

ISSN 2651-0669 (Print)
ISSN 2822-1206 (Online)

DTAJ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

Defence Technology Academic Journal

Volume 5 Issue 12 / July - December 2023



Defence Technology Institute



CALL FOR MANUSCRIPTS 2023 - 2024

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (DTAJ) เป็นวารสารวิชาการของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) สำหรับการบริหารจัดการ ส่งเสริม แบ่งปัน และแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ในรูปแบบบทความวิจัย บทความวิชาการ และบทวิเคราะห์ จากการศึกษา ค้นคว้า วิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีป้องกันประเทศและอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เพื่อให้การบริหารองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีการบริหารจัดการ และส่งเสริมกระบวนการแลกเปลี่ยนความรู้ด้วยการนำเทคโนโลยีมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานและเกิดนวัตกรรมการบริหารองค์ความรู้ด้วยการจัดทำระบบฐานข้อมูลโครงการวิจัยและพัฒนา และข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ให้สามารถตอบสนองภารกิจการเป็นศูนย์กลางการให้บริการข้อมูลและสารสนเทศด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น

ISSUE :

■ ฉบับที่ 13 : มกราคม - มิถุนายน 2567

วันนี้ - 15 สิงหาคม 2566

■ ฉบับที่ 14 : กรกฎาคม-ธันวาคม 2567

วันนี้ - 15 กุมภาพันธ์ 2567



Submit article online :

<https://sc01.tci-thaijo.org/index.php/dtaj>

SCOPE

- ด้านวิทยาศาสตร์
- ด้านเทคโนโลยี
- ด้านวิศวกรรมศาสตร์
- ด้านนวัตกรรม
- ด้านการจัดการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ
- นวัตกรรมการบริหารด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ครอบคลุมวิชาการในการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่ในหลากหลายแขนง อาทิ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม นวัตกรรม การจัดการ อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ นวัตกรรมบริการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการป้องกันประเทศ และการทหาร รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม

อีกทั้งครอบคลุมเกี่ยวกับความรู้ในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ด้านการวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ

สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม : โทรศัพท์ 0 2980 6688 ต่อ 2123, 2124 หรือ admin-dtaj@dti.or.th

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ www.dti.or.th

รายชื่อผู้จัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

คณะที่ปรึกษา

พลเอก ชูชาติ บัวขาว
นาวาอากาศเอก คมสันต์ ประพันธ์กาญจน์
พันเอก จิรศักดิ์ จิวไม้แดง
พลตรี ไพรพงศ์ โพธิ์เหมือน
นาวาอากาศโท ดร.เพิ่มศักดิ์ ศิริพละ

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ชุมทรัพย์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์
ศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ธารีบุญ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิรวิภากร
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ กฤษเจริญ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ฝ่ายจัดการ

นางสาวอินทิรา จุลชาติ
นางสาวสาวิตรี ระงับพิษ
นางสาวนุศลรัตน์ ลวงลายทอง

นางสาวบุญญาภรณ์ วาณิชชาติ
นางสาวลัญญณ์ฐ์ ภาตะนันท์
ว่าที่ร้อยตรีหญิง ดร.ลำยอง แสนทวี

สารบัญ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 12 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- การตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม 4
วรารณ เลื่องลือวุฒิ, กิตติกร วิริยะศาสตร์, วิชัย แผ้วเกษม,
พันธุ์เทพ แก้วมงคล และ สัญญา มิตรเอม
- การวิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง 12
ไพศาล บุญยรัตน์, อมร พรชัย, นิกร กุหลาบอำ, พิพัฒน์ จันทิมาเจริญ,
ธีรภัทร์ กิตตินรินทร์กุล, นิธิ อนุกุลสัมพันธ์ และ ปัทพงษ์ ศรีโพธิ์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Article)

- การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้: 28
โอกาสและแนวทางการพัฒนาสำหรับประเทศไทย
กนก บุณนา

บทความวิจัย (Research Articles)

- อุปกรณ์แปลงสัญญาณวิทยุเฮกซ์เฟมเป็นสัญญาณวิทยุเอสแบนด์ 48
อนิวัฒน์ พลอดภัย, วินัย ศีลารวม และ สาวาสต์ บุญยะเวช
- การลดกลิ่นตัวบนผ้าลายพรางดิจิทัลโดยการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตาไซโคลเดกซ์ทริน 60
กมล ขวัญข้าว, อรทัย บุญดำเนิน และ อุษา แสงวัฒนาโรจน์
- การวิเคราะห์ความเค้นความเครียดจากฟองอากาศในเนื้อดินขับเชื้อเพลิงแข็ง 70
โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
สุรสิทธิ์ ปาลสาร และ ทวีศักดิ์ โสภณลักษณ์
- การศึกษาภาชนะบรรจุสารหน่วงไฟทดแทนจากกระดาษกราฟสำหรับเครื่องดับเพลิง 78
สุวิชา จันทน์กะพ้อ และ วีระชาติ กุลศิริเกษม
- การศึกษากระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของหอจดหมายเหตุ 86
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
วรารณ พูลสวัสดิวัฒน์ และ พิมพพจน์ สีลาเขต
- แนวทางการวางระบบการรับมือเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร 102
ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
วรารณ พูลสวัสดิวัฒน์ และ พิมพพจน์ สีลาเขต

บทบรรณาธิการ

วารสารทางวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีบทบาทสำคัญในระบบบริหารคุณภาพและได้รับการรับรอง ISO 9001:2015 ในขอบเขตที่สำคัญอีกด้านหนึ่งคือ การให้บริการและองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ดังนั้น จึงเป็นการรับประกันคุณภาพขององค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีส่วนขับเคลื่อนเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ จะใช้เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือในการตรวจสอบและประเมินความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level) หรือ TRL และหากศึกษาถึงลงไปรายละเอียดของการประเมินความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Assessment) หรือ TRA ไม่ว่าจะเป็นทางด้าน Hardware หรือ Software ล้วนกำหนดหนึ่งในหลักเกณฑ์สำคัญที่เทคโนโลยีจะผ่านหลักเกณฑ์ระดับ TRL1 ไว้ว่า ต้องมีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการของ Hardware หรือ Software นั้น ๆ โดยผ่านกระบวนการประเมินโดยคณะผู้เชี่ยวชาญประเมินผลงานทางวิชาการ ทั้งนี้เพื่อการรับรองว่าเทคโนโลยีที่เป็นหลักของ Hardware หรือ Software ดังกล่าวได้ผ่านการศึกษาเพื่อยืนยันหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาแล้ว ดังนั้น ผลงานที่ตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศจะเป็นส่วนหนึ่งของกุญแจดอกที่หนึ่ง ในการไขประตูความพร้อมของเทคโนโลยีเพื่อไปสู่ TRL9 ซึ่งยังคงเป็นหนทางอันยาวไกลจาก TRL1 ไปยังความพร้อมเข้าสู่สายการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ชุมทรัพย์
บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

วรากร เลื่องลืออุดม^{1*} กิตติกร วิริยะศาสตร์¹ วิชัย แผ้วเกษม¹

พันธุ์เทพ แก้วมงคล¹ และ สัญญา มิตรเอน²

วันที่รับ 18 ตุลาคม 2566 วันที่แก้ไข 6 พฤศจิกายน 2566 วันที่ตอบรับ 20 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาการตรวจจับภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาวิเคราะห์ด้วยหลักการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพถ่ายทางอากาศ โดยการศึกษาที่ผู้เขียนทบทวนวรรณกรรมด้านการวิเคราะห์ภาพเพื่อการตรวจจับวัตถุ และศึกษาค้นคว้าว่ามีโมเดลใดบ้างที่เหมาะสมกับงานด้านการตรวจจับวัตถุ โดยเลือกโมเดลตรวจจับ YOLO, RetinaNet และ Fast R-CNN แล้วทำการศึกษาและทำการทดลองว่าการตรวจจับโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น ควรใช้โมเดลตรวจจับชนิดใดที่สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพให้เหมาะสม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ผลการใช้ YOLO มีผล mAP ถึง 58.5% และความไวในการทำงาน 158.13 เฟรมต่อวินาที ซึ่งมีความแม่นยำและความรวดเร็วในการตรวจจับมากกว่าโมเดลตัวอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลองภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, การตรวจจับวัตถุ

¹ ส่วนงานวิศวกรรมการสื่อสารข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์และเครือข่ายคอมพิวเตอร์, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

* ผู้แต่ง, อีเมล: warakorn.l@dti.or.th

Detecting Objects in Aerial Photographs using Neural Network Techniques

Warakorn luangluewut ^{1*} Kittakorn Viriyasatr ¹ Wichai Pawgasame ¹
Pantape Kaewmongkol ¹ and Sanya Mitaim ²

Received 18 October 2023, Revised 6 November 2023, Accepted 20 November 2023

Abstract

This article discusses the study of aerial image analysis obtained from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) using the principles of artificial neural networks for image recognition. In this study, the author reviews the literature on image analysis for object detection and explores which models are suitable for the task of object detection in aerial images. The author selects the YOLO, RetinaNet, and Fast R-CNN detection models after careful consideration. Through experimentation and study, the article reveals that when detecting objects in aerial images captured by UAVs, it is crucial to choose a detection model that aligns well with the equipment used for image capture. The experimental results show that utilizing the YOLO model yields a mean Average Precision (mAP) of up to 58.5% and a processing speed of 158.13 frames per second. These results highlight the superior accuracy and speed of object detection compared to other models tested with aerial images captured by unmanned aerial vehicles.

Keywords : Neural networks, Object detection

¹ Data Communication Division, Defence Technology Institute

² Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

* Corresponding author: warakorn.l@dti.or.th

1. บทนำ

บทความนี้กล่าวถึงการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศ โดยการนำภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาวิเคราะห์ด้วยหลักการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ได้ทำการทดสอบทดลองด้วย Neural Network กับภาพถ่ายทางอากาศ [1] - [5] ซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลาย แต่ในบทความนี้ผู้เขียนและคณะได้ทำการศึกษางานวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศในรูปแบบการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) โดยทำการศึกษาโมเดลตรวจจับวัตถุในแบบต่าง ๆ ว่ามีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร โดยนำโมเดล 3 โมเดล ได้แก่ YOLO [6], RetinaNet [7] และ Fast R-CNN [8] มาทำการศึกษาว่าโมเดลแบบใดสอดคล้องกับการทำงานของกล้องที่ใช้ในอากาศยานไร้คนขับ (UAV) เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจจับวัตถุต่าง ๆ และมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการกิจด้านความมั่นคงในประเทศ เช่น ด้านป่าไม้ ด้านการกู้ภัย เป็นต้น และอีกหลาย ๆ งานที่ใช้ภาพถ่ายทางอากาศ

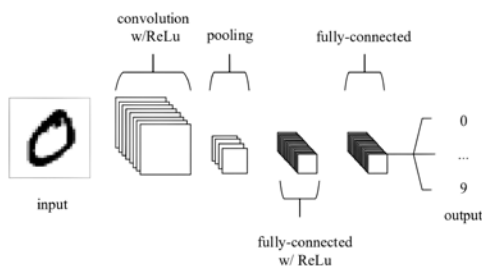
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพถ่ายทางอากาศไว้หลากหลาย โดยงานวิจัยนี้ผู้เขียนได้ทำการศึกษางานวิเคราะห์ภาพในรูปแบบการตรวจจับวัตถุ ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าพบว่า มีงานวิจัยรูปแบบใกล้เคียงในลักษณะนี้แล้ว ซึ่งทำการศึกษาเพื่อตรวจจับสิ่งก่อสร้างกับยานพาหนะ โดยศึกษาว่ามีโมเดลใดบ้างที่เหมาะสมกับงานของการตรวจจับวัตถุ

2.1 Convolutional Neural Networks (CNNs) Neural Network (โครงข่ายประสาทเทียม) [9]

โครงข่ายประสาทเทียม คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์หรือโมเดลทางคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทจนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน ส่วน Deep Learning คือ วิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติ ด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Neurons) โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาซ้อนกันหลายชั้น (Layer) และทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจับรูปแบบ (Pattern) หรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Classify the Data) โดยทั่วไประบบโครงข่ายประสาทเทียมจะเรียนรู้ได้เพียงไม่กี่ชั้น เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลสอน (Training Data) หรือความสามารถด้านคอมพิวเตอร์ยังไม่สูงพออย่างใดก็ดี ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีได้มีการพัฒนามากขึ้น ทำให้มีการเพิ่มจำนวนชั้นของโครงข่ายได้ง่ายและมากยิ่งขึ้น ยังมีการซ้อนกันหลายชั้นโครงข่ายก็ยิ่งมีความซับซ้อนและลึกขึ้น จึงเป็นที่มาของคำว่า Deep Learning นอกจากนี้ ตามรูปแบบของ Machine Learning โดยทั่วไปเมื่อมีข้อมูลดิบเข้ามาจะไม่มี การสกัดคุณลักษณะของข้อมูลนำเข้า (Feature Extraction) โดยอัตโนมัติ อย่างเช่น Deep Learning แต่จะต้องอาศัยความรู้เฉพาะทาง (Domain Knowledge) สำหรับสกัดคุณลักษณะ (Feature) ด้วยตนเอง โดยตัวอย่าง CNN จะเห็นได้จากรูปที่ 1 แสดงการใช้โมเดล CNN ในการอ่าน

ตัวเลขจากรูปภาพว่าในรูปนั้นเป็นตัวเลขอะไร แล้ว
โมเดลจะทำการทำนายผลออกมาว่าเป็นเลขอะไร

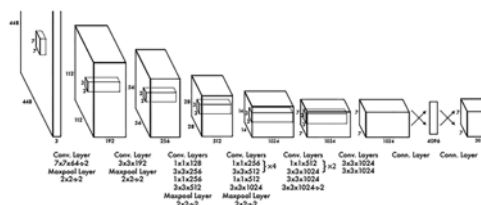


รูปที่ ๑ โครงสร้างของ CNNs [9]

2.2 YOLO (You Only Look Once)

ความเร็วในการตรวจจับวัตถุมีความสำคัญอย่างยิ่งในแอปพลิเคชันจำนวนมากที่ต้องการการตัดสินใจแบบเรียลไทม์ ยกตัวอย่างเช่นในขณะที่ยานอากาศยานไร้คนขับ (UAV) อยู่ในอากาศ แอปพลิเคชันการเฝ้าระวังจะต้องสามารถตรวจจับภาพทางอากาศด้วยความเร็วสูง แบบจำลองการตรวจจับวัตถุต้องสามารถตรวจจับได้เร็วยิ่งขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นเท่านั้น Redmon [6] เสนอการตรวจจับวัตถุครั้งเดียวที่ล้ำสมัยด้วยการตรวจจับที่เรียกว่า You Only Look Once (YOLO) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขปัญหความเร็วของการตรวจจับ YOLO แบ่งภาพอินพุตลงในกริด แต่ละภาพมีขนาดเท่ากัน CNN เดียวใช้ในการทำนายความน่าจะเป็น คลาส (Class) และขอบเขตกล่องของวัตถุในแต่ละตาราง YOLO ใช้กล่องยึดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในขนาดและอัตราส่วนกว้างยาวที่แตกต่างกันประมาณกรอบขอบเขตของวัตถุในภาพ มีการกำหนดกล่องยึดสำหรับแต่ละกริด ตั้งแต่การเปิดตัว YOLO [6] ได้มีการต่อยอดพื้นฐานออกไปจากสถาปัตยกรรม YOLO มากมาย นั่นคือมีการพัฒนาโมเดลขึ้นมากมาย และแต่ละโมเดลเป็น

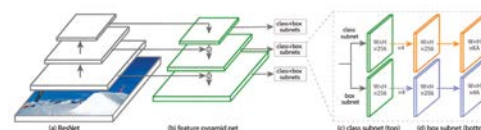
ที่นิยมและถูกนำไปใช้ในแอปพลิเคชันที่หลากหลาย และแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ โดยโมเดล YOLO จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2



รูปที่ ๒ โครงสร้างโมเดล YOLO [6]

2.3 RetinaNet

RetinaNet เป็นโมเดลการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ที่มีรูปแบบเป็นแบบพีระมิด มีการอ่านภาพจากยอดพีระมิดไปยังฐานพีระมิด โดยเริ่มจากการซูมตำแหน่งในภาพแล้วปรับขนาดกรอบตรวจจับภาพไปเรื่อย ๆ จนเจอวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ตัวอย่างโมเดล [7] ดังแสดงในรูปที่ 3

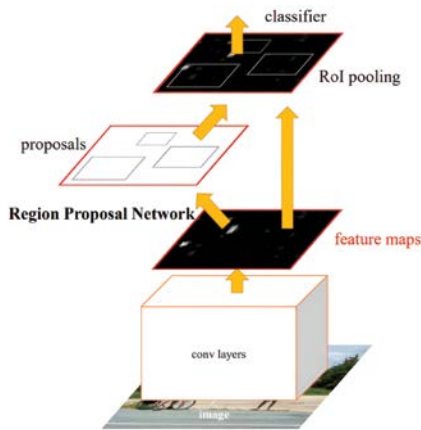


รูปที่ ๓ RetinaNet model architecture [7]

2.4 Fast R-CNN

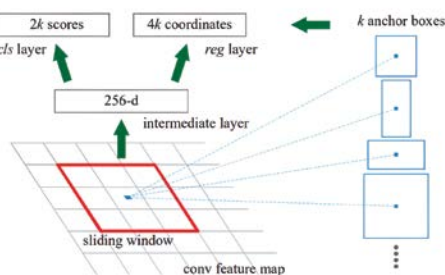
Fast R-CNN เป็นโมเดลตรวจจับวัตถุที่มีรูปแบบเป็นการเลือกกล่อง (Box) ที่จะใช้ในการตรวจจับวัตถุที่ต้องการ โดยปรับขนาดให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ต้องการใช้ตรวจสอบ หลังจากนั้นกล่องจะถูกเลื่อนกันไปเรื่อย ๆ ตามขนาดของภาพทั้งหมด หากเจอวัตถุตรงกับคลาสที่ต้องการตรวจจับโมเดลจะทำการสร้างกล่องเพื่อตรวจจับตำแหน่งวัตถุในภาพนั้น [8]

ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ ๔ แสดงการทำงานของ Fast R-CNN [8]

หลังจากทำการเลื่อนกล่องในภาพแล้ว โมเดล จะทำการ convolutional โดยวิธีการนี้เรียกว่า Region Proposal Network (RPN) โดยที่ RPN จะปรับขนาดกล่องให้เหมาะสมกับข้อมูลที่ตรวจจับ ในภาพ แล้วจะให้ช่วงคะแนนที่ดีที่สุดว่าควรสร้าง กล่องแบบใดมาตรวจจับภาพ โดยตัวอย่างการทำงาน จะเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ ๕ แสดงการทำงานของ Region Proposal Network [8]

2.5 การตรวจจับวัตถุโดยอาศัยกล่องและตำแหน่ง ของระบบกำหนดตำแหน่งบนอากาศยานไร้คนขับ สำหรับวัตถุประสงค์การค้นหาและช่วยชีวิต [10]

ในงานนี้คือการวิจัยในเรื่องของกล่องที่ใช้ติด ในอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่ใช้ในการกู้ภัยว่ามี

ประสิทธิภาพในการทำงานเท่าไร มีความเร็วในการ ทำงานมากน้อยเพียงใด และพบว่าความละเอียดของ ภาพมีประสิทธิภาพถึง 1920×1080 จุดภาพ และ มีความไวในการทำงาน (Frame Rate) ถึง 25 เฟรม ต่อวินาที (Frame per Second: FPS) โดยภาพถ่าย ทางอากาศจากกล้องของอากาศยานไร้คนขับแสดง ดังรูปที่ 6



รูปที่ ๖ ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องของอากาศยาน ไร้คนขับ (UAV) [10]

3. วิธีการดำเนินการ

ข้อมูลการทดลองจะเป็นภาพถ่ายทางอากาศ มุมสูงโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) เป็นตัว ถ่ายภาพ ซึ่งภาพที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นภาพที่มี ขนาดภาพคือ 5472×3648 ซึ่งในการทดลองนี้ จะทำการทดลองทั้งหมด 3 โมเดลหลัก คือ YOLOv7, RetinaNet และ Fast R-CNN โดยในการทดลองนี้ จะใช้คลาสการทดลองทั้งหมด 2 คลาส คือ สิ่งก่อสร้าง กับพาหนะ โดยตัวอย่างข้อมูลภาพที่ใช้ทดลองจะ เป็นดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งจำนวนภาพที่ใช้มีจำนวน 730 ภาพ ประกอบด้วย พาหนะ 3,937 คัน และ สิ่งก่อสร้าง 14,263 หลัง โดยใช้ข้อมูลในการ Train 80% Validation 10% และ Test อีก 10% ของ ภาพทั้งหมด



รูปที่ ๗ ตัวอย่างภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องของอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจะเป็นการที่ Detectors แต่ละตัวสามารถตรวจจับวัตถุแต่ละคลาสโดยการนำโมเดลมาตรวจจับวัตถุในภาพได้โดยใช้ Bounding Boxes ดังแสดงในรูปที่ 8 และสามารถบอกถึงความเร็ว (Speed) ในการทำงาน ความแม่นยำได้ว่าโมเดลแต่ละตัวมีประสิทธิภาพดีเพียงใด และขนาดความจุของโมเดลแต่ละตัวว่าใช้ความจุมากแค่ไหน



รูปที่ ๘ ตัวอย่างการใช้ Bounding Boxes มาตรวจจับวัตถุ

4. ผลการทดลอง

model	mAP	FPS	Size (MB)
YOLOv7	58.5%	158.13	36.5
Fast R-CNN	21.2%	73	28.3
RetinaNet	1.2%	152.56	50.7

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้ Object Detection

จากการทดลองของโมเดลแต่ละตัวพบว่า Frame Per Second (FPS) ทุกตัวมีค่าเกิน 25 เฟรมต่อวินาทีทั้งหมด แต่ประสิทธิภาพของโมเดลยังดีไม่เท่ากันอยู่ และบางโมเดลจะมีค่า mAP ที่ต่ำมากปัจจัยหนึ่งเนื่องจากข้อมูลที่ใช้มีจำนวนต่ำเกินไป แต่ในการทดลองนี้เพียงแค่อ้างอิงเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในงานภาพถ่ายทางอากาศเท่านั้น จึงใช้ผลการทดลองนำมาเป็นผลการทดสอบ ซึ่งผลการทดลองพบว่า YOLOv7 มีค่าความแม่นยำที่สูงมากเมื่อเทียบกับโมเดลตัวอื่น ๆ แต่ Fast R-CNN กับ RetinaNet มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน เนื่องจาก RetinaNet มี FPS ที่สูงกว่า Fast R-CNN มาก แต่ความแม่นยำของ RetinaNet ต่ำกว่ามาก ในขณะที่ Fast R-CNN มีขนาดความจุต่ำกว่าโมเดลตัวอื่น ๆ มาก โดยใช้ความจุเพียง 28.3 เมกะไบต์

5. การอภิปรายผล

ตารางที่ 2 ข้อดี-ข้อเสียของแต่ละโมเดล

model	ข้อดี	ข้อเสีย
YOLOv7	มีความไวมากที่สุดในการทำงานเมื่อเทียบกับตัวตรวจจับอื่น ๆ	ใช้ปริมาณในความจุโมเดลยังมากอยู่เมื่อเทียบกับโมเดลบางตัว
RetinaNet	มีความไวในการทำงานเกือบจะไวที่สุด	โมเดลมีขนาดความจุที่มากและความแม่นยำต่ำมาก
Fast R-CNN	ใช้ความจุในการเก็บโมเดลต่ำมากเมื่อเทียบกับตัวอื่น	ความเร็วและความแม่นยำยังไม่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับ YOLO

เมื่อนำผลการทดลองมาสรุปรวมกันในตารางที่ 2 พบว่า YOLOv7 มีความไวสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโมเดลชนิดอื่น ๆ และความไวในการทำงานสอดคล้องกับการทำงานบนกล้องของอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่มีความไว 25 FPS ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งานของ YOLOv7 ที่มีความไวถึง 158.13 FPS แต่โมเดลตัวอื่น ๆ ถึงแม้จะมีความไวที่สามารถใช้กับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ได้ แต่ความแม่นยำยังต่ำอยู่มากเมื่อเทียบกับ YOLOv7

6. สรุป

- YOLOv7 มีข้อดีด้านความเร็วในการประมวลผลสูงมาก สามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์ ใช้งานง่าย สะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งาน รองรับการตรวจจับวัตถุได้หลากหลายประเภท แต่ความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุอาจไม่สูงเมื่อเทียบกับโมเดลตัวอื่น ๆ ที่วัดจาก mAP

- RetinaNet มีข้อดีด้านความเร็วในการประมวลผลสูง ใกล้เคียงกับ YOLOv7 ความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุสูง รองรับการตรวจจับวัตถุได้หลากหลายประเภท แต่การใช้งานในการประมวลผลอาจซับซ้อนกว่า YOLOv7 ทำให้ขนาดโมเดลมีความจุมาก

- Fast R-CNN มีข้อดี คือ ความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุสูงและรองรับการตรวจจับวัตถุได้หลากหลายประเภท แต่มีความเร็วในการประมวลผลต่ำ อาจไม่เหมาะกับการทำงานแบบเรียลไทม์ ใช้งานซับซ้อนน้อยกว่า YOLOv7 และ RetinaNet จากการศึกษาพบว่า โมเดล YOLOv7 เป็นโมเดลที่มีความเร็วเมื่อเทียบกับโมเดลชนิดอื่น ๆ ถึงแม้จะมีความซับซ้อนมากกว่า Fast R-CNN ก็ตาม ซึ่งเป็น

โมเดลที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยและการประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายทางอากาศที่ได้มาจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ขณะเรียลไทม์ให้สอดคล้องกับความเร็วในการทำงานกับกล้องตรวจจับ และในงานทดลองขั้นถัด ๆ ไปในการตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศในขณะเคลื่อนที่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทั้งในการประยุกต์ใช้งานด้านความมั่นคง ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนกำลังพล จำนวนคน จำนวนรถ จำนวนเครื่องบิน เป็นต้น อีกทั้งในการกิจการกู้ภัยในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ประสบปัญหาในการเข้าถึงพื้นที่นั้น ๆ ได้อย่างยากลำบาก โมเดลนี้มีความเหมาะสมในการนับจำนวนวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศ รวมถึงการนำเอาข้อมูลต่าง ๆ ไปใช้ในการตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศทั้งที่เป็นภาพถ่ายแบบนิ่งและภาพเคลื่อนไหว

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Q. M. Chung, T. D. Le, T. V. Dang, N. D. Vo, T. V. Nguyen, and K. Nguyen, "Data Augmentation Analysis in Vehicle Detection from Aerial Videos," in *2020 RIVF Int. Conf. Comput. Commun. Technol. (RIVF)*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/RIVF48685.2020.9140740.
- [2] S. Ali, A. Siddique, H. F. Ates, and B. K. Güntürk, "Improved YOLOv4 for Aerial Object Detection," in *2021 29th Signal Process. Commun. Appl. Conf. (SIU)*, Istanbul, Turkey, 2021, pp. 1 - 4, doi: 10.1109/SIU53274.2021.9478027.
- [3] Y. Zuo, J. Yang, Z. Zhu, R. Li, Y. Zhou, and Y. Zheng, "Real-Time Semantic Seg-

- mentation of Aerial Videos Based on Bilateral Segmentation Network," in *2021 IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS)*, Brussels, Belgium, 2021, pp. 2763-2766, doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554952.
- [4] I. Yurchuk, V. Kovdrya, and L. Bilyanska, "Segmentation of Digital Images of Aerial Photography," in *2019 IEEE 5th Int. Conf. Actual Problems Unmanned Aerial Vehicles Develop. (APUAVD)*, Kiev, Ukraine, 2019, pp. 258-261, doi: 10.1109/APUAVD47061.2019.8943841.
- [5] G. - S. Xia *et al.*, "DOTA: A Large-scale Dataset for Object Detection in Aerial Images," in *IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit. (CVPR)*, Salt Lake City , UT, USA, 2018, pp. 3974 - 3983.
- [6] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *2016 IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit. (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 779-788. doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- [7] T. -Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Focal Loss for Dense Object Detection," in *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 42, no. 2, pp. 318-327, Feb. 2020, doi: 10.1109/TPAMI. 2018. 2858826.
- [8] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detectionwith Region Proposal Networks," in *Adv. Neural Inf. Process. Syst. 28 (NIPS 2015)*, C. Cortes, N. Lawrence, D. Lee, M. Sugiyama and R. Garnett, Eds. 2015, pp. 1 - 9.
- [9] K. O'Shea and R. Nash, "An Introduction to Convolutional Neural Networks," 2015, arXiv:1511.08458.
- [10] J. Sun, B. Li, Y. Jiang, and C.-y. Wen, "A Camera-Based Target Detection and Positioning UAV System for Search and Rescue (SAR) Purposes," *Sensors*, vol. 16, no. 11, p. 1778, 2016, doi: 10.3390/s16111778.

การวิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง

ไพศาล บุญยรัตน์^{1*} อมร พรชัย¹ นิกร กุหลาบอำ¹ พิพัฒน์ จันทิมาเจริญ¹
ธีรภัทร์ กิตตินรินทร์กุล^{1**} นิธิ อนุกุลสัมพันธ์² และ ปัทพงษ์ ศรีโพธิ์²

วันที่รับ 4 กันยายน 2566 วันที่แก้ไข 20 กันยายน 2566 วันตอบรับ 22 กันยายน 2566

บทคัดย่อ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้วิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง โดยเลือกใช้ดินขับจรวดเชื้อเพลิงแข็ง เพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือทางเลือกในการนำส่งสารเคมีผงชนิด ABC 90% เข้าไปปล่อยในกลุ่มเพลิงเป้าหมาย เพื่อลดความรุนแรงของเปลวไฟ ในการสนับสนุนภารกิจการดับเพลิงกับกลุ่มอาคารที่มีความสูงต่ำกว่า 23 เมตร ซึ่งในการวิจัยได้ดำเนินการผลิตและทดสอบจนกระทั่งได้ต้นแบบทั้งในส่วนระบบขับเคลื่อนและระบบการปล่อยกระจายสารดับเพลิง ตลอดจนทำการทดสอบภาคสถิติและภาคพลวัต เพื่อตรวจสอบการทำงานของจรวด และประสิทธิภาพในการหน่วงหรือดับไฟ ผลจากการวิจัย พบว่า ระบบขับเคลื่อนมีการทำงานสมบูรณ์ และมีแรงขับเพียงพอสำหรับขับเคลื่อนจรวดดับเพลิงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 มิลลิเมตร ยาว 130 เซนติเมตร น้ำหนักรวมไม่เกิน 7 กิโลกรัม ไปสู่เป้าหมายที่มีความสูง 23 เมตร ระยะห่างจากจุดตั้งยิง 100 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error) ไม่เกิน 1.25% ของระยะยิง และสามารถปล่อยกระจายสารดับเพลิง ชนิดผง ABC 90% ประมาณ 3 กิโลกรัมต่อนัด โดยใช้ชุดระบบหน่วยเวลาอิเล็กทรอนิกส์ให้ครอบคลุมพื้นที่ ได้ประมาณ 13 - 30 ตารางเมตร จรวดดับเพลิงสามารถยิงเข้าพื้นที่เป้าหมายโดยการคำนวณจากโปรแกรม อำนวยการยิง และกำหนดเวลาให้สอดคล้องกับพิกัดเป้าหมาย สำหรับประสิทธิภาพในการหน่วงไฟ พบว่า สามารถหน่วงไฟที่กำลังลุกไหม้ในช่วงของปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลาม (Flashover) ซึ่งมีอุณหภูมิของเปลวเพลิง ในช่วง 500 - 1,000 องศาเซลเซียส ที่กำลังจะเข้าสู่ขั้นการลุกลาม ให้สามารถลดความรุนแรงลง อยู่ในช่วง 200 - 300 องศาเซลเซียสได้ โดยจากการทดสอบกับกองเพลิงจำลองเทียบเคียงกับระดับความสามารถของ เครื่องดับเพลิง 3-A และทดสอบกับกองเพลิงที่มีลักษณะเป็นห้องพักผ่อนหรือที่พักอาศัย โดยมีพื้นที่ห้องขนาด กว้าง 5 เมตร และยาว 7 เมตร พบว่า ต้องใช้จรวดจำนวน 8 นัด จึงจะสามารถลดความรุนแรงของกลุ่มเพลิง จากปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลามให้ลดลงเข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีการอื่นได้

คำสำคัญ : จรวดดับเพลิง, สารดับเพลิง, ช่วงไฟไหม้ลุกลาม, ชุดหน่วยเวลา

¹ ส่วนปฏิบัติการระบบขับเคลื่อน, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ส่วนงานวิศวกรรมระบบควบคุมและการสื่อสาร, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: paisarn.b@dti.or.th

** ผู้แต่ง, อีเมล: thirapat.k@dti.or.th

Research and Development of a Fire Fighting Rocket System

Paisarn Boonyarat^{1*} Amorn Pornchai¹ Nikorn Gulabum¹ Pipat Chantiwacharoen¹
Thirapat Kitinirunkul^{1**} Nithi Anukulsumpan² and Pattapong Sripho²

Received 4 September 2023, Revised 20 September 2023, Accepted 22 September 2023

Abstract

The Defense Technology Institute has researched and developed a Fire Fighting Rocket. Composite solid propellant was chosen for the propulsion system. The rocket is to be used as an alternative tool for delivering fire extinguishing agent type 90% ABC into the targeted fire in order to reduce the fire intensity, and support firefighting missions in buildings with heights less than 23 meters. This research has produced, tested, and evaluated the rocket until a prototype was obtained for the extinguishing agent explosive dispersion system and propulsion system, as well as static and dynamic testing to assess rocket functionality and fire-retarding or extinguishing performance. This research found that the propulsion system worked correctly and had sufficient thrust to propel a Fire Fighting Rocket with a diameter of 89 millimeters, a length of 130 centimeters, and a total weight not exceeding 7 kilograms to target at a height of 23 meters, and a distance from launcher of 100 meters, with accuracy measured by a probable error not exceeding 1.25% of the firing range. An electronic timer was used as a time delay system that can release 3 kilograms of fire 90% ABC extinguishing agent per shot covering an area of 13 - 30 square meters. The Fire Fighting Rocket can be fired into the target area by calculations from the firing control program and setting the time following the target coordinates. For fire-retardant performance, it was found that the rocket was able to retard fires that were burning in the Flashover phenomenon stage, which had a flame temperature of 500 - 1,000 degrees Celsius and were transitioning to fully developed stage, reducing the fire severity to the 200 - 300 degrees Celsius region. Tests were conducted with simulated fire stacks comparable to 3-A fire extinguisher test conditions and fires simulating fire within a living room or residence with area of 5 meters wide and 7 meters long. It was found that 8 rockets were required to reduce the fire intensity from the flashover phenomena down to levels that allow firefighters to enter and manage the fire using other methods.

Keywords : Fire fighting rocket, Extinguishing agent, Flashover, Time delay.

¹ R&D Workshop Propulsion Operation Division, Defence Technology Institute

² Control and Communication Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: paisarn.b@dti.or.th

** Corresponding author, E-mail: thirapat.k@dti.or.th

1. บทนำ

จากสถานการณ์เพลิงไหม้ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน กับอาคารทั่วไป ตึกแถว อาคารพาณิชย์ หรือบริเวณชุมชนที่แออัด ซึ่งกลุ่มอาคารดังกล่าวไม่จัดอยู่ในกลุ่มอาคารสูงตามความในข้อ 16 - 20 ของกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 [1] ซึ่งมีการควบคุมให้ทุกอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 23 เมตร ขึ้นไป ต้องดำเนินการเกี่ยวกับระบบสัญญาณเตือนเพลิงไหม้ และติดตั้งระบบป้องกันเพลิงไหม้ และมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ จึงทำให้มีโอกาสเกิดเหตุเพลิงไหม้ลุกลามเป็นวงกว้างมากกว่า ซึ่งโดยส่วนใหญ่กลุ่มอาคารดังกล่าวจะมีลักษณะโครงสร้างเป็นอาคารเก่า ไม่มีระบบป้องกันเพลิงไหม้ ระบบดับเพลิง หรือมีแต่ไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถควบคุมเพลิงได้ทันทั่วทั้งที่ การดับเพลิงโดยส่วนใหญ่จะเป็นการระดมเจ้าหน้าที่เข้าไปดำเนินการฉีดน้ำหรือสารเคมีเพื่อดับเพลิงและยับยั้งความรุนแรงของเปลวเพลิงไม่ให้พลังงานความร้อนจากเปลวเพลิงไปทำลายโครงสร้าง ความแข็งแรงของอาคาร ซึ่งหากยับยั้งหรือดับเพลิงได้ไม่ทัน จะทำให้โครงสร้างของอาคารเกิดการทรุดตัวลงมา ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนได้ และเนื่องจากในการเข้าเผชิญเหตุจะต้องรอให้การไฟฟ้ามาดำเนินการตัดกระแสไฟฟ้าให้เรียบร้อยก่อน จึงสามารถเข้าดำเนินการเพื่อช่วยเหลือบุคคลที่ติดอยู่ภายในอาคารได้ ซึ่งในระหว่างนี้ เปลวเพลิงอาจทวีความรุนแรงทำให้โครงสร้าง ความแข็งแรงของอาคารลดลง ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ดับเพลิงมีความเสี่ยงสูงในการเข้าไปปฏิบัติงานในอาคารดังกล่าว อีกทั้งในกรณีที่มีการฉีดน้ำเข้าอาคารปริมาณมากเกินไปจะมีความเสี่ยงทำให้โครงสร้างอาคารเกิดการทรุดตัวลงทับเจ้าหน้าที่ได้

ด้วยข้อจำกัดด้านความปลอดภัยในการเข้าพื้นที่สำหรับปฏิบัติการดับเพลิงหรือช่วยเหลือในการ

อพยพบุคคลที่ติดอยู่ภายในอาคาร จะเป็นการดีหากมีเครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่สามารถช่วยในการชะลอหรือลดความรุนแรงของเปลวเพลิงในช่วงรอการไฟฟ้าเข้ามาดำเนินการตัดกระแสไฟฟ้า โดยการนำสารดับเพลิงประเภทผงเคมี ABC ซึ่งมีส่วนประกอบหลักจากโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Mono Ammonium Phosphate หรือ MAP) ที่มีประสิทธิภาพในการดับไฟได้ทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย Class A วัสดุของแข็งทั่วไป Class B ของเหลวติดไฟ และ Class C เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ [2] เข้าไปยับยั้งชะลอหรือหน่วงไฟให้ความรุนแรงของเปลวไฟลดลง อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณการฉีดน้ำเข้าไปในตัวอาคาร ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการทรุดตัวของอาคารจากน้ำหนักของน้ำ

ดังนั้น การพิจารณาแนวทางประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจรวดสำหรับใช้เป็นพาหนะสำหรับนำส่งสารดับเพลิงประเภทผงเคมี ABC จึงเป็นอีกแนวทางเลือกที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการปฏิบัติงานให้กับเจ้าหน้าที่ที่จะต้องเข้าไปปฏิบัติงานในพื้นที่อาคารและช่วยให้มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานมากขึ้นได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในต่างประเทศมีแนวคิดพัฒนาอุปกรณ์สำหรับการดับเพลิงบนอาคารสูง เช่น สิทธิบัตรของสาธารณรัฐประชาชนจีน หมายเลข CN 102580278 [3] ได้แสดงถึงระบบเครื่องยิงหลายลำกล้องสำหรับดับเพลิงอาคารสูง ท่อยิงมีลักษณะเป็นปืนไร้แรงสะท้อนแบบ Davis Gun ซึ่งยิงกระสุนที่บรรจุผงเคมีดับเพลิงออกทางด้านหน้าและผลักของเหลวออกทางด้านหลัง ทำให้สามารถใช้ยิงในเขตเมืองได้โดยไม่มีเปลวไฟออกด้านท้ายท่อยิงและไม่มีเสียงดังที่อาจทำให้เกิดความตื่นตระหนก ดังแสดงในรูปที่ 1

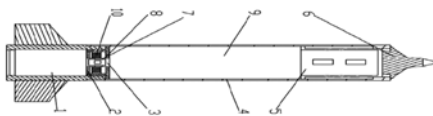


รูปที่ ๑ การทดสอบกระสุนดับเพลิงอาคารสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีน [4]



รูปที่ ๓ การทดสอบจรวดดับเพลิงอาคารสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีน [8]

รูปที่ 2 และ 3 แสดงถึงรายละเอียดและการทดสอบในสิทธิบัตรของสาธารณรัฐประชาชนจีน หมายเลข CN 102772865 [5] ซึ่งแสดงถึงจรวดที่เป็นท่อโลหะบรรจุผงเคมีดับเพลิง ซึ่งจะทำงานโดยการจุดตัวจุดจรวด (Igniter) ที่ด้านท้าย แล้วผลักดันสู่ให้ต้นผงเคมีดับเพลิงพุ่งออกทางช่องกระจายสารด้านหน้า พร้อมกับผลักร่มหน่วงความเร็วออกด้านท้าย เป็นระบบนิรภัยกรณีจรวดพลาดเป้าหมาย จรวดหนึ่งลูกบรรจุผงเคมีดับเพลิง 3.6 กิโลกรัม ดับเพลิงได้ในห้องปริมาตร 60 ลูกบาศก์เมตร [6] คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 20 ตารางเมตร และมีราคาประมาณ 30,000 หยวนต่ออัน (ประมาณ 150,000 บาท ต่ออัน) [7] แต่จรวดดับเพลิงของสาธารณรัฐประชาชนจีน จะต้องเพิ่มระยะปลอดภัยด้านหลังฐานยิง ซึ่งจะเป็นปัญหาในการใช้งานภายในเมืองที่มีพื้นที่จำกัด หากพัฒนาอุปกรณ์ที่ขับเคลื่อนด้วยจรวด โดยออกแบบให้จรวดมีแรงขับไม่สูงมาก เพียงพอต่อการส่งลูกจรวดถึงระยะเป้าหมายเท่านั้น จะสามารถส่งผงเคมีดับเพลิงปริมาณมากขึ้นได้ โดยไม่เกิดเปลวไฟหรือเสียงดังมากเกินไป และไม่จำเป็นต้องเพิ่มระยะปลอดภัยด้านหลังฐานยิง

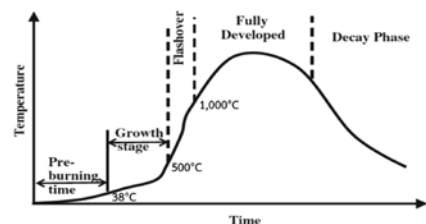


รูปที่ ๒ แบบจรวดดับเพลิงอาคารสูงของสาธารณรัฐประชาชนจีนจากสิทธิบัตร CN 102772865

จากองค์ความรู้ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเกี่ยวกับการพัฒนาจรวดที่มีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกัน เช่น จรวดส่งดาวเทียมขนาดเล็ก (CanSat) จรวดดัดแปรสภาพอากาศ ซึ่งเป็นจรวดสำหรับปล่อยกระจายพลุซิลเวอร์ไอโอไดด์เข้าสู่ก้อนเมฆ โดยมีระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Timer) ในการส่งจุด จึงทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาต่อยอดโดยการเปลี่ยนส่วนบรรทุกอุปกรณ์ (Payload) จากเดิมเป็นผงสารดับเพลิงแทน

2.2 ปรากฏการณ์ที่สำคัญเกี่ยวกับไฟไหม้

กลไกในการลุกลามของไฟ สามารถแบ่งออกเป็นช่วงต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 [9] - [10] ซึ่งจรวดดับเพลิงจะช่วยทำให้ไฟที่กำลังลุกไหม้ในช่วงไหม้ลุกไหม้ (Flashover) ที่มีอุณหภูมิสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส และกำลังจะเข้าสู่ขั้นการลุกลามให้ลดความรุนแรงของเปลวเพลิงลงเหลือ 200 - 300 องศาเซลเซียส จนเข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีอื่นได้



รูปที่ ๔ ช่วงการพัฒนาของการเกิดเพลิงไหม้ [9]

2.2.1 ช่วงลุกไหม้ (Pre-burning Time)

เป็นช่วงที่เริ่มมีการลุกไหม้ขึ้นที่ต้นกำเนิดของไฟที่ลุกติดวัสดุเชื้อเพลิง อยู่ในช่วงตั้งแต่เห็นเปลวไฟ 1 - 4 นาที โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 38 องศาเซลเซียส ในขั้นนี้สามารถดับไฟที่เกิดขึ้นได้โดยใช้เครื่องดับเพลิงเบื้องต้น

2.2.2 ช่วงขยายตัว (Growth Stage)

เป็นช่วงที่ไฟเริ่มขยายตัวมากขึ้น เกิดหลังจากลุกไหม้ 4 - 5 นาที จะเกิดการแผ่รังสีความร้อนไปยังวัสดุอื่นจนเกิดไอของเชื้อเพลิงออกมา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลาม (Flashover) หากใช้เครื่องดับเพลิงเบื้องต้นในการควบคุมเพลิง ผู้ดับเพลิงต้องมีความชำนาญและจำเป็นต้องมีอุปกรณ์จำนวนมากและเพียงพอ

2.2.3 ช่วงไฟไหม้ลุกลาม (Flashover)

เป็นปรากฏการณ์ของการลุกไหม้อย่างรุนแรงในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosed Space) โดยจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนจากจุดที่เกิดไฟขึ้นสู่ด้านบนโดยรอบ จนความร้อนที่เกิดในห้องเพิ่มสูงขึ้น ทำให้วัตถุที่อยู่ในห้องนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิลุกไหม้ (Ignition Temperature) และเกิดการลุกติดไฟขึ้นพร้อม ๆ กันจนท่วมห้อง ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นหลังเกิดการลุกไหม้ 7 - 8 นาที และมีอุณหภูมิ 500 - 1,000 องศาเซลเซียส

2.2.4 ช่วงลุกติดไฟเต็มที่ (Fully Developed)

เป็นช่วงที่มีการติดไฟอย่างเต็มที่ ในช่วงนี้มีอุณหภูมิประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณเชื้อเพลิง ความหนาแน่นของไอเชื้อเพลิง และคุณสมบัติของสิ่งต่าง ๆ โดยรอบบริเวณนั้น

2.2.5 ช่วงไฟมอดดับ (Decay Phase)

เป็นช่วงที่เริ่มขาดปัจจัยในการลุกไหม้ จึงทำให้ไฟมอดและเริ่มดับลง

3. การออกแบบจรวดดับเพลิง

3.1 ส่วนประกอบของจรวด

การออกแบบจรวดดับเพลิง เริ่มต้นจากการกำหนดรูปร่างดินขับจรวดและรูปร่างของจรวดตามลักษณะการใช้งาน และกำหนดวัสดุที่จะใช้ในแต่ละส่วนประกอบ เพื่อให้สามารถประเมินน้ำหนักจรวดเบื้องต้น สำหรับใช้ในการคำนวณชิปนวิธิภายนอกของจรวด (External Ballistic) รวมถึงคำนวณชิปนวิธิภายในของเชื้อเพลิงดินขับ (Internal Ballistic) เพื่อหาค่าแรงดลรวม (Total Impulse) ที่จะใช้ขับเคลื่อนจรวดให้ไปถึงยังเป้าหมายที่ระยะและความสูงที่ต้องการต่อไป โดยส่วนประกอบของจรวดดับเพลิงแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

3.1.1 ส่วนหัวจรวด

เป็นส่วนที่ครอบปิดอยู่ทางด้านหน้าสุดของลำตัวจรวด ช่วยลดแรงต้านอากาศขณะจรวดเคลื่อนที่ ทำจากวัสดุพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตไกลคอล (Polyethylene Terephthalate Glycol: PETG) ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) รูปทรงครึ่งวงกลม (Half sphere) มีน้ำหนักเบา เมื่อเกิดการระเบิดเพื่อกระจายสารดับเพลิงแล้วไม่ส่งผลให้เกิดอันตรายขณะที่ชิ้นส่วนแตกกระจายหรือตกลงสู่พื้นด้านล่าง

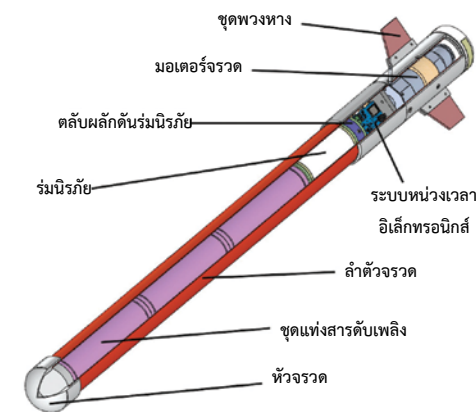
3.1.2 ส่วนชุดพวงหางจรวด

เป็นส่วนที่สวมครอบทับทางด้านท้ายของลำตัวจรวด ทำหน้าที่ช่วยในการทรงตัวและทำให้จรวดมีความเสถียรในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า สำหรับพวงหาง (Tail Case) ทำจากวัสดุ PETG ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) ส่วนครีบบาง

(Tail Fin) ทำจากวัสดุพลาสติกอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-butadiene-styrene: ABS) ลักษณะครีบอกแบบเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 4 ใบ ติดในตำแหน่งที่สมมาตรกัน

3.1.3 ส่วนลำตัวจรวด

ทำด้วยท่อกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 130 มิลลิเมตร ภายในบรรจุส่วนประกอบย่อย 5 ส่วน โดยเรียงลำดับจากส่วนท้ายจรวดไปทางส่วนหัวจรวด ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ ๕ ส่วนประกอบของจรวดดับเพลิง

3.1.3.1 ส่วนขับเคลื่อนจรวดหรือมอเตอร์จรวด (Motor)

ทำหน้าที่ขับเคลื่อนจรวดให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงภาระกรรมที่กระทำต่อท่อมอเตอร์จรวด ขณะที่ดินขับจรวดเกิดการเผาไหม้ให้แก๊สร้อนที่มีอุณหภูมิและแรงดันสูงชุดมอเตอร์จรวดประกอบด้วยชิ้นส่วนดังนี้

ท่อมอเตอร์จรวด (Motor Tube)

เป็นท่อทรงกระบอกที่บรรจุดินขับจรวดและตัวจุดจรวดอยู่ภายใน จะทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ของดินขับจรวด ในการออกแบบใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 T5 ที่ผ่านการทดสอบแรงดันน้ำ ด้วยเครื่องจักรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จังหวัดลพบุรี หลังจากทำเกลียวสำหรับสวมประกอบที่ด้านหัว - ท้ายของท่อแล้ว

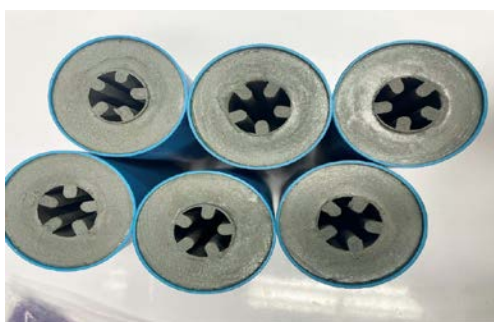
ฉนวนกันความร้อนท่อมอเตอร์ (Insulation)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มดินขับและบรรจุอยู่ภายในท่อมอเตอร์จรวด เพื่อป้องกันความร้อนจากการเผาไหม้ของดินขับไม่ให้ทำลายโครงสร้างความแข็งแรงของท่อมอเตอร์จรวดโดยตรง ในการออกแบบใช้พลาสติกพีวีซี (PVC) เป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากมอเตอร์จรวดมีขนาดเล็ก ปริมาณดินขับค่อนข้างน้อย เวลาการเผาไหม้ไม่นานมาก โดยจะทำการหล่อดินขับลงไปในท่อพีวีซีในลักษณะเชื่อมประสานกับผนังท่อ (Case bonded) เพื่อให้ดินขับยึดติดอยู่กับท่อพีวีซีก่อนบรรจุเข้าไปในท่อมอเตอร์จรวด

ดินขับจรวด (Propellant)

เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนลูกจรวด ในการออกแบบเลือกใช้ดินขับจรวดเชื้อเพลิงแข็งแบบฐานผสมชนิดดินขับคอมโพสิต (Composite) รูปร่างของแท่งดินขับเป็นแบบ 1 ท่อน ยาว 118.5 มิลลิเมตร และโพรงดินขับเป็นรูปร่างแบบ 5 แฉก (Wagon wheel) ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งส่วนผสมเป็นสารเคมีจำพวกยางโพลียูรีเทนที่มีการเติมผงออกซิไดเซอร์และผงเชื้อเพลิงเข้าไป ซึ่งเมื่อมีการจุดด้วยตัวจุดจรวด (Igniter) จะเกิดการเผาไหม้สลายตัวให้แก๊สร้อนที่มีความดันสูงผลักดันออกมาทางด้านท้ายจรวด เพื่อเกิดแรงขับให้สามารถขับเคลื่อนจรวดไปได้ โดยมีการประยุกต์ใช้และปรับสูตรส่วนผสมดินขับจรวดที่ใช้อยู่ปัจจุบันของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สูตรดินขับ

ที่ใช้ในโครงการวิจัยและพัฒนาจรวดดัดแปรสภาพอากาศ เนื่องจากเป็นสูตรดินขับที่มีค่าคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว สามารถนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดสูตรดินขับ [11] และคำนวณการออกแบบรูปร่างของแท่งดินขับ เพื่อให้ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับเวลา และความดันกับเวลาที่เพียงพอในการผลักดันให้จรวดดับเพลิงเคลื่อนที่ไปถึงยังเป้าหมายที่กำหนดได้



รูปที่ ๖ เชื้อเพลิงดินขับจรวดดับเพลิง

ชุดท่อท้ายจรวด (Nozzle Assembly)

เป็นส่วนที่สวมประกอบเข้ากับด้านท้ายของหัวมอเตอร์จรวด ทำหน้าที่เป็นช่องทางออกของแก๊สร้อนในการออกแบบใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 T5 และขนาดรูหัวฉีดท้ายท่อจรวด (Nozzle Throat) ขนาด 11 มิลลิเมตร วัสดุทำจากกราไฟต์เกรด IG15

ส่วนปิดด้านหัว (Head Plug)

มีลักษณะเป็นฝาปิดตัน ในการออกแบบใช้วัสดุอะลูมิเนียมเกรด 6063 T5 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปิดกั้นบริเวณส่วนหัวของมอเตอร์จรวดไม่ให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ไหลผ่านไปได้ โดยในการประกอบจะใช้การซีลโคนทนความร้อนทาบบริเวณเกลียว เพื่อซีลไม่ให้แก๊สรั่วผ่านไปได้ และภายในจะมีโดมสำหรับบรรจุตัวจุดจรวด (Igniter)

ชุดจุดจรวด (Igniter Assembly)

ทำหน้าที่จุดประกายไฟและให้ความดัน

เริ่มต้นภายในหัวมอเตอร์จรวด เพื่อให้ดินขับจุดตัวและเผาไหม้ ในการออกแบบใช้วัสดุทำจากแบกกาไลต์ (Bakelite) ภายในบรรจุขวนไฟฟ้า (Electric Squib) และเม็ดดินจุดไฟโรเทคนิค ซีลผนึกกันความชื้น เพื่อเตรียมนำไปประกอบเข้ากับโดมในส่วนปิดด้านหัว (Head Plug)

3.1.3.2 ชุดระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Timer)

ทำหน้าที่หน่วงเวลาในการกระจายสารดับเพลิงและร่นนิรภัยตามเวลาที่กำหนดไว้โดยจะตั้งเวลาจากการคำนวณด้วยโปรแกรมอำนวยความสะดวก ซึ่งเมื่อถึงตำแหน่งเป้าหมาย (ตามเวลาที่กำหนด) ระบบจะส่งจุดกระจายสารดับเพลิงเข้าสู่กลุ่มไฟ พร้อมกับส่งจุดกลับผลักดันร่นนิรภัยให้ดันชุดร่นทางออก

3.1.3.3 ตลับผลักดันร่นนิรภัย (Ejection Case)

เป็นชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุพลาสติกซูเปอร์ลีน (Superlene) สำหรับไว้ใช้บรรจุดินดำและขวนไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่ผลักดันร่นนิรภัยให้ทำงานพร้อมชุดสารดับเพลิง หลังจากที่ได้รับกระแสไฟฟ้าที่ส่งมาจากชุดระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้

3.1.3.4 ชุดร่นนิรภัย (Recovery)

จะถูกผลักร่อนออกจากท่อลำตัวจรวด ขณะเดียวกันกับที่ชุดสารดับเพลิงกระจายตัว เพื่อนำขึ้นส่วนจรวดที่เป็นส่วนขับเคลื่อนให้ตกลงสู่พื้นด้วยความเร็วที่ปลอดภัยในกรณีที่จรวดเคลื่อนที่พลาดเป้าหมาย โดยออกแบบให้ร่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร วัสดุทำจากผ้ารีปสต็อป (Rip-stop)

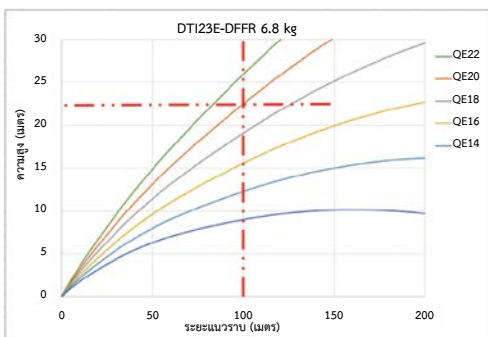
3.1.3.5 ชุดแท่งสารดับเพลิง (Extinguish Pack)

ทำหน้าที่กระจายสารดับเพลิง ABC 90% จำนวน 3 แท่ง รวมน้ำหนัก 3 กิโลกรัม ซึ่งบรรจุใส่

ภาชนะที่ทำจากกระดาษ (ป้องกันอันตรายจากการกระจายตัวของเศษชิ้นส่วน) ออกแบบโดยใช้ชนวนไฟฟ้า (Electric Squib) จุดดินดำประมาณ 100 กรัม ที่บรรจุอยู่บริเวณโพรงกลางของแท่งสารดับเพลิง ยาวตลอดแนวทั้ง 3 แท่ง เพื่อให้เกิดแรงดัน ผลักกระจายสารครอบคลุมพื้นที่ 13 - 30 ตารางเมตร

3.2 ชีปนวิถีภายนอกของจรวด (External Ballistic)

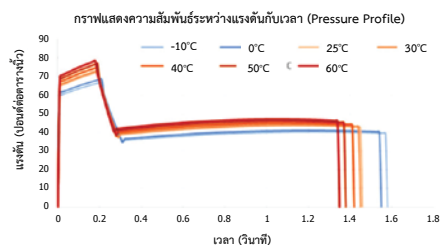
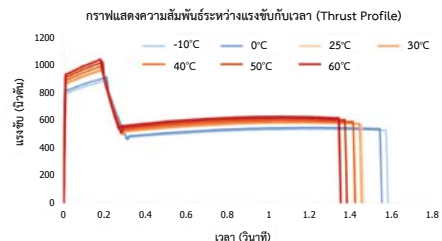
หลังจากที่ได้ออกแบบรูปร่างจรวดเบื้องต้น กำหนดชนิดของวัสดุ และสูตรดินขับที่ใช้แล้ว จะสามารถทราบน้ำหนักรวมจรวด รวมถึงค่าจุดศูนย์กลางของจรวด (Center of Gravity: CG) และค่าจุดศูนย์กลางแรงดัน (Center of Pressure: CP) เพื่อนำมาเข้าโปรแกรมคำนวณชีปนวิถีภายนอก (External Ballistic) ดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อหาองศาในการตั้งมุมยิงที่จะทำให้จรวดไปถึงยังเป้าหมาย และหาค่าแรงดลรวม (Total Impulse) ที่จะใช้ขับเคลื่อนจรวด ซึ่งค่าแรงดลรวมที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ต่อในการออกแบบรูปร่างดินขับจรวดด้วยโปรแกรมคำนวณชีปนวิถีภายในต่อไป ซึ่งในการออกแบบจรวดให้มีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ที่ดีนั้น จะต้องมิตำแหน่งของค่าจุดศูนย์กลางของจรวดอยู่หน้าค่าจุดศูนย์กลางแรงดัน 1.5 - 2.0 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลำตัวจรวด



รูปที่ ๗ ชีปนวิถีภายนอกของจรวดดับเพลิง

3.3 ชีปนวิถีภายในของจรวด (Internal Ballistic)

หลังจากที่ได้เลือกสูตรดินขับจรวดและทราบค่าแรงดลรวมที่ใช้กำหนดในโปรแกรมคำนวณชีปนวิถีภายนอกของจรวดแล้วนั้น จะสามารถกำหนดรูปร่างดินขับจรวดที่ใช้ในโปรแกรมชีปนวิถีภายในของจรวด ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อให้ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับเวลา และความดันกับเวลา (Thrust - Pressure Profile) ที่เพียงพอในการเคลื่อนที่ ซึ่งจากกราฟที่ได้จะทำให้ทราบค่าแรงดันสูงสุด (Max Pressure) เพื่อนำไปคำนวณเกลียวในการสวมประกอบชุดมอเตอร์จรวดที่จะรับแรงกระทำในการจุดตัว และกำหนดค่าแรงดันที่ใช้ในการทดสอบแรงดันน้ำของท่อมอเตอร์จรวด (Motor Tube) และเมื่อทราบรูปร่างของดินขับจรวดที่ใช้คำนวณแล้ว จะทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือในกระบวนการผลิตดินขับจรวดต่อไปได้



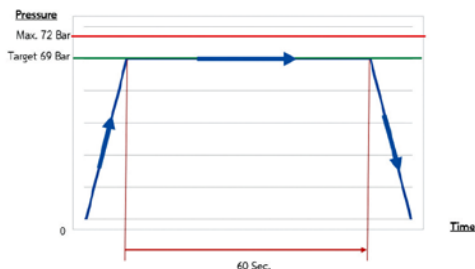
รูปที่ ๘ ชีปนวิถีภายในของจรวดดับเพลิง

3.4 การทดสอบทดลองเพื่อยืนยันผลการออกแบบ

3.4.1 การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test)

เป็นการทดสอบค่าแรงดันที่กระทำต่อเกลียวและตัวท่อมอเตอร์จรวด (Motor Tube) ณ โรงปฏิบัติการ

วิจัยและพัฒนา จังหวัดลพบุรี ในการทดสอบเริ่มจากการเพิ่มความดันจากความดันปกติ ถึงความดันทดสอบที่ 69 บาร์ จากนั้นให้ควบคุมความดันดังกล่าวให้คงที่ไว้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 นาที จำนวน 1 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ ๙ ข้อกำหนดในการทดสอบแรงดันน้ำ

3.4.2 การจุดทดสอบจรวดภาคสถิต (Static Test)

เป็นการจุดทดสอบจรวดที่แท่นจุดทดสอบภาคพื้น ๓ โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อดูการทำงานของมอเตอร์จรวดว่าสามารถรับภาระกรรมจริงที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินขับจรวดได้หรือไม่ โดยนำมอเตอร์จรวดที่ประกอบรวมเรียบร้อยแล้วมายึดเข้ากับแท่นจุดทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งในการทดสอบจะติดตั้งโหลดเซลล์ (Load Cell) ที่บริเวณด้านหน้าของมอเตอร์จรวดเพื่อวัดค่าแรงขับ และติดตั้งเพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ (Pressure Transducer) เพื่อวัดค่าแรงดันจากการจุดทดสอบ จากนั้นนำค่าที่ได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับกับเวลา และความดันกับเวลา ที่วัดได้จริงจากการ

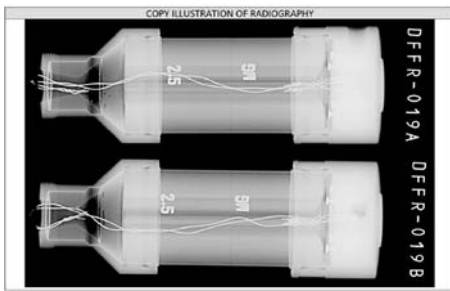
จุดทดสอบไปคำนวณค่าแรงดลรวม และหาขึ้นวิถีภายนอกของจรวดต่อไป



รูปที่ ๑๐ การจุดทดสอบภาคสถิตมอเตอร์จรวดดับเพลิง

3.4.3 การทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน (Qualification Test)

เป็นการจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งานของมอเตอร์จรวดโดยเข้ากระบวนการทดสอบการทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Cycling) การทดสอบการสั่นสะเทือน (Vibration and Shock Test) และการทดสอบตกกระแทก (Drop Test) ซึ่งทั้งก่อนและหลังเข้ารับการทดสอบในแต่ละกระบวนการข้างต้น จะมีการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์มอเตอร์จรวดเก็บไว้ ดังแสดงในรูปที่ 11 เพื่อใช้เปรียบเทียบผลหลังเข้ารับการทดสอบในแต่ละกระบวนการว่ามอเตอร์จรวดหรือดินขับจรวดได้รับความเสียหายจากการทดสอบหรือไม่ หากผ่านการทดสอบทุกกระบวนการแล้วไม่ได้รับความเสียหาย ขั้นตอนถัดไปจะนำมอเตอร์จรวดไปแช่เย็นและอบร้อนที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิต่ำ (-10 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส) ก่อนที่จะนำมาจุดทดสอบภาคสถิตตามจำนวนที่กำหนด เพื่อยืนยันความไว้วางใจได้ตามมาตรฐานทางการทหาร (Military Standard)



รูปที่ ๑๑ ภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์

3.4.4 การทดสอบจรวดภาคพลวัต (Dynamic Test)

เป็นการทดสอบจรวดภาคพลวัต ณ แผนกอาหารสัตว์ กองการสัตว์และเกษตรกรรมที่ 3 กรมการสัตว์ทหารบก จังหวัดนครสวรรค์ เพื่อตรวจสอบการทำงานของจรวดดับเพลิงในภาพรวมที่มียิงที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 12 เพื่อให้ทราบว่าจรวดจะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเพียงพอที่จะใช้อิงในลักษณะวิถีตรง (เล็งตรง) โดยในการทดสอบจะกำหนดค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error) ไว้ที่ 1.25% ของระยะยิง โดยวิธีการตรวจวัดจะใช้กล้องความเร็วสูง (High Speed Camera) ในการบันทึกภาพการทำงานของจรวดจำนวน 3 จุด คือ ที่บริเวณหน้าแท่นยิงจรวด ด้านข้างของเป้า และที่รอบเป้าหมายขนาด 2.50 เมตร โดยคิดจาก 1.25% ของระยะยิง 100 เมตร (ความคลาดเคลื่อนด้านละ 1.25 เมตร)



รูปที่ ๑๒ การทดสอบภาคพลวัตจรวดดับเพลิง

3.4.5 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

3.4.5.1 การทดสอบระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง

เป็นการทดสอบเพื่อหาระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง ซึ่งจะทำให้การทดสอบการกระจายสารทั้งในพื้นที่เปิดโล่ง และในพื้นที่ปิด ที่มีพื้นที่ 6x6 ตารางเมตร และ 4x4 ตารางเมตร ตามลำดับ โดยจะแขวนจรวดไว้ที่บริเวณจุดศูนย์กลางของพื้นที่ทดสอบที่ทำหมุดบอกระยะไว้ จากนั้นจะทำการจุดทดสอบกระจายสาร และทำการวัดพื้นที่ที่สารสามารถกระจายตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ ๑๓ การทดสอบระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง

3.4.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสารดับเพลิง ณ ศูนย์พัฒนาการดับเพลิงและกู้ภัย (CKK Fire & Rescue Training Center) จังหวัดนครปฐม โดยจะมีการจำลองกองเพลิงเทียบเคียงกับระดับความสามารถของเครื่องดับเพลิง 3-A ดังแสดงในรูปที่ 14 แล้วปล่อยให้เพลิงลุกไหม้เป็นเวลามากกว่า 5 นาที จนมีอุณหภูมิของเปลวเพลิง 500 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ซึ่งอยู่ในช่วงของปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลาม จากนั้นจะทำการส่งจรวดดับเพลิงเข้าไปยังพื้นที่เป้าหมาย แล้วทำการจุดทดสอบกระจายสารดับเพลิง และมีการใช้กล้องวัดอุณหภูมิในการตรวจจับค่าอุณหภูมิของเปลวเพลิง

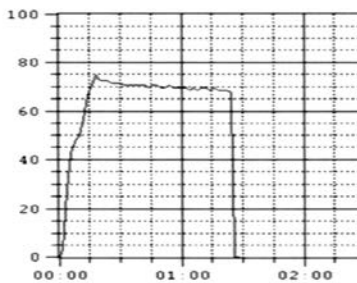


รูปที่ ๑๔ การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

4. ผลการออกแบบจากการทดสอบทดลอง

4.1 การทดสอบแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test)

ผลการทดสอบแรงดันน้ำ พบว่า ท่อมอเตอร์จรวดผ่านเงื่อนไขการทดสอบที่แรงดันคงที่ 69 บาร์ เป็นระยะเวลา 1 นาที และสามารถทนต่อแรงดันเงื่อนไขดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 15 ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้ว่าท่อมอเตอร์จรวดที่ทำการออกแบบและขึ้นรูปทำเกลียวตามแบบนั้น จะสามารถทนต่อแรงดันขณะจรวดจุดตัวได้



รูปที่ ๑๕ ผลการทดสอบแรงดันน้ำของท่อมอเตอร์จรวด

4.2 การจุดทดสอบจรวดภาคสถิต (Static Test)

ผลการทดสอบภาคสถิต พบว่า มอเตอร์จรวดมีการจุดตัวปกติ ไม่มีความเสียหายของชิ้นส่วนจรวด

จากแรงดันหรือความร้อน และค่าพารามิเตอร์สำคัญต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าสอดคล้องตามค่าการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 16 ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้ว่ามอเตอร์จรวดและดินขับจรวดที่ทำการออกแบบไว้นั้น สามารถจุดตัวได้อย่างปลอดภัย และมีผลการทดสอบดังนี้

- ค่าแรงขับสูงสุด 836.93 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 907.40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.52 วินาที



รูปที่ ๑๖ ผลการทดสอบจรวดภาคสถิต

4.3 การทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน (Qualification Test)

ผลการทดสอบภาคสถิตมอเตอร์จรวด หลังผ่านกระบวนการจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน พบว่า ดินขับจรวดจุดตัวปกติและมอเตอร์จรวดไม่มีความเสียหายของชิ้นส่วนจากแรงดันหรือความร้อน และค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดสอบมีค่าสอดคล้องตามค่าการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 17 ดังนั้น จึงสามารถยืนยันความไว้วางใจตามมาตรฐานทางการทหาร (Military Standard) ได้ ทั้งในส่วนของมอเตอร์จรวดและดินขับจรวดที่ทำการ

ออกแบบ เนื่องจากมอเตอร์จรวดจุดตัวได้อย่างปลอดภัย และมีผลการทดสอบดังนี้

ที่อุณหภูมิต่ำ (-10 องศาเซลเซียส)

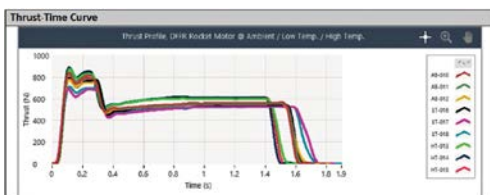
- ค่าแรงขับสูงสุด 748.10 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 817.79 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.61 วินาที

ที่อุณหภูมิห้อง

- ค่าแรงขับสูงสุด 836.93 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 907.40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.52 วินาที

ที่อุณหภูมิสูง (60 องศาเซลเซียส)

- ค่าแรงขับสูงสุด 857.37 นิวตัน
- ค่าแรงดันสูงสุด 927.70 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- ระยะเวลา 1.49 วินาที



รูปที่ ๑๗ ผลการทดสอบภาคสถิติหลังผ่านการทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งาน

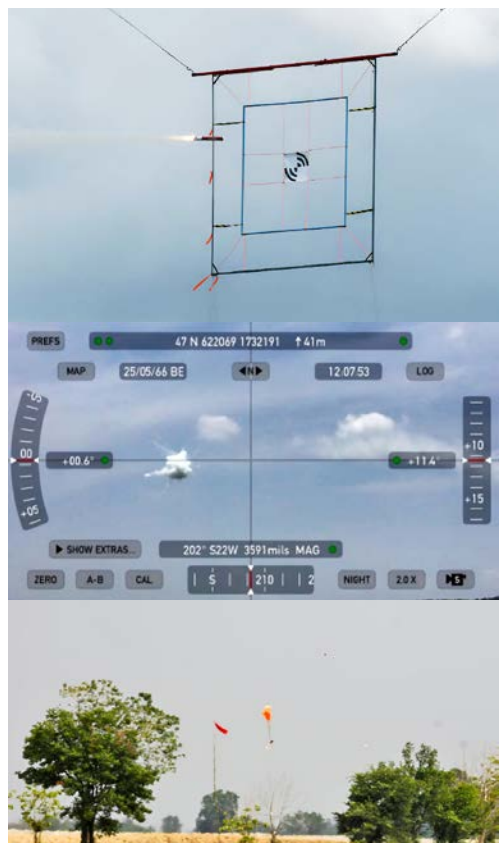
4.4 การจรวดทดสอบจรวดภาคพลวัต (Dynamic Test)

ผลการทดสอบจรวดภาคพลวัตที่ติดตั้งเป้าห่างจากแท่นยิงจรวดเป็นระยะทางแนวราบ 100 เมตร และระยะความสูง ณ จุดศูนย์กลางเป้าสูง 23 เมตร พร้อมทั้งติดตั้งเป้าหมายเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ค่าความคลาดเคลื่อนด้านละ 1.25 เมตร จากจุดศูนย์กลาง (1.25% ของ 100 เมตร) ดังแสดงในรูปที่ 18 พบว่า จรวดสามารถทำงานได้อย่างปกติและสมบูรณ์ ระบบการกระจายสารดับเพลิงและปล่อยร่มนิรภัยมีการขับเคลื่อนออกจากลำตัวจรวดเป็นไปตามการออกแบบที่ระยะที่กำหนด ซึ่งอยู่ในกรอบเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 19

ดังนั้น ผลการทดลองข้างต้นสามารถยืนยันได้ว่าจรวดสามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในลักษณะวิถีตรง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error) ไม่เกิน 1.25% ของระยะยิง



รูปที่ ๑๘ การติดตั้งเป้าเพื่อทดสอบภาคพลวัต



รูปที่ ๑๙ ภาพการทำงานของจรวดดับเพลิง

4.5 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

4.5.1 ระยะการกระจายตัวของสารดับเพลิง

ผลการทดสอบการกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่เปิดโล่งพบว่า เมื่อจุดทดสอบแล้ว สารดับเพลิงสามารถกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 6x6 ตารางเมตร และผลการทดสอบการกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่ปิด ซึ่งจำลองเป็นห้องพักหรือที่พักอาศัย ดังแสดงในรูปที่ 20 และ 21 พบว่า เมื่อจุดทดสอบแล้ว สารดับเพลิงสามารถกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 4x4 ตารางเมตร ซึ่งทั้ง 2 การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของสารดับเพลิงนั้นสามารถทำได้ตามที่ออกแบบไว้ คือ ครอบคลุมพื้นที่ 13 - 30 ตารางเมตร



รูปที่ 20 การกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่เปิดโล่ง



รูปที่ 21 การกระจายสารดับเพลิงในพื้นที่ปิด

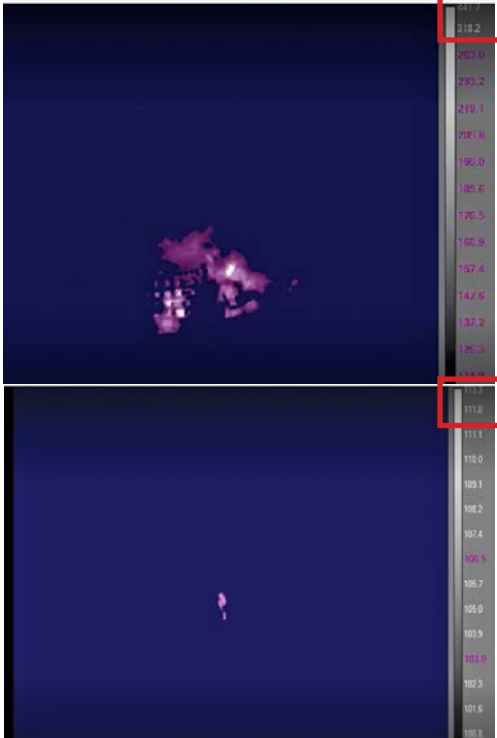


รูปที่ 22 แสดงกองเพลิงก่อนส่งจรวดเข้าหน่วงไฟ (ดับไฟ)

4.5.2 การทดสอบประสิทธิภาพการหน่วงไฟ

ในขั้นแรกเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของสารดับเพลิงกับกองเพลิงจำลองเทียบเคียงกับระดับความสามารถของเครื่องดับเพลิง 3-A พบว่า เมื่อส่งจรวดเข้าดับเพลิงแบบต่อเนื่องจำนวน 8 นัด (สารดับเพลิง 24 กิโลกรัม) สามารถลดอุณหภูมิของเปลวเพลิงจากประมาณ 700 - 800 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 22 ให้ลดลงเหลือน้อยกว่า 300 องศาเซลเซียส และเมื่อสารกระจายทั่วห้อง พบว่า สามารถดับไฟได้โดยอุณหภูมิลดลงเหลือ 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 23

หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดลองหน่วงไฟโดยการจำลองพื้นที่เป็นห้องพักผ่อนหรือที่พักอาศัย ที่มีพื้นที่ห้องขนาดกว้าง 5 เมตร และยาว 7 เมตร พบว่า เมื่อส่งจรวดเข้าดับเพลิงแบบต่อเนื่อง จำนวน 8 นัด (สารดับเพลิง 24 กิโลกรัม) สามารถลดอุณหภูมิของเปลวเพลิงจากประมาณ 800 - 900 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 24 ให้ลดลงเหลือ 200 - 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 25 ซึ่งสามารถช่วยลดระดับความรุนแรงของกลุ่มเพลิงจากปรากฏการณ์ไฟไหม้ลุกลามให้เข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีอื่นได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ ๒๓ แสดงกองเพลิงหลังส่งจรวดเข้าห้วงไฟ (ดับไฟ)



รูปที่ ๒๔ แสดงกลุ่มไฟก่อนส่งจรวดเข้าห้วงไฟ (ดับไฟ)



รูปที่ ๒๕ แสดงกลุ่มไฟหลังส่งจรวดเข้าห้วงไฟ (ดับไฟ)

5. สรุปผลการวิจัย

จรวดดับเพลิงที่ได้ออกแบบวิจัยและพัฒนาในงานวิจัยนี้ มีคุณลักษณะเฉพาะดังตารางที่ 1 ซึ่งได้ทดสอบสมรรถนะของดินขับจรวดโดยการทดสอบจำลองสภาพแวดล้อมการใช้งานและจุดทดสอบภาคสถิติแล้ว มีรายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งมีผลสอดคล้องตามค่าที่ออกแบบไว้

หลังจากนั้นได้มีการนำไปทดสอบการทำงานของจรวดด้วยการทดสอบภาคพลวัต ด้วยการจุดทดสอบจรวดไปยังเป้าหมายที่ห่างจากแท่นยิงจรวดเป็นระยะทางแนวราบ 100 เมตร และระยะความสูง 23 เมตร พบว่า จรวดดับเพลิงที่ออกแบบทั้งหมดสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์และปลอดภัย โดยสามารถยิงเข้าพื้นที่เป้าหมายด้วยการคำนวณจากโปรแกรมอำนวยการยิง และกำหนดเวลาให้สอดคล้องกับวิถีการยิงด้วยชุดระบบหน่วงเวลาอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนคาดคะเนไม่เกิน 1.25% ของระยะยิง

ส่วนประสิทธิภาพในการกระจายสารดับเพลิงของจรวดดับเพลิงหนึ่งนัดนั้น สามารถกระจายสารดับเพลิงชนิดผง ABC 90% จำนวน 3 กิโลกรัมครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายได้ 13 - 30 ตารางเมตรตามการออกแบบ

สำหรับประสิทธิภาพในการหน่วงหรือดับไฟตามการออกแบบ พบว่า สามารถหน่วงไฟที่กำลังลุกไหม้ในช่วงไฟไหม้ลุกลาม ซึ่งมีอุณหภูมิของเปลวเพลิงสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส ที่กำลังจะเข้าสู่ขั้นการลุกลาม ให้สามารถลดความร้อนแรงของเปลวเพลิงลงเหลือ 200 - 300 องศาเซลเซียสได้ โดยจากการทดลองกับกองเพลิงจำลองเทียบเคียงระดับ 3-A พบว่า ต้องใช้จรวดซึ่งบรรจุสารดับเพลิงชนิดละ 3 กิโลกรัม จำนวน 8 นัด จึงจะสามารถดับไฟหรือหน่วงไฟให้ลดลงเข้าสู่สภาวะที่สามารถเข้าไปจัดการกับกองเพลิงด้วยวิธีอื่นได้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะเฉพาะของจรวดดับเพลิง

จรวดดับเพลิง (Fire Fighting Rocket)	
เส้นผ่านศูนย์กลางจรวด	89 มิลลิเมตร
ความยาวลำตัวจรวด	$1,323 \pm 10$ มิลลิเมตร
น้ำหนักรวมจรวด	6.6 ± 0.2 กิโลกรัม
น้ำหนักดินขับจรวด	0.4 ± 0.01 กิโลกรัม
น้ำหนักสารดับเพลิง	3.0 ± 0.1 กิโลกรัม
ชนิดของสารดับเพลิง	สารเคมีผงชนิด ABC 90%
ย่านมุมยิงในการใช้งาน	20 – 80 องศา
ระยะยิงไกลสุด	1.0 กิโลเมตร
ย่านอุณหภูมิในการใช้งาน	-10°C ถึง +60°C
ความเร็วขณะตกถึงพื้น	≤ 8 เมตรต่อวินาที
รูปแบบการยิง	ยิงทีละนัดหรือยิงเป็นชุด

ตารางที่ 2 สมรรถนะของดินขับจรวด

ค่าแรงขับเฉลี่ย	575.20 นิวตัน
ค่าแรงดันเฉลี่ย	627.25 PSI
ค่าแรงขับสูงสุด	836.93 นิวตัน
ค่าแรงดันสูงสุด	907.40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ค่าแรงดลรวม	876.39 นิวตัน - วินาที
ระยะเวลาเผาไหม้	1.52 วินาที
ค่าการดลจำเพาะ	221.38 วินาที

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2565

ขอขอบคุณกองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหกรรมสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก ที่ให้การสนับสนุนดินดำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตส่วนกระจายสารดับเพลิง

ขอขอบคุณแผนกอาหารสัตว์ กองการสัตว์และเกษตรกรรมที่ 3 กรมการสัตว์ทหารบก จังหวัดนครสวรรค์ ที่สนับสนุนพื้นที่และสิ่งอำนวยความสะดวกในการทดสอบยิงจรวดภาคพลวัต

ขอขอบคุณกรมช่างอากาศ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีภาพถ่ายรังสีเอกซเรย์พร้อมเจ้าหน้าที่ ในการตรวจเพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตมอเตอร์จรวด

ขอขอบคุณสำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร ที่สนับสนุนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านการเผชิญเหตุเพลิงไหม้เป็นทีมที่ปรึกษาโครงการ

ขอขอบคุณผู้บริหารและที่ปรึกษาสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและส่งเสริมในการวิจัยและพัฒนาโครงการจรวดดับเพลิง

ขอขอบคุณ พลโท ไกรเวทย์ พูลอำไย ที่ปรึกษาสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่กรุณาให้คำแนะนำและส่งเสริมการวิจัยจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ พลอากาศตรี เจษฎา ศิริรัฐนิคม ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและพัฒนาจรวดและอาวุธนำวิถี ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะทางด้านวิชาการจนงานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณจักรกฤษณ์ คงคำ ผู้เชี่ยวชาญด้านการเผชิญเหตุเพลิงไหม้จากสถานีดับเพลิงและกู้ภัยสุทธิสาร ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับหลักการและแนวทางในการทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงไฟของจรวดดับเพลิง

ขอขอบคุณ คุณประสาน แก้วทอง ผู้เชี่ยวชาญด้านการเผชิญเหตุเพลิงไหม้จากสถานีดับเพลิงและกู้ภัยสุทธิสาร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาด้านเทคนิคในการทดสอบประสิทธิภาพในการหน่วงไฟของจรวดดับเพลิง

ขอขอบคุณนักวิจัยเจ้าหน้าที่โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จังหวัดนครสวรรค์และลพบุรี ตลอดจนเจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่เกี่ยวข้องทุกส่วนงาน ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยจนทำให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, “กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522,” ใน *ราชกิจจานุเบกษา*, ไทย: สคร., 2535, เล่ม 109 ตอนที่ 11, น. 6 - 23.
- [2] ช. โชคชวนันท์. “ถึงดับเพลิง ABC และ BC คืออะไร ทำให้ถึงต้องรู้?.” SATURNFIREPRODUCT.com. www.saturnfireproduct.com/article/9 (accessed Apr. 24, 2023).
- [3] X. Qiu, “A fire-fighting Device Suitable for Fire Fighting in High-rise and Super High-rise Buildings,” CN Patent 102580278, Dec. 25, 2013.

- [4] Sina Corporation. “It is Really for Civilian Use China Aerospace Science and Industry Develops Fire-fighting Missiles and Drones.” PHOTO.SINA.com.cn. http://slide.mil.news.sina.com.cn/Vslide_8_38692_63153.html#p=7 (accessed Apr. 24, 2023).
- [5] X. Lin et al., “Unidirectional Spray Type Fire Extinguishing Bomb without High Explosive Fragmentation,” CN Patent 102772865, Nov. 14, 2012.
- [6] Shanghai Oriental Press. “The New Realm of Missile Fire Extinguishing is Not Only High-rise Buildings but also Forests.” THEPAPER.cn. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_5223886 (accessed Apr. 24, 2023).
- [7] J. Wuliang, “A Domestically Produced Mysterious Vehicle Suddenly Fired 24 Missiles at the Building, Settling the Situation in one Fell Swoop, and Dubai Rushed to Purchase It.” KKNEWS.cc. <https://kknews.cc/other/2l4n9z9.html> (accessed Apr. 24, 2023).
- [8] Sina Corporation. “It is Really for Civilian Use China Aerospace Science and Industry Develops Fire-fighting Missiles and Drones.” PHOTO.SINA.com.cn. http://slide.mil.news.sina.com.cn/Vslide_8_38692_63153.html#p=6 (accessed Apr. 24, 2023).
- [9] M. M. Rafi, T. Aziz, and S. H. Lodi, “A Suggested Model for Mass Fire Spread,” *Sustain. Resilient Infrastruct.*, vol. 5, no. 4, pp. 214 - 231, Oct. 2018.
- [10] ก. จิตรภิมรย์, “ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอัคคีภัย,” *ก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์*, ปีที่ 14, ฉบับที่ 1, หน้า 1-17, ม.ค. - มิ.ย., 2557.
- [11] พ. บุญยะรัตน์ และ ธ. กิตินิรันดร์กุล, “ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างผิวดินกับจรวดกับผนังท่อในจรวดดับเพลิง,” ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 37*, สงขลา, ไทย, 2556, น. 247 - 254.

การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้: โอกาสและแนวทาง การพัฒนาสำหรับประเทศไทย

กนก บุนนาค ^{1*}

วันที่รับ 3 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไข 26 พฤษภาคม 2566 วันที่ตอบรับ 6 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาและวิเคราะห์การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติต่าง ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน (2) วิเคราะห์โอกาสสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศของประเทศไทยในอนาคต และ (3) สังเคราะห์แนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทย ผลจากการวิจัยเอกสาร พบว่า ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศแล้วในระดับหนึ่ง จำนวน 6 ประเทศ ได้แก่ อินโดนีเซีย ไทย มาเลเซีย สิงคโปร์ เวียดนาม และฟิลิปปินส์ โดยมีแนวโน้มความพยายามหลักในการพัฒนาที่มีความใกล้เคียงกัน ใน 3 ประเด็น คือ (1) ความพยายามในการจัดหาดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคมวงโคจรค้างฟ้าในหัวแรก (2) การมุ่งเน้นพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำให้เกิดขึ้นภายในประเทศ และ (3) ความพยายามในการจัดตั้งหน่วยงานเพื่อบูรณาการขีดความสามารถและขับเคลื่อนกิจการอวกาศของชาติ แม้กระนั้น ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังคงขาดขีดความสามารถในการยิงนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรได้เอง

ประเทศไทยมีขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศอยู่ในระดับขั้นนำของภูมิภาคจากประสบการณ์และเครือข่ายในการขับเคลื่อนและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยในปัจจุบัน ประกอบกับโอกาสจากการที่ประเทศไทยกำลังพิจารณากำหนดนโยบายและแนวทางการขับเคลื่อนผลักดันกิจการอวกาศ รวมทั้งโอกาสในภูมิภาคที่มีแนวโน้มให้ความสำคัญกับดาวเทียมวงโคจรต่ำ แต่ยังไม่มีความสามารถในการยิงส่งได้เอง จึงสามารถสังเคราะห์เป็นแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยใน 4 ประเด็นหลัก ได้แก่ (1) การศึกษาวิจัยระบบนิเวศด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยโดยเทียบเคียงกับต่างประเทศที่มีขีดความสามารถในการเป็นตัวอย่างเป้าหมาย (2) การมุ่งเป้าพัฒนาขีดความสามารถในการนำส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่อวกาศในวงโคจรระดับต่ำที่ยังขาดแคลนอยู่ของภูมิภาค (3) การบูรณาการขีดความสามารถของภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคสถาบันการศึกษา ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นของการกำหนดนโยบายด้านกิจการอวกาศ และ (4) การสร้างความร่วมมือด้านเทคโนโลยีอวกาศกับประเทศต่าง ๆ ทั้งกับประเทศที่มีศักยภาพแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนาขีดความสามารถดังกล่าว

คำสำคัญ : การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศ, อุตสาหกรรมอวกาศ, ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

¹ ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: kanok.b@dti.or.th

Space Capability Development in Southeast Asian Countries: Prospect and Development Recommendation for Thailand

Kanok Bunnag^{1*}

Received 3 May 2023, Revised 26 May 2023, Accepted 6 June 2023

Abstract

This article was intended for 3 primary purposes: (1) to study and analyze space capability development in Southeast Asian Countries, (2) to analyze prospects for future Thai space industry, and (3) to identify possible courses of action for the development of Thailand's space capabilities. According to the documentary research, there were 6 Southeast Asian countries namely Indonesia, Thailand, Malaysia, Singapore, Vietnam, and Philippines with some degree of space capability. Additionally, there were 3 prominent trends in key efforts of the space capability development in the stated countries which are: (1) an effort to procure Geo Stationary Communication Satellites at the beginning stage, (2) a focus on establishing the domestic low earth orbit satellite development capability, and (3) an effort to establish a space agency to effectively manage space capabilities and drive forward space programs. However, as a launching state, the Southeast Asian countries were still deficient in acquiring such ability.

Thailand possessed a capability as a leading space nation in the region from its experience and cooperation networks. Considering Thailand's current capability together with prospects from its ongoing attempt to foster space laws and space ecosystem, the regional focus on low earth orbit satellites, as well as the regional lack of own space launching capability, 4 key approaches were recommended for Thailand to utilize in the development of its space capability: (1) to conduct a comprehensive research on Thailand's space ecosystem, benchmarking its capability with potential role model nations, (2) to focus on the development of low earth orbit launching capability which was lacking in the region, (3) to integrate national space capabilities with cooperation among public, private and academic sectors from the beginning of the policy development process, and (4) to cooperate with both space faring and space developing nations.

Keywords : Space capability development, Space industry, Southeast asia

¹ Defence Technology Analysis Department, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: kanok.b@dti.or.th

1. บทนำ

ขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศมีพัฒนาการอย่างต่อเนื่องมากกว่า 60 ปี ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยมีจุดเริ่มต้นมาจากการแข่งขันระหว่างรัฐของสองชาติมหาอำนาจ อันได้แก่ สหภาพโซเวียตและสหรัฐอเมริกา ที่ต้องการแสดงศักยภาพความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีจนนำไปสู่การส่งมนุษย์ขึ้นไปสำรวจอวกาศเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2504 โดยเทคโนโลยีอวกาศในยุคแรกนั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างเป็นความลับ เนื่องจากเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความมั่นคงของประเทศ อย่างไรก็ตาม ประโยชน์จากการใช้งานเทคโนโลยีอวกาศมิได้จำกัดอยู่เพียงแค่ทางการทหารหรือในด้านความมั่นคงเท่านั้น เทคโนโลยีอวกาศมีลักษณะเป็นเทคโนโลยีสองทาง (Dual-Use Technology) ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมหาศาลเช่นกันในภาคพลเรือน จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมอวกาศ (Space Industry) เริ่มเกิดและเจริญเติบโตขึ้น ทั้งนี้ อุตสาหกรรมอวกาศในปัจจุบันได้เข้าสู่ยุคใหม่ที่เรียกว่า “New Space” ที่ผู้ประกอบการภาคเอกชนเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเกิดเป็นเศรษฐกิจอวกาศใหม่ (New Space Economy) บนระบบนิเวศด้านอวกาศ (Space Ecosystem) ที่ครอบคลุมโครงสร้างพื้นฐาน กฎระเบียบ การวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี การพัฒนาองค์ความรู้ และบุคลากร ห่วงโซ่อุปทาน รวมถึงห่วงโซ่คุณค่าด้านเศรษฐกิจอวกาศ ซึ่งขับเคลื่อนโดยอาศัยความร่วมมือกันระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน และก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจอันมหาศาล บริษัท Morgan Stanley ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีชื่อเสียงด้านการให้บริการทางการเงินระดับโลก ได้คาดการณ์มูลค่าโดยรวมของเศรษฐกิจอวกาศใหม่ของโลกในปี พ.ศ. 2583 ไว้ว่าจะมีมูลค่าสูงถึง 1 ล้านล้านดอลลาร์

สหรัฐ หรือประมาณ 30 ล้านล้านบาท [1] ดังนั้น อุตสาหกรรมอวกาศจึงถือเป็นโอกาสสำคัญในการยกระดับขีดความสามารถทางด้านเศรษฐกิจและการแข่งขันของรัฐให้มีความเข้มแข็งยิ่งขึ้น

ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นอีกภูมิภาคหนึ่งของโลกที่ให้ความสนใจและมีความเกี่ยวเนื่องกับกิจกรรมด้านอวกาศมายาวนานกว่าครึ่งศตวรรษ หลายประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศและพยายามที่จะพัฒนาขีดความสามารถในด้านนี้อย่างต่อเนื่อง โดยในปัจจุบันมีประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศแล้วในระดับหนึ่ง จำนวน 6 จาก 11 ประเทศ ได้แก่ อินโดนีเซีย ไทย มาเลเซีย สิงคโปร์ เวียดนาม และฟิลิปปินส์ ส่วนประเทศที่เหลือนั้นยังไม่มีการจัดตั้งหน่วยงานด้านกิจการอวกาศ หรือยังไม่มีโครงการในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศอย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้ ในการที่จะสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย ผ่านการพัฒนาขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยีอวกาศจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลปัจจัยแวดล้อม ซึ่งหมายถึงขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศภายในภูมิภาคด้วย บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติต่าง ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน พร้อมวิเคราะห์โอกาสสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศของประเทศไทยในอนาคต รวมถึงเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยจากการวิจัยเอกสาร (Documentary Research) ด้วยการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสาร

ทางวิชาการ งานวิจัย และแหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งข้อมูลเปิดเกี่ยวกับการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติต่าง ๆ ในภูมิภาค เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประกอบกับวิเคราะห์ถึงโอกาสในการพัฒนาอุตสาหกรรมอวกาศของประเทศไทย และสังเคราะห์เป็นข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

2. การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความหลากหลายและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ เศรษฐกิจ ความมั่นคง รวมถึงการบริหารนโยบายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยประเทศส่วนใหญ่ในภูมิภาคนี้ (ยกเว้น ประเทศสิงคโปร์) เป็นประเทศกำลังพัฒนา และยังคงเป็นประเทศที่ต้องรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศเป็นหลัก การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศจึงยังมีความจำกัด

การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

2.1 ประเทศอินโดนีเซีย

อินโดนีเซียเป็นประเทศแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีการจัดตั้งโครงการอวกาศโดยอินโดนีเซียได้ก่อตั้งสถาบัน The National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) ขึ้นในปี พ.ศ. 2506 เพื่อบริหารจัดการกิจการอวกาศทั้งในส่วนของการทหารและภาคพลเรือน [2] และต่อมาได้มีการจัดตั้งหน่วยงาน National Research and Innovation Agency (BRIN) ขึ้นในปี พ.ศ. 2564 ให้เป็นหน่วยงานในการบูรณาการขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยได้รวม LAPAN เข้าไว้เป็นส่วนหนึ่งด้วย

อินโดนีเซียมีความร่วมมือกับชาติที่มีขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศชั้นนำของโลกหลายประเทศ อาทิ สหรัฐอเมริกา รัสเซีย ฝรั่งเศส เยอรมนี และ อินเดีย โดย อินโดนีเซียได้ร่วมมือกับบริษัท Lockheed Martin ของสหรัฐอเมริกาในการสร้างดาวเทียมดวงแรกของประเทศ ซึ่งเป็นดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคมที่มีชื่อว่า “Palapa-A1” และสามารถส่งขึ้นสู่วงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Earth Orbit: GEO) ได้ในปี พ.ศ. 2519 รวมทั้งได้มีการก่อตั้งสถานีรับ-ส่งสัญญาณภาคพื้นดินเป็นแห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อีกด้วย [3] หลังจากนั้น อินโดนีเซียพยายามที่จะพัฒนาขีดความสามารถด้านดาวเทียมให้เกิดขึ้นภายในประเทศ โดยเริ่มจากดาวเทียมขนาดเล็กที่ส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit: LEO) เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับ GEO Satellite อีกทั้งมีต้นทุนในการวิจัยและพัฒนาที่ต่ำกว่ามาก ในการนี้ อินโดนีเซียได้ร่วมมือกับ German Aerospace Center (DLR) และมหาวิทยาลัย Technical University of Berlin

ของเยอรมนี ในการพัฒนา LAPAN-TUBSat หรือ LAPAN A1 ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบ Microsatellite และส่งขึ้นสู่วงโคจรในระดับต่ำด้วยจรวดนำส่งของ Indian Space Research Organization (ISRO) ของอินเดีย เมื่อวันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2550 [4] และหลังจากนั้นได้พัฒนาดาวเทียม LAPAN A2 ขึ้นเองภายในประเทศเป็นครั้งแรกจากองค์ความรู้ที่สั่งสมมาโดยดาวเทียม LAPAN A2 ได้ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2558 [5]

นอกเหนือจากขีดความสามารถด้านดาวเทียมแล้ว อินโดนีเซียมีความพยายามในการพัฒนาเทคโนโลยีจรวดเพื่อต่อยอดเป็นจรวดนำส่งดาวเทียมขนาดเล็กอย่างต่อเนื่อง โดยที่ผ่านมาได้มีการวิจัยพัฒนาจรวดเชื้อเพลิงแข็งในตระกูล RX อาทิ RX-150, RX-250, RX-320 และ RX-450 (หมายเลขรุ่นแสดงขนาดของจรวด เช่น จรวด RX-450 มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 มิลลิเมตร) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอินโดนีเซียมีความพยายามในการปรับเปลี่ยนขนาดของจรวดขึ้นเรื่อย ๆ รวมทั้งในปัจจุบันได้กำลังทำการวิจัยพัฒนาจรวดห้อยอวกาศแบบหลายท่อน (Multi-stage Sounding Rocket) อีกด้วย ทั้งนี้ อินโดนีเซียตั้งเป้าหมายของการมีขีดความสามารถในการยิงจรวดนำส่งดาวเทียมขนาดเล็ก น้ำหนัก 1 ตัน ขึ้นสู่วงโคจร LEO ไว้ภายในปี พ.ศ. 2583 ซึ่งสอดคล้องกับแผนในการสร้างท่าอวกาศยานที่อินโดนีเซียได้วางไว้ [6]

อินโดนีเซียกำลังพิจารณาดำเนินการจัดตั้งท่าอวกาศยานภายในประเทศ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรา 44 วรรค (1) ของกฎหมายกิจการอวกาศ Law No. 21 of 2013 ของอินโดนีเซียที่ได้บัญญัติไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 โดยได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ไว้แล้วใน 2 พื้นที่หลัก ได้แก่ บริเวณเกาะ Biak จังหวัด Papua และเกาะ Morotai ทางตอนเหนือ

ของหมู่เกาะ Maluku อย่างไรก็ตาม อินโดนีเซียยังไม่ได้อนุมัติตกลงใจในการเลือกสถานที่ใดสถานที่หนึ่งสำหรับโครงการดังกล่าว เนื่องจากต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการที่สูงมาก และมีปัจจัยด้านการเมืองมาเกี่ยวข้อง [7]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า อินโดนีเซียมีการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศมาแล้วกว่า 60 ปี และมีความพยายามที่จะพัฒนาขีดความสามารถของระบบนิเวศด้านเทคโนโลยีอวกาศให้มีความครบถ้วนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะจรวดยิงส่งดาวเทียมขนาดเล็กและท่าอวกาศยาน อย่างไรก็ตาม อินโดนีเซียจำเป็นต้องก้าวข้ามอุปสรรคที่เกี่ยวข้องทั้งในเรื่องของการบริหารจัดการและความต่อเนื่องของโครงการอวกาศ ภายหลังจากที่มีการปรับโอนย้ายสังกัดของ LAPAN เข้าเป็นส่วนหนึ่งของ BRIN [8] รวมถึงอุปสรรคในด้านงบประมาณในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศที่มีต้นทุนสูงมาก เพื่อให้ได้มาซึ่งขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศในเชิงเศรษฐกิจที่ต้องการ

2.2 ประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ใช้ประโยชน์จากห้วงอวกาศมากกว่า 50 ปี โดยเริ่มจากการใช้ข้อมูลผ่านดาวเทียม INTELSAT ขององค์การโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2510 เพื่อกิจการสื่อสารโทรคมนาคม [9] หลังจากนั้นประเทศไทยได้พัฒนาขีดความสามารถด้านกิจการอวกาศด้วยการให้สัมปทานบริษัท ชินวัตรแซทเทลไลท์ จำกัด หรือที่ปัจจุบันรู้จักกันในนามบริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนของไทยในการดำเนินกิจการดาวเทียม ส่งผลให้ประเทศไทยมีดาวเทียมสื่อสารเป็นของตนเองดวงแรก คือ ดาวเทียมไทยคม 1

ที่ผลิตโดยบริษัท Hughes Space Aircraft ของสหรัฐอเมริกาและส่งขึ้นสู่วงโคจรค้างฟ้าในปีพ.ศ. 2536 โดยในปัจจุบันประเทศไทยมีดาวเทียมสื่อสาร GEO Satellite ใช้งานแล้วทั้งสิ้น จำนวน 8 ดวง [10]

นอกเหนือจากขีดความสามารถด้านดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคมแล้ว ประเทศไทยได้พยายามพัฒนาองค์ความรู้ในการวิจัยและพัฒนาดาวเทียมให้เป็นของตนเองอย่างต่อเนื่อง และมีขีดความสามารถที่โดดเด่นในด้านดาวเทียมสำรวจโลก โดยในระยะแรกนั้นมีโครงการที่เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมคือโครงการความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครกับ University of Surrey ของสหราชอาณาจักรในการพัฒนาดาวเทียมเพื่อการศึกษา ชื่อ THAI-PAHT ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ขั้นพื้นฐานในการถ่ายภาพและรับส่งสัญญาณสำหรับการเรียนการสอนของหลักสูตรเกี่ยวกับการทำงานของดาวเทียม ในกรณีนี้ ดาวเทียม THAI-PAHT ถือได้ว่าเป็นดาวเทียม Microsatellite ดวงแรกของประเทศไทยที่นักวิจัยชาวไทยได้มีส่วนร่วมในการออกแบบและทดสอบ โดยได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำในปี พ.ศ. 2541 [11] หลังจากนั้น ประเทศไทยได้พัฒนาดาวเทียมไทยโชต หรือ THEOS-1 ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ด้วยความร่วมมือระหว่างกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (สทอภ. หรือที่รู้จักในนาม GISTDA) และ บริษัท EADS ASTRIUM ของประเทศฝรั่งเศส [9] ดาวเทียมไทยโชตนี้ได้ขึ้นสู่วงโคจร LEO เมื่อปี พ.ศ. 2551 อีกทั้งได้พัฒนาดาวเทียม THEOS-2 ที่จะส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำในปี พ.ศ. 2566 โดยมีวิศวกรดาวเทียมชาวไทยมากกว่า 20 คน ร่วมออกแบบและพัฒนากับผู้เชี่ยวชาญ

ด้านการสร้างดาวเทียมจากบริษัท Surrey Satellite Technology (SST) ของสหราชอาณาจักร [12] นอกจากนี้ ภาคการศึกษาของประเทศไทยยังมีขีดความสามารถในการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กประเภท CubeSat ได้เองทั้งหมดภายในประเทศ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสามารถพัฒนาดาวเทียม KNACKSAT ได้สำเร็จในปี พ.ศ. 2561 [13] ซึ่งถือเป็นก้าวสำคัญของการพัฒนาองค์ความรู้และองค์บุคคลด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทย

ในด้านการบริหารจัดการเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศนั้น ประเทศไทยมีหลายหน่วยงานที่มีหน้าที่และความรับผิดชอบงานที่เกี่ยวข้องกับกิจการอวกาศ อาทิ กองกิจการอวกาศแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สดช.) กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม (ทสอ.ภท.) ศูนย์วิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการบินและอวกาศ กองทัพอากาศ (ศวอ.ทอ.) สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (NARIT) และสำนักงานกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม (กสทช.) โดยมี สทอภ. (GISTDA) ที่จัดตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2543 และมีพันธกิจในการวิจัยและพัฒนา การให้บริการ และการส่งเสริมความร่วมมือด้านเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งอาจเทียบเคียงได้กับหน่วยงานอวกาศแห่งชาติ แม้กระนั้น ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานกลางในการขับเคลื่อนและบูรณาการขีดความสามารถเกี่ยวกับกิจการอวกาศที่ประเทศไทยมีให้เกิดประสิทธิภาพและเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันประเทศไทย

อยู่ระหว่างการวางกรอบนโยบายและบัญญัติกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยที่คณะรัฐมนตรีได้เห็นชอบร่างแผนแม่บทอวกาศแห่งชาติ พ.ศ. 2566-2580 (National Space Master Plan 2023-2037) รวมถึงเห็นชอบหลักการร่างนโยบายดาวเทียมสื่อสารแห่งชาติแล้วเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2565 [14] นอกจากนี้ประเทศไทยยังอยู่ระหว่างการจัดทำพระราชบัญญัติกิจการอวกาศ ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของ “สำนักงานกำกับกิจการอวกาศแห่งชาติ” ที่จะป็นหน่วยงานกลางของรัฐในการบูรณาการความร่วมมือและขับเคลื่อนกิจการอวกาศของไทยอย่างเป็นรูปธรรม [15]

ในภาพรวมแล้ว ที่ผ่านมามาประเทศไทยเป็นประเทศผู้ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีอวกาศเป็นหลักและความพยายามที่จะพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเทคโนโลยีดาวเทียม ทั้งนี้ในปัจจุบันประเทศไทยได้ตระหนักถึงความสำคัญของห้วงอวกาศมากยิ่งขึ้น จึงได้มีความพยายามในการวางกรอบนโยบายและบัญญัติกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นรากฐานสำหรับการขับเคลื่อนกิจการอวกาศและจะนำมาซึ่งการพัฒนาระบบนิเวศด้านกิจการอวกาศต่อไป

2.3 ประเทศมาเลเซีย

มาเลเซียมีประสบการณ์เกี่ยวกับกิจการอวกาศเป็นระยะเวลาประมาณ 35 ปี นับตั้งแต่ที่ก่อตั้ง Malaysian Centre of Remote Sensing (MACRES) ในปี พ.ศ. 2531 เพื่อวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกล รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าว [16] โดยในระยะแรกของการพัฒนาขีดความสามารถด้านอวกาศ มาเลเซียให้ความสำคัญกับการพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม

ด้านอวกาศ โดยได้จัดตั้ง Planetarium Division ขึ้นในปี พ.ศ. 2532 เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอวกาศ และต่อมาได้มีการจัดตั้ง Space Science Study Division ขึ้นในปี พ.ศ. 2537 รวมถึง Astronautic Technology Sdn Bhd (ATSB) ในปี พ.ศ. 2538 ตามลำดับ [17]

ประเทศมาเลเซียมีจุดเริ่มต้นของกิจกรรมในอวกาศในลักษณะเดียวกับประเทศไทย กล่าวคือมีการจัดหาดาวเทียมโทรคมนาคมจากต่างประเทศก่อน โดยได้ร่วมมือกับบริษัท Boeing Satellite System ของสหรัฐอเมริกาในการพัฒนาดาวเทียม MEASAT 1 และ MEASAT 2 ซึ่งส่งขึ้นสู่วงโคจรค้างฟ้าในเดือนมกราคมและพฤศจิกายน พ.ศ. 2539 ตามลำดับ แล้วต่อมาจึงได้พยายามสร้างองค์ความรู้และองค์บุคคลที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีอวกาศผ่านโครงการดาวเทียมขนาดเล็กแบบ Microsatellite ชื่อ TiungSAT-1 ที่จัดหาจากบริษัท Surrey Satellite Technology ของสหราชอาณาจักร โดยมีเงื่อนไขในการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่นักวิจัยของมาเลเซีย ดาวเทียมดังกล่าวได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำในปี พ.ศ. 2543 หลังจากนั้น มาเลเซียได้พัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิตดาวเทียมขนาดเล็กอย่างต่อเนื่อง โดยร่วมมือกับบริษัท Satrec Initiative ของเกาหลีใต้ในการพัฒนาดาวเทียมสำรวจโลกขนาดเล็ก RazakSAT ซึ่งได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำในปี พ.ศ. 2552 แต่ต่อมาเกิดปัญหาขัดข้องและตกออกจากวงโคจรในปี พ.ศ. 2553 หลังจากปฏิบัติงานในอวกาศได้เพียง 1 ปี 16 วัน หรือประมาณ 1 ใน 3 ของอายุการใช้งานที่คาดว่าจะไว้เท่านั้น [17] ทั้งนี้ การตกของดาวเทียม RazakSAT นำมาซึ่งการชะลอตัวของกิจกรรมในอวกาศของภาครัฐมาเลเซีย แต่ในภาคการศึกษายังคงมีความพยายามในการวิจัยและ

พัฒนาดาวเทียมที่มีขนาดเล็กลงมา ประเภท CubeSat โดยมหาวิทยาลัย Universiti Teknologi Mara (UiTM) ของมาเลเซียได้พัฒนาดาวเทียม UiTMSAT-1 ขึ้นภายในประเทศและส่งเข้าสู่วงโคจรระดับต่ำผ่านสถานีอวกาศ International Space Station (ISS) ในปี พ.ศ. 2561 [17]

ในด้านการขับเคลื่อนการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศ มาเลเซียได้จัดตั้งหน่วยงานอวกาศแห่งชาติ National Space Agency (ANGKASA) ขึ้นในปี พ.ศ. 2543 เพื่อตอบสนองต่อแนวโน้มความต้องการในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางปฏิบัติมาเลเซียยังไม่สามารถพัฒนาขีดความสามารถดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีสาเหตุมาจากปัญหาด้านงบประมาณในการสนับสนุนการดำเนินการ ประกอบกับการให้ความสำคัญกับโครงการอวกาศที่ลดน้อยลงภายหลังจากที่โครงการดาวเทียม RazakSAT ไม่ประสบความสำเร็จ [2] อย่างไรก็ตาม มาเลเซียได้กลับมาให้ความสำคัญกับกิจการอวกาศอีกครั้งโดยได้ออกนโยบาย The 2030 National Space Policy ในปี พ.ศ. 2560 เพื่อขับเคลื่อนการพัฒนากิจการอวกาศให้เกิดผลประโยชน์แก่ชาติอย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งได้ก่อตั้ง Malaysian Space Agency (MYSA) ขึ้นในปี พ.ศ. 2562 โดยควบรวมหน่วยงาน ANGKASA และ MACRES เข้าไว้ภายใต้ความรับผิดชอบเพื่อเป็นการบูรณาการขีดความสามารถของหน่วยงานด้านอวกาศของมาเลเซียเข้าไว้ด้วยกัน และลดค่าใช้จ่ายของความพยายามในการพัฒนาขีดความสามารถที่มีความซ้ำซ้อน [17]

โดยสรุปแล้วที่ผ่านมามาเลเซียมีความโดดเด่นในการพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีอวกาศโดยอาศัยการถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านความร่วมมือกับ

ต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของมาเลเซียประสบปัญหาหลักในการดำเนินการ จึงทำให้การขับเคลื่อนกิจการอวกาศยังดำเนินไปได้ช้า แม้กระนั้น มาเลเซียมีนโยบายด้านกิจการอวกาศที่ชัดเจนจาก The 2030 National Space Policy ซึ่งถือเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับการกำหนดทิศทางและบูรณาการความพยายามในการพัฒนาขีดความสามารถด้านอวกาศของประเทศ

2.4 ประเทศสิงคโปร์

ประเทศสิงคโปร์มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเกาะขนาดเล็ก ซึ่งมีแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศที่แตกต่างออกไปจากประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาค โดยประเทศสิงคโปร์มุ่งเน้นการเป็นศูนย์กลางความร่วมมือด้านเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเชิงพาณิชย์ ด้วยการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศผ่านโครงการวิจัยและพัฒนาของสถาบันการศึกษาชั้นนำของสิงคโปร์ ประกอบกับการใช้เครือข่ายธุรกิจเชิงพาณิชย์ให้เกิดประโยชน์

สิงคโปร์เริ่มการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศจากการที่บริษัท Singapore Telecommunications Limited (SingTel) ของสิงคโปร์ร่วมทุนกับบริษัท Chunghwa Telecom ของไต้หวัน ในการจัดซื้อดาวเทียม ST-1 มาเป็นดาวเทียมดวงแรกของประเทศ เพื่อให้บริการด้านการสื่อสารและโทรคมนาคม ซึ่งดาวเทียมดังกล่าวได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร GEO เมื่อปี พ.ศ. 2541 [18] หลังจากนั้น สิงคโปร์ได้พัฒนาขีดความสามารถด้านการผลิตดาวเทียม Microsatellite โดยสามารถผลิตดาวเทียม X-Sat ได้เองภายในประเทศจากความร่วมมือ

ในการวิจัยและพัฒนาระหว่างมหาวิทยาลัย Nanyang Technological University (NTU) กับองค์กร Defence Science Organisation (DSO) ที่มีความเชี่ยวชาญด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางการทหารของสิงคโปร์ โดยที่สิงคโปร์ได้ส่งดาวเทียมดังกล่าวขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำในปี พ.ศ. 2554 และนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา สิงคโปร์ได้สร้างและส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศแล้วมากกว่า 15 ดวง [19]

การพัฒนาขีดความสามารถด้านอวกาศของสิงคโปร์มีวัตถุประสงค์หลักในการเป็นศูนย์กลางร่วมมือด้านเศรษฐกิจอวกาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยอาศัยความเข้มแข็งด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ โดยเฉพาะการวิจัยพัฒนาชิ้นส่วนและระบบย่อยที่ทันสมัยของดาวเทียมจากเครือข่ายความร่วมมือกับสถาบันการศึกษา หน่วยงาน และบริษัทด้านเทคโนโลยีอวกาศชั้นนำของโลก อาทิ มหาวิทยาลัย Kyushu Institute of Technology และหน่วยงาน Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ของญี่ปุ่น ศูนย์วิจัย Laboratory for Atmospheric and Space Physics ของมหาวิทยาลัย University of Colorado บริษัท Thales Alenia Space ของฝรั่งเศสและอิตาลี บริษัท Berlin Space Technologies ของเยอรมนี [18] ประกอบกับความร่วมมือในเชิงธุรกิจจากบริษัทต่างชาติ อาทิ บริษัท Inmarsat ของอังกฤษ และกลุ่มบริษัท Thales ของฝรั่งเศส เพื่อให้เกิดองค์ความรู้และเกิดเป็นระบบนิเวศด้านเทคโนโลยีอวกาศสำหรับการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันและการพัฒนาทางเศรษฐกิจของสิงคโปร์ ทั้งนี้ สิงคโปร์มิได้มีการจัดตั้งหน่วยงานด้านกิจการอวกาศแห่งชาติ อีกทั้งมิได้มีการบัญญัติกฎหมายด้านอวกาศ แต่เลือกที่จะใช้ประโยชน์จากคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจ

หรือ Economic Development Board (EDB) ซึ่งอยู่ภายใต้กระทรวงการค้าและอุตสาหกรรมสิงคโปร์ ในการกำกับดูแลและขับเคลื่อนกิจการอวกาศ โดยคณะกรรมการ EDB ได้ก่อตั้งสำนักงาน Office for Space Technology & Industry (OSTIn) ขึ้นในปี พ.ศ. 2556 เพื่อดำเนินการดังกล่าว และในปัจจุบันสิงคโปร์มีบริษัทด้านเทคโนโลยีอวกาศภายในประเทศมากกว่า 50 บริษัท รวมถึงมีแรงงานที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีอวกาศมากกว่า 2,000 คน [19]

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า สิงคโปร์ให้ความสำคัญกับเศรษฐกิจอวกาศเป็นอย่างมาก โดยที่การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของสิงคโปร์มุ่งเน้นไปที่ผลประโยชน์ของชาติในเชิงเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยอาศัยขีดความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนาของสถาบันการศึกษาเป็นเครื่องมือสำคัญในการรับองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องผ่านเครือข่ายความร่วมมือกับนานาชาติ เพื่อพัฒนาศักยภาพในเชิงพาณิชย์ของเทคโนโลยีอวกาศสิงคโปร์

2.5 ประเทศเวียดนาม

เวียดนามเป็นอีกหนึ่งประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีประสบการณ์ในการดำเนินกิจกรรมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศมาอย่างยาวนานมากกว่า 40 ปี โดยเวียดนามได้ส่งนักบินอวกาศคนแรกของเอเชียขึ้นไปทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ณ สถานีอวกาศ Salyut 6 ในปี พ.ศ. 2523 ภายใต้โครงการความร่วมมือกับสหภาพโซเวียต [20] อีกทั้งมีความพยายามในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศเรื่อยมา

การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของเวียดนามสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ยุคหลัก

โดยในยุคระหว่างปี พ.ศ. 2523–2548 นั้น เวียดนามมุ่งเน้นการพัฒนาขีดความสามารถในการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) จากองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้รับการถ่ายทอดจากสหภาพโซเวียต แต่การล่มสลายของสหภาพโซเวียตส่งผลกระทบให้การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของเวียดนามขาดความต่อเนื่องและไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร [21]

หลังจากนั้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 มาจนถึงปัจจุบัน เวียดนามได้ก้าวเข้าสู่ยุคของการพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมและการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมให้เกิดประโยชน์ โดยในปี พ.ศ. 2549 เวียดนามได้ออกแผนยุทธศาสตร์การวิจัยและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอวกาศจนถึงปี พ.ศ. 2563 และในปี พ.ศ. 2564 ได้ออกแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอวกาศกระทั่งปี พ.ศ. 2573 โดยที่ในยุคที่สองนี้ เวียดนามมุ่งเน้นพัฒนาขีดความสามารถทางด้านดาวเทียมและโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาขีดความสามารถด้านดาวเทียมสำรวจโลก

ความพยายามดังกล่าวเริ่มมีความเป็นรูปธรรมมากขึ้นจากการก่อตั้ง Space Technology Institute ขึ้นในปี พ.ศ. 2549 และต่อมาเวียดนามได้จัดซื้อดาวเทียมสื่อสารและโทรคมนาคม VINASAT-1 ซึ่งนับเป็นดาวเทียมดวงแรกของเวียดนามที่ผลิตโดยบริษัท Lockheed Martin ของสหรัฐอเมริกา โดยได้นำส่งดาวเทียมดังกล่าวขึ้นสู่วงโคจร GEO ในปี พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นเวียดนามได้จัดตั้ง Vietnam National Satellite Center หรือที่ปัจจุบันรู้จักกันในนาม Vietnam National Space Center (VNSC) ขึ้นในปี พ.ศ. 2554 [21]

ภายหลังจากการจัดตั้ง VNSC เวียดนามได้แสวงหาองค์ความรู้ในการพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กจากต่างประเทศ โดยได้จัดหาดาวเทียมสำรวจโลกดวงแรกของเวียดนาม ชื่อ VNREDSat-1 จากบริษัท Airbus Defence and Space ผ่านความช่วยเหลือจากประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเวียดนามได้จัดส่งทีมนักวิจัยเข้าร่วมรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีดาวเทียมขนาดเล็กด้วย [22] นอกจากนี้ เวียดนามยังได้อาศัยความสัมพันธ์อันดีกับประเทศญี่ปุ่นในการพัฒนาขีดความสามารถดังกล่าว โดย VNSC ได้ผลิตดาวเทียมประเภท Pico Satellite ชื่อ PicoDragon ขึ้นภายในประเทศด้วยความช่วยเหลือด้านการทดสอบและทดลองจากมหาวิทยาลัยโตเกียว สถาบัน JAXA และบริษัท IHI ของญี่ปุ่น [23] อีกทั้งได้จัดส่งนักวิจัยเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยชั้นนำของญี่ปุ่น 5 แห่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัย University of Tokyo มหาวิทยาลัย Keio University มหาวิทยาลัย Tohoku University มหาวิทยาลัย Kyushu Institute of Technology และ มหาวิทยาลัย Hokkaido University และทำการวิจัยและพัฒนาดาวเทียม MicroDargon ซึ่งเป็นดาวเทียม Microsatellite ในประเทศญี่ปุ่น [24] ในกรณีนี้ ดาวเทียมขนาดเล็กของเวียดนามทั้ง 3 ประเภท ได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำแล้ว โดย VNREDSat-1 และ PicoDragon ได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2556 ในขณะที่ MicroDargon ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2562 ตามลำดับ [21]

แม้ว่าเวียดนามจะมีแนวโน้มของขีดความสามารถในการวิจัยและพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็กที่ดีขึ้น แต่การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศในภาพรวมยังมีความจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากความจำกัดของงบประมาณ ประกอบกับ

กระบวนการบริหารจัดการภาครัฐที่ยังไม่เอื้ออำนวยเท่าที่ควร [21] อย่างไรก็ตาม ด้วยขีดความสามารถในการพัฒนาอัตรากาเรจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ผ่านมา เวียดนามถือเป็นอีกหนึ่งประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่น่าจับตามองในเรื่องของโอกาสในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศสำหรับอนาคต

2.6 ประเทศฟิลิปปินส์

ประเทศฟิลิปปินส์เริ่มต้นพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศค่อนข้างช้าเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีขีดความสามารถในด้านเทคโนโลยีแล้วในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ในห้วงระยะเวลาประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา (ตั้งแต่ พ.ศ. 2556 จนถึงปัจจุบัน) ฟิลิปปินส์มีกิจกรรมที่ชัดเจนในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศ ทั้งการบัญญัติกฎหมายอวกาศแห่งชาติและการพัฒนาขีดความสามารถในการวิจัยและพัฒนาดาวเทียมขนาดเล็ก โดยที่ฟิลิปปินส์ได้อาศัยการศึกษาแนวทางและบทเรียนการดำเนินการจากประเทศอื่น ๆ ในการนำมาพัฒนาแนวทางของตนเองภายใต้ความจำกัดทางงบประมาณของประเทศ

ก่อนปี พ.ศ. 2556 ฟิลิปปินส์มิได้มีโครงการด้านอวกาศที่เป็นรูปธรรมเท่าใดนัก แม้ว่าฟิลิปปินส์จะจัดซื้อดาวเทียมโทรคมนาคม Agila-2 ที่พัฒนาโดยบริษัท Space Systems Loral ของสหรัฐอเมริกา และนำส่งขึ้นสู่วงโคจรค้างฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ก็ตาม แต่ต่อมาก็ได้ขายต่อให้แก่บริษัท Asia Broadcast Satellite (ABS) ที่ตั้งอยู่ในฮ่องกง ในปี พ.ศ. 2552 [25] กระนั้นแล้ว ฟิลิปปินส์เริ่มเล็งเห็นความสำคัญของกิจการอวกาศและพยายามที่จะผลักดันให้เกิดกฎหมายอวกาศและนโยบายในการขับเคลื่อน

ยุทธศาสตร์ด้านอวกาศอย่างจริงจัง โดยได้มีการจัดทำร่างกฎหมายอวกาศฉบับแรกยื่นต่อรัฐสภาฟิลิปปินส์ในปี พ.ศ. 2555 ซึ่งแม้ว่าจะยังไม่ได้รับการอนุมัติ ณ ขณะนั้น แต่ฟิลิปปินส์ยังมีความพยายามต่อเนื่องมาจนสามารถบัญญัติกฎหมายด้านการพัฒนาและการใช้งานอวกาศ ที่เรียกว่า Philippine Space Development and Utilization Policy หรือ PSDUP รวมถึงได้ก่อตั้งหน่วยงานอวกาศแห่งชาติ Philippine Space Agency (PhilSA) ขึ้นได้ในปี พ.ศ. 2562 ในการนี้ จึงถือได้ว่าฟิลิปปินส์เป็นหนึ่งในไม่กี่ชาติที่มีกฎหมายอวกาศเป็นของตนเองตั้งแต่ห้วงแรกของการพัฒนากิจการอวกาศ [25]

ในระหว่างที่มีการผลักดันการบัญญัติกฎหมายอวกาศนั้น ฟิลิปปินส์ได้จัดตั้งโครงการ PHL-Microsat โดยอาศัยความร่วมมือกับมหาวิทยาลัย Tohoku และมหาวิทยาลัย Hokkaido ของประเทศญี่ปุ่น ให้นักวิจัยของฟิลิปปินส์ได้ร่วมทำการวิจัยและพัฒนาดาวเทียมสำรวจโลก Diwata-1 ในประเทศญี่ปุ่น โดยดาวเทียมดังกล่าวได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำในปี พ.ศ. 2559 [26] และหลังจากนั้นโครงการ PHL-Microsat ได้ทำการวิจัยและพัฒนาดาวเทียม CubeSat เพิ่มเติม ประกอบด้วย ดาวเทียม MAYA-1 และ DIWATA-2 ตามลำดับ ในปัจจุบันฟิลิปปินส์จึงมีขีดความสามารถในการวิจัยและพัฒนาดาวเทียมสำรวจโลกขนาดเล็กในระดับหนึ่ง แต่ยังคงต้องอาศัยองค์ความรู้และเทคโนโลยีจากต่างประเทศเป็นหลัก

ข้อมูลที่กล่าวมาแล้วแสดงให้เห็นได้ว่า ฟิลิปปินส์มีความพยายามในการสร้างรากฐานที่สำคัญของการพัฒนากิจการอวกาศของประเทศ โดยได้ให้ความสำคัญกับกฎหมายอวกาศและนโยบายในระดับชาติเป็นอย่างยิ่งในการขับเคลื่อนการพัฒนาขีดความสามารถที่เกี่ยวข้อง และในขณะเดียวกันนั้น

ฟิลิปปินส์มีความพยายามในการพัฒนาองค์ความรู้ และองค์บุคคลด้านเทคโนโลยีอวกาศโดยเริ่มจาก โครงการที่ขนาดไม่ใหญ่มากนักและอาศัยความช่วยเหลือจากต่างประเทศเป็นหลัก

3. การวิเคราะห์การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศภายในภูมิภาค

ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศ ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว โดยสังเขป ทั้งนี้ จากการศึกษารวบรวมข้อมูลวิทยุภูมิพบว่า บทความและแหล่งข้อมูลเชิงวิชาการเกี่ยวกับ ขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศ

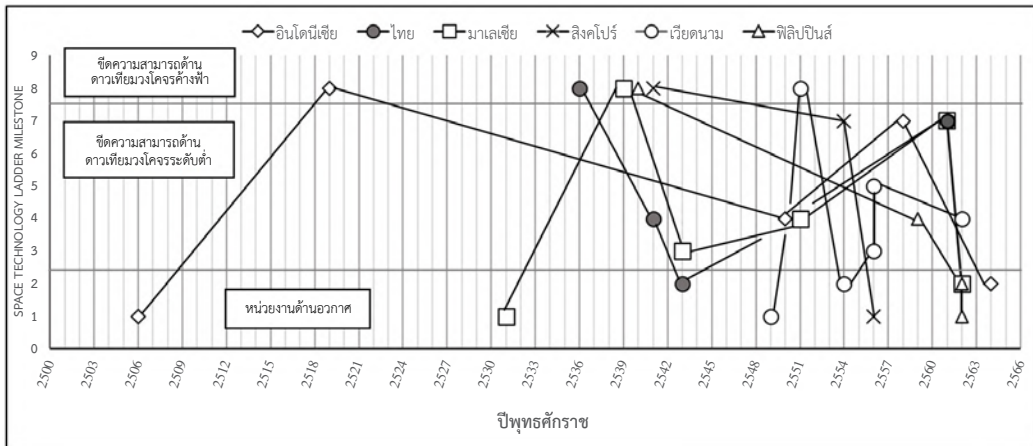
ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีจำนวนจำกัด อีกทั้งส่วนใหญ่เป็นภาษาท้องถิ่น ทำให้ยากต่อการศึกษาค้นคว้าขีดความสามารถในเชิงคุณภาพ อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนได้เลือกใช้การนำเสนอการพัฒนา ขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศตามกรอบ แนวความคิด Space Technology Ladder ของ Wood และ Weigel ที่เผยแพร่ออกสู่วงการวิชาการ ด้านเทคโนโลยีอวกาศในปี พ.ศ. 2555 [27] เพื่อให้สามารถแสดงภาพรวมของการพัฒนาดังกล่าวได้ อย่างเป็นรูปธรรม โดย Wood และ Weigel ได้กำหนด กรอบหมวดหมายเหตุการณ์สำคัญ (Milestones) ในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศไว้เป็น 4 กลุ่ม 13 หมวดหมาย ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 หมวดหมายเหตุการณ์สำคัญ (Milestones) ในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ [27]

กลุ่มขีดความสามารถ	เลข หมวดหมาย	เหตุการณ์สำคัญ
การนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร (Launch Capability)	13	การนำส่งดาวเทียมไปวงโคจรค้างฟ้า (GEO)
	12	การนำส่งดาวเทียมไปวงโคจรระดับต่ำ (LEO)
ดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO Satellite)	11	การสร้างภายในประเทศ
	10	การสร้างผ่านความร่วมมือระหว่างประเทศในลักษณะของการแบ่งปันทรัพยากร
	9	การสร้างภายในประเทศด้วยความช่วยเหลือจากภายนอกประเทศ
	8	การจัดซื้อจัดจ้าง
ดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (LEO Satellite)	7	การสร้างภายในประเทศ
	6	การสร้างผ่านความร่วมมือระหว่างประเทศในลักษณะของการแบ่งปันทรัพยากร
	5	การสร้างภายในประเทศด้วยความช่วยเหลือจากภายนอกประเทศ
	4	การสร้างด้วยการสนับสนุนการดำเนินการภายในโรงประกอบของชาติพันธมิตร
	3	การจัดซื้อจัดจ้างที่มาพร้อมบริการด้านการฝึกอบรม
หน่วยงานด้านอวกาศ (Space Agency)	2	การจัดตั้งหน่วยงานด้านอวกาศที่ดำเนินการในปัจจุบัน
	1	การจัดตั้งสำนักงานด้านอวกาศแห่งชาติเป็นครั้งแรก

เมื่อนำข้อมูลหมุดหมายเหตุการณ์สำคัญด้านการพัฒนาขีดความสามารถเทคโนโลยีอวกาศของประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จำนวน 6 ประเทศ ที่มีขีดความสามารถในด้าน

เทคโนโลยีอวกาศแล้วในระดับหนึ่งมาพิจารณาจะสามารถแสดงให้เห็นในรูปแบบของแผนภูมิ Space Technology Ladder ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ ๑ แผนภูมิ Space Technology Ladder ของประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ทั้งนี้ แผนภูมิ Space Technology Ladder ข้างต้น แสดงหมุดหมายเหตุการณ์สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศไว้เพียงหมุดหมายที่ 1 - 9 เท่านั้น เนื่องมาจากการที่ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังไม่มีขีดความสามารถในการยิงนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศ อีกทั้งยังไม่มีขีดความสามารถในการสร้างดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าทั้งในรูปแบบของความร่วมมือในระดับประเทศในลักษณะของการแบ่งปันทรัพยากรหรือการสร้างได้เองภายในประเทศ นอกจากนั้นแล้ว แผนภูมิต้นข้างต้นมิได้แสดงให้เห็นถึงเส้นแนวโน้ม (Trajectory Line) ของการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศในแต่ละประเทศ แต่สามารถแสดงให้เห็นถึงความพยายามหลักของประเทศนั้น ๆ ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสามารถสรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ดังนี้

3.1 ทั้ง 6 ประเทศ มีการจัดหาดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งเป็นดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO Satellite) ในห้วงแรกของการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศเพื่อตอบสนองความต้องการของชาติด้านการสื่อสารโทรคมนาคมที่ทวีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ อีกทั้งเป็นการริเริ่มแสวงหาคู่ความรู้อด้านเทคโนโลยีอวกาศจากผู้ประกอบการที่มีความเชี่ยวชาญสูง ประกอบกับเป็นการเริ่มพัฒนาองค์บุคคลด้วยการส่งบุคลากรเข้าไปมีส่วนร่วมในการดำเนินการพัฒนา การสังเกตการณ์ และการรับการถ่ายทอดองค์ความรู้

3.2 ภาพรวมของการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของทั้ง 6 ประเทศ ในห้วงที่ผ่านมาเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำ (LEO Satellite) ให้เกิดขึ้น

ภายในประเทศ โดยอาศัยขีดความสามารถของหน่วยงานด้านการวิจัยและพัฒนา และสถาบันการศึกษา ประกอบกับเครือข่ายความร่วมมือจากต่างประเทศ ทั้งนี้ มีประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีขีดความสามารถในการสร้างดาวเทียม LEO Satellite ภายในประเทศแล้ว ได้แก่ สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ไทย และมาเลเซีย

3.3 ในด้านการบริหารจัดการด้านการพัฒนาขีดความสามารถเทคโนโลยีอวกาศ ทั้ง 6 ประเทศให้ความสำคัญและมีความพยายามในการจัดตั้งสำนักงานหรือหน่วยงานในการรับผิดชอบการขับเคลื่อนกิจการอวกาศ ซึ่งได้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและบทบาทหน้าที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบ โดยเฉพาะในห้วงระยะเวลาประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งนี้ ประเทศสิงคโปร์มีแนวทางการบริหารจัดการที่โดดเด่นและแตกต่างจากอีก 5 ประเทศ โดยสิงคโปร์ไม่ได้มีการจัดตั้งหน่วยงานด้านกิจการอวกาศแห่งชาติที่มุ่งเน้นการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แต่มีการจัดตั้งสำนักงาน Office for Space Technology & Industry (OSTIn) ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจ (EDB) ภายใต้กระทรวงการค้าและอุตสาหกรรมสิงคโปร์ เพื่อกำกับดูแลและขับเคลื่อนกิจการอวกาศให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดทางเศรษฐกิจ ในขณะที่ประเทศไทยมีหน่วยงานภาครัฐที่มีหน้าที่ความรับผิดชอบเกี่ยวข้องกับกิจการอวกาศหลายหน่วยงาน แต่ยังไม่มีความชัดเจนในการขับเคลื่อนและบูรณาการขีดความสามารถเกี่ยวกับกิจการอวกาศที่ประเทศไทยมีให้เกิดประสิทธิภาพและเป็นรูปธรรม โดยมีเพียง สทอภ. (GISTDA) ที่อาจเทียบเคียงได้กับหน่วยงานอวกาศแห่งชาติ

3.4 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ยังไม่มีประเทศใดที่มีขีดความสามารถในการยิงการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรได้เอง ถึงแม้จะมีบางประเทศ อาทิ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ที่มีความพยายามผลักดันการพัฒนาขีดความสามารถดังกล่าว แต่ก็ยังไม่เกิดเป็นโครงการขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

การนำข้อมูลจากการศึกษามาวិเคราะห์ผ่านเครื่องมือ Space Technology Ladder ข้างต้นสามารถแสดงให้เห็นภาพโดยกว้างของความพยายามในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีความใกล้เคียงกัน รวมถึงขีดความสามารถที่ยังขาดแคลนอยู่ อันได้แก่การนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศ ซึ่งอาจเป็นโอกาสสำหรับประเทศไทยในการที่จะสร้างเสริมขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจผ่านระบบนิเวศของเศรษฐกิจอวกาศใหม่ที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4. โอกาสสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศของไทย

ปัจจุบันประเทศไทยมีขีดความสามารถด้านกิจการอวกาศในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมปลายน้ำที่เป็นการใช้ประโยชน์จากดาวเทียมสื่อสาร โทรคมนาคม ดาวเทียมสำรวจโลก และดาวเทียมนำทางเป็นหลัก อาทิ อุตสาหกรรมด้านสื่อวิทยุและโทรทัศน์ อุตสาหกรรมด้านการสื่อสารโทรคมนาคม การให้บริการข้อมูลและการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม โดยมีสาเหตุที่สำคัญมาจากการที่เทคโนโลยีอวกาศเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง (Deep Technology) และมีต้นทุนในการดำเนินการอุตสาหกรรมต้นน้ำและกลางน้ำมาก การวิจัยและพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของไทยจึงมีแนวโน้มให้ความสำคัญมากยิ่งขึ้นกับขีดความสามารถของดาวเทียมขนาดเล็กวงโคจรต่ำเฉกเช่นเดียวกับ

ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อีก 5 ประเทศ ที่ได้ทำการศึกษาข้อมูล สืบเนื่องจาก การที่ดาวเทียม LEO Satellite มีต้นทุนที่ต่ำกว่า มีวงโคจรที่เร็วกว่า และเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อน น้อยกว่าดาวเทียมค้างฟ้ามาก อีกทั้งยังสามารถ ทำการวิจัยและพัฒนาได้โดยอาศัยขีดความสามารถ ของนักวิจัย สถาบันการศึกษา รวมถึงหน่วยงาน ด้านการวิจัยและพัฒนาภายในประเทศ ประกอบกับ เครือข่ายความร่วมมือกับต่างประเทศในการดำเนินการ

เมื่อนำข้อมูลการศึกษาการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศในภูมิภาค เอเชียตะวันออกเฉียงใต้มาพิจารณา จะสามารถ เห็นถึงโอกาสสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศของ ประเทศไทยใน 3 ประเด็นหลัก ได้แก่

4.1 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของ ท่าอวกาศยาน (Spaceport) และการสร้างขีดความสามารถในการนำส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่วงโคจร ระดับต่ำจะช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจของไทยในระยะ ยาว เนื่องจากเป็นขีดความสามารถที่ยังไม่มีภายใน ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่มีความต้องการ ในการนำส่งดาวเทียม LEO Satellite ของทั้งใน ระดับภูมิภาคและในระดับโลกเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น ถือได้ว่ามีความได้เปรียบในเชิงภูมิศาสตร์ของที่ตั้งที่อยู่ใกล้ เส้นศูนย์สูตรและสามารถใช้แรงเหวี่ยงของโลกช่วย เพิ่มความเร็วในการนำส่งจรวดโดยที่ไม่สิ้นเปลือง พลังงานเชื้อเพลิงมาก ทำให้การยิงจรวดนำส่ง ดาวเทียมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้นั้น มีต้นทุนด้านพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าพื้นที่ที่อยู่ห่าง ไกลเส้นศูนย์สูตร ทั้งนี้ ประเทศไทยมีองค์ความรู้และ ความเชี่ยวชาญด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีจรวด แล้วในระดับหนึ่งจากขีดความสามารถของสถาบัน

เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ที่มีองค์ความรู้ และประสบการณ์ในการพัฒนาจรวดขนาด 302 มิลลิเมตร และ 122 มิลลิเมตร รวมถึงการทดสอบ และประเมินผลการยิงจรวดที่สามารถนำมาใช้ต่อยอด สำหรับการวิจัยและพัฒนาจรวดนำส่งดาวเทียม ขนาดเล็ก หรือ LEO-Micro Launcher และนำ มาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของ ท่าอวกาศยานต่อไปในอนาคตได้ การพัฒนาขีดความสามารถดังกล่าวจะเป็นการช่วยเติมเต็มระบบนิเวศ ด้านอวกาศของภูมิภาคและช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจ ของประเทศไทยในระยะยาว

4.2 การพัฒนาขีดความสามารถของ ผู้ประกอบการด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทย จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับ ภูมิภาคได้ โดยประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีแนวโน้มให้ความสำคัญกับเทคโนโลยี ดาวเทียม LEO Satellite เป็นอย่างยิ่ง ส่งผลให้ อุปสงค์ของชิ้นส่วนและระบบย่อยต่าง ๆ ของ ดาวเทียมขนาดเล็กมีเพิ่มสูงขึ้น จึงเป็นโอกาสในการ แข่งขันและเปิดตลาดออกสู่ในระดับภูมิภาคสำหรับผู้ประกอบการด้านเทคโนโลยีอวกาศของไทย ซึ่ง ส่วนใหญ่ยังอยู่ในช่วงของการเริ่มต้นธุรกิจ (Start-up) และมีขีดความสามารถโดดเด่นในเทคโนโลยีอวกาศที่มี ความซับซ้อนไม่มากนัก อาทิ บริษัท NBSpace ที่ก่อตั้ง ต่อยอดมาจากโครงการดาวเทียม KNACKSAT ของ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บริษัท mu Space Corp ที่มุ่งเน้นสร้างระบบ Satellite-Based Broadband สำหรับอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง [28] โดยบริษัทในอุตสาหกรรมอวกาศของไทยสามารถ เข้าเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรม อวกาศในภูมิภาคและช่วยสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ เพิ่มเติมให้แก่ประเทศได้

4.3 การมีหน่วยงานกลางในการขับเคลื่อน
อุตสาหกรรมอวกาศและบูรณาการขีดความสามารถ
ด้านเทคโนโลยีอวกาศจะช่วยผลักดันเศรษฐกิจ
อวกาศให้ขยายตัวได้อย่างเป็นรูปธรรม ประเทศไทย
อยู่ระหว่างการวางกรอบนโยบายและบัญญัติกฎหมาย
ที่เกี่ยวข้องในปัจจุบัน ทั้งแผนแม่บทอวกาศแห่งชาติ
พ.ศ. 2566 - 2580 และพระราชบัญญัติกิจการ
อวกาศที่จะเป็นจุดเริ่มต้นของ สำนักงานกำกับกิจการ
อวกาศแห่งชาติ ซึ่งเป็นหน่วยงานกลางของรัฐใน
การบูรณาการความร่วมมือและขับเคลื่อนกิจการ
อวกาศของไทย ดังนั้น ประเทศไทยจึงมีโอกาส
ที่จะศึกษาการดำเนินการของหน่วยงานกิจการ
อวกาศแห่งชาติของประเทศอื่น ๆ รวมถึงบทเรียน
การดำเนินการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้
เกิดประโยชน์สูงสุดเป็นผลผลิต (Output) ผลลัพธ์
(Outcome) และผลกระทบ (Impact) ในเชิงบวก
ที่ต้องการแก่เศรษฐกิจอวกาศใหม่ของไทย อีกทั้ง
การมีสำนักงานกำกับกิจการอวกาศแห่งชาติจะช่วย
สร้างความเชื่อมั่นให้แก่การลงทุน รวมถึงผู้ประกอบการ
ในอุตสาหกรรมอวกาศ เนื่องจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
เหล่านี้จะสามารถมองเห็นถึงแนวโน้มและทิศทาง
ของการขับเคลื่อนกิจการอวกาศของไทยที่มีความ
เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น

โอกาสในทั้ง 3 ประเด็น ที่กล่าวมาถือเป็น
ช่องทางที่สำคัญในการพัฒนาขีดความสามารถ
ด้านเทคโนโลยีอวกาศและอุตสาหกรรมอวกาศของ
ประเทศไทยให้สามารถก้าวทันการเปลี่ยนแปลงของ
สถานะแวดล้อมด้านเทคโนโลยีและเศรษฐกิจอวกาศ
ที่มีความรวดเร็วและต่อเนื่อง รวมทั้งให้มีความ
สอดคล้องกับบริบทการพัฒนาขีดความสามารถด้าน
เทคโนโลยีอวกาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
อีกด้วย

5. แนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถ ด้านเทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทย

ประเทศไทยมีขีดความสามารถด้านเทคโนโลยี
อวกาศอยู่ในระดับชั้นนำของภูมิภาคจากประสบการณ์
และเครือข่ายในการขับเคลื่อนและพัฒนาเทคโนโลยี
อวกาศ ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงขีดความสามารถ
ด้านเทคโนโลยีอวกาศประกอบกับโอกาสของ
ประเทศไทยในปัจจุบัน จึงสามารถสังเคราะห์
เป็นแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้าน
เทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยใน 4 ประเด็นหลัก
ดังนี้

5.1 ศึกษาวิจัยระบบนิเวศด้านเทคโนโลยี
อวกาศของประเทศไทยให้มีความเข้าใจถึงโครงสร้าง
พื้นฐาน ทรัพยากรต่าง ๆ ซึ่งหมายรวมถึงทรัพยากร
มนุษย์ และขีดความสามารถด้านกิจการและ
เทคโนโลยีอวกาศของประเทศไทยที่มีในปัจจุบัน โดย
ศึกษาเปรียบเทียบ Benchmarking กับต่างประเทศ
ทั้งในระดับภูมิภาคและประเทศภายนอกภูมิภาคที่มี
ขีดความสามารถในการเป็นตัวอย่างเป้าหมาย เพื่อใช้
เป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาขีดความสามารถ
ของประเทศไทยต่อไป

5.2 มุ่งเป้าพัฒนาขีดความสามารถที่ยัง
ขาดแคลนอยู่ของภูมิภาค ซึ่งคือ ขีดความสามารถ
ในการนำส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่อวกาศในวงโคจร
ระดับต่ำ เพื่อเป็นการเติมเต็มระบบนิเวศด้านกิจการ
อวกาศและสร้างเสริมเศรษฐกิจอวกาศใหม่ของ
ประเทศไทย รวมถึงเป็นการส่งเสริมขีดความสามารถ
ในการแข่งขันทางเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วย

5.3 บูรณาการขีดความสามารถของภาครัฐ
ภาคเอกชน และภาคสถาบันการศึกษา ตั้งแต่ช่วง
เริ่มต้นของการกำหนดนโยบายด้านกิจการอวกาศ
เพื่อให้ทุกฝ่ายมีส่วนร่วมในการส่งเสริมและผลักดัน

กิจกรรมด้านอวกาศ อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดแรงเสียดทานในการขับเคลื่อนการดำเนินการที่เกี่ยวข้อง

5.4 สร้างความร่วมมือกับด้านเทคโนโลยีอวกาศ ทั้งกับประเทศที่มีขีดความสามารถสูง เพื่อรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี สร้างเสริมองค์ความรู้ขั้นสูง พัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีทักษะและความชำนาญ รวมถึงสร้างขีดความสามารถของผู้ประกอบการด้านกิจการอวกาศของประเทศไทยให้สามารถเข้าไปอยู่ในห่วงโซ่อุปทานด้านเทคโนโลยีอวกาศที่สำคัญของภูมิภาคและของโลกได้ และกับประเทศที่กำลังพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศ เพื่อเปิดโอกาสทางเศรษฐกิจ สร้างชื่อเสียงให้ประเทศ และสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียด้านกิจการอวกาศที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์

การดำเนินการตามแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศที่เสนอข้างต้น จะเป็นการช่วยขับเคลื่อนและผลักดันกิจการอวกาศของประเทศไทยให้มีขีดความสามารถที่สอดคล้องกับความต้องการใช้งานทั้งในระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับโลก อีกทั้งจะเป็นการช่วยผลักดันเศรษฐกิจอวกาศใหม่ของประเทศไทยให้มีความเจริญรุ่งเรืองต่อไปในอนาคต

6. บทสรุป

ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีวิวัฒนาการในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศที่แตกต่างกันในช่วงระยะเวลา 60 ปี ที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาโดยใช้เครื่องมือ Space Technology Ladder ของ Wood และ Weigel พบว่า แนวโน้มความพยายามหลักในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยี

อวกาศของ 6 ประเทศ ในภูมิภาคมีความใกล้เคียงกัน ใน 3 ประเด็น กล่าวคือ 1) การมีความพยายามในการจัดหาดาวเทียมสื่อสารโทรคมนาคมวงโคจรค้างฟ้าในห่วงโซ่อุปทานของการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศเพื่อตอบสนองความต้องการของชาติ ด้านการสื่อสารโทรคมนาคมที่ทวีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ และเริ่มแสวงหาองค์ความรู้ รวมทั้งพัฒนาองค์บุคคลในด้านเทคโนโลยีอวกาศ 2) การมุ่งเน้นพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีดาวเทียมวงโคจรระดับต่ำให้เกิดขึ้นภายในประเทศ และ 3) การมีความพยายามในการจัดตั้งหน่วยงานเพื่อบูรณาการขีดความสามารถและขับเคลื่อนกิจการอวกาศของชาติ แม้กระนั้น ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังคงขาดขีดความสามารถในการยิงการนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจรตัวเอง

ประเทศไทยซึ่งถือได้ว่ามีขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศในลำดับต้นของภูมิภาค มีโอกาสที่จะแสวงหาประโยชน์จากแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศที่ให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีดาวเทียมขนาดเล็กมากยิ่งขึ้น ด้วยการพัฒนาและส่งเสริมขีดความสามารถในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอวกาศ ประกอบกับการพัฒนาขีดความสามารถในการเติมเต็มระบบนิเวศด้านกิจการอวกาศของภูมิภาคที่ยังขาดแคลนอันได้แก่ การมีท่าอวกาศยานและขีดความสามารถในการยิงส่งดาวเทียมขนาดเล็กขึ้นสู่วงโคจรระดับต่ำ การที่ประเทศไทยกำลังพิจารณากำหนดนโยบายและแนวทางการขับเคลื่อนผลักดันกิจการอวกาศอย่างเป็นรูปธรรมในปัจจุบันจึงนับเป็นก้าวสำคัญของอุตสาหกรรมอวกาศของไทยในการที่จะบูรณาการขีดความสามารถ กำหนดทิศทาง และใช้ประโยชน์จากเครือข่ายความร่วมมือในการพัฒนาศักยภาพ

การแข่งขันและส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจของไทย
ต่อไปในอนาคต

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Morgan Stanley. “The Space Economy’s Next Giant Leap.” MORGANSTANLEY.com. <https://www.morganstanley.com/Themes/global-space-economy> (accessed Feb. 15, 2023).
- [2] Q. Verspieren and G. Coral, “Introduction: Why Space Matters in ASEAN,” in *ASEAN Space Programs: History and Way Forward*, Q. Verspieren, M. Berthet, G. Coral, S. Nakasuka, and H. Shiroyama, Eds., Singapore: Springer Singapore, 2022, p. 8.
- [3] T. R. Nugraha, Y. M. Putro, R. A. Nugraha, and R. Christiawan, “Indonesian Space Activities: The Long and Winding Road,” *Astropolitics*, vol. 20, no. 2 - 3, p. 241, 2022.
- [4] R. H. Triharjanto, “Development of Micro-satellite Technology at the Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN),” in *17th CERE S Int. Symp. Proc.*, Chiba, Japan, 2012, pp. 32 - 39.
- [5] eoPortal. “LAPAN-A2 Microsatellite of Indonesia.” EOPortal.org. <https://www.eoportal.org/satellite-missions/lapan-a2#spacecraft> (accessed Feb. 21, 2023).
- [6] D. Goh. “Indonesia Aims to Launch an Indigenous Orbital Rocket by 2040.” SPACETECHASIA.com. <https://www.spacetechnasia.com/indonesia-aims-to-launch-an-indigenous-orbital-rocket-by-2040/> (accessed Feb. 22, 2023).
- [7] Y. M. Putro and R. A. Nugraha, “A spaceport in Indonesia’s new capital?.” THEJAKARTAPOST.com <http://repository.ubaya.ac.id/42789/1/Launching-a-Sub-Orbital-Spacecraft.pdf> (accessed Feb. 22, 2023).
- [8] T. R. Nugraha, Y. M. Putro, R. A. Nugraha, and R. Christiawan, “Indonesian Space Activities: The Long and Winding Road,” *Astropolitics*, vol. 20, no. 2-3, pp. 238-250.
- [9] ท. พงศ์พิพัฒน์. “ดาวเทียมนั้นสำคัญไฉน?.” SENATE.go.th. <https://www.senate.go.th/assets/portals/4/fileups/190/files/ดาวเทียมนั้นสำคัญไฉนไม่มีตาราง21-9-61.pdf> (วันที่เข้าถึง ก.พ. 22, 2566).
- [10] T. Raicharoen, “Thai Satellites: Where are They Headed?” *NBTC J.*, vol. 3, no. 3, pp. 74 - 95, 2019.
- [11] S. Jantarang, “THAI-PAHT the Small Satellite for Education,” in *The Euro-Asia Space Week on Cooperation in Space-‘Where East & West Finally Meet’*, Singapore, Nov. 23-27, 1998, pp. 449 - 452.
- [12] รัฐบาลไทย. “คืบหน้ากิจการอวกาศไทยพร้อมยิงดาวเทียมสำรวจโลกมาตรฐานระดับ industrial grade ดวงแรกของไทยปีนี้.” THAIGOV.go.th. <https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/64180> (วันที่เข้าถึง เม.ย. 05, 2566).
- [13] สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). “เส้นทางดาวเทียมฝีมือคนไทย

- สู่เป้าหมายใหม่ยิ่งใหญ่กว่าเดิม.” NARIT.or.th. <https://www.narit.or.th/index.php/news/1706-thailand-satellite-engineering>. (วันที่เข้าถึง มี.ค. 8, 2566).
- [14] รัฐบาลไทย “กรม. เห็นชอบแผนแม่บทอวกาศแห่งชาติ พ.ศ. 2566 - 2580 และร่างนโยบายดาวเทียมสื่อสารแห่งชาติ ที่รัฐเป็นเจ้าของบริหารจัดการเอง.” THAIGOV.go.th. <https://www.thaigov.go.th/news/contents/details/62603> (วันที่เข้าถึง ก.พ. 27, 2566).
- [15] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). “กรม. ไฟเขียวร่าง พรบ. กิจการอวกาศ.” GISTDA.or.th. https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=2265&lang=TH (วันที่เข้าถึง ก.พ. 27, 2566).
- [16] N. N. Mahmood, K. F. Loh, and S. Ahmad, “Remote Sensing Research in Malaysia,” in *1997 IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp.* in Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development, vol. 3, 1997, pp. 1418-1420, doi: 10.1109/IGARSS.1997.606464.
- [17] N. A. Ismail, “Space Sector Development in Malaysia,” in *ASEAN Space Programs: History and Way Forward*, Q. Verspieren, M. Berthet, G. Coral, S. Nakasuka, and H. Shiroyama Eds., Singapore: Springer, 2022, pp. 43 - 55.
- [18] D. L. X. Ho, “Singapore, a Sustained Ambition Towards a Commercial Space Sector,” in *ASEAN Space Programs: History and Way Forward*, Q. Verspieren, M. Berthet, G. Coral, S. Nakasuka, and H. Shiroyama Eds., Singapore: Springer, 2022, pp. 79 - 100.
- [19] Office for Space Technology & Industry. “Singapore’s Space Ecosystem.” EDB.gov.sg. [https://www.edb.gov.sg/content/dam/edb-en/our-industries/aerospace/Singapore's Space Ecosystem.pdf](https://www.edb.gov.sg/content/dam/edb-en/our-industries/aerospace/Singapore's%20Space%20Ecosystem.pdf) (accessed Mar. 3, 2023).
- [20] T. S. Cottom, “An Examination of Vietnam and Space,” *Space Policy*, vol. 47, pp. 78 - 84, 2019.
- [21] P. A. Tuan and L. X. Huy, “Vietnam: An Ambitious Satellite Development Program,” in *ASEAN Space Programs: History and Way Forward*, Q. Verspieren, M. Berthet, G. Coral, S. Nakasuka, and H. Shiroyama Eds., Singapore: Springer, 2022, pp. 101 - 119.
- [22] Airbus. “VNREDSat-1.” AIRBUS.com. <https://www.airbus.com/en/products-services/space/earth-observation/earth-observation-portfolio/vnredsatsat-1> (accessed Mar. 3, 2023).
- [23] Vietnam National Space Center. “Profile of the PicoDragon Satellite.” VNSC.org.vn. <https://vnsc.org.vn/en/projects/profile-of-the-picodragon-satellite>. (accessed Mar. 9, 2023).
- [24] Vietnam National Space Center. “MicroDragon Satellite Project.” VNSC.org.vn. <https://vnsc.org.vn/en/projects/microdragon-satellite-project>. (accessed Mar. 9, 2023).

vns.org.vn/en/projects/microdragon-satellite-project. (accessed Mar. 9, 2023).

- [25] R. M. Sese, “The Philippine Space Program: A Modern Take on Establishing a National Space Program,” in *ASEAN Space Programs: History and Way Forward*, Q. Verspieren, M. Berthet, G. Coral, S. Nakasuka, and H. Shiroyama Eds., Singapore: Springer, 2022, pp. 57 - 77.
- [26] Q. Verspieren, G. Coral, B. Pyne, and H. Roy, “An Early History of the Philippine Space Development Program,” *Acta Astronaut.*, vol. 151, pp. 919 - 927, 2018.
- [27] D. Wood and A. Weigel, “Charting the Evolution of Satellite Programs in Developing Countries - The Space Technology Ladder,” *Space Policy*, vol. 28, no. 1, pp. 15 - 24, 2012.
- [28] Spaceth.co. “Space Economy Lifting Off 2021: เปิดโฉมหน้าบริษัทอวกาศในไทย พวกเขาทำอะไรกัน.” SPACETH.co. <https://spaceth.co/thai-space-company> (เข้าถึงวันที่ เม.ย. 05, 2566).

อุปกรณ์แปลงสัญญาณวิทยุวีเฮชเอฟเป็นสัญญาณวิทยุเอสแบนด์

อนิวัฒน์ ปลอดภัย ¹ วินัย ศีลารวม ² และ สาวัสดี บุญยะเวศ ^{3*}

วันที่รับ 9 มกราคม 2566 วันที่แก้ไข 7 พฤษภาคม 2566 วันที่ตอบรับ 22 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์แปลงความถี่ขึ้นและลงจากความถี่วีเฮชเอฟเป็นความถี่วิทยุเอสแบนด์สำหรับการใช้งานกับระบบสื่อสารกับดาวเทียมวงโคจรต่ำหรือยูเอวี อุปกรณ์แปลงความถี่ใช้สัญญาณไอเอฟเป็นความถี่มาตรฐาน 140 MHz โครงสร้างของอุปกรณ์แปลงความถี่แบ่งเป็นโมดูลโมดูลย่อยออกแบบและจำลองการทำงานเพื่อให้แต่ละระบบย่อยของอุปกรณ์แปลงความถี่มีผลการทำงานที่ดีที่สุดจากอุปกรณ์ที่จัดหาได้ สัญญาณแอลโอสร้างจากเฟสล็อกกลูป ซึ่งมีสัญญาณอ้างอิงภายใน 10 MHz เสถียรภาพสูง วงจรสร้างสัญญาณแอลโอสำหรับแปลงความถี่สามารถเฟสล็อกอย่างอัตโนมัติกับสัญญาณอ้างอิงจากภายนอกที่มีระดับสัญญาณเหมาะสม อุปกรณ์แปลงความถี่มีเฟสลอยดีกว่ามาตรฐาน IESS-308/309

คำสำคัญ : เอสแบนด์, ทรานส์เวอร์เตอร์, อุปกรณ์แปลงความถี่, เฟสล็อกกลูป

¹ ศูนย์วิจัยดาวเทียมขนาดเล็กไทพัฒ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

² สถาบันวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

³ สถาบันนวัตกรรมมหานคร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

* ผู้แต่ง, อีเมล: sawat@mut.ac.th

Design and Development of the VHF to S-Band Transverter

Aniwat Plodpai ¹ Vinai Silaroum ² and Sawat Bunnjaweht ^{3*}

Received 9 January 2023, Revised 7 May 2023, Accepted 22 May 2023

Abstract

This paper presents the design and construction of an S-band Up and Downconverters for LEO satellite and UAV applications. The Up & Down converters are constructed with subsystem modules. The modules are designed and built applying simulation techniques to optimize performance details using automotive grade components. The 140 MHz IF standard is used. The PLL reference clock oscillator in the converters is either locked to a highly stable internal 10 MHz reference or external reference signal. If the proper signal level is present, the LO PLL will automatically lock to the external reference. The spectral purity, low phase noise and stability of the LO signals exceed the requirements of IESS-308/309.

Keywords : S-Band, Transverter, Up & Downconverter, PLL

¹ Thaipath Small Satellite Research Centre, Mahanakorn University of Technology.

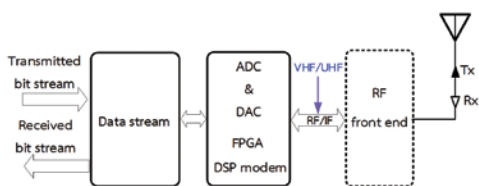
² Electrical and Electronics Institute, Mahanakorn University of Technology.

³ Mahanakorn Institute of Innovation, Mahanakorn University of Technology.

* Corresponding author: sawat@mut.ac.th

1. บทนำ

เครื่องรับส่งวิทยุแบบสมรรถนะสูง (High performance transceiver) ในปัจจุบันมักจะมีโครงสร้างเป็นแบบเอสดีอาร์ (Software-defined Radio: SDR) เอสดีอาร์ หมายถึง วิทยุ ซึ่งบางส่วนหรือทั้งหมดในชั้นกายภาพ (Physical layer: PHY) โดยใช้ซอฟต์แวร์ในระบบวิทยุเพื่อทำหน้าที่จัดการฟังก์ชันของเครื่องวิทยุ [1] เอสดีอาร์เป็นคำที่มีความมุ่งหมายถึงการจัดการรูปคลื่น (Waveform) ด้วยวงจรดิจิทัลในโดเมนสัญญาณดิจิทัล (Digital domain) ไม่เกี่ยวกับส่วนฟรอนต์เอนด์ความถี่วิทยุ (RF front end) เทคโนโลยีเอสดีอาร์ได้รับการพัฒนาและมีความก้าวหน้าอย่างมาก ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เอสดีอาร์กลายเป็นสิ่งที่มีความโดดเด่นในอุตสาหกรรม (Dominant industry standard) นับจากแทคติคอลเรดิโอ (Tactical radio) ในกิจการทหารจนถึงโทรศัพท์เซลลูลาร์ แรงผลักดันที่สำคัญของเอสดีอาร์คือเทคโนโลยีของวงจรรวมความถี่วิทยุ (RF Integrated Circuits: RFICs) และเอฟพีจีเอ (Field-programmable Gate Array: FPGA) ซึ่งเน้นฟังก์ชันดีเอสพี (Digital Signal Processing: DSP) หรือ DSP-intensive FPGAs รวมทั้งอัลกอริทึมและเทคนิคที่ใช้กันทำให้เอสดีอาร์เป็นองค์ประกอบหลักของวิทยุสมรรถนะสูงในปัจจุบัน [2] บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของวิทยุรับส่งแบบเอสดีอาร์แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ ๑ บล็อกไดอะแกรมอย่างง่ายของวิทยุรับส่งแบบเอสดีอาร์ซึ่งอุปกรณ์แปลงความถี่ทำหน้าที่ฟรอนต์เอนด์

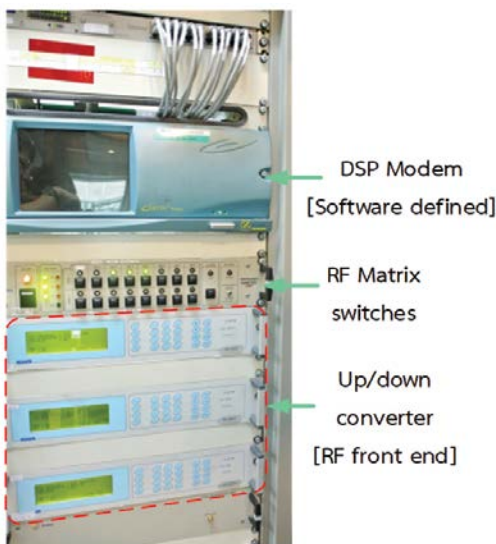
โครงสร้างของเอสดีอาร์ (เฉพาะส่วนเครื่องรับวิทยุ) อาจพิจารณาจากขั้นตอนการแปลงสัญญาณวิทยุจากวงจรส่วนหน้า (RF front end) ได้คือ (ก) ซุปเปอร์เฮเทอโรไดนา (Superheterodyne Receiver: SHR) โดยสัญญาณวิทยุจากสายอากาศถูกแปลงเป็นความถี่กลางหรือความถี่ไอเอฟ (Intermediate frequency: IF) ก่อนการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลหรือเอดีซี (Analog-to-Digital Converter: ADC) (ข) เครื่องรับวิทยุแบบแปลงความถี่โดยตรง (Direct Conversion Receiver: DCR) ซึ่งสัญญาณวิทยุถูกแปลงความถี่ลงเป็นช่องสัญญาณไอ (In-phase: I) และช่องสัญญาณควิ (Quadrature-phase: Q) ก่อนการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และ (ค) เครื่องรับแบบสุ่มสัญญาณวิทยุโดยตรง (Direct RF Sampling: DRFS) เครื่องรับแบบนี้เป็นการแปลงสัญญาณวิทยุเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยตรง ซึ่งต้องใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีสมรรถนะสูงมากและใช้กำลังพลังงานมาก โครงสร้างเอสดีอาร์แบบ (ข) ถือเป็นโครงสร้างมาตรฐานของอาร์เอฟไอซี ซึ่งใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบวายฟาย (Wi-Fi) ในปัจจุบัน ในขณะที่โครงสร้างเอสดีอาร์แบบ (ก) ใช้งานในระบบสื่อสารของดาวเทียม ไม่ว่าจะเป็นบนตัวดาวเทียม (On-board transceiver) หรือในสถานีภาคพื้นดิน (Ground station) ระบบถ่ายทอดสัญญาณของโดรน และแทคติคอลเรดิโอ เป็นต้น

บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 เป็นโครงสร้างที่ใช้กันแพร่หลายในระบบสื่อสารของระบบสื่อสารของดาวเทียมและยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ซึ่งมีวงจรส่วนหน้าเป็นอุปกรณ์แปลงความถี่ อุปกรณ์แปลงความถี่ของระบบสื่อสารดาวเทียมและยูเอวี ซึ่งมีอัตราบิตในช่วงไม่เกิน 10-20 Mbps

ใช้สัญญาณไอเอฟ 70 หรือ 140 MHz ซึ่งมีระบบประมวลสัญญาณดิจิทัลหรือดีเอสพีเป็นส่วนจัดการสัญญาณไอเอฟ (มอดูเลเตอร์/ดีมอดูเลเตอร์ หรือ โมเด็ม) โดยทั่วไปเรียกระบบทั้งหมดว่าเอสดีอาร์

ลักษณะของเอสดีอาร์อาจมีได้ตั้งแต่เป็นแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แผ่นเล็ก ๆ แผ่นเดียวจนถึงขนาดใหญ่ที่ติดตั้งในตู้แร็คมาตรฐาน รูปที่ 2 เป็นตัวอย่างอุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุย่านเอสแบนด์ในสถานีภาคพื้นดินของระบบสื่อสารดาวเทียมวงโคจรต่ำย่านเอสแบนด์

โครงการวิจัยนี้เป็นการสร้างต้นแบบอุปกรณ์แปลงความถี่ขึ้นและลง (มีฟังก์ชันการทำงานแบบอุปกรณ์ดังแสดงในกรอบเส้นประของรูปที่ 1 และรูปที่ 2) เพื่อมอดูเลตหรือดีมอดูเลตสัญญาณวิทยุด้วยดีเอสพีโมเด็ม



รูปที่ ๒ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุย่านเอสแบนด์ในสถานีภาคพื้นดินของระบบสื่อสารดาวเทียมวงโคจรต่ำย่านเอสแบนด์

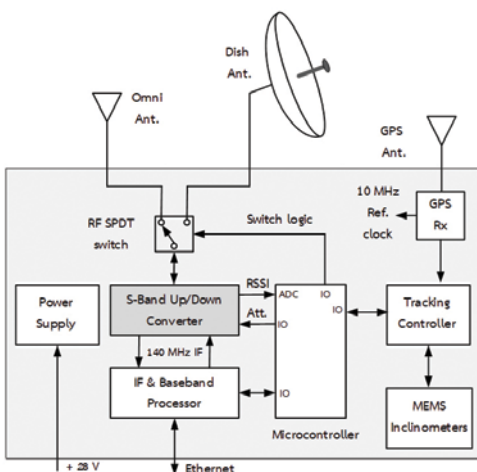
2. อุปกรณ์แปลงความถี่ (Up/down converter)

งานวิจัยเป็นการสร้างอุปกรณ์แปลงสัญญาณวิทยุไอเอฟ-ยูเอชเอฟเป็นสัญญาณวิทยุเอสแบนด์ อุปกรณ์แปลงความถี่มีลักษณะเป็นทรานส์เวอร์เตอร์ (Transverter) มีฟังก์ชันการแปลงสัญญาณวิทยุทั้งการแปลงความถี่ขึ้นและแปลงความถี่ลง มีสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตความถี่ไอเอฟมาตรฐาน 140 MHz ในระบบส่งสัญญาณ 50 Ω การแปลงความถี่ขาขึ้นและขาลงเป็นการแปลงความถี่ไอเอฟเป็นความถี่ไมโครเวฟย่าน 2100 ถึง 2300 MHz อุปกรณ์แปลงความถี่นี้สามารถทำงานเป็นวงจรส่วนหน้าหรืออาร์เอฟพรอนต์เอ็นด์ของอุปกรณ์เอสดีอาร์ ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 สามารถใช้งานเป็นอุปกรณ์แปลงความถี่ของสถานีภาคพื้นดินของระบบสื่อสารสำหรับดาวเทียมวงโคจรต่ำในแบบรูปที่ 2 ได้ และเมื่อเลือกใช้อุปกรณ์ในส่วนที่จำเป็นบนพื้นฐานข้อจำกัดเรื่องน้ำหนัก (Mass budget) และกำลังงาน (Power budget) ก็สามารถใช้งานกับระบบดาวต่ำลิงก์ (Data link) ของยูเอวี

2.1 คุณสมบัติของอุปกรณ์

อุปกรณ์แปลงความถี่ ซึ่งออกแบบพัฒนาขึ้น มีวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานกับเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุแบบเคลื่อนที่ (ดาวเทียมวงโคจรต่ำหรือยูเอวี) เพื่อแปลงสัญญาณวิทยุจากสายอากาศรับสัญญาณเป็นความถี่อินพุต (ความถี่ไอเอฟ) ของระบบประมวลสัญญาณดิจิทัลในเอสดีอาร์และแปลงสัญญาณเอาต์พุตจากระบบประมวลสัญญาณดิจิทัลในเอสดีอาร์ไปเป็นสัญญาณวิทยุอินพุตของวงจรขยายกำลัง (RF power amplifier) ซึ่งต่ออยู่กับระบบสายอากาศส่งสัญญาณ อุปกรณ์แปลงความถี่

ต้องมีพิสัยพลวัต (Dynamic range) เพียงพอที่จะทำงานกับแหล่งกำเนิดสัญญาณวิทยุเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้ขนาดสัญญาณวิทยุเปลี่ยนแปลงมาก เช่น กรณีดาวเทียมอยู่ที่ตำแหน่งพื้นขอบฟ้าเทียบกับตำแหน่ง 90 องศา หรือเมื่ออยู่เอวอยู่ที่ระยะทำการไกลสุดเทียบกับตำแหน่งบินขึ้นจากสนามบินปล่อย ทั้งสองกรณีดังกล่าวอุปกรณ์แปลงความถี่ต้องสามารถแสดงความเข้มของสัญญาณวิทยุ (Signal strength) เพื่อควบคุมขนาดสัญญาณวิทยุมิให้เกิดการโอเวอร์โหลดกับวงจร สัญญาณอาร์เอสเอสไอ (Received Signal Strength Indicator: RSSI) จากอุปกรณ์แปลงความถี่ใช้สำหรับ (ก) ปรับอัตราการลดทอนของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณวิทยุให้เหมาะสมดังที่กล่าวแล้ว (ข) ใช้เป็นสัญญาณเพื่อประกอบการติดตาม (Tracking) ดาวเทียมหรืออยู่เอว และ (ค) เพื่อตัดสินใจเลือกใช้สายอากาศที่สถานีฐานของระบบควบคุมอยู่เอวให้เป็นแบบรอบทิศทางอัตราขยายต่ำเมื่ออยู่เอวอยู่ใกล้สถานีฐาน หรือเลือกสายอากาศแบบมีทิศทางอัตราขยายสูงเมื่ออยู่เอวอยู่ไกลจากสถานีฐาน ดังแสดงดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3



รูปที่ ๓ สถานีฐานของระบบอยู่เอว

อุปกรณ์แปลงความถี่ทำงานได้ด้วยสัญญาณนาฬิกาในตัวเอง (Internal clock signal) ภายในอุปกรณ์แปลงความถี่ ซึ่งสร้างจากคริสตัลอสซิลเลเตอร์ควบคุมอุณหภูมิคงที่ (Oven-controlled Crystal Oscillators: OCXO) และสามารถซิงโครไนซ์เฟส (phase locked) กับสัญญาณนาฬิกา 10 MHz ซึ่งมาจากสัญญาณนาฬิกาของเครื่องรับจีพีเอส (GPS disciplined clock) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นของระบบสื่อสารดาวเทียมวงโคจรต่ำและระบบสื่อสารแบบทีดีดี (Time Division Duplexing: TDD)

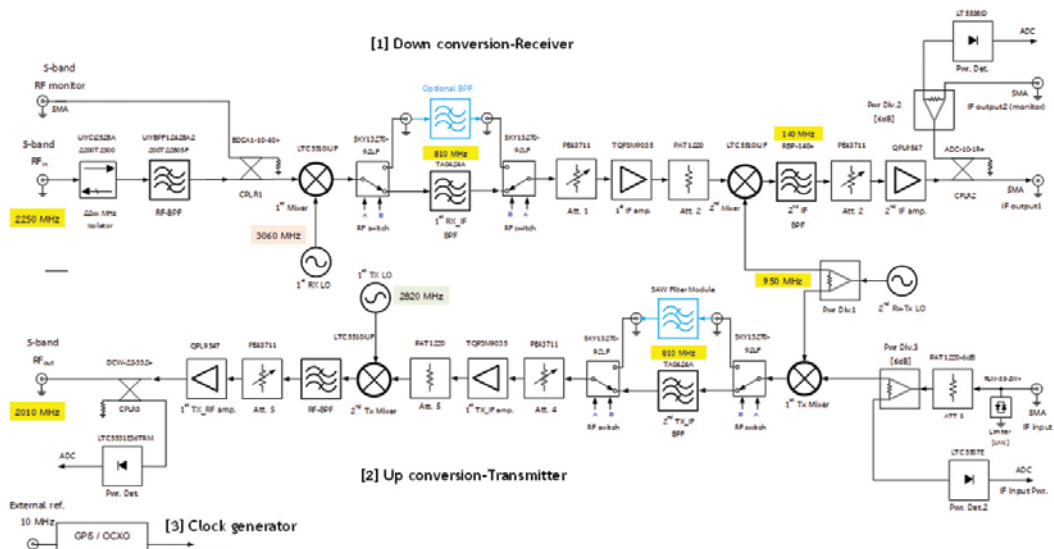
การอินเทอร์เฟสสัญญาณวิทยุเป็นอิมพีแดนซ์ระบบ 50 Ω ขั้วอินพุต/เอาต์พุตสามารถทนต่อการคายประจุไฟฟ้าสถิตแบบ HBM (Human body model) class 1B และขั้วอินพุตของอุปกรณ์แปลงความถี่ขึ้นสามารถทนทานต่อการป้อนสัญญาณอินพุตขนาดใหญ่ได้ไม่น้อยกว่า 30 dBm (1 วัตต์) โดยไม่ทำให้อุปกรณ์เสียหาย

อุปกรณ์แปลงความถี่มีวงจรสร้างสัญญาณแอลโอ (Local oscillator) จำนวน 3 ชุด โดย 2 ชุดสำหรับผลิตสัญญาณแอลโอเพื่อแปลงความถี่ลงเป็นความถี่ไอเอฟครั้งที่ 1 (810 MHz) สำหรับภาครับสัญญาณ และแปลงความถี่ขึ้นครั้งที่ 2 สำหรับภาคส่งสัญญาณ วงจรสร้างสัญญาณแอลโอ ชุดที่ 3 สำหรับแปลงความถี่ไอเอฟที่ 1 (ภาครับ) เป็นลงเป็นไอเอฟที่ 2 ความถี่ 140 MHz และแปลงความถี่ไอเอฟที่ 1 (ภาคส่ง) ขึ้นเป็นความถี่ไอเอฟที่ 2 ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมของรูปที่ 4 วงจรสังเคราะห์ความถี่สำหรับสร้างสัญญาณแอลโอของงานวิจัยต้องการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน IESS-308 Rev.11 (Intelsat earth station standards: IESS) [3]

ตัวกรองผ่านแถบความถี่ไอเอฟของภาครับและภาคส่งสามารถเลือกติดตั้ง (install) ตัวกรองซึ่งมีแบนด์วิดท์ที่สอดคล้องกับมอดูเลชันแบนด์วิดท์

ของสัญญาณวิทยุ (เช่นเลือกใช้ตัวกรองแบนด์วิดท์ 14 MHz สำหรับการรับสัญญาณจีเอ็มเอสเค ซึ่งมีอัตราบิต 10 Mbps เป็นต้น) แบนด์วิดท์ของ

ตัวกรองไอเอฟมีผลโดยตรงต่อออสฟลอร์ของระบบรับสัญญาณ



รูปที่ ๔ บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์แปลงความถี่

การควบคุมขนาดสัญญาณของอุปกรณ์แปลงความถี่ทำโดยวงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ปรับอัตราการลดทอนแบบดิจิทัลขั้นละ 0.5 dB มีอัตราการลดทอนรวม (สูงสุด) 60 dB

ในฝั่งการรับสัญญาณ อุปกรณ์แปลงความถี่มอนิเตอร์ขนาดสัญญาณวิทยุจากระบบฟรอนต์เอ็นด้วยตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทาง (Directional coupler) มีอัตราการเชื่อมต่อ 10 dB ที่ตำแหน่งอินพุตของสัญญาณอาร์เอฟ และ 16 dB ที่ตำแหน่งเอาต์พุตของสัญญาณไอเอฟ

ภาคส่งสัญญาณของอุปกรณ์แปลงความถี่มอนิเตอร์ขนาดอินพุตของสัญญาณไอเอฟวิทยุด้วยตัวแบ่งกำลัง (Power splitter) และที่สัญญาณเอาต์พุตด้วยตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางแล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันดิจิตัลด้วยวงจรตรวจจับสัญญาณ (RF detector) แรงดันดิจิตัลดังกล่าวใช้เพื่อควบคุมขนาดสัญญาณ

วิทยุขาขึ้นผ่านอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณเพื่อป้องกันการทำงานเกินกำลังของวงจรขยายกำลัง (Power amplifier) ของระบบส่งสัญญาณ

อุปกรณ์แปลงความถี่มีอัตราขยายจากการแปลงผัน (Conversion gain) ด้านรับสัญญาณอย่างน้อย 40 dB และจ่ายสัญญาณเอาต์พุตได้ 10 dBm ฝั่งแปลงความถี่ขึ้น อุปกรณ์แปลงความถี่มีอัตราขยายจากการแปลงผัน 3 dB และจ่ายสัญญาณเอาต์พุตได้อย่างน้อย 0 dBm

การสร้างต้นแบบอุปกรณ์แปลงความถี่ดังรายละเอียดข้างต้นมีจุดประสงค์ต้องการให้อุปกรณ์ต้นแบบใช้งานเป็นอาร์เอฟฟรอนต์เอ็นสำหรับสถานีฐานของระบบสื่อสารดาวเทียมวงโคจรต่ำหรือยูเอวีแอมเอสแบนด์ โดยมุ่งหวังให้เครื่องรับมีคุณสมบัติชั้นกลาง (Mid-tier) [4] เป็นอย่างน้อย

3. การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์แปลงความถี่

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์แปลงความถี่ไม่ใช่เป็นการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในทางทฤษฎี แต่เป็นด้านตรงกันข้าม คือการนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์สร้างเป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ขึ้นเพื่อให้ใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตาม ความรู้ทางทฤษฎีดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำงานวิจัยให้ลุล่วงไปได้ด้วยทรัพยากรที่จำกัดและการขาดองค์ความรู้ ทางสะดวกของการวิจัยในสภาพแวดล้อมเช่นนี้คือการศึกษาจากอุปกรณ์จริง ศึกษาจากเอกสารทางเทคนิค (เช่น service manual) [5]-[6] ของอุปกรณ์จริง (อาจหาได้ยากเนื่องจากเป็นข้อมูลปิด) ศึกษาจากเอกสารสิทธิบัตรของอุปกรณ์ที่ใช้จริง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างหรือเลียนแบบอุปกรณ์ที่นำมาศึกษาได้โดยตรง จากการศึกษาอุปกรณ์แปลงความถี่ ซึ่งมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 2.1 พบว่า ไม่ใช่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจำนวนมาก (Mass production) แต่เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นจากระบบย่อย (System integration) จากผู้ผลิตหลายราย ทำให้ไม่สามารถสร้างเลียนแบบขึ้นใหม่ได้โดยง่าย เนื่องจากเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ล้ำสมัยเร็ว อุปกรณ์แปลงความถี่ที่ผลิตจำหน่ายปีนี้อาจใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นเทคโนโลยีเมื่อ 5 ปีที่แล้ว และระบบย่อยที่ใช้อาจล้ำสมัยจนอุปกรณ์ที่ใช้เลิกผลิตไปแล้ว

งานวิจัยต้นแบบอุปกรณ์แปลงความถี่สร้างระบบย่อยแต่ละส่วนโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หาได้จากตัวแทนจำหน่าย [7]-[8] โดยมีรายละเอียดการออกแบบคือ

3.1 โครงสร้างและวงจรของอุปกรณ์แปลงความถี่

พรอนต์เอ็นภาครับสัญญาณวิทยุประกอบด้วย ไอโซเลเตอร์ (Isolator) ย่านความถี่เอสแบนด์ UIYCI2528A2200T2300 และตัวกรองผ่านแถบโพรงคลื่น (Cavity band pass filter) UIYBPF12428 A2200T2280SF ทำหน้าที่เลือกแถบความถี่สัญญาณภาครับ (Band-selection Filters: BSF) ในช่วง 2200-2280 MHz โดยสามารถเลือกติดตั้งไอโซเลเตอร์และตัวกรองผ่านแถบให้มีผลตอบสนองสอดคล้องกับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานได้โดยคุณสมบัติของอุปกรณ์แปลงความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง การมอดูเลตสัญญาณอินพุตทำผ่านตัวเชื่อมต่อแบบมีทิศทางชนิดแอลทีซีซี (Low temperature co-fired ceramics: LTCC)

การเลือกใช้วงจรมิกเซอร์พิจารณาจาก (ก) ระดับสัญญาณอาร์เอฟอินพุต (ข) กำลังขับของสัญญาณแอลโอมิกเซอร์ ซึ่งสามารถรับกำลังอินพุตได้สูงเป็นสวิตชิงมิกเซอร์แบบไดโอดหรือทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า มิกเซอร์แบบไดโอดบางแบบใช้งานกับสัญญาณอินพุตได้สูงถึง 24 dBm (250 มิลลิวัตต์) [9] แต่ต้องใช้กำลังขับจากสัญญาณแอลโอสูงถึง 27 dBm (500 มิลลิวัตต์) เช่นกัน ซึ่งไม่สะดวกกับการใช้งานในยูเอวี (นอกจากนี้วงจรมิกเซอร์แบบไดโอดจะมีคุณสมบัติที่สุดต้องทำงานร่วมกับตัวกรองที่ไม่สะท้อนคลื่น (reflection-less filters) อุปกรณ์แปลงความถี่ในงานวิจัยใช้วงจรมิกเซอร์ LTC5510 ซึ่งเป็นตัวคูณกิลเบิร์ตที่ใช้ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ [10] ซึ่งไม่มีข้อจำกัดเรื่องคลื่นสะท้อนและใช้กำลังขับจากสัญญาณแอลโอต่ำ (0 dBm หรือ 1 มิลลิวัตต์) วงจรมิกเซอร์ใช้สัญญาณแอลโอแบบป้อนด้านสูง (high side injection)

ตัวกรองผ่านแถบสำหรับเลือกสัญญาณ ไอเอฟเป็นตัวกรองผ่านแถบแบบคลื่นอะคูสติกผิว (Surface acoustic wave: SAW) TA0424A มีความถี่กลาง 810 MHz แบนด์วิดท์ 14 MHz ตัวกรองไอเอฟเลือกติดตั้งได้ 2 ชุด การเลือกใช้งานตัวกรองทำโดยอาร์เอฟสวิตช์

อาร์เอฟสวิตช์สำหรับเลือกตัวกรองเป็นวงจรรวม SKY13270-92LF ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบพีเซม (Pseudomorphic High-electron-mobility Transistor: pHEMT)

ตัวลดทอนสัญญาณแบบโปรแกรมได้เป็นวงจรรวม PE43711 ซึ่งใช้เทคโนโลยีซีมอส (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor: CMOS) ซึ่งสามารถโปรแกรมการลดทอนได้ขึ้นละ 0.25 dB ได้ทั้งการควบคุมแบบอนุกรมและขนาน ตัวลดทอนสัญญาณมี 2 ชุด มีพิสัยควบคุมขนาดสัญญาณได้รวม 63.5 dB ทั้งด้านแปลงความถี่ลงและแปลงความถี่ขึ้น

วงจรรขยายสัญญาณไอเอฟทั้งฝั่งแปลงความถี่ลงและแปลงความถี่ขึ้นใช้วงจรรวม TQP3M9035 และ QPL9547 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบบอีพีเซม (Enhancement Mode Pseudomorphic High-electron-mobility Transistor: E-pHEMT) วงจรรขยายสัญญาณมีตัวเลขสัญญาณรบกวน (Noise figure) ต่ำมาก (ต่ำกว่า 0.65 dB) และมีระดับกำลังงานสัญญาณวิทยุอิมิตัวเปียงเบน 1 dB (P1dB) มากกว่า 100 มิลลิวัตต์

ในส่วนแปลงความถี่ขึ้นการแปลงสัญญาณวิทยุที่แบ่งมอดูเลเตอร์ให้เป็นแรงดันดีซีทำโดยวงจรรีทีเทคเตอร์สัญญาณวิทยุด้วยขอตต์กีไดโอด (Schottky diode RF detector) แบบวงจรรวม LTC5507, LTC5531

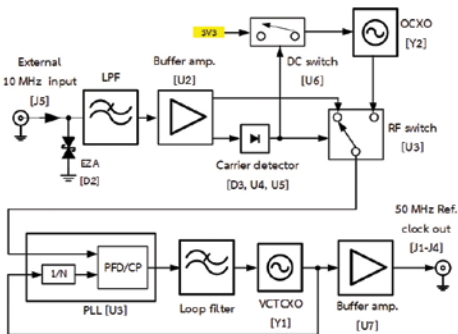
สำหรับภาคแปลงความถี่ลงอาศัยการแปลงสัญญาณวิทยุเป็นแรงดันดีซีด้วยวงจรรวมรีทีเทคเตอร์สัญญาณวิทยุแบบล็อก (Logarithmic RF power detector) LT5538 ซึ่งมีพิสัยพลวัตสูง (75 dB)

อุปกรณ์แปลงความถี่มีวงจรรำกำเนิดสัญญาณแอลโอ 3 ชุด ประกอบด้วย 1 ชุด สำหรับแปลงสัญญาณวิทยุภาครับให้เป็นสัญญาณไอเอฟที่ 1 เช่น ถ้ารับสัญญาณความถี่ 2250 MHz วงจรรำกำเนิดสัญญาณแอลโอที่ 1 ทำงานที่ความถี่ 3060 MHz เพื่อแปลงสัญญาณอินพุตตาลงเป็นความถี่ไอเอฟที่ 1 (810 MHz) โดยมีวงจรรำสร้างสัญญาณแอลโอที่ 2 ทำงานที่ความถี่ 950 MHz เพื่อแปลงสัญญาณอินพุตตาลงเป็นความถี่ไอเอฟที่ 2 (140 MHz) ในส่วนการแปลงความถี่ขึ้น สัญญาณไอเอฟที่ 2 (140 MHz) ถูกแปลงความถี่ขึ้นเป็น 810 MHz ด้วยสัญญาณแอลโอที่ 2 ชุดเดียวกับการแปลงความถี่ลง จากนั้นจะแปลงเป็นความถี่ขาขึ้น 2010 MHz ด้วยวงจรรำสร้างสัญญาณแอลโอชุดที่ 3 ความถี่ 2820 MHz วงจรรำสร้างสัญญาณแอลโอทั้ง 3 ชุด ออกแบบและสร้างขึ้นจากวงจรรวม HMC829LP6GE ซึ่งเป็นวงจรรำสังเคราะห์ความถี่แบบตัวหาร N เป็นเลขทศนิยม (Fractional-N phase-locked loop frequency synthesizer) โดยมีความถี่อ้างอิง 50 MHz วงจรรวม HMC829LP6GE มีเฟสnoiseต่ำมากและทำให้วงจรรำแปลงความถี่มีคุณลักษณะเฟสnoise (Phase noise profile) ดีกว่าข้อกำหนดของ IESS-308

3.2 วงจรรำสร้างสัญญาณอ้างอิง

สัญญาณอ้างอิงหรือสัญญาณนาฬิกาสำหรับสร้างสัญญาณแอลโอในอุปกรณ์แปลงความถี่ทำงานได้ด้วยตัวเอง (Standalone) โดยอาศัยออสซิลเลเตอร์แบบ VCTCXO (Voltage controlled temperature

compensated crystal oscillators) ซึ่งผลิตความถี่ทำงานอิสระ (Free-running frequency) เท่ากับ 50 MHz [11] โดยมีเสถียรภาพของความถี่เท่ากับ ± 0.28 ppm และสามารถชดเชยไครโนสเฟส/ความถี่กับสัญญาณนาฬิกาภายนอกจากระบบจีเอ็นเอสเอส (Global Navigation Satellite System: GNSS) ได้ด้วยระบบเฟสล็อกกลูบ ขณะทำงานด้วยตัวเองวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาใช้สัญญาณอ้างอิงที่มาจากวงจรออสซิลเลเตอร์แบบคริสตัลควบคุมอุณหภูมิด้วยเตาอบ (Oven controlled crystal oscillator: OCXO) ความถี่ 10 MHz (Y2) ซึ่งมีเสถียรภาพของความถี่เท่ากับ ± 100 ppb [12] เมื่อใช้สัญญาณอ้างอิง 10 MHz จากระบบจีเอ็นเอสเอส โอซีเอกซ์โอจะถูกปลดออกจากวงจรโดยอัตโนมัติเพื่อประหยัดพลังงาน บล็อกไดอะแกรมของวงจรสร้างสัญญาณอ้างอิงแสดงในรูปที่ 5

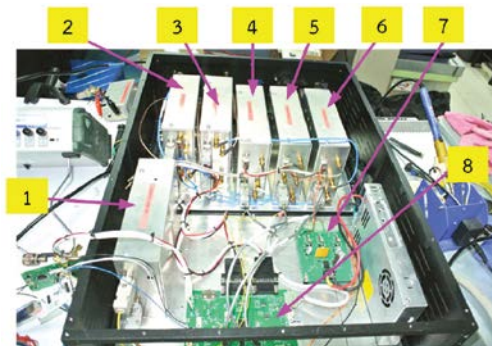


รูปที่ ๕ บล็อกไดอะแกรมของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

3.3 อุปกรณ์แปลงความถี่ต้นแบบ

ระบบย่อย (Subsystem) แต่ละส่วนของอุปกรณ์แปลงความถี่ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4 สร้างขึ้นในแบบโมดูลย่อยบนแผ่นวงจรแบบ FR-4 แบบ 2 และ 4 ชั้น และใช้อุปกรณ์พาสซีฟตามมาตรฐาน AEC-Q200 การทำงานของอุปกรณ์แปลง

ความถี่ควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ATMEGA2560-16AU อุปกรณ์แปลงความถี่หรือทรานส์เวอร์เตอร์ต้นแบบแสดงในรูปที่ 6



- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| (1) Reference clock | (2) Down-converter |
| (3) Up-converter | (4) Tx local oscillator |
| (5) Rx local oscillator | (6) IF2 local oscillator |
| (7) DC-to-DC converter | (8) Microcontroller |

รูปที่ ๖ อุปกรณ์แปลงความถี่ต้นแบบ

ตัวอย่างระบบย่อยของอุปกรณ์แปลงความถี่ซึ่งออกแบบและสร้างขึ้นเป็นอุปกรณ์แปลงความถี่ลงหมายเลข (2) ของรูปที่ 6 แสดงในรูปที่ 7

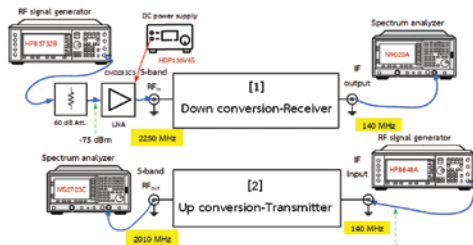


รูปที่ ๗ วงจรแปลงความถี่ลงย่านเอสแบนด์เป็นวีเอชเอฟต้นแบบ

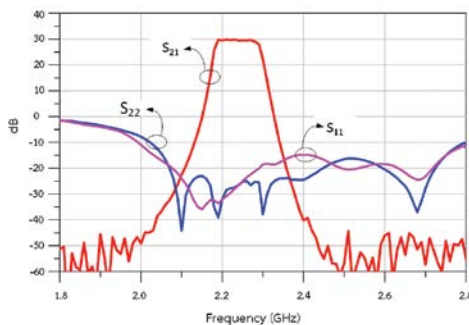
3.4 การทดสอบอุปกรณ์แปลงความถี่ต้นแบบ

การทดสอบอุปกรณ์แปลงความถี่ต้นแบบทำตามเอกสาร [13]-[14] โดยวิธีการทดสอบแสดง

เป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 8 การทดสอบคุณสมบัติของวงจรแปลงความถี่ลงทำโดยกำหนดค่าเริ่มต้นการลดทอนสัญญาณเป็น 10 dB ฟังخالลงป้อนสัญญาณอินพุต -75 dBm ผ่านวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ ซึ่งต่อเรียงกับวงจรกรองผ่านแถบแบบโพรงคลื่น (cavity filter) ซึ่งผลตอบสนองความถี่ของวงจรแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ ๘ บล็อกไดอะแกรมการทดสอบอุปกรณ์แปลงความถี่



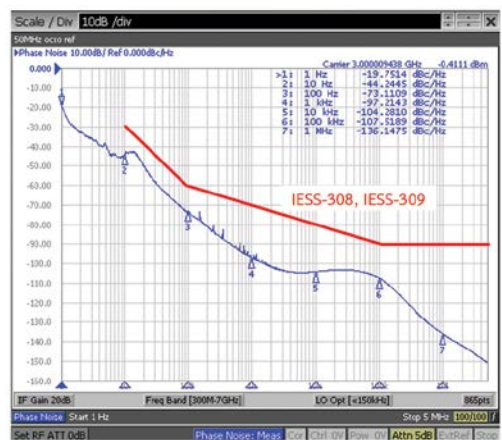
รูปที่ ๙ ผลตอบสนองความถี่ของพอร์นดเอ็นของอุปกรณ์แปลงความถี่

วงจรสังเคราะห์ความถี่สำหรับสร้างสัญญาณแอลโอที 1 มีคุณสมบัติของเฟสnoiseดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IESS-308/309

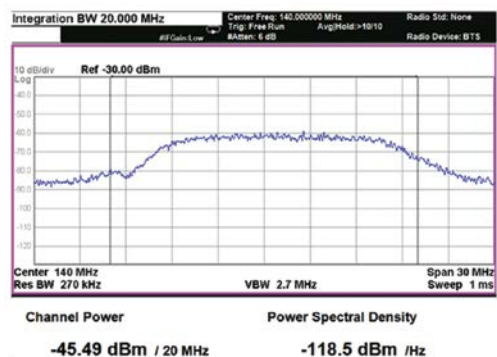
อุปกรณ์แปลงความถี่ลงมีอัตราขยายจากการแปลงผัน (Conversion gain: Gc) 56.3 dB และด้านแปลงความถี่ขึ้นมีอัตราขยายจากการแปลงผัน 9 dB นอยส์ฟลอร์ (noise floor) ในช่องสัญญาณอย่างง่ายอาจคำนวณได้จากสมการ

$$P_n(\text{dBm}) = -174 + NF_{LNA}(\text{dB}) + 10\log(BW) + G_c(\text{dB}) \quad (1)$$

ทั้งนี้ เนื่องจาก LNA มีอัตราขยายสูง (มากกว่า 30 dB) และมีตัวเลขนสัญญาณรบกวนต่ำ (0.55 dB) ในย่านความถี่รับสัญญาณ เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์ (BW) ซึ่งต้องการวัดกำลังสัญญาณรบกวนมีความกว้าง 20 MHz อุปกรณ์แปลงความถี่ลงมีกำลังสัญญาณรบกวน -44.12 dBm การทดลองวัดกำลังในช่องสัญญาณ (channel power) ขณะไม่มีสัญญาณอินพุตแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ ๑๐ เฟสnoiseแบบแถบความถี่ด้านเดียว (single sideband phase noise) ของสัญญาณแอลโอที 1



รูปที่ ๑๑ ระดับสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณ

4. อภิปรายและสรุป

งานวิจัยต้นแบบอุปกรณ์แปลงสัญญาณวิทยุวีเอชเอฟ-ยูเอชเอฟเป็นสัญญาณวิทยุเอสแบนด์หรืองานวิจัยในลักษณะนี้เป็นงานที่ต้องใช้ความรู้ความชำนาญหลายสาขา (multidisciplinary) และมีเครื่องมือวัดและทดสอบราคาสูงหลายอย่าง (เช่น อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณดิจิทัลมอดูเลชันที่สามารถทดสอบอัตราผิดพลาดบิต หรืออุปกรณ์เลียนแบบช่องสัญญาณสื่อสาร) ถึงจะทำให้อุปกรณ์แปลงความถี่ที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติด้านโปรแกรมหรือเฟิร์มแวร์ (Firmware) ทดเทียมอุปกรณ์ที่จำหน่ายในตลาด ซึ่งทีมวิจัยขาดองค์ประกอบในส่วนพัฒนาซอฟต์แวร์และส่วนการอินเทอร์เฟซกับผู้ใช้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์แปลงความถี่ต้องการเฟิร์มแวร์ที่สอดคล้องกับการใช้งานและสามารถปรับตัวได้ และยังต้องการโครงสร้างของกล่องอุปกรณ์ที่ประกอบทางกลที่เหมาะสม สามารถป้องกันการรบกวนเชิงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference: EMI) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ที่จะใช้งานเช่นกัน กล่องบรรจุวงจรสังเคราะห์ความถี่ต้องรับการสั่นสะเทือนทางกลได้โดยไม่มีผลทำให้เฟสของสัญญาณเปลี่ยนแปลง หรือถ้ากล่องบรรจุวงจรมิกเซอร์สามารถลดทอนสัญญาณวิทยุได้สูง ก็จะสามารถใช้อุปกรณ์ไดโอดมิกเซอร์ที่พิสัยพลวัตสูง แต่มีอัตราการใช้พลังงานระหว่างพอร์ต (RF-LO port isolation) ไม่มากได้ หรืออุปกรณ์ที่ใช้งานบนยูเอวีต้องมีน้ำหนักน้อย มิกเซอร์แบบไดโอดอาจไม่เหมาะสม เป็นต้น

4.1 บทเรียน (Lessons learned)

จากประสบการณ์วิจัยที่ผ่านมา ทีมวิจัยพบว่าการเรียนรู้สาเหตุของปัญหา (Root cause) ที่เกิดมีค่ามากกว่าผลสำเร็จ เนื่องจากผลสำเร็จมาจาก

องค์ความรู้ที่มี ส่วนปัญหามาจากความรู้หรือประสบการณ์ที่ขาด บทเรียนที่ได้จากการวิจัยคือ (ก) สัญญาณรบกวนเชิงแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญควรวางแผนไว้ล่วงหน้า วงจรดีเทคเตอร์สำหรับตรวจวัดสัญญาณวิทยุทำงานได้ดีเมื่อทดสอบแยกส่วน (Unit test) แต่มีปัญหาใช้งานไม่ได้ดีเมื่อส่งพารามิเตอร์ออกนอกกระบบย่อย เนื่องจากต้องเผชิญสัญญาณสวิตชิงนอยส์ขนาดใหญ่จากวงจรดิจิทัลและวงจรจ่ายกำลัง การแก้ปัญหาอาจเป็นการใช้วงจรรวมดีเทคเตอร์ ซึ่งมีวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายใน เช่น LTC5587 [15] และส่งสัญญาณในแบบดิจิทัลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงแทนการส่งสัญญาณแอนะล็อกขนาดเล็กไปยังตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ข) ในช่วง 4 ปีที่ผ่านมา ปัญหาห่วงโซ่อุปทานเป็นปัญหาใหญ่ในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การบริหารความเสี่ยงจากการขาดสต็อกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นสิ่งจำเป็น อาจต้องจัดหาอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้าก่อนการผลิต ในงานวิจัยนี้ทีมวิจัยต้องออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรมิกเซอร์ใหม่หลังจากวงจรเดิม ซึ่งได้ทดสอบ (Unit test) ไปแล้ว ผู้แทนจำหน่ายไม่สามารถส่งอุปกรณ์ได้เมื่อจะผลิตต้นแบบ

4.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ประการแรก ถ้าพิจารณาว่าผลิตขึ้นเพื่อทดแทนการนำเข้า เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 อุปกรณ์แปลงความถี่ขึ้น 1 ชุด แปลงความถี่ลง 2 ชุด (สำหรับรับสัญญาณจากสายอากาศแบบคลื่นหมุนวนซ้าย 1 ชุด คลื่นหมุนวนขวา 1 ชุด) ราคาชุดละประมาณหนึ่งล้านแปดแสนบาท โดยไม่รวมอุปกรณ์สำรองที่ต้องเตรียมไว้สนับสนุนอุปกรณ์หลักที่อาจขัดข้อง เนื่องจากการซ่อมบำรุงต้องทำโดยการส่งกลับไปให้ผู้ผลิตต่างประเทศ ประการที่สอง

งานวิจัยสร้างประสบการณ์และองค์ความรู้ในด้านการออกแบบและสร้างวงจรและอุปกรณ์ไมโครเวฟซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารหลายประเภท

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งสนับสนุนทุนวิจัย งานวิจัยอุปกรณ์แปลงสัญญาณวิทยุเฮซเอพ-ยูเฮซเอพเป็นสัญญาณวิทยุเอสแบนด์ โดยได้รับการสนับสนุนโครงการวิจัยตามสัญญาเลขที่ 630201

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. F. Collins, R. Getz, D. Pu and A. M. Wyglinski, in *Software-Defined Radio for Engineers*. Boston, MA, USA: Artech House, 2018, pp. 3 - 4.
- [2] U. L. Rohde, J. C. Whitaker and H. Zahnd, in *Communication Receivers Principle and Design*, 4th ed, New York, USA: McGraw-Hill, 2017, pp. 13 - 23.
- [3] *Intelsat Earth Station Standards (IESS)*, Document IESS-308 (Rev.11), Mar. 10, 2005.
- [4] A. Luzzatto and M. Haridim, "Transceiver Architectures," in *Wireless Transceiver Design: Mastering the Design of Modern Wireless Equipment and Systems*, 2nd ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2017, ch. 2, pp. 28 - 29.
- [5] D. Balfet, J-F. Tessier, and L. Devaux, "Operating Manual for UPC 2021-2," *SMP*, Toulouse, France, OM-DRA300896-MP, Revision: 2, 2006.

- [6] *Satellite Downconverter Type VSCD/VHCH User Manual*, WORK Microwave GmbH, Holzkirchen, Germany, V160512, 2017.
- [7] Mouser Electronics. "Products." TH.MOUSER.com. <https://www.digikey.co.th/> (accessed Dec. 24, 2022).
- [8] DigiKey. "Products." DIGIKEY.co.th. <https://www.digikey.co.th/> (accessed Dec. 24, 2022).
- [9] R. Setty and D. Ji, "Triple Balanced Mixer, CU.S. Patent 6 917 796, Jul. 12, 2005.
- [10] *LTC5510: 1MHz to 6GHz Wideband High Linearity Active Mixer*, Linear Technology, Milpitas, CA, USA, 2013.
- [11] *Improved Performance TB/TVB Model Series: TCXO/VCTCXO*, Connor Winfield, Aurora, IL, USA, 2022.
- [12] *Surface Mount Oven Stabilized Oscillator DOC Series: OCXO/VCOCXO*, Connor Winfield, Aurora, IL, USA: 2021.
- [13] P. l. Lopez *et al.*, "Theos S-Band TM/TC Earth Station Down and Up Converters Test Results," Indra Espacio S.A., Madrid, Spain, THEO-IE-TRE-025, Revision: 1/1, 2006.
- [14] M. Stangl and G. Berwanger, "Test Setup Procedures for synthesized IF Up- and Downconverters (VSCU/VSCD, VCH/VHCD)," WORK Microwave GmbH, Holzkirchen, Germany, Test-procedures VSCU-VSCD_VHCU-VHCD Version: v1.0, 2017.
- [15] *LTC5587: 6GHz RMS Power Detector with Digital Output*, Linear Technology, Milpitas, CA, USA, 2010.

การลดกลิ่นตัวบนผ้าลายพรางดิจิทัล โดยการตกแต่งสำเร็จด้วยปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน

กมลท ขวัญข้าว¹ อรทัย บุญดำเนิน¹ และ อุษา แสงวัฒนาโรจน์^{1*}

วันที่รับ 2 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไข 8 มิถุนายน 2566 วันที่ตอบรับ 19 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้แสดงการทำให้ผ้าลายพรางดิจิทัลสามารถลดกลิ่นตัวโดยตกแต่งสำเร็จ (เคลือบ) ด้วยสารดูดกลิ่นตัวชนิดปีตาไฮโคลเดกซ์ทรินร่วมกับสารช่วยผนึกติดชนิดกรดอะคริลิก โดยตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีและภาวะต่าง ๆ ผลการวิจัยแสดงวิธีและภาวะที่เหมาะสม คือ ตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ (จุ่มผ้าลงอ่างสารแล้วอัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้ง) ตามด้วยการอบผนึกผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ใช้สารปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร และกรดอะคริลิก 100 กรัมต่อลิตร ใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสาร 1:10 และปริมาณสารบนผ้า 70-80% ของน้ำหนักผ้าแห้ง พบว่า ได้ผ้าที่สามารถลดกลิ่นตัวและมีความคงทนต่อการซักล้างอย่างต่ำ 50 รอบ ความแข็งแรงผ้าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การดูดซึมน้ำซาลงผ้ากระด้างขึ้น และสีไม่เพี้ยนแต่เข้มขึ้น หลังการซักล้าง ผ้าดูดซึมน้ำปกติ ความกระด้างลดลงและสีกลับมาใกล้เคียงสีเดิม

คำสำคัญ : ผ้าลายพรางดิจิทัล, ปีตาไฮโคลเดกซ์ทริน, การลดกลิ่นตัว

¹ ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้แต่ง, อีเมล: usa.s@chula.ac.th

Reduction of Body Odor on Digital Camouflage Fabric by Finishing with Beta-cyclodextrin

Kamut Kwankao ¹ Orathai Boondamnoen ¹ and Usa Sangwatanaroj ^{1*}

Received 2 May 2023, Revised 8 June 2023, Accepted 19 June 2023

Abstract

This research shows an attempt to produce digital camouflage fabric with body-odor reduction property via chemical finishing (coating) of fabric at various conditions and methods. Beta-cyclodextrin was used as odor absorber and acrylic acid was used as binder. Results indicated that the best method and condition for fabric finishing was to treat fabric with two dips-two nips process by dipping fabric in 20 g/L beta-cyclodextrin and 100 g/L acrylic acid, squeezing it between 2 rollers and dry it, and then repeating the dip-nip process again. The fabric was later cured at 130°C for 3 minutes. In this process, the fabric weight to chemical weight ratio was at 1:10 and the % wet pick up was at 70-80%. The finished fabric showed effective body-odor reduction property and this property remained intact after 50 washing cycles. Strength of finished fabric was comparable to that of unfinished fabric. Fabric stiffness and color depth increased after finishing, while its wettability decreased. However, after several wash cycles of finished fabric, these properties were improved and recovered.

Keywords : Digital camouflage fabric, Beta-cyclodextrin, Body odor reduction

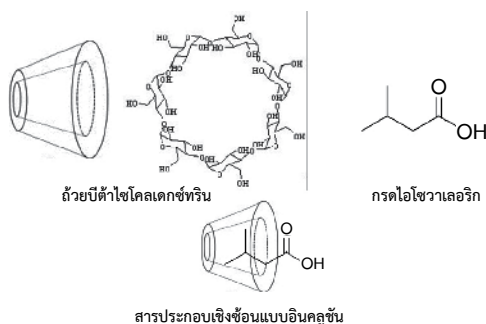
¹ Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

* Corresponding author, E-mail: usa.s@chula.ac.th

1. บทนำ

ผ้าลายพราดิจิทัล [1] ที่ใช้ตัดเย็บเป็นชุดทหารไทยในปัจจุบันเป็นผ้าทอลายสองใยผสมระหว่างเส้นใยฝ้าย 80% และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ 20% ผ่านกระบวนการพิมพ์และย้อมให้มีลวดลายเป็นลายพราดิจิทัล ชุดที่ผ่านการสวมใส่หรือในขณะสวมใส่จะติดคราบเหงื่อไคลของผู้สวมใส่และก่อให้เกิดกลิ่นตัวออกมารบกวน โดยทั่วไปกลิ่นตัว [2] ของคนจะประกอบด้วยสารเคมีหลายชนิดผสมกันโดยมีกรดไอโซวาเลอริก (Isovaleric acid) เป็นสารหลักที่ส่งกลิ่นตัว

ปีตาไซโคลเดกซ์ทริน [3] เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์วงปิด (Cyclic oligosaccharide) ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกลูโคส 7 หน่วย ต่อกันเป็นวงแหวน แต่ละวงแหวนโมเลกุลเรียงซ้อนกันและเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนวงแหวน ซึ่งหมู่เหล่านี้จะหันออกด้านนอกวงแหวน จึงทำให้มีรูปร่างคล้ายถ้วยปลายเปิดทั้งสองด้านและมีช่องว่างตรงกลางของถ้วยที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งสามารถใช้เป็นที่กักเก็บสารที่ไม่มีขั้ว (Nonpolar) เช่น น้ำมันหอมระเหย (มีทั้งสารไม่มีขั้วและสารมีความเป็นขั้วต่ำหรือ (Low polarity) รวมทั้งสารส่งกลิ่นตัวคนชนิดกรดไอโซวาเลอริกที่มีโครงสร้างของหมู่ไฮโดรคาร์บอนซึ่งไม่มีขั้ว (รูปที่ 1)



รูปที่ ๑ การกักเก็บกรดไอโซวาเลอริกด้วยสารปีตาไซโคลเดกซ์ทริน

มีงานวิจัยหลาย ๆ เรื่องแสดงการนำปีตาไซโคลเดกซ์ทรินมาใช้ประโยชน์สำหรับการลดกลิ่นตัวบนผ้า เช่น อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และคณะ [4] ได้ทดลองผลิตผ้าและเสื้อเชิ้ตฝ้ายปลอดกลิ่นตัว โดยตกแต่งสำเร็จ (เคลือบ) ผ้าฝ้ายด้วยวิธีและภาวะต่าง ๆ เพื่อให้ผ้ามีสมบัติลดกลิ่นตัว ด้านแบคทีเรียและต้านรังสียูวี ใช้ปีตาไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารลดกลิ่นตัว ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารต้านแบคทีเรีย และต้านรังสียูวี และใช้สารช่วยผนึกติด (Binder) ชนิดกรดอะคริลิกผสมกับชนิดพอลิยูรีเทนเพื่อเพิ่มความคงทนของปีตาไซโคลเดกซ์ทรินบนผ้าต่อการซักล้าง โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า (Dipping-padding) ร่วมกับการใช้เครื่องเจ็ต (Jet) สามารถลดกลิ่นบนผ้าได้ดี และมีความคงทนต่อการซักล้าง 15-20 รอบ รวมทั้งด้านแบคทีเรียได้ระดับดีมากและต้านรังสียูวีได้ระดับดี และคงทนการซักล้างเกิน 20 รอบ ต่อมา ณัฐธิดา ขำจิตร [5] ทดลองผสมปีตาไซโคลเดกซ์ทรินลงในสารซักฟอก 3 ชนิด จากนั้นนำไปซักผ้าไมโครไฟเบอร์พอลิเอสเทอร์ (ผ้าตัดชุดกีฬา) ที่มีกลิ่นตัว พบว่าสารซักฟอกที่ผสมปีตาไซโคลเดกซ์ทรินในสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสามารถกำจัดกลิ่นตัวบนผ้าได้หมดจากการซักเพียงครั้งเดียว ในขณะที่สารซักฟอกทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่มีปีตาไซโคลเดกซ์ทรินไม่สามารถช่วยกำจัดกลิ่นตัวออกจากผ้าได้หมดโดยการซักเพียงครั้งเดียว Mehrnaz และ Nouri [6] ตกแต่งสำเร็จผ้าไหมด้วยปีตาไซโคลเดกซ์โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง และใช้โซเดียมไฮโปฟอสไฟต์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง โดยตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้าและอบผนึกผ้า (Curing) พบว่าการตกแต่งสำเร็จด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ความเข้มข้น 50 กรัมต่อลิตร และกรดซิตริก 100 กรัมต่อลิตร อบผนึกผ้าที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที ได้ผ้าไหมที่น้ำหนักผ้าเพิ่มขึ้นมากที่สุด 22% อย่างไรก็ตาม พบว่า ความแข็งแรงของผ้าลดลงเกือบ 10% และค่าดัชนีความเหลืองของผ้าเพิ่มขึ้นจาก 9

เป็นเกือบ 20 ต่อมา Srioanchan และคณะ [7] ศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ทรินและใช้สารช่วยย่นักติดชนิดกรดอะคริลิก พบว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร และกรดอะคริลิก 100 กรัมต่อลิตร อบผืนผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้วิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้าแบบ 1 รอบ เปรียบเทียบกับแบบ 2 รอบ สามารถทำให้ผ้าไหมลดกลิ่นตัวได้ดี และมีความคงทนต่อการซักล้าง 25 และ 35 รอบ เมื่อจุ่ม-อัดรีดผ้าแบบ 1 รอบ และแบบ 2 รอบ ตามลำดับ ความแข็งแรงของผ้าไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมและผ้าเหลืองขึ้นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ สารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินยังถูกนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น Wu และคณะ [8] ศึกษาแผ่นกรองบูห์รีผลิตจากเส้นใยโนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับสารประกอบเชิงซ้อนของปีตาไซโคลเดกซ์ทรินกับเมนทอล เพื่อใช้กรองควินและกักเก็บเมนทอล พบว่าแผ่นกรองสามารถกรองควินบูห์รีได้ดีและสามารถกักเก็บเมนทอลได้ยาวนาน นอกจากนี้ Sun และคณะ [9] ศึกษาการเกิดสารประกอบอินคลูชัน (Inclusion compound) เพื่อการกักเก็บและปลดปล่อยยา โดยใช้ปีตาไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารกักเก็บสารชนิดต่าง ๆ ที่สามารถนำมาผลิตเป็นยา เช่น สารไลโครีน (Lycorine) ซึ่งเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และสารในกลุ่มไฮโดรคลอไรด์ (Hydro-chloride) พบว่า สารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินสามารถกักเก็บและปลดปล่อยสารไลโครีนและสารไฮโดรคลอไรด์ได้ดี และเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นตัวนำส่งยาที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการทดลองตกแต่งสำเร็จผ้าลายพรางดิจิทัลด้วยสารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินร่วมกับสารช่วยย่นักติดกรดอะคริลิก โดยใช้วิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้าที่ภาวะต่าง ๆ โดยคาดหวังให้ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จสามารถลดกลิ่นตัวได้ดีและมีความคงทนต่อการซักล้างขั้นต่ำ 50 รอบ

2. วัสดุและสารเคมี

ในงานวิจัยนี้ใช้ผ้าลายพรางดิจิทัลจาก บจก. โรงงานพิมพ์ย้อมผ้าไทย เป็นผ้าทอลายสองโดยเส้นด้ายยืนเป็นใยผสมฝ้ายและพอลิเอสเตอร์ เบอร์ด้าย 35/2 และเส้นด้ายพุ่งเป็นเส้นใยฝ้าย 100% เบอร์ด้าย 20/1 พิมพ์และย้อมลายพรางดิจิทัล 4 สี คือ สีเขียวอ่อน สีเขียวเข้ม สีน้ำตาล และสีดำ

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยสารปีตาไซโคลเดกซ์ทรินชื่อทางการค้า CAVAMAX[®]W7 Foodเกรดสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตโดย Wacker Chemical Corporation ใช้เป็นสารดูดกลิ่นตัว, สาร UKAPRINT NF-505 เป็นสารช่วยย่นักติดชนิดกรดอะคริลิก ใช้ผืนให้ปีตาไซโคลเดกซ์ทรินเกาะติดบนผ้าได้คงทนยาวนาน จำหน่ายโดย บจก. วิพีซี กรุ๊ป และกรดไฮวาเลอริก ความเข้มข้น 99% ผลิตโดย Sigma-Aldrich เตรียมเป็นสารละลายใช้จำลองกลิ่นตัวคน

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมสารตกแต่งสำเร็จ

เตรียมสารตกแต่งสำเร็จ ประกอบด้วย ปีตาไซโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร (ความเข้มข้นสูงสุดที่เตรียมได้) และสารช่วยย่นักติดชนิดกรดอะคริลิก ความเข้มข้น 50-100 กรัมต่อลิตร โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารตกแต่งสำเร็จเท่ากับ 1:10

3.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีด-อบผืน

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการตกแต่งสำเร็จ 2 วิธี คือ วิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 1 รอบ และวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ดังต่อไปนี้

การจุ่ม-อัดรีด 1 รอบ เริ่มจากจุ่มแช่ผ้าขนาด 24X10 เซนติเมตรในอ่างสารตกแต่งสำเร็จเป็นเวลา 5 นาที แล้วผ่านผ้าไประหว่างลูกกลิ้งคู่ของเครื่องอัดรีด (Padding mangle) เพื่ออัดสารเข้าผ้าและรีดสารส่วนเกินออกจากผ้าให้ได้ปริมาณสารบนผ้า 60-80% ของน้ำหนักผ้าแห้ง แล้วจึงอบผืนผ้าในเครื่องอบผ้าที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

การจุ่ม-อัดรีด 2 รอบ เริ่มจากจุ่มแช่ผ้าในอ่างสารตกแต่งสำเร็จอ่างที่ 1 จากนั้นอัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งคู่เหมือนวิธีแรก ตามด้วยการอบผ้าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วจุ่มแช่ผ้าในอ่างสารอ่างที่ 2 อัดรีดผ้าด้วยลูกกลิ้งคู่ แล้วจึงอบผืนผ้าที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

นำผ้าตกแต่งสำเร็จไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังรายละเอียดในข้อ 3 เปรียบเทียบกับผ้ายกก่อนตกแต่งสำเร็จ

3.3 การทดสอบผ้า

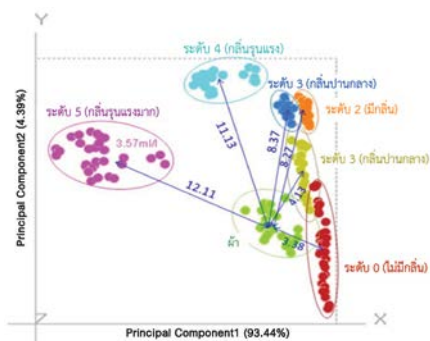
3.3.1 การลดกลิ่นตัวบนผ้า

กลิ่นตัวจำลองแบ่งเป็น 6 ระดับ (ระดับ 0 ถึงระดับ 5) ตามความรุนแรงของกลิ่นจากสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 0, 0.013, 0.053, 0.220, 0.870 และ 3.570 มิลลิลิตรต่อลิตร ซึ่งเทียบเท่ากับกลิ่นตัวระดับ 0 ไม่มีกลิ่น, ระดับ 1 มีกลิ่นเล็กน้อย (อ่อนมาก), ระดับ 2 มีกลิ่นบ้าง, ระดับ 3 มีกลิ่นปานกลาง, ระดับ 4 มีกลิ่นรุนแรง และระดับ 5 มีกลิ่นรุนแรงมาก ตามลำดับ [10]

การวัดระดับกลิ่นตัวบนผ้าในงานวิจัยนี้วัดด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ซึ่งผลิตและจำหน่ายโดยศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ เครื่องประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนตรวจจับข้อมูลกลิ่น ส่วนจัดเก็บข้อมูลกลิ่น และส่วนวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลกลิ่น เซนเซอร์ 5 ชนิด ในเครื่องจะตรวจจับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและเปลี่ยนเป็นข้อมูลในรูปสัญญาณไฟฟ้าก่อนจัดเก็บข้อมูลในรูปตารางเมทริกซ์ จากนั้นวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการ Principal Component Analysis (PCA) แสดงผลในรูปกราฟ 3 มิติ ของ PCA score plot และนำไปวิเคราะห์หาค่าระยะขจัด (Displacement) ของข้อมูลกลิ่น ซึ่งระยะขจัดเป็นความยาวเส้นตรงที่ลากจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าไปยังค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวมาตรฐานแต่ละระดับ (ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5) บน PCA score plot

(ได้ค่าระยะขจัด 6 ค่า ต่อผ้า 1 ชิ้น) โดยที่ค่าระยะขจัดน้อยที่สุดลากจากกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวบนผ้าไปกลุ่มข้อมูลกลิ่นตัวมาตรฐานระดับใด (ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5) แสดงว่าผ้ามีกลิ่นตัวใกล้เคียงระดับนั้นมากที่สุด ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 ค่าระยะขจัดลากจากผ้าไปที่กลิ่นตัวมาตรฐานระดับ 0 (ไม่มีกลิ่น) มีค่าระยะขจัดน้อยที่สุด 3.38 แสดงว่า ผ้ามีกลิ่นตัวใกล้เคียงกลิ่นตัวระดับ 0 หรือผ้าไม่มีกลิ่นตัว [5]

ก่อนวัดระดับกลิ่นตัวบนผ้าทดสอบ ต้องเตรียมกราฟมาตรฐานกลิ่นตัวระดับ 0 ถึงระดับ 5 (วัดข้อมูลกลิ่นของสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้นต่าง ๆ แสดงไว้ข้างต้นในข้อนี้) ในรูปแบบ PCA score plot (กลุ่มข้อมูล ระดับ 0 ถึง ระดับ 5 ในรูปที่ 2) เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานให้ผ้าทดสอบไว้เทียบหาระดับกลิ่นตัวบนผ้า [5], [11] - [12]



รูปที่ ๒ ตัวอย่าง PCA score plot แสดงระยะขจัดระหว่างกลิ่นตัวบนผ้าและระดับกลิ่นตัวมาตรฐาน [5]

การเปรียบเทียบความสามารถในการลดกลิ่นตัวของผ้ายกก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้ ใช้กลิ่นตัวบนผ้าเริ่มต้นที่ระดับ 3 หรือมีกลิ่นปานกลาง [4] และสังเกตดูว่าผ้ายกก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จสามารถลดกลิ่นตัวจากระดับ 3 เป็นระดับ 2, เป็นระดับ 1 หรือเป็นระดับ 0 ได้หรือไม่, หรือไม่สามารถลดกลิ่นตัวระดับ 3 ได้เลย การทดสอบเริ่มจากการหยด 1 มิลลิลิตรของสารละลายกรดไอโซวาเลอริกความเข้มข้น 0.22 มิลลิลิตรต่อลิตร (กลิ่นตัวระดับ 3) ลงบนผ้าขนาด 4x10 เซนติเมตร

วัดระยะการจัดของผ้าด้วยเครื่องจุ่มกอล์ฟทรอนิกส์ และหาค่าระยะการจัดที่น้อยที่สุดว่าอยู่ที่ระดับกลืนตัวมาตรฐานระดับใด (ระดับ 0, 1, 2, 3, 4, 5) ผ้าจะมีกลืนตัวระดับนั้น เปรียบเทียบระดับกลืนตัวบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ โดยที่การวัดเก็บข้อมูลกลืนตัวบนผ้าจะต้องวัดอย่างน้อย 30 ครั้ง ต่อ 1 การทดลอง ใช้ผ้าขนาด 4X10 เซนติเมตร จำนวน 6 ผืน ต่อ 1 ผ้า แต่ละผืนวัดเก็บข้อมูลกลืน 5 ครั้ง ก่อนเปลี่ยนผืนใหม่

3.3.2 ความคงทนต่อการซัก (Wash fastness)

การทดสอบความคงทนต่อการซักดัดแปลงจากมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C01 โดยใช้เครื่องทดสอบแบบกระบอกซัก lauder-o-meter ซักผ้าทดสอบขนาด 4x10 เซนติเมตร ในสารละลายสารซักฟอกมาตรฐานหรือสารลดแรงตึงผิว ซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งผ้าตกแต่งสำเร็จในงานวิจัยนี้ควรมีความคงทนต่อการซักล้างขั้นต่ำ 50 รอบ

3.3.3 การดูดซึมน้ำของผ้า (Wettability)

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC Test Method 79 ด้วยวิธีการหยดน้ำลงบนผ้า ทดสอบแล้วจับเวลาที่หยดน้ำซึมลงในผ้า ผ้าที่ดูดซึมน้ำได้ทันทีหรือภายใน 3-5 วินาที เป็นผ้าที่สามารถดูดซึมน้ำได้ดี

3.3.4 ความแข็งแกร่งของผ้า (Stiffness)

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1388-18 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแกร่ง (Stiffness tester) โดยตัดผ้าทดสอบขนาด 2.5x20 เซนติเมตร ตามแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่ง วัดความยาวโค้งงอของผ้า (Bending length) จากเครื่องทดสอบ แล้วนำมาคำนวณค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (Flexural rigidity) ตามสมการที่ (1) ผ้าที่มีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งที่สูงกว่าจะมีความแข็งแกร่งมากกว่า

$$G = W \times C^3 \quad (1)$$

โดยที่ G = ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (กรัม*เซนติเมตร)

W = น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)

C = ความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)

3.3.5 สีของผ้า (Color)

การวัดสีของผ้าทำโดยการวัดค่าของสีบนผ้า ได้แก่ ค่าของความสว่างของสี (L*, ค่ามาก-สว่าง, ค่าน้อย-มืดทึบ), ค่าของสีเขียว (a* ค่าลบ) และสีแดง (a* ค่าบวก), ค่าของสีน้ำเงิน (b* ค่าลบ) และสีเหลือง (b* ค่าบวก) และความเข้มสี (Color strength, K/S ค่ามาก-สีเข้ม, ค่าน้อย-สีอ่อน) ด้วยเครื่องวัดสี (Macbeth Color-Eye 7000) โดยวัดทั้ง 4 สี ของผ้า ก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ

3.3.6 ความแข็งแรงของผ้า (Strength)

ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D5034 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงด้านแรงดึงขาดของผ้า ซึ่งใช้ load cell ขนาด 5 กิโลนิวตัน และอุปกรณ์จับยึดผ้าขนาด 2.5x5 เซนติเมตร โดยตั้งค่าระยะดึงในการทดสอบ (Gage length) เป็นระยะ 75 มิลลิเมตร และใช้อัตราเร็วของระยะยืด (Rate of extension) 300 มิลลิเมตรต่อนาที ทำการทดสอบ 5 ชิ้น ซึ่งผ้าหลังการตกแต่งสำเร็จควรมีค่าแรงดึงขาดไม่ลดลงหรือหากลดลง ไม่ควรเกิน 10-15% ของแรงดึงขาดผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ

3.3.7 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวผ้า

การวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) รุ่น JEOL เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการยึดติดของสารบิตาไซโคลเตกซ์ทรีนและสารช่วยผนึกติดกระดอเคลือบพื้นผิวผ้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

หลังการตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีและภาวะต่าง ๆ ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า วิธีและภาวะที่เหมาะสม คือ ตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ตามด้วยการอบผืนผ้าที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที โดยใช้สารปีตาโซโคลเดกซ์ทริน 20 กรัมต่อลิตร และกรดอะคริลิก 100 กรัมต่อลิตร อัตราส่วนน้ำหนักรีดต่อสาร 1:10 และปริมาณสารบนผ้า 70-80% ของน้ำหนักผ้าแห้ง และได้นำวิธีและภาวะนี้ไปทดลองตกแต่งสำเร็จผ้าในระดับห้องอุตสาหกรรม

ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของผ้าที่แสดงต่อไปนี้เป็นผลการทดสอบผ้ายกก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ที่ภาวะที่เหมาะสม

4.1 การลดกลิ้งตัวบนผ้าและความคงทนต่อการซัก

จากการวัดค่าระยะขจัดน้อยที่สุดของผ้ายกก่อนตกแต่งสำเร็จและผ้าหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกอย่างเดียว (ไม่มีสารปีตาโซโคลเดกซ์ทริน) พบว่า ผ้าทั้งสองต่างมีค่าระยะขจัดน้อยที่สุดที่กลิ้งตัวระดับ 3 กลิ้งปานกลาง ซึ่งเป็นระดับกลิ้งตัวเริ่มต้นในการทดสอบ แสดงว่าผ้าทั้งสองไม่สามารถลดกลิ้งตัวระดับ 3 ได้เลย ทำให้สรุปได้ว่าผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งสำเร็จไม่สามารถลดกลิ้งตัว และสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จก็ไม่สามารถช่วยลดกลิ้งตัวบนผ้า

เมื่อตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารปีตาโซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดอะคริลิก โดยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ที่ภาวะที่เหมาะสม และวัดค่าระยะขจัดของผ้าตกแต่งสำเร็จที่ไม่ได้ซักและที่ซัก 1-50 รอบ แสดงผลค่าระยะขจัดในตารางที่ 1 พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จที่ไม่ได้ซัก (0 รอบการซัก) มีค่าระยะขจัดน้อยที่สุด คือ 2.49 อยู่ที่กลิ้งตัวระดับ 3 แสดงว่าผ้าไม่สามารถลดกลิ้งตัว แต่เมื่อซักผ้าตกแต่งสำเร็จจำนวน 1, 20, 40 และ 50 รอบ ค่าระยะขจัด

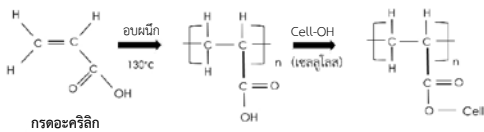
น้อยที่สุดของผ้าคือ 2.58, 4.42, 3.83 และ 3.67 ตามลำดับ อยู่ที่กลิ้งตัวระดับ 0 คือ ผ้าไม่มีกลิ้งตัวเลย แสดงว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จนี้สามารถลดกลิ้งตัวได้หมด และคงทนการซักล้างได้ถึง 50 รอบ (และมากกว่า) การซักผ้าจะเพิ่มการขจัด (แรงกล) บนผ้า และช่วยเปิดผิวของสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกที่ปกคลุมสารปีตาโซโคลเดกซ์ทรินบนผ้า และทำให้สารปีตาโซโคลเดกซ์ทรินสามารถสัมผัสและดูดกลิ้งตัวของสารละลายไอโซวาเลอริกได้โดยตรง กลิ้งตัวบนผ้าจึงลดลงจนหมดกลิ้ง

ตารางที่ 1 ระยะขจัดของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการจุ่ม-อัดรีดผ้า 2 รอบ ที่ภาวะที่เหมาะสม

ซัก (รอบ)	ระยะขจัดของผ้า ณ กลิ้งตัวระดับ					
	0	1	2	3	4	5
0	3.99	3.15	2.85	2.49*	6.36	17.57
1	2.58*	3.27	4.19	4.82	8.60	15.79
20	4.42*	5.08	5.90	6.40	9.03	15.46
40	3.83*	4.65	5.59	6.20	9.19	15.33
50	3.67*	4.40	5.30	5.87	8.85	15.61

* ค่าระยะขจัดน้อยที่สุดของผ้าในรอบการซักเดียวกัน

ในการตกแต่งสำเร็จนี้ เมื่ออบผืนผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส สารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิกซึ่งเป็นโมโนเมอร์จะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นพอลิเมอร์ชนิดกรดพอลิอะคริลิกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นปกคลุมพื้นผิวเส้นใยและปกคลุมสารปีตาโซโคลเดกซ์ทรินที่อยู่ในและอยู่บนเส้นใยด้วย รวมทั้งกรดพอลิอะคริลิกก็จะเกิดปฏิกิริยาผนึกติดกับเส้นใยฝ้ายของผ้า (ใยเซลลูโลส, Cell-OH) ด้วยพันธะเอสเทอร์ (-COO-Cell) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดพอลิอะคริลิกและหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยฝ้าย ดังรูปที่ 3 จึงทำให้สารปีตาโซโคลเดกซ์ทรินสามารถเกาะติดบนผ้าเพื่อช่วยลดกลิ้งตัว และมีความคงทนต่อการซักถึง 50 รอบ



มีปิตาไซโคลเดกซ์ทรินอยู่ในและบนเส้นใยผ้า

รูปที่ 3 ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารช่วยผนึกติดกรดอะคริลิก สารปิตาไซโคลเดกซ์ทรินและเส้นใยผ้า (เซลลูโลส) ของผ้า

4.2 การดูดซึมน้ำของผ้า

จากการทดสอบพบว่า ผ้าไม่ได้ตกแต่งสำเร็จ ใช้เวลาดูดซึมน้ำประมาณ 12 วินาที แสดงว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้แต่ช้าเล็กน้อย ทั้งนี้ เนื่องจากผ้าลายพรางดิจิทัลนี้ผ่านการพิมพ์และย้อมสี การพิมพ์สีจะใช้แบงพิมพ์ที่มีสี มีสารขึ้น ซึ่งสามารถสะท้อนน้ำ และมีสารอื่น ๆ ซึ่งผ้าพิมพ์มีกจะมีสารขึ้นตกค้างเล็กน้อยบนผ้า หลังการพิมพ์ จึงทำให้ผ้าสะท้อนน้ำหรือดูดซึมน้ำได้ช้าลงบ้าง เมื่อทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าตกแต่งสำเร็จ พบว่า ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้ามากโดยใช้เวลาเกิน 1 นาที เนื่องจากผ้ามีสารพอลิเมอร์กรดพอลิอะคริลิก ปริมาณมากปกคลุมเส้นใยบนผ้าและสารนี้สามารถสะท้อนน้ำ จึงทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ช้ามาก อย่างไรก็ตาม พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จที่ผ่านการซักล้างหลายรอบจะสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

4.3 ความแข็งกระด้างของผ้า

เมื่อทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง พบว่า ผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งหรือมีความแข็งกระด้างมากกว่า ผ้าไม่ได้ตกแต่งสำเร็จราว 2.6 เท่า ดังผลที่แสดงในตารางที่ 2 ความแข็งกระด้างของผ้าที่เพิ่มขึ้น หลังการตกแต่งสำเร็จนี้เนื่องจากผ้าถูกเคลือบปิดด้วยสารพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ของกรดพอลิอะคริลิก เส้นใยบนผ้าถูกจำกัดการเคลื่อนไหวจึงทำให้ผ้าแข็งกระด้างมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าหลังการซักผ้าหลายรอบ ความแข็งกระด้างของผ้าลดลงอย่างชัดเจน

ตารางที่ 2 สภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้า

ผ้า	สภาพแข็งตึงดัดโค้ง (g·cm)	
	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง
ก่อนตกแต่งสำเร็จ	0.58±0.12	0.16±0.03
หลังตกแต่งสำเร็จ	1.59±0.15	0.41±0.04

4.4 สีของผ้า

ผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จถูกวัดสีทั้ง 4 สี โดยใช้เครื่องวัดสี ซึ่งเป็นการวัดสีที่ผิวผ้า แสดงผลของค่าสีในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สีของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ (ไม่ได้ซัก)

ผ้า	สี	ค่าสี				
		L*	a*	b*	ΔE*	K/S
ก่อนตกแต่งสำเร็จ	เขียว	23.83	-3.67	4.67	-	15.3
	เขียวเข้ม	36.62	-5.38	12.28	-	10.0
	ดำ	19.91	-0.23	-2.48	-	16.9
	น้ำตาล	19.99	3.76	2.53	-	18.5
หลังตกแต่งสำเร็จ	เขียว	21.75	-2.58	2.26	3.36	15.6
	เขียวเข้ม	32.55	-5.02	10.58	4.43	11.9
	ดำ	19.17	-0.59	-1.98	0.96	18.0
	น้ำตาล	18.93	1.78	0.46	3.05	18.5

เมื่อเทียบสีผ้าในเฉดสีเดียวกัน ผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จมีค่าความสว่าง (L*) ของทั้ง 4 เฉดสี สูงกว่า หรือมีสีที่สว่างกว่าสีบนผ้าตกแต่งสำเร็จ แสดงว่าการตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดอะคริลิกทำให้สีผ้าดูเข้มขึ้น ดูมืดทึบขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าความเข้มสี (K/S) ที่ผ้าตกแต่งสำเร็จมีค่าความเข้มสีสูงกว่าหรือดูสีเข้มกว่า ผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ เมื่อเทียบค่าความแตกต่างของสี (ΔE*) ทั้ง 4 เฉดสีบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ

จะพบว่า เสดสีด้าบนผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จ มีค่าความแตกต่างน้อยกว่า 1 แสดงว่า การตกแต่งสำเร็จผ้านี้ไม่ส่งผลให้เสดสีด้าบนผ้าเปลี่ยนแปลงจนสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่เสดสีอื่น ๆ มีเสดสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีเดิมจนมองเห็นได้ด้วยตา เนื่องจากสารตกแต่งสำเร็จที่เคลือบและเกาะติดบนเส้นใยของผ้าเป็นสารขนาดใหญ่และเคลือบค่อนข้างหนาบ่นผ้า จึงส่งผลกระทบในการบดบังสีเดิมของผ้า ทำให้เสดสีบนผ้าและความเข้มสีบนผ้าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมบ้าง แต่เมื่อซักผ้าหลายรอบ สีบนผ้ากลับมาใกล้เคียงสีเดิมก่อนตกแต่งสำเร็จ

4.5 ความแข็งแรงของผ้า

ผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จถูกทดสอบความแข็งแรงแสดงเป็นค่าแรงดึงขาดและร้อยละของการยืดตัวของผ้าดังแสดงในตารางที่ 4

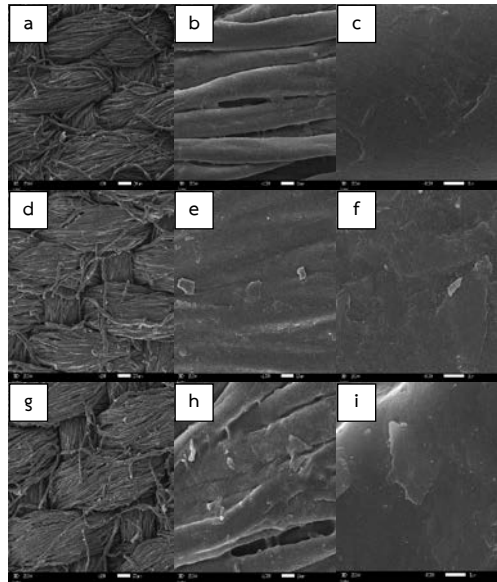
ตารางที่ 4 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวของผ้า

ผ้า	แนวด้ายยืน		แนวด้ายพุ่ง	
	แรงดึงขาด (N)	%ยืดตัว	แรงดึงขาด (N)	%ยืดตัว
ก่อนตกแต่งสำเร็จ	1968±37	16.6±0.32	1010±35	24.3±0.50
หลังตกแต่งสำเร็จ	2100±89	19.0±0.69	1269±15	23.6±0.41

หลังการตกแต่งสำเร็จ พบว่า ผ้าในแนวเส้นด้ายยืนและผ้าในแนวเส้นด้ายพุ่งมีความแข็งแรงด้านความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจากผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ (การยืดตัวของผ้าในแนวเส้นด้ายยืนเพิ่มขึ้น ส่วนในแนวเส้นด้ายพุ่งลดลงเพียงเล็กน้อย) ทั้งนี้ เนื่องจากสารช่วยผนึกติดครดอะคริลิกที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จ นอกจากจะช่วยให้สารบิตาไซโคลเดกซ์ทรินเกาะติดบนผ้าได้ดีขึ้นแล้ว ยังจะช่วยรวมกลุ่มเส้นใยบนผ้าให้เป็นขึ้นเดียวกัน จึงทำให้ผ้ามีความคงทนต่อแรงดึงขาดได้มากขึ้นหรือผ้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.6 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวผ้า

ลักษณะพื้นผิวของผ้าก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวผ้าขยาย 100 เท่า (ซ้าย), 1,000 เท่า (กลาง) และ 8,000 เท่า (ขวา) ของผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จ (a, b และ c), ผ้ตกแต่งสำเร็จ (d, e และ f) และผ้ตกแต่งสำเร็จหลังซัก 50 รอบ (g, h และ i)

รูป a, b และ c แสดงให้เห็นว่าเส้นใยบนผ้าก่อนตกแต่งสำเร็จจะอยู่แยกกันเป็นเส้น ๆ แต่เมื่อผ้าผ่านการตกแต่งสำเร็จ (รูป d, e และ f) จะสังเกตเห็นเส้นใยถูกเคลือบปิดด้วยสารช่วยผนึกติดครดอะคริลิกและรวมกลุ่มเส้นใยเป็นขึ้นเดียวกัน รวมทั้งมองเห็นอนุภาคของสารขึ้นเล็ก ๆ ซึ่งน่าจะเป็นสารบิตาไซโคลเดกซ์ทรินอยู่กระจัดกระจาย ส่วนใหญ่อยู่ใต้สารช่วยผนึกติดครดอะคริลิกที่เคลือบปิดเส้นใย และเมื่อผ้าตกแต่งสำเร็จถูกซัก 50 รอบ สารที่เคลือบเส้นใยจะหลุดออกไปบ้างจนสามารถมองเห็นเส้นใยแยกเป็นเส้น ๆ แต่ยังมีสารขึ้นเล็ก ๆ ของบิตาไซโคลเดกซ์ทรินบนเส้นใย หลังการซัก 50 รอบ ผ้ายังมีสารบิตาไซโคลเดกซ์ทรินเพียงพอที่ทำให้ผ้ายังสามารถดกถลั่นตัวได้นั่นคือ สารบนผ้ามีความคงทนต่อการซักถึง 50 รอบ

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ผ้าลายพรางดิจิทัลที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหรือเคลือบด้วยปีตาไซโคลเดกซ์ทรินและสารช่วยผนึกติดชนิดกรดอะคริลิกโดยใช้วิธีและภาวะที่เหมาะสม สามารถลดกลิ่นตัวบนผ้าได้และมีความคงทนต่อการซักล้างไม่ต่ำกว่า 50 รอบ การซัก ความแข็งแรงของผ้าไม่ลดลงหลังการตกแต่งสำเร็จ การดูดซึมน้ำของผ้าซาลงและผ้าแข็งกระด้างมากขึ้น แต่หลังจากที่ผ้าผ่านการซักล้างหลายรอบ ผ้าจะดูดซึมน้ำได้ดีและความแข็งแรงต่างของผ้าลดลง อย่างไรก็ตาม การตกแต่งสำเร็จนี้ทำให้สีบนผิวผ้าดูเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารที่เคลือบและเกาะติดบนผ้าเป็นสารขนาดใหญ่และเคลือบค่อนข้างหนาบนผ้า จึงส่งผลกระทบต่อการมองเห็นสีที่ผิวผ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนพัฒนาศักยภาพนักวิจัยด้านยุทธโศปกรณ์เพื่อเพิ่มศักยภาพของกองทัพและการป้องกันประเทศ ประจำปีงบประมาณ 2563 สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม รวมทั้งได้รับความร่วมมือจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหาร กองทัพบก และได้รับการสนับสนุนด้านสถานที่การทำวิจัยและอุปกรณ์การทำวิจัยที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท พิมพ์ย้อมผ้าไทย จำกัด, "Camouflage," in *Military Textiles for Protection and Camouflage*, 4th ed., สมุทรปราการ, ไทย, 2560, ch. 2, pp. 24 - 48.
- [2] R. H. McQueen and S. Vaezafshar, "Odor in Textiles: A Review of Evaluation Methods, Fabric Characteristics, and Odor Control Technologies," *Text. Res. J.*, vol. 90, no. 9-10, pp. 1157 - 1173, 2020.
- [3] F.M.Bezerra *et al.*, "The role of β -cyclodextrin in The Textile Industry," *Molecules*, vol. 25, no. 16, p. 3624, 2020.

- [4] อ. แสงวัฒนาโรจน์ และคณะ, "รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการผลิตเสื้อเชิ้ตผ้าใยปลอดกลิ่นตัว," สวทช., กรุงเทพฯ, ไทย, 2556.
- [5] ณ. ขำจิตร, "การเตรียมสารซักฟอกสำหรับการลดกลิ่นตัวและการจัดการกับบนผ้าพอลิเอสเตอร์ไมโครไฟเบอร์," วิทยาสตรมหาบัณฑิต, วิทยาศาสตรพอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, ไทย, 2556.
- [6] L. Mehrzad and M. Nouri, "Preparation and Characterization of β -cyclodextrin Grafted Silk Fabric," *J. Nat. Fibers*, vol. 17, no. 3, pp. 371 - 381, 2020.
- [7] R. Sriamchan, O. Boondamnoen, and U. Sangwatanaroj, "Anti Odorant Finishing of Silk Fabric with Beta-cyclodextrin," in *PACCON 2022*, Bangkok, Thailand, 2022, pp. 502 - 507.
- [8] X. Wu *et al.*, "Electrospun Poly(vinyl alcohol) Nanofiber Films Containing Menthol/ β -cyclodextrin Inclusion Complexes for Smoke Filtration and Flavor Retention," *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 605, p. 125378, 2020.
- [9] X. Sun *et al.*, "Evaluation on the Inclusion Behavior of β -cyclodextrins with Lycorine and Its Hydrochloride," *J. Mol. Liq.*, vol. 379, p. 121658, 2023.
- [10] D. C. Hooper, G. A. Johnson, and D. Peter, "Deodorant Compositions," U.S. Patent 4 278 658, Jul. 14, 1981.
- [11] C. Wongchoosuk, M. Lutz, and T. Kerdcharoen, "Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose," *Sensors*, vol. 9, no. 9, pp. 7234-7249, 2009.
- [12] C. Wongchoosuk, P. Lorwongtragool, and T. Kerdcharoen, "Malodor Detection Based on Electronic Nose," in *Air Quality Monitoring, Assessment and Management*, N. A. Mazzeo, Ed., Rijika, Croatia: InTech, 2011, pp. 41 - 66.

การวิเคราะห์ความเค้นความเครียดจากฟองอากาศ ในเนื้อดินขับเชื้อเพลิงแข็งโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

สุรสิทธิ์ ปาลสาร^{1*} และ ทวีศักดิ์ โสภณลักษณ์²

วันที่รับ 13 มิถุนายน 2566 วันที่แก้ไข 26 กรกฎาคม 2566 วันที่ตอบรับ 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในการหล่อดินขับจรวด คือ ปัญหาการเกิดฟองอากาศในเนื้อดินขับ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแท่งดินขับจากการใช้งานจรวดในสภาวะต่าง ๆ ความสำเร็จของการใช้งานจรวดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย สิ่งหนึ่งคือความแข็งแรงของแท่งดินขับ ค่าความแข็งแรงดินขับประเมินได้จากการสร้างกราฟหลัก ซึ่งได้จากผลการทดสอบการดึงชิ้นงานตัวอย่างดินขับเชื้อเพลิงแข็ง ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความเค้นความเครียดในแท่งเชื้อเพลิงที่มีฟองอากาศอยู่ภายในโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการวิเคราะห์กรณีอุณหภูมิสูง 60°C พิจารณาค่าความเครียดสูงสุดจากฟองอากาศ พบว่า ความเครียดต่ำกว่าค่าสูงสุด นั่นคือผลของอุณหภูมิและฟองอากาศไม่ได้ทำให้แท่งดินขับเสียหาย ในกรณีความดันภายในมอเตอร์จรวดความเครียดของดินขับก็ยังอยู่ในระดับที่รับได้ และในกรณีความเร่ง 70 g ความเค้นที่ต่ำกว่าค่าสูงสุด โดยที่ค่าความปลอดภัยอยู่ที่ระดับ 1.3 นั่นคือ จากทั้งสามกรณี ความเร่งของจรวดส่งผลต่อดินขับค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีปัญหาฟองอากาศ ดินขับก็ยังสามารถรับภาระกรรมจากการใช้งานของจรวดได้

คำสำคัญ : ดินขับเชื้อเพลิงแข็ง, ปัญหาฟองอากาศ, ไฟไนต์เอลิเมนต์, กราฟหลัก, คุณสมบัติทางกล

¹ ส่วนงานวิศวกรรมระบบขับเคลื่อน, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ส่วนคุณภาพและความปลอดภัย, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: surasith.p@dti.or.th

The Analysis of Stress Strain from Voids in Solid Propellant by using Finite Element Method

Surasith Palasarn ^{1*} and Taweesak Sophonlukana ²

Received 13 June 2023, Revised 26 July 2023, Accepted 31 August 2023

Abstract

One problem encountered in the casting of rocket propellants is the problem of voids in the propellant which affects load in the propellant from the use of rockets in various conditions. The success of a rocket depends on many factors. One thing is the strength of the propellant. The strength of propellant was estimated by constructing the master curve which obtained from the results of the tensile test of propellant samples. In this research, stress strain analysis in propellant containing voids is performed by using the finite element method. The result of analysis in case of high temperature at 60 degree Celsius the maximum stress from voids. It was found that the strain was below the maximum value. That is, the effect of temperature and voids did not damage the propellant. In the case of the pressure inside motor, the strain of the propellant remains at an acceptable level. The case of an acceleration of 70 g, the stress below the maximum value which safety factor 1.3, that is from three cases, the acceleration of the rocket rather affects the propellant. However, even though there is a problem with voids, the propellant can still hold the loads of working of rocket.

Keywords : Solid propellant, Voids problem, Finite element method, Master curve, Mechanical behavior

¹ Propulsion Systems Division, Defence Technology Institute

² R&D Workshop Quality and Safety Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: surasith.p@dti.or.th

1. บทนำ

ระบบขับเคลื่อนของจรวดเชื้อเพลิงแข็ง (Solid Rocket Motor) ในปัจจุบันนั้น นิยมใช้เชื้อเพลิงแบบคอมโพสิต (Composite Propellant) ซึ่งมีส่วนประกอบของแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (AP) มีตัวประสานคือไฮดรอกซิลเทอร์มินเนตโพลีบิวทาไดอิน (Hydroxyl-terminated Polybutadiene) หรือ HTPB และเชื้อเพลิงเป็นผงอะลูมิเนียม (AL) ลักษณะของเชื้อเพลิงคอมโพสิตมีคุณสมบัติเป็นวัสดุยืดหยุ่นแบบหน่วงหนืด (Viscoelastic) วัสดุประเภทยืดหยุ่นแบบหน่วงหนืดนี้สิ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุประการแรก คือ อัตราเร็วของการดึง (Strain rate) ประการที่สอง คือ อุณหภูมิ (Temperature) ของดินขับ คุณสมบัติประการหนึ่งที่เป็นตัวบ่งบอกถึงความแข็งแรงของเชื้อเพลิง คือ โมดูลัสของการคลายตัว (Relaxation modulus) หากเราสร้างกราฟระหว่างโมดูลัสของการคลายตัวและเวลาลดแรงดึง (Reduced time) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิหนึ่งเป็นอุณหภูมิอ้างอิง โมดูลัสของการคลายตัวจะมีลักษณะเหมือนกัน ข้อมูลจะเลื่อนในแนวนอน (shift) ไปตามค่าอุณหภูมิ ค่าการเลื่อนดังกล่าวเรียกว่า ค่าคงที่การเลื่อน (Shift Factor) ค่าคงที่นี้เป็นตัวแปรที่จะแสดงผลของอุณหภูมิและความเร็วการดึงได้พร้อม ๆ กัน กราฟที่ได้จากโมดูลัสของการคลายตัวและเวลาลดแรงดึงต่อค่าการเลื่อนเรียกว่า กราฟหลัก (Master Curve)

งานวิจัยของ Walid และ Liang [1] - [2] แสดงถึงการใช้วิธีต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ในการสร้างกราฟหลักของโมดูลัสของการคลายตัว และการประเมินคุณลักษณะทางกลของเชื้อเพลิงที่ใช้ HTPB ภายใต้ระดับอุณหภูมิที่ต่างกันและอัตราการดึงต่าง ๆ ผลการวิจัยแสดงว่า กราฟความเค้นความเครียดจากการทดสอบการดึงที่อุณหภูมิสูงมีค่าความเค้นน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และมีลักษณะเช่นเดียวกับผลการทดสอบ

การดึงที่อัตราต่ำ งานวิจัยของ Chyuan [3] - [4] มีบทวิเคราะห์เชิงตัวเลขของความแข็งแรงของเชื้อเพลิงที่ใช้ HTPB เป็นหลัก ผลของแรงเนื่องจากอุณหภูมิ แรงเนื่องจากความดัน รวมถึงอัตราส่วนปัวซองจากความดันภายใน โดยใช้แบบจำลองที่สร้างจากการทดสอบการคลายตัว ใช้วิธีการแบบ Time - temperature Superposition (TTS) และวิธี William, Landel and Ferry (WLF) งานวิจัยของ Wang และคณะ [5] เกี่ยวกับการสร้างโมเดลการคำนวณความแข็งแรงของดินขับคอมโพสิตโดยใช้การทดสอบการดึงแบบทิศทางเดียว (Uniaxial Tensile Test) และการทดสอบการดึงแบบสองทิศทาง (Biaxial Tensile Test) Bihari และคณะ [6] ใช้สองวิธี ได้แก่ วิธี WLF และวิธีแบบ Arrhenius ในการประเมินพลังงานปฏิกิริยาของเชื้อเพลิงคอมโพสิตเพื่อประเมินอายุการใช้งานของเชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้ใช้ผลการทดสอบเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่าง ๆ และอัตราการดึงต่าง ๆ เพื่อใช้ในการสร้างกราฟหลักของค่าความเค้น โมดูลัสของการยืดหยุ่น และความเครียด ภายใต้กราฟลอการิทึมเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการรับความเค้นจากปัญหาฟองอากาศเกิดขึ้นภายในแท่งเชื้อเพลิง โดยอาศัยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ช่วยในการประเมินความเค้นที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการใช้งานต่าง ๆ กัน ได้แก่ ภายใต้อุณหภูมิการใช้งานของจรวด ความดันการเผาไหม้และความเร่งของจรวด

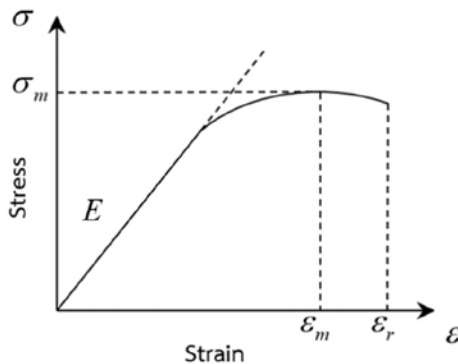
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติทางกลของแท่งเชื้อเพลิง

การทดสอบการดึง (Tensile Test) ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการประเมินความแข็งแรงของแท่งดินขับ รวมถึงการควบคุมคุณภาพการผลิตของแท่งเชื้อเพลิง เนื่องจากวัสดุไม่เป็นการยืดหยุ่นแบบ

เชิงเส้นจึงจำเป็นต้องมีการนิยามจำนวนตัวแปรที่เหมาะสมและดีพอที่จะแสดงผลลัพธ์จากการทดสอบดังรูปที่ 1

ค่าของตัวแปรแต่ละตัวเปลี่ยนแปลงขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง ความดัน อุณหภูมิ และอัตราเร็วของการดึง รวมไปถึงช่วงเวลาการเก็บและความชื้นก็มีผลกับตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ด้วย ในระหว่างการทดสอบการดึงจะเกิดการขยายตัวของปริมาตรของตัวอย่าง มีสาเหตุมาจากการเกิดช่องว่างรอบ ๆ ผลึกของแข็งในเนื้อดินขับ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสามารถหาได้จากการวัดความดันที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อปริมาตรของดินขับ



รูปที่ ๑ ตัวแปรที่แสดงผลของกราฟการดึง

โดยที่ E คือ ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น, MPa

σ_m คือ ความเค้นสูงสุด, MPa

ϵ_m คือ ความเครียดที่จุดความเค้นสูงสุด

ϵ_r คือ ความเครียดที่จุดฉีกขาด

2.2 การทดสอบการคลายตัว (Relaxation Test)

คุณลักษณะยืดหยุ่นของแท่งเชื้อเพลิงสามารถทดสอบได้ โดยการทดสอบการคลายตัว (Relaxation Test) ทำได้โดยการยึดชิ้นงานที่จุดยึดตัว (Elongation) คงที่ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเค้นที่วัดได้ โดยการใช้แรงกระทำกับชิ้นงานที่

ติดกับผิวท่อที่อุณหภูมิคงที่ ในการทดสอบนี้ใช้ชิ้นงานแบบแกนเดียว (Uniaxial specimen) สมมติว่าการยึดตัวของตัวอย่างมีค่าคงที่ เท่ากับ ϵ_i และสมมติค่า $\sigma(t)$ ถูกวัดตามเวลา ค่ามอดูลัสของการคลายตัว $E_R(t)$ แสดงโดยสมการ (1)

$$E_R(t) = \frac{F(t)}{A\epsilon} \quad (1)$$

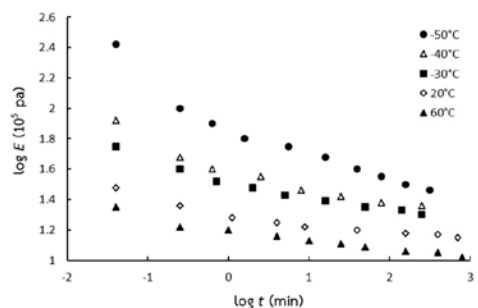
$E_R(t)$ คือ ค่ามอดูลัสของการคลายตัว, MPa

$F(t)$ คือ แรงดึงตามเวลา, N

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินขับ, m²

ϵ คือ ความเครียดค่าคงตัว

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นกราฟของมอดูลัสของการคลายตัว แนวโน้มของมอดูลัสของการคลายตัวมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้น และลดช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป



รูปที่ ๒ มอดูลัสของการคลายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเครียดเท่ากับ 10% [7]

2.3 การสร้างกราฟหลัก (Master Curve)

การสร้างกราฟหลักสามารถใช้วิธี TTS ที่ใช้สร้างกราฟหลักของความเค้น ความเครียด และมอดูลัสการคลายตัว ซึ่งสำหรับมอดูลัสการคลายตัวนี้ มีการใช้วิธี TTS วิธี WLF และวิธี Arrhenius Method

2.4 Time - temperature Superposition Method (TTS)

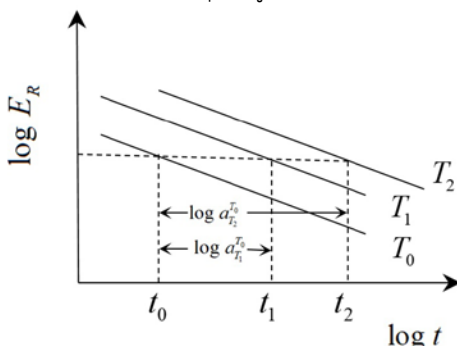
วิธี TTS ใช้ในการหาค่าการเลื่อน (Shift Factor) ด้วยการพล็อตกราฟมาตราส่วนลอการิทึมของมอดูลัสการคลายตัว และกราฟลอการิทึมของเวลา ดังกราฟในรูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของเวลาและอุณหภูมิที่มีผลต่อมอดูลัสการคลายตัวแสดงดังสมการที่ (2) - (4)

$$E_R(t_o, T_o) = E_R(t_l, T_l) = E_R(t_2, T_2) \quad (2)$$

$$\log t_l = \log t_o + \log a_{T_l}^{T_o} \quad (3)$$

$$\log t_2 = \log t_o + \log a_{T_2}^{T_o} \quad (4)$$

โดยที่ $a_{T_l}^{T_o}$, $a_{T_2}^{T_o}$ คือ ค่าการเลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิ
 T_o คือ อุณหภูมิอ้างอิง
 T_1, T_2 คือ อุณหภูมิการทดสอบ



รูปที่ ๓ การหาค่าการเลื่อน $a_{T_l}^{T_o}$ โดยวิธี TTS

William และคณะ [8] ได้พัฒนาหลักการสมการที่ใช้ประเมินค่าการเลื่อน ตามอุณหภูมิต่าง ๆ เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง ในงานวิจัยของ Walid [1] ได้ใช้สมการ WLF แสดงความสัมพันธ์ของค่าการเลื่อน และอุณหภูมิของดินซัคคอมโพสิตชนิด AP/HTPB ตามสมการที่ (5)

$$\log a_t = \frac{-5.4(T - 20)}{770.27 + T - 20} \quad (5)$$

หลักการ เวลา-อุณหภูมิ สามารถใช้กับคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ถูกวัดค่าระหว่างการทดสอบการดึง

ขึ้นงาน ได้แก่ มอดูลัสการยืดหยุ่น E ค่าความเค้นสูงสุด σ_m และความเครียดที่ความเค้นสูงสุด ϵ_m ในกรณีของการทดสอบดึง อาจจะใช้หลักการ อัตราเร็วการดึง-อุณหภูมิ สมการกราฟหลักอาจจะนิยามตามค่าเวลาที่จุดสูงสุดต่อค่าการเลื่อน นั่นคือ t_m / a_T ดังสมการที่ (6) - (8)

$$\log E = f(\log t_m / a_T) \quad (6)$$

$$\log \sigma_m = g(\log t_m / a_T) \quad (7)$$

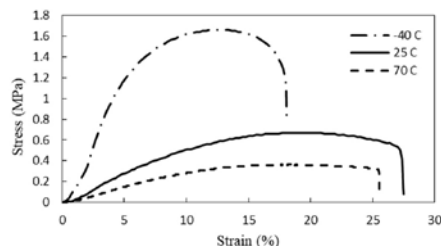
$$\log \epsilon_m = h(\log t_m / a_T) \quad (8)$$

3. การวิเคราะห์ปัญหาฟองอากาศ

3.1 การสร้างกราฟหลัก (Master Curve) ของดินซัคคอมโพสิตแบบ HTPB

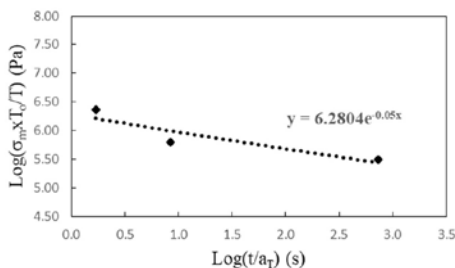
ดินซัคที่ใช้ในจรวดที่ทำการวิเคราะห์นี้ เป็นดินซัคที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (AP) ผงอะลูมิเนียม (AL) และตัวประสาน HTPB เป็นองค์ประกอบหลัก รวมกับส่วนผสมอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย ส่วนผสมต่าง ๆ ถูกผสมเข้าด้วยกันและหล่อขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์สำหรับการทดสอบการดึง และผ่านการอบในตู้สุญญากาศและอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 120 ชั่วโมง

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบการดึง (Uniaxial Tensile Test) ที่สามอุณหภูมิและอัตราการดึงต่าง ๆ ได้แก่ ที่อุณหภูมิปกติ 25°C อัตราการดึงเท่ากับ 100 mm/min การดึงที่อุณหภูมิต่ำ -40°C ใช้อัตราการดึงเท่ากับ 100 mm/min เช่นเดียวกัน ในขณะที่การดึงที่อุณหภูมิสูง 70°C ใช้อัตราการดึงเท่ากับ 2 mm/min

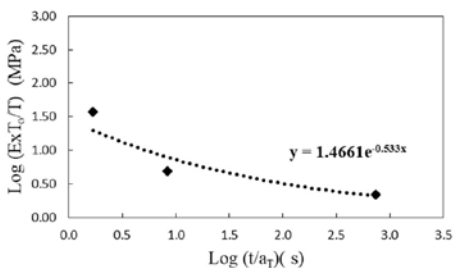


รูปที่ ๔ ผลการทดสอบการดึง ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ที่มีต่อกราฟความเค้น-ความเครียด

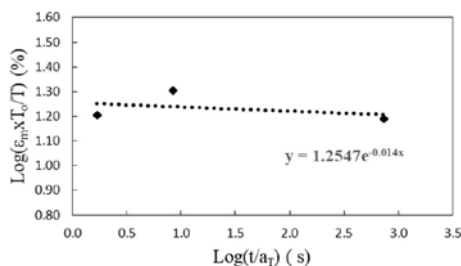
ผลการทดสอบตามรูปที่ 4 สามารถนำมาสร้างกราฟหลัก (Master Curve) ของความเค้นสูงสุดของดินขับ ความเครียดที่ความเค้นสูงสุด และมอดุลัสยืดหยุ่น ตามรูปที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ จากภาพจะเห็นว่า คุณสมบัติทางกลของดินขับมีค่าต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับหลักการขึ้นกับเวลา-อุณหภูมิ (Time-temperature dependent)



รูปที่ ๕ กราฟหลักความเค้นสูงสุดของดินขับ HTPB



รูปที่ ๖ กราฟหลักมอดุลัสยืดหยุ่นของดินขับ HTPB



รูปที่ ๗ กราฟหลักความเครียดสูงสุดของดินขับ HTPB

3.2 การวิเคราะห์ฟองอากาศในดินขับโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM)

ในการใช้งานจรวดนั้น จรวดอาจจะต้องรับภาระกรรมที่เกิดขึ้น ซึ่งมีทั้งอุณหภูมิการใช้งานจรวด ซึ่งมีทั้งอุณหภูมิสูงหรืออุณหภูมิต่ำ ความดันภายในระหว่างการจุดชนวนเชื้อเพลิง รวมถึงความเร่งของตัวจรวดเองในระหว่างที่จรวดออกตัว ภาระกรรมต่าง ๆ นี้อาจส่งผลต่อดินขับ เช่น ทำให้ดินขับเกิดการแตกร้าว จนส่งผลต่อความดันภายในจรวดที่สูงขึ้น จนเกินขีดจำกัดของโครงสร้าง ซึ่งทำให้จรวดระเบิดได้

ในระหว่างกระบวนการหล่อดินขับในมอเตอร์จรวดอาจเกิดฟองอากาศในเนื้อดินขับ ในระหว่างการทำงานอาจเกิดความเค้นสะสม (Stress concentration) รอบ ๆ ฟองอากาศในการวิเคราะห์ความเค้นนี้ ผู้เขียนจำลองฟองอากาศทรงรีขนาด 10x20 mm เกิดขึ้นในแท่งดินขับ และใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ทำการวิเคราะห์โดยมีภาระกรรมต่าง ๆ ได้แก่

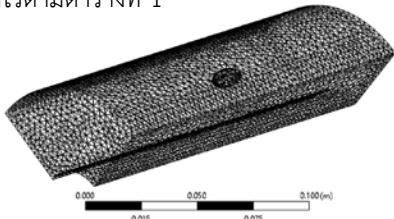
- 1) สภาวะอุณหภูมิสูง ที่ 60°C
- 2) ความดันภายในมอเตอร์จรวดที่ 19.6 MPa ที่อุณหภูมิ 60°C

- 3) ความเร่งออกตัว 70 g อุณหภูมิ 60°C

ผลการวิเคราะห์ภาระกรรมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับความแข็งแรงของดินขับที่หาได้จากกราฟหลัก จะบอกได้ว่าฟองอากาศจะทำให้เกิดความเสียหายต่อแท่งดินขับในระหว่างการทำงานของจรวดจนส่งผลต่อโครงสร้างได้หรือไม่ การใช้กราฟหลักเป็นผลจากการทดสอบการดึง (Tensile) ดังนั้น การเปรียบเทียบต้องเปรียบเทียบในกรณีที่ภาระกรรมอยู่ภายใต้แรงดึง ไม่ใช่แรงกดอัด

ในการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ใช้แบบจำลองวัสดุประเภทยืดหยุ่นแบบหน่วงหนืด (Viscoelastic) โดยมีการกำหนดเงื่อนไขทั้งสามสภาวะ คุณสมบัติในการคำนวณ FEM ใช้ค่าที่ได้จาก

กราฟหลัก แท่งดินขับจรวดขนาด 122 mm ยาว 1,650 mm เพื่อให้ง่ายต่อการจำลอง จึงใช้ขอบเขตโดเมนของการจำลองโดยการแบ่งดินขับเป็น 1/4 ส่วน ยาว 200 mm มีฟองอากาศขนาด 10x20 mm อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 8 คุณสมบัติของดินขับแสดงไว้ตามตารางที่ 1



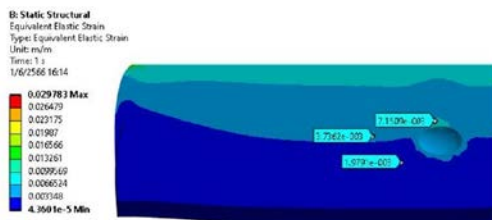
รูปที่ ๘ ขอบเขตโดเมนของการจำลอง FEM

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินขับเชื้อเพลิงแข็ง

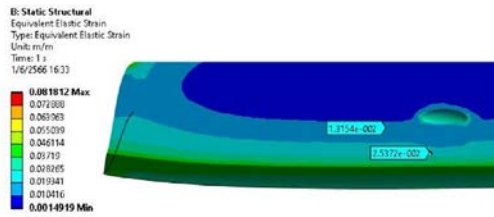
Density	1757	kg/m ³
Young's Modulus	6.6x10 ⁸	Pa
Poisson's Ratio	0.49	
Bulk Modulus	1.098x10 ¹⁰	Pa
Shear Modulus	2.211x10 ⁸	Pa
Secant Coefficient of Thermal Expansion	9.99x10 ⁻⁵	1/°C
Thermal Conductivity	0.16	W/m-°C

4. ผลการวิเคราะห์ Finite Element Method

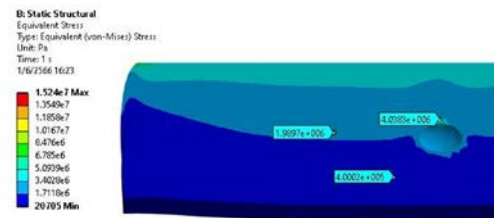
รูปที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นภายในดินขับคอมโพสิตที่มีฟองอากาศเกิดขึ้นในสภาวะอุณหภูมิ 60°C รูปที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ความเครียดที่เกิดจากความดันภายในมอเตอร์จรวดในสภาวะอุณหภูมิ 60°C รูปที่ 11 แสดงถึงความเค้นในรอบ ๆ ฟองอากาศ เมื่อจรวดมีความเร่ง 70 g ในสภาวะอุณหภูมิ 60°C



รูปที่ ๙ ความเครียดรอบฟองอากาศในสภาวะอุณหภูมิ 60°C



รูปที่ ๑๐ ความเครียดรอบฟองอากาศจากความดันภายในมอเตอร์จรวด ในสภาวะอุณหภูมิ 60°C



รูปที่ ๑๑ ความเค้นที่ความเร่ง 70 g ในสภาวะอุณหภูมิ 60°C

5. การวิเคราะห์ผลจากกรณีต่าง ๆ

รูปที่ 7 แสดงกราฟหลัก (Master Curve) ของความเครียดของดินขับ สมการเป็นเอกโพเนนเชียล อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20°C ค่าการเลื่อน $a_T = 0.54$ ค่า $t_m = 28,800$ sec ผลของอุณหภูมิ 60°C แสดงดังตารางที่ 2 ความเครียดสูงสุดที่รับได้จากกราฟหลักเท่ากับ 0.170 ผลการวิเคราะห์ FEM แสดงความเครียดที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ฟองอากาศเท่ากับ 0.0072 โดยมีค่า Safety Factor เท่ากับ 23.6 ผลดังกล่าวหมายถึงดินขับสามารถรับอุณหภูมิ 60°C ได้ การขยายตัวที่เกิดขึ้นไม่ทำให้ดินขับเกิดการเสียหาย

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของดินขับจาก Master Curve และวิธี FEM

	Condition	Maximum	FEM	SF
Effect of temperature	Strain	0.170	0.0072	23.6
	Strain	0.214	0.0131	16.3
Effect of acceleration	Stress (MPa)	5.26	4.04	1.3

ผลของความดันภายในมอเตอร์ ที่อุณหภูมิ 60°C $t_m = 0.035$ sec จากตารางที่ 2 ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.214 ผลการวิเคราะห์ FEM แสดง

ความเครียดที่เกิดขึ้นรอบๆ ฟองอากาศเท่ากับ 0.0131 โดยมีค่า Safety Factor เท่ากับ 16.3

ผลของความเร่ง 70 g ที่อุณหภูมิ 60°C ใช้ค่า $t_m = 0.035$ sec จากกราฟหลัก ความเค้นสูงสุดเท่ากับ 5.26 MPa ผลการวิเคราะห์ FEM แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นรอบๆ ฟองอากาศเท่ากับ 4.04 MPa ค่า Safety Factor เท่ากับ 1.3 จะเห็นว่าทั้งสามกรณีผลการวิเคราะห์สามารถยอมรับได้

6. ข้อสรุป

ความแข็งแรงของดินขับเชื้อเพลิงชนิด HTPB เป็นฐานสามารถประเมินได้จากการสร้างกราฟหลักที่ได้จากผลการทดสอบการดึง และโดยหลักของ Time-temperature Dependent กราฟหลักของความเค้น ความเครียด และโมดูลัสของดินขับสามารถใช้ประเมินความแข็งแรงเมื่อดินขับได้รับการกระทำโดยภาระกรรมต่าง ๆ ทั้งกรณีปกติและกรณีที่เกิดปัญหาฟองอากาศในเนื้อดินขับได้

ปัญหาฟองอากาศในดินขับสามารถพิจารณาได้โดยการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ผลการวิเคราะห์กรณีอุณหภูมิสูง 60°C พิจารณาค่าความเครียดสูงสุดจากฟองอากาศ ความเครียดต่ำกว่าค่าสูงสุดอย่างมาก ดังนั้น ผลของอุณหภูมิและฟองอากาศไม่ได้ทำให้ดินขับเสียหาย ในกรณีความดันภายในมอเตอร์ ความเครียดของดินขับก็ยังอยู่ในระดับที่รับได้ และในกรณีความเร่งของจรวด ความเร่ง 70 g ความเค้นที่เกิดขึ้นต่ำกว่าค่าสูงสุด โดยค่าความปลอดภัยอยู่ที่ระดับ 1.3 นั่นคือ ความเร่งของจรวดส่งผลต่อดินขับค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีปัญหาฟองอากาศ ดินขับก็ยังสามารถรับภาระกรรมจากการใช้งานของจรวดได้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] W. M. Adel and L. Guo - Zhu, "Analysis of Mechanical Properties for AP/HTPB Solid Propellant under Different Loading

Conditions," *Int. J. Aerosp. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 12, pp. 1915 - 1919, 2017.

- [2] W. M. Adel and L. Guo - Zhu, "Different Method for Developing Relaxation Modulus Master Curves of AP-HTPB Solid Propellant," *Chin. J. Energ. Mater.*, vol. 25, no. 10, pp. 810 - 816, 2017.
- [3] S. W. Chyuan, "Nonlinear Thermoviscoelastic Analysis of Solid Propellant Grains Subject to Temperature Loading," *Finite Elem. Anal. Des.*, vol. 38, no. 7, pp. 613 - 630, 2002.
- [4] S. W. Chyuan, "Studies of Poisson's Ratio Variation for Solid Propellant Grains Under Ignition Pressure Loading," *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 80, no. 12, pp. 871 - 877, 2003.
- [5] Z. J. Wang, H. F. Qiang, G. Wang, and B. Geng, "Strength Criterion of Composite Solid Propellants Under Dynamic Loading," *Def. Technol.*, vol. 14, no. 5, pp. 457 - 462, 2018.
- [6] B. K. Bihari, V. S. Wani, N. P. N. Rao, P. P. Singh, and B. Bhattacharya, "Determination of Activation Energy of Relaxation Events in Composite Solid Propellants by Dynamics Mechanical Analysis," *Def. Sci. J.*, vol. 64, no. 2, pp. 173 - 178, 2014.
- [7] A. Davenas, *Solid Rocket Propulsion Technology*. New York, NY, USA: Pergamon Press, 1989.
- [8] M. L. Williams, R. F. Landel, and J. D. Ferry, "The Temperature Dependence of Relaxation Mechanisms in Amorphous Polymers and Other Glass-forming Liquids," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 77, no. 14, pp. 3701 - 3707, 1955.

การศึกษาภาชนะบรรจุสารหนองไฟทดแทน จากกระดาษคราฟต์สำหรับเครื่องดับเพลิง

สุวิชา จันทน์กะพ้อ^{1*} และ วีระชาติ กุลศิริเกษม¹

วันที่รับ 13 สิงหาคม 2566 วันที่แก้ไข 12 กันยายน 2566 วันที่ตอบรับ 9 ตุลาคม 2566

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้ให้การสนับสนุนเจ้าหน้าที่และเครื่องมือในการดับไฟป่า ด้วยแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้จากระยะไกล ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงจากความร้อนและไฟต่อทรัพย์สินและบุคคลได้ดีที่สุด ด้วยเทคโนโลยีเครื่องดับเพลิงในปัจจุบันสามารถนำส่งสารหนองไฟด้วยอากาศยานไร้คนขับและจรวดได้ ซึ่งเครื่องดับเพลิงที่นำมาติดตั้งใช้ภาชนะวัสดุโพลีโพรไพลีนบรรจุสารหนองไฟ เมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดสารสไตรีนที่เป็นมลพิษและชิ้นส่วนที่เหลือตกค้างย่อยสลายช้ามากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีวัตถุประสงค์ใช้ภาชนะบรรจุสารหนองไฟจากวัสดุกระดาษคราฟต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถขึ้นรูปให้มีความแข็งแรงตามที่ต้องการด้วยการออกแบบ จำลองภาระตามหลักการทำงานของเครื่องดับเพลิงเพื่อนำไปสร้างและทดสอบภาคสนาม โดยได้ผลการทดสอบการกระจายตัวของสารหนองไฟครอบคลุมพื้นที่ไม่น้อยกว่า 7 ตารางเมตร ซึ่งเป็นไปตามที่กำหนดไว้ ทำให้ได้องค์ความรู้ ทักษะการผลิต และผลการทดสอบคุณสมบัติ ที่สามารถนำไปออกแบบและสร้างภาชนะบรรจุสารหนองไฟด้วยกระดาษคราฟต์ ซึ่งสามารถทดแทนภาชนะบรรจุเดิม ทำให้สามารถติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับและจรวดที่มีใช้ปฏิบัติการกิจในปัจจุบัน

คำสำคัญ : กระดาษคราฟต์, ภาชนะ, เครื่องดับเพลิง, สิ่งแวดล้อม

¹ ส่วนงานวิศวกรรมวัสดุระเบิดและนิวเคลียร์ ชีวะ เคมี, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: suwicha.c@dti.or.th

Study of Alternative Fire Retardant Containers made from Kraft Paper for Fire Extinguisher

Suwicha Chankapoe ^{1*} Weerachart Kulsirikasem ¹

Received 13 August 2023, Revised 12 September 2023, Accepted 9 October 2023

Abstract

At present, government and private agencies provide support to officials and equipment for extinguishing forest fires. The greatest way to reduce the risk of heat and fire to people and property is to use a distant fire extinguishing technique. Current fire extinguisher technology allows for the deployment of fire retardants using rockets and unmanned aerial vehicles. The fire extinguisher has a fire retardant container and is made of polystyrene foam. The ecologically harmful styrene is produced during combustion, and the gradual disintegration of the leftover parts has an impact on the environment. An excellent environmentally friendly option is kraft paper. As a result, the action load for kraft paper containers was designed, modeled, and field tested using the same approach as fire extinguishers. As required, the fire retardant covers a surface area of at least 7 square meters. Knowledge of manufacturing process skills and qualification test results that can be utilized to design and build fire retardant containers made of kraft paper that can be used to replace the original containers and be mounted on unmanned aerial vehicles and rockets that are currently used for missions.

Keywords : Kraft paper, Container, Fire extinguishers, Environment

¹ NBC and Explosive Engineering Division, Defence Technology Institute

* Corresponding author, E-mail: suwicha.c@dti.or.th

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาไฟฟ้าทุกปีโดยมีสาเหตุเกิดขึ้นจากธรรมชาติและจากมนุษย์ ซึ่งหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนให้การสนับสนุนภารกิจป้องกันไฟฟ้า รวมถึงสนับสนุนเจ้าหน้าที่และเครื่องมือในการดับไฟฟ้าด้วย ซึ่งมีแนวทางการดับไฟทางตรงโดยให้เจ้าหน้าที่เข้าควบคุมไฟฟ้าในระยะใกล้ประมาณ 5 - 8 เมตร จากขอบของไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก มีความร้อนและควันไม่มากนัก ใช้เครื่องมือเป็นถังฉีดน้ำ พลุ และที่ดับไฟ ซึ่งยังไม่ได้ผลเท่าที่ควร เนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูง เจ้าหน้าที่เดินเท้าเข้าปฏิบัติงานยากลำบาก บรรทุกน้ำได้น้อย เสี่ยงอันตรายต่อชีวิต [1] หากไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ จะใช้วิธีดับไฟทางอ้อมด้วยการโปรยน้ำและสารหน่วงไฟจากอากาศยานเครื่องบินปีกหรือเฮลิคอปเตอร์ทิ้งน้ำในระยะสูงกลายเป็นละอองเล็กเกินกว่าที่จะสามารถดับไฟฟ้าได้ จึงต้องเพิ่มรอบในการทิ้งน้ำมากขึ้น ใช้เวลานานไม่ทันต่อเหตุลุกลามไฟ และมีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงสูงมากขึ้นตามไปด้วย [2]

ดังนั้น เพื่อให้สามารถสนับสนุนภารกิจป้องกันไฟฟ้าของกรมป่าไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการนำส่งเครื่องดับเพลิงจากระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับหรือจรวดของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ [3] ดับไฟผิวดินที่กำลังลุกลาม แต่ด้วยเครื่องดับเพลิงที่ใช้ในปัจจุบันบรรจूसารหน่วงไฟในภาชนะที่ผลิตจากวัสดุโพลีเอทิลีนที่อ่อนนุ่มและเปราะบาง เมื่อเกิดอุบัติเหตุทำให้ภาชนะแตกหักหรือแตกเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษา ออกแบบ วิจัยพัฒนา และสร้างเครื่องดับเพลิงที่ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมาใหม่แล้วไม่เกิดสารพิษให้สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจूसารหน่วงไฟและสร้างแรงดันสูงกระจายสารหน่วงไฟได้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจะทำให้เจ้าหน้าที่ดับไฟป่ามีเครื่องดับเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดความเสี่ยงต่อชีวิต และเพิ่มประสิทธิภาพในการดับไฟฟ้าได้

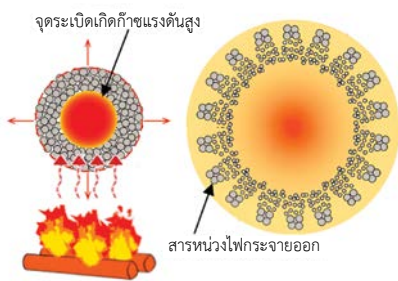
2. ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ไฟที่ไหม้ลุกลามเกิดจากความเร็วในการเผาไหม้เชื้อเพลิงบนพื้น ซึ่งมีความสูงเปลวไฟตั้งแต่ 0.5 ถึง 5 เมตร ดังนั้น เครื่องมือและอุปกรณ์ในการควบคุมไฟที่ใช้หลักการแยกออกซิเจนออกจากองค์ประกอบของสามเหลี่ยมไฟได้จึงมีความจำเป็นอย่างมาก การใช้สารหน่วงไฟ (Fire Retardant) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สารเคมีในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการติดไฟของเชื้อเพลิง หรือเข้าไปรบกวนขั้นตอนในขบวนการสันดาปทำให้อัตราการเผาไหม้ช้าลง [5] สำหรับการดับเพลิงที่ไฟเกิดจากเชื้อเพลิงวัสดุของแข็งและวัสดุของเหลว นิยมใช้สารโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต (MAP) ที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเกษตร สามารถจัดหาได้ง่าย มีราคาถูก และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย [6]

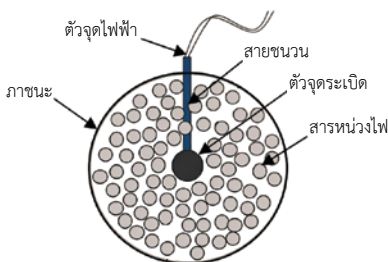
การนำส่งสารหน่วงไฟให้สามารถกระจายครอบคลุมพื้นที่ที่ไฟลุกลามใช้การบรรจूसารหน่วงไฟและก๊าซแรงดันสูงไว้ภายในถังวัสดุที่มีน้ำหนักมากทำให้เคลื่อนย้ายไม่สะดวก หรือบรรจूसารหน่วงไฟในภาชนะวัสดุน้ำหนักเบาและใช้วัตถุระเบิดสร้างก๊าซแรงดันสูงให้กระจายสารหน่วงไฟออกไปครอบคลุมพื้นที่ไฟไหม้ โดยมีการนำไปใช้ในการดับไฟจากระยะไกลด้วยการติดตั้งในอากาศยานไร้คนขับหรือจรวด [7] ซึ่งภาชนะของสารหน่วงไฟใช้วัสดุโพลีเอทิลีน เมื่อเผาไหม้เกิดสารสไตรีนและเบนซินที่เป็นมลพิษตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมและเศษชิ้นส่วนที่เหลืออยู่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม [8] เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในสังคมและสิ่งแวดล้อม จึงพิจารณานำกระดาษคราฟต์ (Kraft Paper) ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ เมาใหม่แล้วเกิดสารพิษน้อย สามารถย่อยสลายได้ง่าย [9] นำมาขึ้นรูปทรงภาชนะให้มีความแข็งแรงสามารถบรรจूसารหน่วงไฟได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระดาษคราฟต์เป็นวัสดุทดแทนสำหรับภาชนะบรรจूसารหน่วงไฟของเครื่องดับเพลิง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

กำหนดให้เครื่องดับเพลิงทำงานเมื่อได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ขนาดที่อยู่นอกภาชนะแล้วเกิดระเบิดอย่างรวดเร็วจากภายใน สร้างก๊าซแรงดันสูงมากพอทำลายเปลือกภาชนะและกระจายสารหน่วงไฟออกไปได้ เป็นไปตามที่ Frost [10] แสดงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 1 โดยใช้ภาชนะทรงกลมบรรจุสารหน่วงไฟและมีตัวจุดระเบิดอยู่กึ่งกลางภาชนะเชื่อมต่อกับเส้นสายขนวนให้ออกมาภายนอกภาชนะ โดยมีส่วนปลายสายขนวนต่อกับตัวจุดไฟฟ้าไว้สำหรับการทดสอบภาคสนามแสดงในรูปที่ 2 หลังจากนั้นทำการเลือกวัสดุสำหรับภาชนะของเครื่องดับเพลิงที่มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงวัสดุโฟมโพลีสไตรีนและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า พบว่า วัสดุกระดาดคราฟต์เผาไหม้ แล้วเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเศษที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้สามารถย่อยสลายได้ง่ายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าวัสดุโฟมโพลีสไตรีนที่เผาไหม้เกิดก๊าซมลพิษจากสารสไตรีนและย่อยสลายได้ยากมาก แสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ



รูปที่ ๑ การทำงานของเครื่องดับเพลิง



รูปที่ ๒ แสดงส่วนประกอบของเครื่องดับเพลิง

โฟมโพลีสไตรีนและวัสดุกระดาดคราฟต์ในตารางที่ 1 [11] นอกจากนี้ วัสดุกระดาดคราฟต์ผลิตด้วยกระบวนการเยื่อเคมีสกัดกลินินออกทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงสูง สามารถรับแรงได้ทุกทิศทาง [12] นำมาผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันและความร้อนให้ได้ขนาดความหนา รูปร่าง และค่าคุณสมบัติเชิงกลตามที่ต้องการนำไปใช้เป็นภาชนะบรรจุสารหน่วงไฟได้ แสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ

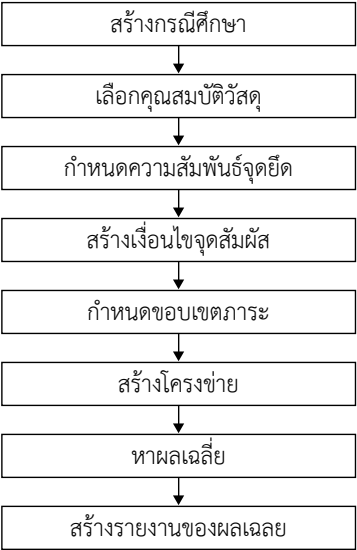
คุณสมบัติ	วัสดุโฟมโพลีสไตรีน	วัสดุกระดาดคราฟต์
ความเค้นดึง (เมกะปาสคาล)	0.4 - 1.2	0.58 - 0.72
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	28 - 70	630 - 870
วิธีการขึ้นรูป	อัดขึ้นรูปด้วยไอน้ำ	รีดขึ้นรูปด้วยความร้อน
ผลกระทบ	เผาไหม้เกิดสารสไตรีน	เผาไหม้เกิดก๊าซ
สิ่งแวดล้อม	มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	คาร์บอนไดออกไซด์
	ย่อยสลายยาก	เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
		ย่อยสลายได้ง่าย



รูปที่ ๓ ภาชนะวัสดุกระดาดคราฟต์

เมื่อได้วัสดุที่จะนำมาทดแทนแล้วดำเนินการสร้างแบบจำลองและกำหนดขนาดภาชนะวัสดุกระดาดคราฟต์ที่บรรจุสารหน่วงไฟด้วยโปรแกรม SolidWorks ที่ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาวิเคราะห์ปัญหาในสถานะสถิต เพื่อให้ทราบความเค้น (Stress) และระยะขจัด (Displacement) สามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของภาชนะว่ามีการเสียรูป (Deformation Scale) [13] ขณะที่รับภาระแรงดันก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของตัวจุดระเบิด โดยดำเนินการจำลองด้วยการสร้างกรณีศึกษา กำหนดภาระที่

กระทำกับชิ้นงานที่เลือกคุณสมบัติวัสดุไว้ สร้างเงื่อนไขของแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับภาชนะเป็นแรงดันสม่ำเสมอ ทิศทางที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิว กำหนดค่าแรงดัน กำหนดจุดยึดบริเวณพื้นที่กึ่งกลางภาชนะที่ถูกบังคับไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ สร้างโครงข่ายของสมการลงบนชิ้นงาน แบ่งขอบเขตของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อย จากนั้นทำการหาผลเฉลยของปัญหานั้น โดยเป็นไปตามผังงานสำหรับการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 4 [14] ที่ต้องการทราบคุณสมบัติของส่วนประกอบของเครื่องดับเพลิงที่ใช้ตัวจุดระเบิดดินดำ (Black Powder) แสดงคุณสมบัติในตารางที่ 2 [15] เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วจากของแข็งไปเป็นก๊าซแรงดันสูงด้วยการจุดชนวนด้วยไฟฟ้าสำหรับการทดสอบภาคสนามแทนการใช้เปลวเพลิงจริง นำคุณสมบัติของสารหน่วงไฟโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตในตารางที่ 3 [16] และผลการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์ที่อัดขึ้นรูปด้วยความร้อนแล้วมาหาค่าคุณสมบัติของวัสดุส่วนประกอบในโปรแกรมคำนวณจำลองหาผลลัพธ์ต่อไป



รูปที่ ๔ ผังงานสำหรับการวิเคราะห์แบบคงที่ของโปรแกรม SolidWorks

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของตัวจุดระเบิดดินดำ

คุณสมบัติ (หน่วย)	ค่า
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	200
แรงดันระเบิด (จิกะปาสกาล)	0.13
ปริมาณปล่อยก๊าซ (ลิตร/กิโลกรัม)	280 - 290
ความเร็วในการจุดระเบิด (เมตร/วินาที)	1,223

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของสารหน่วงไฟโมโนแอมโมเนียมฟอสเฟต

คุณสมบัติ (หน่วย)	ค่า
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1,000 - 1,300
ความหนาแน่นไอ (อากาศ = 1)	0.97
ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)	100 - 212

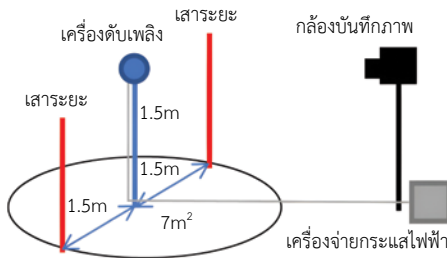
การกำหนดขอบเขตให้เป็นเครื่องดับเพลิงมีน้ำหนักรวมไม่มากกว่า 1.5 กิโลกรัม บรรจุสารหน่วงไฟในภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์อัดขึ้นรูปด้วยความร้อนรูปร่างครึ่งทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 130 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร มีตัวจุดระเบิดดินดำที่มีอัตราส่วนประกอบโพแทสเซียมไนเตรด 75% ซัลเฟอร์ 10% และผงถ่าน 15% บรรจุในกลี้น้ำหนัก 6 กรัม คำนวณหาแรงดันก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ดินดำที่จุดศูนย์กลางภาชนะแล้วกระจายในทิศทางตามรัศมีทรงกลมตามที่ Nakka [17] สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวจุดระเบิดและปริมาตรของภาชนะไว้

ใช้กระบวนการประกอบเครื่องดับเพลิงตามที่แสดงในรูปที่ 5 เตรียมภาชนะตรวจสอบขนาดรูปทรงและรอยแตกร้าว เตรียมสารหน่วงไฟคัดกรองนำสิ่งปนเปื้อนออก พร้อมทำให้เป็นผงละเอียดบรรจุอัดแน่นเต็มภาชนะทั้ง 2 ส่วน ประกอบตัวจุดระเบิดกับสายชนวนที่เตรียมไว้แล้ว โดยให้หลักจุดระเบิดอยู่กึ่งกลางของภาชนะส่วนแรก แล้วจึงนำภาชนะที่บรรจุสารหน่วงไฟอีกส่วนหนึ่งประกบเข้าด้วยกันเป็นทรงกลม ยึดติดภาชนะทั้ง 2 ส่วน ด้วยกระดาษตามแนวที่ประกบกันให้แน่น พันสายชนวนให้อยู่ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ พร้อมติดตัวจุดไฟฟ้าไว้ที่ปลายสายชนวน หุ้มฟิล์มหูด ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล พร้อมติดฉลากที่ระบุลำดับและข้อมูลส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิต



รูปที่ ๕ กระบวนการประกอบเครื่องดับเพลิง

กำหนดการทดสอบต้นแบบเครื่องดับเพลิงด้วยชุดอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 6 ให้มีขาตั้งเครื่องดับเพลิงสูง 1.5 เมตร เสาแสดงระยะที่รัศมี 1.5 เมตร จำนวน 2 เสา ในบริเวณที่ไม่มีเชื้อเพลิงหรือวัสดุติดไฟ เชื่อมต่อสายไฟจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 แอมป์ เข้ากับตัวจุดไฟฟ้าให้มีระยะห่างระหว่างกันไม่น้อยกว่า 50 เมตร และติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว



รูปที่ ๖ ชุดอุปกรณ์ทดสอบเครื่องดับเพลิง

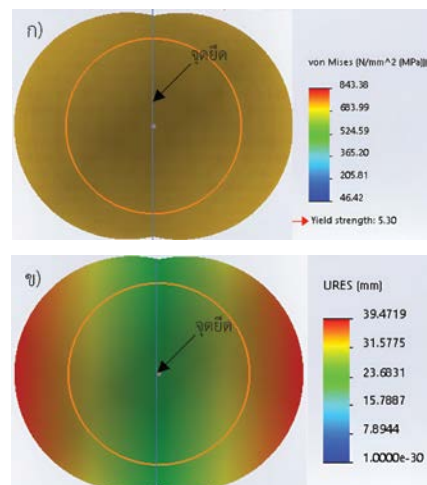
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

ภาชนะบรรจุสารหน่วงไฟทำจากวัสดุกระดาศราฟต์อัดด้วยแรงดันและความร้อนเป็นรูปร่างครึ่งทรงกลม วัดความหนาได้ 4 ± 0.2 มิลลิเมตร นำมาเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D828-97 ทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง TEST BANDS 112.100 กำหนดระยะทดสอบ 165 มิลลิเมตร ความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ได้ผลการทดสอบแรง

ดึงชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 4 [18] และผลวัดความหนาแน่นรวมของภาชนะวัสดุกระดาศราฟต์ด้วยเครื่อง Alfa Mirage SD-200L มีค่าความหนาแน่น 1050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลความเค้นดึงและความหนาแน่นของภาชนะวัสดุกระดาศราฟต์ที่สร้างมีค่ามากกว่าภาชนะวัสดุโฟมโพลีสไตรีนความหนา 10 มิลลิเมตร จึงใช้ผลทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงกลความเค้นดึงของภาชนะวัสดุกระดาศราฟต์ 5.3 เมกะปาสคาล และผลคำนวณแรงดันก๊าซสูงสุดที่เกิดจากการเผาไหม้ตัวจุดระเบิด 106 เมกะปาสคาล เป็นค่าคุณสมบัติวัสดุและค่าการะตามหลักการการทำงานของเครื่องดับเพลิงสร้างเป็นกรณีศึกษาแบบงานจำลองภาชนะได้ผลลัพธ์แสดงอยู่ในรูปของข้อมูลที่เป็นเนตส์และตัวเลขปรากฏชุดข้อมูลความเค้น (Stress, von Mises) และระยะขจัด (Displacement, URES) ของภาชนะวัสดุกระดาศราฟต์ที่อัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของกระดาศราฟต์

ตัวอย่างที่	แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางมิลลิเมตร)	ความเค้นดึง (เมกะปาสคาล)	ระยะยืด (%)
1	596.60	101.51	5.88	<2%
2	491.72	101.48	4.85	<2%



รูปที่ ๗ ผลจำลอง ก) ความเค้น และ ข) ระยะขจัด ของภาชนะบรรจุสารหน่วงไฟที่เกิดแรงดันก๊าซภายใน

ด้วยข้อจำกัดให้ใช้จุดยึดบริเวณแนวประกอบของภาชนะที่ถูกบังคับไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ จึงแสดงผลค่าความเค้นและค่าระยะขจัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะห่างจากจุดยึด ในทิศทางเดียวกับแรงดันของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของตัวจุดระเบิดที่อยู่กึ่งกลางภาชนะ โดยค่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่ภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์ที่สร้างขึ้นมีค่าสูงสุด 843 เมกะปาสกาล มากกว่าค่าความเค้นสูงสุดที่ภาชนะรับได้ซึ่งสอดคล้องกับค่าระยะขจัดสูงสุด 39 มิลลิเมตรหรือระยะยืด 30% จึงทำให้ภาชนะเสียรูปจนเกิดการแตกหักเสียหาย

ผลการทดสอบภาคสนามของเครื่องดับเพลิงที่ใช้ภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์ ดังแสดงในรูปที่ 8 เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าให้ตัวจุดไฟฟ้าเกิดการเผาไหม้ของสายขบวนจนตัวจุดระเบิดภายในภาชนะเผาไหม้สร้างก๊าซแรงดันสูงมากพอที่จะทำให้ภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์มีการฉีกขาดเป็นชิ้นขนาดเล็กตกกระจายตามแนวรัศมีการระเบิดและแรงดันก๊าซสามารถกระจายสารหน่วงไฟตามแบบจำลองออกไปรอบทิศทางตามแนวรัศมีการระเบิดทางมากกว่า 1.5 เมตร ได้พื้นที่วงกลม 7 ตารางเมตร ซึ่งมีการฟุ้งกระจายสารหน่วงไฟลักษณะเดียวกับเครื่องดับเพลิงที่ใช้ภาชนะวัสดุโฟมโพลีสไตรีน [19] ในแนวรัศมีการตกลงจากแนวจุดยึดภาชนะทั้ง 2 ส่วน ที่พันติดกันด้วยกระดาษขาว และสอดคล้องกับการศึกษาการกระจายตัวของผงเคมีด้วยตัวจุดระเบิดสร้างก๊าซแรงดันสูงที่บรรจุในภาชนะทรงกลมขึ้นเดียวที่ใช้วัสดุไนลอน [20] และวัสดุแก้ว [21] ที่มีลักษณะการฟุ้งกระจายในแนวรัศมีเป็นทรงกลมเหมือนกัน

5. สรุปและอภิปรายผล

เครื่องดับเพลิงที่สร้างขึ้นด้วยภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์ทดแทนวัสดุโฟมโพลีสไตรีนสามารถกระจายสารหน่วงไฟได้ครอบคลุมพื้นที่ 7 ตารางเมตรได้เทียบเท่ากัน จึงสามารถนำไปใช้ในการดับเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งการเผาไหม้ภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์เกิดก๊าซมลพิษน้อยและเศษชิ้นส่วนของภาชนะที่เหลืออยู่ย่อยสลายได้ง่าย จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าภาชนะวัสดุโฟมโพลีสไตรีน นักวิจัยสามารถนำองค์ความรู้ในการออกแบบ ทักษะการสร้างและทดสอบเครื่องดับเพลิงที่ใช้ภาชนะวัสดุ



รูปที่ ๘ ผลการทดสอบภาคสนามของเครื่องดับเพลิงภาชนะวัสดุกระดาษคราฟต์

กระดาษคราฟต์มาปรับขนาดและรูปร่างให้สามารถติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กและจรวดนำไปใช้ในการดับเพลิงได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัย อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และพื้นที่ในการทำวิจัย รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ จากโครงการวิจัยพื้นฐาน วิจัยและพัฒนาเครื่องดับเพลิงแบบส่งระยะไกลของส่วนงานวิศวกรรมวัตถุระเบิดและนิวเคลียร์ ชีวะ เคมี สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ การสนับสนุนเจ้าหน้าที่และเครื่องมือทดสอบคุณสมบัติของวัสดุของส่วนงานวิศวกรรมโลหะการและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ส่วนควบคุมไฟฟ้า, “รายงานประจำปี 2564,” สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟฟ้า, กรุงเทพฯ, ไทย, 2564.
- [2] ส่วนควบคุมไฟฟ้า, “การใช้อากาศยานสนับสนุนงานดับไฟฟ้า,” สำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟฟ้า, กรุงเทพฯ, ไทย, 2566.
- [3] สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, “โครงการวิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง,” กรุงเทพฯ, ไทย, 2565.
- [4] ญัฐวิญญ์ ขวเลิศพรศิยา และคณะ, “ประเด็น

- สิ่งแวดล้อมจาก ‘สไตรีนโมโนเมอร์’ ในเหตุโรงงาน
โม่ระเบิดที่กิ่งแก้ว 21,” ใน *Chula Engineering
Innovation toward Sustainability*, 2564,
[Online]. Available: [https://www.eng.chula.
ac.th/wp-content/uploads/2021/07/
ประเด็นสิ่งแวดล้อมจาก-สไตรีนโมโนเมอร์-ใน
เหตุโรงงานโม่ระเบิดที่กิ่งแก้ว-21.pdf](https://www.eng.chula.ac.th/wp-content/uploads/2021/07/ประเด็นสิ่งแวดล้อมจาก-สไตรีนโมโนเมอร์-ในเหตุโรงงานโม่ระเบิดที่กิ่งแก้ว-21.pdf)
- [5] คู่มือการปฏิบัติงานสำหรับเครือข่ายความร่วมมือ
ในการควบคุมไฟฟ้า, สำนักป้องกันรักษาป่าและ
ควบคุมไฟฟ้า กรมป่าไม้, 2565.
- [6] อนุชา สิ้นธุสาร และอาภาพร สิ้นธุสาร,
“โมโนแอมโมเนียมฟอสเฟตผงเคมีแห้งดับเพลิง,”
จดหมายข่าว วศ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ปีที่ 3,
ฉบับที่ 6, น. 5, ก.พ. 2553.
- [7] พิธิษฐ์ มิตรเกื้อกูล. “โดรนดับเพลิง.” DXC.
THAIPBS.or.th. [https://dxc.thaipbs.or.th/
expert-pool/firefighting-drones/#:~:text=
โดรนถือเป็นเครื่องมือ,เกิดเหตุเพลิงไหม้ได้
\(วันที่เข้าถึง ส.ค. 13, 2566\).](https://dxc.thaipbs.or.th/expert-pool/firefighting-drones/#:~:text=โดรนถือเป็นเครื่องมือ,เกิดเหตุเพลิงไหม้ได้(วันที่เข้าถึง ส.ค. 13, 2566))
- [8] สมศักดิ์ อรรถศิลป์, “การปฏิบัติตนเบื้องต้นเพื่อ
ความปลอดภัย,” กรมการแพทย์, 2564.
- [9] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, “รายงาน
การศึกษาภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมกระดาช
คราฟท์,” กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559.
- [10] D. L. Frost, “Heterogeneous/Particle-laden
Blast Waves,” *Shock Waves*, vol. 28,
pp. 439 - 449, 2018.
- [11] สวัสดิ์ ภูมิสวัสดิ์ และชัยยากร จันทร์สุวรรณ,
“คุณสมบัติของโม่โพลีสไตรีนสำหรับการ
วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์,”
ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรม
เครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18*, ขอนแก่น,
ประเทศไทย, ต.ค. 18 - 20, 2547.
- [12] นุชรา นงนุช, “ความเป็นไปได้ในการใช้เชื้อ
จากกระดาชคราฟต์และกระดาชกล่อมมาผลิต
กระดาชเช็ดมือ,” วิทยาสตรมหาบัณฑิต,
การจัดการสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิต
พัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ, ไทย, 2553.
- [13] อรรถพล ชัยมนัสกุล, “การศึกษาความเค้นในถัง
แรงดันแนวนอนและแท่นรองรับด้วยวิธีไฟไนต์
เอลิเมนต์,” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี*,
ปีที่ 7, ฉบับที่ 13, น. 26-34, 2556.
- [14] D. C. Planchard, *Engineering Design with
SOLIDWORKS 2019*. Mission, MS, USA:SDC
publication, 2019.
- [15] B. S. Ermolaev, A. A. Belyaev, S. B. Viktorov,
K. A. Sleptsov, and S. Y. Zharikova,
“Nonideal Regimes of Deflagration and
Detonation of Black Powder,” *Russ. J. Phys.
Chem. B*, vol. 4, no. 3, pp. 428 - 439, 2010.
- [16] *Material Safety Data Sheet for ABC 40*,
Jewel Saffire Product Ltd., Aug. 2023.
[Online]. Available: [http://www.safelincs.
co.uk/templates_safelincs/file/datasheet/
1143_POWDER%20MSDS.pdf](http://www.safelincs.co.uk/templates_safelincs/file/datasheet/1143_POWDER%20MSDS.pdf)
- [17] R. Nakka. “Chamber Pressure due to Igniter
Combustion.” NAKKA-ROCKETRY.net.
[https://www.nakka-rocketry.net/igniter.
html#Pressure](https://www.nakka-rocketry.net/igniter.html#Pressure) (accessed Aug. 13, 2023).
- [18] ส่วนงานวิศวกรรมโลหการและวัสดุ, “รายงาน
ผลการทดสอบ Tensile Strength Bulk
Density,” สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ,
นนทบุรี, ไทย, DTI-RE-RMM-2022-003, 2566.
- [19] ส่วนงานวิศวกรรมวัตถุระเบิดและนิวเคลียร์
ชีวะ เคมี, “วิจัยและพัฒนาเครื่องดับเพลิงแบบ
ส่งระยะไกล,” โครงการวิจัยพื้นฐาน, สถาบัน
เทคโนโลยีป้องกันประเทศ, นนทบุรี, ไทย, 2565.
- [20] A. M. Milne, E. Floyd, A. W. Longbottom,
and P. Taylor, “Dynamic Fragmentation of
Powders in Spherical Geometry,” *Shock
Waves*, vol. 24, pp. 501 - 513, 2014.
- [21] Q. Pontalier, J. Loiseau, S. Goroshin, and
D. L. Frost, “Experimental Investigation
of Blast Mitigation and Particle-blast
Interaction during the Explosive Dispersal
of Particles and Liquids,” *Shock Waves*,
vol. 28, pp. 489 - 511, 2018.

การศึกษากระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุ ของหอจดหมายเหตุ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

วราภรณ์ พูลสถิตวิวัฒน์¹ และ พิมพ์พจน์ สีลาเขต^{2*}

วันที่รับ 29 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไข 16 สิงหาคม 2566 วันที่ตอบรับ 22 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) นิยามความหมายของเอกสารจดหมายเหตุ 2) คุณลักษณะของเอกสารจดหมายเหตุ และ 3) กระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุที่พบในหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดและทฤษฎีการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุ เพื่อการวางแผนผังแฟ้มเอกสารและตารางการกำหนดอายุเอกสารตามมาตรฐานสากล ISO 15489 งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ได้แก่ การทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง การสำรวจเอกสาร การสังเกต และการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง และใช้การวิเคราะห์ข้อมูลสามเสา ผลการศึกษพบว่า 1) นิยามความหมายของเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มี 7 องค์ประกอบ ตามหลักวิชาการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุและมาตรฐานสากล ISO 15489 2) คุณลักษณะของเอกสารจดหมายเหตุที่จัดเก็บอยู่ ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีคุณลักษณะ 5 ประการ ในด้านแหล่งที่มา สภาพเอกสาร การจัดเรียงของเอกสารในแฟ้ม ปริมาณของเอกสาร และเอกสารสำคัญ 3) กระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุในปัจจุบัน ประกอบด้วย กระบวนการรับมอบ และประเมินคุณค่าเอกสารจดหมายเหตุ และต้องดำเนินการอีก 4 ขั้นตอน ตามหลักวิชาการสากล ได้แก่ กระบวนการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการอนุรักษ์และสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ และกระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ เพื่อให้เอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศทั้งรูปแบบกระดาษ และรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถรักษาคุณลักษณะที่สมบูรณ์ไว้ได้อย่างถาวร หากว่าหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีการดำเนินงานตามกระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุตามหลักวิชาการอย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : การจัดการเอกสาร, การจัดการจดหมายเหตุ, หอจดหมายเหตุ, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

¹ ภาควิชาภาษาตะวันออก, คณะโบราณคดี, มหาวิทยาลัยศิลปากร

² ภาควิชาบรรณารักษศาสตร์, คณะอักษรศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้แต่ง, อีเมล: pimphot.s@chula.ac.th

A Study of Archives Management of the Defence Technology Institute Archives

Waraporn Poolsatitiwat ¹ and Pimphot Seelakate ^{2*}

Received 29 May 2023, Revised 16 August 2023, Accepted 22 August 2023

Abstract

This article aims to study 1) definitions of archives, 2) characteristics of archival records of the Defence Technology Institute Archives, and 3) the archives management processes of Defence Technology Institute Archives. The research scope is used concepts and theories on records and archives management to create the file plan and the retention schedule in compliance to the ISO 15489. This qualitative research is applied mixed methods: literature review, records surveys, observation, and semi-structured interview. The triangular analysis is used. The results reveal that 1) the archival records kept in the Defence Technology Institute Archives employ the definitions and contains 7 characteristics in accordance to the concepts and theories on records and archives management and the ISO 15489; 2) the archival records of the Defence Technology Institute Archives also have five attributes in terms of their provenance, their condition, their arrangement, their quantity, and their vital records collections; and 3) the archives management process of Defence Technology Institute Archives is consisted of records accessioning and records appraisal and it is required to include other four processes which are archival description and arrangement, archival preservation, archival services, and archival outreach. It is necessary for the traditional and digital archival records in the Defence Technology Institute Archives to be able to permanently preserve their characteristics if the Defence Technology Institute Archives successfully establishes the appropriate archives management procedures.

Keywords : Records management, Archives management, Archives, Defence Technology Institute

¹ Department of Oriental Languages, Faculty of Archaeology, Silpakorn University

² Department of Library Science, Faculty of Arts, Chulalongkorn University

* Corresponding author, E-mail: pimphot.s@chula.ac.th

1. บทนำ (Introduction)

เอกสารจดหมายเหตุ (Archival Record) มาจากเอกสารที่สิ้นกระแสการใช้งาน ซึ่งจดหมายเหตุได้รับมอบมาจากหน่วยงานต่าง ๆ ตามอำนาจและหน้าที่อันกำหนดไว้ตามกฎหมาย และเป็นเอกสารที่ได้รับการประเมินว่ามีคุณค่าสมควรจัดเก็บถาวรไว้ในจดหมายเหตุ เอกสารเป็นเครื่องมือและหลักฐานในการปฏิบัติงาน เป็นหลักฐานทางกฎหมายของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร เมื่อกลายมาเป็นเอกสารจดหมายเหตุและอยู่ในความดูแลของจดหมายเหตุองค์กรสามารถนำไปใช้เป็นหลักฐานแสดงพัฒนาการของหน่วยงาน ผู้บริหารนำข้อเท็จจริงที่ปรากฏอยู่ในเอกสารจดหมายเหตุไปใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจในการพัฒนาและปรับปรุงการปฏิบัติงานของหน่วยงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

การศึกษาความหมายของเอกสารจดหมายเหตุถือเป็นก้าวแรกที่สำคัญในการดำเนินงานด้านการจัดการจดหมายเหตุ เพราะการขาดความรู้ความเข้าใจรวมทั้งขาดทักษะด้านการจัดการจดหมายเหตุอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการอาจส่งผลให้องค์กรไม่สามารถทราบได้ว่าเอกสารจากการปฏิบัติงานขึ้นใดบ้างที่สมควรเก็บรักษาอย่างถาวรในฐานะเอกสารจดหมายเหตุขององค์กรตามกรอบแนวคิดด้านการจัดการเอกสารอย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานสากล ISO 15489-1:2016 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลด้านการจัดการเอกสาร หากองค์กรใดวางระบบการจัดการเอกสารได้สอดคล้องตามมาตรฐานดังกล่าวย่อมแสดงให้เห็นว่าองค์กรนี้มีระบบการสร้าง-รับ-การคัดแยก การจัดเก็บ การใช้งาน และการกำจัดเอกสารการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ โดยที่เอกสารขององค์กรนั้นสร้างและรับได้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย ไม่สูญเสียองค์ประกอบ

ความเป็นหลักฐาน ใช้งานหรือค้นคืนตามสิทธิ์ทางกฎหมายได้ตลอดเวลา ไม่สูญหาย และที่สำคัญคือสามารถส่งมอบไปยังจดหมายเหตุเพื่อประเมินคุณค่าจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุได้อย่างครบถ้วน ระบบการจัดการเอกสารและการจัดการจดหมายเหตุที่ได้มาตรฐานสากลถือเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่แสดงถึงธรรมาภิบาลขององค์กร เพราะองค์กรมีการปฏิบัติงานที่สุจริต โปร่งใส น่าเชื่อถือ และตรวจสอบได้จากเอกสารจดหมายเหตุเหล่านี้ องค์กรทั้งในระดับประเทศและนานาชาติจึงล้วนแต่ประยุกต์มาตรฐานดังกล่าวเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางระบบการจัดการเอกสารของตน เพื่อให้เอกสารจัดเก็บอย่างสมบูรณ์ ไม่สูญหาย ใช้เป็นหลักฐาน และให้ข้อมูลสารสนเทศที่เป็นประโยชน์กับองค์กรได้ในระยะยาว

งานวิจัยชิ้นนี้จึงถือเป็นงานวิจัยชิ้นแรกที่มีมุ่งเน้นการศึกษาเรื่องเอกสารจดหมายเหตุและกระบวนการจัดการจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อาจกล่าวได้ว่าในยุคปัจจุบันที่องค์กรมีการสร้าง ใช้งาน และจัดเก็บเอกสาร ข้อมูล สารสนเทศทั้งในรูปแบบกระดาษและรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การศึกษาวิจัยเรื่องเอกสารจดหมายเหตุจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการวางรากฐานงานด้านการจัดการจดหมายเหตุให้กับจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นองค์กรที่ตระหนักถึงความสำคัญของเอกสารจดหมายเหตุในฐานะหลักฐานขั้นต้นทางประวัติศาสตร์ที่ให้ข้อเท็จจริง นำไปใช้สร้างองค์ความรู้ทางประวัติศาสตร์ที่เชื่อถือได้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาวิจัยเรื่องเอกสารจดหมายเหตุ เพื่อให้เข้าใจถึงค่านิยม คุณลักษณะ และกระบวนการจัดการจดหมายเหตุอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ

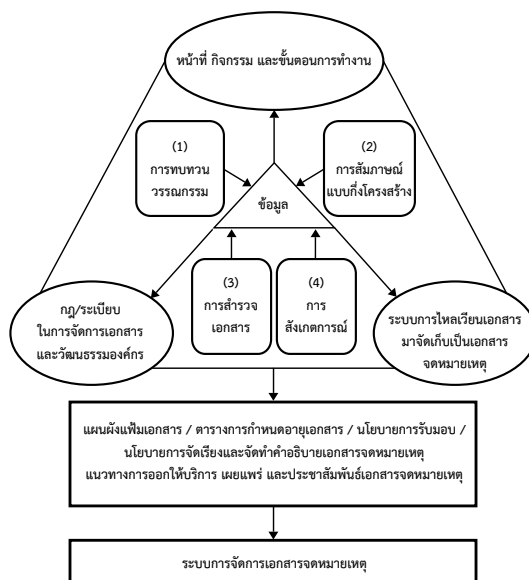
อันจะนำไปสู่การวางนโยบายและแนวปฏิบัติด้านการจัดการจดหมายเหตุในรูปแบบต่าง ๆ ของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

2. ขอบเขตการวิจัย และวิธีการวิจัย/ทดลอง (Materials and Methods)

ผู้วิจัยระบุขอบเขตการวิจัยโดยใช้มาตรฐาน ISO 15489-1:2016 เป็นกรอบในการวิจัยเพราะมุ่งเน้นการศึกษาเพื่อวางระบบการจัดการเอกสารจดหมายเหตุให้กับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศตามมาตรฐานสากล งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยการเก็บข้อมูลแบบหลากหลายวิธี (Multiple approach) และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ ข้อมูลแบบสามเส้า (Triangular Analysis) เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ได้แก่ 1) การสร้างแผนผังแฟ้มเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 2) การสร้างตารางการกำหนดอายุเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 3) การออกแบบนโยบายการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 4) การออกแบบนโยบายการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และ 5) การกำหนดแนวทางการออกให้บริการ เผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพที่หลากหลายวิธีประกอบไปด้วย 1) การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 2) การสำรวจเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 3) การสังเกตกระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี

ป้องกันประเทศ และ 4) การสัมภาษณ์บุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศแบบกึ่งโครงสร้าง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลเชิงคุณภาพมาวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามเส้าเพื่อตอบคำถามของงานวิจัยดังที่ปรากฏตามรูปที่ 1



รูปที่ ๑ วิธีการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามเส้า

3. ผลการวิจัย/ทดลอง (Results)

3.1 นิยามและความหมายของ “เอกสารจดหมายเหตุ”

จากการศึกษาข้อมูลวิจัยด้วยวิธีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในเรื่องคำนิยามและคุณลักษณะของเอกสารจดหมายเหตุสามารถสรุปได้ว่า “เอกสารจดหมายเหตุ (Archival Records)” เป็นคำที่ปรากฏขึ้นตามหลักการสากลที่เรียกว่า แนวคิดการจัดการเอกสารแบบต่อเนื่อง (Records Continuum) ซึ่งนิยามว่าจดหมายเหตุ (Archives) คือ เอกสาร (Document) อันสร้างขึ้นเพื่อบันทึกข้อมูลไว้เป็นหลักฐานและต้องสร้างอย่างสมบูรณ์ครบทั้ง 7 องค์ประกอบเพื่อให้เอกสาร (Document) อยู่ในสถานะที่เป็น

เอกสารสมบูรณ์ (Record) ซึ่งจะใช้เป็นหลักฐาน ยืนยันสิทธิ์และการปฏิบัติงานต่าง ๆ ได้ แนวคิด การจัดการเอกสารแบบต่อเนื่องระบุว่า เอกสารถูก ประเมินคุณค่าตั้งแต่แรกสร้างว่าจะจัดเก็บถาวรไว้ เป็นเอกสารจดหมายเหตุหรือไม่ กล่าวคือ ช่วงเวลา ที่ผู้สร้าง/เจ้าของเอกสารประสงค์ใช้งานเอกสาร เพื่อปฏิบัติงานต่าง ๆ จะถือว่าเอกสารอยู่ในความดูแล รับผิดชอบของผู้สร้าง/เจ้าของเอกสาร เมื่อผู้สร้าง/ เจ้าของเอกสารไม่ประสงค์ใช้งานเอกสารแล้ว จึง ดำเนินการส่งมอบเอกสารเหล่านั้นมายังหอจดหมายเหตุ เพื่อการจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุต่อไป เมื่อเอกสารดังกล่าวมีอายุครบตามที่กฎหมายกำหนด ให้นำออกให้บริการในฐานะเอกสารจดหมายเหตุได้ จึงจะนำออกให้บริการต่อไปแก่สังคม [1] - [6]

ผู้วิจัยศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัยนี้และพบว่า คำว่า เอกสารจดหมายเหตุ (Archival Records) ปรากฏชัดเจนในแบบจำลอง ว่าด้วยการจัดการเอกสารแบบต่อเนื่องของ Upward [3] ซึ่งระบุถึงคำว่า เอกสาร (Document) เอกสาร สมบูรณ์ (Record) เอกสารจดหมายเหตุ (Archival Record/Document) และจดหมายเหตุ (Archives) ในมิติของสิ่งที่ใช้จัดเก็บข้อมูล ซึ่งมีการบันทึกไว้ (Recordkeeping containers)

เมื่อเอกสารถูกสร้างขึ้นโดยมี 7 องค์ประกอบ อย่างสมบูรณ์ของความเป็นหลักฐาน อันได้แก่ 1) มีเนื้อหาในเอกสารถูกต้อง ครบถ้วน ไม่ถูกดัดแปลง แก้ไขภายหลัง (Content) 2) มีบริบทชัดเจนว่าผู้สร้าง เอกสารคือใคร เจ้าของเอกสารคือใคร (Context) 3) มีโครงสร้างถูกต้องโดยสร้างตามรูปแบบที่กฎหมาย กำหนดไว้ (Structure) 4) เป็นเอกสารฉบับจริง ซึ่งลงนามโดยผู้สร้างเอกสาร มีการลงเลขกำกับเอกสาร แสดงแหล่งที่มาของเอกสารอย่างชัดเจน และใช้งาน

เอกสารตามวัตถุประสงค์ที่มีการสร้างเอกสารนั้น ขึ้นมาอย่างแท้จริง (Authentic) 5) เป็นเอกสารที่มี ทุกส่วนประกอบครบถ้วน เอกสารต้นเรื่องและ เอกสารแนบอยู่ร่วมกันโดยไม่มีส่วนใดขาดหายไป (Integral) 6) เป็นเอกสารที่มีความน่าเชื่อถือ สามารถ พิสูจน์ได้ว่าเป็นเอกสารจากผู้สร้างที่ระบุไว้ในเอกสาร อย่างแท้จริง ผู้สร้างมีอำนาจหรือหน้าที่ออกเอกสาร นั้นจริง (Reliable) และ 7) เป็นเอกสารที่สามารถ ใช้งานได้ตลอดเวลาตามวัตถุประสงค์ของการสร้าง เอกสาร ผู้มีสิทธิ์ใช้งานเอกสารสามารถเข้าถึงและ นำออกมาใช้งานได้ตลอดเวลา (Usable) ด้วยเหตุนี้ จึงกล่าวได้ว่าเอกสารดังกล่าวที่มีครบ 7 องค์ประกอบ คือเอกสารสมบูรณ์ [7] - [11]

แบบจำลองอธิบายพัฒนาการของการจัดการ เอกสารซึ่งเริ่มจากการสร้างเอกสารให้มี 7 องค์ประกอบ ครบสมบูรณ์ของการเป็นหลักฐาน เอกสารจึงจะกลาย สภาพเป็นเอกสารสมบูรณ์ เมื่อใดที่ผู้สร้าง/เจ้าของ เอกสารไม่ใช้งานเอกสารแล้ว เอกสารซึ่งมีการจัดเก็บ ครบระยะเวลาดำเนินการตามกฎหมายระบุไว้ตามตาราง กำหนดอายุเอกสารจะส่งมอบมาที่หอจดหมายเหตุ หลังจากนั้นหอจดหมายเหตุจึงประเมินคุณค่าเอกสาร สมบูรณ์ว่าควรค่าแก่การจัดเก็บถาวรไว้เป็นหลักฐาน และความทรงจำหรือไม่ หากได้รับการประเมินคุณค่า ว่าควรจัดเก็บไว้ถาวรจึงถือได้ว่าเอกสารสมบูรณ์ ฉบับนั้นเป็นเอกสารจดหมายเหตุ อย่างไรก็ตาม การศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า การให้คำนิยามของคำว่าจดหมายเหตุนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละทฤษฎี เช่น

ในสหราชอาณาจักรซึ่งประยุกต์หลักการ จัดการเอกสารตามแนวคิดการจัดการเอกสารแบบ วงจรชีวิต (Records Life Cycle) พิจารณาเห็นว่า เอกสารและจดหมายเหตุมาจากสิ่งเดียวกัน แต่เอกสาร

จะเป็นจดหมายเหตุก็ต่อเมื่อสิ้นกระแสนการใช้งานแล้ว เมื่อสิ้นกระแสนการใช้งาน เอกสารจะถูกประเมินคุณค่ามาจัดเก็บเป็นจดหมายเหตุและเก็บรักษาไว้เพื่อเป็นหลักฐานยืนยันการทำงาน [8]

ในสหรัฐอเมริกาซึ่งประยุกต์แนวคิดการจัดการเอกสารแบบวงจรชีวิต (Records Life Cycle) มาใช้ในการจัดการเอกสารเช่นเดียวกันกับสหราชอาณาจักรกลับมีมุมมองต่างออกไป แม้ว่าจดหมายเหตุจะมาจากเอกสารก็ตาม แต่เอกสารและจดหมายเหตุนั้นแตกต่างกัน กล่าวคือ เอกสารถูกสร้างและใช้งานเพื่อเป็นหลักฐานการทำงานเมื่อสิ้นกระแสนการใช้งานแล้ว จึงไม่มีคุณค่าในฐานะหลักฐานการปฏิบัติงานและสามารถนำออกจากรายงานเจ้าของเอกสารได้ หากว่าเอกสารฉบับนั้นได้รับการประเมินคุณค่าว่ามีคุณค่าสมควรให้จัดเก็บเป็นจดหมายเหตุ เอกสารฉบับนั้นจึงถือว่ามีความรู้ในฐานะหลักฐานทางประวัติศาสตร์ของสังคม ซึ่งทุกคนสามารถนำไปใช้งานเพื่อการศึกษาประวัติศาสตร์ได้ในอนาคต [12]

ในประเทศออสเตรเลียซึ่งประยุกต์แนวคิดการจัดการเอกสารแบบต่อเนื่อง (Records Continuum) มีมุมมองว่า เมื่อสร้างเอกสารขึ้นมา เอกสารดังกล่าวจะได้รับการประเมินทันทีว่าจะจัดเก็บอย่างถาวรหรือไม่ หากพิจารณาเห็นว่าควรจัดเก็บถาวร เอกสารดังกล่าวจะกลายสภาพเป็นเอกสารจดหมายเหตุในอนาคต เพียงแต่ในขณะปัจจุบันยังคงสภาพเป็นเอกสารในความรับผิดชอบของผู้สร้างและผู้ใช้งานเอกสารอยู่ และจะส่งมอบมาอยู่ในความรับผิดชอบของหอจดหมายเหตุในฐานะเอกสารจดหมายเหตุต่อเมื่อผู้สร้างเอกสารและผู้ใช้งานไม่ประสงค์จะใช้งานแล้ว [12]

3.2 คุณลักษณะของ “เอกสารจดหมายเหตุ”

Upward [3] ได้อธิบายคุณลักษณะของเอกสารจดหมายเหตุใน 4 มิติ ดังนี้ มิติที่ 1 เอกสารจดหมายเหตุถือเป็นหลักฐานความทรงจำขององค์กรเจ้าของเอกสาร มิติที่ 2 เป็นหลักฐานแสดงหน้าที่ขององค์กร มิติที่ 3 เป็นหลักฐานแสดงลักษณะขององค์กร และมิติที่ 4 เป็นเอกสารจดหมายเหตุหรือจดหมายเหตุ (Archive) ที่ได้มาจากเอกสาร (Record) เท่านั้น [3]

ในขณะที่ Duranti [13] - [14] และ Duranti และ Franks [15] ได้อธิบายคุณลักษณะสากลของเอกสารจดหมายเหตุไว้ 5 ประการ ได้แก่ 1) Impartiality เอกสารแสดงข้อมูลที่ปราศจากอคติ มีความบริสุทธิ์และยุติธรรม 2) Authenticity เอกสารต้นฉบับหรือเอกสารฉบับจริงที่ไม่เปลี่ยนแปลงข้อมูลอีกต่อไป 3) Uniqueness เอกสารที่มีลักษณะเฉพาะตนและไม่สามารถนำเอกสารอื่นมาทดแทนได้ 4) Naturalness เอกสารซึ่งสร้างตามธรรมชาติของงานหรือตามการกระทำที่ต้องการหลักฐานยืนยันการกระทำดังกล่าว และ 5) Interrelatedness เอกสารเชื่อมโยงกับเอกสารอื่นเพื่อให้เอกสารครบถ้วนสมบูรณ์เป็นเอกสารที่ครบ 7 องค์ประกอบ [13] - [15]

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเรื่องคุณลักษณะทั้ง 4 มิติ ตามทฤษฎีการจัดการเอกสารแบบต่อเนื่องของ Upward และคุณลักษณะ 5 ประการ ของ Duranti สรุปได้ว่าเอกสารจดหมายเหตุมีคุณลักษณะสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ 1) เป็นเอกสารที่ต้องรักษา 7 องค์ประกอบของความเป็นหลักฐานตลอดเวลา แม้ว่าจะเปลี่ยนสถานะภาพจากการเป็นเอกสารมาเป็นเอกสารจดหมายเหตุ 2) เป็นเอกสารซึ่งต้องจัดเก็บในรูปแบบที่สามารถแสดงแหล่งที่มา และรักษาลำดับความสัมพันธ์ระหว่างเอกสารและความสมบูรณ์

ของเอกสารไว้ได้ และ 3) เป็นเอกสารซึ่งนำไปใช้เป็นหลักฐานยืนยันในชั้นศาลเพื่อตรวจสอบย้อนหลังในการกระทำของเจ้าของเอกสารได้ และเป็นหลักฐานชั้นต้นทางประวัติศาสตร์ให้ข้อเท็จจริง

3.3 กระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุ

จากการศึกษาข้อมูลวิจัยด้วยวิธีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า กระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุตามหลักวิชาการสากลประกอบด้วย 5 กระบวนการหลัก ได้แก่ 1) กระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสาร 2) กระบวนการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบาย 3) กระบวนการอนุรักษ์และสงวนรักษา 4) กระบวนการออกให้บริการ และ 5) กระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ [12], [16] - [19]

3.3.1 กระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารจดหมายเหตุ

คือ กระบวนการรับมอบเอกสารที่สิ้นกระแสนการใช้งานขององค์กรตามกฎหมายมาประเมินคุณค่าเพื่อคัดเลือกและจัดเก็บอย่างถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการนี้มีแนวคิด ทฤษฎี และหลักการในการดำเนินงานหลากหลายวิธี ตัวอย่างเช่น แนวคิดการจัดการเอกสารแบบวงจรชีวิต (Records Life Cycle) ระบุว่ากระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารจะเกิดขึ้นหลังจากเอกสารเข้าสู่ระยะสิ้นกระแสนการใช้งาน อันเป็นระยะที่เจ้าของเอกสารไม่ใช้งานเอกสารเหล่านั้น หรือเอกสารเหล่านั้นมีอายุครบตามกฎหมาย ซึ่งองค์กรสามารถส่งมอบต่อให้แก่หอจดหมายเหตุ เพื่อนำไปประเมินคุณค่าและคัดเลือกบางส่วนจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุต่อไป [12], [16], [19]

การทบทวนวรรณกรรมทำให้ผู้วิจัยพบว่า แนวคิดการจัดการเอกสารแบบต่อเนื่อง (Records Continuum) ระบุว่ากระบวนการประเมินคุณค่าเอกสารต้องดำเนินการตั้งแต่องค์กรสร้างหรือรับเอกสารเข้ามาในองค์กร หากประเมินคุณค่าว่าเอกสารใดในองค์กรมีคุณค่าที่สะท้อนพันธกิจ ความทรงจำ และอัตลักษณ์ขององค์กร และสมควรจัดเก็บถาวรไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุ ให้องค์กรดูแลจัดการเอกสารนั้นเพื่อดำรงรักษา 7 องค์ประกอบของการเป็นหลักฐานไว้ให้ได้อย่างถาวร [20] - [22]

การประเมินคุณค่าเพื่อคัดเลือกเอกสารบางส่วนเก็บไว้อย่างถาวร และนำเอกสารบางส่วนทำลายตามกฎหมายถือเป็นกระบวนการที่ปฏิเสธไม่ได้ เพราะในการปฏิบัติงานจริงองค์กรไม่สามารถจัดเก็บเอกสารทั้งหมดไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุได้ตลอดไป ดังนั้น ตามหลักวิชาการจึงพิจารณาเห็นว่าการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารถือเป็นกระบวนการสำคัญในการที่จะได้มาซึ่งหลักฐานที่สะท้อนพันธกิจ ความทรงจำ และอัตลักษณ์ของเจ้าของเอกสาร ดังนั้น กระบวนการดังกล่าวจึงต้องดำเนินการอยู่บนพื้นฐานของการรักษาคุณค่าของเอกสารจดหมายเหตุในฐานะหลักฐานที่เป็นธรรม [23] หลักฐานทางประวัติศาสตร์ [24] หลักฐานสะท้อนพันธกิจขององค์กร [25] และหลักฐานแสดงอัตลักษณ์ [26]

3.3.2 กระบวนการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุ

คือ การจัดกลุ่มเอกสารจดหมายเหตุและจัดทำคำอธิบายหรือจัดทำข้อมูลประกอบชุดเอกสารจดหมายเหตุ ขั้นตอนนี้อาศัยหลักการสำคัญ 2 ประการ คือ การจัดเรียงเอกสารจดหมายเหตุตามแหล่งที่มา

(Provenance) และการจัดเรียงเอกสารจดหมายเหตุตามลำดับเดิม (Original Order) [12]

การจัดเรียงเอกสารจดหมายเหตุต้องจัดเรียงตามแหล่งที่มา ซึ่งหมายถึงองค์กรเจ้าของเอกสารที่เป็นผู้สร้างเอกสารหรือเป็นผู้ที่รับเอกสารมาใช้งาน และท้ายที่สุดเป็นผู้ที่นำเอกสารมาจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุเพื่อรักษาคุณค่าความเป็นหลักฐานของเอกสารจดหมายเหตุ เอกสารจดหมายเหตุที่มาจากเจ้าของเอกสารเดียวกันต้องจัดเรียงไว้ด้วยกัน แม้ว่าเนื้อหาในเอกสารเหล่านั้นจะไม่ซ้ำเรื่องเดียวกัน เพราะการแยกเอกสารจดหมายเหตุที่มาจากเจ้าของเดียวกันออกจากกันจะเป็นการทำลายคุณค่าความเป็นหลักฐานที่เป็นคุณลักษณะสำคัญของเอกสารจดหมายเหตุ [12]

การจัดเรียงเอกสารจดหมายเหตุตามลำดับเดิม หมายถึง การจัดเรียงเอกสารตามลำดับเดิมที่เจ้าของเอกสารซึ่งเป็นผู้สร้างเอกสารหรือเป็นผู้ที่รับเอกสารมาใช้งานได้จัดเรียงไว้ แม้ว่าลำดับการเรียงอาจดูสับสนในความคิดของนักจดหมายเหตุ ซึ่งไม่ใช่เจ้าของเอกสารเหล่านั้น แต่การคงลำดับการจัดเรียงแบบเดิมไว้เช่นนี้จะส่งผลให้เห็นถึงวิธีการที่เจ้าของเอกสารนั้นดำเนินกิจกรรมและจัดการเอกสารของตนเอง

การจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุส่วนใหญ่ นักจดหมายเหตุจะใช้มาตรฐานการจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุที่ได้จัดเรียงเรียบร้อยแล้ว และการจัดทำคำอธิบายเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะช่วยให้การสืบค้นและการเข้าถึงเอกสารจดหมายเหตุดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำ [7], [27] - [28]

3.3.3 กระบวนการอนุรักษ์และสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุ

ประกอบด้วย 2 กระบวนการสำคัญ ได้แก่ กระบวนการอนุรักษ์ ซึ่งเป็นกระบวนการในการรักษาสภาพของเอกสารจดหมายเหตุให้คงสภาพเดิมนับตั้งแต่วันที่ได้รับมอบมาเก็บรักษาไว้ที่หอจดหมายเหตุ และกระบวนการสงวนรักษา ซึ่งเป็นกระบวนการในการซ่อมแซมเอกสารในส่วนที่ชำรุดให้กลับเข้าสู่สภาวะใกล้เคียงสภาวะเดิมที่ได้รับมอบมา [12], [16], [19]

นักจดหมายเหตุต้องเข้าใจความหมายของคำว่า “การสงวนรักษา (Preservation)” “การอนุรักษ์ หรือซ่อมแซมไม่ให้เสื่อมสภาพไปมากกว่าเดิม (Conservation)” และ “การนำกลับสู่สภาพเดิม (Restoration)” และตระหนักว่าการดำเนินการที่สำคัญที่สุดในกระบวนการนี้ คือ การสงวนรักษา หรือการรักษาสภาพของตัวเอกสารจดหมายเหตุให้คงสภาพเดิม โดยเฉพาะสภาพของการเป็นเอกสารนั้น คือ การรักษา 7 องค์ประกอบของเอกสารไว้ไม่ให้เสื่อมสภาพ โดยการดำเนินการดังกล่าวจะใช้เทคนิคที่แตกต่างกันไประหว่างสื่อที่ใช้ในการสร้างเอกสาร ซึ่งจะมีทั้งที่อยู่ในรูปแบบกระดาษและดิจิทัลสำหรับเอกสารจดหมายเหตुरुูปแบบกระดาษที่เริ่มเสื่อมสภาพลงแล้ว ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะมาซ่อมแซม เพื่อไม่ให้เสื่อมสภาพลงไปกว่าเดิม หรือฟื้นฟูกลับมาสู่สภาพเดิม แต่สำหรับเอกสารรูปแบบดิจิทัลนั้นอาจไม่สามารถซ่อมแซมไม่ให้เสื่อมสภาพ หรือซ่อมแซมเพื่อกลับสู่สภาพเดิมได้ หากไม่สามารถดูแลรักษาไว้ได้ เอกสารดิจิทัลเหล่านั้นก็จะสูญไปทันที [19]

3.3.4. กระบวนการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ

หมายถึง กระบวนการนำเอกสารจดหมายเหตุให้บุคคลทั่วไปได้ใช้บริการ โดยบุคคลทั่วไปกลุ่มนี้อาจเป็นผู้ที่ได้ดำเนินการสมัครเป็นสมาชิกและได้รับการอนุมัติจากหอจดหมายเหตุ กระบวนการดังกล่าวสัมพันธ์กับการกำหนดสถานภาพของเอกสารจดหมายเหตุไว้ในคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุ กล่าวคือ หากกำหนดสถานภาพไว้ว่าเป็นเอกสารเปิดเผยความหมาย เอกสารจดหมายเหตุชุดที่สมาชิกขอใช้นั้นสามารถนำออกให้บริการได้ หากกำหนดสถานภาพไว้ว่าเป็นสถานภาพปิด หมายความว่า เอกสารจดหมายเหตุชุดนั้นไม่สามารถนำออกให้บริการได้ แม้ว่าสมาชิกจะขอใช้งานก็ตาม [12], [16], [19]

หอจดหมายเหตุควรจัดทำมาตรฐานและขั้นตอนการขอใช้งานเอกสารจดหมายเหตุให้สมาชิกรับทราบอย่างชัดเจน ตัวอย่างแนวปฏิบัติในกระบวนการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุนี้ได้แก่ The National Archives of UK [29] ได้กำหนดมาตรฐานการเข้าถึงเอกสารจดหมายเหตุสำหรับหอจดหมายเหตุภาครัฐในสหราชอาณาจักรไว้ 10 ข้อ โดยมาตรฐานดังกล่าวให้ความสำคัญกับ 1) หอจดหมายเหตุควรมีพื้นที่ให้บริการที่เพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้บริการ 2) มีมาตรการด้านการรักษาความปลอดภัย 3) มีเกณฑ์การประเมินคุณภาพการให้บริการแก่ผู้พิการ 4) หอจดหมายเหตุของหน่วยงานภาครัฐควรมีโครงสร้างพื้นฐานที่มีคุณภาพในการดูแลรักษาเอกสารอย่างเหมาะสม 5) หอจดหมายเหตุของหน่วยงานภาครัฐควรแจ้งกฎระเบียบการให้บริการให้ประชาชน และกฎระเบียบต้องสอดคล้องกับกฎหมาย 6) หอจดหมายเหตุของหน่วยงานภาครัฐควรชี้แจงให้ผู้ให้บริการทราบถึงกฎระเบียบว่าด้วยการเข้าใช้บริการ 7) มีเครื่องมือ

ช่วยค้นที่ระบุชัดเจนว่าเอกสารจดหมายเหตุชุดใดบ้างที่สามารถเข้าใช้ได้ และเป็นเครื่องมือช่วยค้นที่มีประสิทธิภาพ 8) หอจดหมายเหตุของหน่วยงานภาครัฐควรมีกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการนำเอกสารจดหมายเหตุออกให้บริการโดยปราศจากความล่าช้าและไม่สร้างความเสียหายต่อเอกสาร 9) ขณะเข้าใช้บริการควรมีนักจดหมายเหตุมืออาชีพช่วยชี้แนะและคอยให้บริการแก่ผู้ใช้ที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการ และ 10) ควรจัดให้มีบริการถ่ายสำเนาเอกสารภายใต้การกำกับดูแลของนักจดหมายเหตุมืออาชีพ เพื่อลดความเสี่ยงในการสร้างความเสียหายต่อเอกสารจดหมายเหตุ ผู้วิจัยสรุปได้ว่า มาตรฐานการเข้าถึงเอกสารจดหมายเหตุสำหรับหอจดหมายเหตุภาครัฐฉบับนี้เน้นการเข้าถึงเอกสารอย่างเท่าเทียมกันไม่ว่าผู้ใช้นั้นจะเป็นบุคคลปกติหรือบุคคลพิการ การอนุรักษ์ให้เอกสารจดหมายเหตุไม่เสื่อมสภาพ เพราะการนำออกให้บริการ การกำหนดขั้นตอนและวิธีการเข้าใช้บริการเอกสารจดหมายเหตุอย่างชัดเจน และเผยแพร่ข้อมูลนั้นแก่สาธารณชน และการปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวกับการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ อาจกล่าวได้ว่า กฎหมายต่าง ๆ ที่หอจดหมายเหตุต้องปฏิบัติตามและสภาพทางกายภาพของเอกสารจดหมายเหตุจะเป็นสิ่งที่กำหนดว่าเอกสารจดหมายเหตุชุดนั้นสามารถนำออกให้บริการได้หรือไม่ [12], [29]

การตีความกฎหมายเพื่อกำหนดสถานภาพการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุควรอยู่บนหลักวิชาการและพื้นฐานจริยธรรมการออกให้บริการที่สภาการจดหมายเหตุระหว่างประเทศได้กำหนดไว้ โดย ICA (2012) ได้กำหนดว่า การออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุควรคำนึงถึง 1) หลักการเปิดเผยอย่างเท่าเทียมและทั่วถึง 2) หลักการ

ให้ความสำคัญกับการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและผลประโยชน์สาธารณะ และ 3) หลักการการมีส่วนร่วมของประชาชนในการกำหนดหลักและมาตรฐานการเข้าถึงเอกสารจดหมายเหตุ [19], [30] - [31]

3.3.5 กระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ

กระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ ประกอบด้วย 1) การเผยแพร่เอกสารจดหมายเหตุ หมายถึง ขั้นตอนที่หอจดหมายเหตุนำชุดเอกสารจดหมายเหตุที่ได้รับมอบมาจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายจนสมบูรณ์สามารถออกให้บริการได้ รวมทั้งแนะนำให้สาธารณชนรับทราบ 2) การประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ หมายถึง กระบวนการที่หอจดหมายเหตุนำเสนอความหมาย ความสำคัญ ประโยชน์ของเอกสารจดหมายเหตุ ตลอดจนประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนรับทราบถึงบทบาทและหน้าที่ของหอจดหมายเหตุ ซึ่งเป็นสถาบันจัดเก็บเอกสารจดหมายเหตุไว้ให้สาธารณชนนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป [12], [16], [19]

หอจดหมายเหตุขององค์กรภาครัฐควรทบทวนสถานภาพของเอกสารจดหมายเหตุทุกปี และดำเนินการสงวนรักษาเพื่อให้เอกสารจดหมายเหตุพร้อมออกให้บริการเสมอ และสอดคล้องตามหลักจริยธรรมการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ และเพื่อสร้างความมั่นใจว่าเอกสารจดหมายเหตุของหน่วยงานภาครัฐจะได้รับการเปิดเผยอย่างครบถ้วนและสมบูรณ์ [12]

การประชาสัมพันธ์บทบาทและหน้าที่ของเอกสารจดหมายเหตุและหอจดหมายเหตุสามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น การจัดทำแผ่นพับ การจัดนิทรรศการ การจัดทำเว็บไซต์ การจัดทำจดหมายข่าว

การจัดประชุม และการสร้างเครือข่ายกับสถาบันต่างๆ อีกทั้งการมีองค์ความรู้และข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับหอจดหมายเหตุและชุดเอกสารจดหมายเหตุส่งเสริมให้เกิดแนวคิดและวิธีการในการจัดกิจกรรมเพื่อประชาสัมพันธ์ได้ดีขึ้น [32] - [33]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการจัดการจดหมายเหตุนั้นประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ตามหลักวิชาการสากล ได้แก่ กระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการอนุรักษ์และสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ และกระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ

4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 นิยามและความหมายของเอกสารจดหมายเหตุของหอจดหมายเหตุ ณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลหลากหลายวิธี ได้แก่ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การสังเกต การสำรวจเอกสาร และการสัมภาษณ์ถึงโครงสร้างผู้วิจัยพบว่า เอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มี 7 องค์ประกอบ ตามหลักวิชาการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุ [8] - [9], [11] ได้แก่ 1) Content เอกสารรูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีเนื้อหาครบถ้วน สมบูรณ์ และไม่มีการแก้ไขตัดแปลงที่ไม่ถูกต้อง 2) Context เอกสารรูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีบริบทชัดเจนในเรื่องของหน่วยงานผู้สร้างเอกสาร ความเป็นเจ้าของเอกสาร ระยะเวลาที่เอกสาร

สร้าง-รับ ผู้มีอำนาจในการลงนาม บุคลากรที่มีสิทธิ ในการแก้ไขและเข้าถึงเอกสาร ฯลฯ 3) Structure เอกสารรูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีโครงสร้าง ถูกต้องตามรูปแบบที่กฎหมายกำหนด 4) Authentic เอกสารรูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีความจริงแท้สูง เนื่องจากผ่านกระบวนการสร้าง-รับเอกสารและการ จัดเก็บเอกสารที่เป็นไปตามขั้นตอนตามกฎหมาย เช่น การลงนามโดยผู้สร้างเอกสารและลงเลขกำกับ เอกสารโดยระบุแหล่งที่มาของเอกสารอย่างชัดเจน ถูกต้อง 5) Integral เอกสารรูปแบบกระดาษและ รูปแบบดิจิทัลของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีความครบถ้วน สมบูรณ์ภายในชุดเอกสารที่ต้อง จัดอยู่ภายใต้แฟ้มเดียวกัน ไม่มีการสูญหาย 6) Reliable เอกสารรูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีความน่าเชื่อถือสูง เพราะหน่วยงานเจ้าของเอกสารสามารถพิสูจน์ได้ว่า เป็นเอกสารที่สร้าง-รับโดยผู้มีอำนาจและผ่านขั้นตอน ตามที่กฎหมายกำหนด และ 7) Usable เอกสาร รูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของสถาบัน เทคโนโลยีป้องกันประเทศสามารถใช้งานได้ตลอดเวลาโดยไม่มีความเสียหายหรือการชำรุดที่ส่งผลให้ หน่วยงานไม่สามารถเข้าถึงเอกสารได้ กล่าวได้ว่า นิยามและความหมายของเอกสารจดหมายเหตุ ของหอจดหมายเหตุนั้นสอดคล้องกับแนวคิดสากล ด้านการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุ

4.2 คุณลักษณะของเอกสารจดหมายเหตุของ หอจดหมายเหตุ ณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ การสังเกต และการสัมภาษณ์พบว่า บุคลากรของ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศพิจารณาเห็นว่า คุณลักษณะของเอกสารมีหลายรูปแบบ ผู้วิจัยแบ่งออก ได้เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) เอกสารเป็นบันทึก ข้อมูล หรือเป็นวัตถุใดก็ตามที่มีข้อความ ไม่ว่าจะ อยู่ในสื่อที่เป็นกระดาษหรือสื่อดิจิทัล 2) เอกสาร เป็นหลักฐานของการปฏิบัติงานโดยเป็นสิ่งที่ยืนยัน ว่าการกระทำดังกล่าวเกิดขึ้นจริง เอกสารใช้เพื่อ การตรวจสอบหรือพิสูจน์สิ่งต่าง ๆ ได้ 3) เอกสาร เป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารทั้งที่อยู่ในรูปแบบ กระดาษและรูปแบบดิจิทัล กล่าวคือ เอกสารเป็น เครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการติดต่อ สื่อสาร แลกเปลี่ยน ข้อมูลระหว่างบุคลากร ระหว่างหน่วยงาน เพื่อให้ สามารถปฏิบัติงานได้บรรลุจุดมุ่งหมายขององค์กร และ 4) เอกสารเป็นหนังสือราชการที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมทั้งเป็น สิ่งที่มีเพียงหนึ่งเดียว ถือเป็นตัวจริง เป็นต้นฉบับ

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจาก การสำรวจ การสังเกต และการสัมภาษณ์ แสดง ให้เห็นว่าในปัจจุบัน เอกสารจดหมายเหตุที่จัดเก็บอยู่ ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ มีคุณลักษณะ 5 ประการ ซึ่งนักจดหมายเหตุ ควรนำมาพิจารณาก่อนออกแบบแผนผังแฟ้มเอกสาร ตารางการกำหนดอายุเอกสาร และพัฒนานโยบาย การรับมอบเอกสารจดหมายเหตุ ได้แก่

1) แหล่งที่มาของเอกสารจดหมายเหตุ พบว่า เอกสารจดหมายเหตุมาจากหน่วยงานภายใต้สถาบัน เทคโนโลยีป้องกันประเทศ ส่วนใหญ่เป็นเอกสาร ลื่นกระแสการปฏิบัติงานที่เกิดจากการปฏิบัติงาน ไม่ว่าจะ เป็นเอกสารที่มีการกำหนดชั้นความลับและ เอกสารที่ไม่มีชั้นความลับ ส่วนใหญ่เป็นเอกสาร ฉบับสำเนา

2) สภาพของเอกสารจดหมายเหตุ พบว่า ส่วนใหญ่จัดเก็บในรูปแบบกระดาษ A4 บรรจุในแฟ้มสันหุ้ม สภาพค่อนข้างสมบูรณ์ ไม่มีการชำรุดเสียหาย และไม่ได้จัดเก็บในอุปกรณ์สำหรับการสงวนรักษาในระยะยาว (เช่น แฟ้มไครด กล่องไครด ฯลฯ)

3) การจัดเรียงเอกสารจดหมายเหตุ พบว่า เอกสารจดหมายเหตุมีหลากหลายประเภท เอกสารที่จัดเก็บอยู่ภายในแฟ้มเดียวกัน เป็นแฟ้มเอกสารจดหมายเหตุซึ่งส่งมอบมาจากหลากหลายหน่วยงาน ส่งผลให้ภายในแฟ้มเอกสารมีการจัดเรียงหลากหลายรูปแบบ

4) ปริมาณแฟ้มเอกสารจดหมายเหตุ พบว่า ชุดเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีปริมาณน้อย มีจำนวนไม่เกิน 20 แฟ้มเอกสาร และมีปริมาณเอกสารในแต่ละแฟ้มต่างกัน เนื่องจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นในระยะเวลาไม่เกิน 20 ปี จึงทำให้มีปริมาณแฟ้มเอกสารจดหมายเหตุจำนวนไม่มากในปัจจุบัน

5) เอกสารจดหมายเหตุที่เป็นเอกสารสำคัญ (Vital Records) ผู้วิจัยพบว่า บุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศตระหนักว่าเอกสารที่เกิดจากการปฏิบัติงานบางประเภทถือเป็นเอกสารที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อหน่วยงานมากกว่าเอกสารชุดอื่น ด้วยเหตุนี้ จึงควรจัดเก็บเอกสารสำคัญไว้ในหอจดหมายเหตุอย่างถาวร ได้แก่ เอกสารเกี่ยวกับการก่อตั้งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เอกสารการอนุมัติการก่อตั้งโรงฝึกหรือโรงปฏิบัติการต่าง ๆ หนังสือบันทึกข้อตกลงระหว่างหน่วยงาน (Memorandum of Understanding: MOU) ทั้งที่อยู่ในรูปแบบกระดาษและรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ เอกสารที่เป็นนโยบาย (เช่น นโยบายจากประธาน

กรรมการนโยบาย นโยบายจากรัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหม ฯลฯ) แบบพิมพ์เขียวที่เกิดจากการออกแบบของบุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เอกสารรายการวัสดุหรือโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (Bill of Materials: BOM) เอกสารที่บันทึกเหตุการณ์ครั้งแรกในการปฏิบัติงานของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศด้านต่าง ๆ (เช่น การอนุมัติเบี้ยประชุมครั้งแรก การอนุมัติการจัดประชุมครั้งแรก ฯลฯ)

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสรุปได้ว่า เอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมี 7 องค์ประกอบ ตามหลักวิชาการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุสากล ส่วนบุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีความคิดเห็นว่าเอกสารขององค์กรนั้นมี 4 รูปแบบ และเอกสารจดหมายเหตุที่จัดเก็บอยู่ ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศในปัจจุบันนั้นมีคุณลักษณะ 5 ประการ ในด้านแหล่งที่มา สภาพเอกสาร การจัดเรียงของเอกสารในแฟ้ม ปริมาณของเอกสาร และเอกสารสำคัญ ซึ่งนักจดหมายเหตุต้องศึกษาคุณลักษณะเหล่านี้เพื่อนำมาพิจารณาประกอบการออกแบบแผนผังแฟ้มเอกสาร ตารางการกำหนดอายุเอกสาร และพัฒนานโยบายการรับมอบเอกสารจดหมายเหตุต่อไป

4.3 กระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของหอจดหมายเหตุ ณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจการสังเกต และการสัมภาษณ์ พบว่า กระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของหอจดหมายเหตุ ณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ยังคงอยู่ในช่วงริเริ่มการวางรากฐานนโยบายและแนวปฏิบัติ

ด้านงานจดหมายเหตุ ส่งผลให้ไม่สอดคล้องกับกระบวนการจัดการจดหมายเหตุ ซึ่งควรจะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ตามหลักวิชาการสากล กล่าวคือในปัจจุบันหอจดหมายเหตุ ณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีขั้นตอนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารจดหมายเหตุบางส่วน แต่ยังขาดอีก 4 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการอนุรักษ์และสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ และกระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ โดยบุคลากรผู้ปฏิบัติงานในหอจดหมายเหตุ ณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์เพื่อจัดวางระบบในแต่ละกระบวนการเพื่อให้หอจดหมายเหตุนั้นมีวงจรการจัดการเอกสารจดหมายเหตุที่สมบูรณ์ครบถ้วนได้ในอนาคต

5. บทสรุป (Conclusions)

ก้าวมุ่งสำคัญในการดำเนินงานด้านการจัดการจดหมายเหตุ คือ การศึกษาและทำความเข้าใจเรื่อง นิยาม ความหมาย คุณลักษณะ และกระบวนการจัดการจดหมายเหตุให้ถูกต้องตามหลักวิชาการสากล ในฐานะหลักฐานขั้นต้นทางประวัติศาสตร์ที่ให้อรรถประโยชน์ นำไปใช้สร้างองค์ความรู้ทางประวัติศาสตร์ที่เชื่อถือได้ เพื่อให้องค์กรมั่นใจได้ว่าจะสามารถดูแลจัดเก็บ สงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุทั้งในรูปแบบกระดาษและรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพ ถูกต้องครบถ้วนตามหลักวิชาการและตามมาตรฐานสากลด้านการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุ

จากการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพที่หลากหลาย ได้แก่ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การสำรวจเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ การสังเกตการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และการสัมภาษณ์บุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศแบบกึ่งโครงสร้าง พบว่า เอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศมีความสอดคล้องกับคุณลักษณะ 7 ประการ ของเอกสารตามหลักวิชาการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุสากล รูปแบบของเอกสารตามความคิดเห็นของบุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ กล่าวคือ บุคลากรบางกลุ่มเข้าใจว่าเอกสารเป็นบันทึก ข้อมูล หรือวัตถุใดก็ตามที่มีข้อความ เป็นหลักฐาน บุคลากรบางกลุ่มเข้าใจว่าเป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสาร ในขณะที่บุคลากรบางกลุ่มเข้าใจว่าเป็นเอกสารที่มีเพียงหนึ่งเดียวหรือเป็นหนังสือราชการ ดังนั้น ผู้วิจัยเสนอแนะว่าในการพัฒนานโยบายการรับมอบเอกสารจดหมายเหตุ องค์กรต้องดำเนินการกำหนดนิยามและความหมายของเอกสารที่จะนำมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุให้ชัดเจน เพื่อให้หน่วยงานภายในของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศสื่อสารและมีความเข้าใจตรงกัน

นอกจากนี้ ผลการวิจัยพบว่า เอกสารจดหมายเหตุที่จัดเก็บอยู่ ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มีคุณลักษณะ 5 ประการในด้านแหล่งที่มา สภาพเอกสาร การจัดเรียงของเอกสารในแฟ้ม ปริมาณของเอกสาร และเอกสารสำคัญ ผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่าปริมาณของเอกสารจดหมายเหตุซึ่งจัดเก็บอยู่ในหอจดหมายเหตุของ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศในปัจจุบันยังคงมีปริมาณน้อย และยังคงสงวนรักษาอยู่ในสภาพดีด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่าปริมาณที่ไม่มากจนเกินไปและสภาพของเอกสารที่ยังคงค่อนข้างสมบูรณ์จะเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้การวางระบบการจัดการเอกสารจดหมายเหตุมีแนวโน้มที่จะนำไปปรับใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศสามารถวางรากฐานและระบบการจัดการเอกสารจดหมายเหตุได้โดยที่ยังไม่ต้องซ่อมแซมเอกสารเพราะไม่พบเอกสารที่มีความเสียหาย และสามารถวางแผนการอนุรักษ์เอกสารจดหมายเหตุเพื่อการจัดเก็บถาวรในระยะยาวได้อย่างไม่ซับซ้อน

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยพบว่า กระบวนการจัดการจดหมายเหตุในปัจจุบัน ซึ่งควรจะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ตามหลักวิชาการสากล ยังคงมีเพียงกระบวนการแรก คือ กระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสารจดหมายเหตุ ผู้วิจัยเสนอแนะให้หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนำผลการวิจัยนี้ไปต่อยอดในการพัฒนาและวางระบบ 4 กระบวนการ ที่ยังคงต้องเพิ่มให้สมบูรณ์และครบตามวงจรกระบวนการจัดการจดหมายเหตุ ได้แก่ กระบวนการจัดเรียงและจัดทำคำอธิบายเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการอนุรักษ์และสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ และกระบวนการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์เอกสารจดหมายเหตุ อันจะส่งเสริมให้หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศสามารถสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุขององค์กรทั้งรูปแบบกระดาษและรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างยั่งยืนและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Upward, "Structuring the Records Continuum Part One: Post-custodial Principles and Properties," *Arch. Manuscr.*, vol. 24, no. 2, pp. 268 - 285, 1996.
- [2] F. Upward, "Structuring the Records Continuum Part Two: Structuration Theory and Recordkeeping," *Arch. Manuscr.*, vol. 25, no. 1, pp. 10 - 35, 1997.
- [3] F. Upward, "Modelling the Continuum as Paradigm Shift in Recordkeeping and Archiving Processes, and Beyond a Personal Reflection," *Rec. Manag. J.*, vol. 10, no. 3, pp. 115 - 139, 2000.
- [4] S. McKemmish, "Placing Records Continuum Theory and Practice," *Arch. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 333 - 359, 2001.
- [5] T. Cook, "We Are What We Keep; We Keep What We Are': Archival Appraisal Past, Present and Future," *J. Soc. Archivists.*, vol. 32, no.2, pp. 173 - 189, 2011.
- [6] T. Cook, "Evidence, Memory, Identity, and Community: Four Shifting Archival Paradigms," *Arch. Sci.*, vol. 13, pp. 95 - 120, 2013.
- [7] International Council on Archives, Committee on Descriptive Standards. "Glossary of Terms Associated with the General Rules. ISAD(G): General International Standard Archival Description, Second Edition, 1999." ICA. [org. https://www.ica.org/sites/default/](https://www.ica.org/sites/default/)

- files/CBPS_2000_Guidelines_ISAD(G)_Second-edition_EN.pdf (accessed Mar. 31, 2023).
- [8] E. Shepherd and G. Yeo, *Managing Records: A Handbook of Principles and Practice*. London: Facet Publishing, 2003.
- [9] R. Pearce-Moses, *A Glossary of Archival and Records Terminology*. Chicago, IL, USA: The Society of American Archivists, 2005.
- [10] InterPARES Trust. “Terminology Database.” INTERPARESTRUST.org. <http://interparestrust.org/terminology> (accessed Mar. 31, 2023).
- [11] *Information and Documentation - Records Management Part 1: Concepts and Principles*, ISO 15489-1:2016, 2016.
- [12] C. Williams, *Managing Archives: Foundations, Principles and Practice*. Oxford, UK: Chandos Publishing, 2006.
- [13] L. Duranti, “The Records: Where Archival Universality Resides,” *Archival Issues*, vol. 19, no. 2, pp. 83 - 94, 1994.
- [14] L. Duranti, “Reliability and Authenticity: The Concepts and Their Implications,” *Archivaria*, vol. 39, pp. 5 - 10, 1995.
- [15] L. Duranti and P. C. Franks, *Encyclopedia of Archival Science*. Lanham, MD, USA: Rowman and Littlefield, 2015.
- [16] B. L. Craig, *Archival Appraisal: Theory and Practice*. Munchen, Bayern, Germany: K. G. Saur, 2004.
- [17] C. Brown, “Memory, Identity, and the Archival Paradigm: Introduction to the Special Issue,” *Arch. Sci.*, vol. 13, no. 2-3, pp. 85 - 93, 2013.
- [18] M. Crockett, *The No-Nonsense Guide to Archives and Recordkeeping*. London: Facet Publishing, 2015.
- [19] L. A. Millar, *Archives: Principles and Practices*, 2nd ed. London: Facet Publishing, 2017.
- [20] X. An and M. Cook, “Integrated Management and Services for Urban Development Records, Archives and Information: A Research Agenda,” *Rec. Manag. J.*, vol. 13, no. 2, pp. 83 - 90, 2003.
- [21] D. Bearman, “Item-level Control and Electronic Recordkeeping,” *Arch. Museum Inf.*, vol. 10, pp. 195 - 245, 1996.
- [22] K. Cumming, “Ways of Seeing: Contextualising the Continuum,” *Rec. Manag. J.*, vol. 20, no. 1, pp. 41 - 52, 2010.
- [23] H. Jenkinson, *A Manual of Archive Administration*. Oxford: Clarendon Press, 1922.
- [24] T. R. Schellenberg, *Modern Archives: Principles and Techniques*, Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 1956.
- [25] T. Cook, “Macro-appraisal and Functional Analysis: Documenting Governance rather than Government,” *J. Soc. Archivists.*, vol. 25, no. 1, pp. 5 - 18, 2004.
- [26] S. McKemmish and M. Piggott, “Toward

- the Archival Multiverse: Challenging the Binary Opposition of the Personal and Corporate Archive in Modern Archival Theory and Practice,” *Archivaria*, vol. 76, pp. 111 - 114, 2013.
- [27] Association of Canadian Archivists. “Canadian Archival Standard: Rules for Archival Description.” ARCHIVESCANDA.ca. http://archivescanada.ca/wp-content/uploads/2022/08/RADComplete_July2008.pdf (accessed Mar. 31, 2023).
- [28] M. Procter and M. Cook, *Manual of Archival Description*, 3rd ed. London: Routledge, 2000.
- [29] The National Archives of UK. “National Standard for Record Repositories.” CDN. NATIONALARCHIVES.gov.uk. <https://cdn.nationalarchives.gov.uk/documents/archives/standard2005.pdf> (accessed Mar. 31, 2023).
- [30] C. T. Nengomasha and E. H. Nyanga, “Access to Archives at the National Archives of Namibia,” *ESARB/ICA J.*, vol. 34, pp. 88 - 103, 2015.
- [31] International Council on Archives, Committee on Best Practices and Standards Working Group on Access. “Principle of access to archives.” ICA.org. http://www.ica.org/sites/default/files/ICA_Access-principles_EN.pdf (accessed Mar. 31, 2023).
- [32] P. J. Retting, “An Integrative Approach to Archival Outreach: A Case Study of Becoming Part of the Constituents’ Community,” *J. Arch. Organ.*, vol. 5, no. 3, pp. 31 - 46, 2007.
- [33] L. M. Meyer, “Historian as archivist: History, archives and outreach at Colorado State University,” *J. Arch. Organ.*, vol. 9, pp. 226 - 236, 2011.

แนวทางการวางระบบการรับมือเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

วราภรณ์ พูลสถิตวิวัฒน์¹ และ พิมพ์พจน์ สีลาเขต^{2*}

วันที่รับ 29 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไข 3 สิงหาคม 2566 วันที่ตอบรับ 17 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการรับมือเอกสาร และเพื่อศึกษาการประเมินคุณค่าเอกสารทั้งรูปแบบกระดาษและรูปแบบดิจิทัลของหอจดหมายเหตุสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ขอบเขตของงานวิจัยนี้กำหนดโดยอาศัยแนวคิดและทฤษฎีการจัดการจดหมายเหตุเพื่อการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุตามมาตรฐานสากล ISO 15489 ระเบียบวิธีวิจัยเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยมุ่งเน้นการทบทวนเอกสาร แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการรับมือและประเมินเอกสาร ประกอบการสังเกตกระบวนการรับมือและประเมินคุณค่าเอกสาร นำเสนอผลด้วยการวิเคราะห์แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรับมือเอกสาร และการประเมินคุณค่าเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ งานวิจัยชิ้นนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามเส้า ผลการวิจัยพบว่า ในปัจจุบันหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศยังไม่มีระบบการรับมือเอกสารสิ้นกระแสการปฏิบัติงาน และยังไม่มีระบบการประเมินคุณค่าเอกสารสิ้นกระแสการปฏิบัติงานเพื่อนำไปเก็บรักษาเป็นจดหมายเหตุ ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศควรกำหนดแนวทางในประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ 1) เงื่อนไขการประเมินคุณค่าเอกสารที่หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้รับมอบมาจากหน่วยงานต่าง ๆ 2) ระบบการรับมือเอกสารของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศตามหลักวิชาการ 3) นโยบายการรับมือเอกสาร และ 4) ขั้นตอนการดำเนินงานวางระบบการรับมือเอกสารของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

คำสำคัญ : การรับมือเอกสาร, การประเมินคุณค่าเอกสาร, หอจดหมายเหตุ

¹ ภาควิชาภาษาตะวันออก, คณะโบราณคดี, มหาวิทยาลัยศิลปากร

² ภาควิชาบรรณารักษศาสตร์, คณะอักษรศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้แต่ง, อีเมล: pimphot.s@chula.ac.th

The Guidance for a System on Records Accessioning and Records Appraisal at the Defence Technology Institute Archives

Waraporn Poolsatitiwat ¹ and Pimphot Seelakate ^{2*}

Received 29 May 2023, Revised 3 August 2023, Accepted 17 August 2023

Abstract

This article aims to study a process on records accessioning and records appraisal for traditional and digital records of the Defence Technology Institute Archives. The research scope is applied concepts and theories on archives management to manage records and archives in compliance to the ISO 15489. The research methods are qualitative applying literature review on concepts and theories of records accessioning and appraisal, including observation on archival recordkeeping practice. The research results are presented through analysis of records accessioning and appraisal concepts relevant to the Defence Technology Institute. This research is employed triangular analysis. The results show that currently the Defence Technology Institute Archives does not implement the process of records accessioning and records appraisal for non-current records to be preserved as archives. The research suggests that the Defence Technology Institute Archives should specify the guidance in terms of 1) the requirements for records appraisal for transferred records derived from other units under the Defence Technology Institute, 2) the accessioning process for the Defence Technology Institute Archives in accordance to archives management theory, 3) the acquisition policy, and 4) the procedure for records accessioning at the Defence Technology Institute Archives.

Keywords : Archival accession, Archival appraisal, Archives

¹ Department of Oriental Languages, Faculty of Archaeology, Silpakorn University

² Department of Library Science, Faculty of Arts, Chulalongkorn University

* Corresponding author, E-mail: pimphot.s@chula.ac.th

1. บทนำ (Introduction)

ตามหลักวิชาการจัดการจดหมายเหตุนั้น กระบวนการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร ถือเป็นกระบวนการหลักและกระบวนการแรกของงานจดหมายเหตุ นักจดหมายเหตุจะดำเนินกระบวนการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสารได้ก็ต่อเมื่อหน่วยงานเจ้าของเอกสารส่งมอบเอกสารที่สิ้นกระแสการใช้งาน (Non-current record) ให้กับหอจดหมายเหตุ

กระบวนการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสารจำเป็นต้องสอดคล้องกับกฎหมายต่าง ๆ ได้แก่ ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยงานสารบรรณ 4 ฉบับ พระราชบัญญัติข้อมูลข่าวสารของทางราชการ พ.ศ. 2540 ระเบียบว่าด้วยการรักษาความลับของทางราชการ พ.ศ. 2544 พระราชบัญญัติจดหมายเหตุแห่งชาติ พ.ศ. 2556 พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 และพระราชบัญญัติเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 และต้องอาศัยเครื่องมือหลายชนิดเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ ได้แก่ แผนผังแฟ้มเอกสาร (File plan) ตารางการกำหนดอายุเอกสาร (Records retention schedule) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้หน่วยงานทราบว่าจะเอกสารชุดใดอยู่ในระยะเวลาสิ้นกระแสการใช้งานและพร้อมส่งมอบให้แก่หอจดหมายเหตุ

ในปัจจุบันสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้มีความพยายามในการจัดตั้งหอจดหมายเหตุขึ้นมาเพื่อสงวนรักษาและจัดเก็บเอกสารจดหมายเหตุของหน่วยงาน นำออกให้บริการ เผยแพร่และประชาสัมพันธ์โดยมุ่งหวังให้ผู้ใช้เอกสารนำข้อเท็จจริงและข้อมูลที่น่าเชื่อถือในเอกสารจดหมายเหตุเหล่านั้นไปใช้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการทำงาน และการสร้างสรรค์งานเทคโนโลยีป้องกันประเทศที่น่าเชื่อถือให้กับสังคมและประเทศชาติ ดังนั้น หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศจึงควรวางระบบการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร

อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการจดหมายเหตุในปัจจุบัน หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศยังไม่มีกระบวนการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและมีความประสงค์ที่จะศึกษาเกี่ยวกับหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อแสวงหาแนวปฏิบัติในการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร ซึ่งจะส่งเสริมให้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศสามารถสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุให้มีความสมบูรณ์อย่างถาวร และตอบโจทย์ของหน่วยงานในการสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุในฐานะที่เป็นทั้งหลักฐานและมรดกความทรงจำในอนาคตต่อไป

2. ขอบเขตการวิจัยและวิธีการวิจัย/ทดลอง (Materials and Methods)

2.1 ขอบเขตการวิจัย

2.1.1 ขอบเขตด้านบุคคลผู้ให้ข้อมูล (Key Informants)

ผู้วิจัยใช้การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงาน วิธีการบริหารจัดการเอกสารจดหมายเหตุ วัฒนธรรมของหน่วยงาน และมุมมองของผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ โดยผู้วิจัยได้คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างซึ่งมาจากการวิเคราะห์หาผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการวางระบบการจัดเก็บเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปรากฏว่าผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลุ่มดังกล่าวมีจำนวนทั้งสิ้น 30 คน ได้แก่ ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รองผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 4 ท่าน ผู้อำนวยการฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่ ผู้อำนวยการส่วนข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ผู้อำนวยการส่วนบริหารองค์ความรู้ ผู้อำนวยการ

ส่วนวารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ผู้อำนวยการ ส่วนบัณฑิตศึกษา ผู้อำนวยการส่วนบริการเทคโนโลยี สารสนเทศ ผู้อำนวยการส่วนประจำฝ่ายบริการ ทางวิชาการและเทคนิค ผู้อำนวยการฝ่ายวิเคราะห์ เทคโนโลยีป้องกันประเทศ ผู้อำนวยการส่วนธุรการ รักษาการผู้อำนวยการส่วนเลขานุการ ผู้อำนวยการ ส่วนบริหารนโยบายและกลยุทธ์ ผู้อำนวยการส่วน พัฒนานโยบายและกลยุทธ์ ผู้อำนวยการฝ่ายนโยบาย และแผน รักษาการผู้อำนวยการสำนักบริหารกลาง ผู้อำนวยการส่วนบริหารคุณภาพโดยรวม ผู้อำนวยการ ส่วนติดตามประเมินผล ควบคุมภายใน และบริหาร ความเสี่ยง เจ้าหน้าที่ข้อมูลเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ระดับ 1 - 3 ผู้อำนวยการส่วนบัญชี ผู้อำนวยการส่วน ควบคุมพัสดุ ผู้อำนวยการส่วนการเงิน ผู้อำนวยการ ส่วนจัดหาพัสดุ และผู้อำนวยการส่วนบริหารสัญญา

2.1.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตการศึกษาในประเด็น ดังต่อไปนี้ ได้แก่ กระบวนการรับมอบเอกสาร เอกสาร ที่สิ้นกระแสการใช้งาน (Non-current record) ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศทั้งในรูปแบบ กระดาษและรูปแบบดิจิทัล การไหลเวียนของเอกสาร ที่สิ้นกระแสการใช้งานซึ่งเข้ามายังหอจดหมายเหตุ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ วิธีการรับมอบ เอกสารที่สิ้นกระแสการใช้งานของบุคลากรภายใน หอจดหมายเหตุสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และขั้นตอนการประเมินคุณค่าเอกสารของบุคลากร ของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ

2.1.3 ขอบเขตด้านเอกสาร

เอกสารและสิ่งพิมพ์ที่นำมาศึกษาโดยใช้ วิธีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อ ได้แก่ นโยบาย ความหมาย และคุณลักษณะของ เอกสารจดหมายเหตุ กระบวนการจัดการเอกสาร

จดหมายเหตุ แนวคิดและทฤษฎีการรับมอบและ ประเมินคุณค่าเอกสาร การสร้างแผนผังแฟ้มเอกสาร และตารางการกำหนดอายุเอกสารตามมาตรฐาน ISO 15489 และหลักการวิเคราะห์หน้าที่

2.1.4 ขอบเขตด้านแนวคิด

ทฤษฎีที่นำมาใช้ ผู้วิจัยเลือกที่จะประยุกต์ มาตรฐานสากล ISO 15489-1:2016 เป็นกรอบ ในการศึกษาวิจัย เพื่อวางระบบการจัดการเอกสาร จดหมายเหตุให้กับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ตามมาตรฐานสากล เพื่อให้แน่ใจว่าหอจดหมายเหตุ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนั้นจะมีการ ปฏิบัติงานที่สอดคล้องกับหลักการระดับสากลและ มีมาตรฐานในระดับนานาชาติ

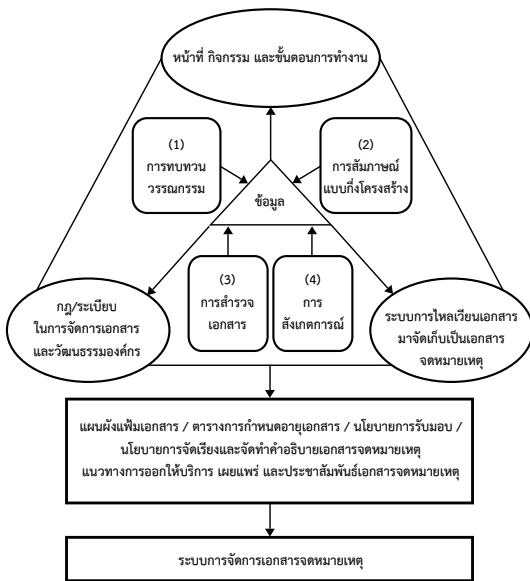
2.1.5 ขอบเขตด้านสถานที่และระยะเวลาการศึกษา

ผู้วิจัยเลือกกำหนดขอบเขตของพื้นที่โดย กำหนดให้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็น สถานที่ของการศึกษาวิจัย และมีกลุ่มประชากรเป็น บุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ โดย มีการกำหนดขอบเขตของระยะเวลาในการทำวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 - 2565

2.2 วิธีการวิจัย

เป็นการทำวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ซึ่งใช้การเก็บข้อมูลแบบหลากหลายวิธี (Multiple Approach) และนำข้อมูลดังกล่าวมา วิเคราะห์ข้อมูลแบบสามเส้า (Triangular Analysis) เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยวิธีการที่หลากหลายนั้น ได้แก่ 1) การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 2) การสำรวจเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ 3) การสังเกตการณ์การจัดการ เอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ และ 4) การสัมภาษณ์บุคลากรของ

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศแบบกึ่งโครงสร้าง หลังจากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลเชิงคุณภาพมาวิเคราะห์ ข้อมูลและสอยันข้อมูลแบบสามเส้า เพื่อตอบคำถาม ของงานวิจัยอย่างแม่นยำให้ได้มากที่สุด กล่าวคือ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม การสำรวจเอกสาร การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง และการสังเกตการณ์มาวิเคราะห์และพิจารณา ตรวจสอบความสอดคล้องว่าในแต่ละคำถามของ งานวิจัยนั้น ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากแหล่งต่าง ๆ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกันหรือไม่ อย่างไร ดังที่ปรากฏตามรูปที่ 1



รูปที่ ๑ วิธีการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามเส้า

3. ผลการวิจัย/ทดลอง (Results)

กระบวนการรับมอบและประเมินคุณค่าเอกสาร ถือได้ว่าเป็นกระบวนการแรกของการจัดการเอกสารจดหมายเหตุ โดยกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วย กระบวนการหลัก 2 กระบวนการ ดังนี้

3.1 การรับมอบเอกสาร

ภารกิจแรกของหอจดหมายเหตุ คือ การพัฒนานโยบายการรับมอบเอกสารจดหมายเหตุ เพื่อใช้นโยบายดังกล่าวเป็นแนวปฏิบัติหรือเป็นเครื่องมือ ในการกำหนดขอบเขต รูปแบบ วิธีการรับมอบ และ ทรัพยากรที่จะรับมอบเข้ามายังหอจดหมายเหตุ Williams [1] เสนอความคิดว่าด้วยขอบเขตของการ พัฒนานโยบายการรับมอบเอกสารโดยอาศัยตัวอย่าง จากหอจดหมายเหตุแห่งชาติสหราชอาณาจักรว่า นโยบายการรับมอบควรประกอบไปด้วย 1) ข้อมูล ที่อธิบายถึงหอจดหมายเหตุและสถาบันที่กำลังเก็บ ดูแลหอจดหมายเหตุดังกล่าว 2) ข้อมูลที่อธิบาย ถึงสถานภาพทางกฎหมายของหอจดหมายเหตุ รวมถึงอำนาจตามกฎหมายที่ใช้ในการรับมอบหรือ รวบรวมเอกสารมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ 3) ข้อมูลที่อธิบายถึงพันธกิจ หน้าที่ ขอบเขต ความรับผิดชอบ และทรัพยากรที่จะจัดเก็บมาเป็น เอกสารจดหมายเหตุ และ 4) ข้อมูลที่อธิบายถึง ขั้นตอนการรับมอบเอกสาร

The National Archives of UK [2] ระบุ เนื้อหาในนโยบายการรับมอบเอกสารที่ครอบคลุม ถึงประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ 1) เหตุผลในการรับมอบ เอกสารและกฎหมายที่ให้อำนาจในการรับมอบ เอกสาร 2) หน่วยงานที่ต้องส่งมอบเอกสารตาม กฎหมายให้แก่หอจดหมายเหตุ 3) เอกสารที่จะ รับมอบและเงื่อนไขการคัดเลือกเอกสาร 4) สถานที่ จัดเก็บเอกสารที่รับมอบ 5) ระยะเวลาการจัดเก็บ เอกสารตามกฎหมาย และ 6) การดำเนินการสนับสนุน หน่วยงานที่จะต้องส่งมอบเอกสารในประเด็นเรื่อง การจัดการเอกสารของหน่วยงานให้สามารถส่งมอบ มายังหอจดหมายเหตุได้ครบถ้วน สมบูรณ์ และ ตรงเวลาตามกฎหมาย เรื่องการกำหนดเงื่อนไขการ คัดเลือกเอกสารที่จะส่งมอบให้หอจดหมายเหตุ เรื่องการจัดการเอกสารที่มีข้อมูลอ่อนไหวเพื่อให้ สามารถปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยการเผยแพร่

ข้อมูลข่าวสารของทางราชการ เรื่องการจัดกลุ่มเอกสารและการส่งมอบเอกสารให้หอจดหมายเหตุ และเรื่องการปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเอกสารและเอกสารจดหมายเหตุ

ในทำนองเดียวกัน National Archives of Australia ออกนโยบายอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร เรื่องการสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่เอกสารราชการ (Public records) ตั้งแต่ขั้นตอนการสร้าง-รับการจัดเก็บ การใช้งาน การค้นคืน จนถึงการจัดเก็บถาวรในหอจดหมายเหตุ ในนโยบายดังกล่าวประกอบด้วย 1) วัตถุประสงค์ของนโยบาย 2) หน่วยงานที่ต้องดำเนินการตามนโยบาย 3) บทบาทของหอจดหมายเหตุ 4) บทบาทของหน่วยงานหลักอื่นที่ต้องเกี่ยวข้องกับนโยบายนี้ 5) คำยืนยันในการดำเนินการตามนโยบายของหน่วยงานที่ต้องดำเนินการตามนโยบาย 6) การจัดการข้อมูลสารสนเทศในเอกสารราชการตามมาตรฐาน AS ISO 15489.1:2017 ซึ่งพัฒนามาจากมาตรฐาน ISO 15489-1:2016 7) ความสำคัญของการจัดการข้อมูลสารสนเทศที่มีอยู่ในเอกสารราชการ 8) การพัฒนาการจัดการข้อมูลสารสนเทศในเอกสารราชการให้การดำเนินการมีประสิทธิภาพมากขึ้นในประเด็นเรื่องการนำเสนอข้อมูลสารสนเทศในเอกสารราชการ เพื่อแสดงถึงการดำเนินการของหน่วยงานว่าเป็นไปตามกลยุทธ์ วัตถุประสงค์ และแผนปฏิบัติงาน อันจะสะท้อนให้เห็นถึงความโปร่งใสและมีธรรมาภิบาลของหน่วยงาน เรื่องการวางระบบการจัดการข้อมูลสารสนเทศในเอกสารราชการให้เป็นไปตามกระบวนการดำเนินการและระบบการปฏิบัติงานจริง และเรื่องการลดปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดการจัดการที่ไม่มีประสิทธิภาพและเพิ่มความเสี่ยงจากการสูญเสียข้อมูลสารสนเทศในเอกสารราชการ และ 9) กฎหมายที่ให้อำนาจในการดำเนินการ

นโยบายการรับมอบเอกสารของหอจดหมายเหตุในระดับหน่วยงาน เช่น หอจดหมายเหตุ

รัฐสภาอังกฤษ [3] ยังได้ดำเนินการออกนโยบายการรับมอบเอกสารจดหมายเหตุเป็นของตนเอง โดยในนโยบายดังกล่าวครอบคลุมถึง 1) เป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการจัดตั้งหอจดหมายเหตุ 2) การรับมอบเอกสารให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติเอกสารราชการ มาตรฐาน ISO 15489 พระราชบัญญัติข้อมูลข่าวสารของทางราชการ และพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล 3) คำยืนยันที่จะดำเนินการรับมอบเฉพาะเอกสารที่เป็นไปตามเงื่อนไขซึ่งกำหนดไว้ในนโยบายนี้เท่านั้น 4) วิธีการรับมอบและการให้สิทธิ์แก่หอจดหมายเหตุในการประเมินคุณค่า ออกให้บริการ เผยแพร่และประชาสัมพันธ์ และ 5) การจัดทำสำเนาของเอกสารต้นฉบับของเอกสารภายนอกที่ฝากไว้กับหอจดหมายเหตุจะกระทำได้อีกต่อเมื่อเอกสารเหล่านั้นบรรลุเงื่อนไขที่ตกลงร่วมกันไว้

ผู้วิจัยพบว่า กระบวนการรับมอบเอกสาร โดยเฉพาะเอกสารราชการมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุนั้น หอจดหมายเหตุต้องดำเนินการตามอำนาจและหน้าที่ตามกฎหมาย พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขในการรับมอบเอกสาร เงื่อนไขในการคัดเลือกเอกสาร และขั้นตอนในการปฏิบัติงานอย่างชัดเจน รวมทั้งหน่วยงานเจ้าของเอกสารที่อยู่ในขอบข่ายอำนาจตามกฎหมายของหอจดหมายเหตุต้องดำเนินการตามนโยบายดังกล่าวเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติงานในกระบวนการรับมอบเอกสารต้องอาศัยความรู้และทักษะทางวิชาการด้านการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุ

3.2 การประเมินคุณค่าเอกสาร

นักวิชาการและนักวิชาชีพจดหมายเหตุในระดับสากลได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าวิจัยเพื่อกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการสำหรับใช้ในการประเมินคุณค่าเอกสารเป็นจำนวนมาก จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องภายใต้ขอบเขตของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยพบว่า สามารถจัดแบ่งแนวคิดและทฤษฎี

ในการประเมินคุณค่าเอกสารซึ่งสามารถนำมาปรับใช้กับหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้เป็น 5 แนวคิด ดังนี้

3.2.1 การประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Jenkinson

Jenkinson [4] เสนอแนวคิดว่าการประเมินคุณค่าเอกสารเพื่อนำมาจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุไม่ควรเป็นหน้าที่ของนักจดหมายเหตุ แต่เป็นหน้าที่ของเจ้าของเอกสารเหล่านั้น นักจดหมายเหตุควรทำหน้าที่เป็นผู้เก็บรักษาที่เป็นกลาง (Neutral Keepers) และรับมอบเอกสารที่หน่วยงานส่งมอบมาให้ทั้งหมดโดยไม่มีการคัดเลือกรายการใดทิ้งไป Jenkinson [5] มีความเห็นว่าเอกสารที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลของผู้สร้างเอกสารและอยู่ในความครอบครองของผู้สร้างเอกสารจึงจะถูกพิจารณาว่าเป็นเอกสารจดหมายเหตุ เนื่องจากเอกสารเหล่านี้มีความเป็นธรรม (Impartiality) และมีความจริงแท้ (Authenticity) เพราะเป็นเอกสารที่รวบรวมเป็นกลุ่มตามธรรมชาติของการใช้งาน นักจดหมายเหตุไม่ได้มีบทบาทใดในการแทรกแซงกลุ่มเอกสารนี้อาจกล่าวได้ว่าการกำหนดภาระหน้าที่ในการประเมินคุณค่าเอกสารว่าเป็นหน้าที่ของหน่วยงานเจ้าของเอกสารถือว่าเป็นเรื่องที่สมเหตุสมผลสำหรับ Jenkinson เพราะมีเหตุผลว่าเจ้าของเอกสารซึ่งเป็นผู้สร้างหรือผู้รับเอกสารเข้ามาในหน่วยงานของตนเองย่อมตระหนักถึงคุณค่าและความสำคัญของเอกสารเหล่านั้นต่อหน่วยงานของตนเองดีที่สุด ไม่ใช่ให้นักจดหมายเหตุผู้เป็นบุคคลภายนอกและไม่รู้จักเอกสารเหล่านั้น ดังนั้น นักจดหมายเหตุไม่ควรมีบทบาทเป็นผู้ตัดสินคุณค่าของเอกสารแทนหน่วยงานเจ้าของเอกสาร

Craig [6] กล่าวเสริมแนวคิดนี้ไว้ว่า Jenkinson เป็นหัวหน้าสำนักงานเอกสาร (Public Records Office) ของรัฐบาลอังกฤษ ซึ่งเป็นหน่วยงานกลางที่ดูแลระบบการสร้าง-รับ จัดเก็บ และส่งออกเอกสาร

ราชการของประเทศ ได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวจากประสบการณ์ส่วนตัว และพบว่านักจดหมายเหตุไม่สามารถรู้เรื่องเอกสารและความต้องการใช้งานเอกสารเหล่านั้นอย่างแท้จริงได้เทียบเท่ากับเจ้าของเอกสาร ด้วยเหตุนี้คุณค่าของเอกสารตามแนวคิดของ Jenkinson จึงหมายถึงคุณค่าสำหรับหน่วยงานคุณค่าสำหรับการบริหารงาน และคุณค่าสำหรับการเป็นหลักฐานตรวจสอบการปฏิบัติงานที่เป็นธรรม ไม่ได้รวมถึงคุณค่าสำหรับชุมชนอื่นที่อาจจะนำเอกสารไปใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์อื่น นักจดหมายเหตุไม่ใช่ผู้คัดเลือกเอกสารเพื่อสร้างประวัติศาสตร์ แต่เป็นผู้สร้างเอกสารหรือเจ้าของเอกสารที่คัดเลือกสิ่งที่ต้องการจะจัดเก็บไว้ถาวรเป็นจดหมายเหตุ

Stapleton [7] วิเคราะห์เพิ่มเติมว่า แนวคิดการประเมินคุณค่าของ Jenkinson นั้น อาจได้อิทธิพลมาจากบริบทแวดล้อมด้านการทำงานและประสบการณ์ในสายงานด้านเอกสารและจดหมายเหตุที่เขาทำ ณ สำนักงานเอกสารของรัฐบาลอังกฤษ ซึ่งมีวิถีและวิธีการจัดการเอกสารและจดหมายเหตุเป็นของตนเอง Jenkinson รู้จักและเข้าใจเอกสาร (Record) ผ่านชุดเอกสารจดหมายเหตุที่มาจากยุคกลาง (Medieval records) ซึ่งเป็นเอกสารที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นหลักฐานทางกฎหมายเป็นหลัก ดังนั้น มุมมองของ Jenkinson ต่อเอกสาร (Record) จึงเป็นเรื่องของเอกสารสำคัญ (Vital record) ที่ต้องสงวนรักษาไว้เพื่อใช้ยืนยันสิทธิ์และอำนาจตามกฎหมาย เอกสารจดหมายเหตุจึงไม่ควรถูกคัดเลือกโดยนักจดหมายเหตุ แต่ควรเป็นเจ้าของเอกสารที่เป็นผู้คัดเลือกกว่าเอกสารใดควรจัดเก็บไว้ถาวร และด้วยความที่เป็นเอกสารทางกฎหมายจึงทำให้ในทรรศนะของ Jenkinson เอกสารจดหมายเหตุมีคุณสมบัติ คือ มีความเป็นธรรมและมีความจริงแท้ อย่างไรก็ตาม แนวคิดดังกล่าวเป็นที่ถกเถียงเรื่อยมาถึงความเป็นไปได้ในการนำมาประเมินคุณค่าเอกสาร โดยเฉพาะในยุคสมัยใหม่

ที่มีเอกสารปริมาณมากอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีการพิมพ์และเทคโนโลยีดิจิทัลที่ก้าวหน้า ส่งผลให้เจ้าของเอกสารส่งมอบเอกสารให้แก่ห้องจดหมายเหตุ โดยที่ห้องจดหมายเหตุอาจไม่สามารถจัดเก็บเอกสารเหล่านั้นได้ทั้งหมด แม้ว่าเอกสารเหล่านั้นจะเป็นหลักฐานทางกฎหมาย เป็นหลักฐานที่เป็นธรรม เป็นเอกสารที่มีความจริงแท้ หรือหาเอกสารอื่นมาทดแทนไม่ได้ตามที่ Jenkinson [7] ได้กล่าวไว้

ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Jenkinson มีแนวคิดและหลักการสำคัญ ได้แก่ 1) เอกสารจดหมายเหตุ คือ เอกสารที่ถือว่าเป็นหลักฐานทางกฎหมาย หลักฐานที่เป็นธรรม และเป็นเอกสารที่มีความจริงแท้ 2) ภาระหน้าที่ในการคัดเลือกเอกสารเพื่อจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุควรเป็นหน้าที่ของเจ้าของเอกสาร เพราะถือเป็นผู้ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดที่จะพิจารณาว่าเอกสารใดมีคุณค่าต่อการแสดงถึงพัฒนาการและการบริหารงานของหน่วยงานได้ดีที่สุด 3) นักจดหมายเหตุมีหน้าที่รับมอบเอกสารและจัดเก็บเอกสารที่รับมอบทั้งหมดไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุ และ 4) เอกสารจดหมายเหตุมีบทบาทและหน้าที่หลักในการแสดงให้เห็นถึงการบริหารจัดการของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร

3.2.2 การประเมินคุณค่าแบบ Schellenberg

Schellenberg [8] มีความเห็นว่า แนวคิดและหลักการการประเมินคุณค่าของ Jenkinson เป็นวิธีการเก่าที่ไม่สามารถนำมาปฏิบัติได้จริงในยุคสมัยของเขา เพราะจำนวนเอกสารราชการนั้นมีปริมาณมหาศาลจึงเป็นไปได้ยากที่จะเก็บรักษาไว้ทั้งหมด นอกจากนี้ เหตุผลในการสงวนรักษาเอกสารไว้ถาวรในฐานะเอกสารจดหมายเหตุ ไม่ใช่เพียงเพื่อประโยชน์ในการใช้งานของผู้สร้างเอกสารเพียงอย่างเดียว แต่เป็นเพราะเอกสารมีคุณค่าที่ซ่อนเร้นอยู่ 2 คุณค่า นั่นคือ 1) คุณค่าในฐานะ

หลักฐานที่หน่วยงานเจ้าของเอกสารนั้นสามารถนำไปใช้อ้างอิงเพื่อประโยชน์ของหน่วยงานได้ และ 2) คุณค่าในฐานะหลักฐานทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม ซึ่งชุมชนอื่นที่ไม่ใช่บุคคลหรือหน่วยงานเจ้าของเอกสารนั้นก็สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยคุณค่าทั้งสองนี้แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ คุณค่าด้านการเป็นหลักฐาน เอกสารเหล่านี้เป็นหลักฐานแสดงการปฏิบัติงานของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร และคุณค่าด้านการให้ข้อมูล เอกสารเหล่านี้ให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้เอกสารในเรื่องต่าง ๆ เมื่อผู้ใช้ศึกษาเอกสารซึ่งเป็นเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลและฝ่ายงานต่าง ๆ ในหน่วยงานเจ้าของเอกสาร

แนวคิดและหลักการในการประเมินคุณค่าของ Schellenberg พัฒนามาจากบริบทและประสบการณ์ที่ได้รับจากการทำงานในฐานะผู้อำนวยการหอจดหมายเหตุแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ซึ่งต่างจาก Jenkinson ที่ทำงานในฐานะหัวหน้าสำนักงานเอกสารราชการ) สภาพแวดล้อมที่ทำงานของ Schellenberg ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นใหม่และมีเอกสารราชการที่สิ้นกระแสการใช้งานปริมาณมหาศาลที่ยังไม่ได้จัดกระจายอยู่ในหน่วยงาน ส่งผลให้ Schellenberg มีแนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารที่แตกต่างจาก Jenkinson [10]

Schellenberg มีทรรศนะว่า การจัดการเอกสารและการจัดการเอกสารจดหมายเหตุไม่ใช่เรื่องเดียวกัน การจัดการเอกสารเป็นหน้าที่ของหน่วยงานเจ้าของเอกสารที่ต้องจัดการด้วยตนเอง ในขณะที่การจัดการจดหมายเหตุเป็นเรื่องของหอจดหมายเหตุซึ่งมีหน้าที่รับมอบเอกสารของหน่วยงานที่ส่งมอบมา แล้วนำมาประเมินคุณค่าเพื่อจัดเก็บบางส่วนที่มีคุณค่าเพียงพอที่จะเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุให้บุคคลที่ต้องการศึกษาค้นคว้าวิจัยได้เข้าใช้งาน [7] - [9]

Schellenberg มองว่าเอกสารและเอกสารจดหมายเหตุมีคุณค่าแตกต่างกัน เอกสารมีคุณค่า

เฉพาะสำหรับหน่วยงานเจ้าของเอกสาร ในขณะที่เอกสารจดหมายเหตุไม่ได้มีคุณค่าแค่กับหน่วยงานเจ้าของเอกสารเท่านั้น แต่ยังมีคุณค่าสำหรับบุคคลอื่น ๆ ในสังคมที่จะนำเอกสารไปใช้งานต่อไป ดังนั้น Schellenberg จึงเห็นต่างกับ Jenkinson ในเรื่องการมอบสิทธิและอำนาจในการประเมินคุณค่าเอกสารให้หน่วยงานเจ้าของเอกสาร แต่เขานำเสนอให้มอบหน้าที่ในการประเมินคุณค่าเอกสารแก่นักจดหมายเหตุ โดยให้ใช้หลักการประเมินคุณค่าของเขาในการประเมินเพื่อคัดเลือกเอกสารที่ให้คุณค่าต่อทั้งหน่วยงานและบุคคลอื่น ๆ มาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ [9]

ตามแนวคิดและหลักการของ Schellenberg นักจดหมายเหตุควรมีบทบาทในการประเมินคุณค่าเอกสารในคุณค่าที่สอง ไม่ใช่คุณค่าที่หนึ่ง กล่าวคือคุณค่าที่หนึ่งเป็นคุณค่าสำหรับหน่วยงานเจ้าของเอกสาร ดังนั้น ควรให้หน่วยงานเจ้าของเอกสารเป็นผู้ประเมินเองว่าเอกสารใดมีคุณค่าต่อหน่วยงาน และเอกสารเหล่านั้นจะเก็บรักษาไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุ ส่วนคุณค่าที่สองเป็นคุณค่าสำหรับการศึกษาวิจัยที่บุคคลนอกเหนือจากหน่วยงานเจ้าของเอกสารสามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้น จึงควรให้นักจดหมายเหตุประเมินคุณค่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ [10]

แนวคิดในการพิจารณาคุณค่าที่นักจดหมายเหตุควรใช้ในการประเมินคุณค่าเอกสารมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ ประกอบด้วย 1) คุณค่าด้านหลักฐานโดยนักจดหมายเหตุพิจารณาที่ 1.1) เอกสาร 1.2) ผู้สร้างหรือเจ้าของเอกสาร และ 1.3) ขั้นตอนการสร้างเอกสารนั้นปรากฏอยู่ที่ใดบ้าง โดยให้ความสำคัญกับตัวเอกสารที่แสดงการทำงานของหน่วยงานเจ้าของเอกสารและขั้นตอนการสร้างเอกสาร และ 2) คุณค่าด้านข้อมูล นักจดหมายเหตุพิจารณาเนื้อหาที่อยู่ในเอกสารนั้น ว่าให้ข้อมูลที่สามารถนำไปเพิ่มความรู้ในเรื่องที่กำหนดไว้ได้หรือไม่

[7] - [10] มีการถกเถียงกันเรื่อยมาในหมู่นักวิชาการ โดยเฉพาะประเด็นเรื่องการกำหนดคุณค่าในส่วนคุณค่าด้านข้อมูลที่นักจดหมายเหตุควรเป็นผู้พิจารณา เนื้อหาว่ามีคุณค่าเพียงพอที่จะจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุหรือไม่ เพราะการกำหนดเรื่องที่จะใช้เป็นหลักในการพิจารณาโดยนักจดหมายเหตุนั้นย่อมส่งผลให้นักจดหมายเหตุกลายเป็นผู้กำหนดประวัติศาสตร์ ดังเช่นที่ Cook [11] ได้วิจารณ์ไว้ว่า “เราเป็นตามสิ่งที่เราเก็บหรือเราเก็บสิ่งที่เราเป็นกันแน่”

ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การประเมินคุณค่าแบบ Schellenberg มีแนวคิดและหลักการสำคัญต่อไปนี้ 1) เอกสาร (record) คือเอกสารที่หน่วยงานสร้าง-รับ เพื่อการใช้งานและจัดเก็บไว้เป็นหลักฐานยืนยันการปฏิบัติงานและมี 2 คุณค่าได้แก่คุณค่าหลักคือคุณค่าการเป็นหลักฐาน เพราะเป็นเอกสารที่ให้ประโยชน์สำหรับหน่วยงานเจ้าของเอกสาร และคุณค่ารองคือคุณค่าสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาวิจัยของบุคคลต่าง ๆ ทั้งหน่วยงานเจ้าของเอกสารและนอกเหนือจากหน่วยงานเจ้าของเอกสาร เป็นเอกสารที่ให้ประโยชน์ต่อการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านต่าง ๆ ต่อไป 2) เอกสารจดหมายเหตุ คือ เอกสาร (record) ที่หน่วยงานส่งมอบให้หอจดหมายเหตุประเมินคุณค่าเพื่อจัดเก็บถาวรไว้เพื่อการศึกษาและวิจัย 3) หน้าที่คัดเลือกเอกสารเพื่อจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุนั้นเป็นหน้าที่ของนักจดหมายเหตุ เพราะเอกสารที่เจ้าของเอกสารส่งมอบให้หอจดหมายเหตุคือเอกสารที่หน่วยงานไม่ต้องการจัดเก็บไว้ใช้ประโยชน์อีกแล้ว และหอจดหมายเหตุไม่สามารถจัดเก็บเอกสารทั้งหมดได้ จึงต้องจัดเก็บเฉพาะเอกสารที่มีคุณค่าต่อชุมชนต่าง ๆ ในสังคมสำหรับการนำไปใช้ค้นคว้าและวิจัยสร้างองค์ความรู้ใหม่ 4) หลักในการประเมินคุณค่าเอกสารควรพิจารณาคุณค่า 2 คุณค่า ประกอบด้วย คุณค่าหลักหรือคุณค่า

ของเอกสารที่มีต่อหน่วยงานเจ้าของเอกสาร เป็นเอกสารสำคัญของหน่วยงานที่ควรจัดเก็บถาวรไว้เป็นหลักฐาน โดยคุณค่านี้นักวิจัยควรให้เจ้าของเอกสารเป็นผู้พิจารณา คุณค่ารองหรือคุณค่าต่อการให้บุคคลต่าง ๆ ใช้เอกสารเพื่อการศึกษาวิจัย เป็นเอกสารที่ให้คุณค่าตามที่หอจดหมายเหตุได้กำหนดไว้ โดยคุณค่านี้นักวิจัยให้นักจดหมายเหตุเป็นผู้พิจารณา คุณค่ารองนั้นประกอบด้วยคุณค่าด้านหลักฐานที่แสดงให้เห็นการดำเนินงานและขั้นตอนการสร้างเอกสารของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร และคุณค่าด้านข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่หอจดหมายเหตุได้กำหนดไว้ว่ามีคุณค่าต่อการศึกษาและวิจัย 5) เอกสารจดหมายเหตุมีบทบาทและหน้าที่ในการเป็นหลักฐานที่แสดงพัฒนาการของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร และเป็นแหล่งให้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ศึกษาและวิจัยในประเด็นต่าง ๆ ได้

3.2.3 แนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาค (Macro Appraisal)

แนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคได้รับการยอมรับและนำไปใช้ครั้งแรกที่หอจดหมายเหตุแห่งชาติแคนาดาในช่วงทศวรรษ 1990 แนวคิดนี้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการประเมินคุณค่าเอกสารราชการของรัฐบาลแห่งชาติ (National Government) เป็นหลัก โดย Cook [12] ได้สรุปหลักสำคัญ 10 ประการไว้ดังนี้

- 1) การประเมินคุณค่าเอกสารเป็นการทำงานเชิงรุก ต้องเริ่มต้นด้วยการกำหนดอย่างชัดเจนว่าเอกสารที่จะสร้างขึ้นนั้นต้องเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุ ไม่ควรรองจนกว่าเจ้าของเอกสารแจ้งขอทำลายจึงจะเริ่มขั้นตอนประเมินคุณค่าเอกสาร
- 2) นักจดหมายเหตุต้องกำหนดประเภทของเอกสารที่จะจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุอย่างชัดเจน และแจ้งให้หน่วยงานเจ้าของเอกสารทราบ หน่วยงานเจ้าของเอกสารไม่ควรมีหน้าที่ในการประเมินคุณค่าแต่เพียงลำพัง

3) การกำหนดว่าเอกสารประเภทใดควรจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุหรือไม่นั้น ควรพิจารณาความเป็นไปได้ว่านักวิจัยจะใช้เอกสารเหล่านั้นหรือไม่ หากเก็บเอกสารเหล่านั้นไว้ถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุ

4) การประเมินคุณค่าเอกสารจะไม่ใช้วิธีการศึกษาเอกสารที่ละเอียดหรือที่ละเอียด เพราะเอกสารในปัจจุบันมีปริมาณมากและซับซ้อน จึงไม่สามารถดำเนินการเช่นนั้นได้ แต่ให้ใช้วิธีการประเมินผ่านบริบทของการสร้างเอกสารและการใช้งานเอกสารเหล่านั้นที่แตกต่างกันไป โดยให้พิจารณาแหล่งที่มาของหน้าที่ (Functional Provenance) ซึ่งหมายถึงหน้าที่ต่าง ๆ ของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร

5) นักจดหมายเหตุควรมีบทบาทและศึกษาอย่างลึกซึ้งเพื่อทำความเข้าใจวัฒนธรรมองค์กรของหน่วยงาน หน้าที่ของหน่วยงาน ระบบการจัดเก็บเอกสารของหน่วยงาน การไหลเวียนของข้อมูลสารสนเทศภายในหน่วยงาน สื่อในการสร้างเอกสารของหน่วยงาน และการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในหน่วยงาน เพราะหลักการประเมินแบบมหภาคคือการกำหนดคุณค่าของเอกสารที่แสดงหน้าที่การปฏิบัติงานของหน่วยงาน แสดงวัฒนธรรมการทำงานของหน่วยงาน แสดงการใช้เอกสารของผู้สร้างเอกสาร และแสดงการกระทำของพลเมืองที่มีต่อการปฏิบัติงานของเจ้าของเอกสาร และอิทธิพลของผู้สร้างเอกสารที่มีต่อพลเมือง

6) การประเมินคุณค่าเอกสารเป็นการตัดสินใจว่าจะเก็บหรือทำลายเอกสารซึ่งได้รับมอบมาจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนั้น การประเมินคุณค่าเอกสารจึงไม่ใช่กระบวนการรับมอบเอกสาร แต่เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากกระบวนการรับมอบเอกสาร

7) หากไม่มีการกำหนดหลักการประเมินคุณค่าเอกสารที่ถูกต้องตามแนวคิดและทฤษฎีการประเมินคุณค่าเอกสาร อาจเกิดผลกระทบตามมา คือ การประเมินคุณค่าเอกสารจะไม่เป็นไปในทิศทาง

เดียวกัน ไม่ได้มาตรฐาน และเพิ่มระดับความน่าสงสัย และระดับไม่ไว้วางใจจากสาธารณชน

8) ทฤษฎีการประเมินคุณค่าเอกสาร คือ การกำหนดคุณค่าของเอกสารในแง่ความทรงจำของสังคมและสถาบันที่เป็นเจ้าของเอกสารเหล่านั้น ส่วนทฤษฎีจุดหมายเหตุ คือ การกำหนดคุณลักษณะของเอกสารในฐานะหลักฐานที่น่าเชื่อถือ ทั้งสองทฤษฎีนี้มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เอกสารซึ่งมีคุณลักษณะเป็นหลักฐานที่น่าเชื่อถือน่าจะมีศักยภาพสามารถเป็นเอกสารจุดหมายเหตุได้ อย่างไรก็ตาม เอกสารเหล่านั้นต้องนำมาประเมินคุณค่าอีกครั้งว่ามีคุณค่าตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ จึงจะถือเป็นเอกสารจุดหมายเหตุ

9) การประเมินคุณค่าจัดเป็นกระบวนการวัด ซึ่งไม่สามารถระบุค่าเป็นตัวเลขอย่างชัดเจนตายตัว และปรับใช้แบบเดียวกันได้ทุกสถานการณ์ ดังนั้นเงื่อนไขในการประเมินจึงเปลี่ยนแปลงไปตามบริบทสถานที่ ระยะเวลา โครงสร้างและระบบการปกครองของรัฐบาล และวัฒนธรรมของสังคมนั้น ๆ

10) การประเมินคุณค่าที่ไม่สามารถระบุเงื่อนไขแบบตายตัวได้ จึงส่งผลให้หोजจุดหมายเหตุต้องดำเนินการอย่างโปร่งใส ด้วยการระบุขั้นตอน วิธีการ และเงื่อนไขอย่างชัดเจน จัดทำรายงานอย่างเป็นลายลักษณ์อักษรตั้งแต่การทำวิจัย การกำหนดขั้นตอนการประเมิน การตัดสินใจเก็บและทำลาย และการส่งเอกสารมาจัดเก็บเป็นเอกสารจุดหมายเหตุ และควรกำหนดมาตรฐานคู่เทียบเพื่อประเมินผลว่ากระบวนการประเมินคุณค่าซึ่งดำเนินการไปนั้นถูกต้องหรือไม่

การประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคให้ความสำคัญกับหน้าที่ โครงสร้าง และพลเมือง เพราะสะท้อนให้เห็นถึงการปฏิบัติงานของรัฐบาลซึ่งส่งผลต่อพลเมืองกลุ่มต่าง ๆ ในสังคม คือสิ่งแสดงถึงธรรมาภิบาลของรัฐ ดังนั้น เพื่อให้การประเมินคุณค่าเอกสารมีประสิทธิภาพ Cook [13] ได้สรุปขั้นตอน

การวิจัยเพื่อกำหนดเงื่อนไขการประเมินไว้ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) ศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาหน้าที่หลักหน้าที่รอง โครงการและกิจกรรมต่าง ๆ ที่ผลักดันให้เกิดหน้าที่หลักของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร ซึ่งกำลังจะถูกประเมินคุณค่า 2) ศึกษาวิจัยเพื่อระบุว่หน้าที่หลัก หน้าที่รอง โครงการและกิจกรรมต่าง ๆ มีการดำเนินงานที่ใดและโดยบุคคลใด 3) ศึกษาวิจัยเพื่อเข้าใจธรรมชาติและระดับผลกระทบของหน้าที่หลัก หน้าที่รอง โครงการและกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีต่อพลเมืองกลุ่มต่าง ๆ ในสังคม 4) สร้างสมมติฐานในการกำหนดว่าหน้าที่หลัก หน้าที่รอง โครงการและกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านั้นควรบันทึกไว้ที่ใด ควรบันทึกในรูปแบบใดที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล และควรบันทึกหน้าที่สำคัญที่สะท้อนธรรมาภิบาลของหน่วยงานใดบ้างในรูปแบบเอกสาร และ 5) ทดสอบและพิสูจน์สมมติฐานด้วยการเลือกประเภทของเอกสารทั้งที่มาจากหน้าที่หลัก หน้าที่รอง โครงการและกิจกรรมต่าง ๆ ที่กำหนดไว้มาประเมินคุณค่าเพื่อตรวจสอบความซ้ำซ้อนและความผิดพลาด

การประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคหมายถึง การศึกษาวิจัย การทำความเข้าใจและการประเมินระดับความสำคัญของ 1) กฎหมาย 2) ข้อบังคับ 3) กฎ 4) ระเบียบ 5) นโยบาย 6) วัตถุประสงค์ 7) หน้าที่ 8) โครงการ 9) กระบวนการตัดสินใจและดำเนินงาน 10) โครงสร้างและหน่วยงานภายใน 11) วัฒนธรรมและรูปแบบการสื่อสารของหน่วยงาน และ 12) ความยั่งยืนและควมมีอิสระในการปฏิบัติตามนโยบายของบุคลากรผ่านเอกสารของหน่วยงานเจ้าของเอกสารที่สมควรเก็บถาวรไว้เป็นเอกสารจุดหมายเหตุ [12]

Cook [11] เน้นถึงความสำคัญว่า “การประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคเป็นมากกว่าการวิเคราะห์หน้าที่แบบที่ผู้สังเกตทั่วไปใช้อธิบายแบบจำลองการประเมินคุณค่านี้ของแคนาดา แม้ที่จริงแล้วการประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคให้ความสำคัญ

กับธรรมชาติมากกว่าโครงสร้างและหน้าที่ของรัฐบาล” หรืออาจสรุปความได้ว่า การประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาค ผู้มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาแนวคิดนี้ คือ การประเมินคุณค่าที่ให้ความสำคัญกับการจัดเก็บเอกสารจดหมายเหตุที่แสดงหรือสะท้อนให้เห็นความมีธรรมชาติของรัฐบาลผ่านเอกสารที่แสดงหน้าที่ของรัฐและเอกสารที่แสดงบทบาทของพลเมืองในการยอมรับ ปฏิเสธ ต่อต้าน อุทธรณ์ เปลี่ยนปรับปรุง และวิธีการอื่น ๆ ที่สนองตอบโครงการต่าง ๆ ที่รัฐดำเนินการ

แนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคเป็นที่ถกเถียงในประเด็นเรื่องบทบาทและหน้าที่ของนักจดหมายเหตุ รวมถึงความเป็นไปได้ในการที่นักจดหมายเหตุจะหาวิธีเพื่อให้เข้าใจเอกสารและวิเคราะห์หาหน้าที่ของหน่วยงาน วิเคราะห์บทบาทของพลเมืองในการปฏิสัมพันธ์กับโครงการต่าง ๆ ของรัฐ ความท้าทายอาจมีสูงในหน่วยงานภาครัฐซึ่งไม่มีระบบการจัดการเอกสาร ไม่มีแผนผังแฟ้มเอกสาร และตารางการกำหนดอายุเอกสารของตนเอง เอกสารไม่ได้จัดกลุ่มตามหน้าที่ของหน่วยงาน เนื่องมาจากการทำความเข้าใจเรื่องดังกล่าวต้องอาศัยความร่วมมือและความยินยอมของหน่วยงานภาครัฐ ผู้เป็นเจ้าของเอกสารในการทำวิจัยเพื่อวิเคราะห์หาหน้าที่ แสวงหาเอกสารที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงานรัฐและพลเมือง ตลอดจนประเมินระดับความสำคัญ 12 ข้อที่ Cook [12] ได้กำหนดไว้

ผู้วิจัยสามารถสรุปแนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบมหภาคได้ว่ามีหลักการสำคัญดังนี้ 1) เป็นแนวคิดที่ใช้ในการประเมินเอกสารราชการที่มีจำนวนมากและซับซ้อน 2) วัตถุประสงค์ในการประเมิน คือ การจัดเก็บเอกสารจดหมายเหตุที่แสดงหน้าที่การปฏิบัติงานของหน่วยงานรัฐ และการกระทำของพลเมืองกลุ่มต่าง ๆ ในสังคมที่มีต่อโครงการต่าง ๆ ที่รัฐดำเนินการ 3) นักจดหมายเหตุที่จะประเมินคุณค่าเอกสารต้องทำการศึกษาวิจัยเพื่อ

วิเคราะห์หาหน้าที่ของหน่วยงานเจ้าของเอกสาร และผลกระทบของโครงการต่าง ๆ ที่หน่วยงานดำเนินการต่อพลเมืองในสังคม จึงจะประเมินคุณค่าเอกสารได้ 4) เอกสารควรจัดเก็บเป็นกลุ่มตามหน้าที่ กิจกรรม และขั้นตอนการทำงานในกิจกรรมนั้น ๆ เพื่อสะดวกต่อการประเมินคุณค่า 5) เอกสารที่จะประเมินคุณค่าเพื่อจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุตามแนวคิดนี้คือ เอกสารที่แสดงหน้าที่และผลของการปฏิบัติหน้าที่นั้นที่มีต่อพลเมือง ตลอดจนปฏิบัติการของพลเมืองต่อโครงการของภาครัฐ

3.2.4 แนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Documentary Strategy

วิธีการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Documentary Strategy เป็นแนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารซึ่งออกแบบมาเพื่อประยุกต์กับภาคส่วนต่าง ๆ ในสังคมที่บันทึกเรื่องราวในรูปแบบเอกสารไว้อย่างไม่เป็นระบบ หรือยังไม่ได้รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับภาคส่วนนั้นไว้เป็นชุดเดียวกัน Samuel [14] แนะนำแนวคิดดังกล่าวว่า บุคคลสามฝ่ายคือ 1) ผู้สร้างเอกสาร หรือหน่วยงานเจ้าของเอกสาร 2) ผู้ใช้งานเอกสารจดหมายเหตุ (เช่น นักวิจัยด้านประวัติศาสตร์) และ 3) ผู้เก็บรักษาและออกให้บริการเอกสารจดหมายเหตุ (เช่น นักจดหมายเหตุ) ต้องทำงานร่วมกันเพื่อรวบรวมข้อมูลความเป็นมาของภาคส่วนนั้น และช่วยกันวิเคราะห์ว่ามีบุคคลใดที่จะเป็นผู้สร้าง บุคคลใดที่จะเป็นผู้เก็บรักษา และจดหมายเหตุใดเก็บรักษาเอกสารไว้บ้าง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวางแผนกลยุทธ์กำหนดประเด็น กำหนดกิจกรรม หรือกำหนดพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ เพื่อรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับภาคส่วนนั้นมาจัดเก็บรักษาเป็นชุดเอกสารเดียวกัน

ตัวอย่างวิธีการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Documentary Strategy เช่น กรณีศึกษาชุดเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสภาองเกรสของสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกอบด้วยเอกสารที่สร้างโดยวุฒิสภา เจ้าหน้าที่

ในสภา ที่ปรึกษา คณะกรรมการชุดต่าง ๆ สื่อมวลชน ประจำสภา และฝ่ายอื่น ๆ เอกสารเหล่านี้จัดเก็บอย่าง กระจัดกระจายที่สภาองเกรส หอจดหมายเหตุ แห่งชาติ และหอจดหมายเหตุอื่น ๆ ที่ได้รับรวบรวม เก็บเอกสารส่วนบุคคลของบรรดาวุฒิสภาและ เจ้าหน้าที่ระดับสูงของสภาองเกรสไว้ คณะกรรมการ โครงการประเมินคุณค่าเอกสารชุดสภาองเกรส ซึ่งประกอบด้วย นักจดหมายเหตุของหอจดหมายเหตุ รัฐบาล (ซึ่งมีเอกสารเกี่ยวข้องกับสภาองเกรสอยู่ ในความครอบครอง) นักจดหมายเหตุมหาวิทยาลัย (ซึ่งรับผิดชอบดูแลชุดเอกสารพิเศษ) และสมาคม นักประวัติศาสตร์ ได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าว่า สภาองเกรสมีพันธกิจหน้าที่อะไร ปฏิบัติงานตามหน้าที่ อย่างไร และเอกสารใดจำเป็นต้องใช้เพื่อสนับสนุน กิจกรรมเหล่านั้น เพื่อนำข้อมูลจากการศึกษาค้นคว้านี้ ไปกำหนดเป็นเงื่อนไขในการประเมินคุณค่าเอกสาร ที่มีอยู่และจัดเก็บอย่างกระจัดกระจายตามสถานที่ ต่าง ๆ มารวมจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ ชุดเดียวกัน [14]

แนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Documentary Strategy อาจดูเหมือนเป็นการ วิเคราะห์หาหน้าที่ของหน่วยเจ้าของเอกสารเพื่อ นำมาใช้ออกแบบแผนผังแฟ้มเอกสาร แต่ในความเป็นจริงแล้ว ตามปกติการวิเคราะห์หาหน้าที่ เป็นการดำเนินงานในระดับหน่วยงานเจ้าของเอกสาร ซึ่งวิเคราะห์หาหน้าที่ของหน่วยงานตนเองเพื่อนำไป ใช้พัฒนาระบบการจัดการเอกสารให้มีประสิทธิภาพ ตั้งแต่การสร้าง-รับ จัดเก็บ คั่นคืน และส่งทำลาย เอกสาร หรือจัดเก็บเอกสารเป็นเอกสารจดหมายเหตุ ต่อไป ในขณะที่ Documentary Strategy เป็นการทำงานร่วมกันของหลายหน่วยงาน ทั้งหน่วยงาน เจ้าของเอกสาร นักจดหมายเหตุ และผู้ใช้เอกสาร จดหมายเหตุ แต่ละภาคส่วนช่วยกันวิเคราะห์หา กิจกรรมสำคัญของหน่วยงาน และค้นหาว่ากิจกรรม

ดังกล่าวนั้นได้รับการบันทึกไว้เป็นเอกสารอยู่ที่ใดบ้าง อย่างไรก็ตาม หากหน่วยงานต่าง ๆ วิเคราะห์หาหน้าที่ ของตนเองไว้อย่างเป็นระบบก็จะช่วยสนับสนุน กระบวนการประเมินคุณค่าแบบ Documentary Strategy ได้ในขั้นตอนการวิเคราะห์หากิจกรรมสำคัญของหน่วยงานและค้นหาเอกสารที่สะท้อนกิจกรรม สำคัญนั้นเจออย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

การประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Documentary Strategy เน้นการวิเคราะห์หาหน้าที่และกิจกรรม ที่หน่วยงานปฏิบัติงาน ไม่ใช่เพียงการศึกษาประวัติ ความเป็นมาของหน่วยงาน โครงสร้างหน่วยงาน และ ตรวจสอบเอกสารของหน่วยงานว่ามีเอกสารใดบ้าง ดังนั้น ผู้ดำเนินการประเมินต้องสามารถวิเคราะห์ หาหน้าที่และกิจกรรมที่สนับสนุนหน้าที่นั้นของ หน่วยงานได้ แนวคิดดังกล่าวเป็นที่ถกเถียงในหมู่นักวิชาการถึงประเด็นท้าทายเรื่องประสิทธิภาพ การวิเคราะห์หาหน้าที่ผ่านการศึกษาเอกสารซึ่งไม่ได้ จัดเก็บเอกสารเป็นกลุ่มตามหน้าที่ของหน่วยงาน เพราะกระบวนการวิเคราะห์หาหน้าที่ของหน่วยงาน ต้องอาศัยวิธีการเก็บข้อมูลที่มากกว่าแค่การศึกษา ตัวเอกสารเท่านั้น [14]

ผู้วิจัยกล่าวโดยสรุปว่าการประเมินคุณค่า เอกสารแบบ Documentary Strategy มีแนวคิด และหลักการสำคัญ ได้แก่ 1) แนวคิดนี้ประยุกต์ใน หน่วยงานที่ต้องการจัดเก็บชุดเอกสารที่เกี่ยวข้อง กับหน่วยงาน แต่จัดเก็บอย่างกระจัดกระจายอยู่ใน สถานที่ต่าง ๆ 2) แนวคิดนี้ต้องอาศัยความร่วมมือ กันระหว่างผู้สร้างเอกสาร ผู้ใช้เอกสาร และผู้จัดเก็บ เอกสาร เพื่อช่วยกันวิเคราะห์หาหน้าที่และกิจกรรม สำคัญของหน่วยงานที่ต้องการจัดเก็บชุดเอกสาร 3) เงื่อนไขหลักในการประเมินคุณค่าตามแนวคิดนี้คือ การคัดเลือกเอกสารซึ่งสะท้อนหน้าที่และกิจกรรม ของหน่วยงานมาจัดเก็บเป็นชุดเดียวกัน แม้ว่าจะ จัดเก็บอย่างกระจัดกระจายอยู่ในสถานที่ต่าง ๆ

3.2.5 แนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Neo-Jenkinsonians

ในช่วงทศวรรษ 1990 ได้เกิดแนวคิดการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Neo-Jenkinsonians เป็นช่วงเวลาที่นักจดหมายเหตุกำลังคิดหากลยุทธ์ใหม่ในการประเมินคุณค่าเอกสาร โดยเฉพาะเอกสารรูปแบบดิจิทัลซึ่งกำลังเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว กลุ่มนักคิดที่เรียกว่า “Neo-Jenkinsonians” เสนอแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับการจัดเก็บเอกสารไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุโดยที่นักจดหมายเหตุจะไม่ไปละเมิดคุณลักษณะความเป็นเอกสาร (record) ซึ่ง Jenkinson เรียกว่าคุณลักษณะที่ทำให้เอกสารจดหมายเหตุเป็นหลักฐานที่เป็นธรรม กลุ่มนักวิชาการด้านจดหมายเหตุนำแนวคิดของ Jenkinson ที่ให้ความสำคัญกับเอกสารจดหมายเหตุในฐานะหลักฐานทางกฎหมาย และหลักฐานที่เป็นธรรม ผสานกับการศึกษาหลัก “Diplomatics” มาอธิบายคุณลักษณะและคุณค่าของเอกสารจดหมายเหตุ คำอธิบายดังกล่าวแสดงถึงพัฒนาการการสร้าง การใช้ การจัดเก็บ และการประเมินคุณค่าเอกสารเพื่อจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุได้ [10]

หลักการ “Diplomatics” เกิดขึ้นในยุโรป ตั้งแต่ยุคกลาง นักวิชาการนำมาอธิบายกระบวนการสร้างเอกสาร และส่งผ่านเอกสารไปจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ โดย “Diplomatics” กำหนดว่าเอกสารสร้างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือหรือหลักฐานในการตัดสินใจในคดีความในระบบศาลของยุโรป ดังนั้น เอกสารจึงต้องสร้างขึ้นอย่างถูกต้องตามกฎหมายที่กำหนดไว้ ต่อมาเมื่อเอกสารเหล่านั้นส่งผ่านมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ คุณค่าด้านการเป็นหลักฐานทางกฎหมายที่อยู่ในเอกสารนั้น ยังคงต้องอยู่ตลอดไป [15] - [16]

หลักการ “Diplomatics” ระบุถึงความแตกต่างระหว่างวิธีการส่งผ่านเอกสาร รูปแบบของการส่งผ่านเอกสาร และสถานะการส่งผ่านเอกสารไว้

ดังนี้ วิธีการส่งผ่านเอกสาร หมายถึง วิธีที่เราเลือกใช้เพื่อส่งเอกสาร รูปแบบการส่งผ่านเอกสาร หมายถึง สื่อหรือผลผลิตขั้นสุดท้ายที่ได้จากการส่ง และตามหลักการ “Diplomatics” ผลผลิตขั้นสุดท้ายที่ได้จากการส่งผ่าน คือ เอกสาร (record) ตัวอย่างเช่น เมื่อเราเขียนบันทึกต้นฉบับไว้ในกระดาษ ผลผลิตสุดท้ายที่ได้ออกมาคือบันทึกต้นฉบับที่ปรากฏอยู่บนกระดาษ ให้ถือว่าเอกสารกระดาษนี้ คือ บันทึกต้นฉบับ (manuscripts) แต่หากเราส่งด้วยการพิมพ์ลงไปในระบบอิเล็กทรอนิกส์ ผลผลิตสุดท้ายที่ได้ออกมาคือข้อความที่ปรากฏอยู่บนจอคอมพิวเตอร์ ให้ถือว่าข้อความที่ปรากฏอยู่ในจอคอมพิวเตอร์นั้น คือ เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ (electronic records) และสถานะการส่งผ่าน หมายถึง ความสมบูรณ์ในการส่ง ซึ่งครอบคลุมถึงวิธีการส่ง วิธีการรับ และวิธีการจัดเก็บถูกต้องตามกฎหมายและระเบียบความสมบูรณ์ดังกล่าว ทำให้เอกสารนั้นมีสถานะเป็นเอกสาร record ดังนั้น ไม่ว่าเราจะใช้วิธีการส่งในรูปแบบใด (จะพิมพ์ในกระดาษหรือจะพิมพ์ในคอมพิวเตอร์ก็ตาม) ความสมบูรณ์ในการส่งจะเป็นตัวยืนยันว่าเอกสารนั้นจะมีสถานะภาพเป็น record หรือไม่ ด้วยเหตุนี้ Dutanti [15] จึงอธิบายคุณลักษณะของเอกสารจดหมายเหตุและลักษณะคุณค่าที่ซ่อนอยู่ในเอกสารจดหมายเหตุ ซึ่งสะท้อนแนวคิดของ Jenkinson ในเรื่องหลักฐานที่เป็นธรรมและความจำเป็นในการเก็บรักษาเอกสารไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุอย่างชัดเจน Duranti [15] ได้สรุปคุณลักษณะและคุณค่าของเอกสารจดหมายเหตุไว้ 5 ประการ ได้แก่

- 1) ความเป็นธรรม (Impartiality) เอกสารจดหมายเหตุนั้นเป็นเอกสารที่สร้างและจัดเก็บตามหลักการ “Diplomatics” เพื่อใช้เป็นหลักฐานทางกฎหมาย ดังนั้น เอกสารจึงมีคุณค่าในฐานะที่เป็นหลักฐานที่เป็นธรรม ปราศจากอคติ เป็นหลักฐานขั้นต้น เพราะสร้างขึ้นยืนยันการกระทำบางอย่างที่เกิดขึ้นจริง

2) ความจริงแท้ (Authenticity) เอกสารจดหมายเหตุมีความจริงแท้ด้วยสาเหตุ 3 ประการ คือ การสร้างอย่างถูกต้องและตรวจสอบได้โดยหน่วยงานที่ต้องการใช้งาน การเก็บรักษาอย่างถูกต้องเพื่อให้นำไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง และการสงวนรักษาโดยผู้สร้างหรือหน่วยงานที่มีสิทธิ์ครอบครองเอกสารนั้นตามกฎหมาย

3) ความเป็นธรรมชาติ (Naturalness) เอกสารจดหมายเหตุไม่ได้เกิดจากความต้องการดังเช่นการสะสมผลงานศิลปะ แต่ธรรมชาติของเอกสารนั้นเกิดจากหน่วยงานเจ้าของเอกสารต้องเก็บเอกสารเหล่านี้ไว้ใช้ในการปฏิบัติงานเป็นหลัก ดังนั้นเอกสารจึงรวบรวมเป็นกลุ่มตามธรรมชาติ ไม่ใช่ตามความต้องการเพื่อสะสมไว้เป็นงานอดิเรกเหมือนการสะสมโบราณวัตถุไว้จัดแสดง

4) ความเชื่อมโยง (Interrelatedness) เอกสารจดหมายเหตุมีความเชื่อมโยงระหว่างเอกสารแต่ละฉบับตั้งแต่แรก และต้องเก็บรักษาความเชื่อมโยงนี้ไว้เพราะเอกสารแต่ละฉบับใช้เป็นหลักฐานอ้างอิงซึ่งกันและกันในการปฏิบัติงานเพื่อให้กิจกรรมเหล่านั้นสำเร็จลุล่วงไปได้

5) ความมีลักษณะเฉพาะตัว (Uniqueness) เอกสารจดหมายเหตุแต่ละฉบับมีลักษณะเฉพาะ และเอกสารจดหมายเหตุได้รับการจัดเก็บไว้เฉพาะที่ภายใต้ชุดเอกสาร ซึ่งเอกสารฉบับนั้นถือเป็นส่วนหนึ่งของชุดดังกล่าว

คุณลักษณะ และคุณค่าของเอกสารจดหมายเหตุ 5 ประการนี้ ส่งผลให้เอกสารจดหมายเหตุมีคุณค่าที่สมควรจะจัดเก็บไว้เพื่อแสดงการปฏิบัติงานของหน่วยงาน หากไม่สามารถจัดเก็บเอกสารไว้ได้ทั้งหมด และต้องคัดเลือกเอกสารบางส่วนเก็บไว้ คุณค่าที่ควรนำมาประกอบการพิจารณาคือความสัมพันธ์ระหว่างผู้สร้าง หน้าที่ และกระบวนการทำงานที่ปรากฏอยู่ในเอกสารนั้น [15]

นอกจากนี้ Duranti และ Franks [16] ได้เสนอวิธีการจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์โดยประยุกต์หลักการ “Diplomatics” และสะท้อนความสำคัญของการรักษาความเป็น record ของเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องพึงรักษาไว้ เพราะเอกสารอิเล็กทรอนิกส์เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือทางกฎหมายไม่ต่างกับเอกสารรูปแบบกระดาษ อย่างไรก็ตาม แนวคิดดังกล่าวมีการถกเถียงกันระหว่างนักวิชาการด้านจดหมายเหตุในประเด็นเรื่องการรักษาความเป็น record ของเอกสารจดหมายเหตุอิเล็กทรอนิกส์ และการรักษาคุณลักษณะ 5 ประการ ของเอกสารจดหมายเหตุตลอดจนความเป็นไปได้ที่จะจัดเก็บเอกสารทั้งหมดไว้เป็นเอกสารจดหมายเหตุ เพราะเอกสารเหล่านี้เป็นหลักฐานทางกฎหมาย เป็นหลักฐานที่เป็นธรรม และเป็นหลักฐานขั้นต้นที่ให้ข้อเท็จจริงทางประวัติศาสตร์

ผู้วิจัยสรุปว่าการประเมินคุณค่าเอกสารแบบ Neo-Jenkinsonians มีแนวคิดและหลักการสำคัญ คือ 1) เอกสารจดหมายเหตุ คือ เอกสาร (Record) ที่มีคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการ ซึ่งส่งผลให้นำเอกสารไปใช้เป็นหลักฐานทางกฎหมาย เป็นหลักฐานตรวจสอบการกระทำย้อนหลัง และเป็นหลักฐานขั้นต้นทางประวัติศาสตร์ที่ให้ข้อเท็จจริงที่ปฏิเสธไม่ได้ 2) นักจดหมายเหตุต้องสงวนรักษาเอกสารจดหมายเหตุในทุกรูปแบบ ทั้งรูปแบบกระดาษและอิเล็กทรอนิกส์ให้คงสภาพความเป็น record และมีคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการ ดังกล่าวไว้ตลอดเวลา 3) หลักสำคัญในการประเมินคุณค่าเอกสารคือ การพยายามเลือกเก็บเอกสารที่มีคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการไว้ทั้งหมด

4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 ข้อค้นพบเกี่ยวกับการรับมอบเอกสารและการประเมินคุณค่าเอกสาร

จากการเก็บข้อมูลการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยพบว่า ในปัจจุบันหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศยังไม่มีระบบการรับมอบเอกสารสิ้นกระแสการปฏิบัติงาน และยังไม่มีการประเมินคุณค่าเอกสารสิ้นกระแสการปฏิบัติงานเพื่อนำไปเก็บรักษาเป็นจดหมายเหตุด้วยเหตุนี้ จากการศึกษาศึกษาและวิเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จึงพบว่ามีแนวคิดและหลักการประเมินคุณค่าอย่างน้อย 5 วิธีการ ที่สามารถนำมาประยุกต์เพื่อวางหลักการประเมินคุณค่าเอกสารจดหมายเหตุให้กับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ แนวคิดและหลักการสำคัญซึ่งได้จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าว อันจะนำไปสู่การกำหนดเงื่อนไขและหลักการในการรับมอบเอกสารของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และในการคัดเลือกเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ มาจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุไว้ในหอจดหมายเหตุต่อไป

ผลการวิจัยที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นบ่งชี้ว่า หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ จำเป็นต้องกำหนดและสร้างองค์ประกอบหลายประการ เพื่อให้การวางระบบการรับมอบเอกสารและการประเมินคุณค่าเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม ถูกต้องตามหลักวิชาการจัดการจดหมายเหตุ

4.2 แนวทางในการจัดการระบบการรับมอบเอกสารและการประเมินคุณค่าเอกสาร

4.2.1 เงื่อนไขแนวทางการประเมินคุณค่าเอกสารที่หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้รับมอบมาจากหน่วยงานต่าง ๆ

หอจดหมายเหตุควรมีเกณฑ์ในการพิจารณาเพื่อประเมินคุณค่าว่าเอกสารควรส่งทำลายตามกฎหมายหรือควรจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุ ดังนี้ 1) ให้จัดเก็บเอกสารที่มีคุณค่าในการสะท้อนพันธกิจและหน้าที่ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ 2) มีคุณค่าในการใช้เป็นหลักฐานทางกฎหมายของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ 3) มีคุณค่าในการใช้เป็นหลักฐานตรวจสอบการปฏิบัติงานของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ 4) มีคุณค่าในการใช้เป็นหลักฐานขั้นต้นทางประวัติศาสตร์ที่สะท้อนประวัติความเป็นมาของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ 5) มีคุณค่าในการใช้เป็นแหล่งข้อมูลงานวิจัยที่สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ดำเนินการทั้งในรูปแบบการวิจัย การให้ทุนวิจัย หรือการบริการวิชาการ หรือ 6) มีคุณค่าในการใช้เป็นแหล่งข้อมูลแสดงอัตลักษณ์และวัฒนธรรมของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

4.2.2 แนวทางการวางระบบการรับมอบเอกสารของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

หอจดหมายเหตุควรมีแนวทางการปฏิบัติงานตามขั้นตอนของการวางระบบการรับมอบเอกสาร ดังนี้ 1) จัดตั้งคณะกรรมการหรือบุคลากรที่รับผิดชอบกระบวนการรับมอบเอกสารมาจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ 2) สร้างนโยบายการรับมอบเอกสารเพื่อเป็นแนวทางในการรับมอบเอกสารมาจัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุอย่างมีมาตรฐานเดียวกัน 3) ทบทวนและปรับปรุงนโยบายการรับมอบเอกสารทุกปี เพื่อความทันสมัย เป็นไปตามกฎหมาย และตอบโจทย์พันธกิจของหน่วยงาน

4.2.3 แนวทางการกำหนดลักษณะและองค์ประกอบของนโยบายการรับมือเอกสาร

หोजดหมายเหตุควรจัดทำและพัฒนา นโยบายการรับมือเอกสารจากหน่วยงานต่าง ๆ ภายในสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศเข้าสู่ หोजดหมายเหตุ โดยนโยบายที่สอดคล้องตามหลัก วิชาการควรมีรายละเอียดในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1) รายละเอียดของหोजดหมายเหตุ ซึ่งควร ปรากฏในนโยบายการรับมือเอกสาร ประกอบด้วย ประวัติความเป็นมาของหोजดหมายเหตุ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ วัตถุประสงค์ ในการจัดตั้งหोजดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ วิสัยทัศน์ พันธกิจ และนโยบายหลัก ของหोजดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ โครงสร้างหน่วยงานหोजดหมายเหตุของ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ สถานที่ตั้ง ที่อยู่ และรายละเอียดการติดต่อหोजดหมายเหตุของ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

2) อำนาจและหน้าที่ของหोजดหมายเหตุ ในการรับมือเอกสาร ควรมีรายละเอียดครอบคลุม ถึงการรับมือเอกสารตามกฎหมายของรัฐบาลด้วย การรับมือเอกสารมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ (เช่น ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยงานสารบรรณฯ พระราชบัญญัติจดหมายเหตุแห่งชาติ พ.ศ. 2556 หรือ MOU ระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ กับกรมศิลปากร กระทรวงวัฒนธรรม ฯลฯ) ทั้งนี้ อำนาจ และหน้าที่ของหोजดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศในการรับมือเอกสารควรจัดทำเป็น เอกสารลายลักษณ์อักษร โดยอาจเผยแพร่เป็นทางการ ในรูปแบบของระเบียบฯ เฉพาะของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ เพื่อเป็นแนวทางให้หोजดหมายเหตุ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศใช้อ้างอิง ในการปฏิบัติงาน เพื่อให้หน่วยงานภายในส่งมอบ เอกสารตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในตารางการ กำหนดอายุเอกสาร และหोजดหมายเหตุของสถาบัน

เทคโนโลยีป้องกันประเทศควรปรึกษาผู้บริหาร หน่วยงาน และร่างระเบียบฯ ในการปฏิบัติงานดังกล่าว เพื่อให้ผู้บริหารลงนามและใช้ระเบียบฯ ในการอ้างอิง การปฏิบัติงานด้านการรับมือเอกสารอย่างเป็น ระบบต่อไปได้

3) ทรัพยากรที่จะรับมือเข้าสู่หोजดหมายเหตุ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อาจพิจารณา ครอบคลุมถึงทรัพยากรที่ใช้ในการปฏิบัติงานของ หน่วยงานในทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ 1) เป็น เอกสารราชการหรือหนังสือราชการของสถาบัน เทคโนโลยีป้องกันประเทศที่มีครบ 7 องค์ประกอบ ของความเป็นหลักฐาน ได้แก่ เนื้อหาในเอกสาร ครบถ้วนถูกต้อง (Content) บริบทของเอกสาร ปรากฏชัดเจนว่าผู้สร้างเอกสารคือใคร เจ้าของ เอกสารคือใคร (Context) เอกสารมีโครงสร้างถูกต้อง ตามที่กฎหมายกำหนด (Structure) เอกสาร เป็นฉบับจริง ลงนามโดยผู้สร้างเอกสาร ลงเลขกำกับ เอกสารชัดเจน ปรากฏแหล่งที่มาของเอกสารอย่าง ชัดเจน และเอกสารได้ใช้งานตามวัตถุประสงค์ของ การสร้างเอกสารนั้นขึ้นอย่างแท้จริง (Authentic) เอกสารมีส่วนประกอบครบถ้วน โดยมีทั้งเอกสาร ต้นเรื่องและเอกสารแนบอยู่ร่วมกันครบถ้วน (Integral) เอกสารมีความน่าเชื่อถือ และพิสูจน์ได้ว่าเป็นเอกสาร จากผู้สร้างที่ระบุไว้ในเอกสารอย่างแท้จริง (Reliable) และเอกสารสามารถใช้งานได้ตลอดเวลาตาม วัตถุประสงค์ของการสร้างเอกสาร โดยผู้มีสิทธิ์ ใช้งานสามารถเข้าถึงและใช้งานเอกสารนั้นได้ตลอด (Usable) (หรืออาจอยู่ในสถานะการเป็นเอกสาร สำเนาหากทางหน่วยงานไม่สามารถค้นหาเอกสาร ต้นฉบับได้) 2) เป็นเอกสารที่อยู่ในแผนผังแฟ้ม เอกสารซึ่งระบุไว้ในตารางการกำหนดอายุเอกสารว่า ให้จัดเก็บถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุ หรือ 3) เป็น เอกสารที่สอดคล้องตามเงื่อนไขการประเมินคุณค่า ตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น

4) ข้อจำกัดและพันธะผูกพันตามกฎหมาย
ควรระบุรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ 4.1) กรรมสิทธิ์
ของเอกสารจดหมายเหตุเป็นของสถาบันเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศ เนื่องจากเอกสารทั้งหมดเป็นเอกสาร
ของหน่วยงานภายใต้สถาบันเทคโนโลยีป้องกัน
ประเทศ ไม่ได้รับมอบเอกสารจากหน่วยงานภายนอก
มาจัดเก็บ 4.2) เอกสารจดหมายเหตุจะออกให้บริการ
ให้แก่สมาชิกของหอจดหมายเหตุ ซึ่งได้แก่ บุคลากร
ภายในหน่วยงาน และบุคคลภายนอกซึ่งเป็นสมาชิก
ของหอจดหมายเหตุตามระเบียบฯ ที่กำหนดไว้ ดังนั้น
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศต้องออกระเบียบฯ
การใช้บริการหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศไว้อย่างชัดเจนเป็นลายลักษณ์อักษร
4.3) เอกสารจดหมายเหตุจะนำออกให้บริการได้เมื่อ
อายุครบตามที่กฎหมายกำหนด และไม่ใช่เอกสารปิด
ดงนั้น บุคลากรของหอจดหมายเหตุของสถาบัน
เทคโนโลยีป้องกันประเทศต้องกำหนดสถานะ
ของเอกสารจดหมายเหตุในคำอธิบายชุดเอกสาร
จดหมายเหตุอย่างชัดเจน การกำหนดสถานะภาพ
ดังกล่าวต้องระบุตามกฎหมายซึ่งครอบคลุมถึงอายุ
ของเอกสารครบตามระยะเวลาที่กำหนด เอกสาร
ไม่ติดชั้นความลับ และไม่เข้าข่ายเป็นเอกสารที่ได้รับ
การยกเว้นไม่ให้เปิดเผย เช่น เอกสารที่มีเนื้อหากระทบ
ความมั่นคงของรัฐและสถาบันพระมหากษัตริย์ ฯลฯ
4.4) หน่วยงานภายในสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
สามารถขอยืมเอกสารจดหมายเหตุเพื่อใช้จัดทำ
สารสนเทศประวัติศาสตร์หรือจัดนิทรรศการเผยแพร่
ประวัติศาสตร์และพัฒนาการของสถาบันได้ และ
4.5) ห้ามนำเอกสารจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาต
จากผู้บริหารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
โดยเด็ดขาด

5) ขั้นตอนการรับมอบเอกสาร สามารถ
แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนสำคัญ ดังนี้ 5.1) ขั้นตอน

การเตรียมการ ประกอบด้วย การแจ้งครบกําหนดการ
ส่งมอบเอกสารไปยังหน่วยงานต่าง ๆ หลังจากนั้น
แจ้งกําหนดการส่งมอบให้หน่วยงานต่าง ๆ รับทราบ
เพื่อเตรียมพร้อม แล้วจึงนัดหมายวันและเวลาในการ
รับมอบเอกสารมายังหอจดหมายเหตุ 5.2) ขั้นตอน
การส่งมอบ เริ่มต้นที่หน่วยงานเจ้าของเอกสารแจ้ง
บัญชีรายการเอกสารสันักระแสการปฏิบัติงานมายัง
หอจดหมายเหตุพร้อมกับเอกสารชุดดังกล่าว เมื่อนั้น
หอจดหมายเหตุดำเนินการตรวจสอบบัญชีรายการ
และชุดเอกสารที่ส่งมอบ หลังจากนั้นหอจดหมายเหตุ
และหน่วยงานเจ้าของเอกสารหารือ ตกลงรายละเอียด
การใช้งานเอกสารที่ส่งมอบเข้าสู่หอจดหมายเหตุ
ในท้ายที่สุด หน่วยงานเจ้าของเอกสารและ
หอจดหมายเหตุลงนามรับทราบข้อตกลงการ
ใช้งานเอกสารที่ส่งมอบเข้าสู่หอจดหมายเหตุ 5.3)
ขั้นตอนจัดเก็บเอกสารที่ส่งมอบ เริ่มต้นจากการที่
หอจดหมายเหตุรายงานผลการรับมอบให้หน่วยงาน
เจ้าของเอกสารและผู้บริหารของสถาบันเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศรับทราบ หลังจากนั้นหอจดหมายเหตุ
จึงลงทะเบียนรายการเอกสารที่รับมอบเข้ามายัง
หอจดหมายเหตุ และดำเนินการประเมินคุณค่า
เอกสารว่าเอกสารชุดใดจะส่งทำลายและชุดใดที่
สมควรจัดเก็บอย่างถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุ
และในขั้นตอนสุดท้ายหอจดหมายเหตุจึงลงรายการ
เอกสารที่จัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ

4.2.4 แนวทางการวางระบบการรับมอบเอกสาร ของหอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ

หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี
ป้องกันประเทศควรมีแนวทางตามขั้นตอนเหล่านี้
เพื่อให้แน่ใจว่าสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนั้น
มีระบบการรับมอบเอกสารจากหน่วยงานภายใน
มาจัดเก็บอย่างถาวรเป็นเอกสารจดหมายเหตุอย่าง

เป็นมาตรฐานและมีประสิทธิภาพ ประกอบไปด้วย ขั้นตอน ได้แก่ 1) คณะกรรมการจัดตั้งคณะกรรมการ ร่างนโยบายการรับมือเอกสารของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ 2) คณะกรรมการดำเนินการวาง ระบบการรับมือเอกสารพิจารณา ร่างนโยบาย การรับมือเอกสารของสถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศ ทั้งเอกสารที่อยู่ในรูปแบบกระดาษและ รูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ 3) สถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศจัดตั้งคณะกรรมการดำเนินการวาง ระบบการรับมือเอกสาร 4) ผู้บริหารของสถาบัน เทคโนโลยีป้องกันประเทศลงนามอนุมัตินโยบาย การรับมือเอกสารอย่างเป็นทางการ 5) สถาบัน เทคโนโลยีป้องกันประเทศประกาศใช้นโยบายการรับ มอบเอกสารอย่างเป็นทางการ 6) สถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศจัดการอบรมเกี่ยวกับการดำเนินการ ตามนโยบายการรับมือเอกสาร

5. บทสรุป (Conclusions)

จากการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพที่หลากหลาย และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามส่วนนั้น ผู้วิจัยสรุป ได้ว่า แนวทางการวางระบบการรับมือเอกสาร และประเมินคุณค่าเอกสารในหोजดหมายเหตุของ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนั้น อาจพิจารณา ดำเนินการจัดทำนโยบายการรับมือเอกสารเพื่อจัด เก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ นโยบายดังกล่าวควรมี องค์ประกอบสำคัญ 5 ประการ ดังนี้ 1) รายละเอียด ภาพรวมของหोजดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศ ระบุครอบคลุมตั้งแต่วัตถุประสงค์ ในการจัดตั้ง วิสัยทัศน์ พันธกิจ แผนปฏิบัติงาน นโยบายหลักในปัจจุบัน โครงสร้างของหोजดหมายเหตุ สถานที่ตั้ง ที่อยู่ และรายละเอียดในการติดต่อ หोजดหมายเหตุ 2) อำนาจหน้าที่ตามกฎหมายใน

การรับมือเอกสาร โดยอธิบายถึงกฎหมายและ ระเบียบที่ให้อำนาจแก่หोजดหมายเหตุในการ รับมอบเอกสารมาจัดเก็บเป็นเอกสารจดหมายเหตุ 3) ทรัพยากรหรือเอกสารที่จะรับมือเข้าสู่หोजด หมายเหตุ โดยระบุว่าเป็นเอกสารของหน่วยงานใดบ้าง เอกสารรูปแบบใดและประเภทใดที่จะรับมือ มาจากหน่วยงานเหล่านั้น โดยเงื่อนไขในการกำหนด รูปแบบและประเภทของเอกสารที่จะรับมือจะมาจากการประยุกต์ใช้แนวคิดและทฤษฎีการประเมิน คุณค่าเอกสารตามหลักวิชาการการจัดการเอกสาร และจดหมายเหตุสากล 4) ข้อจำกัดและพันธผูกพัน ตามกฎหมาย โดยระบุให้ชัดเจนในเรื่องกรรมสิทธิ์ ของเอกสาร (เช่น ใครเป็นเจ้าของเอกสาร ระยะเวลา ในการครอบครองเอกสาร และการโอนกรรมสิทธิ์ ของเอกสาร) เรื่องการใช้งานเอกสาร (เช่น เงื่อนไข ในการออกให้บริการ การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ และการนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์) เรื่องการเก็บ รักษาเอกสาร (เช่น สิทธิ์ในการกำหนดแนวทางการ จัดการ สงวนรักษา และการจัดทำสำเนา) 5) ขั้นตอน การรับมือ ควรกำหนดขั้นตอนการรับมือให้ชัดเจน ตั้งแต่ขั้นตอนเตรียมการ จนกระทั่งถึงขั้นตอน การรับมือเอกสารมาเป็นเอกสารจดหมายเหตุของ หोजดหมายเหตุอย่างสมบูรณ์

นอกจากนั้น การสร้างแนวทางสำหรับใช้ ในการวางระบบการรับมือเอกสารสิ้นกระแส การปฏิบัติงาน และการประเมินคุณค่าเอกสาร สิ้นกระแสการปฏิบัติงานนั้นจะเป็นรากฐานสำคัญ ในการสร้างหोजดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยี ป้องกันประเทศให้มีความมั่นคงยั่งยืน สอดคล้องตาม มาตรฐานสากล อีกทั้งยังเป็นต้นแบบให้แก่หน่วยงาน อื่น ๆ ในประเทศได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Williams, *Managing Archives: Foundations, Principles and Practice*. Oxford, UK: Chandos Publishing, 2006.
- [2] The National Archives of UK. "Record Collection Policy." CDN.NATIONALARCHIVES.gov.uk. <http://cdn.nationalarchives.gov.uk/documents/information-management/records-collection-policy.pdf> (accessed Mar. 31, 2023).
- [3] Parliamentary Archives. "Collection & Acquisition Policy." PARLIAMENT.uk. <http://www.parliament.uk/globalassets/documents/upload/archivesacquisitionpolicy09.pdf> (accessed Mar. 31, 2023).
- [4] H. Jenkinson, *A Manual of Archive Administration*. Oxford: Clarendon Press, 1922.
- [5] H. Jenkinson, *A Manual of Archive Administration*. London: Percy Lund, Humphries & Co Ltd, 1937.
- [6] B. L. Craig, *Archival Appraisal: Theory and Practice*, Munchen, Baryern, Germany: K. G. Saur, 2004.
- [7] R. Stapleton, "Jenkinson and Schellenberg: A Comparison," *Archivaria*, vol. 17, pp. 75 - 85, 1983 - 1984.
- [8] T. R. Schellenberg, *Modern Archives: Principles and Techniques*, Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 1956.
- [9] R. Tschan, "A Comparison of Jenkinson and Schellenberg on Appraisal," *Amer. Archivist*, vol. 65, pp. 176 - 195, 2002.
- [10] D. Hanbury, "Who Are We, What Are We?: Archival Identity, Digital Records, and the Quest for Professionalization," *J-SNCA*, vol. 13, pp. 43 - 64, 2016.
- [11] T. Cook, "We Are What We Keep; We Keep What We Are': Archival Appraisal Past, Present and Future," *J. Soc. Archivists*, vol. 32, no.2, pp. 173 - 189, 2011.
- [12] T. Cook, "Macro-appraisal and Functional Analysis: Documenting Governance rather than Government," *J. Soc. Archivists*, vol. 25, no. 1, pp. 5 - 18, 2004.
- [13] T. Cook, "Macroappraisal in Theory and Practice: Origins, Characteristics, and Implementation in Canada, 1950-2000," *Arch. Sci.*, vol. 5, pp. 101 - 161, 2005.
- [14] H. W. Samuels, "Improving our Disposition: Documentation Strategy," *Archivaria*, vol. 33, pp. 129 - 131, 1991 - 1992.
- [15] L. Duranti, "The Records: Where Archival Universality Resides," *Archival Issues*, vol. 19, no. 2, pp. 83 - 94, 1994.
- [16] L. Duranti and P. C. Franks, *Encyclopedia of Archival Science*, Lanham MD, USA: Rowman and Littlefield, 2015.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 12 / กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- 🌈 การตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม
วรกร เลื่องลือวุฒิ, กิตติกร วิริยะศาสตร์, วิชัย แผ้วเกษม, พันธุ์เทพ แก้วมงคล และ สัญญา มิตรเอม
- 🌈 การวิจัยและพัฒนาจรวดดับเพลิง
ไพศาล บุญยรัตน์, อมร พรชัย, นิกร กุหลาบอำ, พิพัฒน์ จันทิวาเจริญ,
ธีรภัทร์ กิตตินรินทร์กุล, นิธิ อนุกุลสัมพันธ์ และ ปัทพงษ์ ศรีโพธิ์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Article)

- 🌈 การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีอวกาศของชาติในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้:
โอกาสและแนวทางการพัฒนาสำหรับประเทศไทย
กนก บุณนาค

บทความวิจัย (Research Articles)

- 🌈 อุปกรณ์แปลงสัญญาณวิทยุวีเฮเอฟเป็นสัญญาณวิทยุเอสแบนด์
อนิวัฒน์ ปลอดภัย, วินัย ศีลารวม และ สาวีร์ดี บุญยะเวศ
- 🌈 การลดกลิ่นตัวบนผ้าลายพรางดิจิทัลโดยการตกแต่งสำเร็จด้วยบีตาไซโคลเดกซ์ทริน
กมุท ขวัญข้าว, อรทัย บุญดำเนิน และ อุษา แสงวัฒนาโรจน์
- 🌈 การวิเคราะห์ความเค้นความเครียดจากฟองอากาศในเนื้อดินขับเชื้อเพลิงแข็ง
โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
สุรสิทธิ์ ปาลสาร และ ทวีศักดิ์ โสภณลัคนา
- 🌈 การศึกษาภาระงานบรรจจุสารหน่วยไฟทดแทนจากกระดาษคราฟต์สำหรับเครื่องดับเพลิง
สุวิชา จันทน์กะพ้อ และ วีระชาติ กุลศิริเกษม
- 🌈 การศึกษากระบวนการจัดการเอกสารจดหมายเหตุของหอจดหมายเหตุ
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
วรภรณ์ พูลสถิตวิวัฒน์ และ พิมพพจน์ สีลาเขต
- 🌈 แนวทางการวางระบบการรับมอบเอกสารและประเมินคุณค่าเอกสาร
ณ หอจดหมายเหตุของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
วรภรณ์ พูลสถิตวิวัฒน์ และ พิมพพจน์ สีลาเขต

