดงดังรูปที่ 8 โดยใช้เครื่องมือ Conversion KML to Layer



รูปที่ 8 ข้อมูลถนนจาก Google maps©

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูล DEM ที่ได้จากการข้อ 4.2 มาสร้างข้อมูลความชัน (Slope) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิว (Surface Analysis) ของค่าตัวแปรความสูง (Z) ในพื้นที่ศึกษา จากนั้นข้อมูลถนน (.shp) จะถูกนำมาสร้างพื้นที่กันชน (Buffer) ระยะ 20 เมตร เพื่อใช้เป็นตัวแทนความกว้างของถนน เนื่องจากเป็นถนนทางหลวง 3 ช่องจราจรทั้งสองด้าน ในขณะที่

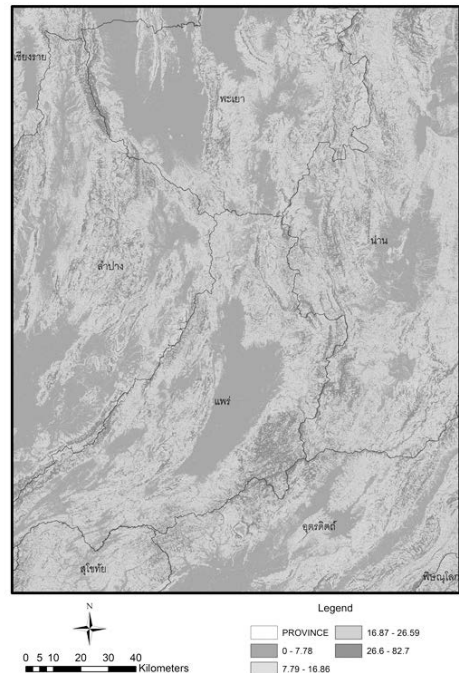
เดียวกันทำการแปลงข้อมูลถนนจากเดิมที่เป็นข้อมูลแบบเส้น (Line) ให้เป็นข้อมูลแบบจุด (Point) เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการแสดงค่าความชัน โดยกำหนดให้แสดงค่าความชันทุก ๆ 8.14 เมตร ตลอดทั้งเส้นทาง ซึ่งเท่ากับขนาดความยาวของรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ ทั้งนี้สำหรับการศึกษาอื่น ๆ ควรกำหนดระยะห่างจุดความชันตามขนาดของรถยนต์หรือข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

นำข้อมูลผลการสร้างพื้นที่กันชน (Buffer) ของถนนที่สร้างขึ้นมาทำการตัด (Clip) ข้อมูลความชัน (Slope) ในบริเวณที่มีการซ้อนทับกัน เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์และสังเกตค่าความชัน โดยค่าความชันที่ได้จากข้อมูล Slope เป็นข้อมูลแรสเตอร์ซึ่งไม่สะดวกในการเลือก (Selection) เมื่อเทียบกับข้อมูลเวกเตอร์ จึงทำการปรับปรุง (Manipulate) ข้อมูลความชันให้แก่ข้อมูลถนนแบบจุด โดยใช้เครื่องมือ Add Surface Information

5. ผลการวิเคราะห์

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูล DEM

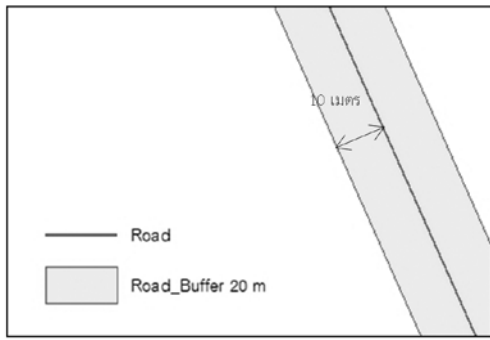
นำข้อมูล DEM ความละเอียด 12.5 เมตร มาต่อเข้าด้วยกันให้เป็นชุดข้อมูลแผนที่ โดยแต่ละภาพจะต้องมีจำนวนแบนด์และจำนวนบิตเท่ากัน ภายหลังจากการเชื่อมต่อภาพเข้าด้วยกัน ข้อมูล DEM จะถูกนำมาใช้ในการสร้างข้อมูลความชัน โดยคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงระหว่างเซลล์หลักและเซลล์ใกล้เคียงทั่วพื้นที่ เพื่อให้ทราบถึงความชัน (องศา) ในพื้นที่ จากการศึกษพบว่าค่าความชันของพื้นที่ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0-82.7 องศา แสดงดังรูปที่ 9



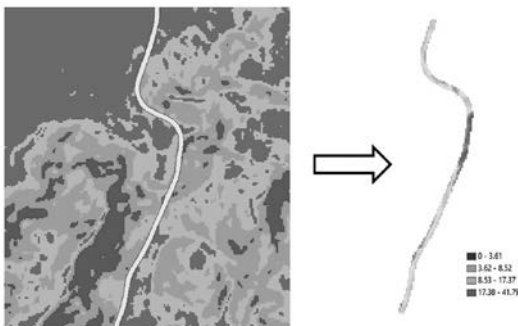
รูปที่ 9 ความชันของพื้นที่ทั้งหมด

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลถนน (.shp)

ใช้เครื่องมือ Conversion KML to Layer ในการแปลงรูปแบบข้อมูลถนนจาก .kml เป็น .shp เพื่อนำไปใช้ในการสร้าง Buffer โดยกำหนดพื้นที่ห่างจากเส้นถนนด้านละ 10 เมตร แสดงดังรูปที่ 10 จากนั้นนำข้อมูล Buffer ของถนนมาตัด (Clip) ข้อมูล Slope ในบริเวณที่มีการซ้อนทับกัน เพื่อให้เหลือเฉพาะพื้นที่ศึกษาบริเวณถนนบนเนินเขา ระยะทาง 31.4 กิโลเมตรเท่านั้น จากการศึกษพบว่าค่าความชันในบริเวณ Buffer ของถนนอยู่ระหว่าง 0-41.79 องศา แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 ระยะการสร้าง Buffer

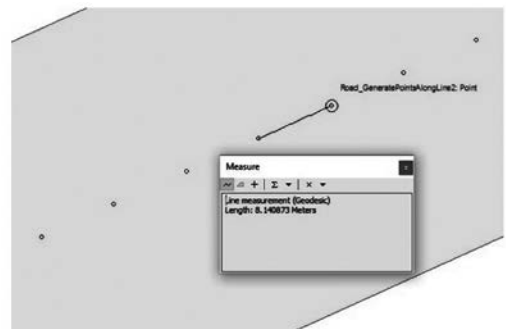


รูปที่ 11 ความชันบริเวณ Buffer ของถนน

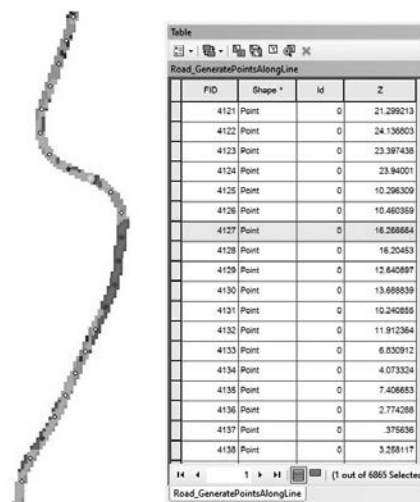
5.3 การกำหนดค่าความชันให้แก่ข้อมูลถนน

ใช้เครื่องมือ Generate Point สร้างข้อมูลจุด โดยอ้างอิงจากข้อมูลถนน กำหนดระยะห่างระหว่างจุด 8.14 เมตร เพื่อใช้ในการรองรับค่าความชันในบริเวณที่ซ้อนทับกัน แสดงดังรูปที่ 12 จากการศึกษาพบว่าข้อมูลจุดที่ถูกสร้างขึ้นจำนวน 11,348 จุด จากนั้นทำการเพิ่มค่าความชันบริเวณที่ซ้อนกันลงสู่ข้อมูลถนนแบบจุดโดยใช้เครื่องมือ Add Surface Information แสดงดังรูปที่ 13 และเนื่องจากข้อมูลจุดความชันมีการกระจายเป็นช่วงกว้างและมีจำนวนมาก จึงทำการจำแนกจุดข้อมูลความชันแบบ Natural Breaks (Jenks) ซึ่งเป็นการแบ่งตามจำนวนค่าของ Record ที่มีในแต่ละช่วงข้อมูลออกเป็น 4 ระดับ คือ 0.00-4.83, 4.84-11.26, 11.27-21.60

และ 21.61-41.21 แสดงดังรูปที่ 14 (ทั้งนี้ในพื้นที่การศึกษาอื่น ๆ ควรพิจารณาวิธี Reclassify ให้เหมาะสมกับความถี่และการกระจายตัวของข้อมูล เช่น กรณีเป็นพื้นที่ราบไม่มีความชันควรเลือกใช้การ Reclassify แบบ Equal Interval คือ แบ่งชั้นข้อมูลให้มีความกว้างเท่ากัน) โดยให้ความสำคัญค่าความชันในช่วง 21.61-41.21 องศา เนื่องจากขีดความสามารถขึ้นทางชันของรถเดิมอยู่ที่ 21.61 องศาตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1 การไต่ขึ้นลงทางชันภายหลังการดัดแปลงสภาพจึงไม่ควรเกิน 21.61 องศาเพื่อลดอุปสรรคในการเดินทางและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะขับขึ้นลงเขา

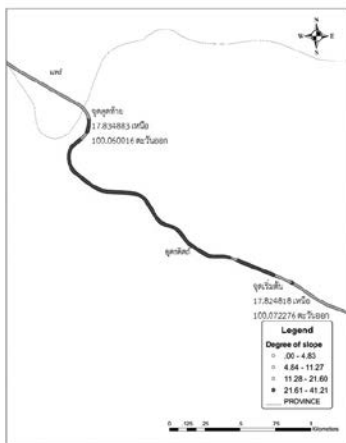


รูปที่ 12 การกำหนดช่วงค่าความชัน

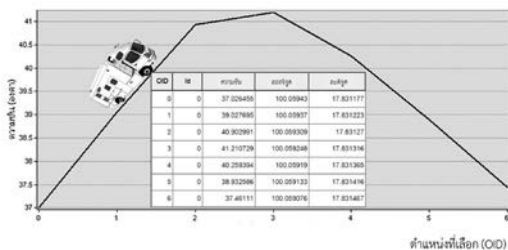


รูปที่ 13 การเพิ่มข้อมูลคุณลักษณะของความชันให้กับชั้นข้อมูลถนน

จากการวิเคราะห์ความลาดชันของถนน พบว่าเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางมีพื้นที่ที่มีค่าความชันเกินกว่าขีดความสามารถของรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ จะสามารถเคลื่อนผ่านได้ตั้งแต่ 21.61 องศา ขึ้นไป ช่วงระหว่าง จ.อุดรดิตถ์ และ จ.แพร่ ตามทางหลวงหมายเลข 11 แสดงดังรูปที่ 14 เริ่มตั้งแต่ตำแหน่งแรกสุดของรูปที่ 14 ที่พิกัดจุดเริ่มต้นละติจูด 17.824818 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.072276 องศาตะวันออก และจุดสุดท้ายละติจูด 17.834883 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.060016 องศาตะวันออก เป็นระยะทางทั้งสิ้น 2.09 กิโลเมตร



รูปที่ 14 ความชันถนนที่เป็นอุปสรรคและอันตราย



รูปที่ 15 แบบจำลองรถวางบนความชันถนน

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการนำเสนอหลักการ

6.1.1 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล DEM รายละเอียดจุดภาพ 12.5 เมตร ในหัวข้อ 5 ทำให้ทราบว่าหลักการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยการคำนวณความชันของถนนจากเครื่องมือ GIS สามารถนำไปประเมินอุปสรรคในการเดินทางและป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะขับขึ้นลงเขา ในช่วงระยะทาง 2.09 กิโลเมตรที่มีความชัน 21.61 องศา ขึ้นไป และเกินขีดความสามารถในการใช้เดินทางรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ ดังนั้น จึงควรหลีกเลี่ยงเส้นทางในช่วงดังกล่าว และเปลี่ยนไปใช้เส้นทางอื่นที่มีความชันไม่เกิน 21.61 องศา

6.1.2 จะเห็นได้ว่าหลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนนสำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ สามารถพิสูจน์โดยใช้ข้อมูล DEM ที่รายละเอียด 12.5 เมตร ที่มีความละเอียดต่ำในปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอุปสรรคและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจริงหากต้องใช้เส้นทางดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยนำภาพรถขนาดมาตราส่วนถูกต้องมาใช้ประกอบในภาพ ทั้งนี้ 1 ช่องในตำแหน่งที่เลือก (Object Identifier: OID) มีความยาว 8.14 เมตร ทั้ง 7 จุด จากตำแหน่งที่เลือก OID มีความชันเกิน 37 องศา และมีค่า 41.2 องศา ที่จุดสูงสุดของเส้นทาง OID ที่ 3 และทั้งหมดมีความชันเกิน 21.61 องศา ซึ่งเกินขีดความสามารถในการขึ้นลงทางชันของรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ

6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้านี้กำหนดขอบเขตในการเลือกชุดข้อมูลเฉพาะที่ครอบคลุมเส้นทางที่ขึ้นลงเขาสูงชันระยะทางทั้งสิ้น 31.4 กิโลเมตร ระหว่าง จ.อุตรดิตถ์ และ จ.แพร่ เท่านั้น ซึ่งตามเส้นทางจริงจะมีปรากฏความชันในช่วง จ.แพร่ เข้า จ.น่าน ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของบทความฉบับนี้ และเป็นอีกแนวทางในการศึกษาเส้นทางหนึ่งก่อนการปฏิบัติการกิจจริง อีกทั้งหลักการนี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาเส้นทางซึ่งเป็นทางเลือกอื่นสำหรับการส่งมอบรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงความถูกต้องของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วย

ข้อจำกัดของรายละเอียดความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้คือ จุดภาพของ DEM ขนาด 12.5 เมตร ซึ่งมีความถูกต้องในแนวตั้งน้อยอยู่แล้ว และเมื่อต้องทำกระบวนการปรับปรุง (Manipulation) เพื่อให้ได้จุดความสูงระหว่าง 8.14 เมตร ตามขนาดความยาวรถที่ 8.14 เมตร จะเป็นการส่งต่อความหยาบของข้อมูลขณะทำการวิเคราะห์ไปสู่ความชันที่ได้ อย่างไรก็ตาม หลักการของการจำลองภูมิประเทศยังได้ขนาดจุดภาพเล็กลงยิ่งเพิ่มความถูกต้องในแนวตั้งยิ่งขึ้น ดังนั้น บทความฉบับนี้ต้องการชี้ให้เห็นความสำคัญของการเลือกเส้นทางเดินรถและอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นเมื่อต้องเดินรถแล้วยังเสนอแนะให้ใช้ข้อมูล DEM ในรายละเอียดภาพที่เล็กลง เพื่อเพิ่มความสำคัญในการนำ GIS ไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจ เนื่องจากการใช้ข้อมูลที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้นจะยิ่งแสดงให้เห็นถึงอุปสรรคและอันตรายที่จะเกิดขึ้นได้ชัดเจนมากกว่าที่ผู้เขียนได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 6.1.2

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะนักวิจัยโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉินในการสนับสนุนข้อมูลเพื่อประกอบการวิเคราะห์

8. เอกสารอ้างอิง

[1] พระราชกฤษฎีกา แบ่งส่วนราชการและกำหนดหน้าที่ของส่วนราชการ กองบัญชาการกองทัพไทย กองทัพบก กองทัพไทย กระทรวงกลาโหม พ.ศ. 2552. ราชกิจจานุเบกษา. จำนวน 6 น.

[2] ชำนาญ ชุมทรัพย์. 2561. แนวคิดระบบอำนวยความสะดวกเคลื่อนที่เพื่อการบรรเทาภัยพิบัติและสาธารณภัย วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1. น. 7 – 19.

[3] หนังสือหน่วยบัญชาการทหารพัฒนาด่วนที่สุด ที่ กท 0309/2568. ลง 11 กันยายน 2562. เรื่องขอรับการสนับสนุนเครื่องมือโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน. จำนวน 1 น.

[4] หนังสือสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่ สทป 5800/612. ลง 15 พฤษภาคม 2563. เรื่องตอบรับให้การสนับสนุนเครื่องมือโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน. จำนวน 1 น.

[5] ชำนาญ ชุมทรัพย์. 2562. การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการวิจัยและพัฒนาสู่ภาคการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 2. น. 12 – 25.

[6] สัญญาจ้างปรับปรุงรถควบคุมภาคพื้นเคลื่อนที่สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมและ

สั่งการในสถานการณ์ฉุกเฉิน. 2560. สำหรับโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน. สัญญาเลขที่ 62/CTH00080 ลง 29 ธันวาคม 2560. สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. 10 น.

[7] ไพศาล จีฟู. 2561. การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บนเว็บ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 175 น.

[8] สรรค์ใจ กลิ่นดาว. 2542. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์: หลักการเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 128 น.

[9] Paul Bolstad. 2016. GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems, Fifth Edition 5th edition. XanEdu Publishing Inc.: Acton, MA. 770 p.

[10] Haiwen Du, A-Xing Zhu, and Yong Wang. Spatial prediction of flea index of transmitting plague based on environmental similarity. Annals of GIS, Volume 26, Issue 3, pp. 227 - 236.

[11] Sohaib K M Abujayyab and Ismail Rakip Karas. 2020. Landslide Susceptibility Mapping Using Shallow Neural Networks Model at Refahiye District in Turkey. Turkish Journal of Remote Sensing and GIS. Volume 1, Issue 2. pp. 61 - 77.

[12] Yufan Zuo , Zhiyuan Liu and Xiao Fu. 2020. Measuring accessibility of bus system based on multi-source traffic data. Geo-spatial Information Science. Volume 23, Issue 3. pp. 248 - 257. DOI: 10.1080/10095020.2020.1783189

[13] Mohammad Abousaeidi, Rosmadi

Fauzi, Rusnah Muhamad. 2015. Geographic Information System (GIS) modeling approach to determine the fastest delivery routes. Saudi Journal of Biological Sciences (2016) 23, 555 – 564.

[14] Caliskan, E, ediroglu, S., Yildirim, V. 2018. Determination forest road routes via GIS-based spatial multi-criterion decision methods. Applied Ecology and Environmental Research. 17(1):759 - 779. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1701_759779.

[15] Emad Basheer Salameh Dawwas. GIS as a Tool for Route Location and Highway Alignment. Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master in Highway and Transportation Engineering, Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University, Nablus, Palestine. 140 p.

[16] Sayed Ahmed, Romani Farid Ibrahim, and Hesham A. Hefny. 2017. GIS-Based Network Analysis for the Roads Network of the Greater Cairo Area. In Proceedings of the International Conference on Applied Research in Computer Science and Engineering ICAR'17, .Lebanon, 22 - 06 - 2017. Available online ar published at <http://ceur-ws.org>.

[17] Hino Thailand. 2020. 6 - wheel truck; FC9JLLA. Online available from: www.hinochairatchakarn.com/home/inventory/hino-500-dominator-fc9jela-fc9jlla-fc9jlla-175h [Accessed 9 December 2020]

การศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกัน ประเทศของไทย กรณีศึกษาเปรียบเทียบ จังหวัดชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี

บดินทร์ สันตต์^{1*}

วันที่รับ 6 ตุลาคม 2563 วันที่แก้ไข 23 ตุลาคม 2563 วันตอบรับ 23 ตุลาคม 2563

บทคัดย่อ

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศนี้ มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาปัจจัยในการศึกษาความเป็นไปได้ว่าสถานที่ของจังหวัดใดในประเทศไทยที่มีความเหมาะสมในการจัดตั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมากที่สุดระหว่างตัวเลือกจังหวัดชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี บทความนี้ตระหนักว่าที่ผ่านมายังไม่มีงานวิชาการใดทั้งของไทยและต่างประเทศที่ทำการศึกษาปัจจัยเพื่อพิจารณาการจัดตั้งหรือดำเนินการด้านนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่ชัดเจน จึงได้ศึกษาข้อเท็จจริงจากประวัติศาสตร์และประสบการณ์รอบโลก ดังที่จะยกตัวอย่างเหตุการณ์การเอาตัวรอด กลยุทธ์ วิทยาศาสตร์ หรือสงครามความขัดแย้งต่าง ๆ ในเนื้อหา เพื่อสร้างเกณฑ์ในการพิจารณาพื้นที่ 5 ประการ ได้แก่ 1) ด้านความหล่อแหลมต่อการรุกรานจากต่างชาติ 2) ด้านการสูญเสียแหล่งอุตสาหกรรมจากการสูญเสียดินแดน 3) ด้านภูมิศาสตร์ 4) ด้านความง่ายในการทำธุรกิจและการส่งกำลังบำรุง 5) ด้านความพร้อมของทรัพยากรบุคคล แล้วให้คะแนนประเมินความพร้อมของแต่ละพื้นที่จังหวัด บทความนี้ค้นพบว่า นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบและมีเกณฑ์การพิจารณาที่มากกว่านิคมอุตสาหกรรมพลเรือน โดยเฉพาะจะต้องคาดการณ์ถึงการวางรากฐานอุตสาหกรรมอาวุธเพื่อการดึงดูดการลงทุนทั้งในและต่างประเทศระยะยาวด้วย ในการประเมินนั้น ค้นพบว่า จังหวัดลพบุรีเป็นตัวเลือกที่คะแนนสูงที่สุด เพราะตั้งอยู่ใจกลางประเทศ มีความเสี่ยงต่อการถูกรุกรานและการเสียดินแดนต่ำ มีความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานอุตสาหกรรมอาวุธ ทั้งด้านวัสดุอุปกรณ์ กำลังพล ของเหล่าทัพและกระทรวงกลาโหมที่มีอยู่เดิม จังหวัดลพบุรีจึงเป็นพื้นที่ยุทธศาสตร์ที่สำคัญที่จอมพล ป. พิบูลย์สงคราม ผู้นำของไทยในขณะนั้นได้พิจารณาเลือก รองลงมาคือ จังหวัดชลบุรี และ กาญจนบุรี ตามลำดับ โดยแนวทางของรัฐบาลนั้น หากต้องการสนับสนุนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยยุทธโศปกรณ์ทางบก เรือ อากาศพร้อมกัน จังหวัดชลบุรีอาจจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีท่าเรือ อยู่ต่อเรือ และสนามบินที่สมบูรณ์แบบ แต่หากเลือกที่จะเริ่มต้นด้วยยุทธโศปกรณ์ทางบกและอาวุธประจำกายก่อน แล้วค่อยไต่ระดับสูงขึ้นในมิติของยุทธโศปกรณ์ทางเรือและอากาศยานภายหลัง จังหวัดลพบุรีจึงมีความเหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ : นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ, ชลบุรี, ลพบุรี, กาญจนบุรี

¹ ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: bodin.s@dti.or.th

A Feasibility Study of Defence Industrial Estate Establishment in Thailand: A Comparative Case Study of Chonburi, Lopburi and Kanchanaburi

Bodin Suntud ^{1*}

Received 6 October 2020, Revised 23 October 2020, Accepted 23 October 2020

Abstract

This defence technology analysis paper is aimed at conducting a feasibility study on which province is most suitable for establishing a defence industrial base in the Kingdom of Thailand, the choices being Lopburi, Chonburi and Kanchanaburi. The author realized that there is no clear academic evidence of criteria to justify or choose regions. Therefore, the criteria were drawn from real world experiences and historically incident records, survivals, tactics, calamities, war scenes or conflicts, and discussed to make cases here. The criteria are as follows; 1) foreign aggression 2) industrial loss 3) geography 4) the ease of doing business and logistics 5) workforce readiness. The author discovered that considering a defence industrial base required a very careful investigation, in some cases, it was even much more complicated than considering a civilian industrial base. Establishing a defence industrial base also anticipates preparing a long-term platform for domestic and foreign investment on defence technology. Based on this paper's calculation, the province of Lopburi was found to obtain the highest scores, thanks to its central strategic location, making it a very secure place for outward invasion and the lowest risk for territorial loss. Not only did the province remain untouched during the WWII, but Lopburi also was the most feasible alternative when it came to basic weapon engineering, existing and running facility and workforce that were currently working for armed services and Ministry of Defence. This significant strategic location was rationalized by Thai premier General Pleak Piboonsongkram during such wartime. However, Chonburi and Kanchanaburi, inferior in terms of the scores, were respective choices to Lopburi. If the government intends to support the defence capability for all tri-services at the same time, Chonburi might be the most possible answer because it contains shipping port, a naval dock yard, and international airport in one place. But if the government takes a step-by-step approach by first developing land weapon systems, personal unit and crew-serve weapons today, and lay plan for naval and aircraft system in the future, Lopburi is the most suitable choice.

Keywords : Defence Industrial Estate, Chonburi, Lopburi, Kanchanaburi

¹ Defence Technology Analysis Department - TTA, Defence Technology Institute.

* Corresponding author, E-mail: bodin.s@dti.or.th

1. บทนำ

นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เป็นแหล่งที่ตั้งของกิจกรรมทั้งมวลที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เพื่อให้ได้มาซึ่งยุทธโศปกรณ์ที่ใช้ในราชการสงครามและด้านความมั่นคง อุตสาหกรรมประเภทนี้เป็นอุตสาหกรรมเฉพาะด้านที่หลายประเทศจัดให้อยู่ภายใต้ชื่อของอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ (Strategic Industry) หรืออุตสาหกรรมเป้าหมาย (Targeted Industry) และด้วยข้อเท็จจริงที่ว่า อุตสาหกรรมป้องกันประเทศต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงกว่าอุตสาหกรรมปกติ และยุทธโศปกรณ์ใด ๆ นั้น ต้องประกอบขึ้นจากศาสตร์ที่หลากหลาย ในบางครั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศจึงอาจถูกเรียกว่า อุตสาหกรรมเทคโนโลยีขั้นสูง (High-technology Industry) หรืออุตสาหกรรมมูลค่าสูง (High-value Industry)

บทความนี้ต้องการนำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าความเป็นไปได้ของผู้เขียน¹ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะ บริบทแวดล้อม และข้อพิจารณาว่าสถานที่ของจังหวัดใดในประเทศไทยมีความเหมาะสมในการจัดตั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ โดยประเมินจากตัวแปรปัจจัยทั้ง 5 ประการ ได้แก่

- 1) ด้านความล่อแหลมต่อการรุกรานจากต่างชาติ
- 2) ด้านการสูญเสียแหล่งอุตสาหกรรมจากการสูญเสียดินแดน
- 3) ด้านภูมิศาสตร์
- 4) ด้านความง่ายในการทำธุรกิจและการส่งกำลังบำรุง
- 5) ด้านความพร้อมด้านทรัพยากรบุคคล

โดยนำตัวแปรทั้ง 5 ประการมาเปรียบเทียบกัน 3 จังหวัด คือ จังหวัดชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี เพื่อเป็นข้อพิจารณาให้กับรัฐบาลไทยในการจัดตั้ง

นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ อันจะส่งผลต่อความเชื่อมั่นของนักลงทุน และผู้ถือผลประโยชน์ร่วมด้านอุตสาหกรรมภายในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งจากภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริษัทต่างชาติที่เคยขายยุทธโศปกรณ์ให้กับไทยในอดีต หรือบริษัทที่มีขีดความสามารถทางเทคโนโลยีขั้นสูง

ที่มาของคำถามว่า จังหวัดใดจะมีความเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุดนี้ มาจากแหล่งข้อมูลของสำนักข่าว Jane's ที่ได้นำเสนอว่า ประเทศไทยกำลังวางแผนและพิจารณาการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ [1] โดยมีพื้นที่พิจารณาหลักอยู่ 2 แห่งแห่งแรกคือ จังหวัดชลบุรี แห่งที่สองคือ จังหวัดกาญจนบุรี แม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีมติตกลงใจว่าจะเลือกพื้นที่ใด แต่จังหวัดกาญจนบุรีดูเหมือนจะได้รับความสนใจมากกว่า เพราะมีพื้นที่ทางทหารอยู่กว้างขวาง และได้เป็นเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษของรัฐบาลในระยะ 2 ด้วย ผู้เขียนเห็นว่า เนื่องจากยังมีอีกจังหวัดหนึ่งที่น่าจะมีศักยภาพและความเป็นได้เปรียบสูงมาก นั่นคือ จังหวัดลพบุรี เนื่องจากได้รับการสถาปนาให้เป็นศูนย์กลางทางการทหารของประเทศมาตั้งแต่ยุคของจอมพล ป. พิบูลย์สงคราม [2] ทั้งยังมีความลึกทางยุทธศาสตร์ในเชิงที่ตั้ง ไม่อยู่ติดชายแดน ภูมิประเทศเป็นที่ราบกว้างขวางที่มีภูเขาล้อมรอบ อยู่ห่างไกลจากกรุงเทพมหานครและไม่ไกลจากทะเลมากนัก รวมทั้งมีความพร้อมของทรัพยากรบุคคล เพราะมีเจ้าหน้าที่ทหารที่มีความเชี่ยวชาญจากระบบราชการในพื้นที่อยู่แล้ว ดังนั้น น่าจะเพิ่มการพิจารณาจังหวัดลพบุรีเข้าไปในการศึกษาเปรียบเทียบด้วย จึงเป็นที่มาที่ไปของการศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในบทความนี้

2. ปัจจัยในการศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

นิคมอุตสาหกรรมพลเรือนทั่วไป (ที่กำกับดูแลโดย

¹ ข้อมูลและการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นความเห็นทางวิชาการของผู้เขียนจากการศึกษา รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลเท่านั้น สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศหรือกระทรวงกลาโหมไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย ตกลงใจ หรือดำเนินตามผลลัพธ์จากการศึกษานี้

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย หรือ กอ.ม) มีข้อพิจารณาหลักทางเทคนิคตามปกติที่ทราบโดยทั่วกัน ไม่ว่าจะเป็นด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact) ผลกระทบทางสังคม (Social Impact) การกำจัดของเสียอันตราย (Hazardous Waste Management) การส่งกำลังบำรุง (Logistics) การกระจายสินค้า (Product Distribution) นอกจากนี้ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้ให้ความหมายของนิคมอุตสาหกรรมไว้ว่า หมายถึง “เขตพื้นที่ดินซึ่งจัดสรรไว้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเข้าไปอยู่รวมกันอย่างเป็นสัดส่วน ประกอบด้วยพื้นที่อุตสาหกรรม สิ่งอำนวยความสะดวก สาธารณูปโภค และสาธารณูปการครบครัน เช่น ถนน ท่อระบายน้ำ โรงกำจัดน้ำเสียส่วนกลาง ระบบป้องกันน้ำท่วม ไฟฟ้า น้ำประปา โทรศัพท์ และบริการอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น ที่ทำการไปรษณีย์โทรเลข ธนาคาร ศูนย์การค้า ที่พักอาศัยสำหรับคนงาน สถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น”

การจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศนั้น เนื่องจากเป็นนิคมอุตสาหกรรมเหมือนกัน จะต้องพิจารณาปัจจัยและข้อพิจารณาทางเทคนิคแบบเดียวกับนิคมอุตสาหกรรมภาคพลเรือนด้วยเป็นพื้นฐาน และด้วยข้อเท็จจริงที่ว่าอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีความเกี่ยวข้องกับการดำเนินการเกี่ยวกับอาวุธสงครามและนโยบายทางความมั่นคงอื่นๆ จึงทำให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศจะต้องมีข้อพิจารณาเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องด้านอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจากข้อพิจารณาอุตสาหกรรมพลเรือนเหล่านั้นด้วย

ที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาการใด ทั้งของไทยและต่างประเทศ ที่ทำการศึกษาปัจจัยเพื่อพิจารณาการจัดตั้งหรือดำเนินการด้านนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ บทวิเคราะห์นี้จึงเห็นความจำเป็นที่ต้องสังเคราะห์ปัจจัยหรือหลักเกณฑ์ขึ้นมาใหม่ เกณฑ์ดังกล่าวจะถูกใช้เพื่อการประเมินความเป็นไปได้และความเหมาะสมของทางเลือกในการจัดตั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของทั้ง 3 จังหวัด โดยจะ

ใช้เกณฑ์เดียวกันพิจารณาที่ละข้อ เกณฑ์แต่ละข้อจะถูกนำมาประเมินคุณลักษณะ ความเป็นไปได้ และขีดความสามารถของแต่ละจังหวัดออกมาเป็นคะแนน ถ้าสอดคล้องมากจะได้รับคะแนนมาก ถ้าสอดคล้องน้อยจะได้รับคะแนนน้อย (จาก 1-10 คะแนน) แล้วนำคะแนนที่ได้มาพล็อตบนแผนภาพเรดาร์เพื่อให้เห็นจุดอ่อน จุดแข็งเชิงเปรียบเทียบที่ชัดเจนในแต่ละเกณฑ์ หลังจากนั้นทำการรวบรวมคะแนนของแต่ละข้อมาเป็นคะแนนรวม จังหวัดใดได้คะแนนมากที่สุดถือว่ามี ความเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่สุด เกณฑ์ดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

2.1 ด้านความล่อแหลมต่อการรุกรานจากต่างชาติ (Foreign Aggression)

ในการวางแผนทางทหารโดยทั่วไป เมื่อแต่ละฝ่ายทำการวางแผนการที่แสวงข้อตกลงใจในการเข้าครอบครองพื้นที่ การวางแผนมักจะเลือกพื้นที่ที่มีความสำคัญทางยุทธวิธีและยุทธศาสตร์ที่เกื้อกูลต่อการปฏิบัติของฝ่ายนั้นโดยกำหนดให้เป็นพื้นที่สนใจ (Named Area of Interest: NAI) หรือเป็นเป้าหมายของการครอบครองหรือโจมตีด้วย ไม่ว่าจะเป็นท่าเรือ เช่น การที่ญี่ปุ่นเปิดฉากการโจมตีที่ Pearl Harbor ฐานทัพเรือของกองทัพเรือสหรัฐฯ ส่งผลให้เรือรบกว่า 8 ลำ อากาศยานกว่า 300 ลำ และกำลังพลกว่า 3,500 คน ต้องสูญเสีย [3] หรือท่าเรือของอิรักสมัยสงครามอ่าวเปอร์เซีย [4] ท่าอากาศยาน ด้วยการใช้อากาศยานเข้ายึด [5] โรงไฟฟ้า ประปา หรือโดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งอุตสาหกรรมหรือศูนย์วิจัยอาวุธ อันเป็นแหล่งขับเคลื่อนเศรษฐกิจผ่านการผลิตอาวุธยุทธโธปกรณ์อย่างต่อเนื่องของประเทศเป้าหมาย เพราะสามารถนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพกำลังรบของฝ่ายที่ครอบครองพื้นที่และสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านั้นได้ นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เป็นสถานที่ที่ต้องได้รับการปกป้องอย่างปลอดภัย เพราะเคยมีเหตุการณ์การโจมตีสถานที่ดังกล่าวในอดีต

อยู่ด้วย เช่น การที่อิสราเอลโจมตีศูนย์วิจัย (ที่คาดว่า ทำการผลิตอาวุธเคมีและระเบิดของกลุ่ม Hezbollah) ในซีเรียด้วยการทิ้งระเบิดจากน่านฟ้าของเลบานอน ในปี ค.ศ. 2017 [6] ในทางกลับกัน พื้นที่ที่ไม่มีคนอาศัยอยู่ (No-man land) พื้นที่เกษตรกรรม หรือ พื้นที่ทุรกันดาร จะถูกลำดับความสำคัญไว้อันดับหลัง เพราะไม่ได้เกื้อกูลให้เกิดประโยชน์ในการรักษาความ ได้เปรียบในสงครามมากไปกว่าเดิม

นอกจากนี้ ความมั่นคงปลอดภัยทางกายภาพ ของนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีความสำคัญ มากเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นการจัดให้มีหน่วยทหาร หรือเจ้าหน้าที่บ้านเมือง การรับมือการประท้วงของ แรงงาน การป้องกันการปล้นปืนหรือขึ้นส่วนปืนหรือ อาวุธอื่น ๆ การตรวจสอบการสูญหายของยุทธภัณฑ์ การรักษาระเบียบการใช้พื้นที่ที่เป็นชั้นความลับหรือ อมฤณที่มีความอันตรายสูงเสี่ยงต่อการระเบิด หรือการป้องกันการก่อวินาศกรรม ฯลฯ ทั้งทางบก ทางเรือ และทางอากาศในบริเวณใกล้เคียง สิ่งเหล่านี้ จะเป็นหลักประกันด้านความต่อเนื่องในการทำ ธุรกิจ (Business Continuity) ความเชื่อมั่นในการ ลงทุนจากในประเทศและต่างชาติ และเป็นการลด แรงต่อต้านจากประชาชนหรือวิสาหกิจอื่นในพื้นที่ เดียวกันได้

ทั้งนี้ อาจต้องพิจารณาการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรม ป้องกันประเทศในพื้นที่ชายแดนหรือใกล้ชายแดน อย่างรอบคอบด้วย หากจะจัดตั้ง จะต้องมีความ วิต ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศในระดับที่ดีถึงดีมาก สามารถจัดตั้งการเจรจาจับข้อพิพาทหรือ ไกล่เกลี่ยได้ หรือขอความช่วยเหลือได้ และมีความเสี่ยง น้อยหรือไม่มีเลยที่จะถูกรุกรานจากรัฐหรือกองกำลัง ติดอาวุธของรัฐข้างเคียง หรืออาจอยู่ในสถานที่ปิดลับ ยากแก่การตรวจจับ เพราะจัดตั้งโรงงานในป่าลึก ไม่ใช่นิคมอุตสาหกรรมทั่วไป และปฏิบัติการในทาง ลับด้วยการจ้างคนงานในท้องถิ่นโดยไม่อนุญาตให้

ติดต่อบุคคลภายนอกเพื่อเปิดเผยที่ตั้ง (ในภาวะ สงคราม) เช่น โรงงาน CZ (ผลิตปืนพกและปืนเล็ก) ของสาธารณรัฐเช็ก ที่ก่อตั้งมากกว่า 100 ปี ไม่เคยถูก เครื่องบินทิ้งระเบิดใส่โรงงานเลยในห้วงสงครามโลก ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2³

ดังนั้น หนทางที่ดีที่สุดคือ ตำแหน่งที่ตั้งของ โรงงานผลิตยุทธโศปกรณ์ควรจะต้องอยู่ลึกเข้าไปในพื้นที่ ส่วนหลังของประเทศ ให้ลึกกว่า 150-200 กิโลเมตร จากเส้นเขตชายแดน อันเป็นพื้นที่ส่วนหลังของกองพล ในชั้นการป้องกันประเทศ หรือพื้นที่ที่ปลอดภัย จากพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากความขัดแย้งระหว่าง ประเทศหรือเคยมีกรณีพิพาท สำหรับประเทศไทย ที่เป็นประเทศขนาดกลางสามารถกระทำการเลือก ได้หลายพื้นที่ แต่ประเทศขนาดเล็ก เช่น อิสราเอล หรือสิงคโปร์ ไม่มีพื้นที่ทางลึก จึงต้องใช้วิธีอื่น ดังจะกล่าวต่อไป

ตัวอย่างหนึ่งที่ชัดเจนของอิสราเอล คือ นิคม อุตสาหกรรมไฮเทคอยู่ภายใต้การปกป้องการโจมตี ด้วย Iron Dome จากภาวะความขัดแย้งกับประเทศ เพื่อนบ้านในปัจจุบัน หรือการขยายอิทธิพลของ ISIS ที่ซีเรีย ซึ่งหากถูกโจมตีอาจส่งผลต่อการวิจัยพัฒนา และการผลิตที่ต่อเนื่อง อิสราเอลจึงกระจายความ เสี่ยงด้วยการตั้งโรงงานผลิตชิ้นส่วนแต่ละชิ้นแยก ออกจากกัน แล้วทำการประกอบรวมในที่เดียวกัน หรือตัวอย่างบริษัท IMI (Israel Military Industries) ในอดีตที่ริเริ่มก่อตั้งขึ้นจากกลุ่มกองกำลังกึ่งทหาร Haganah ในปี ค.ศ. 1933 ที่ได้แอบสร้างโรงงานผลิต กระสุนลับ โดยมีหน่วยประปาท้องถิ่นเป็นสำนักงาน บังหน้า แอบผลิตอาวุธขั้นมูลฐาน เริ่มตั้งแต่ระเบิดขั้ววง ลากล่องปืนไรเฟิล ได้เริ่มผลิตกระสุนขนาด 9 มม. ภายใต้ชื่อสถาบันแอบแฝงว่า สถาบัน Ayalon ที่ฝัง ใต้ดินลึก 8 เมตร ในแถบเมือง Rehovot ในอีก 15 ปี ต่อมาช่วงก่อตั้งประเทศ สถาบันนี้จึงได้เริ่มผลิตอาวุธ อย่างเป็นทางการและขยายไปกว่า 40 โรงงานผลิต

³ ผู้เขียนรับทราบข้อมูลจากการเยี่ยมชมโรงงาน CZ ในปี ค.ศ. 2019

มีแรงงานกว่า 400 คน และปัจจุบันได้เป็นส่วนหนึ่งของกระทรวงกลาโหม ทำหน้าที่ผลิตอาวุธให้กองทัพบก กองทัพเรือ กองทัพอากาศ ของอิสราเอลตั้งแต่นั้นมา [7]

2.2 ด้านการสูญเสียแหล่งอุตสาหกรรมจากการสูญเสียดินแดน (Industrial Loss)

นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศมหาอำนาจบางประเทศ เช่น รัสเซียหรืออดีตสหภาพโซเวียตนั้น มีประวัติศาสตร์ที่เดิมทีมีจังหวัด มณฑล รัฐดาวเทียม (Satellite States) เขตที่อยู่ภายใต้อิทธิพลหรืออำนาจอธิปไตยของสหภาพโซเวียตมาก่อน ภายหลังที่บูรณภาพแห่งดินแดนมีการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและการเมือง นั่นคือ การล่มสลายของสหภาพโซเวียต จังหวัดหรือเขตรัฐดาวเทียมเหล่านั้นที่อยู่ห่างไกลจากมอสโกได้แยกตัวออกไปตั้งประเทศใหม่ไปเป็นรัฐอิสระภายใต้เครือจักรภพแห่งรัฐอิสระ หรือ Commonwealth of Independent States (CIS) ทำให้จังหวัดหรือมณฑลที่เดิมทีมีนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศหรือแหล่งโรงงานผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์นั้น ได้สูญเสียไปจากรัฐบาลกลางของอดีตสหภาพโซเวียตด้วย และในปัจจุบันรัฐใหม่เหล่านั้นได้เป็นที่ตั้งของแหล่งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศชั้นนำของโลก ไม่ว่าจะเป็น บริษัท Ukoboronprom ที่มีบริษัทลูกนั้นบร็อย บริษัท หรือ Ivchenko-Progress ZMKB ของยูเครน หรือ CZ, Aero Vodochody, Tatra ของสาธารณรัฐเช็ก หรือเอสโตเนียที่เป็นผู้นำด้าน Cybersecurity ระดับโลก ล้วนเคยสังกัดอยู่กับอดีตสหภาพโซเวียตทั้งสิ้น และปัจจุบันรายการขีดความสามารถของยุทโธปกรณ์ของรัสเซียเองไม่สามารถครอบคลุมขีดความสามารถในระดับเดียวกับบริษัทหรือประเทศที่กล่าวมาแล้วทั้งสิ้น แต่รัสเซียยังคงครอบครองขีดความสามารถเดิมที่เคยมีในบริเวณรัสเซียเดิมเท่านั้น โดยเฉพาะด้านการออกแบบและการอุตสาหกรรมยานยนต์ทางทหาร รถถังและอากาศยานบางประเภทเท่านั้น ข้อนี้ สอดคล้องกับปัจจัยข้อแรกด้วย เพราะเกี่ยวเนื่องกับการตั้งนิคมอุตสาหกรรม

บริเวณใกล้ชายแดน ในกรณีประเทศไทยนั้น มีความเสี่ยงเรื่องการสูญเสียแหล่งอุตสาหกรรมจากการสูญเสียดินแดนอยู่ในระดับต่ำ (ยกเว้นกรณี 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งไม่ได้เป็นเป้าหมายของการจัดตั้งนิคมอยู่แล้ว) อย่างไรก็ตาม อาจกล่าวได้ว่า ในระยะยาวพื้นที่ที่อยู่ใจกลางของประเทศจะมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียแหล่งอุตสาหกรรมต่ำกว่าประเทศที่อยู่ใกล้เคียงกับชายแดนหรือพื้นที่ที่เคยมีกรณีพิพาทในอดีต เป็นต้น

2.3 ปัจจัยทางด้านภูมิศาสตร์ (Geography)

ปัจจัยทางด้านภูมิศาสตร์ต้องมีความสอดคล้องกับมิติของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เนื่องจากโดยหลักการแล้ว อุตสาหกรรมป้องกันประเทศขั้นพื้นฐานจะมีความสอดคล้องกับมิติของการรบด้วยยุทโธปกรณ์ทั้งสามมิติ นั่นคือ ทางบก ทางเรือ ทางอากาศ โดยเฉพาะถ้าประเทศนั้นตั้งเป้าหมายที่จะแข่งขันในด้าน Warfare Platform (แน่นอนว่า Cyber Warfare ไม่มีผลต่อการพิจารณาข้อนี้) แต่ก่อนที่จะเป็นผลผลิตทางอุตสาหกรรมจะต้องผ่านขั้นตอนการวิจัยและพัฒนามาก่อน ในขั้นตอนการวิจัยและพัฒนานี้ นอกจากจะต้องใช้งบประมาณ เวลา ทรัพยากร และองค์ความรู้ที่มหาศาลแล้ว พื้นที่ทดสอบ ทดลอง และรับรองมาตรฐานการใช้งาน ยุทโธปกรณ์เป็นสิ่งที่ไม่สำคัญไม่แพ้กัน เช่น กองทัพลีโบริไม่สามารถทดสอบทดลองอากาศยานขับไล่หรือเรือรบที่จัดหาจากต่างประเทศได้ เพราะทำการบินได้ 4-5 นาที หรือนำเรือได้ไม่กี่ชั่วโมงก็จะเกิดการรูก้าน่านฟ้า/น่านน้ำของประเทศเพื่อนบ้าน จึงต้องไปเช่าพื้นที่ทำการบินหรือฝึกการเดินเรือในต่างประเทศ เช่น ค่ายไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี ดินแดนทางบกในหลายรัฐของเครือรัฐออสเตรเลีย หรือฝึกบินเครื่องบินขับไล่ที่กองทัพอากาศสหรัฐฯ เป็นต้น หรือสาธารณรัฐเช็กแม้ว่าจะมีความโดดเด่นด้านวิศวกรรมยานยนต์ทางบกและอากาศยาน แต่ประเทศเป็น Land-lock Country ที่ไม่มีทางออกทางทะเล จึงไม่มีอุตสาหกรรมการต่อเรือใดๆ รวมทั้งไม่มีกองทัพเรือด้วย หรือในกรณีของ

ประเทศไทยนั้น แม้ว่าจะเป็นประเทศขนาดกลางที่มีทางออกทะเลและน่านฟ้าที่กว้างขวาง มีอุปกรณ์เรดาร์ตรวจจับ Rocket Trajectory แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จในความยากลำบากในการเลือกหาสนามทดสอบการยิงจรวดในระยะ 150-300 กิโลเมตร ที่ไม่มีผู้คนอาศัยอยู่ อาจจำเป็นต้องไปทดสอบยิงในต่างประเทศที่มีทะเลทราย หรือพื้นที่ราบขนาดใหญ่ หรือยิงลงในทะเล เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการพิจารณาภูมิศาสตร์ที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีความสำคัญต่อรูปแบบการพัฒนายุทธโธปกรณ์ว่าจะพัฒนาแบบ Platform-based หรือไม่ และเลือกพัฒนา Platform ใดด้วย

2.4 ความง่ายในการทำธุรกิจและการส่งกำลังบำรุง (Ease of Doing Business and Logistics)

ปัจจัยข้อนี้มีความสำคัญ ไม่แพ้ 3 ข้อแรกที่ทำหน้าที่เปรียบดั่ง Hardware แต่ความง่ายในการทำธุรกิจนั้นเปรียบดั่ง Software เพราะตลาดด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีการแข่งขันที่สูงมาก โดยเฉพาะประเทศที่มีเทคโนโลยีล้ำหน้าและครองตลาดอยู่แล้ว ซึ่งจะไม่ยอมเสียตลาดให้กับประเทศที่ล้ำหลังกว่า และไม่ผลิตอาวุธใช้เองไปอย่างง่าย ๆ ดังนั้น ความง่ายในการทำธุรกิจสะท้อนออกมาในหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นกฎหมาย มาตรการ หรือนโยบายที่เอื้อต่อการทำธุรกิจ (เช่น พ.ร.บ.เทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 หรือระเบียบการร่วมทุนเพื่อการดำเนินกิจการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของ สทป.) การให้ Incentives ด้านภาษีหรือพื้นที่กับอุตสาหกรรมเฉพาะทาง (เช่น รูปแบบแพ็คเกจของ BOI หรือ EEC ที่เน้นการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงมาก่อน) หรือการดำเนินธุรกิจในรูปแบบของเอกชนที่มีความคล่องตัว สายการบังคับบัญชาที่สั้นและแบนราบ มีการตัดสินใจที่รวดเร็ว นอกจากนี้ ยังมีเรื่องของการใช้ Financial Tools ที่เหมาะสมแก่สถานการณ์การเงินการคลังของประเทศผู้ซื้ออาวุธ (ที่มักจะเป็นประเทศที่ยากจนกว่า)

เช่น สถาบันการเงินที่หลากหลายมาช่วยให้การซื้อสินค้าของลูกค้าเป็นไปได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น โดยให้ประเทศที่เป็นลูกค้าทำการกู้ยืมเงินมาซื้อยุทธโธปกรณ์แบบ Soft-loan ได้

ส่วนด้านการส่งกำลังบำรุงนั้น มีปัจจัยพิจารณา เช่น การจัดตั้งสำนักงานอำนวยการใจกลางเมืองหลวงที่มี Physical Proximity ที่รวดเร็วในการติดต่อกับ Supplier ลูกค้า และ Government Relations ที่เกี่ยวข้อง โดยมีโรงงานหรือสถานที่ผลิตสินค้าแยกออกมาในต่างจังหวัดที่ไม่ไกลเมืองหลวงมากเกินไป หรือการจัดตั้งอยู่ร่วมกับนิคมอุตสาหกรรมพลเรือนอื่นๆ เพื่อความง่ายต่อการ Subcontract ในการจัดหาวัตถุดิบหรือการส่งกำลังบำรุง อันนับเป็นรูปแบบการดำเนินธุรกิจที่นิยมในปัจจุบันซึ่งไม่จำเป็นต้องผลิตวัตถุดิบเองทุกชิ้นในสินค้าอุตสาหกรรม หากแต่เป็นเจ้าของแบบหรือเป็นการบูรณาการระบบ (System Integration) ก็สามารเป็นหน่วยธุรกิจได้ โดยหากนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศตั้งอยู่ใกล้แหล่งส่งกำลังบำรุงในภาคทหารหรือภาคพลเรือนจะส่งผลให้ลดต้นทุนในการขนส่ง ประหยัดเวลา และส่งผลเชิงบวกแก่การสร้างความร่วมมือในระยะยาวได้ด้วย

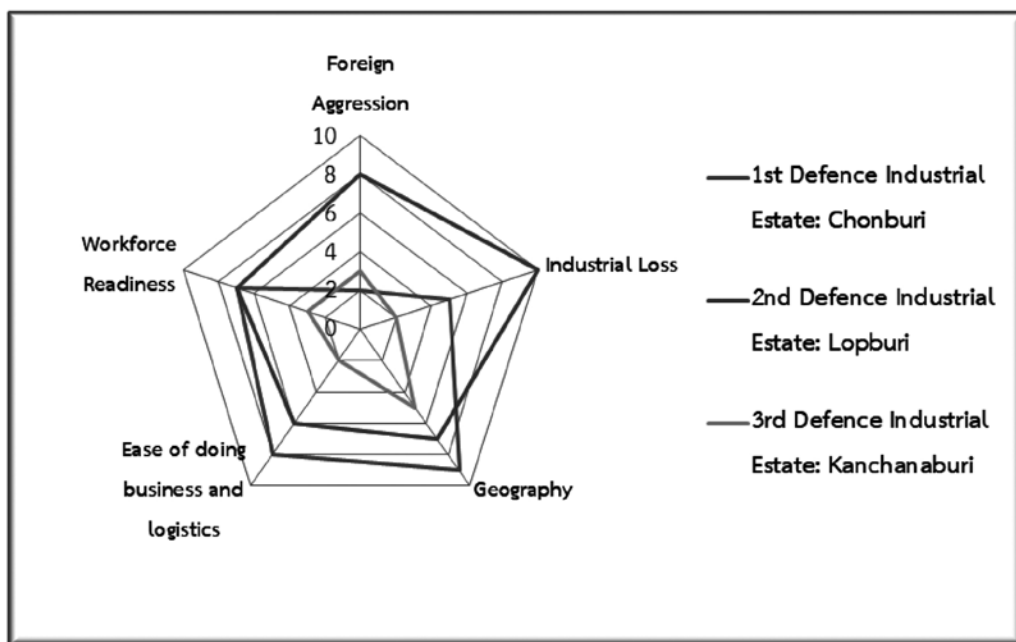
2.5 ความพร้อมด้านทรัพยากรบุคคล (Workforce Readiness)

ความเจริญก้าวหน้าของนิคมอุตสาหกรรมถูกผลักดันโดยขีดความสามารถของทรัพยากรบุคคลในพื้นที่นั้นเป็นสำคัญ ดังนั้น กำลังทรัพยากรบุคคลที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ดังกล่าวต้องมีระดับความรู้ที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้นด้วย ในส่วนของเจ้าหน้าที่ระดับวิจัยหรือระดับบริหารที่ต้องการระดับความรู้ขั้นปริญญา นั้น อาจไม่ใช่อุปสรรคสำคัญมากเท่าใด เพราะมีจำนวนไม่มากนัก สามารถใช้งานหรือย้ายจากส่วนกลางหรือของภาครัฐได้ แต่เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติงาน เจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต หรือ

เจ้าหน้าที่ระดับเทคนิคที่ต้องใช้ความรู้ และทักษะระดับวิชาชีพที่เหมาะสมกับงาน (Vocational Knowledge) ที่มีจำนวนมาก จนต้องให้การจ้างคนในท้องถิ่นนั้น เป็นปัจจัยเชิงปริมาณที่สำคัญมากที่ต้องพิจารณา ส่วนในเชิงคุณภาพนั้น นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นเทคโนโลยีเฉพาะอย่าง การใช้เจ้าหน้าที่ที่มีประสบการณ์อยู่แล้วหรือการเอื้อให้เกิด Talent Mobility ที่ดึงดูดเจ้าหน้าที่จากกองทัพหรือภาคเอกชนอื่น ๆ มาช่วยปฏิบัติงานหรือให้คำแนะนำจะช่วยให้การดำเนินการเป็นไปได้ราบรื่นมากขึ้น

3. บทวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

จากข้อพิจารณาทั้ง 5 ข้อนี้ ในบริบทของการพิจารณาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย เราสามารถสร้างข้อพิจารณาและให้ค่าคะแนนตั้งแต่ 0-10 ทำการเปรียบเทียบจังหวัด 3 จังหวัด ภายใต้หลักเกณฑ์เดียวกัน พร้อมทั้งให้เหตุผลเพิ่มเติมและนำข้อมูลเชิงบรรยายลงใน Radar Chart Analysis เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบชัดเจนขึ้น ดังต่อไปนี้

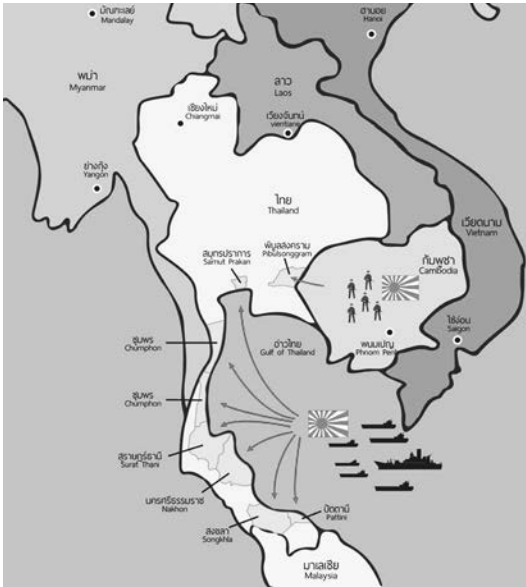


รูปที่ 1 Radar Chart Analysis สรุปคะแนนเปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะ ความพร้อม โอกาสและความเสี่ยงของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของจังหวัด ชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี (นำข้อมูลมาจากตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณลักษณะเฉพาะ ความพร้อม โอกาสและความเสี่ยง ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของจังหวัดชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี

	Foreign Aggression	Industrial Loss	Geography	
พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมที่ 1: ชลบุรี	มีความเสี่ยงสูง เพราะอยู่ติดชายทะเล ในภาวะสงครามอาจถูกยกพลขึ้นบกหรือโจมตีทางเรือ/ทางอากาศได้	มีความเสี่ยงปานกลาง เพราะอยู่ใจกลางประเทศ แต่หากในภาวะสงครามถูกยกพลขึ้นบกอาจกระทบได้	มีความพร้อมสูง ทั้งยุทธโปกรณ์ ทางบก ทางเรือ (ติดทะเล มีท่าเรือ) และทางอากาศ (มีสนามบินนานาชาติ)	
พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมที่ 2: ลพบุรี	มีความเสี่ยงต่ำ เพราะอยู่ใจกลางประเทศ หากเกิดภาวะสงครามก็ยังมีความเสี่ยงน้อยเพราะมีความลึกทางยุทธศาสตร์	มีความเสี่ยงต่ำมากเพราะอยู่ใจกลางประเทศ มีภูเขาล้อมรอบจังหวัดและมีกำลังทหารที่มีความพร้อมรบเฝ้าระวังในพื้นที่	มีความพร้อมปานกลาง โดยเฉพาะด้าน Weapon Systems/ Land Platform เท่านั้น แต่ไม่มีท่าเรือและสนามบินพาณิชย์แบบจังหวัดชลบุรี	
พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมที่ 3: กาญจนบุรี	มีความเสี่ยงสูงเพราะอยู่ติดชายแดนไทย-เมียนมาร์ มีความเสี่ยงหากเกิดความขัดแย้งหรือภาวะสงคราม	มีความเสี่ยงสูงแม้มีกำลังรบจาก พล.ร.9 ในพื้นที่ แต่กาญจนบุรีเป็นเส้นทางยุทธศาสตร์ที่เคยถูกญี่ปุ่นยึดครองเพื่อสร้างทางรถไฟไปยังเมียนมาร์	มีความพร้อมปานกลาง เพราะมีเนื้อที่กว้างขวาง แต่ไม่มีท่าเรือ และสนามบินพาณิชย์	

	Ease of Doing Business and Logistics	Workforce Readiness	รวมคะแนน
	มีความพร้อมสูงมาก เพราะเป็นพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษของ EEC ใกล้เคียงแหล่งอุตสาหกรรมต่อเรือของกองทัพเรือ และอุตสาหกรรมพลเรือนที่เกี่ยวข้องในพื้นที่รอบๆ	มีความพร้อมปานกลาง เพราะเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมเดิม สามารถดึงดูดแรงงานมาทำงานในนิคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่โครงสร้างพื้นฐานไม่มีอุตสาหกรรมอาวูร (โดยเฉพาะทางบก) อย่างในลพบุรี (มีเพียงกองทัพเรือ) และมีสถานศึกษาเพียบพร้อมที่สุด	31 คะแนน
	มีความพร้อมปานกลาง พื้นที่ไม่อยู่ใน EEC แต่อยู่ในแหล่งเดียวกับศูนย์อำนวยการสร้างอาวุธและแหล่งอุตสาหกรรมทหารอื่น ๆ แต่ขีดความสามารถด้านการส่งกำลังบำรุงจากอุตสาหกรรมพลเรือนยังไม่พร้อมเท่าจังหวัดชลบุรี	มีความพร้อมปานกลางเพราะมีความได้เปรียบจากการอยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมทหารเดิม (ศูนย์อำนวยการสร้างอาวุธ) ที่เอื้อให้เกิด Talent Mobility ได้ แต่อุตสาหกรรมต่อเรือไม่พร้อมเท่าจังหวัดชลบุรี (มีเพียงกองทัพบก) สถานศึกษามีจำนวนจำกัด	38 คะแนน
	มีความพร้อมต่ำมาก ไม่อยู่ในพื้นที่ EEC ไม่มีท่าเรือและสนามบินพาณิชย์ ไม่มีแหล่งอุตสาหกรรมพลเรือนที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็นพื้นที่การเกษตร มีศักยภาพติดต่อกับเมียนมาร์และทางออกมหาสมุทรอินเดีย แต่โอกาสการขายมีน้อยอย่างไรก็ตามรัฐบาลประกาศเป็นพื้นที่เขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษระยะ 2 ด้วย	มีความพร้อมต่ำ เพราะแรงงานส่วนใหญ่เป็นเกษตรกร ไม่ใช่ช่างเทคนิคหรือผู้ที่มีประสบการณ์เฉพาะด้านมาก่อน สถานศึกษามีจำนวนจำกัด	14 คะแนน



รูปที่ 2 แสดงบริเวณที่กองทัพจักรวรรดิญี่ปุ่นยกพลขึ้นบกสู่ประเทศไทยในสงครามโลกครั้งที่ 2
ที่มา: ภาพถ่ายจากอนุสรณ์สถานมิตรภาพไทย ญี่ปุ่น
Thai-Japanese Friendship Memorial
อำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน

4. บทสรุป

นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ จะเห็นได้ว่าจังหวัดลพบุรีและชลบุรีมีระดับที่ใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันในรายละเอียด ทั้งนี้ จังหวัดลพบุรีมีความได้เปรียบสูง โดยเฉพาะในช่วงที่สถานการณ์เปราะบางอย่างในสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ผ่านมามีจอมพล ป. พิบูลสงครามได้พิจารณาอย่างถี่ถ้วนในการคัดเลือกให้จังหวัดลพบุรีเป็นศูนย์กลางทางการทหารของประเทศ เพราะมีความลึกทางยุทธศาสตร์ ไม่อยู่ใกล้ชายแดน มีภูเขาล้อมรอบ มีพื้นที่กว้างขวาง อยู่ห่างไกลจากกรุงเทพมหานคร และไม่ไกลจากทะเลมากนัก รวมทั้งมีความพร้อมของทรัพยากรบุคคล เพราะมีเจ้าหน้าที่ทหารที่มีความเชี่ยวชาญจากระบบราชการในพื้นที่อยู่แล้ว ส่วนจังหวัดชลบุรีมีความได้เปรียบสูงเช่นกัน เพราะเป็นศูนย์กลางแหล่งอุตสาหกรรมของประเทศ มีความง่ายในการทำธุรกิจ เพราะอยู่ในพื้นที่ของ EEC และมีระบบการส่งกำลังบำรุงที่เพียงพอ รวมทั้งท่าเรือพาณิชย์และสนามบินนานาชาติ มีความพร้อมของทรัพยากรบุคคลในเชิงอุตสาหกรรม แต่สิ่งที่ทำให้ศักยภาพของจังหวัดลพบุรีและชลบุรีต่างกันโดยสิ้นเชิงคือ ข้อพิจารณาด้านความมั่นคง โดยจังหวัดชลบุรีมีความเสี่ยงสูงกว่าจังหวัดลพบุรีมาก เพราะจังหวัดชลบุรีอยู่ติดชายทะเล ในภาวะสงครามอาจถูกเข้ายึดหรือถูกโจมตีทั้งทางเรือและทางอากาศได้ง่ายกว่าจังหวัดลพบุรี เช่นเดียวกับจังหวัดกาญจนบุรีที่ถูกยึดครองในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 แม้จะมีความได้เปรียบในแง่ของพื้นที่ที่กว้างขวาง แต่ยังมีความเสี่ยงด้านความง่ายในการทำธุรกิจ การส่งกำลังบำรุง และความพร้อมในการใช้ทรัพยากรบุคคล

จะเห็นได้ว่า จังหวัดลพบุรีและลพบุรีน่าจะเป็นตัวเลือกที่ต้องนำมาพิจารณาต่อไปในอนาคต

หากรัฐบาลเห็นว่าต้องการจะพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศให้ครบทั้ง 3 มิติ (ที่น่าจะเป็นไปได้ น้อย) จังหวัดชลบุรีน่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด แต่หากงบประมาณยังไม่เพียงพอและต้องการพัฒนาเฉพาะยุทธโศภรณ์ทางบก อาวุธประจำกายหรืออาวุธประจำหน่วยก่อน จังหวัดลพบุรีน่าจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด การเลือกพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่พร้อมต่อการรองรับการลงทุนของทั้งในและต่างประเทศมีทั้งโอกาสและความท้าทายทั้งสิ้น เราจึงควรพิจารณาเลือกนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่พร้อมที่สุด ผ่านการประเมินคะแนนและค่าน้ำหนักคะแนน การพิจารณาตามกรอบข้อพิจารณาที่นำเสนอขึ้นได้ผ่านการวางรากฐานอยู่บนตัวแบบเชิงบทเรียนหรือประวัติศาสตร์ของนิคมหรือแหล่งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของต่างประเทศว่าผ่านประสบการณ์ประการใดบ้าง เพื่อที่การจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยจะได้มีความสมบูรณ์สูงที่สุด เพื่อให้พร้อมรองรับฐานเทคโนโลยีในอนาคต

5. การศึกษาเพิ่มเติม

การศึกษาเปรียบเทียบกับนี้เป็นแนวทางการพิจารณาขั้นตอนในการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศจากจังหวัดตัวอย่าง คือ ชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี โดยตั้งสมมติฐานว่าต้องการคัดเลือกจังหวัดที่มีความพร้อมสูงสุดเท่านั้น การศึกษาเพิ่มเติมหรือการตกลงใจในอนาคตของรัฐบาล กระทรวงกลาโหม หรือภาคเอกชนนั้น อาจมีวัตถุประสงค์ของโครงการหรือการพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติมมากกว่านี้ และไม่จำเป็นต้องดำเนินการตามการศึกษาที่เสนอไป เช่น หากวัตถุประสงค์ของการจัดตั้งนิคมนั้นถูกจัดตั้งเพื่อการ "กระตุ้นเศรษฐกิจเป็นหลัก" ของจังหวัดที่มีรายได้ต่ำที่สุดของประเทศ รัฐบาลอาจจะทำทุกวิถีทางที่จะดำเนินการจัดตั้งในจังหวัดดังกล่าว หรือหากปัจจัยพิจารณาเพิ่มเติมเพราะรัฐบาลต้องการ

"สถานที่ผลิตสารระเบิด" รัฐบาลอาจจะต้องเลือกจังหวัดที่ประชากรเบาบางที่สุด เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] จังหวัดชลบุรีและกาญจนบุรีมาจากบทสัมภาษณ์ของรองปลัดกระทรวงกลาโหมจากแหล่ง Jon Grevatt, Jane's Defence Weekly, Thailand plans new 'defence industry estate',

[2] รศ.ชาติรี ประกิตนันทการ, คณะราษฎร : เขื่อนลพบุรี คุมรดกที่เหลืออยู่ของจอมพล ป.-พิบูลสงคราม และการอภิวัฒน์ 2475, Feb 16, 2020, BBC News ไทย <https://www.youtube.com/watch?v=7Uitrllng&feature=youtu.be>

[3] History.com Editors, Feb 21, 2020, Pearl Harbour, <https://www.history.com/topics/world-war-ii/pearl-harbor>.

[4] Thomas Fuller, International Herald Tribune, March 21, 2003, Missiles hit Baghdad; seaport is said to fall : U.S. and British troops push into Iraq, <https://www.nytimes.com/2003/03/21/news/missiles-hit-baghdad-seaport-is-said-to-fall-us-and-british-troops-push.html>

[5] Tom Bowman, The Baltimor Sun, Apr 08, 2003, Capture of Baghdad airport has far-reaching impact, <https://www.baltimoresun.com/bal-te.military08apr08-story.html>

[6] Elliott Abrams, September 8, 2017, Israel's Bombing of a Weapons Factory in Syria: What Comes Next?, <https://www.cfr.org/blog/israels-bombing-weapons-factory-syria-what-comes-next-2>

[7] Our Heritage, IMI Website, http://www.imisystems.com/our-heritage/https://customer.janes.com/Janes/Display/FG_3210634-JDW

ผลของการวางเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน

เพชร เจียรนัยศิลาวงศ์^{1*} และ บัณฑิต พิงสระ^{1, 2}

วันที่รับ 28 กรกฎาคม 2563 วันที่แก้ไข 13 สิงหาคม 2563 วันที่ตอบรับ 27 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

แผ่นเกราะกันกระสุนเหล็กกล้าสามารถสร้างมาเป็นแผ่นชั้นเดียวหรือหลายชั้นซ้อนกันได้ ซึ่งการจัดวางชั้นย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการกันกระสุนของแผ่นเกราะ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ผลของการเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน โดยแผ่นเกราะที่ศึกษาคือ แผ่นเหล็กกล้าประเภท Armox500T และใช้การทดสอบยิงด้วยกระสุนตามมาตรฐาน National Institute of Justice (NIJ) ระดับ 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเสียรูปของแผ่นเหล็ก ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้สอบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการยิงด้วยกระสุนจริง โดยผลของการคำนวณในแบบจำลองให้ความหนาหลังการเสียรูปและขนาดของรูเจาะทะลุของแผ่นเกราะที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบ แบบจำลองที่ถูกสอบเทียบถูกนำไปปรับเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการวางเรียงของแผ่นเกราะและผลของความหนาของแผ่นเกราะ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแผ่นเกราะที่ทำจากเหล็กกล้าสองชั้นมีความสามารถในการลดพลังงานการกระแทกของกระสุนได้มากกว่าเหล็กกล้าชั้นเดียวที่ความหนาเท่ากัน เพราะแผ่นบางสามารถโค้งได้มากกว่า และเสียรูปมากกว่าด้วย

คำสำคัญ: แผ่นเกราะ, Armox500T, มาตรฐาน NIJ, การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

* ผู้แต่ง, อีเมล: petch.j@eng.kmutnb.ac.th

Effects of Layer Arrangements on Bullet Protection Capability of Armor Plate

Petch Jearanaisilawong^{1*} and Bundit Phungsara²

Received 28 July 2020, Revised 13 August 2020, Accepted 27 August 2020

Abstract

High strength steel bulletproof plate can be made into single- or multiple-layered plate. The layer arrangement clearly influences the protection capability of the entire plate. This project aims to analyze the effect of layer arrangement on the protection capability of armour plate. An Armox500T plate was selected as the representative material. It was tested according to National Institute of Justice (NIJ) threat level 3. Experimental results demonstrated underlying deformation mechanisms of steel plate that served as validating data for a finite element model. The model was shown to correctly predict the deformed thickness and the penetrated hole of the steel plate. This validated model was modified to investigate the effects of arrangement and thickness of layers. The analysis showed that the double-layered plate is able to dissipate the impact energy of the bullet more than the single layer counterpart with the same total thickness because the thinner plates were bent out of the original shape, consuming greater impact energy and resulting in a larger deformation.

Keywords: Armour plate, Armox500T, NIJ standard, Finite element simulation

¹ Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

² Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: petch.j@eng.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

วัสดุที่นำมาใช้เป็นแผ่นเกราะกันกระสุนหรือตัวถังของยานเกราะมักเป็นเหล็กกล้าตระกูล Rolled Homogeneous Armor (RHA) อย่างไรก็ตามการออกแบบแผ่นเกราะสำหรับกันกระสุนต้องคำนึงถึงความหนาที่เหมาะสม หรือการผสมด้วยวัสดุประเภทอื่นที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกันกระสุน โดยมีปัจจัยรอง คือ น้ำหนักของแผ่นเกราะ และราคาของแผ่นเกราะที่พิจารณา นอกจากนี้ประสิทธิภาพของแผ่นเกราะยังขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างแผ่น หรือวิธีการจับยึดในกรณีที่แผ่นเกราะเป็นวัสดุผสมด้วยการวิเคราะห์ผลของการวางตัวของแผ่นเกราะมักใช้วิธีการทดสอบการยิง ซึ่งมีราคาสูง และใช้เวลานาน เพราะวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นเกราะมักเป็นสินค้าควบคุมและมีผู้จำหน่ายน้อยราย รวมถึงกระบวนการจัดหาที่มีความซับซ้อน การใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผ่นเกราะจึงเป็นที่นิยมในงานวิจัย โดยแบบจำลองที่ใช้ต้องมีการสอบเทียบกับผลการทดสอบที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำแบบจำลองไปใช้ในการทำนายผลต่างได้ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้วจึงนำไปสร้างต้นแบบแผ่นเกราะและทำการทดสอบจริงเพื่อยืนยันผลการทดสอบ

การศึกษาพฤติกรรมของแผ่นเกราะหลายชั้นและช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะ เน้นไปที่การเรียงตัวของแผ่นโลหะ โดยมีผลงานที่เกี่ยวข้องในด้านของการทดสอบอย่างเดียว [1-4] สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาผลของการเรียงตัวของแผ่นเกราะ [5-6] ทั้งทดสอบ และสร้างแบบจำลองประกอบกัน [7-10] หรือ การวิเคราะห์และสร้างสมการเพื่ออธิบายพฤติกรรมการกระแทกของกระสุน [11-12] เป็นที่น่าสนใจว่า ผลของการศึกษามีความแตกต่างกัน

ในแง่ของความสามารถในการป้องกันของการใช้แผ่นเกราะหลายชั้นเทียบกับแผ่นที่หนาหนึ่งชั้น ที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน และมีความหนาเท่ากัน โดย [1-2, 4-7, 12] พบว่าแผ่นเกราะเนื้อเดียวสามารถต้านการกระสุนได้ดีกว่าแผ่นเกราะหลายชั้นที่ความหนารวมเท่ากัน ในขณะที่ [3, 8-9] พบว่าการใช้แผ่นเกราะหลายชั้นจะดีกว่าการใช้แผ่นเกราะเนื้อเดียวที่ความหนารวมเท่ากัน ส่วน Ben-Dor et al. [11] ที่วิเคราะห์ความต้านทานการกระแทกของวัสดุเหนียวด้วยตัวกระแทกที่หัวแหลม และหัวเป็นรูปโคน สรุปว่าความสามารถในการต้านทานของแผ่นเกราะไม่ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการเรียงของแผ่น หรือขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่น

จากผลการศึกษานี้ที่ไม่สอดคล้องกัน เพราะว่าผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างกันทั้งในแง่ประเภทของหัวกระสุน ความเร็วในการเข้าปะทะ พฤติกรรมการเสียหายแตกหักของแผ่นเกราะ สมมติฐานที่ใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นเกราะ และพฤติกรรมการเสียหายของแผ่นเกราะ

เมื่อผลการศึกษามีความขัดแย้งกัน ทำให้การประยุกต์ใช้ทฤษฎีในการออกแบบแผ่นเกราะมีความหลากหลายและขึ้นกับลักษณะเฉพาะของกระสุนที่ต้องการป้องกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การศึกษาลักษณะของการเรียงตัว หรือช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะ โดยแบบจำลองจะสร้างขึ้นมาเพื่อเลียนแบบชิ้นงานจริง จากนั้นจึงใช้สมบัติวัสดุและเทคนิคการจำลองในการวิเคราะห์ผลของการเรียงตัวของแผ่นเกราะ

2. วัสดุที่ใช้ศึกษา

แผ่นเกราะโลหะที่ใช้เป็นตัวอย่างทำจาก ArmoX500T สองแผ่นที่มีช่องว่างระหว่างกลางยึดมุม สี่มุมด้วยน็อต เหล็ก แต่ละแผ่นมีความหนา 6.5 mm และเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 300 mm ส่วนช่องว่าง ขนาด 5 mm ระหว่างแผ่นแสดงผลของช่องว่างระหว่าง แผ่นเกราะ ตัวอย่างชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างแผ่นเกราะสองชั้น

3. วิธีการทดลอง

การทดสอบการยิงด้วยกระสุนจริงทำที่โรงงาน ทดสอบวัตถุระเบิดทหาร จังหวัดนครสวรรค์ ตาม มาตรฐาน NIJ level III โดยใช้ลูกกระสุนสองแบบ คือ 5.56x45mm M193 และ 7.62M80 โดยมี สถานะการทดสอบตามตารางที่ 1

การทดสอบแผ่นเกราะตัวอย่าง ใช้วิธีการยิง ด้วยกระสุน 7.62M80 จำนวน 2 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน และ 5.56x45mm M193 จำนวน 3 ตำแหน่งต่อชิ้นงาน เพื่อศึกษาถึงผลการป้องกันของกระสุนแต่ละประเภท ตามรูปที่ 2

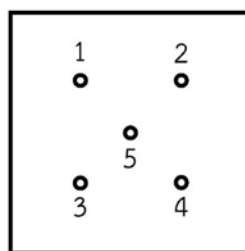
การจับยึดชิ้นงานไปตามมาตรฐานของ NIJ โดยยึดแผ่นเกราะด้วยสายรัดขอบเข้ากับโครงจับยึด ด้านหลังโครงจับยึดเป็น Witness Plate ที่แสดงให้เห็นถึงการทะลุของแผ่นเกราะ

ตารางที่ 1 สถานะการทดสอบยิงตาม NIJ level 3

ประเภทกระสุน	5.56x45 M193	7.62M80
น้ำหนักกระสุน [grains/grams]	55/3.63*	148/9.66**
ระยะทดสอบ [m]	2.5	2.5
ระยะห่างลำกล้อง กับชิ้นงาน [m]	15	15
ความเร็วในการ ทดสอบ [m/s]	970 ± 12	847 ± 9.1
พลังงานจลน์ [J]	3415	6930

* FMJ-copper boat tail with lead core

** FMJ-gilding metal clad steel with boat tail and lead core



ด้านหน้าแผ่นเกราะ

รูปที่ 2 วิธีการยิงทดสอบแผ่นเกราะตัวอย่าง

นัดที่ 1: 7.62mm M80

นัดที่ 2: 7.62mm M80

นัดที่ 3: 5.56x45mm M193

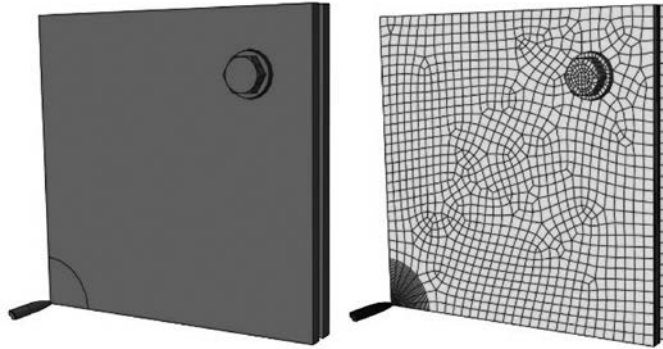
นัดที่ 4: 5.56x45mm M193

นัดที่ 5: 5.56x45mm M193

4. การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการ กระแทก

4.1 แบบจำลองการยิงแผ่นเกราะ

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้ ถูกสร้างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป ABAQUS โดยการขึ้นรูปแผ่นเกราะและกระสุนตาม ขนาดจริง เนื่องจากชิ้นงานมีความสมมาตรจึงกำหนด ให้จำลองเฉพาะ $\frac{1}{4}$ ของแผ่นเกราะและกระสุน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองหนึ่งในสี่ของแผ่นเกราะกับกระสุน 7.62M80

ปลอกและแกนของกระสุนแบ่งด้วยเมชขนาด 0.5 mm และเพิ่มความละเอียดให้กับส่วนหัวกระสุนถึง 0.1 mm ส่วนของแผ่นเกราะตรงกลางใช้เมชขนาด 5 mm ส่วนขอบและตรงตำแหน่งที่กระสุนเข้าปะทะมีความละเอียด 1 mm เมชที่ใช้เป็นแบบรูปสี่เหลี่ยมหกหน้า (Hexahedron - Hex) ชนิด First Order Reduced Integration และใช้ตัวเลือกการควบคุมการบิดเบือนเอลิเมนต์แบบ Orthogonal Kinematic Split และ Enhanced Hourglass Control เพื่อเพิ่มความเสถียรของการคำนวณ และส่วนตรงปลายแหลม เช่น หัวกระสุน จะเป็นเอลิเมนต์แบบลิ้ม (Wedge) แบบ Second Order Full Integration เอลิเมนต์ทั้งสองประเภทสามารถถูกลบได้ด้วย Element Deletion = Yes

การคำนวณพฤติกรรมการกระแทกใช้วิธีคำนวณแบบ ABAQUS/Explicit ทั้งนี้เนื่องจากเอลิเมนต์ภายใต้การกระแทกมีการเสียรูปสูงจึงมีการเลือกใช้การปรับเมชแบบ Adaptive Meshing ซึ่งเป็นการพยายามตีเมชใหม่ในทุกช่วงเวลาการคำนวณเพื่อไม่ให้เอลิเมนต์เกิดการบิดเบี้ยวเกินไป และทำให้การคำนวณมีความเสถียรมากขึ้น ส่วนสมบัติของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองเป็นไปตามตารางที่ 2

ผิวสัมผัสระหว่างหัวกระสุนและแผ่นเกราะถูกกำหนดให้เป็นการสัมผัสแบบไม่ทะลุ (Hard Contact) ด้วยวิธีการคำนวณแบบ Kinematic Constraint ซึ่งจะทำให้การควบคุมการสัมผัสที่แม่นยำกว่าวิธีการคำนวณในรูปแบบอื่น และกำหนดให้ผิวสัมผัสเป็นแบบไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless) เพราะการเจาะทะลุของกระสุนไม่มีการไถล ในส่วนของผิวสัมผัสของชิ้นส่วนภายใน เช่น ผิวสัมผัสระหว่างเนื้อกับแผ่นเกราะจะถูกทำให้เป็นผิวสัมผัสแบบผูกติดกัน (Tie) ไม่สามารถแยกจากกันได้ ในส่วนของสภาวะขอบที่ขอบรอยตัดแผ่น 1/4 ถูกกำหนดให้เป็นสภาวะขอบสมมาตร (Symmetry Boundary) ส่วนความเร็วของกระสุนป็นกำหนดเป็น Predefined Field ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณ

4.2 การจำลองรูปแบบการวางเรียงแผ่นเกราะ

หลังจากได้แบบจำลองที่สอบเทียบแล้วจึงกำหนดแบบจำลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลของความหนาของแผ่นและช่องว่างระหว่างแผ่นเกราะต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานการกระแทก โดยกำหนดให้แผ่นเกราะมีขนาดเท่ากับ 300x300 mm²

ตารางที่ 2 สมบัติวัสดุที่ใช้ในแบบจำลอง

ชิ้นงาน	วัสดุ	แบบจำลองวัสดุ	แบบจำลองความเสียหาย
แผ่นเกราะ	Armox 500T [13]	Johnson-Cook Hardening	Johnson-Cook Damage
น็อต	Steel	Elastic model	$E=200\text{ GPa } \nu 0.3$
ปลอกกระสุน	Copper [14]	Johnson-Cook Hardening	Johnson-Cook Damage
แกนกระสุน	Lead [15]	Johnson-Cook Hardening	Johnson-Cook Damage

โดยสร้างแบบจำลองขนาด ¼ ของแผ่น ยิงด้วยกระสุน 5.56x45 M193 ตรงกลางแผ่นด้วยความเร็ว 900 m/s การศึกษาแบ่งออกเป็นประเภท

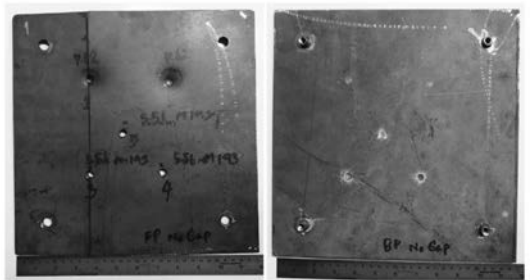
- แผ่น Armox หนา 2 mm 2 แผ่นวางซ้อนกันโดยไม่ยึดติด (2+2 mm)
- แผ่น Armox หนา 3 mm 2 แผ่นวางซ้อนกันโดยไม่ยึดติด (3+3 mm)
- แผ่น Armox หนา 4 mm (4 mm)
- แผ่น Armox หนา 5 mm (5 mm)
- แผ่น Armox หนา 6 mm (6 mm)

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลของการทดสอบยิงแผ่นเกราะ

ผลการทดสอบการยิงของกระสุนทั้งห้าชนิด ผลปรากฏว่ากระสุน 7.62x51 mm ไม่ทะลุแผ่นเกราะ ชั้นแรก และกระสุน 5.56x45 mm ทะลุแผ่นเกราะ ชั้นแรกแต่ถูกหยุดโดยแผ่นเกราะในชั้นที่สอง จึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นเหล็ก Armox500T ชั้นเดียว

สามารถป้องกันกระสุนประเภท 7.62M80 ได้ แต่ไม่สามารถป้องกันกระสุนประเภท 5.56x45 mm M183 ได้ เมื่อพิจารณาลักษณะการเสียรูปของกระสุนทั้งสองประเภทบนแผ่นเหล็ก Armox500T ด้านหน้าของชิ้นงานในรูปที่ 4 พบว่า รอยยุบที่เกิดจากกระสุน 7.62M80 มีลักษณะกระจายออกเป็นวงกว้างแต่ไม่ทะลุ ลักษณะเป็นการบานออก (Petal) แบบการชนด้วยวัสดุปลายทู่ ในขณะที่กระสุน 5.56x45 M193 เป็นรูขนาดเล็กและทะลุเข้าไปในเนื้อเหล็ก ลักษณะของรูไม่กระจายออก เป็นการฉีกขาดของเนื้อวัสดุโดยการทะลุทะลวงของหัวกระสุน (Piercing)



รูปที่ 4 ด้านหน้าของแผ่นเกราะ (ซ้าย) แผ่นหน้า (ขวา) แผ่นหลัง

เมื่อพิจารณาลักษณะการเสียรูปของแผ่นหน้าพบว่าลักษณะรอยยุบที่เกิดขึ้นของ 7.62M80 มีลักษณะแบนเนื่องจากสัมผัสแนบกันกับแผ่นหลัง ส่วนลักษณะของรอยฉีกขาดที่เกิดจากการทะลุของ 5.56x45mm M193 มีลักษณะเป็นรอยกระแทก

เมื่อศึกษาภาพตัดขวางของแผ่นด้านหน้าของชิ้นงานที่ 1 ในรูปที่ 5 พบว่า รอยยุบตัวที่เกิดจากกระสุน 7.62M80 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.617 mm และทำให้แผ่นเหล็กทั้งแผ่นโก่งออกไปจากกระนาบเป็นขนาดทั้งหมด 7.533 mm ส่วนตัวแผ่นเหล็กยังมีความหนาลดลง ณ ตำแหน่งที่ยิง เหลือเพียง 4.878 mm ทั้งที่กระสุน 7.62M80 มีเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกระสุนเท่ากับ 7.82 mm ในขณะที่รอยทะลุที่เกิดจากกระสุน 5.56x45 mm M193 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.465 mm เมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกระสุนขนาด 5.70 mm และขอบของแผ่นบานออก ณ ตำแหน่งที่กระสุนทะลุ

จากผลการทดสอบจะสังเกตได้ว่ากระสุน 7.62M80 ทำให้แผ่นเหล็ก Armox500T เสียรูปแบบการกระจายของหัวกระสุน (Petal) แต่ไม่ทะลุ ในขณะที่กระสุน 5.56x45 mm M193 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและมีพลังงานจลน์น้อยกว่า แต่สามารถทะลุแผ่นเหล็กชั้นแรกเข้าไปได้ และมีลักษณะการเสียรูปเป็นการเฉือนทะลุ (Shear-dominated Piercing) ดังนั้นลักษณะหัวกระสุนและความเร็วในการเข้ากระแทกมีผลต่อการทำลายเกราะ

5.2 ผลของการจำลองการยิงแผ่นเกราะ

รูปแบบความเสียหายของแผ่นเกราะตัวอย่างเมื่อกระสุนถูกทำลายลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในรูปที่ 6 การเปรียบเทียบขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กเป็นไปตามตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบ

แสดงให้เห็นว่าลักษณะการเสียรูปของวัสดุในแบบจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบเชิงตัวเลข การเสียรูปของแผ่นเกราะในกรณีของ 7.62M80 ในแบบจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ โดยเฉพาะส่วนของระยะยุบของแผ่นเกราะซึ่งในแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าผลการทดสอบ ซึ่งเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนในค่าคงที่ของแบบจำลองวัสดุของแผ่นเกราะ ทำให้การกระจายของพลังงานกระสุนในแผ่นเกราะต่ำกว่าความเป็นจริง

ส่วนขนาดรูของแผ่นเกราะจากกระสุน 5.56x45 mm M193 อยู่ในขนาดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ขนาดของรูที่เจาะทะลุส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเอลิเมนต์ที่ใช้ เมื่อพิจารณาลักษณะการเสียรูปและขนาดของการเสียรูปที่สอดคล้องกันระหว่างผลการทดสอบและแบบจำลอง จึงสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบการจำลองแผ่นเกราะนี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปขยายผลต่อได้

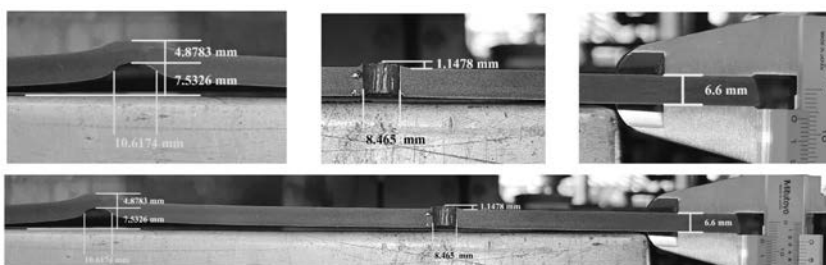
5.3 ผลของการจำลองรูปแบบการวางเรียงแผ่นเกราะ

ผลของแบบจำลองที่ศึกษารูปแบบการวางเรียงแผ่นเกราะคือ กระสุนเจาะทะลุแผ่นเกราะในทุกกรณี โดยรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองที่ใช้รูปซ่ายเป็นการจำลองแบบสองแผ่นหนา 3 mm รูปกลางเป็นการกระจายของคลื่นความเค้นที่เกิดจากการกระแทกทางด้านหน้าของแผ่น และรูปขวาเป็นการทะลุของแผ่นเกราะ

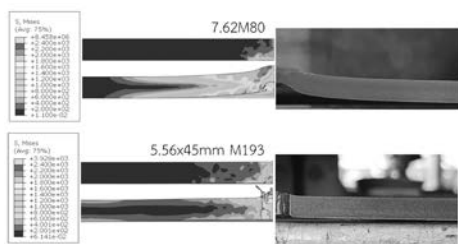
ผลการคำนวณสรุปอยู่ในลักษณะของความเร็วกะสุนต่อความเร็วเริ่มต้นและพลังงานจลน์ของระบบเทียบกับพลังงานจลน์เริ่มต้นในรูปที่ 8

ตารางที่ 3 ขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กตามการทดลองเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

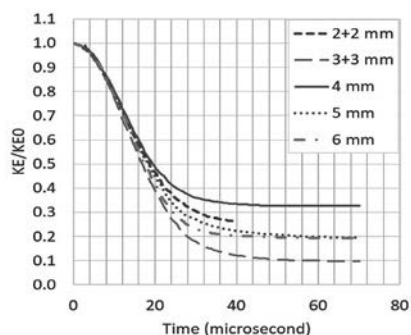
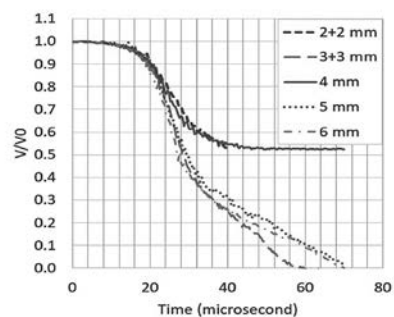
ผลจากการยิงด้วยกระสุน 7.62M80			
	ผลการทดสอบ	ผลการจำลอง	ความคลาดเคลื่อน (%)
ระยะยุบด้านหน้าแผ่น (mm)	7.533	5.167	-31.4
ความหนาของแผ่นหลังยิง(mm)	4.878	4.786	-1.88
ผลจากการยิงด้วยกระสุน 5.56x45mm M193			
ขนาดรูกระสุน (mm)	8.465	8.582	+1.36



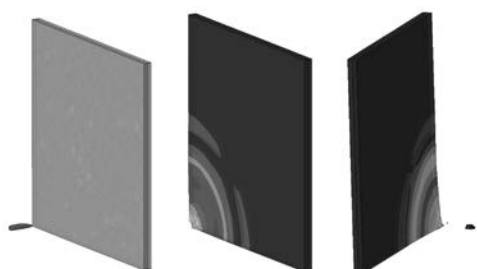
รูปที่ 5 ภาพตัดขวางของแผ่นเกราะตามแนวกระสุน



รูปที่ 6 การเสียรูปของแผ่นเกราะในแบบจำลอง
เทียบกับผลการทดสอบ



รูปที่ 8 (บน) การเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระสุน
และ (ล่าง) พลังงานจลน์ของกระสุน



รูปที่ 7 ผลการจำลองผลของความหนาของแผ่น Armox
ตัวอย่างกรณี 3+3 mm (ซ้าย) ก่อนยิง
(กลาง) หลังยิงทะลุด้านหน้า (ขวา) หลังยิงทะลุด้านหลัง

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า แผ่นเกราะที่หนากว่าสามารถรับพลังงานการกระแทกได้สูงกว่า ซึ่งพบได้จากพลังงานจลน์ของระบบของแผ่น 6 mm ลดลงไปมากกว่าพลังงานจลน์ของแผ่น 4 mm ในขณะที่แผ่นเกราะแบบแผ่นบางสองชั้นรับพลังงานการกระแทกได้สูงกว่าแผ่นเกราะที่มีความหนาเท่ากัน เช่น แผ่นเกราะหนา 3 mm สองแผ่นวางซ้อนกัน รับพลังงานได้มากกว่า 6 mm แผ่นเดียว เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลการคำนวณอย่างละเอียด พบว่าพลังงานการกระแทกของกระสุนถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ พลังงานที่ใช้ในการพังทลายของแผ่นเกราะและพลังงานที่ทำให้วัตถุเสียรูป การโก่งออกนอกกระนาบของแผ่นเกราะบางเกิดได้มากกว่าแผ่นเกราะหนา หมายถึงพลังงานการกระแทกที่แผ่นบางสองแผ่นรับได้มากกว่าแผ่นหนาขนาดเท่ากันแผ่นเดียว เพราะพลังงานการกระแทกของกระสุนบางส่วนถูกแบ่งไปเป็นการเสียรูปแบบโก่ง

อย่างไรก็ตาม การโก่งออกนอกกระนาบของแผ่นเกราะบางหมายถึงระยะที่กระสุนสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงอาจเกิดอันตรายต่อวัตถุที่อยู่หลังแผ่นเกราะได้ ความหนาที่เหมาะสมของแผ่นเกราะจึงต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่แผ่นเกราะดูดซับ และระยะการเสียรูปของแผ่นเกราะไปพร้อมกัน

6. บทสรุป

การวางเรียงตัวของแผ่นเกราะส่งผลถึงประสิทธิภาพการป้องกันกระสุน โดยการทดสอบแผ่นเกราะ Armox500T ตามมาตรฐาน NIJ level 3 พบว่าแผ่นเกราะหนาขนาด 6.5 mm สามารถกัน

กระสุน 7.62M80 ได้ แต่กัน 5.56x45 mm M193 ไม่ได้ ผลการทดสอบถูกนำไปสร้างเป็นแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อสอบเทียบผลการจำลองให้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบแล้วแบบจำลองถูกนำไปปรับเพื่อวิเคราะห์ผลของความหนาของแผ่นเกราะ โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าแผ่นบางหลายชั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นหนาแผ่นเดียว เพราะสามารถเสียรูปได้มากกว่า ในขณะที่เดียวกันขนาดของการเสียรูปของแผ่นบางหลายชั้นก็สูงกว่าด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม ภายใต้สัญญาเลขที่ 620203

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alavi Nia, A., Hoseini, G.R. “Experimental study of perforation of multi-layered target by hemispherical-nosed projectiles”, Materials and Design, 32, 2011, pp. 1057-1065.
- [2] Almohandes, A.A., Abdel-Kader, M.S., Eleiche, A.M. “Experimental investigation of the ballistic resistance of steel-fiberglass reinforced polyester laminated plates”, Composites Part B: Engineering, 27(5), 1996, pp. 447-458.
- [3] Corran, R.S.J., Shadbolt, P.J., Ruiz, C. “Impact loading of plates – an experimental investigation”, International Journal of Impact Engineering, 1(1), 1983, pp. 3-22.
- [4] Gupta, N.K., Madhu, V. “An experimental study of normal and oblique impact of

hard-core projectile on single and layered plates”, International Journal of Impact Engineering, 19(97), 1997, pp. 395-414.

[5] Palta, E., Gutowski, M., Fang, H.B. “A numerical study of steel and hybrid armor plates under ballistic impacts”, International Journal of Solids and Structures, 136-137 (2018), pp. 279-294.

[6] Zukas, J.A., Scheffler, D.R. “Impact effects in multilayered plates”, International Journal of Solids and Structures, 38, 2001, pp. 3321-3328.

[7] Holmen, J.K., Solberg, J.K., Hopperstad, O.S., Borvik, T. “Ballistic impact of layered and case-hardened steel plates”, International Journal of Impact Engineering, 110, 2017, pp. 4-14.

[8] Liu, J.F., Long, Y., Ji, C., Liu, Q., Zhong, M.S., Ge, S. “Ballistic performance study on the composite structures of multi-layered targets subjected to high velocity impact by copper EFP”, Composite Structures, 184, 2018, pp. 484-496.

[9] Liu, J.F., Long, Y., Ji, C., Liu, Q., Zhong, M.S., Zhou, Y. “Influence of layer number and air gap on the ballistic performance of multi-layered targets subjected to high velocity impact by copper EFP”, International Journal of Impact Engineering, 112, 2018, pp. 52-65.

[10] Serjouei, A., Gour, G., Zhang, X.F., Idapalapati, S., Tan, G.E.B. “On improving ballistic limit of bi-layer ceramic-metal armor”, International Journal of Impact Engineering, 105, 2017, pp. 54-67.

[11] Ben-dor, G., Dubinsky, A., Elperin, T. “On the ballistic resistance of multi-layered targets with air gaps”, International Journal of Solids and Structures, 35(23), 1998, pp. 3097-3103.

[12] Elek, P., Jaramaz, S., Mickovic, D. “Modeling of perforation of plates and multi-layered metallic targets”, International Journal of Solids and Structures, 42, 2005, pp. 1209-1224.

[13] Iqbal, M.A., Senthil, K., Sharma, P., Gupta, N.K. “An investigation of the constitutive behavior of Armox 500T steel and armor piercing incendiary projectile material” International Journal of Impact Engineering, 2016, pp. 146-164.

[14] ABAQUS Documentation, Simulia.

[15] Adam, B (2003). “Simulation of ballistic impacts on armored civil vehicles” Master Thesis, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.

GIS for Vertical Takeoff and Landing Site Selection

Teeranai Srithamarong ^{1*} and Phimraphas Ngamsantivongsa¹

Received 22 October 2020: Revised 22 November 2020: Accepted 22 December 2020

Abstract

This research paper addresses the GIS analysis approach to the investigation of suitable sites for a vertical takeoff and landing drone. The study manipulated GIS and terrain layers and turned them into proper input before the spatial analysis that included slope, reclassify, classify and buffer was applied to the individual layers. The output layers were weighted and multi-criteria analyzed before those patches failing to comply with filtering out criteria were discarded. Field survey for each suitable candidate site was conducted to cross-check the proposed approach with the real world. Conclusion was extracted for the VTOL takeoff and landing sites and discussion was provided with further study being suggested on the mission simulation of selected takeoff and landing sites.

Keywords : GIS approach, Site selection, VTOL, Takeoff and landing

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

* Corresponding author, E-mail: teeranai.s@dti.or.th

1. Introduction

Surveying for drone launch sites is troublesome when the study areas are under constraints of mountainous terrain. Even though it is plausible to use a sensor capable of an aerial survey system to help identify the areas of interest with growing research in machine and computer vision [1], there is also a question of satellite navigation signal coverage and a requirement to help researchers to plot on a large scale map or other open sources such as Google Earth for flight mission planning. It can be seen from Figure 1 that in aerial photography over Pua district, Nan province in the Northern part of Thailand, of an area of more than 300 km², it is easier by exploring the target areas with unmanned aerial surveying system. That will help in planning for drone image acquisition more quickly. Those areas will also be locations of the ground-based survey to assess the accuracy of digital terrain models in the final phase of accuracy assessment. Therefore, flat and level sites are needed for vertical takeoff and landing (VTOL) drone in general for example DJI Phantom Drone.

In this current study, prior to launching a survey drone for VTOL site selection, it can be more economical to investigate the terrain nature of potential candidates for the launching site. Geographical Information

System (GIS) technology was used to assess the criteria requested to define the suitability of land for housing [2]. The study in [3] was to develop a spatial model for land suitability assessment for wheat crop integrated with GIS techniques. The proposed model allowed obtaining results that corresponded with the current conditions in the area. The land evaluation procedure has also been applied by a GIS – based methodology. Integrating information with crop and soil requirements, the authors in [4] edited and managed land suitability maps for specific purposes by means of matching tables. With the final output aimed at creating military training scenarios to be included in a fire-arms training simulator of the Royal Thai Army, GIS data was prepared and used for the Potential Surface Analysis (PSA) in form of suitability map that revealed the potential of GIS vector layers that suited drug-trafficking routes [5]. However, the GIS-based approach has been barely applied to the survey of takeoff and landing site selection for VTOL drone mapping.

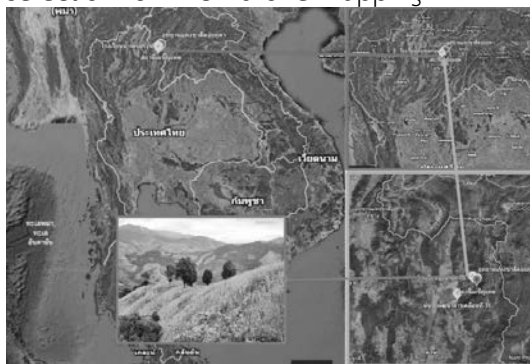


Figure 1 The study area with mountainous terrain

The results of the study in [6] showed that using an unmanned aerial system for topographic mapping and calculating volumes was more time and cost efficient than land surveying, with no loss in accuracy, but only when performed over bare earth terrain, suggesting that care be taken for the topographic mapping of the densely covered terrain. This current study was expected to further extend the cost efficiency of VTOL drone mapping by proposing a GIS – based approach for VTOL takeoff and landing site selection. The selection was performed prior to the still needed field survey. The significance of the study lied in the commercial mission planner that was conducted using available QGroundControl or Google Earth terrain data that was inadequate to meet the standard required for fine/small scale digital terrain model for very precise engineering study [7]. With updated GIS data of the study within GIS functionality before further spatial analysis and multi-criteria analysis being applied. Upon obtaining a suitability map for VTOL takeoff and landing sites, the field survey was conducted for every selected site to ensure proper distribution over the 300 km² study area.

2. Data Preparation

2.1 Geospatial Data

GIS layers included 2016 road and land

use vector layers and 2020 satellite raster layer. The road network was manually updated using GIS basemap available online. The land use data were of 2016 product whose rural study area underwent some urbanization. The 30 m Landsat 8 imagery was of 2020 acquisition and selected to contain a few cloud-covered patches. The 1:50,000 topographic map covering the study area was in elevated ranges for an overall understanding of selected terrain of the study area (see Figure 2). The Digital Elevation Model or DEM of 12.5 m was a product of Advanced Land Observing Satellite (ALOS) in Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR).

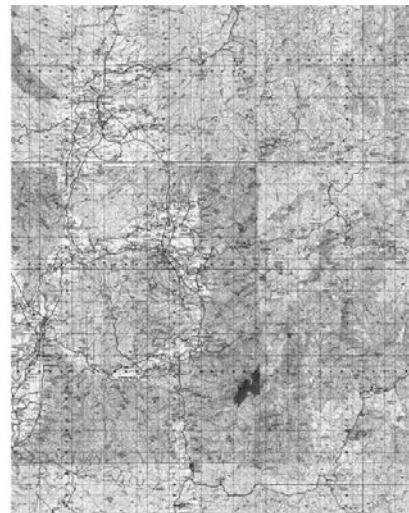


Figure 2 Topographic representation of the study area

2.2 Vertical Takeoff and Landing Requirements

As indicated in [6], the mission path must be free of obstructions for at least 200 m in each horizontal direction. The takeoff and

land sites must consist of a level, flat surface that is free of obstructions for at least 5 x 5 m

2.3 Data Manipulation and Class Weighting

DEM was applied with slope creation to create a slope map. From [8], standard slope descriptors are provided where level to nearly level at slope of 0 - 2% or at approximate degree of 0 – 1.1 is used as the most suitable for the selection in Table 1 and the slope results in degree of Figure 3 left.

Land use map was manipulated as shown in Figure 3 middle with reclassify function to rank Miscellaneous class to Most suitable with Weight 3, Agriculture and Forest

to Suitable with Weight 2, Residence to Least suitable with Weight 1, and Water to Unsuitable with Weight 0. Rationale under this rating was that the Miscellaneous class contained abandoned and unused areas that were the most suitable for site selection. Agriculture and Forest was a Suitable candidate for site selection with subject to field survey. Residential and urban areas were a compromising issue best validated on site. Water bodies could cause severe damage to the drone if unfortunate takeoff and landing took place.

Table 1 Slope suitability guidance.*

Slope (%)	Approximate degrees	Terminology	Slope suitability	Weight
0 - 2	0 - 1.1	Level - Nearly level	Most suitable	3
2 - 9	1.1 - 5	Very gentle – gentle slope	Suitable	2
9 - 15	5 - 8.5	Moderate slope	Least suitable	1
>15	>8.5	Strong slope	Unsuitable	0

* Adapted from [8]

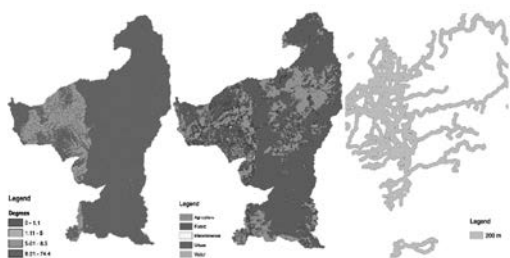


Figure 3 Results of the manipulation and class weighting

In Figure 3 right, the road network layer was buffered based on the accessibility of a grownup man to carry the VTOL drone gear to a launch site and to create 200 m interval from either side of the road based on the 200 m horizontal clearance requirement as the Most suitable with Weight 3, from 200 to 300 m either side of the road center as the Suitable with Weight 2, from 300 m to 400 m as the Least suitable with Weight 1, and from 400 m and beyond as the Unsuitable with Weight 0. Satellite imagery was analyzed to obtain Normalized Difference Vegetation Index or NDVI and categorized into 4 classes with the lowest NDVI range from -0.057 to 0.070 as the Most suitable and Weight 3 based on the notion that low NDVI values resulted from non- to the less- forest cover of the studied patch. The NDVI range from 0.071 to 0.20 was rated Suitable and Weight 2, from 0.21 to 0.33 was rated Least suitable and Weight 1, and from 0.34 to 0.45 was rated Unsuitable and Weight 0. The NDVI map was shown in Figure 4.

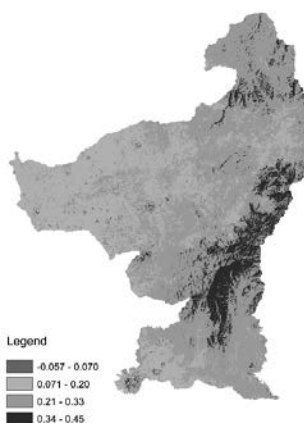


Figure 4 NDVI map derived from Landsat 8 imagery

2.4 Rasterization and Data Resampling

The reclassified Land use and Road maps were tabulated with suitability and weighting columns, the latter of which were numerical values of the rasterization process. The weighting column was for algebraic operation during the raster overlay step. A rasterization process was applied to the reclassified Land use and buffer Road vectors. The final pixel size at 15 m was arrived to maintain as much close accuracy as possible to the 12.5 m DEM resolution. This size was plausible for the original 30 m Landsat of the NDVI map product.

The weighted NDVI and Slope raster layers were applied by revaluing the pixel with the value of the Class Weighting. The revalued NDVI and Slope maps were resampled to 15 m pixel size appropriate

to the final overlay step and matching with the previous rasterized layers. Figure 5 illustrates the Slope (far left), Land use (left), Road (right), and NDVI (far right) raster layers.



Figure 5 Raster layers for suitability

3. Research Methodology

The proposed research methodology as shown in Figure 6 consisted of 3 steps that were related to geospatial analysis and performed mainly down the left side flow of methodology. The VTOL mission simulation was discussed for further studies. The data preparation that involved the manipulation of geospatial data to an analysis ready format. The results were further weighted and multicriteria-analyzed to obtain potential candidates of launching site in the suitability map. Practicality, transportation, expenditure and safety were decisive criteria for the selection of suitable VTOL takeoff and landing sites.

The weighted layers were ranked according to their significance to the site selection criteria. The slope suitability and land use suitability were equally ranked the

more influential factor on site selection than the road buffer and NDVI layers because they involved technical requirements and local safety, respectively. The road buffer and NDVI layers shared equal percentage weight to the analysis. The suitability map from multi-criteria analysis was calculated by;

$$\text{Suitability map} = \frac{(\text{Slope} * 3.5) + (\text{Land use} * 3.5) + (\text{Road} * 1.5) + (\text{NDVI} * 1.5)}{10} \tag{1}$$

where Suitability map is the multi-criteria analysis result, Slope is the weighted slope map, Land use is the weighted land use map, Road is the buffered and weighted road layer map, and NDVI is the weighted NDVI map. Field Surveys were conducted following the calculation results whose selected areas were visited for observation and photographic evidence.

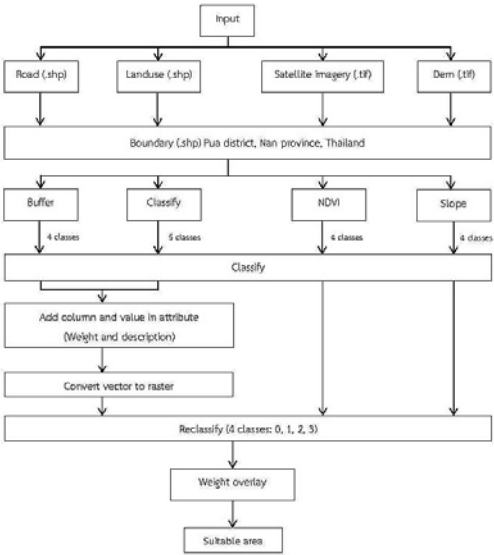


Figure 6 The proposed research methodology

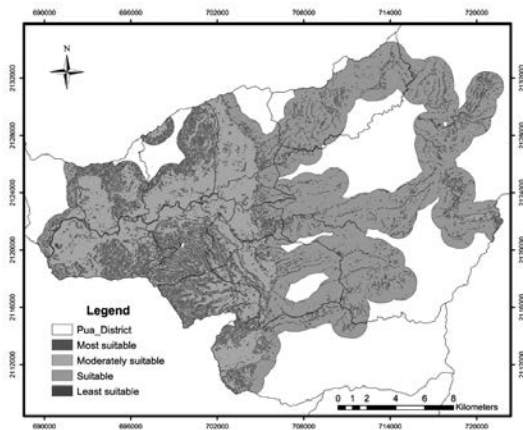


Figure 7 The weighted overlay map

4. Results and Discussion

Approximately 64.31% of the calculated result hardly visible on Figure 7 was categorized as Suitable sites illustrated in orange. The second largest areas were Moderately suitable and accounted for 35.45%. The Most and Least suitable areas shared almost respectively. Where safety to researcher lives and equipment was concerned, only the Most suitable areas as shown in scattered blue patches of Figure 8 were adopted as candidates for takeoff and landing sites. The Most suitable at 0.11% of the calculated result hardly visible on Figure 7 was found exclusively on residential areas that had been dictated since the Data Manipulation and Class Weighting process was embraced. These areas were further sampled for field surveys. Some illustration of Most suitable areas in blue of Figure 8 gave an idea of spatial distribution that could be exploited

for the survey operation without the need to visit every patch for photographic and positional collection.

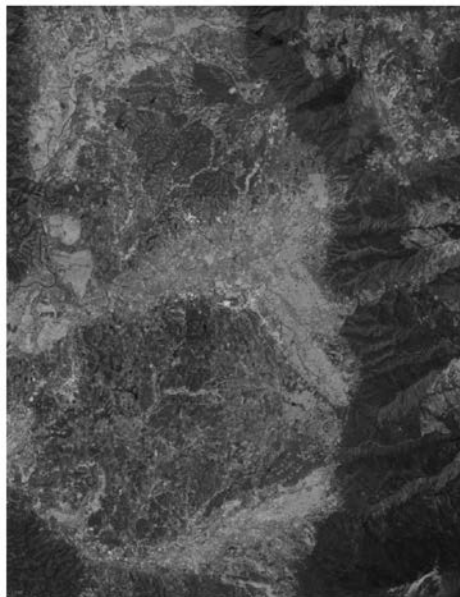


Figure 8 The weighted Most suitable patches overlay map

A spatial statistical method was applied to determine a selected series of suitable patches for the field survey where a standard distance was measured from the distribution of data around the center of all data, see Figure 9.

There were 29 sites selected for the survey and the distribution was within 8.3 km in radius. Time and fuel consumption were much saved from the survey according to the adopted spatial distribution that yielded only 29 sampled points to perform the survey.

Twenty-nine photos as shown in Figure 10 were taken with easy access to the locations

resulted from the 200 m buffering data manipulation. Some of the sites fell within private properties but were accessible by vehicle for photography. Together with high reliability from the Land use layer, the photos revealed the high suitability for the VTOL takeoff and landing sites that responded to the objective of the proposed approach. Of all the 29 sites, there were 19 perfect sites for the VTOL takeoff and landing mission, whereas 10 other sites were blended with construction, water bodies and sparse vegetation considered dangerous for the mission.

The topographic features found upon the survey illustrated in Figure 10 were summarized in Table 2. There were two discussion points worth consideration from the topographic features in the table. The Land use layer with weighting percentage of 35% played a significant role in some discrepancies between the adopted approach and the real world. The survey summary revealed that most of the sites had withstood rare changes since 2016, the year of land use production. However, the fact that Pua district was one of Thailand tourism destinations during the winter had undergone Land use changes in most of the rest features with Residential category and manmade Construction among others.

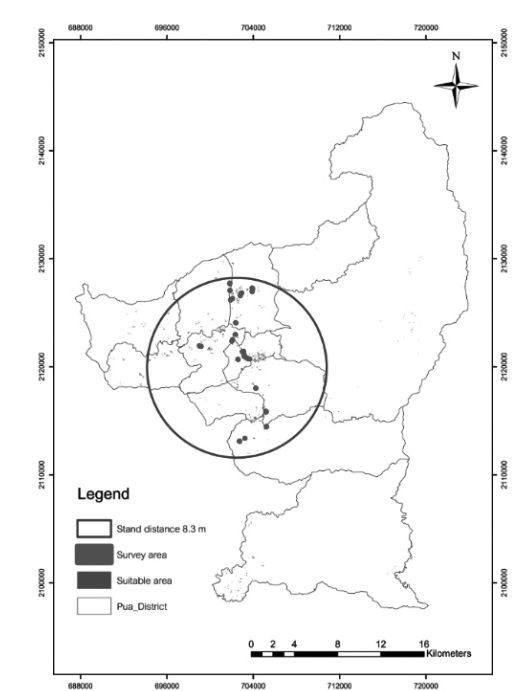


Figure 9 The epicycle representing the center of the patches



Figure 10 Photos taken upon field surveys

5. Conclusion and Further study

The research that adopted the GIS-based approach for the VTOL takeoff and landing site selection had achieved the objective by obtaining the flat and level sites. Four GIS and terrain layers included 2016 road and land use vector layers and 2020 satellite raster layer were manipulated prior to further spatial analysis

Table 2 Topographic features from the survey mission

No.	Topographic Feature	Survey Position in UTM (X,Y)	
1	Flat area and road in residential area	701823.2932	2127715.090
2	Abandoned and evenly vegetated area	703918.4949	2127259.551
3	Flat and unoccupied area	701830.2831	2127059.955
4	Flat area and paddy field	703893.8665	2126989.708
5	Vegetated and tree covered area	702884.6611	2126807.529
6	Sparse forest and scattered tree area	702799.9381	2126592.710
7	Flat area and paddy field	702066.6224	2126321.802
8	Flat and abandoned with tree and grassland	701892.2623	2126176.064
9	Flat and abandoned area	702379.5967	2124070.401
10	Flat and abandoned area	702330.9545	2122995.157
11	Flat and residential area	702073.3215	2122513.832
12	Flat and unoccupied area	702011.2941	2122382.184
13	Building and construction area	699032.0483	2121925.429
14	Flat area with tree and transmission pole	699145.9556	2121888.493
15	Flat area and road in residential area	703038.0582	2121421.105

and multi-criteria analysis. The Most suitable areas accounted for 0.11% of the suitable areas. After obtaining the suitability map for VTOL takeoff and landing sites, the necessary field survey was conducted for every selected site to ensure proper distribution over

the 300 km² study area. There were 29 sites selected for the survey and the distribution was within 8.3 km, 19 sites of which were less influenced by urbanization. The VTOL nature of drone in general i.e., DJI Phantom Drone can be of use with the results of this study.

A simulation of the sites on mission planner platform of the used VTOL drone is under investigation during the time of publication of the article.

6. Acknowledgments

This research article forms part of key performance indicators of an ongoing project titled Applications of Common Operating Picture for the Simulation of Military Assistance during Emergency and Communication Blackout in the Defence Technology Institute, Thailand.

The authors appreciated help and valuable input from Mobile Development Unit 31 in Nan province with regard to activities in the Flooded Situation Testbed. Funding and support from the institute are acknowledged.

7. References

- [1] Kaawaase, K.S., Chi, F. Shuhong, J. and Ji, Q. B. 2011. A Review on Selected Target Tracking Algorithms. *Information Technology Journal*, 10: 691 - 702. DOI: 10.3923/itj.2011.691.702.
- [2] Joerin, F., Thériault, M. and Musy, A. 2001. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, Volume 15, 2001 - Issue 2, pp 153 - 174.
- [3] Baroudy, A. A. E. 2016. Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *CATENA*, Volume 140, May 2016, pp 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.12.010>.
- [4] Gallo, A., Spiandorello, M. and Bin, C. 2014. GIS – based Methodology for Land Suitability Evaluation in Veneto (NE Italy). *EQA – Environmental quality*, 16 (2014) 1 - 7.
- [5] Robert, O. P., Kumsap, C. and Janpengpen, A. 2018. Simulation of counter drugs operations based on geospatial technology for use in a military training simulator. *International Journal of Simulation and Process Modelling*. Vol. 13, No. 4, pp. 402 - 415.
- [6] Fitzpatrick, B. P. 2016. Unmanned Aerial Systems for Surveying and Mapping: Cost Comparison of UAS versus Traditional Methods of Data Acquisition. A Thesis Presented to the Faculty of the USC Graduate School University of Southern California. In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science (Geographic Information Science and Technology). 49p.
- [7] El-Ashmawy, K. L. A. 2016. Investigation of the Accuracy of Google Earth Elevation Data. *Artificial Satellites*. Vol. 51, No. 3, pp 89 - 97. DOI: <https://doi.org/10.1515/arsa-2016-0008>.
- [8] Barcelona Field Studies Centre. Measuring Slope Steepness. <https://geographyfieldwork.com/SlopeSteepnessIndex.htm> Online access on 27 April 2020.

การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์ ค่าอนุพันธ์ของข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ระบบ MODIS

ธนัทเดช โรจนกุลศ ¹ สาทิต แสงประดิษฐ์ ² จุมพล อิศระวิสุทธิ ³
และ อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ ^{4*}

วันที่รับ 6 พฤศจิกายน 63 วันที่แก้ไข 14 พฤศจิกายน 2563 วันที่ตอบรับ 21 พฤศจิกายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์ค่าอนุพันธ์ของข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ใน 4 ช่วงเวลา (พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561) โดยเลือกจังหวัดสกลนครเป็นพื้นที่ศึกษา สำหรับวิธีการดำเนินงานได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 โดยเป็นข้อมูลรายเดือนของปี พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561 รวม 48 ข้อมูลที่รวบรวมได้ นำมาวิเคราะห์ด้วยกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวของจังหวัดสกลนคร ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลดาวเทียมมีความใกล้เคียงกับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีสหสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์ $R = 0.988$ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมาก นอกจากนี้ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายยังพบว่ามีความสัมพันธ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.9774$ ผลการศึกษาค้นคว้าแสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลจากดาวเทียมมาวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำวิธีการในการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศไทยได้

คำสำคัญ : การรับรู้ระยะไกล, อุณหภูมิพื้นผิว, ดาวเทียมเทอร์ราโมดิส

^{1, 3, 4} ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

* ผู้แต่ง, อีเมล: teerawong@msu.ac.th

Estimation of Land Surface Temperature by Derivative Analysis of MOD11A2 Product Data, MODIS System

Tanutdech Rotjanakusol ¹ Satith Sangpradid ² Jumpol Itsarawisut ³
and Teerawong Laosuwan ^{4*}

Received 6 November 2020, Revised 14 November 2020, Accepted 21 November 2020

Abstract

This research was aimed to integrate approximation of Land Surface Temperature using value of derivative analysis retrieved from Terra Modis data of MOD11A2 product during 4 time periods years of 2004, 2008, 2013, and 2018, selecting Sakon Nakhon Province was chosen as study area. Terra Modis data Product MOD11A2 was used, which was in monthly format of the year 2004, 2008, 2013, and 2018, 48 data in total for the image processing approximate of Land Surface Temperature. The results showed that Land Surface Temperature data analyzed from the satellite data was similar to the Land Surface Temperature data obtained from Thai Meteorological Department. The correlation was performed using correlation method, it was discovered that the correlation coefficient $R = 0.988$ was very high. In addition, using the above data to analyze by the simple linear regression analysis, it was found that the coefficient of determination, $R^2 = 0.9774$, meaning that the use of satellite data for this surface temperature analysis was reliable and the methodology in this study could be used to analyze surface temperatures in other areas of Thailand.

Keywords : Remote Sensing, Land Surface Temperature, Terra Modis Data

^{1, 3, 4} Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University

² Department of Geo-Informatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University

* Corresponding author, E-mail: teerawong@msu.ac.th

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปีมีสาเหตุมาจากปัญหาภาวะโลกร้อน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสะท้อนให้เห็นจากปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาที่เกิดขึ้น [1] ประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาทั้งทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยพื้นที่ทำการเกษตรเดิมได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องในไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งโดยปกติแล้วอุณหภูมิของพื้นที่เกษตรกรรมจะสูงกว่าอุณหภูมิของพื้นที่ป่าไม้ แต่ก็ยังคงต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง [2] ความเจริญดังกล่าวส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชนเพื่อสร้างที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม ในทางตรงกันข้ามพื้นที่สีเขียวที่ทำหน้าที่ดูดซับรังสีของดวงอาทิตย์ เช่น ต้นไม้ ป่าไม้ รวมถึงพืชพรรณทางการเกษตรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากรังสีของดวงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งกลับพบว่ามีน้อยลง จึงส่งผลทำให้อุณหภูมิในภาพรวมของประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [3]

สำหรับการศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวนั้น เป็นการศึกษาตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวของโลกอีกรูปแบบหนึ่งที่ยินยอมมาตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวโลก [4] ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีการนำอุณหภูมิพื้นผิวไปใช้ประโยชน์ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากโลกมีความร้อนที่เพิ่มมากขึ้น การศึกษารูปแบบของสภาพภูมิอากาศโดยตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อ

อุณหภูมิพื้นผิว [5, 6] การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นผิวส่งผลกระทบต่อแผ่นน้ำแข็งขั้วโลก รวมถึงการศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวที่ส่งผลกระทบต่อพืชพรรณในระบบนิเวศในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก [7, 8] เป็นต้น จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในด้านการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวพบว่ามียานงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวด้วยข้อมูลจากดาวเทียม เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ชุมชนเมือง การศึกษาการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อน และการตรวจวัด และระบุพื้นที่ที่เกิดไฟป่าจากอุณหภูมิพื้นผิว [9] เป็นต้น นอกจากนี้ ในปัจจุบันพบว่าหลายงานวิจัยได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีตรวจวัดอุณหภูมิพื้นผิวโดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) ด้วยข้อมูลจากดาวเทียมที่สามารถบันทึกปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกโดยอาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม [10, 11] เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลได้รับการยอมรับว่ามีความทันสมัยและมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ติดตามและตรวจสอบปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นโลกได้ทันต่อเหตุการณ์ [12] ในขณะเดียวกันยังปรากฏว่ามีหลายงานวิจัยที่พัฒนามาตรการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวร่วมกับข้อมูลจากดาวเทียม เช่น Radiative Transfer Equation - Based Method, Mono - Window/Single Channel Algorithms และ Split - Window Algorithms [13 - 16] เป็นต้น ด้วยความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการประมาณอุณหภูมิพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์ค่าอนุพันธ์ของ

ข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ใน 4 ช่วงเวลา (พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561) ในพื้นที่จังหวัด สกลนคร

2. พื้นที่ศึกษาและข้อมูล

2.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดสกลนครเป็นหนึ่งใน 19 จังหวัด ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งอยู่ประมาณเส้นรุ้งที่ 16 องศา 45 ลิปดา ถึง 18 องศา 15 ลิปดาเหนือ และเส้นแวงที่ 103 องศา 15 ลิปดา ถึง 104 องศา 30 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่รวม 9,605.76 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 6,003,603 ไร่ ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปทางด้านทิศใต้เป็นที่อกเขาสูงจากนั้นจะค่อย ๆ เอียงลาดลงมาทางทิศเหนือและทิศตะวันออก พื้นที่อยู่สูงกว่าระดับทะเลปานกลางประมาณ 172 เมตร ภูมิอากาศจัดอยู่ในประเภทอากาศแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดูหรือแบบทุ่งหญ้าเมืองร้อน ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีอากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกตลอดฤดู แต่ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาวจะมีอากาศแห้งแล้งเกือบตลอดฤดู

2.2 ข้อมูลจากดาวเทียม

การศึกษานี้ได้เลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลลัพธ์ MOD11A2 ที่บันทึกข้อมูลในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมในปี พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561 ผลลัพธ์ MOD11A2 เป็นข้อมูลรูปแบบอุณหภูมิพื้นผิว ประกอบไปด้วย 12 Science Dataset มีความละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 1,000 เมตร มีโปรเจกชันแบบ Sinusoidal

2.3 ข้อมูลอุณหภูมิภาคพื้นดิน

การศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสกลนคร

3. วิธีการดำเนินงาน

เพื่อความกระชับในการนำเสนอของการศึกษานี้ จึงขอลำถึงวิธีการดำเนินงานเป็นขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้

(1) การจัดเตรียมข้อมูลภาพดาวเทียมก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทำการลบจุดภาพ (Pixel) ที่ผิดปกติของข้อมูลจากดาวเทียมออกทั้งหมดด้วยไฟล์ควบคุมคุณภาพ (QA Band)

(2) ทำการแปลงค่าโปรเจกชันแบบ Sinusoidal ของข้อมูลดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลลัพธ์ MOD11A2 จาก Sinusoidal ให้ไปเป็นโปรเจกชันแบบ Geographic Coordinate System 1984 (GCS WGS1984) พร้อมทั้งดำเนินการกำหนดพิกัดภูมิศาสตร์ เพื่อให้ข้อมูลจากดาวเทียมมีค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ถูกต้อง

(3) เนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิสผลลัพธ์ MOD11A2 ที่ได้มานั้น ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเพื่อความสะดวกในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล จึงจำเป็นต้องตัดข้อมูลจากดาวเทียมให้เหลือเฉพาะพื้นที่ศึกษา ซึ่งก็คือ จังหวัดสกลนคร

(4) ทำการ Re-scaling ค่า Digital Number (DN) ของข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 7500 ถึง 65535 ให้เปลี่ยนเป็นข้อมูลอุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature) ในหน่วยของเคลวิน (Kelvin) ด้วยสมการที่ 1 [17] จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าหน่วยของเคลวินไปเป็นองศาเซลเซียส (°C) ด้วยสมการที่ 2 [17]

$$LST = DN * 0.02 \quad (1)$$

เมื่อ

LST = อุณหภูมิพื้นผิว

DN = ค่า Digital Number (DN)

$$^{\circ}C = Kelvin - 273.15 \quad (2)$$

เมื่อ

$^{\circ}C$ = อุณหภูมิพื้นผิวขององศาเซลเซียส

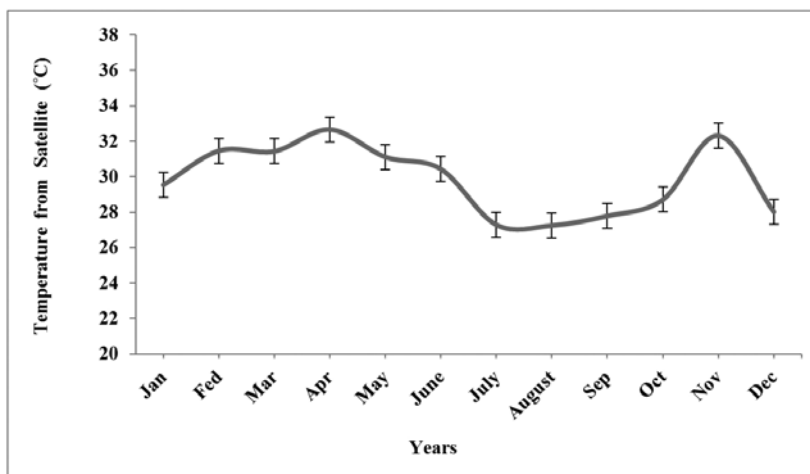
(5) นำข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือนจาก 12 เดือน (มกราคม - ธันวาคม) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 มาประมวลผลเป็นข้อมูลรายปีเฉลี่ยและขั้นตอนสุดท้าย

(6) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยนำผลอุณหภูมิพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้มาหาความสัมพันธ์ทางสถิติกับข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม

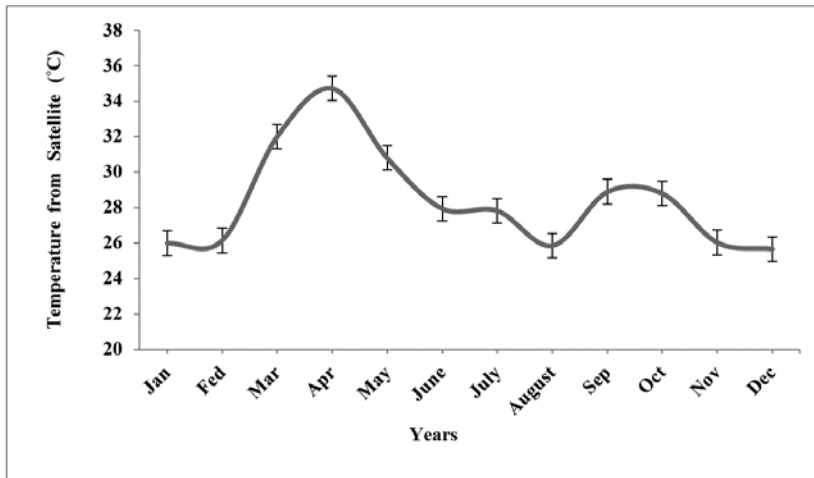
ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวด้วยข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 รายเดือนของ 4 ช่วงเวลา (พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561) สามารถแสดงผลอุณหภูมิในรูปแบบของกราฟเส้นดังรูปที่ 1 - 4



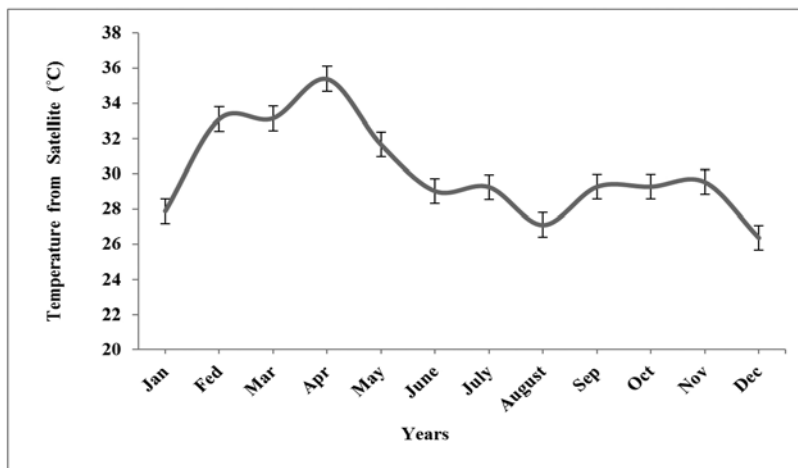
รูปที่ 1 อุณหภูมิพื้นผิวรายเดือน พ.ศ. 2547

ในปี พ.ศ. 2547 เส้นกราฟได้แสดงถึงค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายเดือนและแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน และอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่เดือนสิงหาคม

ในปี พ.ศ. 2551 เส้นกราฟได้แสดงถึงค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายเดือนและแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน และอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่เดือนธันวาคม



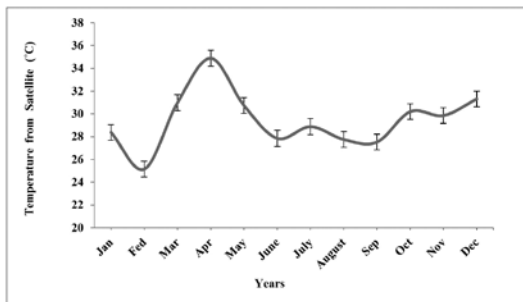
รูปที่ 2 อุณหภูมิพื้นผิวรายเดือน พ.ศ. 2551



รูปที่ 3 อุณหภูมิพื้นผิวรายเดือน พ.ศ. 2556

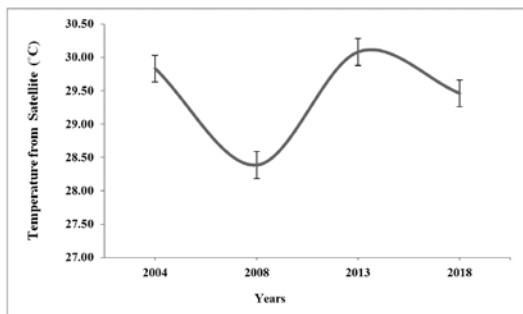
ในปี พ.ศ. 2556 เส้นกราฟได้แสดงถึงค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายเดือนและแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน และอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่เดือนธันวาคม

ในปี พ.ศ. 2561 เส้นกราฟได้แสดงถึงค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายเดือนและแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน และอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่เดือนกุมภาพันธ์



รูปที่ 4 อุณหภูมิพื้นผิวน้ำรายเดือน พ.ศ. 2561

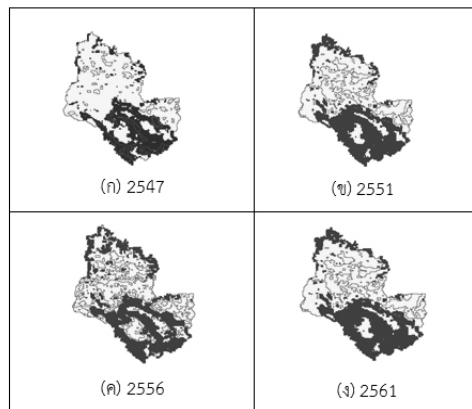
นอกจากนี้ เมื่อนำผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวดำเนินข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 รายเดือน ของ 4 ช่วงเวลา มาวิเคราะห์เป็นอุณหภูมิพื้นผิวน้ำรายปี ก็สามารถแสดงผลอุณหภูมิในรูปแบบของกราฟเส้น ดังรูปที่ 5 และแสดงผลในรูปแบบข้อมูลพื้นผิวน้ำเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่ถูกจำแนกออกเป็น 5 ระดับ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 อุณหภูมิพื้นผิวน้ำรายปี พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561

จากการศึกษาการจำแนกอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวน้ำเฉลี่ยเชิงพื้นที่รายปีจังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2547 พบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 13 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส ปี พ.ศ. 2551 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 16 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส

ปี พ.ศ. 2556 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 39 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส และปี พ.ศ. 2561 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 14 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส



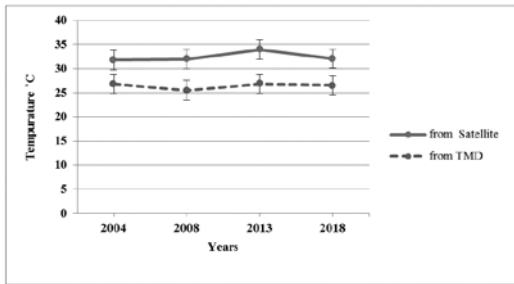
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากการจำแนกเป็น 5 ระดับ

4.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวน้ำเฉลี่ย

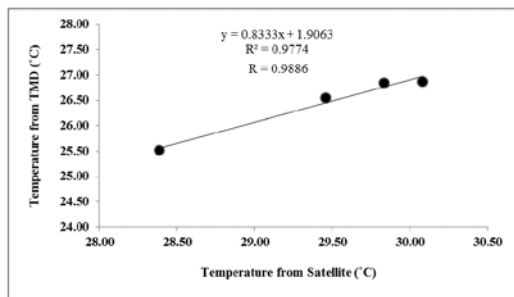
ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวน้ำเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 และค่าเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาของทั้ง 4 ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา สามารถแสดงได้รูปที่ 7 โดยเส้นกราฟได้แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของอุณหภูมิพื้นผิวน้ำในแต่ละปี

นอกจากนี้ เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวน้ำเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 และค่าเฉลี่ยจากสถานีวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาของทั้ง 4 ช่วงเวลาดังกล่าวมาหาค่า

ความสัมพันธ์ในรูปแบบ 1) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation Analysis) 2) การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) โดยผลการหาความสัมพันธ์แสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากดาวเทียมกับข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีวัด

จากรูปที่ 8 สามารถอธิบายตัวสารสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวน้ำที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลดาวเทียมและอุณหภูมิพื้นผิวน้ำที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยาได้ดังนี้ เมื่อนำข้อมูลทั้งสองชุดดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง x กับ y ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด อีกทั้งมีทิศทางความสัมพันธ์อย่างไร โดยเมื่อ x เป็นตัวแปรอิสระ และ y เป็นตัวแปรตาม ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้กำหนดให้ตัวแปรอิสระ (x) เป็นอุณหภูมิพื้นผิวน้ำ

ที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลจากดาวเทียม ส่วนตัวแปรตาม (y) เป็นอุณหภูมิที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า อุณหภูมิพื้นผิวน้ำที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลดาวเทียมมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยาในทิศทางเดียวกันประมาณ 98.86% ($R = 0.9886$) เมื่อนำข้อมูลทั้งสองชุดดังกล่าวมาวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย เป็นการวิเคราะห์การประมาณการ (Predictor, x) และตัวตอบสนอง (Response, y) ก็พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวน้ำที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลดาวเทียมนั้น มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวน้ำที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยาประมาณ 97.74% ($R^2 = 0.9774$) ส่วนที่เหลือ 2.26% เป็นผลมาจากสาเหตุอื่น ๆ

5. สรุป

การประมาณอุณหภูมิพื้นผิวน้ำด้วยการวิเคราะห์ค่าอนุพันธ์ของข้อมูลจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิสใน 4 ช่วงเวลา (พ.ศ. 2547, 2551, 2556, 2561) ทั้งในรูปแบบเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิสผลิตภัณฑ์ MOD11A2 มีความสอดคล้องและมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งจะเห็นว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากดาวเทียมเทอร์ราโมดิส ผลิตภัณฑ์ MOD11A2 จะมีค่าสูงกว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา 1 - 3 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากดาวเทียมมีค่ามากขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวน้ำจากสถานีตรวจวัดของ

กรมอุตุนิยมวิทยาก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ในทางตรงกันข้าม หากค่าอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมมีค่าลดลง ค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาก็จะมีค่าลดลงตาม ดังนั้นความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาระหว่างข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากดาวเทียมมีค่าแปรผันตรงกับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยา

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Laosuwan, T., Gomathit, T., & Rotjanakusol, T. (2017). Application of Remote Sensing for Temperature Monitoring: The Technique for Land Surface Temperature Analysis. Journal of Ecological Engineering, 18 (3), 53 - 60.

[2] Dechaphongthana, W., Karnchanasutham, S., Nualchawee, K., & Intarawichian N. (2016). The Relationships between Land Surface Temperature and NDVI of Paddy Rice Areas in Stages of Growth from Satellite Data. Journal of Geoinformation Technology of Burapha University, 1 (2), 14 - 30.

[3] Rotjanakusol, T., & Laosuwan, T. (2020). Model of Relationships between Land Surface Temperature and Urban Built-Up Areas in Mueang Buriram District, Thailand. Polish Journal of Environmental Studies, 29 (5), 3783 - 3790.

[4] Rotjanakusol, T., & Laosuwan, T. 2018. Estimation of Land Surface Temperature using Landsat Satellite Data: A case study

of Mueang Maha Sarakham District, Maha Sarakham Province, Thailand for the years 2006 and 2015. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences, 27 (4): 401 - 409.

[5] Mukhelif, A., Al.Ammar, K., & Al. Jooburi, M. (2016). The Seasonal Variation of the Urban Heat Island Effect and Estimating the Human – Discomfort Index at the City of Hillah. Pure and Applied Sciences, 24 (2), 423 - 434.

[6] Mathew, A., Khandelwal, S., & Kaul, N. 2017. Investigating spatial and seasonal variations of urban heat island effect over Jaipur city and its relationship with vegetation, urbanization and elevation parameters. Sustainable Cities and Society, 35, 157 - 177.

[7] Prohmdirek, T., Chunpang, P., & Laosuwan, T. (2020). The Relationship between Normalized Difference Vegetation Index and Canopy Temperature that Affects the Urban Heat Island Phenomenon. Geographia Technica, 15 (2), 222 - 234.

[8] Lemke, P., Ren, J., Alley, R.B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P.W., Thomas, R.H., & Zhang, T. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[9] Hally B., Wallace, L., Reinke, K., Jones, S., Skidmore A. (2018). Advances in

active fire detection using a multi-temporal method for next-generation geostationary satellite data, *International Journal of Digital Earth*, 12 (9): 1030 - 1045.

[10] Uttaruk, Y., & Laosuwan, T. (2018). Community Forest for global warming mitigation: the technique for estimation of biomass and Above Ground Carbon Storage using Remote Sensing method. *Agriculture and Forestry*, 64 (3), 47 - 57.

[11] Uttaruk, Y., Laosuwan, T. (2020). Comparison of Carbon Storage Measurement Methods on Agroforestry Systems in Sakon Nakhon Province, Northeast Thailand. *The Scientific Journal of King Faisal University, Basic and Applied Sciences*, 21 (2), 95 - 99.

[12] Rotjanakusol, T., & Laosuwan, T. (2020). Surface Water Body Extraction Using Landsat 8 Images and Different Forms of Physical Models. *The Scientific Journal of King Faisal University, Basic and Applied Sciences*, 21 (2), 218 - 223.

[13] Ren, Huazhong., Du, Chen., Liu, Rongyuan., Qin, Qiming., Yan, Guangjian., Li, Zhao-Liang., & Meng, J. (2015). Atmospheric water vapor retrieval from Landsat 8 thermal infrared images. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 120 (5), 1723 - 1738.

[14] Yu, X., Guo, X., & Wu, Z. (2014). Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS-Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. *Remote*

Sensing, 6 (10), 9829 - 9852.

[15] Chen, F., Yang S., Su, Z., & He, B. (2015). A New Single-channel Method for Estimating Land Surface Temperature Based on The Image Inherent Information: The HJ - 1B case. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 80 - 88.

[16] Du, C., Ren, H., Qin, Q., Meng, J., & Zhao, S. (2015). A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data. *Remote Sensing*, 7 (1), 647 - 665.

[17] Chokkuea W. (2019). Spatial - temporal Change of Land Surface Temperature using Satellite Remote Sensing Data. *Studia Universitatis "Vasile Goldis" Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series)*, 29 (2): 65 - 69.

การออกแบบพารามิเตอร์แบบสองจุดประสงค์สำหรับตะขอยก

นิตยา ศิริวัน¹ กมลชนก ประสาททอง¹ อภิชาติ มณีงาม^{1*} พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์¹ และ กัลยา อุบลทิพย์¹

วันที่รับ 12 พฤศจิกายน 2563 วันที่แก้ไข 21 ธันวาคม 2563 วันที่ตอบรับ 22 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบสองจุดประสงค์สำหรับปัญหาการออกแบบตะขอยก เพื่อเพิ่มค่าปัจจัยความปลอดภัยให้สูงขึ้นและลดน้ำหนักให้น้อยลง แบ่งวิธีการออกแบบเป็นสองขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรกคือ การสร้างตะขอยกตามมาตรฐาน ISO 7597: 2013 (Forged Steel Lifting Hooks with Latch, Grade 8) เพื่อใช้เป็นตะขอยกต้นแบบตัวอย่าง จากนั้นหาค่าปัจจัยด้านความปลอดภัยและน้ำหนักของตะขอยกโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้นตอนที่สองแก้ปัญหาการออกแบบตะขอยกแบบสองวัตถุประสงค์สำหรับตะขอยกโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าตะขอยกที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถลดน้ำหนักของวัสดุได้ 27.5% ต่อชิ้น และเพิ่มปัจจัยด้านความปลอดภัยเท่ากับ 42.16% เมื่อกำหนดวัตถุประสงค์ทั้งสองให้มีความสำคัญเท่าเทียมกัน

คำสำคัญ: แบบจำลองโปรแกรมค่าเหมาะที่สุดสองวัตถุประสงค์, การออกแบบตะขอยก, การหาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้แต่ง, อีเมล: apichit.a@cit.kmutnb.ac.th

Bi-objective Optimization of Design Parameters for Lifting Hook

Kamonchanok Prasatthong ¹ Apichit Maneengam ^{1*} Patpimol Suwankan ¹ and Kanlaya U - bontip ¹

Received 11 November 2020, Revised 21 December 2020, Accepted 22 December 2020

Abstract

In this paper, present a bi-objective mathematical model for lifting hook designing problem with maximized safety factor value and minimized weight of the lifting hook. Divided the design method into two steps. The first step was to create a lifting hook by ISO 7597: 2013 standard (Forged Steel Lifting Hooks with Latch, Grade 8) to be an initial lifting hook. Then, we found out the safety factor value and weight of the lifting hook by the finite element method. In the second step, we solved the bi-objective lifting hook designing problem using a mathematical model. The results showed that lifting hook that was designed by the method presented in this research managed to reduce weight of the materials by 27.5% per piece with increased safety factor equal to 42.16% when determining both objectives to be equally important.

Keywords: Bi-objective programming model, Hook design, Parameter optimization, Finite Element Analysis

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

* Corresponding author, E-mail: apichita@cit.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมปัจจุบันมีการแข่งขันกันทางธุรกิจที่สูงขึ้น การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานมีส่วนสำคัญอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์จำเป็นต้องให้ความปลอดภัยสามารถลดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นได้ เช่น ตะขอ (Hook) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสิ่งของที่มึ่น้ำหนักมากได้เป็นอย่างดี จึงเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเกือบทุกโรงงาน

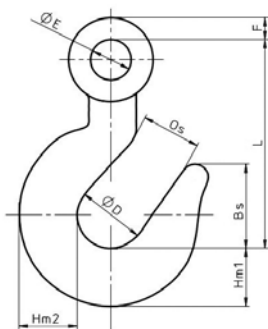
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการขนย้ายสิ่งของต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ในอุตสาหกรรมการผลิตจึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ โดยต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์เป็นหลัก การออกแบบแต่ละครั้งต้องมีการสร้างแบบจำลองในการทำการทดลองจริงและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แต่ปัจจุบันสามารถวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางวิศวกรรมเข้ามามีส่วนร่วมเพื่อความเร็วมากขึ้น ซึ่งโปรแกรมในการวิเคราะห์ผลมีการใช้หลักการคำนวณวิเคราะห์ที่ละเอียดมีความแม่นยำสูง โดยการประมวลผลจะขึ้นอยู่กับรูปร่างวัสดุของชิ้นงาน การรับแรงภายใต้การกระทำต่อชิ้นงานและสมรรถนะของเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมทั้งขีดจำกัดความสามารถของโปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์ด้วย เช่น 1) ในการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ชิ้นส่วนที่ใช้ในล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว เพื่อหาขนาดความยาวของชิ้นงานที่เตรียมก่อนการชุบขึ้นรูปและแรงที่ใช้ในการชุบขึ้นรูปที่น้อยที่สุดด้วยมิติรูปร่างชิ้นส่วนที่เป็นไปตามแบบที่โรงงานกำหนด และยังสามารถลดระยะเวลาในการทดลองการชุบขึ้นรูปซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบและสร้างแบบจำลองจาก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อดูผลการออกแบบว่าได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ทั้งในด้านการเติมเต็มของเนื้อวัสดุและรูปร่างชิ้นงานที่ได้ แล้วทดลองชุบขึ้นรูปชิ้นงานจริงตามที่ออกแบบไว้ นำผลจากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับกระบวนการทดลองแม่พิมพ์จริงแล้ว ปรากฏผลว่าสอดคล้องใกล้เคียงกัน ปรับขนาดวัตถุดิบได้ร้อยละ 50 และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับแม่พิมพ์ได้ร้อยละ 25 ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการผลิต เพราะจะช่วยให้การกำหนดเงื่อนไข 2) ในการออกแบบแม่พิมพ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นและเกิดประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติต่อไป

โดยงานวิจัยนี้วิเคราะห์ผลการออกแบบตะขอยกตามมาตรฐาน ISO 7597 : 2013 (Forged Steel Lifting Hooks with latch, grade 8) เพื่อปรับปรุงค่าความปลอดภัยให้ดียิ่งขึ้น และลดน้ำหนักของตัวตะขอยกให้น้อยกว่า โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ (Computer-Aided Design, CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ร่วมกับการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Design) เข้ามาช่วยในการออกแบบ

2. ลักษณะของปัญหา

ปัญหาการออกแบบพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับตะขอที่มีสองจุดประสงค์ (Bi-objective Optimization of Design Parameter for Lifting Hook Problem) ตามมาตรฐาน ISO 7597: 2013 ต้องการกำหนดขนาดที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ตามงานวิจัยของ Manee - ngam และคณะ [1] เพื่อให้ตะขอที่ออกแบบมีค่าความปลอดภัยมากที่สุดและมีน้ำหนักของตะขอรวมน้อยที่สุด



$$\begin{aligned}
 36.0 &\leq B_s \leq 45.0 \\
 30.4 &\leq D \leq 40.0 \\
 20.0 &\leq E \leq 25.0 \\
 10.0 &\leq F \leq 14.4 \\
 27.0 &\leq H_{m1} \leq 34.4 \\
 27.0 &\leq H_{m2} \leq 34.4 \\
 100.0 &\leq L \leq 124.0 \\
 35.0 &\leq O_s \leq 44.0
 \end{aligned}$$

รูปที่ 1 ตะขอที่ออกแบบตามมาตรฐาน ISO 7597: 2013 ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ตามงานวิจัยของ Manee - ngam และคณะ [1]

ตะขอนี้ถูกผลิตโดยการตีขึ้นรูป (Forging) ซึ่งจะใช้วัสดุ AISI 4340 หรือ DIN 34CrNiMo6 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าผสมมีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนและสึกหรอได้ดี โดยมีส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) และมีคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ตามมาตรฐานที่ใช้กันในปัจจุบัน สำหรับการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของตะขอนี้มีการกำหนดการจับยึดเป็นแบบ Fixed Geometry ที่บริเวณพื้นผิวตำแหน่ง E และกำหนดแรงที่มากระทำกับตะขอยกเป็นแรงกดลงขนาด 19,620 N หรือน้ำหนัก 2 ตัน ตรงกึ่งกลางส่วนที่มีผิวโค้งตำแหน่ง D นอกจากนี้ ตะขอจะต้องใช้งานร่วมกับโช้ที่มีลักษณะเป็นแบบห่วง (Eye Type) ดังนั้นค่า O_s คือความกว้างของปากตะขอจะต้องมีขนาดที่เล็กกว่าความกว้างของโช้

3. ทบทวนวรรณกรรม

ชิ้นส่วนตะขอของชุดอุปกรณ์เครนยกใช้เคลื่อนย้ายวัตถุหนักได้ตั้น เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในงานด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก [2] การออกแบบตะขอยกในอุตสาหกรรมเป็นไปเพื่อวัตถุประสงค์ปรับปรุงค่าความปลอดภัยให้ดียิ่งขึ้น สามารถใช้โปรแกรมออกแบบทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งการออกแบบตะขอยกด้วยการวิเคราะห์เชิงระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) [3] ภายใต้เงื่อนไขน้ำหนักของตัวตะขอยกยังคงเท่าเดิม โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ (Computer-Aided Design: CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering: CAE) ร่วมกับหลักการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Design) เข้ามาช่วยในการออกแบบ [4] ชิ้นงานแผ่นเหล็กขึ้นรูปเป็นโครงร่างตะขอวิเคราะห์ผลนามาออกแบบในขั้นตอนแรก แล้วมาวิเคราะห์ด้วยวิธีให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighted Factors Rating Method) [5]

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบตะขอยกสำหรับรับน้ำหนัก 2 ตัน ให้มีค่าความปลอดภัยมากที่สุดและมีน้ำหนักของตะขอน้อยที่สุด โดยแบ่งวิธีการออกแบบเป็น 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างโมเดลตะขอยกสำหรับรับน้ำหนัก 2 ตัน ตามที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำไว้ แล้ววิเคราะห์ความแข็งแรงของตะขอด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในโปรแกรม SolidWorks 2017 โดยผู้วิจัยได้ตั้งค่าตามลักษณะของปัญหาดังนี้ วัสดุของตะขอเป็น AISI 4340 กำหนดการจับยึดเป็นแบบ Fixed Geometry ที่บริเวณพื้นผิวตำแหน่ง E และกำหนดแรงที่มากระทำกับตะขอยกเป็นแรงกดลง

ขนาด 19,620 N หรือน้ำหนัก 2 ตัน ตรงกึ่งกลางส่วนที่มีผิวโค้งตำแหน่ง D ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ค่าความปลอดภัยและน้ำหนักของตะขอตามที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำไว้ และยังสามารถใช้ทั้งสองค่านี้เป็นค่าตั้งต้นในการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 ทีมผู้วิจัยแก้ปัญหาการออกแบบตะขอที่มีสองจุดประสงค์โดยสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีสองฟังก์ชันจุดประสงค์ ประกอบด้วย ฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อทำให้ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: $F.O.S$) มากที่สุดและฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อให้น้ำหนักรวมของตะขอ (W) น้อยที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ นอกจากนี้ กำหนด C คือ พารามิเตอร์ขนาดความกว้างสูงสุดของโซ่ที่สามารถใช้งานกับตะขอนี้ ซึ่ง C มีค่าเท่ากับ 35 มิลลิเมตร และ t คือ ค่าความเผื่อที่จะทำให้ส่วนโซ่เข้าไปในตะขอได้ง่ายขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้กำหนด $t = 2$ มิลลิเมตร ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการออกแบบตะขอที่มีสองจุดประสงค์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Max } F.O.S \quad (1)$$

$$\text{Min } W \quad (2)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$36.00 \leq B_s \leq 45.00 \quad (3)$$

$$30.40 \leq D \leq 40.00 \quad (4)$$

$$20.00 \leq E \leq 25.00 \quad (5)$$

$$10.00 \leq F \leq 14.40 \quad (6)$$

$$27.00 \leq H_{m1} \leq 34.40 \quad (7)$$

$$27.00 \leq H_{m2} \leq 34.40 \quad (8)$$

$$100.00 \leq L \leq 124.00 \quad (9)$$

$$35.00 \leq O_s \leq 44.00 \quad (10)$$

$$O_s \geq C + t \quad (11)$$

$$B_s, D, E, F, H_{m1}, H_{m2}, L, O_s \geq 0 \quad (12)$$

เงื่อนไขที่ (3) ถึง (10) ถูกกำหนดขึ้นตามงานวิจัยของ อภิชาติ และคณะ [1] ซึ่งเป็นขอบเขตบนและล่างที่ตัวแปรการออกแบบจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เงื่อนไขที่ (11) ทำให้มั่นใจได้ว่าขนาดของ O_s จะกว้างพอที่จะสวมโซ่เข้าไปในตะขอได้อย่างสะดวก เงื่อนไขที่ (12) ทำให้มั่นใจว่าตัวแปรการออกแบบทั้งหมดต้องไม่มีค่าติดลบ

ต่อมาทีมผู้วิจัยแก้ปัญหาการออกแบบตะขอด้วยโปรแกรม SolidWorks 2017 โดยกำหนดเงื่อนไขของแต่ละตัวแปรและเป้าหมายตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 และกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละฟังก์ชันจุดประสงค์เท่ากับ 0.5 ซึ่งหมายความว่าทั้งสองจุดประสงค์มีความสำคัญเท่ากัน



Variables					
D	Range	Min	30.4mm	Max	40mm
E1	Range	Min	20mm	Max	25mm
F	Range	Min	10mm	Max	14.4mm
Hm1	Range	Min	27mm	Max	34.4mm
L	Range	Min	100mm	Max	124mm
Bs	Range	Min	36mm	Max	45mm
Hm2	Range	Min	27mm	Max	34.4mm
O	Range	Min	35mm	Max	44mm
Click here to add Variables					
Constraints					
Dimension1	is greater than	Min	37mm		
Click here to add Constraints					
Goals					
Minimum Factor of Safety1	Maximize	Weight	0.50	Study 1	
Mass1	Minimize	Weight	0.50		
Click here to add Goals					

รูปที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ลงในโปรแกรม SolidWorks 2017

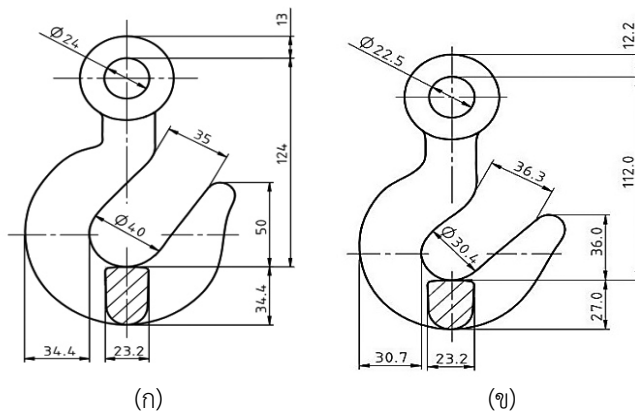
5. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบตะขอให้มีค่าความปลอดภัยมากที่สุดและมีน้ำหนักของตะขอรวมน้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SolidWorks 2017 ที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ Intel® Core™ i7-4712MQ CPU @ 2.30GHz มีหน่วย

ความจำ 8 GB ซึ่งผลการเปรียบเทียบระหว่างขนาดตะขอแบบที่มาตรฐานแนะนำกับขนาดตะขอที่เหมาะสม ดังแสดงตารางที่ 1 และ รูปที่ 3 ในขณะผลการเปรียบเทียบค่าความปลอดภัยและน้ำหนักรวมของตะขอที่ออกแบบกับตะขอตามมาตรฐานแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบขนาดตะขอแบบที่มาตรฐานแนะนำกับขนาดตะขอที่เหมาะสม

ตัวแปรออกแบบ	ขนาดตะขอแบบที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำ (มิลลิเมตร)	ขนาดตะขอที่เหมาะสม (มิลลิเมตร)	ผลต่างระหว่างขนาดตะขอ แบบที่มาตรฐานแนะนำกับ ขนาดตะขอที่เหมาะสม (มิลลิเมตร)
B_s	50.0	36.0	-14.0
D	40.0	30.4	-9.6
E	24.0	22.5	-1.5
F	13.0	12.2	-0.8
H_{m1}	34.4	27.0	-7.4
H_{m2}	34.4	30.7	-3.7
L	124.0	112	-12.0
O_s	35.0	36.26	+1.26



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบรูปร่างขนาดของตะขอมาตรฐาน

(ก) ตะขอแบบที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำ

(ข) ตะขอที่เหมาะสม

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ตะขอที่เหมาะสมมีขนาดที่น้อยกว่าขนาดของ ตะขอที่มาตรฐานแนะนำซึ่งส่งผลให้ความสูงและความกว้างโดยรวมของตะขอที่เหมาะสมน้อยกว่า ตะขอที่มาตรฐานแนะนำแต่มีเพียงขนาดเท่านั้นที่

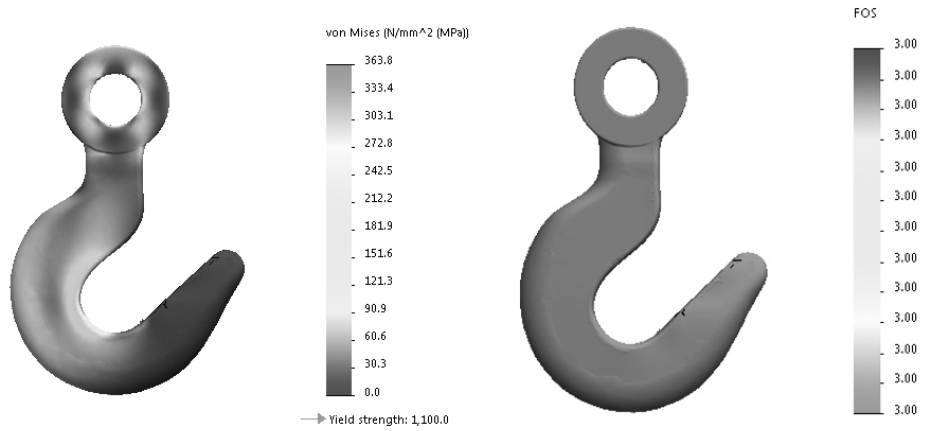
ตะขอที่เหมาะสมมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยยัง ได้เปรียบเทียบค่าความปลอดภัยและน้ำหนักรวม ของตะขอที่ออกแบบกับตะขอตามมาตรฐานเพื่อให้ เห็นประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความปลอดภัยและน้ำหนักรวมของตะขอที่ออกแบบกับตะขอตามมาตรฐาน

ผลลัพธ์	ตะขอแบบที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำ	ตะขอที่เหมาะสม	ผลต่างระหว่างตะขอแบบที่ มาตรฐานแนะนำกับ ตะขอที่เหมาะสม
ค่าความปลอดภัย	1.85	3.00	1.15
น้ำหนัก (กรัม)	1,375.95	1,020.80	-355.15

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตะขอที่เหมาะสมมีค่าความปลอดภัยที่มากกว่าตะขอที่มาตรฐาน แนะนำ 1.15 หรือมากขึ้น 62.16% และมีน้ำหนัก รวมน้อยกว่าตะขอที่มาตรฐานแนะนำ 355.15 กรัม

หรือ ลดลง 25.81% ตะขอที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ ของงานวิจัยได้ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ของตะขอที่เหมาะสม (ก) ค่า Von Mises Stress (ข) ค่าความปลอดภัยของตะขอที่เหมาะสม

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอปัญหาการออกแบบพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับตะขอยกสำหรับภาระขนาด 2 ตัน ปัญหานี้มีสองจุดประสงค์ คือ การเพิ่มความปลอดภัยให้มากที่สุดและลดน้ำหนักของตะขอให้น้อยที่สุด เรากำหนดให้ทั้งสองจุดประสงค์นี้มีความสำคัญเท่ากัน ใช้วัสดุเหล็กกล้าผสม AISI 4340 เป็นวัสดุในการวิเคราะห์ โดยทำการออกแบบตามมาตรฐาน ISO 7597 ซึ่งตัวแปรที่นำมาศึกษา คือ B_s , D , E , F , H_{m1} , H_{m2} , L และ O วิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ร่วมกับการวิเคราะห์การออกแบบที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม SolidWorks เพื่อให้ได้ขนาดของตะขอยกที่มีความเหมาะสม จากผลการวิจัยพบว่าตะขอที่เหมาะสมมีค่าความปลอดภัยมากกว่าตะขอที่มาตรฐานแนะนำ 1.15 หรือมากขึ้น 62.16% และ มีน้ำหนักรวมน้อยกว่าตะขอที่มาตรฐานแนะนำ 355.15 กรัม หรือ ลดลง 25.81% ผลลัพธ์นี้ทำให้มั่นใจได้ว่าตะขอที่ออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอทำให้บริษัทผู้ผลิตสินค้ามีความสามารถในการแข่งขันมากขึ้น เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบในการสร้างตะขอยกน้อยลงจากตะขอที่มีน้ำหนักน้อยลง โดยมีค่าความปลอดภัยสูงขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Manee-ngam A., Saisirirat P. and Suwankan P., Hook Design Loading by the optimization method with weighted factors rating method, Energy Procedia 138, 2017, p337 - 342.

[2] Naresh C. and Bhatt P., Improving

the durability of the E.O.T. crane structure by finite element analysis, And optimize the hook material for improving its solidity, Procedia Engineering 38, 2012, p837 – 842.

[3] Vikky K., Pradip T. and Novel S., Design and analysis of crane hook trapezoidal cross - section using finite element analysis VSRD International Journal of Mechanical, Civil, Automobile and Production Engineering 5, 2015, p89 - 94.

[4] Y.X. Qin and et al, Crane hook stress analysis upon boundary interpolated reproducing kernel particle method, Engineering Analysis with Boundary Elements 63, 2016, p74 – 81.

[5] Lanjekar K. and Patil A.N., Weight Optimization of Laminated Hook by Topological Approach, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 13, 2016, p7-20.

การขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ ที่มีคุณภาพต่อระบบจำลองยุทธ

จรรยาพร ทองทิพย์รัตน์^{1*}

วันที่รับ 30 ตุลาคม 2563 วันที่แก้ไข 13 ธันวาคม 2563 วันตอบรับ 14 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีทางทหารได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เหล่าทัพต้องปรับตัวให้ทันต่อเทคโนโลยีที่ทันสมัย ระบบจำลองยุทธจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับกองทัพที่จะนำมาใช้ฝึกกำลังพลให้มีความเชี่ยวชาญต่ออาวุธ ยุทธโธปกรณ์ รวมไปถึงความปลอดภัยในการฝึกอาวุธขึ้นใหม่ ๆ ด้วย ณ ปัจจุบัน เทคโนโลยี Simulation ถูกพัฒนารูปแบบขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ว่าจะเป็น เครื่องช่วยฝึกแบบ Static เครื่องช่วยฝึกแบบ Dynamic เครื่องช่วยฝึกผ่านระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องช่วยฝึกผ่านระบบ Virtual Reality เครื่องช่วยฝึกผ่านระบบ Augment Reality ทั้งนี้ ระบบเกือบทั้งหมดจะต้องควบคุมและทำงานด้วยซอฟต์แวร์ และหัวใจหลักของความเสมือนนั้นอยู่ที่ฉากสถานการณ์จำลองที่จำเป็นต้องมี เพื่อให้เกิดความรู้สึกสมจริง การวิจัยและเปรียบเทียบกระบวนการในการขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ สำหรับสร้างฉากสถานการณ์นี้ มีผลต่อระบบซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างโปรแกรมจำลองยุทธ โดยผู้วิจัยมีแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบเครื่องช่วยฝึกทางทหารให้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ ใช้งานได้เสมือนจริง และต้องสามารถใช้งานได้สะดวก ติดตั้งได้บนคอมพิวเตอร์ทั่วไป เพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการจัดหาอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่อาจหาได้ยาก เข้าถึงยากหรือมีราคาสูง โดยการวิจัยนี้ได้เลือก Pipe Bomb ซึ่งเป็นหนึ่งในวัตถุประกอบฉากจำลองสถานการณ์ทางทหารมาเป็นวัตถุต้นแบบ โดยใช้กระบวนการขึ้นรูป 3 มิติ ชนิดเบา ตามผังโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งทำให้ได้วัตถุ 3 มิติ ที่มีขนาดไฟล์เล็กลง ใช้ทรัพยากรเครื่องน้อยลง แต่ยังคงความเสมือนจริง และช่วยลดการ error ด้าน Programming ในกระบวนการต่อไปด้วย

คำสำคัญ: วัตถุ 3 มิติ, ระบบจำลองยุทธ, การขึ้นรูปเบา, เครื่องช่วยฝึก

¹ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: Janyaporn.t@dti.or.th

3D Modeling for Military Simulation Software

Janyaporn Tongtippayarut ^{1*}

Received 30 October 2020, Revised 13 December 2020, Accepted 14 December 2020

Abstract

Military technologies have been under continuous development. The simulation system is another option for military training. To make them safe of new weapons. There are many kinds of simulator i.e., dynamic or static, virtual reality or augmented reality. Software and Virtual world are essential in all of the above. In this research article, the author intends to research and develop 3D modeling process. Due to the objects of 3D modeling affect the software simulation system, the concept of new 3D model pattern involves low polygon techniques and lightweight object processing. Benefits of this experiment are made more efficient in software 3D scene simulation and easier to install on computer systems and hardware devices.

Keywords: 3D Model, Simulation, Low Polygon, Google SketchUp

¹ Research and Development Department, Defence Technology Institute.

* Corresponding author, E-mail: Janyaporn.t@dti.or.th

1. บทนำ

ระบบจำลองยุทธ [1] เป็นเครื่องมือในการจำลองการฝึก (Training Simulation) สำหรับใช้จำลองการปฏิบัติการทางทหาร มีวัตถุประสงค์หลักในการสร้างความคุ้นเคยให้กับกำลังพลหรือเจ้าหน้าที่ในการใช้ยุทธโประกรณ์ที่มีราคาสูงทั้งในระดับบุคคลและระดับหน่วย รวมถึงทดสอบการวางแผนการใช้กำลังโดยไม่ต้องนำกำลังพลและยุทธโประกรณ์เข้าปฏิบัติการจริงสามารถนำผลการปฏิบัติตามทบทวนเพื่อทำการศึกษาและเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่เคยเกิดขึ้น รวมถึงเป็นเครื่องมือช่วยพัฒนาหลักนิยมการใช้กำลังตามแนวคิดทางทหาร ที่เกิดขึ้นก่อนการทดสอบใช้กับกำลังพลและยุทธโประกรณ์จริง

จากความสำคัญในเชิงปฏิบัติการข้างต้นทำให้มีการวิเคราะห์การแข่งขันในเชิงอุตสาหกรรมของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกในตลาดทั้งในและต่างประเทศ [2] ยกตัวอย่างเครื่องช่วยฝึกจำลองการยิงปืนเล็ก (Small Arms Simulator) เป็นกรณีศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในเชิงตลาดและกระบวนการในเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีเครื่องช่วยฝึกเสมือนจริงในการศึกษาความเป็นไปได้ที่เป็นรูปธรรมที่สุด เพื่อระบุองค์ประกอบพื้นฐานของระบบจำลองยุทธและการฝึกเสมือนจริง [3] เกิดจากการกำหนดระบบสาคิตเพื่อยืนยันว่าแนวคิดหลักการ และทฤษฎีที่ได้ศึกษาค้นคว้าไว้แล้วอย่างกว้างขวางมีศักยภาพและความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยและพัฒนาได้ ระบบสาคิตที่ได้ประกอบไปด้วยผลผลิตสำคัญ คือ แม่แบบ 3 มิติ (3D Model) เพื่อการสร้างสถานการณ์ฝึกเสมือนจริงที่ก่อให้เกิดความคุ้นเคยต่อกำลังพลที่เข้ารับการฝึก

กระบวนการในการพัฒนาสถานการณ์ฝึก [4] โดยใช้ในการจำลองการฝึกเสมือนจริง (Virtual Simulation) ด้วยเครื่องมือในการพัฒนาสถานการณ์ฝึกทางทหาร มีลักษณะเกี่ยวกับการพัฒนาเกมและต้องรับทราบข้อมูลสถานที่ของสถานการณ์ ซึ่งต้องมีการสำรวจข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อนำมาใช้เป็นฉากสถานการณ์สำหรับใช้พัฒนาฉากสถานการณ์ฝึกประกอบด้วยแบบจำลอง 3 มิติ ของทหาร อาวุธ ยานยนต์ และวัตถุประกอบฉากสถานการณ์อื่น ๆ เช่น พืชพันธุ์ อาคาร เป็นต้น

ความคุ้นเคยมีความเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับการจัดทำสถานการณ์ฝึกในระบบจำลองยุทธเป็นอย่างมาก การศึกษาใน [5] ระบุไว้ว่า ผู้เข้ารับการฝึกที่มีอายุมากกว่า 40 ปี และมีประสบการณ์ในการปฏิบัติการศึกมากกว่า 10 ปี ให้คะแนนการประเมินค่าระบบจำลองยุทธไว้ “สูง” ในการแสดงความพึงพอใจต่อระบบจำลองยุทธที่ทำการประเมิน ความพึงพอใจต่อคุณภาพของวิดีโอสถานการณ์ฝึกที่ผู้เข้ารับการฝึกทำการประเมินบ่งบอกความสำเร็จของการพัฒนาระบบจำลองยุทธที่ให้ความสำคัญต่อการสร้างความเสมือนจริงให้กับสถานการณ์ฝึก โดยเพิ่มความเสมือนจริงของสภาพภูมิประเทศจากการใช้ภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับและข้อมูลภูมิสารสนเทศในการพัฒนาสถานการณ์ฝึก

การเพิ่มความเสมือนจริงด้วยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากวัตถุจริงได้มีการวิจัยและพัฒนาแล้วใน [6] โดยผู้เขียนใช้กระบวนการเก็บข้อมูลป่าไม้จากพื้นที่จริง แล้วนำไปผสมผสานกับการขึ้นรูปต้นไม้ 3 มิติ ในโปรแกรมสร้างแบบจำลองพันธุ์ไม้ 3 มิติ ชื่อ Unity 3D Tree Modeler ข้อมูลต้นไม้ประกอบด้วย ใบ ลำต้น กิ่ง ถูกจำลองด้วยข้อมูล

จากพื้นที่จริงในโปรแกรมจำลองชื่อ SpeedTree ในการศึกษาได้ยกตัวอย่างต้นไม้ 3 ชนิด มาทำการจำลองและสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อนำเข้าไปประกอบในฉากสถานการณ์ฝึก การประเมินประกอบด้วย การประเมินด้วยสายตาและเปรียบเทียบภาพจำลองที่ได้กับภาพที่ถ่ายไว้จากพื้นที่จริง นอกจากนี้ ผู้เขียนยังเสนอแนะให้นำข้อมูลการจำลองภูมิประเทศ จากอากาศยานไร้คนขับมาใช้ประกอบในการประเมิน ความสมจริงของแบบจำลองพันธุ์ไม้ 3 มิติ ที่ได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตรวจจับและจำลองวัตถุ 3 มิติ ซึ่งอยู่ในเขตก่อสร้างมีความสำคัญเชิงวิกฤตต่อการปฏิบัติการของ เครื่องจักรกลหนัก กระบวนการอัตโนมัติจำเป็นต้องมี กระบวนการปฏิสัมพันธ์แบบอัตโนมัติ การวิจัยใน [7] เสนอระบบการตรวจจับและจำลองวัตถุ 3 มิติ ซึ่งใช้ ข้อมูลระยะที่ได้มาจากกล้องถ่ายภาพระยะ 3 มิติ เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยได้ความถูกต้องในระดับ ที่ยอมรับได้ภายในเวลา 2 – 3 วินาที แนวทางใน [8] สร้างการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง 3 มิติ โดยใช้เทคนิคการ จำลอง 3 มิติ แบบใหม่ ซึ่งสร้างวัตถุที่ค่อนข้างซับซ้อนขึ้นมาใหม่ได้ด้วย Single B-Spline Patch และได้ตัวแทนวัตถุที่กะทัดรัด ที่อัตราบีบอัดเกิน 90% ถึงแม้จะลดปริมาณข้อมูลลงเป็นอย่างมาก แต่กรรมวิธีนี้ ให้ผลการแสดงค่าคล้ายกับการใช้ตัวแทนวัตถุแบบ หลายเหลี่ยม จากนั้นได้มีการสาธิตการขึ้นรูปตัวอย่าง แบบ 3 มิติ โดยใช้กรรมวิธีที่เสนอมานี้ ซึ่งได้ผลลัพธ์ เป็นที่น่าพอใจ

เทคโนโลยีการขึ้นรูป 3 มิติ ในปัจจุบันที่ได้รับความสนใจและแพร่หลายอย่างมาก คือ การพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) ในการจำลองและการฝึกทางการแพทย์

ซึ่งเป็นตัวอย่างสำคัญในการนำเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ไปประยุกต์ใช้งาน โครงการ MedTRain3DModsim ใน [9] มุ่งผลิตแบบจำลอง การจำลอง และการประยุกต์ใช้งาน ใหม่ ๆ จากการพิมพ์ 3 มิติ ทางกายภาพให้การฝึกฝน ทางกายภาพในทุกระดับ โดยใช้เทคโนโลยีใหม่ ที่ได้รับความนิยมไปทั่วโลกนี้ ซึ่งให้ความสำคัญกับ แบบจำลองอวัยวะเนื้อเดียวกันและระบบประสาทที่ ประกอบด้วยไต ต่อมลูกหมาก ท่อไต และตับ ด้วยการพิมพ์ 3 มิติทางการแพทย์ จึงมีความเป็นไปได้ใน การสร้างชิ้นส่วนของร่างกายมนุษย์ขึ้นมาจากวัตถุ เนื้อเยื่อโดยใช้เวลา 2 - 3 ชั่วโมง ด้วยมาตรฐานการ จำลอง 3 มิติ ทางกายภาพ แต่เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ได้เริ่มดำเนินการมาก่อนหน้าโครงการนี้หลายปี การศึกษา [10] เป็นการประเมินความเป็นไปได้ของ การพิมพ์ 3 มิติ เพื่อการฝึกกายวิภาคศาสตร์ของ เส้นเลือดใหญ่ โดยแบบจำลองที่พิมพ์มาจาก เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ผ่านการออกแบบ พิมพ์ และ ใช้ในการจำลองเส้นเลือดใหญ่ มีการประเมินผลย้อน กลับจากแพทย์ 96 คน ด้วยการตอบชุดคำถามโดย ใช้ Likert Scale 5 คะแนน ข้อมูลเบื้องต้นสนับสนุน คุณค่าของแบบจำลองเส้นเลือดใหญ่ที่พิมพ์ 3 มิติ อย่างไรก็ดี ยังต้องการการประเมินผลด้านการ ศึกษาเพิ่มเติม

ผู้เขียนใน [11] สร้างแบบจำลองผู้ป่วยเด็ก ความเสมือนจริงสูงที่มีภาวะเบาหวานโดยใช้การพิมพ์ 3 มิติ และเทคนิคพิเศษ จากนั้นได้ทำการประเมินการใช้ แบบจำลองนี้ในการฝึกศัลยกรรมและแพทย์ฝึกหัด เพื่อทำ Endoscopic Third Ventriculostomy (ETV) ซึ่งแบบจำลองสำหรับใช้ฝึก ETV เป็นแบบเสียบบล็อกแล้ว ใช้ได้เลย ทำให้เกิดโอกาสในการพัฒนาความเชี่ยวชาญ กับขั้นตอนใหม่ หรือไม่เคยประสบมาก่อน รวมไปถึงการ ทวนสอบแนวทาง และนวัตกรรมในทางศัลยกรรมใหม่ ๆ

จึงเอื้อให้ศัลยแพทย์มือใหม่ได้รับประสบการณ์ที่มีค่าในเทคนิคการผ่าตัดโดยไม่ทำให้เกิดภาวะเสี่ยงกับผู้ป่วย อีกทั้งการศึกษายังชี้ให้เห็นความสำคัญของแบบจำลองที่ใช้ฝึกในการประเมินขีดความสามารถของผู้เข้ารับการฝึกในระดับประสบการณ์ที่แตกต่างกัน

รายงานใน [12] เป็นการศึกษาผลกระทบของแบบจำลอง 3 มิติ ระบบกระดูกเชิงกรานที่มีต่อข้อมูลผู้ป่วยก่อนการผ่าตัด การสร้างแบบจำลองโดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ มีความเป็นไปได้ และเทคโนโลยีนี้เป็นที่ประจักษ์ในการสร้างความเข้าใจโรคและขั้นตอนการผ่าตัดแก่ผู้ป่วย

การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ มีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกจำลองทางทหาร เครื่องช่วยฝึกเป็นสิ่งอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการอำนวยความสะดวก พัฒนา ปรับปรุงอำนวยความสะดวก และสนับสนุนการฝึกศึกษา เพื่อให้เกิดประโยชน์และผลดีแก่ผู้เข้ารับการศึกษาทั้งทางตรงและทางอ้อม นั่นคือ การปฏิบัติทางทหารต้องมีเครื่องช่วยฝึกประกอบเพื่อให้ผู้ปฏิบัติมีความพร้อมทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ปัจจุบันเครื่องช่วยฝึกทางทหารมีสภาพชำรุดทรุดโทรมตามสภาพการใช้งาน บางระบบต้องมีการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมกับสถานการณ์หรือเหตุการณ์ในปัจจุบัน เช่น เครื่องช่วยฝึกยิงปืน [13] และสนามฝึกยิงปืน (Virtual Shooting Simulator) เป็นต้น ซึ่งเป็นการพัฒนาและถอดแบบสถานการณ์การฝึกทางทหาร การจัดทำโลกเสมือนจริงของพื้นที่การฝึกและการขึ้นรูป 3 มิติ อาวุธจำลอง และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เข้าไว้ในสถานการณ์ฝึกจึงเป็นการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพซึ่งเกิดการพัฒนาสถานการณ์ฝึกที่สอดคล้องกับความต้องการด้านการฝึกของหน่วยผู้ใช้

ได้แก่ เหล่าทัพ และหน่วยงานด้านความมั่นคง

ระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองสถานการณ์ (Training Simulator) จะใช้เครื่องมือทางซอฟต์แวร์ในการพัฒนาชนิดเดียวกันกับการสร้างเกมส์ (Games) ผู้วิจัยได้ทำการสรุปข้อแตกต่างซึ่งเป็นจุดที่ใช้จำแนก Simulation และ Games ได้พอสังเขป ดังนี้

- Simulation: การออกแบบระบบที่อ้างอิงจากรูปแบบจริง เพื่อให้เกิดความเหมือน
- Games: การออกแบบระบบที่สร้างจากจินตนาการเพื่อให้เกิดความเพลิดเพลิน
- Simulation: มีผู้ใช้งานที่เฉพาะเจาะจง
- Games: ไม่เจาะจงผู้ใช้งาน
- Simulation: พัฒนาขึ้นเพื่อฝึกฝนให้เกิดความชำนาญต่ออุปกรณ์ เครื่องมือ หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ
- Games: พัฒนาขึ้นเพื่อสร้างความสนุกสนานเพลิดเพลิน ไม่หวังผลของการใช้งาน
- Simulation: ค่าทางฟิสิกส์ในฉากจำลองต้องมีค่าใกล้เคียงกับวัตถุจริง
- Games: ค่าทางฟิสิกส์ของวัตถุไม่จำเป็นต้องใกล้เคียงกับวัตถุจริง

สรุปได้ว่าการสร้างระบบ Simulation มีความซับซ้อนมากกว่าการสร้าง Games เพราะหาก Simulation ที่พัฒนาขึ้นมาไม่มีความเหมือนจริงก็ไม่สามารถใช้ฝึกฝนให้เกิดความชำนาญต่องานจริงได้

สำหรับบทความการวิจัยนี้มีเป้าหมายไปที่กลุ่มยุทธโศปกรณ์ทางทหาร เพราะเทคโนโลยีทางทหารได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยเองก็มีการนำเข้าอาวุธ และเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาประจำการในกองทัพ รวมไปถึงการนำเข้าระบบจำลองยุทธจากต่างประเทศด้วย แม้การพัฒนา ระบบ Simulation

จะแพร่หลายมากขึ้นแล้ว แต่ปัจจุบันระบบเครื่องช่วยฝึกทางทหารเหล่านี้ยังคงมีราคาที่สูงมาก ใช้งานยาก มีอุปกรณ์ต่อพ่วงซับซ้อน รองรับอุปกรณ์ที่มีสเปกสูง ฉากสถานการณ์ต่าง ๆ ที่นำเข้ามาไม่ตอบโต้และไม่ตรงกับภูมิประเทศของไทย การวิจัยและพัฒนาจึงจะเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้น โดยมีเป้าหมายของการพัฒนา คือ

- 1) ระบบจะต้องมีคุณภาพใช้ฝึกได้จริง
- 2) สามารถติดตั้งได้บนคอมพิวเตอร์ทั่วไป
- 3) ฉาก วัตถุ ฯลฯ ต้องมีความเหมือนวัตถุจริง
- 4) โปรแกรมติดตั้งต้องมีน้ำหนักเบา

3. ขอบเขตของการวิจัย

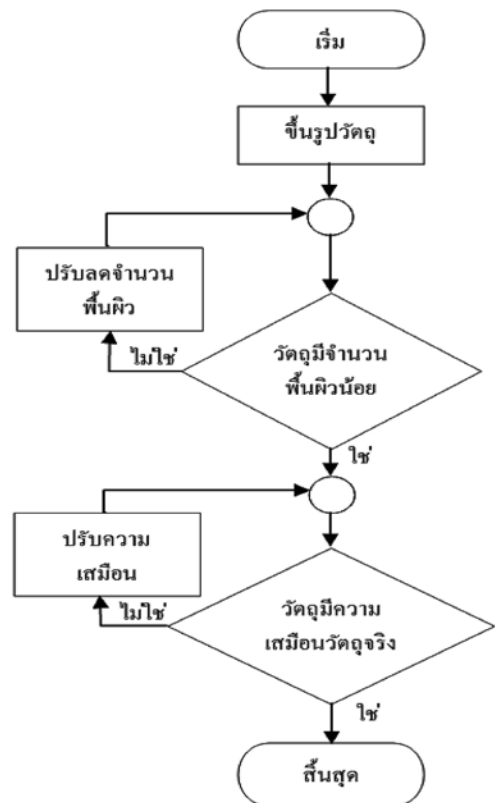
- 3.1 เลือกใช้วัตถุจากฉากสถานการณ์จำลอง การเก็บกู้วัตถุระเบิด
- 3.2 เลือกใช้ Pipe Bomb เป็น Object ในการทดสอบ
- 3.3 เลือกใช้โปรแกรม Google SketchUp ในการขึ้นรูปวัตถุเบา (Low Polygon)
- 3.4 ผลสัมฤทธิ์ของวัตถุมีความเบาต่อสเปกคอมพิวเตอร์
- 3.5 เปรียบเทียบจำนวน Face และ Mesh ของ Model จาก Model ที่ดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ต และ Model ที่ขึ้นในรูปแบบจำกัดจำนวน Mesh

4. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 4.1 เพื่อสร้างระบบ Simulation ที่มีคุณภาพ
- 4.2 เพื่อลดการนำเข้าสู่ระบบ Simulator
- 4.3 เพื่อพัฒนาศักยภาพนักวิจัยของไทย

5. แนวคิดการขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ

แนวคิดการขึ้นรูปโมเดล 3 มิติ ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการประกอบฉากสถานการณ์ของระบบเครื่องช่วยฝึกจำลองยุทธนั้น ผู้วิจัยได้มีสมมติฐานและหลักการในการพัฒนาระบบ เพื่อเพิ่มคุณภาพของโปรแกรมดังแสดงในแผนภาพนี้



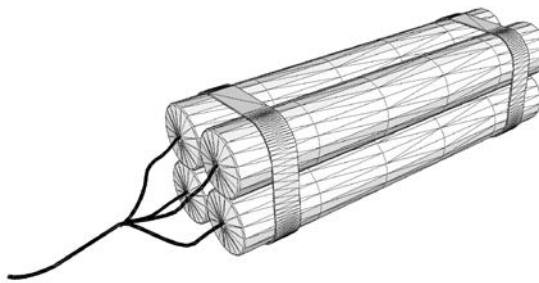
รูปที่ 1 แผนภาพแนวคิดการสร้างวัตถุ 3 มิติ
ที่มีคุณภาพต่อระบบ Simulation

6. การทดสอบทดลอง

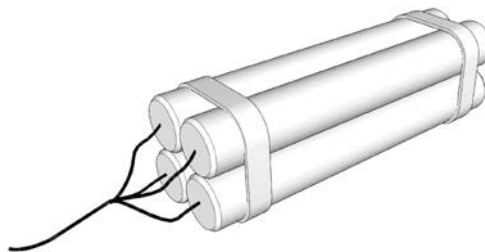
การสร้างระบบ Simulation ส่วนใหญ่จะเลือกใช้การดาวน์โหลดวัตถุ 3 มิติ จากแหล่ง Stock ต่าง ๆ ในอินเทอร์เน็ต เพราะประหยัดเวลาในการพัฒนา หรือใช้วิธีการขึ้นรูปแบบไม่คำนึงถึงจำนวน Mesh หรือ Face ของชิ้นงานนั้น ๆ จึงทำให้เกิดปัญหาโปรแกรมกินประสิทธิภาพเครื่องคอมพิวเตอร์ ขนาดไฟล์ใช้ความจุมาก หรือไม่สามารถใช้งานบนคอมพิวเตอร์สเปกต่ำได้ การทดสอบทดลองนี้จะเลือกใช้วิธีการดาวน์โหลดวัตถุ 3 มิติ ชนิดไฟล์ *.3ds

จากอินเทอร์เน็ตมาเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปแบบ Low Polygon ว่าจะสามารถลดขนาดของไฟล์ลงได้มากน้อยเพียงใด

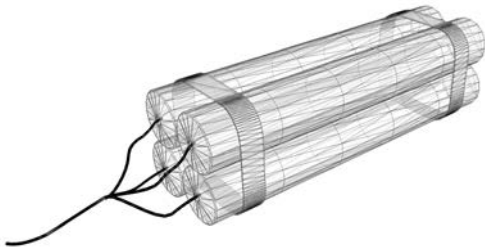
- 6.1 ขึ้นรูปวัตถุ Pipe Bomb สำหรับประกอบในฉากจำลองการเก็บกู้วัตถุระเบิด
- 6.2 ทดสอบ โหมด Construction Documentation Style
- 6.3 ทดสอบโหมด X-ray
- 6.4 ใส่ Texture ให้กับวัตถุ
- 6.5 เปรียบเทียบวัตถุทั้ง 2 แบบ



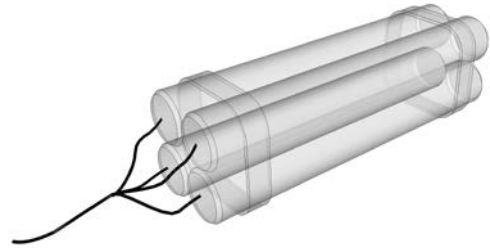
รูปที่ 2 วัตถุ 3 มิติ ที่ดาวน์โหลดจาก Stock



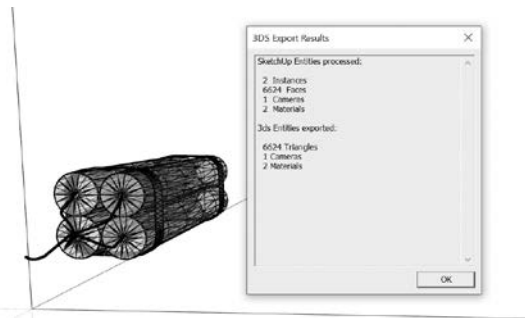
รูปที่ 3 วัตถุ 3 มิติ ที่ขึ้นโดยกระบวนการ Low Polygon



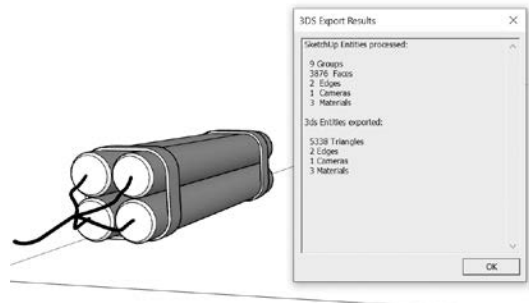
รูปที่ 4 วัตถุ 3 มิติ ที่ดาวน์โหลดจาก Stock ในโหมด X-ray



รูปที่ 5 วัตถุ 3 มิติ Low Polygon ในโหมด X-ray



รูปที่ 6 แสดงค่า Entities ของวัตถุ 3 มิติ ที่ดาวน์โหลด

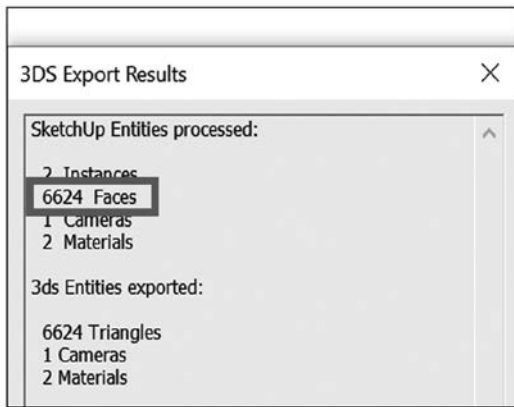


รูปที่ 7 แสดงค่า Entities ของวัตถุ 3 มิติ Low Polygon

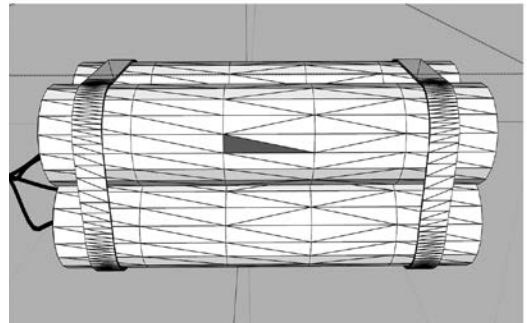
7. สรุปผล

จากการทดสอบทดลองโดยการเปรียบเทียบ วัตถุ 3 มิติ ทั่วไป ซึ่งเคยนำมาใช้ในระบบจำลอง ที่ผ่านมา กับวัตถุที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการจำกัด จำนวน Face นั้น มีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ในเรื่องของคุณภาพโมเดลและขนาดของไฟล์ จาก ผลการทดลองจะเห็นได้ว่า วัตถุที่ดาวน์โหลดมามี จำนวนปริมาณ Face ถึง 6624 และรูปแบบ Face

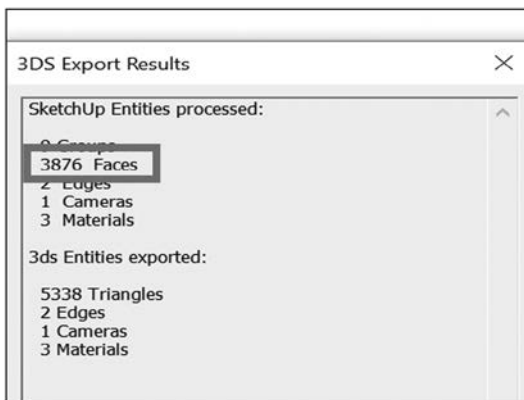
ลักษณะ 3 เหลี่ยม ซึ่งไม่เหมาะต่อการประมวลผล หรือการคำนวณในระบบ Simulation ของ Game Engine ในขณะเดียวกัน วัตถุที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการ Low Polygon มีจำนวน Face เท่ากับ 3876 เท่านั้น โดยที่ลักษณะของวัตถุมีความเหมือนใกล้เคียงกัน



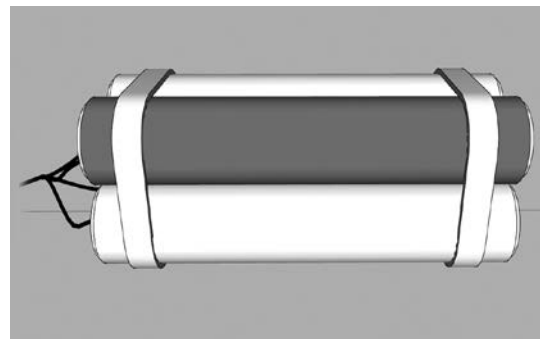
รูปที่ 8 แสดงผลปริมาณ High Polygon Face



รูปที่ 9 แสดงลักษณะ Face ปิดแบบ 3 เหลี่ยม



รูปที่ 10 แสดงผลปริมาณ Low Polygon Face



รูปที่ 11 แสดงลักษณะ Face ปิดแบบ 4 เหลี่ยม

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะวัตถุ

คุณลักษณะ	วัตถุ 3 มิติ กระบวนการเดิม	วัตถุ 3 มิติ กระบวนการใหม่
Faces	6624	3876
Triangles	6624	5338

แม้จะเป็นเพียงวัตถุ 1 ชิ้น ในฉากจำลองสถานการณ์เท่านั้น แต่มีความแตกต่างที่ชัดเจนหากเปรียบเทียบกับวัตถุหลายร้อยชิ้นในฉากการนำกระบวนการขึ้นรูปแบบจำกัดจำนวน Face จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาระบบ Simulation สามารถลดการใช้งานทรัพยากรเครื่องคอมพิวเตอร์ทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และรองรับกับอุปกรณ์ทั่วไป ไม่จำเป็นต้องมีสเปกที่สูงอีกด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. 2555. แผนแม่บทการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการจำลองยุทธและการฝึกเสมือนจริง (พ.ศ. 2555 – 2564). จำนวน 315 หน้า.

[2] Ranchida Khantong. (2019). Small arms simulator for military and security trainings – an industry and competitor analysis. Defence Technology Academic Journal. Volume 1 Number 2 May - August 2019. pp 84 - 101.

[3] ชำนาญ ชุมทรัพย์ และวรงค์มีกล้า. 2556. องค์ประกอบพื้นฐานของระบบจำลองยุทธและการฝึกเสมือนจริงของ สทป. วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ. ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 มิถุนายน – สิงหาคม

2556. น. 64 - 70.

[4] ชีระพงษ์สนธยามาลย์. 2558. กระบวนการสร้างสถานการณ์ฝึกทางทหารโดยใช้การจำลองการฝึกเสมือนจริง. วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ. ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – สิงหาคม 2558. น. 51 - 66.

[5] Ornprapa P. Robert, Chamnan Kumsap and Ampun Janpengpen (2018) Simulation of counter drugs operations based on geospatial technology for use in a military training simulator, International Journal of Simulation and Process Modelling. Vol. 13, No. 4, pp. 402 - 415.

[6] Ornprapa P. Robert, Chamnan Kumsap and Sibsana Suksuchano (2019) Modeling realistic 3D trees using materials from field survey for terrain analysis of tactical training center. 9th International Defense and Homeland Security Simulation Workshop, DHSS 2019, 18 – 20 September 2019, Lisbon, Portugal.

[7] Hyojoo Son, Changwan Kim, and Kwangnam Choi. (2010). Rapid 3D object detection and modeling using range data from 3D range imaging camera for heavy equipment operation. Automation in Construction. Volume 19, Issue 7, November 2010, pp 898 - 906.

[8] Yi Song, Li Bai and Yangsheng Wang. 3D object modelling for entertainment applications. Available on line at <https://www.researchgate.net/publication/220982606>. Accessed 4 November 2020.

[9] İlkan Tatar, Emre Huri, İlker SelÇuk, Young Lee Moon, Alberto Paoluzzi, and Andreas Skolarikos. 2019. Review of the effect of 3D medical printing and virtual reality on urology training with ‘MedTRain3DModsim’ Erasmus + European Union Project Turkish. Journal of Medical Sciences. 49: 1257 - 1270. doi:10.3906/sag-1905-73.

[10] Sebastian Mafeld, Craig Nesbitt, James McCaslin, Alan Bagnall, Philip Davey, Pentop Bose, and Rob Williams. 2016. Three-dimensional (3D) printed endovascular simulation models: a feasibility study. Ann Transl Med 2017; 5 (3): 42. doi: 10.21037/atm.2017.01.16.

[11] Peter Weinstock, Roberta Rehder, Sanjay P. Prabhu, Peter W. Forbes, Christopher J. Roussin, and Alan R. Cohen. 2017. Creation of a novel simulator for minimally invasive neurosurgery: fusion of 3D printing and special effects. Journal of Neurosurg Pediatr. 20:1–9. DOI: 10.3171/2017.1.PEDS16568.

[12] Hasan Anil Atalay, H. Lütü Canat, Volkan Ülker, İter Alkan, Ünsal Özkuvanci and Fatih Altunrende. 2017. Impact of personalized three-dimensional (3D) printed pelvicalyceal system models on patient information in percutaneous nephrolithotripsy surgery: a pilot study. 3D models and patient information. Vol. 43 (3): 470-475. doi: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2016.0441.

[13] Chamnan Kumsap, Worakhong Meegla, and Teerapong Sontayamal. 2013. Royal Thai Army adopts GIS for virtual military

simulation training, Asia Geospatial Digest October 2013, Available on-line at <http://www.geospatialworld.net/Paper/Case-Studies/ArticleView.aspx?aid=30703>, Accessed 15 November 2020.

[14] “Low Polygon”, Available: <http://www.it.mut.ac.th/index.php/tutor/35-ist-showpro/136-ist-show-pro-11>

[15] “How to create low-poly 3D models”, Available: <https://www.creativebloq.com/3d/how-create-low-poly-3d-models121310159>

[16] “How To Make Low Poly Look Good”, Available: <https://sundaysundae.co/how-to-make-low-poly-look-good/>

[17] “Low-Poly 3D Models – All You Need to Know”, Available: <https://all3dp.com/2/low-poly-models-need-to-know/>

[18] “Make Low Poly Objects”, Available: <https://www.instructables.com/Make-Low-Poly-Objects/>

[19] “Blender for beginners creating a low poly 3D model complete introduction”, Available: <https://www.artstation.com/marketplace/p/AObe/blender-for-beginners-creating-a-low-poly-3d-model-complete-introduction>

[20] “How to Convert Objects to Low Poly in Sketchup”, Available: <https://designerhacks.com/how-to-convert-objects-to-low-poly-in-sketchup/>

[21] “Low Poly Assets from 3D Scans”, Available: <https://sketchfab.com/blogs/community/tutorial-low-poly-assets-from->

3d-scans/

[22] “How To Easily Create Low Poly 3D Models for 3D Printing”, Available: <https://steemit.com/printing-3d/@cryptos/how-to-easily-create-low-poly-3d-models-for-3d-printing>

[23] “Stylized Character Workflow with Blender”, Available: <https://www.youtube.com/watch?v=f-mx-Jfx9lA>

[24] “Blender 3D Modeling Tutorials For Beginners: The Ultimate Collection”, Available: <https://conceptartempire.com/blender-modeling-tutorials/>

[25] “Blender 3D: Noob to Pro/Quickie Model”, Available: https://en.wikibooks.org/wiki/Blender_3D:_Noob_to_Pro/Quickie_Model

[26] J. Cascante “Natural 3D object Recognition”, Available: https://www.academia.edu/35752776/Natural_3D_object_Recognition, November 2017.

[27] Norman Badler “3D object modeling”, Available: https://www.academia.edu/21510473/3D_object_modeling, 1997.

[28] Yueyue Cheng “Simple 3D Low Poly Modeling Tool with Intuitive GUI”, Available: https://www.academia.edu/21945401/Simple_3D_Low_Poly_Modeling_Tool_with_Intuitive_GUI, 15 June 2015.

[29] Gongwen Wang, Lei Huang, “3D geological modeling for mineral resource assessment of the Tongshan Cu deposit, Heilongjiang Province China”, Available: https://www.academia.edu/10359119/3D_

modeling, 29 December 2011.

[30] Carlo H. SEQUIN “Interactive Inverse 3D Modeling”, Available: https://www.academia.edu/28748139/Interactive_Inverse_3D_Modeling, 2012.

[31] Pietro Renzulli “3D warp brush modeling”, Available: https://www.academia.edu/20101148/3D_warp_brush_modeling, 2006.

[32] Jean-jacques Royer “3D Modeling and Visualization”, Available: https://www.academia.edu/11720796/3D_Modeling_and_Visualization, 2000.

[33] Marc Pollefeys “Image-based 3D modeling: modeling from reality”, Available: https://www.academia.edu/2737835/Image_based_3D_modeling_modeling_from_reality, 2000.

[34] Mohammad Rouhani “3d human walking modeling”, Available: https://www.academia.edu/2688508/3d_human_walking_modeling, 2004.

การจำแนกและการตรวจหารอยบกพร่องบนเพลาชัดผิว ด้วยวิธีประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับการใช้คุณลักษณะ A-KAZE

อุดมศักดิ์ วงคง¹ สุทธิเทพ สุขวิบูลย์¹ พลาย จันทรสม¹
และ ทศพร แก้ววิจิตร^{1*}

วันที่รับ 1 ธันวาคม 2563 วันที่แก้ไข 21 ธันวาคม 2563 วันตอบรับ 22 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำเสนอการจำแนกและการตรวจหารอยบกพร่องบนเพลาชัดผิว โดยมีการจำแนกประเภทรอยทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ รอยขีด และ รอยจุด ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับการใช้คุณลักษณะคะเซะแบบความเร่งในการเรียงต่อภาพ ในการจำแนกรอยทั้งสองแบบนี้ได้นำเสนอสัดส่วนของความเป็นวงกลมที่ใช้ในการแยกรอยทั้งสองแบบ ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดค่าสัดส่วนของความเป็นวงกลมของรอยขีดให้มีค่า < 0.8 และรอยจุดมีค่า ≥ 0.8 ผลการทดลองพบว่า การจำแนกรอยด้วยค่าตัวแปรดังกล่าวสามารถจำแนกรอยทั้งสองแบบได้ อีกทั้งการนำเทคนิคคุณลักษณะคะเซะแบบความเร่งมาใช้ในการรวมภาพด้วยการเลื่อนกลิ้งนั้น เมื่อนำกลับมาประกอบภาพใหม่ให้ผลการประกอบภาพมีสัดส่วนการซ้อนทับของภาพอยู่ที่ร้อยละ 63.32

คำสำคัญ : คุณลักษณะคะเซะแบบความเร่ง, รอยขีด, รอยจุดและรอยบกพร่อง

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้แต่ง, อีเมล: thossaporn.k@cit.kmutnb.ac.th

Defect Classification and Detection on Grinding Shaft using Digital Image Processing Process with A-KAZE Features

Udomsak Wongkong¹ Sutthithep Sukwiboon¹ Phlai Chansom¹
and Thossaporn Kaewwichit^{1*}

Received 1 December 2020, Revised 21 December 2020, Accepted 22 December 2020

Abstract

This study presents the classification and detection of surface defection on the grinding shaft with two different types of defection: scratch and spot. To detect the defection, digital image processing process with A-KAZE features were applied to stitch the shaft image. To classify the defections, a circular factor is proposed to classify the scratch and the spot. In this study, the circular factors were set at <0.8 for scratch and ≥ 0.8 for spot. The experimental result report that the circular factors can classify the two detections. In addition, the A-KAZE features which are applied for image stitching indicates 63.32% of overlay image ratio.

Keywords : A-KAZE features, Scratch, Spot and Defect

¹ Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, KMUTNB, Bangkok, Thailand

* Corresponding author, E-mail: thossaporn.k@cit.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

ในการผลิตหรือสร้างเพลาลอยที่ใช้สำหรับยูทอปกรณ์นั้น ในหลายกรณีจำเป็นต้องเจียรในผิวให้มีความหยาบผิวที่ดีและมีความเงา อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตที่ไม่สมบูรณ์หรือระหว่างขนย้ายนั้น มีโอกาสเกิดรอยบกร่อง เช่น รอยขีด (Scratch) และ รอยจุด (Spot) ซึ่งในขั้นตอนตรวจสอบคุณภาพผิวยังจำเป็นต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานในการตรวจสอบรอยบกร่อง ซึ่งยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบ รอยขนาดเล็กอาจมีการหลุดรอดจากความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ฯลฯ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบรอยบกร่อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถตรวจสอบข้อบกพร่องที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังลดระยะเวลาในการตรวจสอบ [1-5] อย่างไรก็ตาม กระบวนการในการตรวจสอบรอยบกร่องด้วยวิธีประมวลผลภาพดิจิทัลยังจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละรายละเอียด เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ ในการที่จะระบุตำแหน่งของรอยบกร่องนั้น จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถถ่ายภาพได้ต่อเนื่องหรือครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมดเพื่อให้ได้ขอบเขตของชิ้นงานในการระบุตำแหน่งได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันจักรกลวิทัศน์ (Machine Vision Application) ที่ใช้นั้นอาจส่งผลถึงค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคในการตรวจหาเอกลักษณ์ของภาพ เรียกว่า

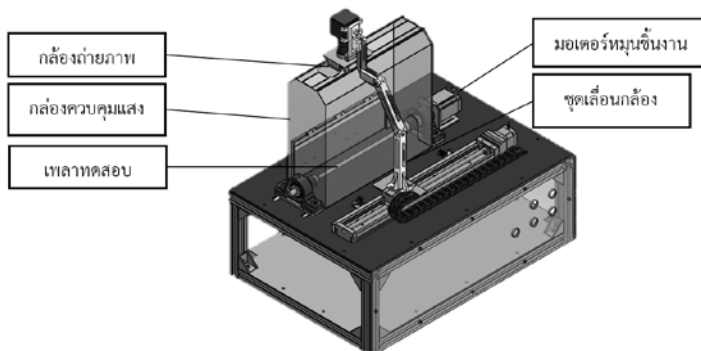
คุณลักษณะกะเซแบบความเร่ง (Accelerated-KAZE: A-KAZE) [6] ซึ่งจะทำการตรวจหาเอกลักษณ์ของภาพสองภาพ เพื่อใช้ประโยชน์ในการเชื่อมโยงภาพสองภาพมาเรียงต่อกันให้เกิดเป็นภาพเดียว (Image Stitching) [7-8]

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การพัฒนาการจำแนกและการตรวจหารอยบกร่องบนเพลากลมเจียรในด้วยวิธีประมวลผลภาพดิจิทัล ร่วมกับการใช้คุณลักษณะ A-KAZE

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนั้น ชุดตรวจสอบเพลาลูกสร้างขึ้นดังรูปที่ 1 ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ยึดจับเพลาลูกสำหรับตรวจสอบ ด้านหนึ่งประกอบติดกับมอเตอร์ใช้สำหรับหมุนเพลาลูกให้ได้ตามองศาต่าง ๆ โดยระบบจะถ่ายภาพโดยใช้กล้องเพียง 1 ตัว (Sony IMX179 USB Webcam 2.8 Megapixel, 1/3.2 Inch) เพื่อเก็บภาพทุกส่วนของเพลาลูกเจียรในในการเก็บภาพทั้งหมดนั้นจะถ่ายภาพเป็น 4 ส่วน แบ่งออกเป็น ส่วนละ 90 องศา ใน 1 ส่วนจะทำการเก็บภาพทั้งหมด 8 ครั้ง รวมทั้งหมด 32 ภาพ กระบวนการถ่ายภาพกระทำภายใต้สภาพแสงคงที่

ในการศึกษานี้ แอปพลิเคชันจักรกลวิทัศน์ได้พัฒนาขึ้นจากแอปพลิเคชัน LABVIEW ซึ่งแอปพลิเคชันประกอบไปด้วยส่วนทำงานดังต่อไปนี้ 1) การทำให้ภาพพร้อมใช้งาน 2) การต่อภาพด้วยคุณลักษณะ A-KAZE และการสอบเทียบภาพ 3) การจำแนกประเภทรอย และ 4) การสรุปข้อมูลจากการประมวลผล (ชนิดของรอยและตำแหน่ง)



รูปที่ 1 องค์ประกอบของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ

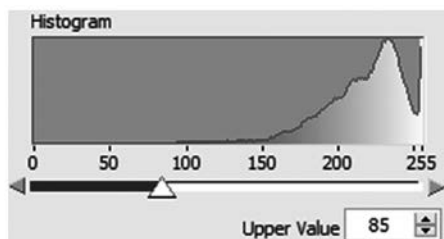
2.1 การทำให้ภาพพร้อมใช้งาน

เมื่อได้ภาพถ่ายมาแล้วภาพจะถูกนำมาปรับปรุงให้พร้อมสำหรับการประมวลผล โดยทำการแปลงไฟล์ภาพจากปริภูมิสี 3 สี แบบสีแดง เขียว และน้ำเงิน (Red Green Blue: RGB) ไปเป็นภาพโทนสีเทา (Grayscale) เพื่อให้ไวต่อการประมวลผล และเลือกใช้เฉพาะข้อมูลสำหรับการประมวลผลได้ง่ายขึ้น ทำได้จากสมการที่ 1

$$\text{Grayscale} = \frac{(R)0.299 + (G)0.587 + (B)0.114}{3} \quad (1)$$

ในการนี้ค่าสัดส่วนของแสงสีเขียว (Green: G) ถูกกำหนดให้มีค่าน้ำหนักสูงสุด (0.587) เนื่องจากเป็นสีที่มีความไวต่อสายตามนุษย์ อีกทั้งรอยบกพร่องเมื่ออยู่ในระบบเครื่องที่ออกแบบแล้วมีความไวต่อแสงสีเขียวมากที่สุดด้วย [9]

หลังจากนั้น เพื่อลดขนาดข้อมูลของภาพจะถูกแปลงจากโทนสีเทาเป็นภาพขาว-ดำ (Binary) อีกครั้ง เนื่องจากตัวแปรในการวิเคราะห์ประเภทรอยไม่มีความจำเป็นในการใช้ชุดข้อมูล 8 บิต (Bit) และเพื่อลดภาระการประมวลผลในส่วนที่ไม่มีควมจำเป็น ในการแปลงนั้นได้ทำการทดสอบโดยการกำหนดค่าเองตามความเหมาะสมของสภาพแสงที่ค่าเหนือกว่า 85 ผลที่ได้ไม่รบกวนพื้นที่ของรอยขีด โดยขั้นตอนนี้ให้ความสำคัญข้อมูลรอยขีดเป็นอย่างแรก ซึ่งตัวอย่างฮิสโตแกรม (Histogram) ของภาพเพลลาที่ถ่ายได้จากเครื่องถ่ายภาพแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ได้จากการใช้ค่าดังกล่าวให้ผลในภาพตัวอย่างขึ้นงาน รูปที่ 3



รูปที่ 2 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของภาพเพลลาที่ถ่ายได้จากเครื่องถ่าย

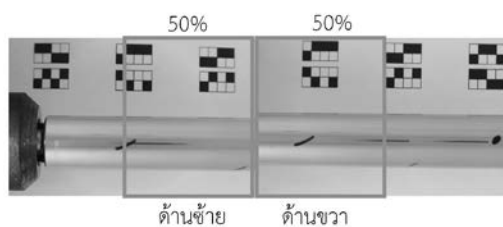


รูปที่ 3 ก) ภาพชิ้นงานหลังจากแปลงค่าจาก (RGB) ไปเป็นภาพโทนสีเทา
ข) ภาพขาว-ดำได้จากการแปลงภาพชิ้นงานด้วยค่า Upper Value = 85

2.2 การต่อภาพด้วยคุณลักษณะ A-KAZE

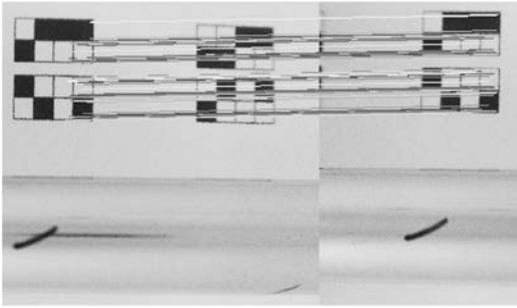
ในการเก็บภาพทั้งหมดนั้น จะถ่ายภาพเป็น 4 ส่วน แบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ 90 องศา ใน 1 ส่วนจะทำการเก็บภาพทั้งหมด 8 ครั้ง รวมทั้งหมด 32 ภาพ เป็นผลให้ต้องนำภาพทั้งหมดมาประกอบกันเพื่อให้ได้ภาพชิ้นตามเดิม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการต่อภาพด้วยคุณลักษณะ A-KAZE [6] โดยกระบวนการ A-KAZE นั้นพัฒนามาจากวิธีการกระเซ (KAZE) [10] ที่เป็นการหาคุณลักษณะเด่น (Feature Detection) ในระบบสองมิติโดยการดำเนินงานในมิติขนาดและระยะทางแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Scale Space) ซึ่งวิธี A-KAZE ได้มีการพัฒนาต่อยอดให้มีวงรอบในการคำนวณน้อยกว่า คือการนำกระบวนการถ่ายโอนอย่างรวดเร็ว (Fast Explicit Diffusion: FED) เข้ามาแทนที่ โดย FED จะทำการจำแนกหมวดหมู่แล้วใช้ภาพต้นฉบับในวงรอบแรกและใช้ภาพผลลัพธ์ในวงรอบถัดไป ซึ่งเป็นวิธีการหาจุดที่เหมือนกันของภาพ แม้ว่าภาพเอียงหรือไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน โดยวิธีการวิเคราะห์จะดำเนินการตรวจจับคุณลักษณะที่สนใจในภาพ จับคู่คุณลักษณะที่

คล้ายกัน กำจัดคุณลักษณะที่ผิดปกติ และประกอบภาพเข้าด้วยกันตามลำดับ ซึ่งในการกำหนดค่าจุดสนใจของภาพได้กำหนดไว้ที่ร้อยละ 50 ในการนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการหาคุณลักษณะภาพตารางสีขาวดำ (Matrix Binary) ได้ประยุกต์นำมาติดตั้งใส่ส่วนต่าง ๆ ของพื้นหลัง เพื่อให้ง่ายและเกิดประสิทธิภาพการต่อภาพด้วย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขอบเขตการตรวจจับคุณลักษณะที่สนใจ และการวางตารางสีขาวดำ (Matrix Binary)

การจับคู่คุณลักษณะ หรือการค้นหาคำสอดคล้องกันระหว่างจุดสำคัญที่พบในภาพทั้งสอง โดยคุณลักษณะที่มีความสอดคล้องกัน โดยอ้างอิงจากการเรียงตัวของพิกเซล การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน มุมการวางตัว และขนาดของพิกเซล ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การจับคู่คุณลักษณะที่สนใจภายในภาพ

เพื่อให้ได้ตำแหน่งของการซ้อนทับภาพ จะเริ่มดำเนินการจากการกำจัดคุณลักษณะที่ผิดปกติ โดยการนำค่าที่เกี่ยวข้องของจุดสนใจทั้งหมดมาเฉลี่ยกันโดยพิจารณาจาก 3 ตัวแปร คือ X , Y และระยะทางจากการสร้างกราฟ (d) ทั้งนี้ ตัวแปร X และ Y จะนำมาทำการหาตำแหน่งสำหรับการซ้อนทับภาพต่อไป จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย (Average: $\bar{X}$) ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) ในแต่ละตัวแปร โดยขั้นตอนนี้จะมีการกำจัดคุณลักษณะถึง 2 ครั้งด้วยกัน คือ 1) การกำจัดคุณลักษณะที่ผิดปกติครั้งที่ 1 โดยหาระยะทางของจุดที่เหมือนกันของทั้งสองภาพ เพื่อนำมาสร้างกราฟ 3 กราฟ ได้แก่ กราฟตัวแปร X กราฟตัวแปร Y และกราฟตัวแปร d โดยแกนนอน (x) คือ ลำดับของจุดที่เหมือนกัน (Number of Feature Point) แกนตั้ง (y) คือ ค่าตำแหน่งของพิกเซล (Position of Pixel) ซึ่งจะทำให้การวางค่า $\bar{X}$, Maximum (ดังสมการที่ 2) และ Minimum (ดังสมการที่ 3) รวมด้วย และสามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เพื่อประกอบการหาค่า Maximum และ Minimum ดังสมการที่ 4

$$\text{Maximum} = \bar{x} + SD \quad (2)$$

$$\text{Minimum} = \bar{x} - SD \quad (3)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_n - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

$$d = \sqrt{(x_1 - (x_2 + \sigma))^2} \quad (5)$$

โดย $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ย (Average)

x_n = ค่าของจุดแต่ละจุดสนใจ ตั้งแต่ 1 ถึง n

n = จำนวนจุดทั้งหมด

d = ระยะทางระหว่างจุด

x_1 = จุดสนใจ (Feature Point) ของภาพซ้าย

x_2 = จุดสนใจ (Feature Point) ของภาพขวา

σ = ความกว้างของภาพด้านซ้าย ที่จะนำภาพ

ด้านขวามาต่อ

หลังจากนั้นจะนำค่าดังกล่าวมาสร้างกราฟเพื่อดูแนวโน้มข้อมูล โดยแต่ละกราฟจะแสดงตำแหน่งคุณลักษณะที่สนใจในตัวแปร X , ตัวแปร Y และตัวแปร d โดยภายในกราฟแต่ละกราฟจะบอกถึงข้อมูลที่เหมือนกัน 4 ข้อมูล ได้แก่ 1) เส้นสีดำ คือ ตำแหน่งพิกเซลที่สนใจ 2) เส้นสีแดง คือ $\bar{X}$ ของตำแหน่งพิกเซลที่สนใจ 3) เส้นสีเขียว คือ ค่า Maximum ของตำแหน่งพิกเซลที่สนใจ และ 4) เส้นสีน้ำเงิน คือ ค่า Minimum ของตำแหน่งพิกเซลที่สนใจ โดยทั้งสามค่าของกราฟตัวแปร X , ตัวแปร Y และตัวแปร d นั้น แสดงในรูปที่ 6 (ก), รูปที่ 6 (ข) และ รูปที่ 6 (ค) ตามลำดับ

ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะพิจารณาใช้ตำแหน่งพิกเซลที่สนใจของทั้ง 3 ตัวแปร ที่อยู่ในช่วงระหว่าง Minimum กับ Maximum เท่านั้น การที่ต้องเลือก

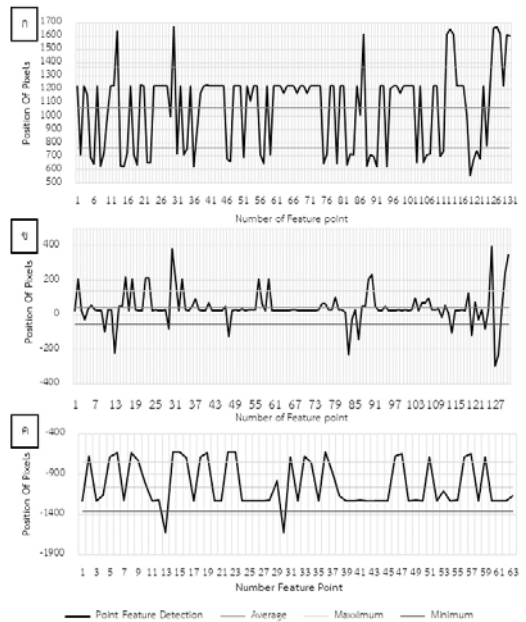
ใช้ตำแหน่งเฉพาะในช่วง Minimum กับ Maximum ของทั้ง 3 ตัวแปร เนื่องจากแอปพลิเคชัน มีการตรวจจับหลายตำแหน่ง ซึ่งในหลายตำแหน่ง นั้นอาจมีจุดที่ไม่ตรงกับขอบเขตที่เลือกใช้สำหรับ ต่อภาพ

เมื่อทำการเลือกตำแหน่งจากการกำจัด คุณสมบัติที่ผิดปกติแล้ว ลำดับถัดมาจะทำการ จำกัดคุณสมบัติที่ผิดปกติครั้งที่ 2 เพื่อเลือกจุด สำหรับการต่อภาพ โดยอ้างอิงจาก หาค่า $\bar{X}$ ครั้ง ใหม่ การจำกัดคุณสมบัติที่ผิดปกติครั้งที่ 1 ครั้ง ก่อนหน้านั้น เพื่อลดการแกว่งของข้อมูล ได้ทำการ เลือกใช้ตำแหน่งเฉพาะในช่วง Minimum และ Maximum การจำกัดคุณสมบัติที่ผิดปกติครั้งที่ 2 จะทำการเลือกใช้ตำแหน่งพิกเซลที่ตำแหน่ง $\bar{X}$ (เส้น สีแดง) เพื่อใช้สำหรับการซ้อนทับภาพ โดยจะทำ แบบเดียวกันทั้ง 2 ข้อมูล ได้แก่ ตัวแปร X และ Y ของจุดที่เหมือนกันในทั้งสองภาพ

การประกอบภาพ (Stitching Image) จากการวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งพิกเซล X , Y และระยะ ทางของจุดที่เหมือนกันในทั้งสองภาพ (d) ทำให้ได้ จุดที่ถูกต้องสำหรับการต่อภาพ จึงนำข้อมูลเหล่านั้น ใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการต่อภาพดังรูปที่ 7 (ก)

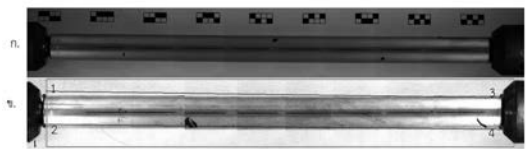
ภาพหลังการต่ออาจมีความเอียง ซึ่งเกิดขึ้น จากการต่อภาพและตำแหน่งของกล้อง โดยขั้นตอน นี้ได้ทำการสอบเทียบโดยใช้โมเดล (Model) ระบบ รับภาพแบบเปอร์สเปกทีฟ (Perspective) จากขอบ ของเพลลา โดยเริ่มต้นจากการหาตำแหน่งของขอบ เพลลาทั้งด้านบนและล่างจนได้ขอบทั้ง 4 ตำแหน่ง ของชิ้นงาน หลังจากได้ตำแหน่งของทั้ง 4 จุด จึง ทำการปรับทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อให้ขอบของเพลลา

เป็นเส้นตรง และทำการตัดให้เหลือแต่ส่วนเพลลา เพื่อเข้าสู่การประมวลผลลำดับต่อไป ดังแสดงใน รูปที่ 7 (ข)



รูปที่ 6 ตำแหน่งพิกเซลที่สนใจ, $\bar{X}$, Maximum และ Minimum ของตำแหน่งพิกเซลที่สนใจของกราฟ

ก) กราฟตัวแปร X , ข) กราฟตัวแปร Y และ ค) กราฟตัวแปร d



รูปที่ 7 ก) ภาพตัวอย่างหลังจากการรวมภาพแล้ว ข) หลังจากที่ได้ภาพแล้วจะทำการปรับความบิดเบี้ยวของภาพและตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก

2.3 การจำแนกประเภทรอย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำแนกประเภทรอย 2 ประเภท คือ รอยจุด และ รอยขีด ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยกำหนดให้ถ้าหากวงกลมวงเดียวกันหรือวงกลมที่มีขนาดสมมาตร (มีความกลมสูง) ค่ารัศมี (r_A) ที่หาจากพื้นที่กับรัศมีที่หาได้จากเส้นรอบวงนั้น (r) ควรมีค่าเท่ากับ 1 หรือเข้าใกล้ 1 ในทางกลับกันหากเป็นวัตถุที่มีความกลมน้อย ค่าก็จะเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น จึงสามารถนำสัดส่วนระหว่างค่ารัศมี (r_A) ที่หาจากพื้นที่ (A) กับรัศมี (r) ที่หาได้จากเส้นรอบวง (l) นั้น หรือเรียกว่า สัดส่วนของความเป็นวงกลม (Circular Factor) มาเป็นตัวแปรเพื่อบอกความเป็นรอยจุดหรือรอยขีดได้

เมื่อกำหนดให้พื้นที่ของวงกลม (A) จะสามารถหาค่ารัศมี (r_A) ที่หาจากพื้นที่ได้จากสมการที่ 6

$$r_A = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (6)$$

กำหนดให้ เส้นรอบวงของวงกลม (l) สามารถหาค่ารัศมี (r) ที่หาจากรอบวงจากสมการที่ 7

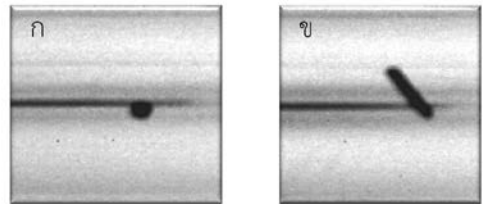
$$r_l = \frac{l}{2\pi} \quad (7)$$

ดังนั้น จะสามารถเขียนสัดส่วนระหว่างค่ารัศมี (r_A) ที่หาจากพื้นที่ กับรัศมีที่หาได้จากเส้นรอบวง (r) หรือสัดส่วนของความเป็นวงกลม (Circular Factor) ดังสมการที่ 8

$$\frac{r_A}{r_l} = \frac{\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{\frac{l}{2\pi}} = \frac{2\sqrt{A\pi}}{l} \quad (8)$$

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าสัดส่วน Circular Factor ไว้ดังสมการที่ 9

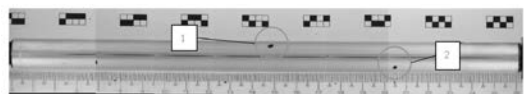
$$\text{รอยขีด } "< 0.8 \leq" \text{ รอยจุด} \quad (9)$$



รูปที่ 8 ตัวอย่าง ก) รอยจุด และ ข) รอยขีด

2.4 สรุปข้อมูลการประมวลผล

จากการประมวลผลการจำแนกรอยแล้วนั้น แอปพลิเคชันจะทำการคำนวณระยะหรือตำแหน่งลำดับแรกของรอยโดยอ้างอิงจากแกนอนด้านซ้ายหรือตำแหน่งของหัวเพลาดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งได้แสดงตำแหน่งของรอยที่เกิดขึ้น และมีการนำมาตรวัดระยะทางนำมาวางแผนเพื่อใช้ควบคุมในการตรวจสอบความถูกต้องด้วย



รูปที่ 9 ตำแหน่งรอยบกพร่องบนภาพเพลาลูก

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การประกอบภาพและพื้นที่ในการทับซ้อน

หลังจากได้พิกัดตำแหน่งจุดวางซ้อนภาพแล้ว ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาหาค่าการทับซ้อนร้อยละ (γ) เพื่อดูพื้นที่การทับซ้อนและประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น ดังสมการที่ 9

$$\gamma = \frac{p}{x_r} \times 100 \tag{9}$$

เมื่อ p คือตำแหน่งที่ได้จากการจำกัดคุณลักษณะ ที่ผิดพลาดครั้งที่ 2 และ x_r คือ ค่าความยาว (X Resolution) จากชิ้นงานตัวอย่างจะได้ค่าการซ้อนทับแสดงในตาราง ที่ 1 ซึ่งจากผลการทดลองหาค่าการทับซ้อนร้อยละ พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 63.32

3.2 ผลการทดลองจำแนกรอยรอยขีด (Scratch) และรอยจุด (Spot)

ผลการทดลองนี้ได้ทำการตรวจจับแล้วสุ่มดำเนินการ หาผลของรอยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยแอปพลิเคชันจะ จำแนกรอยขีดและรอยจุดด้วยค่าสัดส่วนของความเป็น วงกลม ซึ่งหากมีค่า < 0.8 ถือว่าเป็นรอยขีด และหากมี ค่า ≥ 0.8 ถือว่าเป็นรอยจุด ผลการทดลองที่มีแนวโน้มว่า มีลักษณะเป็นจุดแสดงในตารางที่ 2 และผลการทดลอง ที่มีแนวโน้มว่ามีลักษณะเป็นรอยขีดแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 2 ได้นำรอยบกพร่องที่มีแนวโน้มเป็น ลักษณะจุดมาทดสอบ พบว่าได้ผลในระดับดี โดยภาพ

1-3 และ 7-8 ให้ผลเป็นรอยจุด เนื่องจากมีค่าสัดส่วน ของความเป็นวงกลม ≥ 0.8 หรือมีพื้นที่ในวงกลมล้อม รอบ ≥ ร้อยละ 80 ซึ่งภาพอื่น ๆ มีค่า < 0.8 ทั้งนี้ การ กำหนดค่ารอยจุดควรขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานด้วย

จากตารางที่ 3 ได้นำรอยบกพร่องที่มีแนวโน้มเป็น ลักษณะรอยขีดมาทำการทดลอง พบว่าค่าสัดส่วนของ ความเป็นวงกลมมีค่าต่ำ ซึ่ง < 0.3 หรือมีพื้นที่ในวงกลม ล้อมรอบ < ร้อยละ 30 ทุกผลการทดลอง ซึ่งเมื่อนำมา เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองในตารางที่ 2 และ 3 แล้ว การจำแนกด้วยสัดส่วนของความเป็นวงกลม ให้การจำแนกรอยอย่างชัดเจน

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้นำเสนอการจำแนกและการตรวจหา รอยบกพร่องบนเพลตขัดผิว โดยมีการจำแนกประเภท รอยทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ รอยขีด (Scratch) และ รอยจุด (Spot) โดยประยุกต์ใช้วิธีประมวลผลภาพ ดิจิทัลร่วมกับการใช้คุณลักษณะ A-KAZE ในการระบุ รอย ในการจำแนกรอยทั้งสองแบบนี้ได้ใช้สัดส่วนของ ความเป็นวงกลมค่าของรอยขีดให้มีค่า < 0.8 และรอย จุดมีค่า ≥ 0.8

ผลการทดลองพบว่า การจำแนกรอยด้วยค่าตัว แปรดังกล่าวนั้น สามารถจำแนกรอยทั้งสองแบบได้ อีกทั้งการนำเทคนิคคุณลักษณะ A-KAZE มาใช้ใ นการต่อภาพถ่ายด้วยการเลือนกลิ้งนั้น เมื่อนำกลับมา ประกอบภาพใหม่แล้วให้ผลของสัดส่วนการซ้อนทับ ของภาพอยู่ที่ร้อยละ 63.32

ตารางที่ 1 การทับซ้อนร้อยละ (γ)

γ	ลำดับภาพที่						
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
ด้านที่ 1	66.03	66.3	67.14	67.51	66.53	66.22	62.66
ด้านที่ 2	66.23	66.21	68.7	67.43	66.36	66.05	62.65
ด้านที่ 3	66.04	66.21	69.23	66.42	66.12	67.15	62.64
ด้านที่ 4	66.14	66.28	66.80	67.40	66.64	66.99	63.12

ตารางที่ 2 ผลการทดลองรอยบกพร่องที่มีแนวโน้มว่ามีลักษณะเป็นรอยจุด

รอยที่	สัดส่วนของความเป็น วงกลม	ลักษณะรอย
1	0.8370	
2	0.8092	
3	0.8027	
4	0.7470	
5	0.7309	
6	0.6745	
7	0.8213	
8	0.8863	
9	0.7470	
10	0.7309	
11	0.6745	

ตารางที่ 3 ผลการทดลองรอยบกพร่องที่มีแนวโน้มจะมีลักษณะเป็นรอยขีด

รอยที่	สัดส่วนของความเป็น วงกลม	ลักษณะรอย
1	0.1574	
2	0.1724	
3	0.2830	
4	0.0924	
5	0.1692	
6	0.1977	
7	0.1515	
8	0.2706	
9	0.1650	
10	0.1761	

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Rosati, G., Boschetti, G., Biondi, A., & Rossi, A., “Real-time defect detection on highly reflective curved surfaces”, Optics and Lasers in Engineering, 47 (3-4), 2009, pp. 379-384.

[2] Ali, M., Mailah, M., Kazi, S., & Tang, H. H., “Defects Detection of Cylindrical Object’s Surface Using Vision System”, in The 10th WSEAS International Conference on Computational Intelligence, Man-Machine Systems and Cybernetics (CIMMACS’11), Jakarta, 2011, pp. 1-3.

[3] Ali, M. A., Mailah, M., Tang, H. H., & Kazi, S., “Visual inspection of cylindrical product’s lateral surface using cameras and image processing”, International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, 6 (2), 2012 pp. 340-348.

[4] Manish, R., Venkatesh, A., & Ashok, S. D., “Machine vision based image processing techniques for surface finish and defect inspection in a grinding process”, Materials Today: Proceedings, 5(5), 2018, pp. 12792-12802.

[5] Tian, H., Wang, D., Lin, J., Chen, Q., & Liu, Z., “Surface Defects Detection of Stamping and Grinding Flat Parts Based on Machine Vision”, Sensors, 20 (16), 2020, p. 4531.

[6] Alcantarilla, P. F., & Solutions, T., “Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces”, IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell, vol. 34 (7), 2011, pp. 1281-1298.

[7] Andersson, O., & Reyna Marquez, S., “A comparison of object detection algorithms using unmanipulated testing images: Comparing SIFT, KAZE, AKAZE and ORB”, KTH SKOLAN FÖR DATAVETENSKAP OCH KOMMUNIKATION, 2016.

[8] Sharma, S. K., & Jain, K., “Image Stitching using AKAZE Features”, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48 (10), 2020, pp. 1389-1401.

[9] Dissanayake, V., Herath, S., Rasnayaka, S., Seneviratne, S., Vidanaarachchi, R., & Gamage, C., “Quantitative and qualitative evaluation of performance and robustness of image stitching algorithms”, In 2015 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), IEEE, 2015, pp. 1-6.

[10] Alcantarilla, P. F., Bartoli, A., & Davison, A. J., “KAZE features”, In European Conference on Computer Vision, Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 214-227.

จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการ (Publication Ethics)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เป็นวารสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สำหรับการบริหาร การจัดการ การส่งเสริม การแบ่งปัน และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และบทวิเคราะห์ จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัย การพัฒนา และการวิเคราะห์ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการบริหารจัดการ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

กองบรรณาธิการ วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ตระหนักถึงมาตรฐานด้านจริยธรรมการตีพิมพ์ของผู้เขียนบทความ (Author) ผู้ประเมินบทความ (Reviewer) และบรรณาธิการ (Editor) ที่ต้องถือปฏิบัติอย่างเคร่งครัด เพื่อให้การตีพิมพ์ถูกต้องตามหลักจริยธรรม โปร่งใส มีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อสาธารณะและผู้เกี่ยวข้องในทุกภาคส่วน จึงได้กำหนดแนวทาง วิธีปฏิบัติ และจริยธรรมของการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยไว้สำหรับการดำเนินงานของวารสาร ดังนี้

บทบาทและหน้าที่ของผู้เขียน

(Roles and responsibilities of authors)

1. ผู้เขียนต้องรับรองว่าบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อนและต้องไม่อยู่ในกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น หรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด
2. ผู้เขียนต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่นมาเป็นผลงานของตัวเอง หากมีการนำผลงานของผู้อื่นมาใช้ในบทความ ต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่นโดยจัดทำรายการอ้างอิงให้ถูกต้องครบถ้วนท้ายบทความ
3. ผู้เขียนต้องรายงานข้อมูลที่ถูกต้อง ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้เขียนต้องเขียนบทความให้ถูกต้องตามรูปแบบที่วารสารกำหนด
5. ชื่อผู้เขียนที่ปรากฏในบทความ ทั้งผู้เขียนหลักและผู้เขียนร่วม ต้องเป็นผู้มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยตามความเป็นจริง
6. หากได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย ผู้เขียนต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการวิจัยให้ครบถ้วน
7. ข้อความและเนื้อหาที่ปรากฏในบทความและองค์ประกอบทั้งหมดของบทความในแต่ละเรื่องเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน หากมีการละเมิดลิขสิทธิ์ ผู้เขียนยินยอมรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว
8. ผู้เขียนต้องยอมรับผลการพิจารณาของผู้ประเมินบทความและการตัดสินใจของบรรณาธิการถือเป็นที่สุด
9. ผู้เขียนต้องระบุผลประโยชน์ทับซ้อน (ถ้ามี)

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร (Roles and responsibilities of Editors)

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
2. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนบทความและผู้ประเมินบทความแก่ผู้อื่นที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาการประเมินบทความ
3. บรรณาธิการวารสารมีบทบาทในการตัดสินใจคัดเลือกบทความที่มีคุณภาพด้วยหลักทางวิชาการ โดยผ่านกระบวนการประเมินบทความตามขั้นตอนที่วารสารได้กำหนดไว้
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่อื่นมาแล้ว
5. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่ในการตรวจสอบบทความเพื่อให้แน่ใจว่าบทความที่จะตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารไม่มีการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) หากตรวจสอบพบ บรรณาธิการวารสารต้องหยุดกระบวนการและติดต่อผู้เขียนบทความทันที เพื่อขอคำชี้แจงประกอบการพิจารณาในการตอบรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์
6. บรรณาธิการวารสารต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนบทความและผู้ประเมินบทความ หรือบุคคลอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องในผลประโยชน์จากการเผยแพร่หรือตีพิมพ์บทความ
7. บรรณาธิการวารสารต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมทั้งพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของวารสารอย่างต่อเนื่องอยู่เสมอ

บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Roles and responsibilities of reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความควรดำเนินการอย่างเป็นกลาง และให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ที่สอดคล้องและเป็นประโยชน์ในด้านคุณภาพแก่ผู้เขียนบทความ
2. ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ ผู้ประเมินบทความต้องเก็บรักษาข้อมูลและไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง
3. ผู้ประเมินบทความต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้เขียนบทความ และต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบทันทีหากได้รับบทความที่ตนเองอาจมีส่วนเกี่ยวข้องหรือมีส่วนได้ส่วนเสีย ไม่ว่าจะโดยตรงหรือทางอ้อม
4. ผู้ประเมินบทความควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญอย่างแท้จริง และสามารถปฏิเสธการประเมินบทความได้ หากพบว่าเนื้อหาบทความไม่ตรงกับสาขาวิชาที่ผู้ประเมินเชี่ยวชาญ
5. ผู้ประเมินบทความมีบทบาทในการตรวจสอบความซ้ำซ้อนของผลงานจากผู้เขียน หากพบว่าบทความมีการคัดลอก ปลอมแปลง หรือซ้ำซ้อนกับผลงานอื่นๆ ควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ
6. ผู้ประเมินบทความต้องไม่แสวงหาผลประโยชน์จากกระบวนการประเมินบทความเพื่อประโยชน์ส่วนตัว
7. ผู้ประเมินบทความควรดำเนินการประเมินบทความภายในระยะเวลาที่วารสารกำหนด

คำแนะนำในการส่งผลงานเพื่อตีพิมพ์ ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (DTAJ)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เป็นวารสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สำหรับการบริหาร การจัดการ การส่งเสริม การแบ่งปัน และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และ บทวิเคราะห์ จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัย การพัฒนา และการวิเคราะห์ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการ บริหารจัดการ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและ อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งจัดพิมพ์เป็นราย 4 เดือน ผู้สนใจเขียนบทความสามารถติดต่อ ขอข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ โทร. 02-980 6688 ต่อ 2142 หรือ e-mail: admin-dtaj@dti.or.th

หลักเกณฑ์การพิจารณากลั่นกรอง บทความ

- บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ ต้อง ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อนและต้องไม่อยู่ในกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือ สิ่งตีพิมพ์อื่นใด
- บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ ต้อง เป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการ และมีประโยชน์ในเชิงทฤษฎีหรือเชิงปฏิบัติ โดยผ่านการพิจารณาและให้ความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ซึ่งต้องมีคุณสมบัติอย่างต่ำตาม เกณฑ์มาตรฐาน คือเป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ ทำงานวิจัยและมีผลงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง จำนวน อย่างน้อย 3 ท่านขึ้นไปต่อบทความ และ/หรือ ผ่าน การพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นรายกรณี

บทความที่รับพิจารณาตีพิมพ์

บทความวิจัย

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

เนื้อเรื่องจะประกอบด้วย บทนำ (Introduction), ขอบเขต การวิจัย/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 โดยการใช้ คำสั่ง word count ใน MS Word เพื่อนับคำ (แต่ไม่ควรเกิน 9 หน้ากระดาษ A4) เป็นบทความที่รวบรวม หรือเรียบเรียงจากหนังสือ เอกสาร ประสพการณ์ หรือเรื่องแปล เพื่อเผยแพร่ความรู้ในสาขาต่างๆ หรือแสดงข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ที่เป็นประโยชน์มีคุณค่าทางวิชาการ

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

DTAJ

Defence Technology Academic Journal



เป้าประสงค์ (Aim)



เป็นวารสารทางวิชาการสำหรับการบริหาร การจัดการ การส่งเสริม การแข่งขัน และการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ซึ่งอยู่ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และบทวิเคราะห์ จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัย การพัฒนา และการวิเคราะห์ เทคโนโลยีป้องกันประเทศ



เพื่อให้การบริหารองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีการบริหารจัดการ และส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยการนำเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การปฏิบัติงาน และเกิดนวัตกรรมการบริหารองค์ความรู้ด้วยการจัดหาระบบฐานข้อมูล โครงการวิจัยและพัฒนาข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ



สามารถตอบสนองภารกิจการเป็นศูนย์กลาง การให้บริการข้อมูลและสารสนเทศ ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ส่งเสริม ให้เกิดกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

Call for Paper 2021

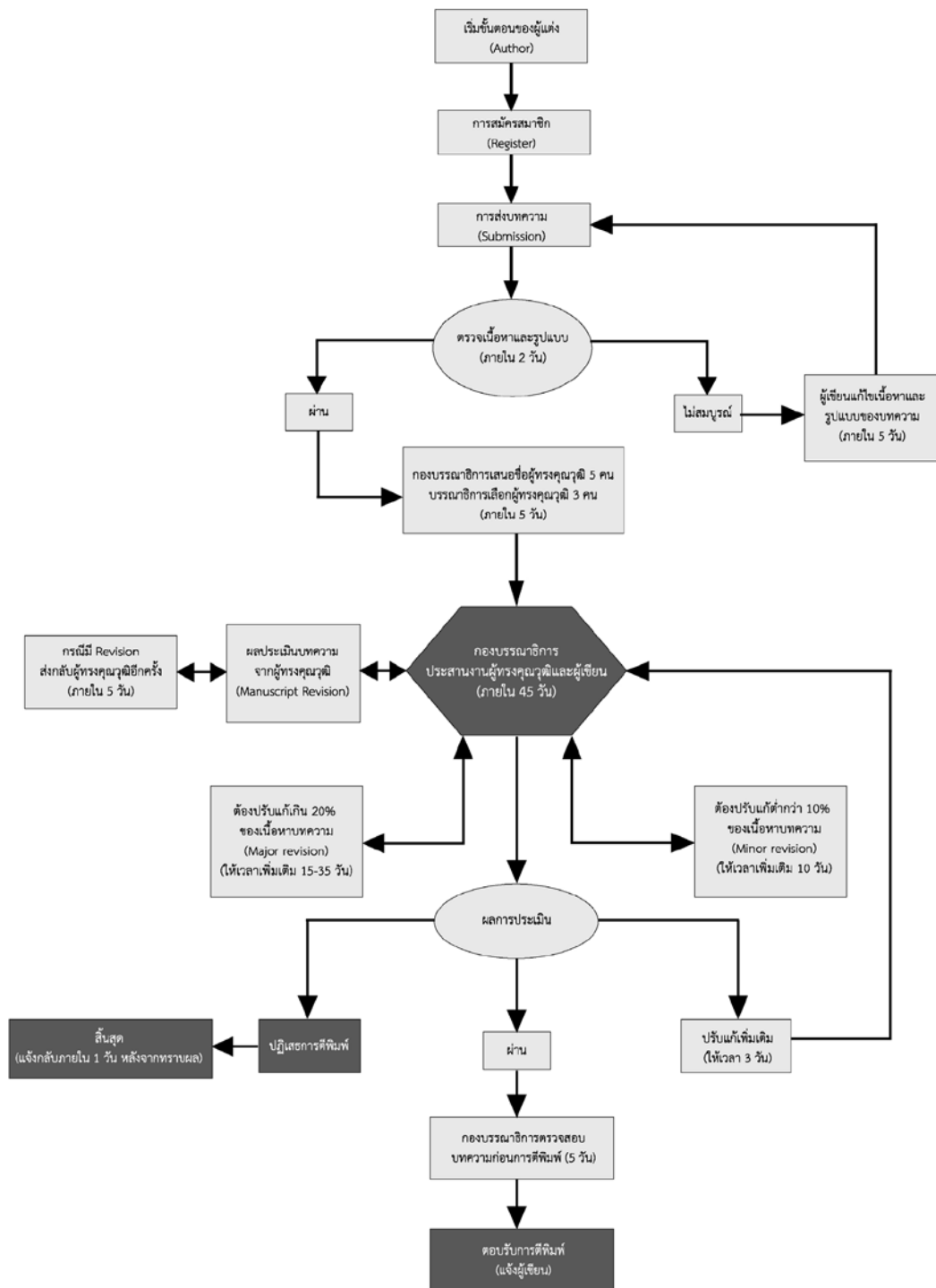
ขอบเขต (Scope)

1. ครอบคลุมองค์ความรู้จากการศึกษา การค้นคว้า การวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ และการจัดการ ที่เกี่ยวข้องกับ เทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
2. เป็นบทความวิชาการและบทวิเคราะห์ที่มุ่งเน้น การขับเคลื่อน การพัฒนา และการยกระดับการแข่งขัน ของประเทศไทย ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ การจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ และนวัตกรรมบริการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
3. เนื้อหาและการอภิปรายผลที่เผยแพร่ในบทความวิจัย มีความถูกต้อง แม่นยำ และเที่ยงตรง ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ การจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ และนวัตกรรมบริการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ระยะเวลาการเผยแพร่ และเนื้อหาของ DTAJ

1. การเผยแพร่แบ่งเป็น 3 ฉบับ/ปี ของปีปฏิทิน คือ ฉบับแรกของปีปฏิทิน ในห้วงเดือนมกราคม - เมษายน ฉบับต่อมาของปีปฏิทินในห้วงเดือน พฤษภาคม - สิงหาคม และฉบับสุดท้ายของปีปฏิทินในเดือนกันยายน - ธันวาคม
2. เนื้อหาภายใน DTAJ แบ่งเป็น 4 ส่วนที่สำคัญ ประกอบด้วย
 - บทความพิเศษ (Special Articles) เพื่อการรวบรวมภารกิจหรืองานสำคัญของ สทป.
 - บทวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Technology Analysis Articles) เพื่อสะท้อนเศรษฐกิจและธุรกิจด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
 - บทความวิชาการ (Academic Articles) เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลปฐมภูมิ อันเป็นผลมาจากการศึกษาและการค้นคว้าวิจัยทางเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
 - บทความวิจัย (Research Articles) เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลปฐมภูมิ อันเป็นผลมาจากการวิจัยและพัฒนาที่เป็นนวัตกรรม และนำไปสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

ขั้นตอนการประเมินบทความของกองบรรณาธิการ DTAJ (2 เดือน)



วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 2 ฉบับที่ 6 กันยายน - ธันวาคม 2563

บทความพิเศษ (Special Article)

- 🌐 การจัดการความรู้ในบริบทของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
ส่วนบริหารองค์ความรู้ ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- 🌐 แนวทางการพัฒนาสนามฝึกจำลองสามมิติ เพื่อสนับสนุนการออกแบบในระดับยุทธการ
อรประภา ภูมิภานุญจนะ โรแบร์
- 🌐 หลักการวิเคราะห์ความลาดชันของถนนสำหรับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุก 6 ล้อ ดัดแปลงสภาพ
ธีรไนย ศรีธรรมรงค์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Articles)

- 🌐 การศึกษาความเป็นไปได้ของการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย
กรณีศึกษาเปรียบเทียบ จังหวัดชลบุรี ลพบุรี และกาญจนบุรี
บดีรินทร์ สันทัด

บทความวิจัย (Research Articles)

- 🌐 ผลของการวางเรียงตัวของแผ่นเกราะต่อประสิทธิภาพการกันกระสุน
เพชร เจียรนัยศิลาวงศ์ และ บัณฑิต พึ่งสาระ
- 🌐 GIS for Vertical Takeoff and Landing Site Selection
Teeranai Srithamarong and Phimraphas Ngamsantivongsa
- 🌐 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวด้วยการวิเคราะห์ค่าอนุพันธ์ของข้อมูลจากผลิตภัณฑ์ MOD11A2 ระบบ MODIS
ธนัทเดช โรจนกุลศล, สาทิต แสงประดิษฐ์, ภูมิพล อิศระวิสุทธิ และ ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ
- 🌐 การออกแบบพารามิเตอร์แบบสองจุดประสงค์สำหรับตะขอยก
นิตยา ศิริวัน, กมลชนก ประสาททอง, อภิชาติ มณีงาม, พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์ และ กัลยา อุบลทิพย์
- 🌐 การขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ ที่มีคุณภาพต่อระบบจำลองยุทธ์
จรรยาพร ทองทิพย์รัตน์
- 🌐 การจำแนกและการตรวจหารอยบกพร่องบนเพลาคัดผิวด้วยวิธีประมวลผลภาพดิจิทัลร่วมกับการใช้คุณลักษณะ A-KAZE
อุดมศักดิ์ วงคง, สุทธิเทพ สุขวิบูลย์, พลาย จันทร์สม และ ทศพร แก้ววิจิตร

