

การมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษา การจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทา จังหวัดเชียงใหม่

เฉลิมพงษ์ เสนารักษ์¹ และมารุต ขาติพราหมณ์^{2*}

บทคัดย่อ

ผลกระทบจากภัยพิบัติมีแนวโน้มที่จะรุนแรงมากขึ้น การสร้างมาตรการในการรับมือกับภัยพิบัติจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ทุกประเทศต้องให้ความสำคัญ เพื่อมิให้ภัยพิบัติส่งผลกระทบจนเกิดความเสียหายแก่ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นรากฐานในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการนำหลักการมีส่วนร่วมของชุมชนมาใช้ในการจัดการภัยพิบัติเพื่อลดผลกระทบต่อความยั่งยืนในการพัฒนาประเทศ โดยเริ่มจากการอธิบายทฤษฎีซึ่งได้จากการทบทวนและวิเคราะห์วรรณกรรม ประสบการณ์การทำงานของผู้เขียน และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านภัยพิบัติ ตลอดจนเชื่อมโยงทฤษฎีเข้ากับการจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทา ซึ่งอาศัยการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนในการจัดทำแผนจัดการพื้นที่ป่าไม่ร่วมกับหน่วยงานภายนอก พบว่ากรณีศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างชัดเจน ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าการนำหลักการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนมาใช้ในการจัดการภัยพิบัติจะช่วยสร้างโอกาสในการยกระดับความสามารถการจัดการภัยพิบัติและการพัฒนาอย่างยั่งยืนของชุมชนอื่นๆ ได้

คำสำคัญ : การมีส่วนร่วมของชุมชน, การจัดการภัยพิบัติ, ความยั่งยืน, การพัฒนา

¹ สาขาการขนส่งทางทะเล คณะพาณิชยการนาวินานาชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

² สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน)

* ผู้แต่ง, อีเมล: marut.c@dti.or.th

Community Involvement in Disaster Management for Sustainable Development: A Case Study of Drought Management in Mae Ta District, Chiang Mai Province

Chalermpong Senarak¹ and Marut Chatpram^{2*}

Abstract

The consequences from disaster tend to considerably increase. The development of disaster-mitigation measures, therefore, is prioritized in many countries so as to ensure that their sustainable development which mainly depends on the functions of economics society and environment systems, is secured from catastrophe. Based on this notion, this paper aims at shading light on the significance in adopting community involvement theory for mitigating natural-disaster effects on national sustainable development. It begins with the explanation of relevant theories which are derived from reviewing a series of previous literatures, authors' working experiences, and interview of disaster-related specialists. To compromise the theoretical and practical viewpoints, this paper uses the drought management in Mae Ta District as an instance which distinctly demonstrates how to involve community in cooperation with external organizations in arranging its forest territory. It is found that the community involvement theories well fit the case study, implying the possible achievement in enhancing the ability of disaster management, and securing sustainable development of other communities by implementing community involvement in coping with disaster.

Keywords : Community Involvement, Disaster Management, Sustainability, Development

¹ Maritime Transportation, International Maritime College, Kasetsart University Si Racha Campus

² Defence Technology Institute (Public Organization)

* Corresponding Author, E-mail: marut.c@dti.or.th

1. บทนำ

ตลอดหลายทศวรรษที่ผ่านมาทั่วโลกเผชิญกับภัยพิบัติมากมาย จนเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนในพื้นที่ประสบภัย การหยุดชะงักทางเศรษฐกิจ ตลอดจนความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ และคุณภาพชีวิตของผู้คนที่ตกต่ำลง (The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies [IFRC], 2016) ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน (Denktas-Sakar and Karatas-Cetin, 2012) ปัจจุบันความน่ากังวลในหลายประเทศกลับเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสถิติการเกิดภัยพิบัติซ้ำซ้อนว่าอัตราการเกิดภัยพิบัตินั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลกทั้งในด้านของความถี่และความรุนแรง (IFRC, 2016) ด้วยเหตุนี้ หลายประเทศ เช่น อินเดีย ปากีสถาน มาเลเซีย ฯลฯ ตลอดจนหน่วยงานระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานว่าด้วยกลยุทธระหว่างประเทศเพื่อการลดภัยพิบัติแห่งสหประชาชาติ (UNISDR) เป็นต้น ต่างเร่งหาแนวทางเพื่อรับมือกับภัยพิบัติอย่างยั่งยืน

เช่นเดียวกันกับประเทศไทยที่ต้องเผชิญหน้ากับภัยพิบัติตลอดหลายปีที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาสถิติการเกิดภัยพิบัติตลอด 10 ปีที่ผ่านมา พบว่าประชาชนชาวไทยได้รับความเดือดร้อนจากภัยธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุทกภัย ดินโคลนถล่ม อัคคีภัย และภัยแล้ง ซึ่งมีมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจโดยรวมหลายแสนล้านบาท (ศูนย์อำนวยการบริหารศาสนาและชุมชนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2012) ด้วยเหตุนี้ ประเทศไทยจึงจัดให้มีการจัดตั้งกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ตามพระราชบัญญัติปรับปรุง กระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. 2545 เพื่อเป็น

หน่วยงานหลักในการปฏิบัติการที่เผชิญหน้ากับภัยพิบัติในหน่วยงานอื่นๆ ให้เป็นระบบ โดยมีภารกิจหลายประการ อาทิ จัดทำแผนแม่บท วางมาตรการส่งเสริมสนับสนุนการป้องกันบรรเทาและฟื้นฟูจากสาธารณภัย กำหนดนโยบายด้านความปลอดภัย สร้างระบบป้องกัน เตือนภัย ฟื้นฟูหลังเกิดภัย ตลอดจนติดตามประเมินผล เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้หลักประกันในด้านความมั่นคงปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนชาวไทยนั่นเอง

แม้ว่าหน่วยงานในสังกัดและองค์กรที่เกี่ยวข้องจะสามารถทำงานตามพันธกิจของตนเองได้เป็นอย่างดี แต่การให้ความช่วยเหลือจากหน่วยงานราชการแก่ผู้ประสบภัยจะกระทำได้หลังจากเกิดภัยแล้วเสียเป็นส่วนใหญ่ หรือแม้ในบางกรณีที่ภาครัฐได้ช่วยพัฒนาระบบป้องกันภัยพิบัติให้กับชุมชนแล้วล่วงหน้า แต่ทว่าก็ยังไม่สามารถทำให้ชุมชนรอดพ้นจากภัยได้ทั้งหมด เนื่องจากชุมชนมีภาวะพึ่งพาหน่วยงานของภาครัฐมากเกินไป ด้วยเหตุนี้การสร้างองค์ความรู้ในการจัดการภัยพิบัติให้กับชุมชนในพื้นที่ ตลอดจนการให้ประชาชนในพื้นที่ประสบภัยได้เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการภัยพิบัติ ย่อมเป็นอีกหนึ่งแนวทางจะช่วยให้ประเทศสามารถรับมือกับภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลยิ่งขึ้น ดังนั้น บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการนำหลักการมีส่วนร่วมของชุมชนมาใช้ในการจัดการภัยพิบัติเพื่อลดผลกระทบต่อความยั่งยืนในการพัฒนาประเทศ ซึ่งประกอบไปด้วยเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของ 3 ทฤษฎี ได้แก่ ทฤษฎีว่าด้วยเรื่องภัยพิบัติ ทฤษฎีการพัฒนาอย่างยั่งยืน และทฤษฎีการมีส่วนร่วมของชุมชน และได้พัฒนารูปต้นแบบ (Model) ที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างทฤษฎีดังกล่าว และ

ได้เชื่อมโยงผลการวิเคราะห์เข้ากับกรณีศึกษาการจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทา โดยการวิเคราะห์นั้นอาศัยประสบการณ์ของผู้เขียน การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านภัยพิบัติ และแนวคิดของนักวิชาการ ตลอดจนหน่วยงานต่างๆ ดังนั้นเนื้อหาต่อจากนี้จะเป็นการอธิบายให้ผู้อ่านเข้าใจเรื่อง แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับภัยพิบัติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน การมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติ และกรณีศึกษาการจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทา ตามลำดับ

2. ภัยพิบัติคืออะไร

ประเด็นแรกที่ผู้อ่านควรทำความเข้าใจคือนิยามของคำว่า “ภัยพิบัติ (Disaster)” เนื่องจากจะเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจทฤษฎีในลำดับต่อไป ในปัจจุบันมีนักวิชาการและหน่วยงานจำนวนมากที่พยายามให้คำจำกัดความและอธิบายลักษณะสำคัญของภัยพิบัติเพื่อให้นานาชาติมีความเข้าใจตรงกัน อาทิเช่น สำนักงานเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติแห่งสหประชาชาติ (United Nations Office for Disaster Risk Reduction: UNISDR) ได้กล่าวไว้ว่า ภัยพิบัติ คือ การขัดขวางของสิ่งใดๆ ก่อให้เกิดการหยุดชะงักอย่างรุนแรงของการปฏิบัติหน้าที่ (Function) ของชุมชนหรือสังคม ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเกิดภัยทางธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ ซึ่งส่งผลต่อชีวิต ทรัพย์สิน สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม อย่างกว้างขวาง เกินกว่าความสามารถ (Capacity) ของชุมชนหรือสังคมที่ได้รับผลกระทบ ดังกล่าวจะรับมือได้โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ เมื่อพิจารณาคำจำกัดความจะพบว่าการเกิดภัยพิบัติจนเกินกว่าความสามารถของชุมชนที่จะรับมือ อาจทำให้ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอันเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนได้รับความเสียหาย และหยุดชะงักลงได้ นอกจากนี้

จะเห็นว่าเหตุการณ์ที่จัดว่าเป็นภัยพิบัตินั้น ต้องส่งผลกระทบในมุมกว้างต่อผู้คนในสังคม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สาธารณภัย ซึ่งมาตรา 4 ของพระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พ.ศ. 2550 ได้กล่าวถึงสาธารณภัยไว้ว่า คือ อัคคีภัย วาตภัย อุทกภัย ภัยแล้ง โรคระบาดในมนุษย์ โรคระบาดสัตว์ โรคระบาดสัตว์น้ำ การระบาดของศัตรูพืช ตลอดจนภัยอื่นๆ อันมีผลกระทบต่อสาธารณชน ไม่ว่าจะเกิดจากธรรมชาติ มีผู้ทำให้เกิดขึ้น อุบัติเหตุ หรือเหตุอื่นใด ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิต ร่างกายของประชาชน หรือความเสียหายแก่ทรัพย์สินของประชาชน หรือของรัฐ และให้หมายความรวมถึงภัยทางอากาศ และการก่อวินาศกรรมด้วย ซึ่งโดยทั่วไปเราอาจแบ่งภัยได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา เช่น หากใช้ลักษณะของภัยเป็นเกณฑ์แล้ว เราอาจแบ่งภัยได้ 2 ประเภท ได้แก่ 1) ภัยธรรมชาติ เช่น ภัยทางธรณีวิทยา ภัยทางอุทกวิทยา อุตุณิยมวิทยา และ 2) ภัยที่เกิดจากมนุษย์ เช่น ภัยทางเคมี ภัยทางเทคโนโลยี หรือหากแบ่งตามลักษณะในการเกิดภัย เราอาจแบ่งภัยได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1) ภัยหลัก (primary hazard) คือ ภัยที่เป็นปรากฏการณ์ของเหตุ ภัยพิบัติโดยตรง เช่น แผ่นดินไหวทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของพื้นดิน 2) ภัยรอง (secondary hazard) คือ ภัยที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากภัยหลัก เช่น อาคารถล่ม ไฟไหม้ คลื่นสึนามิ การคมนาคมหยุดชะงักเป็นผลมาจากแผ่นดินไหว และ 3) ภัยประจำถิ่น (localized hazard) คือ ภัยขนาดเล็กที่มักเกิดในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เช่น น้ำท่วมฉับพลัน พายุ ไฟไหม้ เป็นต้น

อีกหนึ่งประเด็นสำคัญที่ผู้อ่านควรทราบคือระดับความรุนแรงของภัยพิบัติ กล่าวคือ แม้ว่าภัยที่เกิดขึ้น ในที่นี้ยกตัวอย่างเช่น อุทกภัยที่เกิดขึ้น

ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย เป็นต้น จะเป็นภัยประเภทเดียวกันและเกิดขึ้นในประเทศเดียวกัน แต่ระดับความรุนแรงนั้นแตกต่างกันอย่างมาก ส่วนหนึ่งเป็นเพราะระดับของมวลน้ำที่แตกต่างกัน ทำให้ความเสียหายและจำนวนผู้ประสบภัยต่างกัน แต่อีกปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระดับความเสียหายต่างกัน คือ ความเปราะบางของพื้นที่นั้นๆ จึงทำให้การมีความเข้าใจเรื่องความเปราะบางเป็นเรื่องสำคัญในการรับมือกับภัยพิบัตินั่นเอง ซึ่งความเปราะบาง (Vulnerability) หมายถึง ปัจจัยหรือสถานะใดๆ ที่ทำให้ชุมชนหรือสังคมขาดความสามารถในการปกป้องตนเอง ทำให้ไม่สามารถรับมือกับภัยพิบัติ หรือไม่สามารถฟื้นฟูได้อย่างรวดเร็วจาก ความเสียหายอันเกิดจากภัย โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งความเปราะบางได้ 3 ประเภท คือ 1) ความเปราะบางทางกายภาพ เช่น อาคารบ้านเรือนที่ปลูกสร้างด้วยวัสดุชั่วคราว ซึ่งไม่มีความคงทนถาวร ระบบสาธารณูปโภคที่ไม่ได้คุณภาพ หรือระบบการคมนาคมที่ไม่ครอบคลุมทั่วพื้นที่ของสังคม 2) ความเปราะบางเชิงสังคมและโครงสร้างทางสังคม เช่น ข้อจำกัดในการ เข้าถึงสวัสดิการต่างๆ ทางสังคม การบริการทางสาธารณสุข การประกันภัย และการเก็บออม ทั้งยังหมายถึงความขัดแย้ง แตกแยก และไม่สามัคคี ของคนในชุมชน และ 3) ความเปราะบางทางทัศนคติและแรงจูงใจ เช่น การขาดความรู้ ความเชื่อมั่น หรือความเข้าใจในสถานการณ์ ความเสี่ยงของตนเอง ตลอดจนทัศนคติในการรอรับความช่วยเหลือจากภาครัฐหรือบุคคลภายนอกความไม่พร้อมในการปรับตัวหรือสร้างแรงจูงใจในการรับมือกับภัยด้วยตนเอง

ด้วยเหตุนี้ การสร้างความเข้มแข็งของชุมชนต่างๆ เพื่อลดความเปราะบางของพื้นที่นั้นๆ จึงเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญของประเทศในการรับมือ

กับภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ทั้งนี้เพื่อป้องกันหรือบรรเทาให้ผลกระทบจากภัยพิบัติมีความรุนแรงมากเกินกว่าขีดความสามารถชุมชนที่จะใช้ทรัพยากรที่มีในการรับมือกับภัยนั้นๆ จนเป็นเหตุให้เกิดการหยุดชะงักของระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

3. แนวคิดและงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน

เมื่อผู้อ่านเข้าใจเรื่องภัยพิบัติและความเปราะบางของชุมชนแล้ว ในส่วนนี้ผู้เขียนจะขออธิบายให้ผู้อ่านทราบว่าภัยพิบัตินั้นมีความเกี่ยวข้องอย่างไรกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเริ่มจากที่มาของแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน การวัดระดับความยั่งยืนด้วยดัชนีต่างๆ และผลกระทบของภัยพิบัติต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน

3.1 ความหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืน

แนวคิดเรื่องความยั่งยืนถูกนำมาหารือในเวทีระดับนานาชาติโดยองค์การสหประชาชาติตั้งแต่ปี 1982 เนื่องจากมีข้อสังเกตว่า หลายประเทศมุ่งพัฒนาเศรษฐกิจเพียงด้านเดียวจนเป็นเหตุให้ทรัพยากรเสื่อมโทรมจนไม่สามารถฟื้นฟูกลับมาเป็นดังเดิม หรือทำให้ชุมชนในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งอุตสาหกรรมเกิดปัญหาสุขภาพเนื่องจากต้องเผชิญกับมลพิษจากการผลิตสินค้าหรือบริการ เป็นต้น (United Nations, 1982) ซึ่งการประชุมขององค์การสหประชาชาติในครั้งนั้นได้ข้อสรุปว่า ปัญหาดังกล่าวเกิดจากการที่แต่ละประเทศใช้แนวทางเพื่อการพัฒนาอย่างไม่เหมาะสม พร้อมกับสนับสนุนให้ทุกประเทศเลือกใช้แนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน (United Nations, 1982; Zillman, 2009) โดยให้นิยามการพัฒนาอย่างยั่งยืนไว้ว่าเป็นการใช้

ทรัพยากรเพื่อสนองความต้องการของคนในปัจจุบัน โดยไม่กระทบกับการใช้ทรัพยากรเพื่อสนองความต้องการของคนรุ่นหลัง (United Nations, 2007) ซึ่งการพัฒนาอย่างยั่งยืนนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัย 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านสิ่งแวดล้อม คือ การใช้ทรัพยากรเพื่อสนองความต้องการของคนในสังคม โดยที่ทรัพยากรนั้นยังสามารถฟื้นฟูกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ 2) ด้านเศรษฐกิจ คือ การที่ผู้คนในสังคมมีอิสรภาพในการเข้าถึงทรัพยากร เพื่อสนองความต้องการได้โดยที่ระบบเศรษฐกิจโดยรวมยังดำเนินต่อไปได้และเอื้อประโยชน์ต่อผู้คนในสังคม และ 3) ด้านสังคม คือ สภาวะที่ผู้คนในสังคมมีสิทธิอย่างเท่าเทียมหรือเกือบเท่าเทียมในการเข้าถึงทรัพยากรอย่างเพียงพอเพื่อสนองความต้องการขั้นพื้นฐาน (ด้านสุขภาพและความปลอดภัย ฯลฯ) ของตนเอง ครอบครัว และชุมชน (United Nations, 2007; University of Alberta, 2018) ด้วยเหตุนี้ ผู้นำประเทศและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรที่จะบูรณาการนโยบายกับหลักการพัฒนาอย่างยั่งยืน ตลอดจนกำกับดูแลการปฏิบัติและการผลสัมฤทธิ์ในทุกภาคส่วนและระดับชั้นเพื่อให้มั่นใจว่าการพัฒนาของประเทศนั้นยังคงไว้ซึ่งความสมดุลระหว่างสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม อันจะเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาชุมชน สังคม และประเทศในระยะยาวสืบไป

3.2 ดัชนีวัดการพัฒนาอย่างยั่งยืนระดับประเทศ

การวัดผลสัมฤทธิ์ว่านโยบายหรือยุทธศาสตร์ที่ใช้นั้นช่วยเสริมสร้างความยั่งยืนให้กับองค์กร ชุมชน และประเทศชาติหรือไม่ เป็นสิ่งที่ทำได้ยากเพราะความยั่งยืนขึ้นกับหลายปัจจัย และมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ ดังนั้นผู้นำประเทศจึงจำเป็นต้องสร้างดัชนีวัดการพัฒนาอย่างยั่งยืนให้สอดคล้อง

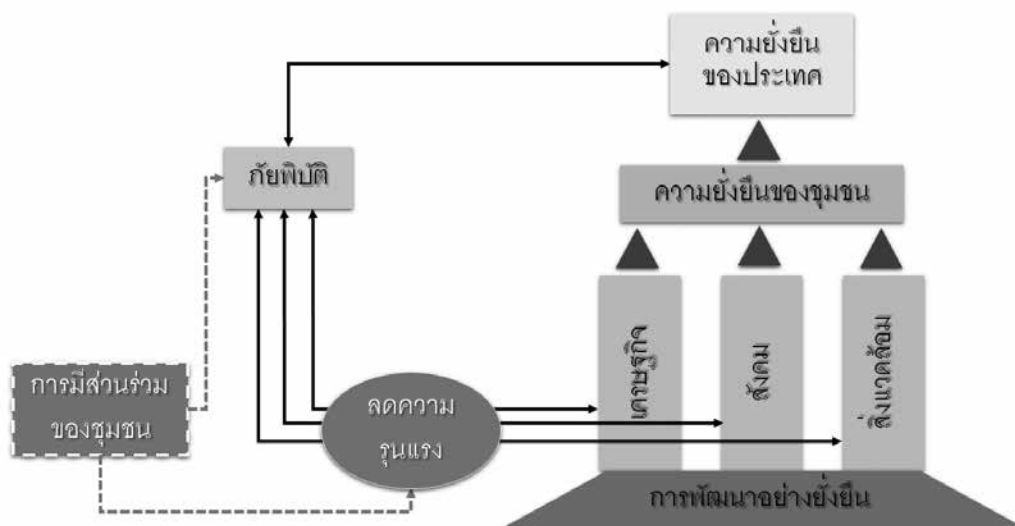
กับประเทศของตนเอง ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้ทบทวนวรรณกรรมตั้งแต่ปี 1982 เป็นต้นมา และพบว่างานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดการพัฒนาอย่างยั่งยืนส่วนใหญ่จะใช้กรอบแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติเป็นหลักในการพัฒนารอบการวิจัย และตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งในที่นี้จะขอแบ่งงานวิจัยด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืนออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) การวิจัยที่มุ่งหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนาชุมชน (United Nations, 1982; Morris, et al., 2018) 2) การวิจัยที่มุ่งสร้างมาตรวัดความยั่งยืนของชุมชน (United Nations, 2007; Lu, et al., 2017; Mapar, et al., 2017) และ 3) การวิจัยที่มุ่งศึกษาแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์กรภาครัฐและเอกชน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโซ่อุปทาน (Denktas-Sakar, et al., 2012; Yap, 2013; Schipper, et al., 2017; Katiyar, et al., 2018) ถึงแม้ว่าวัตถุประสงค์และกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยทั้ง 3 กลุ่มจะแตกต่างกัน แต่จะสังเกตได้ว่างานวิจัยทั้งหมดพัฒนารอบการวิจัยจากดัชนีเดียวกัน ได้แก่ เป้าหมายการพัฒนาแห่งสหัสวรรษ (Millennium Development Goals - MDGs) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยองค์การสหประชาชาติให้ครอบคลุมความยั่งยืนใน 17 เป้าหมาย (United Nations, 2015) ดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ดัชนีอีกหนึ่งกลุ่มที่นักวิชาการส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นฐานในการพัฒนามาตรวัดความยั่งยืนของชุมชนอย่างยั่งยืน คือ Global Reporting Initiative (GRI) ซึ่งครอบคลุม 33 ด้าน (Global Reporting Initiative, 2017) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีชี้วัดความยั่งยืนในการพัฒนาประเทศ

UN Goal	GRI Indicators
ด้านสังคม 1. จัดความยากจน 2. จัดความหิวโหย 3. การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี 4. การศึกษาที่เท่าเทียม 5. ความเท่าเทียมทางเพศ	1. การจ้างงาน 2. การจัดการแรงงานและแรงงานสัมพันธ์ 3. อาชีวอนามัยและความปลอดภัย 4. การอบรมและการศึกษาของพนักงาน 5. ความหลากหลายของแรงงานและโอกาสที่เท่าเทียมในการทำงาน 6. ความเสมอภาคแรงงานชายและหญิง 7. การลงทุนและแนวทางการจัดซื้อจัดจ้าง 8. การไม่แบ่งแยกทางสังคมในการทำงาน 9. อีสรภาพและการรับรองของหน่วยงานต่างๆ 10. การใช้แรงงานเด็ก 11. การป้องกันการเอาเปรียบแรงงาน 12. แนวทางการรักษาความปลอดภัย 13. สิทธิชนพื้นเมือง 14. การประเมินผลกระทบจากการทำงาน 15. การจัดการการร้องทุกข์หรือข้อข้องใจ 16. ชุมชนท้องถิ่น 17. การทุจริต 18. นโยบายสาธารณะ 19. การป้องกันการผูกขาด 20. สุขภาพและความปลอดภัยของลูกค้าจากการอุปโภคและบริโภคสินค้า 21. การติดตามลูกค้าและบริการ 22. การสื่อสารทางการตลาด 23. การรักษาความลับของลูกค้า
ด้านเศรษฐกิจ 6. การจ้างงานที่มีคุณค่าและการเติบโตทางเศรษฐกิจ 7. อุตสาหกรรม นวัตกรรม โครงสร้างพื้นฐาน	24. ผลกระทบด้านเศรษฐกิจทางตรง 25. สภาวะตลาด 26. ผลกระทบด้านเศรษฐกิจทางอ้อม
ด้านสิ่งแวดล้อม 8. การจัดการน้ำและสุขาภิบาล 9. พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้ 10. ลดความเหลื่อมล้ำ 11. เมืองและถิ่นฐานมนุษย์อย่างยั่งยืน 12. แผนการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน 13. การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 14. การใช้ประโยชน์จากมหาสมุทรและทรัพยากรทางทะเล 15. การใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบก 16. สังคมสงบสุข ยุติธรรม ไม่แบ่งแยก	27. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้า 28. พลังงาน 29. น้ำ 30. ความหลากหลายทางชีวภาพ 31. ขอบเสียและมลพิษ 32. สินค้าและบริการ 33. การขนส่ง

^a United Nations. (2015). *TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. United States: United Nations.

^b Global Reporting Initiative. (2017). *Sustainability Reporting Guidelines*. Amsterdam, Netherlands: Global Reporting Initiative.



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (พัฒนาจากทฤษฎีของ United Nations (1982, 2002) Mata-Lima, et al. (2013) Young (2015) Lu, et al., (2017) Mapar, et al., (2017) Morris, et al., (2018) และ Katiyar, et al., (2018)

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า ดัชนีวัดความยั่งยืนแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งแต่ละกลุ่มถูกแบ่งออกเป็น ปัจจัยย่อยๆ ที่สามารถสะท้อนความยั่งยืนได้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยทั้งหมดเห็นพ้องกันว่าดัชนีที่จะนำมาใช้ในการประเมินความยั่งยืนของแต่ละชุมชนหรือองค์กรใด ๆ นั้นควรแตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของชุมชน พื้นที่ และประเทศนั้นๆ หรือควรสอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ในการศึกษาหรือประเมินผล เนื่องจากว่าพื้นที่ที่แตกต่างกันย่อมมีลักษณะของการพัฒนา เพื่อนำไปสู่ความยั่งยืนที่แตกต่างกันนั่นเอง (Lu, et al., 2017; Mapar, et al., 2017) ซึ่งการประเมินความยั่งยืนของประเทศนั้นควรเริ่มวัดจากระดับย่อยที่เป็นองค์ประกอบของประเทศนั้นๆ ก่อน เช่น

ระดับหน่วยงาน องค์กร เทศบาล และชุมชน เป็นต้น จากนั้นจึงค่อยๆ วัดความยั่งยืนในระดับที่กว้างขึ้น เช่น ระดับอุตสาหกรรม จังหวัด ภาค ประเทศ และภูมิภาค เป็นต้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าความยั่งยืนระดับประเทศนั้นขึ้นกับความยั่งยืนของหน่วยเล็กๆ ภายในประเทศ การวัดความยั่งยืนในระดับที่กว้างเกินไปจะทำให้ขาดการเชื่อมโยงกับประชาชนและชุมชนซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน (Lu, et al., 2017) นอกจากนี้ความยั่งยืนยังขึ้นกับการพัฒนาอย่างสมดุลของทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จะขาดการพัฒนาในด้านใดด้านหนึ่งไปไม่ได้ หรือการพัฒนาทางเศรษฐกิจที่มากเกินไปจนเป็นเหตุให้ทรัพยากรธรรมชาติเสื่อมโทรมหรือสังคมได้รับความเดือดร้อนจากมลพิษ

อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตสินค้าหรือบริการ ย่อมไม่ใช่การพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน จึงอาจสรุป ได้ว่าการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนจะต้องคำนึงถึง สมดุลของทั้ง 3 ด้าน เพราะเศรษฐกิจ สังคม และ สิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ด้วยเหตุนี้ การประเมินความยั่งยืนขององค์กร ชุมชน หรือ ประเทศจึงเป็นโจทย์ที่ซับซ้อน และต้องติดตามอย่าง ต่อเนื่อง เพราะบริบทโลกเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

3.3 ผลกระทบของภัยพิบัติต่อการพัฒนาอย่าง ยั่งยืน

เพื่อเชื่อมโยงให้เห็นว่า ภัยพิบัติมีความสัมพันธ์ กับการพัฒนาอย่างยั่งยืน ผู้เขียนจึงได้ทบทวน งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของภัยพิบัติ ต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยพบว่าเริ่มมีการศึกษา ในประเด็นดังกล่าวตั้งแต่ช่วงต้นปี 2000 (Munich, 2000) ซึ่งผลงานวิจัยของ Munich (2000) ชี้ชัดว่า การพัฒนาที่ยั่งยืนนั้นจำเป็นต้องนำเอาประเด็น ด้านภัยพิบัติเข้ามาพิจารณาด้วย เนื่องจากผลกระทบ จากภัยพิบัตินั้น ส่งผลโดยตรงต่อชีวิตและทรัพย์สิน ของผู้คน ชุมชน การดำรงชีวิตของสัตว์ป่า กิจกรรม ทางเศรษฐกิจ สังคม โครงสร้างพื้นฐานภายใน ประเทศและระหว่างประเทศ และความสมบูรณ์ ของสิ่งแวดล้อม เช่น แหล่งน้ำ ระบบนิเวศ ตลอดจน ความหลากหลายทางชีวภาพ (United Nations, 2002; Mata-Lima, et al., 2013; Young, 2015) ในทางกลับกันพบว่า กิจกรรมทางเศรษฐกิจของ มนุษย์ โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การทำลายแหล่งน้ำ และทรัพยากรธรรมชาติเนื่องจาก ความต้องการปัจจัยการผลิตที่มากเกินไป เป็นสาเหตุ หลักที่ทำให้ภัยพิบัติเกิดขึ้นบ่อยครั้งและรุนแรงมาก ยิ่งขึ้น (United Nations, 2002; Mata-Lima, et al., 2013; Young, 2015) ซึ่งระดับความรุนแรง จะแตกต่างกันไปตามระดับของภัยพิบัติ และขีด

ความสามารถในการป้องกันภัยพิบัติของชุมชน หรือ ประเทศนั้นๆ ดังนั้นชุมชนหรือประเทศที่มีขีด ความสามารถในการรับมือต่อการเกิดภัยพิบัติสูง ย่อมได้รับผลกระทบน้อยกว่าชุมชนหรือประเทศที่มี ขีดความสามารถในการรับมือต่ำ (United Nations, 2002) นอกจากนี้ การสร้างความร่วมมือระหว่าง หน่วยงานภายในและภายนอกชุมชนหรือประเทศ ในการจัดการกับภัยพิบัติเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่มี ความสำคัญต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Mata-Lima, et al., 2013) เนื่องจากภัยพิบัติส่งผลกระทบใน มุมกว้างและเกี่ยวข้องกับหลายฝ่าย จึงต้องอาศัย ความร่วมมือระหว่างชุมชน หน่วยงานภาครัฐและ เอกชนในการแบ่งปันองค์ความรู้ ทักษะ เทคโนโลยี ตลอดจนงบประมาณเพื่อใช้ในการพัฒนาเครือข่าย ความร่วมมือเพื่อการจัดการภัยพิบัติ จึงอาจสรุปได้ว่า ภัยพิบัติและการพัฒนามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน กล่าวคือ เมื่อเกิดภัยพิบัติแล้ว อาจส่งผลให้ระบบ เศรษฐกิจต้องหยุดชะงักเนื่องจากความเสียหายที่ เกิดกับโรงงาน และครัวเรือนซึ่งเป็นฐานในการผลิต สินค้าและบริการ ในทางตรงข้าม หากการพัฒนา ประเทศมุ่งเน้นแต่ภาคเศรษฐกิจโดยไม่คำนึงถึงผลร้าย ที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มากเกินไป จนทำให้สังคม และสิ่งแวดล้อมเสียดุลยภาพกัน ก็จะทำให้เกิดภัยธรรมชาติที่รุนแรงมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ การสร้างแนวทางในการจัดการภัยพิบัติ จึงเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาชุมชนและประเทศชาติ อย่างยั่งยืน

4. แนวคิดเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของชุมชน ในการจัดการภัยพิบัติ

ในตอนนี้เราทราบแล้วว่าภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจะมีผลอย่างมากกับพื้นที่ที่มีความเปราะบาง ซึ่งอาจส่ง ผลร้ายแรงต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนชุมชนนั้นๆ และ

อาจขยายผลกระทบในมุมกว้างถึงระดับประเทศได้ (Imelda and Murshed, 2004) ซึ่งนอกจากการให้ความช่วยเหลือจากภาครัฐแล้ว การสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติย่อมเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่จะยกระดับความสามารถในการรับมือและลดความรุนแรงของผลกระทบจากภัยพิบัติที่มีต่อการพัฒนาได้ ในส่วนนี้ผู้เขียนจึงขออธิบายแนวคิดเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของชุมชนในการรับมือกับภัยพิบัติ โดยจะเริ่มจากการอธิบายความหมาย และขั้นตอนในการนำแนวคิดการมีส่วนร่วมของชุมชนไปใช้ในการจัดการภัยพิบัติเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ตลอดจนยกตัวอย่างการจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทาซึ่งใช้แนวทางการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนในการจัดการปัญหาพื้นที่ป่าไม้อ่อนเป็นต้นกำเนิดของภัยแล้ง รายละเอียดดังนี้

4.1 ความสำคัญของการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติ

การมีส่วนร่วมของชุมชน เป็นแนวทางที่ใช้ในการลดระดับความรุนแรงของภัยพิบัติในหลายประเทศ ดังนั้น การสร้างความเข้าใจถึงความหมายและแนวทางในการนำการมีส่วนร่วมของชุมชนไปใช้ในการจัดการกับภัยพิบัติ จึงเป็นสิ่งสำคัญกับทุกภาคส่วน รวมถึงแวดวงวิชาการและงานวิจัยด้วย (SABAN, 2016) ดังสังเกตได้จากจำนวนผลงานวิจัยด้านนี้ ซึ่งมีอย่างจำกัดมากในประเทศไทย ดังนั้น เพื่อเชื่อมโยงให้เห็นว่าการมีส่วนร่วมของชุมชนเกี่ยวข้องกับภัยพิบัติ ผู้เขียนจึงขอทำความเข้าใจเรื่องภัยพิบัติเสียเล็กน้อย กล่าวคือ ความรุนแรงของผลกระทบจากภัยทางธรรมชาติ นอกจากจะขึ้นกับระดับความรุนแรงของภัยธรรมชาตินั้นๆ แล้ว ยังขึ้นกับขีดความสามารถของชุมชนในการรับมือกับภัยธรรมชาตินั้นด้วย หากวิเคราะห์จากคำจำกัดความขององค์การสหประชาชาติ ที่ว่า “ภัยพิบัติ

เป็นภัยธรรมชาติที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนในชุมชน ซึ่งเกินกว่าขีดความสามารถของคนในชุมชนนั้น จะรับมือได้กับภัยธรรมชาตินั้นได้” (IASC, 2001) จะเห็นได้ว่า ขีดความสามารถของคนในชุมชนเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการป้องกันและบรรเทาการเกิดขึ้นของภัยพิบัติ ในปัจจุบันแนวคิดการมีส่วนร่วมของชุมชนจึงมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการจัดการปัญหาจากภัยพิบัติ และการพัฒนาความเจริญของชุมชน

4.2 ความหมายของการมีส่วนร่วมของชุมชน

Til (1984) และ Harrey, Baghri and Reed (2002) ได้กล่าวไว้ว่า การมีส่วนร่วมของชุมชน เป็นการที่ประชาชนในชุมชนสามารถมีส่วนร่วมในการดูแลและรับผิดชอบความเป็นอยู่ของประชาชนภายในชุมชนของตนเอง จนกระทั่งสามารถมีส่วนร่วมในการตัดสินใจในกิจการอันเป็นประโยชน์ต่อชุมชนร่วมกับเจ้าหน้าที่ภาครัฐได้อย่างถูกต้อง และเป็นไปด้วยความสมัครใจ สอดคล้องการแนวคิดในการจัดการและบรรเทาภัยพิบัติที่กล่าวถึงการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนไว้ว่า การจัดการในการบรรเทาภัยพิบัติโดยใช้ชุมชนเป็นฐานนั้น เป็นกระบวนการหนึ่งในที่ใช้ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยง โดยเน้นให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมในขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การระบุความอ่อนแอและความล่อแหลมของภัยพิบัติของชุมชน การประเมินความเสี่ยง การเฝ้าระวัง และการตอบสนองต่อภัยที่อาจจะเกิดขึ้นในชุมชน เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อเป็นการลดการเกิดภัยพิบัติ และเพิ่มขีดความสามารถของคนในชุมชน (Til, 1984; Harrey, et al., 2002)

ดังนั้น เมื่อวิเคราะห์หลักการและทฤษฎีเรื่องภัยพิบัติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน และการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติ ดังกล่าวในข้อที่ 2, 3, และ 4 แล้ว จึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 เรานุมานได้ว่า 1) ภัยพิบัติ ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์ และ 2) ความยั่งยืนในการพัฒนาชุมชนหรือประเทศ มีผลกระทบซึ่งกันและกัน โดยนัยหนึ่ง หมายถึง ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อความยั่งยืนในการพัฒนาชุมชนหรือประเทศซึ่งประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม และอีกนัยหนึ่ง หมายถึง การที่มนุษย์ทำกิจกรรมด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ย่อมส่งผลต่อการเกิดภัยพิบัติด้วย ซึ่งหากเป็นกิจกรรมที่ตั้งอยู่บนรากฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืนย่อมบรรเทาหรือลดการเกิดภัยพิบัติได้ ในทางตรงข้าม หากมนุษย์เลือกทำกิจกรรมที่เน้นแต่ประโยชน์ส่วนตน จนทำลายสมดุลระหว่างด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ย่อมเป็นสาเหตุในการเกิดภัยพิบัตินั่นเอง นอกจากนี้ การพัฒนาชุมชนหรือประเทศอย่างยั่งยืนจึงต้องคำนึงถึงมาตรการในการป้องกันภัยพิบัติด้วยนั่นเอง นอกจากนี้ยังค้นพบอีกว่า ความเปราะบางของชุมชนต่อภัยพิบัติยังเป็นฟังก์ชันของกิจกรรมชุมชน และพฤติกรรมของผู้คนอีกด้วย ดังนั้นการฝึกเฉยของชุมชนหรือหน่วยงานระดับนโยบายที่มีต่อภัยพิบัติย่อมเป็นสาเหตุที่ทำให้ชุมชนหรือประเทศนั้นๆ มีขีดความสามารถต่ำในการรับมือต่อภัยพิบัติ ด้วยเหตุนี้ การมีส่วนร่วมของคนในชุมชนในการจัดการภัยพิบัติจึงเป็นอีกหนึ่งรากฐานสำคัญในการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 1

4.3 ขั้นตอนการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติเพื่อความยั่งยืน

จากที่กล่าวแล้วข้างต้นว่า การมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติ จะเน้นให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมในขั้นตอนที่สำคัญในการหาหนทางที่จะนำไปสู่การลดการเกิดภัยพิบัติ และเพิ่มขีดความ

สามารถของคนในชุมชนที่จะรับมือกับภัยพิบัตินั้นๆ ซึ่งการเข้ามามีส่วนร่วมของชุมชนจนทำให้ประสบความสำเร็จได้นั้นแบ่งออกได้เป็นหลายระดับ ทั้งนี้ Amstein (1969) เป็นผู้เริ่มกล่าวถึงตัวแบบการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนโดยใช้ชื่อว่า A Ladder of Citizen หรือบันไดในการมีส่วนร่วมของพลเมือง 8 ขั้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวคิดบันได 8 ขั้น พัฒนาจากทฤษฎีของ Amstein (1969)

จากรูปที่ 2 ขั้นที่ 1 และ 2 (Manipulation, Therapy) เป็นขั้นแห่งการควบคุมและการดูแลรักษา ถือว่ายังไม่เกิดการมีส่วนร่วมของพลเมือง หรือ Nonparticipation สำหรับขั้นที่ 3, 4 และ 5 (Informing, Consultation, Placation) ถือว่าเป็นขั้นที่พลเมืองมีโอกาสดำเนินการให้ข้อมูลและข้อคิดเห็นแต่ไม่มีอำนาจในการตัดสินใจ หรือ Tokenism สำหรับขั้นที่ 6, 7 และ 8 (Partnership, Delegated Power, Citizen Control) ถือได้ว่าเป็นขั้นที่พลเมืองมีโอกาส

และมีขีดความสามารถในการตัดสินใจ (Degree of Citizen Power) หากพิจารณาแนวคิดบันได 8 ขั้น แล้วจะพบว่า คนในชุมชนเป็นกลุ่มคนที่มีความเหมาะสมที่สุดในเรื่องประสบการณ์เชิงประจักษ์ และความคุ้นเคยกับพื้นที่ ที่จะร่วมกันประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดภัยพิบัติ ลักษณะและผลกระทบของภัยพิบัติที่เคยเกิดขึ้น ความอ่อนแอ ตลอดจนความล่อแหลมของพื้นที่ในชุมชนที่มีต่อภัยพิบัติ ซึ่งจะนำไปสู่การร่วมกันพัฒนาแผนรับมือกับภัยพิบัติ การพัฒนาระบบการเฝ้าระวังภัย และวิธีการตอบสนองต่อภัยที่เกิดขึ้นในชุมชน ซึ่งผลจากการร่วมมือกันนี้จะทำให้ผลกระทบของภัยพิบัติที่มีต่อความยั่งยืนของชุมชนลดลง

4.4 กรณีศึกษา การมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลแม่ทาในการจัดการภัยแล้ง

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจมากขึ้น จึงขอยกกรณีศึกษาความร่วมมือระหว่างสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กับองค์การบริหารส่วนตำบลแม่ทา ซึ่งเป็นโครงการที่บูรณาการองค์ความรู้และขีดความสามารถของชุมชนแม่ทา ในการจัดทำผืนป่าและสิ่งแวดล้อม โดยการสร้างตัวแบบด้านการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การพัฒนาในระดับพื้นที่ของ อบต. แม่ทา และสร้างฐานข้อมูลภูมิประเทศสำหรับการจัดการเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติ โดยมีรายละเอียดพอสังเขป ดังนี้

ป่าชุมชนแม่ทาเป็นป่าสงวนแห่งชาติอยู่ในท้องที่ตำบลทาเหนือและตำบลแม่ทา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ มีเนื้อที่ประมาณ 147,656 ไร่ ซึ่งมีไม้ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ไม้สัก ไม้แดง ไม้ตะแบก ไม้รักฟ้า ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้เหียง เป็นต้น และมีของป่ากับทรัพยากรธรรมชาติอื่น จึงได้รับการกำหนดให้เป็นป่าสงวนแห่งชาติเพื่อรักษาสภาพป่า แต่อย่างไรก็ตามได้มีการตัดไม้จากนายทุนและบริษัทเอกชนจากการได้รับสัมปทาน

หรือการลักลอบตัดไม้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ชาวบ้านในพื้นที่ได้ทำการคัดค้านการกระทำดังกล่าว เนื่องจากชาวบ้านในชุมชนที่มีวิถีชีวิตที่พึ่งพาอาศัยป่ามาตั้งแต่อดีตในการหาอาหาร เก็บของป่าและสมุนไพร เมื่อป่าถูกทำลายปริมาณน้ำในลำห้วยสาขาของแม่น้ำแม่ทาที่ชาวบ้านใช้บริโภค อุปโภค และหล่อเลี้ยงนาข้าว ได้เหือดแห้งไป จนกระทั่ง พ.ศ. 2535 เกิดวิกฤตแล้งอย่างหนัก ทำให้ชาวบ้านในเขตตำบลแม่ทาเริ่มจัดตั้งองค์กรด้านป่าชุมชนขึ้น มีการจัดตั้งคณะกรรมการดูแลรักษาป่า เพื่อดำเนินการตั้งด่านสกัดไม้เถื่อนที่ออกมาจากป่า มีการสร้างระเบียบการบริหารจัดการและดูแลการใช้ประโยชน์จากป่า โดยใช้สภาตำบลเป็นกลไกประสานหลักและเริ่มมีการกำหนดแนวเขตการจัดการที่ดินอย่างชัดเจนมากขึ้น ทั้งนี้ได้มีกระบวนการจัดการพื้นที่ป่า ด้วยการทำแนวเขตพื้นที่ที่คณะกรรมการป่าทั้งตำบลเข้ามามีส่วนร่วมในกระบวนการตัดสินใจ มีการแบ่งพื้นที่ป่าเพื่ออนุรักษ์ป่าเพื่อใช้สอยหรือที่เป็นพื้นที่ป่าชุมชน จึงมีกระบวนการสร้างการยอมรับและตกลงร่วมกับเจ้าหน้าที่อุทยาน ต่อมาได้มีแผนงานเตรียมการของกรมป่าไม้ในการนำป่าชุมชนแม่ทาไปผนวกกับอุทยานแห่งชาติแม่ตะไคร้ เพื่อให้เป็นพื้นที่ป่าอนุรักษ์ ทำให้ชุมชนขาดการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ป่า เนื่องจากมีข้อจำกัดทางกฎหมายที่จำกัดชาวบ้านไม่ให้เข้าพื้นที่ป่าก่อนได้รับอนุญาตจากทางราชการ

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า ชุมชนแม่ทามีวิถีชีวิตอยู่ร่วมกับป่ามาเป็นเวลานาน ทั้งยังเป็นส่วนสำคัญต่อการดูแลรักษาป่าและร่วมกันแก้ไขวิกฤตการณ์ต่างๆ เช่น การลักลอบตัดไม้จากนายทุน ไฟป่า และภัยแล้ง เป็นต้น จนกระทั่งปัจจุบัน ชุมชนได้เห็นความจำเป็นในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลสารสนเทศในการวางแผนฟื้นฟูและอนุรักษ์ป่า ผ่านการสร้างเครือข่ายความร่วมมือในการดำเนินกิจกรรมร่วมกัน เพื่อจัดการพื้นที่ป่า

สิ่งแวดล้อม และลดความเสี่ยงต่อภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยล่าสุดเมื่อเดือนกันยายนที่ผ่านมา (พ.ศ. 2560) องค์การบริหารส่วนตำบลแม่ทา (อบต. แม่ทา) ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทป. ซึ่งเป็นหน่วยงานวิจัยและพัฒนาในกระทรวงกลาโหม เข้าสำรวจพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติแม่ทา รวมพื้นที่กว่า 73,000 ไร่ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (MiniUAV) บินถ่ายภาพ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนฟื้นฟูอนุรักษ์ป่าต้นน้ำต่อไป โดยคนในชุมชนตำบลแม่ทาได้เข้ามามีส่วนร่วมในขั้นตอนต่างๆ (หนังสือพิมพ์มติชนรายวัน, 2560) ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าคนในชุมชนแม่ทาได้เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการภัยพิบัติใน 6 กิจกรรม โดยเริ่มจากการร่วมกันหารือเพื่อออกแบบสร้างตัวแบบกลไกความร่วมมือ และตัวแบบความต้องการของชุมชนในการจัดการเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติ จากนั้นจึงลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลโดยใช้ UAV ถ่ายภาพและข้อมูลสำรวจภาคพื้น เมื่อกำหนดพื้นที่ที่จะศึกษาเรียบร้อยแล้วเจ้าหน้าที่จาก สทป. และชุมชนแม่ทาจึงร่วมกันสร้างฐานข้อมูลภูมิประเทศ (GIS) จากนั้นจึงร่วมกันประเมินความล่าช้าและความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติของชุมชน เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงแล้วชุมชนแม่ทาจะเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดทำแผนยุทธศาสตร์และโครงการต่างๆ เพื่อลดการเกิดภัยพิบัติ และพัฒนาขีดความสามารถของชุมชนในการรับมือกับภัยพิบัติ และท้ายที่สุดหน่วยงาน สทป. และชุมชนแม่ทาจึงได้ร่วมกันเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ แผนงาน โครงการ กิจกรรม รวมถึงแนวทางในการป้องกันภัยพิบัติสู่สาธารณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้อาศัยในชุมชนแม่ทา

ตัวอย่างการมีส่วนร่วมดังแสดงในรูปที่ 3 ที่ชุมชนแม่ทากับสื่อมวลชนได้เข้ามาร่วมเป็นกระบอกเสียงให้สังคมภายนอกได้รับรู้ข้อมูลที่คนในชุมชนตำบลแม่ทาได้เข้ามามีบทบาทในการจัดการวิกฤตภัยแล้ง ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้ช่วยให้ภัยแล้งได้รับการบรรเทา ป้องกัน และฟื้นฟูจนมีแนวโน้มดีขึ้นในปัจจุบัน อันเป็นผลมาจากระบบนิเวศและแหล่งน้ำธรรมชาติอันเป็นปัจจัยพื้นที่สำคัญในการประกอบอาชีพเกษตรกรรมและค้าขาย ตลอดจนการดำรงชีพของคนในชุมชนได้รับการปกป้อง ส่งผลให้คุณภาพชีวิตทางสังคม และเศรษฐกิจของคนในชุมชนมีแนวโน้มดีขึ้น



รูปที่ 3 การประชุมระหว่างเจ้าหน้าที่สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กับ สมาชิก อบต.แม่ทาจ.เชียงใหม่ ในการสำรวจภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน)

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ภัยธรรมชาติเป็นภัยพิบัติประเภทหนึ่งที่สร้างความเสียหายให้กับมวลมนุษยชาติอย่างมาก ทั้งในด้านชีวิตและทรัพย์สิน (Munich, 2000) ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ คุณภาพชีวิตของชุมชน (Denktas-Sakar and Karatas-Cetin, 2012) และการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศซึ่งตั้งอยู่บนการพัฒนาอย่างสมดุลของปัจจัยพื้นฐาน 3 ด้าน คือ ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม (Lu, et al., 2017)

ตารางที่ 2 กิจกรรมการมีส่วนร่วมของชุมชนแม่ทาในการจัดการภัยแล้ง

ลำดับกิจกรรม	กิจกรรม	ส่วนที่เกี่ยวข้อง
1	ร่วมกันหารือเพื่อออกแบบสร้างตัวแบบกลไกความร่วมมือและตัวแบบความต้องการของชุมชนในการจัดการเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติ	ชุมชนแม่ทา, เจ้าหน้าที่ อบต., สถาบันวิจัย (สทป.), กรมที่ดิน, ส่วนการศึกษา
2	ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลโดยใช้ UAV ถ่ายภาพและข้อมูลสำรวจภาคพื้น	
3	ร่วมกันสร้างฐานข้อมูลภูมิประเทศ (GIS)	
4	ร่วมกันประเมินความอ่อนแอและความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติของชุมชน	ชุมชนแม่ทา, เจ้าหน้าที่ อบต., ส่วนการศึกษา, ผู้ประกอบการภาคธุรกิจอุตสาหกรรม
5	ร่วมกันจัดทำแผนยุทธศาสตร์ และโครงการต่างๆ เพื่อลดการเกิดภัยพิบัติ และพัฒนาขีดความสามารถของชุมชนในการรับมือกับภัยพิบัติ	
6	เผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ แผนงาน โครงการ กิจกรรมสู่สาธารณะ	ชุมชนแม่ทา, เจ้าหน้าที่ อบต., ส่วนการศึกษา, สื่อสารมวลชน

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้หลายประเทศต้องจัดตั้งหน่วยงานที่มีหน้าที่กำกับ ดูแล ติดตาม ประเมินผล ตลอดจนสร้างมาตรการป้องกัน และประสานความร่วมมือกับหน่วยงานภายในและระหว่างประเทศ เพื่อจัดการกับภัยพิบัติ แต่อย่างไรก็ตามการสร้างมาตรการเพื่อให้ความช่วยเหลือจากภาครัฐนั้นไม่สามารถรับมือกับภัยพิบัติได้ทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์คับขันหรือในช่วงที่ภัยกำลังเกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาแนวทางที่จะทำให้ชุมชนในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศมีความสามารถในการจัดการภัยพิบัติด้วยตนเอง หรือเปิดโอกาสให้ชุมชนได้มีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรเพื่อใช้ในการจัดการกับภัยพิบัติ ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถและลดความเปราะบาง

ของชุมชนที่มีต่อภัยได้อย่างยั่งยืน ด้วยเหตุนี้บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการนำหลักการมีส่วนร่วมของชุมชนมาใช้ในการจัดการภัยพิบัติเพื่อลดผลกระทบต่อความยั่งยืนในการพัฒนาประเทศ โดยอธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับภัยพิบัติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน และการมีส่วนร่วมของชุมชนการจัดการภัยพิบัติ ซึ่งได้จากการทบทวนและวิเคราะห์วรรณกรรม ประสบการณ์การทำงานของผู้เขียน และการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านภัยพิบัติ และได้เชื่อมโยงทฤษฎีดังกล่าวเข้ากับการจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทา ซึ่งอาศัยการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนในการจัดทำแผนจัดการพื้นที่ป่าไม้ร่วมกับหน่วยงานภายนอก เมื่อทำการวิเคราะห์ทฤษฎีกับการจัดการภัยแล้งในตำบลแม่ทาแล้ว

พบว่ากรณีศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างมาก กล่าวคือ การที่ผู้นำและตัวแทนของคนในชุมชนตำบลแม่ทา ได้เข้ามามีบทบาทในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ โดยเริ่มตั้งแต่ การร่วมกันหาวิธีเพื่อออกแบบสร้างตัวแบบกลไกความร่วมมือ และตัวแบบความต้องการของชุมชนในการจัดการเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติ จึงทำให้แนวทางดังกล่าวนี้เป็นที่ยอมรับของคนในชุมชน ซึ่งแตกต่างจากแนวทางทั่วไปที่มีถูกออกแบบและกำหนดโดยหน่วยงานของภาครัฐ จากนั้นคนในชุมชนจึงลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลโดยใช้ UAV ถ่ายภาพและข้อมูลสำรวจภาคพื้น โดยมีเจ้าหน้าที่สหป. ซึ่งเป็นหน่วยงานภายนอกคอยให้ความช่วยเหลือ จึงเป็นการเปิดโอกาสให้คนในชุมชนได้เรียนรู้เทคโนโลยีภาพถ่ายดาวเทียม อีกทั้งยังทำให้เจ้าหน้าที่ของภาครัฐได้เรียนรู้ถึงแนวความคิดของคนในชุมชน และหลักฐานสำคัญที่แสดงถึงความสำเร็จของการลดภัยแล้งโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน คือ การที่คนในชุมชนแม่ทาได้ร่วมกันเผยแพร่แนวทางในการป้องกันภัยพิบัติสู่คนในชุมชนเดียวกัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้คนในชุมชนตื่นตัวต่อพฤติกรรมหรือเหตุการณ์ที่อาจส่งผลร้ายต่อทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งอาจเป็นบ่อเกิดภัยแล้งได้ ซึ่งทั้งหมดนี้ส่งผลให้การจัดการภัยแล้งของชุมชนแม่ทามีลักษณะเชิงรุกและมุ่งเน้นป้องกันภัยมากกว่าการจัดการเชิงรับที่มุ่งแก้ไขหลังเกิดปัญหา

อย่างไรก็ตามงานวิจัยด้านการจัดการภัยพิบัติการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการภัยพิบัติการพัฒนาดัชนีชี้วัดความยั่งยืนด้านการจัดการภัยพิบัติและผลกระทบของภัยพิบัติที่มีต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนยังมีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้องค์ความรู้ด้านนี้ยังไม่สมบูรณ์ ตลอดจนสถานการณ์โลก และสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้ปัจจัยที่ใช้ในการจัดการภัยพิบัติเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ด้วยเหตุนี้การศึกษาเชิงลึกด้วยวิธีการเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ตลอดจนการบูรณาการองค์ความรู้ระหว่างหน่วยงานในประเด็นดังกล่าวนอกจากจะช่วยพัฒนาแนวทางในการเพิ่มขีดความสามารถของประเทศในการรับมือกับภัยพิบัติแล้ว ยังสามารถเติมเต็มองค์ความรู้ในทางวิชาการอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Amstein, S. R., "A ladder of Citizen Participation", Journal of the American Planning Association, 1969, pp. 216-224.
- [2] Denktas-Sakar, G. & Karatas-Cetin, C., "Port Sustainability and Stakeholder Management in Supply Chains: A Framework on Resource Dependence Theory", The Asian Journal of Shipping and Logistics, 28(3), 2012, pp. 301-320.
- [3] Global Reporting Initiative, "Sustainability Reporting Guidelines", Amsterdam, Netherlands: Global Reporting Initiative, 2017.
- [4] Harrey, P., Baghri, S. & Reed, R., 2002. "Emergency Sanitation: Assessment and programme design", Loughborough University, 2002.
- [5] IASC, "Operational guidelines on the protection of persons in situations of natural disaster", Washington DC: The Brookings, 2011.
- [6] Imelda, A. & Murshed, Z., "Community-Based Disaster Risk Management: Field Practitioners' Handbook", 2004: ADPC.
- [7] Katiyar, R. et al., "Impact of sustainability

- and manufacturing practices on supply chain performance: Findings from an emerging economy”, *International Journal of Production Economics*, Volume 197, 2018, pp. 303–316.
- [8] Lu, Y. et al., “Measuring sustainability at the community level: An overview of China’s indicator system on National Demonstration Sustainable Communities”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 143, 2017, pp. 326-335.
- [9] Mapar, M. et al., “Sustainability indicators for municipalities of megacities: Integrating health, safety and environmental performance”, *Ecological Indicators*, Volume 83, 2017, pp. 271–291.
- [10] Mata-Lima, H. et al., “Impacts of natural disasters on environmental and socio-economic systems: what makes the difference?”, *Ambiente & Sociedade*, 16(3), 2013, pp. 1-11.
- [11] Morris, A., Zuo, J., Wang, Y. & Wang, J., “Readiness for sustainable community: A case study of Green Star Communities.”, *Journal of Cleaner Production*, Volume 173, 2018, pp. 308-317.
- [12] Munich, R., *Natural Catastrophes - the current position*, 2000.
- [13] SABAN, L. I., “International Disaster management Ethics”, University of New York, USA: New York Press, Albany, 2016.
- [14] Schipper, C., Vreugdenhil, H. & Jong, M. d., “A sustainability assessment of ports and port-city plans: Comparing ambitions with achievements”, *Transportation Research Part D*, Volume 57, 2017, pp. 84–111.
- [15] The International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2016. *World Disasters Report*. [Online] Available at: https://www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL_web.pdf
- [16] Til, V. J., “Citizen participation in the future”, *Policy Studies Review*, 1984, pp. 311-322.
- [17] United Nations, “A World Charter for Nature”, United States: New York., 1982.
- [18] United Nations, “Natural Disasters and Sustainable Development: understanding the links between development, environment and natural disasters”, *World Summit on Sustainable Development (WSSD)*, 28 January, 2002 pp. 1-12.
- [19] United Nations, “Framing Sustainable Development: The Brundtland Report - 20 Years On”, United States: UN Department of Public Information, 2007.
- [20] United Nations, “TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT”, United States: United Nations, 2015.

- [21] University of Alberta, “What is sustainability, Montreal: McGill Office of Sustainability”, 2018.
- [22] Yap, W. Y. L. J. S. L., “80 million-twenty-foot-equivalent-unit container port? Sustainability issues in port and coastal development”, Ocean & Coastal Management, Volume 71, 2013, pp. 13-25.
- [23] Young, D., “The link between sustainable development and disaster risk”, 2015 [Online] Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2015/03/the-link-between-sustainable-development-and-disaster-risk/>
- [24] Zillman, J. W., “A History of Climate Activities”, 2009 [Online] Available at: <https://public.wmo.int/en/bulletin/history-climate-activities>
- [25] ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, “สถิติภัยพิบัติย้อนหลัง 10 ปี ของภัยแต่ละประเภทในประเทศไทย”, 2012 [Online] Available at: <https://thaipublica.org/wp-content/uploads/2012/10/%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%9E%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2.pdf>
- [26] หนังสือพิมพ์มติชนรายวัน, “ใช้โดรนสแกนป่าพลิกฟื้นต้นน้ำ”, 6 กันยายน 2560, หน้า 8.

การบริหารจัดการองค์ความรู้สู่การเป็นผู้นำระดับสากล

วีระชน เพ็ญศรี^{1*}

บทคัดย่อ

ในแวดวงวิชาการด้านยุทธศาสตร์และความมั่นคงศึกษาของประเทศไทย บทความทางวิชาการเกี่ยวกับการศึกษาด้านนี้โดยเฉพาะบทความทางทหารมักมุ่งเน้นไปในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แต่โดยความเป็นจริงแล้วการทำความเข้าใจเรื่องยุทธศาสตร์และความมั่นคงศึกษาจำเป็นต้องศึกษาทั้งในลักษณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ บทความฉบับนี้ผู้เขียนมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนองานเขียนในรูปแบบการอภิปรายเชิงคุณภาพโดยใช้การทบทวนวรรณกรรมและการยกตัวอย่างกรณีศึกษาในอดีตเพื่อให้เกิดการอภิปรายในเชิงทศนวิจารณ์มากกว่ามุ่งแสวงหาข้อสรุปในประเด็นที่ถูกหยิบยกขึ้นมาอภิปราย

บทความฉบับนี้ผู้เขียนอภิปรายถึงพลังอำนาจของการบริหารจัดการองค์ความรู้โดยยกตัวอย่างอิทธิพลของการบริหารจัดการองค์ความรู้ที่ส่งผลต่อความมีพลังอำนาจของผู้นำหรือแม้กระทั่งของรัฐในอดีต จากนั้นผู้เขียนได้อภิปรายถึงความจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการองค์ความรู้เพื่อให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ตลอดจนการนำองค์ความรู้ไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีตัวแปรจำกัดบางประการ เช่น บริบททางสังคมและวัฒนธรรม สุดท้ายผู้เขียนได้อภิปรายถึงบทบาทของผู้นำและการบริหารจัดการองค์ความรู้ในยุคปัจจุบัน ซึ่งถือได้ว่าเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่ผู้นำยุคใหม่ไม่อาจปฏิเสธได้

ในตอนท้ายผู้เขียนได้นำเสนอข้อเสนอแนะบางประการในการบริหารจัดการองค์ความรู้เพื่อให้เกิดการประยุกต์ใช้ในกิจการเทคโนโลยีการป้องกันประเทศอย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ : อารุธทางปัญญา, การบริหารจัดการองค์ความรู้, แนวคิดร่วมของกลุ่มบุคคล

¹ โรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: freewill701@gmail.com

Contribution of Knowledge Management to international leadership

Verachon Pensri^{1*}

Abstract

In Thailand, most works of strategy and international security study those of military scholar, are written in term of science. In fact, the strategy and international security study has to cover both art and science approaches. Therefore, this article attempts to present academic essay in form of qualitative discussion by using the method of literature review with case studies in the past. The objective of this essay aims to urge the conceptual discussion rather than try to find out the definite conclusion of the topic.

This article discusses the impact of knowledge management by exemplifying the influence of knowledge management on the state or leadership power in the past. Then, the author explores the necessity of knowledge management under some conditions such as social and cultural contexts in order to generate knowledge synthesis and its applications for utmost effective benefits. Eventually, the essay discusses leadership role and knowledge management nowadays which become necessary and cannot be neglected.

At the end, the author presents some suggestions on knowledge management which may apply its matter for defense technology concretely.

Keywords : Weapon of wisdom, Knowledge management, Common approach

¹ Flying Training School, Royal Thai Air Force.

* Corresponding Author, E-mail: freewill701@gmail.com

1. ความนำ

“สติปัญญา” หรือ “ความฉลาด” มักเป็นคุณสมบัติลำดับต้นๆ ของผู้นำที่ดี เพราะปัญญานั้นย่อมนำไปสู่บุคลิกอื่นๆ เช่น ความฉลาดด้านอารมณ์ ความฉลาดด้านคุณธรรมจริยธรรม (Stogdill, 1981) กล่าวโดยรวมแล้ว ผู้นำที่ฉลาดกว่ามักรับประกันได้ว่า จะมีกลวิธีในการดำเนินการ สิ่งใดๆ ได้แยบยลกว่า อย่างไรก็ตามความฉลาดนั้นเป็นผลต่อเนื่องของกระบวนการการสังเคราะห์ทางภูมิปัญญาและองค์ความรู้ในทางหนึ่งความฉลาดตามที่ Clausewitz (1989: 100 - 112) เรียกว่า “อัจฉริยะ” (Genius) เป็นพรสวรรค์ที่เชื่อว่าติดตัวมาโดยกำเนิด แต่ในอีกทางเชื่อว่าจะสามารถปลูกฝังและถ่ายทอดผ่านกระบวนการจัดการด้านการศึกษาได้เช่นกัน แต่ไม่ว่าทางใดการบริหารจัดการองค์ความรู้เป็นหนึ่งในกระบวนการการถ่ายทอดภูมิปัญญาจากรุ่นต่อรุ่น เป็นมรดกล้ำค่าที่ส่งผลกระทบต่อความเจริญและความมั่นคงของชนรุ่นหลังที่บรรพชนได้เหลือไว้ให้

บทเรียนในอดีตได้สอนไว้ว่าไม่มีอาวุธใดที่จะทรงอำนาจมากไปกว่าอาวุธทางปัญญา ผู้ที่สามารถควบคุมการจัดการองค์ความรู้ คือ ผู้ที่สามารถกำหนดทิศทางการความคิดมนุษย์ในอนาคต การให้ความสำคัญต่อการบริหารจัดการองค์ความรู้จึงเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญยิ่งของผู้นำ ผู้นำที่สำคัญในอดีตต่างให้ความสำคัญต่อการบริหารจัดการเรื่องดังกล่าวอันส่งผลกระทบต่อภารกิจหน้าประวัติศาสตร์ และในทางกลับกันผู้นำที่ละเลยไม่ให้ความสำคัญก็จะนำรัฐของตนให้ตกเป็นอาณานิคมทางความคิดและตกเป็นเบี้ยล่างของรัฐที่ทรงปัญญากว่า ดังที่จะได้กล่าวต่อไป

2. พลังอำนาจของการบริหารจัดการองค์ความรู้

การบริหารจัดการองค์ความรู้ที่ผู้เขียนใช้ในบทความฉบับนี้ รวมความหมายถึงกระบวนการในการคัดสรร แยกแยะ จัดระบบ รูปแบบความรู้เชิงวิชาการ ตลอดจนการถ่ายทอดและนำความรู้นั้นไปใช้ในวงกว้าง โดยเน้นให้ความสำคัญที่ระบบการศึกษาในความเป็นวิชาการขององค์ความรู้ทั้งหลาย เพราะโดยเนื้อหาแล้วความรู้และความรู้เชิงวิชาการอาจหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยมีเส้นแบ่งบางๆ ของกระบวนการทางวิชาการเป็นตัวแยกแยะ อาจกล่าวได้ว่าความรู้เชิงวิชาการนั้นคือการนำองค์ความรู้ใดๆ มาเรียบเรียงใหม่ผ่านรูปแบบเฉพาะอันเป็นสากลก็มิผิดนัก

ในอีกความหมาย การบริหารจัดการองค์ความรู้ คือ การจัดระบบความคิดของสังคม การปกครองครอบงำ และการบังคับให้เกิดความเชื่อในแนวทางเดียวกัน ทั้งยังเป็นการวางรากฐานระบบการถ่ายทอดความคิด (การศึกษา) ผู้ปกครองในอดีต ภายหลังจากใช้กำลังเข้ายึดครองแล้วมักจะเริ่มจัดระเบียบพื้นที่ภายใต้การควบคุมด้วยการบริหารจัดการองค์ความรู้เป็นอันดับแรกเสมอ เช่น การปรับปฏิทินระบบตัวเลข การปรับมาตรฐานการชั่ง ตวง วัด ภาษา ระบบศาล ตลอดจนความเชื่อและพิธีกรรมทางศาสนา องค์ความรู้อันเป็นพื้นฐานและรากเหง้าของสังคมเดิมจะถูกผลักให้เป็นความเชื่ออันล้าสมัยและไม่ใช้อารยะ บางครั้งองค์ความรู้เดิมซึ่งขัดต่ออำนาจของผู้ปกครองใหม่จะถูกทำลายทิ้งโดยไม่มีข้อโต้แย้งใดๆ ในทางหนึ่งการทำลายองค์ความรู้เดิมเป็นการกระทำอันถูกตีค่าว่าโหดร้ายไร้มนุษยธรรม แต่ในอีกทางเป็นการวางรากฐานระบบความคิดของสังคมใหม่ เช่น ในกรณีอภิปรายถึงการวางระบบ

ความคิดของ จิ้นซีฮ่งเต้ (Qin Shi Huangdi, 259-210 BC) เป็นการรวบรวมแผ่นดินจีนให้เป็นปึกแผ่นพร้อมๆ กับการล่มสลายของระบบแนวคิดอันหลากหลายของชาติพันธุ์ซึ่งเป็นชนกลุ่มน้อย อเล็กซานเดอร์มหาราช (Alexander the Great, 356-323 BC) วางโครงข่ายระบบความคิดและการศึกษาให้กับเครือข่าย อเล็กซานเดรีย (Alexandria) พร้อมๆ กับการควบคุมทางเศรษฐกิจและการปกครอง (Lonsdel, 2007)

ในช่วงยุคล่าอาณานิคม กลุ่มประเทศเจ้าอาณานิคมใช้กลวิธีเดียวกันในการรักษาอำนาจในเขตอิทธิพล จะเห็นได้ว่าการศึกษาระบบการศึกษาของประเทศอาณานิคมมักจะเป็นระบบเดียวกับประเทศแม่ ในทางหนึ่ง คือ การผลิตบุคลากรเพื่อรับใช้ระบบราชการเดียวกัน แต่ในอีกทาง คือ การครอบงำทางความคิดและภูมิปัญญา อันส่งผลต่อเนื่องถึงความง่ายต่อการแทรกแซงทางสังคมและวัฒนธรรมที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงค่านิยมหลักของสังคมต่อไป (Martin, 2008) อาจกล่าวได้ว่าการวางรากฐานระบบการศึกษาของรัฐภายใต้อาณานิคมเป็นหนึ่งในการรักษาและยืนยันอิทธิพลของประเทศเจ้าอาณานิคมในระยะยาว กลไกของอำนาจรัฐและเศรษฐกิจจะเป็นตัวกลางในการขับเคลื่อนเชื่อมโยงให้ประเทศแม่เป็นปลายทางการหลั่งไหลของทรัพยากร ผลประโยชน์และสิทธิขาดในการบริหารจัดการทรัพยากรเหล่านั้น (Mahan, 1987)

ในยุคปัจจุบันที่การครอบงำด้วยวิธีการดังกล่าวอาจใช้ไม่ได้ผล โดยเฉพาะเมื่อสหประชาชาติได้กล่าวรับรอง “สิทธิในการกำหนดใจตนเอง” (The Rights of Self-Determination) ไว้ในกฎบัตรสหประชาชาติ (UN, 1960) โดยมีสาระเพื่อรับประกัน “เสรีภาพในการตัดสินใจในสถานะทางการเมืองและดำเนินการทางเศรษฐกิจ สังคมและวัฒนธรรม

ของตนเองได้อย่างเสรี” (ณัฐกฤษตา เมฆา, 2551) แก่ประเทศสมาชิก แต่มิได้หมายความว่าหลุมพรางในเรื่องดังกล่าวจะหมดไป ในทางตรงกันข้ามกลับเพิ่มความซับซ้อนและเข้มข้นรุนแรงยิ่งขึ้น (สุรชาติ บำรุงสุข, บรรณาธิการ, 2552 ก) การแข่งขันด้าน “ตลาดความคิด” ยังสามารถสร้างผลประโยชน์อันมหาศาลทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโลกที่เสมือนไม่มีข้อจำกัดเรื่องพรมแดน ความหมายของการเป็นเจ้าของความคิดอาจไม่สำคัญเท่ากับการเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ อาจกล่าวโดยนัยได้ว่าผู้ที่มีระบบการบริหารจัดการที่ดีกว่าสามารถควบคุมและแสวงหาผลประโยชน์ได้จากทุกสิ่ง แม้กระทั่งความคิดของผู้อื่น ส่วนผู้ที่ตกเป็นเหยื่อของกลวิธีอันแยบยลดังกล่าวจำเป็นต้องซื้อทุกอย่างด้วยราคาแสนแพง ในที่สุดอาจต้องซื้อแม้กระทั่งความคิดของตนเอง

การอภิปรายข้างต้นเป็นเพียงการชี้ให้เห็นว่าการบริหารจัดการองค์ความรู้มีพลังอำนาจต่อการเปลี่ยนแปลงสังคมมากกว่าการจำกัดขอบเขตในแวดวงของวงการศึกษา อย่างไรก็ตามการที่รัฐใดๆ จะบริหารจัดการองค์ความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่นั้น ยังมีข้อจำกัดอื่นๆ ดังที่จะอภิปรายในหัวข้อต่อไป

2.1 ความจำเป็นที่ต้องมีการบริหารจัดการองค์ความรู้

แม้ความรู้เชิงวิชาการจะมีรูปแบบที่ค่อนข้างชัดเจนเป็นสากล แต่มิได้หมายความว่าเนื้อหาเดียวกันนั้นจะสามารถใช้ได้ในทุกสถานการณ์ ปรากฏการณ์ดังกล่าว ดร.คอลลิน เกรย์ (Gray, 1999: 129-151) ได้อธิบายถึงอิทธิพลของวัฒนธรรมซึ่งส่งผลต่อแนวคิดร่วมของกลุ่มบุคคลทำให้องค์ความรู้หนึ่งๆ ไม่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกกลุ่มคนโดยไม่ผ่านการปรับแต่งให้เหมาะสมกับบริบททางสังคม

และวัฒนธรรม เช่น ทฤษฎีผู้นำแบบแมคเคียเวลลี (Machiavelli, 1998) ซึ่งมุ่งเน้นในการรักษาอำนาจของผู้นำด้วยเครื่องมือและวิธีการใดๆ ทั้งโดยเล่ห์เหลี่ยมและกลอุบายโดยมิต้องคำนึงถึงความซื่อตรงและคุณธรรมต่อประชาชนนัก การแสดงคุณธรรมของผู้ปกครองย่อมต้องเป็นการแสดงออกอย่างมีเงื่อนไขเพื่อการรักษาอำนาจมากกว่าผลประโยชน์ที่แท้จริงของผู้ถูกปกครอง อาจใช้ได้ดีในวัฒนธรรมตะวันตก แต่อาจได้รับการต่อต้านจากวัฒนธรรมตะวันออก แต่เมื่อพิจารณาในแง่สาระแล้วแนวคิดของแมคเคียเวลลิลกลับเป็นจริงและมีความเป็นสากลในเชิงวิชาการมากกว่าเปลือกนอกที่เป็นเชิง “วรรณกรรม” ดังนั้นเมื่อผ่านการปรับรูปแบบการนำเสนอเชิงวิชาการแล้ว แนวคิดของเขาจึงสามารถปรับให้เข้ากับทั้งสังคมตะวันออกและตะวันตกได้อย่างกลมกลืน แนวคิดของเขาได้รับการศึกษาและตีความในแวดวงวิชาการด้านรัฐศาสตร์อย่างแพร่หลายในมหาวิทยาลัยทั่วโลก

ในเรื่องเดียวกัน พระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 3 (2395) ได้พระราชทานพระบรมราโชวาทไว้ว่า “การศึกษาสงครามข้างญวนข้างพม่าก็เห็นจะไม่มีแล้ว จะมีอยู่ก็แต่ข้างพวกฝรั่งให้ระวังให้ดี อย่าให้เสียที่แก่เขาได้ การงานสิ่งใดของเขาคิดควรจะเรียนเอาไว้ก็ให้เอาอย่างเขา แต่อย่าให้นับถือเลื่อมใสไปทีเดียว” พระบรมราโชวาทดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงพระปรีชาและความเข้าใจในการให้ความสำคัญที่จะต้องเรียนรู้วิทยาการสมัยใหม่โดยให้คำนึงถึงการปรับใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของตัวเองเป็นอย่างดี

การบริหารจัดการองค์ความรู้นอกจากจะต้องคำนึงถึงการประยุกต์เนื้อหาให้เหมาะสมกับบริบททางสังคมและวัฒนธรรมแล้ว อีกตัวแปรที่ต้องคำนึงถึง คือ ความแตกต่างด้านภูมิหลัง บทบาท

หน้าที่ และพื้นฐานความรู้ของคนในสังคมนั้นๆ ด้วย เพราะการนำองค์ความรู้หนึ่งๆ ไปประยุกต์ใช้ อาจต้องเกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติหลายระดับ การให้คนทุกคนรับการถ่ายทอดองค์ความรู้เหมือนกันโดยไม่ผ่านกระบวนการบริหารจัดการและแยกย่อยให้เหมาะสมแล้ว อาจเกิดปัญหาลักษณะ “มากคนก็มากความ” การบริหารจัดการองค์ความรู้เพื่อให้เหมาะสมกับระดับของผู้ใช้จึงเป็นเสมือนสะพานเชื่อมระหว่างเนื้อหาองค์ความรู้และผู้ปฏิบัติอันทำให้เกิดความง่ายต่อการเข้าถึงองค์ความรู้ในวงกว้าง การกระทำในลักษณะดังกล่าวสามารถทำได้ทั้งโดยการปรับองค์ความรู้ให้ง่ายต่อความเข้าใจของผู้ใช้ หรือในทางกลับกันโดยการปรับระดับความรู้ของผู้ใช้ให้มีความรู้รองรับองค์ความรู้ได้เช่นเดียวกัน

การประยุกต์องค์ความรู้ใดๆ เพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจำเป็นต้องผ่านกระบวนการในการบริหารจัดการเพื่อให้มีความสอดคล้องกับบริบททางสังคมตลอดจนระดับความรู้พื้นฐานของคนในสังคมนั้นๆ ความรู้ที่มีมากมายหากไม่ผ่านกระบวนการดังกล่าวก็คงไม่ต่างจาก “คัมภีร์ในหอสมุด” ซึ่งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม การให้ความสำคัญต่อเรื่องดังกล่าวล้วนเป็นภาพสะท้อนโดยตรงจากวิสัยทัศน์ของผู้นำซึ่งจะได้อภิปรายในหัวข้อต่อไป

2.2 บทบาทของผู้นำและการบริหารจัดการองค์ความรู้ยุคปัจจุบัน

ไม่ว่าโลกยุคปัจจุบันกำลังก้าวเข้าสู่ยุค “โลกไร้พรมแดน” หรือได้เปลี่ยนไปเรียบร้อยแล้วก็ตาม บทบาทของผู้นำซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์ต่อมนุษย์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ท่ามกลางกระแสการถ่ายโอนข้อมูลอย่างอิสระ อิทธิพลของผู้นำและความศรัทธาส่วนตัวกลับแสดงผลต่อแนวโน้มการเสพข้อมูลของผู้รับสารไม่เคยเปลี่ยน ผู้รับสาร

ยังคงเลือกการเข้าถึงข้อมูลจากแหล่งเดิมๆ ที่คุ้นเคย และเลือกที่จะเชื่อข้อมูลที่รองรับโดยพื้นฐานความรู้เดิมของตนเป็นหลัก เช่น ประชาชนชาวเกาหลีเหนือที่นับถือประธานาธิบดี คิม จองอิล (Kim Jong-il) จะเลือกรับข้อมูลจากรัฐบาลและปฏิเสธแหล่งข้อมูลอื่นโดยสิ้นเชิง ในขณะที่ประชาชนชาวอเมริกันส่วนใหญ่ ซึ่งมีข้อจำกัดน้อยกว่าแต่ก็ยังเลือกที่จะเชื่อข้อมูลที่สนับสนุนฝ่ายรัฐบาลของตน และปฏิเสธข้อมูลของฝ่ายตรงข้ามที่ให้ข้อมูลในมุมกลับกัน อเมริกันคนส่วนใหญ่เลือกที่จะเชื่อว่ามุสลิมเป็นภัยคุกคามต่อสหรัฐ แทนที่จะเชื่อว่าสหรัฐเป็นภัยคุกคามต่อโลกมุสลิม (สรุชาติ บำรุงสุข, 2552 ข: 2-41)

จากกรณีดังกล่าวจะเห็นได้ว่า แม้ผู้นำไม่สามารถบังคับให้ใครเชื่อได้ แต่สามารถมีอิทธิพลต่อการเลือกที่จะเชื่อในทางเดียวกัน ผู้นำนั่นเองเป็นผู้กำหนดแนวทาง หรือวางนโยบายให้กับการบริหารจัดการสิ่งต่างๆ รวมทั้งในเรื่องการศึกษา องค์กรใดที่ผู้นำให้ความสำคัญในเรื่องการบริหารจัดการองค์ความรู้ มักจะเป็นหลักประกันขั้นต้นต่อการเจริญงอกงามอย่างมั่นคงขององค์กร เช่น ลี กวน ยู (Lee Kuan Yew) ผู้นำพาให้สิงคโปร์ก้าวขึ้นเป็นหนึ่งในประเทศชั้นนำของอาเซียนและของโลก ได้ให้ความสำคัญต่อการบริหารจัดการองค์ความรู้เป็นอันดับแรกๆ ทั้งระบบจัดการด้านการศึกษาและการถ่ายโอนข้อมูลข่าวสาร ภายใต้โครงการ “ทางด่วนข้อมูล (IT 2000)” โดยมุ่งที่จะนำสิงคโปร์สู่ความเป็น “เกาะแห่งปัญญา (Intelligent Island)” (สมาคมนักวิชาชีพไทยในญี่ปุ่น, 2540 : 192-207) เช่นเดียวกับประเทศมหาอำนาจทั้งในอดีตและปัจจุบันต่างให้ความสำคัญกับเรื่องดังกล่าวเป็นอันดับต้นๆ เสมอ ยกตัวอย่างเช่น ระบบจัดการองค์ความรู้ของประเทศอังกฤษและฝรั่งเศสซึ่งมีต่อเนื่องโดยไม่ขาดตอนตลอดเวลากว่าเจ็ดร้อยปี สหรัฐอเมริกา

จัดตั้งมหาวิทยาลัยพร้อมๆ กับการก่อตั้งประเทศ

จากกรณีศึกษาที่ได้ยกเป็นตัวอย่างข้างต้น อาจเป็นภาพรวมขนาดใหญ่ แต่เมื่อเปรียบเทียบประยุกต์โดยปรับขนาดของมาตราส่วนให้เล็กลงก็จะสามารถเห็นได้ว่า บทบาทของผู้นำต่อนโยบายการบริหารจัดการองค์ความรู้มีผลโดยตรงต่อทิศทางขององค์กรใดๆ ในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของสังคมยุคปัจจุบันซึ่งการถ่ายโอนข้อมูลเป็นไปด้วยความสะดวกและรวดเร็ว หากผู้นำด้อยคุณสมบัติด้าน “สติปัญญา” ย่อมนำความเสียหายมาสู่ทั้งตัวผู้นำและองค์กรอย่างง่ายดาย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้นำจะต้องใส่ใจในการพัฒนาภูมิปัญญาของตนตลอดจนการบริหารจัดการองค์ความรู้เพื่อกระจายภูมิปัญญาให้กับคนส่วนใหญ่ในองค์กร ด้วยความจริงที่ว่า “ไม่มีใครรู้ไปเสียทุกอย่าง” การบริหารจัดการองค์ความรู้จึงเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ผู้นำสามารถใช้ในการแสวงหาข้อมูลในการแก้ไขปัญหาใดๆ อย่างมีประสิทธิภาพ การให้ความสำคัญในการบริหารจัดการเรื่องดังกล่าวจึงนับเป็นส่วนประกอบของคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของผู้นำ คือ “สติปัญญา” อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

3. สรุป

การบริหารจัดการองค์ความรู้มีพลังอำนาจต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคมในลักษณะเป็นตัวกำหนดแนวคิดพื้นฐานและทิศทางของความเชื่อ มวลรวมของคนในสังคม ผู้ที่สามารถจัดการระบบความคิดของสังคมย่อมสามารถชี้นำสังคมให้ไปในทิศทางที่ต้องการได้ การบริหารจัดการองค์ความรู้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมต่อสภาพทางสังคมและวัฒนธรรมตลอดจนความรู้พื้นฐาน และความแตกต่างของคนในสังคมเพื่อให้เกิดการหลอมรวมของกระบวนการทางความคิดและปฏิกิริยาในทางปฏิบัติ

ผู้นำเป็นผู้มีความสำคัญโดยตรงต่อแนวทางการบริหารจัดการองค์ความรู้ขององค์กร เรื่องดังกล่าวจึงเป็นเรื่องที่ผู้นำไม่อาจละเลยได้ โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมของโลกปัจจุบันซึ่งองค์ความรู้มีผลต่อความเจริญ ความอยู่รอด หรือความล่มสลายขององค์กร

หากพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐานเช่น องค์ความรู้ ประกอบ และขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีแล้ว จะพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพและขีดความสามารถเพียงพอในการพัฒนาเพื่อการยกระดับเทคโนโลยีการป้องกันประเทศไม่น้อยกว่าประเทศอื่นๆ ในระดับเดียวกัน เช่น เรามีองค์ความรู้ด้านอากาศยานทุกแขนง แต่ไม่สามารถสร้างเครื่องบินได้ เรามีองค์ความรู้และเทคโนโลยีทุกด้านในการประกอบรถยนต์แต่ไม่สามารถผลิตรถยนต์หรือยานรบ หากมีการบริหารจัดการองค์ความรู้ที่เหมาะสมอาจสามารถเป็นส่วนหนึ่งในการผลักดันให้ประเทศไทยก้าวขึ้นอยู่ในระดับผู้นำภูมิภาคด้านเทคโนโลยีการป้องกันประเทศได้ การบูรณาการองค์ความรู้ทั้งหมดเพื่อให้เกิดการยกระดับในเรื่องดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องทุกส่วนทั้งจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ทั้งอาจต้องมีการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทั้งในและนอกประเทศ การบริหารจัดการองค์ความรู้ในการพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศในแง่มุมของการศึกษาเชิงวิชาการจึงอาจเป็นสะพานเชื่อมและเป็นกุญแจสำคัญเพื่อให้เกิดการปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

ในโลกปัจจุบัน เราไม่อาจอยู่รอดได้โดยการอยู่เพียงลำพัง การเปิดตัวเข้าสู่ประชาคมนั้น เป็นทั้งเพื่อความอยู่รอดและความเสี่ยงที่มีเดิมพันมหาศาล เราไม่อาจหลีกเลี่ยงการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นทั้งทางตรงและทางอ้อม เมื่อโลกเข้าสู่ยุค “ไร้พรมแดน” มิได้หมายความว่าโลกจะ “ไร้รัฐ” การก้าวสู่การ

เปลี่ยนแปลงจึงต้องเตรียมความพร้อมในด้านองค์ความรู้เพื่อเป็นหลักประกันความอยู่รอดในเวทีระดับสากล ดังความตอนหนึ่งในพระราชดำรัสพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 ที่ทรงเตือนชนรุ่นหลังไว้ว่า

“ตามสภาพเท่าที่เป็นอยู่อย่างทุกวันนี้ ประเทศเราได้ล้อมรอบไปด้วยประเทศที่มีกำลังอำนาจ 2 หรือ 3 ด้าน แล้วประเทศเล็กๆ อย่างเราจะเป็นประการใด ถ้าหากจะสมมุติเอาว่าเราได้ค้นพบเหมืองทองคำภายในประเทศของเราเข้า จนเราสามารถขุดทองมาได้หลายล้านชั่ง จนเอาไปขายได้เงิน มาซื้อเรือรบสักร้อยลำ แม้กระนั้นเราก็กังจะไม่สามารถไปสู้รบปรบมือกับพวกนี้ได้ ด้วยเหตุผลใดเล่าก็เพราะเรายังจะต้องซื้อเรือรบและอาวุธยุทธภัณฑ์ต่าง ๆ จากประเทศพวกนั้นเรายังไม่มีกำลังพอจะจัดสร้างสิ่งเหล่านี้ด้วยตัวของเราเอง แม้ว่าเราพอจะมีเงินซื้อหามาได้ เขาก็จะเลิกขายให้กับเรา ในเมื่อเขารู้ว่าเรากำลังติดขัดซื้อติดแล่นจนเกินฐานะ ในภายภาคหน้าเห็นจะมีอาวุธที่สำคัญสำหรับเราอย่างเดียวกันคือ ปากของเราและใจของเราให้เพียงพร้อมไปด้วยเหตุผลและเขาวีหาวพริบ ก็เห็นพอจะเป็นทางป้องกันตัวเราได้...(กองจดหมายเหตุแห่งชาติ, เอกสารรัชกาลที่ 4 เลขที่ 550, ม.ป.ป. อ้างถึงใน สุวิชัย โกศัยยะวัฒน์, 2547 : 34)

4. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองจดหมายเหตุแห่งชาติ, เอกสารรัชกาลที่ 4 เลขที่ 550, ม.ป.ป.
- [2] ญัฐกฤษดา เมฆา, ปัญหาและลู่ทางว่าด้วยสิทธิในการกำหนดจิตใจตนเองของชนพื้นเมืองดั้งเดิม. วิทยานิพนธ์ นิติศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติศาสตร์ คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

- [3] พระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัวฯ, พระบรมราโชวาท, ม.ป.ป.
ข้อมูลจาก <http://www.king3.or.th/>
เข้าถึงเมื่อ 2 มกราคม 2555
- [4] สมาคมนักวิชาชีพไทยในญี่ปุ่น. “ทางด่วนข้อมูล: ข้อเสนอเพื่อการพัฒนาประเทศ” รายงานการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2540
- [5] สุรชาติ บำรุงสุข, บรรณาธิการ, “หลักการกำหนดใจตนเอง: The Principle of Self-Determination”, จุลสารความมั่นคงศึกษา ฉบับที่ 59 (มิถุนายน 2552)
- [6] บรรณาธิการ, “นโยบายต่างประเทศและความมั่นคงของสหรัฐอเมริกาต่อเอเชีย”, จุลสารความมั่นคงศึกษา ฉบับที่ 60 (กรกฎาคม 2552)
- [7] สุวิชัย โกศัยยะวัฒน์, “การพัฒนาประเทศในสมัยรัชกาลที่ 4 : การวางรากฐานเพื่อก้าวจากสังคมจารีตลัทธิสู่สังคมพลวัตของสยาม” วารสารศึกษาศาสตร์ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 (มิถุนายน - ตุลาคม ๒๕๔๗)
- [8] Clausewitz, Carl Von. On War. Princeton: Princeton University Press, 1989.
- [9] Gray, Colin S. Modern Strategy. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- [10] Lance B. Kurke Ph.D. The Wisdom of Alexander the Great: Enduring Leadership Lessons From the Man Who Created an Empire. UK: AMCOM, 2004
- [11] Lonsdale, David J. Alexander the Great: Lessons in strategy. London: Routledge, 2007
- [12] Machiavelli, Niccolo diBernarde. The Prince. Chicago: University of Chicago Press, 1998.
- [13] Mahan, Alfred Thayer. The Influence of Sea Power Upon History 1660-1783. New York: Dover Publication, Inc., 1987
- [14] Martin, Christopher. Lecture on “Maritime Strategy.” Politic Department, The University of Hull, 2008
- [15] Panchella, Peggy. Qin Shi Huangdi: First Emperor of China. Heinemann: Raintree, 2003
- [16] Stogdill, Ralph Mavin, Bernard M. Bass, Stogdill’s handbook of leadership: a survey of theory and research, Michigan: the University of Michigan, 1981
- [17] United Nation (UN), Declaration on the Granting of Independence to Colonial Countries and Peoples. 14 December 1960

บทบาทของรัฐในการวางรากฐานของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

วิชญ มั่งคั่ง^{1*} และ บดินทร์ สันทัด¹

บทคัดย่อ

ในอดีตที่ผ่านมา สถานการณ์ด้านความมั่นคงและสภาพแวดล้อมทางด้านภูมิรัฐศาสตร์ เป็นแรงขับเคลื่อนที่ผลักดันให้รัฐบาลวางรากฐานของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ เพื่อเป็นพื้นฐานและหลักประกันทางด้านความมั่นคงอันเกิดจากการพึ่งพาตนเองในการผลิตยุทโธปกรณ์โดยรัฐบาลได้ก่อตั้งหน่วยงานที่รับผิดชอบในการออกแบบและผลิตยุทโธปกรณ์ในการกำบังดูแลของรัฐ ปัจจุบันรัฐบาลได้ให้ความสำคัญต่อการสนับสนุนและส่งเสริมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ซึ่งนอกจากผลผลิตจากภาคอุตสาหกรรมนี้จะก่อให้เกิดการหมุนเวียนทางเศรษฐกิจที่มีมูลค่ามหาศาลแล้ว ยังนำไปสู่การเสริมสร้างขีดความสามารถทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมของประเทศอีกด้วย

วิธีการดำเนินการ

บทความวิเคราะห์นี้เกิดจากแนวคิดการศึกษาถึงปัจจัยและความจำเป็นที่ส่งผลให้รัฐบาลในประเทศตัวอย่าง ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา อิสราเอล อินโดนีเซีย และสิงคโปร์ ก่อตั้ง และอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ และการส่งเสริมอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ผ่านทางนโยบาย และการสนับสนุนทางด้านการงบประมาณ จนนำไปสู่ความสำเร็จในการพึ่งพาตนเองด้านยุทโธปกรณ์ และการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจากการลดการนำเข้า และการจำหน่ายไปยังต่างประเทศ โดยรวบรวมข้อมูลจากเอกสารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและเอกสารทางวิชาการ

¹ กลุ่มบริการวิชาการ และเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: vissanu.m@dti.or.th

กล่าวนำ

“อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ” หมายความว่า กิจกรรมที่ใช้ทุน แรงงาน และเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อผลิต จำหน่าย ส่งออก ประกอบรวม ปรับปรุง ซ่อมสร้าง เปลี่ยนลักษณะ แปรสภาพ หรือจัดให้มีบริการเกี่ยวกับกิจการป้องกันประเทศ^[1] อุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีเอกลักษณ์อันแตกต่างจากอุตสาหกรรมประเภทอื่น ตรงที่มีบทบาทการเป็นโครงสร้างพื้นฐานและหลักประกันทางด้านความมั่นคงของประเทศต่อความพร้อมรบของกองทัพในด้านยุทธโศปกรณ์ อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเปรียบเสมือนหลักประกันด้านความมั่นคงและชุมกำลัอำนาจ ในการปกป้องอธิปไตยและผลประโยชน์ของประเทศ และยังเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม มาใช้ในขั้นตอนการออกแบบ ทดลอง ทดสอบจนกระทั่งเข้าสู่กระบวนการผลิต การก่อตั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศจึงเป็นหนึ่งในบทบาทสำคัญของรัฐในการในการดำรงขีดความสามารถด้านการออกแบบและผลิตยุทธโศปกรณ์ภายในประเทศ เพื่อรองรับกับแผนพัฒนาขีดความสามารถของกองทัพให้ได้อย่างที่สุดและพึงพิงการนำเข้าให้น้อยที่สุด บทความนี้เรียบเรียงบทบาทของรัฐในการวางรากฐานของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศจากประเทศตัวอย่าง ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อิสราเอล อินโดนีเซีย และสิงคโปร์ เพื่อให้เห็นถึงบทบาทของรัฐในการกำหนดนโยบาย การส่งเสริมและการสนับสนุน รวมถึงการดำเนินกิจการในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศภายใต้การกำกับดูแลของรัฐ

ประเทศสหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกาภายหลังจากที่สถาปนาประเทศสำเร็จ ในช่วยยุค ค.ศ. 1800 ได้จัดตั้งกองทัพ

เพื่อปกป้องมาตุภูมิ อย่างไรก็ตาม ยุทธโศปกรณ์ที่มีประจำการอยู่นั้น เป็นของเก่าและล้าหลัง อาวุธหลายรายการต้องนำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม รัฐบาลได้ความพยายามในการเปิดสิทธิให้เอกชนได้เข้ามาดำเนินการผลิตปืนและปืนใหญ่ แต่ความพยายามครั้งนั้นต้องประสบกับปัญหาเรื่องการส่งมอบงานตรงเวลาและครบตามจำนวน ยังผลให้รัฐสภาสหรัฐ โดย Henry Knox ดำรงตำแหน่งเป็น Secretary of War ได้แสดงวิสัยทัศน์ด้วยการเสนอให้มีการจัดตั้งโรงงานผลิตอาวุธขึ้น ถึงแม้ว่าต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมาก แต่ในระยะยาวโรงงานเหล่านี้จะเป็นรากฐานด้านความมั่นคงและปลอดภัยให้กับประเทศได้ในอนาคต เพื่อพร้อมเผชิญกับภัยคุกคามที่พร้อมจะเกิดขึ้นในช่วงที่ประเทศกำลังอ่อนแอ โรงงานแรกที่มีการก่อสร้างคือ โรงงาน Springfield ในรัฐ Massachusetts และ Harper’s Ferry ในรัฐ Virginia โรงงานทั้งสองแห่งนี้มีส่วนสำคัญต่อการส่งกำลังบำรุงในยามสงครามกับประเทศแม็กซิโกระหว่างปี ค.ศ. 1811 และ ค.ศ. 1812

ต่อมาภายหลังได้เริ่มมีการประยุกต์เทคโนโลยีเข้ามาพัฒนาอาวุธให้ดีขึ้น รัฐบาลอนุมัติให้มีการสร้างโรงงานขึ้นอีกหลายแห่ง โดยในปี ค.ศ. 1840 มีโรงงานในการกำกับดูแลของรัฐกว่า 40 แห่ง พร้อมกับเปิดให้ภาคเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมดำเนิน ด้วยการแบ่งงานการผลิตขึ้นส่วนประกอบซึ่งมีภาคเอกชน มิตรประเทศ นักประดิษฐ์และนักพัฒนา ยกตัวอย่างเช่น Percussion musket และ Revolver ที่คิดค้นโดย Samuel Colt. เข้ามามีส่วนร่วม พร้อมกับได้นำองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาใช้ในการกระบวนการผลิต นอกจากนี้รัฐบาลอนุญาตให้ผู้ประกอบการสามารถเข้ามาใช้โรงงานและเครื่องจักรของรัฐในการทดสอบทดลองสิ่งประดิษฐ์ของตนได้

การเข้ามามีส่วนรวมของภาคส่วนอื่นๆ มีผลกระทบสำคัญต่อรูปแบบของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในสหรัฐอเมริกาในด้านการให้เอกชนเข้าไปมีส่วนร่วมในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศนับตั้งแต่ยุคแรกๆ ถือเป็นการบูรณาการความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนในด้านการร่วมผลิตซึ่งปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดในระหว่างช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง เมื่อความต้องการยุทโธปกรณ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ภัยคุกคามก่อตัวขึ้นเรื่อยๆ เป็นสัญญาณบอกถึงมหาสงครามที่กำลังจะปะทุขึ้น อุตสาหกรรมป้องกันประเทศทั้งที่อยู่ในการดูแลของรัฐและเอกชน มีเครื่องจักรการผลิตในโรงงานอาวุธของรัฐทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ โรงงานผลิตสินค้าของเอกชนถูกประยุกต์ดัดแปลงให้สามารถผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่ของยุทโธปกรณ์ ในการนี้รัฐบาลยื่นข้อเสนอพิเศษทั้งในเรื่องของการสนับสนุนด้านเงินทุนและการลดหย่อนภาษีให้กับผู้ประกอบการที่เข้าร่วมโครงการในการเปลี่ยนสายการผลิตสินค้าให้กลายมาเป็นสายการผลิตยุทโธปกรณ์ นอกจากนี้รัฐยังสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาในมหาวิทยาลัยต่างๆ ก่อนที่ฐานทัพเรือ Pearl Harbour จะถูกโจมตีใน ปี ค.ศ. 1941 รัฐบาลสหรัฐก่อตั้งโรงงานเพิ่มอีก 77 แห่ง กระจายอยู่ใน 26 รัฐทั่วประเทศเพื่อเตรียมการเข้าสู่สงคราม ส่วนใหญ่เป็นโรงงานประกอบรวม โรงงานวัดถูระเบิด โรงงานกระสุน โรงงานเคมีภัณฑ์ โรงงานขึ้นรูปลากล่องปืน โรงงานผลิตรถถังและโรงงานผลิตปืนใหญ่ นอกจากนี้การดำเนินการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของรัฐบาลสหรัฐในช่วงสงครามโลกเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลอุตสาหกรรมการบินขยายตัวและพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว อุตสาหกรรมการบินของสหรัฐสามารถเพิ่มอัตราการผลิตเครื่องบินจากเดิมเพียง 2,000 ลำต่อปี เพิ่มไปเป็น 66,000 ลำต่อปี^[2]

จากการสนับสนุนด้านงบประมาณ ซึ่งทางบริษัทเอกชนได้ทำการระดมแรงงานทุกเพศทุกวัยที่ไม่ได้ไปร่วมรบและอาสาสมัครที่ต้องการแสดงออกถึงความรักชาติเป็นจำนวนมาก เข้ามาทำงานในโรงงานผลิตเครื่องบิน โดยที่สายการผลิตทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ใน 14 บริษัทผู้ผลิตอากาศยาน Douglas Aircraft Co General Dynamics Boeing Co และ Pratt & Whitney เป็นต้น

โรงงานหลายแห่งมีรัฐบาลสหรัฐฯ เป็นเจ้าของ โดยมอบหมายให้เอกชนดำเนินการ เนื่องจากเป็นการผสมผสานจุดแข็งและเติมเต็มจุดอ่อนของแต่ละส่วน กล่าวคือ โรงงานที่มีอยู่เดิมไม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการ การที่กองทัพสร้างโรงงานแล้วให้เอกชนเข้ามาดำเนินการรัฐพิจารณาว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น สาเหตุที่สอง คือ โรงงานที่เอกชนมีอยู่ มีสายการผลิตที่ไม่ได้รองรับกับอาวุธที่จะทำการผลิต การลงทุนในส่วน of ภาครัฐจะเป็นการขยายขีดความสามารถให้กับภาคเอกชน ภายหลังจากที่สงครามโลกครั้งที่สองได้ยุติ โลกไม่ได้กลับสู่ความสงบ แต่เป็นการก้าวเข้าสู่สภาวะความตึงเครียดและความขัดแย้งระหว่างช่วงทางการเมือง จุดสิ้นสุดของสงครามโลกครั้งที่สองคือจุดเริ่มต้นของสงครามเย็น การทำงานร่วมกับในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นความจำเป็นอย่างเร่งด่วน เอกชนนำเทคโนโลยีใหม่ๆ กระบวนการผลิตใหม่ๆ เข้ามา ส่งผลให้ความเข้มแข็งของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศสหรัฐในการออกแบบและผลิตยุทโธปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันปราม ฝ่าวิกฤตในช่วงสงครามเย็นได้สำเร็จ

ถึงแม้ว่าปัจจุบันรัฐบาลสหรัฐฯ มีโรงงานอยู่ในการกำกับดูแลจำนวน 3 แห่ง โรงงานเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการผลิตให้ตรงตามความต้องการพื้นฐาน รองรับกับสถานการณ์

ฉุกเฉิน หรือในสงคราม ช่วยเป็นหลักประกันในการเป็นคลังแสงของประเทศ ช่วยนำพาประเทศผ่านพ้นวิกฤต และมีความเข้มแข็งของอุตสาหกรรมมาจนถึงทุกวันนี้

ประเทศอิสราเอล

ประเทศอิสราเอลเป็นประเทศขนาดเล็ก มีประชากร 8.8 ล้านคน บนพื้นที่ 22,000 ตารางกิโลเมตร ด้วยสภาพแวดล้อมทางด้านภูมิรัฐศาสตร์และความมั่นคง ประกอบกับข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร รัฐบาลอิสราเอลจึงให้ความสำคัญต่อการพึ่งพาตนเองด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศมาอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่มีการสถาปนาประเทศในปี ค.ศ. 1948 ส่งผลให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศของอิสราเอลนั้นมีขีดความสามารถสูง ทั้งในด้านการออกแบบและการผลิต ได้รับการยอมรับในระดับสากล ยุทโธปกรณ์หลายรายการที่ผลิตโดยอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของอิสราเอล นอกจากจะได้รับการบรรจุเข้าประจำการในกองกำลังป้องกันตนเองในประเทศอิสราเอลแล้ว ยังสามารถจำหน่ายส่งออกและนำเข้าประจำการในกองทัพชั้นนำในอีกหลายประเทศ จุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมป้องกันของอิสราเอล ถือกำเนิดขึ้นอย่างไม่เป็นทางการก่อน แม้แต่ก่อนที่จะมีการสถาปนาประเทศ มีการนำเข้าเครื่องจักรเพื่อมาผลิตอาวุธประจำกายสำหรับป้องกันตนเองจากการถูกข่มเหงและรุกราน ต่อมาภายหลังจากที่สหประชาชาติรับรองการสถาปนาประเทศอิสราเอลในปี ค.ศ. 1948 ในขณะนั้นรัฐบาลตระหนักถึงความท้าทายทางด้านสภาพแวดล้อม ความมั่นคงและความอยู่รอดของรัฐจากการถูกรุกราน จึงได้กำหนดให้มีการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศอย่างเร่งด่วน โดยได้ประกาศให้มีการรวบรวมโรงผลิตอาวุธและยกระดับขึ้นมาเป็น

โรงงานผลิตยุทโธปกรณ์พื้นฐานภายใต้ชื่อ Israel Military Industries หรือ IMI อย่างเป็นทางการ เพื่อผลิต ปืนเล็กยาว ปืนสั้น กระสุนและลูกระเบิด เพื่อให้เพียงพอสำหรับมอบให้กับกำลังพลมีไว้ปกป้องอธิปไตย สำหรับยุทโธปกรณ์ประเภทอื่นๆ รัฐบาลอิสราเอลได้นำเข้ายุทโธปกรณ์ที่ถูกปลดประจำการในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง เช่น เครื่องบิน Spitfire โดยรัฐบาลได้จัดตั้ง Israel Aerospace Industries หรือ IAI เพื่อทำหน้าที่ในการซ่อมปรณินิบัติบำรุงแล้วทำการปรับปรุงเพื่อคงสภาพหรือปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในเวลาต่อมา IAI มีการพัฒนาขีดความสามารถที่สูงขึ้นโดยสามารถผลิตเครื่องบินฝึก รุ่น Magister ภายใต้ลิขสิทธิ์จากบริษัท Fouga ประเทศฝรั่งเศส

นอกจากรัฐบาลจะจัดตั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศเพื่อการซ่อมบำรุงและการผลิตแล้ว รัฐบาลโดยกระทรวงกลาโหมยังได้จัดตั้งหน่วยงานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีป้องกันประเทศ โดยใช้ชื่อว่า National Armaments Development Authority^[3] ซึ่งในเวลาต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น Rafael องค์กรนี้ได้รับมอบหมายสำคัญในการออกแบบและพัฒนาจรวดนำวิถีด้วยแสงอินฟราเรดแบบอากาศสู่อากาศ รุ่น Shafrir-1^[4] ในปี ค.ศ. 1959^[5] ตามความต้องการของกองทัพอากาศอิสราเอลและนโยบายการพึ่งพาตนเอง ซึ่งในยุคนั้นถือว่าเป็นความท้าทายอย่างยิ่งสำหรับประเทศกำลังพัฒนาในการพัฒนาอาวุธนำวิถีขึ้นเอง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าโครงการนี้ดำเนินการแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 1963 แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร จึงได้มีการพัฒนารุ่นที่สอง ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับที่รัฐบาลประกาศนโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์^[6] จรวด Shafrir-2 มีการปรับปรุงการออกแบบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 127 มม. เป็น 160 มม. ระบบนำวิถีผลิตขึ้นจาก

เทคโนโลยี Solid State แทนที่ Vacuum Tube ซึ่งประสบความสำเร็จในการปฏิบัติการเป็นอย่างมาก

อีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นการกระตุ้นให้อิสราเอลเร่งพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ คือ ในช่วงปี ค.ศ. 1967 เกิดความขัดแย้งภูมิภาค ประเทศฝรั่งเศสในฐานะประเทศที่เคยให้การสนับสนุนและความร่วมมือด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ประกาศมาตรการยุติการส่งออกยุทธโศปกรณ์ไปยังตะวันออกกลาง ส่งผลให้ยุทธโศปกรณ์ตลอดจนชิ้นส่วนและอะไหล่ต่างๆ ที่รัฐบาลอิสราเอลรอคอยการส่งมอบเพื่อจะนำเข้าประจำการในยามสงครามต้องถูกระงับ นอกจากนี้โครงการร่วมมือด้านการพัฒนายุทธโศกรณ์ระหว่างสองประเทศถูกยุติลง เหตุการณ์นี้เองที่เป็นตัวกระตุ้นให้รัฐบาลอิสราเอลไม่สามารถพึ่งพิงหรือรอความช่วยเหลือด้านความมั่นคงจากชาติใดได้ หันมาทุ่มทรัพยากรในการยกระดับขีดความสามารถของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศจากการซ่อมและผลิตยุทธโศกรณ์พื้นฐาน หรือการประกอบรวมไปสู่การเป็นเจ้าของเทคโนโลยีอย่างสมบูรณ์ ดังที่ Farah Naaz^[7] ตำแหน่ง Associate Fellow จากสถาบัน IDSA ประเทศอินเดีย ได้ยกให้เหตุการณ์นี้นำไปสู่เป็นการปฏิรูปอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของอิสราเอลอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อการปฏิรูประบบอุตสาหกรรม กล่าวคือในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1968 - 1972 ประเทศอิสราเอลต้องเสียดุลทางการค้าจากการนำเข้ายุทธโศกรณ์ร้อยละ 42.8 แต่ภายหลังจากที่มีการปฏิรูประบบอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ อัตราการเสียดุลทางการค้าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 13.4 นอกจากนั้นอุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีส่วนต่อการจ้างแรงงานทักษะสูงกว่า 45,000 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 5.5% ของจำนวนแรงงานทั้งประเทศ

รัฐบาลอิสราเอลประสบความสำเร็จอย่างมากในการขับเคลื่อนเทคโนโลยีป้องกันประเทศในยุคนั้น สำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา ความสำเร็จที่โดดเด่น ได้แก่ ออกแบบและผลิตเครื่องบินขับไล่รบถึง จรวดนำวิถีด้วย IR แบบอากาศสู่อากาศ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของจรวด Python ที่ถือว่ามีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงรุ่นหนึ่งของโลก ปัจจุบัน บริษัท IAI และ Rafael ยังคงดำเนินกิจการในรูปแบบของรัฐวิสาหกิจ มีรัฐบาลเป็นเจ้าของ บริษัท IAI ดำเนินธุรกิจด้านการออกแบบ ผลิต และ MRO อากาศยานทางทหาร อากาศยานพาณิชย์ อากาศยานไร้คนขับ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การบิน อาวุธนำวิถีและดาวเทียม ในขณะที่บริษัท Rafael ผู้ผลิตจรวดนำวิถีแบบอากาศสู่อากาศรุ่น Python จรวดต่อสู้อากาศรุ่น Spike และระบบป้องกันภัยทางอากาศแบบ Iron Dome มีผลประกอบการในปี ค.ศ. 2017 บริษัทมีกำไร 124 ล้านเหรียญ มียอดจำหน่าย 2,200 ล้านเหรียญ ยอดสั่งซื้ออีก 3,000 ล้านเหรียญ ยอดขายกว่า 40% มาจากการสั่งซื้อจากต่างประเทศ ในทวีปเอเชีย ยุโรป อเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ ในแต่ละปีบริษัทจะลงทุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาในสัดส่วนร้อยละ 8 ของยอดขาย^[8] เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ นอกจากนี้บริษัท Rafael เป็นหนึ่งในบริษัทที่จ้างงานมากที่สุดในของอิสราเอลตอนเหนือ^[9]

ประเทศสิงคโปร์

การสร้างอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของสิงคโปร์เกิดขึ้นภายหลังจากที่สิงคโปร์สถาปนาขึ้นเป็นประเทศในช่วงกลางของยุคปี ค.ศ. 1960 รัฐบาลในขณะนั้นจำเป็นต้องสร้างกองทัพและพัฒนาขีดความสามารถของกำลังรบ เพื่อรักษาความมั่นคงและปกป้องผลประโยชน์ของประเทศ จึงก่อตั้ง

Charter Industry of Singapore ขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ในการผลิตกระสุนปืนขนาด 5.56 มม. ในเวลาต่อมาได้ขอซื้อสิทธิบัตรการผลิตปืนเล็กยาวแบบ M-16S1 จากบริษัท Colts และปืนเล็กยาวแบบ SAR-80 จากบริษัท Sterling Armament Company ประเทศสหราชอาณาจักร ต่อมาภายหลังได้พัฒนายุทธโศปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยอาศัยการซื้อสิทธิบัตรการผลิตยุทธโศปกรณ์ และการวางบทบาทให้กับภาคอุตสาหกรรมในการเข้าไปมีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตยุทธโศปกรณ์ที่กองทัพจัดซื้อ (Industry Participation Programme) ควบคู่ไปกับการจ้างที่ปรึกษามาทำหน้าที่ให้คำแนะนำ ช่วยเพิ่มพูนทักษะและองค์ความรู้แก่แรงงานในอุตสาหกรรมนี้ ในขณะที่เดียวกันรัฐบาลได้ดำเนินนโยบายกระตุ้นเศรษฐกิจด้วยมาตรการส่งเสริมและดึงดูดการลงทุนพร้อมกับเปิดช่องทางการจำหน่ายยุทธโศปกรณ์ที่ผลิตขึ้นได้ไปสู่ตลาดในต่างประเทศ รวมถึงนโยบายการกำหนดเป้าหมายให้ภาคอุตสาหกรรมผลิตเพื่อการส่งออก ส่งผลให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเติบโตได้อย่างรวดเร็ว จนกระทั่งขยายขอบเขตไปสู่การออกแบบและผลิตยุทธโศปกรณ์ที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของสิงคโปร์มีขีดความสามารถที่ค่อนข้างสมบูรณ์และครบวงจรในตัวเอง ทั้งทางด้าน การออกแบบ การผลิต การซ่อมและปรับปรุงยุทธโศปกรณ์ทางบก ทางทะเล และทางอากาศ โดยเฉพาะในส่วนของยุทธโศปกรณ์ทางบก ที่ภาคอุตสาหกรรมมีขีดความสามารถในการออกแบบเพื่อนำไปสู่สายการผลิตได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการของกองทัพ อีกทั้งยังส่งออกไปต่างประเทศได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น ปืน ค. เครื่องยิงลูกระเบิด รถยานเกราะล้อยางและสายพาน โดยในส่วนของยุทธโศปกรณ์ทางทะเลนั้น สิงคโปร์

มีขีดความสามารถในการต่อเรือ LPD (Landing Platform Dock) และเรือ Corvette รวมถึงการประกอบรวมระบบย่อยต่างๆ และสำหรับยุทธโศปกรณ์ทางอากาศนั้น ภาคอุตสาหกรรมมีขีดความสามารถในการผลิตชิ้นส่วนอะไหล่บางประเภท แต่ในส่วนของการให้บริการซ่อมปรับปรุงอากาศยานนั้น นับได้ว่าสิงคโปร์มีขีดความสามารถสูงและมีฐานะเป็นศูนย์กลางการซ่อมบำรุงอากาศยานในภูมิภาค

โครงสร้างหลักของอุตสาหกรรมประกอบไปด้วยกลุ่มบริษัทด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีทั้งทางพาณิชย์และทางทหาร ดำเนินธุรกิจภายใต้เครือบริษัท ST Engineering แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มงาน ได้แก่ Aerospace, Electronics, Land Systems และ Marine บริษัทมีเจ้าหน้าที่กว่า 22,000 คน มีบริษัทในเครือกว่า 100 แห่ง ใน 24 ประเทศทั่วโลก บริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ SGX โดยมีบริษัท Temasek Holding ของรัฐบาลสิงคโปร์เป็นผู้ถือหุ้นรายใหญ่ กว่า 50 %

รัฐบาลสิงคโปร์เป็นผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและมีบทบาทสำคัญในการผลักดันและสนับสนุนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศนับตั้งแต่ในยุคเริ่มต้นก่อตั้งขึ้นเมื่อราว 40 ปี ด้วยการกำหนดทิศทางและการวางกลยุทธ์เพื่อให้การดำเนินงานของทุกหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนเชื่อมโยงกัน มีเป้าหมายและถือครองผลประโยชน์ร่วมกัน ซึ่งในทางปฏิบัติรัฐบาลสิงคโปร์ทำหน้าที่เป็นผู้ลงทุน ผู้ผลิตและผู้ใช้ ดังปรากฏให้เห็นได้ในบริบทของบริษัท ST Engineering มีรัฐบาลสิงคโปร์เป็นผู้ถือหุ้นรายใหญ่ผ่านบริษัทร่วมลงทุนของรัฐบาล ยุทธโศปกรณ์ที่ผลิตถูกนำเข้าประจำการในกองทัพอย่างเต็มอัตรา ยกตัวอย่างเช่น การนำเข้าประจำการรถยานเกราะล้อยางและสายพานแบบต่างๆ ที่ผลิตขึ้นได้เองในประเทศ เป็นจำนวน

กว่า 700 คัน การที่รัฐเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมส่งผลให้ธุรกิจอยู่ภายใต้หลักการของบรรษัทภิบาล (Corporate Governance) ดำเนินการไปในทิศทางที่รัฐบาลกำหนดขึ้นมาและมีความคล่องตัวในการดำเนินงาน

หากพิจารณาจากตัวเลขการส่งออกของอุตสาหกรรมนี้พบว่า สิงคโปร์เป็นเพียงประเทศเดียวในภูมิภาคที่ได้รับการจัดอยู่ในอันดับที่ 50 จาก 100 บริษัท ที่ดำเนินธุรกิจอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ โดย Stockholm International Peace Research Institute หรือ SIPRI ประเทศสวีเดน

ประเทศอินโดนีเซีย

รัฐบาลอินโดนีเซียเริ่มดำเนินการปรับปรุงโครงสร้างอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในช่วงระหว่างยุคปี ค.ศ. 1970 ถึง ปี ค.ศ. 1980 โดยเริ่มจากจัดตั้ง PT Dirgantara ที่รับผิดชอบด้านการประกอบอากาศยานและวิศวกรรมอากาศยาน สถาปนากิจการโรงงานผลิตยุทโธปกรณ์ในสังกัดกระทรวงกลาโหมให้กลายเป็นรัฐวิสาหกิจ ดำเนินกิจการด้านยุทโธปกรณ์ทางบก ภายใต้ชื่อ PT Pindad และเปลี่ยนสถานภาพ PT Pal มาเป็นบริษัทจำกัด ดำเนินธุรกิจในการบริการต่อเรือ แต่ด้วยข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน ส่งผลให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศไม่สามารถเติบโตได้ตามที่คาดหวังไว้ จนกระทั่งต่อมาในช่วงยุคปี ค.ศ. 2000 เมื่ออินโดนีเซียผ่านวิกฤตทางเศรษฐกิจได้สำเร็จใน ปี ค.ศ. 2007 และมีอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจถึงร้อยละ 6.3^[10] เป็นตัวกระตุ้นให้รัฐบาลได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาประเทศในด้านการศึกษา โครงสร้างพื้นฐานและการฟื้นฟูอุตสาหกรรมป้องกันประเทศให้มีอย่างยั่งยืน และมุ่งเน้นการพึ่งพาตนเอง มีการประกาศใช้กฎหมาย Defence Industry Bill ในปี ค.ศ. 2012 ในกฎหมายนี้

สามารถแบ่งห่วงโซ่การผลิตในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศออกเป็น 4 ระดับ คือ 1. การผลิตยุทโธปกรณ์หลัก 2. การผลิตชิ้นส่วน 3. การส่งกำลังบำรุง และ 4. วัตถุดิบ โดยในการผลิตยุทโธปกรณ์หลัก ซึ่งในกฎหมายนี้รัฐบาลอินโดนีเซียกำหนดให้การผลิตยุทโธปกรณ์หลักเป็นกิจการที่อยู่ภายใต้รัฐวิสาหกิจที่รัฐเป็นเจ้าของ ดำเนินการผลิตและประกอบรวมยุทโธปกรณ์หลัก โดยได้มอบหมายให้บริษัท PT Pindad, PT Pal, PT Dirgantara เป็นผู้ดำเนินการหลักในส่วนของการผลิตชิ้นส่วนนั้น รัฐบาลมอบหมายให้บริษัท PT Telekomunikasi (INTI) และ PT Len Industry ในส่วนของการส่งกำลังบำรุงมีบริษัท PT. BARATA INA PT. BOMA BISMA และ INDRA และด้านวัตถุดิบนั้นอยู่ภายใต้การดำเนินการของ PT. KS โดยเปิดโอกาสให้ภาคเอกชนสามารถเข้าร่วมลงทุนได้ไม่เกินร้อยละ 49 นอกจากนี้ภายใต้กฎหมาย Defence Industry Bill มีการกำหนดบทบาทผู้ยุติการสร้างแรงจูงใจด้านการลงทุนเพื่อกระตุ้นการลงทุนด้านการวิจัยและการพัฒนา และข้อกำหนดด้านการจัดหาจากแหล่งอุตสาหกรรมภายในประเทศในลำดับแรกก่อนที่จะมีการจัดหาจากต่างประเทศ รัฐบาลยังได้กำหนดเป้าหมายในการเป็นเจ้าของเทคโนโลยี การออกแบบ การพัฒนาแรงงานที่มีทักษะและความชำนาญด้านเทคนิค รวมทั้งการแสวงโอกาสการส่งออกไปยังตลาดในต่างประเทศอีกด้วย

ปัจจุบัน การจัดหายุทโธปกรณ์ทางบกดำเนินการโดยองค์กรรัฐวิสาหกิจ PT Pindad และ PT Dahana ร่วมกันผลิตรถลำเลียงพลหุ้มเกราะแบบ 6x6 รุ่น Anoa AP-2 และ APS-3 พร้อมด้วยกระสุน เครื่องยิงลูกระเบิด ปืนใหญ่ กระเบิดแบบต่างๆ และปืนติดตั้งบนยานรบหลายชนิด ในส่วนของอาวุธปืนเล็กนั้นได้รับการผลิตตามใบอนุญาตจาก

FN Herstral จากประเทศเบลเยียมและ ST Engineering ประเทศสิงคโปร์ และยังมีหน้าที่จะพัฒนาขีดความสามารถด้านการพัฒนาจรวด อาวุธนำวิถีและดินขับจรวด ผ่านการลงนามหุ้นส่วนกับ FNSS Suvunma Sistemerli ตุรกีในเดือนเมษายน 2011

ทางด้านยุทธโศปกรณ์ทางทะเล เนื่องจากอินโดนีเซียมีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีพื้นน้ำอันกว้างขวาง การพัฒนาด้านกองกำลังทางทะเลในปัจจุบันจึงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่คาดหวังให้ตอบสนองภารกิจได้ ทั้งนี้มีรัฐวิสาหกิจที่รับผิดชอบหลักคือ PT Pal ที่มีแนวทางการพัฒนาขีดความสามารถคล้าย PT Pindad และ PT Dahana ในแง่ของการผลิตตามใบอนุญาต ขีดความสามารถที่เด่นชัดและเป็นรูปธรรมที่สุดทั้งด้านการวิจัยพัฒนาการออกแบบและการนำเข้าสู่สายการผลิตที่พึ่งพาตนเองได้ คือ เรือตรวจการณ์ขนาดเล็กและเรือเร็วแบบ KCR-40 แต่ผลลัพธ์ในช่วงหลังได้รับผลที่น่าพอใจเมื่อ PT Pal ได้เสนอเรือยกพลขึ้นบกให้แก่กองทัพฟิลิปปินส์ โดยมาจากการผลิตตามใบอนุญาตของ Dae Sun ของเกาหลีใต้หรือข้อตกลงที่จะออกแบบเรือฟรีเกตที่ทำกับ Damen Schelde Naval Shipbuilding และล่าสุดได้ทำข้อตกลงกับ Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering ของเกาหลีใต้เพื่อการยกระดับเรือดำน้ำแบบ Cakra ยุทธโศปกรณ์ทางอากาศ อินโดนีเซียประกาศตัวว่า มีจุดแข็งและความได้เปรียบด้านขีดความสามารถของยุทธโศปกรณ์ทางอากาศในฐานะที่เป็นอุตสาหกรรมป้องกันประเทศหลัก โดยมี PT Dirgantara เป็นรัฐวิสาหกิจรับผิดชอบหลักที่เน้นด้านการผลิตตามใบอนุญาต การประกอบสร้างการวางเครื่องและการซ่อมบำรุงคงสภาพยุทธโศปกรณ์ที่ได้รับเทคโนโลยีจากยุโรป เช่น อากาศยานขนส่ง

CN-235 จากสเปน, NC212 หรือเฮลิคอปเตอร์ NAS-332 Super Puma ของ Eurocopter โดยกระทำการผ่านการสร้างข้อตกลงเชิงยุทธศาสตร์กับ EADS และบริษัทย่อยเพื่อการสนับสนุนอะไหล่อื่นๆ โดยมีขีดความสามารถเพียงเทคโนโลยีระดับต่ำเท่านั้น เห็นได้จากการที่จำเป็นต้องสั่งซื้ออากาศยาน C-130 จากสิงคโปร์และสหรัฐอเมริกา

สรุป

ในประเทศสหรัฐอเมริกา อิสราเอลและสิงคโปร์ ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมด้านความมั่นคงเป็นแรงขับเคลื่อนในการวางรากฐานของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ หลังจากที่ได้สถาปนาประเทศ เพื่อให้กองทัพมียุทธโศปกรณ์สำหรับปกป้องและต่อต้านการรุกรานจากข้าศึกในประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐบาลมีบทบาทในการเป็นเจ้าของและผู้สนับสนุนและส่งเสริมกิจการในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ รัฐบาลเปิดโอกาสให้ภาคเอกชนดำเนินการและมีส่วนร่วมในยุคเริ่มต้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศของสหรัฐมีความเข้มแข็ง และมีการกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ อีกทั้งยังเปิดโอกาสให้ ภาคเอกชนได้มีการแข่งขันในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ และมีช่องทางให้สถาบันการศึกษาเข้ามาในฐานะหน่วยวิจัยและพัฒนา ศักยภาพของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในสหรัฐฯ ทั้งในเชิงคุณภาพทางด้านเทคโนโลยีและปริมาณการผลิต แสดงให้เห็นเป็นที่ประจักษ์ด้วยการขยายตัวอย่างรวดเร็ว นับตั้งแต่ในช่วงก่อนและระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองเป็นต้นมา เพื่อการสำรองสงคราม ในขณะที่อุตสาหกรรมป้องกันของประเทศอิสราเอลมีแรงขับเคลื่อนมาจากปัจจัยทางด้านความมั่นคงในยุคแรก รัฐบาลได้จัดตั้งรัฐวิสาหกิจด้านเทคโนโลยีป้องกันประเทศ IMI IAI และ Rafael

จากเหตุการณ์การถูกระงับการนำเข้ายุทธโปกรณ์จากต่างประเทศ ยังผลให้รัฐบาลมุ่งมั่นในการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศอย่างเป็นระบบและครบวงจรได้อย่างสมบูรณ์ภายในประเทศ การดำเนินงานของรัฐบาลอิสราเอลนอกจากจะช่วยเสริมสร้างขีดความสามารถด้านการป้องกันประเทศแล้ว ยังสนับสนุนเศรษฐกิจของประเทศจากการลดการขาดดุลทางการค้า เพิ่มรายได้จากการส่งออกและสร้างแรงงานทักษะสูงอีกเป็นจำนวนมาก แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของอิสราเอลมีอิทธิพลต่อประเทศสิงคโปร์ ที่มีลักษณะการพัฒนาอุตสาหกรรมในลักษณะเดียวกัน คือ เพื่อการป้องกันตนเอง มีบริษัทของรัฐ ST Engineering เป็นผู้ดำเนินการหลัก โดยจะเน้นศักยภาพในการพัฒนายุทธโปกรณ์ทางบก การต่อเรือและการซ่อมบำรุงอากาศยาน ที่สามารถส่งออกและสร้างรายได้ให้กับประเทศได้อีกด้วย สำหรับประเทศอินโดนีเซียไม่ต้องเผชิญกับภัยคุกคามที่รุนแรง หากการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นนโยบายของรัฐบาลในความพยายามพึ่งพาตนเอง และให้ความสำคัญกับเรื่องนี้เป็นอันดับต้นๆ ของนโยบายภาครัฐ รัฐบาลมีการกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมการจัดซื้อจัดจ้างจากอุตสาหกรรมภายในประเทศ โดยมีการจัดตั้งรัฐวิสาหกิจ PT Dirgantara PT Pindad และ PT Pal ทำหน้าที่เป็นผู้ดำเนินการหลัก และมีรัฐวิสาหกิจอื่นๆ

ให้การสนับสนุนด้านการส่งกำลังบำรุง โดยเปิดให้ภาคเอกชนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุน

อุตสาหกรรมป้องกันประเทศถือได้ว่ามีความสำคัญต่อประเทศทั้งในบริบทของความมั่นคงและเศรษฐกิจ โดยในบริบทด้านความมั่นคงนั้น อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ คือ โครงสร้างพื้นฐานด้านความมั่นคง สำหรับการผลิตอาวุธยุทธโปกรณ์เพื่อใช้ในการฝึกเมื่อยามสงบและใช้รบในยามสงคราม ช่วยให้กองทัพปฏิบัติการได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องพึ่งพิงการส่งกำลังบำรุงจากต่างประเทศ ประเทศที่มีอุตสาหกรรมป้องกันประเทศที่เข้มแข็งย่อมมีกองทัพที่เข้มแข็งและเป็นที่น่าเกรงขาม เป็นกลไกในการป้องปรามข้าศึกที่คิดจะรุกร้าอำนาจอธิปไตยของชาติ สำหรับทางด้านเศรษฐกิจนั้น อุตสาหกรรมป้องกันประเทศสามารถช่วยประหยัดงบประมาณจากการลดการนำเข้ายุทธโปกรณ์จากต่างประเทศ ก่อให้เกิดการกระตุ้นการไหลเข้ามาของเทคโนโลยีใหม่ๆ การลงทุนในประเทศและการเชื่อมโยงกับห่วงโซการผลิตสากล ช่วยสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศ นอกจากนี้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาบุคลากรที่มีความรู้และทักษะโดยเฉพาะในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรม ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาประเทศในระยะยาวอีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ร่าง พรบ. เทคโนโลยีป้องกันประเทศ
- [2] Karl G. Harr, Jr., Air Force / Space Digest หน้า 53 ฉบับ September 1965
- [3] Farah Naaz, Associate Fellow, Israel's Arms Industry, IDSA, <https://www.idsa-india.org/an-mar-00-5.html>
- [4] Don McCarthy, The Sword of David: The Israeli Air Force at War, 2013
- [5] ข้อมูลจรวด Shafrir จาก <https://www.globalsecurity.org/military/world/israel/shafrir.htm>
- [6] Elia Zureik, David Lyon, Yasmeen Abu-Laban, Surveillance and Control in Israel/Palestine: Population, Territory and Power
- [7] Farah Naaz, Associate Fellow, Israel's Arms Industry, IDSA, <https://www.idsa-india.org/an-mar00-5.html>
- [8] Rafael Advanced Systems Ltd.; issued March 28, 2018
- [9] Joanne Stocker, Rafael posts record \$2.2 billion in sales for 2017, March 2018, <https://thedefensepost.com/2018/03/28/rafael-record-2-2-billion-sales-2017>
- [10] Rajaratnam School of International Studies (RSIS), Indonesia Programme, Indonesia's Emerging Defence Economy: The Defence Industry Law and Its Implications

การทดสอบแผ่นเกราะกันกระแทกสำหรับยานเกราะ

ชินวิทย์ กลั่นรอด¹, นัตตา จงไฟโรจน์โฆษิต^{1,2}, อชิรฤกษ์ จุลนิพิฐวงษ์^{1,2}
และ เพชร เจียรนัยศิลาวงศ์^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นกันกระแทกในยานเกราะ โดยใช้เทคนิคการทดสอบแบบสปลิตต์ฮอปกินสันบาร์ จากนั้นนำค่าสมบัติทางกลที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการสอบเทียบสมบัติวัสดุและทำนายความสามารถในการรับพลังงานการกระแทกโดยวิธีการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แผ่นกันกระแทกตัวอย่างที่ถูกเลือกมาใช้ในการวิจัยนี้มีสองชนิด โดยชนิด A เป็นแผ่นกันกระแทกที่ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์และชนิด B เป็นแผ่นกันกระแทกตัวเลือกใหม่ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกับจากการจำลองความสามารถในการรับแรงกระแทกจากลูกปืนเหล็กที่ถูกยิงด้วยปืนอัดแก๊สความดันสูงในห้องปฏิบัติการพบว่ามีความใกล้เคียงกับการทดลองจริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการวัดสมบัติวัสดุมีความเชื่อถือได้ ส่วนการทำนายความสามารถในการรับพลังงานการกระแทกจากกระสุนปืนกระทำได้โดยใช้กระบวนการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบจำลองแผ่นกันกระแทกชนิด A ถูกนำไปเปรียบเทียบกับทดสอบภาคสนามโดยการยิงกระสุนปืนชนิด M193 พบว่าความกว้างของรูทะลุในแบบจำลองและผลการทดสอบมีความใกล้เคียงกัน ส่วนการจำลองการรับพลังงานการกระแทกของแผ่นกันกระแทกชนิด B ที่ความหนาเท่ากันให้ค่ารูทะลุที่มีความกว้างเล็กกว่าชนิด A และจากการวัดพลังงานจลน์รวมหลังจากลูกกระสุนปืนหลังทะลุ แผ่นกันกระแทกสามารถสรุปได้ว่าแผ่นกันกระแทกชนิด B สามารถรับพลังงานจากการกระแทกได้มากกว่าแผ่นกันกระแทกชนิด A ที่ขนาดเท่ากัน

คำสำคัญ : การทดสอบการกระแทก, สปลิตต์ฮอปกินสันบาร์, ปืนอัดแก๊ส, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, แผ่นกันกระแทก

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน)

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

Impact testing for armor plates in armored vehicle

Chinnawit Glunrawd¹, Nadda Jongpairajcosit^{1,2}, Achirakris Julniphitwong^{1,2}
and Petch Jearanaisilawong^{1*}

บทคัดย่อ

The objective of this work is to characterize the mechanical properties of armor plates in armored vehicle using the split Hopkinson pressure bar (SHPB) technique. The measured properties are used as material inputs in the finite element simulation of armor plates under impact loads. Two representative plates are selected: Plate A is a commercial product and Plate B is an alternative option. Consistent results between the simulation of Plate A under an impact by a steel bearing ball using a gas gun and its corresponding experimental values validates the measuring technique. Another set of simulations is created for the armor plates under ballistic impact by M193 bullets. The simulation result of Plate A shows a bullet hole that is comparable to that found in the ballistic impact test. On the other hand, the simulation prediction of a hole on Plate B is smaller. A comparison of the kinetic energy of the bullet after penetration shows that Plate B can absorb more impact energy than Plate A.

Keywords : impact test, split Hopkinson pressure bar, gas gun, finite element method, armor plate

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

² Defence Technology Institute (Public Organization)

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

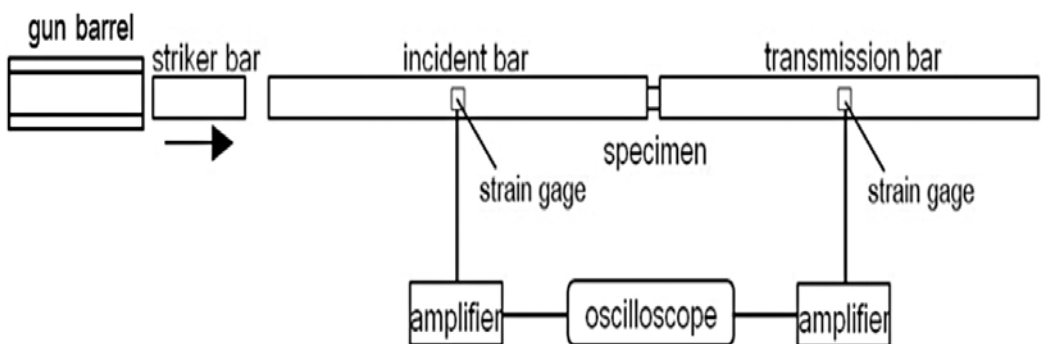
1. ที่มาของปัญหา

ยานเกราะถูกใช้งานในสภาวะการกระแทกทั้งจากกระสุน หรือระเบิด เป็นต้น ระบบป้องกันการกระแทกของยานเกราะจึงเป็นข้อบังคับ (requirement) ในยานเกราะที่สำคัญ ในปัจจุบันการป้องกันการกระแทกของยานเกราะใช้แผ่นกันกระแทกที่ทำจากพวกเหล็กกล้า เช่น Rolled Homogeneous Armor (RHA) แผ่นเซรามิก หรือวัสดุผสมที่มีความแข็งแรงสูง สามารถป้องกันแรงกระแทกได้ อย่างไรก็ตามวัสดุพวกนี้ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้การสั่งซื้อและสรรหาอะไหล่ใช้งบประมาณสูง และที่สำคัญคือหน่วยงานที่จัดหาไม่สามารถสอบเทียบสมบัติของวัสดุจากข้อมูลที่ผู้ขายอ้างอิงได้ เนื่องจากไม่มีเครื่องมือทดสอบที่เหมาะสม

การทดสอบพฤติกรรมของวัสดุภายใต้ภาระแรงกระแทกมีวิธีการทดสอบหลายประเภท ตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุของประเทศสหรัฐอเมริกา

ตัวอย่างเช่น เมื่อปล่อยวัตถุตกกระทบพื้น หรือการทดสอบแบบปล่อยน้ำหนัก (drop weight test) จะส่งผลให้วัสดุเสียรูปในอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดตั้งแต่ $100\text{-}102^{\text{s}^{-1}}$ ในขณะที่การเข้าปะทะของกระสุนปืนทำให้เป้าหมายเกิดการเสียรูปที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด $102\text{-}104^{\text{s}^{-1}}$ ส่วนการระเบิดอาจทำให้วัตถุที่รับแรงเกิดการเสียรูปที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดสูงกว่า $104^{\text{s}^{-1}}$ เป็นต้น

ตามมาตรฐาน ASM เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบวัสดุภายใต้ภาระการกระแทกที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด $102\text{-}104^{\text{s}^{-1}}$ คือสปลิตต์ฮอปกิ้นสันบาร์^{[2], [3]} โดยขั้นตอนทดสอบรูปทรงกระบอกจะถูกวางอยู่ระหว่างบาร์ทดสอบสองบาร์ คือ บาร์ตกกระทบ (incident bar) และบาร์ถ่ายทอด (transmission bar) เมื่อเริ่มทำการทดสอบ บาร์กระแทก (striker bar) จะถูกขับเคลื่อนด้วยแก๊สความดันสูงให้เข้าชนกับบาร์ตกกระทบ ตามรูปที่ 1

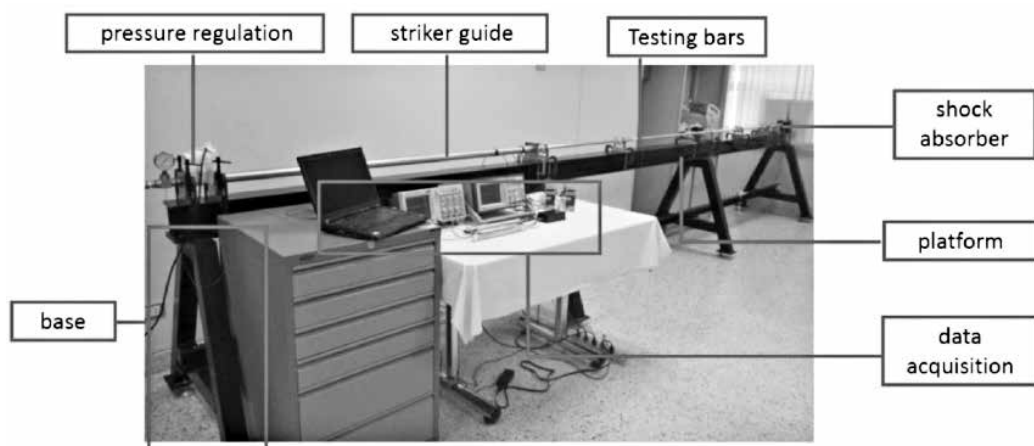


รูปที่ 1 ภาพรวมการทดสอบสปลิตต์ฮอปกิ้นสันบาร์แบบการกด

(ASM - American Society for Metals^[1]) การทดสอบพฤติกรรมการกระแทกถูกจำแนกประเภทได้ตามอัตราการเสียรูป หรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด (strain rate) โดยอัตราการเสียรูปมีหน่วยเป็นการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่อวินาที

ผลจากการกระแทกกระหว่างบาร์กระแทก (striker bar) และบาร์ตกกระทบทำให้เกิดคลื่นความเค้น (stress wave) เคลื่อนที่ไปตามความยาวของบาร์ตกกระทบ (incident bar) ส่งผ่านชิ้นงานทดสอบและเข้าสู่บาร์ถ่ายทอด (transmission bar)

ตามลำดับ แต่เนื่องจากบาร์ตกกระทบและบาร์ถ่ายทอดทำจากวัสดุคนละชนิดกับชิ้นงานทดสอบ จึงทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านผิวสัมผัสของบาร์ตกกระทบและชิ้นทดสอบ พฤติกรรมของวัสดุสามารถคำนวณได้จากลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านบาร์ตกกระทบและบาร์ถ่ายทอดตามทฤษฎีการเคลื่อนที่ของคลื่นในแนวแกนเดียว (one-dimensional wave theory)^[4] โดยการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือทดสอบที่ถูกสร้างขึ้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องมือทดสอบสเปคโตรสโคปที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สมบัติของวัสดุที่ได้จากเครื่องทดสอบสเปคโตรสโคปสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับวิเคราะห์สมบัติของชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตามระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) และสามารถนำไปใช้ทำนายพฤติกรรมของแผ่นกันกระแทกภายใต้การยิงด้วยกระสุนได้

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการวัดสมบัติทางกลของแผ่นกันกระแทกที่ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์เปรียบเทียบกับแผ่นกันกระแทกที่เป็นตัวเลือกใหม่ หากแต่ยังขาดข้อมูลสมบัติทางกลของวัสดุ จึงได้นำแผ่นกันกระแทกตัวอย่างไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสเปคโตรสโคปที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เพื่อหาสมบัติทางกลวัสดุ แล้วนำไปใช้ในการจำลองพฤติกรรมภายใต้การยิงด้วยกระสุนเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการป้องกันกระสุนของแผ่นกันกระแทก

2. ระเบียบวิธีวิจัย

แผ่นกันกระแทกชนิด A เป็นแผ่นเกราะที่ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์ มีความแข็งแรงผิวในช่วง 480-540 HBW และ ชนิด B เป็นแผ่นกันกระแทกตัวเลือกใหม่ที่ขาดข้อมูลสมบัติทางกล แผ่นกันกระแทกทั้งสองชนิดถูกนำไปตัดด้วยไฟฟ้าโดยใช้เส้นลวด (wire cut) ให้เป็นชิ้นทดสอบสำหรับใช้ทดสอบกับเครื่อง

สปลิตต์ฮอปกิ้นสันบาร์ โดยชนิด A ถูกเตรียมให้ได้ขนาดดังนี้ คือ มีความหนา 2 mm และ 3 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 mm กับมีความหนา 6 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ในขณะที่ชนิด B มีความหนา 1.5 mm ตามขนาดที่ได้มาจากผู้ผลิต และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 mm

เครื่องมือทดสอบสปลิตต์ฮอปกิ้นสันบาร์ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ใช้บาร์ทดสอบเหล็กเกรด AISI 4340 แบบชุบแข็งสำหรับใช้ทดสอบวัสดุแข็ง บาร์กระแทก บาร์ตกกระทบ และบาร์ถ่ายทอด มีความยาว 300 mm 2000 mm และ 1500 mm ตามลำดับ โดยบาร์ทดสอบทั้งสามมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน คือ 20 mm เนื่องจากแผ่นกันกระแทกที่เป็นชิ้นทดสอบมีความแข็งแรงมาก การกระแทกโดยตรงกับชิ้นทดสอบอาจทำให้บาร์ทดสอบเสียหายได้ จึงใช้ทั้งสแตนด์บายด์รูปทรงกระบอกหน้าตัดราบมาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 mm หนา 6.35 mm เป็นตัวกลางระหว่างบาร์ทดสอบกับชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อลดความเสียหายของบาร์ทดสอบ ส่วนความเร็วของการกระแทกถูกปรับให้ชิ้นทดสอบเสียรูปที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในช่วง $1,000 - 6,000 \text{ s}^{-1}$



รูปที่ 3 การทดสอบชิ้นทดสอบร่วมกับการใช้งานทั้งสแตนด์บายด์

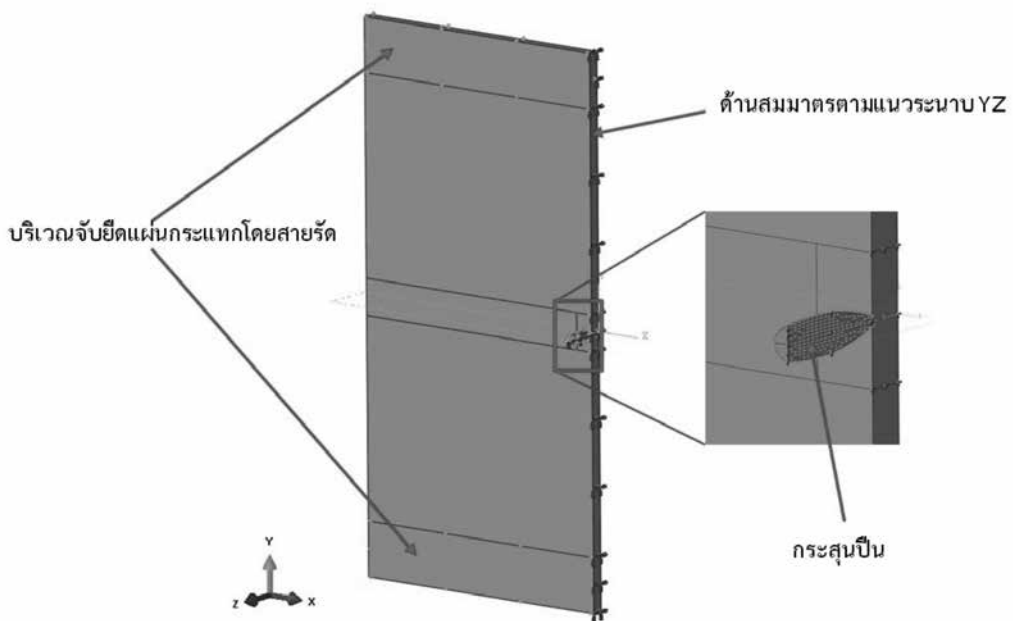
เมื่อได้สมบัติวัสดุจากการทดสอบแล้วจึงทำการจำลองลักษณะการชนด้วยกระสุนจริงโดยใช้

โปรแกรม ABAQUS/CAE และวิเคราะห์ด้วยการคำนวณแบบ ABAQUS/Explicit โดยขนาดกระสุนปืนและความหนาของแผ่นกันกระแทกถูกสร้างให้มีขนาดเท่าชิ้นงานจริง (แผ่นกันกระแทกมีความหนา 6 mm) ส่วนความกว้างของแผ่นกันกระแทกกำหนดเพียงครึ่งเท่าของขนาดจริงตามระนาบสมมาตรเพื่อลดเวลาในการคำนวณ ลักษณะของแบบจำลองการเข้าชนของกระสุนปืนแสดงอยู่ในรูปที่ 4

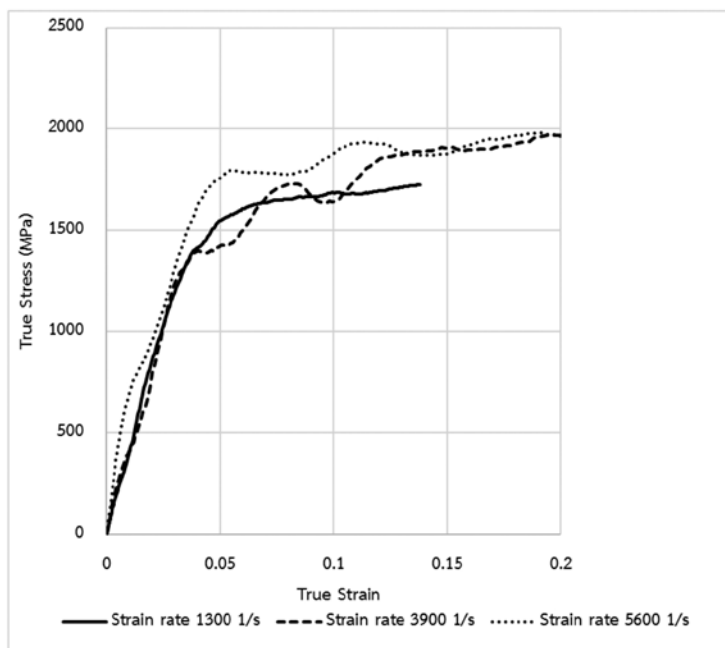
สำหรับสมบัติทางกลของแผ่นกันกระแทกกำหนดให้วัสดุเป็นแบบ elastic-plastic และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดสอบสปลิตต์ฮอปกิ้นสันบาร์ ส่วนพารามิเตอร์สำหรับค่าความเสียหายของแผ่นกันกระแทก และสมบัติทางกลของลูกกระสุนได้มาจากการวิจัยภายในและเทียบกับงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายกัน^{[5], [6], [7]} ผิวสัมผัสระหว่างลูกกระสุนและแผ่นกันกระแทกกำหนดให้เป็นผิวสัมผัสแบบไม่มีแรงเสียดทานและไม่ก่อให้เกิดความร้อน ส่วนการจับยึดแผ่นกันกระแทกใช้การจับยึดด้านบนและล่างของแผ่นเสมือนว่ามีสายรัดคาดอยู่ตามรูปแบบการทดสอบจริง กระสุนปืนกำหนดให้มีความเร็ว 960 m/s พุ่งเข้าชนแผ่นกันกระแทกในแนวตั้งฉาก ส่วนการคำนวณเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสามมิติทรงสี่เหลี่ยม เมื่อสอบเทียบผลการจำลองการชนของกระสุนปืนบนแผ่นกันกระแทกชนิด A เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จึงใช้แบบจำลองรูปแบบเดียวกันทำนายผลการชนของกระสุนปืนบนแผ่นกันกระแทกชนิด B

3. ผลการวิจัย

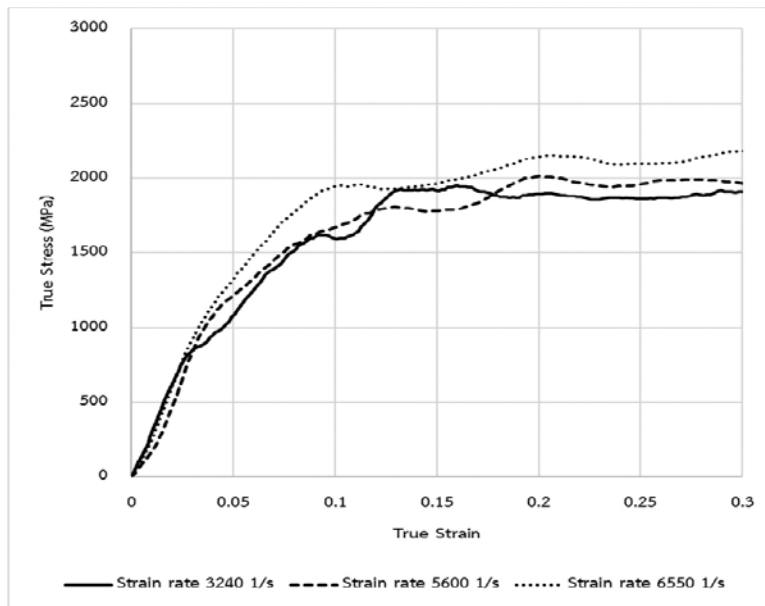
การทดสอบสปลิตต์ฮอปกิ้นสันบาร์ให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับแผ่นกันกระแทก



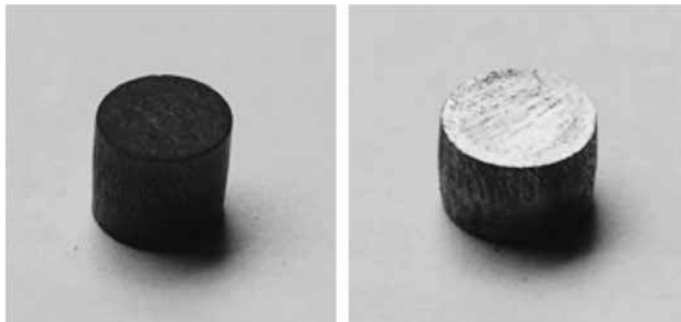
รูปที่ 4 การจำลองการเข้าชนของกระสุนปืน



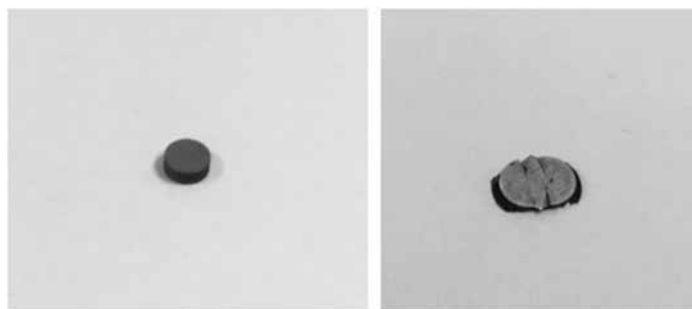
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของขึ้นทดสอบชนิด A



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของชิ้นทดสอบชนิด B



รูปที่ 7 ชิ้นทดสอบชนิด A ก่อนการกระแทก (ซ้าย) และหลังการกระแทก (ขวา)



รูปที่ 8 ชิ้นทดสอบชนิด B ก่อนการกระแทก (ซ้าย) และหลังการกระแทก (ขวา)

ชนิด A และรูปที่ 6 สำหรับแผ่นกันกระแทกชนิด B ส่วนตัวอย่างการเสียรูปของชิ้นทดสอบชนิด A และ B ถูกแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

จากผลการทดสอบพบว่าค่าความเค้น ณ จุดครากสำหรับชิ้นทดสอบชนิด A อยู่ที่ประมาณ 1,290 MPa และชนิด B อยู่ที่ประมาณ 1,365 MPa สังเกตได้ว่าพฤติกรรมของแผ่นกันกระแทกทั้งสองชนิดเป็นลักษณะโลหะเหนียวและจุดครากจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดสูงขึ้น เมื่อเกิดการครากแล้วแผ่นกันกระแทกยังสามารถเสียรูปแบบคงรูปต่อไปได้ ทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในการทดสอบสปีดช็อปปืนสันบาร์มีช่วงที่กว้าง และขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นทดสอบและความเร็วในการเข้ากระแทกของบาร์กระแทก

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดของชิ้นทดสอบถูกนำไปใช้เป็นสมบัติของวัสดุในขั้นตอนการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการยิงแผ่นกันกระแทกด้วยปืนอัดแก๊ส ความดันสูงและสอบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองเชิงอนุมาณโดยการเปรียบเทียบขนาดของรูทะลุที่เกิดขึ้นบนแผ่นกันกระแทกที่ความหนา 6 mm ผลการเปรียบเทียบพบว่าแผ่นกันกระแทกที่ถูกนำไปทดสอบกับกระสุนจริงเกิดรูทะลุความกว้าง 7.3 mm ส่วนรูทะลุที่จำลองด้วยโปรแกรมมีความกว้างประมาณ 7.83 mm ดังแสดงในรูปที่ 9 ส่วนรูปที่ 10 เป็นรูทะลุด้านหลังของแผ่นกันกระแทกซึ่งความคลาดเคลื่อนในการทำนายขนาดรูทะลุของแบบจำลองเกิดจากค่าพารามิเตอร์ความเสียหายของแผ่นกันกระแทกยังไม่สามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำ

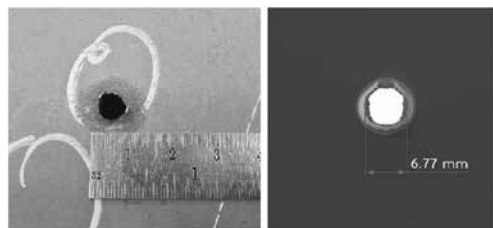
รูปแบบจำลองการกระแทกแผ่นเกราะด้วยกระสุนที่สร้างขึ้นถูกนำไปใช้ในการทำนายพฤติกรรมของแผ่นกันกระแทกชนิด B ผลการจำลองพบว่า

รูทะลุบนด้านที่รับกระสุนของแผ่นกันกระแทกชนิด B มีความกว้างประมาณ 6.86 mm ในขณะที่ด้านหลังมีความกว้างประมาณ 6.39 mm ซึ่งน้อยกว่าแผ่นกันกระแทกชนิด A ดังแสดงในรูปที่ 11

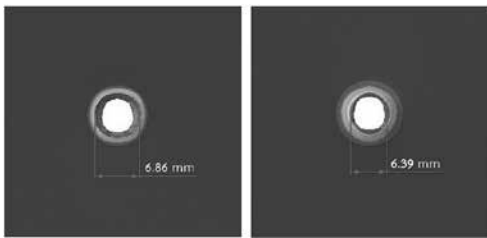
เมื่อเปรียบเทียบระยะการเสียรูปในแนวการชนตามรูปที่ 12 พบว่าแผ่นกันกระแทกชนิด B มีระยะการเสียร้น้อยกว่าแผ่นกันกระแทกชนิด A เล็กน้อย ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแผ่นกันกระแทกชนิด B มีความแข็งแรงมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานจลน์รวมที่เกิดขึ้นตลอดการกระแทกดังแสดงในรูปที่ 13 จึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นกันกระแทกชนิด B สามารถดูดซับแรงที่เกิดขึ้นจากการกระแทกได้ดีกว่าแผ่นกันกระแทกชนิด A เนื่องจากค่าพลังงานจลน์รวมหลังจากที่กระสุนทะลุออกมามีค่าน้อยกว่า



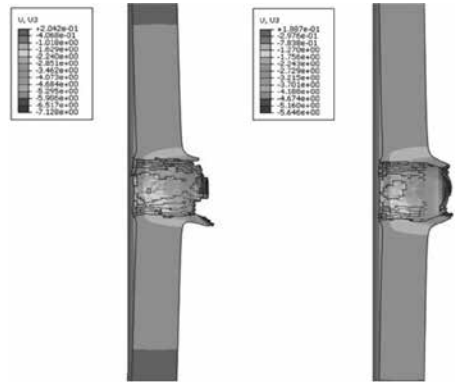
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบรูทะลุด้านหน้าของแผ่นกันกระแทกชนิด A ที่เกิดจากการทดสอบจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม



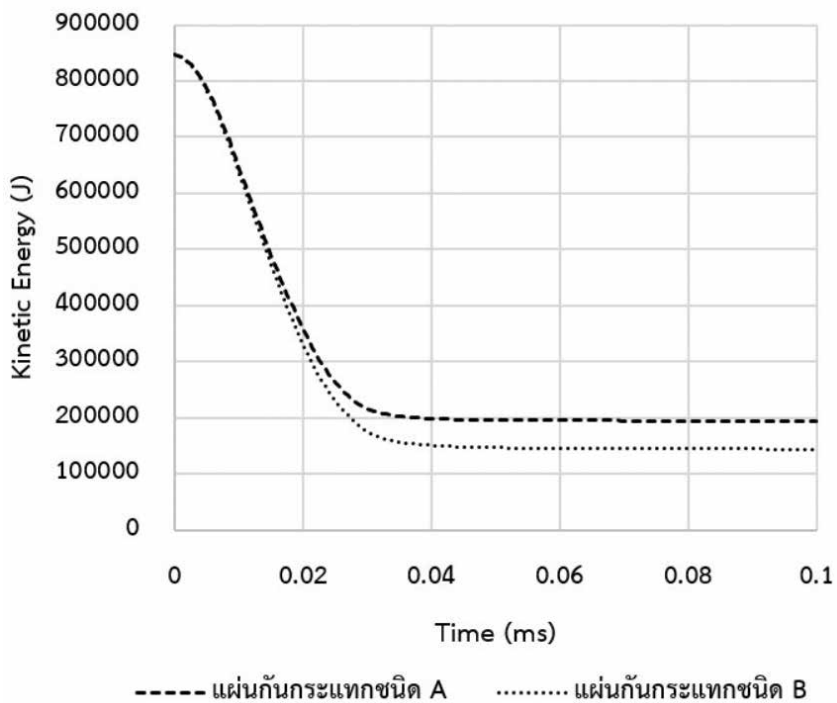
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบรูทะลุด้านหลังของแผ่นกันกระแทกชนิด A ที่เกิดจากการทดสอบจริงกับการจำลองด้วยโปรแกรม



รูปที่ 11 รูทะลุของแผ่นกันกระแทกชนิด B ด้านหน้า (ซ้าย) และด้านหลัง (ขวา) ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม



รูปที่ 12 เปรียบเทียบระยะการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นกันกระแทก ชนิด A (ซ้าย) และชนิด B (ขวา)



รูปที่ 13 เปรียบเทียบพลังงานจลน์รวมของการทดสอบบนแผ่นกันกระแทกทั้งสองชนิด

4. สรุปผล

จากการทดสอบสมบัติของแผ่นกันกระแทกตัวอย่างที่ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับยานเกราะ พร้อมทั้งนำผลที่ได้มาพัฒนาการวิเคราะห์การรับแรงกระแทกของวัสดุ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการทดสอบแบบสปลิตต์ฮอปกินสันบาร์สามารถทดสอบพฤติกรรมการเสียรูปที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดสูงได้ ผลของการทดสอบถูกนำมาใช้เป็นสมบัติวัสดุในการจำลองพฤติกรรมของแผ่นกันกระแทกเมื่อรับแรงกระแทกจากกระสุนปืนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการจำลองถูกสอบเทียบกับการยิงด้วยกระสุนจริงสำหรับแผ่นกันกระแทกชนิด A ผลการวิเคราะห์พบว่าแผ่นกันกระแทกชนิด B สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่าแผ่นกันกระแทกชนิด A ที่ความหนาเท่ากัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้สนับสนุนทุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 และชิ้นงานตัวอย่างสำหรับใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการพลวัตทางโครงสร้าง (Structural Dynamics Laboratory) สำหรับการทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง และขอขอบคุณ ดร.สุธี โธหารฤทธิพันธ์ ที่ให้คำแนะนำทางด้านการทดลองและการสร้างแบบจำลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nemat-Nasser, S., "Introduction to high strain rate testing", ASM Handbook Mechanical Testing and Evaluation Vol. 8, 2000, pp. 427-428.
- [2] Gray III, G. T., "Classic Split-Hopkinson Pressure Bar Testing", ASM Handbook Mechanical Testing and Evaluation Vol. 8, 2000, pp. 462-476.
- [3] Chen, W. and Song, B., "Split Hopkinson (Kolsky) Bar: Design, Testing and Applications (Mechanical Engineering Series)", New York: Springer, 2011.
- [4] Graff, K. F. "Wave Motion in Elastic Solids", Oxford: Clarendon Press, 1975.
- [5] Namik Kılıç and Bülent Ekici, "Ballistic resistance of high hardness armor steels against 7.62 mm armor piercing ammunition", Materials and Design 44, 2013, pp. 35-48.
- [6] Namik Kılıç, et al., "Ballistic behavior of high hardness perforated armor plates against 7.62 mm armor piercing projectile", Materials and Design 63, 2014, pp. 427-438.
- [7] M.A. Iqbal, et al., "An investigation of the constitutive behavior of Armox 500T steel and armor piercing incendiary projectile material", International Journal of Impact Engineering 96, 2016, pp. 146-164.

การศึกษาการกระจายตัวแบบสุ่มของอนุภาคแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต ในเชื้อเพลิงแข็ง

สุริยะเวช บุญธรรัตน์^{1*} และ มนต์ชัย ดวงปัญญา²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของขนาดอนุภาค Ammonium perchlorate (AP) สำหรับใช้เป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็ง โดยในการศึกษาจะใช้ AP สามขนาด ประกอบด้วยขนาด 240 μm 130 μm ซึ่งขนาดดังกล่าวมีขายทั่วไปเชิงพาณิชย์ และขนาด 5 μm ได้มาจากการบด AP ให้มีขนาดตามต้องการ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการผสมเชื้อเพลิงแข็งตามสัดส่วนที่กำหนด และพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติการไหลตัวจากค่าความหนาแน่นรวมและค่าความหนาแน่นในการบรรจุ พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการเลือกนำมาประยุกต์ใช้งานของอนุภาค AP ทั้งสามขนาด 240 μm 130 μm และ 5 μm ตามลำดับได้แก่ ร้อยละ 60:20:20 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงแข็ง, ความหนาแน่นการบรรจุ, ตัวสันดาปภายใน, การไหลตัว, แอมโมเนียม เปอร์คลอเรต

¹ ส่วนงานวิศวกรรมระบบขับเคลื่อน (Propulsion Systems Division - RPS), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ส่วนการศึกษา, โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

* ผู้แต่ง, อีเมล: suriyawate.b@dti.or.th

Limitation of trimodal Ammonium Perchlorate particle for random packing in solid fuel

Suriyawate Boonthalarath^{1*} and Monchai Dungpanya²

Abstract

This research investigates the optimization of ammonium perchlorate proportion in solid propellant. The study focuses on the quantity of commercial 240 μm 130 μm and 5 μm ammonium perchlorate which is used in the product of Defence Technology Institute minimized. It has found from study results that the fluidity of solid propellant was when increasing 130 μm particle when considering the Bulk density in relation to Packing density of propellant the optimized proportion of solid propellant was 60:20:20 percent by weight of 240 μm 130 μm and 5 μm ammonium perchlorate respectively.

Keywords : solid propellant, Packing density, internal ballistics, Ammonium Perchlorate and fluidity

¹ Propulsion Systems Division – RPS, Defence Technology Institute.

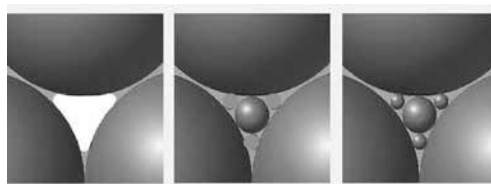
² Chulachomklao Royal Military Academy.

* Corresponding Author, E-mail: suriyawate.b@dti.or.th

1. ที่มาของปัญหา

การเพิ่มประสิทธิภาพเชื้อเพลิงแข็ง (Composite Solid Propellants: CSP) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ประยุกต์เข้ากับงานด้านทางทหารและอวกาศ^[1-2] ให้สามารถตอบสนองตามการออกแบบมักจะต้องศึกษาและดัดแปลงจากองค์ประกอบในส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็งชนิดนั้นๆ โดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันดีว่าส่วนผสมหลักของเชื้อเพลิงแข็งประกอบด้วยตัวประสาน เช่น hydroxyl terminated polybutadiene (HTPB) ตัวเชื้อเพลิงหรือตัวให้พลังงาน เช่น ผงอลูมิเนียม (Al) และตัวสันดาปภายใน เช่น Ammonium perchlorate (AP)^[3] เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมหรือสารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็ง คุณลักษณะทางด้านเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงแข็งอาจเปลี่ยนแปลงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของประสิทธิภาพการเผาไหม้^[4] ดังนั้นจึงมีการศึกษาปัจจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแข็งให้มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงขึ้น (high energy density material) ดังจะเห็นได้จากการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ องค์ประกอบภายในส่วนผสมและลักษณะทางสัณฐานของเชื้อเพลิงแข็ง อิทธิพลของขนาดและปริมาณของตัวสันดาปภายในเชื้อเพลิงแข็ง ลักษณะการเผาไหม้ และอื่นๆ^[5-7] และหนึ่งในองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงแข็งที่มักมีผู้ให้ความสนใจในการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชื้อเพลิงแข็งได้แก่ ตัวสันดาปภายใน โดยเฉพาะอนุภาค AP เนื่องจากในการผลิตเชื้อเพลิงแข็งมักจะใช้ตัวสันดาปภายในในปริมาณร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนัก^[8-10] โดยมุ่งเน้นเรื่องปริมาณที่เหมาะสมในส่วนผสม ขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบ การกระจายตัวของ AP ภายในเชื้อเพลิงแข็ง^[11-24] อย่างไรก็ตามในการศึกษาที่ผ่านมายังคง

เน้นการใช้อนุภาค AP เพียงสองขนาดในส่วนผสม (bi-modal AP) เนื่องจากคุณลักษณะการไหลตัวของเชื้อเพลิงในระหว่างขั้นตอนการผลิตเป็นเรื่องสำคัญ อีกทั้งเป็นการเอื้อให้เกิดการผลิตที่คล่องตัวและไม่เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพเชื้อเพลิงแข็งโดยการเพิ่มปริมาณ AP แต่ยังคงไว้ซึ่งปริมาตรโดยการลดขนาด AP ลง ใช้เป็นอนุภาค AP ขนาดที่สามในส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็ง (tri-modal AP)^[19] ดังนั้นในการบรรจุอนุภาค AP ที่เพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาความหนาแน่นในการบรรจุ (Packing density) ซึ่งเป็นตัวแปรในการตรวจสอบที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค AP ในส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพถ่ายของอนุภาค AP ทั้งสามขนาดในส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็ง^[25]

ในการศึกษาวิจัยเรื่องความหนาแน่นในการบรรจุของอนุภาค AP ทั้งสามขนาดภายในเชื้อเพลิงแข็ง Buckmaster และคณะ^[26-27] ได้กล่าวถึงทฤษฎีการคำนวณผ่านทางการจำลองรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ นำมาอธิบายความสัมพันธ์ของขนาด AP เปรียบเทียบกันระหว่างเชื้อเพลิงแข็งที่มี AP เพียงสองขนาด กับเชื้อเพลิงแข็งที่มี AP สามขนาดในส่วนผสม พบว่าคุณลักษณะการไหลตัวของเชื้อเพลิงแข็งที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงแข็งที่มี AP ทั้งสามขนาดในส่วนผสมมีคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการเผาไหม้ดีขึ้น ทั้งนี้สอดคล้องกับ Iqbal และ Liang^[13] ผู้พัฒนาทฤษฎีการใช้แบบจำลองในการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์

ระบุถึงข้อดีในการเลือกใช้ออนุภาค AP หลายขนาดเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็งโดยระบุว่าประสิทธิภาพของอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Burning rate: bR) ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปริมาณ AP ที่เพิ่มขึ้นและการใช้ขนาดอนุภาค AP ที่ลดลงในส่วนผสม นอกจากนี้ Rodic และ Bajlovski^[16] ได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่เคยกล่าวไว้พบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแข็งสามารถเพิ่มขึ้นได้จริงโดยการผสมเชื้อเพลิงแข็งจากอนุภาค AP ทั้งสามขนาด โดยผู้ทดลองกำหนดอัตราส่วนผสมและใช้ออนุภาค AP ที่มีขนาด 400 200 และ 80 μm ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามแม้จะมีทฤษฎีและผลการทดลองมารองรับประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของเชื้อเพลิงแข็งที่มีส่วนผสมของอนุภาค AP ทั้งสามขนาด แต่ข้อมูลดังกล่าวที่ผ่านมายังไม่ได้กล่าวถึงอิทธิพลของการไหลตัวของเชื้อเพลิงแข็งที่มีผลต่อสัดส่วนอนุภาค AP ที่ใช้ในส่วนผสม รวมถึงการทดลองใช้ขนาดอนุภาค AP ที่มีขนาดน้อยกว่า 10 μm ยังคงน้อยอยู่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของขนาดอนุภาค AP ที่เหมาะสมกับความสามารถในการไหลตัวของเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตขึ้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงแข็ง

ในการเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงแข็งสำหรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ส่วนผสมหลักประกอบด้วยตัวประสาน Hydroxyl terminated polybutadiene (HTPB) ผงอลูมิเนียม (Al) ใช้เป็นเชื้อเพลิง และตัวสันดาป คือ Ammonium perchlorate (AP) แสดงดังตารางที่ 1 โดยปริมาณ AP ที่ใช้ในตัวอย่างที่ศึกษาอยู่ระหว่างร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนัก

ซึ่งการศึกษาจะทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของ AP ทั้งหมด 3 ขนาด ได้แก่ AP ที่มีขนาดอนุภาค 240 μm 130 μm โดย AP ขนาดดังกล่าวเป็นขนาดที่มีขายทั่วไปเชิงพาณิชย์ สำหรับ AP ขนาด 5 μm ได้จากการบด AP ขนาด 240 μm ในลำดับแรกจะทำการจำลองการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค AP แล้วจึงนำสัดส่วนที่มีความไหลตัวที่เหมาะสมมาทำการผสมเป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยทำการวัดค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างขั้นตอนการผสมจนกระทั่งเชื้อเพลิงแข็งตัว

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนผสม หลัก	ร้อยละโดยน้ำหนัก
HTPB	9.21
AL	18.51
AP	67.48
อื่นๆ	4.80

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะ

ก่อนทำการทดลองหาอิทธิพลของการจัดเรียงตัวตามขนาดอนุภาค AP ภายในเชื้อเพลิงแข็ง จำเป็นต้องทำการวัดขนาดอนุภาค AP ทั้งหมด เพื่อเป็นการยืนยันขนาดที่ใช้จริงในการศึกษา โดยในการพิสูจน์คุณลักษณะดังกล่าวของ AP จะทำการวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค ยี่ห้อ Malvern instruments รุ่น Hydro2000SM โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้จะแสดงผลในส่วนของการวิเคราะห์ผลการวิจัย

2.3 กระบวนการวัดความหนาแน่น

2.3.1 การวัดความหนาแน่นรวม (Bulk density)

กระบวนการในการศึกษาการวัดค่าความหนาแน่นรวม อาศัยวิธีการตามมาตรฐาน MIL-STD-

286C ขึ้นตอนที่ 502.2.1^[28] กล่าวคือ ใช้กระบอกตวง ขนาด 1000 ml ตัดให้เหลือขนาด 400 ml เป็น ภาชนะสำหรับตรวจวัดและทำการวัดค่าความหนาแน่น ที่อุณหภูมิห้อง (~25°C) เริ่มจากนำกระบอกตวง เปลาที่เตรียมขึ้นไปยังน้ำหนักและทำการจดบันทึก น้ำหนัก จากนั้นทำการเติมน้ำกลั่น (ในที่นี้เป็นตัว อ้างอิง) ให้พอดีเต็มและทำการจดบันทึกน้ำหนักของ น้ำกลั่นเพื่อใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณหาความ หนาแน่นรวม จากนั้นทำการตรวจวัดความหนาแน่นรวม ของเชื้อเพลิงแข็ง เริ่มจากนำกระบอกตวงที่สะอาด และแห้งนำมาชั่งน้ำหนักและทำการจดบันทึก แล้ว จึงทำการเทเชื้อเพลิงแข็งที่ได้รับการผสมตามสัดส่วน ให้เต็มพอดี โดยสามารถเคาะภาชนะเมื่อเชื้อเพลิง แข็งมีฟองอากาศภายใน แล้วจึงทำการจดบันทึกน้ำ หนักของเชื้อเพลิงแข็ง ในการคำนวณความหนาแน่น รวมให้ใช้สมการที่ 1

$$\text{Bulk density (lbs. per cu. ft)} = 62.5A/B \quad (1)$$

โดยที่ A คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงแข็ง (หน่วย กรัม)

B คือ น้ำหนักของน้ำกลั่น (หน่วย กรัม)

2.3.2 การวัดความหนาแน่นการบรรจุ (Packing density)

กระบวนการในการศึกษาความหนาแน่น การบรรจุ อ้างอิงวิธีการตามมาตรฐาน MIL-STD-286C ขึ้นตอนที่ 502.3.1^[28] โดยสถานะที่ใช้ในการศึกษา ต้องอยู่ภายใต้อุณหภูมิ $21.1 \pm 2.8^\circ\text{C}$ และใช้เวลา ไม่เกิน 18-24 ชั่วโมงในการทดลอง เริ่มจากนำผง AP ที่ใช้ในการศึกษาไปอบแห้งให้ความชื้นอยู่ระหว่าง 1 - 3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำมาผสมเป็นเชื้อเพลิงแข็ง ตามสัดส่วนที่ใช้ในการศึกษา โดยการทดสอบใน ห้องปฏิบัติการต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง ระหว่าง 30 - 80 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก เชื้อเพลิงแข็งด้วยบีกเกอร์ขนาด 600 ml โดยใน ขั้นตอนการวัดให้ทำการเทเชื้อเพลิงแข็งลงไป

ภาชนะเพียงครั้งเดียวให้ได้ปริมาตร 500 ml ถ้าหาก ปริมาตรเกินให้ทำการตักออกโดยไม่อนุญาตให้เคาะ ภาชนะ แล้วจึงจดบันทึกน้ำหนักเชื้อเพลิงแข็ง ความ หนาแน่นบรรจุสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\rho = m/V \quad (2)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น (หน่วย กรัม/ซม.³)

m คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงแข็ง (หน่วย กรัม)

V คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิงแข็ง (หน่วย ซม.³)

ซึ่งปริมาตรของเชื้อเพลิงแข็งคำนวณได้ตาม สมการที่ 3 ได้แก่

$$V = \pi r^2 h \quad (3)$$

โดยที่ r คือ รัศมีของบีกเกอร์ (หน่วย ซม.)

h คือ ความสูงรวมของเชื้อเพลิงแข็ง (หน่วย ซม.)

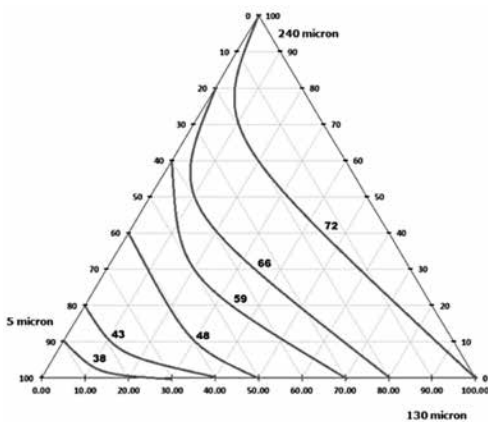
3. ผลการวิจัย

ในการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาค AP ทั้ง 3 ขนาด ในเชื้อเพลิงแข็ง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลตัวของเชื้อเพลิงแข็ง และสัดส่วนที่เหมาะสมในการบรรจุของอนุภาค AP ในส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็ง โดยก่อนที่จะทำการผสม เชื้อเพลิงแข็งจะต้องทำการตรวจวัดขนาดเพื่อหา ค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบ แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ใช้ในการศึกษา

ขนาดอนุภาคอ้างอิง	ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย
240 μm	243.55 μm
130 μm	116.45 μm
5 μm	4.57 μm

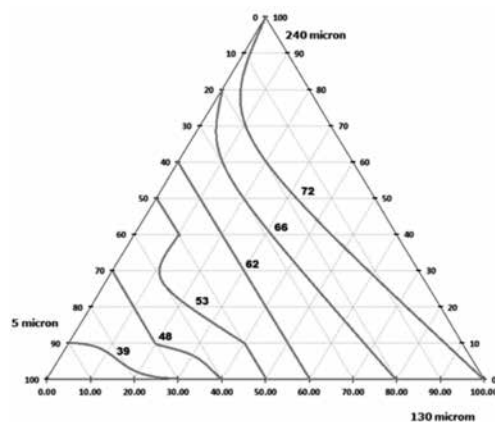
จากตารางแสดงขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย พบว่า อนุภาคอ้างอิงที่ใช้เป็นส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 2 ไดอะแกรมแสดงความหนาแน่นรวมของเชื้อเพลิงแข็งตามสัดส่วนอนุภาค AP ขนาดต่างๆ

ขนาด 130 μm มีขนาดโดยเฉลี่ยเล็กกว่าความเป็นจริง ซึ่งอาจมีผลต่อการกระจายตัวภายในส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็ง ทั้งนี้อาจต้องพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นรวมภายในส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็งตามการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของขนาดอนุภาค AP ทั้ง 3 ขนาดตามรูปที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมที่ได้จะแสดงตามเส้นทึบสีแดงดังปรากฏ และค่าที่แสดงของแต่ละเส้นจะบ่งชี้ถึงค่าความหนาแน่นรวมโดยเฉลี่ยของช่วงนั้นๆ ในการพิจารณาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแข็ง โดยประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแข็งที่ดีขึ้นควรจะมีค่าความหนาแน่นรวมที่สูงและยังคงมีลักษณะการไหลตัวที่ดีทั้งในขณะการหล่อขึ้นรูปและมีความสมบัติเชิงกลที่ดีโดยไม่เกิดการแตกร้าว แยกชั้นขณะนำเข้าสู่กระบวนการบ่ม (Post cure)

จากรูปที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นรวมภายในเชื้อเพลิงแข็งโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนตามขนาดอนุภาค AP ระหว่างขนาด 240 μm 130 μm และ 5 μm โดยมีอัตราส่วนผสมตามกำหนด เมื่อพิจารณาตามแนวแกนระหว่างเส้นสามเหลี่ยมอนุภาค AP ขนาด 240 μm และ 130 μm พบว่า



รูปที่ 3 ไดอะแกรมแสดงความหนาแน่นการบรรจุของเชื้อเพลิงแข็งตามสัดส่วนอนุภาค AP ขนาดต่างๆ

เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอนุภาคขนาด 130 μm ลงในส่วนผสม แนวโน้มของค่า ความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นรวมควบคู่กันระหว่างอนุภาค AP ขนาด 240 μm กับ 5 μm และอนุภาค AP ขนาด 130 μm กับ 5 μm พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณอนุภาค AP ขนาด 5 μm ลงในส่วนผสมแนวโน้มของค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงในทิศทางเดียวกัน แต่อนุภาค AP ขนาด 5 μm จะมีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อปัจจัยการลดลงของความหนาแน่นรวมของอนุภาค AP ขนาด 130 μm มากกว่าอนุภาค AP ขนาด 240 μm ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของอนุภาค AP ทั้ง 3 ขนาดที่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นรวมพร้อมกันแสดงตามรูปที่ 2 สรุปได้ว่าอนุภาค AP ขนาดกลางมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นรวมภายในเชื้อเพลิงแข็งมากกว่าขนาดอนุภาค AP ที่มีขนาดใหญ่หรือขนาดเล็ก

จากค่าความหนาแน่นรวมที่ได้ จึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมกับความหนาแน่นการบรรจุ เนื่องจากค่าความหนาแน่นการบรรจุนั้นจะถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการจัดเรียงและ

กระจายตัวของอนุภาค AP ภายในส่วนผสมของเชื้อเพลิงแข็ง ว่าภายในส่วนผสมมีการอัดแน่นเพียงใด โดยถ้าอนุภาค AP มีการอัดแน่นที่เหมาะสม จะเกิดช่องว่างในเนื้อดินขั้นน้อย^[16] ทำให้ดินขั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากรูปที่ 3 แสดงค่าความหนาแน่นการบรรจุของอนุภาค AP ทั้งสามขนาด เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นการบรรจุภายในส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็งพบว่า การเพิ่มปริมาณอนุภาค AP ขนาด 5 μm จะให้ค่าความหนาแน่นการบรรจุของส่วนผสมในเชื้อเพลิงแข็งมีแนวโน้มลดลงเนื่องจาก เมื่ออนุภาค AP ขนาด 5 μm กระจายตัวในเชื้อเพลิงแข็ง อนุภาคนี้อาจสามารถรวมตัวกันได้ง่าย เพราะมีพื้นที่ผิวและหน้าสัมผัสสูง^[16] ทำให้สามารถรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นอนุภาคนี้อาจจะเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างอนุภาคขนาดใหญ่และกลางได้ยาก ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นการบรรจุมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณ AP ขนาดเล็ก จากเหตุผลดังกล่าว ในการพิจารณาหาสัดส่วน AP เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการผสมเชื้อเพลิงแข็ง โดยจะทำการเลือกจากสัดส่วนที่มีค่าความหนาแน่นการบรรจุสูงที่สุด ซึ่งในรูปที่ 3 คือ เส้นที่ระบุค่าเฉลี่ย ความหนาแน่นการบรรจุที่ 72 (สัดส่วนดังกล่าวได้มาจากค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นการบรรจุสูงที่สุดพาดผ่าน) ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของ AP ทั้ง 5 ส่วนผสม ตามแจกแจงอัตราส่วนที่ได้จากตารางที่ 3 พบว่า สัดส่วนของอนุภาค AP ที่มีขนาดเล็กมีปริมาณเท่ากันทั้งหมด แตกต่างกันเพียงสัดส่วนของอนุภาคขนาดใหญ่และขนาดกลาง ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคในส่วนผสมที่มีผลต่อความสามารถในการบรรจุจึงต้องดูจากการเปรียบเทียบระหว่างอนุภาค AP ขนาด 240 μm และขนาด 130 μm จาก

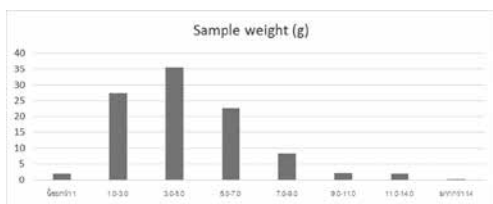
ข้อมูลในตารางที่ 3 เมื่อศึกษาค่าของความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นในการบรรจุตามอัตราส่วนอนุภาค AP ควบคุมกันไป พบว่าเมื่อสัดส่วนอนุภาค AP ขนาด 5 μm คงที่และมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างอนุภาค AP ขนาด 240 μm และขนาด 130 μm โดยเมื่อลดสัดส่วนของ AP ขนาด 240 μm ลง ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นในการบรรจุมีแนวโน้มลดลง จากผลลัพธ์ที่ได้ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นควบคู่เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการลดลงของค่าความหนาแน่นรวมและ ความหนาแน่นในการบรรจุ ขนาดของอนุภาค AP

ตารางที่ 3 ค่าของความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นในการบรรจุตามสัดส่วนอนุภาค AP ในส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็ง

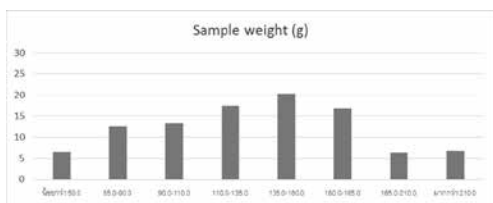
ลำดับ	สัดส่วน (240: 130:5)	ความ หนาแน่น รวม	ความ หนาแน่น ในการบรรจุ
1	70:10:20	72.48	72.94
2	60:20:20	70.90	71.34
3	50:30:20	69.50	69.94
4	40:40:20	67.48	67.91
5	30:50:20	67.03	67.45

ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาวิเคราะห์จากรูปที่ 4-6 เป็นรูปแสดงการกระจายตัวของอนุภาค AP ที่มีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมทั้งขนาด 5 μm 130 μm และ 240 μm ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของอนุภาค AP ทั้ง 3 ขนาดตามแผนภูมิแท่งรูปที่ 4-6 พบว่า การกระจายตัวของอนุภาค AP ขนาด 5 μm (รูปที่ 4) มีการกระจายตัวแบบระฆังคว่ำและอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดระหว่าง

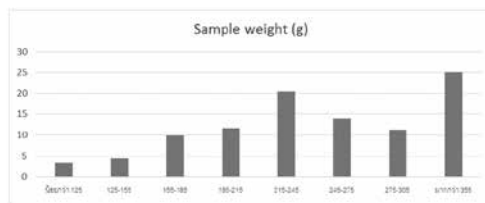
3-5 μm ในขณะที่มีการกระจายตัวของอนุภาค AP ขนาด 130 μm (รูปที่ 5) มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดระหว่าง 135-160 μm แต่การกระจายตัวของอนุภาค AP ขนาด 240 μm (รูปที่ 6) ขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 215-240 μm แต่ขนาดของอนุภาค AP ดังกล่าวมีปริมาณของอนุภาค AP ที่มีขนาดมากกว่า 355 μm ปะปนอยู่ด้วย จึงเป็นเหตุผลที่ว่า ขนาดอนุภาค AP ที่มีขนาดใหญ่และมีปริมาณน้อยให้ค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นในการบรรจุใกล้เคียงกับอนุภาคของ AP ที่มีขนาดกลาง แต่มีปริมาณมากกว่าเนื่องจากในขณะการผสมเชื้อเพลิงแข็งอนุภาค AP ที่มีขนาดใหญ่จะไปดบังการแทรกตัวของอนุภาค AP ที่มีขนาดเล็กกว่า^[16] จึงทำให้ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นในการบรรจุมีค่าใกล้เคียงกัน จากข้อมูลที่ว่าขนาดอนุภาค AP ยิ่งมีขนาดเล็กจะให้ค่าอัตราการเผาไหม้สูง^[7] เมื่อพิจารณาสัดส่วนของ AP ตามตารางที่ 3 จึงควรเลือกสัดส่วนของอนุภาค AP ที่มีขนาดเล็กเพื่อจะให้ค่าอัตราการเผาไหม้ที่สูง



รูปที่ 4 ขนาดอนุภาค AP ตามขนาดอ้างอิง 5 μm ที่ใช้ในการผสมเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 5 ขนาดอนุภาค AP ตามขนาดอ้างอิง 130 μm ที่ใช้ในการผสมเชื้อเพลิงแข็ง



รูปที่ 6 ขนาดอนุภาค AP ตามขนาดอ้างอิง 240 μm ที่ใช้ในการผสมเชื้อเพลิงแข็ง

4. สรุปผล

จากการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของขนาดอนุภาค AP ในส่วนผสมเชื้อเพลิงแข็ง เมื่อวิเคราะห์จากค่าความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นในการบรรจุ พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมเชื้อเพลิงแข็งได้แก่ สัดส่วน 60:20:20 เนื่องจากสัดส่วนดังกล่าวให้ค่าความหนาแน่นรวมและค่าความหนาแน่นในการบรรจุสูง โดยปริมาณของ AP ดังกล่าวไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติการไหล (ไหลตัวได้ง่าย ทำให้การขึ้นรูปดินขับสะดวก) และคุณสมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงแข็ง อีกทั้งยังให้อัตราการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากสัดส่วน 60:20:20 นี้มีปริมาณของอนุภาค AP ขนาดเล็ก ซึ่งมีพื้นที่เผาไหม้สูง จึงส่งผลต่อ burning rate สูงที่สุดอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ส่วนปฏิบัติการระบบขับเคลื่อน โรงปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา จ.นครสวรรค์ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้สนับสนุน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นาวาอากาศโทไพศาล บุญยรัตน์ นายบัญชา รูปประทีป และ นายนเรศ ดีแบบเนียน ในการให้คำปรึกษาที่ตลอดมา และขอขอบคุณ ส่วนคุณภาพและความปลอดภัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ สำหรับการทดสอบตัวอย่าง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Singh, G., Kapoor, I.P.S., Dubey, S., Siril, P.F., 2009c. Preparation, characterization and catalytic activity transition metal oxide nanocrystals. J. Sci. Conf. Proce. 1, 11–17.
- [2] Singh, G., Kapoor, I.P.S., Dubey, S., 2011. Nanocobaltite: preparation, characterization and their catalytic activity. Prop. Explo. Pyro 36, 367–372.
- [3] Sutton GP, Biblarz O. Rocket propulsion elements. 8th ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2010. p. 492.
- [4] Beckstead, M.W., Puduppakkam, K., Thakre, P., Yang, V., 2007. Modeling of combustion and ignition of solid-propellant ingredients. Prog. Energy Combust. Sci. 33 (6), 497–551.
- [5] Kishore, K., 1979. Comprehensive view of the combustion models of composite solid propellants. AIAA J. 17, 1216–1224.
- [6] Ramohalli, K.N.R., 1984. Steady-State burning of composite propellants under zero crossflow situation. In: Kuo, K.K., Summerfield, M. (Eds.), Fundamentals of Solid- Propellant Combustion, Progress in Astronautics and Aeronautics. AIAA, New York.
- [7] Brill, T.B., Budenz, B.T., 2000, Flash pyrolysis of ammonia perchlorate/hydroxyl-terminated-polybutadiene mixtures including selected additives. In: Yang, V., Brill, T.B., Ren, W.Z. (Eds.) Solid Propellant Chemistry, Combustion and Motor Interior Ballistics, Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, NY, vol. 185, pp. 3–23.
- [8] Chaturvedi, S., Dave, P.N., 2011a. Nano metal oxide: potential catalyst on thermal decomposition of ammonium perchlorate. J. Exp. Nanosci., 1-27
- [9] Chaturvedi, S., Dave, P.N., 2011b, A Review on the Use of Nanometals as Catalysts for the Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate; J. of Saudia Chemical society, in press. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2011.05.009>.
- [10] Meda, L., Marra, G., Galfetti, L., Severini, F., De Luca, L., 2007. Nano-aluminum as energetic material for rocket propellants. Mater. Sci. Eng. C 27, 1393–1396.
- [11] Kohma M, Hagihara Y. Selfquenched combustion of fuel rich ap/htpb composite propellant. Sci Technol Energy Mater 2003;64e8.
- [12] Aziz A, Ali WKW. Effect of oxidizer-fuel mixture ratio to the pressure exponent of ammonium perchlorate based composite propellant. Appl Mech Mater 2012;110e116:1380e6.
- [13] Iqbal MM, Liang W. Burning-rate calculations of wide-distribution ammonium perchlorate composite propellants. J Propuls Power 2007;23:1136e40.

- [14] Renie JP, Condon JA, Osborn JR. Oxidizer size distribution effect on propellant combustion, AIAA. 14th Joint Propulsion Conference. Las Vegas; 1978. p.78e98.
- [15] Kishore K, Sunitha MR. Effect of oxidizer particle size on burning rate and thermal decomposition of composite solid propellants. Def Sci J 1982;32:251e7.
- [16] Rodic V. Influence of trimodal fraction mixture of ammonium perchlorate on characteristics of composite rocket propellants. Sci Tech Rev 2006;1:38e43.
- [17] Miller RR. Effect of particle size on reduced smoke propellant ballistics, AIAA. 18th Joint Propulsion Conference. Cleveland; 1982. p. 82e1096.
- [18] Kohga M, Yoshita S. Burning rate characteristics of ap-based composite propellant using bimodal AP, AIAA. 42nd Joint Propulsion Conference and Exhibit. California; 2006. p. 2006e4924.
- [19] Kohga M. Burning rate characteristics of ammonium perchlorate-based composite propellant using bimodal ammonium perchlorate. J Propuls Power 2008;24:499e506.
- [20] Kohga M. burning characteristics and thermochemical behavior of AP/HTPB composite propellant using coarse and fine AP particles. Propellants Explos Pyrotech 2011;36:57e64.
- [21] Ahmet G, Eriskin C, Yilmazer U, Pekel F, Ozkar S. Mechanical and burning properties of highly loaded composite propellants. J Appl Polym Sci 1998;67:1457e64.
- [22] Muthiah RM, Krishnamurthy VN, Gupta RR. Rheology of HTPB propellant. I. Effect of solids loading, oxidizer particle size, and aluminium content. J Appl Polym Sci 1992;44:2043e52.
- [23] Kohga M, Hagihara Y. Rheology of concentrated AP/HTPB suspension prepared at the limit of AP content. Propellants Explos Pyrotech 2000;25:199e202.
- [24] Bozic VS, Milos MV. Effect of oxidizer particle size on propellants based on modified polyvinyl chloride. J Propuls Power 2001;17:1012e6.
- [25] <http://firstrays.com/free-information/potting-mounting-isplaying/particle-packing/>
- [26] Knott GM, Jackson TL. Buckmaster, packing of heterogeneous propellants. AIAA J 2001;39:678e86.
- [27] Kochevets S, Buckmaster J, Jackson TL, Hegabs A. Random packs and their use in modeling heterogeneous solid propellant combustion. J Propuls Power 2001;17:883e91.
- [28] MIL-STD-286.

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสายอากาศสัญญาณเรดาร์ และการครอบคลุมพื้นที่

เทียนสิริ เหลืองวิไล^{1*}

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้ คือเพื่อสร้างแบบจำลองการครอบคลุมพื้นที่ของพลังงานเรดาร์ที่แผ่ออกมาจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์แบบต่างๆ โดยเริ่มต้นจากงานสะท้อนแบบโค้งก่อน จากนั้นค่าพลังงานที่แผ่ออกไปจะถูกแสดงลงบนแผนที่ Digital Elevation Map (DEM) เพื่อแสดงการครอบคลุมและการถูกบดบังจากภูมิประเทศ โดยงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการร่วมมือระหว่างบุคลากรจากโรงเรียนนายเรืออากาศ นวมนทรกษัตริยาธิราชและสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเรดาร์แบบต่างๆ เพื่อใช้ในการวางแผนทางยุทธวิธีและการพัฒนาออกแบบสายอากาศสัญญาณเรดาร์ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : ระบบเรดาร์, รูปแบบการแผ่พลังงาน, การครอบคลุมพื้นที่, ไลน์ออฟไซท์, ไฟไนท์ ดิฟเฟอเรนซ์, แผนที่ดิจิทัล

¹ กองวิชาคอมพิวเตอร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทรกษัตริยาธิราช กรุงเทพฯ

* ผู้แต่ง, อีเมล: thiansiri.i@gmail.com

Mathematical Simulation of Radar Antenna and Coverage

Thiansiri Luangwilai^{1*}

Abstract

The objective of this study is to simulate the coverage area of radar systems with various types of radar antenna. The simulation begins with the simplest case with parabolic reflector antenna. Once radiation pattern from antennas has been acquired, the power pattern is simulated on the Digital Elevation Map (DEM). The line-of-sight and terrain interference are also considered in this study. This work is the corporation between the Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Thai Air Force Academy (NKRAFA) and Defence Technology Institute (DTI) which will be extended to analyse the efficiency of radar systems. It will be also used for tactical planning and antenna designing in the future.

Keyword : Radar, Radiation pattern, coverage, line of sight, finite differences, Digital Elevation Map (DEM)

¹ Mathematics and Computer science Division, Navarminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy.

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

1. บทนำ

เทคโนโลยีด้านเรดาร์นั้นถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากต่อความมั่นคงของประเทศชาติทั้งทางทหาร ทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศด้านต่างๆ ทำให้เรามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างองค์ความรู้ในด้านการออกแบบและพัฒนาระบบสายอากาศเรดาร์ขึ้นมาเองภายในประเทศ เพื่อนำไปใช้ในด้านต่างๆ ทั้งทางทหาร การโทรคมนาคม การช่วยชีวิตในยามวิกฤต หรือแม้แต่ในยามที่มีภัยพิบัติ (Skolnik, 1990) ระบบเรดาร์มีองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่ ระบบส่ง/รับ ระบบสายอากาศ ระบบคัดแยกสัญญาณ ระบบการงานกระจายสัญญาณ และระบบการแสดงผลเป็นต้น ขบวนการที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการพัฒนาระบบเรดาร์คือการออกแบบและทดสอบระบบสายอากาศเรดาร์ เพื่อทดสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ออกอากาศ คุณภาพของการส่งและรับสัญญาณ ผลกระทบของสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อสัญญาณ

ในช่วงเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนา การออกแบบและสร้างระบบสายอากาศจริงอาจใช้งบประมาณสูง รวมถึงการตรวจสอบประสิทธิภาพการออกอากาศและพื้นที่ครอบคลุม เป็นขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลาเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์รูปแบบพลังงานที่แผ่ออกจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์ และการครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์

โดยการทำงานของเรดาร์นั้นเกี่ยวข้องกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในรูปของสมการคลื่น (Wave Equations) ที่มีสมการเกี่ยวข้องหลายสมการ และสมการเหล่านั้นอยู่ในรูปของสมการ Partial Differential Equations (PDEs) ที่ขึ้นกับทั้งเวลาและตำแหน่ง (Allen and Morris, 1975; Skolnik,

1990) การจะศึกษาพฤติกรรมของคลื่นและการครอบคลุมพื้นที่นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแก้สมการเหล่านั้น โดยการแก้สมการ PDEs ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยตรงนั้นไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยสร้างโมเดลหรืออัลกอริทึมทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านั้นแทน เมื่อได้ค่าพลังงานที่แผ่ออกจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแล้วจะสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดโดยนำไปแสดงผลรวมเข้ากับฐานข้อมูลแผนที่ Digital Elevation Map (DEM) ภูมิประเทศที่มีอยู่แล้ว

2. กระบวนการวิจัย

ในกระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงการครอบคลุมพื้นที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากสายอากาศสัญญาณเรดาร์ลงบนแผนที่ Digital Elevation Map (DEM) นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการคำนวณการจำลองพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกจากสายอากาศ ไม่ว่าจะเป็นขนาดและทิศทางของลำสัญญาณเรดาร์หลัก (Main Lobes) และลำสัญญาณเรดาร์ข้าง (Side Lobes) (Skolnik, 1990) จากนั้นจึงนำข้อมูลพฤติกรรมการแผ่พลังงานไปจำลองลงบนแผนที่ DEM

โดยในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเริ่มต้นดำเนินการวิจัยโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาแบบพลังงานที่แผ่ออกจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์แบบต่างๆ (Radiation Pattern) ไม่ว่าจะเป็นสายอากาศแบบจานโค้งสะท้อน (Reflector Dish) หรือแบบหลายๆ ชิ้น (Phase Array) โดยได้ดำเนินการเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB เพื่อแก้สมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้กระบวนการ Finite Different Time Domain (FDTD) (Akram & Jasmy, 2012; Daniel et al, 199; Nanthini

& Ramanathan, 2015) มาช่วยในการแก้สมการเหล่านี้ โดยกระบวนการของ Finite Difference Method จะดำเนินการประมาณค่าของระบบที่มีความต่อเนื่องหรือ Continuous Systems ให้เป็นระบบที่แบ่งช่วงออกเป็นช่วงๆ หรือ Discrete System โดยกระบวนการนี้ จะทำให้สามารถหาคำตอบของระบบที่มีความซับซ้อนได้ แม้ว่าระบบจะมีความแตกต่างกันบ้าง แต่ค่าประมาณต่างๆ และคุณสมบัติโดยรวมยังคงเดิม โดยสมการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ที่จะต้องดำเนินการแปลงให้อยู่ในรูปของ Discrete System มีดังนี้

$$\nabla \cdot \bar{D} = \rho_v$$

Gauss's law for magnetism

$$\nabla \cdot \bar{B} = 0$$

Faraday's law

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$$

Ampere's law

$$\nabla \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$$

โดยที่ $\bar{D} = \epsilon \bar{E}$ และ $\bar{B} = \mu \bar{H}$

ในขั้นแรกสมการ Partial Differential Equations จะถูกแยกออกตามแนวแกน x, y และ z ตามตัวอย่างด้านล่าง เพื่อดำเนินการใช้ Finite Difference Method ในการประมาณค่าต่อไป

$$\epsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} = \nabla \times \bar{H} \xrightarrow{\text{yields}} \begin{cases} \epsilon_x \frac{\partial \bar{E}_x}{\partial t} = \frac{\partial \bar{H}_z}{\partial y} - \frac{\partial \bar{H}_y}{\partial z} \\ \epsilon_y \frac{\partial \bar{E}_y}{\partial t} = \frac{\partial \bar{H}_x}{\partial z} - \frac{\partial \bar{H}_z}{\partial x} \\ \epsilon_z \frac{\partial \bar{E}_z}{\partial t} = \frac{\partial \bar{H}_y}{\partial x} - \frac{\partial \bar{H}_x}{\partial y} \end{cases}$$

$$\mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} = -\nabla \times \bar{E} \xrightarrow{\text{yields}} \begin{cases} \mu_x \frac{\partial \bar{H}_x}{\partial t} = \frac{\partial \bar{E}_y}{\partial z} - \frac{\partial \bar{E}_z}{\partial y} \\ \mu_y \frac{\partial \bar{H}_y}{\partial t} = \frac{\partial \bar{E}_z}{\partial x} - \frac{\partial \bar{E}_x}{\partial z} \\ \mu_z \frac{\partial \bar{H}_z}{\partial t} = \frac{\partial \bar{E}_x}{\partial y} - \frac{\partial \bar{E}_y}{\partial x} \end{cases}$$

เมื่อได้สมการที่เกี่ยวข้องตามแนวแกน x, y และ z ตามแล้ว สมการเหล่านั้น จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ ตาม node ของกระบวนการวิธีของ Finite Difference Method และ Yee's Algorithm (Nanthini & Ramanathan, 2015) ดังตัวอย่างด้านล่าง คือ สมการของค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามแนวแกน x ที่จุดต่างๆ ในแต่ละจุดของเวลา

$$E_x^{n+1}(i, j, k) = E_x^n(i, j, k) - \frac{\Delta t}{\epsilon_x(i, j, k)} \left(\frac{H_z^{n+0.5}(i, j, k) - H_z^{n+0.5}(i, j-1, k)}{\Delta y} - \frac{H_y^{n+0.5}(i, j, k) - H_y^{n+0.5}(i, j, k-1)}{\Delta z} \right)$$

$$H_x^{n+0.5}(i, j, k) = H_x^{n-0.5}(i, j, k) - \frac{\Delta t}{\mu_x(i, j, k)} \left(\frac{E_y^n(i, j, k+1) - E_y^{n+0.5}(i, j, k)}{\Delta z} - \frac{E_z^n(i, j+1, k) - E_z^n(i, j, k)}{\Delta y} \right)$$

โดยต้องดำเนินการกระบวนการนี้ให้ครบทุกสมการ จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ค่าพลังงานที่แผ่ออกมาแต่ละจุดในแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้ได้รูปแบบของการแผ่พลังงานที่ออกมาจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์ จากนั้นผลที่ได้จะมีการนำไปตรวจสอบความถูกต้องกับกระบวนการวิธีอื่นด้วย เช่น โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนโปรแกรมใน MATLAB เพื่อแก้สมการและอินทิเกรตเวกเตอร์ค่าพลังงานสนามไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์ตามแนวทางที่นำเสนอใน Mahafza, 2000 และ Mahafza & Elsherbeni, 2004 นอกจากนี้แล้วยังดำเนินการเปรียบเทียบผลที่ได้จากซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Ticsra by Grasp (TICRA, 2017)

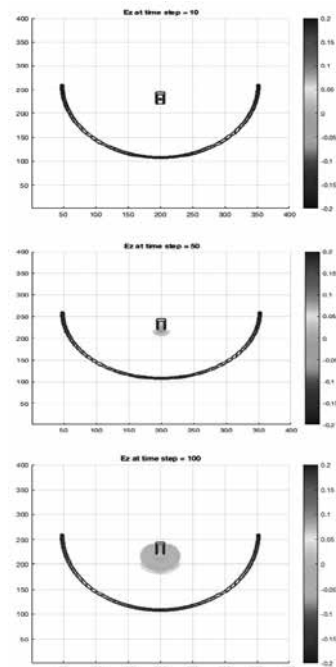
เมื่อได้รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศสัญญาณเรดาร์แล้ว เราจะสามารถทราบได้ว่าพลังงานที่ส่งออกไปจากระบบนั้น จะถูกลดทอนลงไปในรูปแบบของลำสัญญาณเรดาร์ข้าง (Side Lobes) และ

ลำสัญญาณเรดาร์หลัง (Back Lobes) ทำได้ สิ่งเหล่านี้คือค่าพลังงานที่สูงเกินไป และสุดท้ายจะสามารถคำนวณค่าพลังงานที่เหลือและคุณลักษณะของลำสัญญาณเรดาร์หลัก (Main Lobes) (Mahafza & Elsherbeni, 2004) โดยลำสัญญาณเรดาร์หลัก คือสิ่งที่สำคัญของระบบเรดาร์ ที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุเมื่อทราบถึงคุณลักษณะของการแผ่พลังงานของสายอากาศสัญญาณเรดาร์แล้วนั้น จะสามารถทราบมุมกวาดของการตรวจของระบบเรดาร์ และระยะตรวจพบไกลสุดได้ (Maximum Range) (Mahafza & Elsherbeni, 2004)

ในกระบวนการต่อไปคือนำคุณลักษณะของสายอากาศสัญญาณเรดาร์มาดำเนินการแสดงผลการแผ่สัญญาณเรดาร์ลงบนแผนที่ DEM โดยกระบวนการวิเคราะห์การแผ่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในภูมิประเทศจริงนั้น ถือว่าความซับซ้อนอย่างมาก เพราะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัว ไม่ว่าจะเป็นความซับซ้อนของคุณสมบัติของตัวคลื่นเอง เช่น การแทรกสอด การเลี้ยวเบน การสะท้อน นอกจากนี้ยังมีความซับซ้อนภูมิประเทศ ภูเขาการสะท้อนจากพื้นดิน ความไม่คงที่ของชั้นบรรยากาศ ความชื้นในชั้นบรรยากาศ สิ่งเหล่านี้ทำให้การจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความซับซ้อนมาก และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น โมเดล Bullington หรือ Over-rooftop diffraction Models (Zhang et al, 1999), Longley-Rice model (Seybold, 2005), Empirical หรือ Hata-Okumura model (Rappaport, 2002), Friis Model (Johnson, 1984), Ray tracing model (Rawlinson et al, 2007) และ line of sight model (Haslett, 2008) โดยงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการใช้กระบวนการที่ความเรียบง่ายแต่ให้ความถูกต้องที่อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง นั่นคือกระบวนการหาการครอบคลุมพื้นที่แบบ Line of sight model (Haslett, 2008)

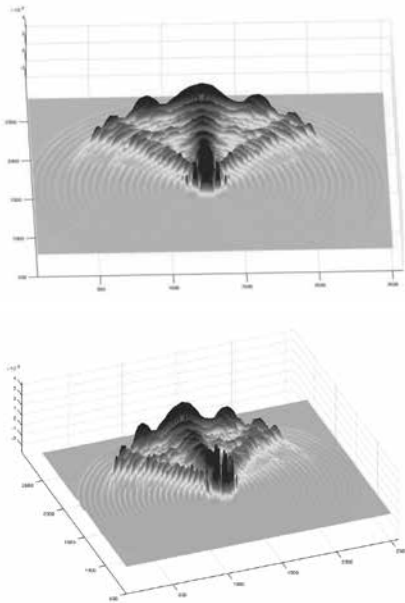
3. ผลการทดสอบ

จากกระบวนการเขียนโปรแกรมใน MATLAB ด้วยกระบวนการวิธี FDTD และใช้การกำหนดจุดคำนวณแบบ Yee algorithm สามารถจำลองการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์แบบต่างๆ ได้ โดยในตัวอย่างรูปที่ 1 เป็นการจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกจาก feed horn รูปทรงกระบอกไปยังจานสะท้อนรูปพาราโบลา ใน time-step ที่ 10, 50 และ 100 โดยเมื่อปล่อยให้คลื่นแม่เหล็กแผ่ออกจากจานสะท้อนไปจนถึงระยะ Far-field (Mahafza & Elsherbeni, 2004) เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้า โดยค่าพลังงานในระยะ far-field นั้นแสดงอยู่ในรูปที่ 2 โดยค่าพลังงานเหล่านี้จะแสดงคุณลักษณะหรือรูปแบบการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Radiation pattern) (Skolnik, 1990; Mahafza, 2004)

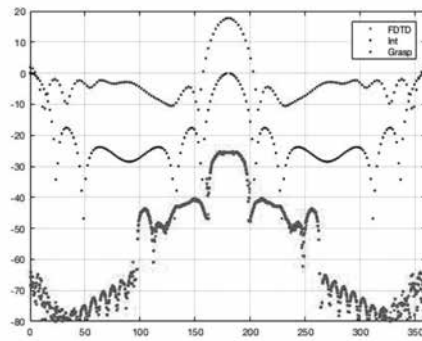


รูปที่ 1 การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกจาก feed Horn ไปยังจาน Reflector โดยแกน x และ y แสดงขนาดของจาน Reflector มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ในรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการแก้สมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องทั้งหมดด้วยวิธี FDTD จากนั้นนำมาวาดกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณการแก้สมการคณิตศาสตร์จากการอินทิเกรตเวกเตอร์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระยะ far-fields และสุดท้ายเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ Grasp โดยในรูปที่ 3 แสดงรูปแบบการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Radiation Pattern) เทียบกับมุมองศารอบสายอากาศสัญญาณเรดาร์ โดยสายอากาศเรดาร์นั้นหันหน้าไปทางมุม 180 องศา โดยมุมนี้ถูกเลือกขึ้นเพื่อสะดวกต่อการแสดงผล ซึ่งสายอากาศสัญญาณเรดาร์ยังคงมีคุณสมบัติเหมือนเดิมหากหันไปในทิศทางอื่น ในรูปที่ 3 นี้ค่าพลังงานในแกน y นั้น มีการปรับค่าเพื่อให้ผลจากทั้งสามวิธีไม่ทับซ้อนกัน และเพื่อการเปรียบเทียบรูปแบบเท่านั้น ดังนั้นค่าพลังงานในกราฟนี้ใช้เพื่อการอ้างอิงรูปแบบเท่านั้น



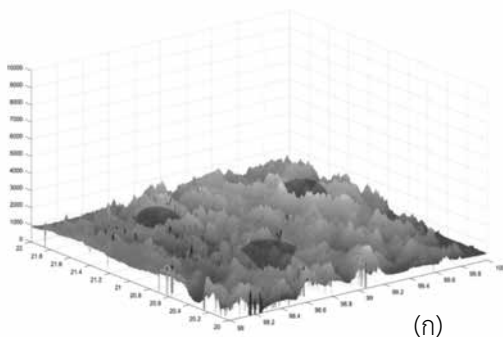
รูปที่ 2 รูปแบบการแผ่พลังงานจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์ โดยแสดงค่าพลังงานสนามไฟฟ้า โดยแกน x และ y มีหน่วยเป็นเซนติเมตร แกน z มีหน่วยเป็น dB



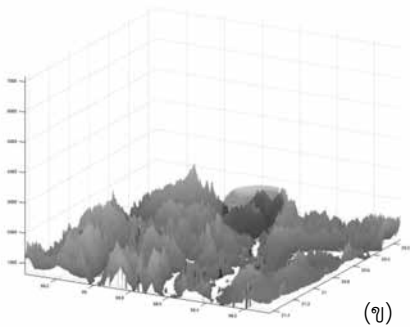
รูปที่ 3 รูปแบบการแผ่พลังงานจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์ เทียบกับมุมองศารอบสายอากาศโดยหันหน้าสายอากาศไปที่มุม 180 องศา

จากรูปที่ 3 จะสังเกตว่า ผลจากการจำลองค่าพลังงานที่แผ่ออกมาจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์แบบจานโค้งสะท้อนทั้ง 3 วิธี สามารถพยากรณ์คุณลักษณะของลำคลื่นหลัก (Main Lobes) ได้มีความกว้างที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 วิธี โดยมีความกว้างอยู่ประมาณ 35 องศาและค่าส่วนต่างระหว่างจุดยอดของลำคลื่นหลักกับลำคลื่นข้าง ก็มีความใกล้เคียงกันทั้ง 3 วิธี อยู่ที่ประมาณ 22 dB

จากการจำลองรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศสัญญาณเรดาร์ในขั้นตอนที่แล้ว ผู้วิจัยต้องมาคำนวณหาระยะตรวจจับไกลสุดและมุมที่กวาดในแต่ละครั้งของลำสัญญาณเรดาร์หลักมาจำลองการครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์ ใช้อัลกอริทึมแบบ line-of-sight ในการกวาดรอบที่ตั้งของระบบเรดาร์สมมุติในแผนที่ DEM โดยรูปที่ 4(ก) แสดงการครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์ 3 ระบบ และในรูปที่ 4(ข) แสดงการครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์ 1 ระบบ โดยในรูปที่ 4 เฉดสีแดง คือ บริเวณที่ระบบเรดาร์สามารถครอบคลุมและตรวจจับได้ เฉดสีเขียวและฟ้าแสดงภูมิประเทศ โดยเฉดสีอ่อนแสดงถึงบริเวณที่มีความสูงมากกว่าเฉดสีเข้ม

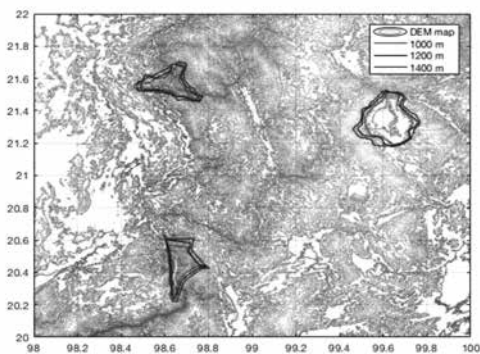


(ก)



(ข)

รูปที่ 4 การครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์



รูปที่ 5 การครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์ในรูปแบบเส้นความสูง (Contour) ที่ความสูง 3 ระดับ คือ 1000, 1200 และ 1400 เมตร ของเรดาร์ 3 ระบบ

รูปที่ 5 แสดงครอบคลุมพื้นที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์แบบจานสะท้อน โดยแสดงในรูปแบบเส้นความสูง (Contour) ที่

ความสูง 1000, 1200 และ 1400 เมตร ตามลำดับ โดยในรูปนี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของภูมิประเทศต่อความสามารถตรวจจับของระบบเรดาร์ต่างๆ ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจพฤติกรรม และวางแผนติดตั้งระบบเรดาร์ได้เหมาะสมกับภารกิจต่างๆ

4. สรุปผล

จากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้ดำเนินการวิจัยสามารถพัฒนาระบบจำลองการครอบคลุมพื้นที่ของระบบเรดาร์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในหลายขั้นตอน ตั้งแต่การวิเคราะห์หารูปแบบการแผ่กระจายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกจากสายอากาศสัญญาณเรดาร์แบบต่างๆ จากนั้นนำมาคำนวณหาพื้นที่ ที่ระบบเรดาร์แต่ละตัวสามารถครอบคลุมได้ โดยความสามารถในการครอบคลุมนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความถี่ของระบบเรดาร์นั้นๆ ค่าพลังงานที่แผ่ออกมา รูปแบบการแผ่พลังงานภูมิประเทศ มุมกวาด และตำแหน่งที่ตั้งของระบบเรดาร์ โดยงานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการเริ่มต้นของการสร้างองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบจำลอง วิเคราะห์ และเข้าใจถึงพฤติกรรมของระบบเรดาร์ให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ต่อไปในอนาคต โดยทีมวิจัยวางแผนที่จะดำเนินการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวโปรแกรมให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และจะดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องด้วยหลากหลายกระบวนการ เช่น วัดค่าระยะการตรวจจับภูมิประเทศจริง โดยกองทัพอากาศ มีการดำเนินการบินตรวจสอบระบบเรดาร์ต่างๆ อยู่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองชิ้นนี้ได้ หรือดำเนินการตรวจสอบกับซอฟต์แวร์ที่มีราคาสูงและมีความน่าเชื่อถือระดับโลก เช่น AGI STK (AGI, 2017) สิ่งเหล่านี้จะเป็นการช่วยให้องค์ความรู้เหล่านี้มีการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] AGI, 2017, AGI STK, <http://www.agi.com>
- [2] Allen T. and Morris B., 1975, Numerical Solution of Steady-state Electromagnetic Scattering Problems Using the Time Dependent Maxwell's Equations, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 23(8), pp 623 - 630.
- [3] Akram G. and Jasmy Y., 2012, Simulation of the Finite Difference Time Domain in Two Dimension, International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, Vol 6, No 3, pp 360 – 364.
- [4] Daniel, K., Melinda, P., Allen, T. and Korada, U., 1991, FDTD Analysis of Electromagnetic Wave Radiation from systems Containing Horn Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 39, No. 8, pp 1203 -1212.
- [5] Haslett, C., 2008, Essentials of radio wave propagation, Cambridge University Press.
- [6] Johnson, R., 1984, Antenna Engineering Handbook (2nd ed.), New York, NY: McGraw-Hill, Inc.
- [7] Mahafza, B., 2000, Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, Chapman & Hall/CRC.
- [8] Mahafza, B and Elsherbeni, A., 2004, MATLAB Simulations for Radar Systems Design, Chapman & Hall/CRC.
- [9] Nanthini, N and Ramanathan, V., 2015, Electromagnetic Field Propagation Analysis in Free Space Using Finite Difference Time Domain Method (FDTD), International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Vol 3 Special issue 1, pp. 114 – 151.
- [10] Rappaport, T. S., 2002, Wireless Communications: Principles and Practice (Second ed.), Prentice Hall.
- [11] Rawlinson, N., Hauser, J. and Sambridge, M., 2007, Seismic ray tracing and wave-front tracking in laterally heterogeneous media, Advances in Geophysics, 49. pp 203 - 267.
- [12] Seybold, J., 2005, Introduction to RF propagation, John Wiley and Sons.
- [13] Skolnik, M., 1990, Radar Handbook, McGraw-Hill.
- [14] TICRA, 2017, Antenna modelling software by GRASP, <http://www.ticra.com/company>, Denmark.
- [15] Zhang, W., Lahteenmaki, J. and Vainikainen, P., 1999, A practical aspect of over-rooftop multiple-building forward diffraction from a low source, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol 41, Issue: 2.

ระบบรหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียวที่เสริมสร้างความมั่นคง

สมนึก พ่วงพรพิทักษ์^{1*}

บทคัดย่อ

ในระบบพิสูจน์ตัวจริงแบบพหุปัจจัย รหัสผ่านใช้ครั้งเดียวหรือที่เรียกว่า โอดีพี เป็นส่วนประกอบที่สำคัญและถูกใช้งานอย่างกว้างขวางที่สุดอันหนึ่ง โดยทั่วไปมันจะถูกใช้เป็นปัจจัยที่สองในการพิสูจน์ตัวจริงเพื่อป้องกันระบบในกรณีที่รหัสผ่าน (ซึ่งเป็นปัจจัยการพิสูจน์ตัวจริงแรก) เกิดมีการรั่วไหล ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปัญหาด้านความมั่นคงของระบบโอดีพีที่มีในปัจจุบัน และได้ออกแบบและพัฒนาต้นแบบของระบบโอดีพีใหม่ โดยเสริมสร้างความมั่นคง ซึ่งระบบโอดีพีที่เสนอประกอบด้วย เว็บเซิร์ฟเวอร์โอดีพี และโปรแกรมโอดีพีบนโทรศัพท์มือถือ โดยมีการเสริมสร้างความมั่นคงดังต่อไปนี้ (1) การแก้ไขอัลกอริทึมรหัสผ่านใช้ครั้งเดียวที่มีฐานจากเวลา โดยใช้ SHA-256 แทน SHA-1 (2) การปรับปรุงโหมดการแสดงผลของโอดีพี: num6, mix6base40, th6base42, th6base60 (3) คุณสมบัติการล็อกโอดีพีเข้ากับฮาร์ดแวร์ของโทรศัพท์มือถือ, (4) การตรวจสอบหมายเลขที่อยู่โอดีพีที่เรียกใช้ระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์โอดีพี นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อประเมินระบบโอดีพีที่ได้ออกแบบ ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความมั่นคงของระบบ

คำสำคัญ : การพิสูจน์ตัวจริงแบบพหุปัจจัย; รหัสผ่านใช้ครั้งเดียวจากฐานเวลา; ระบบรหัสผ่านใช้ครั้งเดียว

¹ Information Security and Advanced Network (ISAN) research Group, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Mahasarakham University

* ผู้แต่ง, อีเมล: somnuk.p@msu.ac.th

One Time Password System with Enhanced Security

Somnuk Puangpronpitag^{1*}

Abstract

In multi-factor authentication systems, One Time Password (OTP) is one of the most important and widely deployed components. Generally, it is used as the second authentication factor to protect the system if the password (as the first factor) is leaked. In this work, we have analyzed the security issues of current OTP systems, and proposed to design and develop a prototype of a new OTP system, with security enhancement. The proposed system consists of OTP Web Services and a mobile OTP application. The proposed approaches of security enhancement are as follows: (1) the modification of TOTP algorithm, based on SHA-256 instead of SHA-1, (2) enhanced OTP representation modes: num6, mix6base40, th6base42, th6base60 (3) the mobile hardware-locking feature, (4) the IP address checking at the OTP web services. In addition, experiments have been done on the prototype program to evaluate the proposed OTP system. The experimental results have demonstrated the efficiency and security of the system.

Keywords : Multiple Factor Authentication, Timer-based OTP,
One Time Password (OTP) System

¹ Information Security and Advanced Network (ISAN) research Group, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Mahasarakham University

* Corresponding Author E-mail: somnuk.p@msu.ac.th

1. ที่มาของปัญหา

การพิสูจน์ตัวตนจริง (Authentication) เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาความมั่นคงของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ปัจจุบันการผ่านรหัสผ่าน เป็นการพิสูจน์ตัวตนจริง ที่นิยมมากที่สุด แต่ก็เป็นที่ประจักษ์ดีว่าสามารถถูกดักจับหรือรั่วไหลได้โดยง่าย ดังนั้น ระบบโดยทั่วไปจึงได้ปรับให้มีการพิสูจน์ตัวตนจริง สองปัจจัย (Two-factor Authentications) หรือพหุปัจจัย (Multiple-factor Authentication) โดยอาศัยรหัสผ่านใช้ครั้งเดียว (One Time Password: OTP) เข้ามาเสริมการพิสูจน์ตัวตนจริง อีกชั้น เช่น ระบบธนาคารอิเล็กทรอนิกส์ (E-banking) ได้ถูกสั่งโดยธนาคารแห่งประเทศไทย ให้ธนาคารทุกแห่งต้องใช้การพิสูจน์ตัวตนจริงแบบพหุปัจจัย ตั้งแต่พ.ศ. 2551^[1] เมื่อต้องการโอนเงินออกจากบัญชีหรือชำระค่าสินค้าและบริการ โดยจะต้องผ่าน OTP

OTP นั้นมีอยู่หลายชนิด ที่นิยมใช้กันได้แก่ Paper OTP, E-mail OTP, SMS OTP, Token OTP และ Mobile OTP^[6] โดย Paper OTP เป็นที่ทราบดีโดยทั่วไปว่ามีความมั่นคงต่ำ ปกติใช้เป็น backup OTP กรณีไม่เหลือช่องทางอื่นแล้วเท่านั้น ส่วน E-mail OTP ก็พบว่าสามารถโดนแทรกกลางเพื่อดักจับได้ง่าย จนถูกเลิกใช้ในระบบ E-banking ของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2552 แล้ว สำหรับ SMS OTP แม้จะยังคงเป็นที่นิยมมากที่สุดในประเทศไทยขณะนี้ แต่ก็พบว่ามิจฉาชีพและแฮกเกอร์สามารถรับแล้วตามมาตรฐานของ US NIST สำหรับ Token OTP จัดว่าเป็น OTP ที่มีความมั่นคงสูง แต่มีต้นทุน Token Hardware ที่ค่อนข้างสูง ทำให้องค์การส่วนใหญ่ในประเทศไทย ยังไม่นำมาใช้กับลูกค้าส่วนบุคคล อีกทั้ง Token OTP ยังมีปัญหาที่เพิ่มภาระต้องพกพาให้กับผู้ใช้ และมักถูกลืมนำไปด้วย จนกลายเป็นอุปสรรคในการเข้าระบบ Mobile OTP เป็นการพัฒนา Mobile Application บน Smartphone ในลักษณะ Soft

Token ทำให้มีต้นทุนที่ถูกกว่า และไม่ต้องพกพาเพิ่ม เพียงอาศัยการพกโทรศัพท์มือถือติดตัว ที่ผู้ใช้โดยทั่วไปนิยมพกพา โดยไม่ลืมติดตัวไปด้วยอยู่แล้ว แต่ Mobile OTP ยังมีปัญหาในแง่ความมั่นคงที่อาจถูกขโมยตัวค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (Initial Seed) ไปติดตั้งบน Smartphone เครื่องอื่นได้ ไม่ได้ ล็อกอยู่กับฮาร์ดแวร์ที่ลงทะเบียนอย่างแท้จริงเหมือน Token OTP

นอกจากนี้ หากจะนำ Mobile OTP มาใช้ในการให้บริการของหน่วยงานใด ก็จะต้องมีทั้งระบบ OTP Server ที่ให้บริการกับหน่วยงานนั้น และ OTP Mobile Application เพื่อให้ผู้ใช้งานไปใช้งาน ในส่วนของ OTP Mobile Application นั้น มีให้ download โดยไม่มีค่าใช้จ่ายอยู่มากมาย เช่น Google Authenticator^[2], Facebook Code Generator^[3] และอื่นๆ แต่ ในส่วน OTP Server ที่มีอยู่ส่วนมากเป็นซอฟต์แวร์พาณิชย์ที่มีราคาแพง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้สูญเสียงบประมาณของประเทศ และในส่วนที่เป็น Open Source OTP Server ก็มักจะใช้งานยาก ตั้งแต่การติดตั้ง configure และบริหารจัดการ จึงเป็นปัญหาอีกประเด็นที่ต้องแก้ไข

อีกทั้ง หากจะนำระบบ OTP มาใช้กับหน่วยงานความมั่นคงของรัฐ หรือหน่วยงานที่ต้องระแวดระวังความมั่นคงสูงมาก ๆ ควรจะต้องใช้อัลกอริทึม OTP ที่มีการปรับปรุงให้เกิดความมั่นคงกว่าการใช้งานระบบ OTP ทั่วไปที่เป็นมาตรฐาน เพราะสามารถหาเครื่องมือจากอินเทอร์เน็ต มาเพื่อใช้โจมตีแบบ Brute-force Attack ได้ง่าย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอเพื่อทำการวิเคราะห์ระบบ OTP System เพื่อเข้าใจข้อดีข้อเสีย แล้วเสนอการปรับปรุงอัลกอริทึม OTP เพื่อเสริมสร้างความมั่นคง จากนั้นทำการออกแบบ พัฒนาระบบ OTP Systems ต้นแบบ ทั้งในส่วนของ OTP Server และ

OTP Mobile Application โดยมุ่งหวังให้สามารถใช้งานได้ง่าย มีประสิทธิภาพ และความมั่นคงสูงขึ้น รวมถึงสามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้ได้จริง ลดต้นทุนในการลงทุนกับระบบ OTP ของหน่วยงาน ภาครัฐ และเอกชน โดยสำหรับหน่วยงานความมั่นคง ที่ต้องการความมั่นคงเป็นพิเศษ ยังสามารถปรับแต่งอัลกอริทึมโอทีพี (Customize OTP Algorithm) แบบเฉพาะกิจ (Proprietary) โดยไม่เปิดเผยวิธีการ ที่จะทำให้ยากต่อการ ถูกโจมตีด้วยเครื่องมือการโจมตี OTP แบบ brute-force ที่มีอยู่ทั่วไปในอินเทอร์เน็ตอีกด้วย

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. รหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว (One Time Password) หรือที่เรียกย่อๆ ว่า โอทีพี (OTP) คือ รหัสผ่านที่ใช้พิสูจน์ตัวจริงในการเข้าสู่ระบบ ได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ออกแบบขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการใช้รหัสผ่านแบบคงที่ (Static Password) เดิมที่มีจุดอ่อนหลายเรื่อง เช่น การรั่วไหล การใช้งานซ้ำ เป็นต้น โดยการสร้าง OTP จะต้องมีข้อมูลเริ่มต้น (Seed Data) เพื่อแปลงข้อมูลนั้นไปเป็น OTP ซึ่งต้องใช้กระบวนการในการแปลงข้อมูล ที่สามารถสร้างข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันได้ หากข้อมูลเริ่มต้นไม่ซ้ำกัน โดยส่วนใหญ่แล้ว กระบวนการที่นิยมใช้ คือ การใช้ Hashing Function เช่น Secure Hash Algorithm 1 (SHA-1)^[4, 5] เป็นต้น เพื่อให้รหัสผ่านที่เข้าใช้ระบบทุกครั้งไม่ซ้ำกัน

2. รูปแบบต่างๆ ของโอทีพี (OTP Variants) OTP นั้นมีหลายชนิด ที่ปรากฏใช้ ได้แก่ Paper OTP, E-mail OTP, SMS OTP, Token OTP, Mobile OTP เป็นต้น

Paper OTP หรือ Backup Codes คือ ชุดของรหัสที่ถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่ม เช่น อาจเป็นตัวเลข 8 หลัก 10 ชุด แล้วถูกพิมพ์ออกมาบน

กระดาษ หรือจดออกมาเก็บไว้ หรือจดจำไว้ โดยจะถูกใช้เป็น ปัจจัยพิสูจน์ตัวจริงขั้นที่สอง ต่อจากรหัสผ่าน ตัวอย่างเช่น backup codes ของ Google Two Step Verification ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่า Paper OTP เป็น OTP ชนิดที่ปลอดภัยน้อยที่สุด เพราะหาก codes ดังกล่าวที่พิมพ์หรือจดออกมาเกิดรั่วไหล ก็ไม่ปลอดภัย ในการใช้งานจริงๆ codes เหล่านี้ ควรถูกบันทึกเป็นรหัสลับที่ผู้อ่านเท่านั้นจะเข้าใจ อีกทั้ง ยังมีข้อดีที่ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อะไรเลย แค่พกกระดาษที่จดรหัสไว้ ซึ่งง่ายต่อการพกพา หรือจำ Code ไว้ก็ใช้ได้ จึงมีความสะดวกในแง่ไม่ต้องกลัวแบตเตอรี่ของอุปกรณ์หมด หรือไม่มีอุปกรณ์ดังกล่าว

E-mail OTP คือการส่ง OTP ผ่านทาง E-mail ซึ่งเป็นที่รู้จักว่ามีปัญหาด้านความมั่นคง เพราะช่องทางการส่ง E-mail คือ ช่องทางเดียวกันกับการส่งรหัสผ่าน ทำให้เมื่อแฮกเกอร์สามารถดักจับรหัสผ่านได้ ย่อมสามารถดักจับ E-mail OTP ได้ด้วย ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในงานวิจัยก่อนหน้านี้ร่วมกับ ประพจน์ ธรรมศิลารักษ์^[6] นอกจากนี้ จะเห็นว่าระบบ online banking ของประเทศไทย ของทุกธนาคารได้ยกเลิกการใช้งาน E-mail OTP ไปตั้งแต่ พ.ศ. 2552 เนื่องจากมีความเสี่ยงสูง

SMS OTP ปัจจุบันเป็นที่นิยมมากที่สุด ในระบบ online banking และระบบ OTP ต่างๆ ในประเทศไทย มีข้อดีที่สามารถใช้งานกับโทรศัพท์มือถือได้แทบทุกรุ่น รวมถึงรุ่นที่ไม่ใช่ Smartphone ด้วย แต่ก็มีปัญหาหนักทางความมั่นคงที่ SMS นั้นสามารถปลอมแปลง (Spoof) ได้โดยง่าย ดังถูกเปิดเผยในหลายงานวิจัย เช่น งานวิจัยของประพจน์ ธรรมศิลารักษ์ และสมนึก พ่วงพรพิทักษ์^[6] และ งานวิจัยของ Mulliner และคณะ^[7] อีกทั้ง ยังมี Malware ชนิด Trojan Horse หลายตัว เช่น Zeus-in-the-

Mobile (ZitMo)^[8], WUC's Conference.apk^[9] และ Svpeng^[10] ได้ถูกสร้างขึ้นมา เพื่อใช้โจมตี SMS OTP โดยเฉพาะ จนตกเป็นข่าว เช่น การโจมตี SMS OTP ของระบบ Online Banking ในประเทศไทย ที่มีข่าวตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556^[11] อีกทั้ง โพรโทคอล Signaling System No. 7 (SS7) ที่ใช้เป็นพื้นฐานของการส่ง SMS นั้นมีจุดอ่อนสามารถถูกโจมตีได้ โดยมีผลให้ดักอ่าน SMS messages, แอบฟังโทรศัพท์ และ Track ตำแหน่งของเหยื่อได้ ซึ่งมีข้อมูลขั้นตอนและเครื่องมือสำหรับโจมตี SS7 สามารถค้นหาได้จาก Search Engine โดยง่าย ดังนั้น เมื่อเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2017 NIST จึงได้ออกเอกสาร NIST SP 800-63B^[12] ข้อปฏิบัติด้านการพิสูจน์ตัวจริง โดยไม่แนะนำให้ใช้ SMS OTP สำหรับการพิสูจน์ตัวจริงแบบ Out of band Verification อีกต่อไป โดยให้ข้อมูลว่า “SMS is deprecated” งานวิจัยนี้จึงเสนอใช้ Mobile OTP แทนระบบ SMS OTP

Token OTP ลักษณะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก ให้ผู้ใช้พกพา Token OTP ดูเหมือนจะเป็นรูปแบบที่มีความมั่นคงมากที่สุดขณะนี้ เนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องรอรับ OTP ที่ส่งมาผ่านระบบเครือข่ายใดๆ เพียงแค่ใช้งานอุปกรณ์ Token OTP ที่ได้มา ส่งผลให้ผู้โจมตีไม่สามารถดักจับ OTP ได้ และหากมีการนำ Trojan ไปฝังอยู่บนอุปกรณ์ก็สำเร็จได้ยาก เพราะเป็นอุปกรณ์เฉพาะที่ไม่ได้เปิดให้ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมอื่นๆ ไป run ได้ แต่ Token OTP มีปัญหาด้านต้นทุนสูง (Cost) ยากแก่การจัดหาและการพกพาอุปกรณ์เพิ่ม (Carry) ที่ผู้ใช้อาจลืมพกติดตัวได้ Mobile OTP เป็น Mobile application บน Smartphone ที่ทำงานในลักษณะเดียวกับ Token OTP แต่เป็นซอฟต์แวร์แทนตัวฮาร์ดแวร์ Token ทำให้มีต้นทุนที่ถูกกว่า และไม่ต้องพกพาอุปกรณ์ใดๆ เพิ่ม แต่อาศัยโทรศัพท์มือถือ ประเภท Smartphone

ที่ผู้ใช้โดยทั่วไปนิยมพกพา โดยไม่ลืมติดตัวไปด้วยอยู่แล้ว อีกทั้งในปัจจุบัน โทรศัพท์มือถือร้อยละส่วนใหญ่ที่ผู้ใช้ถือกันล้วนเป็น Smartphone มีอยู่น้อยมากที่ไม่ใช่ แต่ Mobile OTP ยังมีปัญหาในแง่ความมั่นคง ที่อาจถูกขโมยค่า Initial Seed ไปติดตั้งบน Smartphone เครื่องอื่นได้ ไม่ได้ lock อยู่กับฮาร์ดแวร์ที่ลงทะเบียนอย่างแท้จริงเหมือน Token OTP โดยการออกแบบอัลกอริทึมของงานวิจัยนี้ จะได้เสนอแนวคิดในแก้ปัญหาในประเด็นนี้ ที่จะได้กล่าวต่อไป

3. Time-based OTP อัลกอริทึม OTP ที่สำคัญมี 3 อย่าง คือ (1) Event-based OTP หรือ Counter-based OTP เช่น HMAC-based OTP (HOTP)^[13], (2) Challenge-response OTP เช่น S/Key OTP^[14], (3) Time-based OTP (TOTP)^[15] ซึ่งเป็นอัลกอริทึม OTP มาตรฐานที่ใช้อยู่ทั่วไปมากที่สุดในปัจจุบัน TOTP คือการนำ HOTP มาใช้เพียงแค่เปลี่ยนค่าของตัวแปรจากเดิมที่ใช้ค่าของ Counter มาเป็นค่าของเวลาที่อยู่บน Client กับ Server แทน งานวิจัยนี้ ใช้ TOTP เป็นฐานในการพัฒนาต่อยอดให้มีความมั่นคงมากขึ้น

2. ระเบียบวิธีวิจัย

1. การวิเคราะห์ปัญหาและปรับปรุงอัลกอริทึม TOTP

TOTP ที่เป็นมาตรฐาน RFC-6239^[15] จากการศึกษาพบว่าใช้ Hash Function เริ่มต้น OTP เป็น SHA-1 ซึ่งปัจจุบันมีความน่าสงสัยด้านความมั่นคงหลังการถูกโจมตี เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2005 โดย Xiaoyun Wang, Yiqun Yin และ Hongbo Yu SHA-1^[16] จนกระทั่ง 23 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2017 Marc Stevens และ Pierre Karpman นักวิจัยจากกลุ่มวิทยาการรหัสลับ (Cryptology Group) ของ Centrum Wiskunde & Informatica (CWI)

ซึ่งเป็นสถาบันวิจัยด้านคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ (The National Research Institute for Mathematics and Computer Science) ในประเทศเนเธอร์แลนด์ และ Elie Bursztein, Ange Albertini และ Yarik Markov จากบริษัท Google ได้ร่วมกันโจมตี SHA-1 ได้ด้วยต้นทุนอยู่ระหว่าง 75,000 - 120,000 ดอลลาร์สหรัฐ โดยใช้ Amazon EC2 ซึ่งในวงการเรียกสิ่งนี้ว่า “SHA1TERED”^[1]

ทั้งนี้แม้ในมาตรฐาน RFC-6239 จะเปิดให้สามารถใช้ Hash Function อย่าง SHA-256 เข้ามา implement แทน SHA-1 ได้ แต่ใช้วิธีตัดส่วนเกิน 160 บิตของ SHA-1 ทิ้งไปเฉยๆ ทำให้ไม่ได้ใช้ randomness ของ SHA-256 อย่างเต็มที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เสนอการปรับปรุงอัลกอริธึมในส่วนนี้ของ TOTP โดยเสนอให้ใช้ SHA-256 ในการเป็นค่าตั้งการ Hash และปรับเปลี่ยนขั้นตอนของอัลกอริธึม TOTP ใหม่ ดังรายละเอียดเพิ่มเติมใน^[17]

2. การออกแบบโหมดการแสดงผลของโอทีที

เดิม TOTP ให้ผลลัพธ์ของ OTP มีเฉพาะที่เป็นตัวเลข 6-8 หลัก แต่งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาปรับปรุงรูปแบบ OTP มีขนาดความยาวเพียง 6 หลักเท่านั้น เพราะจากการทดสอบพบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่ไม่พอใจ OTP ที่มีจำนวนหลักยาวเกิน 6 หลัก แต่เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับ OTP 6 หลักต่อการถูก brute-force attack จึงมีการเพิ่มจำนวนตัวอักษร สัญลักษณ์พิเศษ และอักษรภาษาไทย เข้าไปในฐานอักขระของ OTP โดยมีโหมดของ OTP ทั้งหมด 4 โหมดดังนี้

(1) num6

OTP จะเป็นตัวเลข 0-9 ยาว 6 หลัก ดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นโหมดที่ป้อนได้ง่ายที่สุด

ตารางที่ 1 ฐานอักขระของ num6

index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
char	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

(2) mix6base40

OTP ที่ได้ยาว 6 หลัก แต่ละหลักอาจเป็นอักขระ จากฐานจำนวน 40 ตัว (a-z, 0-9, @, \$, &, *) ดังตารางที่ 2 โดยอักษร A-Z ตัวเล็ก-ตัวใหญ่สามารถใช้ได้เป็นค่าที่เหมือนกัน โดยโหมดนี้การป้อนด้วย keyboard ของคอมพิวเตอร์จะทำได้ไม่ยาก แต่มีความมั่นคงมากขึ้นในจำนวน OTP เพียง 6 หลัก

ตารางที่ 2 ฐานอักขระของ mix6base40

INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR
0	A	10	K	20	U	30	4
1	B	11	L	21	V	31	5
2	C	12	M	22	W	32	6
3	D	13	N	23	X	33	7
4	E	14	O	24	Y	34	8
5	F	15	P	25	Z	35	9
6	G	16	Q	26	0	36	@
7	H	17	R	27	1	37	\$
8	I	18	S	28	2	38	&
9	J	19	T	29	3	39	*

(3) th6base42

OTP ที่ได้ยาว 6 หลัก แต่ละหลักอาจเป็นอักขระ จากฐานตัวอักษรไทย คือ ก-ฮ แต่ไม่เอาตัวอักษรที่ต้องกดปุ่ม Shift ในคีย์บอร์ดเพราะยุ่งยากในการป้อน และสระไทยบางตัว โดยเลือกมา 7 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 3 เพราะไม่ต้องกด Shift เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ ได้ตัดตัวอักษร “ช” และ “ค” ออกเนื่องจากเป็นตัวอักษรที่เลิกใช้ไปแล้ว ทั้งนี้มีการเลือกเลขไทย ๑-๙ มาใช้ โดยอนุโลมเลือกใช้แม้ต้องมีการ

กด Shift ทั้งนี้เพราะใช้เป็นตัวเลขแทนตัวเลขอารบิก 1-9 แต่ไม่เอาเลข ‘๐’ (ศูนย์ไทย) เพราะคล้ายเลข ‘0’ อารบิก และ ‘๐’ (ตัวโอ) ในภาษาอังกฤษ ซึ่งอาจทำให้สับสน รวมกับ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ฐานอักขระของโหมด th6base42

INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR
0	๑	9	ภ	18	พ	27	ก	36	แ
1	๒	10	ถ	19	ะ	28	ด	37	อ
2	๓	11	ค	20	ร	29	เ	38	ท
3	๔	12	ด	21	น	30	า	39	ท
4	๕	13	จ	22	ย	31	ส	40	ใ
5	๖	14	ข	23	บ	32	ว	41	ฝ
6	๗	15	ช	24	ล	33	ง		
7	๘	16	ๆ	25	ฟ	34	ผ		
8	๙	17	ไ	26	ห	35	ป		

(4) th6base60

OTP ที่ได้ยาว 6 หลัก แต่ละหลักอาจเป็นอักขระ จากฐานจำนวน 60 ตัว ลักษณะเหมือนกัน โหมด th6base42 เพียงแค่ใช้พยัญชนะไทยครบ 44 ตัวคือ ก-ฮ ดังตารางที่ 4

ซึ่งทั้ง 4 โหมดนี้ มีทั้งที่ใช้งานง่ายคือโหมด num6 ซึ่ง Output ออกมาเป็นตัวเลข 6 หลักเหมือนกับมาตรฐานที่ใช้กัน ส่วนโหมด mix6base40 ก็สามารถใช้ได้ทั่วไป แต่ทำให้การโจมตีโดยการเดาสุ่มทุกกรณี ที่เรียกว่า brute-force attack นั้นยากขึ้นจาก 106 (num6) เป็น 406 (mix6base40) สำหรับโหมด th6base42 และ th6base60 การ brute-force attack ต้องใช้จำนวนครั้งถึง 426 และ 606 ตามลำดับ และยังมีอาจสามารถใช้ได้กับคนที่เข้าใจภาษาไทย หรือมีพจนานุกรมภาษาไทยเท่านั้น เพราะทั้งสองแบบนี้ ออกแบบ โดยนำพยัญชนะไทยและสระมาใช้เป็นค่า OTP ทำให้ยากขึ้นในการโจมตี หากผู้ที่ไม่รู้จักภาษาไทย ทำให้แฮกเกอร์ต่างประเทศที่อาจไม่รู้จักรักภาษาไทย หรือไม่มีพจนานุกรมไทย เกิดความยุ่งยากในการโจมตี โดย

th6base42 กับ th6base60 เป็นเพียงตัวอย่างที่อาจปรับเปลี่ยนเลือกอักขระอื่นๆ ของภาษาไทยได้ตามแต่เหตุผลที่เหมาะสมของแต่ละองค์กร

ตารางที่ 4 ฐานอักขระของโหมด th6base60

INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR	INDEX	CHAR
0	๑	12	ด	24	ณ	36	ก	48	ผ
1	๒	13	จ	25	น	37	ฎ	49	ป
2	๓	14	ข	26	ย	38	ด	50	แ
3	๔	15	ช	27	ญ	39	เ	51	ณ
4	๕	16	ๆ	28	บ	40	ณ	52	อ
5	๖	17	ไ	29	ฐ	41	า	53	ฮ
6	๗	18	ฎ	30	ล	42	ษ	54	ท
7	๘	19	พ	31	ช	43	ส	55	ม
8	๙	20	ท	32	ค	44	ศ	56	ฒ
9	ภ	21	ะ	33	ฟ	45	ว	57	ใ
10	ถ	22	ธ	34	ห	46	ช	58	ฬ
11	ค	23	ร	35	ฆ	47	ง	59	ฝ

นอกจากทั้ง 4 โหมดนี้แล้ว การออกแบบ OTP ของงานวิจัยนี้ ยังเปิดให้เพิ่มโหมดอื่นๆ เข้าไปได้ด้วยโดยเพียงแค่ปรับตารางฐานอักขระของโหมดเพิ่มเข้ามา ก็จะสามารถเพิ่มโหมดของการแสดงผล OTP แบบอื่นๆ ได้อีกตามต้องการ สำหรับหน่วยงานความมั่นคงหรือหน่วยงานที่ต้องการ OTP เฉพาะกิจของตนเอง ที่มีความมั่นคง อาจไม่ต้องการให้โปรแกรม Mobile OTP ทั่วไปสามารถนำ seed ไปเลียนแบบได้ ก็สามารถสร้างตารางฐานอักขระของ OTP เฉพาะกิจขึ้นมาเองใหม่ได้โดยจำนวนอักขระในฐานอักขระ OTP ที่ออกแบบโดยงานวิจัยนี้ สามารถกำหนดให้มีได้สูงที่สุดถึง 65,535 อักขระ แต่ทั้งนี้การออกแบบฐานอักขระ OTP นอกจากจะต้องการเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นจะส่งผลให้มีความมั่นคงมากขึ้นต่อการ brute-force attack แล้ว ยังจะต้องคำนึงผลทางด้าน HCI ด้วย ว่าผู้ใช้จะสับสนกับอักขรที่คล้ายกันบางตัวหรือไม่ หรือผู้ใช้จะมีความสะดวกในการป้อนมากน้อยเพียงใด

3. การออกแบบ Initial Seed เพื่อล็อก OTP กับมือถือ

Initial Seed หรือ ค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการสร้าง OTP เป็นจุดอ่อนของ Mobile OTP ทั่วไป หากทราบค่า Seed Secret ของผู้ใช้อีกก็สามารถจะเลียนแบบ OTP บนเครื่องโทรศัพท์มือถือได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงออกแบบ Initial Seed ของผู้ใช้แต่ละคน โดยอาศัยส่วนประกอบดังนี้ (1) “Organization Seed” คือ ค่าเริ่มต้นที่ได้จากหน่วยงาน เป็นค่าแฮช SHA-256 ซึ่งของแต่ละหน่วยงานจะไม่ซ้ำกัน เพื่อลดโอกาสเกิด OTP ซ้ำกันระหว่างหน่วยงานที่นำไปใช้ (2) “Username” คือ พารามิเตอร์ที่เป็นชื่อผู้ใช้ในระบบที่นำ OTP ไปประกอบ (3) “Orgappname” คือชื่อย่อของ Web Application ที่ทำการลงทะเบียนกับระบบ OTP ทำให้ Web Application ต่างกันของหน่วยงานเดียวกัน เพื่อลดโอกาสการสร้าง OTP ซ้ำกัน (4) “Install Seed” เป็นค่าที่ random จากอักขระ 58 ตัว เพื่อให้ secret ของผู้ใช้ไม่ซ้ำ ในการเปิดใช้งาน OTP ในครั้งต่อไป (5) “IMEI” คือ หมายเลขประจำเครื่องโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้ เพื่อ lock ระบบ OTP ไว้กับมือถือ กรณีเปลี่ยนเครื่องมือถือแม้จะติดตั้งระบบ ก็จะไม่สามารถสร้าง OTP ตรงกันได้ เพราะระบบจะอ่านค่า IMEI ตรงขึ้นมาใช้ประกอบการคำนวณ (6) “Serial Number” หมายเลขประจำเครื่องที่ผู้ผลิตออกให้ ของแต่ละโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้ซึ่งเหมือนกัน IMEI คือระบบ OTP จะอ่านค่านี้ตรงจากมือถือเพื่อสร้าง OTP โดยการใช้ Serial Number ร่วมกับ IMEI เนื่องจากว่า หากมีการปลอมค่า IMEI ก็จะมี Serial Number ซ้อนอีกชั้น

ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะถูกนำมารวมกันแล้ว Hash ด้วย SHA-256 อีกครั้งเพื่อให้ Seed ที่สมบูรณ์ซึ่งจะนำไปใช้ในการ Generate OTP ต่อไป ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{OrgSeed} = \text{sha256}(\text{OrgName} + \text{OrgMagicWord}) \quad (1)$$

$$\text{Orgappname} = \text{ชื่อย่อเว็บแอปพลิเคชัน} \quad (2)$$

$$\text{Username} = \text{ชื่อผู้ใช้} \quad (3)$$

$$\text{Install Seed} = \text{mt_random}(58 \text{ characters}) \quad (4)$$

Install Seed คือค่า Seed ของการ Install แต่ละครั้ง เพื่อให้การ install mobile OTP แต่ละครั้ง ได้ผล Seed เริ่มต้นไม่เหมือนกัน แม้ใช้โทรศัพท์มือถือเดียวกัน ผู้ใช้เดียวกัน ระบบ Application เดียวกัน และหน่วยงานเดียวกันโดย mt_random() คือ การเรียกใช้ฟังก์ชัน random แบบ Mersenne Twister^[18] ซึ่งจะผลิตผลการ random ที่ดีกว่าฟังก์ชัน random ทั่วไป

$$\text{Secret code} = \text{sha256}((1)+(2)+(3)+(4)) \quad (5)$$

$$\text{IMEI} = \text{หมายเลขประจำเครื่องโทรศัพท์} \quad (6)$$

$$\text{Serial Number} = \text{หมายเลขที่ผู้ผลิตออกให้} \quad (7)$$

$$\text{Seed} = \text{sha256}((5)+(6)+(7)) \quad (8)$$

$$\text{Time} = \text{เวลาที่ดึงมาจากเครื่องในรูปแบบ epoch} \quad (9)$$

$$\text{OTP} = \text{OTP}((8)+(9)) \quad (10)$$

จากรายละเอียดการกำหนดค่า Seed ด้านบน จะเห็นว่างานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ IMEI และ Serial Number ของโทรศัพท์มือถือเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของ Seed ทั้งนี้เพื่อให้ Mobile OTP ที่สร้างจากงานวิจัยนี้ จะสามารถถูก Lock เข้าไว้กับฮาร์ดแวร์โทรศัพท์มือถือของผู้ใช้เท่านั้น ไม่อาจนำเอา Seed ไปติดตั้งที่เครื่องอื่นๆ ได้โดยง่าย ซึ่งจะแก้ปัญหาที่ได้วิเคราะห์ไว้ในรายงานก่อนหน้านี้ว่า Mobile OTP มีปัญหาที่ตัว Initial Seed อาจถูกขโมยไปลงในโทรศัพท์มือถือเครื่องอื่นได้

3. ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบ

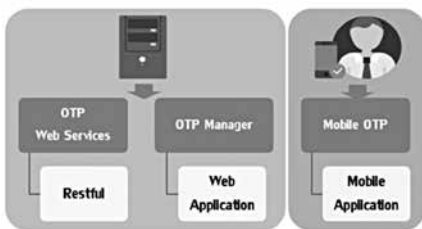
จากรูปที่ 1 ระบบและโปรแกรมต้นแบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

(1) OTP Server เป็นฮาร์ดแวร์ที่ติดตั้ง

โปรแกรมสองอย่าง ที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมต้นแบบขึ้น คือ

(1.1) ISAN TOTP Web Services ถูกพัฒนาด้วยเทคนิค Restful Web Services ให้ระบบต่างๆ ในหน่วยงาน เรียกใช้งานในการประมวลผลในการลงทะเบียน คำนวณ OTP และ (1.2) ISAN TOTP Manager Web เป็น Web Application สำหรับ OTP Administrator ของหน่วยงานเข้าไป Installation, Configuration และจัดการระบบ OTP Server ของหน่วยงาน

(2) ISAN Mobile OTP เป็น Mobile Application ที่ Run อยู่บน Smartphone ของผู้ใช้ โดยทำหน้าที่เป็น Mobile OTP ถูกพัฒนาสำหรับระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชัน 4.0.3 ขึ้นไป ซึ่งรายละเอียดของแต่ละส่วนประกอบสามารถศึกษาได้จาก^[17] และจาก <https://isan.msu.ac.th/totp>



รูปที่ 1 ภาพรวมของโปรแกรมต้นแบบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพ

1. ผลประเมินในส่วน ISAN TOTP Web Services

ผลการทดสอบความถูกต้องในการเรียกใช้งานของฟังก์ชันต่างๆ ที่มีใน ISAN TOTP Web Services ทำโดยโปรแกรม postman^[19] ซึ่งเป็น plug-in ของ Google Chrome Browser มาช่วย ซึ่งผลการทดสอบพบว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้

ผลการวิเคราะห์ความมั่นคง พบว่าระบบที่ออกแบบ

(1) การเรียกใช้ Web Services Functions ต้องทำผ่าน https คือใช้ Transport Layer Security (TLS) บน HTTP ไม่ใช่ http ซึ่งจะช่วยด้านการพิสูจน์ตัวจริงของ ISAN TOTP Web Services ได้ ซึ่งจะช่วยป้องกันการโจมตีโดยการ Hijacking และนอกจากนี้ https ยังช่วยในการเข้ารหัสของข้อมูลที่ส่งระหว่าง Web Application กับ ISAN TOTP Web Services ทำให้การโจมตีเพื่อกดักจับข้อมูลนั้นทำไม่ได้

(2) ISAN TOTP Server มีฟังก์ชันในการเช็คหมายเลขที่อยู่ไอพี ของ Web Application ที่เรียกใช้งานฟังก์ชันใน ISAN TOTP Web Services โดยจะต้องถูกเรียกมาจาก หมายเลขที่อยู่ไอพี ที่นำมาลงทะเบียนเท่านั้น หากมีความพยายามจะเรียกใช้ ISAN TOTP Web Services โดยอ้างว่าเป็น Web Applications ใด แต่ไม่ได้มาจากหมายเลขที่อยู่ไอพีที่กำหนดก็จะโดน block

จากการทดสอบบน Testbed ในส่วนนี้ พบว่าเป็นไปตามแผนการป้องกันที่วางไว้ การ Hijacking และการ Sniffing ข้อมูลที่ส่งระหว่าง ISAN TOTP Web Services กับ Web Applications ไม่อาจโจมตีระบบได้ เพราะ ระบบต้นแบบใช้ https ในการเรียกใช้ Web Service Functions และจากการทดสอบเรียกใช้งาน Web Service Functions โดยการพยายามปลอมเป็น Web Application ที่ลงทะเบียน พบว่าไม่อาจเรียกใช้งานฟังก์ชันได้ เพราะไม่ได้มาจากหมายเลขที่อยู่ไอพีที่ลงทะเบียนไว้ โดยระบบต้นแบบมีการฟังก์ชัน Check IP สำหรับตรวจสอบหมายเลขที่อยู่ไอพีของ Web Application ที่เรียกใช้ Web Services Functions

หากวิเคราะห์ลึกลงไป การโจมตีระบบโดย Hacker อาจทำได้โดยการปลอมแปลงหมายเลขที่อยู่ไอพีก่อนเรียกใช้ Web Service Functions ซึ่งการโจมตีในลักษณะนี้อาจเกิดขึ้นได้ จากการทดสอบ

บน Testbed แต่ในสถานการณ์จริง เนื่องจากระบบ OTP และ Web Application เหล่านี้โดยทั่วไปจะถูกติดตั้งไว้ใน Data Center ของหน่วยงาน หรือ Zone ของ Servers ซึ่งจะมีการแยก IP Zone ออกจากส่วนอื่นๆ ของหน่วยงาน และมี Firewall ในการรักษาความมั่นคง คอยตรวจสอบแพ็กเก็ตที่วิ่งเข้าออก Zone นี้อย่างรัดกุม และการปลอมแปลงหมายเลขที่อยู่ไอพี (IP Address Spoofing) เป็นการ жуโจมที่ Firewall โดยทั่วไปสามารถตรวจจับและป้องกันได้ ดังนั้นการ жуโจมลักษณะดังกล่าวจึงไม่น่าเป็นผล

2. ผลการประเมินในส่วนของ Mobile Application

จากการทดสอบประสิทธิภาพ ด้วยโทรศัพท์มือถือ 3 รุ่น ที่มีประสิทธิภาพต่างกัน คือ

(1) Lenovo A390 (CPU : Dual-core 1 GHz Mediatek MT6577, RAM 512 MB ROM 4GB Display 233 ppi OS : Android 4.0.4),

(2) Asus Zenfone-6 A600CG (CPU : Quad-core 2 GHz Intel Atom, RAM 2GB ROM 16 GB Display 720x1280 ppi, OS : Android 5.0),

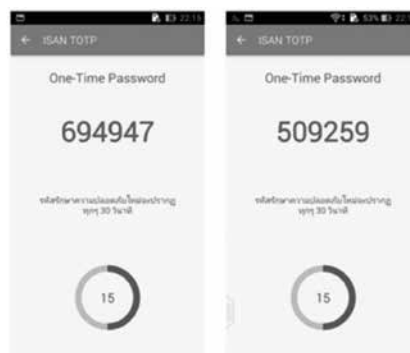
(3) Samsung Galaxy Note 4 (CPU : Quad-core 2.7 GHz Exynos 5433, RAM 3 GB, ROM 32 GB, Display 515 ppi, OS : Android 6.0.1)

พบว่า โปรแกรม ISAN TOTP สามารถทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ไม่มีปัญหาความล่าช้า แม้แต่ในรุ่นที่มี Spec ต่ำที่สุด

ทั้งนี้เมื่อเทียบกับการใช้ อัลกอริทึม TOTP เดิมที่ไม่ได้เพิ่มความมั่นคง พบว่า overhead ของการคำนวณ จากกลไกด้านความมั่นคงเพิ่มเวลาในการคำนวณน้อยกว่า 0.14 ± 0.03 วินาที แม้ใน Spec โทรศัพท์มือถือรุ่นที่ต่ำที่สุด

ในส่วนของการเพิ่มความมั่นคงโดยการ lock mobile OTP เข้ากับฮาร์ดแวร์โทรศัพท์มือถือ

พบว่าเป็นไปตามการออกแบบที่วางไว้ โดยในการติดตั้งต้องผ่านขั้นตอนที่เอาค่า IMEI และ Serial Number ของโทรศัพท์มือถือไปลงทะเบียนด้วย โดยหนึ่งในพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณค่า OTP คือ IMEI และ Serial Number ดังนั้นหากมีความพยายามจะติดตั้ง Mobile OTP โดยผู้ жуโจมได้ username/password ของผู้ใช้ไปได้ และ download ISAN Mobile TOTP มาติดตั้ง ก็จะได้ผล Generate OTP ได้ที่ต่างกับกับเครื่องโทรศัพท์มือถือแรกของผู้ใช้ แม้จะมีองค์ประกอบอย่างอื่นของ Seed เหมือนกัน แต่ค่าฮาร์ดแวร์ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลของ OTP บนโทรศัพท์มือถือคนละเครื่อง

ซึ่ง Programmer ของแต่ละ Web Application หรือ Application อาจเลือกอนุญาตให้ลงทะเบียน IMEI และ Serial Number ได้ที่ละเครื่องเท่านั้นสำหรับผู้ใช้หนึ่งคน โดยต้อง Cancel Mobile OTP เดิมก่อน กรณีโทรศัพท์มือถือหาย จึงอนุญาตให้ลงทะเบียน IMEI และ Serial Number ของโทรศัพท์มือถือใหม่ ซึ่งหากทำแบบนี้ก็จะสามารถแก้ปัญหาการขโมย Seed เริ่มต้นไปใช้ในโทรศัพท์มือถือเครื่องอื่นได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความมั่นคงมากขึ้นจากการ Lock Mobile OTP เข้ากับโทรศัพท์มือถือ แต่ทั้งนี้ระบบที่ออกแบบได้ออกแบบให้ยืดหยุ่น คือ OTP Admin ของหน่วยงานสามารถเลือกที่จะไม่ล็อกเข้ากับเครื่องโทรศัพท์มือถือก็ได้ โดยการยกเลิก

คุณสมบัตินี้ ต้องเข้าไปตั้งค่าคอนฟิกของ ISAN TOTP Web Services ให้ hardwarelock=disable

4. สรุปผล

OTP เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการยืนยันตัวตนแบบพหุปัจจัย งานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ปัญหาด้านความมั่นคงของระบบโอทีพีที่มีในปัจจุบัน และได้ออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบโอทีพีใหม่ที่มีความมั่นคง ซึ่งระบบเป็นเว็บเซอร์วิสที่เรียกผ่าน https และมีการตรวจสอบหมายเลขที่อยู่โอทีพีที่เรียกใช้ระบบเว็บเซอร์วิสโอทีพี และ Mobile OTP Application บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีการแก้ไขอัลกอริทึม TOTP ให้ใช้ความสามารถของ SHA-256 ได้ดีขึ้น และมีการปรับปรุงโหมดการแสดงผลของโอทีพีให้เข้มแข็งขึ้น อีกทั้งเพิ่มการล็อก Mobile OTP เข้ากับฮาร์ดแวร์ของโทรศัพท์มือถือด้วย IMEI และ Serial Number นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อประเมินระบบโอทีพีที่ได้ออกแบบ ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงความมั่นคงของระบบ และประสิทธิภาพของระบบที่ยังคงทำงานได้รวดเร็ว เพิ่ม overhead ของการคำนวณเพียงเล็กน้อย แม้ในโทรศัพท์มือถือที่มี Spec ค่อนข้างต่ำในท้องตลาด

งานในอนาคตที่วางแผนไว้คือ (1) การทดสอบระบบโดยผู้ใช้งานจริงก่อนสามารถทำเชิงพาณิชย์ (2) การพัฒนาต้นแบบส่วนของ Mobile OTP ในระบบปฏิบัติการ iOS (3) การเพิ่มรูปแบบการ Lock Mobile OTP กับฮาร์ดแวร์ เช่นการตรวจสอบ IMSI (International Mobile Subscriber Identity) ซึ่งจะขึ้นกับ Sim Card ของเบอร์โทรศัพท์แต่ละเบอร์ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ Lock เข้ากับ sim หรือเบอร์โทรศัพท์ได้ ซึ่งจะทำให้การปลอมแปลงฮาร์ดแวร์ในส่วนโทรศัพท์มือถือทำได้ ก็โจมตี OTP ไม่ได้ เพราะต้องเลียนแบบค่า IMSI ใน Sim โทรศัพท์ด้วย

(4) การปรับแต่งอัลกอริทึม TOTP ให้ยืดหยุ่นสำหรับ SHA-3 ทั้ง 256 bits และ 512 bits และยืดหยุ่นต่อทั้งจำนวนหลักของ OTP ที่มีความยาวแตกต่างกันไป (5) การปรับแต่งรูปแบบการแสดงผล OTP และเพิ่มลักษณะพิเศษอื่นๆ จำเพาะที่ไม่เปิดเผยรายละเอียดในกรณีหน่วยงานที่ใช้เป็นหน่วยงานความมั่นคงที่ไม่ต้องการให้อัลกอริทึม OTP ของหน่วยงานตนเป็นรูปแบบที่มีคนล่วงรู้

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2560 ขอขอบคุณทีมผู้ช่วยวิจัยที่มีส่วนในการพัฒนาและทดลองกับหลายส่วนของซอฟต์แวร์ต้นแบบ ได้แก่ ณรงค์ฤทธิ์ มะสุใส, ฉัตรดนัย โจนจา และฐานัทพ์ สุ่มมาตย์ ขอขอบคุณปิยะวัฒน์ คำสบบาย สมาชิกในกลุ่มวิจัย ISAN ที่ได้ให้ความเห็นและแลกเปลี่ยนแนวคิดในโครงการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Stevens M, Karpman P, Bursztein E, Albertini A, Markov Y. SHA1TERED : We have broken SHA-1 in practice. [[Online]]. February 2017 [cited: 10 Oct 2017]; <https://shattered.io>
- [2] GoogleAuthenticator.[computer program]. Version 5.0. Android Playstore: Google LLC; September 27, 2017.
- [3] Facebook Code Generator. [computer program]. Facebook.com;
- [4] Eastlake D, Jones P. US Secure Hash Algorithm 1 (SHA1). IETF, RFC 3174, September 2001.
- [5] Secure Hash Algorithm (SHA-1). NIST, FIPS PUB 180-1, 17 April 1995.

- [6] ประพจน์ ธรรมศิริรักษ์, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์. การวิเคราะห์ปัญหาและทดสอบความมั่นคงของ เทคโนโลยีรหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว. วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย มหาสารคาม มีนาคม-เมษายน 2558; 34^[2]: 10-24.
- [7] Mulliner C, Borgaonkar R, Stewin P, Seifert J. SMS-Based One-Time Passwords: Attacks and Defense. Proceedings of Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment (DIMVA); July 2013; Berlin, Germany. Springer; pp. 150–159.
- [8] Kaspersky Lab. Zeus-in-the-Mobile: Facts and Theories. 6 October 2011 [cited 24 June 2016]; https://www.securelist.com/en/analysis/204792194/ZeuS_in_the_Mobile_Facts_and_Theories.
- [9] Kaspersky Lab. Android Trojan Found in Targeted Attack. 26 March 2013 [cited 24 June 2016]; <https://securelist.com/blog/incidents/35552/android-trojan-found-in-targeted-attack-58>.
- [10] Mimoso M. Android Banking Trojan Sypeng Goes Phishing. 5 November 2013 [cited 24 June 2016]; <http://threatpost.com/android-banking-trojan-sypeng-goes-phishing/102822>.
- [11] it24hrs.com. ผู้ใช้มือถือต้องระวัง! ถูกจารกรรมเงินในบัญชีได้ จากการรับ SMS. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2558; <http://www.it24hrs.com>.
- [12] Perlner PGR, Fenton J, Burr W, Richer J, Leftkowitz N, Danker J, et al. Digital Identity Guidelines: Authentication and Lifecycle Management. NIST, SP 800-63B, June 2017.
- [13] M'Raihi D, Bellare M, Hoornaert F, Naccache D, Ranen O. HOTP: An HMAC-Based One-Time Password Algorithm. IETF, RFC 4226, December 2005.
- [14] Haller N. The S/KEY One-Time Password System. IETF, RFC 1760, February 1995.
- [15] M'Raihi D, Machani S, Pei M, Rydell J. TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm IETF, RFC 6238, May 2011.
- [16] Wang X, Yin YL, Yu H. Finding Collisions in the Full SHA-1. Proceedings of Annual International Cryptology Conference; 14-18 August 2005; Santa Barbara, California, USA. LNCS, Volume 3621, Springer; pp. 17-36.
- [17] สมนึก พ่วงพรพิทักษ์. ระบบรหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียวที่เสริมสร้างความมั่นคง. โครงการวิจัยจากทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ประจำปีงบประมาณ 2560 สัญญาเลขที่ 600203.
- [18] Matsumoto M, Nishimura T. Mersenne Twister: a 623-dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-random Number Generator. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation 1998; 8[1]: 3-30.
- [19] Postman version 5.3.2. 26 October 2017 [cited 29 November 2017]; <https://chrome.google.com/webstore/detail/postman/fhbjgbiflinjbdggehcd-dcbncdddom>.

การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดร่อนของ วัสดุคอมโพสิตฟีนอลิกเรซิน

พิมพรภัส งามสันติวงศ์^{1*}, สุริยะเวช บุญธรรารัตน์¹, บงกชธร วงษ์เอก¹,
สุชัชชัย นวลคล้าย² และ ธนชัย คณาสิทธิบุญ³

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดร่อนของวัสดุคอมโพสิตลามิเนตที่ใช้ฟีนอลิกเรซินต่างชนิดกัน วัสดุคอมโพสิตลามิเนตผลิตด้วยฟีนอลิกเรซิน 3 ชนิดที่แตกต่างกันที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิด E-glass ด้วยวิธีการจุ่ม งานวิจัยนี้ใช้ฟีนอลิกเรซิน 3 ชนิดคือ ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C วัสดุคอมโพสิตถูกขึ้นรูปด้วยเทคนิคกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Hot Compression Molding) คุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดร่อนของวัสดุคอมโพสิตทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM E285-08 ซึ่งใช้แก๊สออกไซด์เซทิลินเป็นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิความร้อนสูง การตรวจสอบด้วยภาพรังสีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ช่องว่างของชิ้นงานลามิเนตจากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเมื่อเทียบกับฟีนอลิกเรซินที่ใช้ต่างชนิดกัน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก B แสดงคุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดร่อนได้ดีที่สุด และมีความหนาแน่นต่ำสุด ในทางกลับกันภาพรังสีของวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก C แสดงให้เห็นถึงคุณภาพลามิเนตสูงที่สุด

คำสำคัญ : คุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดร่อน, วัสดุคอมโพสิตลามิเนต, ฟีนอลิกเรซิน,
การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน, แก๊สออกไซด์เซทิลิน

¹ ส่วนงานวิศวกรรมระบบขับเคลื่อน (Propulsion Systems Division – RPS), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ส่วนคุณภาพและความปลอดภัย (R&D Workshop Quality&Safety Division - RWQ), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

³ ส่วนปฏิบัติการระบบขับเคลื่อน (R&D Workshop Propulsion Operation Division - RWP), สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: phimraphas.n@dti.or.th

A comparative study on the ablative properties of composites containing different phenolic resin

Phimraphas Ngamsantivongsa^{1*}, Suriyawate Boonthalarath¹,
Bongkochorn Wong-ek¹,
Suchuchchai Nuanklai² and Thanachai Kanasittiboon³

Abstract

Phenolic resin has been widely used as polymer matrix for fiber reinforced composites mainly because of their high flame retardancy and high char yield after pyrolysis. In this research, we have studied the effects of changes in various phenolic resins on the ablative properties and physical properties of laminated composites. Laminated composites were fabricated with different types of phenolic resins, reinforced with E-glass fibers by using the dipping and hot compression molding technique. In this research we applied and compared 3 types of phenolic resin: phenolic A, phenolic B and phenolic C. The ablative characteristics were explored in terms of ablation rate via the oxyacetylene torch according to ASTM E285-08. The radiographic images were also captured to examine quantification of damage and defects of the laminated specimens and be very useful as a means of following the evolution of void content during manufacturing process. The test results revealed that the phenolic B-based composites possessed excellent ablation property and the lowest density. However, the radiographic image of the phenolic C-based composites showed the highest quality of laminated specimens.

Keywords : Ablative properties, Phenolic resin (PR), Laminated composites,
Hot compression molding, Oxyacetylene torch

¹ Propulsion Systems Division – RPS, Defence Technology Institute.

² R&D Workshop Quality&Safety Division - RWQ, Defence Technology Institute.

³ R&D Workshop Propulsion Operation Division - RWP, Defence Technology Institute.

* Corresponding Author, E-mail: phimraphas.n@dti.or.th

1. บทนำ

วัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยของผสม หรือเป็นการรวมกันของสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปทั้งในขนาด ไมโคร (Micro) หรือ แมโคร (Macro) ก็ได้ โดยที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน และจะต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากการผสมหรือการสร้างพันธะ เป็นระบบหลายเฟส ประกอบด้วยวัสดุเมทริกซ์ (Matrix) ที่อาจเป็นโลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์ โดยมีเมทริกซ์มีบทบาทสำคัญในเรื่อง ทนความร้อน และการนำไฟฟ้าของคอมโพสิต รวมถึงการมีอิทธิพลเหนือลักษณะภายนอก เช่น ลักษณะที่ปรากฏในส่วนวัสดุเสริมแรง (Reinforcement) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของเส้นใยอนินทรีย์ แผ่นหรือชิ้นเล็กๆ และ/หรือเป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นเฟสกระจาย (Dispersed phase) ฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ ซึ่งเมทริกซ์จะทำหน้าที่เป็นตัวรองรับหรือยึดเหนี่ยว เส้นใยให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ทำหน้าที่ในการถ่ายโอนแรง ไปยังเส้นใยที่แข็งแรง ป้องกันการเสียหายของเส้นใยจากกระบวนการผลิต^[1, 2]

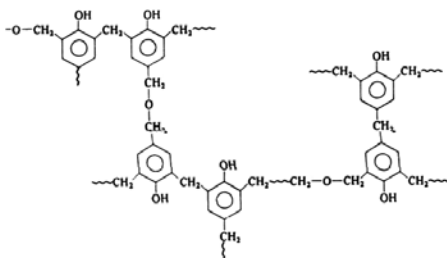
ความสำคัญทางวิศวกรรมของวัสดุผสมที่ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดที่นำมาผสมกัน ให้ได้วัสดุผสมที่มีคุณสมบัติ เป็นพิเศษหรือให้มีลักษณะที่สำคัญบางอย่างแตกต่างไปจากสารเดิม ซึ่งมีขีดจำกัด เช่น ความแข็งแรง ความแข็งแกร่ง น้ำหนัก สมรรถนะที่อุณหภูมิสูง ความทนทานต่อการเสียดร่อน ความแข็ง และการนำไฟฟ้า เป็นต้น

ฟีนอล-พอร์มาลดีไฮด์เรซิน (PF) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ได้จากการเกิดพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นของพอร์มาลดีไฮด์และฟีนอลหรืออนุพันธ์ฟีนอลโดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ฟีนอลิกเรซินมีคุณสมบัติทนต่อความร้อนได้ดี มีความเสถียรทางเคมีและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน เพราะว่าฟีนอลิกเรซินมีความหนาแน่น

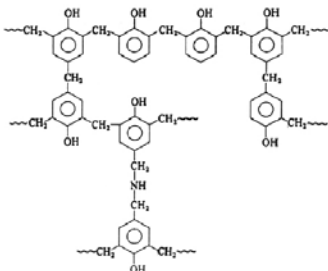
ในการเชื่อมขวางสูง (High-Crosslinking) ดังนั้น ฟีนอลิกเรซินจึงถูกเลือกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทางด้านจรวดและกระสวยอวกาศ^[3]

ฟีนอลิกเรซินที่ถูกใช้เป็นเมทริกซ์ของวัสดุคอมโพสิตที่ทนต่อการเสียดร่อน จะสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของสัดส่วนปริมาณระหว่างสารตั้งต้น 2 ชนิดที่ใช้ทำปฏิกิริยาและตามกลไกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ใช้พอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณมากกว่าฟีนอลจะได้พรีพอลิเมอร์ประเภทเรโซล (Resoles) ในกรณีของการเกิด Resoles นั้นจะใช้พอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณที่มากเกินไปและจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ แอมโมเนีย การทำให้พรีพอลิเมอร์ของ Resoles เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลนั้นสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนเพิ่มเข้าไปไม่ต้องเติมสาร Curing agent จึงเรียกว่า One-step phenolic resins ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสถานะของเหลวและจะต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเจลมีลักษณะโครงสร้างทั่วไปดังรูปที่ 1 อีกชนิดหนึ่งคือ โนวอลาค (Novolacs) เป็นฟีนอลิกเรซินที่เกิดจากการควบแน่นของฟีนอลด้วยพอร์มาลดีไฮด์ โดยใช้ฟีนอลในปริมาณที่มากกว่าพอร์มาลดีไฮด์ และใช้กรดเป็นตัวเร่ง การทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในกรณีของ Novolacs นั้นจะไม่สามารถกระทำได้โดยการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเหมือนในกรณีของ Resoles ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของ Novolacs นั้นจะไม่มีหมู่ไฮดรอกซีเมทิล (CH_2OH) ที่เป็นอิสระที่เกาะอยู่บนวงแหวนเบนซีนเหมือนในกรณีของ Resoles ต้องอาศัยการเติมสาร Curing agent เช่น Hexamethylene tetraamine $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ ลงไป โดยปฏิกิริยาจะเกิดที่อุณหภูมิสูงและทำให้ได้โครงสร้างแบบร่างแหที่มีทั้ง Methylene bridges และ Benzylamine bridges เชื่อมโยง

ระหว่างวงแหวน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง และถูกเรียกว่า Two-step phenolic resins เนื่องจากจำเป็นต้องทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลกับ Curing agent ที่เหมาะสมในขั้นตอนที่สอง ดังแสดงในรูปที่ 2^[4] การผลิตและการสร้างคอมโพสิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมักจะรวมการก่อตัวของวัสดุขึ้นมาเองในระหว่างขั้นตอนการผลิต การก่อตัวของคอมโพสิตเกี่ยวข้องกับการผสมกันของเมทริกซ์และเส้นใยโดยที่เส้นใยถูกทำให้อิ่มตัว (Impregnated) ไปด้วยเมทริกซ์ กรรมวิธีการขึ้นรูปที่สำคัญๆ คือ แบบใช้มือทา (Hand Lay-Up), การขึ้นรูปโดยการปั่นเส้นใย (Filament Winding), การขึ้นรูปโดยการดึงต่อเนื่อง (Pultrusion), การขึ้นรูปโดยการอัดขึ้นรูป (Compression Molding), การขึ้นรูปแบบแผ่นต่อเนื่อง (Sheet-molding Compound : SMC), การอัดแบบชนิดฉีด (Injection Molding), การอัดแบบชนิดถ่ายโอนเรซิน (Resin Transfer Molding : RTM) ฯลฯ^[5]



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ Resoles^[6]



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ Novolacs^[6]

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอมโพสิตลามิเนตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วจากฟีนอลิกเรซินต่างชนิดกัน ที่มีการกำหนดรูปแบบเดียวกัน การศึกษาครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการที่มุ่งพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ชนิดใยแก้วเสริมแรงเพื่อใช้ในงานในด้านอวกาศและเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุอุปกรณ์

ฟีนอลิกเรซินชนิด Resoles ถูกเลือกเป็นวัสดุเมทริกซ์เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงและทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี^[7] ในงานวิจัยนี้มีฟีนอลิกเรซิน 3 ชนิดคือ ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน โดยที่สองชนิดแรกผลิตภายในประเทศ และอีกชนิดนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งใช้สำหรับงานที่มีการเสียดสีและเกิดความร้อนสูง มีคุณสมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 1

เนื่องจาก E-Glass เป็นเส้นใยแบบธรรมดาสำหรับการใช้งานทางด้านโครงสร้างที่อุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้เป็นฉนวน และเนื่องจากมีราคาถูก หาง่าย และสามารถใช้ได้สำหรับการใช้งานทางการบินและอวกาศอย่างแพร่หลายจึงถูกเลือกมาใช้ในการวิจัยนี้^[8] เส้นใยแก้วตาซาน (Wr600) ถูกนำมาใช้เป็นสารเสริมแรง ซึ่งจำหน่ายโดย บริษัท จีอาร์อีคอมโพสิต จำกัด เส้นใยแก้วตาซานเป็นใยแก้วเส้นสั้นทอเป็นผืนเป็นรูปตาซาน เสริมกำลังให้สูงขึ้น ในทิศทางของเส้นใยแก้ว (2 ทิศทาง) โดยส่วนมากแล้วใช้ในการขึ้นรูปแบบใช้มือทา (Hand Lay-Up), การขึ้นรูปโดยการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) เนื่องจากมีปริมาณใยแก้วที่สูงกว่า และให้คุณสมบัติความแข็งแรงที่ดีกว่า ในขณะที่กรรมวิธีการผลิตขึ้นรูป อีกทั้งยังง่าย

แก่การทำลามิเนต เมื่อเทียบกับแบบเส้นใยแก้วชนิด ผืนเส้นสั้น (Chopped Strands Mat) มีคุณสมบัติ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของ ฟีนอลิกเรซิน

ชนิดของ ฟีนอลิก เรซิน	ความหนาแน่น @ 25°C (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	ความหนืด (25°C, เซนติพอยซ์)
ฟีนอลิก A	1.288	2400-3000
ฟีนอลิก B	1.072	100-300
ฟีนอลิก C	1.280	200-400

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของ E-glass เส้นใยแก้ว ตาसान (Woven roving)

สารเสริมแรง	E-glass เส้นใยแก้วตาसान
ความหนาแน่น	2.8 กรัม/ซีซี
กรัม/ตารางเมตร	600 กรัม/ตารางเมตร
ความหนา	0.6 มิลลิเมตร
สี	ขาว

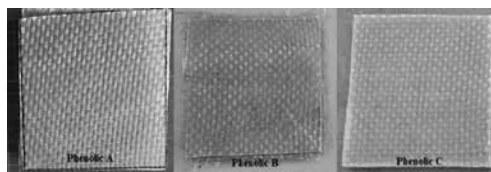
2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เส้นใยแก้ว ขนาด 30 ซม. × 30 ซม. ถูกทำให้ อิ่มตัว (Impregnated) ไปด้วยฟีนอลิกเรซิน โดยนำ เส้นใยจุ่มด้วยฟีนอลิกเรซิน แสดงดังรูปที่ 3 เส้นใยที่ อิ่มตัวด้วยฟีนอลิกเรซินถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเป็นก้ำจืดตัวทำลายส่วนเกิน ออกจากเส้นใยที่อิ่มตัว หลังจากนั้นตัดให้ได้ขนาด 11 ซม. × 11 ซม. วางเส้นใยทับลงไปจนครบจำนวน 10 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน

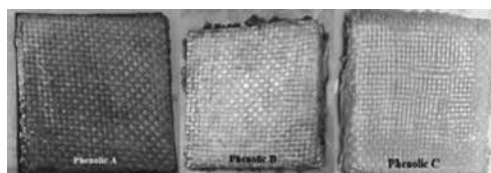
ด้วยวิธีอัดขึ้นรูปโดยใช้ความร้อน ที่ความดัน 90 บาร์ อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 30 นาทีแสดงดังรูปที่ 5 หลังจากนั้นทำการ Post-cured โดยการอบที่ อุณหภูมิ 175°C เป็นเวลา 15 ชั่วโมงแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 3 แสดงการจุ่มเส้นใยตาसानด้วยฟีนอลิกเรซิน



รูปที่ 4 แสดงชิ้นงานทดสอบคอมโพสิต ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C ก่อนขึ้นรูป



รูปที่ 5 แสดงชิ้นงานทดสอบคอมโพสิต ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C หลังทำการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดขึ้นรูป โดยใช้ความร้อน



รูปที่ 6 แสดงชิ้นงานทดสอบคอมโพสิต ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C หลังทำการ Post-cured

2.3 การสอบและวิเคราะห์ชิ้นงาน

2.3.1 คุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดกร่อน

การทดสอบการทนทานต่อการเสียดกร่อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E285-80 โดยใช้แก๊สออกซิเจนเซทีนแสดงดังรูปที่ 7 และสามารถคำนวณหาค่าการทนทานต่อการเสียดกร่อนได้ดังสมการ (1) คือ

$$\text{ablation rate} = \frac{\text{thickness}}{\text{ablation time}} \quad (1)$$

โดยที่ Thickness คือ ความหนาของชิ้นงานทดสอบ และ Ablation time คือ ระยะเวลาที่ชิ้นงานทดสอบถูกพ่นไฟจนทะลุ



รูปที่ 7 แสดงอุปกรณ์การทดสอบความทนทานต่อการเสียดกร่อน

2.3.2 คุณสมบัติความหนาแน่น

การวัดความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบทำได้โดยการวางชิ้นงานทดสอบไว้ในอุปกรณ์แขวนลอยการแช่ตัวของชิ้นงานทดสอบลงในตัวกลางและอ่านผลลัพธ์ในระดับที่วัดได้ตามมาตรฐาน ASTM D792-80 ความหนาแน่นเป็นหนึ่งใน การทดสอบที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดในอุตสาหกรรม

การบินและอวกาศ เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกวัสดุที่จะใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเพื่อรักษา น้ำหนักและความสมดุลที่เหมาะสมของเครื่องบิน

2.3.3 การทดสอบด้วยภาพรังสี

การถ่ายภาพรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับวัสดุคอมโพสิต เป็นเทคนิคการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ที่มีประสิทธิภาพซึ่งจะนำไปสู่รายละเอียดของข้อบกพร่องของคอมโพสิต เทคนิคที่นำไปสู่ข้อมูลรายละเอียดของข้อบกพร่องคอมโพสิต (ช่องว่างพรุน Interply ข้อบกพร่องการยึดติดครั้งฝัง วัสดุแปลกปลอม เป็นต้น) มีการใช้อนุภาคและรังสีที่เจาะทะลุได้ เช่น รังสีนิวตรอนแกมมาและรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบคอมโพสิต รังสีเอกซ์เป็นที่นิยมเพราะการใช้งานที่ค่อนข้างง่ายและห้องปฏิบัติการมีขนาดกลาง^[9]

3. ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

3.1 คุณสมบัติการทนทานต่อการเสียดกร่อน

ในระหว่างการทำทดลองตัวอย่าง (ขนาด 10 ซม. x 10 ซม.) ได้สัมผัสกับเปลวไฟจนกว่าชิ้นงานทดสอบถูกไฟไหม้จนผ่านทะลุ พฤติกรรมของการทนทานต่อการเสียดกร่อนของตัวอย่างทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก B สูงกว่าวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก A และ C ค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ได้รับอยู่ประมาณขอบเขตที่ยอมรับได้ (0.14 มิลลิเมตร/วินาที)^[10] ความต้านทานการทนทานต่อการเสียดกร่อนของวัสดุคอมโพสิตลดลงดังนี้

ฟีนอลิก B > ฟีนอลิก C > ฟีนอลิก A วัสดุคอมโพสิตจาก ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C มีความเสถียรต่อเปลวไฟมากกว่าวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก A

ตารางที่ 3 แสดงผลของการทดสอบการทนทานต่อการเสียดร่อนสำหรับวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ฟีนอลิกแตกต่างกัน

วัสดุคอมโพสิต ที่ผลิตจากชนิดของ ฟีนอลิกเรซิน	อัตราการทนทาน ต่อการเสียดร่อน (มิลลิเมตร/วินาที)
ฟีนอลิก A	0.182
ฟีนอลิก B	0.112
ฟีนอลิก C	0.145

3.2 คุณสมบัติความหนาแน่น

ความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบเป็นคุณสมบัติที่วัดได้อย่างสะดวกใช้สำหรับระบุวัสดุ เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในชิ้นงานตัวอย่าง ค่าความหนาแน่นที่ได้ดังตารางที่ 4 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก A จะมีลักษณะคล้ายกับวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก C ในทางตรงกันข้ามวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก B ได้ค่าความหนาแน่นต่ำสุด

ตารางที่ 4 แสดงผลค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ฟีนอลิกแตกต่างกัน

วัสดุคอมโพสิต ที่ผลิตจากชนิดของ ฟีนอลิกเรซิน	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)
ฟีนอลิก A	1.999
ฟีนอลิก B	1.724
ฟีนอลิก C	1.982

3.3 การทดสอบด้วยภาพรังสี

ภาพรังสีเอกซ์โดยทั่วไปเป็นภาพสีเทาที่มีการลดทอนสัญญาณสูงเป็นภาพขาวและมีการลดทอนต่ำ

เป็นพื้นที่มืด^[11] รูปที่ 8 แสดงภาพรังสีจากชิ้นงานทดสอบวัสดุคอมโพสิตฟีนอลิกเรซิน 3 ชนิดได้แก่ ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C ผลการทดลองพบว่าวัสดุคอมโพสิต ฟีนอลิก C จะมีคุณภาพลามิเนตสูงที่สุด นอกจากนี้ยังไม่มีข้อบกพร่องที่เห็นได้ชัดเจนภายในชิ้นงานตัวอย่าง คุณภาพลามิเนตของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้นดังต่อไปนี้

ฟีนอลิก C > ฟีนอลิก B > ฟีนอลิก A



รูปที่ 8 ภาพรังสีของชิ้นงานทดสอบคอมโพสิต ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C

4. สรุปผลการวิจัย

พอลิเมอร์เมทริกซ์คอมโพสิต (PMCs) ได้รับความนิยมรับว่าเป็นวัสดุเกรดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่เป็นไปได้ในการผลิตวัสดุคอมโพสิตทั้งในแง่ขององค์ประกอบและทางด้านเทคโนโลยีที่ไร้ขีดจำกัด ในบริบทนี้วัสดุคอมโพสิตได้รับการใช้ในทุกด้านของเทคโนโลยีขั้นสูง (การบินอวกาศ, หุ่นยนต์) ฟีนอลิกเรซินนิยมใช้เป็นเมทริกซ์ของวัสดุคอมโพสิตที่ทนต่อการเสียดร่อน เนื่องจากคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีเยี่ยม งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติความหนาแน่น การทดสอบด้วยภาพรังสี และการทนทานต่อการเสียดร่อนของวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ฟีนอลิกเรซิน 3 ชนิดคือ ฟีนอลิก A, ฟีนอลิก B และ ฟีนอลิก C จากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า วัสดุคอมโพสิตชนิดที่ใช้ ฟีนอลิก B มีความสามารถในการทนทานต่อการเสียดร่อนได้ดีกว่าชนิดอื่นภายใต้การทดลองด้วยแก๊สออกซิอะเซทิลีน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น โดยที่วัสดุคอมโพสิตที่มีค่า

การทนทานต่อการเสียดกร่อนได้ดีจะมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำ ในส่วนของภาพรังสีเอกซ์พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ ฟีนอลิก C แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของลามิเนตที่ดีที่สุด จากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าวัสดุคอมโพสิตที่ได้มีความเป็นไปได้สำหรับการนำไปใช้ในการผลิตฉนวนกันความร้อนในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ru-Min Wang, Shui-Rong Zheng, Yujun Zheng, “Polymer Matrix Composites and Technology”, Woodhead Publishing. 1st edition, 2011.
- [2] Ever J. Barbero, “Introduction to composite materials design”, CRC Press Taylor & Francis Group. 2nd edition, 2011, pp.27-28, 45.
- [3] Lu, J., “Synthesis of Phenolic Resin Amines and Solid-State NMR of Phenolic Resin in NASA Rocket Motors”, Mississippi State University, 1998.
- [4] Yu Hu, Wenlong Geng, Hong You, You Wang and Douglas A. Loy, “Modification of a phenolic resin with epoxy- and methacrylate-functionalized silica sols to improve the ablation resistance of their glass fiber-reinforced composites”, Polymers. 6, 2014, pp. 105-113.
- [5] Sriramula, S. and Chryssanthopoulos, M.K., “Quantification of uncertainty modelling in stochastic analysis of FRP composites”, Composites Part A. 40, 2009, pp. 1673–1684.
- [6] G.Odian, “Principle of Polymerization”, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [7] Donghwan Cho and Byung Il Yoon, “Microstructural interpretation of the effect of various matrices on the ablation properties of carbon-fiber-reinforced composites”, Composites Science and Technology. 61 (2), 2001, pp. 271–280.
- [8] R.Ramanarayanan, C. HariVenkateswara Rao and C. Venkateshwara Reddy, “Heat Resistant Composite Materials for Aerospace Applications”, Advanced Materials Manufacturing & Characterization Vol3 Issue 1, 2013, pp. 79-82.
- [9] Louis A. Pilato, Michael J. Michno, “Advanced Composite Materials”, Springer-Verlag., 1994, pp. 105.
- [10] Winya, N., Boonpan, A., Prapunkarn, K., ‘Study of factors affecting the ablation rate of phenolic resin/fiber glass’, Int. J. Chem. Eng. Appl. 4, 2013, pp. 234–237.
- [11] Walter Krenkel, “Ceramic Matrix Composites: Fiber Reinforced Ceramics and their Applications”, John Wiley & Sons, 2008, pp. 275.

การสำรวจความต้องการการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม 3 มิติ ในการกิจบรรเทาสาธารณภัยของหน่วยบัญชาการทหารพัฒนา

กัมปนาท ศิริเรือง^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจระดับความต้องการการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม 3 มิติ จากปัจจัยอิสระ 3 ส่วน ได้แก่ 1) ระดับความสำคัญของการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติต่อระดับความรุนแรงจากสาธารณภัยในแต่ละประเภท 2) ระดับความสำคัญในคุณสมบัติของแผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการกิจบรรเทาสาธารณภัยและ 3) ระดับความสำคัญของลักษณะหรือรูปแบบการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการจัดการจัดการสาธารณภัย ในการกิจบรรเทาสาธารณภัยของหน่วยบัญชาการทหารพัฒนา กองบัญชาการกองทัพไทย โดยใช้แบบสอบถามแบบช่วง (interval scale) และใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ในการสรุประดับความต้องการการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม 3 มิติ และศึกษาปัจจัยอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุ (multiple regression analysis) โดยผลลัพธ์จากงานวิจัยพบว่า พบว่า ความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม ในการจัดการค้นหาผู้ประสบภัย และการนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตรายมีค่าสูงสุดด้วยค่าเฉลี่ย 8.094 คะแนน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระในปัจจัยความสำคัญการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม ในการกิจในสถานการณ์อุทกภัย ระดับ 3 สีนามิระดับ 4 โดยคุณสมบัติด้านความละเอียดเชิงพื้นที่และความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่สถานการณ์ร่วม เป็นส่วนสำคัญในการสนับสนุน การวิเคราะห์และคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ การวางแผนส่งกำลังบำรุง รวมถึงการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม สำหรับเป็นช่องทางการเชื่อมโยงรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ปฏิบัติการในพื้นที่และผู้ควบคุมสั่งการด้วยค่า $R^2 = 0.91$

คำสำคัญ : สำรวจความต้องการการประยุกต์ใช้แผนที่, แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติ, ภัยพิบัติทางธรรมชาติ, สาธารณภัย

¹ กรมเทคโนโลยีสารสนเทศและอวกาศกลาโหม สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม

* ผู้แต่ง, อีเมล: kampanart.geography@gmail.com

The Survey of User Requirements for Applications of 3D Situation Map for Disaster Relief Missions of the Armed Forces Development Command

Kampanart Sirirueang^{1*}

Abstract

This research article was aimed at studying levels of user requirements for applications of 3D situation map from three independent variances. Three levels of significance include the requirements for use of common 3D situation map on the level of severity from each natural disaster, the level of significance for quality of common 3D situation map for disaster relief missions, and the level of significance for features or use aspects of common 3D situation map for disaster relief missions. The study was for the Armed Forces Development Command of the Royal Thai Armed Forces. An interval scale questionnaire was disseminated to collect descriptive statistics of two study groups of totally 62 officers for multiple regression analysis. It was found that the requirement for the use of common 3D situation map was the highest at 8.094 points for victim search and rescue missions. This factor was dependent upon an independent variance of use of common 3D situation map on the level 3 for flood and level 4 for Tsunami of severity from each natural disaster. In addition, the significance for quality of common 3D situation map in terms of resolution and spatial accuracy was crucial to support physical and terrain analysis of Earth features and logistics. Furthermore, the use of common 3D situation map as another channel to establish communications between response units and control center is significant at $R^2 = 0.91$.

Keywords : User Survey, 3D Situation Map, Natural Disaster, Disaster Relief

¹ Defence Information and Space Technology Department, Office of the Permanent Secretary of Defence.

* Corresponding Author E-mail: kampanart.geography@gmail.com

1. บทนำ

ในปัจจุบันสถานการณ์สาธารณสุขภัยเป็นปัญหาที่ทุกๆ ประเทศให้ความสนใจ โดยมีการคาดการณ์ถึงแนวโน้มของผลกระทบจากภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตที่จะมีการทวีความรุนแรงมากขึ้น^[1] ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวสร้างผลกระทบต่อประเทศไทยโดยตรง ดังนั้น การจัดการต่อสาธารณสุขภัยที่เกิดขึ้นจึงมีการกำหนดแผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณสุขภัยแห่งชาติฉบับล่าสุด โดยคณะกรรมการป้องกันและบรรเทาสาธารณสุขภัยแห่งชาติในปี พ.ศ.2558^[2] ซึ่งได้กำหนดยุทธศาสตร์สำหรับภารกิจการบรรเทาสาธารณสุขภัย ตั้งแต่ก่อนเกิดเหตุ ระหว่างเกิดเหตุ และหลังเกิดเหตุ เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติในการรับมือกับสถานการณ์อย่างบูรณาการร่วมกันในทุกๆ ภาคส่วนทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผ่านกลไกในการบริหารให้ทันสมัยสอดคล้องกับสถานการณ์ รวมถึงการกำหนดแนวคิดในการวิจัยและพัฒนาเพื่อรองรับการฝึกและการปฏิบัติภารกิจ^[3]

แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติ เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ (Geospatial Information) สำหรับแสดงสภาพสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปฏิบัติการในรูปแบบสามมิติ ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศและวัตถุที่สามารถรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ได้จากการติดตั้งเซ็นเซอร์บนอากาศยานไร้คนขับ^[4] รวมถึงข้อมูลกิจกรรมต่างๆ ของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและเครื่องมือที่ถูกควบคุมจากระยะไกลในพื้นที่ปฏิบัติการและยังเป็นช่องทางสำคัญในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่และผู้ควบคุมสั่งการ ดังนั้น ระบบแผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติ จึงเป็นศูนย์รวมข้อมูลให้ผู้ที่มีส่วนร่วมในภารกิจ สามารถเข้าถึงและเข้าใจในปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นร่วมกันอย่างถูกต้องและอยู่ในรูปแบบเดียวกัน จึงเป็นเทคโนโลยี

ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการและรับมือกับสาธารณสุขภัยที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ^[5]

เนื่องจากสาธารณสุขภัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีหลากหลายรูปแบบ และการปฏิบัติของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการสาธารณสุขภัยแตกต่างกัน ดังนั้น การออกแบบและสร้างแผนที่สถานการณ์ให้สามารถสนับสนุนการจัดการสาธารณสุขภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงลักษณะของสาธารณสุขภัยในแต่ละประเภท รวมถึงแนวทางปฏิบัติของผู้ใช้งานในการจัดการสาธารณสุขภัย^[6] เพื่อให้เข้าใจถึงความต้องการของผู้ใช้งาน และใช้เป็นแนวทางในการกำหนดคุณสมบัติและออกแบบระบบแผนที่สถานการณ์ ในโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน ของ สทป.^[7] ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลความต้องการทางด้านเทคนิค ของผู้ควบคุมและสั่งการในศูนย์อำนวยการและผู้ปฏิบัติในภารกิจบรรเทาสาธารณสุขภัยของหน่วยบัญชาการทหารพัฒนา กองบัญชาการกองทัพไทย (นทพ.) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อจำลองภารกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน ของ สทป. ให้สามารถสนับสนุนภารกิจบรรเทาสาธารณสุขภัยแก่ นทพ. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. กรอบดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาระดับความต้องการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในภารกิจบรรเทาสาธารณสุขภัยของ นทพ. (ตัวแปรตาม ข้อ 2.1) จากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ประการ (ตัวแปรอิสระ ข้อ 2.2 2.3 และ 2.4) มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปัจจัยระดับความต้องการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการกิจบรรเทาสาธารณภัยของ นทพ.

ประกอบด้วยระดับความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการกิจจัดการความเสี่ยง (D1) การเข้าถึงพื้นที่ยากลำบาก (D2) การค้นหาและนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย (D3) การกู้ภัยและกู้ชีพ (D4) และการฟื้นฟูความเสียหายจากสาธารณภัย (D5)

2.2 ความสำคัญการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติจำแนกตามระดับความรุนแรงและประเภทสาธารณภัย

ประกอบด้วยระดับความรุนแรงจากสาธารณภัย 4 ระดับ (A1x – 4x) จากสาธารณภัยหลักที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ อุทกภัย (Ax1) วาตภัย (Ax2) อัคคีภัย (Ax3) และดินถล่ม (Ax4) สำหรับภัยสึนามิ เกิดในความรุนแรงระดับ 4 ขึ้นไป มีรหัส A43

2.3 ความสำคัญในคุณสมบัติแผนที่สถานการณ์ร่วมในการกิจบรรเทาสาธารณภัย

ประกอบด้วย ความละเอียดเชิงพื้นที่ (B1) ความละเอียดเชิงช่วงคลื่น (B2) การตอบสนองต่อปัจจัยด้านเวลา (B3) ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพ (B4) และ การครอบคลุมพื้นที่ของแผนที่สถานการณ์ (B5)

2.4 ความสำคัญของลักษณะการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการกิจจัดการสาธารณภัย

ลักษณะการใช้แผนที่สถานการณ์ ประกอบด้วย การสร้างความตระหนักรู้ในพื้นที่ (C1) การจำลองและคาดการณ์ความเสี่ยง (C2) การกำหนดแผนปฏิบัติเมื่อเกิดสาธารณภัย (C3) การแสดงข้อมูลพื้นฐานในพื้นที่ปฏิบัติการ (C4) การติดตาม

ปรากฏการณ์ (C5) การเชื่อมโยงรับส่งข้อมูล (C6) การกำหนดแผนเผชิญเหตุ (C7) การคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) การวางแผนส่งกำลังบำรุง (C9) เป็นข้อมูลฐานสำหรับในระบบข้อมูลหลักในการปฏิบัติการ (C10) การฟื้นฟูสภาพหลังเกิดภัยพิบัติ (C11) และการแสดงข้อมูลความเสียหายจากสาธารณภัย (C12)

3. ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษาความต้องการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการกิจบรรเทาสาธารณภัยของ นทพ. ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างและทำการจัดเก็บด้วยแบบสอบถามข้อมูลแบบช่วง (interval scale) โดยค่าสูงสุด 10 คะแนน ด้วยข้อมูลเชิงปริมาณจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการกิจบรรเทาสาธารณภัยของ นทพ. ซึ่งประกอบไปด้วย เจ้าหน้าที่ศูนย์บรรเทาภัยพิบัติ หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ภาคที่ 4 ภาค มีขนาดตัวอย่างจำนวน 30 คน โดยข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามที่ใช้วิจัย และกลุ่มตัวอย่างอีก 32 คนจากศูนย์บรรเทาภัยพิบัติ หน่วยพัฒนาเคลื่อนที่ภาคที่ 3 จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับใช้ในการศึกษาระดับความต้องการ

4. วิธีการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ระดับความต้องการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) และศึกษาปัจจัยอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุ (multiple regression analysis) โดยขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

1) การสรุปลักษณะของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติเชิงพรรณนา

2) การสรุปทิศทางและระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation)^[8]

3) การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม (reliability) ด้วยสัมประสิทธิ์อัลฟาครอนบัก (Cronbach' alpha coefficient)^[9]

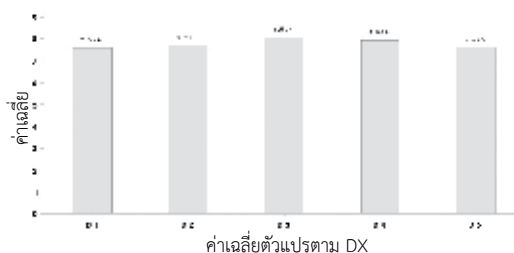
4) การคัดเลือกตัวแปรอิสระสำหรับใช้ในสมการถดถอยเชิงพหุ ด้วยเทคนิค forward selection^[10] โดยเป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยทีละ 1 ตัว และเลือกตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุด ด้วยค่า R^2 หลังจากนั้นทำการเลือกตัวแปรอิสระที่เหลืออีกครั้ง โดยจะหยุดทดสอบเมื่อไม่มีตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตาม ซึ่งระดับที่ยอมรับได้ของค่า R^2 ไม่เกิน 0.25

5) ตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงพหุที่ได้ผ่านการคัดเลือกตัวแปรอิสระแล้ว ด้วย R^2 หรือ Adjusted R^2 ^[11]

5. สรุปผลการวิจัย

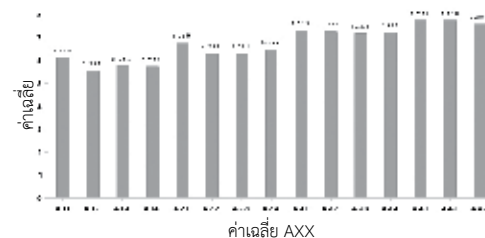
5.1 การสรุปลักษณะของกลุ่มตัวอย่างด้วยสถิติเชิงพรรณนา

จากการทดสอบค่าสถิติพรรณนาของปัจจัยระดับความต้องการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในการกิจบรรเทาสาธารณภัยของ นทพ. พบว่า ระดับความต้องการสูงสุดได้แก่ ความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมฯ ในการกิจการค้นหาผู้ประสบภัยและการนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย (D3) ด้วยค่าเฉลี่ย 8.094 คะแนน และค่าต่ำสุดได้แก่ปัจจัยการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมในการกิจการจัดการความเสี่ยงจากสาธารณภัย (D1) ด้วยค่าเฉลี่ย 7.594 (ภาพที่ 1)



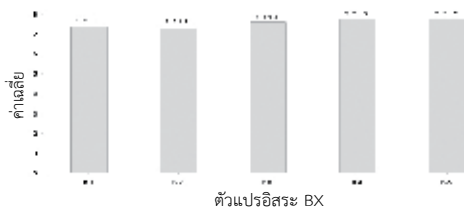
ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม

ตัวแปรอิสระในส่วนการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติจำแนกตามระดับความรุนแรงและประเภทสาธารณภัย (ภาพที่ 2) พบว่า แผนที่สถานการณ์ร่วมฯ มีความจำเป็นสูงสุดต่อสาธารณภัยประเภทอุทกภัย (A41) และแผ่นดินไหว (A42) ในความรุนแรงระดับ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.75 และมีค่าต่ำสุดในสาธารณภัยประเภทอัคคีภัยในความรุนแรงระดับ 1 (A12) ด้วยค่าเฉลี่ย 5.5

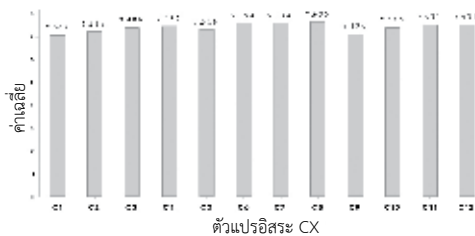


ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ (A11 – 43)

ตัวแปรอิสระในปัจจัยความสำคัญในคุณสมบัติแผนที่สถานการณ์ร่วมในการกิจบรรเทาสาธารณภัย (ภาพที่ 3) พบว่า แผนที่สถานการณ์ร่วมฯ ที่ทันสมัยทันต่อเหตุการณ์ (B4) และมีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (B5) มีความสำคัญต่อการกิจบรรเทาสาธารณภัยด้วยค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 7.719 คะแนน สำหรับค่าเฉลี่ยต่ำสุดได้แก่ ความละเอียดเชิงช่วงคลื่น (B2) ด้วยคะแนน 7.218



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ (B1-B4)



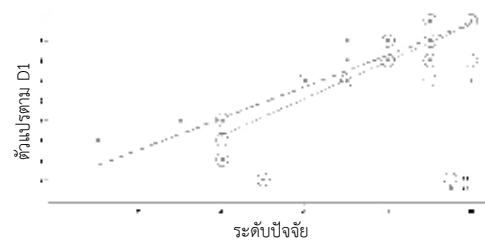
ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ (C1-C12)

สำหรับตัวแปรอิสระของลักษณะการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจจัดการสาธารณภัย (ภาพที่ 4) พบว่า การใช้งานแผนที่สถานการณ์ร่วมๆ สำหรับการคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ด้วยค่าเฉลี่ย 7.656 และปัจจัยการประเมินความเสี่ยงและความเปราะบางในพื้นที่ (C1) ได้รับคะแนนต่ำสุดด้วยค่าเฉลี่ย 7.063

5.2 การสรุปทิศทางและระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

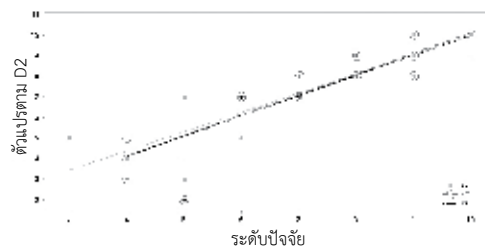
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม พบว่า ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามทุกตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน สำหรับระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่อยู่ในระดับสูง (ผู้วิจัยกำหนดค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.85) มีดังนี้

5.2.1 ตัวแปรตามของปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจจัดการความเสี่ยงจากสาธารณภัย (D1) มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับตัวแปรอิสระในปัจจัยการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจ การกำหนดแผนเผชิญเหตุ (C7) (0.87) และการส่งกำลังบำรุง (0.88) (C9) (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ D1 – C7, C9

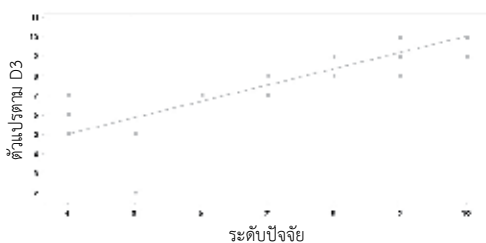
5.2.2 ตัวแปรตามของปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจเข้าถึงพื้นที่ยากลำบาก (D2) มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับตัวแปรอิสระในปัจจัยคุณสมบัติของแผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในด้านการครอบคลุมพื้นที่ของภาพถ่าย (B3) (0.88) และมีความความสัมพันธ์ในระดับสูงกับตัวแปรอิสระในปัจจัยการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจ การกำหนดแผนเผชิญเหตุ (C7) (0.92) และการคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) (0.89) (ภาพที่ 6)



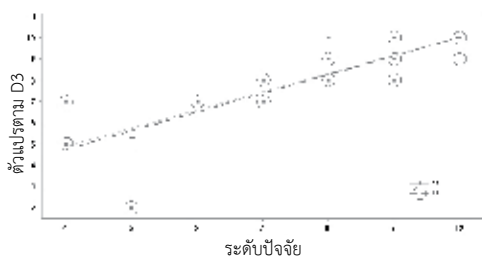
ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ D2 – B3, C7, C8

5.2.3 ตัวแปรตามของปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจค้นหาผู้ประสบภัย และการนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย (D3) มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับตัวแปรอิสระในปัจจัยการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) (0.85) (ภาพที่ 7)

5.2.4 ตัวแปรตามของปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการกู้ภัยและการกู้ชีพ (D4) มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับตัวแปรอิสระในปัจจัยการกำหนดแผนเผชิญเหตุ (C7) (0.86) การคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) (0.87) ภาพที่ 8



ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ D3 – C8



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ D4 – C7, C8

5.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม

ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามด้วยสัมประสิทธิ์อัลฟาครอนบาค พบว่า

ความสอดคล้องภายในของคำถามในแบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือด้วยค่าครอนบาคอัลฟาเท่ากับ 0.96

5.4 การคัดเลือกตัวแปรอิสระสำหรับใช้ในสมการถดถอยเชิงพหุ

ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามด้วยวิธี forward selection มีดังนี้

1) ตัวแปรตามในปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการจัดการความเสี่ยงจากสาธารณภัย (D1) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระในปัจจัยการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจอุทกภัยในความรุนแรงระดับ 2 (A21) และ 3 (A31) และภารกิจภัยสึนามิในความรุนแรงระดับ 4 (A43) รวมถึงปัจจัยคุณสมบัติของแผนที่ด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพ (B1) การสร้างความตระหนักรู้ในพื้นที่ (C1) การจำลองและคาดการณ์ความเสี่ยง (C2) การแสดงข้อมูลพื้นฐานในพื้นที่ปฏิบัติการ (C4) การกำหนดแผนเผชิญเหตุ (C7) และการวางแผนส่งกำลังบำรุง (C9) ($R^2 = 0.90$)

2) ตัวแปรตามในปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการเข้าถึงพื้นที่ยากลำบาก (D2) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระในปัจจัยความสำคัญของการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจภัยพิบัติดินถล่ม ระดับ 1 (A14) อุทกภัย ระดับ 3 (A31) อัคคีภัยระดับ 3 (A32) อุทกภัยระดับ 4 (A41) การติดตามปรากฏการณ์ (C5) การกำหนดแผนเผชิญเหตุ (C7) และการคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) ($R^2 = 0.93$)

3) ตัวแปรตามในปัจจัยความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการค้นหาและผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย (D3) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระในปัจจัยความสำคัญของการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจในสถานการณ์อุทกภัย

ระดับ 3 (A31) สีนามีระดับ 4 (A43) ความละเอียดเชิงพื้นที่ (B1) ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพ (B4) การเชื่อมโยงรับส่งข้อมูล (C6) การคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) และการวางแผนส่งกำลังบำรุง (C9) ($R^2 = 0.91$)

4) ตัวแปรตามในปัจจุบันความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการกู้ภัยและกู้ชีพ (D4) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระในปัจจุบันความสำคัญของการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจงานด้านวาทภัยระดับ 3 (A33) ดินถล่มระดับ 3 (A34) สีนามี (A43) ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพ (B4) การเชื่อมโยงรับส่งข้อมูล (C6) การคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) การวางแผนส่งกำลังบำรุง (C9) และการแสดงข้อมูลความเสียหายจากสาธารณภัย (C12) ($R^2 = 0.92$)

5) ตัวแปรตามในปัจจุบันความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการฟื้นฟูความเสียหายจากสาธารณภัย (D5) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระในปัจจุบันความสำคัญของการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจงานด้านอัคคีภัยระดับ 2 (A22) สีนามี (A43) การสร้างความตระหนักรู้ในพื้นที่ (C1) การกำหนดแผนปฏิบัติเมื่อเกิดสาธารณภัย (C3) การแสดงข้อมูลพื้นฐานในพื้นที่ปฏิบัติการ (C4) การเชื่อมโยงรับส่งข้อมูล (C6) การคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ (C8) การวางแผนส่งกำลังบำรุง (C9) การฟื้นฟูสภาพหลังเกิดภัยพิบัติ (C11) และการแสดงข้อมูลความเสียหายจากสาธารณภัย (C12) ($R^2 = 0.87$)

5.5 ผลการทดสอบสมการถดถอยเชิงพหุ

จากผลการทดสอบในข้อ 5.4 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และแสดงค่า R^2 ได้ดังนี้

$$D1 = 1.158 + 0.140A21 + 0.280A31 - 0.205A43 - 0.246B1 + 0.234C1 + 0.622C2 - 0.353C4 + 0.774C7 - 0.362C9$$

$$D2 = 0.308 + 0.1105A14 + 0.597A31 - 0.380A32 - 0.442A41 + 0.1812C5 + 0.656C7$$

$$D3 = -0.628 + 0.2473A31 - 0.306A43 - 0.260B1 + 0.294B4 + 0.783C6 + 0.578C8 - 0.643C9$$

$$D4 = -1.602 - 0.480A33 + 0.604A34 - 0.277A43 + 0.254B4 + 0.660C6 + 0.680C8 - 0.773C9 + 0.540C12$$

$$D5 = -1.177 + 0.1689A22 - 0.403A43 - 0.501C1 + 0.792C3 - 0.397C4 + 0.692C6 + 0.790C8 - 0.235C9 - 0.583C11 + 0.824C12$$

6. อภิปรายผล

เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ทางสถิติของระดับความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในแต่ละด้าน พบว่า เจ้าหน้าที่และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกิจด้านสาธารณภัยของ ทพ. มีความสำคัญต่อการใช้ระบบแผนที่สถานการณ์ร่วมๆ อยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมสามมิติในภารกิจการค้นหาผู้ประสบภัยและการนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย และเมื่อพิจารณาจากปัจจัยความรุนแรงของสาธารณภัยในแต่ละประเภทพบว่า แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ มีความสำคัญต่อภารกิจสาธารณภัยที่ในความรุนแรงในระดับ 3 ขึ้นไป โดยเฉพาะอุทกภัยที่มีค่าระดับความต้องการสูงสุดในแต่ละระดับความรุนแรง ซึ่งโดยรวมแล้วแผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ควรมีคุณสมบัติสำคัญในด้านความทันสมัยทันต่อเหตุการณ์ และมีความ

ถูกต้องเชิงตำแหน่งสูง สำหรับแนวทางการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ของผู้ใช้งาน มุ่งเน้นในการกิจการเชื่อมโยงรับส่งข้อมูล การกำหนดแผนเผชิญเหตุ การคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ การฟื้นฟูสภาพหลังเกิดภัยพิบัติ และการแสดงข้อมูลความเสียหายจากสาธารณภัย สำหรับการพิจารณาระดับความต้องการจำแนกตามประเภทมีรายละเอียดดังนี้

6.1 การใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจจัดการความเสี่ยงต่อสาธารณภัย

ในยามปกติ หรือช่วงก่อนเกิดสาธารณภัย แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ถูกใช้ในการจัดการในสาธารณภัยประเภทอุทกภัยในความรุนแรงระดับ 2 และ 3 รวมถึงภัยจากสึนามิ ซึ่งสาระสำคัญของการประยุกต์ใช้ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงภัยในพื้นที่ เช่น การสร้างความตระหนักรู้ในพื้นที่ การจำลองและคาดการณ์ความเสี่ยง การแสดงข้อมูลพื้นฐานในพื้นที่ปฏิบัติการ การกำหนดแผนเผชิญเหตุ และการวางแผนส่งกำลังบำรุง ซึ่งคุณสมบัติของแผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ที่สำคัญต่อภารกิจดังกล่าวคือ ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่าย

6.2 การใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจเข้าถึงพื้นที่ยากลำบาก

แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ มีความสำคัญในการสนับสนุนภารกิจเข้าถึงพื้นที่ยากลำบากของผู้ปฏิบัติการและผู้สั่งการในสถานการณ์ดินถล่มระดับที่ 1 อุทกภัยในระดับ 3 และ 4 รวมถึงอัคคีภัยในระดับ 2 แผนที่สถานการณ์สามารถสนับสนุนในการติดตามปรากฏการณ์หรือกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยการเชื่อมโยงรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ปฏิบัติและผู้ควบคุมสั่งการเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในการกำหนดแผนเผชิญเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.3 การใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจการค้นหาผู้ประสบภัยและการนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย

ในการสนับสนุนภารกิจการนำผู้ประสบภัยออกจากพื้นที่อันตราย แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ควรมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เพื่อประสิทธิภาพในการแปลความและภาพถ่ายจำเป็นต้องทันสมัยทันต่อเหตุการณ์ โดยคุณสมบัติดังกล่าวของแผนที่สถานการณ์ สามารถใช้ในการคำนวณสภาพทางกายภาพของวัตถุและภูมิประเทศ และการวางแผนส่งกำลังบำรุง รวมถึงใช้แสดงภาพเหตุการณ์ในการสนับสนุนการสื่อสารระหว่างผู้ปฏิบัติการและผู้สั่งการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสถานการณ์ที่เหมาะสมต่อภารกิจดังกล่าวได้แก่ อุทกภัยในระดับ 3 และสึนามิ

6.4 การใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจกู้ภัยและการกู้ชีพ

การกู้ภัยและกู้ชีพของผู้ประสบภัย เป็นภารกิจที่ต้องปฏิบัติอย่างเร่งด่วน ดังนั้น คุณสมบัติแผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ต้องมีความทันสมัยและทันต่อสถานการณ์ ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่จำเป็นต้องได้รับข้อมูลสำคัญผ่านการเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูลกับส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในภารกิจดังกล่าวที่ต้องการความรวดเร็วในการปฏิบัติงาน การวิเคราะห์สภาพทางกายภาพพื้นที่ด้วยแผนที่สถานการณ์ สามารถแสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นเพื่อใช้สนับสนุนการวางแผนส่งอุปกรณ์ยังชีพที่จำเป็น โดยเฉพาะการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ กับสาธารณภัยประเภทดินถล่มและพายุลมแรง

6.5 การใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมๆ ในภารกิจฟื้นฟูสภาพจากความเสียหายที่เกิดจากสาธารณภัย

สำหรับการฟื้นฟูสภาพ เป็นภารกิจที่เกิดขึ้น

หลังจากเกิดสาธารณภัย แผนที่สถานการณ์ร่วมฯ สามารถใช้ประเมินความเสียหายได้ จากการวิเคราะห์ลักษณะกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับผลกระทบจากสาธารณภัยเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐานก่อนเกิดสาธารณภัยที่สามารถแสดงผลได้บนแผนที่สถานการณ์ โดยผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สามารถใช้ในการกำหนดแผนป้องกันในอนาคต แผนการส่งกำลังบำรุง สนับสนุนการกิจการฟื้นฟูสภาพ และสามารถสร้างความตระหนักรู้ถึงจุดเสี่ยงและจุดเปราะบางในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งภารกิจดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อผู้ปฏิบัติหน้าที่ของ นทพ. ในการฟื้นฟูความเสียหายจากสาธารณภัยประเภทอัคคีภัยในระดับ 2 และภัยจากสึนามิ

7. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 32 คน ในการสำรวจระดับความต้องการใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมฯ ในภารกิจบรรเทาสาธารณภัยของ นทพ. โดยปริมาณกลุ่มตัวอย่างที่น้อย อาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ทางสถิติ รวมถึง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย มีเพียงกลุ่มผู้ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ภาคเหนือเท่านั้น ซึ่งผลลัพธ์จากแบบสอบถามจึงไม่สามารถใช้เป็นแนวทางของการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วม นทพ. ทั้งประเทศได้ ดังนั้น การเพิ่มกลุ่มตัวอย่างโดยทำการสำรวจความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องในภารกิจบรรเทาสาธารณภัย นทพ. ให้ครอบคลุมในทุกพื้นที่ จะส่งผลให้ผลลัพธ์จากการสำรวจมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้เป็นเอกสารสรุปความต้องการของหน่วยบัญชาการทหารพัฒนา ของโครงการประยุกต์ใช้แผนที่สถานการณ์ร่วมเพื่อ

จำลองภารกิจการช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉินของ สทพ. ประจำปีงบประมาณ 2561 - 2563

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Change, I.P.O.C., IPCC. Climate change, 2014.
- [2] คณะกรรมการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ, แผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2558.
- [3] Kumsap, C., Witheetriron, Y., and Pratoomma, P., (2016) DTI's modeling and simulation initiative project to strive for the HADR mission of Thailand's ministry of defence, Proceedings of The 6th International Defence and Homeland Security Simulation Workshop, September 26-28 2016, Cyprus, pp. 44-51.
- [4] บุศรินทร์ โอสถาวรนนท์ และกัมปนาท ศิริเรือง (2560) การให้บริการอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานแผนที่ ทดสอบการบิน และสำรวจพื้นที่ในการทำแผนที่จำลอง 3 มิติ ณ ต.แม่ทา อ.แม่ออน จ.เชียงใหม่ วารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Thailand Defence Technology Journal), Volume 7, Issue 27, July - September, 78 - 81.
- [5] Kumsap, C., Mungkung, V., Amatacheewa, I., and Thanasomboon, T., 2017. Conceptualization of Military's Common Operation Picture for the Enhancement of Disaster Preparedness and Response during Emergency and Communication Blackout, Proceedings of the 7th International Conference on Building Resilience,

- to be held in Bangkok Thailand from 27th to 29th November 2017.
- [6] ชำนาญ ชุมทรัพย์ (2561) แนวคิดระบบอำนาจการปฏิบัติแบบเคลื่อนที่เพื่อการบรรเทาภัยพิบัติและสาธารณภัย (Concept of Mobile C4ISR System for Disaster Relief) วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ (National Defence Studies Institute Journal) ฉบับที่ 1 ปีที่ 9 มกราคม - เมษายน 2561, น. 7-19.
- [7] ชำนาญ ชุมทรัพย์, วิษณุ มั่งคั่ง, อิศระ อมตะชีวะ และ ธนรัฐ ธนะสมบุรณ์ (2560) การบูรณาการเทคโนโลยีสำหรับจำลองภารกิจช่วยเหลือทางทหารในสถานการณ์ฉุกเฉิน วารสารเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (Thailand Defence Technology Journal), Volume 7, Issue 27, July - September, 82 - 85.
- [8] Isotalo, J., Basics of statistics. Finland: University of Tampere, 2001.
- [9] Gliem, J.A. and R.R. Gliem. Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales. 2003. Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education.
- [10] Crawley, M.J., The R book. 2012: John Wiley & Sons.
- [11] Johnson, R.A., Statistics: principles and methods. 2009: John Wiley & Sons.

ระบบวิดีโอเชื่อมต่อเครือข่ายแผนที่การรักษาดูการณ์

วสันต์ บัณฑิตศักดิ์สกุล^{1*}

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบวิดีโอตรวจรักษาดูการณ์และทบทวนสถานการณ์แบบ 3 มิติของกองบิน 2 ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมและสั่งการให้การรักษาดูการณ์ความปลอดภัยของกองบิน 2 ให้เป็นไปในรูปแบบอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพิ่มขีดความสามารถให้เห็นภาพสถานการณ์แบบวิดีโอได้ในเวลาจริง ปรับแต่งให้มีการควบคุมและสั่งการให้สามารถระบุตำแหน่งของกล้องวิดีโอและเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลได้ พร้อมทั้งเชื่อมโยงเข้ากับระบบวิดีโอตรวจรักษาดูการณ์และระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) ให้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลได้ และเพื่อช่วยให้ผู้ตรวจรักษาดูการณ์เข้าใจและตระหนักรู้สถานการณ์ได้ดียิ่งขึ้น การติดตั้งอุปกรณ์ที่จัดทำได้จากท้องตลาดเพิ่มเติมจากระบบและเครือข่ายที่มีอยู่แล้วของกองบิน 2 สามารถนำไปปรับปรุงระบบที่มีอยู่เดิมจนสามารถเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายแผนที่ ผลการทดสอบสามารถเลือกแสดงผลสัญลักษณ์กล้องวิดีโอ และการแสดงผลการตรวจรักษาดูการณ์ของกองบิน 2 ในรูปแบบการทำภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการรักษาดูการณ์ทั้งในการวางแผนและการทบทวนการปฏิบัติ อีกทั้งการเชื่อมโยงระหว่างระบบวิดีโอตรวจรักษาดูการณ์และระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับ ก็สามารถดำเนินการได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

คำสำคัญ : วิดีโอเชื่อมต่อเครือข่าย, เครือข่ายแผนที่, แผนที่รักษาดูการณ์

¹ ผู้บังคับกองบิน 2 กองทัพอากาศ

* ผู้แต่ง, อีเมล: ricebird499@gmail.com

The Video Map Server for Security Monitoring

Wason Buntidsaksakul^{1*}

Abstract

This research article forms part of full report of the project titled the video map server for security monitoring and three-dimensional after-action review. The objective is to enhance the video map server for the Royal Thai Air Force Wing 2 security monitoring which was originally designed for command and control to attain more autonomous and effective operations. The author managed to achieve real time video monitoring by writing scripts to command and control video cameras via their icon geographically referenced on the map server. In addition, one of scripts was coded to integrate the security monitoring video system with a UAV monitoring system to be able to streamline live videos back to the map server. More situation awareness can be comprehended and realized by Wing 2 security officers. Tools and equipment were readily and commercially available while some of the systems were those already existing in Wing 2. More importantly, they were successfully and seamlessly integrated with studied map server. The system evaluation revealed that the security officer was able to select an icon on Wing 2 map of the map server for video monitoring display. Eventually, the integration of the video map server and UAV monitoring system was achieved according to the objective.

Keywords : Video Server, Map Server, Security Monitoring Map

¹ Wing2 Commander, Royal Thai Air Force

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

1. บทนำ

ระบบวิดีโอเชื่อมต่อเครือข่ายแผนการรักษาการณ์ของ กองบิน 2 กองทัพอากาศถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมและสั่งการให้การรักษาความปลอดภัยให้เป็นไปในรูปแบบอัตโนมัติ มีประสิทธิภาพ และทำให้เห็นภาพสถานการณ์แบบวิดีโอได้ในเวลาจริง แต่ในปัจจุบันการควบคุมและสั่งการไม่สามารถระบุตำแหน่งของกล้องวิดีโอและเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลได้ จึงขาดการเชื่อมต่อข้อมูลวิดีโอเข้ากับกิตแผนที่ ทำให้ขาดประสิทธิภาพในการควบคุมและสั่งการ อีกทั้งยังขาดการเชื่อมโยงระหว่างระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลและระบบวิดีโอตรวจการณ์ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับของ กองบิน 2 จึงไม่สามารถรับรู้สถานการณ์จากมุมสูงที่เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมและสั่งการขณะเวลาจริง

ในการรับรู้สถานการณ์จริงผ่านสัญญาณวิดีโอที่ติดตั้งกระจายอยู่ทั่วไปของกองบิน 2 นั้นจะทำให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติหรือผู้บังคับบัญชา สามารถติดตามสถานการณ์ได้อย่างใกล้ชิดในขณะเวลาจริง การเชื่อมโยงเข้าสู่กิตแผนที่บนเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลจะเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมและสั่งการอย่างเต็มประสิทธิภาพของระบบวิดีโอวงจรปิด และเมื่อสามารถเชื่อมโยงระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลเข้ากับระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับของ กองบิน 2 ได้แล้ว จะช่วยให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติหรือผู้บังคับบัญชา สามารถทบทวนสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อวางแผนและแก้ไขเมื่อเกิดเหตุการณ์ในครั้งต่อไปได้

ทั้งนี้ระบบวิดีโอรักษาการณ์ของกองบิน 2 ประสบปัญหาการใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับระบบวิดีโอวงจรปิดทั่วไป ทั้งที่เป็นระบบที่ทำให้มองเห็นภาพสถานการณ์ได้ขณะเวลาจริง ไม่มีข้อจำกัดในการส่งข้อมูลภาพ ดังจะเห็นได้จาก อัครพล ศรีเคนขันธ^[1] ได้นำเสนอการพัฒนา

ซีซีทีวีบนเครือข่ายสตรีมมิ่งซึ่งใช้โปรแกรมที่ไม่มิลิสิทธิ์และได้ทำการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมในการพัฒนาใช้โปรโตคอล RTMP (Real Time Message Protocol) เพื่อการรับส่งข้อมูล และพบว่าระบบซีซีทีวีจะสามารถลดขนาดไฟล์ข้อมูลลงให้เหมาะสมแก่การส่งข้อมูลบนเครือข่าย ดังนั้นจึงเหมาะกับการใช้งานในรูปแบบส่งข้อมูลมัลติมีเดีย ส่วนในสำนักงานตำรวจแห่งชาติโดย กิตติธนต์ เลอวงส์รัตน์^[2] ได้นำกล้องวิดีโอวงจรปิดมาเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะช่วยให้การดูแลรักษาความสงบเรียบร้อยและความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเนื่องจากความก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วและมีราคาถูกลงเมื่อเทียบกับในอดีต แต่การศึกษานี้ไม่ได้กล่าวถึงการเชื่อมโยงระหว่างวิดีโอวงจรปิดเข้าเครือข่ายแผนที่เพื่อความง่ายต่อการรับรู้สถานการณ์เทียบเคียงกับตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษาจาก ESRI White Paper^[3] ได้เน้นให้เห็นถึงความสำคัญในแง่ที่ทุกๆ เหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่ตั้งบนพื้นโลก จะเป็นการสื่อความหมายไปถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือสถานการณ์นั้นๆ กับตำแหน่งที่เกิด ความปลอดภัยและความสงบของที่ตั้งซึ่งเป็นเหตุผลหลักของการกิจการตรวจและรักษาการณ์ทางทหารจึงต้องเชื่อมโยงเข้ากับตำแหน่งบนแผนที่เพื่อการรับรู้สถานการณ์ โดยในแง่คิดทางด้านยุทธศาสตร์ระดับประเทศ อีกทั้งการเชื่อมต่อระหว่างเทคโนโลยีดิจิทัลกับฐานข้อมูลที่ได้จากกล้องวงจรปิดซีซีทีวี (Closed-circuit television: CCTV) ซึ่งเป็นไปตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้นวัตกรรมในการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ที่ทันสมัยและตอบสนองความต้องการทางสังคมในประเทศไทยได้ จากที่กล่าวมาจึงได้ข้อสรุปว่า นวัตกรรมการบริหารจัดการภาคสังคมที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างอดีตที่ถูกจัดเก็บอย่างสมบูรณ์ในรูปแบบสามมิติและเทคโนโลยีดิจิทัล จะก่อให้เกิด

เกิดประโยชน์อย่างยิ่งในทิศทางบวกต่อความมั่นคงระบบการรักษาความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของสังคมและประเทศชาติ^[4]

1.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.1.1 ระบบต้องสามารถแสดงการส่งภาพวิดีโอสดจากกล้องวิดีโอตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 บนแผนที่ดิจิทัล โดยแผนที่จะแสดงตำแหน่งของจุดติดตั้งกล้องทุกจุดโดยสามารถคลิกที่จุดติดตั้งกล้องเพื่อแสดงการส่งภาพวิดีโอสดจากกล้องทุกตัวที่ตำแหน่งนั้น แผนที่ดิจิทัลจะถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ Google Maps หรือ Google Earth APIs ข้อมูลต่างๆ ของจุดติดตั้งกล้องวิดีโอแต่ละจุดเช่น พิกัดตำแหน่ง จำนวนกล้องที่จุดนั้น หมายเลข IP และรหัสผ่านเพื่อการเข้าถึง จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียกภาพวิดีโอมาแสดงผลบนแผนที่ดิจิทัล

1.1.2 ผลการตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 จะถูกนำมาแสดงบนแผนที่ดิจิทัลแบบ 2 มิติ โดยทุกหน่วยที่ปฏิบัติการกิจการตรวจรักษาการณ์จะติดเครื่องระบุพิกัดโลกด้วยดาวเทียมแบบฝังกับตัวบุคคลเพื่อเก็บค่าพิกัดตำแหน่งไว้ตลอดเวลาระหว่างปฏิบัติการ ค่าพิกัดที่เก็บไว้เหล่านี้จะถูกนำมาแสดงผลบนแผนที่ดิจิทัลแบบ 2 มิติที่พัฒนาขึ้นด้วย Google Maps APIs

1.1.3 เชื่อมระบบเครือข่ายแผนที่ดิจิทัลเข้ากับระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับของกองบิน 2 โดยจะแสดงภาพวิดีโอที่ถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับโดยระบบนี้ต้องการการส่งข้อมูลวิดีโอแบบไร้สายจากอากาศยานไร้คนขับมายังตัวรับสัญญาณภาคพื้น

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อเชื่อมโยงระบบวิดีโอตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 เข้ากับเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัล และแสดงผลการตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 ในแผนที่ดิจิทัล

1.2.2 เพื่อเชื่อมโยงระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลเข้ากับระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับของ บ.น.2

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

1.3.1 ระบบวิดีโอตรวจรักษาการณ์และระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับสามารถเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลได้

1.3.2 สถานการณ์จากภาพวิดีโอสามารถนำมาพัฒนาการปฏิบัติการกิจการรักษาการณ์ช่วยให้ผู้ตรวจรักษาการณ์เข้าใจและตระหนักรู้สถานการณ์ได้ดียิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตการเชื่อมโยงระบบวิดีโอตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 เข้ากับเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัล ดำเนินการภายใต้ขอบเขตการรักษาการณ์ของกองบิน 2

1.4.2 ขอบเขตการแสดงผลการตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 ในแผนที่ดิจิทัล นำหลักการที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติของ พัน.อย.บ.น.2 ขณะตรวจรักษาการณ์ในพื้นที่กองบิน 2

1.4.3 ขอบเขตการเชื่อมโยงระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลเข้ากับระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับของ บ.น.2 ไม่นำระบบวิดีโอวงจรปิดของหน่วยงานอื่นและที่ตั้งทางทหารอื่นๆ ที่มีระบบวิดีโอวงจรปิดสำหรับการรักษาการณ์มาพิจารณา

2. วิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงระบบวิดีโอเชื่อมต่อเครือข่ายแผนที่การรักษาการณ์จำนวน 1 ระบบ ประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นเครื่องแม่ข่ายแผนที่ เชื่อมโยงระบบพัฒนาขึ้นจัดเก็บ และจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศของกองบิน 2

และใช้สำหรับประมวลผลทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก มีคุณลักษณะเฉพาะเพื่อการใช้งานอุปกรณ์รองรับฐานข้อมูลในระบบภูมิสารสนเทศ มีคุณลักษณะเฉพาะคือ สามารถรองรับ RAID ดังต่อไปนี้ Basic, JBOD, RAID 0, RAID 1, RAID 5, RAID 6, RAID 10 ต่อเข้ากับระบบเครือข่ายได้ผ่าน Ethernet และรองรับระบบไฟล์ดังต่อไปนี้ EXT4, EXT3, FAT, NTFS อุปกรณ์รับพิกัดพื้นโลกด้วยดาวเทียมแบบฝังกับตัวบุคคลใช้เวลาในการค้นหาสัญญาณดาวเทียมในที่โล่งน้อยกว่า 0.1 วินาที ใช้ SIM card โทรศัพท์เคลื่อนที่ในความถี่ระบบ GSM 900/1800/1900 สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบ GPRS สามารถรองรับความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ 500 เมตรต่อวินาที สามารถชาร์จด้วยไฟฟ้า Input-12V, Output-5V, และ Input-110-220V, Output-5V และใช้แบตเตอรี่ Lithium-ion

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

2.2.1 การแสดงภาพวิดีโอแบบสดจากกล้องวิดีโอตรวจการณ์บนแผนที่ ประกอบด้วยการพัฒนาแผนที่ดิจิทัล การเก็บข้อมูลของจุดติดตั้งกล้องวิดีโอแต่ละจุดไว้ในฐานข้อมูล และการแสดงตำแหน่งของจุดติดตั้งกล้องพร้อมแสดงภาพวิดีโอจากกล้องบนแผนที่ดิจิทัล

2.2.2 การพัฒนาการแสดงผลการตรวจการณ์แบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ประกอบด้วยการติดตั้ง Embedded GPS สำหรับบุคคลเพื่อเก็บค่าพิกัดตำแหน่งขณะปฏิบัติการกิจ และการพัฒนา Google Maps APIs เพื่อแสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่เป็นสัญลักษณ์บนแผนที่

2.2.3 การเชื่อมระบบเครือข่ายแผนที่ดิจิทัลเข้ากับอากาศยานไร้คนขับตรวจการณ์ของกองบิน 2 เป็นการวางระบบการส่งข้อมูลภาพถ่ายและวิดีโอแบบไร้สายจากอากาศยานไร้คนขับมายังส่วนรับสัญญาณภาคพื้น

3. ผลการศึกษา และการอภิปรายผล

3.1 การติดตั้งและประกอบรวมระบบวิดีโอเชื่อมต่อเครือข่ายแผนที่

3.1.1 การติดตั้งระบบ Wireless LAN บน.2 เนื่องจาก Wireless LAN มีข้อดีคือมีความคล่องตัวสูงรองรับการเคลื่อนที่ไปในพื้นที่ต่างๆ ของ บน.2 หรือเมื่อเคลื่อนย้ายระบบคอมพิวเตอร์ของโครงการไปยังตำแหน่งใดๆ ก็ตาม จะยังสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายได้ตลอดเวลา トラバได้ที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่เสียเวลาติดตั้งสายเคเบิลและไม่รกรุงรัง และสามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่ายในอนาคต หากต้องการเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน เพราะต้องการเพียงแค่มียุทธศาสตร์ตามต่อเข้ากับโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ หรือ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที เพราะในระยะยาวแล้วระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา และการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่าเนื่องจากความง่ายในการติดตั้ง ท้ายที่สุดเครือข่ายไร้สายทำให้กองบิน 2 สามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถย้ายตำแหน่งการใช้งาน โดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น อาคารสำนักงาน และอาคารศูนย์รักษาการณ์เป็นต้น ได้

3.1.2 การวางเครือข่ายไร้สายความถี่ 5 GHz จำนวน 3 ตัว เชื่อมต่อกันแบบ Point-to-Multipoint ดังรูปที่ 1 โดยตัวที่ 1 เป็นโหมด Access Point ติดตั้งบริเวณตำแหน่ง กองรักษาการ (ใช้เสาสูง) ตัวที่ 2 เป็นโหมด Station 1 ติดตั้งบริเวณตำแหน่ง จุดยุทธการ 2 (เชื่อมกับตัวที่ 1) และตัวที่ 3 เป็นโหมด Station 2 ติดตั้งบริเวณตำแหน่ง ช่องทาง 2 (เชื่อมกับตัวที่ 1) สำหรับ IP Address เป็นแบบ Fix (Static IP 192.168.1.x) คือ ตัวที่ 1 (Access Point) 192.168.1.2 ตัวที่ 2 (Station) 192.168.1.3 และตัวที่ 3 (Station) 192.168.1.4

3.1.3 การติดตั้งแบบ Point to Multipoint เป็นการติดตั้งโดยที่เสาส่งจะเชื่อมต่อกับตัวอุปกรณ์หลายๆ ตัวพร้อมกันดังรูปที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวจะติดตั้งตามจุดรักษาความปลอดภัย จากการทดสอบจุดติดตั้งแต่ละจุดสามารถเชื่อมต่อกับเสาส่งได้

3.1.4 การตั้งค่าอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไร้สายทุกอุปกรณ์ สามารถ Log in เข้าสู่หน้าเมนูการติดตั้ง ในการใช้งานครั้งแรกควรที่จะเลือกเป็น Factory Default ก่อนทุกครั้ง วิธีการเลือก Factory Default คือการกดปุ่ม Reset ที่ตัวอุปกรณ์ค้างไว้ แล้ว Log In เข้าตัวอุปกรณ์และไปที่เมนู SYSTEM> Factory Default สังเกตว่าอุปกรณ์ UBNT มีการ Reset ตัวเองหรือไม่ โดยดูได้จากไฟสถานะจะกะพริบสลับ จากนั้นให้รอสักครู่หลังจาก Factory Default เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ Log In เข้าตัวอุปกรณ์อีกครั้งผ่าน Browser โดยพิมพ์ IP : 192.168.1.20 ในช่อง URL ของ Browser กรอก Username และ Password โดยจะต้องตั้งค่า IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับตั้งค่าให้อยู่ในระบบแลนเดียวกับอุปกรณ์ Default IP ของอุปกรณ์คือ 192.168.1.20 สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ เมื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ Wireless แล้ว จะทำการทดสอบการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ โดยเลือกเมนู Start >> run พิมพ์คำสั่ง cmd และกดปุ่ม Enter จากนั้นให้พิมพ์คำสั่ง ping 192.168.1.20 และกดปุ่ม Enter ถ้าไม่ผิดพลาดจะขึ้นข้อความดังรูปที่ 3

3.1.5 การตั้งค่าอุปกรณ์เป็นแบบ Point to Multipoint

3.1.5.1 Access Point (ฝั่งตัวส่ง) เปิด Browser พิมพ์ 192.168.1.20 ในช่อง URL ทำการ Log in และเลือกที่แถบเมนู WIRELESS (ดังรูปที่ 4), Wireless Mode: Access Point, WDS (Transparent Bridge Mode) : เลือกเครื่องหมายถูก, Security :

เลือก WPA2, Channel Width : เลือกค่าใดก็ได้ ซึ่งค่าแต่ละค่าจะมีผลต่อความแรงและความเร็วของสัญญาณ, Wireless Security ถ้าต้องการตั้งค่า Password ใช้งาน, WPA Pre-shared Key : ใส่รหัสผ่านตามต้องการ, กดปุ่ม [Change] เพื่อบันทึกการตั้งค่า, กดปุ่ม [Apply] เพื่อยืนยันการบันทึกการตั้งค่า, เลือก Tab >> NETWORK, Management IP Address : เลือก Static, IP Address: 192.168.1.2, Sub_netmask: 255.255.255.0, Gateway IP : 192.168.1.1, กดปุ่ม [Change] เพื่อบันทึกการตั้งค่า, และกดปุ่ม [Apply] เพื่อยืนยันการบันทึกการตั้งค่า

3.1.5.2 Station1 (ฝั่งตัวรับ) เริ่มจากการเปิด Browser พิมพ์ 192.168.1.20 ในช่อง URL และทำการ Log in จากนั้นทำการกำหนดคุณสมบัติของ Wireless ดังนี้ Wireless Mode : เลือก Station; WDS (Transparent Bridge Mode) : เลือกเครื่องหมายถูก; SSID : กดปุ่ม [Selected] เพื่อเลือกสัญญาณที่ต้องการเชื่อมต่อและกดปุ่ม [Lock AP], เลือกชื่อสัญญาณ Wireless ที่ต้องการ ช่อง SSID และ Lock To AP MAC จะแสดงค่าโดยอัตโนมัติ; Channel Width : เลือกค่าใดก็ได้ ซึ่งค่าแต่ละค่าจะมีผลต่อความแรงและความเร็วของสัญญาณ; Wireless Security ถ้าต้องการตั้งค่า Password ใช้งาน; Security : เลือก WPA2; WPA PresharedKey : ใส่รหัสผ่านตามต้องการ; กดปุ่ม [Change] เพื่อบันทึกการตั้งค่า, และกดปุ่ม [Apply] เพื่อยืนยันการบันทึกการตั้งค่า, เลือก Tab >> NETWORK และกำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 5 ดังนี้ Management IP Address : เลือก Static; IP Address: 192.168.1.3; Subnetmask: 255.255.255.0; Gateway IP : 192.168.1.1; กดปุ่ม [Change] เพื่อบันทึกการตั้งค่า; กดปุ่ม [Apply] เพื่อยืนยันการบันทึกการตั้งค่า จากนั้นเลือก Tab >> Ubiquiti Logo และกำหนดค่า airMAX Priority ให้กับ Client แต่ละตัว สำหรับอุปกรณ์ Wireless อีกตัว

เป็นโหมด Station 2 (IP : 192.168.1.4) จะทำการกำหนดค่าต่างๆ เช่นเดียวกับอุปกรณ์ Station 1

3.2 การพัฒนาระบบเครือข่ายแผนที่สคริปต์นี้เพื่อทำการนำภาพถ่ายจากระบบซีซีทีวีของพื้นที่กองบิน 2 แสดงในโปรแกรม Google Earth ในรูปที่ 6 แสดงสคริปต์ สำหรับนำภาพถ่ายระบบซีซีทีวีเข้าสู่โปรแกรม Google Earth

3.3 การแสดงตำแหน่งของจุดติดตั้งกล้องพร้อมแสดงภาพวิดีโอบนแผนที่ดิจิทัล

3.3.1 ดำเนินตามขั้นตอนการอัปเดตข้อมูลกล้องคือ Start WampServer จาก icon บน desktop, เปิด Chrome Web browser และทำการ Log in, ที่เมนูด้านซ้ายคลิกเครื่องหมายบวกหน้า cctv และคลิกที่ camera_locations (รูปที่ 8 บน), หน้าจอด้านขวาจะแสดงตารางที่มีข้อมูลของกล้องที่จุดต่างๆ, หรือการคลิก Edit ที่ record ที่ต้องการแก้ไขข้อมูลและกดปุ่ม Go ที่มุมล่างขวาเพื่อบันทึกข้อมูล (รูปที่ 8)

3.3.2 ขั้นตอนการดูภาพจากกล้องวิดีโอผ่านแผนที่ เริ่มจาก Start Wamp Server จาก icon บน desktop, เปิด Mozilla Firefox จาก icon บน desktop, ไปที่ http://localhost/Wing2_cameras.php หน้าจอจะแสดงแผนที่ที่มี icon กล้องสีเหลืองตามตำแหน่งกล้อง (รูปที่ 7), เมื่อนำเมาส์ไปชี้ที่ icon จะเห็นชื่อของจุดติดตั้งกล้อง, เมื่อคลิกที่ icon กล้องเพื่อดูภาพจากกล้องนั้น โดยต้อง login ด้วย username และ password ของ DVR ตัวนั้นก่อน และคลิกเลือกกล้องที่จะดูภาพจากเมนูด้านซ้าย (รูปที่ 9)

3.3.3 ระบบแสดงผลพิกัดขณะตรวจรักษาการณ์ เป็นการตั้งค่า Embedded GPS สำหรับบุคคลเพื่อเก็บค่าพิกัดตำแหน่งขณะปฏิบัติการกิจดังรายละเอียดต่อไปนี้ Get IMEI, imei123456, Set APN name (The APN name is internet), APN123456 internet, Set APN username and password (APN username is true, password is

true), up123456 true true, Set server IP and port, adminip123456 202.104.149.227 9000, Switch to GPRS mode, GPRS123456, Set time interval (send every 20 seconds, unlimited number of times), fix020s***n123456, Go to <http://www.gpstrackerxy.com/>, Choose Server2, Login using username XXXXX, password xxxxx, Add IMEI of the tracker to the map by going to System Settings -> Terminal Management, Click Add button and enter IMEI number and name, GPS tracking สามารถแสดงผลได้ (รูปที่ 10)

3.3.4 การเชื่อมต่อเครือข่ายเข้ากับอากาศยานไร้คนขับตรวจการณ์ (รูปที่ 11) เพื่อการถ่ายภาพและวิดีโอที่ถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับไปยังศูนย์รักษาการณ์ของกองบิน 2 โดยดำเนินการดังนี้

3.3.4.1 อุปกรณ์ระบบเครือข่ายและการติดตั้งอุปกรณ์ ประกอบด้วย อุปกรณ์สื่อสารด้วยระบบไร้สายระยะไกลแบบติดตั้งภายนอกอาคาร Ubiquiti Rocket M5 AC-Lite (R5AC-Lite) ความถี่ 5 GHz ความเร็ว 450 Mbps กำลังส่ง 500 mW (27 dBm) ซึ่งเหมาะสำหรับการเชื่อมต่อเครือข่ายระยะไกล ซึ่งได้ถึง 20 กิโลเมตร (ระยะทางขึ้นอยู่กับเสาอากาศที่ใช้งาน), เสาอากาศ Sector 90 องศา กำลังขยาย 20dBi พร้อมด้วยเทคโนโลยี Polarization Dual Linear Ubiquiti AirMAX Sector 5GHz 20dBi (AM-5G20-90) สำหรับเป็น Base Station เพื่อกระจายสัญญาณ Wi-Fi ให้ผู้ใช้อินเทอร์เน็ต ใช้งานร่วมกับ Ubiquiti RocketM5 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น โดยประสิทธิภาพของ Ubiquiti AirMAX สูงสุดที่ระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร (ที่โล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง) เป็นข้อมูลจากผู้ผลิต ระยะทางจริงไม่ควรเกิน 10 กิโลเมตร, อุปกรณ์ Access Point ความถี่ 5Ghz แบบ Outdoor (Ubiquiti Life Beam 5 GHz 23dBi LBE-M5-23) ความเร็วในการเชื่อมโยงสัญญาณ

แบบไร้สายสูงสุด 300 Mbps Dual-Chain สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างอาคาร แบบ Point to Point, อุปกรณ์สำหรับ PoE Switch สำหรับจ่ายไฟฟ้าผ่านพอร์ทแลนสำหรับอุปกรณ์ Ubiquiti (TS-8-PRO) ขนาดแรงดัน 24 หรือ 48VDC ป้องกันไฟฟ้า ESD 24KV พร้อมด้วย 8 กิกะบิตพอร์ท 10/100/1000 Mbps และ 1 พอร์ท 10/100 Mbps, อุปกรณ์ส่งสัญญาณ HDMI (HDMI OVER IP EXTENDER (TX UNIT)) สำหรับขยายสัญญาณ HDMI ด้วยสาย UTP CAT5E/6 โดยสามารถส่งสัญญาณผ่าน Gigabit Ethernet Switching Hub, และอุปกรณ์รับสัญญาณ HDMI (HDMI OVER IP EXTENDER (RX UNIT)) สำหรับรับสัญญาณ HDMI ด้วยสาย UTP CAT5E/6 โดยสามารถรับสัญญาณผ่าน Gigabit Ethernet Switching Hub

3.3.4.2 ทดสอบการเชื่อมสัญญาณภาพจากอากาศยานไร้คนขับกับเครือข่ายการรักษาดูแล สำหรับอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ทำการทดสอบ เป็น DJI Drone รุ่น Phantom 4 Pro ซึ่งส่วนคอนโทรลมีช่องต่อสัญญาณ HDMI และ UAV สามารถส่งสัญญาณวิดีโอไปยังตัวส่งสัญญาณได้โดยส่งสัญญาณภาพแบบไร้สายจากตัวส่งสัญญาณแบบ Ubiquiti Lite Beam AC ไปยัง Ubiquiti Rocket M5 AC-Lite (R5AC-Lite) ที่อยู่ ณ ศูนย์รักษาการณ์ โดยผ่าน Gigabit Ethernet Switching Hub และเชื่อมต่อไปยังตัวรับสัญญาณ

3.3.4.2.1 อุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณ ใช้ HDMI ในการส่งสัญญาณ HDMI ผ่าน สัญญาณไร้สายแบบ Ubiquiti Lite Beam AC

3.3.4.2.2 อุปกรณ์ภาครับสัญญาณ ใช้ HDMI ในการรับสัญญาณ HDMI ผ่าน Gigabit

4. สรุป

4.1 สรุปผลการวิจัย บทความวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยระบบวิดีโอเชื่อมต่อเครือข่าย

แผนที่การรักษาดูแลและทบทวนสถานการณ์แบบ 3 มิติ เพื่อปรับปรุงระบบวิดีโอตรวจรักษาดูแลของกองบิน 2 ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมและสั่งการให้การรักษาดูแลความปลอดภัยของกองบิน 2 ให้เป็นไปในรูปแบบอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เพิ่มขีดความสามารถให้เห็นภาพสถานการณ์แบบวิดีโอได้ในเวลาจริง ปรับแต่งให้มีการควบคุมและสั่งการให้สามารถระบุตำแหน่งของกล้องวิดีโอและเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลได้ พร้อมทั้งเชื่อมโยงเข้ากับระบบวิดีโอตรวจรักษาดูแลและระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับให้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับเครือข่ายแผนที่รูปแบบดิจิทัลได้ เพื่อช่วยให้ผู้ตรวจรักษาดูแลเข้าใจและตระหนักรู้สถานการณ์ได้ดียิ่งขึ้น การศึกษาในครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้น ที่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับระบบเดิมของกองบิน 2 และแสดงการส่งภาพวิดีโอสดจากกล้องวิดีโอตรวจรักษาดูแลของกองบิน 2 บนแผนที่ภาพถ่ายดิจิทัลได้โดยแผนที่ภาพถ่ายได้มาจากการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งมีรายละเอียดความคมชัดมากกว่าที่มีใน Google Earth การเขียนสคริปต์เพื่อแสดงตำแหน่งของจุดติดตั้งกล้องทุกจุดทำให้ง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูลของจุดติดตั้งกล้องเพื่อแสดงการส่งภาพวิดีโอสดจากกล้องทุกตัวที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งแก้ไขปัญหาความสับสนดั้งเดิมที่ไม่สามารถจำแนกได้ว่าภาพวิดีโอที่ได้มาจากกล้องที่ติดตั้งไว้ที่ไหน อีกทั้งยังสามารถแก้ไขสคริปต์เพื่อเพิ่มเติมกล้องวิดีโอได้ในกรณีติดตั้งใหม่

การตรวจรักษาดูแลของกองบิน 2 เมื่อเชื่อมโยงภารกิจเข้ากับ Embedded GPS สำหรับบุคคลเพื่อเก็บค่าพิกัดตำแหน่งขณะปฏิบัติการ และพัฒนา Google Maps APIs เพื่อแสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่เป็นสัญลักษณ์บนแผนที่ แล้วนำมาแสดงบนแผนที่ดิจิทัลแบบ 2 มิติ ได้ในเวลาจริง หรือการนำพิกัดตำแหน่งที่บันทึกลงบน Embedded GPS

สำหรับบุคคล มาแสดงผลบนแผนที่ภาพถ่ายแล้ว หน่วยที่ปฏิบัติการกิจการตรวจรักษาการณ์ ผู้ปฏิบัติ หรือผู้บังคับบัญชากองบิน 2 สามารถติดตามและ ทบทวนสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อการตัดสินใจ วางแผน และแก้ไขเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน หรือ ในครั้งต่อไป อีกทั้งยังเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือ ที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาด และจำกัดการเข้าถึงได้ เฉพาะในวง Wireless LAN ของกองบิน 2 จึงง่าย ต่อการรักษาความปลอดภัย

การเชื่อมโยงระบบเครือข่ายแผนที่ดิจิทัล เข้ากับระบบตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับ ของกองบิน 2 สามารถแสดงภาพวิดีโอที่ถ่ายจาก อากาศยานไร้คนขับไปยังศูนย์รักษาการณ์เครื่อง รับสัญญาณภาคพื้น ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มขีด ความสามารถในการรับรู้สถานการณ์ด้วยระบบ ตรวจการณ์ของอากาศยานไร้คนขับของกองบิน 2 โดยจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติหรือผู้บังคับบัญชา กองบิน 2 มองเห็นภาพสถานการณ์จากมุมสูงเพื่อ การวางแผน ควบคุม สั่งการ และแก้ไขเมื่อเกิด เหตุการณ์ขึ้นได้อย่างทันทั่วถึง

4.2 ข้อเสนอแนะ ในการทำวิจัยในครั้งต่อไป เพื่อให้การกิจการตรวจการณ์สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ควรมีการถอดแบบสถานการณ์จากภาพวิดีโอและ ขณะปฏิบัติการกิจการรักษาการณ์มาจำลองในรูปแบบ การทำภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ ซึ่งในปัจจุบันวิทยาการ และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์กราฟิกก้าวหน้าไปมาก การแสดงผลการตรวจรักษาการณ์ของกองบิน 2 ในรูปแบบการทำภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ จะช่วยเพิ่ม ขีดความสามารถในการรักษาการณ์ทั้งในแง่การวางแผน และการทบทวนการปฏิบัติ เนื่องจากในปัจจุบัน สามารถใช้โปรแกรม Wargame Simulation ให้ สามารถสร้างโลกจำลอง 3 มิติที่มีความเสมือนจริง สูงที่สามารถแสดงได้ทั้งทางด้านสภาพแวดล้อมและ

แบบจำลองต่างๆ พร้อมทั้งการสร้างและกำหนด สถานการณ์ฝึกรักษาการณ์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

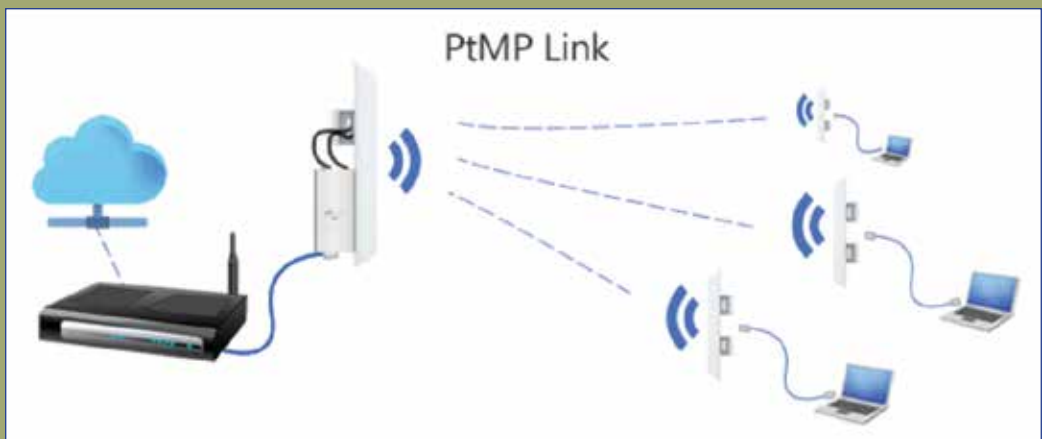
บทความวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายงาน ผลการวิจัยระบบวิดีโอเชื่อมต่อเครือข่ายแผนที่ การรักษาการณ์และทบทวนสถานการณ์แบบ 3 มิติ ฉบับสมบูรณ์ งบประมาณการวิจัยและพัฒนาของ กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม สำนักงาน ปลัดกระทรวงกลาโหม ประจำปีงบประมาณ 2559 - 2560

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] อัครพล ศรีเคนชันธ. 2555. การพัฒนาระบบ ซีซีทีวีบนเครือข่ายสตรีมมิ่ง (Development CCTV System on Streaming Media). วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม เครือข่าย คณะวิทยาการและเทคโนโลยี สารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- [2] กิตติธนต์ เลอวงศ์รัตน์, การศึกษาหาแนวทาง การพัฒนาประสิทธิภาพในการนำเทคโนโลยี กล้องโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) มาใช้ในการ สนับสนุนการบริหารงานของสถานีตำรวจ: ศึกษากรณีกองบัญชาการตำรวจนครบาล. วารสารกระบวนการยุติธรรม. ปีที่ 8 เล่มที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม. หน้า 79 - 96.
- [3] ESRI White Paper. 2007. GIS Integration with Public Safety Applications. Redlands, California. USA.
- [4] สุพิศาล ภักดินฤณาด และชฎาธาร โอษฐ์ศ. 2561. นวัตกรรมการบริหารจัดการภาคสังคม กับนโยบายไทยแลนด์ 4.0. วารสารสมาคม นักวิจัย ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2561. หน้า 49 - 61.



รูปที่ 1 การวางเครือข่ายไร้สายใน กองบิน 2



รูปที่ 2 การติดตั้งแบบ Point to Multipoint


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

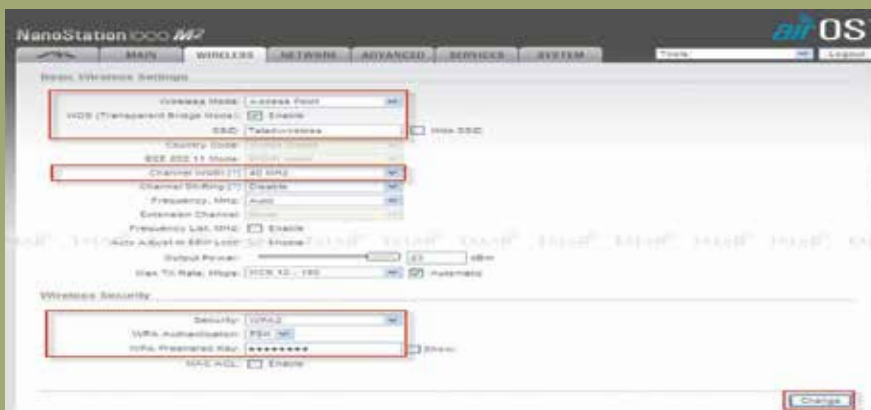
C:\Documents and Settings\acer>ping 192.168.1.20

Pinging 192.168.1.20 with 32 bytes of data:

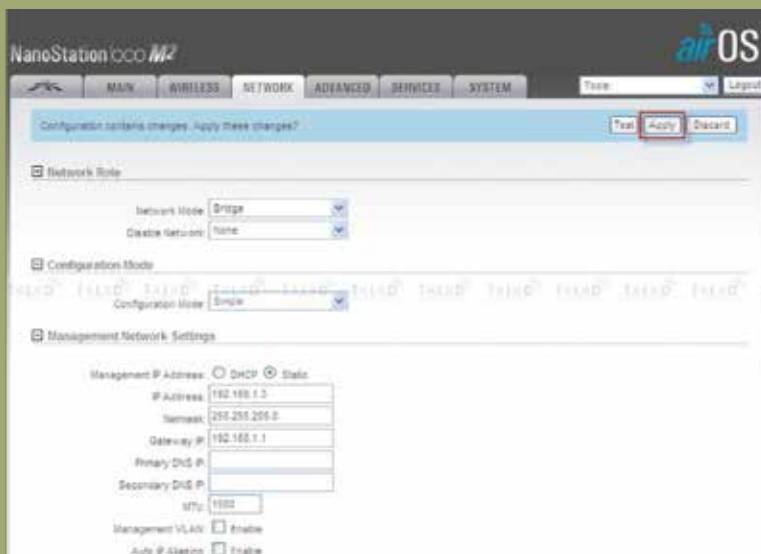
Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.20: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.1.20:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

รูปที่ 3 การทดสอบการเชื่อมต่อ



รูปที่ 4 การกำหนดค่า Access Point (Tab >> WIRELESS)



รูปที่ 5 การกำหนดค่า Station (Tab >> NETWORK)

```

D:\CV\bin\msdn\B2-3D Map Server\Research paper\Report\Documents\Wing2_server.php 27 Nov 2016 15:18

$conf = array(
    'mapTypeId' => google.maps.MapTypeId.WYBRID
);
map = new google.maps.Map(document.getElementById("map"), myOptions);

// For sat image overlay
satOverlay = new google.maps.GroundOverlay('images/wing2.jpg', imageBounds); // specify
image source and boundaries
satOverlay.setMap(map); // add the overlay to the map
}

// For sat image overlay
satOverlay = new google.maps.GroundOverlay('wing2.png', imageBounds); // specify
image source and boundaries
satOverlay = new google.maps.GroundOverlay('wing29.png', imageBounds); // specify image
source and boundaries
satOverlay.setMap(map); // add the overlay to the map
*/
</script>
</p>

// This function selects our camera positions from the database table and call js function
addMarkersCamera to add markers with embedded streaming videos
function placeMarkers($loc_name)
{
    include 'db_connect.php';
    $con = mysql_connect($db_host_name, $db_username, $db_password);
    if (!$con)
    {
        die('Could not connect: ' . mysql_error());
    }
    $db_name = "cortv";
    mysql_select_db($db_name, $con);
    $sql = "select
    cam_id, location_name, ip, address, latitude, longitude, user_name, password, num_channel from
    $table_name";
    mysql_query($sql) or die('Bad query!'.mysql_error());
    $result = mysql_fetch_array($result, MYSQL_ASSOC);
    while($row = mysql_fetch_array($result, MYSQL_ASSOC))
    {
        $id = $row['cam_id'];
        $loc_name = $row['location_name'];
        $ip = $row['ip_address'];
        $latitude = $row['latitude'];
        $longitude = $row['longitude'];
        $cam_user = $row['user_name'];
        $cam_password = $row['password'];
        $num_channel = $row['num_channel'];
        if($latitude != 0)
        {
            //echo
            "addMarkersCamera('$loc_name', '$ip', $latitude, $longitude, '$cam_user', '$cam_password',
            $num_channel, 1)";
            echo "addMarkers('$loc_name', $latitude, $longitude, 'http://' . $ip . '')";
        }
    } // end while
}
echo "<script type='text/javascript'>";
placeMarkers("camera_location");
echo "</script>";

?>
<script type="text/javascript">
//addMarkersUrl('camera', 14.875984, 100.647549, 'http://102.188.1.10')
</script>
</body>
</html>

```

รูปที่ 6 แสดงสคริปต์สำหรับนำภาพถ่ายจากซีซีทีวี แสดงใน Google Earth



รูปที่ 7 ภาพถ่ายทางอากาศที่นำไปไว้บน Google Earth

SELECT *
FROM `camera\_locations`
LIMIT 0, 30

Profiling [Inline] [Edit] [Explain SQL] [Create]

Show : Start row: 0 Number of rows: 30 Headers every: 100 rows

Sort by key: None

Options

	cam_id	location_name	ip_address	latitude	longitude	user_name	password	num_channel
6						wing2	wing2	8
7						admin	wing2	4
8						admin	wing2	4
9						wing2	wing2	3
10						admin	admin	4
11						admin	wing2	8
12						admin	wing2	4
13						admin	wing2	4
14						wing2	wing2	8
15						wing2	wing2	4
16						wing2	wing2	4
17						wing2	wing2	4
18						wing2	wing2	4
19						wing2	wing2	2
20						wing2	wing2	4
21						wing2	wing2	4
22						wing2	wing2	8

Check All With selected: Change Delete Export

Show : Start row: 0 Number of rows: 30 Headers every: 100 rows

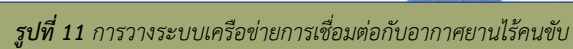
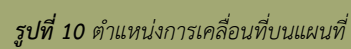
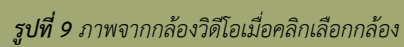
localhost > cctv > camera_locations

Browse Structure SQL Search Insert Export Import Operations Triggers

Column	Type	Function	Null	Value
cam_id	int(11)			7
location_name	varchar(128)			สถานที่ 2
ip_address	varchar(32)			192.168.1.12
latitude	double			14.876062
longitude	double			100.641275
user_name	varchar(32)			admin
password	varchar(32)			wing2
num_channel	int(11)			4

Go

รูปที่ 8 เมนูสำหรับการอัปเดตข้อมูลตำแหน่งของจุดติดตั้งกล้อง





รูปที่ 12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณวิดีโอจากอากาศยานไร้คนขับ



รูปที่ 13 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาครับสัญญาณวิดีโอจากอากาศยานไร้คนขับ



รูปที่ 14 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาครับสัญญาณวิดีโอจากอากาศยานไร้คนขับมายังศูนย์รักษาการณ์