

Volume 1 Issue 3, September-December 2019

ISSN 2651-0669

Defence Technology Academic Journal : DTAJ



Defence Technology Institute



รายชื่อผู้จัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

คณะที่ปรึกษา

พลอากาศเอก ดร.ปรีชา ประดับมุข

นาวาอากาศเอก คมสันต์ ประพันธ์กาญจน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พลอากาศตรี ดร.สุธี จันทพันธ์

พลตรี ดร.ชรัติ อุ่มสัมฤทธิ์

พันเอก วิทวัส สุขยางค์

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก ดร.ชำนาญ ชุมทรัพย์

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์

Professor Dr. Peter Haddawy

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิรวิภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ

รองศาสตราจารย์ ดร.ระดม พงษ์วุฒิธรรม

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.ทศพล บุญเกิน

รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ธาริบุญ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชุตินันต์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรงค์ ฉิมพาลี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ กฤษเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ สกฤตเสริมสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรประภา ภูมิเมกะกาญจนะ โรแบร์

พันเอก ดร.อรรคเดช ประทีปอุษานนท์

นาวาอากาศเอกหญิง ดร.คณินิจ อนุโรจน์

ดร.เกียรติอนันท์ ล้วนแก้ว

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหิดล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ

สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ประจำกองบรรณาธิการ

นางสาวอินทิรา จุลชาติ

นางสาวสวดีศรี ระงับพิษ

นางสาวณิสดา ประภาสทิธิ

นางสาวบุญญาภรณ์ วาณิชชาติ

นางสาวสุนันทา ไทวระ

สารบัญ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ
ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2562

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- การออกแบบจรวดประดิษฐ์โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็ง
ชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อน
ไพศาล อภินพพัฒน์ 4
- จริยธรรมในการเขียนบทความวิชาการ
นุกุลรัตน์ ลวงลายทอง และ ปิ่นกนก ชันชุลี 12

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Articles)

- การพิจารณาใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels: TRL)
สำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทย
อิสระ อมตะชีวะ 22
- Detection of small object at a distance using flickering frequency and
trajectory patterns
Sutthiphong Srigrarom 30

บทความวิจัย (Research Articles)

- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงต้นทุนต่ำโดยใช้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิไพโรล
และวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีน
ที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบเป็นขั้วแคโทดรีดอกซ์
ปณิทัต ทาลิน และ เหมื่อนฝัน กลัดแก้ว 38
- การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยสถิติภูมิศาสตร์
เบญจมาศ เดชศิริ และ อรประภา ภูมิระกาญจนะ โรแบร์ 52
- ต้นแบบเครื่องบินที่ตำแหน่งและท่าทางการบิน
วสันต์ บัณฑิตศักดิ์สกุล 62
- การพัฒนาองค์การสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ : กรณีศึกษากรมสรรพาวุธทหารอากาศ
กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่ตั้งพื้นที่ดอนเมือง
สมชัย รังสิธรรมกุล ลัญญณัฐ ภาตะนันท์ และ พิมพ์ภัส งามสันติวงศ์ 72
- การคาดการณ์การเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})
ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พื้นที่จังหวัดน่าน
พงศพัศ เกษพรหม และ พลวัตร เหมวรรณ 88
- นโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย
บดีนทร์ สันทัต 98

บทบรรณาธิการ

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่าน

วารสาร DTAJ ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 ฉบับส่งท้ายปี พ.ศ. 2562 เพื่อเข้าสู่ปี พ.ศ. 2563 มีเนื้อหาครบสมบูรณ์ประกอบด้วยบทความวิชาการ บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ และบทความวิจัย ครอบคลุมสาระสำคัญด้านการศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีป้องกันประเทศ รวมทั้งการดำเนินการอื่นที่เกี่ยวข้องหรือต่อเนื่องเพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ตามภารกิจของ สทป.

บทความวิจัยประกอบไปด้วยเนื้อหาของนโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย เป็นการนำเสนอผลการศึกษาวินิจฉัยนโยบายออฟเซตต่างประเทศที่บังคับใช้แล้วได้ผล และสร้างข้อเสนอแนะเพื่อนำไปสู่การวางนโยบายกำหนดค่าออฟเซตของประเทศไทย การบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินบนอากาศยานเพื่อความปลอดภัยด้านการขนส่งหรือโดยสารทางอากาศ เป็นการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องเพื่อแสดงเส้นทางการบินสนับสนุนแนวคิดเพื่อการพัฒนาต้นแบบเครื่องบินที่กักตำแหน่งและท่าทางการบินบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ซึ่งประจำการในกองทัพไทยมาเป็นเวลานาน และผลงานวิจัยซึ่งเป็นการศึกษาระดับของลักษณะองค์การแห่งการเรียนรู้ของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ โดยใช้แนวคิดองค์การแห่งการเรียนรู้ของ Michael J. Marquardt เป็นกรอบในการศึกษา

บทความวิชาการประกอบไปด้วยการออกแบบจรวดประดิษฐ์โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อนทดแทนเชื้อเพลิงแข็งชนิดคอมโพสิต ซึ่งจรวดประดิษฐ์ที่ออกแบบและทดสอบเบื้องต้นมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ยิงจรวดได้ เมื่อทำการทดสอบการยิงขึ้นสู่ท้องฟ้าพบว่าจรวดประดิษฐ์สามารถขึ้นได้สูงเฉลี่ยถึง 83% เมื่อเทียบกับค่าความสูงจากการคำนวณ และการแสดงให้เห็นความสำคัญของจริยธรรมในการเขียนบทความวิชาการ โดยชี้ให้เห็นการให้เกียรติเจ้าของผลงานด้วยการอ้างอิงเจ้าของบทความ บทความวิชาการนี้แนะนำให้เห็นปัญหาการทุจริตทางวิชาการที่เกิดขึ้นในแวดวงวิชาการและปัญหาที่เกิดขึ้นของนักวิจัย ความสำคัญของการทุจริตทางวิชาการ สาเหตุและแนวทางแก้ปัญหาการทุจริตทางวิชาการ

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

การออกแบบจรวดประดิษฐ์ โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อน

ไพศาล อภินพพัฒน์^{1*}

วันที่รับ 7 สิงหาคม 2562 วันที่แก้ไข 16 ตุลาคม 2562 วันที่ตอบรับ 18 ตุลาคม 2562

บทคัดย่อ

จรวดประดิษฐ์เป็นจรวดขนาดเล็กสามารถสร้างขึ้นเองได้ง่ายโดยใช้วัสดุประเภทกระดาษ พลาสติก จรวดดังกล่าวใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดคอมโพสิตเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนจรวด การทำงานของจรวดประดิษฐ์จะเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยออกจากฐานยิงในแนวตั้งและมีระบบนำกลับตัวจรวดที่ยิงขึ้นไปให้หล่นกลับมาสู่พื้นดินอย่างปลอดภัย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบจรวดประดิษฐ์โดยใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลทดแทนเชื้อเพลิงแข็งชนิดคอมโพสิตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 80 มิลลิเมตร โดยใช้วัสดุเป็นท่อกระดาษแข็งหัวจรวดทำจากโฟมโพลียูรีเทน ตรีบหางจรวดทำจากไม้บัลซ่า ระบบขับเคลื่อนเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแข็งลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกกลวงจำนวน 3 ท่อน น้ำหนักรวม 0.204 กิโลกรัม ดินขับนี้มีระยะเวลาการเผาไหม้ประมาณ 0.8 วินาที แรงขับสูงสุด 518 นิวตัน ค่าแรงดลรวม 254 นิวตันวินาที น้ำหนักจรวดรวมทั้งหมด 1.7 กิโลกรัม จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Open Rocket พบว่าที่มุมยิง 85 องศา จรวดดังกล่าวสามารถยิงไปได้สูงถึง 613 เมตร ระยะเวลาที่จรวดขึ้นไปถึงจุดสูงสุด 11.06 วินาที เมื่อทำการทดสอบจรวดจำนวน 30 นัด พบว่าจรวดสามารถยิงขึ้นไปได้สูงเฉลี่ย 506 เมตร ซึ่งคิดเป็น 83% ของความสูงจากการคำนวณ

คำสำคัญ : จรวดประดิษฐ์, เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล, ระบบขับเคลื่อน, โปรแกรม Open Rocket

¹ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ) ถนนพหลโยธิน 11120

* ผู้แต่ง, อีเมล: paisan.a@dti.or.th โทรศัพท์: 02 980 6199-207 ต่อ 2335 โทรสาร: 0 2980 6198

Designing a Model Rocket Using Sugar Propellant for Propulsion

Paisan Apinhapat^{1*}

Abstract

A model rocket is a small rocket that can be made with paper or plastic as material. Composite propellant in rocket motor is used as a source of energy to launch the rocket. The model rocket is launched in a vertical direction. A recovery system is launched from the rocket to safely fall down. The objective of this paper is designing the model rocket using sugar propellant instead of composite propellant to find out the rocket apogee compared with Open Rocket Program modeling. The rocket body is made from paper with 80 mm. diameter. Head is made from polyurethane foam. Fins are made from balsa wood. Sugar propellant in form of circular perforated propellant grain, 0.204 kg. weight, is used in the rocket motor. The propellant burning time is 0.8 seconds with maximum thrust 518 N. and total impulse 254 Ns. The total weight of the model rocket is 1.7 kg. The open Rocket program is used to calculate apogee flight and time. It was found that the apogee flight and time at 85 degree were 613 meters and 11.06 seconds. After dynamic test of the 30 model rockets, it was found that the average apogee flight was 506 meters or 83% of calculation.

Keywords : model rocket, sugar solid propellant, propulsion, Open Rocket Program

¹ Research and Development Department, Defence Technology Institute, Nonthaburi 11120.

* Corresponding Author, E-mail: paisan.a@dti.or.th, Tel: 02 980 6199-207 ext.2335, Fax: 02 980 6198

1. บทนำ

จรวดประดิษฐ์เป็นจรวดขนาดเล็กมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการฝึกยิง หรือใช้ในการเรียนการสอนกิจกรรมการสร้างจรวดและยิงจรวด เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงหลักการทำงานของจรวดการทำให้จรวดสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้นั้นอาจใช้ระบบแรงดันอากาศ ซึ่งมักเรียกว่าจรวดขวดน้ำ หรือใช้ระบบขับเคลื่อนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแหล่งพลังงานเรียกว่าจรวดเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงแข็งจะบรรจุอยู่ในท่อบรรจุเรียกว่ามอเตอร์จรวด จรวดประดิษฐ์จะถูกจุดและเคลื่อนที่ขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยออกจากฐานยิงในแนวตั้ง จรวดประดิษฐ์เป็นจรวดที่ออกแบบไว้สำหรับการยิงให้ขึ้นไปถึงความสูงไม่มากโดยมีความสูงอยู่ในช่วงประมาณ 100–500 เมตรขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิงแข็งในมอเตอร์จรวดและน้ำหนักจรวด จรวดประดิษฐ์นี้สามารถนำตัวจรวดที่ยิงขึ้นไปกลับมาสู่พื้นดินด้วยระบบนำกลับ ซึ่งสามารถออกแบบได้หลายวิธี

ขั้นตอนการทำงานของจรวดประดิษฐ์

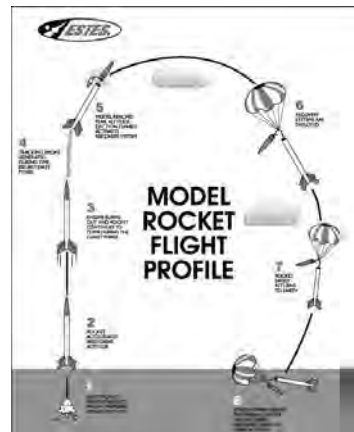
1. จรวดถูกจุดด้วยระบบไฟฟ้าและจุดดินขับในมอเตอร์จรวดทำให้เกิดเผาไหม้และให้แรงขับและความดัน เกิดการขับเคลื่อนยกตัวจรวดขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยมีควันออกจากท้ายจรวด
2. จรวดถูกเร่งความเร็วให้พุ่งสูงขึ้น ดินขับในมอเตอร์จรวดยังเกิดการเผาไหม้ให้แรงขับและความดันอย่างต่อเนื่อง สังเกตได้จากควันจากการเผาไหม้ดินขับที่ยังออกจากท้ายจรวด ยังคงมีแรงให้จรวดขับเคลื่อนพุ่งสูงขึ้นท้องฟ้าอย่างต่อเนื่อง
3. เชื้อเพลิงจรวดถูกเผาไหม้หมดทำให้ไม่มีแรงขับและความดันจากมอเตอร์จรวด แต่จรวดยังคงพุ่งขึ้นด้านแรงโน้มถ่วงของโลก สังเกตได้จากควันจากท้ายจรวดหมดไป
4. มีการเกิดควันอันเนื่องจากการเผาไหม้ของดินขับช่วงเวลา เมื่อดินขับเผาไหม้หมดจะมีส่วนหนึ่งที่ติดกับดินขับช่วงเวลาทำให้ดินขับช่วงเวลาเกิดการเผาไหม้ต่อไป และมีควันจากการเผาไหม้เกิดขึ้นพอมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ไม่มากเท่าดินขับในมอเตอร์จรวด

5. จรวดขึ้นไปจุดสูงสุด ดินขับปะทุทำงานดันระบบร่อนออกจากจรวด เป็นช่วงเวลาที่ดินขับหน่วงเวลาไปเผาไหม้ดินขับปะทุ ซึ่งอยู่ติดกัน ช่วงเวลานี้ต้องคำนวณปริมาณดินขับช่วงเวลาให้เหมาะสมกับเวลาที่จรวดจะขึ้นไปจุดที่สูงที่สุด ไม่เช่นนั้นดินขับปะทุจะทำงานก่อนหรือหลังจากที่จรวดขึ้นไปจุดสูงสุดแล้ว

6. ระบบนำกลับด้วยร่มทำงานเมื่อดินขับปะทุทำงานแล้ว ระบบร่มจะถูกดันออกมาและทำหน้าที่ในการหน่วงความเร็วของตัวจรวดทั้งหมดให้ตกลงสู่พื้นอย่างช้าๆ

7. จรวดหล่นกลับสู่พื้นด้วยความเร็วต่ำ ระบบร่มที่ทำงานได้ปกติจะช่วยให้จรวดหล่นกลับสู่พื้นอย่างช้าๆ

8. ส่วนประกอบภายนอกของจรวดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เมื่อส่วนประกอบของตัวจรวดหล่นสู่พื้นอย่างช้าๆ ชิ้นส่วนทั้งหมดจึงอยู่ในสภาพดี สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



รูปที่ 1 รูปแสดงการทำงานของจรวดประดิษฐ์ [1]

ชิ้นส่วนจรวดประดิษฐ์ควรสร้างจากวัสดุที่มีอันตรายน้อย เช่น การใช้ท่อกระดาษ แผ่นพลาสติก ไม้บัลซ่า และมอเตอร์จรวดควรมาจากโรงงานที่ได้มาตรฐานและมีการรับรองคุณภาพ ควรมีระบบร่มชูชีพในจรวดเพื่อใช้เป็นระบบในการนำตัวจรวดกลับมาสู่พื้นดินอย่างปลอดภัย และอาจนำจรวดนั้นกลับมาใช้ใหม่ได้ ผู้ทำจรวดไม่มีความจำเป็นต้องทำการผสมหรือสร้างดินขับจรวด ซึ่งเป็นวัตถุระเบิด

ด้วยตัวเองหากสามารถหาซื้อดินขับได้ ประเทศสหรัฐอเมริกาชุดมอเตอร์จรวดและชุดประกอบจรวดสามารถหาซื้อได้ทั่วไปในร้านขายของเล่นชุดประกอบจรวดเหล่านี้มีหลายขนาดเพื่อให้เหมาะกับช่วงอายุของผู้สร้างและให้เกิดความท้าทายที่แตกต่างกัน แต่สำหรับประเทศไทยยังถือว่าเป็นยุทธภัณฑ์ที่ไม่สามารถจำหน่ายทั่วไปได้ ขนาดของมอเตอร์ซึ่งมีการกำหนดโดยสมาคมจรวดประติษฐ์แห่งสหรัฐอเมริกา, National Association of Rocketry (NAR) [2] จะเริ่มจากขนาด 1/4A ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กที่สุดจนถึงขนาด G ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุด แต่หากขนาดมากกว่านี้จะไม่เรียกว่าจรวดประติษฐ์ แต่จะเรียกว่าจรวดพลังสูง (High Power Rocket)

ข้อกำหนดของจรวดประติษฐ์สำหรับใช้ในการดำเนินการครั้งนี้คือ การสร้างจรวดเพื่อใช้ในกิจกรรมค่ายวิทย์จรวดประติษฐ์ปี 2562 กิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมได้เรียนรู้หลักการทางอากาศยานศาสตร์ของจรวด ได้เรียนรู้เรื่องของระบบขับเคลื่อนของจรวด ได้ออกแบบและทดลองสร้างจรวดและยิงจรวดกำหนดให้จรวดทำจากท่อกระดาษ ระบบขับเคลื่อนในมอเตอร์จรวดเป็นเชื้อเพลิงแข็ง จรวดต้องสามารถยิงขึ้นไปในแนวตั้งโดยมีความสูงมากกว่า 400 เมตร และมีการปล่อยร่มชูชีพเพื่อนำตัวจรวดกลับมาสู่พื้นอย่างปลอดภัย ดินขับที่นำมาใช้แต่เดิมเป็นดินขับที่พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ หรือ สทป. เรียกว่าดินขับชนิดคอมโพสิต ซึ่งนับเป็นยุทธภัณฑ์หรือวัตถุระเบิดแบบหนึ่ง เมื่อทางคณะผู้บริหารได้มีการศึกษาดูงานที่ประเทศญี่ปุ่น และเห็นว่าการสร้างจรวดขนาดเล็กที่เรียกว่า Candy Rocket ซึ่งเป็นจรวดที่ใช้น้ำตาลเป็นส่วนผสมของดินขับ มีไว้สำหรับสอนเยาวชนรอบๆ พื้นที่ จึงได้ให้นโยบายการทำดินขับเชื้อเพลิงแข็งที่ทำจากน้ำตาล ในการนี้จึงได้มีการออกแบบจรวดเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด จากข้อกำหนดข้างต้นระบบขับเคลื่อนที่ออกแบบจึงใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นรูปทรงกระบอกกลวง [3] ทำการจุดด้วยระบบจุดไฟฟ้า โดยมีตัวจุดจรวด (igniter) เป็นสารไพโรเทคนิคจำนวนหนึ่งเป็นตัวจุดนำ ระบบปล่อยร่มชูชีพประกอบด้วยตัวหน่วงเวลาสามารถหน่วงเวลาหลังจากที่เริ่มมีการเผาไหม้ของดินขับได้ประมาณ 10 วินาที

ซึ่งเป็นเวลาที่จรวดได้ขึ้นไปถึงจุดสูงสุดแล้ว จากนั้นดินขับที่ทำหน้าที่เป็นตัวจุดระเบิดเพื่อดันให้ระบบร่มชูชีพทำงาน และนำตัวจรวดทั้งหมดกลับสู่พื้นดินอย่างช้าๆ จากข้อมูลดังกล่าวจึงต้องมีการออกแบบระบบหลัก 2 ระบบ คือ 1. ระบบขับเคลื่อนจรวดโดยใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล และ 2. ระบบปล่อยร่มชูชีพ ซึ่งจะต้องมีการหน่วงเวลา และมีการผลักดันให้นำตัวจรวดลงมาอย่างปลอดภัย โดยทั้งสองระบบจะเป็นดินขับบรรจุรวมอยู่ในมอเตอร์จรวด [4] ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบจรวดประติษฐ์โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อนให้สามารถยิงขึ้นสู่ท้องฟ้าได้สูงกว่า 400 เมตร

2. การออกแบบจรวดประติษฐ์

2.1 ส่วนประกอบของตัวจรวด

การออกแบบจรวดประติษฐ์เริ่มต้นจากการกำหนดรูปร่างจรวดแบบคร่าวๆ โดยมีส่วนประกอบหลักสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1.1 หัวจรวด

ส่วนของหัวทำจากวัสดุเป็นโฟมโพลียูรีเทน ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถเหลาขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา ในการสร้างจรวดนี้หากต้องมีการถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับให้จรวดสมดุลจะใช้ดินน้ำมันใส่เข้าไปในส่วนของหัวจรวด เพื่อทำให้จรวดเคลื่อนที่อย่างเสถียร กำหนดให้หัวจรวดหนัก 50 กรัม ความยาว 100 มิลลิเมตร

2.1.2 ลำตัวจรวด

กำหนดเป็นท่อกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 80 มิลลิเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ความยาวของจรวดตามลักษณะของจรวดที่ดีควรมีความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของจรวดนั้นๆ กำหนดให้ท่อจรวดหนัก 400 กรัม ยาว 1,000 มิลลิเมตร ภายในลำตัวจรวดจะต้องมีส่วนอื่นๆ อันได้แก่ ร่มชูชีพ กระดาษทิชชูกั้นไฟ กระบอกสูบ และมอเตอร์จรวดตามลำดับ ร่มชูชีพจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไรขึ้นอยู่กับน้ำหนักของจรวดและความเร็วในการตกของจรวด ในที่นี้ร่มชูชีพจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 900 มิลลิเมตร ร่มชูชีพพร้อมเชือกร่มจะวางไว้ตำแหน่งต่อจากหัวจรวด กำหนดให้ร่มหนัก 200 กรัม ตำแหน่งที่ 300-400 มิลลิเมตร

จากหัวจรวด ตำแหน่งถัดมาเป็นกระดาศทึชชูกันไฟ เพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันไม่ให้ไฟและความร้อนจากดินขับปะทุที่ใช้ดันระบบร้อมออกจากจรวดไปทำลายหรือเผากระดาศทึชชูกันไฟทำจากกระดาศทึชชูผสมกับสารละลายของเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ฝังให้แห้ง จากนั้นตำแหน่งถัดไป ได้แก่ กระบอกสูบ ใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยดันให้ร้อมออกจากตัวจรวดด้วยแรงจากการเผาไหม้ดินดำที่บรรจุไว้ในส่วนหัวของมอเตอร์จรวด ความยาวของกระบอกสูบขึ้นอยู่กับช่องว่างที่เหลืออยู่ในลำตัวจรวด หากมีช่องว่างมากกระบอกสูบจะยาวกำหนดให้กระบอกสูบหนัก 100 กรัม ความยาว 200 มิลลิเมตร อยู่ในตำแหน่งที่ 400-600 มิลลิเมตร จากหัวจรวดตำแหน่งสุดท้ายในลำตัวจรวด ได้แก่ ส่วนของมอเตอร์จรวด ทำหน้าที่เป็นระบบขับเคลื่อนให้จรวดเคลื่อนที่ไปยังหน้า มีส่วนประกอบย่อย ได้แก่ ดินดำ ทำหน้าที่เป็นดินปะทุเพื่อดันระบบร้อมออกจากตัวจรวด ดินหน่วงเวลาทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงเวลาให้กับการจุดตัวของดินดำ ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานในการเคลื่อนที่ของจรวด และตัวจุดจรวดทำหน้าที่เป็นตัวจุดเริ่มต้นของระบบขับเคลื่อน กำหนดให้มอเตอร์จรวดหนัก 800 กรัม ตำแหน่งที่ 600-900 มิลลิเมตร ทั้งหมดนี้บรรจุรวมกันในมอเตอร์จรวด

2.1.3 ชิ้นส่วนครีป

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รักษาสมดุลจรวดและสร้างเสถียรภาพให้กับเคลื่อนที่ของจรวด วัสดุที่ใช้ทำครีปจะเป็นไม้บัลซ่าความหนาประมาณ 5-6 มิลลิเมตร ไม้บัลซ่าเป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีความเบาและสามารถตัดเป็นชิ้นงานได้ง่าย ส่วนใหญ่มักนำมาทำแบบบ้านจำลอง เมื่อนำมาทำเป็นชิ้นส่วนครีปของจรวดรูปร่างทั่วไปจะเป็นครีปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมคางหมูก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ จำนวนครีปเริ่มตั้งแต่ 2 ครีปขึ้นไป แต่โดยทั่วไปมักออกแบบเป็น 3 หรือ 4 ครีป เนื่องด้วยข้อจำกัดของของฐานยิงที่ออกแบบไว้จรวดนี้จึงกำหนดให้เป็น 4 ครีปเท่านั้น ไม้บัลซ่าจะมีแนวของเนื้อไม้อยู่ในทิศทางหนึ่ง หากนำมาใช้ต้องพิจารณาแนวไม้ให้ดี เพื่อให้ชิ้นส่วนครีปมีความแข็งแรงต่อแรง

ปะทะของอากาศ แนวไม้ต้องตั้งฉากกับความยาวของตัวจรวด หรืออย่างน้อยแนวไม้ต้องไม่ขนานกับความยาวของตัวจรวด เพราะเมื่อยิงขึ้นไปแล้วแนวทิศทางที่ปะทะกับอากาศจะทำให้ครีปหักได้ง่าย กำหนดให้ครีปทางทั้ง 4 ครีปหนัก 50 กรัม

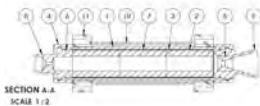
2.2 ระบบขับเคลื่อน

มอเตอร์จรวดที่ใช้กับจรวดประดิษฐ์เป็นมอเตอร์ที่ใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อน มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 35.8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร แท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลมีผิวนอกเป็นท่อพีวีซี การเผาไหม้ของดินขับนี้โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิว [5] เกิดขึ้นใน 2 ทิศทางพร้อมกันคือ พื้นผิวตามแนวรัศมี และพื้นผิวตามแนวยาว ดินขับนี้บรรจุอยู่ในมอเตอร์จรวดจำนวน 3 ท่อน โดยมีน้ำหนักแท่งดินขับรวม 0.204 กิโลกรัม ลักษณะแท่งดินขับเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงรูปร่างแท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล

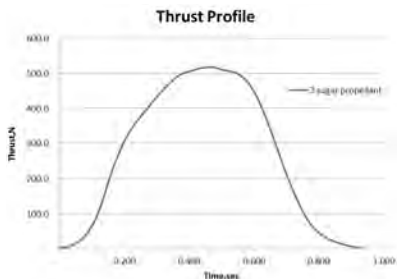
มอเตอร์จรวดซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อนประกอบมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 3 ภายในจะบรรจุแท่งเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลจำนวน 3 ท่อน และด้านหัวจะมีดินหน่วงเวลาและดินขับปะทุเพื่อใช้ดันร้อมให้ออกจากตัวจรวดเป็นระบบนำกลับจรวด ส่วนด้านท้ายเป็น nozzle ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	motor case	1
2	propellant	3
3	propellant cases	3
4	holder	2
5	graphite	1
6	O-ring ID34.65 CS1.78 or ID33.01, CS1.78	2
7	insulation tube	1
8	Headplug/rocket	1
9	nozzle	1
10	wooden ring holder	1
11	wooden ring	2

รูปที่ 3 ลักษณะของมอเตอร์จรวด
ซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล

ในการใช้โปรแกรมเพื่อคำนวณชิปนวิธิภายนอกของจรวด จำเป็นต้องทราบรูปร่างแรงขับของมอเตอร์จรวดก่อน จึงได้ทำการทดสอบภาคสถิติเพื่อหารูปร่างแรงขับซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 มอเตอร์นี้มีแรงขับสูงสุดที่ 518 นิวตัน พื้นที่ใต้กราฟคือแรงดลรวม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 254 นิวตันวินาที



รูปที่ 4 กราฟแสดงรูปร่างแรงขับของการเผาไหม้
เชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาล 3 ท่อน

2.3 โปรแกรม Open Rocket

จรวดที่ดีจะต้องมีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ โดยเกิดความสมดุลของตำแหน่งจุดสองจุด คือจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity, CG) และจุดศูนย์กลางแรงดัน (Center of Pressure, CP) จรวดที่มีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์จะมีตำแหน่งของ CG อยู่หน้า CP ประมาณเท่ากับหรือมากกว่า 1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลำตัวจรวด เสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์มีความสำคัญมากสำหรับจรวดประดิษฐ์ คือเมื่อมีลมมาปะทะจรวดจะเสียการทรงตัว

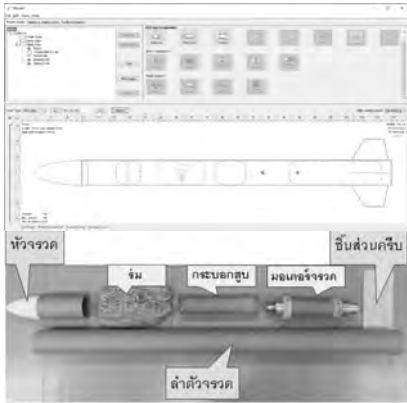
เล็กน้อยโดยเอียงไปตามแรงลม แต่ด้วยเสถียรภาพทางอากาศที่จรวดมี จรวดจะเอียงกลับคืนมาในทิศทางเดิม ในทางตรงกันข้ามหากจรวดไม่มีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ จรวดจะเคลื่อนที่ไม่ตรง สายไปมา มีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ หรืออาจจะควงหันกลับมาที่พื้นเลยก็เป็นได้

การเลือกใช้โปรแกรม Open Rocket ซึ่งเป็นโปรแกรมสาธารณะ ใช้ในการคำนวณชิปนวิธิภายนอกของจรวดมาใช้ในการออกแบบจรวดและใช้คำนวณตำแหน่ง CP และคำนวณวิถีการยิง ระยะในแนวราบ ความสูงระยะเวลาที่จรวดอยู่ในอากาศ ลักษณะของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โปรแกรม Open Rocket

ข้อมูลที่ต้องใส่ได้แก่ ความยาวของจรวด น้ำหนักรวม กำหนดชนิดวัสดุ รูปร่าง น้ำหนัก และตำแหน่งที่ติดตั้งของชิ้นส่วนจรวดแต่ละชิ้น ในโปรแกรมจะมีชนิดและรูปร่างวัสดุของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นให้ไว้ ในการออกแบบครั้งนี้เมื่อได้แบบคร่าว ๆ แล้วทำการวาดรูป กำหนดสัดส่วนต่าง ๆ ใส่ข้อมูลลงในโปรแกรม รูปร่างจรวดที่ออกแบบไว้จะถูกนำไปคำนวณตำแหน่งของ CP ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นเสมือนจุด ๆเดียวที่เทียบเท่าแรงและโมเมนต์เพียงแรงเดียวกระทำต่อจรวดทั้งลูกนี้ ลักษณะของตำแหน่ง CG, CP บนจรวดในโปรแกรมและส่วนประกอบของจรวดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งและชิ้นส่วนต่างๆ ของจรวด
จากในโปรแกรมและชิ้นงานจริง

จากรูปร่างจรวดข้างต้นทำการสร้างชิ้นงานแต่ละชิ้นให้เป็นไปตามแบบทั้งในส่วนหัวจรวดลำตัวจรวดและชิ้นส่วนครีป นำส่วนประกอบทั้ง 3 ส่วนมาประกอบรวมกันทำการติดกาวชิ้นส่วนครีปกับลำตัวจรวดแล้วทิ้งให้แห้ง จากนั้นประกอบส่วนประกอบภายในจรวด สุดท้ายประกอบมอเตอร์จรวดจำลองเข้าไป จรวดที่จะสร้างขึ้นนี้มีน้ำหนักประมาณ 1.5 – 1.9 กิโลกรัม

จากการออกแบบด้วยโปรแกรมทำให้ทราบว่าจรวดมีตำแหน่ง CP อยู่ที่ไหน เมื่อประกอบจรวดครบชุดแล้วจึงกำหนดตำแหน่งของ CG เพื่อให้จรวดเกิดความเสถียรในการเคลื่อนที่ตำแหน่ง CG จึงทำได้โดยการนำเชือกมาผูกห้อยที่จรวดแล้วปรับให้จรวดอยู่ในตำแหน่งขนานกับพื้นจากนั้นจึงตรวจสอบดูว่าเป็นตำแหน่งของ CG ที่กำหนดไว้หรือไม่ หากตำแหน่งของเชือกอยู่หน้าตำแหน่ง CG ที่กำหนดไว้แสดงว่าน้ำหนักส่วนหัวมีมากเกินไป ให้ลดน้ำหนักส่วนหัวและ/หรือเพิ่มน้ำหนักส่วนท้าย ในทางกลับกัน หากตำแหน่งของเชือกอยู่หลังตำแหน่ง CG ที่กำหนดไว้แสดงว่าน้ำหนักส่วนหัวน้อยเกินไป ให้เพิ่มน้ำหนักส่วนหัวและ/หรือลดน้ำหนักส่วนท้าย ส่วนใหญ่จรวดที่ทำออกมาจะมีน้ำหนักส่วนหัวจรวดที่เบา จึงใช้วิธีในการถ่วงน้ำหนักด้านหัวจรวดโดยใช้ดินน้ำมันเป็นตัวเพิ่มน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม การเพิ่มน้ำหนักดินน้ำมันก็เป็นการเพิ่มน้ำหนักรวมของจรวดซึ่งส่งผลให้จรวดจะยิงได้สูงน้อยกว่าจรวดที่เบากว่า

3. ผลของการออกแบบและการทดสอบ

ลักษณะของจรวดประดิษฐ์ที่ออกแบบและสร้างโดยมีหัวจรวดทำจากโฟม ลำตัวเป็นท่อกระดาษ และครีปหางจรวดเป็นไม้บัลซ่า มีรูปร่างดังรูปที่ 7

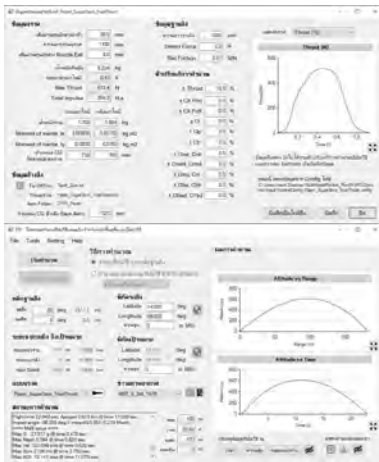


รูปที่ 7 ลักษณะของจรวดประดิษฐ์
ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมา

หัวจรวดมีรูปร่างแบบ Elliptical ท่อกระดาษทำให้มีผิวเรียบมากที่สุด ส่วนครีปหางทำเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมคางหมูและติดเทปอลูมิเนียม ทั้งหมดนี้เพื่อช่วยให้หัวจรวดมีแรงต้านอากาศน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้

ก่อนนำจรวดประดิษฐ์ไปยิงทดสอบต้องมีการทดสอบความเสถียรของจรวดโดยนำเชือกมาผูกไว้ที่ตำแหน่ง CG ของจรวดแล้วทำการแกว่งหมุนจรวดโดยมีความยาวของเชือกประมาณ 1-2 เมตรให้ท้ายจรวดอยู่ด้านหน้า จรวดที่มีความเสถียรเมื่อทำการแกว่งหมุนแล้วหัวจรวดจะกลับมาอยู่ด้านหน้า จรวดที่ทดสอบความเสถียรแล้วสามารถนำไปใช้เพื่อการยิงจรวดได้ อีกประการหนึ่งต้องมีการตรวจสอบการยึดชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของจรวดเข้าด้วยกัน ได้แก่ หัวโฟมต้องมีความแน่นระดับหนึ่งและสามารถออกแรงดึงเบา ๆ ที่หัวโฟมให้หลุดออกจากท่อจรวดได้ ส่วนครีปหางต้องได้สมมาตรกับท่อจรวดและมีระยะห่างของแต่ละชิ้นที่เท่ากัน ไม่เช่นนั้นจรวดที่ยิงขึ้นไปอาจจะเสียเบนทิศทางได้ และครีปหางต้องติดแน่นกับตัวจรวด เนื่องจากในขณะที่ยิงจรวดขึ้นไปจะมีแรงเฉื่อยคอยดึงชิ้นส่วนจรวดไว้ หากติดไม่ดีจะทำให้ครีปหางหลุดออกจากตัวจรวดในขณะที่ยิงจรวดได้ และทำให้จรวดไม่เสถียรและทิศทางเปลี่ยนไป ทั้งหมดนี้จึงจะถือว่าจรวดที่ออกแบบมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้ยิงจรวดได้

ในการคำนวณขึ้นวิสัยในของจรวดกำหนดให้
จรวดมีน้ำหนักอยู่ที่ 1.7 กิโลกรัม น้ำหนักดินขับที่ 0.204
กิโลกรัม มุมยิง 85 องศา ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปแสดงข้อมูลของจรวดและ
ผลการคำนวณขึ้นวิสัยภายนอก

จากรูปที่ 8 ซึ่งคำนวณด้วยโปรแกรมได้ผลว่าจรวดนี้
สามารถยิงขึ้นไปได้สูงถึง 613 เมตร และขึ้นไปได้สูงสุดที่เวลา
11.06 วินาที ได้มีการสร้างจรวดประดิษฐ์จำนวน 30 นัด
และทำการทดสอบยิงเพื่อดูความสมบูรณ์ในการทำงาน
ของจรวดประดิษฐ์รวมถึงความสูงของจรวดประดิษฐ์แต่ละ
นัด เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจรวดประดิษฐ์ดังกล่าว
ลักษณะการทดสอบแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการยิงทดสอบจรวดประดิษฐ์
เพื่อวิเคราะห์การทำงานและความสูง

ผลการทดสอบที่นำมาวิเคราะห์ความสูงนั้นจะเลือก
เฉพาะจรวดที่ขึ้นไปแนวตั้งและทิศทางไม่ผิดเพี้ยนอันเนื่อง
มาจากความไม่เสถียรของตัวจรวดตามข้อกำหนดที่ให้ไว้ก่อน
หน้านี้ จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าความสูงของจรวดนัด
ที่สูงที่สุดขึ้นไปได้ถึง 645 เมตร จรวดนัดที่ต่ำที่สุดขึ้นไปถึง
336 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยความสูงที่ 506 เมตร คิดเป็น 83%
ของความสูงจากการคำนวณ และมีค่าเบี่ยงเบนที่ 62 เมตร

4. สรุปผลการทดลอง

จรวดประดิษฐ์ที่ออกแบบและทดสอบเบื้องต้นมี
ประสิทธิภาพในการนำไปใช้ยิงจรวดได้ และเมื่อทำการ
ทดสอบการยิงขึ้นสู่ท้องฟ้าพบว่าจรวดประดิษฐ์สามารถ
ขึ้นได้สูงเฉลี่ย 506 เมตร คิดเป็น 83% เมื่อเทียบกับค่า
ความสูงจากการคำนวณ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนงานวิศวกรรมระบบขับเคลื่อน
ส่วนงานวิศวกรรมอากาศยาน ฝ่ายวิจัยและพัฒนา
และส่วนปฏิบัติการระบบขับเคลื่อน ฝ่ายโรงปฏิบัติการ
สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็น
ประโยชน์และช่วยทำการทดสอบทดลองและเก็บข้อมูล
มาดำเนินงานด้านการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Estes Industries, Colorado, USA, URL: <https://www.estesrockets.com/customer-service/faq/>, access on 16/05/2018.
- [2] National Association of Rocketry, USA, URL: <https://www.nar.org/>, access on 16/05/2018.
- [3] ไพศาล อภิณหพัฒน์ (2561). การออกแบบแท่งดินขับ
ทรงกระบอกกลวงในมอเตอร์จรวดขนาดเล็กสำหรับรูปร่างแรงขับ
แบบสมดุล, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง
ประเทศไทย ครั้งที่ 32, จังหวัดมุกดาหาร
- [4] ไพศาล อภิณหพัฒน์ (2561). จรวดประดิษฐ์
สำหรับโครงการค่ายวิทยาศาสตร์จรวดประดิษฐ์ปี 2560,
วารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, ม.ค.-มี.ค. 2561, หน้า 104-109
- [5] Sutton, G.P., and Biblarz, O. (2010), Rocket
Propulsion Elements. 7th Edition, John Wiley&Sons, ISBN:
978-04470-08024-5, pp. 426

จริยธรรมในการเขียนบทความวิชาการ

นุกุลรัตน์ ลวงลายทอง^{1*} และปิ่นกนก ชันชูลีย์^{1*}

วันที่รับ 20 ธันวาคม 2562 วันที่แก้ไข 11 มกราคม 2563 วันตอบรับ 28 มกราคม 2563

บทคัดย่อ

จริยธรรมในการเขียนบทความวิชาการเป็นสิ่งที่ควรคำนึงและให้เกียรติเจ้าของงานหรือการอ้างอิงบทความ หากละเลยหรือส่อไปทางทุจริต ในแวดวงวิชาการถือว่าการประพฤติมิชอบ หน่วยงานที่กำกับดูแลต้องมาดูแล และกวดขัน มีบทลงโทษให้เด็ดขาด เพื่อไม่ให้มีการประพฤติชั่ว ๆ บทความนี้ผู้เขียนขอเสนอให้เห็นปัญหาการทุจริตทางวิชาการที่เกิดขึ้นในแวดวงวิชาการและปัญหาที่เกิดขึ้นของนักวิจัย ความสำคัญของการทุจริตทางวิชาการ สาเหตุ และแนวทางแก้ปัญหาการทุจริตทางวิชาการ

คำสำคัญ : จริยธรรมในการวิจัย, ทุจริตทางวิชาการ, ความไม่สุจริตทางวิชาการ, โครงการทางวิชาการ

¹ ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: nukulrat.l@dti.or.th, pinkanok.k@dti.or.th

Ethics In Academic Paper Writing

Nukulrat Launglaythong^{1*} and Pinkanok Khanchulee^{1*}

Abstract

Ethics in academic writing is something that should be considered not only to pay respect to the owner but also to the reference of the article. Neglecting or corruption in academic circles is considered as misconduct. Regulatory bodies must oversee and set a strict measure with distinct penalties. There should follow a definitive penalty for any misconducts of ethics in academic writing. To prevent repeated behavior, the authors present the problems of academic corruption in academic circles and the problems that could involve researchers in case of the misconducts. The significance of the academic corruption is also presented with causes and solutions to the academic corruption being clarified.

Keywords : Research ethics, Academic fraud, Academic dishonesty, Academic plagiarism

¹ Knowledge and Publication Management Department, Defence Technology Institute.

* Corresponding author, E-mail: nukulrat.l@dti.or.th, pinkanok.k@dti.or.th

1. ความเป็นมา

การวิจัยมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมเป็นอย่างยิ่ง หากงานวิจัยที่ปรากฏสู่สาธารณชนมีความเที่ยงตรง นำเสนอสิ่งที่เป็นความจริง สะท้อนให้เห็นสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ก็จะทำให้ได้มาซึ่งงานวิจัยที่ดี มีคุณภาพ จำเป็นต้องมีส่วนประกอบสำคัญหลายประการ นอกจากการดำเนินตามระเบียบวิธีการวิจัยอย่างมีคุณภาพแล้ว คุณธรรมหรือจรรยาบรรณของนักวิจัยเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งประการหนึ่งที่เกี่ยวข้องต้องตระหนัก หากละเลยไม่ให้ความสำคัญกับปัญหาที่เกิดขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่ออย่างมากในแวดวงการศึกษาของไทย

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) สังกัดกระทรวงกลาโหม มีหน้าที่และความรับผิดชอบตามพระราชบัญญัติจัดตั้งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562 [1] ในการศึกษา ค้นคว้า และดำเนินการวิจัยโครงการขนาดใหญ่ด้านยุทธโศปกรณ์ที่ต้องใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูง ทำการวิจัยและพัฒนาจากระดับที่มีองค์ความรู้อยู่แล้ว ไปยังระดับที่มีความซับซ้อนขึ้น อาทิ การวิจัยและพัฒนาจรวด ยานรบหุ้มเกราะ กระสุนปืน ทุ่นยนต์เก็บกู้วัตถุระเบิด เป็นต้น พร้อมทั้งเพิ่มพูนองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน โดย สทป. ได้ร่วมกับหน่วยงานวิจัยกระทรวงกลาโหม หน่วยงานวิจัยต่าง ๆ สถาบันการศึกษา ภาคเอกชน และภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนรับถ่ายทอดเทคโนโลยีจากบริษัทผู้ผลิตทำการพัฒนาด้านแบบยุทธโศปกรณ์ และต้นแบบอุตสาหกรรม เพื่อการพัฒนาให้เป็นไปตามความต้องการของเหล่าทัพและนำไปสู่การพัฒนาแบบอุตสาหกรรมภายในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

การวิจัยทางด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นการวิจัยเฉพาะทางที่มีการรับรู้เฉพาะกลุ่มในระดับกองทัพหรือผู้เชี่ยวชาญที่รับผิดชอบงานโครงการนั้น การเผยแพร่ข้อมูลวิจัยยังอยู่ในวงจำกัด ดังนั้นการที่นักวิจัยอ้างถึงแหล่งที่มาในบทความวิชาการยังอยู่ในวงแคบ อาจจะยังไม่ชัดเจน เนื่องด้วยงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศเป็นข้อมูลลับระดับการเข้าถึงข้อมูลมีหลายระดับและจำกัดให้เข้าถึงเฉพาะผู้ใช้ข้อมูลบางกลุ่ม การอ้างถึงข้อมูลจะต้องระมัดระวังสูง ข้อมูลที่ได้บางแหล่งสามารถเปิดเผยได้บางส่วนเท่านั้น ส่งผลให้การอ้างอิงข้อมูลเสี่ยงต่อความประพฤติผิดมิชอบทางวิชาการ สอดคล้องกับการศึกษาของกิตติยา สุทธิประภา

[2] ได้อธิบายความสำคัญของจริยธรรมในงานวรรณกรรมสาเหตุของการโจรกรรมทางวรรณกรรม มี 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) ไม่อ้างอิงแหล่งที่มา 2) อ้างอิงแหล่งที่มาแต่จัดอยู่ในขาละเมิดจรรยาบรรณ จากการศึกษาการวิเคราะห์การอ้างอิงในบทความวิชาการของนักวิจัย สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2559-2560 ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ในปี 2559 มีการอ้างอิงบรรณานุกรมในท้องสมุดของ สทป. ร้อยละ 44 และในปี 2560 อ้างอิงร้อยละ 56 นับว่ามีการอ้างอิงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [3] จากกระแสเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่นักวิจัยสามารถเข้าถึงแหล่งความรู้ได้ทุกที่ ทุกเวลา ไม่จำกัดความรู้ไม่ได้มีเฉพาะในท้องสมุด นักวิจัยสามารถหาข้อมูลได้ทุกที่ หากมีการเชื่อมโยงอินเทอร์เน็ต ส่งผลให้การอ้างอิงแหล่งที่มาบางแหล่งไม่ชัดเจน หรือละเลยการให้เครดิตเจ้าของผลงาน อย่างไรก็ตาม ความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศก็นำมาสู่ปัญหาในการคัดลอกผลงานทางวิชาการ กล่าวคือผู้ขาดความเข้าใจหรือตระหนักในการอ้างถึงผลงานวิชาการของคนอื่น อาจส่งผลให้ขาดความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูลในแวดวงวิชาการ บางครั้งเจ้าของผลงานเจอผลงานตัวเองที่นักวิจัยนำมาคัดลอก โดยไม่ให้เครดิตหรือไม่อ้างถึงส่งผลให้ผลงานบทความนั้น ๆ ไม่ทรงคุณค่าหรือไม่น่าเชื่อถือ

ในฐานะที่ผู้เขียนปฏิบัติงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ท้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงขอเสนอแนวทางแก้ไขเพื่อป้องกันความประพฤติผิดมิชอบทางวิชาการ เพื่อส่งเสริมให้นักวิจัย สทป. เกิดการตระหนักในการอ้างอิงแหล่งที่มาของบทความวิชาการได้อย่างมีคุณภาพและน่าเชื่อถือ

2. นิยามที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีป้องกันประเทศ หมายถึง วิทยาการในการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่หลากหลายแขนงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการป้องกันประเทศและด้านการทหารอื่น ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้ประโยชน์แก่ประเทศเป็นส่วนรวม [1]

อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ หมายถึง การวิจัย การพัฒนา การออกแบบ การผลิต การประกอบรวม การปรับปรุง การซ่อมสร้าง การเปลี่ยนลักษณะ การแปรสภาพ หรือการให้บริการซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการป้องกันประเทศ โดยอาจมีคำตอบแทนหรือไม่ก็ได้ [1]

จรรยาบรรณ หมายถึง หลักความประพฤติอันเหมาะสม แสดงถึงคุณธรรมและจริยธรรมในการประกอบอาชีพ ที่กลุ่มบุคคลแต่ละสาขาวิชาชีพประมวลขึ้นไว้เป็นหลัก เพื่อให้สมาชิกในสาขาวิชาชีพนั้น ๆ ยึดถือปฏิบัติ เพื่อรักษา ชื่อเสียงและส่งเสริมเกียรติคุณของสาขาวิชาชีพของตน [4]

จรรยาบรรณนักวิจัย หมายถึง หลักเกณฑ์ควรประพฤติ ปฏิบัติของนักวิจัยทั่วไป เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยตั้งอยู่บน พื้นฐานของจริยธรรมและหลักวิชาการที่เหมาะสม ตลอดจน ประกันมาตรฐานของการศึกษาค้นคว้าให้เป็นไปอย่าง สมศักดิ์ศรีและเกียรติภูมิของนักวิจัย [4]

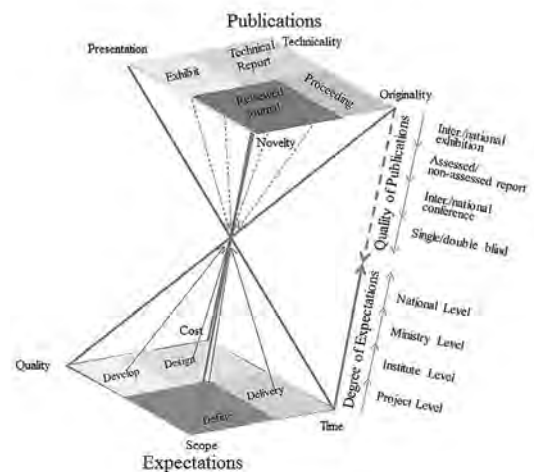
นักวิจัย หมายถึง ผู้ที่ดำเนินการค้นคว้าหาความรู้อย่างเป็นระบบ เพื่อตอบประเด็นที่สงสัยโดยมีระเบียบวิธีอันเป็นที่ยอมรับในแต่ละศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งครอบคลุมทั้งแนวคิด มโนทัศน์ และวิธีการที่ใช้ในการรวบรวมและวิเคราะห์ ข้อมูล [4]

กล่าวโดยสรุป จรรยาบรรณการวิจัย หมายถึง หลักเกณฑ์ ควรประพฤติปฏิบัติของนักวิจัยทั่วไป เพื่อให้การดำเนินงาน วิจัยตั้งอยู่บนพื้นฐานของจริยธรรมและหลักวิชาการที่เหมาะสม ตลอดจนประกันมาตรฐานของการศึกษาค้นคว้าให้เป็นไป อย่างสมศักดิ์ศรี และเกียรติภูมิของนักวิจัย [4]

การถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer) เป็น กระบวนการที่การวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐาน และการคิดค้นพื้นฐานสำคัญ ๆ ถูกพัฒนาและส่งต่อไปสู่การ ประยุกต์ใช้งานเชิงปฏิบัติการ การนำไปประยุกต์ใช้งานและ การเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ทั้งนี้อาจเป็นวิธีการภายใต้การ ควบคุมโดยกฎหมายหรือไม่ก็ได้ การเปลี่ยนสิ่งประดิษฐ์นี้ไป เป็นนวัตกรรมที่ประสบความสำเร็จ ต้องมีการถ่ายทอด เทคโนโลยีและองค์ความรู้ไปยังองค์กรต่าง ๆ ที่มีประสบการณ์ ด้านการตลาดที่เหมาะสม มีตัวตนอยู่บนเวทีโลก และมีศักยภาพ ด้านการลงมือปฏิบัติอย่างแท้จริง

สทป. ได้นำผลงานวิจัยด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ที่เกิดขึ้น มาประยุกต์และใช้งานด้านการบริการสาธารณะ ถือว่าเป็นการตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ที่สำคัญของสถาบัน ด้วยการให้บริการหน่วยงานภายนอกกลาใหม่ด้วย นอกจากนี้ สทป. ยังได้พัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ที่ได้รับจากโครงการต่าง ๆ ที่ผ่านมา จนกระทั่งนำไปสู่แนวคิดที่ใช้เป็นแนวทางในการ นำผลงานวิจัยไปเผยแพร่ในทุกระดับองค์กร ไปจนระดับ กระทรวง โดยใช้ชื่อแนวคิดนี้ว่า “แนวคิดพีระมิดคู่” [5]

แนวคิดพีระมิดคู่ เป็นแนวคิดที่ได้รับจากการรวบรวม องค์ความรู้ของการบริหารจัดการโครงการระบบสนามฝึก ยิงปืนยุทธวิธีเสมือนจริง (Visual Shooting Range : VSR) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลักดันผลงานวิจัยไปสู่การ ตีพิมพ์เผยแพร่สู่ประชาสังคม โดยนำเสนอเป็นรูปแบบ พีระมิดคู่สะท้อนกลับซึ่งพีระมิดที่สมบูรณ์จะต้องสมมาตรกัน คือ มีขนาดที่เท่ากันทั้งด้านล่างและด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่ง Expectation หมายถึง ความคาดหวัง เป็นผลลัพธ์ที่ได้จาก ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฐานและความสูง ซึ่งมีค่าปริมาตร สูงสุดที่ 33.33 ฐานของพีระมิด ประกอบด้วย 1) Define คำนวน ได้จากร้อยละความสำเร็จของการกำหนดงานวิจัยให้ชัดเจน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ Scope (การกำหนดขอบเขต) 2) Design คำนวนได้จากร้อยละความสำเร็จของการออกแบบและวางแผนงาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่าย (Cost) 3) Develop คำนวนได้ จากร้อยละความสำเร็จของการพัฒนางานวิจัย ซึ่งจะขึ้น อยู่กับ Quality (คุณภาพของงานวิจัยในปัจจุบัน) 4) Deliver คำนวนได้จากร้อยละความสำเร็จของการวางแผนการ ส่งมอบงาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ Time (คุณภาพของชิ้นงาน ในปัจจุบัน) สำหรับความสูงคิดตามความสัมพันธ์ระหว่างแผน กับการปฏิบัติจริง (Performance/planned) ตามระดับขั้น การตอบสนองนโยบาย ได้แก่ ระดับโครงการ ระดับองค์กร ระดับกระทรวง และระดับชาติ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดพีระมิดคู่
ที่มา: Kumsap, C., (2017) [6]

Publications หมายถึงการตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงานวิจัย เป็นพีระมิดผลลัพธ์ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นฐานและความสูง ซึ่งเป็นผลลัพธ์เดียวกันกับความคาดหวังและต้องมีรูปทรงและปริมาตรที่คล้ายคลึงกัน เพื่อสะท้อนให้เห็นคุณภาพของงานวิจัยในเชิงการตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงานวิจัย ซึ่งตอบปริมาตรสูงสุดที่ 33.33 เช่นเดียวกับโดยฐานของพีระมิดประกอบด้วย 1) Exhibition คำนวณได้จากร้อยละความสำเร็จของผลงานวิจัยนั้น ถูกจัดแสดงนิทรรศการ ซึ่งขึ้นอยู่กับ Presentation (คุณภาพการนำเสนอ) 2) Technical Report คำนวณได้จากร้อยละความสำเร็จของผลงานวิจัยนั้น ได้เสนอผ่านการจัดทำรายงานเชิงเทคนิคซึ่งขึ้นอยู่กับ Technicality (คุณลักษณะทางเทคนิค) 3) Proceeding คำนวณได้จากร้อยละความสำเร็จของผลงานวิจัยนั้น ได้เสนอผ่านการตีพิมพ์และบรรจุอยู่ในการรวบรวมเอกสารบทความในการประชุมวิชาการ ซึ่งขึ้นอยู่กับ Originality (การริเริ่มสร้างสรรค์) 4) Reviewed Journal คำนวณได้จากร้อยละความสำเร็จของผลงานวิจัยนั้น การถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ไปยังผู้มีประสบการณ์ที่เหมาะสม มีตัวตนอยู่ที่เวทีโลก และมีศักยภาพด้านการลงมือปฏิบัติอย่างแท้จริง จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ สิ่งประดิษฐ์ หรือการบริการใหม่ ๆ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผู้เขียนบทความนำมาใช้ในการเลือกภาคการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม [7]

3. การลอกเลียนผลงานวิชาการ แนวทางการศึกษาและป้องกัน

จากการศึกษาบทความวิชาการหลาย ๆ แห่ง ยังพบว่าหลายหน่วยงานได้มีการตอบรับและออกมาตรการเข้มงวดต่อการทุจริตทางวิชาการ แต่บทลงโทษของประเทศไทยมีการตรวจสอบอย่างลับ ๆ ไม่ได้ประกาศออกมาให้ทุกคนในแวดวงวิชาการได้รับทราบอย่างกว้างขวาง น้อยรายที่จะประกาศออกมาให้รับทราบ ยกตัวอย่างกรณีของประเทศไทยที่ปรากฏเป็นข่าว “การถอดถอนปริญญาเอก : กรณีแรกของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 21 มิถุนายน 2555 ของอดีตผู้อำนวยการแห่งหนึ่ง [8] หรืออุทาหรณ์ ก.ค.ศ.สั่งปลด “ผอ.ร.ร.” ลอกผลงานทางวิชาการ ที่ประชุมได้อนุมัติลงโทษทางวินัยร้ายแรงให้ปลดออก ผู้อำนวยการสถานศึกษาแห่งหนึ่งที่คัดลอกผลงานทางวิชาการของผู้อื่นมา 42 หน้า เพื่อนำมาใช้ยื่นขอให้มีและเลื่อนวิทยฐานะ [9]

ในด้านการศึกษาการโจรกรรมทางวรรณกรรม ขุขบา มาตระกูล [10] ได้ให้ข้อคิดเห็นว่า การโจรกรรมทางวรรณกรรมโดยนักศึกษาคือเป็นการกระทำผิดขั้นร้ายแรงมากและมีบทลงโทษ เช่น การปรับตกในงานที่ส่งหรือปรับตกในรายวิชานั้น ๆ หรือพักการศึกษา หรือถูกไล่ออก การโจรกรรมทางวรรณกรรมโดยการคัดลอก และ ข้อมูลจากเว็บไซต์หรือการลอกมาจากแหล่งต้นตอ อาจารย์มักจับได้ เนื่องจากมีข้อมูลเหมือนกับนักศึกษาคณะอื่น ๆ ที่คัดลอกมาจากแหล่งเดียวกัน อีกทั้งการคัดลอก-แปะด้วยสำนวนที่ไม่ “เนียน” และอาจารย์ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์นั้น ๆ ย่อมจำสำนวนรูปภาพ แผนภาพ ของเจ้าของผู้เขียนได้ดี

สอดคล้องกับงานวิจัยของธนพร แยมสุตา [11] ได้กล่าวถึงแนวทางการแก้ปัญหาการทุจริตทางวิชาการในประเทศไทยและต่างประเทศ ถือว่าเป็นปัญหาระดับชาติ มหาวิทยาลัยต่าง ๆ ให้ความสำคัญกับปัญหาการทุจริตทางวิชาการ และกำหนดเป็นนโยบายของมหาวิทยาลัย ตัวอย่าง Stony Brook University School of Professional Development ประเทศสหรัฐอเมริกา จัดตั้งคณะกรรมการเพื่อป้องกันและจัดการกับปัญหาการทุจริตทุกรูปแบบ (www.stonybrook.edu/spd/)

มหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดนโยบาย และมาตรการในการดำรงความเข้มแข็งทางวิชาการและคุณภาพการศึกษา ซึ่งระบุอย่างชัดเจนว่าการทุจริตทางวิชาการเป็นความผิดที่รุนแรงและเป็นปัญหาสำคัญที่ลดทอนคุณภาพและความเชื่อมั่นทางวิชาการของมหาวิทยาลัย

สำหรับประเทศไทยได้มีคณะกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาสังคมวิทยา ตระหนักถึงความสำคัญของจรรยาบรรณนักวิจัยดังกล่าว จึงได้ริเริ่มดำเนินการยกร่างจรรยาบรรณนักวิจัย เพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งประเทศเพื่อให้นักวิจัย นักวิชาการในสาขาวิชาการต่าง ๆ สามารถนำไปปฏิบัติได้ โดยผ่านกระบวนการขอรับความคิดเห็นจากนักวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาต่าง ๆ และได้ปรับปรุงให้เหมาะสมรัดกุมชัดเจนจนกระทั่งได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารสภาวิจัยแห่งชาติ ประกาศให้เป็นหลักเกณฑ์ควรประพฤติของนักวิจัยทั่วไป ตามประกาศสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) จรรยาบรรณนักวิจัย ข้อ 1 (1.2) นักวิจัยต้องให้เกียรติผู้อื่น โดยการอ้างถึงบุคคลหรือแหล่งที่มาของข้อมูลและความคิดเห็นนำมาใช้ในงานวิจัย

ตลอดจนมหาวิทยาลัย หน่วยงานที่เป็นสถาบันวิจัยต่างทำ
มาตรการรองรับปัญหาที่เกิดขึ้น

การละเมิดจริยธรรมในการเขียนผลงานวิชาการ
เวคิน นพวิทย์ [12] ได้กล่าวถึงการละเมิดจริยธรรม หรือการ
ทำผิดจริยธรรมในการเขียนผลงานวิชาการประเภทรายงาน
วิจัย และบทความปริทัศน์ ที่พบบ่อยเป็นการประพฤติปฏิบัติ
ที่มิชอบในส่วนที่เกี่ยวข้อง

- 1) การลำดับชื่อผู้นิพนธ์
- 2) การให้ผู้อื่นที่ไม่ใช่ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อภาษาอังกฤษ
- 3) การคัดลอกข้อความจากเอกสารวิชาการของผู้อื่น
- 4) การนำเอาภาพประกอบทั้งตารางและภาพมาใช้
โดยไม่ได้รับอนุญาต

- 5) การนำเอาเอกสารวิชาการมาอ้างอิงและใส่ไว้ใน
รายการเอกสารอ้างอิง

- 6) การประกาศเกียรติคุณของบุคคลไว้ในกิจกรรม
ประกาศโดยที่บุคคลเหล่านั้นไม่ได้ช่วยเหลือใด ๆ เป็นพิเศษ

3.1 พรบ.จริยธรรม [13]

หมวด 1 มาตรฐานทางจริยธรรมและประมวลจริยธรรม
มาตรา 5 มาตรฐานทางจริยธรรม คือ หลักเกณฑ์การประพฤติ
ปฏิบัติอย่างมีคุณธรรมของเจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งจะต้อง
ประกอบด้วย

- (1) ยึดมั่นในสถาบันหลักของประเทศ อันได้แก่ ชาติ
ศาสนา พระมหากษัตริย์ และการปกครองระบอบประชาธิปไตย
อันมีพระมหากษัตริย์ทรงเป็นประมุข

- (2) ซื่อสัตย์สุจริต มีจิตสำนึกที่ดี และรับผิดชอบต่อหน้าที่

- (3) กล้าตัดสินใจและกระทำในสิ่งที่ถูกต้องชอบธรรม

- (4) คิดถึงประโยชน์ส่วนรวมมากกว่าประโยชน์ส่วนตัว
และมีจิตสาธารณะ

- (5) มุ่งผลสัมฤทธิ์ของงาน

- (6) ปฏิบัติหน้าที่อย่างเป็นธรรมและไม่เลือกปฏิบัติ

- (7) ดำรงตนเป็นแบบอย่างที่ดีและรักษาภาพลักษณ์
ของทางราชการ

มาตรฐานทางจริยธรรมทั้ง 7 ข้อนี้ให้ใช้เป็นหลักสำคัญ
ในการจัดทำประมวลจริยธรรมของหน่วยงานของรัฐที่จะ
กำหนดเป็นหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ของรัฐ
เกี่ยวกับสภาพคุณงามความดีที่เจ้าหน้าที่ของรัฐต้องยึดถือ
สำหรับการปฏิบัติงาน การตัดสินใจความถูกต้อง การปฏิบัติที่
ควรกระทำหรือไม่ควรกระทำ ตลอดจนการดำรงตนในการ

กระทำความดีและละเว้นความชั่ว

จากการสำรวจเบื้องต้น พบว่า ข้อเขียนประเภท
บทความวิชาการ งานวิจัย วิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท
และปริญญาเอกในสถาบันอุดมศึกษาของไทยมีข้อเขียน
ข้อความในลักษณะที่ลอกความ Plagiarism ปรากฏอยู่ใน
บทที่เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องอยู่เป็นจำนวน
มาก รวมถึงบทความวิชาการของนักวิจัยบางท่านเลย
ไม่ได้เขียนแหล่งที่มาอย่างชัดเจน ส่อให้การเขียนบทความ
ไปในเชิงทุจริตบทความวิชาการ การกระทำที่เข้าข่ายทุจริต
บทความวิชาการ (Plagiarism) มีมานานแล้วทั้งในประเทศ
ไทยและต่างประเทศ ซึ่งแต่ละประเทศจะมีบทลงโทษ
แตกต่างกันไป

จากการประชุมสัมมนาวิชาการ “ Online Information
And Education Conference 2019” หัวข้อ Scientific
Fraud บรรยายโดย Lee Chu Keong มหาวิทยาลัย
Nanyang Technological [18] ได้ยกตัวอย่างบทลงโทษ
การประพฤติมิชอบของนักวิจัย กรณีที่ตรวจสอบพบ
มีบทลงโทษดังนี้

- 1) ทัณฑ์บน

- 2) ไล่ออก

- 3) เพิกถอนใบปริญญาหรือถอดบทความออกจาก
วารสารที่ตีพิมพ์

ผู้บรรยายได้ยกตัวอย่างกรณีการกระทำความผิดของ
นักวิชาการและบทลงโทษ ดังกรณีที่ 1-3 ดังนี้

กรณีที่ 1 Dr. Ravi Kambadur

อดีตนักวิชาการจาก National University of Singapore
(NUS) พบว่า มีความผิดในการตกแต่งข้อมูลงานวิจัย จำนวน
21 เรื่อง ที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

การดำเนินการ : มหาวิทยาลัย Liverpool แต่งตั้งให้
Dr. Ravi Kambadur ทำหน้าที่เป็นหน่วยภูมิคุ้มกันวิทยา
ก่อนที่มหาวิทยาลัยจะตรวจสอบพบว่ามีการตกแต่งข้อมูล
งานวิจัย ผลงานโดนระงับและให้ลาออก

กรณีที่ 2 Dr. Mridula Sharma

อดีตรองศาสตราจารย์ NUS Young Loo Lin School of Medicine กระทำคามผิดร่วมกันเขียนบทความวิจัย 6 เรื่อง พร้อมทำข้อมูลเท็จ

การดำเนินการ : มีการตั้งเอกสาร 6 ฉบับออกจากวารสาร

กรณีที่ 3 Sudarsanareddy Lokireddy

อดีตนักวิจัยชีววิทยาเซลล์ NTU กระทำคามผิดโดยการปลอมข้อมูลในรายงานการวิจัย 3 ฉบับ รวมถึงวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกของเธอ

การดำเนินการ : มีเอกสาร 5 ฉบับ ที่ดึงกลับมาในขณะที่ศึกษาปริญญาเอก และให้ออกจากมหาวิทยาลัย NTU วิทยาการได้กล่าวถึงปัญหาการขาดจริยธรรมทางวิชาการ ที่ส่อไปทางทุจริต ดังต่อไปนี้

1) การคัดลอกผลงาน ข้อความ หรือความคิดเห็นของผู้อื่น โดยไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของข้อมูล หรือบางรายอาจคัดลอกผลงานแล้วนำมาใช้เป็นผลงานของตนเอง

2) การขโมยความคิดหรือคำพูดของผู้อื่นโดยไม่ได้อ้างอิง ปัญหาที่ตามมาส่งผลกระทบต่องานวิจัยที่ไม่ได้อ้างอิงและไม่ทราบแหล่งที่มาของข้อมูลที่ถูกต้อง ในกรณีนี้นักวิจัยหรือนักวิชาการมีผลงานตีพิมพ์ไปแล้ว หรือมีการขโมยความคิดและคำพูดของผู้อื่นโดยไม่ได้อ้างอิง เมื่อตรวจพบจะถูกถอดบทความออกจากวารสาร โดยทางมหาวิทยาลัยจะทำการขโมยถอดถอนออกจากบทความและแจ้งเวียนให้ทุกคนทราบ ส่งผลให้เกิดความอับอายในแวดวงวิชาการ นักวิจัยคนนั้นไม่สามารถยืนอยู่ในวงการวิจัยได้ ถือเป็นการทำลายอาชีพวิจัยของตนเอง

3) ผลงานปลอม เช่น งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่มีการทดลอง พิสูจน์ผลทางทฤษฎีมาแล้ว แต่ไม่ได้รับการอ้างอิงว่าผลที่ได้ถูกต้อง แท้จริงหรือไม่ ทำให้นักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังที่มาต่อยอดงานวิจัย หรืออ้างอิงผลงานต้องเสียเวลาส่งผลให้งานวิจัยมีความเสียหาย เสียเวลาและงบประมาณ

4) การนำข้อความของผู้อื่นมาดัดแปลง ตัดต่อ หรือแก้ไขเพื่อเป็นข้อความของตนเอง แต่ไม่อ้างอิงเจ้าของผลงานเดิม การแก้ไขผลการวิจัย ตัวเลข หรือข้อมูลบางอย่างที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง การบิดเบือนหรือไม่เก็บความลับของผู้ให้ข้อมูล รวมทั้งการขาดความรับผิดชอบต่อการรักษาข้อมูล

5) การเขียนข้อเสนอแนะจากแนวคิดของผู้อื่น แต่ไม่อ้างอิงถึงเจ้าของแนวคิดนั้น การจ้างวานผู้อื่นทำงานวิจัยหรือวิทยานิพนธ์

ให้บางส่วนหรือทั้งหมด การขาดความรับผิดชอบในการทำวิจัยหรือการดำเนินงานวิจัยไม่เสร็จสิ้นตามกำหนดเวลา

การอ้างอิงให้ถูกรูปที่ถูกต้องทางวิชาการหรือ Citation Style มีหลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละวารสารบทความเจ้าของผลงานต้องเป็นผู้เลือกรูปแบบ ถ้าไม่ถูกหรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละวารสาร หรือบทความนั้น ๆ ผู้เขียนเองอาจเจอบทลงโทษหรือการขึ้นบัญชีดำทางวารสารวิชาการในระดับชาติหรือนานาชาติ ในฐานะที่ไปคัดลอกผลงานของผู้อื่น ดังนั้นการเขียนอ้างอิงในบทความวิชาการควรเขียนให้ถูกต้องตามรูปแบบของวารสารที่ผู้เขียนนำไปลงบทความ [15]

3.2 รูปแบบของ Plagiarism [10]

สรุปได้ดังนี้

1) Copy And Paste Plagiarism คือ การนำข้อความจากต้นฉบับมาใช้โดยไม่ใส่เครื่องหมายคำพูดและเขียนอ้างอิง

2) Word Switch Plagiarism คือ การนำข้อความจากต้นฉบับมาใช้โดยไม่ใส่เครื่องหมายคำพูดและอ้างอิง

3) Metaphor Plagiarism คือ การนำคำอุปมาของต้นฉบับมาใช้ โดยไม่ได้อุปมาเป็นอย่างอื่น โดยไม่อ้างอิง

4) Style Plagiarism คือ การนำข้อความต้นฉบับผู้อื่นมาใช้ โดยเรียงประโยคใหม่อันแสดงถึงรูปแบบสำนวนเดิม

5) Idea Plagiarism คือ การนำทฤษฎีต่าง ๆ มาวิเคราะห์วิจารณ์ ถึงความรู้ทั่วไป หากมีผู้อื่นวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีนั้นแล้วต้องอ้างอิง หากไม่อ้างอิงจะเป็น Plagiarism ดังนั้นอาจเสี่ยงได้โดยเขียนด้วยทฤษฎีอื่น

6) การกระทำอื่น ๆ ที่ถือเป็น Plagiarism เช่น การส่งผลงานชิ้นเดียวกันไปยังสำนักพิมพ์ 2 แห่ง หรือลอกผลงานตัวเอง (Self Plagiarism) การส่งผลงานที่ทำร่วมกับผู้อื่นไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้เขียนร่วม

จากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น สะท้อนให้เห็นความสำคัญของจริยธรรมการวิจัย และเหตุผลที่ว่าทำไมเราต้องมีประเด็นเรื่องจริยธรรมการวิจัย เพราะสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นข้างต้นอยู่ใกล้ตัว และเกี่ยวข้องโดยตรงกับนักวิจัย รวมทั้งอาจสร้างความเสียหายให้แก่งานวิจัย หรือผลกระทบต่อผู้อื่นโดยเฉพาะผู้ให้ข้อมูล ดังนั้น เรื่องจริยธรรมการวิจัยจึงมีความสำคัญเพื่อให้ นักวิจัยได้ยึดถือและพึงปฏิบัติในการดำเนินการวิจัยให้ถูกต้อง เหมาะสม และเป็นที่ยอมรับในสังคม

ปัจจุบันสามารถตรวจสอบได้ง่ายมาก โดยใช้โปรแกรม

ตรวจสอบ มีทั้งแบบเสียค่าใช้จ่ายและโปรแกรมฟรีที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้บนเว็บไซต์ การใช้โปรแกรมช่วยตรวจสอบบทความของตนเองก่อนเป็นการรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดปัญหาโดยไม่ได้ตั้งใจ แต่บางครั้งข้อความบางข้อความแม้จะทำตามกฎแล้ว โปรแกรมก็ยังตัดสินว่าเป็นการโจรกรรมอยู่ อย่างไรก็ตามการส่งบทความไปยังสำนักพิมพ์ต่าง ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิอาจใช้โปรแกรมช่วยในการตรวจสอบ แต่ขึ้นกับดุลยพินิจผู้ทรงคุณวุฒิด้วย ซึ่งรูปแบบจะเป็นการตรวจสอบความคล้ายคลึงกันของเอกสารที่อยู่ในไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยการนำข้อมูลนั้นไปเปรียบเทียบกับข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต

เมื่อโปรแกรมตรวจสอบแล้วจะแสดงแหล่งของข้อมูลที่เป็นบทความหรือวารสารนั้นปรากฏอยู่เป็น URL ของเว็บไซต์ เรียงลำดับเป็นเปอร์เซ็นต์ที่พบจากมากไปหาน้อย แสดงส่วนที่คล้ายกันหรือข้อความที่ตรงกัน เพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบทีละส่วน [15]

3.3 เครื่องมือตรวจสอบ Plagiarism ในประเทศไทย [16]

1) CopyCatch หรือ Copyright, Academic Work and Thesis Checking System พัฒนาโดย NECTEC เป็นระบบตรวจสอบการคัดลอกและลอกเลียนเอกสารอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ เช่น วิทยานิพนธ์ ข้อเสนอโครงการ ผลงานวิชาการ เว็บเพจ เป็นต้น

จุดเด่นสามารถตรวจสอบความคล้ายกันของเอกสารทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และสามารถตรวจสอบกับเอกสารที่จัดเก็บไว้ในคลังข้อมูลหรือเอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต [17]

2) Anti-Kobpae พัฒนาโดย หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีเสียง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ร่วมกับ ศูนย์ความรู้เฉพาะด้านวิศวกรรมความรู้และวิศวกรรมภาษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่ช่วยตรวจสอบการคัดลอกเอกสารอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ เช่น วิทยานิพนธ์ ข้อเสนอโครงการ เอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

จุดเด่นสนับสนุนการตรวจสอบความคล้ายของเอกสารทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ คือสามารถตรวจสอบเอกสารที่ถูกเปลี่ยนแปลงบางส่วนได้โดยแสดงแถบสีที่คล้ายกันพร้อมทั้งเปอร์เซ็นต์ความคล้าย โดยสามารถตรวจสอบกับเอกสารที่จัดเก็บไว้ในคลังข้อมูลหรือเอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต

เพื่อช่วยลดเวลาในการตรวจสอบเอกสารที่ต้องการใช้งานง่าย โดยการคัดลอกเนื้อหาที่ต้องการตรวจสอบมาวางระบบจะตรวจสอบให้อัตโนมัติ [18]

3) อักษรวิสุทธิ์ พัฒนาโดย ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร่วมกับ ศูนย์วิจัยการประมวลผลภาษาและวัจนะ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นโปรแกรมระบบตรวจสอบการลักลอบผลงานทางวิชาการ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้นักศึกษามีการกระทำอันเป็นการลอกเลียนงานวรรณกรรมของบุคคลอื่น

จุดเด่นคือ สามารถตรวจสอบได้ทั้งข้อความภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ตรวจสอบกับฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ สารนิพนธ์ วารสารทางวิชาการ และรายงานวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึงบทความจากเว็บไซต์วิกิพีเดีย ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัยที่ร่วมลงนามความร่วมมือฯ และฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ซึ่งมีจำนวนกว่า 400,000 เล่ม รองรับไฟล์เอกสาร Microsoft Word และ PDF และใช้เวลาตรวจสอบเฉลี่ยประมาณ 3 – 5 นาที ให้บริการฟรี ไม่มีค่าใช้จ่าย ใช้งานง่าย มีแสดงรายงาน รายงานผลการตรวจสอบ รายงานสถิติการใช้งาน [19]

ปัจจุบันสถาบันอุดมศึกษา จำนวน 140 แห่ง ใช้โปรแกรมอักษรวิสุทธิ์ตรวจสอบการคัดลอกของนักศึกษาและนักวิจัยกรณีสถาบันการศึกษาหรือหน่วยงานของรัฐและรัฐวิสาหกิจที่สนใจใช้งานระบบอักษรวิสุทธิ์ สามารถติดต่อบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [20]

จากโปรแกรมที่ได้กล่าวมาในข้อ 3.3 หน่วยงานสนับสนุนการศึกษากาฬาวัยมหาวิทยาลัย กองบรรณาธิการวารสารที่ผลิตโดยมหาวิทยาลัยหรือสถาบันวิจัยต่าง ๆ ควรมีหลักเกณฑ์หรือขั้นตอนการตรวจสอบหรือป้องกันการคัดลอก โดยเฉพาะในส่วนของงานห้องสมุด ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ใกล้ชิดผู้ใช้บริการในห้องสมุด ควรมีการจัดกิจกรรมหรือปฐมนิเทศการอ้างอิงบทความ เพื่อให้เกิดการตระหนักรู้ และเกิดทัศนคติที่ดีต่อการอ้างอิงแหล่งที่มา

3.5 เทคนิคหลีกเลี่ยงการกระทำ Plagiarism [21] เพื่อประโยชน์ต่อการไม่ละเมิด Plagiarism

- 1) สรุปรูปข้อมูลหรืองานนั้น ๆ จากการศึกษาค้นคว้าจากหลาย ๆ แห่ง อ่านให้เข้าใจถ่องแท้ และเขียนผลงานด้วยสำนวนตัวเอง
- 2) จัดบันทึกย่อทุกครั้งทีอ่านข้อมูล และกำกับแหล่งอ้างอิงทุกครั้ง
- 3) เขียนผลงานด้วยภาษาตนเอง ไม่นำคำของคนอื่นมาใช้ โดยทิ้งเวลาหลังจากอ่านข้อมูลต่าง ๆ สักพัก จึงเขียนรายงานตัวเอง จะช่วยให้เข้าใจสำนวนที่เขียนเป็นภาษาของเราเองอย่างแท้จริง
- 4) เขียนโดยใช้วิธีถอดความ หรือการสรุปสาระสำคัญ แทนการคัดลอก และเขียนอ้างอิงให้ถูกต้อง
- 5) หากจำเป็นต้องนำข้อความมาอ้างอิง ควรอ้างอิงให้ชัดเจน และใส่เครื่องหมายคำพูดตรงข้อความที่คัดลอก
- 6) เมื่ออ่านบทความของผู้อื่นและพบข้อมูล ถ้อยคำ หรือประโยคที่ต้องการอ้างอิง โดยพบว่าบทความดังกล่าวได้อ้างอิงข้อมูลนั้นมาจากอีกทอดหนึ่ง ผู้แต่งควรไปตรวจสอบแหล่งอ้างอิงที่ระบุว่าปรากฏมีอยู่จริง มีเนื้อหาสาระและข้อสรุปเป็นไปตามที่พูดหรือกล่าวถึงหรือไม่ ก่อนจะนำมาใช้ในการอ้างอิงในผลงานวิชาการของตนเอง

7) แม้ข้อมูลต่าง ๆ มีการอ้างอิงถูกต้อง ในฐานะผู้แต่งผลงานวิชาการควรนำปริมาณข้อมูลหรือเนื้อหาที่นำมาจากผู้อื่นมาใส่ในบทความของตนเองเทียบเป็นสัดส่วนกับเนื้อหาที่ผู้แต่งได้แต่งเองด้วย ทั้งนี้ในเชิงปฏิบัติไม่มีการกล่าวว่ามีสัดส่วนดังกล่าวควรเป็นเท่าไร แต่ในหลาย ๆ แห่ง นิยมใช้ประมาณไม่เกินร้อยละ 30 เป็นผลงานที่อ้างอิงของผู้อื่น และอีกร้อยละ 70 ควรเป็นผลงานของตนเองที่แต่งขึ้นเอง บทความนั้นจึงจะได้ชื่อว่าเป็นบทความที่มี Originality และเป็นการตรวจสอบตัวเราเอง เพื่อหลีกเลี่ยงการคัดลอกผลงานเชิงประจักษ์ได้

4. สรุป

การทุจริตทางวิชาการเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นมานานแล้วทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งแต่ละประเทศจะมีบทลงโทษแตกต่างกันไป โดยเฉพาะในยุคปัจจุบันที่การเข้าถึงข้อมูลง่ายขึ้น นักวิจัยสามารถค้นหาข้อมูลจากแหล่งสารสนเทศต่าง ๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องเข้ามาที่ห้องสมุด ทำให้การคัดลอกข้อความมาบางส่วนหรือละเลยการอ้างอิงแหล่งที่มา

โดยไม่ระบุให้ชัดเจน ส่งผลเสียต่อผู้ถูกละเมิด ผู้ละเมิดรวมถึงหน่วยงานต้นสังกัด หากเราในฐานะที่เป็นหน่วยงานการศึกษาหรือสถาบันวิจัย ละเลยพฤติกรรมดังกล่าวจะส่งผลอย่างไรหลวงต่อประเทศชาติในอนาคต ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกระดับตั้งแต่ระดับการศึกษาจนกระทั่งหน่วยที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องทางวิชาการที่ผลิตบุคลากรทางด้านวิชาการ [11] ต้องมีการตระหนักถึงปัญหาการทุจริตทางวิชาการ จนพรุยับยั้งสุดา ได้เสนอแนวทางแก้ไข ควรประกอบด้วยการสร้างเจตคติและค่านิยมของนักศึกษาให้ถูกต้องตั้งแต่เริ่มแรก โดยการกำหนดนโยบายที่ชัดเจน การกำหนดประมวลจริยธรรมให้นักศึกษารับทราบและปฏิบัติตามตรวจสอบผลงานที่จะมีการนำเสนอทั้งโดยอาจารย์ผู้สอนและผู้เกี่ยวข้องกับการเผยแพร่ผลงานด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตลอดจนมีมาตรการลงโทษผู้ที่มีพฤติกรรมการทุจริตทางวิชาการดังกล่าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ เวคิน นพนิทย์ [12] ที่ได้เสนอแนวทางการแก้ไขละเมิดจริยธรรม ควรใช้มาตรการเข้มข้นรวมถึงลงโทษผู้ทำผิดจริยธรรมให้ประจักษ์ และควรปลูกจิตสำนึกให้แก่ผู้เขียนผลงานวิชาการเหล่านั้นให้กระทำงานวิชาการอย่างมีจริยธรรม

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อหลีกเลี่ยงการคัดลอกผลงานทางวิชาการ

- 1) นักวิจัย สทป. ควรอ้างอิงแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ และตรวจสอบข้อมูลได้ โดยผู้ทรงคุณวุฒิเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เช่น Mil Standard, NATO, NASA, Jane's
- 2) หน่วยงานที่ผลิตวารสารวิชาการ ควรมีโปรแกรมที่ใช้การตรวจสอบการคัดลอกบทความ เช่น โปรแกรมอักขรวิสุทธิ หรือ โปรแกรม Turnitin
- 3) เขียนผลงานวิชาการด้วยความเข้าใจและใช้ภาษาของตนเอง ไม่ควรนำเอาคำของคนอื่นมาเขียน
- 4) กรณีนำเอาข้อความคนอื่นมาเขียน ควรเขียนอ้างอิงที่มาอย่างชัดเจน และใส่เครื่องหมายหรือเครื่องหมายคำพูด “...” ตรงข้อความที่คัดลอก
- 5) การศึกษาค้นคว้าอย่างเข้าใจ จะช่วยให้สามารถคิดเขียนผลงานทางวิชาการด้วยสำนวนของตนเอง
- 6) สร้างความตระหนักในเรื่องจริยธรรมในการเขียนบทความวิชาการ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารประกอบ "พระราชบัญญัติจัดตั้งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ. 2562", แหล่งที่มา http://www.dti.or.th/download/190501141133_3DTI-2562.PDF/, 25 มกราคม 2563.
- [2] กิตติยา สุทธิประภา. "Plagiarism : ความสำคัญของการป้องกันการโจรกรรมทางวิชาการ", แหล่งที่มา <https://ejournal.kku.ac.th/information/article/view/354>, 25 มกราคม 2563.
- [3] นกุลรัตน์ ลวงลายทอง. "การวิเคราะห์การอ้างอิงในบทความวิชาการของนักวิจัย สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2559-2560". วารสารสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, 2562, 101-109.
- [4] สภาวิจัยแห่งชาติ. จรรยาบรรณการวิจัย. แหล่งที่มา <https://sp.mahidol.ac.th/pdf/ref/ethic.pdf>, 25 มกราคม 2563.
- [5] มารุต ขาติพรหมณ์, "แนวคิดที่ระมัดระวัง เพื่อเผยแพร่งานวิชาการด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศสู่ประชาคม", วารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, 2560, 64-67.
- [6] Chamnan Kumsap, "The Compliance Of Project Management With Corporate's Research And Development Strategies: Dti's Virtual Shooting Range Case Study", The 7th International Defense And Homeland Security Simulation Workshop, 2017, pp. 25-32.
- [7] ชำนาญ ขุมทรัพย์, "การถ่ายทอดเทคโนโลยีของโครงการวิจัยและพัฒนาสู่ภาคการศึกษาและภาคอุตสาหกรรม", วารสารวิชาการป้องกันประเทศ, 2562, 12-25.
- [8] ไทยพับลิก้า, "ครั้งแรกในประวัติศาสตร์ สภาจุฬาลงกรณ์ปัญญาเอก "ศุภชัย หล่อโล่ห์การ" ไม่มีผลย้อนหลัง "บวรศักดิ์" แจงในอดีตอาจจะใช้โดยสุจริต", แหล่งที่มา: <https://thaipublica.org/2012/06/plagiarism-5/>, 19 ธันวาคม 2562.
- [9] อุทาหรณ์ ก.ค.ศ. สั่งปลด"ผอ.ร.ร." ลอกผลงานทางวิชาการ, แหล่งที่มา http://www.truelookpanya.com/new/cms_detail/news/13765, 19 ธันวาคม 2562.
- [10] บุษามมาตระกุล. "Plagiarism: โจรกรรมทางวรรณกรรม. "ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์", 2551, 7-10.
- [11] ธนพร แยมสุตา. "การทุจริตทางวิชาการ : ปัญหาที่บั่นทอนความเข้มแข็งของสังคม", 2560, 175-181
- [12] เวคิน นพนิตย์ : จริยธรรมในการทำผลงานวิชาการในการทำผลงานวิชาการสาธารณสุขเพื่อก้าวสู่ตำแหน่งทางวิชาการ. The Professional of Thailand : 95-99, 2539. กองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- [13] พระราชบัญญัติ มาตรฐานทางจริยธรรม พ.ศ. ๒๕๖๒, แหล่งที่มา <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF>
- [14] Lee Chu Keong : Scientific Fraud. Retrieved from <http://onlineconference.dusit.ac.th/2019/download/Scientific-Fraud.pdf>, /, 19 ธันวาคม 2562.
- [15] จันทรธรม รูปขำ. การตรวจสอบผลงานการโจรกรรมทางวรรณกรรม, แหล่งที่มา https://www3.rdi.ku.ac.th/wp-content/uploads/2013/05/KM_plagiarism.pdf, /, 19 ธันวาคม 2562.
- [16] ชูชาติ หลุยยะศักดิ์ และสันติพงษ์ ไทยประยูร. การละเมิดลิขสิทธิ์ผลงานวิชาการและการใช้โปรแกรม CopyCatch ในการตรวจสอบการคัดลอกผลงานทางวิชาการ, แหล่งที่มา <http://copycatch.in.th/20170901-copycatch-presentation.pdf>, /, 19 ธันวาคม 2562.
- [17] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. CopyCat, แหล่งที่มา <https://www.nectec.or.th/innovation/innovation-software/copycatch.html>, /, 27 มกราคม 2563.
- [18] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ตรวจสอบการคัดลอกด้วย Anti-Kobpae, แหล่งที่มา <https://www.nstda.or.th/th/nstda-knowledge/2945-anti-kobpae>
- [19] NUTCHAPONG R. อักษรวิสุทธิ : ระบบตรวจสอบการลักลอกผลงานทางวิชาการ, แหล่งที่มา <https://library.mju.ac.th/pr/?p=822>, /, 27 มกราคม 2563.
- [20] รายชื่อสถาบันอุดมศึกษาที่ร่วมลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือทางวิชาการเรื่อง "การตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมด้วยระบบอักษรวิสุทธิ" กับ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, <http://www.akarawisut.com/clients.html>, 27 มกราคม 2563.
- [21] บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. "สิ่งพิมพ์วิทยานิพนธ์ การคัดลอกผลงานวิจัย ประเด็นสำคัญที่ควรรู้", แหล่งที่มา <http://www.grad.chula.ac.th/download/files/Plagiarism.pdf>, 19 ธันวาคม 2562.

การพิจารณาใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels: TRL) สำหรับโครงการ วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม ป้องกันประเทศของประเทศไทย

อิสระ อมตะชีวะ^{1*}

วันที่รับ 12 กันยายน 2562 วันที่แก้ไข 14 พฤศจิกายน 2562 วันที่ตอบรับ 26 พฤศจิกายน 2562

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมป้องกันประเทศในกลุ่มประเทศตะวันตกหรือสหภาพยุโรปที่มีความก้าวหน้าไปก่อนหน้านี้ประเทศในทวีปเอเชียได้คิดค้นและนำเข้าใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศโดยมีผลสำเร็จเป็นที่ประจักษ์ การวิเคราะห์ให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้ TRL สำหรับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ อีกทั้งการกระตุ้นเตือนให้นำเข้าใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีเพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการขับเคลื่อนโครงการวิจัยและพัฒนาอาวุธยุทโธปกรณ์และเทคโนโลยีทางทหาร จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อการกำหนดทิศทางของแผนที่น่าทางอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยให้เดินหน้าต่อไปได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน

คำสำคัญ : Technology Readiness Levels, ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี, งานวิจัยและพัฒนา, อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ, เทคโนโลยีทางทหาร, การบริหารจัดการโครงการ

¹ ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: Issara.a@dti.or.th

Meaningful Consideration in the Usage of Technology Readiness Levels for Defence Technology Research and Development Projects in Thailand

Issara Amatacheewa^{1*}

Abstract

Truth be told that Western Defence Industry, was many years, began to develop prior to the initiation of its counterpart activity within Asian continent. Technology Readiness Levels as a concept was conceived by the West as Research and Development organisations such as NASA confronting difficulties in its project works. It is proved that, by utilizing Technology Readiness Levels, any project could be managed in far better manners throughout. Whether the subjects in question are resources such as schedule, budget, manpower, etc. Therefore, it is imperative that urging researchers to comply with Technology Readiness Levels (as an inevitable tool) in Thailand's Defence Technology Research and Development Projects must be persuaded. Hence, Research and Development of Defence Technology should never omit this highly significant tool. It is undeniable that Technology Readiness Levels deem to have a high impact in master planning of Defence Technology Roadmap in Thailand in order to achieve the most sufficient and sustainable local armament and defence technology.

Keywords : Technology Readiness Level, Project Management, Defence Technology, Defence Industry, Research and Development

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

* Corresponding author, E-mail: Issara.a@dti.or.th

1. บทนำ

ในกระบวนการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรมขึ้นมาใหม่นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการสั่งสมประสบการณ์ และฐานข้อมูลให้แก่เจ้าหน้าที่ขององค์กร อีกทั้งเมื่อองค์กรใดองค์กรหนึ่งไม่ว่าจะเป็นมหาวิทยาลัยที่เน้นทำการวิจัยเพื่อการศึกษา หรือบริษัทเอกชนที่เน้นการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อป้อนเข้าสู่ท้องตลาด ไม่จำเป็นการริเริ่มโครงการใหม่หรือการกระทำต่อเนื่องซึ่งต่อยอดมาจากโครงการเดิม องค์กรเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาเสียก่อนว่าขณะนั้น เสถียรภาพและศักยภาพทางเทคโนโลยีที่ตนครอบครองอยู่ในระดับใด ทั้งนี้ก็เพื่อตอบคำถามในประเด็นที่ว่า ภายใต้เทคโนโลยีหลักนั้นมีเทคโนโลยีย่อยใดบ้างที่สามารถทำการวิจัยและพัฒนาได้เอง หรือต้องได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer) จากสถาบันภายนอก ดังนั้น การ “รู้เรา” ถึงระดับ TRL ของตนเองจะมีส่วนช่วยอย่างมากในการตัดสินใจว่าจะทำการวิจัยและพัฒนาองค์ประกอบย่อยใดขึ้นเอง (Make) หรือต้องตัดสินใจซื้อ (Buy) และรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer) จากแหล่งที่มาภายนอกองค์กร การตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพจะส่งผลรวมไปสู่ความสำเร็จในการสร้างสรรค์นวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ขึ้นเพื่อนำมาใช้งานเองภายในประเทศ หรือเพื่อจำหน่ายสร้างรายได้เข้าสู่ภาคเศรษฐกิจการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างอาวุธยุทโธปกรณ์สำหรับใช้งานภายในประเทศและผลิตสำหรับส่งออกเป็นสินค้าในตลาดอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ก็หนีไม่พ้นการใช้แนวความคิดดังกล่าวในการบริหารจัดการ

ด้วยเหตุนี้ การมีมาตรฐานสากลเพื่อวัดค่าระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เรียกว่า Technology Readiness Level หรือ TRL จึงได้ถือกำเนิดขึ้น (พัฒนาโดยองค์การ NASA และองค์กรสำคัญ ๆ ในโลกหลายแห่งได้นำไปปรับใช้ตามความเหมาะสม เช่น Homeland Security, Department of Energy, Federal Aviation Administration, European Space

Agency, Department of Defense, DARPA และ Naval Research Laboratory [1])

2. นิยามของ TRL และคำจำกัดความของ TRL ระดับต่าง ๆ

“TRL คือการบ่งชี้ระดับความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีตามบริบทการใช้งาน ตั้งแต่วัตถุดิบองค์ประกอบสำคัญ อุปกรณ์ และกระบวนการทำงาน ทั้งระบบก่อนที่จะมีการบูรณาการเทคโนโลยีเป็นระบบ” [2] โดยมีคำสำคัญอีกคำหนึ่งที่เกี่ยวข้องกันโดยตรง คือ Technology Readiness Assessment หรือ TRA [3]

ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ตามนิยามถูกแบ่งเป็นระดับ (Level) 1-9 ดังต่อไปนี้ (ที่มา: Sandia National Lab, USA และคำจำกัดความภาษาไทยจาก สวทช. [4] [5])

Level 1: Basic principles observed and reported (การศึกษาค้นพบและข้อสังเกตพื้นฐาน) เป็นงานวิจัยที่มีระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีต่ำที่สุด โดยเป็นงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ขั้นเริ่มต้นก่อนการเปลี่ยนแปลงไปสู่งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ซึ่งอาจรวมถึงเอกสารการศึกษาค้นพบพื้นฐานของเทคโนโลยี

Level 2: Technology concept and/or application formulated (มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยี และ/หรือการประยุกต์สูตรทางเทคโนโลยี) เป็นการประดิษฐ์ขั้นเริ่มต้น โดยเป็นการศึกษาขั้นพื้นฐานต่อข้อสังเกตการประยุกต์ใช้หลักการพื้นฐานมาสู่การประดิษฐ์คิดค้น ซึ่งอาจยังไม่ได้มีการพิสูจน์ หรือวิเคราะห์รายละเอียดเพื่อสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งขึ้นได้

Level 3: Analytical and experimentally critical function and/or characteristic proof of concept (การวิเคราะห์และทดลองหน้าที่หลัก และ/หรือการพิสูจน์องค์ประกอบของแนวคิด) เป็นขั้นเริ่มต้นของงานวิจัย โดยต้องมีทั้งการศึกษวิเคราะห์และการศึกษาทดลอง เพื่อคาดการณ์ผลการวิเคราะห์และตรวจสอบอัตลักษณ์ใน

การแยกองค์ประกอบของเทคโนโลยี

Level 4: Component and/or breadboard validation in laboratory environments (การตรวจสอบองค์ประกอบและ/หรืออุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (breadboard) ในระดับห้องปฏิบัติการ) เป็นองค์ประกอบทางเทคโนโลยีขั้นพื้นฐานที่ได้ถูกประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้ชิ้นส่วนสามารถทำงานด้วยกันได้ ซึ่งอาจมีความละเอียดต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบในขั้นตอนสุดท้าย

Level 5: Component and/or breadboard validation in relevant environments (การทดสอบองค์ประกอบ และ/หรืออุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (breadboard) ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง) เทคโนโลยีที่ช่วยให้อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองได้ถูกเชื่อมต่อเข้ากันอย่างมีนัยสำคัญเพิ่มขึ้น โดยองค์ประกอบพื้นฐานทางเทคโนโลยีได้ถูกประกอบเข้ากับชิ้นงานส่วนต่าง ๆ และถูกทดสอบในสถานการณ์จำลอง

Level 6: System/subsystem model or prototype demonstration in relevant environments (การทดลองโมเดลของระบบหลักและระบบย่อย หรือต้นแบบในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง) โมเดลตัวอย่างหรือต้นแบบที่พัฒนาต่อจาก Level 5 ได้ถูกทดสอบในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง และเป็นตัวแทนในการก้าวไปสู่เทคโนโลยีที่มีความพร้อมและผ่านการทดลองด้านต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว เช่น อาจรวมถึงการทดสอบต้นแบบในห้องปฏิบัติการที่มีความละเอียดสูง หรือการทดสอบในภาคสนาม

Level 7: System prototype demonstration in an operational environment (การทดลองต้นแบบในภาคสนาม) ต้นแบบที่มีความใกล้เคียงกับระบบที่จะใช้จริง โดยเป็นการพัฒนาต่อจาก Level 6 โดยการทดสอบต้นแบบในสถานการณ์การทำงานจริง

Level 8: Actual system completed and qualified through test and demonstration (ระบบจริงที่มีความสมบูรณ์ มีคุณภาพ และผ่านการทดสอบและทดลองแล้ว) เทคโนโลยีที่ผ่านการ

ทดสอบคุณภาพการใช้งานขั้นสุดท้ายภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้ว โดยขั้นนี้จะเป็นขั้นปลายของการพัฒนาระบบที่พร้อมส่งมอบให้ลูกค้า/ผู้ใช้งาน

Level 9: Actual system proven through successful mission operations (ผลงานที่พร้อมส่งมอบและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยผ่านการพิสูจน์เรียบร้อยแล้ว) เทคโนโลยีที่พร้อมส่งมอบไปสู่การใช้งานจริง จนสามารถทดสอบการใช้งานและติดตามผลการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง

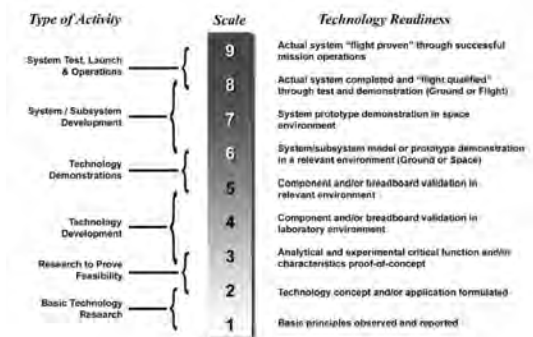
จากการระบุระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ข้างต้นเป็น 9 ระดับ นั้น สามารถจัดกลุ่มให้เป็นกลุ่มย่อยเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจได้ดังต่อไปนี้ [6]

Level 1-3: Basic (พื้นฐาน) หรือ Idea (แนวความคิด)

Level 4-5: Prototype (ต้นแบบ)

Level 6-7: Validation (ตรวจสอบ/พิสูจน์ความเที่ยงตรง)

Level 8-9: Production (ผลิตภัณฑ์)



รูปที่ 1 การระบุระดับและการจัดหมวดหมู่ของ TRL

3. ความสัมพันธ์ของ TRL กับการบริหาร

จัดการโครงการวิจัยและพัฒนา

“TRL เป็นเครื่องมือบริหารจัดการโครงการหรือโปรแกรมที่นำมาประยุกต์ใช้ เพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันระหว่างนักพัฒนาเทคโนโลยีกับผู้ที่จะนำเทคโนโลยีถ่ายทอดสู่ลูกค้า และสามารถเปรียบเทียบความพร้อมและเสถียรภาพของเทคโนโลยีระหว่างเทคโนโลยีที่แตกต่างกันได้” [4]

ตัวอย่างของประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีขั้นสูงทำให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า TRL มีความสำคัญในการเป็นเครื่องมือสำหรับการบริหารจัดการงานวิจัยและพัฒนา (R&D Tools) องค์กรที่ทำหน้าที่วิจัยและพัฒนาไม่เพียงแต่ใช้ TRL สำหรับโครงการวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น แต่ TRL ยังเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง เมื่อมีความประสงค์เพื่อต่อยอดนำผลงานวิจัยออกสู่ตลาดเชิงพาณิชย์ [7] [8]

ในระหว่างการบริหารจัดการโครงการวิจัยและพัฒนานั้น TRL สามารถช่วยบ่งชี้ได้ว่ามีความจำเป็นหรือไม่ที่จะต้องได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer) เพื่อช่วยให้เสถียรภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีที่ครอบครองอยู่เกิดการพัฒนาก้าวหน้าต่อไปได้ โดยการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้นั้นเกิดขึ้นได้ในทุกระดับ TRL ขึ้นอยู่กับความพร้อมและศักยภาพของผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี [2]

เพื่อก้าวให้ทันต่อยุคสมัยของเทคโนโลยี นวัตกรรมใหม่ซึ่งมีการพัฒนาก้าวกระโดดไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดในการนำเอาองค์ความรู้เกี่ยวกับระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) เข้ามาใช้ในการบริหารจัดการโครงการวิจัยฯ เพื่อสนับสนุนให้โครงการวิจัยและพัฒนาภายในประเทศไม่หยุดชะงัก สามารถดำเนินการต่อไปได้ตามสภาพความพร้อมและศักยภาพของบุคลากรภายในประเทศ

หากมีการแยกย่อยระบบของโครงการที่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัยและพัฒนาขึ้นมา จะเห็นได้ว่าในการสร้างนวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ขึ้นมาใหม่ ผลผลิตสุดท้ายที่

ต้องการจะประกอบขึ้นมาจากองค์ประกอบของเทคโนโลยีหลาย ๆ ด้าน นอกจาก TRL จะบ่งชี้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีที่ครอบครองอยู่ระหว่างดำเนินโครงการแล้วยังช่วยให้กลุ่มผู้บริหารโครงการสามารถตัดสินใจได้ว่าเทคโนโลยีย่อยใดมีความเป็นไปได้ที่จะประสบความสำเร็จหากทำการวิจัยและพัฒนาขึ้นเอง (Make) และยังมีคุณค่าในการลงทุนเมื่อปฏิบัติเช่นนั้น ในทางกลับกันเทคโนโลยีย่อยบางอย่างอาจมีราคาในการจัดหาไม่สูงนักหรือเป็นไปได้ยากที่จะวิจัยและพัฒนาให้สำเร็จได้ด้วยศักยภาพของทีมงานวิจัยที่มีอยู่ ดังนั้น กลุ่มผู้บริหารโครงการก็สมควรที่จะเดินหน้าทำการจัดหา (Buy) เพื่อให้โครงการวิจัยฯ ไม่เกิดการสะดุดหยุดชะงักและสามารถดำเนินโครงการวิจัยฯ ต่อไปได้โดยไม่เสียเวลา

TRL มีบทบาทเสริมโดยเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนในวงจรการวิจัยและพัฒนาที่หมุนวนเวียนเป็นวัฏจักร การทำการประเมินค่า TRL จึงเปรียบเหมือนการลงทุนที่จะทำให้ทราบถึงสถานะปัจจุบันขององค์กรว่าอยู่ใน TRL ระดับใดและสร้างระดับ TRL เป้าหมายที่ต้องการไปให้ถึงโดยอ้างอิงมาจากพันธกิจขององค์กร การพิจารณาประเมินค่า TRL จะต้องจัดทำขึ้นตั้งแต่ก่อนเริ่มต้นโครงการวิจัยฯ ในช่วงระหว่างที่ทำการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study) นั้นจะทำให้เห็นได้ว่าเมื่อเริ่มต้นโครงการวิจัยฯ จะมี Subsystem (ระบบย่อย) ในครอบครองอยู่ที่ระดับ TRL ที่แตกต่างกัน ซึ่งจุดประสงค์ปลายทางของโครงการวิจัยฯ คือ การทำให้ระดับ TRL ที่ด้อยกว่า สามารถพัฒนาให้ทันกันและบรรลุระดับ TRL ที่เป็นเป้าหมายว่าจะมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด เมื่อเป็นเช่นนี้การกำหนดกฎเกณฑ์ (Criteria) ที่ใช้วัดประเมินค่า TRL จึงต้องมีความสอดคล้องและจัดให้เป็นไปตามตัวแปร (Parameters) ของโครงการวิจัยฯ เพื่อให้ TRL สามารถบ่งชี้ระดับความสามารถ (Competency Levels) ที่มีอยู่ได้

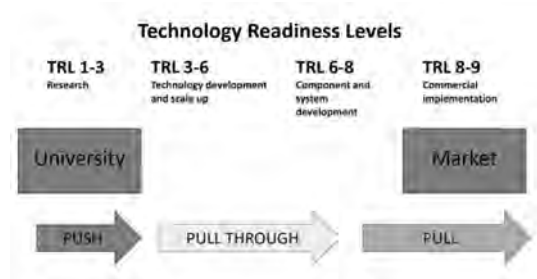
การประเมินค่า TRL ของโครงการวิจัยฯ ยังช่วยให้องค์กรสามารถรวมจุดสนใจไปยังเทคโนโลยีเป้าหมายหรือเทคโนโลยีหลัก (Key Technology) ได้โดยเทคโนโลยี

หลักจะถูกตั้งเป็นเป้าหมาย เพื่อสร้างศักยภาพที่ยั่งยืน ที่องค์กรต้องบรรลุให้ได้ เมื่อพิจารณาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อยใดแล้วพบว่าเทคโนโลยีที่ต้องใช้นั้นเป็นเทคโนโลยีเก่าและมีผู้ที่มีความเชี่ยวชาญอยู่แล้ว ก็ควรแสวงหาจากภายนอก (Outsourcing) ไม่ควรที่จะทำการวิจัยและพัฒนาขึ้นเอง แต่หากเทคโนโลยีหลัก (Key Technology) ที่ต้องใช้ในระบบย่อยใต้นั้นองค์กรไม่มีอยู่ในครอบครอง และถ้าหากเทคโนโลยีหลัก (Key Technology) ดังกล่าวนั้นเป็นเป้าหมายขององค์กรด้วยแล้ว ก็มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการลงทุนคิดค้นขึ้นเอง และยังต้องคำนึงไปถึงการบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญา (Intellectual Property) อีกด้วย หากทำการวิจัยและพัฒนาได้เป็นผลสำเร็จ ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า TRL เป็นเครื่องมือช่วยกำหนดแนวทางการดำเนินโครงการ การวิจัยและพัฒนา (TRL ช่วยในการบริหารจัดการเวลา เงิน และทรัพยากรที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ให้โครงการวิจัยฯ ดำเนินไปให้ทันต่อเวลาและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน) ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการเขียนแผนปฏิบัติการ (Action Plan) ขององค์กร การทำแผนการดำเนินธุรกิจ (Business Plan) และการสร้างแผนที่นำทางด้านเทคโนโลยี (Technology Roadmap)

4. การนำ TRL มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยและพัฒนาในประเทศไทย

จากบทบรรยายของ ดร.สุวิทย์ เมษินทรีย์ รัฐมนตรีช่วยว่าการกระทรวงพาณิชย์ ได้อธิบายว่าวิสัยทัศน์เชิงนโยบายไทยแลนด์ 4.0 มีลักษณะอย่างไรมัน ทำให้รับทราบได้ว่านายกรัฐมนตรีมีความมุ่งมั่นที่จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศไทยไปสู่ “Value-Based Economy” หรือ “เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม” [9] ซึ่งทำให้การรับถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อนำมาต่อยอดสำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาสร้างนวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์จากเทคโนโลยีใหม่ขึ้นเพื่อใช้งานเองภายในประเทศ หรือเพื่อจำหน่ายเป็นรายได้เข้าประเทศนั้น เป็นหนึ่งในจุดมุ่งหมายที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

สวทช. เป็นองค์กรตัวอย่างที่ได้นำ TRL เข้ามาใช้เพื่อการบริหารจัดการโครงการวิจัยฯ [7] ถึงแม้ว่า สวทช. จะยังไม่ได้มุ่งเน้นการนำผลงานวิจัยเข้าสู่เชิงพาณิชย์ แต่ก็ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีที่ทำให้สถาบันและองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ ในประเทศไทยเริ่มเล็งเห็นถึงความสำคัญของเครื่องมือสำหรับการบริหารจัดการงานวิจัยและพัฒนาชนิดนี้



รูปที่ 2 ก้าวจากสถาบันวิจัยสู่ตลาดผลิตภัณฑ์ [10]

กระบวนการประยุกต์ใช้ TRL ในโครงการวิจัยและพัฒนาจะสอดคล้องและผันแปรไปตามระดับ TRL ภายในหน่วยงานวิจัย ซึ่งทำให้กลุ่มผู้วิจัยต้องสามารถประเมินได้เสียก่อนว่าระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของโครงการวิจัยฯ ของตนอยู่ในระดับใด แล้วจึงสามารถวิเคราะห์เพื่อแสวงหาหนทางปฏิบัติต่อไป เพื่อนำผลงานจากการวิจัยในระดับมหาวิทยาลัยหรือสถาบันวิจัยพัฒนา (TRL: 1-3) ก้าวไปสู่การสร้างต้นแบบ (TRL: 3-6) ทดสอบการใช้งาน การตรวจสอบมาตรฐาน (TRL: 6-8) จนกระทั่งสามารถสร้างเป็นผลิตภัณฑ์สมบูรณ์แบบ (TRL: 8-9) ที่สามารถสร้างบทบาทในตลาดเทคโนโลยีได้

5. ความตระหนักรู้ด้านระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของ สทป.

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ในฐานะองค์กรที่ทำหน้าที่วิจัยและพัฒนายุทธโธปกรณ์ให้กับกองทัพไทยได้นำ TRL เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการโครงการวิจัยและพัฒนายุทธโธปกรณ์ เพื่อให้เกิดความก้าวหน้าในโครงการวิจัยฯ มีความคุ้มค่าและเกิดประโยชน์

สูงสุดในวงเงินงบประมาณที่ได้รับ โดยมีความสอดคล้องกับปริมาณงานและขนาดของโครงการวิจัยที่ สทป. มีศักยภาพในการบริหารจัดการได้ ซึ่งนั่นก็คือ สทป. ได้ใช้ TRL เป็นมาตรวัดในการวางแผนการพัฒนาระบบ (System Development Plan) เพื่อให้ระบบของยุโรปกรณ์ในโครงการวิจัยและพัฒนาที่เริ่มต้นที่ระดับ TRL ของระบบย่อยที่แตกต่างกัน สามารถค่อย ๆ ลดช่องว่างลง และท้ายที่สุดเป้าหมายคือ การทำให้ TRL ของระบบย่อยทั้งหมดเท่ากันเมื่อโครงการวิจัย ประสบความสำเร็จภายในระยะเวลาและงบประมาณที่กำหนด นอกจากนี้ TRL (ผนวกพร้อมกับ MRL: Manufacturing Readiness Level) ยังเป็นเครื่องมือตรวจสอบเพื่อใช้ในการบ่งชี้ว่าเทคโนโลยีใด สทป. (หรือองค์กรอื่น ๆ) ต้องทำการเจรจาต่อรอง เพื่อให้ได้รับการชดเชยทางยุทธพาณิชย์ (Offset Program) อีกด้วย เหตุผลก็เนื่องมาจากรายการตรวจสอบตามนโยบายการชดเชยทางยุทธพาณิชย์ (Checklist of Offset Policy) นั้น ก็มาจากการพิจารณาใช้ TRL เป็นเกณฑ์กำหนดนั่นเอง TRL จึงเป็นทั้งตัวชี้วัดความพร้อมทางเทคโนโลยี เครื่องมือเฝ้าติดตามผลการดำเนินโครงการวิจัยฯ และเป็นตัวชี้วัด (KPI) ของโครงการวิจัยฯ ไปด้วยในคราวเดียวกัน

6. สรุป

TRL เป็นเครื่องมือสำหรับการบริหารจัดการโครงการวิจัยและพัฒนาที่เป็นมาตรฐานสากลและเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ การนำ TRL เข้ามาประยุกต์ใช้ในโครงการวิจัยและพัฒนาเพื่อการสร้างยุโรปกรณ์สำหรับใช้งานเองภายในประเทศ หรือนำออกสู่ตลาดสินค้าอุตสาหกรรมป้องกันประเทศระดับภูมิภาคหรือระดับโลก เพื่อสร้างรายได้ให้ประเทศนั้น มีความเป็นไปได้ว่าจะประสบความสำเร็จ หากนักวิจัยมีความรู้และความเข้าใจในการประเมินระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี เพื่อนำไปสู่อุตสาหกรรมในโครงการวิจัยฯ ที่ตนเองมีส่วนรับผิดชอบว่า ระดับ TRL ที่มีอยู่ในขณะนี้ อยู่ในระดับใดและเทคโนโลยีย่อยที่เกี่ยวข้องในโครงการ

วิจัยฯ นั้น ส่วนใดสามารถพัฒนาขึ้นได้เอง หรือส่วนใดจำเป็นต้องได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถพัฒนา ก้าวทันระดับพัฒนาการด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศอื่น ๆ ได้

หาก “โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ” ได้ผ่านการพิจารณาระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (TRL) ทั้งในขั้นต้นก่อนเริ่มโครงการวิจัยฯ และมีการทบทวนเป็นระยะ ๆ ระหว่างที่ดำเนินโครงการวิจัยฯ เพื่อปรับปรุงพัฒนาระดับ TRL ให้เป็นวงรอบแล้วนั้น การบริหารจัดการโครงการวิจัยฯ จะสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น และมีความเป็นไปได้ที่จะตรวจพบข้อสงสัย ตลอดจนอุปสรรคหรือข้อขัดข้อง ก่อนที่สิ่งดังกล่าวอาจจะกลายเป็นปัญหาที่ยุ่ยากซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้โดยง่าย ดังนั้น การใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีหรือ TRL มาเป็นหนึ่งในข้อพิจารณาในทุกห้วงเวลาของการดำเนินโครงการวิจัยฯ จะมีส่วนช่วยอย่างมาก ส่งผลให้โครงการวิจัยฯ ก้าวไปสู่ความสำเร็จ สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ เพื่อให้ยุโรปกรณ์ที่ผ่านการวิจัยและพัฒนาโดย สทป. สามารถผ่านการตรวจสอบมาตรฐานของคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุโรปกรณ์ (กมย.) และถูกนำเข้าใช้ประจำการในเหล่าทัพได้อย่างเต็มความภาคภูมิ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] “Technology Readiness Scale”, <http://redstone.us.com/technical-readiness-level-scale/>
- [2] “การประเมินความพร้อมของงานวิจัยเทคโนโลยี หรือนวัตกรรมด้วย Technology Readiness Level”, สวทช., http://bps.moph.go.th/new_bps/sites/default/files/9%20TRL.pdf
- [3] “Final Report of the NASA Technology Readiness Assessment (TRA) Study Team”, <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170005794.pdf>

[4] “คำอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับระดับของ Technology Readiness Level (TRL: 1-9)”, <https://www.nrms.go.th/FileUpload/AttatchFile/News/256109121106180493944.pdf>

[5] “Technology Readiness Assessment Guide”, Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects; U.S. Government Accountability Office, <https://www.gao.gov/assets/680/679006.pdf>

[6] “Measure Your Technology Readiness Level-TRL, how technology ready is your service/product?”, www.cloudwatchhub.ed

[7] “Technology Readiness Levels: ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรม”, สวทช., <https://www.nstda.or.th/th/nstda-knowledge/144-km-knowledge/3317-technology-readiness-levels>

[8] “คู่มือ ข้อเสนอโครงการบริหารจัดการโครงการวิจัย ประกอบการเสนอของบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2561”, <https://www.nrms.go.th/FileUpload/AttatchFile/News/256011091657462917694.pdf>

[9] “ประเทศไทย 4.0 โมเดลเศรษฐกิจใหม่”, บวร เทศารินทร์, <http://www.drborworn.com/articledetail.asp?id=16223>

[10] “การปฏิรูปบวรวิจัยของประเทศ”, รศ.ดร. พิระพงษ์ ทิฆมสกุล, <http://kb.hsri.or.th/dspace/bitstream/handle/11228/4431/hsri-retreat-Perapong->

Detection of small object at a distance using flickering frequency and trajectory patterns

Sutthiphong Srigrarom^{1*}

Received 20 November 2019, Revised December 2019, Accepted 11 January 2020

Abstract

In this proposal, we intend to research on the innovative and unconventional way to detect small object at a distance using flickering frequency and trajectory patterns (if possible). The object can be drones and can be under cluttered or obscured condition. The initial detecting part can be done by fusion of (1) flickering frequency pattern identification, (2) flight trajectory pattern (if possible) and (3) visual sensor with deep learning.

The subsequent tracking part is intended to be the ongoing-research 3D coordinated image-based dynamic localizations technique.

Keywords : flickering frequency pattern, flight trajectory pattern, visual sensor, deep learning

¹ National University of Singapore.

* Corresponding author, E-mail: spot.srigrarom@nus.edu.sg

1. Background

1.1 Drone detection

There are several techniques for detecting the drone, e.g. ambient RF signal, Radar, Acoustic Signal, Computer Vision and Sensor fusion. Figure 1 summarizes few good literature reviews on these techniques, especially X.F. Shi et al [1], Guvenc, et al [2] and Azari et al [3]. Here is the caption obtained from Guvenc et al [2]

Detection Technique	Advantages	Disadvantages
Ambient RF signals (e.g., [4, 6])	Low-cost RF sensors (e.g., SDRs), works in NLOS, long detection range. May allow deauthentication attacks for taking control of drone by mimicking a remote controller or spoofing GPS signal.	Need prior training to identify/classify different drones. Fails for fully/partially autonomous drone flights due to no/limited signal radiation from a drone/controller.
Radar (e.g., [7–10])	Low-cost FMCW radars, does not get affected from fog/clouds/dust as opposed to vision based techniques, can work in NLOS (more sophisticated). Higher (mmWave) frequencies allow capturing micro-Doppler/range accurately at the cost of higher path loss. Does not require active transmission from the drone.	Small RCS of drone makes identification/classification difficult. Further research needed for accurate drone detection/classification and machine learning techniques, considering different radar/drone geometries and different drone types which all affect micro-Doppler signatures. Higher path loss at mmWave bands limits drone detection range.
Acoustic signals (e.g., [11–13])	Low cost for simple microphones (cost depends on the quality of microphones). Can work in NLOS as long as the drone is audible.	Need to develop database of acoustic signature for different drones. Knowledge of current wind conditions and background noise is needed. May operate poorly under high ambient noise such as in urban environments.
Computer vision (e.g., [9, 14, 15])	Low cost for basic optical sensors. Pervasive availability of cameras even at most commercial drones that can be used as sensors.	Higher cost for thermal, laser-based, and wide FOV cameras. Requires LOS. Level of visibility impacted by fog, clouds, dust.
Sensor fusion (e.g., [9, 15])	Can combine advantages of multiple different techniques for wider application scenario, high detection accuracy, and long-distance operation.	Higher cost and processing complexity. Need effective sensor fusion algorithms.

Fig.1 Summary of literature review of drone detection

A team of Zhejiang university suggests to use sensor fusion (X.F. Shi et al [1]), which shows promising solution. Yet, the system is still effective only with the moderate to large drone sizes. All of these literatures conform conclusion that there is a gap for detecting small and fast drone, as the objects are either too small to be detected, need extensive training or high cost.

The work on background subtraction has been done in other application, e.g. traffic (Shahare et al [4]). To the team knowledge, there is no published work done on implementing or applying similar technique to drone for outdoor applications to date. Therefore, we can implement the similar system too.

Lastly, the flight trajectory tracking work was suggested by V-P Thai et al [5]. Their work is to classify the fixed wing from rotary wing aircraft. We intend to implement similar systems for more detailed classification of several type of flying objects.

1.2 Drone tracking

The visual motion or trajectory tracking of an object can be achieved through obtaining the

relative motion of the object and the camera in a sequence of images. Optical flow tracking or motion-energy estimation are often considered as one category of visual trajectory tracking technique. The way these methods work is by extracting the velocity field and calculating the temporal derivatives of sequence images.

Trajectory tracking based on these methods can be fast, but its downside is that it is subjected to noise resulting in inaccurate values and it is unusable if pixels produced by the camera motion are more than a few.

Feature-based technique is also considered as another category for trajectory tracking. The way that feature-based technique works is by

recognizing a single unique identifiable object or multiple identifiable structures across the scene in sequence images. This technique has its own pitfall as well. Tracking using single object identification are first detected and then estimating the camera position based on triangulation. However, the single object must be placed at different but known locations in the scene or environment. This means that knowledge of the geometric model of the environment must first be known. While identifying multiple structures across the scene operate with the same concept as a single object, this approach is highly dependent on the working environment.

There is need to for 3D object detection and dynamic trajectory tracking. There are some prior works done in this area. Papanikolopoulos et al [6] proposed idea of using visual tracking of moving target by a camera mounted on a robot. The work done was 2 dimensional and more on accuracy of visual tracking but not on object trajectory. Kawanashi et al [7] did 3D object detection by multiple active cameras. However, their system based on fixed camera in a lab with the effective range about 3m and was focused on the dynamic searching and focusing on the tracked object. Talukder and Matthies [8] worked on real-time detection of moving objects from moving camera using dense stereo and visual odometry. Their work paves way to do dynamic tracking, however, they use depth (dense stereo) camera for ground view and get the vehicle motion in 2-D ground plane only. Migliore et al [9] applied a single camera for Simultaneous Localization And Mapping

(SLAM) with Mobile Object Tracking in dynamic environments. Their work focused on SLAM in lab and fixed camera environment. Nevertheless, they demonstrated that the ordinary monocular camera can be used for dynamic object tracking. Rodriguez-Canosa et al [10] used single camera with optical flow of the track object by with Kalman filter. They estimated the camera motion by creating an artificial optical flow field by estimating the camera motion between two subsequent video frames.

Scaramuzza et al [11], [12], [13], [14] did extensive work on computer vision and visual odometry for tracking of objects in various indoor conditions. Their methods show the possibility of using one camera to track objects in 2D with accurate trajectory and able to obtain feature information. They introduced the visual-inertial odometry to get the estimation of the camera pose. They also suggested to do the collaborative monocular SLAM with multiple UAV but for localizations of individual MAVs. Zhou et al [15] did dynamic objects in the urban environments and focused on object segmentation using Convolutional Neural Network but not on trajectory localization. Recently, Jing li et al [16] suggested to combine the optical flow for real time tracking the cars on the road from the airborne video via deep learning and digital homography. The 2D tracking of car is done by optical flow method. Their work gives way to compensate the camera motion by means of digital imaging, i.e. examining image scene in pixel level to estimate the camera motion. However, their method assumes linear translation of the camera between images,

so the rotational motion of the camera is not accounted for. The proposed photogrammetry of the known scene in this proposal can cover both this translation and rotational motion of the camera.

2. Suggestion

In recent years, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) usage has increased substantially ranging from commercial applications to personal hobby; mainly for aerial photography.

Though there are limitations and regulations for flying UAVs near prohibited areas, it is still tedious to control these flying spaces. Recently, there was an increase in drone intrusions that resulted in several cases such as drone intrusion at Singapore Changi International Airport (Fig.2) and London Gatwick Airport which caused several flight delays. Hence, having a robust system to detect and track an intruder- UAV when it enters the prohibited area is quintessential.

3. For detection

The challenges of the small and fast moving drone or object are the followings:

- Small object: The size of the object in range depends on the distance from the camera to the intruder-UAV. There is a situation that the intruder-UAV appears to be very small at the edge of the camera.

- Moving object at a distance or under Cluttered Background: Even though there are UAVs standing by to detect the target object from different angles, the intruder UAV and interceptor is moving at a distance and may travel high speed against the cluttered or obscured background.

The initial detection of the small object from a distance is crucial. Currently, there are several advanced deep-learning based visual technique to identify the object. However, the object must occupy or have certain number of pixels so that the training algorithm could recognize



Fig.2 Drone intrusion at Singapore Changi International Airport

the feature and be identified as drone. Although, the object might be large, e.g. 1m or in size, if such object is located far away, most of the visual sensor fail to identify as the object may appear too small in the scene. For example, the DJI Matric M100 (5kg and 60cm approximately) appear as just a dot, if it flies just about 100m away. For the even smaller drone, e.g. Parrot Tello (30cm) and fly at 50m away and fly fast appear just a line in the scene.

The flying object of the drone however have changed its appearance while travelling, either by its motion, or flickering patterns due to its rotary wings (rotors). Here, we propose the innovative way to detect, by indirectly observing the change of the object's appearance in the frame by means of change of 'event'.

As all the objects have unique flickering characters, e.g. waving tree branches and leaves, there are certain frequency associated with. Therefore, one can do stochastic regression for classification of the flickering frequency of object. This requires the pre-training of the known the flickering frequency & patterns. Then, from the recorded frequency changes, one can record and do flickering frequency analysis in the frequency domain to compare, classify and even identify, whether such flickering object corresponds to rotors, waving tree leaves, wind, etc. This is, somewhat, analogous to voice recognition. Also, this technique requires not many pixels to be used (in principle, even just 1 pixel can do). The advantage over the conventional visual technique is obvious.

Besides, nowadays, there are event cameras (or even many other monocular cameras) that has high frame rate, and can respond quickly, i.e. able to capture very high frequency. Therefore, the idea could be realized and tested.

In this proposal, we intend to use this new flickering frequency technique as the initial means of detection. One can scan the entire scene and look for 'hot spot' where there is motion or change in pattern, which can be as small as 1 pixel in size, corresponding to small object at a distance away. Once the suspicious 'hot spot' is detected, one can still utilize the conventional camera to zoom (focus) in to get closer look at the object and do the usual deep-learning based visual technique to accurately identify the object whether it is a drone or something else.

Besides, as a small object might still be difficult to be identified, we can optionally check indirectly with another identifier -flight trajectory, if that is possible, e.g. when the object moves across the scene. Similarly, one can do training of the flight trajectories (paths) of various objects (e.g. fixed wing aircraft, multirotor UAVs, birds, etc.) to obtain the signatures, and do another stochastic regression for classification of the flight trajectory of object, to get better accuracy of the tracked object. Note that, as we investigate the overall flight trajectory, the limitation on fast motion of the object is not the issue, as compared to the normal pan-tilt-zoom observing camera.

In short, for detection, we aim at research on fusing 2 or more techniques (flickering frequency/change of scene, deep-learning based visual object detection and identification, and perhaps flight trajectory) to get better detection of the small and fast-moving drone. Our target is to be able to detect and identify the drone about 1m or less in size at more than 100m or more away. This is the challenge that current vision-based technology alone is still hard to achieve.

4. For tracking (Subsequent work)

After initial detection as just described, we can apply image (vision)-based object detector with deep learning to further identify, detect and track the targeted drone. We anticipate starting with YOLOv3, due to its fast inference time, accuracy and ability to detect small objects. As YOLOv3 with pretrained coco weights can detect 80 different classes, we can train YOLOv3 with inclusion of other architecture to specifically detect small UAV. Subsequently, we shall include the current state-of-the-art deep learning algorithm to improve performance and accuracy (shorter detection time, and better confidence scores).

Afterward, we follow up the detection by tracking the target with translation using a KCF via local search technique. We try both CNN features extraction and adaptive background subtraction method to analyse the robustness of small and high-speed object. Later, when the drifting appears or there are the changes

in scale, we use a deep refinement network to refine the object boundary which results in the precise location of the objects in 3D space. In a single network evaluation, DRN can estimate the changes in scale even the object is small in the scene as well as compensate the drifting of the tracker by refining the object region estimated by the correlation filters.

The targeted tracked drone (intruder UAV) state estimator to be designed using the Unscented Kalman Filter (UKF). UKF allows estimation of nonlinear motion. Based on our previous works, using the information from the tracked drone and target object state estimator, we predicted its future trajectory using an exact dynamic model of tracked drone connected with a target object.

After object is detected and identified as a drone, the next step is to track, either for following & grasping or sensing & avoiding purposes. In this proposal, we propose to continue to use vision-based technique to track the object, by means of the ongoing-research coordinated imaged-based 3D localizations technique. In this technique, the object is tracked by the 2 or more cameras installed on either stationary or moving platform. The images from livestream videos to be processed via Deep-learning based (Deep Refinement Network)

It should be noted that the proposed visual tracking has advantage as it gives visual info in dimensions, trajectory, heading and even friendly or adversary thought its flying behaviour. The precise and robust tracking result

in high-performance UAV collaborative planning. A common tracking approach which uses simple linear assumptions fail to track a fast-moving object in an unknown cluttered scene when the camera is shaking.

In addition, a strong wind can cause the unpredictable drift to the UAVs which have a high probability of lost in tracking. To solve the previous issues, we introduce a GPU-based visual tracking framework that integrates Kernelized Correlation Filters (KCF) with our customized Deep Refinement Network (DRN) for real-time onboard object tracking and recovery that could handle drifting, small and fast object tracking.

5. REFERENCES

[1] Xiufang Shi, Chaoqun Yang, Weige Xie, Chao Liang, Zhiguo Shi, and Jiming Che, Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges, Digital Object Identifier: 10.1109/MCOM.2018.1700430, IEEE paper no. 08337899, 2018,

[2] İsmail Güvenç, Farshad Koohifar, Simran Singh, Mihail L. Sichitiu, and David Matolak, Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones, IEEE paper no. 08337900, 2018

[3] Mohammad Mahdi Azari, Hazem Sallouha, Alessandro Chiumento, Sreeraj Rajendran, Evgenii Vinogradov, and Sofie Pollin, Key Technologies and System Trade-Offs for Detection and Localization of Amateur Drones,

arXiv:1710.08478v1, 2017.

[4] Dipali Shahare 1 Ms. Ranjana Shende, A Survey on Moving Object Detection in Static and Dynamic Background for automated video analysis, IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 1, Issue 10, 2013

[5] Van-Phat Thai, Weixian Zhong, Thanh Pham, Sameer Alam and Vu Duong, Detection, Tracking and Classification of Aircraft and Drones in Digital Towers using Machine Learning on Motion Patterns, IEEE paper no. 08735240, 2019

[6] N. P. Papanikolopoulos, P. K. Khosla, and T. Kanade, “Visual tracking of a moving target by a camera mounted on a robot: A combination of control and vision,” IEEE transactions on robotics and automation, vol. 9, no. 1, pp. 14–35, 1993.

[7] T. Kawanishi, H. Murase, and S. Takagi, “Quick 3d object detection and localization by dynamic active search with multiple active cameras,” in Object recognition supported by user interaction for service robots, vol. 2. IEEE, 2002, pp. 605–608.

[8] A. Talukder and L. Matthies, “Real-time detection of moving objects from moving vehicles using dense stereo and optical flow” in 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566), vol. 4. IEEE, 2004, pp. 3718–3725.

- [9] D. Migliore, R. Rigamonti, D. Marzorati, M. Matteucci, and D. G. Sorrenti, "Use a single camera for simultaneous localization and mapping with mobile object tracking in dynamic environments," in ICRA Workshop on Safe navigation in open and dynamic environments: Application to autonomous vehicles, 2009, pp. 12–17.
- [10] G. R. Rodríguez-Canosa, S. Thomas, J. Del Cerro, A. Barrientos, and B. MacDonald, "A real-time method to detect and track moving objects (datmo) from unmanned aerial vehicles (uavs) using a single camera," *Remote Sensing*, vol. 4, no. 4, pp. 1090–1111, 2012.
- [11] C. Forster, S. Lynen, L. Kneip, and D. Scaramuzza, "Collaborative monocular slam with multiple micro aerial vehicles," in 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2013, pp. 3962–3970.
- [12] C. Forster, M. Pizzoli, and D. Scaramuzza, "Svo: Fast semi-direct monocular visual odometry," in 2014 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2014, pp. 15–22.
- [13] D. Scaramuzza, M. C. Achtelik, L. Doitsidis, F. Friedrich, E. Kosmatopoulos, A. Martinelli, M. W. Achtelik, M. Chli, S. Chatzichristofis, L. Kneip et al., "Vision-controlled micro flying robots: from system design to autonomous navigation and mapping in gps-denied environments," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 21, no. 3, pp. 26–40, 2014.
- [14] C. Forster, Z. Zhang, M. Gassner, M. Werlberger, and D. Scaramuzza, "Svo: Semidirect visual odometry for monocular and multicamera systems," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 2, pp. 249–265, 2016.
- [15] G. Zhou, B. Bescos, M. Dymczyk, M. Pfeiffer, J. Neira, and R. Siegwart, "Dynamic objects segmentation for visual localization in urban environments," *arXiv preprint arXiv: 1807.02996*, 2018.
- [16] J. Li, S. Chen, F. Zhang, E. Li, T. Yang, and Z. Lu, "An adaptive framework for multi-vehicle ground speed estimation in airborne videos," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 10, p. 1241, 2019.

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงต้นทุนต่ำโดยใช้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิไพโรลและวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้น ล้อมรอบเป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรด

ปณิทัต หาสิน^{1*} และ เหมือนฝัน กลัดแก้ว¹

วันที่รับ 7 พฤศจิกายน 2562 วันที่แก้ไข 24 พฤศจิกายน 2562 วันที่ตอบรับ 25 พฤศจิกายน 2562

บทคัดย่อ

ไพโรล (Py) ที่ถูกพอลิเมอร์ไรซ์บนวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ (MWCNT@rGNR) ได้ถูกนำมาใช้เป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านได้แสดงถึงรายละเอียดสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิต PPy/MWCNT@rGNR ที่ประกอบด้วยแผ่นฟิล์มของ PPy ที่เป็นแผ่นเรียบและความหนาแน่นสูงบนแผ่นกราฟีนที่ปกคลุมพื้นผิวของ MWCNT นอกจากนี้เทคนิคทางรามานยังได้ถูกนำมาใช้เพื่อยืนยันการเกิดแผ่นกราฟีนและปริมาณข้อบกพร่องบนพื้นผิวของวัสดุคอมโพสิต PPy/MWCNT@rGNR เทคนิคไซคลิกโวลเทมเมตริกถูกนำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม MWCNT, GONR, rGNR, PPy และ PPy/MWCNT@rGNR และจากผลการทดลองที่ได้จะพบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ได้มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของไตรโอโดต์ที่ดีตามลำดับต่อไปนี้ PPy/MWCNT@rGNR > rGNR > GONR > MWCNT > PPy ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ PPy/MWCNT@rGNR เป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรดมีค่าสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้วัสดุคาร์บอนชนิดอื่นเป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรด โดยประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของไตรโอโดต์ที่ดีของวัสดุคอมโพสิตดังกล่าวนี้เป็นผลมาจากการที่ PPy มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าที่ดี นอกจากนี้ยังมาจากการที่ rGNR มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนสูง มีพื้นผิวขรุขระมากและมีพื้นที่ผิวสูงที่สามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของไตรโอโดต์ได้ดี

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง, พอลิไพโรล, แผ่นกราฟีน, ขั้วแคโทดอิเล็กโทรด

¹ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย

* ผู้แต่ง, อีเมล: fscipths@ku.ac.th

Economical Dye-sensitized Solar Cells Based on Polypyrrole/ Multiwalled Carbon Nanotube@Reduced Graphene Oxide Nanoribbon Counter Electrode

Panitat Hasin^{1*} and Maeunfan Kladkaew ¹

Abstract

Pyrrole (Py) polymerized on multiwalled carbon nanotube@reduced graphene nanoribbon (MWCNT@rGNR) was reported as an efficient counter electrode (CE) for dye-sensitized solar cell (DSSC). Field-emission scanning electron microscopy (SEM) and Transmission electron microscopy (TEM) showed the microstructure detail of PPy/MWCNT@rGNR composite with the dense and flat pristine PPy film deposited on graphene sheet covering on a MWCNT and Raman spectroscopy were used to further confirm the formation of reduced graphene nanosheets and the degree of defect on the surface of PPy/MWCNT@rGNR composite. Cyclic voltammetry (CV) was used to study the electrocatalytic activities of the films of MWCNT, GONR, rGNR, PPy, and PPy/MWCNT@rGNR. The CV measurement revealed that resultant composites exhibited a superior electrocatalytic performance for tri-iodide reduction in the order of PPy/MWCNT@rGNR > rGNR > GONR > MWCNT > PPy. The efficiency of a solar cell with PPy/MWCNT@rGNR CE was superior to those with the other CEs. Such excellent electrocatalytic ability for the reduction of I_3^- ions can be attributed to the fact that PPy has high conductivity and superior electrocatalytic activity as well as rGNR has high electron transfer, surface roughness, and surface area to promote the reduction and regeneration of I_3^- ions.

Keywords : Dye-sensitized solar cells, Polypyrrole, Graphene, Counter electrode

¹ Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, E-mail: fscipths@ku.ac.th

1. บทนำ (Introduction)

มนุษย์กับพลังงานและสิ่งแวดล้อมแยกกันไม่ได้ นอกจากเพื่อการอยู่รอดของชีวิตแล้ว พลังงานยังเอื้ออำนวยความสะดวกสบายในด้านการคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม เกษตรกรรม อาคารพาณิชย์ บ้านพักอาศัย ซึ่งล้วนต้องพึ่งพาพลังงานทั้งสิ้น โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานแปรรูปได้จากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดสิ้น หรือพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติซึ่งในอนาคตทรัพยากรเหล่านี้ก็ต้องหมด ดังนั้นการพัฒนาพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุดของโลกและเป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ตั้งแต่ O'Regan และ Grätzel ได้คิดค้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell, DSC) ในปี 1991 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีราคาถูก มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน และยังมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงอีกด้วย [1] โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ (1) สีย้อมที่ถูกดูดซับบนผิวทำงานของ TiO_2 (2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (I^-/I_3^-) และ (3) ขั้วแคโทดอิเล็กโทรดของแพลทินัม (Platinum, Pt) เนื่องจากประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการให้และรับอิเล็กตรอน

(Redox reaction) ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วแคโทดอิเล็กโทรด ดังนั้น ขั้วแคโทดอิเล็กโทรดจึงมีบทบาทสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของ I_3^- (Tri-iodide reduction reaction) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า [2] ในปัจจุบัน แพลทินัม (Platinum, Pt) มักถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเพื่อใช้ทำเป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรดในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง เนื่องจาก Pt มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของ I_3^- ที่ดี แต่อย่างไรก็ตาม I_3^- ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถกัดกร่อน Pt ได้ และนอกจากนี้ Pt ยังมีราคาแพง (~ 6,000 บาทต่อกรัม) อีกด้วย จึงทำให้ไม่สามารถผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ได้ และยังทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงมีอายุการใช้งานสั้นลงอีกด้วย ดังนั้น การนำวัสดุชนิดอื่นที่มีราคาถูกมาใช้แทน Pt ยกตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์นำไฟฟ้า [3] สารประกอบโลหะทรานซิชัน [4] หรือวัสดุคาร์บอนชนิดต่าง ๆ [5] จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการลดต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงอุตสาหกรรม และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย

วัสดุคาร์บอนหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น คาร์บอนก่อกัมมันต์ (Activated carbon) [6] คาร์บอนดำ

(Carbon black) [7] แกรไฟต์ (Graphite) [8] ท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้น (Multi-walled carbon nanotube, MWCNT) หรือท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังชั้นเดียว (Single-walled carbon nanotubes, SWCNT) [9] สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทน Pt ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีราคาถูก มีค่าการนำไฟฟ้าสูง และมีประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาการรีดออกซิเดชันของ I_3^- ที่ดี และตั้งแต่ Prof. Novoselov และ Prof. Geim ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับรางวัล Nobel ได้เตรียมกราฟีน (Graphene) ในปี ค.ศ. 2004 [10] จากนั้นไม่นานกราฟีนก็ได้มีการนำไปใช้ในอุปกรณ์เชิงเคมีไฟฟ้าหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น ตัวรับรู้ (Sensors) [11] แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-ion batteries) [12] และตัวเก็บประจุ (Capacitors) [13] เพราะกราฟีนมีสมบัติเชิงไฟฟ้า เชิงแสง เชิงความร้อน และเชิงกลที่ดี นอกจากนี้กราฟีนยังมีพื้นที่ผิวสูงอีกด้วย ($\sim 2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) [14] เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นของกราฟีนดังที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้นำเอากราฟีนไปทำเป็นขั้วแคโทดรีดออกซิเดชันไฮโดรเจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อเร็ว ๆ นี้ กราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นที่มีขนาดในระดับนาโน (Graphene nanoribbons, GNR) ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาจากท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็น

อย่างมาก [15] เนื่องจากกราฟีนที่มีโครงสร้างดังกล่าว มีพื้นที่ผิวสูง มีสัณฐานวิทยาที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว และมีค่าการนำไฟฟ้าสูง นอกจากนี้การที่โครงสร้างของกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นนั้นมีลักษณะกลวง (Hollow geometry) จึงเหมาะต่อการนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงและตัวเก็บประจุ หรือเหมาะต่อการนำมาใช้เป็นตัวเร่งเชิงเคมีไฟฟ้า (Electrocatalysts) ในปฏิกิริยาการรีดออกซิเดชันของออกซิเจน ไฮโดรเจน หรือไตรโอไดด์เป็นอย่างมาก จากการศึกษาต่อมาพบว่าประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาการรีดออกซิเดชันของ I_3^- นั้นขึ้นอยู่กับบริเวณบกพร่อง (Defect) และหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่อยู่บนพื้นผิวของกราฟีน แต่อย่างไรก็ตามกราฟีนในแต่ละชั้นมักจะจับกันเป็นกลุ่มก้อนเนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างพันธะไพ (π-π stacking) จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของกราฟีนต่ำลง เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้น การนำเอาท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นไปแทรกระหว่างชั้นของกราฟีน จึงเป็นการลดอันตรกิริยาระหว่างพันธะไพ ส่งผลให้กราฟีนในแต่ละชั้นจับกันเป็นกลุ่มก้อนน้อยลง จึงทำให้วัสดุคาร์บอนที่ได้มีความพรุนสูงและมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระซึ่งสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่กล่าวไปข้างต้นนั้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของกราฟีนดีขึ้น นอกจากนี้ท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นยังทำ

หน้าที่เป็นสะพานเชื่อมที่ว่างระหว่างแผ่นกราฟีนในแต่ละชั้น เพื่อสร้างเป็นเครือข่ายเชื่อมโยงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (Conductive network) ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเกิดได้เร็วขึ้น จึงทำให้วัสดุคาร์บอนที่แกนกลาง (Cores) เป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนล้อมรอบมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้น และสามารถเหนี่ยวนำให้ออออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นอีกด้วย ดังนั้น วัสดุคาร์บอนที่มีโครงสร้างดังกล่าวจึงถือว่าเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงในการนำมาทำเป็นขั้วแคโทดรีเล็กโตรดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง

นอกจากนี้เพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าให้สูงขึ้น พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conductive polymers) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะพอลิไพโรล (Polypyrrole, PPy) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกนำมาใช้เป็นเวลามากกว่า 1 ทศวรรษ เนื่องจากพอลิไพโรลเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ง่าย มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและมีพื้นที่ผิวมาก ดังนั้น การเจือพอลิไพโรลลงในวัสดุคาร์บอนชนิดต่าง ๆ เพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้าจึงเป็นการเพิ่มเครือข่ายการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้มากขึ้น ส่งผลให้การกักเก็บอิเล็กตรอน (Electron collection) ของขั้วไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ข้ามผ่านขอบเขตระหว่างอนุภาค (Grain boundary) น้อยลง จึงส่งผลให้วัสดุคาร์บอนที่ถูกเจือด้วยพอลิไพโรลมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นกว่าเดิม

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้มีจุดประสงค์ในการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงของวัสดุคอมโพสิต (Composite) ระหว่างพอลิไพโรล (PPy) และวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนัง

หลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ (MWCNT@GNR) เพื่อใช้เป็นขั้วแคโทดรีเล็กโตรดในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง โดยที่ PPy ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวนำไฟฟ้าและตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการรีดอิเล็กตรอน ในขณะที่ MWCNT@GNR จะเป็นวัสดุที่ช่วยให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นและเป็นตัวเหนี่ยวนำให้ออออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นอีกด้วย จึงส่งผลให้การเร่งปฏิกิริยาการรีดอิเล็กตรอนของ I_3^- ของขั้วแคโทดรีเล็กโตรดที่ทำมาจากวัสดุคอมโพสิตของ PPy/MWCNT@GNR มีประสิทธิภาพมากขึ้นและยังเป็นการลดความต้านทานการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน (Charge transfer resistance) ระหว่างพื้นผิวของวัสดุคอมโพสิตกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์อีกด้วย เมื่อพิจารณาถึงสมบัติที่ดีของวัสดุคอมโพสิตของ PPy/MWCNT@GNR จะเห็นได้ว่าวัสดุคอมโพสิตชนิดนี้เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้แทน Pt เพื่อลดต้นทุนในการประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (~ 2,000 บาทต่อกรัม) แต่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ายังคงเทียบเท่ากับการใช้ Pt

2. วิธีการวิจัย/ทดลอง (Methods)

2.1 การสังเคราะห์วัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ (MWCNT@GNR)

วัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ (MWCNT@GNR) จะถูกสังเคราะห์โดยใช้วิธี unzipping ของท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้น

โดยท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นจำนวน 200 mg จะถูกกระจายตัวในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้นปริมาตร 45 mL และทำการคนสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ได้สารละลายเนื้อเดียวจากนั้นทำการเติมกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ปริมาตร 6 mL ลงในสารละลายที่เตรียมได้ ทิ้งให้ตกตะกอน และทำการคนสารละลายเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากทำการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70°C จะทำการเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) จำนวน 1 g อย่างช้า ๆ ลงในของผสม โดยจะทำการเติม KMnO_4 จำนวน 200 mg เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากทำให้ของผสมเย็นที่อุณหภูมิห้อง จะทำการเติมน้ำเย็นปริมาตร 250 mL และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (30 wt %) ปริมาตร 10 mL แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เสร็จแล้ว นำตะกอนที่ได้ไปกำจัดไอออนของโลหะโดยใช้วิธี dialysis เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เสร็จแล้วจะได้สารละลายของวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้น และมีแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินล้อมรอบ (MWCNT@GONR) ที่มีการกระจายตัวที่ดี

2.2. การสังเคราะห์วัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินล้อมรอบ (MWCNT@GNR) และถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิไพโรล (PPy) โดยใช้เทคนิคเชิงเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reduction)

ในขั้นตอนแรกจะต้องทำการเจือพอลิไพโรล (PPy) บนพื้นผิวของวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินล้อมรอบ (MWCNT@GONR) ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ขั้วทำงาน (Working electrode) เป็น FTO หรือ PEN/ITO, ขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดเป็น

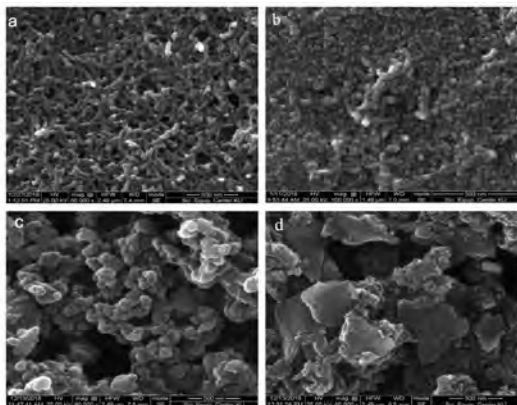
ขดลวด Pt และขั้วอ้างอิง (Reference electrode) เป็น Ag/AgCl โดยการทดลองนี้จะทำการเตรียมสารละลายที่อิ่มตัวด้วยแก๊สไนโตรเจนของ $1 \text{ mg mL}^{-1} \text{ MWCNT@GONR}$ ที่ประกอบด้วย 0.1 mol L^{-1} ไพโรล เสร็จแล้วทำสารละลายที่ได้ให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้คลื่นเสียงที่มีพลังงานสูง (Ultrasonication) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นให้ความต่างศักย์ 0.8 V เป็นเวลา 150 วินาที หลังจากขั้นตอนนี้จะทำให้ได้พอลิไพโรลเคลือบอยู่บนวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินล้อมรอบ (PPy/MWCNT@GONR)

จากนั้นจะทำการรีดิวซ์แผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินโดยการให้ความต่างศักย์ในช่วง 0 ถึง -1 V ในสารละลาย $0.5 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ ที่อิ่มตัวด้วยแก๊สไนโตรเจน เป็นเวลา 10 รอบ โดยใช้อัตราการกวาดความต่างศักย์ (Scan rate) เท่ากับ 50 mV s^{-1} หลังจากขั้นตอนนี้จะทำให้ได้พอลิไพโรลเคลือบอยู่บนวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินล้อมรอบ (PPy/MWCNT@GNR)

3. ผลการวิจัย/ทดลอง (Results) วิเคราะห์อภิปรายผล (Discussion)

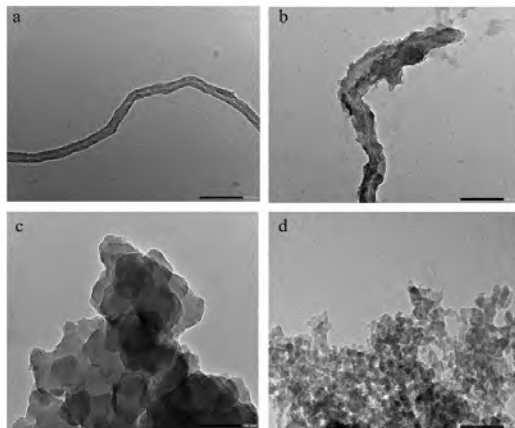
เพื่อที่จะยืนยันถึงสัญญาณวิทยาวัสดุ PPy/MWCNT@GNR ที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นรีบบินล้อมรอบ ดังนั้น สัญญาณวิทยาของ multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) จึงถูกนำมาตรวจสอบโดยใช้เทคนิค field-emission scanning electron

microscopy (FE-SEM) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ จากรูปที่ 1 (a) จะพบว่าสัณฐานวิทยาของ MWCNT จะมีโครงสร้างเป็นท่อและมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเฉลี่ยประมาณ 10 nm และ 5 μm ตามลำดับ จากรูปที่ 1(b) จะพบว่าสัณฐานวิทยาของ GONR จะคล้ายคลึงกับ MWCNT แต่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเฉลี่ยน้อยกว่า MWCNT นั้นเป็นการยืนยันว่าวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีโครงสร้างเป็น รีบิ้นล้อมรอบ (GONR) สามารถถูกสังเคราะห์โดยใช้วิธี unzipping ของท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้น (MWCNT) จากรูปที่ 1 (c) จะพบว่าสัณฐานวิทยาของ PPy จะมีโครงสร้างเป็นเกล็ด ซึ่งมีขนาดในระดับนาโน จากรูปที่ 1(d) จะพบว่าสัณฐานวิทยาของ PPy/MWCNT@rGNR จะคล้ายคลึงกับ PPy นั้นเป็นการยืนยันว่า PPy ถูกเจืออยู่บนพื้นผิวของ MWCNT@rGNR



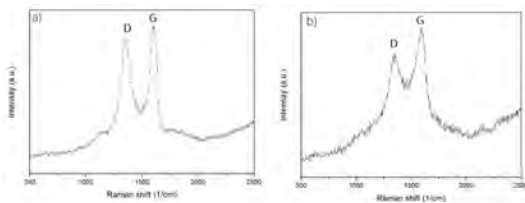
รูปที่ 1 ภาพถ่าย SEM ของ (a) MWCNT, (b) GONR, (c) PPy และ (d) PPy/MWCNT@rGNR

รูปที่ 2 แสดงภาพถ่าย transmission electron microscopy (TEM) ของ MWCNT, GONR, PPy และ PPy/MWCNT@rGNR จากรูปที่ 2 (a) จะพบว่าสัณฐานวิทยาของ MWCNT จะมีโครงสร้างเป็นท่อ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM ส่วนสัณฐานวิทยาของ MWCNT@GONR จะมีลักษณะคล้ายรีบิ้น ซึ่งจะปรากฏทั้ง 2 ด้านของท่อนาโนคาร์บอน ดังแสดงได้จากรูปที่ 2 (b) และจากรูปที่ 2 (c) จะพบว่าสัณฐานวิทยาของ PPy จะมีโครงสร้างเป็นเกล็ด ซึ่งมีขนาดในระดับนาโน ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM นอกจากนี้ในรูปที่ 2 (d) ยังได้แสดงว่าโครงสร้างพื้นฐานของ PPy ในรูปที่ 2 (c) ยังคงสภาพอยู่ในวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR นั้นเป็นการยืนยันว่า PPy ถูกเจืออยู่บนพื้นผิวของ MWCNT@rGNR ยิ่งไปกว่านั้นยังพบว่า PPy ที่เจืออยู่บนพื้นผิวของ MWCNT@rGNR ในวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR นั้นจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า PPy ในรูปที่ 2 (c) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า rGNR สามารถทำให้อนุภาคของ PPy เกิดการกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ โดยไม่เกิดการหลอมรวมกันของอนุภาค



รูปที่ 2 ภาพถ่าย TEM ของ (a) MWCNT, (b) GONR, (c) PPy และ (d) PPy/MWCNT@rGNR

เทคนิค Raman spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบวัสดุที่ประกอบด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่ไม่มีข้อขัดแย้ง โดยจะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับโครงสร้างของวัสดุคาร์บอน รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งของพีก D (1355 cm^{-1} , sp^3 คาร์บอนอะตอม) และพีก G (1579 cm^{-1} , sp^2 คาร์บอนอะตอม) ของวัสดุ GONR และ PPy/MWCNT@rGNR พร้อมทั้งระบุอัตราส่วนความเข้มของพีก D ต่อพีก G (I_D/I_G) ของวัสดุคาร์บอนทั้ง 2 ชนิดอีกด้วย การที่ PPy/MWCNT@rGNR มีค่า I_D/I_G น้อยกว่า แสดงว่าโครงสร้างคาร์บอนของวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR มีข้อบกพร่อง (defect) ต่ำ จึงทำให้วัสดุ PPy/MWCNT@rGNR มีค่าการนำไฟฟ้าสูง จากข้อมูลที่ได้จากเทคนิค Raman spectroscopy จึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR สามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้

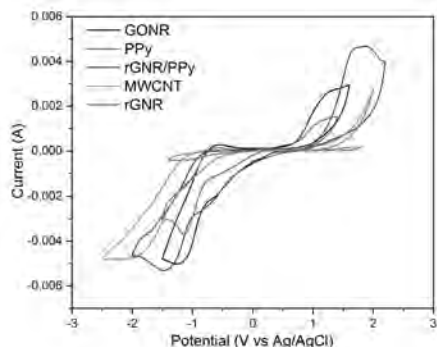


รูปที่ 3 กราฟ Raman spectra ของวัสดุ (a) GONR และ (b) PPy/MWCNT@rGNR

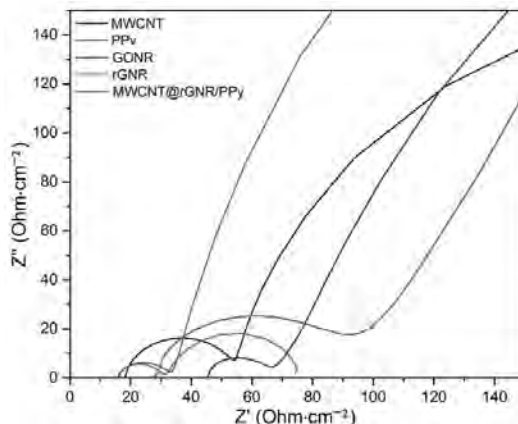
ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าของกระบวนการรับอิเล็กตรอนของ tri-iodide ในวัสดุคอมโพสิตจะถูกประเมินโดยใช้เทคนิค CV ในระบบสามขั้วไฟฟ้า ซึ่งกราฟ CV จะถูกแสดงในรูปที่ 4 โดยจะพบพีครีดอกซ์ 1 คู่ในทุกขั้วไฟฟ้า ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาดังแสดงข้างล่างนี้



โดย tri-iodide ion จะรับอิเล็กตรอนบนพื้นผิวของขั้วแคโทดรีดอกซ์ในกระบวนการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อ้อมไวแสง จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของขั้วไฟฟ้าต่างชนิดจะเพิ่มขึ้นตามลำดับต่อไปนี้ $PPy < MWCNT < GONR < rGNR < rGNR/PPy$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนจะเกิดเร็วขึ้นเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมจาก rGNR/PPy เนื่องจากโครงสร้างของแผ่นกราฟีนเรียบที่มีขนาดในระดับนาโนมีท่อนโนคาร์บอนเข้าไปแทรกและพื้นผิวของวัสดุกราฟีนนาโนเรียบยังถูกเจือด้วยพอลิไพโรลอีกด้วย นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิต rGNR/PPy ที่ได้ยังมีสัญญาณวิทยาที่เป็นรูปพรุน จึงส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตที่ได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์สูงและมีบริเวณเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของ tri-iodide มาก โดย PPy จะทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยให้ rGNR นำไฟฟ้าได้มากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น PPy ยังทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนอีกด้วย จึงทำให้ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมจากวัสดุคอมโพสิต rGNR/PPy มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าสูงที่สุด



รูปที่ 4 กราฟ CV ของขั้วไฟฟ้า 5 ขั้ว ที่เตรียมจาก MWCNT, GONR, rGNR, PPy และ rGNR/PPy ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของ tri-iodide



รูปที่ 5 Nyquist plot ของขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดของ PPy, MWCNT, GONR, rGNR, และ PPy/MWCNT@rGNR

Nyquist plot ของขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดจะประกอบด้วยครึ่งวงกลม 2 วง (รูปที่ 5) โดยความต้านทานการแลกเปลี่ยนประจุ (R_{CT}) ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดจะแสดงได้จากครึ่งวงกลมวงแรกในย่านความถี่กลาง ๆ (10^5 – 10 Hz) ในขณะที่ความต้านทานการเคลื่อนที่ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Z_d) tri-iodide ion จะแสดงได้จากครึ่งวงกลมวงที่สองในย่านความถี่ต่ำ (10 – 0.1 Hz) ของ Nyquist plot ส่วนความต้านทานภายในขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรด (R_s) จะหาได้จากในย่านความถี่สูง (10^6 – 10^5 Hz) เมื่อ phase มีค่าเป็นศูนย์

ขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดของ PPy, MWCNT, GONR, rGNR, และ PPy/MWCNT@rGNR จะมีค่า R_s เท่ากับ 27.63, 18.24, 45.04, 16.12, และ 13.41 Ω cm^2 ตามลำดับ โดยค่า R_s ของขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy/MWCNT@rGNR จะมีค่าน้อยกว่าขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy, MWCNT, GONR และ rGNR เนื่องจากแผ่นฟิล์มของ rGNR/PPy จะมีการนำไฟฟ้ามากกว่าแผ่นฟิล์มที่ทำจาก PPy, MWCNT, GONR และ rGNR ซึ่งการที่ PPy/MWCNT@rGNR มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงนั้น เนื่องมาจากวัสดุคาร์บอนดังกล่าวมีโครงสร้างที่มีแกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้น โดยจะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อช่องว่าง

ที่เกิดจากแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนแบบสามมิติอย่างต่อเนื่องในโครงสร้างของ PPy/MWCNT@rGNR นอกจากนี้ การเจือพอลิไพโรล (PPy) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าลงบนพื้นผิวของวัสดุ rGNR จะทำให้ค่า R_s ลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 16.12 ลดลงเหลือ 13.41 $\Omega \text{ cm}^2$ โดยค่า R_s ที่ลดลงของ PPy/MWCNT@rGNR จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นด้วย

ยิ่งไปกว่านั้นขั้วแคโทดอิเล็กโทรดของ rGNR และ PPy/MWCNT@rGNR จะมีค่า R_{CT} เท่ากับ 7.74 และ 6.01 $\Omega \text{ cm}^2$ ตามลำดับ ในขณะที่ค่า R_{CT} ของขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy, MWCNT และ GONR มีค่าสูงกว่าวัสดุ rGNR และ PPy/MWCNT@rGNR อย่างเห็นได้ชัด การที่ค่า R_{CT} ของขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy/MWCNT@rGNR มีค่าต่ำกว่าเนื่องจากวัสดุคาร์บอนดังกล่าวมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของ I_3^- ไปเป็น I^- สูง นอกจากนี้การที่ขั้วแคโทดอิเล็กโทรดของ PPy/MWCNT@rGNR มีค่า R_{CT} ต่ำ นั้นหมายความว่าวัสดุคาร์บอนดังกล่าวมีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง (J_0) โดยค่า R_{CT} และ J_0 จะมีความสัมพันธ์ตามสมการ

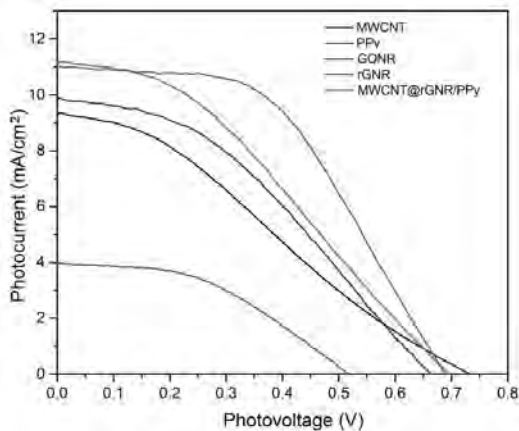
$$J_0 = RT/nFR_{CT} \quad \dots(1)$$

โดย J_0 คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า; R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส; T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน; F คือ

ค่าคงที่ฟาราเดย์; n คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของ I_3^- ไปเป็น I^- และ R_{CT} คือ ความต้านทานการแลกเปลี่ยนประจุ

ซึ่งค่า J_0 ที่สูงของขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy/MWCNT@rGNR จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้นด้วย เนื่องจาก PPy/MWCNT@rGNR มีพื้นที่ผิวสูงที่สามารถสัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ดี และมีบริเวณเร่งปฏิกิริยา (active site) ปริมาณมากสำหรับเร่งปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของ I_3^- เพราะวัสดุคาร์บอนดังกล่าวมีแกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ นอกจากนี้วัสดุ PPy/MWCNT@rGNR ยังมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงและมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่ดี เนื่องจากการเจือพอลิไพโรล (PPy) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้าลงบนพื้นผิวของวัสดุ rGNR นอกจากนี้การเจือพอลิไพโรล (PPy) ยังเป็นการเพิ่มข้อบกพร่องลงบนพื้นผิวของวัสดุ rGNR อีกด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy, MWCNT, GONR, rGNR, และ PPy/MWCNT@rGNR รูปที่ 6 (a) จะถูกนำไปวัดประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า (photovoltaic conversion efficiency (PCE) ภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง (100 mW cm^{-2}) ดังแสดงได้จากกราฟที่สร้างระหว่างกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ (I-V curve) ในรูปที่ 6 (b)



รูปที่ 6 (a) เซลล์แสงอาทิตย์สีย้อมไวแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น (b) กราฟที่สร้างระหว่างกระแสไฟฟ้า-ความต่างศักย์ (I-V curve) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy, MWCNT, GONR, rGNR, และ PPy/MWCNT@rGNR

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy จะมีค่า PCE ต่ำที่สุด (1.13%) โดยจะให้ค่า V_{OC} เท่ากับ 0.52 V, J_{SC} เท่ากับ 3.98 mA cm^{-2} และ FF เท่ากับ 44% เนื่องจากสัณฐานวิทยาของ PPy จะเป็นแผ่นหนาและไม่มีรูพรุน จึงทำให้มีปริมาณบริเวณเร่งปฏิกิริยาน้อย แต่หลังจากทำการเจือ PPy บนพื้นผิวของวัสดุ rGNR เพื่อให้ได้คอมโพสิตของ PPy/MWCNT@rGNR นั้น จะพบว่าเซลล์

แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy/MWCNT@rGNR จะมีค่า PCE ที่สูงขึ้น (4.71%) โดยจะให้ค่า V_{OC} เท่ากับ 0.69 V, J_{SC} เท่ากับ 11.04 mA cm^{-2} และ FF เท่ากับ 50% เนื่องจากวัสดุคาร์บอนชนิดนี้มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่ดี พื้นผิวของวัสดุคาร์บอนมีความขรุขระสูง และมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก rGNR จะมีค่า PCE ที่ต่ำกว่า (3.41%) โดยจะให้ค่า V_{OC} เท่ากับ 0.69 V, J_{SC} เท่ากับ 11.14 mA cm^{-2} และ FF เท่ากับ 34% นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก MWCNT และ GONR จะมีค่า PCE อยู่ในช่วง 2.50–3.50% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจาก PPy/MWCNT@rGNR ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนขั้วแคโทดอิเล็กโทรดที่ทำจากแพลทินัม ซึ่งมีราคาแพงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้

4. บทสรุป (Conclusions)

ไฟโรลที่ถูกพอลิเมอร์โรซบนวัสดุคาร์บอนที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ (PPy/MWCNT@rGNR) ได้ถูกสังเคราะห์และนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าของขั้วแคโทดรีดอกซ์ไฮโดรเจนสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง จากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจะพบแผ่นฟิล์มของ PPy บนท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นเป็นแกนกลางโดยมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบ จากเทคนิคทางรามานจะพบว่าวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR มีปริมาณข้อบกพร่องต่ำ จึงส่งผลให้วัสดุคาร์บอนดังกล่าวมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนสูง นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุ PPy/MWCNT@rGNR มีพื้นที่ผิวขรุขระมากกว่าและมีพื้นที่ผิวสูงกว่า rGNR, GONR, MWCNT และ PPy ซึ่งถูกยืนยันได้จากเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมตริกตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงที่ใช้ PPy/MWCNT@rGNR เป็นขั้วแคโทดรีดอกซ์ไฮโดรเจนจะมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าดีที่สุด ($\eta = 4.71\%$) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ rGNR ($\eta = 3.41\%$), GONR ($\eta = 3.11\%$),

MWCNT ($\eta = 2.49\%$) และ PPy ($\eta = 1.13\%$) เป็นขั้วแคโทดรีดอกซ์ไฮโดรเจน ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ PPy มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงเคมีไฟฟ้าที่ดี นอกจากนี้ยังมาจากการที่ MWCNT@rGNR มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนสูงและมีความต้านทานการแลกเปลี่ยนประจุตรงบริเวณรอยต่อระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วแคโทดรีดอกซ์ไฮโดรเจน ดังนั้น วัสดุ PPy/MWCNT@rGNR ที่มีราคาถูกจึงเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้แทน Pt ที่มีราคาแพงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

แผนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2562 สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการให้ความอนุเคราะห์ทั้งอุปกรณ์สถานที่และเวลาในการทำงาน เพื่อให้คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินงานได้อย่างคล่องตัว

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] O'REGAN, B.; GRÄTZEL, M., A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature* 1991, 353, 737-740.
- [2] Papageorgiou, N.; Maier, W. F.; Grätzel, M., An iodine/triiodide reduction electrocatalyst for aqueous and organic media. *J. Electrochem. Soc.* 1997, 144, 876-884.
- [3] Saito, Y.; Kitamura, T.; Wada, Y.; Yanagida, S., Application of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) to counter electrode in dye-sensitized solar cells. *Chemistry Letters* 2002, (10), 1060-1061.
- [4] Wu, M. X.; Lin, X.; Wang, Y. D.; Wang, L.; Guo, W.; Qu, D. D.; Peng, X. J.; Hagfeldt, A.; Gratzel, M.; Ma, T. L., Economical Pt-Free Catalysts for Counter Electrodes of Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of the American Chemical Society* 2012, 134, (7), 3419-3428.
- [5] Huang, Z.; Liu, X. H.; Li, K. X.; Li, D. M.; Luo, Y. H.; Li, H.; Song, W. B.; Chen, L. Q.; Meng, Q. B., Application of carbon materials as counter electrodes of dye-sensitized solar cells. *Electrochemistry Communications* 2007, 9, (4), 596-598.
- [6] Imoto, K.; Takahashi, K.; Yamaguchi, T.; Komura, T.; Nakamura, J.; Murata, K., High-performance carbon counter electrode for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2003, 79, (4), 459-469.
- [7] Murakami, T. N.; Ito, S.; Wang, Q.; Nazeeruddin, M. K.; Bessho, T.; Cesar, I.; Liska, P.; Humphry-Baker, R.; Comte, P.; Pechy, P.; Gratzel, M., Highly efficient dye-sensitized solar cells based on carbon black counter electrodes. *Journal of the Electrochemical Society* 2006, 153, (12), A2255-a2261.
- [8] Chen, J. K.; Li, K. X.; Luo, Y. H.; Guo, X. Z.; Li, D. M.; Deng, M. H.; Huang, S. Q.; Meng, Q. B., A flexible carbon counter electrode for dye-sensitized solar cells. *Carbon* 2009, 47, (11), 2704-2708.

- [9] Suzuki, K.; Yamaguchi, M.; Kumagai, M.; Yanagida, S., Application of carbon nanotubes to counter electrodes of dye-sensitized solar cells. *Chemistry Letters* 2003, 32, (1), 28-29.
- [10] Novoselov, K. S.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Jiang, D.; Zhang, Y.; Dubonos, S. V.; Grigorieva, I. V.; Firsov, A. A.; , Electric Field in Atomically Thin Carbon Films. *Science* 2004, 306, 666-669.
- [11] Schedin, F.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Hill, E. W.; Blake, P.; Katsnelson, M. I.; Novoselov, K. S.; , Detection of Individual Gas Molecules Adsorbed on Graphene. *Nat. Mater.* 2007, 6, 652-655.
- [12] Yoo, E. J.; Kim, J.; Hosono, E.; Zhou, H. S.; Kudo, T.; Honma, I., Large Reversible Li Storage of Graphene Nanosheet Families for Use in Rechargeable Lithium Ion Batteries *Nano Lett.* 2008, 8, 2277-2282.
- [13] Stoller, M. D.; Park, S.; Yanwu, Z.; An, J.; Ruoff, R. S., Graphene-Based Ultracapacitors. *Nano Lett.* 2008, 8, 3498-3502.
- [14] Peigney, A.; Laurent, C.; Flahaut, E.; Bacs, R. R.; Rousset, A., Specific Surface Area of Carbon Nanotubes and Bundles of Carbon Nanotubes *Carbon* 2001, 39, (507-514).
- [15] Chen, Z. H.; Lin, Y. M.; Rooks, M. J.; Avouris, P., Graphene nano-ribbon electronics. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures* 2007, 40, (2), 228-232.

การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยสถิติภูมิศาสตร์

เบญจมาศ เดชศิริ^{1*} และ อรประภา ภูมิมะกาญจนะ โรแบร์¹

วันที่รับ 15 พฤศจิกายน 2562 วันที่แก้ไข 24 ธันวาคม 2562 วันที่ตอบรับ 25 ธันวาคม 2562

บทคัดย่อ

สถานการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดของประเทศไทย มากกว่าร้อยละ 80 ยังคงเป็นพื้นที่ชายแดนภาคเหนือ โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแหล่งเก็บพักยาเสพติดของกลุ่มผู้ผลิตและเป็นเขตอิทธิพลของชนกลุ่มน้อยในประเทศเพื่อนบ้าน จึงถูกจัดให้เป็นพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิด เพราะมีปริมาณยาเสพติดที่นำเข้าไปในปริมาณมากกว่าแสนเม็ดต่อครั้ง จากสถานการณ์ปัจจุบันและความรุนแรงของผลกระทบที่ตามมาจากการลักลอบนำเข้ายาเสพติด ทำให้เกิดการศึกษาการคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยสถิติภูมิศาสตร์ ซึ่งจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศจากการรวบรวมข่าวการจับกุมคดียาเสพติดจากแหล่งข่าวสาธารณะ ศึกษารูปแบบการจับกุมด้วยสถิติแบบครอบคลุมพบว่า ในปีการศึกษาตั้งแต่ พ.ศ. 2554-2559 มี 2 รูปแบบ คือ แบบสุ่มและแบบเกาะกลุ่ม และนำสถิติแบบเจาะจงศึกษาบริเวณที่มีการลักลอบลำเลียงยาเสพติดสูงและต่ำ ซึ่งมักพบในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนพื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงรายพบการลักลอบลำเลียงสูง ในปี พ.ศ. 2556 การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดโดยการวิเคราะห์ทิศทางการกระจายตัวในพื้นที่ศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตั้งแต่ตำบลแม่นะ อำเภอลี้ เชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จนถึงตำบลเกาะช้าง อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย เมื่อพิจารณาพร้อมกับมูลค่าของกลางยาเสพติดที่จับกุมได้ พบว่าส่วนใหญ่มีการลักลอบลำเลียงยาเสพติดสูงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อตรวจสอบความถูกต้องและสมเหตุสมผลของการคาดการณ์ พบว่า การจับกุมในปีถัดไปมีโอกาสเกิดในพื้นที่ที่คาดการณ์มากกว่าร้อยละ 35-80 ทุกปีที่ศึกษา เมื่อนำผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลทางกายภาพ พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณที่มีการจับกุมคดียาเสพติดสูงโดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมเป็นการเกษตรใกล้ชุมชน มีการใช้เส้นทางถนนหลักและถนนภายในชุมชนในการลักลอบลำเลียง ซึ่งเป็นการตั้งถิ่นฐานบริเวณหมู่บ้านบนพื้นที่ราบ

คำสำคัญ : การลักลอบลำเลียงยาเสพติด, สถิติภูมิศาสตร์, โมแรน, จุดความร้อน, การคาดการณ์, การวิเคราะห์ทิศทางการกระจายตัว, แหล่งข่าวสาธารณะตีพิมพ์

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร

* ผู้แต่ง, อีเมลล์: d.benjamart@gmail.com

Drug Trafficking Estimation based on Geo-statistics

Benjamart Dechsiri^{1*} and Ornprapa Pummakanchana Robert¹

Abstract

The situation of Drug trafficking in Thailand mostly occurs along the border with its 80% landscape of the smuggling area in the northern border, particularly in Chiang Rai, Chiang Mai and Mae Hong Son. Due to the fact that these areas are nearby narcotic storages of producers and also the powerful minorities mafia's area in neighbor country, it was kept scrutinizing because of high volume of drug import. Current situation and related violence attribute this study to predict the trafficking using geography statistics. A geographic information database is collected from open-source data. The study on arrest patterns with global statistics from 2011 to 2016 was in two forms, random and clustered. Local statistics were used to investigate areas of high and low trafficking. It was often found in Chiang Mai and Chiang Rai in 2013. The forecasts of smuggling using analysis of directional distribution were found in the north east from Mae Na sub-district, Chiang Dao district, Chiang mai to Koh Chang sub-district, Mae Sai district, Chiang Rai. When considered with the value of exhibits, it was found that most high trafficking was at Chiang Mai area. The validation of the forecast was found more than 35-80 percent every year. The results of joint analysis with the physical data showed land use where offenders were seized mostly in the urban, agricultural and forestry areas. Main roads and urban roads were used for smuggling in plain area.

Keywords : Drug trafficking, Geo-Statistics, Moran's I, Hotspot, Estimation, Directional distribution, Open-source information

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University.

* Corresponding author, E-mail: d.benjamart@gmail.com

1. บทนำ

สถานการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่บริเวณพื้นที่ชายแดนมีสภาพภูมิประเทศเอื้ออำนวยต่อการลักลอบลำเลียงยาเสพติดเข้าสู่ประเทศ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ยังคงเป็นพื้นที่ชายแดนภาคเหนือ [1] ถึงแม้ว่าจะมีการปราบปรามและสกัดกั้นการลักลอบลำเลียงที่เข้มงวดมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับแหล่งเก็บพักยาเสพติดของกลุ่มผู้ผลิตและเป็นเขตอิทธิพลของชนกลุ่มน้อยในประเทศเพื่อนบ้าน ดังรูปที่ 1 บริเวณดังกล่าวจึงถูกจัดให้เป็นพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังอย่างใกล้ชิดเพราะมีปริมาณยาเสพติดที่นำเข้ามาในปริมาณมากกว่าแสนเม็ดต่อครั้ง โดยมีพื้นที่ที่มีการจับกุมยาเสพติดมากที่สุดคือ จังหวัดเชียงราย [2] จากสถิติการจับกุมคดียาเสพติดที่สำคัญปี พ.ศ. 2560 ในพื้นที่รับผิดชอบของกองกำลังผาเมืองพบว่าพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีจำนวนครั้งการจับกุมคดียาเสพติดมากที่สุด เป็นจำนวน 138 ครั้งรองลงมาคือพื้นที่จังหวัดเชียงราย เป็นจำนวน 101 ครั้งแต่หากพิจารณามูลค่ายาเสพติดที่จับกุมได้โดยเฉพาะยาเสพติดให้โทษประเภทที่ 1 ได้แก่ ยาบ้า เฮโรอีน และไอซ์กลับพบว่าพื้นที่จังหวัดเชียงรายมีมูลค่ายาเสพติดที่จับกุมได้สูงกว่าพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ประมาณร้อยละ 51.69 [3]

2. ขอบเขตการวิจัย

ในการศึกษาการคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยสถิติภูมิศาสตร์นี้ มีการศึกษาจากข่าวสารด้านยาเสพติดจากสื่อข่าวต่าง ๆ ที่นำเสนอสู่ประชาชน เช่น หนังสือพิมพ์ออนไลน์ และรายงานการประชุมศูนย์อำนวยการป้องกันและปราบปรามยาเสพติดประจำจังหวัด

ในพื้นที่ศึกษา โดยไม่รวมข่าวอาชญากรรม เนื่องจากยาเสพติดที่เป็นตัวกระตุ้น เช่น ผู้เสพยาเสพติดจับเด็กหรือผู้หญิงเป็นตัวประกัน การปั่นป่วนเสาโทรศัพท์เนื่องจากกลุ่มคัลลิ่งและเมมบ้า เป็นต้น และรวบรวมข่าวสารตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554 – 31 ธันวาคม พ.ศ. 2559 โดยมีพื้นที่ศึกษา คือ อำเภอเวียงแหง อำเภอเชียงดาว



รูปที่ 1 แหล่งผลิต และแหล่งเก็บพักยาเสพติด
ในประเทศเพื่อนบ้าน

อำเภอไชยปราการ อำเภอฝาง และอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอแม่จัน อำเภอแม่ฟ้าหลวง และอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นแนวเขตชายแดนของประเทศไทย แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติภูมิศาสตร์ ได้แก่ การวิเคราะห์รูปแบบการจับกุมคดียาเสพติดด้วยอัตราสัมพันธ์เชิงพื้นที่ Moran's I ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เพื่อบอกรูปแบบความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาที่สนใจ ตั้งอยู่บนสมมติฐานของการสุ่มตัวอย่างอิสระ (Randomization) โดยให้

สมมุติฐานหลักคือการเกิดเหตุการณ์ไม่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ และมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติดังกล่าวสามารถเป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การหารูปแบบอัตราการตายด้วยอุบัติเหตุบนท้องถนนในประเทศตุรกี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001 - 2006 ด้วยสถิติแบบครอบคลุม Moran's I พบว่า อัตราการตายด้วยอุบัติเหตุบนท้องถนนของประชากรทั้งหมดมีรูปแบบสุ่ม ด้วยค่า Moran's I index เท่ากับ 0.162 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ [4] และวิเคราะห์หาบริเวณที่มีการจับกุมสูงและต่ำ โดยการวิเคราะห์จุดความร้อนด้วยวิธี Getis-Ord G_i^* ซึ่งวิธีนี้ เป็นการวิเคราะห์ในบริเวณเฉพาะเจาะจงหรือในแต่ละหน่วยสังเกต โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์แตกต่างกันในแต่ละส่วนของพื้นที่ศึกษาที่สนใจ ตั้งอยู่บนสมมุติฐานของการสุ่มตัวอย่างอิสระ (Randomization) โดยให้สมมุติฐานหลักคือการเกิดเหตุการณ์ไม่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ และมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ (Non-normal distribution) โดยค่าสถิตินี้เป็นค่าเฉพาะของตำแหน่งผลลัพธ์ [5] ตัวอย่างเช่น การเสียชีวิตจากการเสพยาเสพติดในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 2007 - 2009 ตามการศึกษาของ Rossen, Khan และ Warner มีการเสียชีวิตสูงบริเวณเลียบชายฝั่งแปซิฟิกเหนือ ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ โอคลาโฮมา และชายฝั่งกัลฟ์ และมีการเกิดเหตุต่ำในที่ราบลุ่มภาคกลาง เท็กซัส และอลาสก้า [6] จากนั้นนำผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีการจับกุมสูงมาพิจารณาพร้อมกับข้อมูลทางกายภาพ คือ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เส้นทางคมนาคม และการตั้งถิ่นฐานของประชาชน เพื่อหาพื้นที่เสี่ยงต่อการลักลอบลำเลียงยาเสพติด และคาดการณ์การเกิดการ

ลักลอบลำเลียงยาเสพติดในอนาคตด้วยการวิเคราะห์ทิศทางการกระจายตัวด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรูปร่างร่วมกับข้อมูลมูลค่าของกลางยาเสพติดที่จับกุมได้ในแต่ละคดี จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องและสมเหตุสมผลของการวิเคราะห์การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดในอนาคตด้วยการใช้ข้อมูลการจับกุมคดียาเสพติดในปีถัดไป

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศการจับกุมคดียาเสพติด ในปี พ.ศ. 2554 - 2559
2. เพื่อศึกษารูปแบบของการจับกุมคดียาเสพติด และพื้นที่ที่มีการจับกุมสูงและต่ำในพื้นที่ศึกษาด้วยสถิติภูมิศาสตร์
3. เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน เส้นทางคมนาคมและการตั้งถิ่นฐานของประชาชน
4. คาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยการวิเคราะห์ทิศทางการกระจายตัวร่วมกับข้อมูลมูลค่าของกลางยาเสพติดที่จับกุมได้ในแต่ละคดี

4. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

4.1 รูปแบบการเกิดเหตุการณ์การจับกุมคดียาเสพติดด้วยวิธี Moran's I

จากการศึกษาในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2559 พบว่ารูปแบบการเกิดเหตุการณ์จับกุมคดียาเสพติดในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดมี 2 รูปแบบ คือ (1) เกิดเหตุการณ์แบบสุ่ม ได้แก่ปี พ.ศ. 2554 พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559

โดยมีค่า Moran's I เท่ากับ 0.029 0.004 และ -0.056 ตามลำดับ และ (2) เกิดเหตุการณ์แบบเกาะกลุ่ม ได้แก่ ปี พ.ศ. 2555 พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 โดยมีค่า Moran's I เท่ากับ 0.049 0.049 และ 0.068 ตามลำดับ

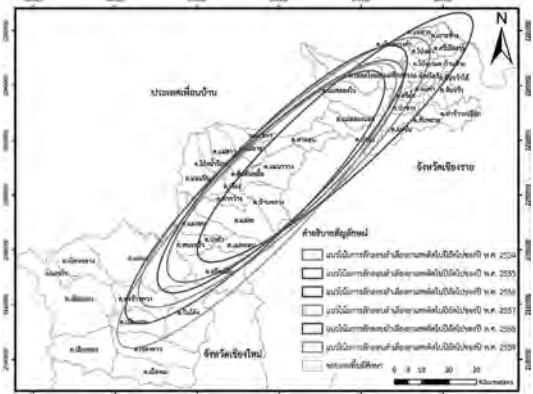
4.2 การวิเคราะห์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดโดยใช้เทคนิค Getis Ord Gi*

จากการวิเคราะห์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2559 พบว่า บริเวณที่มีการลักลอบลำเลียงยาเสพติดสูงมักพบในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีค่า GiZcore มากกว่า 1.65 ได้แก่ บริเวณตำบลแม่ณะ ตำบลเมืองงาย ตำบลเชียงดาว ตำบลทุ่งข้าวพวง ตำบลหนองบัว ตำบลปิงโค้ง ตำบลศรีดงเย็น ตำบลแม่ทะลบ ตำบลแม่ข้า ตำบลแม่งอน ตำบลแม่คะ ตำบลท่ากว้าง ตำบลเวียง ตำบลบ้านหลวง ตำบลม่อนปิ่น ตำบลโป่งน้ำร้อน ตำบลสันต้นหม้อ ตำบลแม่สาว ตำบลแม่नावง ตำบลมะลิกา และตำบลท่าตอน ส่วนพื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงรายพบการลักลอบลำเลียงสูงในปี พ.ศ. 2556 (GiZScore มากกว่า 1.65) ในบริเวณตำบลแม่จัน ตำบลป่าซาง ตำบลสันทราย ตำบลท่าข้าวเปลือก ตำบลจอมสวรรค์ ตำบลจันจว้า ตำบลจันจว้าใต้ ตำบลศรีค้ำ ตำบลแม่ไร่ ตำบลแม่คำ ตำบลแม่ฟ้าหลวง ตำบลห้วยไคร้ ตำบลโป่งงาม ตำบลโป่งผา ตำบลบ้านด้าย ตำบลศรีเมืองชุม ตำบลเวียงพางคำ ตำบลเกาะช้าง และตำบลแม่สาย

4.3 ทิศทางการกระจายตัวของการลักลอบลำเลียงยาเสพติด

ทิศทางการกระจายตัวของการลักลอบลำเลียงยาเสพติดในพื้นที่ศึกษา โดยใช้เครื่องมือ Directional distribution เป็นการหาทิศทางแนวโน้มการเกิดเหตุการณ์ในปีถัดไป จากการศึกษาพบว่าแนวโน้มการเกิดเหตุลักลอบลำเลียงยาเสพติดโดยการวิเคราะห์จากการจับกุมคดียาเสพติดในพื้นที่ศึกษาไปในทิศทางเดียวกันคือ ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพบทั้งบริเวณจังหวัด

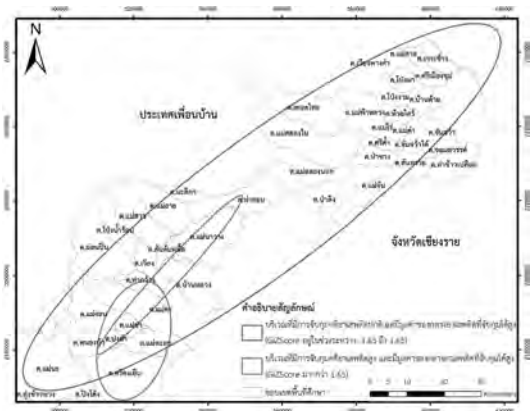
เชียงใหม่และเชียงราย ตั้งแต่ตำบลเชียงดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จนถึงตำบลเกาะช้าง อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย โดยแนวโน้มดังกล่าว มีขนาดและทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เพื่อคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดโดยใช้ข้อมูลจำนวนการจับกุมและมูลค่าของกลางที่จับกุมได้ในแต่ละคดีพิจารณาพร้อมกับผลการวิเคราะห์จุดความร้อน โดยยี่ดราคาเยาเสพติดในเขตแนวชายแดน [7] เพื่อคาดการณ์บริเวณที่ควรตรวจตราโดยเจ้าหน้าที่เป็นพิเศษ ซึ่งอาจเกิดการลักลอบลำเลียงยาเสพติดในอนาคต จากการพิจารณาฐานข้อมูลการจับกุมคดียาเสพติดที่รวบรวมขึ้น พบว่า มูลค่าของกลางยาเสพติดที่จับกุมได้มีค่าอยู่ในระหว่าง 0-3,269,368,857.14 บาท จึงทำการจำแนกประเภท (Classification) ด้วยวิธี Natural break (Jenks) [8] เป็น 5 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 มูลค่าตั้งแต่ 0-30,839,267.86 บาท ประเภทที่ 2 มูลค่าตั้งแต่ 30,839,267.86-130,154,298.48 บาท ประเภทที่ 3 มูลค่าตั้งแต่ 130,154,298.48-324,680,000 บาท ประเภทที่ 4 มูลค่าตั้งแต่ 324,680,000-455,123,832.14 บาท และประเภทที่ 5 มูลค่าตั้งแต่ 455,123,832.14-3,269,368,857.14 บาท พบว่าในปี พ.ศ. 2554 พ.ศ. 2555

พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 พบแนวโน้มการเกิดการลักลอบ
 ลำเลียงยาเสพติดในบริเวณที่มีการจับกุมสูงและมี
 มูลค่าของกลางยาเสพติดที่จับกุมได้สูง ในบริเวณพื้นที่
 ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่อย่างน้อย 1 บริเวณ ส่วนด้านจังหวัด
 เชียงรายพบแนวโน้มดังกล่าวในปี พ.ศ. 2556 จำนวน
 2 บริเวณ และในปี พ.ศ. 2559ไม่พบแนวโน้มดังกล่าว
 จึงขอแสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็น
 ผลการศึกษาในปี พ.ศ. 2554



รูปที่ 3 การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติด
 จากการประเมินมูลค่าของกลางยาเสพติด
 ที่จับกุมได้ในปี พ.ศ. 2554

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องและสมเหตุผล ของการวิเคราะห์การคาดการณ์การลักลอบลำเลียง ยาเสพติด

การตรวจสอบความถูกต้องและสมเหตุผลของ
 การวิเคราะห์การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติด
 ในพื้นที่ศึกษา 8 อำเภอของจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย
 พบว่า เมื่อนำจุดการจับกุมยาเสพติดในแต่ละปี เทียบ
 กับแนวโน้มการเกิดการลักลอบลำเลียงยาเสพติดในปี
 ถัดไป มีร้อยละของจำนวนจุดจับกุมมากกว่าร้อยละ 30
 ในทุกปีที่ศึกษา ดังตารางที่ 1

4.5 ความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียงยาเสพติด กับข้อมูลทางกายภาพ

การศึกษาความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียง
 ยาเสพติดกับข้อมูลทางกายภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1 ความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียงยาเสพติด กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

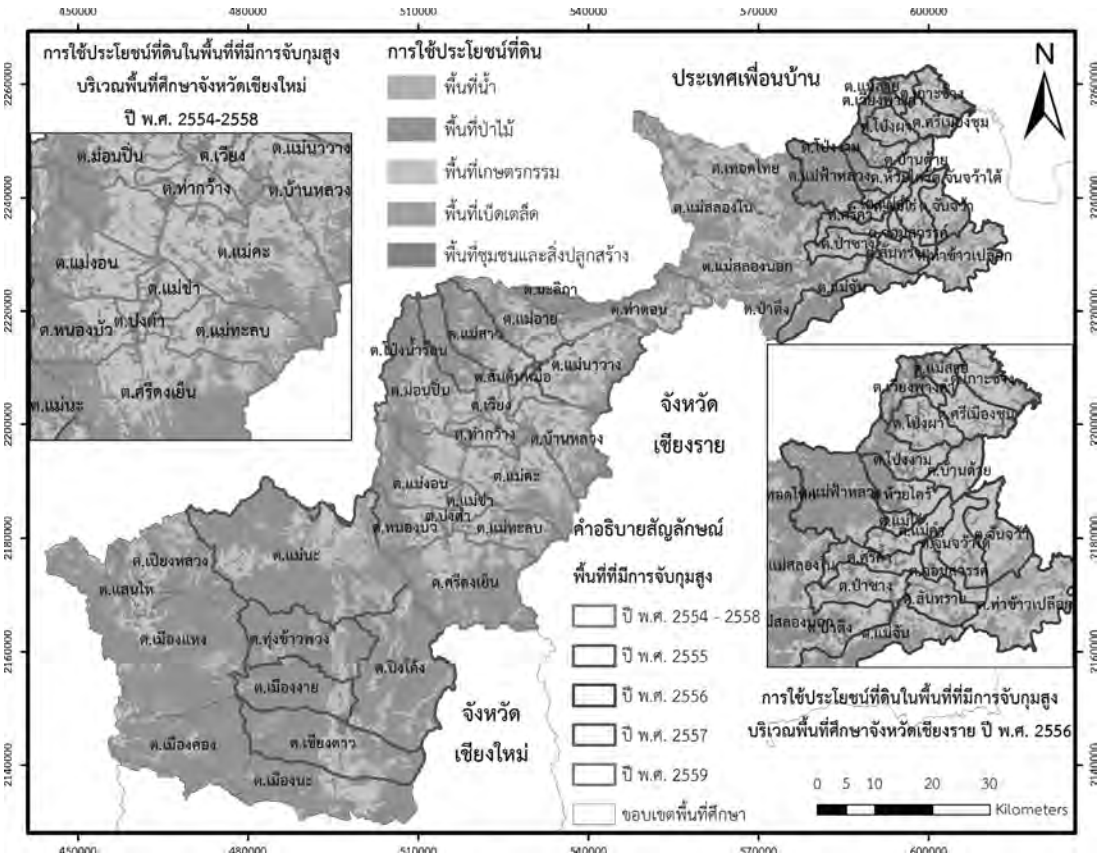
การศึกษาความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียง
 ยาเสพติดกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา จากข้อมูล
 การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก
 กรมพัฒนาที่ดินนั้น การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัด

ตารางที่ 1 การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติด

การคาดการณ์การลักลอบลำเลียง ยาเสพติดด้วย SDE	จุดจับกุมคดียาเสพติด ที่นำมาตรวจสอบ	ร้อยละของจุดจับกุมคดี ยาเสพติดในปีถัดไป
พ.ศ. 2554	พ.ศ. 2555	67.21
พ.ศ. 2555	พ.ศ. 2556	45.83
พ.ศ. 2556	พ.ศ. 2557	35.07
พ.ศ. 2557	พ.ศ. 2558	59.15
พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	41.14
พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	72.00

เชียงใหม่ เป็นข้อมูลจากปี พ.ศ. 2558 และการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดเชียงราย เป็นข้อมูลจากปี พ.ศ. 2555 เมื่อนำผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีการจับกุมคดียาเสพติดมากที่สุด (จากผลการวิเคราะห์จุดความร้อน) ในปีเดียวกันกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่า ผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีการจับกุมสูงในปี พ.ศ. 2555 และ พ.ศ. 2558 เกือบครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษาในฝั่งจังหวัดเชียงใหม่โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 61 ของพื้นที่จับกุมสูงทั้งหมด รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรมร้อยละ 34 ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมใกล้พื้นที่ชุมชน ดังรูปที่ 4 นั่นคือการลักลอบลำเลียงยาเสพติดมัก

เกิดในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม เนื่องจากใกล้พื้นที่ชุมชน ซึ่งอาจเป็นการลักลอบเพื่อชุกซ่อนรอจำหน่าย หรือการนัดส่งสินค้าระหว่างผู้ค้ารายใหญ่และรายย่อย และการลักลอบลำเลียงเข้ามาภายในประเทศมักเข้าทางเส้นทางธรรมชาติ บนภูเขาหรือป่าสลับซับซ้อน ซึ่งผู้กระทำความผิดอาศัยการคมนาคมภายในชุมชนเป็นทางหลบเลี่ยงจุดตรวจ/จุดตรวจถาวร และอาศัยบริเวณป่าไม้ทั้งบนภูเขาสูงหรือใกล้ชุมชนเพื่อหลบเลี่ยงการลาดตระเวนตรวจติดตามของเจ้าหน้าที่โดยอาศัยความชำนาญในพื้นที่เพื่อหลบหนี หรือความยากลำบากในการเข้าถึงขบวนการเนื่องจากความสลับซับซ้อนของพืชพรรณในป่าไม้



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียงยาเสพติดกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

4.5.2 ความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียงยาเสพติดกับเส้นทางคมนาคม

ความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียงยาเสพติดสูงกับเส้นทางคมนาคม พบว่า การลักลอบลำเลียงที่เป็นข่าวดำเนินสื่อต่าง ๆ จะแบ่งเป็นการจับกุมผู้กระทำความผิดบนเส้นทางคมนาคมปกติกับเส้นทางธรรมชาติ ได้แก่ บนถนนทางหลวงแผ่นดินหรือถนนหลัก ถนนทางหลวงชนบทหรือถนนรอง (ทางเลี้ยวเมือง) ถนนภายในชุมชน (ตรอกหรือซอยที่เป็นถนนลาดยาง ปูพื้นด้วยซีเมนต์หรือถนนดินลูกรัง) และเส้นทางธรรมชาติที่เกิดจากผู้คนในชุมชนใช้เส้นทางเหล่านี้จนเกิดเป็นทางเชื่อมต่อไปยังพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งเส้นทางธรรมชาติ บางเส้นทางจะสามารถมองเห็นได้จากแผนที่ บางเส้นทางไม่สามารถคาดเดาได้ว่าเอื้อต่อการคมนาคมหรือไม่ จากผลการศึกษาในทุกปีการศึกษาพบว่าการจับกุมส่วนใหญ่พบการใช้เส้นทางถนนหลักและถนนภายในชุมชนในการลักลอบลำเลียง เนื่องจากเส้นทางถนนหลัก ได้แก่ ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 107 ที่เชื่อมจากพื้นที่อำเภอเมืองเชียงใหม่เข้าสู่แต่ละอำเภอในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 1089 ที่เชื่อมระหว่างพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดเชียงใหม่กับพื้นที่อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย และทางหลวงหมายเลข 1 ที่เชื่อมต่อพื้นที่อำเภอเมืองเชียงรายไปยังอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดเชียงราย ผู้ลักลอบลำเลียงยาเสพติดมักใช้เส้นทางถนนหลักเพื่อการเดินทางสะดวก รวดเร็ว เพราะไม่ต้องอ้อมเส้นทาง หรือผู้ลักลอบลำเลียงโดยผ่านการโดยสารรถประจำทาง ส่วนถนนภายในชุมชนเป็นเส้นทางเพื่อหลบเลี่ยงจุดตรวจ/จุดตรวจถาวรซึ่งจากการจับกุมที่รวบรวมได้ การจับกุมผ่านเส้นทางถนนสายรองและถนนภายในชุมชนเกิดจากการตั้งจุดตรวจสกัดตามเหตุรับแจ้งจากสายข่าว หรือการจับกุม ณ แหล่งพักยาเสพติด

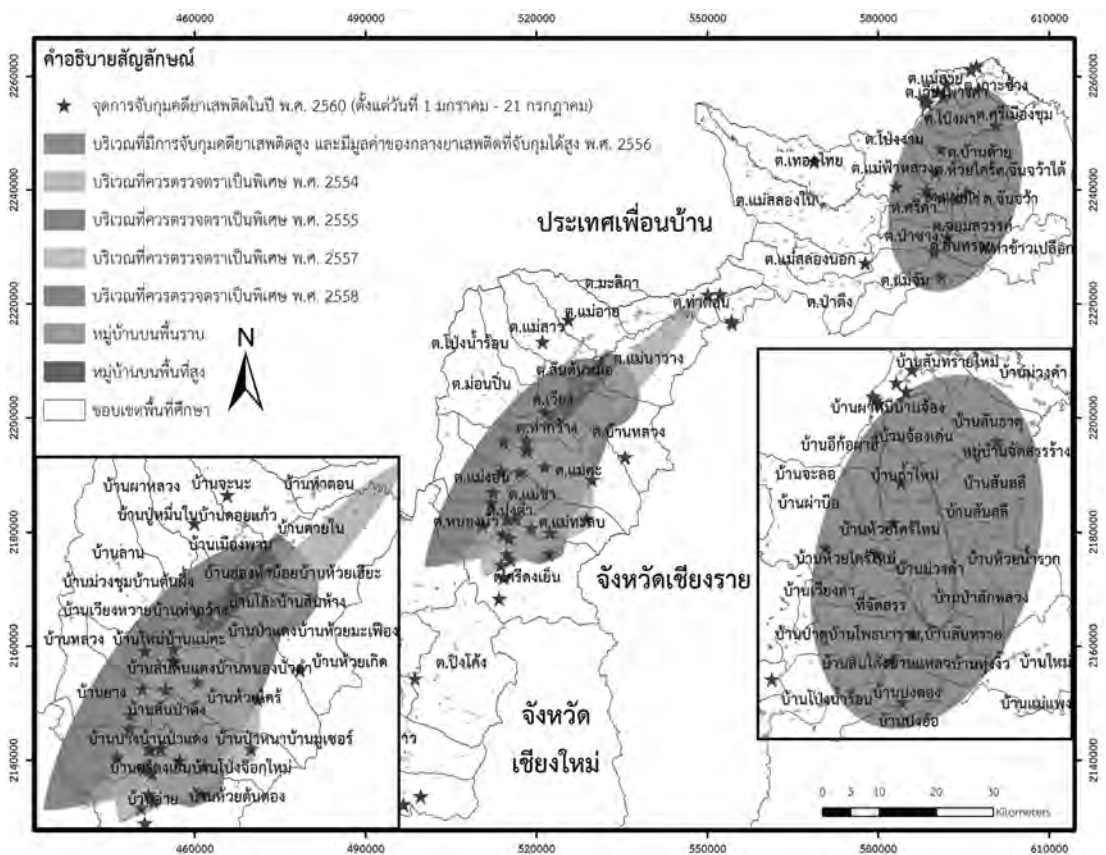
4.5.3 ความสัมพันธ์ของการลักลอบลำเลียงยาเสพติดกับการตั้งถิ่นฐานของประชาชน

การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดกับการตั้งถิ่นฐานของประชาชน ในพื้นที่ 8 อำเภอชายแดนภาคเหนือในส่วนของจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย เกี่ยวข้องกับการตั้งถิ่นฐานของประชาชนอยู่ 2 รูปแบบ คือ หมู่บ้านหรือชุมชนบนพื้นที่ราบ และหมู่บ้านหรือชุมชนบนพื้นที่สูง โดยการตั้งถิ่นฐานของประชาชนจะเกี่ยวข้องในการเป็นผู้ลำเลียงยาเสพติดเข้าสู่ตอนในของประเทศ การเป็นแหล่งที่พักยาเสพติดเพื่อรอจำหน่าย และการให้ที่พักพิงกับผู้กระทำความผิด เนื่องจากข้อมูลการตั้งถิ่นฐานกับการคาดการณ์แนวโน้มการเกิดการลักลอบลำเลียงยาเสพติดในปีถัดไปของแต่ละปีที่ศึกษานั้นมีพื้นที่ขนาดใหญ่ จากผลการคาดการณ์บริเวณที่ควรตรวจตราเป็นพิเศษ (เกิดจากการซ้อนทับกันด้วยผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.3 เพื่อหาพื้นที่ที่มีแนวโน้มเกิดการลักลอบลำเลียงยาเสพติดในทุกกรณี) ในปี พ.ศ. 2554 – 2558 สามารถคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดในปี พ.ศ. 2560 ได้ ดังรูปที่ 5 โดยการนำบริเวณที่ควรตรวจตราเป็นพิเศษในแต่ละปีที่ศึกษามาทำการซ้อนทับ มีหมู่บ้านเฝ้าระวังทั้งหมด 577 หมู่บ้าน เป็นหมู่บ้านบนพื้นที่ราบทั้งหมด 514 หมู่บ้าน และหมู่บ้านบนพื้นที่สูง 63 หมู่บ้าน ในบริเวณที่คาดการณ์ทั้งหมด มีการเกิดการจับกุมคดียาเสพติดในปี พ.ศ. 2560 ทั้งหมด 32 คดี จาก 66 คดี คิดเป็นร้อยละ 48.48 โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ฝั่งจังหวัดเชียงใหม่ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของตำบลแม่นะ อำเภอเชียงดาว ตำบลหนองบัว ตำบลศรีดงเย็น ตำบลปงดำ ตำบลแม่ทะลบ อำเภอไชยปราการ ตำบลแม่ข้า ตำบลแม่งอน ตำบลแม่คะ ตำบลท่ากว้าง ตำบลม่อนปิ่น ตำบลโป่งน้ำร้อน ตำบลเวียง

อำเภอฝาง ตำบลสันต้นหม้อ ตำบลแม่สาว ตำบลแม่นาวาง
ตำบลบ้านหลวง ตำบลแม่ฮ้อย และตำบลท่าตอน
อำเภอแม่ฮ้อย ซึ่งบริเวณบ้านปางควาย ตำบลปงดำ
และบ้านสันม่วง ตำบลแม่คะ มีการจับกุมคดียาเสพติดในปี
พ.ศ. 2560 มากกว่า 1 ครั้ง

ส่วนบริเวณฝั่งจังหวัดเชียงรายจากการคาดการณ์
การลักลอบลำเลียงยาเสพติดในปี พ.ศ. 2556 พบว่าบริเวณ
ที่ควรเฝ้าระวัง ได้แก่ บางส่วนของตำบลแม่จัน ตำบลป่าตึง
ตำบลป่าซาง ตำบลสันทราย ตำบลจอมสวรรค์ ตำบลศรีค้ำ
ตำบลท่าข้าวเปลือก ตำบลจันจว้าใต้ ตำบลจันจว้า
ตำบลแม่ไร่ ตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน ตำบลแม่ฟ้าหลวง
อำเภอแม่ฟ้าหลวง ตำบลห้วยไคร้ ตำบลโป่งงาม

ตำบลบ้านด้าย ตำบลโป่งผา ตำบลศรีเมืองชุม ตำบลแม่สาย
ตำบลเวียงพางคำ และตำบลเกาะช้าง อำเภอแม่สาย
เนื่องจากการคาดการณ์ในฝั่งจังหวัดเชียงรายพบเป็น
2 บริเวณที่ซ้อนทับกัน แต่ต่างทิศทางของผลการคาดการณ์
โดยการคาดการณ์ที่มีทิศไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ
มีระดับนัยสำคัญทางสถิติน้อยกว่าการคาดการณ์ที่มี
ทิศไปทางตะวันตกเฉียงเหนือ (วงรีสีเทาบนพื้นที่สีแดง
ในรูปที่ 5) ดังนั้นทิศการคาดการณ์จึงไปทางตะวันตก
เฉียงเหนือ พบว่าบริเวณหมู่บ้านมุเซอร์ผาฮี บ้านอิกก่อ
ผาฮี บ้านผาหมี เป็นหมู่บ้านตามทิศทางการเฝ้าระวัง
โดยเฉพาะบ้านผาหมี ตำบลเวียงพางคำ มีการจับกุมคดี
ยาเสพติดในปี พ.ศ. 2560 มากกว่า 1 ครั้ง



5. เอกสารอ้างอิง

1. Office of the Narcotics Control Board. (2013). Thailand Narcotics Control Annual Report 2013 : Drug Smuggling Situation. Office of the Narcotics Control Board Retrieved from https://aseannarco.oncb.go.th/download/article/article_20150721113338.pdf.
2. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ. (2559). แผนยุทธศาสตร์การป้องกันและแก้ไขปัญหา ยาเสพติด พ.ศ. 2558-2562 : แนวโน้มสถานการณ์ปัญหา ยาเสพติดในระดับพื้นที่. Retrieved from http://www.lampang.go.th/public58/plan_S_59.pdf.
3. กองกำลังผาเมือง. (2560, มีนาคม). เอกสาร ประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการการพัฒนา สถานการณ์ฝึกรสกัดกั้นและปราบปรามการลักลอบ ลำเลียงยาเสพติด 3 มิติ เสมือนจริง. เชียงใหม่: กรมรบพิเศษที่ 5 ค่ายขุนเณร.
4. Erdogan, S. (2009). Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and road mortality among the provinces of Turkey. *Journal of Safety Research*, 40(5), 341-351.doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2009.07.006>
5. Briggs Henan University. (2010). Spatial Autocorrelation: The Single Most Important Concept in Geography and GIS! Introduction to Concepts. Retrieved from <http://www.utdallas.edu/~briggs/henan/9SAconcepts.ppt>
6. Rossen, L. M., Khan, D., & Warner, M. (2014). Hot spots in mortality from drug poisoning in the United States, 2007–2009. *Health & place*, 26, 14-20.
7. Manochehr Zoghi, “The international Handbook of FRP Composites in Civil Engineering (1st ed.)”, CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.
8. Harries, K. (1999). Mapping Crime: Principle and Practice. Retrieved from <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/178919.pdf>.

ต้นแบบเครื่องบินที่ก่ตำแหน่งและท่าทางการบิน

วสันต์ บัณฑิตศักดิ์สกุล^{1*}

วันที่รับ 20 พฤศจิกายน 2562 วันที่แก้ไข 11 มกราคม 2563 วันที่ตอบรับ 28 มกราคม 2563

บทคัดย่อ

การบินที่ก่ตำแหน่งและท่าทางการบินบนอากาศยานมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อความปลอดภัยด้านการขนส่งหรือโดยสารทางอากาศ อีกทั้งยังเป็นการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องเพื่อแสดงเส้นทางการบิน (real time route) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อการพัฒนาต้นแบบเครื่องบินที่ก่ตำแหน่งและท่าทางการบินบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ซึ่งประจำการในกองทัพไทย โดยการวิจัยได้ดำเนินการออกแบบ กำหนดคุณลักษณะ ออกแบบวงจร และจัดสร้างตามแนวคิดที่ว่าต้นแบบเครื่องบินที่ก่ตำแหน่งและท่าทางการบิน ซึ่งสามารถรับสัญญาณระบุพิกัดพื้นโลกจากดาวเทียมกลุ่มทางเลือกอื่น ๆ อย่างน้อย 2 ระบบ อีกทั้งการทดสอบต้นแบบอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ Sensor GPS และ Sensor IMU โดยการระบุค่าพิกัดเทียบเคียงหาตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้โปรแกรม Google Earth กับตำแหน่งพิกัดของจุดที่นำอุปกรณ์มาทดสอบ ได้แก่ เครื่องบินที่ก่ตำแหน่งท่าทางการบิน มีระยะห่างจากจุดอ้างอิง 14.18 เมตร, Garmin 296 มีระยะห่างจากจุดอ้างอิง 17.72 เมตร และ PRC-112G มีระยะห่างจากจุดอ้างอิง 9.68 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งถือว่าประสบความสำเร็จและสามารถพัฒนาเป็นเครื่องรับสัญญาณระบบ Multi-GNSS ราคาถูก ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้านการบินและด้านอื่น ๆ ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การจำลองการบิน, เฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H, ท่าทางการบิน

¹ ผู้บังคับการกองบิน 2 กองทัพอากาศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: ricebird499@gmail.com

Prototyping the Recorder of Flight Position and Orientation

Wasan Banditsaksakul^{1*}

Abstract

Recording flight position and orientation is important and critical to the safety of air transportation or air passengers. In addition, it is continuous recordings of real-time flight route that are the underlying concept of this research. The major output is to develop the prototype of recording the flight position and orientation of the UH-1H helicopter that had been long missioned at the Royal Thai Armed Forces. The research was conceptualized to obtain the design of a recording circuit so that the prototype would receive GPS signals from at least two options of GPS constellations. The research was also carried out to benchmark the received positions of the GPS and IMU sensor prototype with those collected from the Google Earth. The comparative positions were at an overall value of 14.18 m from the reference compared those of Garmin 296 that were at an overall value of 17.72 m from the reference, where as PRC-112G was at an acceptable value of 9.68 m from the reference. The research was successfully concluded and can be further studied to apply with newer and better design of avionic devices in relation to aviation and other applications with low cost of investment.

Keywords : UH-1H Helicopter, Flight Simulation, Flight Orientation

¹ Wing2 Commander, Royal Thai Air Force

* Corresponding Author, E-mail: ricebird499@gmail.com

1. บทนำ

เฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ถูกบรรจุเข้าประจำการในกองทัพอากาศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2511 โดยยุทธโศภณดั่งกล่าวมีความสำคัญและถูกนำไปใช้ในการกิจต่าง ๆ ของกองทัพอากาศมานานมากกว่า 50 ปี ซึ่งบนเครื่อง UH-1H ไม่ได้รับการติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลการบินหรือ Flight Data Recorder (FDR) ดังนั้นการจะนำข้อมูลด้านลักษณะหรือท่าทางการบินในรูปแบบการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization) ของนักบิน เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการบินในกรณีทั้งก่อนและหลังการควบคุมการบินเป็นการยากลำบาก อีกทั้งการขาดอุปกรณ์บันทึกข้อมูลการบินทำให้ยากต่อการวางแผนการบิน และส่งผลโดยตรงต่อการแสดงผลการควบคุมอากาศยานขณะทำการบิน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มระดับความปลอดภัยของอากาศยาน



รูปที่ 1 เฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ถูกบรรจุเข้าประจำการในกองทัพอากาศไทย [1]

จากมูลเหตุข้างต้นในการแก้ปัญหาด้านข้อมูลการบินมีแนวทางการแก้ปัญหาทางตรงคือ การจัดซื้อและติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลการบินให้กับเฮลิคอปเตอร์ UH-1H นับเป็นแนวทางที่ดีที่สุดในในการแก้ปัญหาและสาเหตุต่าง ๆ ในการควบคุมการบิน ทว่าอุปกรณ์ดังกล่าวถึงแม้จะได้รับมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับในด้านความปลอดภัยทางการบิน แต่ยังคงมีราคาแพงและต้องใช้งบประมาณสูงในการจัดซื้อ ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์บันทึกท่าทางการบิน รุ่น MTI-G-710 ราคาประมาณ 160,000 บาท [2] จากอุปสรรคด้านงบประมาณที่จำกัดจึงเป็นโจทย์วิจัยที่นำไปสู่การแก้ปัญหา สำหรับการวิจัยและพัฒนาเพื่อประกอบรวมอุปกรณ์ต้นแบบข้างต้นที่ผลิตขึ้นเองจะช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ในระดับที่สามารถพัฒนาเพื่อต่อยอด

ต่อไปได้ กล่าวคือเครื่องบันทึกข้อมูลการบินต้นแบบควรมีภาคการรับสัญญาณที่ระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมจากกลุ่มดาวเทียมทางเลือกอื่นนอกเหนือจากกลุ่มดาวเทียม GPS ของกองทัพสหรัฐฯ เพื่อให้เกิดความอ่อนตัวและคล่องตัวในการเลือกรับสัญญาณพิกัดพื้นโลกอื่น เช่น กลุ่มดาวเทียม GLONASS ของสหพันธรัฐรัสเซีย กลุ่มดาวเทียม GALILEO ของสหภาพยุโรป แม้กระทั่งกลุ่มดาวเทียม BEIDOU ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

ถึงแม้เฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H จะไม่ได้ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลการบิน (รูปที่ 1) ซึ่งทำให้ยากต่อการจะนำข้อมูลการบินมาใช้และถือเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มระดับความปลอดภัยของอากาศยานก็ตาม แต่เครื่องบินรุ่นดังกล่าวยังคงมีประจำการในกองทัพอากาศไทยและใช้ปฏิบัติการกิจสำคัญต่าง ๆ เช่น การค้นหาและช่วยชีวิต การลำเลียงทางอากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวิจัยและพัฒนาต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินเนื่องจากสภาพการบินขณะสภาพอากาศไม่อำนวย หรือภายใต้สภาวะที่ท้องฟ้าถูกดบัง การระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมอาจจะไม่สามารถทำงานได้เต็มที่ อีกทั้งระบบระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมนั้นมิได้มีการดำเนินการโดยประเทศไทย การทำงานของระบบดังกล่าวอาจจะขึ้นอยู่กับสถานการณ์โลกเพื่อสร้างความมั่นคงในการใช้งานระบบระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมจึงควรที่จะอ้างอิงกับระบบประเภทเดียวกัน ซึ่งนวัตกรรมนี้สามารถนำผลลัพธ์ของโครงการไปพัฒนาต่อยอดกับอากาศยานอื่น ๆ ของกองทัพที่ประสบปัญหาในลักษณะเดียวกันกับเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน และสามารถแสดงผลตำแหน่งและท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ

ทั้งนี้สมมุติฐานการวิจัยที่สามารถทำการบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินของเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ได้ด้วยระบบที่ออกแบบ วิจัย และพัฒนา ต้องไม่เกี่ยวข้องกับหรือรบกวนกับระบบ Avionics ของอากาศยาน โดยการแสดงผลตำแหน่งและท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ จะช่วยทำให้ง่ายต่อการวางแผนการบิน การนำท่าทางการบินมาแสดงผลขณะทำการบรรยายก่อนและหลังการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ สามารถกำหนดแม่แบบในการดำเนินการได้

และการติดตามท่าทางการบินขณะฝึกนักบินใหม่ด้วยการบันทึกประวัติการบินของเครื่องบินรุ่นดังกล่าวจะช่วยเพิ่มระดับความปลอดภัยของอากาศยาน ภายใต้ขอบเขตการวิจัยที่ทำการบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินของเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ที่บรรจุประจำการใน บ.น.2 เท่านั้น และทำการแสดงผลตำแหน่งและท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ ใน 1 ภารกิจ เพื่อสร้างแม่แบบกระบวนการและต้นแบบฐานข้อมูลประวัติการบิน

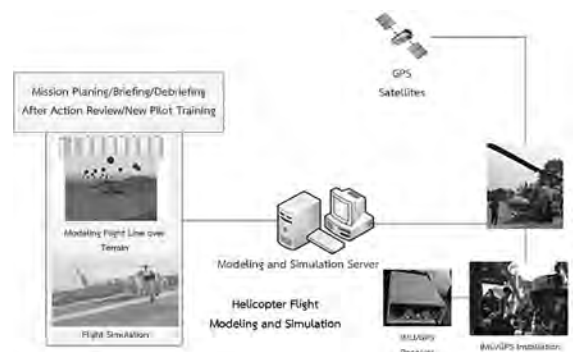
2. ทฤษฎี กรอบแนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากโจทย์วิจัยดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าการสร้างต้นแบบระบบเครื่องบันทึกข้อมูลการบินมีความจำเป็นต้องตอบสนองความต้องการอย่างน้อย 2 ข้อ ได้แก่ 1) ต้องสามารถรองรับระบบระบุพิกัด 2) สามารถบันทึกท่าทางการบินของเฮลิคอปเตอร์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงมุ่งเน้นที่องค์ประกอบทั้งสองส่วนเป็นหลัก การระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning System) เป็นกระบวนการของการกำหนดตำแหน่งแนวทางและความเร็วของวัตถุ (รูปที่ 2) นอกจากนั้นระบบระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมยังเป็นระบบที่ใช้งานได้ง่ายและพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยมีเงื่อนไขคือ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะต้องสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้อย่างน้อย 4 ดวง ในเวลาเดียวกัน ซึ่งในวันที่สภาพอากาศไม่อำนวยการระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมอาจจะไม่สามารถทำงานได้เต็มที่ ประกอบกับระบบระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมนั้นมิได้มีการดำเนินการโดยประเทศไทย การทำงานของระบบดังกล่าวอาจจะขึ้นอยู่กับสถานการณ์โลก เพื่อสร้างความมั่นคงในการใช้งานระบบระบุพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียม ระบบจึงควรอ้างอิงกับระบบประเภทรองรับดาวเทียมหลายระบบหรือที่เรียกว่าระบบนำทางทั่วโลกหลายระบบ (Multi-Global Navigation Satellite Systems/Multi-GNSS) โดยเป็นการรับสัญญาณดาวเทียมที่กระจายจากระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลก ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่ามีการอ้างอิงพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมหลายระบบ ซึ่งจะช่วยให้การกำหนดตำแหน่งมีความแม่นยำสูงขึ้น [3-6]

Sensor เพื่อวัดท่าทางการบินใช้ประโยชน์จากความเฉื่อยที่จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ตามกฎของข้อที่ 1 ของนิวตัน โดย Sensor IMU จะอ่านค่าการเปลี่ยนแปลง

ของความเร็วเชิงเส้น และการเปลี่ยนแปลงของมุมในแนวแกน X Y Z และในบางครั้งอาจจะใช้ Sensor อื่น ๆ ประกอบด้วย Sensor แม่เหล็กในการอ่านมุมที่กระทำต่อเส้นแนวแรงแม่เหล็กของโลกที่อยู่ในแนวทิศเหนือ - ใต้ และ Sensor อ่านความดันเพื่อช่วยในการคำนวณความสูง ในการคำนวณค่ามุมของท่าทางการบินจากค่าของ Sensor นั้นจะใช้หลักการคำนวณที่เรียกว่า Sensor Mechanization จาก Accelerometer และ Gyroscope ซึ่งโดยพื้นฐานก็คือการ Transform อัตราการหมุนบนแกนของ Sensor ไปยังแกนของโลกและ Integrate ความเร่งและอัตราการหมุน เพื่อหาผลรวมของท่าทางการบินเทียบกับทิศ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก

ดังนั้นอุปกรณ์ภาครับสัญญาณเป็นการออกแบบระบบเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ GPS แบบฝังตัว โดยใช้อุปกรณ์ย่อยที่ประกอบด้วย Sensor GPS และ Sensor IMU ติดตั้งบนอากาศยาน โดยไม่รบกวนและยุ่งเกี่ยวกับระบบ Avionics เพื่ออ่านค่าพิกัดและท่าทางการบินเข้าสู่ระบบประมวลผลในเครื่องแม่ข่ายการจำลองและแสดงท่าทางการบิน อุปกรณ์บันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินที่ใช้ประกอบด้วยการอ่านค่า Latitude ค่า Longitude ค่าความสูง เหนือระดับน้ำทะเล มุม Roll มุม Pitch และมุม Yaw ซึ่งบันทึกด้วยอุปกรณ์ต้นแบบหน่วยความจำแบบ Flash Memory การแสดงท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ เป็นการนำผลการจำลองและแสดงท่าทางการบินมาสร้างวิดีโอแอนิเมชัน 3 มิติ ด้วยซอฟต์แวร์จำลองและแสดงท่าทางการบิน [7-8]

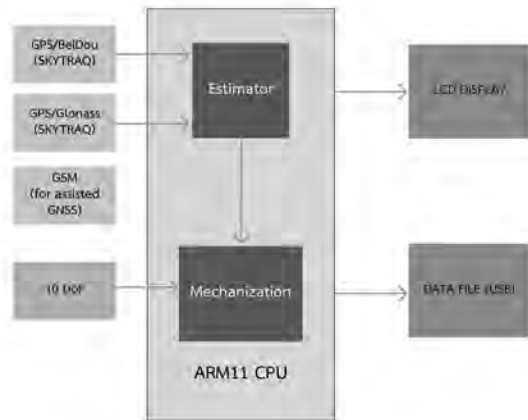


รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

3. การวิจัยและพัฒนาต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน

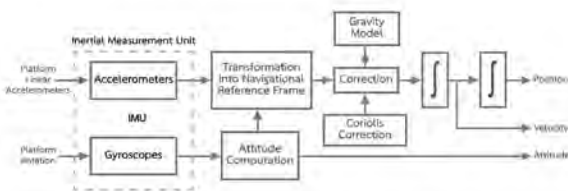
3.1 การพัฒนาระบบ รับ-ส่ง สัญญาณ GPS

เป็นการออกแบบติดตั้ง Sensor GPS และ Sensor IMU เพื่ออ่านค่าพิกัดและท่าทางการบิน การออกแบบ Diagram จะประกอบด้วย ต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่ง และการบันทึกท่าทางการบินดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงส่วนประกอบและการทำงานของต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน

แนวคิดการทำงานของต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน (รูปที่ 4) เมื่อเริ่มทำงาน ระบบ GNSS ยังคงต้องใช้เวลาในการรอสัญญาณจากดาวเทียม ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เวลาประมาณ 30 จนถึง 100 วินาที โดยเครื่องต้นแบบจะนำสัญญาณตำแหน่งคร่าว ๆ จากระบบ GSM มาช่วยในการเร่งความเร็วในการ Lock ของระบบ GNSS เครื่องต้นแบบใช้กับระบบ GNSS ได้ถึง 3 ระบบ คือ GPS, Glonass และ BeiDou ซึ่งจะลดโอกาสที่สัญญาณดาวเทียมหลุด และลดกำลังของสัญญาณกวนพร้อมเพิ่มความแม่นยำตามหลักการทางสถิติ เนื่องจากระบบ GNSS จะสามารถระบุได้เพียงตำแหน่งและมุม Heading ในกรณีที่วัดมุมความเร็ว ดังนั้นเราจำเป็นต้องทราบข้อมูลตำแหน่งเชิงมุมอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง ได้แก่ Pitch และ Roll ทั้งนี้ Sensor 10 DoF จะทำการอ่านค่าข้อมูลจาก MEM Sensor Accelerometer Gyroscope Magnetic Sensor และ Barometer และเนื่องจาก Gyroscope แบบ MEM Sensor จะอ่านค่าอัตราการหมุน ไม่ใช่มุม เราจึงต้องทำการคำนวณโดยวิธี Mechanization (รูปที่ 5) ซึ่งค่าตำแหน่งเชิงเส้นและเชิงมุมที่ได้จากการ Mechanization จะถูกนำมารวมกับค่าตำแหน่งที่อ่านได้จาก GNSS Sensor โดยใช้ Estimator



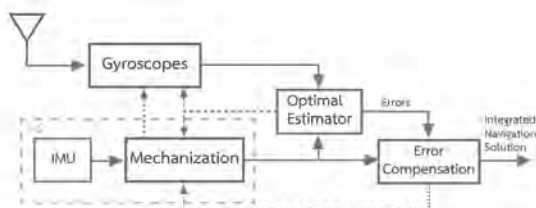
A



B



รูปที่ 4 Diagram ของการทำ Mechanization จาก Accelerometer (A) และ Gyroscope (B)



A



B



รูปที่ 5 การรวมค่าจาก MEM Sensor และ GNSS Sensor

การพัฒนาอุปกรณ์บันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน เป็นการออกแบบส่วนเชื่อมต่อเพื่อการอ่านค่าพิกัดและท่าทางการบิน การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบบันทึกข้อมูลการบินได้อย่างต่อเนื่อง และการออกแบบระบบจัดการข้อมูลพิกัดและท่าทางการบิน

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การแสดงผลท่าทางการบิน

เป็นการเชื่อมต่อระบบแสดงผลท่าทางการบินและระบบจำลองท่าทางการบิน และการจัดเก็บข้อมูลท่าทางการบิน

จากเครื่องต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน นำมาเปรียบเทียบการอ่านค่าตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลกเทียบกับเครื่องรับ GPS รุ่นต่าง ๆ ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยนำต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งท่าทางการบิน การบอกพิกัดตำแหน่งเปรียบเทียบกับ Garmin 296 และ PRC-112 G แล้วนำค่าพิกัดหาตำแหน่งบนพื้นโลกโดยใช้โปรแกรม Google Earth ได้ค่าแสดงตำแหน่งเปรียบเทียบกับจุดที่นำอุปกรณ์มาทดสอบ ดังนี้ เครื่องบันทึกตำแหน่งท่าทางการบิน มีระยะห่างจากจุดอ้างอิง 14.18 เมตร, Garmin 296 มีระยะห่างจากจุดอ้างอิง 17.72 เมตร และ PRC-112G มีระยะห่างจากจุดอ้างอิง 9.68 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้แสดงตามรูปที่ 6

4.2 การแสดงท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ

เป็นการสร้างวิดีโอแอนิเมชัน 3 มิติ ด้วยซอฟต์แวร์จำลองและแสดงท่าทางการบิน และประเมินผลการใช้ต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน

ทดสอบการบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน ครั้งที่ 1 โดยนำต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งท่าทางการบินทดสอบบนเฮลิคอปเตอร์ แบบ UH-1H เส้นทางบินดอนเมือง-โคกกระเทียม เมื่อวันที่ 23 ก.พ. 60 และนำไฟล์ที่ได้จากการบันทึกมาถอดรหัสด้วยโปรแกรม gps_data.pl ได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 7

จะเห็นว่าต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างน้อย 2 ระบบคือระบบดาวเทียม GLONASS ของประเทศสหพันธรัฐรัสเซีย และระบบดาวเทียม Compass ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

และเมื่อนำข้อมูลที่บันทึกได้แปลงเป็นไฟล์ KML เพื่อใช้งานกับ Google Earth จะสามารถเห็นเส้นทางการบินได้บนแผนที่แสดงดังรูปที่ 8 ซ้าย และเมื่อนำข้อมูลที่บันทึกได้เชื่อมต่อกับโปรแกรม Flight Gear สามารถแสดงผลเป็นภาพจำลองท่าทางการบินได้แสดงดังรูปที่ 8 ขวา

ทดสอบการบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน ครั้งที่ 2 โดยนำต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งท่าทางการบินทดสอบบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H บริเวณสนามบินโคกกระเทียม เมื่อวันที่ 10 พ.ค. 60 ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 9 เมื่อนำค่าที่บันทึกได้มาแสดงบนโปรแกรม Google Earth จะได้แผนที่เส้นทางการบินที่สามารถบอกทิศทางระยะทางและความสูงของเฮลิคอปเตอร์ แสดงดังรูปที่ 10

การนำข้อมูลการบินที่บันทึกได้มาแสดงบนโปรแกรมจำลองการบิน Flight Gear โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ TCP/IP ซึ่งจะส่งข้อมูล Lat Long และค่ามุมต่าง ๆ จาก Log File ที่ได้บันทึกไว้ ผ่านเข้าไปยังโปรแกรมจำลองการบิน และจะนำข้อมูลไปบังคับให้เครื่องบินจำลอง บินตามเส้นทางที่บันทึกไว้โดยโปรแกรมจำลองการบิน Flight Gear จะแสดงผลเป็นภาพจำลองการบินในรูปสามมิติจากค่าข้อมูลที่บันทึกจากเฮลิคอปเตอร์ และจะแสดงเป็นรูปแบบไฟล์วิดีโอ แสดงดังรูปที่ 11

4.3 การพัฒนาต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งท่าทางการบิน

การพัฒนาต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน (รูปที่ 12) เป็นการออกแบบวงจรไฟฟ้าเพื่อให้มีขนาดเล็ก gọn และทดสอบการส่งสัญญาณข้อมูลจากเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบินมายัง server แม่ข่ายทางระบบ 3G โดยใช้สัญญาณโทรศัพท์มือถือ และสามารถเปิดดูได้ใน server ภาควิชา โดยวงจรไฟฟ้าจะประกอบด้วย

1. ส่วนประมวลผล คือ แผงวงจรประมวลผล ใช้ CPU BCM2835 (ARM11 ความเร็ว 800 MHz)
2. ส่วนหน่วยรับสัญญาณ GNSS ใช้ Ublox Series 8 รับสัญญาณได้สองความถี่ในเวลาเดียวกัน สามารถประมวลผลตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียม 3 ระบบ
3. ส่วนหน่วยอ่านท่าทางการบิน ใช้ AHRS sensors แบบ Magnetic Compass
4. ส่วนสื่อสาร ใช้ GPRS/2G/3G

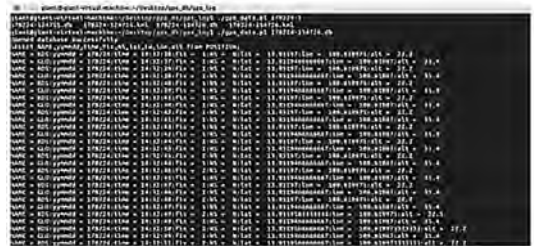
5. ส่วนสำรองไฟฟ้าเป็น Battery

ทดสอบการบันทึกตำแหน่งและทำทางการบิน ครั้งที่ 2 โดยนำต้นแบบเครื่องบินที่ตำแหน่งทำทางการบินทดสอบบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H บริเวณสนามบินดอนเมือง เมื่อวันที่ 22 มี.ค. 61 แสดงดังรูปที่ 13

การทดสอบค่าที่บันทึกได้จากเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H โดยทดสอบการส่งสัญญาณจากต้นแบบเครื่องบินที่ตำแหน่งและทำทางการบินมายัง เซิร์ฟเวอร์แม่ข่ายทางระบบ 3G โดยใช้สัญญาณโทรศัพท์มือถือ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูล และสามารถเปิดดูข้อมูลทำทางการบินย้อนหลังได้จากข้อมูล

การบินที่บันทึกไว้ในเซิร์ฟเวอร์ www.blackbox.homeunix.com/cgi-bin/gps.log.pl แสดงดังรูปที่ 14

เมื่อนำข้อมูลที่ต้องการมาแสดงใน google map โดยกำหนดค่า line เริ่มต้น จนถึง line สิ้นสุด โดยทำการเปิดไฟล์นำเข้าข้อมูลการบินที่บันทึกไว้ได้จากการทดลองผ่านลิงก์ www.blackbox.homeunix.com/cgi-bin/gps_plot.p?from_line=10300_line=15570 และทำการบันทึกทำทางการบินเป็นไฟล์ .kml แสดงดังรูปที่ 15 และนำไฟล์ที่บันทึกได้เปิดในโปรแกรม Google Earth จะได้ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 16 เมื่อนำค่าที่ได้มาแสดงบนโปรแกรม Flight Gear ได้ข้อมูลดังรูปที่ 17



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบตำแหน่งของต้นแบบเครื่องบินที่ตำแหน่งทำทางการบินกับเครื่องรับ GPS รุ่น Garmin 296 และ PRC-112G เทียบกับจุดอ้างอิง

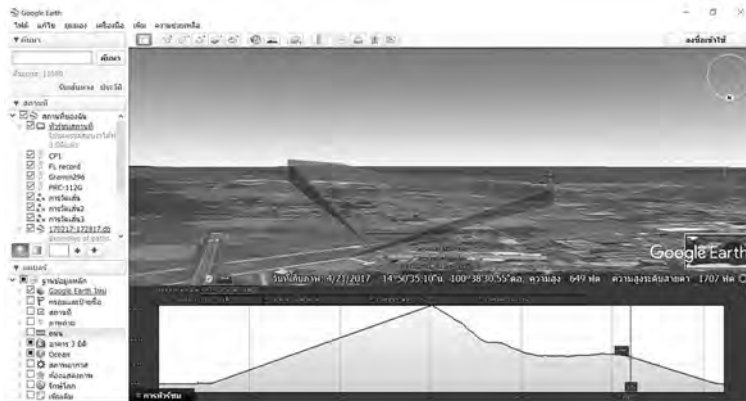
รูปที่ 7 ข้อมูลที่เครื่องบินที่ตำแหน่งและทำทางการบินบันทึก



รูปที่ 8 ตัวอย่างเส้นทางการบินของเฮลิคอปเตอร์ และการจำลองทำทางการบิน



รูปที่ 9 แสดงการติดตั้งต้นแบบเครื่องบินที่ตำแหน่งและทำทางการบินบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H



รูปที่ 10 แสดงการติดตั้งต้นแบบเครื่องบินที่กักตำแหน่งและท่าทางการบินบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H



รูปที่ 11 การจำลองท่าทางการบินของเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H



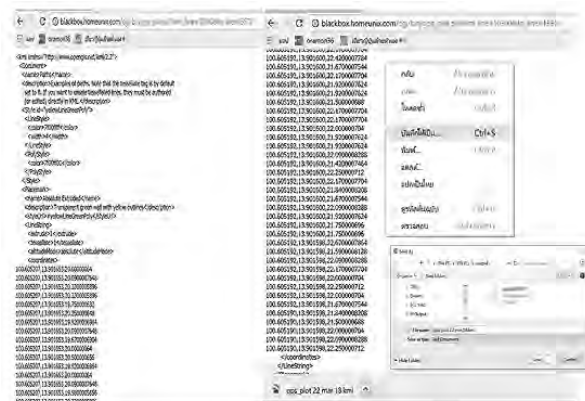
รูปที่ 12 การพัฒนาต้นแบบเครื่องบินที่กักตำแหน่งและท่าทางการบิน



รูปที่ 13 การติดตั้งต้นแบบเครื่องบินที่กักตำแหน่งและท่าทางการบิน

10330	2258h-2018-07-27-02	025742.000	13.901853	100.805207	94.238861	91.000000	1.620000	0.000000	28.43
10331	2258h-2018-07-27-02	025743.000	13.901853	100.805207	95.437970	91.000000	1.700000	-0.710000	28.43
10332	2258h-2018-07-27-02	025744.000	13.901853	100.805207	96.091669	91.000000	1.700000	-0.720000	28.50
10333	2258h-2018-07-27-02	025745.000	13.901853	100.805207	96.893753	91.000000	1.700000	-0.470000	28.50
10334	2258h-2018-07-27-02	025746.000	13.901853	100.805207	98.174541	91.000000	1.430000	-0.720000	28.50
10335	2258h-2018-07-27-02	025747.000	13.901853	100.805207	99.037923	91.000000	0.950000	1.180000	28.50
10336	2258h-2018-07-27-02	025748.000	13.901853	100.805207	99.713911	91.000000	1.190000	1.190000	28.50
10337	2258h-2018-07-27-02	025749.000	13.901853	100.805207	99.912078	91.000000	1.400000	1.210000	28.60
10338	2258h-2018-07-27-02	025750.000	13.901853	100.805207	99.953433	91.000000	2.150000	1.100000	28.60
10339	2258h-2018-07-27-02	025751.000	13.901853	100.805207	99.928967	91.000000	1.700000	1.100000	28.60
10340	2258h-2018-07-27-02	025752.000	13.901853	100.805207	99.769990	91.000000	2.170000	1.200000	28.60
10341	2258h-2018-07-27-02	025753.000	13.901853	100.805207	99.554913	91.000000	1.190000	-0.900000	28.70
10342	2258h-2018-07-27-02	025754.000	13.901853	100.805207	99.294122	91.000000	1.200000	-0.720000	28.70
10343	2258h-2018-07-27-02	025755.000	13.901853	100.805207	98.923697	91.000000	1.700000	1.190000	28.70
10344	2258h-2018-07-27-02	025756.000	13.901853	100.805207	98.364338	91.000000	2.130000	0.930000	28.70
10345	2258h-2018-07-27-02	025757.000	13.901853	100.805207	97.593866	91.000000	0.900000	1.140000	28.70
10346	2258h-2018-07-27-02	025758.000	13.901853	100.805207	96.419037	91.000000	1.640000	-0.720000	28.70
10347	2258h-2018-07-27-02	025759.000	13.901853	100.805207	94.915750	91.000000	1.180000	1.180000	28.80

รูปที่ 14 การบันทึกข้อมูลแสดงใน serve



รูปที่ 15 การบันทึกเป็นไฟล์ .kml



รูปที่ 16 การแสดงเส้นทางบินที่บันทึกได้เปรียบเทียบกับแผนการบินของนักบิน



รูปที่ 17 ตัวอย่างท่าทางการบินในรูปแบบสามมิติ โดยใช้โปรแกรม Flight Gear

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

แนวความคิดการวิจัยและออกแบบ ต้นแบบเครื่องบินติดตำแหน่งและท่าทางการบิน เป็นการใช้อุปกรณ์ Sensor ที่มีอยู่ในท้องตลาดและได้ดำเนินการประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยระบบที่ใช้งานในการวิจัยจะต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมกลุ่มทางเลือกอื่น ๆ อย่างน้อย 2 ระบบ นอกเหนือจากกลุ่มดาวเทียม GPS ของกองทัพสหรัฐฯ เช่น กลุ่มดาวเทียม GLONASS ของสหพันธรัฐรัสเซีย และกลุ่มดาวเทียม BEIDOU ของสาธารณรัฐประชาชนจีน การรับสัญญาณจากดาวเทียมหลายระบบทำให้สามารถขยายความสามารถในการประมวลผลของสัญญาณ ทำให้ลดข้อจำกัดต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น

จากการทดสอบต้นแบบเครื่องบินติดตำแหน่งและท่าทางการบิน อุปกรณ์การรับสัญญาณ Sensor GPS และ Sensor IMU เมื่อทำการติดตั้งต้นแบบเครื่องบินติดตำแหน่งและท่าทางการบินบนเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H ไม่มีการกวนของสัญญาณไปยังระบบ Avionic หรือระบบต่าง ๆ ของอากาศยาน และการบันทึกค่าพิกัดและท่าทางการบินมีความใกล้เคียงกับเส้นทางบิน หรือแผนการบินที่นักบินผู้ทำการบินกำหนดไว้ การใช้อุปกรณ์หน่วยความจำแบบ Flash Memory สามารถบันทึกข้อมูลการบินได้ตลอดแผนการบินที่กำหนดไว้ เมื่อนำข้อมูลมาแปลงค่า โดยใช้โปรแกรม Google Earth และโปรแกรม Flight Gear (รูปที่ 17) สามารถแปลค่าเป็นเส้นทางการบิน และท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ

ต้นแบบเครื่องบินติดตำแหน่งและท่าทางการบินของนักบินผู้บิน 203 กองบิน 2 และหน่วยงานในกระทรวงกลาโหมที่มีเฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H สามารถนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบเครื่องบินติดตำแหน่งและท่าทางการบิน และไปใช้งานบนเส้นทางการบินและท่าทางการบินในรูปแบบแอนิเมชัน 3 มิติ สามารถนำมาประกอบการบรรยายสรุปก่อนและหลังทำการบินของนักบิน ทำให้นักบินสามารถเห็นภาพการปฏิบัติการบินได้ง่าย เกิดทักษะการเรียนรู้มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการบินมากยิ่งขึ้น

แนวความคิดการนำระบบระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลกหลายระบบ (Multi-GNSS) มาประยุกต์ใช้กับเครื่องบินติดตำแหน่งและท่าทางการบิน สามารถขยายผลไปประยุกต์และปรับใช้กับอากาศยานแบบอื่น ๆ รวมถึงการขยายผลของอุปกรณ์รับสัญญาณจากดาวเทียมนำร่องอื่น เพราะอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบสามารถหาซื้อได้ในท้องตลาด ซึ่งจะเป็นการ

ต่อยอดการใช้อุปกรณ์ความรู้ของการนำระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลกหลายระบบ (Multi-GNSS) มาประยุกต์ใช้กับงานด้านการบินได้หลากหลายรูปแบบ สามารถปรับปรุงพัฒนาเพื่อให้งานมีความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง มีความแม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือ อีกทั้งในอนาคตอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณระบบ Multi-GNSS จะมีราคาถูก ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้นักวิจัยสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องด้านการบิน และด้านอื่น ๆ ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำได้ในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://www.flickr.com/photos/urklesaviation/46456020304>
- [2] Xsens Technologies B.V., <https://www.xsens.com/products/mti-g-710/>, Retrieved 25 July 2018
- [3] U.S. Patent No. 10, 386, 492 B2 (2019)
- [4] U.S. Patent No. D640,265 S (2011)
- [5] Trotter M. G., Lamb D. W., Hinch G. N., Guppy C. N. (2010) Global navigation satellite system livestock tracking: system development and data interpretation. *Animal Production Science* 50, 616-623.
- [6] ปิติภูมิ โพสวาง สกิตโชค โพธิ์สอาด และวสันต์ ภัทรธิดม. ก้าวสู่โลกแห่งการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ: พัฒนาการในปัจจุบันและอนาคตของระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลกหลายระบบ.วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, ปีที่ 9 ฉบับที่ 10 กรกฎาคม - ธันวาคม 2560
- [7] Innovation: Getting a Grip on Multi-GNSS. [Online]. Available: <http://gpsworld.com/innovation-getting-a-grip-on-multi-gnss-the-international-gnss-service-mgex-campaign/>, Retrieved 25 July 2018
- [8] Glocker, M.; Landau, H.; Leandro, R.; Nitschke, M. Global precise multi-GNSS positioning with trimble centerpoint RTX. *Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, (NAVITEC), 2012 6th ESA Workshop on*, vol., no., pp.1,8, 5-7 Dec. 2012.

การพัฒนาองค์การสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ กรณีศึกษากรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่ตั้งพื้นที่ดอนเมือง

สมชัย รังสีธรรมกุล^{1*} ลัญญณ์รัฐ ภาตะนันท์² และ พิมพ์ภััส งามสันติวงศ์²

วันที่รับ 19 พฤศจิกายน 2562 วันที่แก้ไข 18 ธันวาคม 2562 วันที่ตอบรับ 19 ธันวาคม 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับของลักษณะองค์การแห่งการเรียนรู้ของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ พร้อมทั้งปัญหาอุปสรรคและแนวทางในการพัฒนาไปสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ โดยใช้แนวคิดองค์การแห่งการเรียนรู้ของ Michael J. Marquardt เป็นกรอบในการศึกษา ซึ่งแนวคิดนี้แบ่งลักษณะขององค์การแห่งการเรียนรู้ออกเป็นองค์ประกอบย่อย 5 ระบบด้วยกัน คือ ระบบย่อยด้านการเรียนรู้ ระบบย่อยด้านองค์การ ระบบย่อยด้านคน ระบบย่อยด้านความรู้ และระบบย่อยด้านเทคโนโลยี ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ข้าราชการชั้นสัญญาบัตรและข้าราชการชั้นประทวนของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ เฉพาะหน่วยที่ตั้งดอนเมือง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้แก่ แบบสอบถาม แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามด้วยวิธีการทางสถิติโดยการหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA)

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ มีลักษณะขององค์การแห่งการเรียนรู้โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง แต่เมื่อแยกเป็นระบบย่อยแล้ว พบว่า ระบบย่อยด้านการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก และระบบย่อยที่เหลืออีก 4 ระบบ คือ ระบบย่อยด้านองค์การ ระบบย่อยด้านคน ระบบย่อยด้านความรู้ และระบบย่อยด้านเทคโนโลยี อยู่ในระดับปานกลาง ปัญหาอุปสรรคในการพัฒนาไปสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ ได้แก่ บุคลากรขาดความตั้งใจในการทำงานร่วมกัน ผู้นำไม่ได้ให้การสนับสนุนอย่างจริงจัง องค์การขาดบรรยากาศที่ส่งเสริมการเรียนรู้ และขาดความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแนวทางในการพัฒนาองค์การไปสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ได้แก่ การสร้างวิสัยทัศน์ร่วมกัน การให้ความรู้และให้ทราบถึงความสำคัญของการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ สร้างบรรยากาศที่ส่งเสริมการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นในองค์การ ผู้นำต้องให้การสนับสนุนเพิ่มมากขึ้นและการจัดหาอุปกรณ์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศให้เพียงพอและเหมาะสมในทุกหน่วยงาน

คำสำคัญ : องค์การแห่งการเรียนรู้, การจัดการความรู้, การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

¹ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ

² ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: somchai_rangs@rtaf.mi.th

Building the Learning Organization

Case Study of Directorate of Armament, Air Support Command Royal Thai Air Force Donmuang Area

Somchai Rangseethummakul^{1*} Lanyanat Patanan² and Phimraphas Ngamsantivongsa²

Abstract

The purposes of this research paper is to study the level of characteristic of Learning Organization , problems that obstruct to be Learning Organization and concept to develop an organization to be Learning Organization of Directorate of Armament, Air Support Command, Royal Thai Air Force by using Michael J. Marquardt's conceptual framework. Learning Organization concept of Michael J. Marquardt compose of 5 subsystems, there are learning subsystem, organization subsystem, people subsystem, knowledge subsystem and technology subsystem. Population used in this research consists of officer and non-officer of Directorate of Armament Air Support Command Royal Thai Air Force in Don Muang Area. The instrument used for data collecting were questionnaire. The statistics used for analyzing data were percentage, mean, standard deviation and one way analysis of variance.

The results of the study were as follows: As the whole of Directorate of Armament Air Support Command Royal Thai Air Force in Don Muang Area have characteristic of Learning Organization at medium level, but if separate each subsystem it found that learning subsystem has high level of Learning Organization character and other 4 subsystems have medium level of Learning Organization character. The problems of building the Learning Organization are lack of intention to work together, lacking of leader support, leader's support environment that encourage learning and limitation of information technology. The guideline for the development of a learning organization is to create an atmosphere that facilitate learning in the organization since the main concept of Learning Organization is to build and share vision. Not only that raises the awareness of the importance of learning organizations but also creates the understanding of the leaders to support sufficient and appropriate information technology equipment in all units.

Keywords : Learning Organization, Knowledge management - KM, one way analysis of variance

¹ Directorate of Armament Air Support Command Royal Thai Air Force.

² Knowledge Management Division - TKM, Defence Technology Institute.

* Corresponding author, E-mail: somchai_rangs@rtaf.mi.th

1. บทนำ

จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 ที่รัฐบาลมุ่งมั่นจะนำประเทศไทยไปสู่ Thailand 4.0 เพื่อพัฒนาให้ทุกภาคส่วนเกิดการสร้างนวัตกรรมให้เกิดขึ้นในองค์กร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานะที่เกิดภัยคุกคามที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นความรู้จึงเป็นรากฐานสำคัญที่จะทำให้เกิดนวัตกรรม ส่งผลให้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนให้ความสำคัญกับการพัฒนาองค์การสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ ดังมาตรา 11 ของพระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 ได้ระบุไว้ว่า “ส่วนราชการมีหน้าที่พัฒนาความรู้ในส่วนราชการ เพื่อให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ โดยต้องรับรู้ข้อมูลข่าวสาร และสามารถประมวลผลความรู้ในด้านต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติราชการได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และเหมาะสมกับสถานการณ์ รวมทั้งต้องส่งเสริมและพัฒนาความรู้ความสามารถ สร้างวิสัยทัศน์และปรับเปลี่ยนทัศนคติของข้าราชการในสังกัดให้เป็นบุคลากรที่มีประสิทธิภาพและมีการเรียนรู้ร่วมกัน ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติราชการของส่วนราชการให้สอดคล้องกับการบริหารราชการให้เกิดผลสัมฤทธิ์ตามพระราชกฤษฎีกานี้ [1]

อย่างไรก็ตาม การที่องค์กรจะสร้างให้เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ นั้น บุคลากรเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างองค์กรแห่งการเรียนรู้ เช่น พฤติกรรมของบุคลากรในการแบ่งปันความรู้ในองค์กร ดังที่ Henttonen, Kianto และ Ritala [2] พบว่าพฤติกรรมของบุคลากรภาครัฐในการแบ่งปันความรู้มีผลต่อประสิทธิภาพของแต่ละบุคคลเชิงบวกในบุคลากรที่มีระดับการศึกษาสูง นอกจากนี้วัฒนธรรมองค์กร ปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในองค์กรจะเป็นตัวกระตุ้นที่บุคลากรในองค์กรเกิดการแบ่งปันความรู้ ถ่ายทอดความรู้ที่ฝังลึกอยู่ในตัวบุคคล (Tacit Knowledge) เช่น ทักษะ ประสบการณ์ ของแต่ละบุคคล (Nonaka, และคณะ) [3] ซึ่งการพัฒนาองค์การให้เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้จำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรม

ของคนในองค์กร รวมถึงวัฒนธรรมต่าง ๆ ในองค์กรนั้น ๆ เพราะในแต่ละองค์กรมีพื้นฐานความรู้ทั้งระดับบุคคลและระดับองค์กร อีกทั้งปัจจัยแวดล้อมของคนในองค์กรที่แตกต่างกัน ดังนั้น การจะพัฒนาให้องค์กรเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ อาจไม่ใช่สูตรสำเร็จที่จะสามารถนำมาใช้ได้กับทุกองค์กร หากแต่ต้องปรับให้เหมาะสมกับองค์กรนั้น ๆ ซึ่งหน่วยงานกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ เป็นหน่วยงานของรัฐที่มีความรู้เฉพาะด้านเทคโนโลยีอาวุธและอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ความรู้ในการพัฒนาองค์การเพื่อความเจริญและอยู่รอดขององค์กรและพัฒนาองค์การให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ต่อไป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาว่ากรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ในระดับใด
2. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้และความคิดเห็นต่ออุปสรรคในการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้
3. เพื่อศึกษาถึงสภาพปัญหาอุปสรรคที่มีผลต่อการพัฒนาองค์การสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ
4. เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาให้กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษารั้ครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพ ร่วมกับการหาค่าสถิติ การเก็บข้อมูลจึงใช้การศึกษาจากเอกสาร (Documentary Study) ซึ่งจะเป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ เอกสารทางวิชาการ บทความต่าง ๆ และการศึกษาโดยออกแบบสอบถามประชากรกลุ่มตัวอย่างถึงสภาพความเป็น

องค์การแห่งการเรียนรู้ ข้อคิดเห็น ตามแนวคิดองค์การแห่งการเรียนรู้ และข้อเสนอแนะ หลังจากนั้นรวบรวมข้อมูล นำไปวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วสรุปเป็นภาพรวม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปัจจัยเด่นที่สนับสนุนการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ ข้อบกพร่องและอุปสรรคของการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ จากนั้นจึงวางแผนทางแก้ไขตามหลักทฤษฎี โดยจะไม่ครอบคลุมถึงแผนการปฏิบัติ

2.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ในการประเมินสภาพความเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้กรณีศึกษา กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยดังนี้

ตัวแปรต้น: 1. ชั้นยศ ได้แก่ นายทหารประทวน เรืออากาศตรี-เรืออากาศเอก นาวาอากาศตรี-นาวาอากาศโทและนาวาอากาศเอกขึ้นไป 2. อายุ ได้แก่ 20-29 ปี, 30-39 ปี, 40-49 ปี และ 50 ปีขึ้นไป 3. ระดับการศึกษา ได้แก่ ต่ำกว่าปริญญาตรี ปริญญาตรี และสูงกว่าปริญญาตรี 4. หน่วยงานที่สังกัด ได้แก่ กองบริการ แผนกการเงิน กองวิทยาการ กองควบคุมการผลิต กองโรงงานสรรพาวุธ 1 กองโรงงานสรรพาวุธ 2 กองโรงงานสรรพาวุธ 3 กองโรงงานสรรพาวุธ 5 และกองพัสดุสรรพาวุธ

ตัวแปรตาม: ได้แก่ ระบบย่อยด้านการเรียนรู้ ระบบย่อยด้านองค์การ ระบบย่อยด้านบุคลากร ระบบย่อยด้านความรู้ ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี

2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากร ได้แก่ ข้าราชการสังกัดหน่วยขึ้นตรงกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่มีที่ตั้งในพื้นที่ดอนเมือง ได้แก่ ข้าราชการในสังกัด รวมจำนวนประชากรทั้งสิ้น 675 คน

กลุ่มตัวอย่าง ในการวิจัยครั้งนี้ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย โดยใช้สูตรของ Taro Yamane ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
 N = ขนาดของประชากร
 e = ค่าความคลาดเคลื่อนของการสุ่ม
 (ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดไว้ 0.05)

$$n = \frac{675}{1 + (0.05)^2} = 257 \text{ คน}$$

การแจกแบบสอบถามเป็นแบบสัดส่วน

2.3 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

แบบสอบถามนี้เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยดัดแปลงจากทฤษฎีและแนวคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับองค์การแห่งการเรียนรู้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ชั้นยศ อายุ ระดับการศึกษา หน่วยงานที่สังกัด

ตอนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ ตามแนวคิดของ Michael J. Marquardt จำนวน 26 ข้อ ประกอบด้วย

2.3.1 ระบบย่อยด้านการเรียนรู้ จำนวน 8 ข้อ

2.3.2 ระบบย่อยด้านองค์การ จำนวน 5 ข้อ

2.3.3 ระบบย่อยด้านบุคลากร จำนวน 4 ข้อ

2.3.4 ระบบย่อยด้านความรู้ จำนวน 6 ข้อ

2.3.5 ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี จำนวน 3 ข้อ

ตอนที่ 3 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นเรื่องระดับปัญหาอุปสรรคต่อการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ของหน่วยงาน จำนวน 8 ข้อ และคำถามปลายเปิด 1 ข้อ แบบสอบถามได้กำหนดค่าน้ำหนักการให้คะแนนของตัวเลือกเป็น 5 ระดับ ได้แก่

เป็นจริงมากที่สุด = 5 คะแนน

เป็นจริงมาก = 4 คะแนน

เป็นจริงปานกลาง = 3 คะแนน

เป็นจริงเล็กน้อย = 2 คะแนน

ไม่เป็นจริงเลย = 1 คะแนน

สำหรับวิธีการคำนวณความกว้างของอัตราภาคชั้น
ใช้สูตรดังนี้

$$\frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{5-1}{1} = 0.8$$

เมื่อได้ความกว้างของอัตราภาคชั้นแล้ว ผู้วิจัยได้แบ่ง
เกณฑ์ค่าเฉลี่ยสำหรับแปลความ หมายถึงใช้เกณฑ์ดังนี้

ระดับค่าเฉลี่ย 4.21 - 5.00 หมายถึง มีลักษณะการ
เป็นองค์การแห่งการเรียนรู้มากที่สุด

ระดับค่าเฉลี่ย 3.41 - 4.20 หมายถึง มีลักษณะการ
เป็นองค์การแห่งการเรียนรู้มาก

ระดับค่าเฉลี่ย 2.61 - 3.40 หมายถึง มีลักษณะการ
เป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ปานกลาง

ระดับค่าเฉลี่ย 1.81 - 2.60 หมายถึง มีลักษณะการ
เป็นองค์การแห่งการเรียนรู้น้อย

ระดับค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.80 หมายถึง มีลักษณะการ
เป็นองค์การแห่งการเรียนรู้น้อยที่สุด

2.4 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นสำหรับการวิจัย
ไปทำการทดสอบหาความเที่ยงตรง (Validity) และ
ความเชื่อมั่น (Reliability) ตามขั้นตอนดังนี้

2.4.1 การหาความเที่ยงตรง (Validity) ผู้วิจัยได้
นำแบบสอบถามให้อาจารย์ที่ปรึกษาสาระนิพนธ์ ตรวจสอบ
ความถูกต้องเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของคำถาม (Content
Validity) ในแต่ละข้อว่าตรงกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย
ในครั้งนี้นี้หรือไม่ หลังจากนั้นได้นำมาปรับปรุงข้อคำถาม
ในด้านภาษาและความชัดเจน เพื่อความเข้าใจง่ายต่อ
การตอบแบบสอบถาม

2.4.2 การหาความเชื่อมั่น (Reliability) ผู้วิจัย
ได้นำแบบสอบถามที่แก้ไขแล้วไปทำการทดสอบเพื่อ
หาความเชื่อมั่นกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดย
ใช้วิธีการหาความเชื่อมั่นแบบครอนบาค (Cronbach)
โดยการหาสัมประสิทธิ์แอลฟา (α Coefficient) ว่า

แบบสอบถามนี้ให้ผลการวัดที่สม่ำเสมอมากน้อยเพียงใด
จากการทดสอบได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาเท่ากับ 0.882
แสดงว่าแบบสอบถามมีเชื่อมั่นเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็น
แบบสอบถามสำหรับกลุ่มตัวอย่างได้

2.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.5.1 ขอนหนังสือจากบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ถึงเจ้ากรมสรรพาวุธทหารอากาศกองบัญชาการ
สนับสนุนทหารอากาศ เพื่อขออนุญาตในการจัดเก็บข้อมูล

2.5.2 ส่งแบบสอบถามที่ผ่านการสอบคุณภาพแล้ว
ไปยังหน่วยขึ้นตรงของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ
กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่
ดอนเมือง โดยการแจกแบบสอบถามแบบเป็นสัดส่วน
โดยแจกแบบสอบถามทั้งสิ้น 260 ชุด (พิเศษ จากกลุ่ม
ตัวอย่าง 257 คน)

2.5.3 ทำการรวบรวมแบบสอบถามแล้วนำไป
วิเคราะห์ประมวลผลต่อไป โดยได้รับแบบสอบถามคืน
ทั้งสิ้น 254 ชุด คิดเป็น 97.7 %

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.6.1 ตรวจสอบแบบสอบถามทุกฉบับเพื่อตรวจ
สอบความสมบูรณ์ของข้อมูล

2.6.2 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม
คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Window Version 15

2.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

2.7.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ซึ่งประกอบด้วย ชัยยศ อายุ ระดับการศึกษา และหน่วยงาน
ที่สังกัด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการแจกแจงความถี่
และหาค่าร้อยละ แล้วนำเสนอในรูปแบบตารางประกอบ
การบรรยาย

2.7.2 การวิเคราะห์เพื่อประเมินระดับลักษณะ
ความเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ของแบบสอบถาม
ตอนที่ 2 และการวิเคราะห์ระดับปัญหาอุปสรรคในการสร้าง
องค์การแห่งการเรียนรู้ของแบบสอบถามตอนที่ 3 ทำ

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการหาค่าเฉลี่ย (Mean= $\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation = S.D.)

2.7.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของระดับความคิดเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ และความคิดเห็นต่อปัญหาอุปสรรคต่อการพัฒนาองค์การแห่งการเรียนรู้ของข้าราชการที่มีลักษณะส่วนบุคคลแตกต่างกัน เพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัยโดยใช้สถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance) แล้วนำเสนอในรูปตาราง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance level) ที่ระดับ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95%

2.7.4 การวิเคราะห์ข้อคิดเห็นในเรื่องปัญหาอุปสรรคในการสร้างองค์การแห่งการเรียนรู้ ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) โดยการศึกษาจากแบบสอบถามทุกฉบับแล้วจัดหมวดหมู่เป็นรายข้อตามที่ผู้ตอบแบบสอบถามได้แสดงความคิดเห็น กำหนดเป็นความถี่และร้อยละ

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อประเมินระดับลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่ตั้งพื้นที่ดอนเมือง ในการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดเรียงลำดับดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนนี้เป็นการแสดงผลจากการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 254 คน คุณลักษณะของผู้ตอบแบบสอบถามแสดงเป็นค่าร้อยละ ผลเป็นดังนี้

ตารางที่ 3.1 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม

คุณลักษณะ	จำนวน	ร้อยละ
ชั้นยศ		
1.นายทหารประทวน	160	63.0
2. เรืออากาศตรี-เรืออากาศเอก	28	11.0
3. นาวาอากาศตรี-นาวาอากาศโท	61	24.0
4. นาวาอากาศเอกขึ้นไป	5	2.0
รวม	254	100
อายุ		
1. 20-29 ปี	32	12.9
2. 30-39 ปี	53	20.9
3. 40-49 ปี	99	39.0
4. 50 ปี ขึ้นไป	70	27.6
รวม	254	100
ระดับการศึกษา		
1. ต่ำกว่าปริญญาตรี	137	53.9
2. ปริญญาตรี	110	43.3
3. สูงกว่าปริญญาตรี	7	2.8
รวม	254	100
หน่วยงานที่สังกัด		
1. กองบริการ	22	8.7
2. แผนกการเงิน	6	2.4
3. กองวิทยาการ	38	15.0
4. กองควบคุมการผลิต	8	3.1
5. กองโรงงานสรรพาวุธ 1	46	18.1
6. กองโรงงานสรรพาวุธ 2	25	9.8
7. กองโรงงานสรรพาวุธ 3	18	7.1
8. กองโรงงานสรรพาวุธ 5	25	9.8
9. กองพัสดุสรรพาวุธ	66	26.0
รวม	254	100

จากตารางที่ 3.1 สรุปได้ว่าผู้ตอบแบบสอบถาม มีสถานภาพดังนี้

3.1.1 ชั้นยศ จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด จำนวน 254 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นนายทหารประทวนจำนวน 160 คน คิดเป็นร้อยละ 63 รองลงมา ได้แก่ ชั้นยศนาวาอากาศตรี-นาวาอากาศโท มีจำนวน 61 คน คิดเป็นร้อยละ 24 ชั้นยศเรืออากาศตรี-เรืออากาศเอก จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 11 และชั้นยศนาวาอากาศเอกขึ้นไป มีจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 2 ตามลำดับ

3.1.2 อายุ จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด จำนวน 254 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 40-49 ปี จำนวน 99 คน คิดเป็นร้อยละ 39 รองลงมา ได้แก่ อายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป มีจำนวน 70 คน คิดเป็นร้อยละ 27.6 อายุระหว่าง 30-39 ปีมีจำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 20.9 และอายุระหว่าง 20-29 ปี มีจำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 12.6 ตามลำดับ

3.1.3 ระดับการศึกษา จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด จำนวน 254 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 137 คน คิดเป็นร้อยละ 53.9 รองลงมา ได้แก่ ระดับการศึกษาปริญญาตรีมีจำนวน 110 คน คิดเป็นร้อยละ 43.3 และระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรี มีจำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 2.8 ตามลำดับ

3.1.4 หน่วยงานที่สังกัด จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด จำนวน 254 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นข้าราชการสังกัดกองพัสดุสรรพาวุธ จำนวน 66 คน คิดเป็นร้อยละ 26 รองลงมา ได้แก่ ข้าราชการสังกัดกองโรงงานสรรพาวุธ 1 จำนวน 46 คน คิดเป็นร้อยละ 18.1 สังกัดกองวิทยากรจำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 15 สังกัดกองโรงงานสรรพาวุธ 2 และ 5 มีจำนวนเท่ากัน คือ หน่วยงานละ 25 คน คิดเป็นร้อยละ 9.8 (ต่อหน่วยงาน) สังกัดกองบริการ จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 8.7 สังกัดกองโรงงานสรรพาวุธ 3 จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 7.1 สังกัดกองควบคุมการผลิตจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 3.1 และสังกัดแผนกการเงิน จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 2.4 ตามลำดับ

3.2 ผลการวิเคราะห์ระดับของลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้

ผลการวิเคราะห์ระดับของความเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 254 คน แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้

ลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้	N=254		ความหมาย
	$\bar{X}$	S.D.	
ระบบย่นย่อการเรียนรู้			
1.ทำมีการเรียนรู้ที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่างๆ รอบตัว อย่างต่อเนื่อง	3.89	.748	มาก
2.ทำนั้ได้เรียนรู้ และได้รับ ประโยชน์มาจากการทำงานเป็นทีม	4.72	.779	มาก
3.หน่วยงานมีการเรียนรู้จากจัดสถานการณ์ที่เห็น และทำไปแก้ไข	3.57	.761	มาก
4.ทำนั้มีการแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำงานด้วยการคิดอย่างเป็นระบบ	3.58	.738	มาก
5. ทำนั้มีมุมมองแนวคิดใหม่ๆ ที่แตกต่างจากไปจากแนวคิดเดิมๆ	3.64	.745	มาก
6.ทำนั้ได้ปรับปรุง ด้การควมชำนาญของตนเองอย่างต่อเนื่อง	3.71	.665	มาก
7.ทำนั้ได้ศึกษาค้นคว้าด้ว้ตนเองอย่างสม่ำเสมอ	3.68	.704	มาก
8.ทำนั้มีการพูดคุยแลกเปลี่ยนควมรู้กับเพื่อนร่วมงาน	3.67	.735	มาก
รวมระบบย่นย่อการเรียนรู้	3.68	0.73	มาก
ระบบย่นย่อองค์การ			
9.หน่วยงานของทำนั้มีการกำหนดวิสัยทัศน์ในการทำงาน	3.48	.794	มาก
10.หน่วยงานของทำนั้มีการให้รางวัลกับประสิ้ผลที่เด่นชัดหรือสำเร็จร้เด่นไปๆ	2.96	.934	ปานกลาง
11.หน่วยงานของทำนั้สนับสนุนใ้ทำนั้ได้เรียนรู้สิ่งใหม่ หรือศึกษาค้นคว้าด้ว้ตนเอง	3.40	.943	ปานกลาง
12.หน่วยงานมีการวางแผนกลยุทธ์ในการปฏิบัติงาน	3.52	.794	มาก
13.หน่วยงานของทำนั้มีโครงสร้างที่เหมาะสมแล้ว	3.35	.833	ปานกลาง
รวมระบบย่นย่อองค์การ	3.34	.859	ปานกลาง
ระบบย่นย่อบุคลากร			
14.ทำนั้ทำนั้ขอของทำนั้มีค้คนมาและเน้เป็นแบบอย่างใ้ทำนั้	3.52	.901	มาก
15.ทำนั้ทำนั้มอบหมายและควมรับผิดชอบใ้ส่วนการด้งการผลิิตงานและทำนั้มีผลตอบใ้การปฏิบัติงาน	3.51	.809	มาก
16.หน่วยงานมีการวางแผนกลยุทธใ้คนมาด้ว้ ปร้กจากกั๊ตกับเพื่อนที่เกียวกั๊ตกัน	3.32	.897	ปานกลาง
17.หน่วยงานมีการจัดกิจกรรมใ้ทำนั้ไปพบกัน หรือหน่วยงานภายนอก	2.65	1.051	ปานกลาง
รวมระบบย่นย่อบุคลากร	3.25	0.914	ปานกลาง
ระบบย่นย่อควมรู้			
18.หน่วยงานของทำนั้สนับสนุนใ้บุคลากรแสวงหาควมรู้จากภายนอกและภายในองค์กร	3.21	.980	ปานกลาง
19.หน่วยงานของทำนั้มีการสร้างควมรู้ใหม่ๆ	3.13	.938	ปานกลาง
20.หน่วยงานของทำนั้มีการจัดเก้ควมรู้ จัดมูล ขาวสาร อย่างค้ตเนื่อง	3.37	.900	ปานกลาง
21.การจัดเก้ข้อมูล เป็นไปอย่างมีระบบ ระเบียบ เป็นหมวดหมู่ ค้ตเก้ได้ว้	3.38	.981	ปานกลาง
22.หน่วยงานของทำนั้มีการถ่ายโอนควมรู้และควมรู้ใ้ทำนั้รับทำนั้	3.17	.881	ปานกลาง
23.บุคลากรในหน่วยงานมีการนำควมรู้ จัดมูลที่จัดเก้ไว้ไป ประยุกต์ใ้	3.08	.854	ปานกลาง
รวมระบบย่นย่อควมรู้	3.22	0.902	ปานกลาง
ระบบย่นย่อเทคโนโลยี			
24.หน่วยงานนำใ้มีการรวบรวมและ จัดเก้ควมรู้ จัดมูล ขาวสารใ้ใช้ในค้ตผลิต	3.43	.976	มาก
25.หน่วยงานของทำนั้มีการนำเทคโนโลยีมาใ้ใช้ในการถ่ายโอนควมรู้	3.20	.943	ปานกลาง
26.หน่วยงานของทำนั้นำเทคโนโลยีมาใ้ใช้เพื่อควมสามารถใ้ใช้ข้อมูลใ้ค้ตเก้ได้ โดยผ่าน ระบบอินเตอร์เน็ตหรือกั๊ตบร้ด	2.99	1.139	ปานกลาง
รวมระบบย่นย่อเทคโนโลยี	3.20	1.02	ปานกลาง
รวม 26 ข้อ	3.38	0.857	ปานกลาง

จากตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่ากรมสรรพากร ทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ มีลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (= 3.38) เมื่อพิจารณาเป็นรายระบบพบว่า อยู่ในระดับมาก 1 ระบบ คือ ระบบย่อยด้านการเรียนรู้ มีระดับสูงสุด (= 3.68) ที่เหลืออีก 4 ระบบอยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ ระบบย่อยด้านองค์การ (= 3.34) ระบบย่อยด้านบุคลากร (= 3.25) ระบบย่อยด้านความรู้ (= 3.22) และระบบย่อยด้านเทคโนโลยี (= 3.20)

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ จากจำนวนทั้งหมด 26 ข้อพบว่า อยู่ในระดับมากจำนวน 13 ข้อ ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ข้อ 1 ท่านมีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่าง ๆ รอบตัวอย่างต่อเนื่อง (= 3.89) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ข้อ 24 หน่วยงานท่านได้มีการรวบรวมและจัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสารไว้ในคอมพิวเตอร์ (= 3.43) อยู่ในระดับปานกลางจำนวน 13 ข้อ ในจำนวนนี้ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ข้อ 11 หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ หรือศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม (= 3.40) ส่วนข้อที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ข้อ 17 หน่วยงานมีการจัดกิจกรรมให้ความรู้กับชุมชน หรือหน่วยงานภายนอก (= 2.65)

3.3 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของความคิดเห็นต่อระดับการเป็นองค์กรการเรียนรู้ของบุคลากรที่มีภูมิหลังต่างกัน

ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของความคิดเห็นต่อระดับการเป็นองค์กรการเรียนรู้ของบุคลากรที่มีภูมิหลังต่างกันในด้าน ชัยยศ อายุ ระดับการศึกษา และหน่วยงานที่สังกัด แยกเป็นตาราง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.3 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ จำแนกตามชั้นยศ

ลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้	น.ปร.พร.		จ.ต. -จ.อ.		น.ต.-น.ท.		น.ต. ขึ้นไป		ปร.
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
ระบบย่อยด้านการเรียนรู้									
1.ท่านมีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่าง ๆ รอบตัวอย่างต่อเนื่อง *	3.73	.735	4.18	.670	4.10	.700	4.80	.447	.000
2.ท่านได้เรียนรู้ และได้รับประสบการณ์จากการพัฒนาตนเอง	3.66	.801	3.79	.666	3.80	.749	4.20	.837	.278
3.หน่วยงานมีการเรียนรู้จากข้อมูลและเทคโนโลยี	3.50	.761	3.68	.819	3.69	.720	3.60	.884	.334
4.ท่านมีการนำปัญหาต่างๆ ในการทำงานมาศึกษาด้วยตนเอง	3.49	.718	3.50	.839	3.8	.679	4.20	.837	.008
5. ท่านมีคุณสมบัติใหม่ๆ ที่แตกต่างจากไปจากเดิม	3.52	.744	3.82	.723	3.87	.718	3.80	.447	.007
6.ท่านได้ปรับปรุง ทักษะความสามารถของตนเองอย่างจริงจัง *	3.60	.656	3.79	.630	3.95	.644	4.00	.707	.003
7.ท่านได้ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง *	3.53	.681	3.69	.665	3.92	.690	4.20	.447	.000
8.ท่านมีการดูข้อมูลและเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.56	.759	3.82	.548	3.85	.727	4.00	.900	.020
ระบบย่อยด้านองค์การ									
9.หน่วยงานของท่านมีการกำหนดวิสัยทัศน์ในการทำงาน *	3.37	.774	3.54	.793	3.72	.819	4.00	.900	.011
10.หน่วยงานของท่านมีการใช้รางวัลกับผู้ปฏิบัติงานที่คิดค้นนวัตกรรมใหม่ๆ	2.94	.976	3.04	.744	2.95	.902	3.20	1.095	.895
11.หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ หรือศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม *	3.28	.945	3.39	.956	3.69	.886	4.00	.707	.014
12.หน่วยงานมีการวางแผนกลยุทธ์ในการปฏิบัติงาน	3.46	.776	3.61	.737	3.59	.884	3.50	1.095	.521
13.หน่วยงานของท่านมีการสร้างทีมงาน	3.35	.771	3.21	.917	3.43	.674	3.00	.900	.588
ระบบย่อยด้านบุคลากร									
14.ท่านได้มอบหมายงานให้ผู้อื่นและประเมินผลอย่างสม่ำเสมอ	3.44	.888	3.46	.838	3.67	.944	4.20	.837	.120
15.ท่านมีความชำนาญและมีความรู้เฉพาะด้านงานที่ได้รับมอบหมายและรับผิดชอบในการปฏิบัติงาน	3.38	.776	3.61	.994	3.72	.733	3.40	.588	.002
16.หน่วยงานได้มีการประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ หรือหาวิธีแก้ปัญหาที่ยั่งยืน	3.27	.852	3.21	1.031	3.44	.940	4.20	.447	.076
17.หน่วยงานมีการจัดการให้ความรู้กับชุมชน หรือหน่วยงานภายนอก	2.69	1.091	2.82	1.128	2.46	.993	3.00	1.381	.520
ระบบย่อยด้านความรู้									
18.หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรและหน่วยงานภายนอกและภายในองค์กร *	3.06	1.002	3.46	.922	3.44	.886	3.80	.837	.011
19.หน่วยงานของท่านมีการสร้างความรู้ใหม่ๆ *	3.03	.945	3.54	.838	3.20	.891	3.40	1.342	.046
20.หน่วยงานของท่านมีการจัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสาร อย่างต่อเนื่อง	3.39	.884	3.18	1.056	3.39	.802	3.2	1.643	.605
21.การจัดเก็บข้อมูล เป็นไปอย่างมีระบบ ระเบียบ (เป็นมาตรฐาน) ศึกษาได้ง่าย	3.41	.835	3.29	1.117	3.33	.769	3.40	1.342	.854
22.หน่วยงานของท่านมีการนำเอาข้อมูลที่ได้มาใช้ในการปฏิบัติงาน	3.17	.833	3.07	1.016	3.23	.863	3.20	1.643	.890
23.บุคลากรในหน่วยงานมีการนำความรู้ ข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไข	3.11	.844	3.00	.983	3.08	.781	2.60	1.517	.580
ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี									
24.หน่วยงานท่านได้มีการรวบรวมและ จัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสารไว้ในคอมพิวเตอร์	3.48	.938	3.29	1.117	3.38	1.00	3.20	1.304	.700
25.หน่วยงานของท่านมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาความรู้ คบหาเพื่อพัฒนาลักษณะบุคลากรในหน่วยงาน	3.21	.921	3.14	1.113	3.23	.902	2.8	1.304	.781
26.หน่วยงานของท่านเปิดโอกาสให้ทุกคนสามารถเข้าถึงข้อมูลที่เป็นไปได้โดยง่าย ระบบมีเครือข่ายหรืออินเตอร์เน็ต	2.92	1.116	3.23	1.35	3.07	1.063	3.00	1.58	.504
รวม	3.32	0.845	3.44	.692	3.50	.832	3.66	.901	

* = มีรวมผลค่าเฉลี่ยในระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 3.3 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชั้นยศแล้วพบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศนาวาอากาศเอกขึ้นไป มีความคิดเห็นลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้สูงสุด (= 3.66) รองลงมา คือ ชั้นยศนาวาอากาศตรี-นาวาอากาศโท (= 3.50) ชั้นยศเรืออากาศตรี-เรืออากาศเอก (ร.ต.-ร.อ.) (= 3.44) และข้าราชการที่มีชั้นยศนายทหารประทวนมีความคิดเห็นลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ต่ำสุด (= 3.32)

ผลการเปรียบเทียบความคิดเห็นของข้าราชการที่มีลักษณะส่วนบุคคลแตกต่างกันในด้านชั้นยศ ต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ในระบบย่อยต่าง ๆ ดังนี้

1. ระบบย่อยการเรียนรู้ พบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในหัวข้อต่อไปนี้

- (1.) ท่านมีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่าง ๆ รอบตัวอย่างต่อเนื่อง
- (4.) ท่านมีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการทำงานด้วยการคิดอย่างเป็นระบบ
- (5.) ท่านมีมุมมองแนวคิดใหม่ ๆ ที่แตกต่างไปจากแนวคิดเดิม ๆ
- (6.) ท่านได้ปรับปรุงทักษะความชำนาญของตนเองอย่างต่อเนื่อง
- (7.) ท่านได้ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างสม่ำเสมอ
- (8.) ท่านมีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนร่วมงาน

2. ระบบย่อยระบบย่อยด้านองค์กร พบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (9.) หน่วยงานของท่านมีการกำหนดวิสัยทัศน์ในการทำงาน
- (11.) หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ หรือศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม

3. ระบบย่อยด้านบุคลากร พบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในหัวข้อต่อไปนี้

- (15.) ท่านได้รับมอบอำนาจและความรับผิดชอบให้สามารถตัดสินใจและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานต่าง ๆ

4. ระบบย่อยด้านความรู้ พบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในหัวข้อต่อไปนี้

- (18.) หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรแสวงหาความรู้จากภายนอกและภายในองค์กร
- (19.) หน่วยงานของท่านมีการสร้างความรู้ใหม่ ๆ

5. ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี พบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศต่างกันมีความเห็นในระบบนี้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.4 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ จำแนกตามระดับการศึกษา

ลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้	ศึกษาระดับปริญญาตรี		ปริญญาตรี		ศึกษาระดับปริญญาโท		รวม
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
ระบบย่อยการเรียนรู้							
1. ท่านมีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่าง ๆ รอบตัวอย่างต่อเนื่อง *	3.74	.780	4.04	.729	4.43	.787	101
2. ท่านได้ปรับปรุงทักษะความชำนาญของตนเองอย่างต่อเนื่อง *	3.64	.802	3.81	.748	3.71	.756	248
3. ท่านมีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.45	.787	3.73	.765	3.43	.535	113
4. ท่านมีการศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างสม่ำเสมอ *	3.47	.759	3.70	.711	3.86	.900	115
5. ท่านมีมุมมองแนวคิดใหม่ ๆ ที่แตกต่างไปจากแนวคิดเดิม ๆ *	3.54	.786	3.75	.891	3.86	.890	109
6. ท่านได้ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง *	3.61	.667	3.83	.646	3.86	.691	115
7. ท่านได้ปรับปรุงทักษะความชำนาญของตนเองอย่างต่อเนื่อง *	3.48	.654	3.68	.687	4.29	.756	100
8. ท่านมีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.59	.783	3.75	.732	3.71	.686	219
ระบบย่อยด้านองค์กร							
9. หน่วยงานของท่านมีการกำหนดวิสัยทัศน์ในการทำงาน *	3.53	.778	3.66	.793	3.71	.444	103
10. หน่วยงานของท่านมีการศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง *	2.88	.916	3.05	.952	3.00	.816	397
11. หน่วยงานของท่านมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.35	.804	3.45	1.015	3.57	.787	815
12. หน่วยงานของท่านมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.45	.747	3.58	.850	3.86	.690	209
13. หน่วยงานของท่านมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.40	.771	3.27	.908	3.43	.767	458
ระบบย่อยด้านบุคลากร							
14. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.45	.890	3.57	.883	4.00	1.011	135
15. ท่านได้ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง *	3.43	.735	3.57	.872	4.00	.577	103
16. หน่วยงานของท่านมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	3.23	.822	3.42	.980	3.73	.756	125
17. หน่วยงานของท่านมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนร่วมงาน *	2.56	.962	2.73	1.116	3.57	1.272	108
ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี							
18. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.06	1.032	3.35	.938	3.86	.691	112
19. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.04	.923	3.21	.949	3.57	.776	175
20. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.36	.895	3.35	.945	3.71	.951	573
21. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.50	.681	3.35	.884	3.57	.787	800
22. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.08	.823	3.25	.933	3.73	.951	1178
23. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.07	.815	3.10	.908	3.00	.816	624
ระบบย่อยด้านความรู้							
24. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.30	.934	3.47	1.047	3.29	.756	765
25. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	3.14	.925	3.28	.897	3.14	.376	910
26. หน่วยงานของท่านมีการสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ *	2.87	1.083	3.14	1.215	3.14	.690	174
รวม	3.30	.832	3.67	.881	3.65	1.178	

* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (0.05)

จากตารางที่ 3.4 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระดับการศึกษาแล้ว พบว่า ข้าราชการที่มีระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรี มีลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้สูงสุด (= 3.65) รองลงมา ได้แก่ ข้าราชการที่มีระดับการศึกษาปริญญาตรี (= 3.47) และข้าราชการที่มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี มีลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ต่ำสุด (= 3.30)

ผลการเปรียบเทียบความคิดเห็นของข้าราชการที่มีลักษณะส่วนบุคคลแตกต่างกันในด้านระดับการศึกษา ต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ในระบบย่อยต่าง ๆ ดังนี้

1. ระบบย่อยการเรียนรู้ พบว่า ข้าราชการที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในหัวข้อต่อไปนี้

- (1.) ท่านมีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่าง ๆ รอบตัว อย่างต่อเนื่อง
- (3.) หน่วยงานมีการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและนำไปแก้ไข
- (4.) ท่านมีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการทำงานด้วยการคิดอย่างเป็นระบบ
- (6.) ท่านได้ปรับปรุงทักษะความชำนาญของตนเองอย่างต่อเนื่อง
- (7.) ท่านได้ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างสม่ำเสมอ

2. ระบบย่อยด้านองค์กร พบว่า ข้าราชการที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (9.) หน่วยงานของท่านมีการกำหนดวิสัยทัศน์ในการทำงาน

3. ระบบย่อยด้านบุคลากร พบว่า ข้าราชการที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (17.) หน่วยงานมีการจัดกิจกรรมให้ความรู้กับชุมชน หรือหน่วยงานภายนอก

4. ระบบย่อยด้านความรู้ พบว่า ข้าราชการที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกันมีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (18.) หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรแสวงหาความรู้จากภายนอกและภายในองค์กร

5. ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี พบว่า ข้าราชการที่มีชั้นยศแตกต่างกันมีความเห็นในระบบนี้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.5 สรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างหน่วยงานจะได้ว่า หน่วยงานที่มีลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้สูงสุด ได้แก่ แผนกการเงิน (= 3.73) รองลงมา ได้แก่ กองควบคุมการผลิต (= 3.72) กองวิทยาการ (= 3.52) กองพัสดุสรรพาวุธ (= 3.51) กองโรงงานสรรพาวุธ 5 (= 3.42) กองโรงงานสรรพาวุธ 2 (= 3.26) กองโรงงานสรรพาวุธ 1 (= 3.24) กองโรงงานสรรพาวุธ 3 (= 3.20) และกองบริการ มีลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ต่ำสุด (= 3.12)

ผลการเปรียบเทียบความคิดเห็นของข้าราชการที่สังกัดหน่วยงานที่แตกต่างกันดังที่ได้สรุปข้างต้น พบว่า มีลักษณะการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

1. ระบบย่อยการเรียนรู้ พบว่า ข้าราชการที่สังกัดหน่วยงานที่แตกต่างกันพบว่ามีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (4.) ท่านมีการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการทำงานด้วยการคิดอย่างเป็นระบบ

2. ระบบย่อยด้านองค์การ พบว่า ข้าราชการที่ช่วงอายุแตกต่างกันพบว่ามีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (9.) หน่วยงานของท่านมีการกำหนดวิสัยทัศน์ในการทำงาน

- (11.) หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ หรือศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม

3. ระบบย่อยด้านบุคลากร พบว่า ข้าราชการที่สังกัดหน่วยงานที่แตกต่างกันพบว่ามีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (16.) หน่วยงานได้มีการประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ปรึกษาหารือกับหน่วยที่เกี่ยวข้องกัน

- (17.) หน่วยงานมีการจัดกิจกรรมให้ความรู้กับชุมชนหรือหน่วยงานภายนอก

4. ระบบย่อยด้านความรู้ พบว่า ข้าราชการที่สังกัดหน่วยงานที่แตกต่างกันพบว่ามีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (18.) หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรแสวงหาความรู้จากภายนอกและภายในองค์การ

- (19.) หน่วยงานของท่านมีการสร้างความรู้ใหม่ ๆ

- (20.) หน่วยงานของท่านมีการจัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสาร อย่างต่อเนื่อง

5. ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี พบว่า ข้าราชการที่สังกัดหน่วยงานที่แตกต่างกันพบว่ามีความคิดเห็นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในหัวข้อต่อไปนี้

- (24.) หน่วยงานท่านได้มีการรวบรวมและจัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสารไว้ในคอมพิวเตอร์

- (25.) หน่วยงานของท่านมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการถ่ายทอดความรู้ อบรมเพื่อพัฒนาทักษะของบุคลากรในหน่วยงาน

- (26.) หน่วยงานของท่านเปิดโอกาสให้ทุกคนสามารถเข้าถึงข้อมูลที่จัดเก็บไว้โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต หรืออินทราเน็ต

ตารางที่ 3.5 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความเห็นต่อลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้ จำแนกตามหน่วยงานที่สังกัด

ลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้	กองบริหาร		แผนกการเงิน		กองบริหารราชการ		กองควบคุมการผลิต		กองโรงงานสารพารู 1		กองโรงงานสารพารู 2		กองโรงงานสารพารู 3		กองโรงงานสารพารู 5		กองผลิตสารพารู		เฉลี่ย
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
ระบบย่อยด้านการเรียนรู้																			
1.ท่านมีความมุ่งมั่นที่จะเรียนรู้จากสิ่งต่างๆ รอบตัว อย่างต่อเนื่อง	3.77	.752	4.00	.000	3.92	.749	4.25	.886	3.65	.706	3.96	.889	3.83	.707	3.84	.746	4.02	.734	.302
2.ท่านได้เรียนรู้ และได้รับประสบการณ์จากการทำงานเป็นทีม	3.68	.780	3.67	.516	3.82	.692	3.75	.886	3.63	.928	3.84	.554	3.44	.856	3.68	.802	3.77	.780	.816
3.หน่วยงานมีการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และนำไปแก้ไข	3.45	.912	3.67	.516	3.55	.686	3.88	.835	3.50	.723	3.44	.651	3.11	.676	3.68	.748	3.74	.810	.093
4.ท่านมีการแก้ปัญหาต่างๆ ในการทำงานด้วยการคิดอย่างเป็นระบบ *	3.18	.795	3.83	.408	3.58	.642	4.00	.756	3.30	.726	3.72	.792	3.56	.784	3.52	.714	3.82	.677	.002
5. ท่านมีมุมมองแนวคิดใหม่ๆ ที่แตกต่างจากไปจากแนวคิดเดิมๆ	3.64	.790	3.67	.516	3.82	.766	3.88	.835	3.48	.809	3.60	.645	3.61	.979	3.48	.586	3.71	.696	.546
6.ท่านได้ปรับปรุง ทักษะความชำนาญของตนเองอย่างสม่ำเสมอ	3.59	.734	3.50	.548	3.79	.704	3.75	.886	3.50	.658	3.92	.493	3.89	.676	3.52	.770	3.82	.579	.078

ลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้	กองบริการ		แผนกการเงิน		กองวิทยบริการ		กองควบคุมการผลิต		กองโรงงานสรรพาวุธ 1		กองโรงงานสรรพาวุธ 2		กองโรงงานสรรพาวุธ 3		กองโรงงานสรรพาวุธ 5		กองพัสดุสรรพาวุธ		เฉลี่ย
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
7.ท่านได้ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองอย่างสม่ำเสมอ	3.64	.727	3.67	.516	3.76	.786	4.13	.835	3.46	.690	3.76	.663	3.61	.608	3.60	.760	3.76	.658	.261
8.ท่านมีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนร่วมงาน	3.55	.739	3.83	.408	3.74	.760	3.63	.744	3.59	.832	3.64	.700	3.72	.752	3.68	.627	3.70	.744	.980
ระบบย่อยด้านองค์การ																			
9.หน่วยงานของท่านมีการกำหนดวิธีปฏิบัติในการทำงาน *	3.36	.790	3.50	.548	3.61	.887	4.25	.163	3.24	.673	3.32	.802	3.22	.732	3.44	.583	3.68	.862	.008
10.หน่วยงานของท่านมีการให้รางวัลกับผู้ประพันธ์ที่ค้นคว้าหรือสร้างสรรค์งานใหม่ๆ	2.68	1.17	3.67	.516	3.11	.924	3.50	.926	2.85	.942	2.96	.935	3.06	.873	2.96	.790	2.88	.920	.242
11.หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรได้เรียนรู้สิ่งใหม่ หรือศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม *	3.09	1.15	3.67	.516	3.74	.724	4.38	.518	3.30	.916	3.08	.611	3.06	.998	3.52	.918	3.42	1.03	.002
12.หน่วยงานมีการวางแผนกลยุทธ์ในการปฏิบัติงาน	3.36	.848	4.00	.000	3.50	.797	3.88	.991	3.35	.737	3.52	.770	3.56	.784	3.68	.627	3.53	.881	.448
13.หน่วยงานของท่านมีโครงสร้างที่เหมาะสมแล้ว	3.18	.907	4.00	.000	3.42	.758	3.63	.518	3.35	.706	3.40	1.00	3.33	.970	3.24	.723	3.29	.924	.566

ลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้	กองบริการ		แผนกการเงิน		กองวิทยบริการ		กองควบคุมการผลิต		กองโรงงานสรรพาวุธ 1		กองโรงงานสรรพาวุธ 2		กองโรงงานสรรพาวุธ 3		กองโรงงานสรรพาวุธ 5		กองพัสดุสรรพาวุธ		เฉลี่ย
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
ระบบย่อยด้านบุคลากร																			
14.หัวหน้าโดยตรงของท่านได้สอนงานและเป็นแบบอย่างให้ท่าน	3.09	1.10	3.67	.516	3.50	.862	4.00	.535	3.57	.834	3.40	.957	3.28	1.07	3.68	.802	3.61	.892	.220
15.ท่านได้รับมอบอำนาจและความรับผิดชอบให้สามารถตัดสินใจและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานต่างๆ	3.00	.756	4.00	.000	3.61	.855	4.00	1.06	3.59	.617	3.48	.963	3.39	.850	3.48	.918	3.52	.749	.051
16.หน่วยงานได้มีการประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ ปรีกษาหรือถกกันหน่วยเกี่ยวข้องกัน *	2.68	1.08	3.67	.516	3.47	.893	4.00	.535	3.22	.786	3.36	.952	3.28	.895	3.48	.918	3.35	.850	.012
17.หน่วยงานมีการจัดกิจกรรมให้ท่านรู้จักกับชุมชน หรือหน่วยงานภายนอก *	2.41	1.05	3.67	.516	2.74	1.03	3.00	1.19	2.48	1.00	2.32	.900	2.33	.907	2.56	.870	2.92	1.16	.020
ระบบย่อยด้านความรู้																			
18.หน่วยงานของท่านสนับสนุนให้บุคลากรแสวงหาความรู้จากภายนอกและภายในองค์กร *	3.09	.971	3.67	.516	3.39	1.07	4.13	.835	3.09	.915	2.79	.832	2.72	1.22	3.28	.891	3.33	.833	.007
19.หน่วยงานของท่านมีการสร้างความรู้ใหม่ๆ *	2.86	1.03	3.67	.516	3.26	.860	3.75	1.03	2.93	.800	2.92	1.03	2.61	1.09	3.36	.810	3.29	.924	.008

ลักษณะการเป็นองค์การแห่งการเรียนรู้	กองบริการ		แผนกการเงิน		กองวิทยบริการ		กองควบคุมการผลิต		กองโรงงานสรรพาวุธ 1		กองโรงงานสรรพาวุธ 2		กองโรงงานสรรพาวุธ 3		กองโรงงานสรรพาวุธ 5		กองพัสดุสรรพาวุธ		เฉลี่ย
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
20.หน่วยงานของท่านมีการจัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสาร อย่างต่อเนื่อง *	2.95	1.09	3.67	.516	3.68	.873	3.25	1.16	3.20	.806	3.12	.833	3.11	1.02	3.52	.823	3.53	.845	.019
21.การจัดเก็บข้อมูล เป็นไปอย่างมีระบบระเบียบ เป็นหมวดหมู่ ค้นหาได้ง่าย	3.18	1.14	3.67	.516	3.58	.793	3.38	.916	3.24	.794	3.24	.926	3.28	.895	3.36	.860	3.48	.827	.542
22.หน่วยงานของท่านมีการถ่ายทอดและเผยแพร่ความรู้ให้ทราบทั่วถึงกัน	3.14	1.24	3.67	.516	3.29	.732	3.38	.916	3.11	.795	2.80	.816	3.11	.832	2.96	.889	3.33	.900	.175
23.บุคลากรในหน่วยงานมีการนำความรู้ ข้อมูลที่จัดเก็บไปประยุกต์ใช้	2.82	1.09	3.67	.516	3.08	.850	2.88	.835	3.07	.800	3.00	.577	2.94	.938	3.12	.833	3.20	.898	.504
ระบบย่อยด้านเทคโนโลยี																			
24.หน่วยงานท่านได้มีการรวบรวมและจัดเก็บความรู้ ข้อมูล ข่าวสารไว้ในคอมพิวเตอร์ *	2.73	1.12	3.50	.548	3.79	.875	3.13	1.12	3.17	.926	3.24	.970	3.06	.998	3.56	.917	3.77	.856	.000

ตารางที่ 3.6 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความเห็นต่อความเป็นอุปสรรคในการพัฒนาองค์การเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้

ประเด็นอุปสรรคต่อการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. ความตั้งใจ/ความพร้อมของบุคลากร	3.28	.893	ปานกลาง
2. วิสัยทัศน์และทิศทางขององค์กร	3.15	.893	ปานกลาง
3. วัฒนธรรมความไว้วางใจและแบ่งปันความรู้ระหว่างกัน	3.11	.906	ปานกลาง
4. การสนับสนุนของผู้บริหาร	3.16	1.03	ปานกลาง
5. โครงสร้างองค์กร	3.08	.877	ปานกลาง
6. การกระจายอำนาจการตัดสินใจ	3.03	.895	ปานกลาง
7. ความเชื่อว่าองค์กรดีแล้วไม่ต้องพัฒนาอีก	3.02	.966	ปานกลาง
8. ความพร้อมของเทคโนโลยี	3.01	1.01	ปานกลาง

3.4 ผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อระดับความเป็นอุปสรรคในการพัฒนาองค์การเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อระดับความเป็นอุปสรรคในการพัฒนาองค์การเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ ในประเด็นอุปสรรคต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

จากตารางที่ 3.6 สรุปได้ว่า ข้าราชการมีความเห็นว่า ประเด็นอุปสรรคทั้ง 8 ประการ ได้แก่ ความตั้งใจ/ความพร้อมของบุคลากร วิสัยทัศน์และทิศทางขององค์กร วัฒนธรรมความไว้วางใจและแบ่งปันความรู้ระหว่างกัน การสนับสนุนของผู้บริหาร โครงสร้างองค์กร การกระจายอำนาจการตัดสินใจ ความเชื่อว่าองค์กรดีแล้วไม่ต้องพัฒนาอีก และความพร้อมของเทคโนโลยี มีระดับความเป็นอุปสรรคอยู่ในระดับปานกลางทั้งหมด แต่ประเด็นที่ข้าราชการส่วนใหญ่เห็นว่ามีความเป็นอุปสรรคมากที่สุด ได้แก่ ความตั้งใจ/ความพร้อมของบุคลากร (=3.28) รองลงมา ได้แก่ การสนับสนุนของผู้บริหาร (=3.16) วิสัยทัศน์และทิศทางขององค์กร (=3.15) วัฒนธรรมความไว้วางใจและแบ่งปันความรู้ระหว่างกัน (=3.11) โครงสร้างองค์กร (=3.08) การกระจายอำนาจการตัดสินใจ (=3.03) ความเชื่อว่าองค์กรดีแล้วไม่ต้องพัฒนาอีก (=3.02) ส่วนประเด็นที่ข้าราชการส่วนใหญ่เห็นว่ามีความเป็นอุปสรรคน้อยที่สุด ได้แก่ ความพร้อมของเทคโนโลยี (=3.01)

3.5 ผลการวิเคราะห์ข้อคิดเห็นประเด็นอุปสรรค ในการพัฒนาองค์การสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้

ส่วนนี้จะเป็นการสรุปรวบรวมข้อคิดเห็นเกี่ยวกับ อุปสรรคในการพัฒนาองค์การเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ ซึ่งได้จากคำถามปลายเปิด มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.7 ข้อคิดเห็นอุปสรรคในการเป็นองค์กร แห่งการเรียนรู้

ประเด็นอุปสรรค	ความถี่	ร้อยละ
1. ด้บุคลากร ขาดความตั้งใจ ความสนใจ ความรักในงานที่ทำ จิตสำนึก การพัฒนาตนเอง ไม่มีความรู้ที่เพียงพอมาปรับใช้ มีการต่อต้านครอบครัวทำให้มีผลกระทบน้อยลง	11	14.67
2. ด้านผู้นำ วิสัยทัศน์ นโยบายของผู้บริหาร การสนับสนุนของผู้บริหาร และการเปิดรับฟังความคิดเห็นของผู้ใต้บังคับบัญชา	10	13.33
3. การขาดแคลนงบประมาณในการดำเนินการต่างๆ	8	10.67
4. กฎ ระเบียบ วินัย ระบบคิดค้น ขอบข่ายราชการ การทำงานที่ยืดหยุ่น	7	9.35
5. ขาดการประสานงาน การแลกเปลี่ยนความรู้ความดีกัน ระหว่างหน่วยงานย่อย ขาดความสามัคคี การทำงานเป็นทีม การระดมความคิด	7	9.33
6. ขาดแผนปฏิบัติการ ความพร้อมของเทคโนโลยีสารสนเทศ	7	9.33
7. ขาดการถอดองค์ความรู้ ทั้งจากภายในและภายนอกให้ทราบทั่วกัน	6	8.00
8. การมีแนวคิดปฏิบัติในรูปแบบเดิมๆ ทำงานด้วยความเคยชิน ไม่ยอมรับ การเปลี่ยนแปลง	6	8.00
9. บุคลากรไม่พร้อมพอ ไม่มีบุคลากรทดแทนได้แม้ทั้งชุดเลย	6	8.00
10. ความก้าวหน้าในการเจริญก้าวหน้า การเปิดโอกาสให้ได้ศึกษาที่เอื้ออำนวยที่สุดเท่าที่มี ขาดแรงจูงใจ	4	5.33
11. ไม่มีแหล่งข้อมูลการเรียนรู้	1	1.33
12. วิสัยทัศน์ของบุคลากรไม่ตรงกัน	1	1.33
13. การถ่ายทอดความรู้ให้ชุมชนน้อย	1	1.33
รวม	75	100

จากตารางที่ 3.7 สรุปได้ว่าข้าราชการกลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่มีความเห็นว่าอุปสรรคในการพัฒนาองค์การ เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ของกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ได้แก่ ปัญหา ด้านตัวบุคลากรที่ยังขาดความตั้งใจ ความสนใจ ความใส่ใจ ความรักในงานที่ทำ จิตสำนึก การพัฒนาตนเอง ไม่นำ ความรู้ที่เรียนมามาปรับใช้ มีการต่อต้านครอบครัวทำให้มี เวลาพัฒนาน้อยลง คิดเป็นร้อยละ 14.67 ปัญหา รองลงมา ได้แก่ ปัญหา ด้านผู้นำ วิสัยทัศน์ นโยบายของผู้บริหาร

การสนับสนุนของผู้บริหาร และการเปิดรับฟังความคิดเห็น ของผู้ใต้บังคับบัญชา คิดเป็นร้อยละ 13.33 ปัญหา การขาดแคลนงบประมาณในการดำเนินการต่าง ๆ คิดเป็นร้อยละ 10.67 ปัญหา เรื่องกฎ ระเบียบ วินัย ระบบศักดินา ของทางราชการ คิดเป็นร้อยละ 9.33 ปัญหา การทำงานที่ซับซ้อน ขาดการประสานงาน การ แลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็นระหว่างหน่วยงานย่อย ขาดความสามัคคี การทำงานเป็นทีม การระดมความคิด คิดเป็นร้อยละ 9.33 ปัญหา การขาดแคลนอุปกรณ์ ความพร้อมของเทคโนโลยีสารสนเทศ คิดเป็นร้อยละ 9.33 นอกจากนี้เป็นปัญหาด้านขาดการถ่ายทอดความรู้ ปัญหาการมีแนวคิดแบบเดิม ๆ ทำงานตามความเคยชิน ไม่ยอมรับการเปลี่ยนแปลง ปัญหาการขาดแคลนบุคลากร และปัญหาความเท่าเทียมในการเจริญก้าวหน้า ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาระดับลักษณะการเป็นองค์กร แห่งการเรียนรู้ของกรมสรรพาวุธทหารอากาศกองบัญชาการ สนับสนุนทหารอากาศ หน่วยที่ตั้งดอนเมืองพบว่า กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุน ทหารอากาศ มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ โดยรวม อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาเป็นรายระบบ พบว่า ข้าราชการในกรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการ สนับสนุนทหารอากาศ มีลักษณะการเป็นองค์กร แห่งการเรียนรู้ในด้านระบบย่อยด้านการเรียนรู้อยู่ใน ระดับมาก ส่วนที่เหลืออีก 4 ระบบ อยู่ในระดับปานกลาง ได้แก่ ระบบย่อยด้านองค์การ ระบบย่อยด้านบุคลากร ระบบย่อยด้านความรู้ และระบบย่อยด้านเทคโนโลยี

อธิบายได้ว่า กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ มีลักษณะงานในแต่ละหน่วยงานในสังกัดแตกต่างกัน ทำให้ข้าราชการในแต่ละหน่วยงานมีทักษะในการปฏิบัติงานแตกต่างกัน รวมถึงลักษณะงานหลักส่วนใหญ่ต้องใช้ความรู้ความสามารถและความกระตือรือร้นในการศึกษาหาความรู้อยู่เสมอ เนื่องจากเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และต้องสร้างความเชื่อมั่นให้แก่นักบินและข้าราชการ ซึ่งเป็นผู้ใช้อาวุธ ทำให้ข้าราชการมีทักษะในเรื่องการเรียนรู้มาก ส่วนระบบย่อยที่เหลืออีก 4 ระบบนั้น อยู่ในระดับปานกลาง และมีค่าใกล้เคียงกัน

แนวทางการพัฒนาให้กรมสรรพาวุธทหารอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ นั้น ผู้บังคับบัญชาควรให้ความสำคัญในการสร้างองค์การแห่งการเรียนรู้และปรับทัศนคติของข้าราชการให้เห็นความสำคัญของการเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ และเสริมสร้างลักษณะองค์การแห่งการเรียนรู้ของระบบย่อยทั้ง 4 ระบบ ได้แก่ ระบบย่อยด้านองค์การ ระบบย่อยด้านบุคลากร ระบบย่อยด้านความรู้ และระบบย่อยด้านเทคโนโลยี ที่มีระดับลักษณะองค์การแห่งการเรียนรู้ในระดับปานกลางให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มระดับความเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ของหน่วยงาน ตามแนวทางการพัฒนาองค์การแห่งการเรียนรู้ที่ได้สรุปข้างต้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยกฎเกณฑ์และวิธีการบริหารจัดการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546.
- [2] Henttonen, K., Kianto, A., & Ritala, P. Knowledge sharing and individual work performance: an empirical study of a public sector organisation. *Journal of Knowledge Management* 2016, 20(4), 749-768.
- [3] Nonaka, Ikujiro; Takeuchi, Hirotaka (1995). *The knowledge creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*, New York: Oxford University Press 1995, 284, ISBN 978-0-19-509269-1.
- [4] Office of the National Economic and Social Development Board Economic and Social (2017). *Development Plan National Issue 12 (2017-2021)*. Bangkok.
- [5] Marquardt, J. & Boydell, T. *The Learning Company : A strategy for sustainable*
- [6] Marquardt, J. and Reynold, A. *The Global Learning Organization*. New York : Irwin 1994.
- [7] Pedler, M., Burgoyne, J. & Boydell, T. *The Learning Company : A strategy for sustainable development*. Maidenhead: Mc Graw-Hill, 1991.

[8] Senge P.M. The Fifth Company : The art and practice of the learning organization. New York : Doubleday 1990.

[9] จำเรียง ชัยวัฒน์ และเบญจมาศ อำพันธุ์. วินัย 5 ประการ พื้นฐานองค์การการเรียนรู้. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร : เอ็กซ์เปอร์เน็ท, 2540.

[10] กิริติ ยศยิ่งยง. การจัดการความรู้ในองค์การ และกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มิสเตอร์ก๊อปปี้, 2549.

[11] ธรรมนูญ์ เขจรนันท์. ยอดกลยุทธ์การบริหาร สำหรับองค์การยุคใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด, 2544.

[12] ทศพร ศิริสัมพันธ์. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารราชการแนวใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ, 2549.

[13] ประพนธ์ ผาสุกยี่ด. การจัดการความรู้ KM ฉบับขับเคลื่อน LO. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ไยใหม่, 2549.

[14] พรารณา บุญเรืองเลิศศักดิ์. การพัฒนาข้าราชการด้วยแนวคิดองค์การแห่งการเรียนรู้: ศึกษากรณี สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน. สารนิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์ คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[15] วีรุธ มามะศิริรานนท์. การพัฒนาองค์การ แห่งการเรียนรู้. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : ธรรมกลการพิมพ์, 2550.

การคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยแบบจำลองถดถอย เชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พื้นที่จังหวัดน่าน

พงศพัศ เกษพรหม¹ และ พลภัทร เหมวรรณ^{2*}

วันที่รับ 19 ธันวาคม 2562 วันที่แก้ไข 10 มกราคม 2563 วันที่ตอบรับ 11 มกราคม 2563

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาการคาดการณ์การเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ โดยเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่างข้อมูลค่าความเข้มข้น (Concentrations) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561 ร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก ได้แก่ จุดความร้อนสะสมที่ได้จากดาวเทียม Suomi NPP ระบบ VIIRS ของ NASA และความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินเช่นกัน การศึกษาจึงได้กำหนดปัจจัยจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ไปสู่การวิเคราะห์คาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยการพัฒนาแบบจำลองเชิงคาดการณ์ (Predictive Model) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จากแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น พบว่า แบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ที่ 0.893832 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่ดีมากต่อการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่ศึกษา สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง (Model Validation) นั้น การศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลคาดการณ์จากแบบจำลองกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานี 36t อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ความแม่นยำของแบบจำลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 89.23 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีความแม่นยำของการคาดการณ์อยู่ในระดับสูงเช่นกัน

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน, แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์, จังหวัดน่าน

¹ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้แต่ง, อีเมล: phonpat.h@cmu.ac.th

The Prediction of Particulate Matters 2.5 Micron (PM_{2.5}) Concentration using Geographic Weighted Regression Modeling in Nan Province

Phongsapat Katporm¹ and Phonpat Hemwan^{2*}

Abstract

This study has the main objective to study prediction of Particulate Matters 2.5 micron (PM_{2.5}) with Geographic Weighted Regression Modeling: GWR in Nan Province. The study had analyzed the relationship of concentration of PM_{2.5} from ground-based station in March 2018 together with influencing factors that were hotspot from VIIRS of NASA Suomi NPP satellite and humidity from the same such station. The study had determined these factors using predictive analysis with mathematic equation from Geographic Weighted Regression. Result model had a coefficient of decision (R^2) of 0.893832, meaning that the model has very good relationship for prediction of PM_{2.5} concentrations in the study area. In model validation of this model, it was the comparison of predictive PM_{2.5} concentration data from the model and PM_{2.5} concentration data from ground-based station of the Pollution Control Department at 36t Station, Muang District, Chiang Mai Province. The result of evaluation was 89.23 percent, which is considered to be a high prediction accuracy.

Keywords : Particulate Matters 2.5 micron, Geographic Weighted Regression Modeling, Nan Province

¹ Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University.

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

* Corresponding author, E-mail: phonpat.h@cmu.ac.th

1. บทนำ

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate Matters 2.5 micron) โดยหลังจากนี้จะเรียกว่า “ฝุ่นละออง PM_{2.5}” เป็นมลพิษทางอากาศที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์เรา มีขนาดเล็กมาก เมื่อหายใจเข้าไปจึงทำให้เล็ดลอดเข้าสู่ร่างกายแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ และลงสู่ปอดผ่านเข้าสู่กระแสเลือดและกระจายไปสู่อวัยวะต่าง ๆ เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเรื้อรังทางเดินหายใจหรือมะเร็งได้ PM_{2.5} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นละออย (Final Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละออยที่มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซ SO₂ และสาร VOC NO_x และสาร VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละออยได้ [1] โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่น PM_{2.5} นั้นสามารถแบ่งการเกิดได้โดยตรงและเกิดจากการรวมตัวของก๊าซและมลพิษอื่นในบรรยากาศ โดยเฉพาะซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นมลพิษที่อยู่ในอากาศได้นาน จึงทำให้สามารถลอยข้ามพรมแดนไปยังประเทศหรือพื้นที่อื่น ๆ ที่อยู่ไกลได้ด้วยองค์ประกอบทางสารพิษ ทำให้องค์การอนามัยโลกกำหนดให้ฝุ่นละออง PM_{2.5} ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ของสารก่อมะเร็งปี พ.ศ. 2556 [2] โดยปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่ภาคเหนือของไทยนั้นมีสาเหตุหลักมาจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} มากที่สุด ตามด้วยอุตสาหกรรม

การผลิต และการขนส่ง โดยภาคการผลิตไฟฟ้านั้นเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในอันดับที่ 4 จังหวัดในภาคเหนือจะมีฝุ่นละออง PM_{2.5} มากในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากการเผาวัชพืชและวัสดุทางการเกษตรมากทั้งในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน ทำให้พื้นที่ภาคเหนือได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว โดยจังหวัดน่านถือเป็นหนึ่งจังหวัดในภาคเหนือที่ประสบปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} ซึ่งในปี 2561 ที่ผ่านมานี้จังหวัดน่านมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} เกินมาตรฐาน 12 ครั้ง และในช่วงฤดูแล้งปี 2561 ที่ผ่านมา จังหวัดน่านตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กได้สูงต่อเนื่อง 2 วัน โดยวัดได้ 138 และ 151 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ซึ่งสูงเป็นอันดับ 1 ของพื้นที่ภาคเหนือ เนื่องจากกระแสลมได้พัดพาฝุ่นละอองเข้ามาจำนวนมากประกอบกับเทศบาลเมืองน่านมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงเกาะกลุ่มลอยฟุ้งกลางอากาศ [3] จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้ท้าววิจัยมีความสนใจในการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงพื้นที่ที่ส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} มีค่าเกินค่ามาตรฐานเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ในการคาดการณ์การเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นแบบถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์

3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

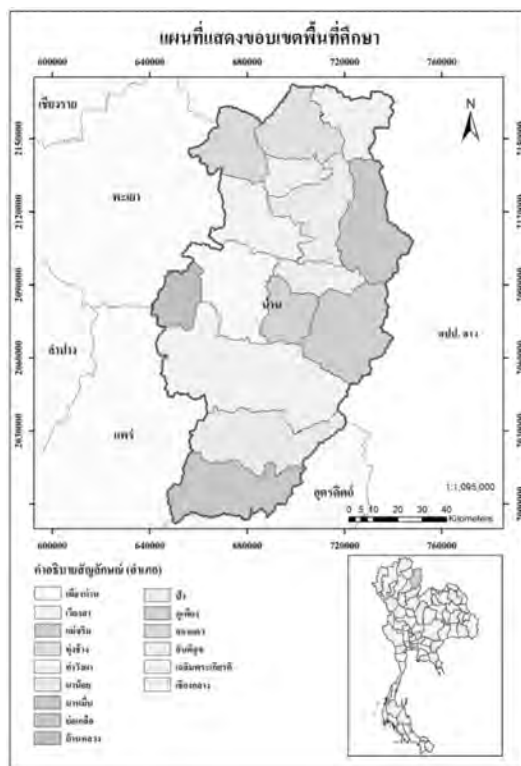
จังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกที่สุดของภาคเหนือ ซึ่งมีอาณาเขตติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และตั้งอยู่พิภคเส้นรุ้งที่ 18 องศา 46 ลิปดา 30 พิลิปดาเหนือ เส้นแวงที่ 102 องศา 46 ลิปดา 44 พิลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ 11,472.076 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,170,045 ไร่ มีทั้งหมด 15 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองน่าน อำเภอเวียงสา อำเภอแม่จริม อำเภอทุ่งช้าง อำเภอท่าวังผา อำเภอนาน้อย อำเภอนาหมื่น อำเภอบ่อเกลือ อำเภอบ้านหลวง อำเภอปัว อำเภอภูเพียง อำเภอสองแคว อำเภอสันติสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ และอำเภอเชียงกลาง (ดังรูปที่ 1)

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และคาดการณ์การเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยการใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ได้จำแนกขอบเขตของการศึกษาได้เป็น 2 ประเด็นหลัก (ดังรูปที่ 2) ได้แก่

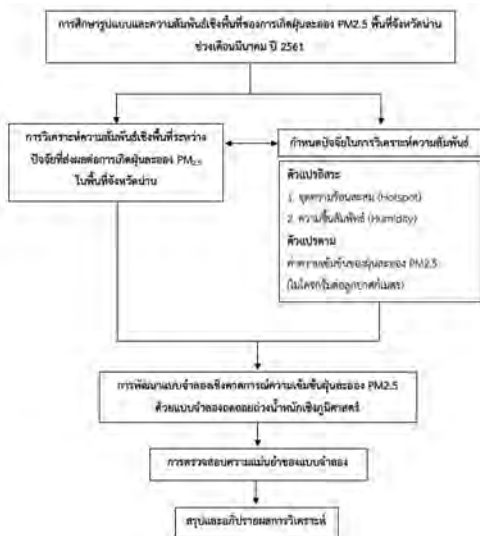
1) การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในจังหวัดน่าน โดยเป็นการศึกษาถึงปัจจัยทางกายภาพที่เป็นแหล่งกำเนิด (Sources) ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ [4] โดยการใช้เทคนิควิธีการทางด้านสถิติเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อมูลเชิงปัจจัยมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดเพื่อจะนำไปสู่การกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการ

เกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาได้ [5] ทั้งนี้ การศึกษานี้ได้เลือกปัจจัยจากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินเป็นหลักเพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลเกิดความสอดคล้องกัน



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา: จังหวัดน่าน

2) การคาดการณ์การเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ โดยเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน [6] ช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561 ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) วิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) โดยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นนี้มีข้อมูลมาตรฐาน ดังนี้ 1) ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง 2) ค่าคลาดเคลื่อน (e) เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระกันมีการแจกแจงปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนคงที่เท่ากับในทุกระดับของตัวแปรอิสระ และ 3) ตัวแปรอิสระในแบบจำลองการถดถอยต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน [7]

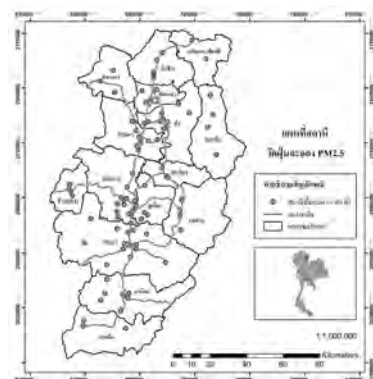


รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของการศึกษา

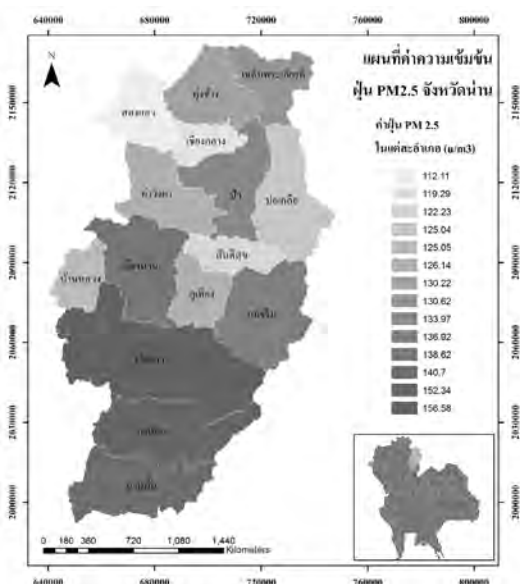
4. ผลการศึกษา

4.1 ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

1) ความเข้มข้นเชิงพื้นที่ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เป็นข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่ได้จากระบบการตรวจวัดของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน [6] (ดังรูปที่ 3) ซึ่งมีทั้งหมด 95 สถานี ทั่วทั้งจังหวัดน่าน โดยจะทำการจัดเก็บและรายงานแบบอัตโนมัติและทำการแสดงผลเป็นค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ยในรายชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการปรับข้อมูลในรายชั่วโมงดังกล่าวให้เป็นข้อมูลเฉลี่ยในรายเดือนและทำการปรับให้เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักต่อพื้นที่ในรายอำเภอเพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ต่อการกระจายตัวทางพื้นที่ของความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในระดับอำเภอของจังหวัดน่าน จากข้อมูลในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ยในรายเดือนช่วงเดือนมีนาคมของปี 2561 ซึ่งในช่วงเวลานี้ทุกปีจะเป็นช่วงเวลาที่ยังมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานในเกือบทุกอำเภอของจังหวัดน่าน ทั้งนี้ประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ไว้ที่ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เฉลี่ยต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง [8]



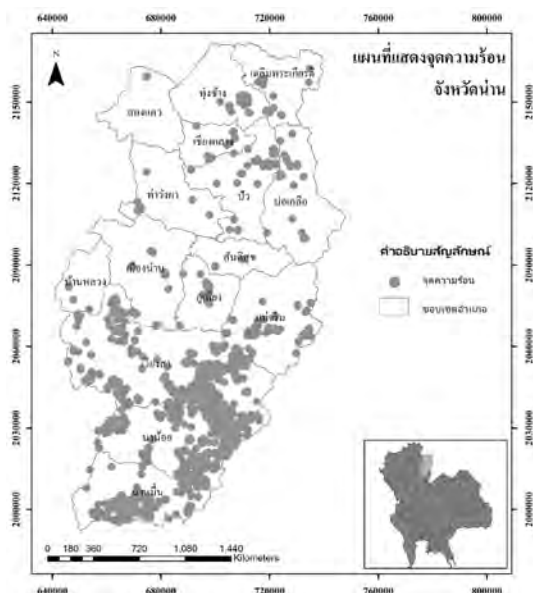
รูปที่ 3 แผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 แผนที่ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561

2) จุดความร้อนสะสม เป็นบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ในที่โล่ง ทั้งเกิดจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม และเกิดจากการเผาไหม้ในพื้นที่เขตป่าไม้หรือไฟฟ้า ซึ่งการเผาไหม้ในที่โล่งดังกล่าวถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักต่อการทำให้เกิดภาวะฝุ่นควันมีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศของพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลจุดความร้อนนี้ได้มาจากการตรวจวัดจากข้อมูลดาวเทียม Suomi-NPP ระบบ VIIRS ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกาหรือ NASA โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 375 เมตร [9] (ดังรูปที่ 5) ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคม 2561 การวิเคราะห์ในปีจี้จุดความร้อนสะสมนี้ได้ทำการประเมินจุดความร้อนสะสมในรายเดือนโดยคิดเป็นอัตราส่วนของจุดความร้อนสะสมกับขนาดของพื้นที่ในระดับอำเภอในการเกิดจุดความร้อนเพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ต่อการกระจาย

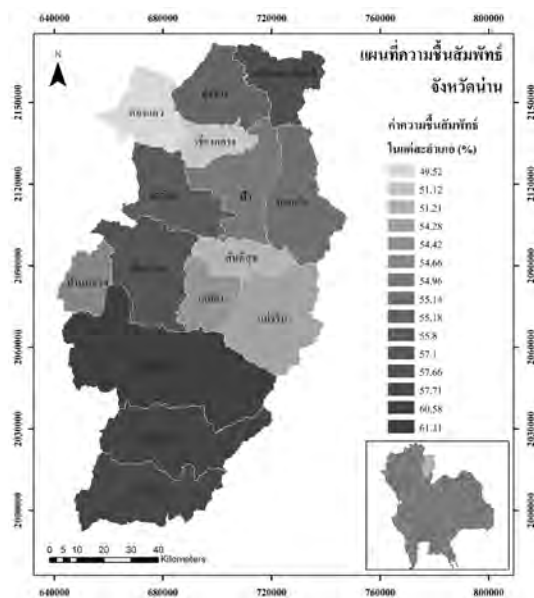
ตัวทางพื้นที่ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับอำเภอของจังหวัดน่านเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าบริเวณอำเภอทางตอนใต้ของจังหวัดน่านมีจำนวนของจุดความร้อนสะสมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงเดือนมีนาคม



รูปที่ 5 แผนที่ตำแหน่งของจุดความร้อนสะสมในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561

3) ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ โดยที่ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิในขณะนั้นด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปบริเวณที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างควันกับหมอกเกิดเป็นหมอกควัน เกิดการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันมากขึ้นทำให้บริเวณพื้นที่มีค่าฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น โดยข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์นี้ได้จากระบบการตรวจวัดของสถานีภาคพื้นดิน [5] เช่นเดียวกับกับข้อมูลความเข้มข้นของ

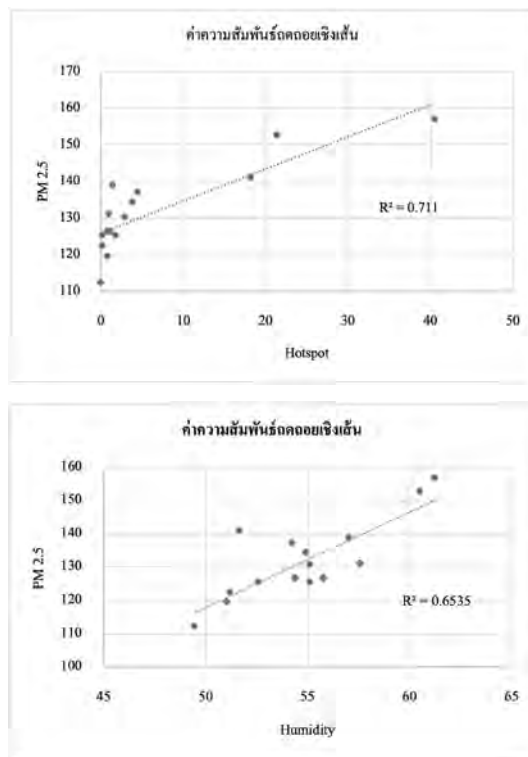
ฝุ่นละออง PM_{2.5} ซึ่งระบบสถานีตรวจวัดได้ทำการจัดเก็บ และรายงานเป็นค่าในรายชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน และเป็นอัตราส่วนต่อพื้นที่เช่นกัน เพื่อให้สอดคล้องกับ การวิเคราะห์ของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองและ ข้อมูลจุดความร้อนสะสม ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนที่ความเข้มข้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จึงนำไปสู่การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยการใช้วิธีการเชิงคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ จากค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของปัจจัยจุดความร้อนและ ความชื้นวิเคราะห์ร่วมกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเดือน มีนาคม 2561 รายอำเภอ โดยพบว่า ความสัมพันธ์ของ ปัจจัยจุดความร้อนกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} โดย มีความสัมพันธ์แสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

(R²) เท่ากับ 0.871 และความสัมพันธ์ของปัจจัยความชื้น กับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R²) เท่ากับ 0.6535 (ดังรูปที่ 7) จากความ สัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า ปัจจัยจุดความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยสัดส่วนของจุดความร้อน และความชื้นสัมพัทธ์ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5}

4.2 การคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5}

การวิเคราะห์เป็นการดำเนินงานด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์โดยการพัฒนาอัลกอริทึมจากแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบกำลังสองน้อยที่สุด โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษา โดยทำการปรับค่าของข้อมูลของปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงภูมิศาสตร์หรือเชิงพื้นที่ และวิเคราะห์ร่วมกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน จากการศึกษาได้สมการของแบบจำลองเชิงคาดการณ์ ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \varepsilon_i$$

โดยที่

β_0 = Intercept's Regression Coefficient

β_1 = Hotspot's Regression Coefficient

β_2 = Humidity's Regression Coefficient

X_1 = Hotspot Factor

X_2 = Humidity Factor

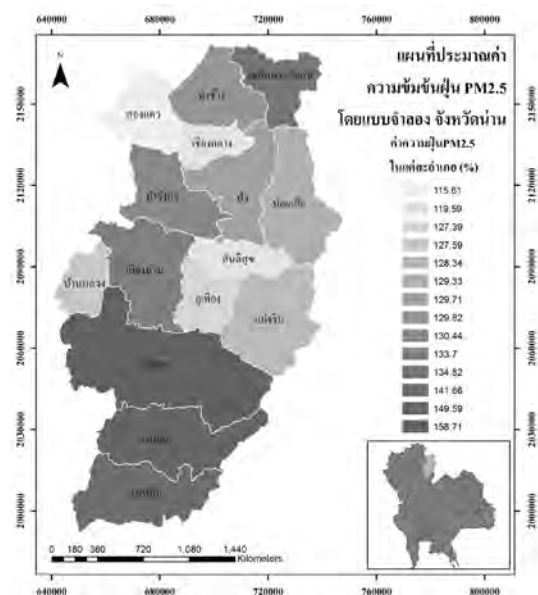
โดยจากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} จึงสามารถสร้างสมการของแบบจำลองเชิงคาดการณ์ของปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} ดังนี้

$$Y = 0.71994 + 0.3899(\text{Hotspot}) + 2.3189(\text{Humidity})$$

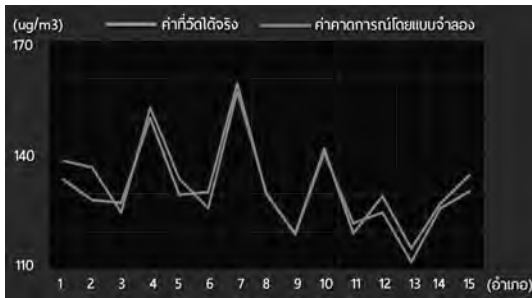
ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองเชิงคาดการณ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Squared (R^2) เท่ากับ 0.893832 หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ในระดับค่อนข้างสูง โดยผลที่ได้จากการคาดการณ์แสดงได้ในตารางที่ 1 รูปที่ 8 และรูปที่ 9

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} รายอำเภอ ที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง

ลำดับ	อำเภอ	Estimated	Residual	Std
1	เมืองน่าน	133.70	4.914942865	1.172078271
2	แม่งาม	128.34	8.572670633	2.044345428
3	บ้านหลวง	127.59	-2.540764009	-0.605902117
4	นาหมื่น	149.59	2.743086716	0.654150501
5	ปัว	129.71	4.256399165	1.015033768
6	หัวฝาง	130.44	-4.308752393	-1.027518568
7	เชียงลา	158.71	-2.138013776	-0.509857298
8	ทุ่งช้าง	129.82	0.393982442	0.093953943
9	เชียงกลาง	119.59	-0.306396894	-0.073067206
10	นาหมื่น	141.66	-0.966632264	-0.230515126
11	สันติสุข	119.59	2.639369852	0.62941689
12	บ่อเกลือ	129.33	-4.299425022	-1.025294247
13	สองแคว	115.61	-3.503233298	-0.835424488
14	ภูเพียง	127.39	-1.256875281	-0.299730078
15	เฉลิมพระเกียรติ	134.82	-4.200358737	-1.001669672



รูปที่ 8 แผนที่ความเข้มข้นเชิงพื้นที่ของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ได้จากการคาดการณ์จากแบบจำลองเชิงคาดการณ์



รูปที่ 9 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้จริงจากสถานีภาคพื้นดินและจากแบบจำลองเชิงคาดการณ์

4.3 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

เป็นการประเมินความแม่นยำของแบบจำลองในการคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์แบบกำลังสองน้อยสุด โดยเป็นการหาความสัมพันธ์จากค่าของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้จากสถานีภาคพื้นดินร่วมกับปัจจัยด้านจุดความร้อนสะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ทำการแปลงค่าข้อมูลในความสัมพันธ์เชิงภูมิศาสตร์หรือเชิงพื้นที่ในระดับอำเภอของจังหวัดน่าน

โดยกระบวนการประเมินความแม่นยำได้ใช้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ของอำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 19 มีนาคม 2561 จากข้อมูลของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน 36t ของกรมควบคุมมลพิษ [8] โดยในวันดังกล่าวมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 75.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในวันและเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำดังกล่าวได้มีค่าของจุดความร้อนสะสมที่เป็นสัดส่วนต่อพื้นที่อยู่ที่ 0.077 และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 38.11 เมื่อนำข้อมูลเชิงปัจจัยดังกล่าวมาคำนวณด้วยสมการที่ได้พัฒนาขึ้นจากข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ดังนี้

$$Y = 0.7199 + 0.3899(0.077) + 2.3188(38.11)$$

แบบจำลองดังกล่าวสามารถทำการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ของอำเภอเมืองฯ จังหวัดเชียงใหม่ ได้เท่ากับ 89.12 โดยที่พื้นที่ดังกล่าวมีค่าของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ทำการตรวจวัดได้จริงจากสถานีภาคพื้นดินเท่ากับ 75.23 ทำให้สามารถคำนวณความแม่นยำของการคาดการณ์ได้อยู่ที่ร้อยละ 81.54 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความแม่นยำของการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อการคาดการณ์ในพื้นที่อื่นได้ ทั้งนี้ ควรเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศหรือสภาพทางกายภาพและมีเงื่อนไขของสาเหตุการเกิดฝุ่นละอองเช่นเดียวกันกับพื้นที่ศึกษา

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์ โดยได้กำหนดปัจจัยทางกายภาพ คือ ปัจจัยจุดความร้อนสะสม (Hotspot) และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ของเดือนมีนาคมปี 2561 โดยจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเป็นปัจจัยส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาที่ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยได้สมการความสัมพันธ์เพื่อคาดการณ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Squared เท่ากับ 0.893832 หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับค่อนข้างสูง และมีความแม่นยำของการคาดการณ์อยู่ที่ร้อยละ 81.54 ซึ่งถือได้ว่ามีความแม่นยำของการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถนำไปคาดการณ์เพื่อหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่อื่นๆ ได้แต่ทั้งนี้ควรเป็นพื้นที่ที่มีสภาพทางกายภาพและมีเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดมาจากการเผาไหม้ในที่โล่งเป็นหลักเช่นเดียวกับพื้นที่ศึกษา

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ศึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Ari Quality Index. Retrieved July 7, 2017, from https://www3.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf

[2] กรีนพีซ. 2560. มลพิษฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนของเมืองในประเทศไทยช่วงเดือนมกราคม- มิถุนายน พ.ศ. 2560. เข้าถึงที่ http://www.greenpeace.or.th/s/right-to-clean-air/PM2.5-in-Thailand_Jan-Jun2017.pdf

[3] กรมควบคุมมลพิษ. 2560. รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 15-19.

[4] จิระ ประังเขียว และคณะ. 2551. การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่ไฟป่ากับการเกิดมลภาวะทางอากาศ ในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน (รายงานการวิจัย). เชียงใหม่: ศูนย์เทคโนโลยีอากาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] Wang, C. and et al. (2013). Air Quality Evaluation on An Urban Scale Based on MODIS Satellite Images. Atmospheric Research. 2013 (132-133), pp. 22-23.

[6] ศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย. 2561. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] อริศรา เจริญปัญญาเนตร พลภัทร เหมวรรณ และมาลัยรัตน์ สว่างรัตน์กุล 2560. การตรวจหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยข้อมูลดาวเทียม TERRA/AQUA ระบบ MODIS พื้นที่ภาคเหนือตอนบน. (รายงานการวิจัย). เชียงใหม่: ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[8] กรมควบคุมมลพิษ. 2561. ข้อมูลคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: เข้าถึงได้ที่ http://aqmthai.com/aqi_info.php

[9] EARTHDATA. 2018. Active Fire Data. NASA: Accessed at <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/active-fire-data>.

นโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย

บดีนทร์ สันทัด^{1*}

วันที่รับ 25 พฤศจิกายน 2562 วันที่แก้ไข 7 มกราคม 2563 วันที่ตอบรับ 24 มกราคม 2563

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย 3 ประการ ประการแรก เพื่ออธิบายหลักการพื้นฐานด้านความหมาย แนวทางนโยบาย ทั้งด้านประโยชน์และข้อพึงระวังประกอบกัน ตามด้วยข้อมูลนโยบายและองค์ประกอบเบื้องต้นของออฟเซต (offset) ประการที่สอง รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลนโยบายออฟเซตผ่านกรณีศึกษาจากต่างประเทศจากประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และเกาหลีใต้ ในฐานะประเทศที่มีนโยบายนี้ใช้มาก่อน ว่ามีรายละเอียดกระบวนการขั้นตอน ความสำเร็จและความเสี่ยงอย่างไร ประการที่สาม ทำการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล เพื่อการสร้างข้อเสนอแนะและแนวทางไปสู่การวางนโยบายและการกำหนดค่าออฟเซตพารามิเตอร์ (offset parameter) ต่างๆ ของประเทศไทยในอนาคต บทความวิจัยนี้ได้มีวิธีการศึกษาดำเนินการวิจัยด้วยการค้นคว้ารวบรวมข้อมูลจากตำราทางวิชาการ เว็บไซต์ข่าว ฐานข้อมูลออนไลน์ ตัวบทกฎหมาย บทความวิชาการ บทวิเคราะห์ และการสัมภาษณ์ โดยเฉพาะด้านการจัดหาระหว่างประเทศที่เป็นโครงการขนาดใหญ่ในอดีต โดยเริ่มจากศึกษาหลักการเบื้องต้นของออฟเซตแล้วจึงรับเอาตัวอย่างรายละเอียดโครงการออฟเซตของต่างประเทศมาวิเคราะห์ต่อไป ทั้งโอกาสและความท้าทายในอนาคต บทความวิจัยนี้ ค้นพบว่า นโยบายออฟเซตเป็นองค์ความรู้ด้านการจัดหาเชิงยุทธศาสตร์ โดยเฉพาะสินค้าด้านการป้องกันประเทศที่ไม่ได้ใช้ได้รับเพียงสินค้าดังกล่าวมาใช้งานในประเทศเท่านั้น แต่ยังมีกำหนดข้อผูกพันให้ประเทศผู้ขายสนับสนุนและสร้างกิจกรรมทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีในประเทศผู้ซื้อเป็นการชดเชยการใช้งบประมาณดังกล่าวด้วย องค์ความรู้ทางนโยบายดังกล่าวในปัจจุบันยังขาดแคลนความรู้ในประเทศไทย แต่เป็นนโยบายที่มีใช้จริงในต่างประเทศอย่างหลากหลาย การศึกษาคุณลักษณะทางนโยบายของต่างประเทศจำนวน 3 ประเทศ ถือเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการศึกษาเชิงลึก เพื่อการวางนโยบายภาครัฐด้านการจัดหาสินค้าเทคโนโลยีขั้นสูงของไทยในอนาคต ส่วนข้อเสนอแนะเชิงนโยบายนั้นมีดังต่อไปนี้ ข้อแรก นโยบายออฟเซตสมควรจัดเป็นวาระเร่งด่วนของรัฐบาล ข้อที่สอง รายละเอียดนโยบายออฟเซตของไทยในช่วง 5 ปีแรก ควรมีการกำหนดเพดานมูลค่าออฟเซต (offset threshold) อยู่ที่ 1,000 ล้านบาท แล้วค่อย ๆ ลดลงมาเหลือ 500 ล้านบาท โดยกำหนดมูลค่าออฟเซต (offset value) อยู่ที่ 20% ก่อน แล้วค่อยเพิ่มขึ้นเป็น 50% ในภายหลัง และใช้การคำนวณค่าออฟเซตแบบการคิดเป็นต้นทุน (cost approach) แบบเดียวกับเกาหลีใต้ และกำหนดให้มีองค์ประกอบออฟเซตทั้งการค้าต่างตอบแทน ออฟเซต และการผลิตด้วยชิ้นส่วนภายในประเทศ (countertrade, offset และ local content) แบบเดียวกับอินโดนีเซีย ข้อที่สามคือ ในการดำเนินนโยบายต้องคำนึงถึงปัจจัยแห่งความสำเร็จของนโยบายตามที่นำเสนอในแต่ละด้านอย่างต่อเนื่อง และมั่นคง ข้อสุดท้าย สมควรพิจารณาโครงการฝึกงานออฟเซต (offset internship program) เพื่อศึกษานโยบายออฟเซตในภาคปฏิบัติอีกด้วย

คำสำคัญ : นโยบายออฟเซต, การพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ, การถ่ายทอดเทคโนโลยี

¹ฝ่ายวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: bodin.s@dti.or.th

Offset Policy for Thailand's Defence Industrialization

Bodin Suntud^{1*}

Abstract

This research article has three primary objectives. Firstly, it attempts to describe basic definition and principles, both benefits and risks, followed by policy data and fundamental components of offsets. Secondly, it collects and analyses offset policy through cases from foreign countries, namely, Malaysia, Indonesia, and South Korea, as forerunners on such policy to see their process, failure and success. Thirdly, it analyses and compiles policy data to provide solutions to prepare for offset policy framework and parameter setting for the Thai government in the near future. In terms of research methodology, the data of this research are gathered from various sources, including academic works, news websites, online databases, laws, analysis report, interviews, especially previous major procurement program from overseas. The challenges ahead in which Thai government is likely to face are also discussed. This study also finds that offset policy is a strategic procurement method, especially the defence products which are not only used by armed forces but also imposed foreign suppliers with some economic and technological obligations to the importing nations as a compensating tools from the costs of the weapon systems procured. It is clear that this topic is under-studied in Thailand context but is increasingly implemented in foreign nations. The comparative research for three cases conducted here is a good beginning for future researches on high-technology sourcing. This report offers four policy recommendations. First and foremost, offset policy should be a priority for government to consider. Next, in the first five years, the policy details should include offset threshold of 1,000 million baths and decrease gradually to 500 million baths. The offset value is set at 20 percent and increase to 50 percent later on. The calculation of offset value should adopt cost -approach drawn from South Korean counterpart and determine that the policy components are countertrade, offsets, and local contents in the same as Indonesian example. The third recommendation is that a consistent and sustainable policy implementation should be geared toward policy success factors from lesson learns as discussed in the paper. Lastly, an Offset Internship Program should be established to study the in-depth practical aspects of this offset policy

Keywords : Offset Policy, Defence Industrialization, Technology Transfer.

¹ Defence Technology Analysis Department - TTA, Defence Technology Institute

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

1. บทนำ

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษาเพื่อปูพื้นฐานความเข้าใจเบื้องต้นของการพัฒนาโยบายออฟเซตสำหรับประเทศไทย แนวนโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศนั้น เป็นองค์ความรู้ทางวิชาการด้านใหม่ที่ไม่เคยมีงานเขียนทางวิชาการอย่างเป็นรูปธรรมมาก่อน นักวิจัยได้ศึกษานโยบายนี้ตั้งแต่ปี 2556 ด้วยข้อมูลทางวิชาการด้านหลักการเบื้องต้น แนวทางการดำเนินนโยบาย ปัจจัยความสำเร็จ และปัญหาที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งกรณีศึกษาเชิงลึก และได้ส่งข้อมูลเกี่ยวกับนโยบายออฟเซตในรูปแบบรายงานวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศรายไตรมาส (ที่ภายหลังได้รวบรวมไว้เป็นรายงานประจำปี) ตามสายการบังคับบัญชาไปที่สำนักงานนโยบายและแผน กระทรวงกลาโหม เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการนำนโยบายไปปฏิบัติ ผลการศึกษานโยบายนั้น รัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหมได้กรุณาทราบจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ผู้ช่วยรัฐมนตรีประจำรัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหมได้เชิญให้นักวิจัย ซึ่งขณะนั้นดำรงตำแหน่งนักวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ สังกัดสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เป็นผู้ทำการวิจัยและได้นำเสนอแนวนโยบายดังกล่าวใน “การประชุมผู้ช่วยรัฐมนตรีทุกกระทรวงในวันจันทร์ที่ 29 กุมภาพันธ์ 2559 โดยกำหนดให้สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศนำเสนอแนวทางการพิจารณานโยบายออฟเซตจากต่างประเทศต่อที่ประชุม” โดยกระทรวงกลาโหม ให้ข้อคิดเห็นว่า “หากนำนโยบายนี้กำหนดเป็นเงื่อนไขประกอบการพิจารณาจัดทำโครงการจัดหายุทโธปกรณ์ของกองทัพ จะอำนวยความสะดวกต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติ”

นอกเหนือไปจากความเคลื่อนไหวทางวิชาการของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและกระทรวงกลาโหมแล้ว สถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ หรือ สวทช. ได้เชิญให้นักวิจัยไปเป็นผู้เขียนบทความหลัก (ผู้เขียนคนที่ 1) ในเอกสารวิจัยที่จัดทำร่วมกันระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศและสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประกอบการประชุมคณะกรรมการพัฒนานวัตกรรมแห่งชาติ หรือ คพน.

ที่มีนายกรัฐมนตรีเป็นประธานการประชุม โดยประชุมในวันที่ 4 มิถุนายน 2559 ผลการประชุมคณะกรรมการพัฒนาระบบนวัตกรรมของประเทศไทย สรุปว่า เพื่อเป็นการสร้างชาติให้มีความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน ที่ประชุมได้พิจารณาแนวทางการจัดซื้อจัดจ้างที่มีเงื่อนไขการตอบแทนด้วยการสนับสนุนการพัฒนาประเทศ (Thailand Offset Policy) โดยอาศัยโครงการ Mega Project พร้อมให้กำหนดเงื่อนไขการพัฒนาคน การวิจัย และสร้างอุตสาหกรรมไทยให้ผลิตเองได้ในอนาคต และมอบหมายให้รองนายกรัฐมนตรี (พลอากาศเอก ประจิน จั่นตอง) จัดทำรายละเอียดของการจัดซื้อจัดจ้างที่มีเงื่อนไขการตอบแทนด้วยการสนับสนุนการพัฒนาประเทศมานำเสนอเพิ่มเติม (Offset Agreement)

การที่ประเทศผู้ผลิตอาวุธได้ตระหนักถึงความจริงที่ว่า เมื่อรัฐ-ชาติเริ่มมีการขยายจำนวนมากขึ้น จากเดิมที่เป็นอาณาจักร ศาสนจักรหรือจักรวรรดิที่กว้างใหญ่ไพศาล การสร้างกองทัพเริ่มมีความยากลำบากมากขึ้น ไม่ใช่ในแง่กำลังพล แต่เป็นในแง่ของระดับการพัฒนาเทคโนโลยี การทหาร อันเป็นเทคโนโลยีที่สลับซับซ้อน อาศัยองค์ความรู้หลากหลายสาขาวิชาจากที่ประเทศใดประเทศหนึ่งจะใช้ทรัพยากรของประเทศเดียวดำเนินการได้ทั้งหมด ในเวลาต่อมาเมื่อรัฐหรือประเทศต่าง ๆ เริ่มมีความเชื่อมโยงกันมากขึ้น จึงเกิดยุทธศาสตร์ใหม่ที่พยายามใช้กำลังอำนาจแห่งชาติของหลายชาติมาเพื่อเป้าหมายเดียวกัน นั่นคือความร่วมมือข้ามชาติในการวิจัยพัฒนาผลิตและขาย ยุทโธปกรณ์นับเป็นปรากฏการณ์ใหม่ที่เพิ่งเริ่มขึ้นในกลางศตวรรษที่ 20 นี้เอง เห็นได้ชัดจากก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 สมัยที่กองทัพญี่ปุ่นภายใต้ยุคฟื้นฟูเมจิได้รับเทคโนโลยีหลายประการในช่วงปี 1900 ญี่ปุ่นได้รับเทคโนโลยีจากประเทศตะวันตก ทั้งสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ และเริ่มชัดเจนเมื่อประเทศต่าง ๆ ในยุโรปตะวันตกประสบภาวะหลังสงครามและสร้างประเทศใหม่ ส่งผลให้เกิดความร่วมมือในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมการรักษาทรัพยากรธรรมชาติ และด้านหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือด้านการพัฒนาอาวุธร่วมกัน ในช่วงแรก ๆ หลังสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกาได้แนะนำ

การใช้ซอฟต์แวร์ของกลุ่มประเทศ NATO ในยุโรปตะวันตกเพื่อ
บูรณะอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและการบินที่ถูกทำลาย
อย่างย่อยยับในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนอกจากจะ
เชื่อมต่อกันเองแล้วยังได้รับความช่วยเหลือทางเทคโนโลยี
ทางทหารจากสหรัฐอเมริกาที่จะได้ประโยชน์จากการป้องปราม
การแผ่ขยายอิทธิพลของลัทธิคอมมิวนิสต์จากรัสเซีย
และยุโรปตะวันออกอีกด้วย

ดังนั้นการพัฒนาอาวุธยุทโธปกรณ์ในสมัยปัจจุบัน
จึงไม่จำเป็นว่ารัฐใดรัฐหนึ่งดำเนินการเองตั้งแต่ต้นจนจบ
อีกต่อไป การผลิตยุทโธปกรณ์กลายเป็นประเด็นข้ามชาติ
ขึ้นกับว่าชาติใดจะทำหน้าที่ใดในขั้นตอนแต่ละขั้น ปัจจุบัน
ประเทศแถบยุโรปตะวันตก ทวีปอเมริกาเหนือ (สหรัฐอเมริกา-
แคนาดา) คือตัวอย่างต้นแบบนโยบายที่โดดเด่นในการ
พัฒนาอาวุธที่ใช้ความร่วมมือข้ามชาติอย่างเห็นได้ชัด

เนื้อหาของงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็นหกส่วน ส่วนแรก
คือ บทนำ ที่แสดงให้เห็นถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา
และภาพรวมของงานวิจัยนี้ ส่วนที่สอง เป็นวิธีการศึกษาวิจัย
ส่วนที่สาม คือ ผลการศึกษา เป็นส่วนที่นำเสนอหลักการ
พื้นฐานและข้อมูลนโยบายเบื้องต้นของนโยบายออฟเซต
โดยแบ่งเป็นการให้ความหมาย คำจำกัดความ องค์ประกอบ
และหลักการพื้นฐานของนโยบายออฟเซต เพื่อเป็นการ
สร้างความเข้าใจเบื้องต้นและเป็นการนำเสนอนโยบาย
ออฟเซตของประเทศกรณีศึกษาจากมาเลเซีย อินโดนีเซีย
และเกาหลีใต้ เพื่อเป็นตัวอย่างของประเทศไทยในอนาคต
ส่วนที่สี่ เป็นบทวิเคราะห์เพื่อวางแนวทางไปสู่การวาง
นโยบายและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เป็นการ
นำรายละเอียดจากส่วนที่สองมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ
แล้วสร้างบทวิเคราะห์ขึ้นมา จนสามารถนำไปสู่ข้อเสนอ
แนะเชิงนโยบายและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
ได้ส่วนที่ห้า เป็นบทสรุปของงานวิจัยนี้ ส่วนสุดท้าย ส่วนที่หก
เป็นรายการเอกสารอ้างอิง

2. วิธีการศึกษา/วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ เน้นหนักไปที่การ
วิเคราะห์นโยบายภาครัฐ ในด้านของข้อมูลนั้น มีที่มาจาก
เอกสารทุติยภูมิ เช่น งานวิชาการ เว็บไซต์ ฐานข้อมูลออนไลน์

หนังสือตำราจากต่างประเทศ วารสารวิชาการ รวมทั้งงาน
วิจัยในอดีต ส่วนใหญ่เป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด เพราะ
องค์ความรู้ด้านออฟเซตยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย
เอกสารส่วนนี้ได้ให้รายละเอียดด้านความหมาย ความเป็นมา
ความจำเป็น ประโยชน์ อุปสรรค กระบวนการ ข้อพิจารณา
ทางยุทธศาสตร์ รวมทั้งรายละเอียดนโยบายของประเทศ
เพื่อนบ้านนอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ใช้การศึกษาเอกสาร
ปฐมภูมิผ่านเอกสารราชการตัวบทกฎหมาย ข้อบังคับ
การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ สิ่งนี้ส่วนใหญ่
ถูกบันทึกและวิเคราะห์ในฐานะที่เป็นข้อมูลนโยบาย
ของต่างประเทศ โดยเฉพาะเน้นหนักไปที่ มาเลเซีย
อินโดนีเซีย เกาหลีใต้ อันเป็นกรณีศึกษา โดยในการสัมภาษณ์
ได้กระทำผ่านผู้เชี่ยวชาญออฟเซตของต่างประเทศโดยตรง
โดยเมื่อข้อมูลนโยบายที่เป็นพื้นฐานเบื้องต้นและกรณีศึกษา
จากต่างประเทศมีรายละเอียดที่พร้อมแล้ว ส่วนที่เหลือนั้น
เป็นประสบการณ์ การสังเกต และการวิเคราะห์แนวโน้ม
จากผู้วิจัยในฐานะผู้ที่ทำงานทางวิชาการและวิเคราะห์
ธุรกิจเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมา
ตั้งแต่ปี 2556 ขั้นตอนต่อมา งานวิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าว
มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลศึกษาแนวโน้ม
และพยายามสร้างข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่ประเทศไทย
สามารถนำไปใช้ศึกษาต่อยอดได้ อย่างไรก็ตามโครงการ
ออฟเซตนี้มีแพร่หลายกว่า 130 ประเทศทั่วโลก กรณีศึกษา
เพียง 3 ประเทศตัวอย่างอาจช่วยเป็นข้อมูลทางวิชาการ
เบื้องต้นได้เท่านั้น การวางนโยบายจริงยังต้องอาศัยตัวอย่าง
บทเรียนของนโยบายจากกรณีศึกษาที่มากกว่านี้ เพื่อที่
ประเทศไทยจะได้ลดข้อผิดพลาดลงได้อีก

3. ผลการศึกษา

3.1 หลักการพื้นฐานและข้อมูลนโยบายเบื้องต้นของ นโยบายออฟเซต

ในหัวข้อแรกจะเป็นการกล่าวถึงความหมายและ
คำจำกัดความของออฟเซต เพราะออฟเซตมีคำจำกัด
ความหลากหลายและเป็นประเด็นทางวิชาการที่ยังถกเถียง
กันอย่างต่อเนื่อง โดยจะนำเสนอจากแหล่งวิชาการ องค์ก
ระหว่างประเทศ และองค์กรภาครัฐที่นำเสนอมุมมอง

ที่แตกต่างกัน ในส่วนที่สองจะเป็นในเรื่องของความเป็นมา ความสำคัญ และพัฒนาการของนโยบายออฟเซต

3.1.1 ความหมายของออฟเซต

ในปัจจุบันนโยบายออฟเซตยังไม่มีคำแปลภาษาไทย คำนี้มาจากคำภาษาอังกฤษว่า “Offset Policy” คำว่า Offset ตามความหมายของ Oxford Dictionary ได้ให้ความหมาย ในฐานะเป็นคำนามไว้ว่าคือ A consideration or amount that diminishes or balances the effect of an opposite one แปลว่า ข้อพิจารณาหรือปริมาณที่ลด หรือสร้างสมดุลจากผลที่ถูกฝ่ายหนึ่งกระทำ ในขณะเดียวกัน Macmillan Dictionary ได้ให้ความหมายไว้ว่าคือ to balance the effect of something, with the result that there is no advantage or disadvantage แปลว่า การรักษาสมดุลของการกระทำบางอย่างจนที่สุดแล้วไม่มีการได้เปรียบหรือเสียเปรียบ ในขณะที่ dictionary.com ได้แปลสั้นกว่าไว้ว่าคือ to counterbalance or compensate หรือการปรับดุล หรือการชดเชย ผู้วิจัยจึงประเมินว่า การใช้ คำทับศัพท์ว่าออฟเซตน่าจะทำความเข้าใจรวดเร็ว สอดคล้องกับความหมายของ Dictionary เล่มอื่น ๆ ทั้งยังสอดคล้องกับภาคปฏิบัติของนโยบายที่ต้องการ มี “การชดเชย” อย่างเป็นทางการด้วย

ส่วนในภาษาอังกฤษมีการใช้ในความหมายที่หลากหลาย แต่ละประเทศก็ให้ความหมายและมุมมองไม่เหมือนกัน ในประเทศไทยนั้น เรื่องออฟเซตถือเป็นเรื่องใหม่ ดังนั้นการทำความเข้าใจความหมายและการทำงานจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ส่วนแรกนี้ จะนำเสนอความหมายที่มาจาก แหล่งข้อมูลทางวิชาการ แหล่งองค์กรระหว่างประเทศ และองค์กรภาครัฐ เพื่อค้นหาความหมายร่วมที่มีใจความหลักสอดคล้องกัน ดังต่อไปนี้

แหล่งข้อมูลทางวิชาการ งานดุษฎีนิพนธ์มหาวิทยาลัย Cranfield University ของ Dr.Kogila Balakrishnan [1] นักวิชาการผู้วางนโยบายออฟเซตให้กับประเทศมาเลเซีย ได้ให้ความหมายว่า นโยบายออฟเซต คือข้อตกลงระหว่าง รัฐบาลแห่งชาติและบริษัทค้าอาวุธต่างประเทศเพื่อสร้าง ผลประโยชน์ในสัญญาการจัดหาบางประการให้เข้าสู่ ประเทศผู้ซื้อ ถือเป็นเครื่องมือการพัฒนาเศรษฐกิจที่ใช้ใน

การแสวงหาเทคโนโลยีจากแหล่งต่างประเทศ เจ้าของ อุตสาหกรรมอาวุธในฐานะผู้ให้เทคโนโลยีออฟเซตเป็น รูปแบบเงื่อนไขที่ต้องกระทำเพื่อชดเชยเงินงบประมาณของ ผู้ซื้อ ส่วนรัฐบาลประเทศผู้ซื้อมองว่าออฟเซตจะเป็นสิ่งที่ เพิ่มพูนผลประโยชน์ทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจ สังคมจากบริษัทผู้ขาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการขนาดใหญ่ ส่วน Bernard Udis [2] นักวิชาการด้านเศรษฐศาสตร์ จากมหาวิทยาลัย Colorado Boulder เสนอว่า ออฟเซต เป็นสัญญาที่บังคับใช้ให้เกิดเงื่อนไขแก่ผู้ขายสินค้าหรือ บริการ ทำให้ประเทศผู้ซื้อสามารถชดเชยการใช้จ่ายภาครัฐ ด้วยการลงทุนบางส่วนได้ ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าทั้งสองแหล่ง มีความหมายใกล้เคียงกัน คือเป็นมาตรการทางเศรษฐกิจ เพิ่มเติมในประเทศผู้ซื้อที่ต่อยอดมาจากการจัดซื้อจัดหา โครงการยุทธโธปกรณ์ต่างประเทศนั่นเอง

องค์กรระหว่างประเทศองค์กรแรกคือ องค์กรการค้าโลก (World Trade Organization-WTO) [3] ในส่วน ภาพรวม ได้ให้ความหมายของออฟเซตว่า เป็นมาตรการ กระตุ้นการพัฒนาประเทศหรือดุลการค้าต่างประเทศ ด้วยการให้สิทธิพิเศษภายในประเทศ การให้ใบอนุญาตการใช้ เทคโนโลยี ข้อตกลงในการลงทุน หรือการค้าต่างตอบแทน โดยประเทศที่พัฒนาแล้วจะไม่อนุญาตให้ใช้วิธีการนี้ แต่ ประเทศกำลังพัฒนาสามารถใช้เรื่องดังกล่าวในการเจรจา เงื่อนไขการใช้ข้อตกลงออฟเซตให้บริษัทต่างชาติเข้าร่วม ประมูลในกระบวนการจัดหา แต่ไม่ใช่เกณฑ์พิจารณาใน การคัดเลือกผู้ชนะ อย่างไรก็ตาม ใน Article XXIII [4] ได้แจ้งว่า กรณีที่ดำเนินการดังกล่าวเพื่อวัตถุประสงค์ ด้านการจัดหาอาวุธ ออภัณฑ์หรืออุปกรณ์สงคราม หรือการจัดหาที่จำเป็นยิ่งยวด เพื่อรักษาความมั่นคง แห่งชาติหรือการป้องกันประเทศ รัฐสมาชิกไม่จำเป็นต้อง ปฏิบัติตามข้อกำหนดข้างต้น

ส่วนองค์กรระหว่างประเทศอีกองค์กรหนึ่งคือ คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission) [5] ที่เป็นองค์กรฝ่ายบริหารและรับผิดชอบการออกกฎระเบียบ และข้อบังคับต่าง ๆ ของสหภาพยุโรป ไม่เห็นด้วยกับการ ใช้ออฟเซตเช่นกัน โดยให้ข้อมูลว่า ข้อกำหนดออฟเซตเป็น มาตรการที่สวนทางกับหลักการและข้อตกลงในสหภาพ ยุโรป เพราะเป็นนโยบายที่เลือกปฏิบัติทางเศรษฐกิจ

ปิดเป็นการไหลเวียนสินค้าอย่างอิสระและบริการจากรัฐสมาชิก ทั้งทางด้านการทหารและพลเรือน ส่วนหากต้องการใช้ออฟเซตจะต้องดำเนินการผ่าน Article 346 ของสนธิสัญญาว่าด้วยการทำงานของสหภาพยุโรป (Treaty on the Functioning of the European Union) หรือ TFEU ที่ต้องตีความอย่างจริงจังและเป็นไปเพื่อผลประโยชน์แห่งชาติอย่างยิ่งยวดเท่านั้น

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าออฟเซตเริ่มไม่เป็นที่ยอมรับมากขึ้นในระดับองค์กรระหว่างประเทศ เพราะแนวทางนโยบายออฟเซตเป็นแนวทางที่ขัดกับหลักการของตลาดเสรีและเป็นการแทรกแซงจากรัฐบาลแห่งชาติ อย่างไรก็ตามทั้งสององค์กรยังให้ข้อยกเว้นว่า แนวทางออฟเซตนั้นอนุญาตให้กระทำได้เฉพาะในกรณีที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงแห่งชาติ โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนา (Developing Countries)

ส่วนในด้านองค์กรภาครัฐนั้น สามารถศึกษาได้จากสำนักงานความมั่นคงและอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกา (US Bureau of Industry and Security) [6] ว่าออฟเซตในการจัดหาอาวุธนั้นหมายถึง ข้อตกลงทางอุตสาหกรรมในฐานะที่เป็นเงื่อนไขของการซื้อขายยุทโธปกรณ์นั้นจากต่างประเทศที่ประเทศผู้ซื้อยุทโธปกรณ์กำหนดให้มีขึ้น ส่วนในเกาหลีได้มีการใช้นโยบายออฟเซตที่โดดเด่นมากที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ได้ระบุไว้ในเอกสารกฎหมายของ Defence Acquisition Program Act ของ DAPA ในมาตรา 338 [7] ว่า “ออฟเซต คือ การแลกเปลี่ยนหรือการค้าต่างตอบแทนที่ต้องการให้ผู้รับจ้างที่เป็นบริษัทต่างชาติที่ทำสัญญาหลักในการจัดหา ทำการถ่ายทอดองค์ความรู้หรือเทคโนโลยี หรือทำการจัดซื้อระบบอาวุธยุทโธปกรณ์ชิ้นส่วนอะไหล่ประกอบที่ทำการผลิตภายในประเทศเกาหลีใต้เมื่อรัฐบาลเกาหลีใต้ทำการจัดหาหรือซื้อหรืออุปกรณ์จากบริษัทต่างชาตินั้น”

จากความหมายของนโยบายออฟเซตที่ศึกษามาข้างต้น จะเห็นได้ว่า นโยบายออฟเซต คือ นโยบายและแนวทางปฏิบัติที่เพิ่มการต่อรองทางเศรษฐกิจกับบริษัทของประเทศผู้ขายยุทโธปกรณ์ว่า เมื่อจะทำการจัดหายุทโธปกรณ์ครั้งใดจะต้องมีการใช้ออฟเซตไม่ว่าทางใดทางหนึ่งเพิ่มมาด้วยเพื่อออฟเซต หรือ ชดเชย มูลค่าการจัดหานั้น นับเป็นการสร้างเงื่อนไขเฉพาะทางกฎหมายหรือสัญญาที่นอกเหนือไป

จากยุทธโธปกรณ์ที่จัดหาเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดสะพานที่เชื่อมต่อไปสู่การพัฒนาในระดับเทคโนโลยีภาคพลเรือนและเศรษฐกิจที่ล้ำหน้า ไม่ว่าจะเป็นในรูปของการถ่ายทอดเทคโนโลยี การลงทุนร่วมกับรัฐหรือภาคเอกชนส่วนของประเทศผู้ซื้อ การเปิดสายการผลิตชิ้นส่วนย่อย หรือการร่วมมือวิจัยพัฒนาด้านโครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีป้องกันประเทศขั้นสูง จนเกิดการจ้างงานด้วยแรงงานที่มีทักษะภายในประเทศขนาดใหญ่ ที่จะยกระดับเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เกิดผลประโยชน์ส่งเสริมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ พัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันสร้างโอกาสในการพัฒนาศักยภาพองค์กร บุคคลให้อยู่ในระดับสูงขึ้น ทั้งยังรองรับการพึ่งพาตนเอง ลดการขาดดุลจากการนำเข้าจากต่างประเทศ และพัฒนาไปสู่การส่งออกสินค้าที่สร้างรายได้เข้าประเทศอย่างยั่งยืนในทางกลับกัน บริษัทผู้ขายอาวุธและองค์กรเหนือรัฐในยุโรปหรือสหรัฐอเมริกากลับเห็นว่าเป็นการบิดเบือนกลไกตลาด เพราะนโยบายออฟเซตจะส่งผลเชิงลบกับศักยภาพระบบการค้าขาย (เงินแลกสินค้า) แบบเดิม พวกเขามองว่าการซื้อขายยุทโธปกรณ์ด้วยเงินสดจะมีความง่ายในการปฏิบัติ และการรับเงินไปอย่างเดียวยังจะสร้างกำไรได้มากกว่าที่จะต้องมาทำกิจกรรมอื่น ๆ เพิ่มเติมอีก [8]

ประโยชน์ของการนำวิธีการออฟเซตมาใช้ในการจัดหายุทโธปกรณ์มีหลายด้านด้วยกันดังต่อไปนี้

ด้านการทหาร วิธีการออฟเซตจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาขีดความสามารถในการป้องกันประเทศ และจะลดสัดส่วนการจัดหาจากต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง เมื่อประเทศที่มีนโยบายออฟเซตใช้วิธีการดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง จะเกิดการซึ่มซับเทคโนโลยีที่เป็นรูปธรรมและเป็นระบบไม่จำกัดเพียงการฝึกสอนการใช้งาน ส่งผลให้เกิดการพัฒนากองทัพอย่างก้าวกระโดด และนำไปสู่การส่งออกยุทธภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์ในอนาคต

ด้านเศรษฐกิจ การจัดหายุทโธปกรณ์จากต่างประเทศจะส่งผลให้เกิดกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่มาจากเทคโนโลยีขั้นสูงแก่ประเทศผู้ซื้อ นอกจากนี้ การถ่ายทอดเทคโนโลยีจะนำไปสู่ขีดความสามารถในการแข่งขันที่สูงขึ้นและสร้างส่วนแบ่งทางการตลาดด้านอาวุธในวงกว้างได้ โดยเฉพาะเทคโนโลยียานยนต์ด้านพลเรือน ที่ประเทศไทยมีศักยภาพ

ในการส่งออกในระดับสูงอยู่แล้ว และเมื่อมีการใช้วิธีการออฟเซตจะส่งผลให้เกิดการลงทุนเทคโนโลยีขั้นสูงจากต่างประเทศ โดยประเทศไทยมีหน่วยงานที่รองรับและสนับสนุนการลงทุนจากต่างประเทศอยู่แล้ว ได้แก่ สำนักงานส่งเสริมการลงทุนหรือสำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งจะทำให้การดำเนินกิจกรรมออฟเซตตามสัญญา (Offset Fulfillment) ทำได้ง่ายขึ้น

ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิธีการออฟเซตนั้นประเทศกว่า 130 ประเทศทั่วโลกได้ใช้เป็นนโยบายหรือแนวทางการพัฒนานวัตกรรมทั้งทางด้านการทหารและพลเรือนของประเทศ นำไปสู่การเป็นเจ้าของเทคโนโลยี ทั้งนี้วิธีการออฟเซตจะทำให้ประเทศไม่ต้องเริ่มต้นการวิจัยพื้นฐาน (Basic Research) ทุกครั้ง แต่สามารถเริ่มได้จากระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level - TRL) ระดับอื่น ๆ ได้อย่างยืดหยุ่นประหยัดเวลา และงบประมาณ ทั้งยังปิดช่องว่างด้านเทคโนโลยีได้เร็ว ทำให้การกำหนดกลยุทธ์สร้างหรือซื้อ (Make or Buy Strategy) มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อีกประการหนึ่ง ประเทศที่ใช้นโยบายออฟเซตสามารถเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อุปทานโลก (Global Supply Chain) ของการผลิตอาวุธระดับโลกได้ ดังตัวอย่างในประเทศมาเลเซีย เกาหลีใต้ หรือสิงคโปร์ ที่ผนวกรวมอุตสาหกรรมภายในประเทศให้เป็นผู้ดำเนินการในฐานะผู้ผลิต (บางชิ้นส่วน) หรือผู้ดำเนินการซ่อมบำรุง (ที่มีความชำนาญ) ของบริษัทอาวุธระดับโลกได้ จะเห็นได้ว่าวิธีการออฟเซตจะช่วยเร่งกระบวนการพัฒนาเทคโนโลยีทางทหารให้ผ่องถ่ายไปสู่ภาคพลเรือน และนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ได้สองทาง (Dual Use Technology)

ด้านการเมือง สังคม จิตวิทยา การจัดซื้ออาวุธจากต่างประเทศ จะสามารถตอบคำถามจากสาธารณชนได้ว่า จะนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจที่มีรากฐานเทคโนโลยีระดับสูงของประเทศอย่างเป็นรูปธรรม เกิดการจ้างงานทักษะสูงและจังหวัดต่าง ๆ จะแข่งขันกันพัฒนาขีดความสามารถตามหัวเมืองใหญ่ โครงการออฟเซตจะนำไปสู่การบูรณาการความร่วมมือในรูปแบบสามประสาน (Triple Helix)

ของภาครัฐ เอกชน และวิชาการอย่างชัดเจน ทั้งยังเกิดการจ้างงานที่มีทักษะสูง ตามแนวทางประชารัฐและเป็นเป้าหมายระยะยาวของรัฐบาล

จะเห็นว่านโยบายออฟเซตมีประโยชน์หลายประการ อย่างไรก็ตาม นโยบายออฟเซตได้มีความท้าทายอยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นจากระบบราชการ ระดับการให้และรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ต่างกันมากเกินไป ปัญหาด้านตัวบทกฎหมาย ด้านความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ หรือด้านขีดความสามารถในการแข่งขัน แต่ละประเทศนั้นเมื่อพบเจอปัญหาแล้ว ไม่ได้ทำการยกเลิกนโยบายนี้ทันที แต่จะค่อย ๆ แก้ไขที่สาเหตุของปัญหาดังกล่าว แล้วขับเคลื่อนนโยบายต่อไปข้างหน้า มีเพียงบางประเทศเท่านั้นที่เมื่อพัฒนาขีดความสามารถได้ระดับที่ค่อนข้างสูงหรือสูงแล้วเริ่มเป็นประเทศพัฒนาแล้ว และเริ่มจะเป็นประเทศผู้ให้เทคโนโลยีแล้ว จะเริ่มยกเลิกนโยบายนี้ลงไปเรื่อย ๆ เช่น สิงคโปร์ ออสเตรเลีย สาธารณรัฐเช็ก หรือเกือบทุกประเทศในยุโรปตะวันตก (แต่หากย้อนประวัติศาสตร์ไป ประเทศเหล่านี้ใช้นโยบายออฟเซตเพื่อรับเทคโนโลยีจากบริษัทต่างชาติทั้งสิ้น) เมื่อประเทศเหล่านี้เริ่มเป็นผู้ให้เทคโนโลยีบ้างเป็นธรรมดาที่ต้องหาทางหลีกเลี่ยงการบังคับใช้นโยบายออฟเซตที่บังคับใช้มาจากประเทศที่เป็นลูกค้าในอนาคต เพราะพวกเขาตระหนักดีว่าถ้าจะมาถึงวันที่เป็นประเทศที่มีขีดความสามารถระดับสูงแล้ว พวกเขามีต้นทุนที่มากเกินไปที่จะเสนอทางลัดให้กับประเทศอื่น ๆ นอกจากนี้ องค์การระดับเหนือรัฐ เช่น องค์การการค้าโลก หรือสหภาพยุโรป ได้วางข้อกำหนดให้ประเทศเหล่านี้ทำการยกเลิกนโยบายออฟเซตอีกด้วย ทั้งนี้ยังไม่ปรากฏข้อมูลว่าประเทศกำลังพัฒนาประเทศใดได้ทำการยกเลิกนโยบายดังกล่าวไปแล้ว

นโยบายออฟเซตยังมีสิ่งที่จะต้องพึงระวังหลักอยู่สามประการ ประการที่หนึ่ง นโยบายออฟเซตอาจนำไปสู่หนทางแห่งการทุจริตคอร์รัปชันได้หลากหลายแนวทาง เช่น การนัดแนะส่งข้อมูลกันระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายบางรายการทำให้เกิดค่าใช้จ่ายวงเงินงบประมาณที่มากกว่าปกติ (Price Premium) ที่บางครั้งไม่สะท้อนค่าใช้จ่ายที่แท้จริง เนื่องจาก

ยุทธโศปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงเป็นสินค้าเฉพาะอย่างที่ทำให้การเปรียบเทียบราคากลางได้ลำบาก โดยเฉพาะเมื่อเข้าโครงการออฟเซตแล้วจะเป็นโครงการด้านการทหารที่มัก จะได้รับการปิดเป็นความลับทางราชการที่ทำให้ยากแก่การ ตรวจสอบถ่วงดุล ประการที่สอง นโยบายออฟเซตต้องผ่านการลองผิดลองถูกอย่างจำเป็นในช่วงแรกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อเวลาผ่านไปจึงค่อยปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับคุณลักษณะและแนวโน้มการจัดหาเฉพาะตัวของประเทศนั้น ๆ ด้วย โดยมาตรการรองรับประเด็นนี้คือ เมื่อมีโครงการขนาดใหญ่ที่เข้าออฟเซตจะต้องใช้กระบวนการจัดหาแบบ E-bidding ให้เปิดเผยสู่สาธารณะและกำหนดให้วางขอบเขตงาน TOR ไว้ในเว็บไซต์ที่สาธารณะเข้าถึงได้ หรือใส่ไว้ใน cloud ให้ประชาชนเสนอแนะแก้ไขเพิ่มเติมได้ตั้งแต่ต้น พร้อมจัดให้มีการทำประชาพิจารณ์อย่างกว้างขวาง จัดให้มีการประชุมวิชาการเพื่อให้เกิดเวทีการระดมความคิดเห็นทางวิชาการ โดยเฉพาะการให้ความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Expert opinion) จากการจัดให้มี Focus group ในขั้นต้น อาจจะดูเหมือนเป็นการเพิ่มขึ้นตอน การปฏิบัติ แต่หาก Offset threshold มีมูลค่าที่สูง โครงการที่จะต้องทำออฟเซตจริง ๆ จะเป็นเฉพาะโครงการขนาดใหญ่ที่มีมูลค่าหลายพันล้านเท่านั้น จำนวนโครงการที่ต้องเข้าขาย จึงมีจำนวนไม่มากนัก

จะเห็นว่า ในกรณีศึกษาของประเทศตัวอย่างสามประเทศนั้น ได้มีการเปลี่ยนแปลงและทบทวนนโยบาย อยู่บ่อยครั้ง โดยเฉลี่ย 2-3 ปี ต่อครั้ง หรือมากกว่านั้น ทำให้มีความผันผวนที่สูงและนำมาซึ่งความสับสนแก่ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายได้ ประการที่สาม แรงต่อต้านจากการใช้นโยบาย ดังกล่าว นับเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก เพราะนโยบาย ออฟเซตเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างราคาและกระบวนการจัดหาของสินค้า ทำให้ผู้ได้รับความสะดวกหรือผลประโยชน์แอบแฝงอยู่เดิมได้รับผลกระทบอยู่บ้าง จึงควรมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป และยืนยันผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจของประเทศที่มาจากเงินภาษีของประชาชน มาก่อน ในเมื่อองค์การการค้าโลกได้เปิดช่องทางให้กับประเทศกำลังพัฒนาสามารถกระทำได้แล้ว นโยบายออฟเซต

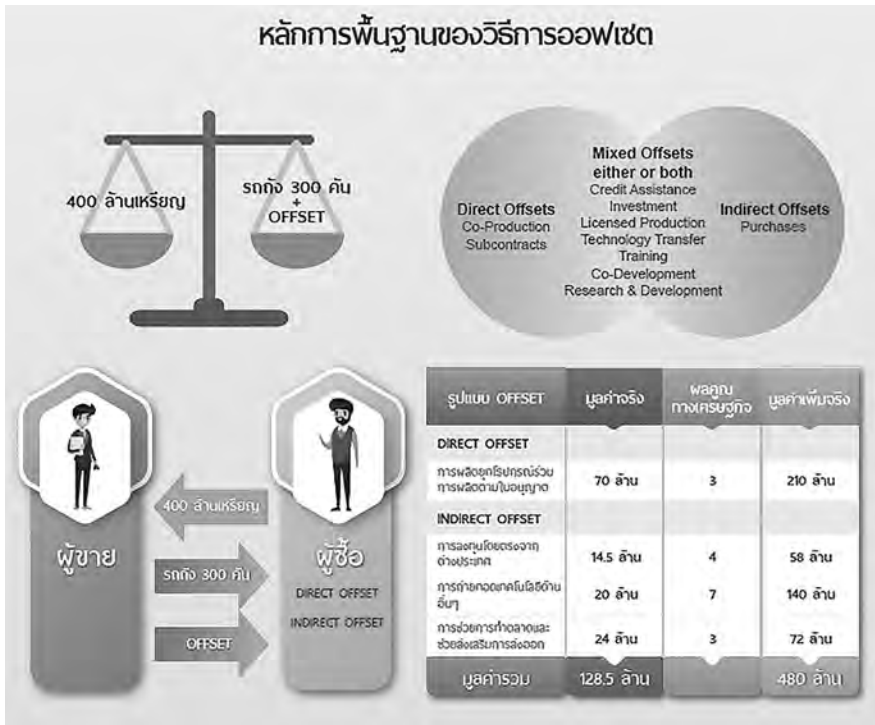
จึงควรเป็นนโยบายที่รัฐบาลต้องให้ความสำคัญและศึกษา แนวทางปฏิบัติที่ดี หรือ Best Practice มาก่อนอย่างละเอียดรอบคอบ

3.1.2 องค์ประกอบของนโยบายออฟเซต

นโยบายออฟเซต แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่การออฟเซตโดยตรง (Direct Offset) และการออฟเซตโดยอ้อม (Indirect Offset) การออฟเซตโดยตรง คือการออฟเซตที่เกี่ยวข้องกับยุทธโศปกรณ์โดยตรงในสัญญานั้น ๆ เช่น การเข้ามาลงทุนเพื่อเปิดสายการผลิตยุทธโศปกรณ์หรือชิ้นส่วนของยุทธโศปกรณ์ การผลิตร่วมกันหรือผลิตตามใบอนุญาตการขายสิทธิบัตร หรือใบอนุญาตการถ่ายทอดเทคโนโลยี เป็นต้น ส่วนการออฟเซตโดยอ้อม คือ การออฟเซตที่ไม่เกี่ยวข้องกับยุทธโศปกรณ์นั้น ๆ แต่เป็นการช่วยเหลือส่งเสริมด้านอื่น ๆ เช่น การให้คำปรึกษา การวิจัยร่วม การให้งบประมาณช่วยเหลือด้านการศึกษา อบรม ทุน การฝึกใช้งาน และการซ่อมบำรุง เป็นต้น

ทั้งนี้ ออฟเซตโดยตรง และ ออฟเซตโดยอ้อม ไม่ได้แยกจากกันโดยเด็ดขาด ยังมีส่วนซ้อนทับกันอยู่บ้าง และการออฟเซตในครั้งหนึ่ง ๆ อาจมีทั้งสองอย่างอยู่ในสัญญาเดียวกันด้วยก็ได้ เพื่อตอบสนองผลประโยชน์ทางทหารและพลเรือนไปพร้อม ๆ กันในคราวเดียว

ประเทศต่าง ๆ ที่ได้รับเอานโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศมาใช้ ส่วนใหญ่เป็นประเทศที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและมีลักษณะทางเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีบางประการใกล้เคียงกับประเทศพัฒนาแล้ว หรือเรียกในทางเศรษฐศาสตร์ว่าเป็นประเทศตลาดเกิดใหม่ (Emerging Markets) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในภูมิภาคยุโรป เช่น ประเทศเยอรมนี นับเป็นประเทศที่ใช้นโยบายนี้ทั้งสองด้าน คือ เป็นทั้งผู้ให้และรับออฟเซตในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีประเทศ อิตาลี กรีซ โปแลนด์ นอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์ และตุรกีด้วย สำหรับตัวอย่างประเทศในภูมิภาคเอเชีย ได้แก่ ประเทศเกาหลีใต้ อินเดีย อินโดนีเซีย ไต้หวัน และซาอุดีอาระเบีย



ภาพที่ 1 หลักการพื้นฐานของวิธีการออฟเซต

ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างหนึ่งที่ประเทศผู้ซื้อเรียกร้องออฟเซตจากประเทศผู้ขายจำนวน 120% ส่งผลให้ประเทศผู้ขายมีพันธผูกพันในการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพิ่มเติมจากการจัดหาถึงจำนวน 300 คัน มูลค่ารวม 400 ล้านดอลลาร์ต่อไป

1. การออฟเซตทางตรง (Direct Offset) ด้วยการผลิตรายการร่วม มูลค่าจริง 70 ล้านดอลลาร์ทำการลงทุนได้รับผลคูณทางเศรษฐกิจ (Multipliers) อยู่ที่ 3 เท่า เกิดมูลค่าเพิ่มจริง 210 ล้านดอลลาร์

2. การออฟเซตทางอ้อม (Indirect Offset) ด้วยการลงทุนโดยตรงจากต่างประเทศ (มูลค่าจริง 14.5 ล้านดอลลาร์ได้รับผลคูณทางเศรษฐกิจอยู่ที่ 4 เท่า เกิดมูลค่าเพิ่มจริง 58 ล้านดอลลาร์) การถ่ายทอดเทคโนโลยี (มูลค่าจริง 20 ล้านดอลลาร์ได้รับผลคูณทางเศรษฐกิจ อยู่ที่ 7 เท่า เกิดมูลค่าเพิ่มจริง 140 ล้านดอลลาร์) การตลาดและการส่งเสริมการส่งออก (มูลค่าจริง 24 ล้านดอลลาร์ได้รับผลคูณทางเศรษฐกิจอยู่ที่ 3 เท่า เกิดมูลค่าเพิ่มจริง 72

ล้านดอลลาร์) รวมมูลค่าเพิ่มจริงทั้งสิ้น 480 ล้านดอลลาร์

สรุปได้ว่า เมื่อทำการเรียกร้องออฟเซตแล้ว ผู้ขายมีเงื่อนไขผูกพันที่จะต้องสนับสนุนเศรษฐกิจที่อยู่ภายในประเทศผู้ซื้อร้อยละ 20 เพิ่มเติมจากมูลค่าสัญญาการจ่ายจริง 400 ล้านดอลลาร์จะไม่ทำให้หมดไปกับการจัดหายุทธโปกรณ์เพียงอย่างเดียว แต่จะทำให้ได้มูลค่าส่วนต่างเพิ่มขึ้น เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจเพิ่มเติมแก่ประเทศผู้ซื้ออีก 80 ล้านดอลลาร์ด้วย

3.2 นโยบายออฟเซตของประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และเกาหลีใต้

3.2.1 ประเทศมาเลเซีย

3.2.1.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบ

ฝ่ายอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม มาเลเซีย หรือ Defence Industry Division, Ministry of Defence, Malaysia เป็นหน่วยงานภาครัฐที่ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการนโยบายออฟเซตในส่วนของกระทรวง

กลาโหม และศูนย์รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Depository Agency - TDA) สังกัดกระทรวงการคลัง มีหน้าที่ในการบริหารจัดการนโยบายที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีมูลค่าสูงและการจัดหาทางทหารที่มีผลกระทบทางยุทธศาสตร์ที่มีมูลค่ามากกว่า 50 ล้านบาทขึ้นไป โดยปฏิบัติงานร่วมกับกระทรวงที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่ในการรวบรวมเทคโนโลยีที่ต้องการและนำเข้าปรึกษากับหน่วยงานบริหารจัดการออฟเซต (Offset Management Unit) เพื่อให้แน่ใจว่าการจัดหาทางทหารนั้นจะต้องตอบสนองต่อการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศและสนับสนุนการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจบนรากฐานของการวิจัยการตลาด รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในการเป็นผู้ครอบครองเทคโนโลยีที่ต้องการผ่านการจัดหาที่จะต้องใช้ออฟเซตด้วย

3.2.1.2 จุดมุ่งหมาย

เกิดองค์ความรู้ใหม่ผ่านการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อยกระดับมาตรฐานสินค้า สร้างอำนาจต่อรองทางเศรษฐกิจ ผ่านการสร้างแรงจูงใจให้บริษัทผลิอาวุธเข้ามาลงทุน ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของเอกชน ใช้งานที่ต้องอาศัยทักษะแรงงานขั้นสูง และพัฒนาทรัพยากรบุคคลให้มีความสามารถในการซึมซับเทคโนโลยีเพื่อผันทรัพยากรภาคพลเรือน เช่น ยางพารา พลังงานทดแทนจากปาล์มน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ไปสู่การผลิตทางการทหาร [9]

3.2.1.3 การกำหนดตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์

รัฐบาลลงนามเห็นชอบใช้ชื่อโครงการว่า โครงการความร่วมมืออุตสาหกรรมแห่งชาติ หรือ ICP (Industrial Collaboration Program) มีการกำหนดค่าตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์ดังนี้ การลงทุนตราสาร คุณ 5X, การลงทุนในโครงการ คุณ 3X, โครงการการศึกษา คุณ 4X, การถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการวิจัยพัฒนาและการพัฒนาให้เกิดผลทางพาณิชย์ คุณ 4X

3.2.2. ประเทศอินโดนีเซีย

3.2.2.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบ

กรมนโยบายอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม (KKIP) โดยร่วมมือกับกระทรวงอุตสาหกรรมในการกำหนดนโยบายออฟเซตด้านการทหารของประเทศ กำกับ

ดูแลการจัดหายุทธโธปกรณ์ การวิจัย พัฒนา และการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยร่วมมือกับกระทรวงอุตสาหกรรม และกระทรวงการคลังในการกำหนดนโยบายเศรษฐกิจมหภาคของประเทศ

3.2.2.2 จุดมุ่งหมาย

สร้างความมั่นคงทางทหาร เศรษฐกิจ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ขับเคลื่อนการถ่ายทอดเทคโนโลยีป้องกันประเทศจากประเทศที่พัฒนาแล้วมาสู่ภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศ ลดการนำเข้าและการพึ่งพิงต่างชาติ เป็นส่วนหนึ่งของนโยบายการป้องกันประเทศที่เรียกว่า “Minimum Essential Force” [10] หรือขีดความสามารถที่วางอยู่บนรากฐานระดับกองกำลังที่สามารถรับประกันผลประโยชน์ทางการทหารระดับยุทธศาสตร์อย่างทันทั่วทั้งที่ โดยลำดับความเร่งด่วนของการจัดหาอาวุธนั้นมีเพื่อการพัฒนาความเข้มแข็งทางทหารที่จำเป็น คล่องตัว และกะทัดรัดที่สุด รวมไปถึงการปลดประจำการยุทธภัณฑ์อื่น ๆ ที่ใช้ไม่ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพออกไป

3.2.2.3 การกำหนดตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์

ในด้านตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์นั้น ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ พลเรือตรี Rahmad Lubis ผู้อำนวยการกองนโยบายอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม อินโดนีเซีย (KKIP) ท่านกล่าวว่า ตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญสำหรับคณะกรรมการคัดเลือกในกฎหมายลูกจะใส่ตัวคูณที่ 3X และ 2X กับเทคโนโลยีทางยุทธศาสตร์ที่ต้องการจะพัฒนาในอินโดนีเซีย นอกจากนี้ในการคำนวณจะใส่ตัวคูณให้บริษัทข้ามชาติที่สามารถสนับสนุนอุตสาหกรรมของอินโดนีเซียให้เข้าสู่สายโซ่อุปทานระดับโลกได้ ในแง่ของเทคโนโลยีทางยุทธศาสตร์นั้น คือองค์ประกอบที่สำคัญเป็นพิเศษ โดยเฉพาะในการบังคับใช้ความร่วมมือทางด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศผ่านออฟเซตด้วย โดยเฉพาะเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และยานรบใด ๆ ที่รัฐบาลให้ความสำคัญว่าตอบสนองภารกิจด้านความมั่นคงของประเทศ และมีความต้องการที่จะบรรลุการพึ่งพาตนเองทางอุตสาหกรรมที่จะได้ระดับสูงขึ้นเพื่ออธิบายให้ชัดเจนขึ้น ทาง KKIP ได้จัดทำแผนผังกำหนดการคำนวณตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางมา

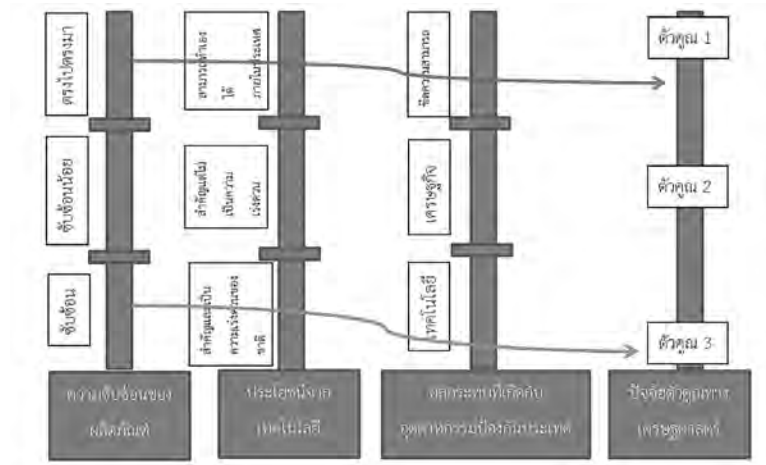
ดังภาพที่ 2

การกำหนดตัวคุณทางเศรษฐศาสตร์จะใช้ค่าเฉลี่ยจากเกณฑ์พิจารณาข้างต้นว่ามีขีดความสามารถมากน้อยเพียงใด ตัวอย่างที่ 1 เส้นสีแดง คือโครงการออฟเซตเทคโนโลยีการผลิตกระสุนปืนเล็กยาว เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน สามารถผลิตได้เองในประเทศและเกิดผลกระทบทางเทคโนโลยีน้อย จึงได้ตัวคุณ 1 ส่วนเส้นสีเขียว คือโครงการออฟเซตเทคโนโลยีนำวิถีจรวดขนาด 122 มม. เป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนมาก มีความสำคัญเป็นความเร่งด่วนของชาติเกิดผลกระทบต่อดูตาหารมป้องกัน

3.2.3 ประเภทเกาหลีใต้

3.2.3.1 หน่วยงานที่รับผิดชอบ

หน่วยงานที่รับผิดชอบ คือ องค์การโครงการจัดหา ยุทธโธปกรณ์ทางทหาร (Defence Acquisition Program Administration - DAPA) [10] สังกัดกระทรวงกลาโหม และสภาพพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ DAPA เป็นหน่วยงานที่จัดตั้งขึ้นในปี 2006 ในรัฐบาลของ Roh Moo-hyun ตาม Defence Reform 2020 มีวัตถุประสงค์เพื่อรวมศูนย์อำนาจการตัดสินใจในการจัดหาทางทหาร เพิ่มประสิทธิภาพและการตรวจสอบได้ของการจัดหาทางทหาร



ภาพที่ 2 แนวทางการกำหนดตัวคุณทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการออฟเซตอินโดนีเซีย

ประเทศอย่างใหญ่หลวงจึงได้ตัวคุณ 3 จะเห็นได้ว่า นโยบายออฟเซตจะให้ความสำคัญกับสิ่งที่มีความสำคัญกับเทคโนโลยียุทธศาสตร์ก่อนผ่านการให้ตัวคุณทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้บรรลุออฟเซตได้ง่ายขึ้นโดยจะได้นำตัวคุณทางเศรษฐศาสตร์มาคูณกับมูลค่าในโครงการออฟเซตย่อยแต่ละโครงการแล้วออกมาเป็นมูลค่าออฟเซตรวม และเป็นสิ่งจูงใจหรือกลไกที่ส่งเสริมให้ต่างชาติถ่ายทอดเทคโนโลยีขั้นสูงให้กับอินโดนีเซียมากกว่าเทคโนโลยีขั้นต่ำ

ลดอำนาจการตัดสินใจของกองทัพ เนื่องจากเดิมแต่ละเหล่าทัพมีหน่วยงานจัดหาที่อิสระไม่ขึ้นต่อกันและกระทรวงกลาโหมทำหน้าที่กำกับดูแลด้านการบริหารราชการทั่วไป DAPA มีการกิจหลักในการบริหารการจัดหาทางทหารจากทั้งในและต่างประเทศ ทั้งทางด้านแบ่งสรรงบประมาณ การเจรจา การวิเคราะห์ราคา การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตภายในประเทศ สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศและนโยบายการออฟเซต ส่วนเหล่าทัพมีหน้าที่ในการฝึกและเตรียมกำลังรบเป็นหลัก

โดยมี ADD หรือ Agency for Defence Development เป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการวิจัยและพัฒนา DAPA มีหน้าที่ในการบริหารจัดการทั้งโครงการวิจัยและความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในด้านงบประมาณ การค้าระหว่างประเทศ การวิเคราะห์ราคาการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยรวมศูนย์อำนาจการตัดสินใจการจัดหาทางทหาร เพิ่มประสิทธิภาพและการตรวจสอบได้ของการจัดหาทางทหาร ADD เป็นหน่วยงานที่จัดตั้งในสมัยประธานาธิบดี Park Chung-hee ทำหน้าที่และมีวิวัฒนาการคล้ายกับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศของไทย กล่าวคือ เดิมทีเป็นหน่วยงานในการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงกลาโหม และในสมัยยุคก่อตั้ง (ค.ศ. 1972) ได้รับมอบหมายภารกิจให้ทำการวิจัยและพัฒนาจรวดพิสัยไกลและจรวดพื้นสู่พื้นพิสัยไกล โดยวิธีการวิศวกรรมย้อนกลับจากจรวดของสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1978 วิจัยพัฒนาจรวด NHK-1 และ NHK-2 ได้เป็นผลสำเร็จในฐานะที่เป็นโครงการหลัก จนกระทั่งมีการจัดตั้ง DAPA ขึ้นในปี 2006 เป็นหน่วยหนึ่งของ ADD ในขณะที่ ADD ยังเป็นหน่วยงานวิจัยและพัฒนาหลักเหมือนเดิมและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจาก DAPA รวมศูนย์อำนาจการตัดสินใจด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศด้านการวิจัยและการจัดซื้ออยู่ด้วยกัน

3.2.3.2 จุดมุ่งหมาย

เพื่อทำการวิจัยและพัฒนาความร่วมมือระหว่างประเทศ เพื่อกองทัพที่ทันสมัยและการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน นำไปสู่การส่งออกเพื่อการสร้างรายได้ เช่น การจัดหามอไซด์อะไหล่ บริการซ่อมอากาศยานรุ่นเก่า การจัดหาปืนใหญ่อัตตาจร เครื่องบินสำหรับฝึกและรถถังไปยังตุรกี การขยายตลาดอาวุธมายังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนี้เกาหลีได้ยังขยายตลาดไปยังอินเดียที่จัดหาเรือทอแทนเรือเก่าของโซเวียต หรือประเทศในแถบอเมริกาใต้ที่แสวงหายุทโธปกรณ์ราคาต่ำกว่าสหรัฐอเมริกา เช่น เปรู บราซิล โคลัมเบีย เป็นต้น ส่วนบริบทภายในประเทศนั้น เป็นการสร้างความร่วมมือภาคการทหารและภาคพลเรือน เชื่อมโยงระดับเทคโนโลยีขั้นสูงและความเจริญทางเศรษฐกิจของภาคพลเรือนสู่ภาคอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

3.2.3.3 การกำหนดตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์

กำหนด multipliers มากที่สุดในแต่ละกรณีเป็นดังนี้

- เทคโนโลยีหลัก (Core Technology) : 2X
- เทคโนโลยีการผลิตและการส่งออก: 2X สำหรับ SMEs และ 1.5 สำหรับอื่น ๆ
- การถ่ายทอดเทคโนโลยียุทธโธปกรณ์โดยตรง: 3X

เนื่องจาก DAPA เน้นให้ความสำคัญเรื่องนี้มากที่สุด แม้ว่าถ่ายทอดเทคโนโลยีดูเหมือนจะมีตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดและเป็นที่ต้องการมากที่สุด DAPA ยังต้องการให้เกิดตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์ในด้านเทคโนโลยีการผลิตและการส่งออกด้วย เพราะง่ายต่อการตีราคาเป็นตัวเงิน จากการปรับครั้งล่าสุดให้ตัวคูณเพียง 2X และ 3X นี้มีเสียงสะท้อนจากผู้ให้ออฟเซตว่า ต้องการให้ DAPA กลับมาให้ตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์อยู่ที่ 6X เหมือนในอดีต แต่การคำนวณกล่าวดังกล่าว DAPA เห็นว่าดูจะไม่เป็นธรรม เพราะตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์ที่ 6X มันเคยมาพร้อมกับมูลค่าเพดานของการจัดหาที่สูงกว่า 50% (70% สำหรับสหรัฐอเมริกา และ 100% สำหรับยุโรป) แต่ตั้งแต่ปี 1990 ได้ลดเพดานการจัดหาลงเหลือกำหนดให้มูลค่าออฟเซตต้องมีไม่ต่ำกว่า 30% DAPA จึงยืนยันว่าตัวเลขนี้ยุติธรรมดีแล้ว และล่าสุดตั้งแต่ปี 2009 DAPA ได้ปรับเป็น 50% โดยกฎเกณฑ์ตัวคูณทางเศรษฐศาสตร์ยังคงเดิม

4. บทวิเคราะห์เพื่อวางแนวทางไปสู่การวางนโยบายและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

4.1 การวิเคราะห์หน่วยงานที่รับผิดชอบนโยบายออฟเซต

จากประเทศตัวอย่างจะพบว่าทุกประเทศมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการรับผิดชอบนโยบายออฟเซตโดยตรง ทั้งสามประเทศมีรายละเอียดและประสบการณ์ที่คล้ายคลึงกันบ้าง แตกต่างกันบ้าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 1 วิเคราะห์หน่วยงานที่รับผิดชอบนโยบายออฟเซต

	TDA มาเลเซีย	KKIP อินโดนีเซีย	DAPA เกาหลีใต้
ก่อตั้งในปี	2002	2011	2006
ผู้บริหารสูงสุด	CEO of TDA	ประธานาธิบดี	รัฐมนตรี DAPA
รูปแบบองค์กร	องค์การมหาชน	ส่วนราชการ	ส่วนราชการ
สังกัดกระทรวง	กระทรวงการคลัง	กระทรวงกลาโหม	กระทรวงกลาโหม
ภาคอุตสาหกรรม	ทั้งทหารและพลเรือน	ทางทหารเท่านั้น	ทางทหารเท่านั้น
โครงการที่โดดเด่น	เครื่องยนต์ Rolls-Royce (Trent-900)	โครงการเรือดำน้ำ Type 209/1400	โครงการเครื่องบิน T-50 และเรือดำน้ำชั้น Chang-Bogo
ประเทศผู้ให้เทคโนโลยีหลัก	รัสเซีย ตุรกี อังกฤษ โปแลนด์	รัสเซีย เกาหลีใต้ จีน	สหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ตามด้วยฝรั่งเศสและเยอรมนีในสัดส่วนที่น้อยกว่ามาก
ภารกิจหน้าที่หลัก	บริหารโครงการออฟเซตให้เป็นไปตามลำดับความเร่งด่วน	ออกนโยบาย กำหนดมาตรการ และบริหารโครงการออฟเซต	บริหารความต้องการ ยุทธโศภรณ์จาก เสนอวิธีการทหารร่วม และบริหารการจัดหาทั้งหมด (Make (with R&D) or Buy (with offset))
จุดอ่อนแหลมและความเสี่ยง	- เจ้าหน้าที่มีประสบการณ์การบริหารโครงการที่จำกัด - สเกลการสั่งซื้อสินค้าที่ต่ำทำให้ได้ออฟเซตไม่เป็นไปตามความคาดหวัง	- ขีดความสามารถการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีขั้นสูงอาจมีไม่เพียงพอ - ขีดความสามารถอยู่กับภาครัฐวิสาหกิจเป็นส่วนใหญ่ ยังไม่ได้ไปสู่อุตสาหกรรมเอกชน	อาจประสบปัญหาการส่งออกเนื่องจากประเทศที่ซื้ออาวุธต่างต้องการออฟเซตจากเกาหลีใต้เกือบทั้งนั้นแต่เกาหลีใต้ไม่ได้ครอบครองเทคโนโลยีทุกรายการในยุทธโศภรณ์นั้น โดยเฉพาะเทคโนโลยีขั้นสูงจากสหรัฐอเมริกา ซึ่งเกาหลีใต้ไม่สามารถให้ออฟเซตได้ เรียกว่าเกิด export block ขึ้น

เราสามารถเรียนรู้ได้ว่าแต่ละประเทศมีบริบทขีดความสามารถ และตำแหน่งแห่งที่ หรือการ “เลือกค่าย” ทางความสัมพันธ์ระหว่างประเทศที่แตกต่างกัน แต่จุดร่วมของทั้งสามประเทศอยู่ที่ว่าประเทศทั้งหมดเลือกที่จะใช้นโยบายออฟเซตมาเป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อนฐานอุตสาหกรรมอาวุธของประเทศที่สำคัญ และไม่ว่าจะมีหน่วยงานที่รับผิดชอบนโยบายออฟเซตเหล่านี้หรือไม่ ทั้งสามประเทศนั้นมีบันทึกที่ชัดเจนว่าการใช้ออฟเซตได้มีการดำเนินการมาก่อนหน้านี้อยู่เป็นระยะเวลานานแล้ว กล่าวอีกอย่างคือ หน่วยงานที่รับผิดชอบนโยบายออฟเซตไม่ใช่จุดเริ่มต้นของการมีออฟเซต แต่เป็นจุดเปลี่ยนที่ทำให้การกำกับดูแลการทำงานของออฟเซตเป็นไปด้วยความโปร่งใส ช่วยให้การดำเนินนโยบายออฟเซตมีความเป็นทางการ มีประสิทธิภาพ มีตัวชี้วัดที่อธิบายและติดตามความก้าวหน้าได้ มีระบบงานที่เป็นรูปแบบชัดเจน มีขั้นตอนกฎเกณฑ์ การคำนวณมูลค่าออฟเซตและเทคโนโลยีที่เป็นไปตามกฎหมาย มีความชัดเจนแน่นอน และกำกับดูแลการปฏิบัติได้อย่างทั่วถึง ตรวจสอบได้ และสามารถอธิบายกับภาครัฐและบริษัทต่างชาติได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนโยบายออฟเซตของเกาหลีใต้ได้แสดงให้เห็นถึงโลกธุรกิจด้านการซื้อขายอาวุธเห็นว่า สิ่งนี้สามารถทำให้สำเร็จได้ จนนโยบายออฟเซตของเกาหลีใต้เป็นตัวแบบที่ทั่วโลกจับตามองและประเทศอื่น ๆ ทำการศึกษาอย่างจริงจัง สำหรับประเทศไทย หากรัฐบาลเห็นว่าการทำออฟเซตด้านการทหารเป็นลำดับความเร่งด่วน หน่วยงานที่สมควรจะทำหน้าที่ในการบริหารจัดการออฟเซตควรที่จะริเริ่มดำเนินการที่สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม เนื่องจากหน่วยงานนี้มีงบประมาณในการจัดซื้อยุทโธปกรณ์ที่ไม่มากนัก ประกอบกับบุคลากรมีความพร้อมทางวิชาการ มีโครงสร้างพื้นฐานพร้อมต่อการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี หน่วยงานมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์และประเมินเทคโนโลยีทางทหาร ซึ่งจะนำไปสู่การคำนวณมูลค่าออฟเซตในโครงการ โดยสมควรจะดำเนินการที่ทดลองการใช้นโยบายออฟเซตด้านการทหารของประเทศในสเกลระดับเล็กก่อน โดยที่ประเทศไทยยังไม่จำเป็นต้องสร้างสำนักงานหรือหน่วยงานขึ้นมาใหม่

หรือหากจะทำการริเริ่มโครงการออฟเซตที่ภาคเทคโนโลยีด้านพลเรือนด้วย สมควรจะต้องให้สำนักงาน

คณะกรรมการนโยบายรัฐวิสาหกิจ กระทรวงการคลัง เข้าดำเนินการด้วยทั้งภาคพลเรือนและภาคการทหาร ตัวแบบนี้จะคล้ายนโยบายออฟเซตของมาเลเซียที่รัฐบาลมอบหมายให้สำนักงานรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี กระทรวงการคลัง (Technology Depository Agency - TDA), Ministry of Finance ดำเนินการเช่นกัน โดยเชิญตัวแทนจากกระทรวงที่เกี่ยวข้องเข้าร่วมทำงานด้วย ดังเช่นหน่วยงาน KKIP ของอินโดนีเซีย จะเห็นว่า KKIP มีเจ้าหน้าที่จากกระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงการวิจัย เทคโนโลยีและการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และวัฒนธรรม กระทรวงสื่อสารและสารสนเทศ กระทรวงการคลัง กระทรวงแผนพัฒนาแห่งชาติ ประธานองค์การวางแผนการพัฒนาแห่งชาติกระทรวงการต่างประเทศ ผู้บัญชาการทหารสูงสุด ผู้บัญชาการเหล่าทัพทั้ง 3 เหล่าทัพ ซึ่งมีการจัดหน่วยราชการคล้ายคลึงกับประเทศไทย

4.2 การวิเคราะห์รายละเอียดนโยบายออฟเซต

จากการศึกษาประเทศกรณีศึกษา นักวิจัยพบว่า กระบวนการดำเนินโครงการออฟเซต มีความใกล้เคียงกันมาก สามารถบ่งชี้ได้ว่า ประเทศไทยสามารถนำกระบวนการดำเนินโครงการที่มีอยู่มาใช้ได้ทันที โดยกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด สมควรจะเป็นของเกาหลีใต้ ผสมผสานกับอินโดนีเซีย ลักษณะร่วมของทั้งสองประเทศคือ การเน้นออฟเซตด้านการทหารเป็นหลัก ประเทศไทยเหมาะสมแก่การเริ่มต้นด้วยตัวแบบจากเกาหลีใต้ที่ใช้การใช้ DAPA เป็นหน่วยรวมศูนย์กลางการตัดสินใจเชิงนโยบายทั้งทางด้านการจัดหา การวิจัยและพัฒนา การรับรองมาตรฐาน และการทำออฟเซต มีการคำนวณมูลค่าออฟเซตที่ชัดเจนแน่นอน ส่วนอินโดนีเซียนั้นนโยบายออฟเซตมีความยืดหยุ่น ไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย และรัฐวิสาหกิจมีเครือข่ายความร่วมมือระหว่างประเทศที่กว้างขวางทั่วโลก โครงการออฟเซตได้มีองค์ประกอบการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น การกำหนดเพดานมูลค่าออฟเซต (ที่กำหนดว่ามูลค่าการจัดซื้อจัดจ้างเกินกว่าเท่าใดจึงจะต้องทำออฟเซต) สัดส่วนมูลค่าออฟเซตต้องประมาณโครงการ (ที่กำหนดว่ามูลค่าออฟเซตจะต้องเป็นร้อยละเท่าใดของมูลค่าโครงการ) และมีบัญญัติบทลงโทษหากออฟเซตไม่ได้รับการดำเนินการตามสัญญา (Penalty) ที่คล้ายคลึงกัน

ในส่วนของการคำนวณค่าออฟเซตนั้น มาเลเซียและอินโดนีเซีย ไม่มีรายละเอียด แต่กำหนดจากการตั้งราคาจากผู้ให้ออฟเซตเป็นหลัก แต่เกาหลีใต้จะมีสูตรคำนวณมูลค่าออฟเซตอย่างสมบูรณ์มากกว่าด้วยการคำนวณค่าออฟเซตแบบการคิดเป็นต้นทุน โดยรวมแล้ว ในแง่

รายละเอียดและความชัดเจน อินโดนีเซียจะมีความสมบูรณ์น้อยที่สุด เกาหลีใต้สมบูรณ์มากที่สุด ดังที่นำเสนอในตารางที่ 2 โดยจะนำเสนอมูลค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทยไว้ด้วย ดังตารางที่ 2 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของนโยบายออฟเซต

ค่าพารามิเตอร์	มาเลเซีย	อินโดนีเซีย	เกาหลีใต้	ประเทศไทย (พร้อมเหตุผล)
การกำหนดเพดานมูลค่าออฟเซต	50 ล้านริงกิต หรือ 12,067,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ สำหรับออฟเซตรวมกับการค้าต่างตอบแทน และ 100 ล้านริงกิต หรือ 24,135,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ สำหรับโครงการพัฒนาเศรษฐกิจ	ไม่มีการกำหนดหมายความว่า ไม่ว่าราคา ยุทธูปกรณ์ ในสัญญา จะเป็นเท่าใด ต้องมีออฟเซตเท่านั้น	11,185,200,000 วอนเกาหลีใต้ หรือ 10 ล้าน ดอลลาร์สหรัฐฯ	ในช่วง 5 ปีแรก สมควรจะกำหนดอยู่ที่ 1,000 ล้านบาทก่อน ถึงแม้จะเป็นตัวเลขที่สูง แต่จะส่งผลให้มีโครงการที่เข้าข่ายบังคับใช้กฎหมายจำนวนน้อยรายการ หลังจากเริ่มเรียนรู้และเชี่ยวชาญกับนโยบายนี้แล้วจึงค่อยลดเพดานมูลค่าออฟเซตลงมา ให้จำนวนโครงการมากขึ้น เกิดการใช้ในวงกว้างขึ้น มากกว่าภาคการทหาร ตามลำดับ
สัดส่วนมูลค่าออฟเซตต่องบประมาณโครงการ	100% ของมูลค่าสัญญาการจัดหาหลัก	85% ของมูลค่าสัญญาการจัดหาหลัก	50% ของมูลค่าสัญญาการจัดหาหลัก	ในช่วง 5 ปีแรก สมควรจะกำหนดอยู่ที่ 20% ของมูลค่าโครงการ ถึงแม้จะมีค่าน้อยในช่วงแรก แต่เมื่อเริ่มมีความเชี่ยวชาญมากขึ้นจึงค่อยเพิ่มเป็น 50% ภายใน 10 ปี
การคำนวณค่าออฟเซต	ไม่มีรายละเอียด คาดว่าอยู่ที่การตั้งราคาจากผู้ให้ออฟเซต	ไม่มีรายละเอียด คาดว่าอยู่ที่การตั้งราคาจากผู้ให้ออฟเซต	ใช้การคำนวณค่าออฟเซตแบบการคิดเป็นต้นทุน	ใช้การคำนวณค่าออฟเซตแบบการคิดเป็นต้นทุนแบบเกาหลีใต้ เพราะมีความเป็นกลางแน่นอน และสามารถจัดทำตัวชี้วัดที่ชัดเจนในเชิงปริมาณได้

ค่าพารามิเตอร์	มาเลเซีย	อินโดนีเซีย	เกาหลีใต้	ประเทศไทย (พร้อมเหตุผล)
องค์ประกอบ ของค่าออฟเซต	Economic Enhancement Program, Offset, Countertrade	Countertrade, Offset, Local Content โดยที่ Offset ต้อง ไม่น้อยกว่า 35%	ออฟเซต อย่างเดียวเท่านั้น	สมควรใช้ตามแบบของ อินโดนีเซีย เพราะมีช่องทาง ในการเติมเต็มความต้องการ ออฟเซต (offset requirement) ที่จะเกิดผลดี แก่เศรษฐกิจโดยภาพรวม โดยเฉพาะด้านเกษตรกรรม
บทลงโทษ	ร้อยละ 5 ของมูลค่าสัญญา การจัดหาหลัก	ไม่มีการกำหนด	ร้อยละ10 ของ ส่วนที่ไม่สามารถ บรรลุออฟเซตได้	ร้อยละ 5 เนื่องจากในช่วงแรก อาจยังขาดความเชี่ยวชาญ การบริหารโครงการ ดังนั้นมูลค่าออฟเซตอาจ ไม่บรรลุเป้าหมายตาม ตัวชี้วัดที่กำหนดไว้

4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยแห่งความสำเร็จของ นโยบายออฟเซต

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัย สามประเทศในประเด็นต่าง ๆ และการวางแผนทางรูปแบบ
แห่งความสำเร็จและอุปสรรคของนโยบายออฟเซตของทั้ง ออฟเซตของประเทศไทยในอนาคต ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ปัจจัยแห่งความสำเร็จของนโยบายออฟเซตของแต่ละประเทศ

ปัจจัยความสำเร็จ	มาเลเซีย	อินโดนีเซีย	เกาหลีใต้	แนวทางรูปแบบออฟเซต ของประเทศไทยในอนาคต
ความยืดหยุ่น และปฏิบัติได้จริง	ยังไม่เพียงพอ นโยบายยังไม่ สะท้อนปัญหาด้าน ขีดความสามารถ ที่แท้จริงของผู้รับ การถ่ายทอด เทคโนโลยี	มีความยืดหยุ่น เพียงพอ เปิดโอกาสให้ ผู้เข้าแข่งขัน เสนอโดยอิสระ	แม้จะมีกฎเกณฑ์ และการคำนวณ ที่ชัดเจน แต่มีความเข้มงวด สูงมาก	วางหลักเกณฑ์การคัดเลือกผู้รับ การถ่ายทอดเทคโนโลยีที่มี ศักยภาพและนโยบายต้องม ีความยืดหยุ่น (กฎเกณฑ์ตรงไป ตรงมา เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน เกินไป) เพื่อรองรับสถานการณ์ ที่หลากหลาย

ปัจจัยความสำเร็จ	มาเลเซีย	อินโดนีเซีย	เกาหลีใต้	แนวทางรูปแบบออฟเซต ของประเทศไทยในอนาคต
ขีดความสามารถ โครงสร้างพื้นฐาน อุตสาหกรรม	มีอยู่อย่างจำกัดมาก โดยเฉพาะระบบ Naval Systems และ Aircraft Systems	มีอยู่อย่าง เพียงพอ โดยเฉพาะระบบ Land Systems	มีอยู่สูง ทุกภาคส่วน	ริเริ่มให้ความสำคัญกับ อุตสาหกรรมทางเรือและ อากาศยานให้มากกว่าเดิม เพราะเป็นเทคโนโลยี ขั้นสูงกว่าเดิม
ขีดความสามารถ ทรัพยากรมนุษย์ ในอุตสาหกรรม	มีอยู่อย่างจำกัดมาก	มีอยู่อย่างจำกัด และรวมศูนย์อยู่ เพียงรัฐวิสาหกิจ ไม่ใช่ภาคเอกชน	ภาคเอกชนมี ขีดความสามารถ สูงทั้ง Land, Naval, Air Systems	พัฒนานักบุคคลให้มีความพร้อม เน้นการศึกษาแบบ STEMs และเพิ่มงบประมาณด้านการ วิจัยพัฒนาเทคโนโลยี ซึ่งเดิมอยู่ที่ร้อยละ 1 ของ GDP เป็นร้อยละ 2 ของ GDP
ระบบราชการ และธรรมาภิบาล ภาครัฐ	ยังมีความเสี่ยง ต่อปัญหาการ ทุจริตคอร์รัปชัน	ยังมีความเสี่ยง ต่อปัญหาการ ทุจริตคอร์รัปชัน	ยังมีความเสี่ยง ต่อปัญหาการ ทุจริตคอร์รัปชัน	ต้องวางระบบกลไกที่มี ประสิทธิภาพ มีความรวดเร็ว มีผู้ตรวจสอบ (Auditor) ที่ เข้มแข็ง ให้ประชาชนเข้ามา ตรวจสอบได้และเน้นการสร้าง กระบวนการธรรมาภิบาล
บริษัทต่างชาติ ที่ให้ออฟเซต	มีความสัมพันธ์ที่ดี จากสายสัมพันธ์กับ BAE และ สหราชอาณาจักร เปิดรับทุกค่าย	มีความสัมพันธ์ ที่ดีกับทุกค่าย	เปิดรับเฉพาะ ค่ายสหรัฐอเมริกา และยุโรปเท่านั้น เป็นการจำกัด โอกาส	ประเทศไทยต้องเปิดรับ ทุกประเทศ สิ่งนี้เป็นแนวทาง นโยบายต่างประเทศ ของไทยอยู่แล้ว
มูลค่าการจัดหา ยุทโธปกรณ์	ระดับต่ำ	ระดับต่ำ	มีระดับที่มากพอ ที่จะถ่ายทอด เทคโนโลยี สำคัญให้	รายการยุทโธปกรณ์ที่มีใช้ร่วมกัน ทั้งสามเหล่าทัพ ควรทำการ จัดหोजครวม
ความสัมพันธ์ ระหว่างประเทศ	มีความสัมพันธ์ กับเพื่อนบ้านและ ประเทศผู้ให้ เทคโนโลยีที่ดี	มีความสัมพันธ์ กับเพื่อนบ้านและ ประเทศผู้ให้ เทคโนโลยีที่ดี	มีความสัมพันธ์ ที่ล่อแหลมและ ประเทศผู้ให้ เทคโนโลยีที่เริ่ม กังวลเรื่องการ แบ่งปันเทคโนโลยี	มีความสัมพันธ์กับเพื่อนบ้านและ ประเทศผู้ให้เทคโนโลยีที่ดี และไทยต้องเป็นประเทศผู้ให้ เทคโนโลยีที่ดีด้วย เพื่อการสร้าง ความเชื่อมั่นในระดับนานาชาติ

ปัจจัยความสำเร็จ	มาเลเซีย	อินโดนีเซีย	เกาหลีใต้	แนวทางรูปแบบออฟเซต ของประเทศไทยในอนาคต
ขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดอาวุธระดับโลก	มีอยู่อย่างจำกัดมาก	มีอยู่อย่างจำกัด แต่ด้าน Land Systems ยังพอแข่งขันได้	มีขีดความสามารถเป็นผู้ส่งออกยุทโธปกรณ์ใหม่ระดับโลก	ต้องใช้ตัวแบบของเกาหลีใต้ ในการรวมศูนย์การจัดการวิจัยพัฒนาและการทำออฟเซตไว้ด้วยกัน เพื่อให้การใช้งบประมาณมีประสิทธิภาพสูงสุด

4.4 บทวิเคราะห์รายประเทศ

4.4.1 ประเทศมาเลเซีย

ในภาพรวมนั้น พัฒนาการของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของมาเลเซียยังจัดอยู่ในระดับ third-tier ซึ่งยังเป็นระดับเริ่มต้นที่เน้นการซ่อมบำรุงและระดับเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน มีระดับการวิจัยพัฒนาทางทหารที่จำกัดมาก เน้นการนำเข้ายุทโธปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง โดยเฉพาะกองทัพเรือและกองทัพอากาศ โดยที่มาเลเซียมีนโยบายออฟเซตที่ชัดเจนเพื่อการลดช่องว่างดังกล่าว นับเป็นยุทธศาสตร์และทิศทางของการพัฒนาที่เน้นไปที่การสร้างกรอบความร่วมมือและสร้างข้อตกลงระหว่างภาครัฐและเอกชนทั้งภายในและภายนอกหลากหลายรูปแบบ อันจะทำให้การนำเข้ายุทโธปกรณ์สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจได้สูงมากขึ้น

ตั้งแต่มาเลเซียได้รับเอกราช ผู้นำรัฐบาลมีแนวทางการพัฒนาขีดความสามารถของกองทัพอย่างต่อเนื่อง การเคยตกอยู่ในอาณานิคมของจักรวรรดิอังกฤษในอดีตยังส่งผลมาจนกระทั่งปัจจุบัน โดยเฉพาะการที่อังกฤษเสนอแนะให้มาเลเซียจัดหาเครื่องบิน Hawk ที่ถือเป็นโครงการขนาดใหญ่ จนนำไปสู่การเปิดบริษัทชั้นนำด้านการป้องกันประเทศของมาเลเซียได้ด้วย ไม่ว่าจะเป็น CTRM, SME Ordnance หรือ AIRODจนสามารถพึ่งพาตนเองด้านการซ่อมบำรุงยุทโธปกรณ์หรือผลิตอะไหล่บางรายการได้เองภายในประเทศ ในปัจจุบันบริษัทเหล่านี้ก็ได้ขยายกิจการและสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศมากขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกันนั้น มาเลเซียยังมีผู้นำที่มีวิสัยทัศน์ในแต่ละยุค

ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงบทบาทกองทัพจากที่มีภารกิจที่ไม่ชัดเจนในอดีต จากการเป็นผู้ช่วยเจ้าพนักงานตำรวจรักษาความสงบเรียบร้อยของบ้านเมือง เช่น โครงการ PERISTA ในยุคของ Tun Hussein Onn หรือการริเริ่มการจัดตั้ง STRIDE อันเป็นหน่วยงานวิจัยพัฒนาทางทหาร หรือ Malaysia Vision

2020 ที่ตั้งเป้าหมายให้มาเลเซียเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วในปี 2020 ตามคำริของ ดร. มหาเธร์ โมฮัมหมัด ค่อย ๆ เปลี่ยนรูปแบบกองทัพที่เน้นการใช้แรงงานคน หรือ Labor-Intensive มาสู่กองทัพสมัยใหม่ที่ค่อย ๆ กระดัดขีดความสามารถและเชิงคุณภาพให้เป็นกองทัพที่ใช้เทคโนโลยีในการปฏิบัติการกิจ หรือ Technology-Intensive มากขึ้นที่เรียกว่า 4D MAF (Fourth Dimension Malaysian Armed Forces) ในปัจจุบัน

มาเลเซียได้ใช้หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน รัฐวิสาหกิจด้านการป้องกันประเทศที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่า จะพึ่งพาการนำเข้ายุทโธปกรณ์อยู่มาก แต่มาเลเซียได้ใช้เป็นวิธีการต่อรองในการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่หน่วยงานต่าง ๆ ภายในประเทศ วิธีการเช่นนี้จะทำให้มาเลเซียมีพัฒนาการทางทหารได้รวดเร็วกว่าปกติ ไม่เป็นไปตามแนวคิดการพัฒนาเทคโนโลยีแบบเดิมที่ว่า การพัฒนาอาวุธจะต้องเริ่มจากการวิจัยและพัฒนาเพื่อการสร้างต้นแบบ ทำการปรับปรุงต้นแบบ และส่งมอบสู่ภาคอุตสาหกรรมเพื่อเข้าสู่การผลิต (ตามแบบประเทศตะวันตก) เปลี่ยนมาเป็นการพัฒนาศักยภาพอาวุธของประเทศผ่านการพัฒนาการซ่อมบำรุงยุทโธปกรณ์

ที่มีอยู่ และการผลิตสินค้าเทคโนโลยีระดับล่าง-ปานกลาง ให้เชี่ยวชาญก่อน หลังจากนั้นให้ทำการนำเข้ายุทธโธปกรณ์ ที่มากพอจนเจ้าของเทคโนโลยียินยอมถ่ายทอดเทคโนโลยี บางส่วน (หากนำเข้าทีละน้อยและไม่ต่อเนื่อง จะมีความ เป็นไปได้ไม่น้อยที่เจ้าของเทคโนโลยีจะยอมปล่อยเทคโนโลยี) โดยต้องเป็นระดับที่เหมาะสมกับความพร้อมในภาค อุตสาหกรรมของประเทศผู้ซื้อ กระบวนการนี้จะเกิดการ เรียนรู้ทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง (แต่รวดเร็วกว่าการพัฒนาเอง ตั้งแต่ต้น คล้ายคลึงกับ Habibienomics ที่จะกล่าวต่อไป ในส่วนของประเทศอินโดนีเซีย) จนในที่สุดประเทศผู้นำเข้า อาวุธเริ่มพึ่งพาตนเองด้านการผลิตมากขึ้นและสามารถ ทำการวิจัยพัฒนายุทธโธปกรณ์ใหม่ ๆ ด้วยตนเองได้ใน ขั้นสุดท้าย ประเทศมาเลเซียกำลังใช้ยุทธศาสตร์อย่างหลัง อยู่อย่างแข็งขันและเป็นที่ยอมรับของนานาชาติ ทำให้ การพัฒนาเชิงคุณภาพเป็นที่น่าจับตามองอย่างยิ่ง

มาเลเซียได้รับงบประมาณทางทหารอยู่ระดับกลาง ในภูมิภาค (ร้อยละ 1.5 ของ GDP) และใช้งบประมาณทาง ทหารค่อนข้างคุ้มค่า เพราะมียุทธศาสตร์และนโยบายที่ชัดเจน ชัดเจน ด้วยสถานการณ์ทางการเมืองที่มีเสถียรภาพ ประชากร และข้าราชการทหารใช้ภาษาอังกฤษได้อย่างเชี่ยวชาญ (ระดับใกล้เคียงกับสิงคโปร์และดีกว่าอินโดนีเซีย) อีกทั้งยังมี นโยบายร่วมทุนด้านอาวุธที่มีประสิทธิภาพ และกองทัพ มาเลเซียที่ยอมรับอำนาจการนำของรัฐบาลพลเรือน ทำให้ มาเลเซียมีทางเลือกและอำนาจต่อรองในการนำเข้าอาวุธจาก ทั่วโลกทั้งค่ายตะวันตกและตะวันออก เมื่อมีประเทศเข้า แข่งขันได้จำนวนมาก ระบบตลาดที่บริษัทต่าง ๆ จะเสนอ ราคายุทธโธปกรณ์ที่เหมาะสมจึงทำงานได้ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ การจัดหายุทธโธปกรณ์ของมาเลเซียยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เรื่อย ๆ โดยเฉพาะเครื่องบินรบและเรือรบ อันเป็นยุทธโธปกรณ์ ที่มีเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากกว่ายุทธโธปกรณ์ทางบกทั่ว ๆ ไป

4.4.2 ประเทศอินโดนีเซีย

อุตสาหกรรมป้องกันประเทศของอินโดนีเซียมีการ เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา เดิมทีกองทัพอินโดนีเซียเป็น กองทัพที่มีอิทธิพลทางการเมืองสูง และมีความชัดเจนว่า ประธานาธิบดี ซูฮาร์โต (Suharto) ใช้กองทัพเป็นฐาน อำนาจทางการเมืองของตน แม้ว่ากองทัพอินโดนีเซียภายใต้ รัฐบาลของ Suharto จะมีบทบาทสูง แต่ขีดความสามารถ

ทางเทคโนโลยีป้องกันประเทศอันเป็นปัจจัยอำนาจแห่งชาติ ที่สำคัญไม่ได้สูงไปตามด้วย ขีดความสามารถด้านคุณภาพ ของกองทัพอินโดนีเซียในสมัยนั้นจึงล้าหลังและด้อยพัฒนา ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าจุดเปลี่ยนของอินโดนีเซียอยู่ตรงการที่ Suharto ชักชวนให้ ฮาบีบี (B.J. Habibie) กลับมา ประเทศอินโดนีเซีย เพื่อพัฒนาประเทศบ้านเกิด Habibie ยอมรับข้อตกลงและกลับมาเป็นผู้วางรากฐานด้านการ พัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีอย่างสำคัญ อัน เริ่มต้นที่การพัฒนาอุตสาหกรรมการบินอันเป็นวิชาชีพ ของ Habibie ก่อน เริ่มแรกนั้น Habibie แนะนำยุทธศาสตร์ การพัฒนาเทคโนโลยีที่แปลกใหม่และท้าทายตัวแบบเดิมและ ความเชื่อด้านการพัฒนาที่นานาชาติเคยยึดถือ จนเกิดเป็น Widjojonomics-Habibienomics Debate ขึ้น และดูเหมือนว่าอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่นำแนวทาง Habibienomics ไปใช้จะเกิดผลลัพธ์ที่รวดเร็วก้าวกระโดด เพราะการพัฒนาทางลัดแบบของ Habibie นั้นไม่ได้เริ่ม จากศูนย์ จึงไม่ได้ใช้เวลาในการพัฒนายุทธโธปกรณ์เป็น เวลานานเหมือนประเทศตะวันตกที่ต้องลองผิดลองถูกเอง ออกแบบใหม่ทั้งหมด ทำการทดสอบครั้งแล้วครั้งเล่า กว่าจะเป็นไปตามมาตรฐาน อินโดนีเซียใช้ยุทธศาสตร์ของ Habibie เพื่อเรียนลัดขั้นตอนบางขั้นตอนไปจนกระทั่ง Habibie ขึ้นเป็นประธานาธิบดี หลังจาก Suharto ลาออก Habibie และผู้สืบทอดมาได้มีบทบาททำให้กองทัพมี บทบาททางการเมืองน้อยลง ประเทศมีความเป็นประชาธิปไตย มากขึ้นและเป็นกองทัพที่มีความเป็นทหารอาชีพ (Military as a Profession)

ในปัจจุบันกองทัพอินโดนีเซียพัฒนาไปกว่าเดิมมาก ทั้งองค์บุคคลและองค์วัตถุ ส่วนหนึ่งนั้นด้วยการพึ่งพา ตนเองในยุทธโธปกรณ์ที่ผลิตเองได้และใช้การนำเข้ายุทธโธปกรณ์ แล้วกำหนดให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางทหาร เข้าสู่ รัฐบาลกิจหลักด้านการป้องกันประเทศทั้งสาม PT Pindad, PT PAL, และ PTDI รัฐบาลกิจเหล่านี้เร่งรัดพัฒนา องค์กรมากขึ้นด้วยการสร้างยุทธศาสตร์ที่เอื้อให้เกิดความ ร่วมมือระหว่างประเทศอย่างแข็งขันในแต่ละยุคสมัย จนถึงขั้นรัฐบาลกิจเหล่านี้ สามารถผลิตยุทธโธปกรณ์ ขึ้นพื้นฐานได้เองและเริ่มทำการส่งออกไปยังต่างประเทศด้วย นอกจากนี้ อินโดนีเซียยังมีความได้เปรียบทุกประเทศ

ในภูมิภาค ASEAN ตรงที่กองทัพอินโดนีเซียเป็นกองทัพขนาดใหญ่ที่สุดใน ASEAN จึงมีความต้องการจัดหายุทโธปกรณ์ในระดับสูงสุดและคาดหวังว่าประเทศที่ทำการเสนอราคาจะต้องทำการเพิ่มเติมสัญญาในการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับประเทศ ไม่ว่าจะเป็นนโยบายออฟเซตออกมาบังคับให้กระทำหรือไม่ ชัดความสามารถเชิงคุณภาพของอินโดนีเซียมีนัยสำคัญทางความมั่นคงต่อภูมิภาค เพราะเป็นระบบ platform ที่มีระดับเทคโนโลยีสูงและมีขีดความสามารถในการทำสงครามระหว่างรัฐ คือการผลิตยานเกราะอเนกประสงค์ของ PTPindad การต่อเรือดำน้ำและเรือพลขึ้นบกใน PT PAL และการเข้าร่วมโครงการพัฒนา Korean Fighter Experimental ร่วมกับ KAI (เกาหลีใต้) ของ PTDI เป็นต้น

อาจกล่าวได้ว่า การที่กองทัพของอินโดนีเซียมีขนาดใหญ่ที่สุดในอาเซียน ภาครัฐสนับสนุนและมีความเข้าใจในนโยบายออฟเซต และดำเนินขยายกรอบความร่วมมือข้ามพรมแดนแห่งรัฐไปยังประเทศที่มีเทคโนโลยีระดับสูงกว่าหรือเทคโนโลยีคนละประเภท หรือช่วยเหลือประเทศที่มีระดับเทคโนโลยีต่ำกว่าแล้วทำการศึกษาแลกเปลี่ยนกันจะเป็นหลักประกันที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้อินโดนีเซียได้รับความไว้วางใจ โดยเฉพาะหากรัฐสมาชิกอาเซียนยินยอมและสร้างเวทีความร่วมมือในเรื่องที่อ่อนไหวที่สุด เช่น เทคโนโลยีทางทหารและความมั่นคงแล้ว การแลกเปลี่ยนเรื่องอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นเศรษฐกิจ สังคม หรือวัฒนธรรม จะกลายเป็นเรื่องที่ตกลงกันได้ง่าย บรรยากาศระหว่างประเทศเช่นนี้จะลดความตึงเครียดและความขัดแย้งสร้างความมั่นคงร่วมกัน และก้าวไปพร้อมกันสู่บทบาทการเป็นขั้วอำนาจหนึ่งที่มีอิทธิพลและอำนาจต่อรองที่สูงมากในเวทีโลก

นโยบายออฟเซตของอินโดนีเซีย ได้รับการศึกษาวิจัยอย่างละเอียดรอบด้านทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดย Dr.Curie Maharani Savitri [12] อาจารย์ประจำภาควิชาความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัย Binus ประเทศอินโดนีเซีย งานเขียนของท่านอยู่ในฐานะดัชนีพันธบัตรปัญญาเอก มหาวิทยาลัย Cranfield ประเทศสหราชอาณาจักร ทั้งนี้ งานวิจัยของท่านค้นพบว่าการนำออฟเซตไปใช้นั้นเป็นการนำไปใช้แบบชั่วคราวชั่วคราว

ไม่ได้อ้างอิงชัดเจนต่อเป้าหมายทางยุทธศาสตร์และยังมีปัญหางบประมาณและการบริหารระยะยาวที่สะท้อนความด้อยประสิทธิภาพด้านการจัดหายุทโธปกรณ์ ทั้งยังให้ผลลัพธ์ที่ไม่สม่ำเสมอในแต่ละรัฐวิสาหกิจที่ประกอบอุตสาหกรรมยานรบ ทางบก ทางเรือ ทางอากาศ และอวกาศ เครื่องกระสุน นโยบายออฟเซตให้ผลลัพธ์เชิงบวกกับด้านการพัฒนาทักษะและการถ่ายทอดเทคโนโลยี แต่ยังคงส่งผลน้อยกับอัตราการจ้างงานที่มีทักษะสูง รวมถึงการสร้างสายโซ่อุปทาน การส่งออก และการวิจัยและพัฒนา

การสร้างสายโซ่อุปทาน การส่งออก และการวิจัยและพัฒนา Dr.Curie ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ประการแรก ด้านนโยบาย อินโดนีเซียควรมีการแนวทางการปฏิบัติของนโยบายออฟเซตให้คู่ขนานกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่ทำงานในโครงการ ต้องปรับนโยบายการพัฒนาเทคโนโลยีและแผนการจัดทำให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วย ต้องประมาณการราคาที่สูงขึ้นจากออฟเซตพร้อมกับการมีส่วนร่วมตั้งแต่ต้นในส่วนของภาคอุตสาหกรรมเอกชนให้มากกว่านี้ และต้องประเมินค่าโครงการด้วย ประการที่สอง ด้านการกำหนดเป้าหมาย หมายความว่า อินโดนีเซียจะต้องสร้างวัตถุประสงค์เชิงยุทธศาสตร์ของ ออฟเซตที่สัมพันธ์กับการปรับปรุงพัฒนากองทัพและการพัฒนาอุตสาหกรรมเอกชนนอกกองทัพด้วย ประการสุดท้าย ด้านขีดความสามารถ อินโดนีเซียต้องสร้างความเข้มแข็งด้านขีดความสามารถการซึ่บซับเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม เพื่อรักษาผลประโยชน์ของโครงการออฟเซตที่ได้รับมา

กล่าวโดยสรุป อินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่ครบวงจร แต่ขีดความสามารถทางเทคโนโลยียังอยู่ระดับปานกลาง และยังมีโอกาสที่จะพัฒนาได้อีกยาวไกล แม้ว่านโยบายออฟเซตจะยังไม่สมบูรณ์ แต่จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาได้แสดงให้เห็นว่ากองทัพภาคเอกชน และรัฐวิสาหกิจต่าง ๆ มีความพยายามดำเนินการดังกล่าวอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีนโยบายบังคับ และหากองค์กรที่มีศักยภาพเหล่านี้ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐอย่างต่อเนื่องแล้ว โอกาสที่อินโดนีเซียจะสามารถพึ่งพาตนเองด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศก็จะเป็นไปได้อย่างมาก อย่างไรก็ตาม อินโดนีเซียยังมีอุปสรรคต่าง ๆ

มากมายที่ต้องแก้ไขและปรับทิศทาง เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรม ป้องกันประเทศด้วยตนเองในระดับที่สูงที่สุด

4.4.3 ประเทศเกาหลีใต้

จากกรณีศึกษาดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่า นโยบายเพื่อการออฟเซตเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยี ป้องกันประเทศในแง่ของการสร้างอำนาจการต่อรอง สร้างเงื่อนไขเฉพาะที่ขยายผลต่อจากการซื้อยุทธโศปกรณ์ เพื่อให้ เกิดสะพานที่เชื่อมต่อการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ไปสู่การพัฒนาในระดับเทคโนโลยีภาคพลเรือนและเศรษฐกิจที่ ล้ำหน้า ผ่านการถ่ายทอดเทคโนโลยี การผลิตตามสิทธิบัตร การตั้งฐานการผลิต ไปจนถึงการลงทุนร่วมวิจัยและพัฒนา ร่วม หรือการฝึกอบรมถ่ายทอดทักษะ ทั้งหมดนี้เพื่อสร้างโอกาส ในการพัฒนาศักยภาพองค์วิถุ องค์บุคคล ให้อยู่ใน ระดับสูงขึ้น เพื่อรองรับการพึ่งพาตนเอง ลดการขาดดุลจาก การนำเข้าจากต่างประเทศ นโยบายออฟเซตของเกาหลีใต้ สามารถใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อเป็นต้นแบบการพัฒนา อุตสาหกรรมป้องกันประเทศและการพัฒนาชาติได้อย่างดี ADD ได้พิสูจน์ให้เห็นว่าการเน้นไปที่การวิจัยและพัฒนา อย่างอิสระมาตลอด 40 ปีนั้น ไม่ได้นำไปสู่ความยั่งยืนด้าน เทคโนโลยีป้องกันประเทศและการนำผลผลิตไปสู่อุตสาหกรรม อย่างแท้จริง ภายหลังจึงตั้งหน่วยงาน DAPA ขึ้นมา เพื่อภารกิจ ในการรวมศูนย์การตัดสินใจการจัดหาและการวิจัยพัฒนา เข้าด้วยกัน ไม่ให้การวิจัยพัฒนาแยกตัวออกไปโดดเดี่ยว (นับเป็นต้นแบบที่คล้ายคลึงกับระบบของอินโดนีเซียที่เสนอแนะโดย Habibie ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น) แล้วรวมการบังคับ นโยบายออฟเซตเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศอย่างไม่แบ่งแยกเหล่าทัพ จึงนับว่าเป็นกรณีศึกษา ที่น่าสนใจ เพื่อเป็นการสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรม ป้องกันประเทศเพื่อความยั่งยืนต่อไป

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ มีสามประการ คือ ประการแรก เป็นการแสดงให้เห็นถึงตัวอย่างพัฒนาการ ขององค์กรด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศของต่างประเทศ ที่เดิมนั้น แยกการปฏิบัติด้านการวิจัยและพัฒนาและ การจัดหาออกจากกัน ก่อให้เกิดการพัฒนาที่ไม่มีประสิทธิภาพ เท่าที่ควร และตอบสนองความต้องการของกองทัพไม่เพียงพอ

ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ที่จะต้องบูรณาการการวิจัยพัฒนา และการจัดหาอยู่ภายในองค์กรเดียว แล้วให้องค์กรนั้นทำ หน้าที่ในการประเมินหนทางปฏิบัติว่าจะแบ่งสัดส่วนงาน (workshare) อย่างไร ประการที่สองคือ การประยุกต์ใช้ นโยบายออฟเซตนั้นว่ามีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการ พัฒนาระบบการจัดหาทางทหารจากต่างประเทศ เป็นนโยบาย ที่ประเทศนำเข้ายุทธโศปกรณ์ทั่วโลกนำมาใช้อย่างเข้มข้นกัน

5. บทสรุป

สรุปได้ว่าออฟเซต ถือเป็นเครื่องมือทางนโยบายทาง หนึ่งที่พัฒนามาจากการจัดซื้อจัดจ้างแบบเดิมที่เป็นการใช้ เงินงบประมาณเพื่อจัดหาสินค้าหรือบริการมาใช้งานเท่านั้น ออฟเซตได้ขยายผลต่อมาสู่การวางข้อกำหนดเพิ่มเติมให้ บริษัทผู้ขายสร้างกิจกรรมทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยี เพิ่มเติมในประเทศผู้ซื้อ อันจะอำนวยประโยชน์เพิ่มเติมมาสู่ ประเทศผู้ซื้อมากกว่าการจัดหาแบบเดิม โดยเฉพาะสิ่งอุปกรณ์ ที่ใช้งบประมาณที่มากและมีระดับเทคโนโลยีที่สูง เช่น ยุทธโศปกรณ์ทางทหาร อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นต้น อันจะเป็นการสร้างหุ้นส่วนระยะยาว และเป็นช่องทาง ในการส่งผ่านเทคโนโลยีมายังประเทศผู้ซื้ออย่างมีประสิทธิภาพ ประเทศกว่า 130 ประเทศ ได้ดำเนินการดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ทั้งที่มีและไม่มีกฎหมายและทั้งออกเป็นมาตรการบังคับ หรือส่งเสริม นับเป็นตัวอย่างนโยบายที่ชัดเจน

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับงานวิจัยนี้ มีสี่ข้อด้วยกัน ข้อแรก นโยบายออฟเซตสมควรจัดเป็นวาระเร่งด่วน ของรัฐบาลโดยเฉพาะด้านที่มีขีดความสามารถทางเทคโนโลยี ที่เพียงพอ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ (Land Systems) และต้องเพิ่มการรับรู้ข่าวสารรายละเอียดที่เข้าใจง่าย และเป็นที่ยอมรับ ข้อที่สอง สถาบันเทคโนโลยีป้องกัน ประเทศน่าจะเป็นหน่วยงานต้นแบบที่บริหารจัดการนโยบายนี้ เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่มีภารกิจหน้าที่คล้ายคลึงกับใน ต่างประเทศที่พร้อมต่อการรับการถ่ายทอดและประเมิน เทคโนโลยีทางทหาร โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่สำคัญยิ่งยวด (Critical Technology) โดยต้องเตรียมความพร้อมด้าน การนำนโยบายไปปฏิบัติด้วย ข้อที่สาม รายละเอียด

นโยบายออฟเซตของไทยในช่วง 5 ปีแรก ควรมีการกำหนดมูลค่าเพดานออฟเซตอยู่ที่ 1,000 ล้านบาท แล้วค่อย ๆ ลดลงเหลือ 500 ล้านบาท โดยกำหนดมูลค่าออฟเซตของโครงการอยู่ที่ 20% ก่อน แล้วค่อยเพิ่มขึ้นเป็น 50% ในภายหลัง และใช้การคำนวณค่าออฟเซตแบบการคิดเป็นต้นทุน แบบเดียวกับเกาหลีใต้ และกำหนดให้มีองค์ประกอบออฟเซต ทั้ง countertrade, offset และ local content แบบเดียวกับอินโดนีเซีย ข้อที่สี่ คือ ในการดำเนินนโยบายต้องคำนึงถึงปัจจัยแห่งความสำเร็จของนโยบายตามที่นำเสนอในแต่ละด้านอย่างต่อเนื่องและมั่นคง

แนวโน้มของนโยบายออฟเซตในปัจจุบันที่เป็นตัวอย่างในต่างประเทศถูกสร้างขึ้นเพื่อให้เกิดแนวทางในการถ่ายทอดเทคโนโลยีขั้นสูง การวิจัยและพัฒนาความร่วมมือ และการร่วมผลิตในระดับระหว่างประเทศ อันจะนำไปสู่การพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและการพัฒนาเศรษฐกิจของทั้งฝ่ายประเทศผู้ขายและผู้ซื้อ งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวอย่างนโยบายออฟเซตของประเทศเพื่อนบ้านของไทยที่มีคุณลักษณะการใช้นโยบายที่โดดเด่น เพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีศึกษาของเกาหลีใต้ ซึ่งถือว่าประสบความสำเร็จในการใช้นโยบายสูงที่สุดจนสามารถทำการพัฒนาขีดความสามารถและทำการส่งออกยุทธโศปกรณ์ทั่วโลกได้

งานวิจัยนี้มีข้อค้นพบ คือ นโยบายออฟเซตเป็นองค์ความรู้ที่ขาดแคลนในประเทศไทย แต่เป็นนโยบายที่มีใช้ในต่างประเทศอย่างหลากหลาย โดยมีข้อกำหนดความต้องการด้านเศรษฐกิจ ด้านเทคโนโลยี กระบวนการนโยบาย มีการจัดลำดับความเร่งด่วนที่แตกต่างกัน แต่ทั้งหมดมุ่งไปสู่เป้าหมายเดียวกัน นั่นคือ การลดการพึ่งพาการนำเข้ายุทธโศปกรณ์ที่มีราคาสูงและเทคโนโลยีขั้นสูง การพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและการพัฒนาเศรษฐกิจในภาพรวม ดังนั้น การที่ประเทศไทยยังนำเข้ายุทธโศปกรณ์อยู่มาก มีกองทัพปานกลาง และมีระบบเศรษฐกิจและภาคเอกชนที่เอื้อต่อการพัฒนาประเทศผ่านนโยบายนั้นนโยบายจึงนี้เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในประเทศไทยในอนาคต อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังได้นำเสนออุปสรรคของนโยบายที่ได้เกิดขึ้นในต่างประเทศไว้อย่างรอบด้านด้วย ข้อมูลนี้จะ

ทำให้ผู้ปฏิบัติได้รับเอานโยบายออฟเซตไปใช้มีความระมัดระวังและรอบคอบที่จะสร้างให้เกิดการเรียนรู้ความผิดพลาดที่เคยมีมาก่อนในต่างประเทศและสร้างสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกับการพัฒนา และก้าวเป็นประเทศพัฒนาแล้วในอนาคตอย่างยั่งยืน ทำให้สามารถสร้างต้นแบบคู่มือนโยบายออฟเซตที่เหมาะสมกับประเทศไทยในอนาคตได้

อย่างไรก็ตาม การนำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาหลักการทางวิชาการและทฤษฎีเป็นหลัก [13] ในการปฏิบัติจริงนั้นต้องเตรียมความพร้อมด้านการนำนโยบายไปปฏิบัติ (Policy Implementation) ด้วย โดยเฉพาะการศึกษารณศึกษาจากต่างประเทศที่มากขึ้น หรือการได้รับการถ่ายทอดประสบการณ์จากผู้ที่เคยปฏิบัติจริงในต่างประเทศ ทั้งภาครัฐและภาคอุตสาหกรรม โดยอาจจัดให้มี Offset Internship Program ที่ต่อยอดจากการศึกษาทางวิชาการในครั้งนี้เพิ่มเติมไปด้วย เน้นไปยังประเทศที่เคยปฏิบัติจริง เพื่อการเรียนรู้ล่วงหน้าและลดความผิดพลาดในการดำเนินโครงการในอนาคต

แนวทางนโยบายที่งานวิจัยนี้ได้วางรากฐานอยู่บนกรณีศึกษาจากต่างประเทศเอาไว้เป็นต้นแบบนโยบายที่เป็นไปตามหลักสากล ไม่ขัดกฎหมายของประเทศไทย รวมทั้งกฎหมายหรือข้อตกลงระหว่างประเทศ ทั้งยังเป็นไปตามหลักวิชาการที่นำไปปฏิบัติจริงได้ ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างกรณีศึกษาเพียงสามประเทศ สามารถกล่าวได้ว่า งานวิจัยต่อไปที่ผู้อ่านจะศึกษาควรจะทำกรณีศึกษาของประเทศอื่น ๆ ให้มากกว่านี้โดยเน้นไปยังภาคปฏิบัติจริงเพื่อการสร้างบทเรียนและข้อค้นพบที่หลากหลาย อันจะเป็นประโยชน์ทางวิชาการและการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของชาติในอนาคต

6. รายการเอกสารอ้างอิง

[1] Kogila Balakrishnan. Evaluating the Effectiveness of Offsets as a Mechanism for Promoting Malaysian Defence Industrial and Technological Development". Ph.D.thesis. Cranfield University.

[2] Udis, B. and K.E.Maskus (1991) "Offsets as Industrial Policy: Lessons from Aerospace." Defence Economics. Vol. 2, No. 2.

[3] Overview of the Agreement on Government Procurement, World Trade Organization, https://www.wto.org/english/tratop_e/gproc_e/gpa_overview_e.htm

[4] Article XXIII: Exceptions to the Agreement, Agreement on Government Procurement, World Trade Organization, https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/gpr-94_02_e.htm#articleXXIII

[5] Guidance Note Offsets, Directive 2009/81/EC on the award of contracts in the fields of defence and security, Directorate General Internal Markets and Services

[6] Offsets in Defense Trade, Bureau of Industry and Security, US Department of Commerce <https://www.bis.doc.gov/index.php/other-areas/strategic-industries-and-economic-security-sies/offsets-in-defense-trade>

[7] Korean Defence Offset Walkthrough, APEX Translation.

[8] Kogila Balakrishnan and Ron Matthews. "The Role of Offsets in Malaysian Defence

Industrialisation". in: Defence and Peace Economics. By editor Kieth Hartley and Todd Sandler. 4th edition. volume 20. New York: Routledge.

[9] Kogila Balakrishnan. Malaysia: Do offsets work?," Evaluating the Effectiveness of Offsets as a Mechanism for Promoting Malaysian Defence Industrial and Technological Development". Ph.D.thesis, Cranfield University.

[10] Andi Widjajanto. ASEAN Security Community vs Minimum Essential Force. url: <http://www.thejakartapost.com/news/2011/11/24/asean-security-community-vs-minimumessential-force>.

[11] Offset Program Guidelines, Chapter 1. General Provisions, DAPA Standard Operating Procedure (Seoul: Defence Acquisition Program Administration, 2014).

[12] Curie Maharani. Contribution of offset to defence industrialisation in Indonesia, Ph.D.thesis, Cranfield University.

[13] นโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย, โครงการวิจัย, ฝายนโยบายชาติและความสัมพันธ์ข้ามชาติ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).

วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม 2562

บทความวิชาการ (Academic Articles)

- การออกแบบจรวดประดิษฐ์โดยใช้ดินขับเชื้อเพลิงแข็งชนิดน้ำตาลเป็นระบบขับเคลื่อน
ไพศาล อภิณหพัฒน์
- จริยธรรมในการเขียนบทความวิชาการ
นกุลรัตน์ ลวงลายทอง และ ปิ่นกนก ชื่นขุลิย์

บทความวิเคราะห์เทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Defence Analysis Articles)

- การพิจารณาใช้ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Levels: TRL)
สำหรับโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทย
อิสระ อมตะชีวะ
- Detection of small object at a distance using flickering frequency and trajectory patterns
Sutthiphong Srigrarom

บทความวิจัย (Research Articles)

- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงต้นทุนต่ำโดยใช้วัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิโพรไพล์และวัสดุคาร์บอน
ที่แกนกลางเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังหลายชั้นและมีแผ่นกราฟีนที่มีโครงสร้างเป็นริบบิ้นล้อมรอบเป็นขั้วแคโทดอิเล็กโทรด
ปณิทัต ทาสิณ และ เหมือนฝัน กลัดแก้ว
- การคาดการณ์การลักลอบลำเลียงยาเสพติดด้วยสถิติภูมิศาสตร์
เบญจมาศ เดชศิริ และ อรประภา ภูมมะกาญจนะ โรแบร์
- ต้นแบบเครื่องบันทึกตำแหน่งและท่าทางการบิน
วสันต์ ปณิศาตศักดิ์สกุล
- การพัฒนาองค์การสู่องค์กรแห่งการเรียนรู้ : กรณีศึกษากรมสรรพาวุธทหารอากาศ
กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่ตั้งพื้นที่ดอนเมือง
สมชัย รังสีธรรมกุล ลัญญณัฐ ภาตะนันท์ และ ทิมพ์ภัส งามสันติวงศ์
- การคาดการณ์การเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5)
ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พื้นที่จังหวัดน่าน
พงศพัศ เกษพรหม และ พลภัทร เหมวรรณ
- นโยบายออฟเซตเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทย
บดินทร์ สันหัด

