



# วารสารวิชาการ นายเรืออากาศ

RTAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
ปีที่ 7 ฉบับที่ 7 ธันวาคม 2554



## ที่ปรึกษาากิตติมศักดิ์

พล.อ.ท.สุฤษดิ์พงษ์ โกมุทานนท์ .....	ผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศ
พล.อ.ต.วิชน มณีน้อย .....	รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศ
พล.อ.ต.อารมย์ ปักวี .....	รองผู้บัญชาการโรงเรียนนายเรืออากาศ
พล.อ.ต.ชาญฤทธิ์ พลิกานนท์ .....	เสนาธิการโรงเรียนนายเรืออากาศ
พล.อ.ต.อุทิศ ศิริคุปต์.....	ผู้อำนวยการกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ
พล.อ.ต.วิโรจน์ หอมทรัพย์ .....	ศาสตราจารย์กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## กองบรรณาธิการ

### ที่ปรึกษา

น.อ.สะอาด สว่างใส

### บรรณาธิการบริหาร

น.อ.พิทักษ์ คุณขุดทด

### บรรณาธิการ

น.อ.พิชาญ พิชัยณรงค์

## คณะทำงาน

น.อ.หญิง เรวดี นาคพิพัฒน์

น.อ.อุทัย แสงพิทักษ์

น.อ.หญิง กุศยา สุวรรณวิหค

น.อ.สุทธิ ศรีบูรพา

น.ท.ประเมธิน กาพภักดี

ร.อ.หญิง เอมรัตน์ ยี่งพิสุทธิ์

น.ส.ฐิติพร เลาะไธสง

น.อ.บุญเลิศ ปีกขุนทด

น.อ.หญิง กัญจน์นิชา ประเสริฐศรี

น.อ.วัชรินทร์ โกมุลผล

น.อ.อนุรักษ์ โชติดีลิก

ร.อ.หญิง ศรีวรรณ อุดมโกชน

ร.ท.หญิง สายโคภีษฐ์ แยมเกษร

## เจ้าของ

โรงเรียนนายเรืออากาศ 17/17 ถนน พหลโยธิน สายใหม่ กทม. 10220

โทรศัพท์ 02-5345526 02-5343698 โทรสาร 02-5346590

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าในผลงานด้านการวิจัย
3. เพื่อแลกเปลี่ยนแนวความคิด ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านวิชาการและงานวิจัย

## กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 1 ฉบับ (ธันวาคม)

## พลเอกหญิงสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี



เสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตร ในงานวันนิตรรศการวิชาการ รร.จปร. 2553



โดยมีนาวาอากาศเอกสุทธิ ศรีบุรพา ถวายรายงานผลงานวิจัยแท่นบรรายเอนกประสงค์เออร์คอนอมิกส์



การบรรยายพิเศษในงานเปิดโลกทัศน์งานวิจัย

โดย

ผศ.ดร.บุญเหลือ ใจมโน อาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นผู้ให้ความรู้ และกระตุ้นด้านการวิจัย



โครงการส่งเสริมงานวิจัย จัดให้มีการบรรยายพิเศษเรื่องงานวิจัยในยุค IT

โดย

รศ.ดร.วิบูลย์ แสงระวีพันธุ์ศิริ อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นผู้บรรยาย

บรรยากาศในงานวันวิจัย รร.นอ. ในส่วนการแสดงผลงานด้วยโปสเตอร์และชิ้นงาน



โดยมี พลอากาศโทสุฤษดิ์พงษ์ โกมุทานนท์ ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศ และผู้บังคับบัญชาชั้นสูงเข้า  
เยี่ยมชมผลงานวิจัยของนักเรียนนายเรืออากาศ



นักเรียนนายเรืออากาศรายงานผลการวิจัยต่อผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศและคณะ



นักเรียนนายเรืออากาศต่างภาคภูมิใจในผลงานของตน โดยมีผู้บังคับบัญชาให้ความสนใจ

ผลงานด้านอากาศยานของนักเรียนนายเรืออากาศ



แบบจำลองอากาศยานขึ้น – ลงทางคั้งขนาดเล็ก 2 ใบพัด



แบบจำลองพลวัตของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการนายเรืออากาศได้ผ่านการพิจารณาคัดเลือกเข้าสู่ฐานข้อมูล TCI ( Thai Journal Citation Index Centre ) ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทยสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมื่อ เม.ย.2554 แสดงถึงคุณภาพของวารสารวิชาการนายเรืออากาศเป็นแหล่งองค์ความรู้ที่มีมาตรฐานสำหรับผู้สนใจด้านวิชาการ ทำให้นักวิจัยต่างภาคภูมิใจที่ผลงานของตนสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศ และวารสารวิชาการนายเรืออากาศสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของการประกันคุณภาพการศึกษา ตลอดจนเป็นเวทีสำหรับนักวิจัยที่สามารถนำบทความวิจัยมาเผยแพร่ซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิก่อนที่จะทำการตีพิมพ์

วารสารฉบับนี้ภายในเล่มนี้มีบทความที่มีคุณค่ามากมายน่าติดตาม และยังมีบทความวิจัยที่คณาจารย์และนักเรียนนายเรืออากาศได้ศึกษาค้นคว้าวิจัย ซึ่งมีจำนวนมากไม่สามารถนำมาตีพิมพ์ทั้งหมดได้จึงนำมาเสนอเพียงส่วนหนึ่ง ส่วนในหัวข้ออื่นสามารถค้นคว้าจากรายชื่อบทความวิจัยและติดต่อประสานกับผู้วิจัยโดยตรง ส่วนในปีนี้เป็นอีกปีที่เกิดภาวะน้ำท่วมประเทศครั้งใหญ่จึงถึงเวลาที่นักวิจัยต้องจริงจังที่ค้นคว้าเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายและน้ำท่วมครั้งนี้ทำให้การจัดพิมพ์ล่าช้ากว่ากำหนด

วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 7 ซึ่งสำเร็จได้ด้วยความร่วมมือของทุก ๆ ฝ่ายตั้งแต่ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศ เป็นต้นมาและขอกราบขอบพระคุณผู้วิจัยที่ส่งผลงานมาเผยแพร่ ตลอดจนคณะกรรมการที่ช่วยกรุณาตรวจสอบความถูกต้องจนได้บทความที่สมบูรณ์ และปกหน้าหลังวารสารฉบับนี้ถูกออกแบบโดยนักเรียนนายเรืออากาศ สุกกิจ จำปาน้อย ซึ่งแฝงด้วยความหมายต่าง ๆ ที่ผ่านมาและจะก้าวต่อไปวารสารวิชาการนายเรืออากาศได้รับความอนุเคราะห์ด้านงบประมาณในการจัดทำจากกองทุนส่งเสริมการพัฒนางานศึกษา-วิจัย ชุมนุมนายเรืออากาศ ตลอดจนมูลนิธิ พลอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร. พิสุทธิฤทธาคนี ที่ให้การสนับสนุนทำให้สามารถจัดทำวารสารฉบับนี้ขึ้นมาได้ ในนามกองบรรณาธิการขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง และหวังว่าวารสารวิชาการนายเรืออากาศจะเป็นส่วนหนึ่งที่เป็นแหล่งความรู้เพื่อการพัฒนาของประเทศสืบต่อไป

กองบรรณาธิการ

ธ.ค. 2554



## สารบัญ

บทบรรณาธิการ		5
สารบัญ		6
วิกฤตการณ์มฤตยูสีด้าปัญหาความมั่นคงของชาติ	พลอากาศตรี วัชร มณีน้อย	7
การใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ: การวิเคราะห์โครงสร้างงบประมาณและ แนวทางค่าใช้จ่ายของประเทศไทย	เรืออากาศโท ชินวัฒน์ ทรายงูร	16
MODELLING THE EFFECTS OF AIR FLOW, AMBIENT TEMPERATURE AND RADIATIVE BOUNDARY CONDITIONS IN COMPOST PILES	เรืออากาศโทเทียนศิริ เหลืองวิไล	24
การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์	นาวาอากาศเอก.อนูรักษ์ โชติคิลิก	34
แบบจำลองพลวัตของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด	พลอากาศตรี ศ.ดร. วิโรจน์ หอมทรัพย์	39
การเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศในอาคาร การวิจัยและวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารออกจากเครื่องบินภายใต้สถานการณ์ฉุกเฉินโดยใช้โปรแกรมไฟโรซิมส์และพาทไฟน์เดอร์	เรือเอกทินกร หนูเหมือน <sup>1</sup> และคณะ ธนพงษ์ บุญเลี้ยงและคณะ	44
การศึกษาและจำลองพฤติกรรมการลงจอดของชุดขาล้ออากาศยานเบา	วาสนา จันทวงษ์และคณะ	56
การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองอากาศยานจีน - ลงทางดิ่งขนาดเล็ก 2 ใบพัด	นาวาอากาศตรี ดร.ประสาทร วงศ์คำช้าง	61
การศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในเครื่องยนต์เบนซิน	นาวาอากาศเอก ศ.ดร. พิชาญ พิชัยณรงค์	65
การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องจักรในขั้นตอนการล้างคราบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.ของกองโรงงาน สรรพาวุธ 2 กรมสรรพาวุธทหารอากาศ	นาวาอากาศโทปัญญารักษ์ โกศลวัฒน์	69
เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือระบบจีเอสเอ็ม ณ ความถี่ 1800 เมกะเฮิร์ตซ์	นาวาอากาศโท สง่า ศรีศุภปริดา	73
การออกแบบและสร้างแท่นปล่อยอากาศยานไร้คนบังคับขนาดเล็ก	นาวาอากาศตรี สุคนธ์ พันธุเณร	77
ระบบประเมินภาระงานของคณาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ	นาวาอากาศเอก รศ. วิรัตน์ ศิริวัฒน์	81
การศึกษาและออกแบบเชิงหลักการกระบวนการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test	นาวาอากาศโท.ดร. ณัฐพล นิยมไทย	85
การศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการบริหารคุณภาพโดยรวม กรณีศึกษาบริษัทชนะเลิศพัฒนา จำกัด	นาวาอากาศเอก พิทักษ์ ภูมขุนทด	89
การพัฒนาการผลิตคอนกรีตให้มีกำลังอัดตามเป้าหมายแม่นยำสูงในระยะเวลาอันสั้น	นาวาอากาศโท รศ.ดร. ธนากร พิระพันธุ์	93
โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ	นาวาอากาศเอก ผศ.สุชาติ วีรกุลวัฒนา	96
การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติผ้าชุดฝึกของนักเรียนนายร้อย 3 เหล่าทัพ	นาวาอากาศโท กิตติ ศรีนุชศาสตร์	100
งานวิจัยนายเรืออากาศ		104
โครงการคลินิกวิจัยอาจารย์บัณฑิตพยาบาล	นาวาอากาศเอก.อนูรักษ์ โชติคิลิก	108
คำขอบคุณ		112



# วิกฤตการณ์มฤตยูลีค่าปัญหาความมั่นคงของชาติ

โดย พลอากาศตรี วัชร มณีชัย

รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศ

ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เป็นเงินมากกว่าสามแสนล้านบาทต่อปี เราคงไม่อาจปฏิเสธความรับผิดชอบ เรื่องผลกระทบจากการใช้พลังงานที่มีปริมาณสูงมากในแต่ละวัน และพลังงานซึ่งหมายถึง “น้ำมัน” นี้กลายเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของทุกคนและเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาพของสังคมมนุษย์ที่กระตุ้นให้เกิดการบริโภคสินค้าและบริการที่มีต้นทุนมาจากกระบวนการ การใช้พลังงานหรือน้ำมันทั้งสิ้น ทำให้ความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็วขอบเขตในยุคของระบบทุนนิยม หรือ เสรีนิยมกำลังครอบครองโลก ความเจริญทางเศรษฐกิจ สังคม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และภาคอุตสาหกรรม มีผลกระตุ้นการบริโภคพลังงานสูงขึ้นจนทำให้น้ำมัน ซึ่งเป็นวัตถุดิบการผลิตพลังงานกำลังจะหมดไปจากโลกนี้ และสุดท้ายมนุษย์ทุกคนก็จะเป็นผู้รับผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

## แหล่งกำเนิดของพลังงาน

พลังงานที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน อาจแบ่งออกได้เป็น ๒ ประเภทใหญ่ ๆ คือ พลังงานสิ้นเปลือง และพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานสิ้นเปลืองคือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน หินน้ำมัน ทราชน้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ ส่วนพลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ และคลื่น นอกจากนี้พลังงานสามารถแบ่งตามประเภทคุณสมบัติ คือ

**น้ำมันดิบ** เป็นของเหลวข้นสีดำประกอบด้วย สารไฮโดรคาร์บอน กำมะถัน ไนโตรเจน และสารประกอบออกไซด์อื่น ๆ ผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้จากน้ำมันดิบ ได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และยางมะตอย

**ก๊าซธรรมชาติ** ประกอบด้วย สารไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ การใช้ก๊าซธรรมชาติมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากในขบวนการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ จะถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ก๊าซธรรมชาติจะถูกนำไปแยกก่อนการใช้ โดยส่วนที่เป็น ก๊าซมีเทน มักจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนที่เป็นอีเทน และโพรเพน จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และส่วนที่เป็นโพรเพนและบิวเทน จะนำไปใช้เป็นก๊าซหุงต้ม ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม และยานพาหนะ

**ถ่านหิน** คือ หินตะกอนชนิดหนึ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น ๔ ชนิด คือ แอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูมินัส ลิกไนต์ ส่วนใหญ่มีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ

**พลังงานชีวมวล** เป็นพลังงานที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบ รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ เช่น เศษหญ้า ใบไม้ ไม้ ฟืน แกลบ กากอ้อย กากมะพร้าว สาหร่าย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่น ๆ รวมถึงมูลสัตว์ และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางเกษตร นำมาหมักเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (Bio Gas) นำไปใช้ในครัวเรือนหรือนำไปต้มน้ำทำให้เกิดไอน้ำหมกกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้งานต่อไป

**พลังงานน้ำ** เป็นพลังงานที่ได้มาจากแรงอัดคั้นของน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อน น้ำที่ปล่อยไปนี้จะได้รับการทดแทนทุกปีโดยฝนหรือการละลายของหิมะแต่ในการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยต้องสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ต้องมีกรอพยพสัตว์ป่าและชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นทำให้ ชีวิตความเป็นอยู่ และสภาพแวดล้อม บริเวณดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป

**พลังงานลม** เป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่สะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมด เกิดจากการเคลื่อนตัวของอากาศ ถ้าอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะทำให้มีพลังงานมาก นำมาใช้ประโยชน์โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่ากังหันลมเป็นตัวสกัดกั้นพลังงานจลน์ของกระแสลมแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

**พลังงานแสงอาทิตย์** ได้มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อน และการสังเคราะห์แสง หรือโดยผ่านอุปกรณ์รับแสง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

**พลังงานความร้อนใต้พิภพ** เป็นการนำความร้อนที่มีอยู่ใต้พื้นดินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า กลุ่มประเทศที่มีการพัฒนาพลังงานความร้อนใต้พิภพ มาใช้ประโยชน์ อย่างเด่นชัด มักเป็นกลุ่มประเทศ ที่มีสภาพทางธรณีวิทยา เอื้ออำนวยต่อศักยภาพ ทางพลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งได้แก่ บริเวณที่เปลือกโลกมีการเคลื่อนไหว และมีแนวของภูเขาไฟอย่างต่อเนื่อง เช่น ประเทศอิตาลี ไอซ์แลนด์ สหรัฐอเมริกา (แถบตะวันตก) เม็กซิโก ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย นิวซีแลนด์ เป็นต้น

**พลังงานนิวเคลียร์** เป็นพลังงานที่ได้มาจากการปฏิกิริยานิวเคลียร์ ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของนิวเคลียสของธาตุเชื้อเพลิง เช่น ยูเรเนียม และให้พลังงานความร้อนมหาศาล จึงใช้ในการผลิตไฟฟ้า แต่ปฏิกิริยานิวเคลียร์ มีปัญหาเรื่องการกำจัดกากนิวเคลียร์ และของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เนื่องจากสารเหล่านี้มีค่าทางรังสีสูงมาก และจะคงสภาพอยู่เป็นเวลานานนับพันล้านปี

**พลังงานจากขยะ** เป็นการนำขยะของเสียของใช้แล้วจากบ้านเรือน สามารถนำกลับมาทำเป็นเชื้อเพลิง ในโรงไฟฟ้าที่ออกแบบใช้ขยะเป็นเชื้อเพลิง โดยนำขยะมาเผาบนตระแกรง ทำให้เกิดความร้อนแล้ว นำไปต้มน้ำในหม้อน้ำทำให้เกิดไอน้ำเพื่อค่นำไปหมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้พลังงานไฟฟ้าไปใช้ต่อไป

## วิกฤตการณ์พลังงานของโลก

หลังสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่สอง ประเทศอิสราเอลได้ประกาศจัดตั้งขึ้นเมื่อวันที่ ๑๔ พฤษภาคม ๒๕๕๑ โดยได้นำดินแดนบางส่วนของปาเลสไตน์ (Palestine) แต่ไม่ได้รับความเห็นชอบจากกลุ่มประเทศอาหรับ จึงมีการโจมตีอย่างหนักในแถบชายแดนของประเทศอิสราเอลบ่อยครั้ง จนในช่วงปีพ.ศ.๒๕๕๒ กลายเป็นสงครามเต็มรูปแบบที่รู้จักกันในชื่อ Suez-Sinai War หรือสงครามแห่งคลองสุเอซและแหลมไซไน ต่อมาในปีพ.ศ.๒๕๖๐ กองกำลังอาหรับได้ทำการรบโจมตีแถบชายแดนของอิสราเอลอีกและอิสราเอลได้รับชัยชนะใน “สงครามหกวัน” ทำให้อิสราเอลได้ดินแดนเพิ่มขึ้นจากประเทศกลุ่มอาหรับคือ ซีเรีย จอร์แดน และอิยิปต์ ประกอบไปด้วย พื้นที่บริเวณฉนวนกาซ่า แหลมไซไน ที่ราบสูงโกราน พื้นที่ด้านตะวันออกของกรุงเยรูซาเล็ม และเขต West bank

จากนั้นในปีพ.ศ.๒๕๖๖ กลุ่มอาหรับได้พยายามรุกอีกครั้งโดยการบุกเข้าไปใน Yom-Kippur ซึ่งถือเป็นพื้นที่ศักดิ์สิทธิ์ทางศาสนาของชาวยิว แต่ก็ต้องพ่ายแพ้ต่ออิสราเอล สงครามครั้งนี้ทำให้กลุ่มประเทศอาหรับต้องการได้ตอบประเทศตะวันตกที่ให้การสนับสนุนต่ออิสราเอล โดยเปลี่ยนแนวทางจากเดิมที่ใช้อาวุธสงคราม มาใช้น้ำมันดิบ เป็นอาวุธในการต่อสู้แทน ซึ่งถือว่าเป็น วิกฤตการณ์น้ำมันครั้งแรก โดยกลุ่มประเทศผู้ส่งออกน้ำมัน OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) ซึ่งประกอบไปด้วย ๑๑ ประเทศ โดยมี ซาอุดีอาระเบีย อิรัก และคูเวต เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ ได้ใช้มาตรการแก้เผ็ดแก่ประเทศตะวันตก โดยการประกาศยกเลิกการส่งออกน้ำมันที่จะนำไปจำหน่ายให้กับประเทศสหรัฐอเมริกาและเนเธอร์แลนด์ เริ่มตั้งแต่วันที่ ๑๗ ตุลาคม ๒๕๖๖ และกลุ่มประเทศอาหรับใน โอเปก ได้ลดกำลังการผลิตของตนเองลงถึง ๒๕ เปอร์เซ็นต์ จากนั้นตามด้วยการคว่ำบาตรน้ำมันไปยังประเทศอัฟริกาใต้ โรดีเซีย และ โปรตุเกส เพื่อกดดันให้กลุ่มประเทศมหาอำนาจตะวันตกไปผลักดันให้อิสราเอล ถอนกำลังออกจากเขตดินแดนยึดครอง ที่เคยเป็นของกลุ่มประเทศอาหรับมาก่อน จากผลของการประกาศงดการส่งน้ำมันจากกลุ่มประเทศอาหรับในครั้งนี้ ทำให้ราคาน้ำมันใน

ตลาดโลกสูงขึ้นทันที อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อไปถึงราคาของเชื้อเพลิงชนิดอื่น รวมไปถึงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าและภาคอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันครั้งแรก (The 1973 or first oil crisis) แม้ว่าความขัดแย้งระหว่างประเทศอิสราเอลและกลุ่มประเทศอาหรับจะคลี่คลายลงบ้างในเวลาต่อมา โดยความช่วยเหลือและไกล่เกลี่ยจากสหรัฐ แต่ทว่าผลกระทบจากวิกฤตการณ์น้ำมันครั้งนี้ได้ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจเกินความคาดหมาย ทำให้ราคาของน้ำมันได้พุ่งสูงขึ้น ๓-๔ เท่า และเกิดการขาดแคลนน้ำมันอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มประเทศยุโรปตะวันตก และสหรัฐอเมริกา ส่งผลกระทบต่อทุกภาคการผลิต นอกเหนือไปจากปัจจัยด้าน ทุน แรงงาน และวัตถุดิบ แต่หลังจากสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ ๒ เศรษฐกิจได้เริ่มชะลอตัวลงเนื่องจากวิกฤตการณ์ครั้งนี้ เงินเฟ้อมีค่าสูงขึ้นกว่า ๑๐ เปอร์เซ็นต์ พร้อมกับจำนวนคนว่างงานที่สูงขึ้นมากอีกด้วย ระยะเวลาที่สหรัฐอเมริกาประสบวิกฤตการณ์น้ำมันนั้น สถานีบริการน้ำมันมีน้ำมันเหลือน้อย ผู้คนต้องเข้าแถวยาวและต้องรอกว่า ๒-๓ ชั่วโมง เพื่อจะเข้าไปเติมน้ำมัน จนเกิดเป็นวลีที่ว่า “Long lines at the gas pump” และส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำมันของสหรัฐในภาพรวมลดลงกว่า ๒๐ เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เยอรมันได้เริ่มห้ามการใช้น้ำมันดิบบนทางหลวงในวันอาทิตย์ ประเทศในกลุ่มยุโรปต่างเพิ่มอัตราภาษีน้ำมัน ๑๕ เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้ราคาน้ำมันสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์ รวมถึงการพยายามค้นหาแหล่งน้ำมันดิบใหม่ในทะเลเหนือ ซึ่งต่อมาแหล่งน้ำมันนี้สามารถสร้างผลประโยชน์ต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ สก๊อตแลนด์และ นอร์เวย์ เนื่องจากการขาดแคลนน้ำมันอย่างเฉียบพลัน ทำให้รัฐบาลสหรัฐต้องกำหนดมาตรการควบคุมราคาจำหน่ายน้ำมัน มาตรการปันส่วนน้ำมัน (Rationing of petrol) และมาตรการอื่น ๆ หลายอย่างได้ถูกนำมาใช้

วิกฤตการณ์น้ำมันครั้งที่สอง ในปี ๒๕๒๒ ได้เกิดเหตุการณ์ในภูมิภาคตะวันออกกลาง คือการปฏิวัติอิสลามในประเทศอิหร่าน ซึ่งถือเป็นหนึ่งในผู้ผลิตน้ำมันรายใหญ่ของโลก การปฏิวัติที่โค่นล้มระบอบการปกครองระบอบกษัตริย์ (พระเจ้าซาร์แห่งอิหร่าน) โดยการนำของผู้นำทางศาสนา และจิตวิญญาณที่ชื่อ อิมาม์ อาятоลลาห์ โคมินิ ได้ส่งผลให้ภาคการผลิตน้ำมันของประเทศอิหร่านเกิดการสะดุดตัวลงกว่า ๓.๕ ล้านบาร์เรลต่อวัน แม้ว่าประเทศอื่นในกลุ่ม OPEC พยายามที่จะผลิตเพิ่มเพื่อชดเชยปริมาณที่ขาดหายไปทำให้ปริมาณการผลิตรวมลดต่ำลงมาก ส่งผลทำให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกสูงขึ้นเป็นสองเท่า กลายเป็นวิกฤตการณ์น้ำมันครั้งที่สอง (The 1979 or second oil crisis) ทำให้เกิดการค้นคว้าวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีด้านการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานหมุนเวียนเต็มรูปแบบอย่างจริงจัง ซึ่งวิกฤตการณ์ครั้งที่สองนี้ หลายประเทศเชื่อว่าบริษัทน้ำมันได้พยายามสร้างสถานการณ์ขาดแคลนน้ำมัน เพื่อให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกมีค่าสูงขึ้น มากกว่าที่จะเป็นการขาดแคลนน้ำมันอย่างแท้จริง และปี พ.ศ. ๒๕๒๑ กองทัพอิรักโดยการนำของประธานาธิบดี ซัดดัม ฮุสเซน ได้นำกองทัพรุกเข้าไปยังประเทศอิหร่านทำให้ประชาชนชาวเคิร์ด ลี้ภัยตายกว่า ๕,๐๐๐ คน ส่งผลให้เกิดสงครามอิรัก-อิหร่าน ทำให้การผลิตน้ำมันของทั้งสองประเทศลดลง และส่งผลกระทบต่อไปยังการผลิตน้ำมันของโลก โดยในช่วงต้นปี พ.ศ. ๒๕๒๔ พบว่าปริมาณการผลิตน้ำมันของประเทศในกลุ่ม OPEC ได้ลดลงเหลือ ๑ ใน ๔ ของปริมาณการผลิต ส่งผลให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นสองเท่า หลังจากนั้นปี พ.ศ. ๒๕๒๘ กลุ่มประเทศ OPEC ได้ตกลงที่จะลดการผลิตน้ำมันลงเพื่อรักษาระดับราคาของน้ำมันให้สูงอยู่ตลอดเวลา โดยประเทศซาอุดีอาระเบียซึ่งเป็นประเทศผู้ผลิตน้ำมันรายใหญ่ของกลุ่ม OPEC ได้ทำหน้าที่คล้ายกับ Swing producer ที่ยอมลดการผลิตน้ำมันของประเทศตนเองเพื่อรักษาระดับปริมาณการผลิตของกลุ่มให้ต่ำลงตามที่ได้ตกลงกันไว้ วิกฤตการณ์น้ำมันครั้งที่สองนี้ได้ค่อย ๆ คลายตัวลงเมื่อซาอุดีอาระเบียได้เริ่มที่ผลิตน้ำมันมากขึ้นจนกระทั่งในช่วงปี พ.ศ. ๒๕๓๑-๓๔ โลกได้เผชิญกับวิกฤตการณ์น้ำมันอีก เมื่ออิรักได้ยุติสงครามกับอิหร่าน แต่กลับนำกำลังทหารรุกไปยังประเทศคูเวต เกิดสงครามอ่าวเปอร์เซียในวันที่ ๒ สิงหาคม ๒๕๓๑ โดยอ้างถึงการปกครองในอดีตว่า คูเวตเคยเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศอิรักมาก่อน ส่งผลให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกขยับสูงขึ้นจาก ๑๖ เหรียญมาเป็น ๓๖ เหรียญสหรัฐต่อบาร์เรลทันที แม้ว่าเหตุการณ์นี้จะเกิดในระยะเวลาสั้นเนื่องจากกองกำลังของสหประชาชาติ โดยการนำของสหรัฐอเมริกา ได้เข้ามาช่วยปลดปล่อยคูเวตจากอิรัก ทำให้ราคาน้ำมันกลับมาสู่ภาวะปกติอีกครั้ง อนึ่งจากสงครามและความขัดแย้งในกลุ่มประเทศแถบตะวันออกกลางช่วงปี พ.ศ. ๒๕๔๐ - ๕๓ ทำให้

ประเทศมหาอำนาจ ได้แก่ สหรัฐฯ ฝรั่งเศส อังกฤษ เข้าไปมีบทบาทแทรกแซงทางการเมือง รวมถึงการที่รัฐเซียและจีน พยายามสร้างอิทธิพลและบทบาทของตนในกลุ่มประเทศอาหรับด้วย อีกทั้งความขัดแย้งของประชาชนที่นับถือศาสนา อิสลามนิกายซุนนีและนิกายซุนนีย์ การเกิดกลุ่มขบวนการก่อการร้าย Al-Qaida และกลุ่มนักบดขยี้ การเกิดสงคราม ภายในประเทศอิรัก และประเทศลิเบีย เหตุการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนมีผลกระทบทำให้กลุ่ม OPEC ประกาศขึ้นราคาน้ำมัน ทั่วโลกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

จากสิ่งที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าราคาน้ำมันในตลาดโลก ส่งผลกระทบต่ออย่างใหญ่หลวง ต่อระบบเศรษฐกิจโลก และส่วนใหญ่เกิดขึ้นในภูมิภาคตะวันออกกลางแทบทั้งสิ้น จึงทำให้ทุกประเทศต่างเห็นพ้องกันว่า เพื่อความปลอดภัยด้านพลังงาน ของโลก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากจุดยุทธศาสตร์เพียงจุดเดียวของโลก โดยพยายามให้มีการ กระจายแหล่งผลิตน้ำมัน ในหลากหลายภูมิภาคมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัตินั้นอาจทำได้ยากเนื่องจากในปัจจุบันนี้ ปริมาณการผลิต และแหล่งส่งออกน้ำมันของโลก ยังคงมาจากแถบตะวันออกกลาง เป็นส่วนใหญ่นั่นเอง

### วิกฤตการณ์พลังงานของประเทศไทย

ประเทศไทยประสบปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันในปี พ.ศ. ๒๕๑๖ เช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ รัฐบาลจึงได้ออก พระราชกำหนดแก้ไขและป้องกันภาวะการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. ๒๕๑๖ ขึ้นโดยให้อำนาจนายกรัฐมนตรีในการ กำหนดมาตรการแก้ไขและป้องกันการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ในช่วงปี พ.ศ. ๒๕๒๑ – ๒๓ ประเทศไทยต้องนำเข้า พลังงานจากต่างประเทศสูงถึงร้อยละ ๘๐ ของความต้องการพลังงานทั้งประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งสำรอง พลังงานไม่มากนัก อย่างไรก็ตามในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ ๖ พ.ศ. ๒๕๒๕ – ๓๑ รัฐบาลได้กำหนด เป้าหมายในการลดสัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศลงเหลือเพียงร้อยละ ๖๕.๕ และต้องเร่งดำเนินมาตรการประหยัด พลังงานอย่างจริงจัง โดยการยกร่างกฎหมายเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมีการตราพระราชบัญญัติ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ และจัดตั้งสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้เกิดวินัยในการ อนุรักษ์พลังงาน และให้มีการดำเนินการลงทุนในการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานและอาคาร ครั้นปี พ.ศ. ๒๕๔๐ เศรษฐกิจ ไทยเผชิญกับปัญหาขึ้นวิกฤตโดยชะลอตัวลงอย่างมาก ส่งผลให้ความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ ๔.๕ ภาวะวิกฤตเศรษฐกิจได้ต่อเนื่องมาจนถึงปี พ.ศ. ๒๕๔๑ ทำให้ความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ลดลงถึงร้อยละ ๗.๑ และ สัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศลดลงเหลือร้อยละ ๕๗.๑ และในปีพ.ศ. ๒๕๔๒ ประเทศไทยได้รับผลกระทบ จากวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น จากการลดปริมาณการผลิตของกลุ่ม OPEC ในขณะที่ความต้องการใช้น้ำมันใน ตลาดโลกได้ปรับตัวสูงขึ้น รัฐจึงมีนโยบายให้มีการปรับเปลี่ยนการใช้น้ำมันมาเป็นก๊าซธรรมชาติมากขึ้น และเร่งรัดการ ดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นรูปธรรม เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในสถานะเป็นประเทศผู้นำเข้าพลังงาน ดังนั้นความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Security) จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อนโยบายเศรษฐกิจของประเทศ การเกิด วิกฤตการณ์น้ำมันทั้งการขาดแคลนและราคาที่สูงขึ้นเป็นบทเรียนที่ประเทศไทยต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาพลังงาน ของประเทศให้เป็นที่ไปอย่างยั่งยืน โดยมีมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้ง การปรับเปลี่ยนพลังงานด้วยการลดการใช้น้ำมันลง และเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติและพลังงานหมุนเวียนให้มากขึ้น จึงจะ มีส่วนช่วยเสริมการแก้ไขปัญหาการพัฒนาพลังงานของประเทศ ให้เป็นที่ไปอย่างยั่งยืนได้

### โครงการพระราชดำริกับการพัฒนาพลังงานทดแทน

ตั้งแต่ประเทศไทยเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำมันอย่างหนักในปี พ.ศ. ๒๕๑๖ จนทำให้เกิดความเดือดร้อนไปทั่ว ภูมิภาคของไทย พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงมีพระราชดำริให้ทุกภาคส่วนราชการดำเนินการคิดค้นหาทางพัฒนา

พลังงานทดแทนและได้ทรงริเริ่มเรื่องพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ ผ่านโครงการส่วนพระองค์ เพื่อให้ผู้อื่นได้ตามรอย พระยุคลบาท เนื่องจากทรงคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าว่าในอนาคตต้องเกิดปัญหาเกี่ยวกับพลังงานแน่นอน ทรงมีพระราชดำรัส เกี่ยวกับพลังงานทดแทนว่า “...ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงหมดแล้ว ก็ใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่นได้ตามที่มี แต่ต้องขยันหาวิธีที่ทำให้ เชื้อเพลิงเกิดใหม่...” มีหลายวิธีที่ทรงศึกษา เช่นทรงติดตั้งกังหันลมไว้ที่พระตำหนักต่าง ๆ หลายแห่งอาทิ สวนจิตรลดา ฯ พระราชวังดุสิต และวังไกลกังวล หัวหิน ทรงประดิษฐ์ก้อนถ่านโดยนำ“แกลบ” ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาอัดเป็นก้อนเพื่อ ใช้เป็นเชื้อเพลิง ในเรื่องเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันนั้น ได้พระราชทานพระราชดำริให้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ดำเนินการ ศึกษาเกี่ยวกับหินน้ำมัน และพระราชทานคำแนะนำแก่คณะสาธารณสุข มหาวิทยาลัยมหิดลให้ศึกษาเรื่องพลังงาน จากก๊าซชีวภาพ เพื่อที่จะนำมาทดแทนน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้แทนน้ำมัน ดีเซล และการผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งหมายถึงเอทิลแอลกอฮอล์ หรือเอทานอลจากอ้อยเพื่อใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินใน อัตราส่วนเอทานอลต่อเบนซินเท่ากับ ๑ : ๔ เชื้อเพลิงผสมที่ได้เรียกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ นั้น สะท้อนให้เห็นถึงพระอัจฉริยภาพในพระวิสัยทัศน์ที่กว้างไกล และด้วยพระวิริยะอุตสาหะในการวิจัยค้นหาพลังงาน ทดแทนโดยใช้วัสดุเกษตรกรรมภายในประเทศให้เกิดประโยชน์ แม้ว่าในระยะเริ่มต้นจะมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงและ ภาคเอกชนจะไม่สนใจลงทุนก็ไม่ทรงท้อแท้พระราชหฤทัย โดยได้พระราชทานเงินทุนวิจัยครั้งแรกเป็นจำนวนเงิน ๕๒๕,๕๐๐ บาท ในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาเพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์จากอ้อยเป็นต้นมา เมื่อปี พ.ศ.๒๕๒๘ ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิจัยทดลองผลิตน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ (R.B.D.palm olein) และสร้างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ที่สหกรณ์นิคมอ่าวลึก จังหวัดกระบี่ โดยมีกำลังผลิตวันละ ๑๑๐ ลิตร และที่ศูนย์การศึกษาการพัฒนาพิกุลทอง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนราธิวาส ทดลองนำน้ำมันที่สกัด จากผลปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ นำมาทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีระบบส่งน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบหัวฉีดน้ำมัน จากการ วิจัยนี้ พบว่าไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล และทดลองใช้น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. ๒๕๔๓ โดยทดลองใช้กับรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซลของกองงานส่วน พระองค์ ที่วังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และวันที่ ๑๐ พ.ย. ๒๕๔๓ ทรงรับสั่งแก่ นายชวน หลีกภัย นายกรัฐมนตรีในขณะนั้นว่าทรงมีพระราชประสงค์จะให้รัฐบาลริเริ่มโครงการแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพ เพื่อทดแทนน้ำมันที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลในประเทศต่อไป จากผลสำเร็จดังกล่าว วันที่ ๕ เมษายน พ.ศ. ๒๕๔๔ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้นายอำพล เสนาณรงค์ องคมนตรี เป็นผู้แทนพระองค์ ยื่นจด สิทธิบัตร ณ กรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ในพระปรมาภิไธยของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ในชื่อผลงาน การประดิษฐ์คือ "การใช้น้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล" สิทธิบัตรเลขที่ ๑๐๗๖๔ และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติได้จัดส่งผลงานในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ไปร่วมแสดงในงานนิทรรศการ สิ่งประดิษฐ์นานาชาติชื่องาน "BRUSSELS EUREKA 2001" ณ กรุงบรัสเซลส์ ประเทศเบลเยียม ด้วยพระอัจฉริยภาพและ พระปรีชาสามารถในการประดิษฐ์คิดค้นของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ส่งผลให้ผลงานการคิดค้น ๑ ผลงานของ พระองค์ คือ เกษตรทฤษฎีใหม่ โครงการฝนหลวง และโครงการน้ำมันไบโอดีเซลสูตรสกัดจากน้ำมันปาล์มได้รับเหรียญ ทอง ประกาศนียบัตร สดุดีเทิดพระเกียรติคุณ พร้อมด้วยรางวัลจากงานดังกล่าว นำมาซึ่งความปลาบปลื้มปีติยินดีแก่ ประชาชนชาวไทยทั้งมวล

#### การพัฒนาน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานจากพลังงานทดแทน

การพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน โดยผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และชีวมวล ด้วยปฏิกิริยา ฟิชเชอร์-ทรอปซ์ (Fisher-Tropsch) รวมทั้งใช้เทคโนโลยีอื่น มีหลายประเทศให้

ความสำคัญกับงานการวิจัยและพัฒนาการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานจากพลังงานทดแทน ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้ต้องมีคุณลักษณะเฉพาะ มีความโดดเด่นสูงในด้านสมรรถนะและต้องให้เกิดความปลอดภัยในการบินสูงด้วย

จากการประชุมเชิงปฏิบัติการ ICAO Alternative Fuels Workshop โดย Federal Aviation Administration เมื่อ ๑๑ ก.พ.๒๕๕๒ เพื่อพิจารณาหาพลังงานทดแทนในลักษณะที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ของอากาศยาน สรุปได้ว่า น้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานจากพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพ จะใช้เทคโนโลยีในการผลิต ๔ วิธีการดังนี้ ประการแรกการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ ฟิชเชอร์-ทรอปซ์ (Fischer-Tropsch Process) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่มีสารตั้งต้นคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งได้จากการสังเคราะห์และอยู่ในรูปของก๊าซ เรียกว่า synthesis gas หรือ syngas กระบวนการ ฟิชเชอร์-ทรอปซ์ เกิดขึ้นได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มักนิยมใช้กัน ได้แก่ เหล็กและโคบอลต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบของคาร์บอน และไฮโดรเจนเรียกว่า สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำมันดิบสังเคราะห์ (Syn-Crude) โดยเมื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพ ก็จะทำให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับอากาศยานในที่สุด ประการที่สอง การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของพลังงานเชื้อเพลิงหมุนเวียนกลุ่มน้ำมันจากพืช (Hydro-treated Renewable Jet fuel, HRJ from Plant Oil) ประการที่สาม การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแตกตัวไฮโดรเจนของพลังงานเชื้อเพลิงหมุนเวียนกลุ่มน้ำมันจากสาหร่าย (Hydro-treated Renewable Jet fuel, HRJ from Algae) และประการที่สี่ การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Metabolic มีการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยานแบบฟิชเชอร์-ทรอปซ์ ได้ผลิตและทดสอบการใช้งานกับอากาศยาน โดยสายการบิน British Airways ให้การสนับสนุน และมีจัดตั้งโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพกับบริษัทพลังงานกลุ่ม Solena Group ใน Washington ประเทศสหรัฐอเมริกา และมีโครงการตั้งโรงงานแห่งใหม่ทางตะวันออกเฉียงกลางของกรุงลอนดอน ประเทศสหราชอาณาจักร โดยจะใช้ขยะชีวภาพซึ่งปกติต้องฝังกลบ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง โรงงานนี้จะผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับอากาศยานได้ประมาณ ๑๑ ล้านลิตรต่อปีด้วยการเปลี่ยนสภาพขยะเป็นก๊าซภายใต้ความร้อนสูง ผ่านขบวนการฟิชเชอร์-ทรอปซ์ เปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวไฮโดรคาร์บอน ทำให้ได้น้ำมันดิบที่เรียกว่า Naphtha สายการบิน British Airways ต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ผลิตจากโรงงานแห่งนี้ และมีแผนที่จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแบบนี้กับเครื่องบินของสายการบินตั้งแต่ปีพ.ศ.๒๕๕๗ เป็นต้นไป ปัจจุบันมีการผลิตน้ำมันสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการฟิชเชอร์-ทรอปซ์ ในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ บริษัท Salso และบริษัท Petroleum, Oil & Gas ในประเทศแอฟริกาใต้ ใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการ ฟิชเชอร์-ทรอปซ์ (Coal to Liquid, CTL), บริษัท Shell Middle Distillates Synthesis สาขาในประเทศมาเลเซีย และยังมีการลงทุนระหว่างบริษัท Nigerian National Petroleum และบริษัท Chevron สร้างโรงงานผลิตที่ประเทศไนจีเรีย โดยใช้ Sasol's technology, บริษัท Syntroleum Corporation ในรัฐ Oklahoma ประเทศสหรัฐอเมริกาผลิตน้ำมันอากาศยานสังเคราะห์สำหรับทดลองการใช้งานกับยุทธภัณฑ์ของกองทัพสหรัฐอเมริกา ภายใต้ชื่อผลิตภัณฑ์คือ S-8 Synthetic Jet Fuel โรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการ ฟิชเชอร์-ทรอปซ์ ในเชิงพาณิชย์

### นโยบายความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทย

การจัดหาพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการของประเทศ ด้วยการส่งเสริมให้มีการสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานภายในประเทศ พร้อมทั้งแสวงหาแหล่งพลังงานจากภายนอกประเทศเพื่อพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์ โดยมีหลักการดังนี้ ประการแรกต้องมีแหล่งสำรองพลังงานที่มีปริมาณเพียงพอและแน่นอน เพื่อความมั่นคงในการจัดหา ประการที่สองต้องมีการกระจายแหล่งของพลังงานและชนิดของพลังงานเพื่อลดความเสี่ยงโดยหลีกเลี่ยงการพึ่งพาจากแหล่งเดียวหรือชนิดเดียว ประการที่สามต้องมีราคาที่เหมาะสม เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำ ประการที่สี่ต้องเป็นพลังงานที่สะอาด ก่อให้เกิดมลพิษน้อย หรืออาจจะเป็นพลังงานที่ไม่สะอาด แต่มีเทคโนโลยีที่ควบคุมมลพิษได้ และประการที่ห้าต้องใช้ทรัพยากรพลังงานภายในประเทศ ที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เหมาะสมกับคุณค่าของทรัพยากร จากแนวโน้มของระบบ

เศรษฐกิจโลกที่มีการเปิดเสรีมากขึ้นทำให้มีการขยายตลาดการค้าและบริการออกไปทั่วโลก ส่งผลให้มีการรวมกลุ่มทางเศรษฐกิจในระดับภูมิภาคและอนุภูมิภาคเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อร่วมมือกันพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลก เช่น กลุ่มเอเปก กลุ่มอาเซียน กลุ่มประชาคมยุโรป เป็นต้น การเปิดเสรีตลาดพลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการขยายตลาดการค้าและบริการ ในขณะที่เดียวกันก็เป็นส่วนหนึ่งในการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของกลุ่มองค์กรที่มีความร่วมมือกัน ดังนั้นแนวโน้มการเปิดเสรีตลาดพลังงานจึงเป็นไปได้มากกว่าการให้ความสำคัญกับความมั่นคงด้านพลังงาน การอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การส่งเสริมการแข่งขัน และการปกป้องดูแลทางด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยในการพิจารณาเลือกใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันเราต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศถึงร้อยละ ๖๐ ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด และก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ดังนั้นการพิจารณาเกี่ยวกับการเลือกใช้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมของประเทศ จะต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญหลายประการในการเลือกใช้เชื้อเพลิงได้แก่ ชนิดของเชื้อเพลิง การกระจายของแหล่งเชื้อเพลิง ราคาและต้นทุนในการผลิต ความมั่นคงในการจัดหาแหล่งพลังงาน ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพของทรัพยากร ซึ่งการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ ต้องใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด และหากพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่ทั่วโลกนั้น ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสำรองมากกว่าก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน กล่าวคือ หากมีการใช้ถ่านหินในระดับปัจจุบันและไม่มีการค้นพบเพิ่มเติม โลกเราสามารถใช้อ่านหินต่อไปได้อีกถึง ๒๒๐ ปี ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติมีเหลือใช้ได้ ๖๔ ปี ส่วนน้ำมันนั้นมีเหลือใช้อีกเพียง ๔๒ ปี เท่านั้น แต่ปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้พลังงานยังมีตัวแปรอีกหลายประการ เช่น ประเภทอุตสาหกรรม ชนิดของเครื่องจักรกล ระบบการขนส่ง นโยบายการเมือง ภาวะสงครามของโลก ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความเชื่อและขนบธรรมเนียมประเพณี วัฒนธรรมของประเทศ เป็นต้น

#### นโยบายกองทัพอากาศที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน

นโยบายผู้บัญชาการทหารอากาศ พ.ศ.๒๕๕๔ ด้านการวิจัยและพัฒนา นอกจากจะส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อพัฒนายุทธโศปกรณ์หลัก เช่น ระบบเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี (TDL) ระบบอุปกรณ์ตรวจจับและเฝ้าตรวจ (Sensor) และระบบอาวุธประเภท Stand off แล้ว ยังมีนโยบายส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมที่สนับสนุนการปฏิบัติการหลักของกองทัพอากาศ (Core Function) อาทิ พลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายด้านส่งกำลังบำรุง โดยมีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานสำรองทั้งในยามปกติและยามขาดแคลนพลังงาน รวมทั้งมุ่งเน้นการอนุรักษ์พลังงานทุกรูปแบบ จะเห็นได้ว่า พลังงานทางเลือก หรือพลังงานทดแทนนั้น มีความสำคัญมาก เนื่องจากการปริมาณการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงสำหรับอากาศยานของกองทัพอากาศที่ผ่านมานับได้ว่ามีความสิ้นเปลืองสูงเมื่อพิจารณางบประมาณกองทัพอากาศ ปี ๕๓ ที่ต้องจัดซื้อเชื้อเพลิงสำหรับอากาศยานเป็นวงเงินรวมประมาณ ๒,๐๐๐ ล้านบาท และค่าเชื้อเพลิงภาคพื้นประมาณ ๔๕๐ ล้านบาท โดยค่าใช้จ่ายในการจัดหาเชื้อเพลิงในแต่ละปีใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น การใช้เชื้อเพลิงสำหรับอากาศยานนอกจากจะใช้งบประมาณจำนวนมากแล้ว ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อธรรมชาติและสภาพแวดล้อมหลายอย่าง เช่น การเกิดมลภาวะทางเสียง มลภาวะทางอากาศ โดยการปล่อยก๊าซพิษได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ จะทำให้เกิดเป็นภาวะโลกร้อนนับเป็นปัญหาสำคัญที่กองทัพต้องพิจารณาหาทางแก้ไขด้วย

### การเตรียมการของกองทัพอากาศเพื่อรองรับสถานการณ์น้ำมันขาดแคลน

จากข้อมูลทางวิชาการเรื่องพลังงานที่ระบุถึงปริมาณทรัพยากรที่จะนำไปใช้พลังงานว่า ถ่านหินจะมีใช้ต่อไปได้อีกถึง ๒๒๐ ปี ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติมีเหลือใช้ได้ ๖๔ ปี และน้ำมันนั้นมีเหลือใช้ก็เพียง ๔๒ ปีเท่านั้น คำถามที่ว่า “กองทัพอากาศมีการเตรียมการอย่างไรเพื่อรองรับสถานการณ์น้ำมันขาดแคลน” ในทัศนะของผู้เขียนเห็นว่า กองทัพอากาศควรมีการเตรียมการดังนี้

๑. กองทัพอากาศควรกำหนดนโยบายเรื่องการจัดค้นพลังงานทดแทนน้ำมันในระยะยาว
๒. ส่งเสริมการวิจัยเพื่อพัฒนาขุทโธปกรณ์และอากาศยานที่มีอยู่เดิม ให้สามารถใช้กับพลังงานทดแทนได้
๓. การจัดหาอากาศยานประจำการในอนาคต ต้องเป็นแบบประหยัดพลังงานและสามารถใช้กับพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles : UAV)
๔. ส่งเสริมให้มีโครงการวิจัยพัฒนา และจัดหาพลังงานทดแทน เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน เช่น
  - ๔.๑ การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ ฟิชเชอร์-ทรอปซ์
  - ๔.๒ การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของพลังงานเชื้อเพลิงหมุนเวียนกลุ่มน้ำมันจากพืช (Hydro-treated Renewable Jet fuel, HRJ from Plant Oil)
  - ๔.๓ การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของพลังงานเชื้อเพลิงหมุนเวียนกลุ่มน้ำมันจากสาหร่าย (Hydro-treated Renewable Jet fuel, HRJ from Algae)
  - ๔.๔ การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Metabolic
  - ๔.๕ การวิจัยและพัฒนาพลังงานเชื้อเพลิงไฮโดรเจน
๕. ควรมีการพัฒนาและส่งเสริมบุคลากรให้มีความรู้ด้านพลังงานทดแทน
๖. รมรณรงค์เสริมสร้างจิตสำนึก ข้าราชการและบุคลากรของกองทัพอากาศ ให้ตระหนักถึงความรับผิดชอบเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานในชีวิตประจำวัน

### สรุป

วิกฤตการณ์ที่เกิดขึ้นจากการขาดแคลนพลังงานซึ่งหมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงอันส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตของประชาชน และกระทบต่อความมั่นคงของชาติ ซึ่งทุกคนจะต้องตระหนักและร่วมมือกันหาหนทางเพื่อประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง พร้อมกับพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่ต่าง ๆ มาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงที่กำลังจะหมดไปจากโลกในเวลาอันใกล้นี้ ดังพระราชดำรัสของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ความว่า “...ถ้า น้ำมันเชื้อเพลิงหมดแล้ว ก็ใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่นได้ ตามที่มี แต่ต้องขยันหาวิธีที่ทำให้เชื้อเพลิงเกิดใหม่...” ซึ่งกองทัพอากาศต้องตระหนัก และให้ความสำคัญในการประดิษฐ์ คิดค้น วิจัย ค้นหาเชื้อเพลิง หรือพลังงานทดแทน มาใช้แทนน้ำมันเพื่อใช้กับอากาศยานที่กำลังจะหมดไป และการจัดหาอากาศยานในอนาคต ต้องพิจารณาเรื่องเชื้อเพลิงและความสิ้นเปลืองพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อให้อากาศยานสามารถปฏิบัติการปกป้องน่านฟ้าไทยและเพื่อผลประโยชน์แห่งชาติ นำมาซึ่งความมั่นคงของประเทศชาติตลอดไป

### บรรณานุกรม

[1] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ความก้าวหน้าการพัฒนาพลังงาน ความร้อนใต้พิภพ และแผนการ

ปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา พ.ศ. ๒๕๓๖ - ๔๐. พ.ศ. ๒๕๓๕

[2] นฤมล แก้วกล้า. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตและใช้พลังงาน และเทคโนโลยีในการลดมลพิษ.

เอกสารโครงการฝึกอบรมหลักสูตร ๑๐๓ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๓๕



- [3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย. มิถุนายน ๒๕๔๒.
- [4] วงศ กวศ อภัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. มติชนสุดสัปดาห์ ปีที่ ๒๔ ฉบับที่ ๑๒๔๘ ประจำวันที่ ๑๖ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๔๗
- [5] ดร.พลายพล คุ่มทรัพย์. วิกฤตการณ์น้ำมันครั้งที่ ๒. เอกสารการสัมมนาวิชาการประจำปีของคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ครั้งที่ ๓๑ พ.ศ. ๒๕๕๑
- [6] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. วารสารนโยบายพลังงานฉบับที่ ๕๒ พ.ศ. ๒๕๔๔
- [7] ทรายพงษ์ วิทิตสานต์ และคณะ. การแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์. รายงานการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.).พ.ศ. ๒๕๔๕
- [8] บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับน้ำมันอากาศยาน. พ.ศ.๒๕๔๕
- [9] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [10] (สาวทช.). **Biomass integrated Gasification via Fischer-Tropsch Synthesis.** ๒๕๕๒
- [11] วีรัชย์ อจหาญ. กระบวนการ Biomass Gasification ผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบโรงไฟฟ้า ชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชนแบบครบวงจร. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. พ.ศ. ๒๕๕๒
- [12] มูลนิธิพลังงานทางเลือกแห่งประเทศไทย. พลังงานทางเลือก. ปีที่ ๔ ฉบับที่ ๑๗ พ.ศ.๒๕๕๑
- [13] กองทัพอากาศ.นโยบายผู้บัญชาการทหารอากาศ. พ.ศ.๒๕๕๑
- [14] Philip Lorenz III. “Fighter engine bio-fuel testing underway”. Issue in Arnold Air Force
- [15] Base Website [Online] (July 7, 2010) Available: <http://www.arnold.af.mil/news/story.asp?id=123211146> [July 8, 2010]
- [16] Green Car Congress **Energy Technologies Issues and Policies for Sustainable Mobility**
- [17] [Online] Available: <http://www.greencarcongress.com/2010/06/faa-20100625.html>
- [18] Wikipedia, the free encyclopedia. **Fischer–Tropsch process.** [Online] (June 28, 2010)
- [19] Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fischer%E2%80%93Tropsch\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Fischer%E2%80%93Tropsch_process) [July 30, 2010]

การใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ:  
การวิเคราะห์โครงสร้างงบประมาณและแนวทางการใช้จ่ายของประเทศไทย

เรืออากาศโท ชินวัฒน์ ทรยางกูร<sup>1</sup>

**บทนำ**

การจัดบริการสาธารณะด้านการป้องกันประเทศถือเป็นหนึ่งในหน้าที่สำคัญของรัฐที่จะต้องดำเนินการ<sup>2</sup> เพื่อรักษาดินแดน ชีวิตของประชาชน ความมั่นคงทางเศรษฐกิจของรัฐ และอธิปไตยของรัฐ การจัดการให้ประเทศมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจก็เป็นหนึ่งในหน้าที่หลักทางเศรษฐกิจของรัฐเช่นกัน<sup>3</sup> เพื่อเพิ่มพูนความกินอยู่ดีของประชาชนในประเทศ ภายใต้ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์มหภาค (Macroeconomics) ผลกระทบที่มวลรวมภายในประเทศและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจยังเป็นดัชนีชี้วัดความสำเร็จทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ รัฐบาลของประเทศต่าง ๆ ยังคงให้ความสำคัญของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นเป้าหมายสำคัญในการบริหารประเทศ โดยมีงบประมาณรายจ่ายประจำปีเป็นเครื่องมือทางการคลังที่สำคัญในการกำหนดทิศทางการพัฒนาและอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ การใช้จ่ายของรัฐเป็นองค์ประกอบหนึ่งของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Products)<sup>4</sup> ดังนั้นการเพิ่มการใช้จ่ายของรัฐในด้านต่าง ๆ โดยที่องค์ประกอบอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงการเพิ่มการใช้จ่ายของรัฐย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ

การใช้จ่ายด้านการทหาร (Military Expenditure) นั้นถือเป็นรายจ่ายส่วนหนึ่งที่สำคัญของประเทศเพื่อบรรลุภารกิจหลักในการป้องกันประเทศ อย่างไรก็ตามการใช้จ่ายด้านการทหารนั้นมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างออกไปจากการใช้จ่ายของรัฐทั่วไป เนื่องจากการใช้จ่ายด้านการทหารนอกจากเป็นการใช้จ่ายภาครัฐที่เชื่อมโยงกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจแล้ว การใช้จ่ายด้านการทหารยังอาจส่งผลในทางลบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เช่น อาจเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดสงครามระหว่างประเทศหรือความไม่สงบเรียบร้อยภายในรัฐอันเป็นสาเหตุของการชะลอการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เพื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างรายจ่ายด้านการทหารของประเทศไทย และพัฒนาโครงสร้างและแนวทางการใช้จ่ายงบประมาณด้านการทหารของประเทศไทยต่อไปในอนาคต เพื่อให้สามารถบรรลุภารกิจด้านการป้องกันประเทศอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล พร้อมทั้งส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยสูงสุด และเมื่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเจริญเติบโตก็จะส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มรายจ่ายด้านการป้องกันประเทศในปีงบประมาณต่อ ๆ ไปเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการป้องกันประเทศ อีกทั้งกระตุ้นเศรษฐกิจให้เจริญเติบโตจากการใช้จ่ายด้านการป้องกันประเทศต่อไป

**ผลกระทบเชิงบวกของการใช้จ่ายด้านการทหารที่มีต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ**

การใช้จ่ายด้านการทหารนั้นมีผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจหลายประการดังนี้ ประการแรกในทางทฤษฎีเศรษฐศาสตร์มหภาค การใช้จ่ายของรัฐซึ่งรวมถึงการใช้จ่ายด้านการทหารจะส่งผลในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการใช้จ่ายเพิ่มขึ้นของรัฐ จะทำให้อุปสงค์รวม (Aggregate Demand) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลปริมาณผลิตภัณฑ์มวลรวมเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตที่สำคัญก็คือเมื่อภาวะเศรษฐกิจตกต่ำหรือชะลอตัวซึ่งมีทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อยู่จำนวนมากนั้น การใช้จ่ายด้านการทหารจะส่งผลดีต่อเศรษฐกิจมากกว่าในช่วงที่

<sup>1</sup> อาจารย์ ประจำกองการศึกษา โรงเรียนนาเรืออากาศ

<sup>2</sup> Richard Cornes and Todd Sandler., *The Theory of Externalities, Public Goods, and Club Goods.* (United State of American: Cambridge University Press, 1996) p. 3.

<sup>3</sup> Richard A. Musgrave and Peggy B. Musgrave., *Public Finance in Theory and Practice.* (United State of American: McGraw-Hill, 1973).

<sup>4</sup> สมการผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Products) ได้แก่  $Y = C + I + G + (X - M)$  เมื่อ Y คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ C คือ การบริโภคภายในประเทศ I คือ การลงทุนภาคเอกชน G คือ รายจ่ายของรัฐ X คือ เงินเข้าจากกิจกรรมเศรษฐกิจระหว่างประเทศ และ M คือ เงินออกจากกิจกรรมเศรษฐกิจระหว่างประเทศ

เศรษฐกิจอยู่ในภาวะปกติ<sup>5</sup> ประการที่สอง นอกจากการใช้จ่ายภาครัฐที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจแล้วนั้น ผลจากตัวคูณทางเศรษฐกิจ (Economic Multiplier) ก็จะส่งผลให้ระบบเศรษฐกิจมีการหมุนเวียนต่อเนื่อง ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์มวลรวมเพิ่มขึ้น และทำให้เศรษฐกิจมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในที่สุด ประการที่สามคือการใช้จ่ายด้านการทหารยังส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโดยรวม อันมีสาเหตุมาจากการพัฒนาความสามารถของทุนมนุษย์ (Human Capital) โดยผู้ที่ผ่านการฝึกกระเบียบวินัย และได้รับความรู้จากการฝึกหรือการเข้าร่วมกับกองทัพ จะสามารถนำสิ่งต่าง ๆ ที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ในการทำงานหรือการดำเนินชีวิตในอนาคต<sup>6</sup> ประการที่สี่ ผลกระทบเชิงบวกของการใช้จ่ายด้านการทหารต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอาจเกิดจากผลกระทบภายนอกเชิงบวก (Positive Externalities) ซึ่งเป็นผลของการพัฒนาของกองทัพที่ส่งผลดีต่อภาคเอกชน เช่นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับกองทัพแล้วมีประโยชน์ทางเศรษฐกิจสำหรับภาคเอกชนในเวลาต่อมา<sup>7</sup> หรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาเพื่อใช้ทางการทหารอาจถูกนำไปพัฒนาและนำมาผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต ผลกระทบภายนอกเชิงบวกที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นการเพิ่มอุปทานรวมในระยะยาว (Long Term Aggregate Supply) ของประเทศ ประการที่ห้า การใช้จ่ายด้านการทหารนั้นมีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อการป้องกันประเทศให้มีความสงบเรียบร้อยปราศจากภัยคุกคามต่าง ๆ เมื่อภารกิจดังกล่าวบรรลุผลสำเร็จแล้วย่อมส่งผลให้ประเทศมีความสงบสุขซึ่งจะเป็นปัจจัยเชิงบวกต่อการค้าการลงทุนทั้งภายในและระหว่างประเทศ

#### ผลกระทบเชิงลบของการใช้จ่ายด้านการทหารที่มีต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ

นอกจากการใช้จ่ายด้านการทหารจะมีผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจแล้ว ยังมีแนวคิดที่มีมุมมองเชิงลบในประเด็นการใช้จ่ายด้านการทหารต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเช่นกัน โดยมีสาเหตุมาจากหลายประการดังต่อไปนี้ ประการแรก การใช้จ่ายด้านการทหาร มีลักษณะเป็นการจ่ายเพื่อการป้องกันภัยคุกคามที่มีต่อประเทศซึ่งรายจ่ายดังกล่าวมักไม่ก่อให้เกิดกิจกรรมทางเศรษฐกิจ (Economic Activity) ต่อเนื่องที่จะทำให้เกิดตัวคูณทางเศรษฐกิจตามทฤษฎีเศรษฐกิจมหภาค ตัวอย่างเช่น หากรัฐจ่ายเงินเพื่อผลิตเครื่องบินขึ้นมาฝูงหนึ่ง หากไม่มีการทำศึกสงครามเครื่องบินฝูงนั้นก็จะต้องจอดอยู่เฉย ๆ ไม่ได้มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจใด ๆ เพิ่มพูนขึ้น อีกทั้งยังต้องมีค่าบำรุงรักษาให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ เมื่อรัฐเพิ่มการใช้จ่ายด้านการทหารรัฐจึงมีต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ที่จะนำทรัพยากรส่วนดังกล่าวไปใช้ในกิจกรรมที่สามารถส่งผลดีต่อเศรษฐกิจได้ดีกว่า<sup>8</sup> จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นเหตุผลที่อธิบายว่าเหตุใดการใช้จ่ายด้านการทหารเมื่อภาวะเศรษฐกิจอยู่ในช่วงตกต่ำหรือชะลอตัวจะทำให้สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้ ในทางตรงกันข้ามหากเศรษฐกิจอยู่ในภาวะปกติมีการใช้ทรัพยากรเต็มที่อยู่แล้วการที่ใช้จ่ายทางด้านการทหารจะเป็นการดึงทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพจากการผลิตสินค้าและบริการอย่างอื่นมา<sup>9</sup> ประการที่สอง ประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลายซึ่งรวมถึงประเทศไทย ยังไม่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเพียงพอที่จะผลิตยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ใช้อย่างเต็มที่ ยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องซื้อมาจากประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและมีความสามารถการผลิตยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ ผลกระทบในทางเศรษฐกิจที่ตามมาของการนำเข้ายุทโธปกรณ์เหล่านี้จากต่างประเทศคือ ผลกระทบเชิงลบต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ<sup>10</sup> ประการที่สาม การเพิ่มการใช้จ่ายด้านการทหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการซื้อยุทโธปกรณ์นั้นจะใช้เงินจำนวนมาก รัฐมีจึงทางเลือกสองทางคือ ใช้เงินจากภาษีหรือกู้เงินมาใช้ในการซื้อยุทโธปกรณ์ดังกล่าว หากรัฐใช้เงินจากภาษีรัฐเพื่อซื้อยุทโธปกรณ์ก็จะต้องเก็บภาษีเพิ่ม การเก็บภาษีจากภาคเอกชนเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ หากรัฐใช้วิธีการกู้เงินเพื่อซื้อ

<sup>5</sup> Paul Poast, *The Economics of War*. (New York: McGraw-Hill Irwin, 2006) p. 5.

<sup>6</sup> Emile Benoit, "Growth and Defense in LDCs." *Economic Development and Cultural Change*, 26(2), 1978, pp. 271-280.

<sup>7</sup> M.T. Hirmissa, Muzafar Shah Habibullah, and A.H. Baharom, "Military Expenditure and Economic Growth in Asean-5 Countries." *Journal of Sustainable Development*, Vol. 2, No. 2, July 2009, pp. 192-202.

<sup>8</sup> Paul Collier, "War and Military Expenditure in Developing Countries and Their Consequences for Development." *The Economics of Peace and Security Journal* Vol. 1, No. 1 (2006), pp. 9-13.

<sup>9</sup> Paul Poast, *The Economics of War*, p. 5.

<sup>10</sup> M.T. Hirmissa, Muzafar Shah Habibullah, and A.H. Baharom, "Military Expenditure and Economic Growth in Asean-5 Countries," pp. 192-202.

ยุทธโศภน นอกจากจะส่งผลกระทบต่อระดับหนี้สาธารณะ (Public Debt) ของประเทศซึ่งอาจเป็นสาเหตุของวิกฤติเศรษฐกิจแล้ว ถ้าเป็นการกู้ยืมเงินจากภายในประเทศจะเป็นแรงกดดันต่ออัตราดอกเบี้ยในประเทศให้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อันจะส่งผลกระทบต่อการลงทุนและการใช้จ่ายในการบริโภคของภาคเอกชน (Crowding out Effect) แต่ถ้ารัฐกู้ยืมเงินจากแหล่งเงินทุนภายนอกประเทศ รัฐก็จะมีภาระดอกเบี้ยและเงินต้นที่ต้องชำระในอนาคตอันเป็นผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในท้ายที่สุดเช่นกัน ประการที่สี่การเพิ่มการใช้จ่ายทางด้านการทหารนั้นหากเป็นการเพิ่มโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการแข่งขันสะสมอาวุธ (Arm Race) อาจนำไปสู่ความตึงเครียดและอาจนำไปสู่ภาวะสงครามในที่สุด หรือหากเป็นการเพิ่มการใช้จ่ายเพื่อป้องกันหรือปราบปรามสงครามการเมือง (Civil War) อาจนำไปสู่ผลเสียต่อการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและนำไปสู่ภาวะสงครามกลางเมืองหรือกระตุ้นให้สงครามกลางเมืองที่มีอยู่รุนแรงขึ้น<sup>11</sup> ซึ่งจะนำไปสู่ผลกระทบเชิงจิตวิทยาทางเศรษฐกิจการค้าการลงทุนทั้งในและต่างประเทศ และหากมีสงครามเกิดขึ้นย่อมเกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นการใช้จ่ายด้านการทหารเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้นอาจจะนำไปสู่ส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ

**โครงสร้างการใช้จ่ายด้านการทหารของประเทศไทย**

สำหรับประเทศไทยในภาพรวมแล้วโครงสร้างการใช้ทางการทหารของไทยมีแนวโน้มการใช้จ่ายมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในระยะหลัง โดยจากข้อมูลจากสำนักงบประมาณแสดงให้เห็นว่างบประมาณรายจ่ายด้านการทหารของประเทศไทย (กระทรวงกลาโหม) ระหว่างปี พ.ศ.2549 ถึง พ.ศ.2554 มีแนวโน้มขึ้นเรื่อย ๆ ยกเว้นในปี พ.ศ.2553 เนื่องจากปัญหาเศรษฐกิจถดถอยในปีก่อนหน้า ทำให้งบประมาณรายจ่ายรวมและงบประมาณรายจ่ายด้านการป้องกันประเทศลดลงอย่างไรก็ดีอัตราการลดลงของรายจ่ายด้านการป้องกันประเทศนั้นยังคงมีสัดส่วนลดลงน้อยกว่าอัตราการลดลงของงบประมาณรายจ่ายรวม และในปี พ.ศ.2554 เมื่อเศรษฐกิจเริ่มกลับมาสู่ภาวะปกติงบประมาณด้านการทหารก็เพิ่มขึ้นอีกครั้ง สิ่งที่น่าสนใจก็คือ รายจ่ายด้านการวิจัยและพัฒนายุทธโศภนของประเทศไทยมีอัตราส่วนต่อรายจ่ายด้านการทหารค่อนข้าง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลรายจ่ายด้านการทหารของไทยระหว่างปี พ.ศ. 2549 – 2554 ที่มา : สำนักงบประมาณ [www.bb.go.th](http://www.bb.go.th)

	Thailand National Defense Expenditures					
	2549	2550	2551	2552	2553	2554
National Defense Exp. (NDE)	85,107.60	114,696.20	142,291.60	168,231.80	153,543.80	168,318.80
R&D on Military Equipment	75.00	626.40	247.20	177.00	687.60	1,102.20
R&D on Mil Equip. % of NDE	0.09%	0.55%	0.17%	0.11%	0.45%	0.65%
NDE % Change YoY	9.04%	34.77%	24.06%	18.23%	-8.73%	9.62%
Total Expenditures	1,360,000.00	1,566,200.00	1,660,000.00	1,951,700.00	1,700,000.00	2,070,000.00
NDE % of Total Gov Exp.	6.26%	7.32%	8.57%	8.62%	9.03%	8.13%
Gross Domestic Products	7,786,200.00	8,399,000.00	9,232,200.00	8,712,500.00	10,000,900.00	10,650,960.00
GDP % Change YoY	8.22%	7.87%	9.92%	-5.63%	14.79%	6.50%
NDE % of Total GDP	1.09%	1.37%	1.54%	1.93%	1.54%	1.58%

<sup>11</sup> Paul Collier, "War and Military Expenditure in Developing Countries and Their Consequences for Development," p. 10.

ข้างต่ำมากซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการพัฒนายุทธโศภกรรมของประเทศไทยมีค่อนข้างจำกัดมาก ประเด็นสำคัญก็คือรายจ่ายด้านการทหารที่ถือว่ามีความสำคัญอย่างมากเพราะการป้องกันประเทศถือเป็นกิจกรรมที่รัฐจำเป็นต้องจัดให้มีอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ยิ่งไปกว่านั้นรายจ่ายด้านการทหารของประเทศไทยที่ดูเหมือนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ นั้น มีผลกระทบในเชิงบวกต่อเศรษฐกิจของประเทศในภาพรวมหรือไม่อย่างไร และควรจะมีการจัดโครงสร้างและแนวนโยบายในการใช้จ่ายเงินงบประมาณด้านการทหารอย่างไร เพื่อให้การใช้จ่ายด้านการทหารนั้นสามารถบรรลุภารกิจอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล รวมทั้งส่งผลกระทบเชิงบวกต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยรวมอย่างสูงสุด

### **ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของไทย**

การศึกษาความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Causal Relationship) ระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจนั้น สามารถแบ่งผลการศึกษาดังกล่าวได้เป็น 4 กลุ่มความสัมพันธ์<sup>12</sup> คือประการแรก มีความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลแบบสองทิศทางระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ หมายถึง การใช้จ่ายทางด้านการทหารส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และในทางตรงกันข้ามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจส่งผลให้เกิดการใช้จ่ายทางด้านการทหารเพิ่มสูงขึ้น ประการที่สอง มีความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลแบบทิศทางเดียวโดยการใช้จ่ายด้านการทหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ประการที่สาม มีความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลแบบทิศทางเดียวโดยการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจมีผลต่อใช้จ่ายด้านการทหาร และประการสุดท้าย ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลใด ๆ ระหว่างการใช้จ่ายทางด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในกรณีประเทศไทยนั้น แม้จะมีการศึกษาในเรื่องดังกล่าวนี้มามากมายแต่ก็ยังมีข้อสงสัยที่น่าประหลาดใจของผลของการศึกษาก็คือ ผลการศึกษาที่มีนั้นได้ผลความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลแตกต่างกันครบทั้ง 4 รูปแบบความสัมพันธ์ โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2 ผลการศึกษาที่ไม่มีข้อสรุปชัดเจนนั้นอาจมีสาเหตุมาได้หลายประการ เช่น ระยะเวลาที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา ตัวแปรที่นำมาใช้ในการศึกษา และรูปแบบวิธีการที่นำมาใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหาร (Mexp) และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (Growth) ของประเทศไทย

ผู้แต่ง/ผู้วิจัย	ทิศทางความสัมพันธ์			
	Mexp <--> Growth	Mexp --> Growth	Growth --> Mexp	Independent
LaCivita and Frederiksen (1991) <sup>13</sup>		/		
Frederiksen (1991) <sup>14</sup>	/			
Chowdhury (1991) <sup>15</sup>		/		
Kusi (1994) <sup>16</sup>				/
Hirnis, Habibullah, and Baharom (2009) <sup>17</sup>			/	

<sup>12</sup> M.S. Habibullah, L. Siong-Hook, and A.M. Dayang-Afizzah, "Defense Spending and Economic Growth in Asian Economies: A Panel Error-correction Approach." *Mimic Personal RepEc Archive Paper*. No. 12105, December 2008. P. 3.

<sup>13</sup> C. LaCivita and P.C. Frederiksen, "Defense Spending and Economic Growth: An Alternative Approach to the Causality Issue." *Journal of Development Economics*, 35, 1991, pp. 117-126.

<sup>14</sup> P.C. Frederiksen, "Economic Growth and Defense Spending: Evidence on Causality for Selected Asian Countries." *Journal of Philippine Development*, 18(1), 1991, pp. 131-147.

<sup>15</sup> A. Chowdhury, "A Causal Analysis of Defense Spending and Economic Growth." *Journal of Conflict Resolution*, 35(1), 1991, pp. 80-97.

<sup>16</sup> N. Kusi, "Economic Growth and Defense Spending in Developing Countries." *Journal of Conflict Resolution*, 38(1), 1994, pp. 152-159.

<sup>17</sup> M.T. Hirnis, Muzafar Shah Habibullah, and A.H. Baharom, *Ibid.*

อย่างไรก็ดี แม้ว่าค่าใช้จ่ายด้านการทหารมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันประเทศ ซึ่งเป็นสินค้าสาธารณะที่รัฐจำเป็นต้องจัดให้มีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องที่รัฐจะต้องจัดสรรทรัพยากรบางส่วนไปเป็นรายจ่ายด้านการทหาร อย่างไรก็ดีเพื่อให้ทรัพยากรที่จัดสรรไปเป็นรายจ่ายด้านการทหารนั้นควรคำนึงให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งด้านการกิจด้านการป้องกันประเทศและผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจ

ดังนั้นรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างรายจ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่พึงประสงค์มากที่สุดจึงน่าจะเป็นความสัมพันธ์ในแบบที่หนึ่ง กล่าวคือ หากรัฐใช้จ่ายด้านการทหารเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นนั้นก็จะเป็นผลให้มีทรัพยากรมาใช้ทางด้านทหารเพื่อมีความสามารถในการป้องกันประเทศเพิ่มมากขึ้นต่อไปในอนาคต

**แนวทางการปรับปรุงโครงสร้างและแนวทางการใช้จ่ายด้านการทหารเพื่อสร้างและเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย**

หากพิจารณาอัตราระดับการใช้จ่ายด้านการทหารของประเทศไทยโดยอาศัยร้อยละของรายจ่ายด้านการทหารต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศของประเทศไทยจะพบว่ามีสัดส่วนอยู่ในระดับค่อนข้างน้อย โดยสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ร้อยละของรายจ่ายด้านการทหารต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศของประเทศไทย

ปี	2533	2538	2543	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554
ร้อยละ	2.6	2.8	1.7	2.4	1.09	1.37	1.54	1.93	1.54	1.58

ที่มา: SIPRI year book, various issues. และ สำนักงบประมาณ [www.bb.go.th](http://www.bb.go.th)

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าข้อมูลย้อนหลังไปประมาณ 20 ปี รายจ่ายด้านการทหารของไทยต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศอยู่ในระดับไม่เกินร้อยละ 3 และต่ำสุดที่ประมาณร้อยละ 1.37 การที่ประเทศไทยมีสัดส่วนรายจ่ายด้านการทหารต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศอยู่ในระดับค่อนข้างน้อยนั้นอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หย่อนสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างรายจ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจไม่ชัดเจน

ภายใต้ทฤษฎีเส้นความเป็นไปได้ในการผลิต ข้อได้เปรียบของการที่มีสัดส่วนรายจ่ายด้านการทหารที่เป็นรายจ่ายเพื่อการผลิตบริการการป้องกันประเทศต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศในระดับค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับรายจ่ายเพื่อผลิตสินค้าและบริการด้านอื่น ๆ ก็คือ การจะเพิ่มการใช้จ่ายด้านการทหารเพื่อผลิตบริการเพื่อบรรลุภารกิจด้านการป้องกันประเทศเพิ่มสูงขึ้น จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงการผลิตส่วนเพิ่ม (Marginal Rate of Transformation) หรืออีกนัยหนึ่งประเทศไทยจะมีต้นทุนค่าเสียโอกาสในการเพิ่มรายจ่ายด้านการทหารเพื่อผลิตบริการเพื่อบรรลุภารกิจด้านการป้องกันประเทศจะต่ำไปด้วย กล่าวคือโดยอาศัยการจัดสรรทรัพยากรใหม่ (Reallocation) หากประเทศไทยลดทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการอื่น ๆ ที่มีสัดส่วนต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศสูง มาใช้ผลิตบริการเพื่อการบรรลุภารกิจด้านการป้องกันประเทศ จะสามารถผลิตปริมาณบริการดังกล่าวเพิ่มขึ้นได้มากกว่าปริมาณสินค้าและบริการประเภทอื่น ๆ ดังกล่าวที่จะต้องลดลง สิ่งที่พึงพิจารณาในกรณีที่ต้องการเพิ่มสัดส่วนรายจ่ายด้านการทหารต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศก็คือรายจ่ายดังกล่าวต้องสนับสนุนภารกิจด้านการป้องกันประเทศให้สำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล อีกทั้งต้องพิจารณาถึงปัจจัยด้านเศรษฐกิจต่าง ๆ ด้วย การใช้จ่ายด้านการทหารต้องไม่มีสัดส่วนต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศสูงเกินไปเพราะจะส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณบริการเพื่อบรรลุภารกิจด้านการป้องกันประเทศต้องดึงทรัพยากรในการผลิตสินค้าและบริการด้านอื่น ๆ มาใช้มากจนกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ

โดยรวม และสุดท้ายการเพิ่มรายจ่ายด้านการทหารอาจมีผลกระทบด้านการแข่งขันสะสมอาวุธรวมทั้งกระตุ้นการเกิดสงคราม การเมืองซึ่งจะกระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในท้ายที่สุด

ไม่ว่าประเทศไทยจะเพิ่มรายจ่ายด้านการทหารหรือไม่ ประเด็นสำคัญก็คือ แหล่งที่ใช้ไปของการใช้จ่ายด้านการทหารและแหล่งที่มาของเงินงบประมาณการใช้จ่ายด้านการทหาร โดยหากมองภายใต้กรอบเศรษฐศาสตร์มหภาคแล้ว การใช้จ่ายด้านการทหารอาจจะส่งผลให้เกิดผลเชิงบวกหรือผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจก็ได้ การใช้จ่ายด้านการทหารจึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างผลกระทบผลเชิงบวกของการใช้จ่ายด้านการทหารรวมทั้งผลของตัวคูณทางเศรษฐกิจ และผลกระทบเชิงลบของผลของแหล่งที่มาของงบประมาณที่จะนำไปใช้จ่ายด้านการทหารที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาหนี้สาธารณะ การหักล้างหรือลดการลงทุนและการใช้จ่ายของภาคเอกชนหรือผู้บริโภคหรือการเงินต้นและดอกเบี้ยที่จะต้องชำระในอนาคต การใช้จ่ายด้านการทหารในแต่ละโครงการจะต้องพิจารณาถึงประสิทธิผลและประสิทธิภาพทางด้านภารกิจการป้องกันประเทศและด้านเศรษฐกิจควบคู่กันไป โดยการพิจารณาโครงการด้านการทหารจะต้องนำตัวแปรที่เกี่ยวกับการตอบสนองภารกิจด้านการป้องกันประเทศและกระตุ้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจมาพิจารณาด้วย การใช้จ่ายด้านการทหารจะต้องมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพในเชิงภารกิจและให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด เช่น การใช้จ่ายด้านการทหารที่มีผลพลอยได้เป็นการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ และการใช้จ่ายด้านการทหารที่จะส่งผลกระทบต่อชนออกเชิงบวกต่อเศรษฐกิจในภาพรวม เป็นต้น

วิธีการทางการทูตนับเป็นวิธีการการป้องกันประเทศที่ดีที่สุดทางหนึ่ง แนวทางการใช้จ่ายด้านการทหารก็สามารถสนับสนุนแนวทางการทูตได้หลายวิธี โดยนอกจากวิธีการทูตทางการทหารแล้ว การใช้หลักนิยมทางการทหารสมัยใหม่ เช่น การรบรวม และการรบรวม ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้จ่ายด้านการทหาร การจะพัฒนาหลักนิยมทางการทหารสมัยใหม่นั้น ทางกองทัพจำเป็นต้องพัฒนาระบบการปฏิบัติการ ที่มีเครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (Network Centric Operation: NCO) ทั้งนี้การใช้กำลังผ่านวิธีการรบรวมและรบรวมนั้นเป็นความร่วมมือระหว่างกองทัพทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ ถือเป็นภารกิจสำคัญภาพสูงสุดของแต่ละกองทัพออกมาใช้ และกำลังทหารจากแต่ละประเทศเมื่อรวมกันก็จะกลายเป็นกองกำลังขนาดใหญ่มากขึ้น มีขีดความสามารถในการป้องกันประเทศต่าง ๆ สูงขึ้น การฝึกปร่วมและรบรวมยังเป็นการพัฒนาทักษะในการรบของกองทัพของประเทศไทย นอกจากนั้นการมีพันธมิตรทางการทหารยังเป็นการคลายความกดดันจากการแข่งขันสะสมอาวุธอีกทางหนึ่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจเติบโตทางเศรษฐกิจในที่สุด การใช้จ่ายด้านการทหารซื้อขูทโปรกรณ์จากต่างประเทศจะส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจเติบโตทางเศรษฐกิจเพราะประเทศไทยจะต้องสูญเสียทรัพยากรในรูปของเงินงบประมาณไปยังต่างประเทศเพื่อแลกกับขูทโปรกรณ์ที่ต้องการ นอกจากนั้นการที่ประเทศไทยพึ่งพาขูทโปรกรณ์จากต่างประเทศอาจเกิดผลเสียต่อยุทธศาสตร์การป้องกันประเทศ เช่น เมื่อเกิดภาวะสงครามแล้วไม่สามารถจัดหาขูทโปรกรณ์มาได้ก็จะส่งผลกระทบต่อภารกิจการป้องกันประเทศได้ จากสาเหตุข้างต้นประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนา อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ (Defense Industry) อย่างไรก็ดีประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่สามารถผลิตขูทโปรกรณ์ต่าง ๆ ที่มีขีดความสามารถในระดับสูงได้ หรือถ้าผลิตได้ก็อาจไม่มีความคุ้มค่าในการผลิต ทางออกก็คือประเทศไทยต้องเริ่มต้นจากการผลิตขูทโปรกรณ์ที่ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตได้ก่อน เช่น วัตถุระเบิด เชื้อปะทุ เครื่องกระสุน รถยนต์นั่งกันกระสุน ยานพาหนะช่วยรบ ชุดเครื่องแบบปฏิบัติการทางทหาร เสื้อเกราะกันกระสุน เสบียงอาหารสำหรับทหาร เครื่องมือสื่อสารทางการทหาร เป็นต้น ซึ่งถือเป็นการสร้างระบบอุตสาหกรรมป้องกันประเทศแบบพึ่งพาตนเอง (Self-reliance in Defense Industry)

การพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศนั้นจะต้องมีการศึกษาแนวโน้มความต้องการด้านขูทโปรกรณ์ในอนาคต เพื่อการลงทุนในเชิงอุตสาหกรรมจะสามารถตอบสนองความต้องการของประเทศไทยและต่างประเทศในอนาคต นอกจากนั้นรัฐจะต้องมีนโยบายและงบประมาณที่เป็นการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมด้านการป้องกันประเทศ เพื่อที่จะพัฒนาขีดความสามารถในการผลิตขูทโปรกรณ์ที่มี

สมรรถนะที่สูงขึ้น นอกจากนั้นต้องมีนโยบายที่ลดปัญหาอุปสรรคและสนับสนุนให้เอกชนสามารถเข้ามาผลิตหรือร่วมผลิต ยุทธโศปกรณ์ต่าง ๆ ได้มากขึ้นและง่ายขึ้น และจะได้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตยุทธโศปกรณ์ต่าง ๆ อีกทางหนึ่ง ผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของการพัฒนาอุตสาหกรรมการป้องกันประเทศก็คือ การผลิต ยุทธโศปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้เองได้นี้จะเป็นการลดการนำเข้ายุทธโศปกรณ์ดังกล่าวจากต่างประเทศ นอกจากนั้นเมื่อ สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการแล้วยังสามารถผลิตเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศได้อีกด้วย ซึ่งการผลิตเพื่อลด การนำเข้าและผลิตเพื่อการส่งออกจะเป็นผลกระทบในเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ทั้งในแง่ การเคลื่อนย้ายทรัพยากรระหว่างประเทศ การเกิดการจ้างงาน และเพิ่มทุนพัฒนาทักษะการทำงานของแรงงานในประเทศ ด้วย ผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอีกประการ ได้แก่ ผลผลิตจากอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ บางอย่างอาจนำไปพัฒนาในเชิงพาณิชย์และขายให้แก่เอกชนทั่วไปได้ เช่น เสื้อผ้าชนิดพิเศษสำหรับใช้ตัดเย็บเครื่องแบบ ปฏิบัติการทางทหารอาจได้รับการพัฒนาและนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มของประเทศได้

จากการจัดโครงสร้างและแนวทางการใช้จ่ายด้านการทหารที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะสามารถทำให้ ประเทศไทย สามารถบรรลุภารกิจหลักด้านการป้องกันประเทศอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล และประสิทธิภาพ อีกทั้งรายจ่ายด้านการทหารจะ ส่งผลกระทบเชิงบวกให้ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจต่อไปในอนาคต ที่สำคัญก็คือ เมื่อรายจ่ายด้านการทหารส่งผลเชิงบวกต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยแล้ว จึงมีเหตุผลสนับสนุนให้เพิ่มรายจ่ายด้านการทหารให้เพิ่มขึ้นใน ปีงบประมาณต่อ ๆ ไป ด้วยเหตุผลเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการปกป้องดินแดน ชีวิตของประชาชน ความมั่งคั่งทาง เศรษฐกิจของรัฐ และอธิปไตยของรัฐ อีกทั้งเพื่อส่งเสริมให้เศรษฐกิจของประเทศไทยมีการเจริญเติบโตต่อไปผ่านการ ใช้ ใช้จ่ายด้านการป้องกันประเทศ ซึ่งจะกลายเป็นวัฏจักรที่ส่งเสริมซึ่งกันและกันระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการ เจริญเติบโตทางเศรษฐกิจจนเวียนต่อไปในอนาคต

### **สรุป**

การป้องกันประเทศเป็นภารกิจสำคัญที่รัฐจะต้องดำเนินการจัดให้มีอยู่อย่างเพียงพอตลอดเวลา การใช้จ่ายด้าน การทหารจึงเป็นรายจ่ายที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาสม่ำเสมอเช่นกัน ดังนั้นหากการใช้จ่ายด้านการทหารบรรลุภารกิจในการ ป้องกันประเทศอีกทั้งส่งผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และเมื่อเศรษฐกิจเติบโตก็มีการสนับสนุนให้ เพิ่มรายจ่ายด้านการทหารเพื่อเพิ่มศักยภาพในการป้องกันประเทศและกระตุ้นการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจต่อไป ย่อมจะ เป็นสิ่งที่พึงประสงค์สูงสุดสำหรับประเทศ การใช้จ่ายด้านการทหารอาจมีผลกระทบเชิงบวกต่อการเจริญเติบโตทาง เศรษฐกิจเนื่องจากการใช้จ่ายด้านการทหารเพิ่มอุปสงค์รวมของเศรษฐกิจ ผลของตัวคูณทางเศรษฐกิจ การพัฒนาทรัพยากร มนุษย์ การส่งผลกระทบภายนอกเชิงบวกต่อเศรษฐกิจโดยรวม และผลเชิงบวกทางเศรษฐกิจจากภาวะสงบเรียบร้อยของ ประเทศ

อย่างไรก็ดีการใช้จ่ายด้านการทหารยังอาจส่งผลกระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้เช่นกันเนื่องจากการ ใช้จ่ายด้านการทหารมีต้นทุนค่าเสียโอกาส การสูญเสียเงินงบประมาณไปกับการนำเข้ายุทธโศปกรณ์จากต่างประเทศ ปัญหาหนี้สาธารณะและผลของการหักล้างหรือลดการลงทุนและใช้จ่ายของภาคเอกชนหรือผู้บริโภคที่เกิดจากแหล่งเงิน งบประมาณที่ใช้จ่ายด้านการทหาร การสะสมอาวุธ และสงครามกลางเมืองที่กระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจใน ที่สุด ในกรณีของประเทศไทยแม้ว่าโครงสร้างการใช้จ่ายด้านการทหารจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่หากพิจารณา เปรียบเทียบการใช้จ่ายด้านการทหารต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศจะพบว่ามียอดตราส่วนในระดับค่อนข้างน้อย นอกจากนั้นค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนายุทธโศปกรณ์ของประเทศไทยยังอยู่ในระดับต่ำ

ผลการศึกษาวิจัยต่าง ๆ พบว่าความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างการใช้จ่ายด้านการทหารและการเจริญเติบโตทาง เศรษฐกิจของประเทศไทยไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามโครงสร้างและแนวทางที่จะส่งเสริมให้การใช้จ่ายด้านการทหารบรรลุ ภารกิจด้านการป้องกันประเทศและกระตุ้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ได้แก่ การใช้โอกาสจากการที่



ประเทศไทยมีรายจ่ายด้านการทหารค่อนข้างต่ำโดยการเพิ่มการใช้จ่ายด้านการทหาร การพิจารณาการผลของการใช้จ่ายด้านการทหารและตัวคูณทางเศรษฐกิจเปรียบเทียบกับผลกระทบเชิงลบของผลของแหล่งที่มาของงบประมาณที่จะนำไปใช้จ่ายด้านการทหาร ประสิทธิภาพและประสิทธิภาพด้านการกิจการป้องกันประเทศและด้านเศรษฐกิจของโครงการต่าง ๆ การใช้วิธีการทางการทูตและหลักนิยมทางการทหารสมัยใหม่ เช่น การรบบร่วม และการรบบผสม และสุดท้ายคือการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศเพื่อลดการนำเข้า ส่งเสริมการส่งออก และพัฒนาอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในภาคเอกชน

หากการใช้จ่ายด้านการทหารที่มุ่งเน้นภารกิจด้านการป้องกันประเทศเป็นหลักอาศัยแนวโครงสร้างและแนวทางการใช้จ่ายตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การใช้จ่ายด้านการทหารของประเทศไทยก็จะสามารถบรรลุภารกิจด้านการป้องกันประเทศ พร้อมทั้งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งจะเป็นการใช้ทรัพยากรของประเทศอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และผลของการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจก็จะส่งผลให้รายจ่ายด้านการทหารเพิ่มสูงขึ้นวนเวียนเป็นวัฏจักรต่อไปเรื่อย ๆ ในอนาคต

### บรรณานุกรม

- [1] Anderton, Charles H. and Carter, John R. (2009) **Principles of Conflict Economics: A Primer for Social Scientists.** New York: Cambridge.
- [2] Benoit, Emile. (1978) **Growth and Defense in LDCs.** *Economic Development and Cultural Change* 26(2), pp. 271-280.
- [3] Chowdhury, A. (1991) **A Causal Analysis of Defense Spending and Economic Growth.** *Journal of Conflict Resolution* 35(1), pp. 80-97.
- [4] Collier, Paul. (2006) **War and Military Expenditure in Developing Countries and Their Consequences for Development.** *The Economics of Peace and Security Journal* Vol. 1, No. 1, pp. 9-13.
- [5] Frederiksen, P.C. (1991) **Economic Growth and Defense Spending: Evidence on Causality for Selected Asian Countries.** *Journal of Philippine Development* 18(1), pp. 131-147.
- [6] Habibullah, M.S., Siong-Hook, L., and Dayang-Afizzah, A.M. (2008) **Defense Spending and Economic Growth in Asian Economics: A Panal Error-correction Approach.** *Munic Personal RepEc Archive Paper.* No. 12105, December pp. 1-22.
- [7] Hirmissa, M.T., Habibullah, M.H., and Baharom, A.H. (2009) **Military Expenditure and Economic Growth in Asean-5 Countries.** *Journal of Sustainable Development.* Vol.2, pp. 192-202.
- [8] Krugman, Paul and Wells, Robin. (2006) **Economics.** New York : Palgrave Macmillan.
- [9] Kusi N. (1994) **Economic Growth and Defense Spending in Developing Countries.** *Journal of Conflict Resolution* 38(1), pp. 152-159.
- [10] LaCivita, C. and Frederiksen P.C. (1991) **Spending and Economic Growth: An Alternative Approach to the Causality Issue.** *Journal of Development Economics* 35, pp. 117-126.
- [11] Musgrave, R.A. and Musgrave, P.B. (1973) **Public Finance in Theory and Practice.** United State of American : McGraw-Hill.
- [12] Poast, Paul. (2006) **The Economics of War.** New York : McGraw-Hill Irwin.
- [13] Cornes, Richard and Sandler, Todd. (1996) **The Theory of Externalities, Public Goods, and Club Goods.** United State of American : Cambridge University Press.

# MODELLING THE EFFECTS OF AIR FLOW, AMBIENT TEMPERATURE AND RADIATIVE BOUNDARY CONDITIONS IN COMPOST PILES

T.Luangwilai<sup>1</sup>, H.S.Sidhu M.I. Nelson and X.D. Chen

## ABSTRACT

This paper considers the self-heating process of a two-dimensional spatially-dependent model of a compost pile. This model incorporates terms that account for self-heating due to both biological and oxidative mechanisms, and consists of mass balance equations for oxygen and energy. The effects of: air flow through the pile; radiative heat loss at the exposed boundary; and ambient temperature are examined. It is shown that the velocity of the air flow and the ambient temperature are crucial factors in determining the critical conditions in the compost pile. The air flow acts not only to supply oxygen for oxidation reaction within the compost pile but also to cool the pile. For intermediate values of the flow rate, elevated temperatures can be achieved by a moderately sized compost pile. However, it is shown that this gain in performance is counteracted by the possibility that, during hot days, this compost pile will experience temperature increases close to those which can cause critical spontaneous ignition. It is also shown that the inclusion of radiative heat loss at the boundary has very little effect on the overall dynamics of the pile.

## INTRODUCTION

Industrial compost piles contain large volumes of bulk organic materials and, typically, two sources of heat generation: the oxidation of cellulosic materials; and biological activity (Rynk, 2000). The first of these represents chemical heat generation and may be modelled by a single Arrhenius reaction (Bowes, 1984). Biological processes that lead to heat generation include the growth and respiration of micro-organisms, such as aerobic mould-fungi and bacteria. This biological heating, which occurs at lower temperatures than oxidation, may increase the temperature to a sufficiently high level to kick-start oxidation reactions. Biological heating is known to be important in large-scale composting operations (Rynk, 2000) and in the storage of industrial waste fuels, such as municipal solid waste and landfill (Hudak, 2001). Indeed, in composting, self-heating due to biological activity is desirable (Brinton et al., 1995).

Biological activity is known to work efficiently in the elevated temperature range of 70°C to 90°C which can occur within a few months or even a few days (Hogland et al., 1996). It has been recognised for almost thirty years that "...biological heating may be an indispensable prelude to self-ignition" (Bowes, 1984:737). However, mathematical modelling for investigating the spontaneous combustion of compost piles due to biological self-heating is very limited.

Sidhu et al. (2007) investigated a spatially-distributed model for biological self-heating with oxygen consumption but without air flow. Luangwilai et al. (2010) extended the latter model by including air flow through the compost pile in a one-dimensional model. The current investigation extends this latter study to a two-dimensional model with air flow. The size of the compost pile is used as the primary bifurcation parameter and the air-flow velocity as a secondary bifurcation parameter. In this study, the effects of radiative heat loss at the boundaries and the variations in the ambient temperature on the heating process in compost piles are also investigated.

---

<sup>1</sup> อาจารย์ กองการศึกษาศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

MATHEMATICAL FORMULATION

For simplicity, the geometry of the compost pile is assumed to be an infinite trapezoidal slab (i.e., an infinitely long slab) with thickness (width),  $L$ , and height,  $H$  (Fig. 1). This type of configuration is widely used in both coal and compost models (Akgun & Essenhigh, 2000; Fierro et al., 2001 and Moraga et al., 2009) and is the most common configuration in industrial composting. From literature, the industrial compost pile size can vary from 6 – 30 m for both height and width, and a few hundred meters for length (Haug, 1993; Riggle, 1996; Rynk, 2000; US Today, 2007). The angle on the base of the slab is set to 60 degrees as in the coal model of Krajčiová et al. (2004) and the depletion of cellulosic materials and biomass are ignored. Inter-phase (solid particles and gas) temperature gradients are ignored and a single temperature is used to describe local behaviour, i.e., the compost pile is assumed to be at local thermal equilibrium. This is an assumption commonly made for porous media and packed particle beds (Nield, 1992). We believe that the effects of temperature gradients and the depletion of cellulosic materials and biomass are negligible for large compost piles for the range of temperatures considered in this study.

As a result of these assumptions, the mathematical model contains two equations for the distributions of temperature and oxygen within the pile. For the single-direction air-flow analysis, It is assumed that air enters from the left boundary, moves through the whole pile and exits at the right boundary (Fig. 1(a)). For the work on two air-flow directions, the flow pattern shown in Fig. 1(b) is assumed following the work of Fierro et al. (2001) who applied such flows to coal piles. The stream function approach is used to model the air flow in this case. We assume that air flows into the compost pile from the left and right boundaries by natural convection. As the temperature within the pile increases, the air flows up and exits the pile from the top boundary (Fig. 1(b)).

Moraga et al. (2009) and Escudey et al. (2008) showed explicitly, from their experimental data of a sewage sludge pile, that the model developed by Sidhu et al. (2007) (i.e., without air flow) provided reasonable predictions of temperature increases within the pile. Since the present model extends the work of Sidhu et al. (2007) by including air flow, it is believed that the current investigation illustrates the trends when the flow of air is included.

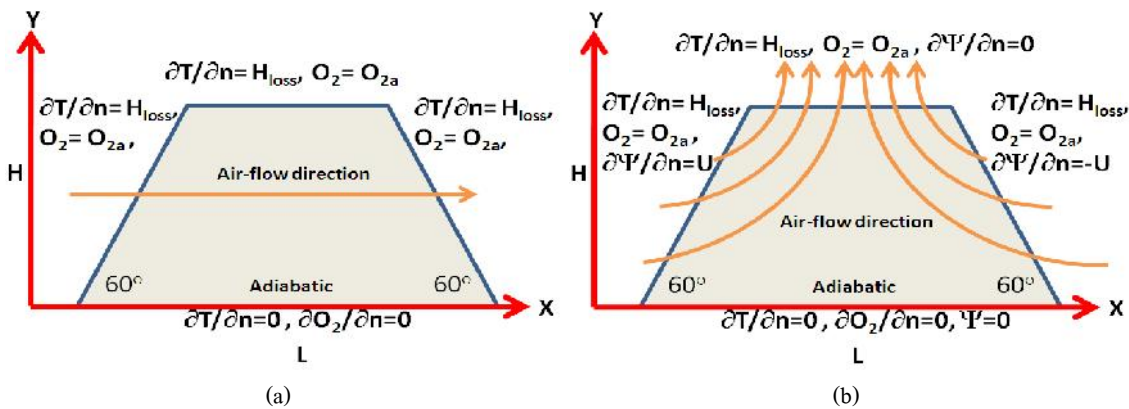


Fig. 1: Schematic diagram showing cross-sectional geometry of infinitely long compost pile and corresponding boundary conditions for: (a) single air-flow (and no air flow); (b) convective air-flow directions.

The governing equations for our model are as follows.

Energy balance on  $0 \leq x \leq L$ ,  $0 \leq y \leq H$  :

$$(\rho C)_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} = k_{eff} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \epsilon \rho_{air} C_{air} \left( U_x \frac{\partial T}{\partial x} + U_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q_C (1 - \epsilon) \rho_C A_C O_2 \exp\left(\frac{-E_C}{RT}\right)$$

$$+ Q_b (1 - \varepsilon) \rho_b \left( \frac{A_1 \exp\left(\frac{-E_1}{RT}\right)}{1 + A_2 \exp\left(\frac{-E_2}{RT}\right)} \right)$$

**Oxygen balance on**  $0 \leq x \leq L$ ,  $0 \leq y \leq H$ :

$$\varepsilon \frac{\partial O_2}{\partial t} = D_{\text{oeff}} \left( \frac{\partial^2 O_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 O_2}{\partial y^2} \right) - \varepsilon (U_x \frac{\partial O_2}{\partial x} + U_y \frac{\partial O_2}{\partial y}) - A_C (1 - \varepsilon) \rho_C O_2 \exp\left(\frac{-E_C}{RT}\right)$$

**Laplace's equation of the stream function on**  $0 \leq x \leq L$ ,  $0 \leq y \leq H$ :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (3)$$

**Algebraic relationships**

$$k_{\text{eff}} = k_{\text{air}} + (1 - \varepsilon) k_C, (\rho C)_{\text{eff}} = \varepsilon \rho_{\text{air}} C_{\text{air}} + (1 - \varepsilon) \varepsilon \rho_C C_C \text{ and } D_{\text{oeff}} = \varepsilon D_{\text{oi}} \quad (4)$$

The terms that appear in equations (1) to (4) are defined in the nomenclature. The physical parameters are considered to be independent of temperature and oxygen concentration. The second terms on the right-hand sides of equations (1) and (2) model the flow of air through the compost pile. The heat generated by the oxidation of cellulosic materials is represented by the third terms on the right-hand sides of equations (1) and (2). The heat generated by biological activity is represented by the fourth term on the right-hand side of equation (1); such an approach for modelling biological activity has been used in a number of models for solid-state fermentation processes (Khanahmadi et al., 2004). The parameters  $A_1$  and  $E_1$  in this equation model increases in the metabolic activity of the biomass with increasing temperatures in the 'low' temperature range. At sufficiently high temperatures, the essential proteins, which are sensitive to heat, begin to denature, thereby leading to cell death. These processes are represented by the biomass deactivation parameters  $A_2$  and  $E_2$ . To ensure that the heat release due to biological activity has a global maximum, the activation energy for the inhibition process must be larger than the activation energy for the biomass growth, i.e.,  $E_2 > E_1$ . Detailed formulation of the term representing the heat generated by the biomass can be found in (Chen & Mitchell, 1996).

For the case with no air flow,  $U_x = U_y = 0$  in equations (1) and (2). For the case with a single air-flow direction, the value of  $U_x$  is defined and the value of  $U_y$  is set at zero. However, for the convective air-flow case (two air-flow directions), equation (3) is included. The air-flow rates at the pile boundaries are defined then the stream function is used to determine the air velocities in the  $x$  and  $y$  directions within the pile (Naylor, 1954). The air velocities in the  $x$  and  $y$  directions for this case are defined as  $U_x = \partial \psi / \partial y$  and  $U_y = -\partial \psi / \partial x$ . The boundary conditions used in this analysis are specified in Fig. 1 and are explicitly given below.

For the cases with no air flow and a single air-flow direction (Fig. 1(a)),

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0 \text{ and } \frac{\partial O_2}{\partial n} = 0 \text{ at the base of the compost pile and}$$

$$\frac{\partial T}{\partial n} = H_{\text{loss}} \text{ and } O_2 = O_{2a} \text{ at the other boundaries.}$$

For the case with two air-flow directions (Fig. 1(b)),

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0, \frac{\partial O_2}{\partial n} = 0 \text{ and } \Psi = 0 \text{ at the base of the compost pile and}$$

$$\frac{\partial T}{\partial n} = H_{\text{loss}}, O_2 = O_{2a} \text{ and } \frac{\partial \Psi}{\partial n} = U \text{ at the other boundaries.}$$

The heat loss term,  $H_{\text{loss}}$  is defined as

$$H_{\text{loss}} = - (h_n (T - T_a) + \sigma \varepsilon_R (T - T_a)) / k_{\text{eff}}, \quad (5)$$

and has been used by Hull et al. (1997) to model the heat loss at the boundaries of a coal pile and consists of two terms: (i) the convective heat loss to the surrounding area; and (ii) the radiative heat loss from the pile. The initial temperature and oxygen distributions within the pile are assumed to be uniform and equal to the ambient conditions.

#### NUMERICAL SOLUTION

In the next section, the results from the numerical investigation of the governing equations (1) to (3) and the corresponding boundary conditions are presented. These are obtained using the software package FLEXPDE<sup>TM</sup> (PDE Solutions Inc), a space- and time-adaptive finite element package, in order to determine the steady-state solution by solving the time-dependent equations. Due to FLEXPDE<sup>TM</sup>'s adaptive nature, both time and space errors are minimised to a relative error tolerance of less than 0.1%. The results obtained are verified using the method of lines (Schiesser, 1991) in which the governing partial differential equations (PDEs) and boundary conditions are transformed into a system of ordinary differential equations (ODEs) using finite differences. The method of lines is coded in MATLAB (MathWorks Inc) so that an efficient ODE solver can be utilised. The results obtained using FLEXPDE<sup>TM</sup> and the method of lines are found to be almost identical, with the maximum steady-state temperature difference being less than 0.5 K. These two methods also predict the same values of the bifurcation parameters at the limit point bifurcations. In the presentation of results, only the stable solution branches are shown as the numerical integration of the PDEs does not yield unstable solution branches. The parameter values used in this investigation are based on those used by Sidhu et al. (2007) and are provided in the nomenclature.

#### RESULTS

The results for the simplest case in which there is no air flow through the compost pile ( $U_x$  and  $U_y$  equal zero) is discussed first. For simplicity, in this section, it is assumed that there is no radiative heat loss at the boundaries by letting the emissivity of the pile,  $\mathcal{E}_R$ , equal zero. As a result, there is only convective heat loss at the boundaries.

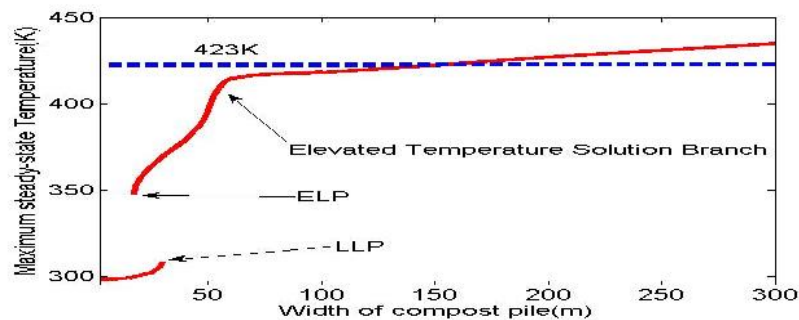


Fig. 2: Dependence of maximum steady-state temperature within compost pile on width of pile for case of no air flow through pile (LLP - low-temperature ignition limit point and ELP - extinction limit point). The horizontal dashed line indicates the temperature when compost materials generally ignite.

Fig. 2 shows variations in the maximum steady-state temperature within the compost pile as a function of the width of the compost pile when there is no air flow through it. There are two stable solution branches: low temperature and elevated temperature. On the low-temperature solution branch, the maximum temperature within the pile varies from approximately 298 K to 308 K. This temperature range is undesirable for composting as it is too low for decomposition processes. The low-temperature ignition limit point (LLP) occurs when the compost pile width,  $L$ , and the maximum steady-state temperature are approximately

29.9 m and 308.2 K respectively. If the width of the compost pile is increased beyond 29.9 m, the steady-state solution ‘jumps’ to the elevated-temperature solution branch.

The critical point on the left-hand side of the elevated-temperature solution branch is called the extinction limit point (ELP). If the width of the compost pile is reduced beyond that corresponding to the ELP (in this case, the value is approximately 17.0 m), the solution ‘drops off’ the elevated-temperature branch back to the low-temperature branch.

Between the two limit points (LLP and ELP), there is an unstable solution branch which cannot be detected in our numerical scheme since the integration of the PDEs (1) and (2) with the associated boundary and initial conditions cannot yield unstable solutions. As a result, the solution branches appear to be disjointed.

In the steady-state plot in Fig. 2, it can be seen that, at the beginning of the elevated-temperature solution branch, the maximum steady-state temperature within the compost pile increases rapidly as the width of the compost pile is increased. The rate of the temperature rise decreases significantly after the maximum steady-state temperature reaches 410 K. This makes physical sense since, along the elevated-temperature branch, both the oxidation and biological reactions generate heat. However, once the maximum temperature becomes sufficiently high, the contribution of biological self-heating decreases as the micro-organisms start to die (or become dormant). The contribution of chemical heating also decreases as there is insufficient oxygen within the pile. As a result of these mechanisms, the rate of change in the maximum temperature is dramatically reduced.

When there is no air flow, the steady-state diagram (Fig. 2) possesses two notable features. Firstly, the maximum steady-state temperature on the elevated-temperature solution branch gradually increases as the width of the compost pile is increased. Since compost materials generally ignite at about 423 K (150°C) (Rynk, 2000), it is clear in this case that ignition only occurs for very long (very wide) piles, i.e., greater than 150 m. Secondly, the transition from the elevated-temperature solution to the flaming-combustion solution is ‘smooth’ and not characterised by a bifurcation. From the operational viewpoint, the elevated-temperature branch is desirable since the composting process is enhanced at such temperatures. However, ignition of the compost pile must also be avoided. Comparing the results shown in Fig. 2 with those in Sidhu et al. (2007), it can be concluded that the solution behaviours for trapezoidal and rectangular configurations are the same except that, for the former, the compost pile size needs to be larger in order to achieve the same temperature values.

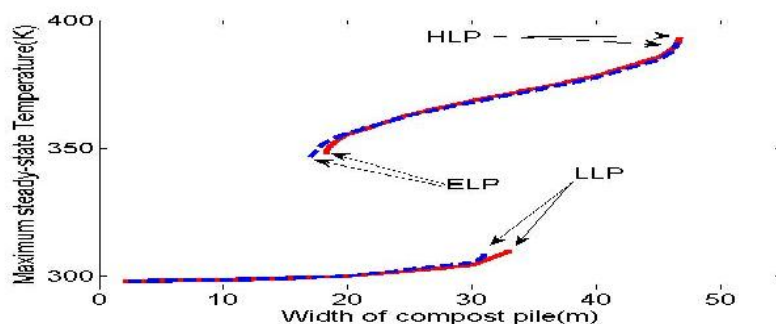


Fig. 3: Dependence of maximum steady-state temperature within compost heap on width of pile (LLP - low-temperature ignition limit point; HLP - high-temperature ignition limit point; ELP - extinction limit point; flow rate  $U=1 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ ; red solid curve shows results for single air-flow direction and blue dashed curve correspond to results for convective air flow in two directions).

Next, the results for investigation of the effects of air-flow through a two-dimensional compost pile is presented. It is noted that for low air-flow rates, the steady state solutions resemble those shown in Fig. 2. The flow rate is now increased to  $U=1 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$  and the results are presented in Fig. 3. Here the solutions have changed from those shown in Fig. 2. Solutions for both cases (single air-flow and two air-flow directions) are almost identical and break into two short solution branches. Besides the

LLP and ELP seen in Fig. 2, there now exists another limit point - the high-temperature ignition limit point (HLP) - and the elevated-temperature solution branches are significantly shorter than before.

When the width of the compost is taken to be between the LLP and HLP values (HLPs occur for  $L \approx 46.48 m$  for the single air-flow case and  $L \approx 46.46 m$  for the case of air flow in two directions), the heat generation is more effective than in the previous case (Fig. 2). As a result, the compost pile can possess the elevated-temperature solution range with smaller sized compost piles.

However, choosing a value of the compost width greater than the HLP value results in a big 'jump' in temperature which represents spontaneous ignition within the pile as the temperature increases beyond the ignition value of 423 K. This is because there is sufficient oxygen for the oxidation reaction to generate heat inside the compost pile and the cooling mechanism is not sufficient to keep the temperature down. Therefore, all the limit points (LLP, ELP and HLP) are located at the smaller pile size, especially the ELP and HLP. Consequently, the chance of spontaneous ignition is now more likely to occur with a smaller sized compost pile.

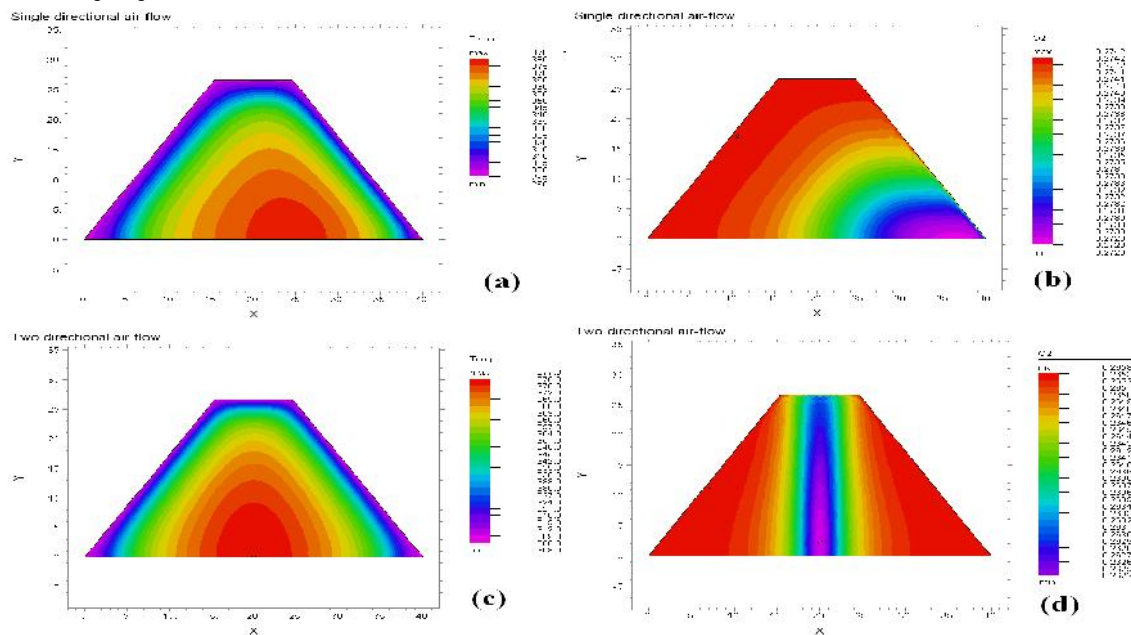


Fig. 4: Steady-state temperature and oxygen distributions within compost pile for air-flow rate  $U=1 \times 10^{-4} m s^{-1}$  and width of compost pile fixed at 40 m. Figures (a) and (b) show results for single air-flow direction, while (c) and (d) correspond to air flow in two directions.

For the case of a single-direction air flow, temperature and oxygen distributions are shown in Figs. 4(a) and 4(b) respectively, and for the two-directional air flow case in Figs. 4(c) and 4(d) respectively. Comparing these results, it can be concluded that, when the air flow is sufficiently fast, the 'hot spot' for the single-direction air-flow case is located slightly to the right and moves further to the right if the air flow is increased. The location of the minimum concentration of oxygen is at the lower right-hand boundary. However, for the case of air flow in two directions, due to the symmetrical nature of the flow, the locations of the 'hot spot' and minimum oxygen concentration occur at the middle of the bottom boundary.

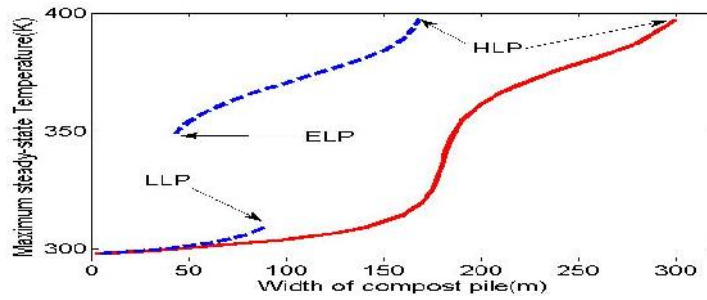


Fig. 5: Dependence of maximum steady-state temperature within compost heap on width of pile (Flow rate  $U=1 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$  and other notations as in Fig. 3).

As the air-flow rate is increased further, Fig. 5 shows the solution for  $U=1 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ . The solution behaviour for the single air-flow case (red solid curve) has changed whereas that for the case with two air-flow directions (blue dashed curve) remains the same. For the single air-flow direction, the LLP and ELP have disappeared so that the steady-state solution branches have become a single continuous solution and only the HLP remains. This is because the air flow enters the pile from the left boundary and is sufficiently high to cool the compost. The steady-state temperature only gradually increases as the compost pile width is increased. In contrast, the solution behaviour with two air-flow directions (blue dashed curve) still remains the same as in the case when  $U=1 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$  (Fig. 3).

If the airflow rate is further increased to  $U=1 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ , the solutions for both cases (single and two air-flow directions) will become one unique solution with only a HLP and be located at a larger pile size than when  $U=1 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ . With an air-flow rate of  $U=1 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ , the case with a single air-flow direction is still more efficient in cooling the pile than that with two air-flow directions. Overall, the one- and two-dimensional models of a compost pile with a single and two air-flow directions have similar solution behaviours.

#### EFFECTS OF RADIATIVE HEAT LOSS

In this section, a preliminary investigation into the effects of radiative heat loss at the boundaries of a two-dimensional compost pile is undertaken. The second term on the right-hand side of equation (5) represents the condition for radiative heat loss at the compost boundaries. As the Stefan-Boltzmann coefficient ( $\sigma$ ) is a constant, the radiative heat loss rate can be controlled by varying the value of the emissivity of the pile,  $\epsilon_R$ . The value of the  $\epsilon_R$  for a coal pile is approximately 0.5 (Hull et al., 1997). Since the emissivity of the pile is not known, we shall investigate the locations of the critical points (LLP, ELP and HLP) for various values of  $\epsilon_R$  noting that it is always less than one for any real object since, for a true black body, it would be equal to one. In this analysis, the model with air flow in two directions and an air-flow rate of  $U=1 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$  is used.

Table 1: Locations of limit points with varying values of emissivities ( $\epsilon_R$ ) (Two-directional air-flow rates at boundaries  $U=1 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ ).

$\epsilon_R$	LLP (m)	ELP (m)	HLP (m)
0	30.94	16.95	46.46
0.001	30.94	16.95	46.46
0.5	30.94	16.96	46.46
1	30.94	16.96	46.46



Table 1 shows the locations of the LLP, ELP and HLP for various values of  $\varepsilon_R$  which are almost exactly the same as those for the case when there is no radiative heat loss at the boundaries ( $\varepsilon_R = 0$ ). Furthermore, the solution curves obtained are exactly the same. Therefore, it can be concluded that the radiative heat loss has negligible effects on the overall dynamics of the compost pile. It is also believed that the radiative heat loss will not be an effective heat transfer mechanism in the three-dimensional case either. The main reason for this is the fact that temperatures concerned are far too low for this to have an impact.

#### EFFECTS OF VARYING AMBIENT TEMPERATURE

In this section, the effects of varying the ambient temperature in a two-dimensional compost pile are investigated. (The one-dimensional case was analysed by Luangwilai et al., 2010). Due to seasonality, the average ambient temperature changes throughout the year. According to the Bureau of Meteorology (Australian Government), depending on the location and time of year, temperatures of 313 K are not uncommon. Furthermore, the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) predicts that the average temperature around the globe will increase by 2 K to 5K in the next 40 years due to factors causing global warming (UN IPCC, 2007). As a consequence, an understanding of the effects of variations in the ambient temperature upon the thermal behaviour of compost piles is crucial in order to prevent incidents of fires in compost facilities. Therefore, in this section, the behaviour of the compost pile when the ambient temperature is increased by 10 K (i.e., from 298 K to 308 K) is investigated for different air-flow rates and considering the flow of air in two directions, as shown in Fig. 1(b).

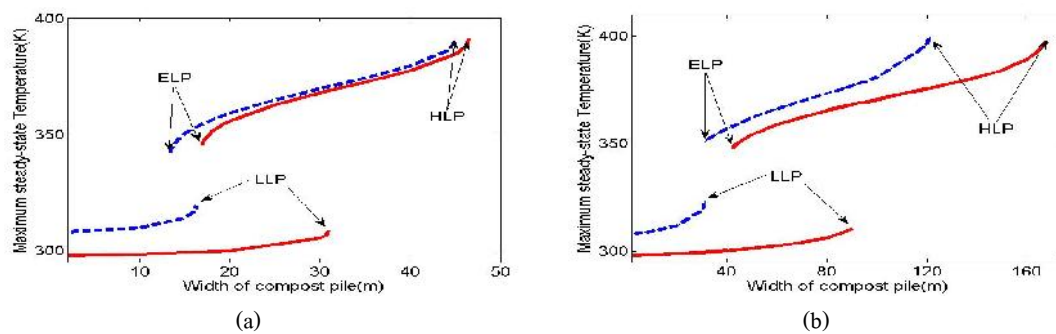


Fig. 6: Dependence of maximum steady-state temperature within compost heap on width of pile (Ambient temperature values - red solid curves 298 K and blue dashed curves 308 K; air-flow rates - (a)  $U=1 \times 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$  and (b)  $U=1 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ ).

Fig. 6 shows the results obtained from the comparison between the ambient temperatures of 298 K (red solid curves) and 308 K (blue dashed curves). It can be seen that the overall behaviours of the steady-state curves for these two ambient temperature values are similar, except that the solution branches for the higher ambient temperature are shifted to the left. In other words, the locations of all the limit points (LLP, ELP and HLP) are located at shorter widths for the higher ambient temperatures.

Overall, when the ambient temperature is increased, the process of heat loss to the surrounding environment becomes 'ineffective'. Therefore, the overall compost temperature is increased for the same size of compost heap. The effect of increasing the ambient temperature has the advantage of increasing performance by achieving elevated-temperature regions for shorter piles but, at the same time, increasing the risk of spontaneous combustion as the HLP also decreases.

#### CONCLUSIONS

In this paper, it has been shown that the value of the air-flow velocity is crucial for determining the behaviour of a compost pile. It acts to both increase the rate of heat generation by supplying oxygen for the oxidation reaction and decrease it by removing heat from the compost pile. When the velocity is too high, heat loss dominates and very large pile sizes are required to reach the desired temperature. When the velocity is too low, there is insufficient oxygen within the pile to generate high

temperatures. As a result, internal heat generation from the oxidation reaction ceases at elevated temperatures. For intermediate values of the flow rate, elevated temperatures can be achieved by moderately sized compost piles. However, this gain in performance is counteracted by the possibility that the compost pile will spontaneously ignite.

The study also investigated the effects of radiative heat loss at a compost pile's boundaries. It was found that this mechanism of heat loss was negligible and does not make any substantial changes to the steady-state solutions. All steady-state solution branches and limit points remained almost the same when compared with the case of no radiative heat loss. It is believed that radiation will not be an effective transfer mechanism in compost piles as the temperature considerations are just too low.

As one would expect, our study of ambient temperature indicated that it is another important factor in increasing the overall compost heap temperature and its effects are more pronounced for higher air-flow rates. If the ambient temperature is increased, the elevated steady-state temperature can be easily achieved for a smaller sized compost pile which is an ideal situation. However, this implies that the location of the critical point associated with spontaneous ignition (HLP) is also decreased which, in turn, means that the probability of spontaneous combustion is increased. Therefore, a full understanding of the effects of both the air-flow rate and the ambient temperature is very important for practical industrial composting.

#### NOMENCLATURE

$A_C$	Pre-exponential factor for oxidation of cellulosic material ( $s^{-1}$ )	$1.8 \times 10^4$
$A_1$	Pre-exponential factor for oxidation of biomass growth ( $s^{-1}$ )	$2.0 \times 10^6$
$A_2$	Pre-exponential factor for inhibition of biomass growth (-)	$6.86 \times 10^{30}$
$C_{air}$	Heat capacity of air ( $J kg^{-1}K^{-1}$ )	1005
$C_C$	Heat capacity of cellulosic material ( $J kg^{-1}K^{-1}$ )	3320
$D_{oair}$	Diffusion coefficient for oxygen	$1.0 \times 10^{-5}$
$D_{oeff}$	Effective diffusion coefficient for oxygen	$3.0 \times 10^{-6}$
$E_C$	Activation energy for oxidation of cellulosic material ( $J mol^{-1}$ )	$110 \times 10^3$
$E_1$	Activation energy for biomass growth ( $J mol biomass^{-1}$ )	$100 \times 10^3$
$E_2$	Activation energy for inhibition of biomass growth ( $J mol biomass^{-1}$ )	$200.0 \times 10^3$
$H$	Height of compost pile (m)	$2L/3$
$L$	Width of compost pile (m)	
$O_2$	Oxygen concentration within pile ( $kg m^{-3}$ )	
$O_{2,a}$	Ambient oxygen concentration ( $kg m^{-3}$ )	0.272
$Q_b$	Exothermicity for oxidation of biomass per kg. of dry cellulose ( $J kg^{-1}$ )	$6.66 \times 10^6$
$Q_C$	Exothermicity for oxidation of cellulosic material ( $J kg^{-1}$ )	$1.7 \times 10^7$
$R$	Ideal gas constant ( $J K^{-1} mol^{-1}$ )	8.31441
$T$	Temperature within compost pile (K)	
$T_a$	Ambient temperature (K)	298
$U$	Air velocity ( $m s^{-1}$ )	
$U_x$	Air velocity in x direction ( $m s^{-1}$ )	
$U_y$	Air velocity in y direction ( $m s^{-1}$ )	
$h_n$	Convective heat transfer coefficient ( $W m^{-2}K$ )	8.24
$k_{air}$	Effective thermal conductivity of air ( $W m^{-1}K^{-1}$ )	0.026
$k_C$	Effective thermal conductivity of cellulose ( $W m^{-1}K^{-1}$ )	0.3

$k_{\text{eff}}$	Effective thermal conductivity of bed ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	
$t$	Time (s)	
$x$	Spatial distance along width of pile (m)	
$y$	Spatial distance along height of pile (m)	
$\varepsilon$	Void fraction (-)	0.3
$\varepsilon_R$	Emissivity of pile at its surface (-)	
$\Psi$	Stream function (-)	
$\sigma$	Stefan-Boltzmann constant ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )	$5.67 \times 10^{-8}$
$(\rho C)_{\text{eff}}$	Effective thermal capacity per unit volume of bed ( $\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$ );	
$\rho_{\text{air}}$	Density of air ( $\text{kg m}^{-3}$ )	1.17
$\rho_b$	Density of bulk biomass within compost pile ( $\text{kg m}^{-3}$ )	$0.5 \times \rho_c$
$\rho_c$	Density of pure cellulosic material ( $\text{kg m}^{-3}$ )	1150

REFERENCES

- [1] Akgun, F. & Essenhigh, R.H., 2001, ‘Self-ignition characteristics of coal stockpiles: theoretical prediction from a two-dimensional unsteady-state model’, *FUEL*, vol. 80, pp. 409–415.
- [2] Bowes, P.C., 1984, ‘Self-heating: evaluating and controlling the hazard’, *Elsevier*, Amsterdam.
- [3] Brinton, W.F., Evans, Jr. E., Droffner, M.L. & Brinton, R.B., 1995, ‘Standardized test for evaluation of compost self-heating’, *BioCycle*, vol. 36, pp. 60–65.
- [4] Bureau of Meteorology, Australian Government, <http://www.bom.gov.au>
- [5] Chen, X.D. & Mitchell, D.A., 1996, ‘Start-up strategies for self-heating and efficient growth in stirred bioreactors for solid state fermentation’, *Proceedings of the 24th Annual Australian and New Zealand Chemical Engineering Conference, 4, The Institute of Engineers*, pp. 111–116.
- [6] Escudey, M., Arias, A., Forster, J., Moraga, N., Zambra, C. & Chang, A. C., 2008, ‘Sewage sludge self-heating and spontaneous combustion: field, laboratory and numerical studies’, *High Temperature Materials and Processes*, vol. 77(5), pp. 337–346.
- [7] Fierro, V., Miranda, J.L., Romero, C., Andrés, J.M., Arriaga, A. & Schamal, D., 2001, ‘Model predictions and experimental results on self-heating prevention of stockpiled coals’, *FUEL*, vol. 80, pp. 125–134.
- [8] FLEXPDE™, PDE Solutions, Inc., <http://www.pdesolutions.com>
- [9] Haug, R.T., 1993, ‘The Practical Handbook of Compost Engineering’, *Lewis publishers, USA*.
- [10] Hogland, W., Bramryd, T. & Persson, I., 1996, ‘Physical, biological and chemical effects of unsorted fractions of industrial solid waste in waste fuel storage’, *Waste Management & Research*, vol. 14, pp. 197–210.



# การพัฒนา รูปแบบการจัดการเรียนการสอนกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์

นาวาอากาศเอก.อนุรักษ์ โชติดีติก<sup>1</sup>

<sup>1</sup>รองศาสตราจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## บทคัดย่อ

การพัฒนา รูปแบบการจัดการเรียนการสอนกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นของนักเรียน นายเรืออากาศ (นอ.) ที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนวิชาคำนวณ และพฤติกรรมการเรียนของ นอ. เพื่อเปรียบเทียบความคิดเห็น ของ นอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึง ชั้นปีที่ ๔ ต่อปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ เพื่อสำรวจความต้องการของ นอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึงชั้นปีที่ ๔ ต่อรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ต้องการ เพื่อสำรวจความคิดเห็นของอาจารย์ที่สอนวิชาในกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ใน ประเด็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่เน้น นอ.เป็นศูนย์กลาง วิธีการจัดการเรียนการสอนสำหรับ นอ.กลุ่มอ่อน วิธีการแก้ปัญหา นอ.หลับในชั้นเรียน วิธีการวัดและประเมินผล แนวทางการจัดการเรียนการสอน และเพื่อพัฒนา รูปแบบการจัดการเรียนการสอน กลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ประจำปีการศึกษา พ.ศ.๒๕๕๔ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบสอบถาม สำหรับสอบถามความคิดเห็น ของ นอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึงชั้นปีที่ ๔ และ แบบสัมภาษณ์ สำหรับสอบถามความคิดเห็นกลุ่มอาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของ นอ.ชั้นปีที่ ๒ พบว่า เนื้อหาวิชายาก ไม่น่าสนใจ และไม่ทราบว่าเรียนแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์ ได้อย่างไร จะเป็นปัจจัยที่ทำให้ นอ.ไม่สนใจเรียน ดังนั้นอาจารย์ควรบอกวัตถุประสงค์ของเนื้อหา และชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่ นอ.สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ รวมทั้งจัดกิจกรรมการสอนเพื่อกระตุ้นให้ นอ.สนใจในการเรียนมากขึ้น สำหรับ นอ.ชั้นปีที่ ๓ และชั้นปีที่ ๔ พบว่า อาจารย์ใจดีไม่ดุ จะเป็นปัจจัยที่ทำให้ นอ.ไม่สนใจเรียน บุคลิกของอาจารย์ที่ นอ.ต้องการ คือ ใจดี อธิบายดี ดี กันเอง งามได้ มีปฏิสัมพันธ์ดี ควรดูบ้าง เอาใจใส่นักเรียน สอนให้เข้าใจ ทำให้บรรยากาศการเรียนสบาย ๆ ไม่เครียด สอนนอก เรื่องบ้าง ตั้งใจสอน บุคลิกของอาจารย์ที่ดีทำให้มีอคติต่อวิชานั้นน้อยลง ชี้แนะแนวทางในการเรียนรู้ให้สามารถไปศึกษาต่อยอดได้ ตอบทุกข้อสงสัย คอยอบรมสั่งสอน และมีประสบการณ์ต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ วิชาทหาร และการใช้ชีวิต วิธีการวัดและประเมินผล ควรทำการวัดและประเมินผลมากกว่า ๒ ครั้ง การสอน นอ.ควรเน้นที่แบบฝึกหัด มีตัวอย่างประกอบที่หลากหลายและครอบคลุม ไม่ควรสอนตามหนังสือ หรือสอนโดย PowerPoint อย่างเดียว แต่ควรสอดแทรกมุขตลก เล่าประสบการณ์ สอดแทรกเรื่องราวต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์กับ นอ. และควรให้ นอ.มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน กรณี นอ.ไม่สนใจเรียน อาจให้คิม้ น้ำ หรือไป ล้างหน้า หากยังไม่ได้ผลให้ยืนเรียน วิ่งรอบตึก พักระหว่างเรียน ๑๐ – ๑๕ นาที หรืออาจใช้มาตรการส่งชื่อให้ กรม นอ.รอ.๑ เพื่อ กักบริเวณ นอ.กลุ่มอ่อน อาจารย์ต้องตรวจสอบสมุดรายชั้วโมง จัดที่นั่งให้ นอ.เรียนคิม้ นั้งประกบ เรียกออกมาทำบนกระดาน เดิน ไปหา นอ.ที่มีปัญหาด้านการเรียนบ่อย ๆ หรือเรียกถาม หรือบางครั้งต้องบอกให้ นอ.เกิดความภาคภูมิใจในความเป็น นอ. กรณี ที่เป็นวิชาที่มีผู้สอนมากกว่า ๑ คน อาจารย์ต้องมีการปะทะสังสรรค์กับผู้สอนร่วม เพื่อกำหนดทิศทางในการสอน เน้นเนื้อหา และร่วมกันแก้ปัญหาที่ นอ.สงสัยร่วมกัน การพัฒนาการจัดการเรียนการสอนให้ใช้ผลการประเมินการสอนของอาจารย์โดย นอ. และผลสรุปการสัมมนาการจัดการเรียนการสอน มาเป็นข้อมูลในการพัฒนา

## Abstract

The development of the teaching and learning protocol for mathematics course has the objectives as follows: 1) To survey the opinion of the students towards the teaching and learning mathematics and the air cadet behavior; 2) To compare the opinion of the air cadet in year 2 and 4 and factors that influence the interest of the air cadet learning, 3) To survey the needs of air cadet in Year 2 and 4 according to their desired teaching and learning protocol, 4) To survey opinions of mathematics teachers regarding the teaching protocol on child-centered learning, the teaching and learning management for the weak air cadet, the method to

solve the problem on sleepy air cadet in classes, the teaching and learning evaluation, and the way for manage teaching and learning. 5) To develop teaching and learning of the mathematics protocol in year 2011. Research tool, query forms for investigate opinions from the air cadet in Year 2 to Year 4, and interview form to investigate the opinions from mathematics teachers

The results from the data analysis of air cadet in Year 2 shows that difficult, non-interesting, subjects, and also the subjects in which air cadet do not know how to benefit them are the factors, causing the air cadet to be uninterested in the teaching and learning. Therefore, teachers should clearly explain the objectives of subjects, and point out benefits and applications of the subjects. In addition, the teaching activities stimulate the interest of air cadet in learning. For air cadet in Year 3 and 4, the results reflect that the kindness of teachers is the factor that makes air cadet not to be interested in learning. The air cadet expect the characteristics of the teachers as follows: kind, courtesy, friendly, advisable, interactive, concerned, and relaxation. They also expect teachers who can teach them to understand in subjects, make a class comfortable, occasionally talk outside learning subjects, devote/intend for teaching, can answer all of student inquires/questions, kindly instruct them, have many experiences, and can point out the applications of the learning subjects for further integrated studies. Such teachers' characteristics may reduce the bad attitudes of air cadet towards the learning subjects. The learning evaluation should be performed at least two times. The teaching protocol should be focused on the various practical problems, which cover all teaching topics. The teachers should not teach by following the textbooks, and/or PowerPoints, but they should insert the wits, experiences, stories which benefit to the air cadet and allow air cadet to participate in the teaching activities. If the air cadet feel not interested, the teachers may give them a break (10-15 minutes) for drinking water, washing their faces. If such strategies do not works, the teachers may ask them to have an exercise (running around buildings) or quarantine them. The teachers need to check their reporting notebooks, arrange them to sit near by the strong academic air cadet, always ask them to solve the problem in front of the classroom (on the blackboard), always ask them questions, and take care of them during classes. Sometimes, the teachers have to praise them to make them proud. If there are more than one teacher teaching in the same class, all teachers need to discuss on the contents, teaching directions, and also solve the inquiries from air cadet together. The development of the learning and teaching protocol is evaluated by the air cadet. The results is used for the learning and teaching development.

## 1. บทนำ

การพัฒนา รูปแบบการจัดการเรียนการสอน กลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ประจำปีการศึกษา พ.ศ.๒๕๕๔ มีวัตถุประสงค์เพื่อ ๑) เพื่อสำรวจความคิดเห็นของ นนอ.ที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนวิชาคำนวณ และพฤติกรรมการเรียนของ นนอ. ประจำปีการศึกษา พ.ศ.๒๕๕๓ ที่ผ่านมา ๒) เพื่อเปรียบเทียบความคิดเห็นของ นนอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึง ชั้นปีที่ ๔ ต่อปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ ประจำปีการศึกษา พ.ศ.๒๕๕๓ ที่ผ่านมา ๓) เพื่อสำรวจความต้องการของ นนอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึงชั้นปีที่ ๔ ประจำปีการศึกษา พ.ศ.๒๕๕๓ ต่อรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ต้องการ ๔) เพื่อสำรวจความคิดเห็นของอาจารย์ที่สอนวิชาในกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ประจำปีการศึกษา พ.ศ. ๒๕๕๓ ในประเด็น วิธีการจัดการเรียนการสอนที่เน้น นนอ. เป็นศูนย์กลาง วิธีการจัดการเรียนการสอนสำหรับ นนอ.กลุ่มอ่อน วิธีการแก้ปัญหา นนอ.หลักในชั้นเรียน วิธีการวัดและประเมินผล และ แนวทางการจัดการเรียนการสอนในปี

การศึกษา พ.ศ.๒๕๕๔ และ ๕) เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอน กลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ประจำปีการศึกษา พ.ศ.๒๕๕๔

กลุ่มประชากร มี ๒ กลุ่ม ได้แก่ นักเรียนนายเรืออากาศ และอาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ ส่วนกลุ่มตัวอย่าง มี ๑ กลุ่ม คือ นนอ. ชั้นปีที่ ๒ ถึงชั้นปีที่ ๔ ประจำปีการศึกษา ๒๕๕๓ จำนวน ๑๓๐ คน หรือคิดเป็นร้อยละ ๕๐.๐ ของจำนวน นนอ. ชั้นปีที่ ๒ ถึงชั้นปีที่ ๔ ส่วนกลุ่มอาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์ ใช้ทุกคนเป็นหน่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบสอบถาม สำหรับสอบถามความคิดเห็นของ นนอ. และ แบบสัมภาษณ์ สำหรับสอบถามความคิดเห็นกลุ่มอาจารย์ภาควิชาคณิตศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปได้ดังนี้

**พฤติกรรมการเรียนวิชาคำนวณ ของ นนอ.**

๑. ความตั้งใจ พบว่า ส่วนใหญ่ ร้อยละ ๖๓.๑ มีความตั้งใจในระดับปานกลาง

๒. ความสนใจ พบว่า ส่วนใหญ่ ส่วนใหญ่ ร้อยละ ๖๖.๒ มีความสนใจในระดับปานกลาง

๓. ประโยชน์ที่ได้รับจากการเรียนพบว่าส่วนใหญ่ ร้อยละ ๖๐.๐ เห็นว่าได้รับประโยชน์ในระดับปานกลาง

๔. การหลับหรือไม่สนใจในชั้นเรียนพบว่าส่วนใหญ่ ร้อยละ ๖๑.๕ ตอบว่าหลับบ้าง

เปรียบเทียบความคิดเห็นของ นนอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึง ชั้นปีที่ ๔ ต่อ ปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ

๑. อาจารย์ใจดีไม่ดุ พบว่า เป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นแตกต่างไปจาก นนอ.ชั้นปีที่ ๒ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (F = 8.230\* , P-Value = ๐.๐๐๐) โดย นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ มากกว่า นนอ.ชั้นปีที่ ๒

๒. อาจารย์ไม่แม่นยำในเนื้อหาวิชา พบว่า นนอ. ทุกชั้นปี มีความคิดเห็นที่ไม่แตกต่างกัน (F =0.770, P-Value = 0.465)โดยเห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ.ไม่สนใจการเรียนในระดับน้อย



รูปที่ ๑ อาจารย์กำหนดกิจกรรมฝึกให้ นนอ. แลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักเรียนด้วยกัน

๓. อาจารย์สอนเข้าใจยาก พบว่า เป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นแตกต่างไปจาก นนอ.ชั้นปีที่ ๒ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (F = 9.598\* , P-Value = 0.000) โดย นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ น้อยกว่า นนอ.ชั้นปีที่ ๒

๔. อาจารย์บรรยายบนกระดาน หรือ Power Point อย่างเดียว พบว่า นนอ. ทุกชั้นปี มีความคิดเห็นที่ไม่แตกต่างกัน (F = 1.737 , P-Value = 0.180) โดยเห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ.ไม่สนใจการเรียนในระดับปานกลาง

๕. เนื้อหาวิชายาก พบว่า เป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ. ทุกชั้นปี มีความเห็นแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (F = 8.381\* , P-Value = 0.000)โดย นนอ. ชั้นปีที่ ๒ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณมากที่สุด ส่วน นนอ.ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ ในระดับรอง ๆ ลงไป

๖. เนื้อหาวิชาไม่น่าสนใจ พบว่า เป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นแตกต่างไปจาก นนอ.ชั้นปีที่ ๒ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (F = 6.189\* , P-Value = 0.003) โดย นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และชั้นปีที่ ๔ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ น้อยกว่า นนอ.ชั้นปีที่ ๒

๗. ไม่มีกิจกรรมการสอนอื่น นอกจากการบรรยาย พบว่า นนอ. ทุกชั้นปี มีความคิดเห็นที่ไม่แตกต่างกัน (F = 2.734 , P-Value = 0.069) โดยเห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ.ไม่สนใจการเรียนในระดับปานกลาง

๘. ไม่ทราบว่าเรียนแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร พบว่า เป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นแตกต่างไปจาก นนอ.ชั้นปีที่ ๒ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (F = 11.644\* , P-Value = 0.000)โดย นนอ. ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ น้อยกว่า นนอ.ชั้นปีที่ ๒

๙. จำนวน นนอ. ที่เรียนต่อห้องมากเกินไป พบว่า เป็นปัจจัยที่ทำให้ นนอ. ทุกชั้นปี มีความเห็นแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ๐.๐๕ (F = 8.322\* , P-Value = 0.000) โดย นนอ. ชั้นปีที่ ๒ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณมากที่สุด ส่วน นนอ.ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔ เห็นว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้ไม่สนใจเรียนวิชาคำนวณ ในระดับรอง ๆ ลงไป



รูปที่ ๒ จำนวน นนอ.ที่เรียนต่อห้องเรียนซึ่งมีปริมาณที่มากเกินไปทำให้ นนอ.ขาดความตั้งใจ

รูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่ นนอ.ชั้นปีที่ ๒ ถึงชั้นปีที่ ๔ ต้องการ

๑. บุคลิกของอาจารย์ ใจดี อธิบายดี ก็นเอง ถามได้ มีปฏิสัมพันธ์ดี ควรดูบ้าง นักเรียนจะได้เกรงกลัวเอาใจใส่นักเรียน สอนให้เข้าใจ ทำให้บรรยากาศการเรียนสบาย ๆ ไม่เครียด สอนนอกเรื่องบ้าง แต่ไม่ไร้สาระ ตั้งใจสอน บุคลิกของอาจารย์ที่ดีทำให้มีอคติต่อวิชานั้นน้อยลง ซึ่งแนะแนวทางในการเรียนรู้ให้ไปศึกษาต่อยอด ตอบทุกข้อสงสัย คอชอบรมสั่งสอน

และมีประสบการณ์ต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ ทหาร และการใช้ชีวิต

๒. วิธีการสอน / กิจกรรม / สื่อประกอบการสอน / การวัดและประเมินผล ใช้วิธีการวัดผลมากกว่า ๒ ครั้ง สอนแบบบรรยาย เน้นทำแบบฝึกหัด ยกตัวอย่างวิธีทำ ไม่ควรสอนโดยใช้ Power Points เพียงอย่างเดียว ควรใช้การเขียนกระดานสอน จัดการสอนแบบอภิปราย หรือจับกลุ่มทำโจทย์ ควรมีกิจกรรมอื่นนอกจากบรรยายเพียงอย่างเดียว อาจารย์ควรสอนสอดแทรกมุขตลก หรืออะไรที่ทำให้ไม่น่าเบื่อ ไม่เครียด จะทำให้นอน. ไม่หลับ การจัดการสอนให้เป็นรูปแบบการแข่งขันระหว่างกลุ่ม ใช้เทคนิคการสอนที่ทำให้ นอน. เข้าใจง่าย ไม่ควรสอนตามหนังสือ เพราะ นอน. สามารถอ่านเองได้ ระยะเวลาการสอนไม่ควรมากเกินไป อธิบายรวดเร็ว และเร็วเกินไป เพิ่มสื่อประกอบการเรียนการสอน และให้ นอน. มีส่วนร่วมในการสอน วัดความเข้าใจในแต่ละชั่วโมงที่เรียน

๓. การจัดการเรียนการสอนที่ นอน. ไม่อยากให้มี การสอนแบบรวมตอน ทำให้การเรียนไม่เจาะจง และ นอน. ขาดความตั้งใจ อาจารย์ดูแลไม่ทั่วถึง การสอนแบบแยกตอน ทำให้นอน. ขาดการมีกิจกรรมทางวิชาการร่วมกัน เป็นผลให้นอน. ไม่รู้จักกัน ใช้ PowerPoint สอนอย่างเดียว ไม่สนใจนักเรียน การเรียนแบบไร้จุดหมาย ไม่ทราบวัตถุประสงค์และประโยชน์ของการเรียน การมีจำนวนนักเรียนในชั้นเรียนมากเกินไป สอนช่วงวันหยุด สอนแบบไม่ให้ถาม สอนตอนบ่าย เพราะ นอน. รู้สึกง่วง

**ความประทับใจในตัวอาจารย์ของ นอน.**

นอน. ได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความประทับใจในตัวอาจารย์แต่ละคนที่สามารถถ่ายทอดวิชาการทำให้นอน. มีความสนใจหรือตั้งใจเรียน สรุปได้ดังนี้

๑. ให้ความสนใจ ใส่ใจในตัวผู้เรียนเป็นรายบุคคล
๒. มีเทคนิคการสอนดี
๓. มีความตั้งใจที่จะสอน
๔. มีความเป็นกันเองกับ นอน. ใจดีในบางเรื่อง และมี ความเข้มงวดในเรื่องที่ต้องเข้มงวด
๕. มีการสอดแทรกคุณธรรมในการสอน
๖. การสอนมีขั้นตอน มีลำดับเนื้อหา
๗. สอนครอบคลุมตามหลักสูตร
๘. สอนไปเรื่อย ๆ ยกตัวอย่างหลากหลาย จน นอน. ส่วนใหญ่เข้าใจ
๙. สอนบนกระดาน เขียนตัวหนังสืออ่านง่าย ชัดเจน

๑๐. การสอนจะให้แง่คิดต่างๆ เพื่อให้ นอน. นำกลับไปคิด และประยุกต์ใช้

๑๑. สอนเน้นปฏิบัติ
  ๑๒. เปิดโอกาสให้ นอน.ซักถาม
  ๑๓. อาจารย์มีความรู้มาก สอนได้อย่างแตกฉาน
  ๑๔. มีเอกสารประกอบการเรียนที่มีเนื้อหาและรายละเอียดครบถ้วน
  ๑๕. สอนสนุก ไม่เครียด แต่มีสาระ
  ๑๖. มีความเข้าใจในสภาพความเป็น นอน. ว่า ณ ปัจจุบัน นอน. มีความรู้สึก นึกคิดอย่างไร
  ๑๗. สอนแบบใช้ประสบการณ์
  ๑๘. สอนแบบจุดประกายแนวคิดให้ นอน. เกิดการเรียนรู้
- แนวทางการจัดการเรียนการสอนกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ ๒**

เนื้อหาวิชายาก ไม่น่าสนใจ และไม่ทราบว่าจะเรียนแล้วจะนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร จะเป็นปัจจัยที่ทำให้ นอน. ไม่สนใจเรียน ดังนั้นอาจารย์ควรบอกวัตถุประสงค์ของเนื้อหา และชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ที่ นอน. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ รวมทั้งจัดกิจกรรมการสอนเพื่อกระตุ้นให้ นอน. สนใจในการเรียนมากขึ้น เช่น ถามตอบ ทดสอบทำชั่วโมง ให้ทำงานกลุ่ม หรือมีกิจกรรมการแข่งขันระหว่างกลุ่ม เป็นต้น



รูปที่ ๓ อาจารย์กำลังอธิบายให้ นอน. เข้าใจถึงประโยชน์ของการนำความรู้จากบทเรียนไปใช้ในงานวิจัย

**แนวทางการจัดการเรียนการสอนกลุ่มรหัสวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ ๓ และ ชั้นปีที่ ๔**

อาจารย์ใจดีไม่ดุ จะเป็นปัจจัยที่ทำให้ นอน. ไม่สนใจเรียน ดังนั้นอาจารย์ควรดูแล นอน. เมื่อพบเห็น นอน. ปฏิบัติตัวไม่ถูกต้องตามระเบียบที่ควรปฏิบัติ

**บุคลิกของอาจารย์ที่ นอน. ต้องการ**

บุคลิกของอาจารย์ที่ นอน. ต้องการมีดังนี้ใจดี อธิบายดี เป็นกันเอง ถามได้ มีปฏิสัมพันธ์ดี ควบคุมบ้าง นักเรียนจะได้เกรงกลัว เอาใจใส่นักเรียน สอนให้เข้าใจ ทำให้บรรยากาศการเรียนสบาย ๆ ไม่เครียด สอนนอกเรื่องบ้าง ตั้งใจสอน บุคลิก

ของอาจารย์ที่ดีทำให้มีอคติต่อวิชานั้นน้อยลง ซึ่งแนะแนวทางในการเรียนรู้ให้ไปศึกษาต่อยอด ตอบทุกข้อสงสัย คอยอบรมสั่งสอน และมีประสบการณ์ต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ ด้านทหาร และ การใช้ชีวิต

#### ข้อเสนอแนะในภาพรวม

๑. วิธีการวัดและประเมินผล ควรทำการวัดและประเมินผลมากกว่า ๒ ครั้ง

๒. วิธีการสอน นนอ. ควรเน้นที่แบบฝึกหัด มีตัวอย่างประกอบที่หลากหลายและครอบคลุม พยายามสอน นนอ. ไม่ควรสอนตามหนังสือ หรือสอนโดย Power Point อย่างเดียว แต่ควรสอดแทรกมุขตลก เล่าประสบการณ์ สอดแทรกเรื่องราวต่างๆ ที่เป็นประโยชน์กับ นนอ. และควรให้ นนอ.มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน การสอนแบบรวมตอนทำให้ นนอ. ขาดความตั้งใจเรียน ส่วนการสอนแบบแยกตอน จะทำให้ นนอ. ขาดการมีกิจกรรมทางวิชาการร่วมกัน ดังนั้นอาจารย์ควรหาวิธีการจัดการเรียนการสอนให้พอดี เหมาะสม เช่น การสอนแบบหมุนเวียนอาจารย์ จัดคิว นนอ.แบบรวมตอน ฯลฯ และ ไม่ควรจัดเรียนวิชาคำนวณช่วงบ่าย

๓. การจัดการเรียนการสอน กรณี นนอ.ไม่สนใจเรียน ให้ปฏิบัติตามลำดับ ดังนี้คือให้ดื่มน้ำ หรือไปล้างหน้า หากยังไม่ได้ผลให้ขึ้นเรียน ให้วิ่งรอบตึก และพักระหว่างเรียน ๑๐ – ๑๕ นาที หรืออาจใช้มาตรการส่งชื่อให้ กรม นักเรียนนายเรืออากาศ เพื่อกักบริเวณ ในกลุ่ม นนอ.ที่มีผลการเรียนอ่อนให้กระตุ้นความสนใจของ เช่น ตรวจสมุดจดรายชั่วโมง จัดที่นั่งให้ นนอ.ที่เรียนดีมานั่งประกบ เรียกออกมาทำบนกระดานเดินไปหา นนอ.ที่มีปัญหาด้านการเรียนบ่อยๆ หรือเรียกถาม หรือบ้างครั้งต้องบอกให้ นนอ.เกิดความภาคภูมิใจในความเป็น นนอ. ภูมิใจในสถาบัน และภูมิใจในความเป็นนักเรียนนายเรืออากาศ รักษาพระองค์

๔. กรณีที่เป็นวิชาที่มีผู้สอนร่วมมากกว่า ๑ คน อาจารย์ต้องมีการปะทะสังสรรค์กับผู้สอนร่วมกันเพื่อกำหนดทิศทางในการสอน เน้นเนื้อหา และแก้ปัญหาที่ นนอ.สงสัย

๕. วิชาที่สามารถเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญได้ ให้ดำเนินการปฏิบัติ โดยให้มีการจัดรูปแบบการศึกษาที่หลากหลาย และวัดประเมินให้เป็นไปตามสภาพจริงให้มากที่สุด เช่น วิชาสถิติ สามารถจัดการเรียนการสอนได้หลายรูปแบบ โดยเน้นให้ นนอ. ฝึกปฏิบัติในสถานการณ์จริง ฝึกให้ นนอ.เป็นศูนย์กลางการเรียนรู้อีกได้แก่ การทำงานเป็นกลุ่ม หัวข้อในการสำรวจข้อมูล

ทางสถิติเอง ทำรายงาน และนำเสนอผลการสำรวจข้อมูล โดยนำรายงานของ นนอ.เสนอต่อผู้บังคับบัญชาในระดับสูง

๖. การพัฒนาการจัดการเรียนการสอนให้นำผลการประเมินการสอนของอาจารย์โดย นนอ. และผลสรุปการสัมมนาการจัดการเรียนการสอน มาใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนา



รูปที่ ๔ อาจารย์สอดแทรกคุณธรรมจริยธรรมในการสอน โดยการปลูกจิตวิญญาณให้ นนอ.ภูมิใจในความเป็นนักเรียนนายเรืออากาศ รักษาพระองค์ ฯ เป็นอนาคตของประเทศชาติ และเป็นความหวังของประชาชน ที่ห้องเรียน ๑๐๒ อาคารเรียน ๒

#### บรรณานุกรม

- [1] “พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.๒๕๔๒”. (๒๕๔๒, ๑๕ สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม ๑๑๖ ตอนที่ ๗๔ก. หน้า ๑-๑๖. [ออนไลน์]. สาระสังเขปจาก: <http://www.moe.go.th/main2/plan/p-r-b42-01.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล :๒๒ กรกฎาคม ๒๕๕๔).
- [2] โรงเรียนนายเรืออากาศ . หลักสูตรโรงเรียนนายเรืออากาศ พ.ศ.๒๕๔๕. กรุงเทพมหานคร: โรงเรียนนายเรืออากาศ, ๒๕๔๕.
- [3] โรงเรียนนายเรืออากาศ . หลักสูตรโรงเรียนนายเรืออากาศ พ.ศ.๒๕๕๓. กรุงเทพมหานคร: โรงเรียนนายเรืออากาศ, ๒๕๕๓.
- [4] สภาวิศวกร. ระเบียบสภาวิศวกรว่าด้วยวิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์วิชาพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมและวิชาเฉพาะทางวิศวกรรมที่สภาวิศวกรจะให้การรับรองปริญญา ประกาศนียบัตรและวุฒิปริญญาในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมพ.ศ.๒๕๕๑ได้จาก: <http://www.coe.or.th/coe/coenew/mainIndex.php?aMenu=7>
- [5] สุนทร โคตรบรรเทา. ปรัชญาการศึกษาสำหรับผู้บริหารการศึกษา. กรุงเทพมหานคร: ปัญญาชน, ๒๕๕๓.



# แบบจำลองพลวัตของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด (Dynamic Model of trirotor Helicopter)

พลอากาศตรี ศ.ดร. วิโรจน์ หอมทรัพย์<sup>1</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ อดิศักดิ์ สุวรรณรักษ์<sup>2</sup> และนักเรียนนายเรืออากาศ พิธิษฐ์ พลอยงาม<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ศาสตราจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงวิธีการหาสมการ และการจำลองแบบ (Simulation) เพื่อแสดงการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด ซึ่งเป็นเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็ก มีส่วนประกอบหลักคือ ใบพัด มอเตอร์ไฟฟ้าและตัวควบคุมความเร็ว 3 ชุด และเซอร์โว 1 ตัว สมการการเคลื่อนที่ ที่ได้จะเป็นแบบไม่เชิงเส้นที่มีตัวแปรทั้งหมด 12 ตัวแปร สำหรับสมการการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัดที่ได้มานี้มีลักษณะใกล้เคียงกับสมการการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์แบบมาตรฐาน (Standard Helicopter) แต่การควบคุมเซอร์โว (Servo) สำหรับเฮลิคอปเตอร์แบบมาตรฐาน จะเปลี่ยนมาเป็นการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว และการควบคุมการสำนันั้นกระทำโดยการหมุนเซอร์โวเปลี่ยนทิศทางของแรงที่เกิดจากการหมุนของใบพัด การวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ โปรแกรม MATLAB ในการจำลองแบบการเคลื่อนที่และได้สร้าง เฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัดบังคับวิทยุ โดยใช้แผงควบคุม (Controller Board) ในการควบคุมเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด และได้ทำการทดสอบบิน ผลการทดสอบได้ผลเป็นที่น่าพอใจ อากาศยานสามารถบินทรงตัวในอากาศได้ ในอนาคตจะมีการใช้จีพีเอส(GPS) ในชุดควบคุมการบินตามเส้นทางแบบอัตโนมัติ

## Abstract

This paper derives dynamics equations and simulation programs for a trirotor helicopter. Trirotor helicopter is a small vertical take-off and landing air vehicle. It has three brushless motors with speed controls and a servo as its main parts. The resulted dynamics equations are highly non-linear and are very similar to standard helicopter's equations. The main differences is how to change their attitude. Standard helicopters use three servos but trirotor helicopters use varying speed of their three brushless motors. The simulation of dynamic equations are implemented using the MATLAB program. Many prototypes of RC trirotor helicopters have been built to test their stability and payload capacity. Tricopter helicopters were tested using a radio control, and the flying test was successful. In the future, GPS will be added to the control module for future autonomous flight.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนา อากาศยานไร้คนขับ หรือ UAV ออกมาหลายแบบ ที่เป็นแบบปีกตรึง (fixed wing) ดังรูปที่ 1 และแบบปีกหมุน (rotor wing) เช่น Helicopter ดังรูปที่ 2 ส่วนมากการออกแบบจะเน้น การสร้าง UAV ขนาดใหญ่สำหรับการปฏิบัติการกิจแบบพิสัยการบินไกล ซึ่งต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการสร้าง สำหรับภารกิจ

ตรวจการณ์ระยะใกล้ การใช้ UAV ขนาดเล็กจะเหมาะสมกว่า รูปที่ 3 แสดงอากาศยานแบบสี่ใบพัด Quad-Rotor ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะมาทำหน้าที่เป็น UAV ขนาดเล็ก พิสัยการบินใกล้และประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้าง สำหรับในบทความนี้จะนำเสนอ เฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด ดังรูปที่ 4 ซึ่งจัดเป็นอากาศยานปีกหมุนคล้ายกับ Quad-Rotor การพุงตัวในการบินเกิดจากแรงยก ที่ได้รับ

จากชุดปีกหมุนเป็นหลัก ซึ่งทั้งสองแบบมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันไป มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป สำหรับ Quad-Rotor จะใช้มอเตอร์พร้อมใบพัดสี่ชุด แต่ Trirotor จะใช้มอเตอร์พร้อมใบพัดเพียงสามชุด โดยมอเตอร์สองตัวจะอยู่คู่หน้า และจะมี servo หนึ่งตัว สำหรับปรับทิศทางการหมุน ของมอเตอร์ ตัวที่สามเพื่อควบคุมการส่าย (yaw) จะเห็นว่าทั้ง Quad-Rotor และ Trirotor สามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง มีกลไกที่ไม่ยุ่งยาก ความสมดุลและความคล่องตัวก็จะเพิ่มขึ้น ข้อได้เปรียบของ Tri-Rotor ที่มีต่อ Quad-Rotor คือการใช้มอเตอร์เพียงสามชุด และการควบคุมการส่ายที่รวดเร็วกว่า



รูปที่ 1 Fixed wing UAV



รูปที่ 2 Helicopter UAV



รูปที่ 3 Quad-Rotor



รูปที่ 4 Trirotor

เมื่อเปรียบเทียบ Trirotor กับ Standard Helicopter แบบใบพัดหลัก ชุดเดียว ตามรูปที่ 2 จะเห็นว่าต้องใช้ใบพัดที่มีขนาดใหญ่ ตามหลักการ ถ้าวัตถุหนัก หมุนเร็ว จะเกิดแรงหนีศูนย์กลางได้ง่ายกว่า ทำให้ลำตัว มีโอกาสสั่นได้มากกว่า สำหรับ Trirotor นั้นจะใช้ servo 1 ตัวไว้สำหรับการควบคุมการส่าย แต่ Quad-Rotor นั้นไม่จำเป็นต้องใช้ Servo สำหรับปัจจุบันมีการสร้าง Trirotor และ Quad-Rotor ติดกล้องถ่ายภาพและกล้องวิดีโอมากขึ้นเนื่องจากสร้างง่ายปรับแต่งให้มีความคล่องตัวง่าย เช่น หากต้องการให้มีความคล่องตัวสูงก็ทำให้สั้นลงแต่จะไม่เหมาะสำหรับการติดตั้งกล้องเนื่องจากแบบขาสั้นจะมีความคล่องตัวสูงเกินไป สำหรับ Trirotor นั้นจะสร้างง่ายกว่าแบบ Quad-Rotor แต่ความนิ่งนั้น Quad-Rotor จะมีความเสถียรมากกว่า Trirotor เนื่องจาก Quad-Rotor มีแรงยกสูงกว่า และมีใบพัดมากกว่าจึงสามารถออกแบบให้ใช้ใบพัดที่เล็กกว่า เพราะว่าการกระจายแรงยกไปยังใบพัดใบต่าง ๆ Trirotor และ Quad-Rotor ยังข้อดีอีกหลายอย่าง เช่น มีแรงสั่นน้อยกว่า ใบพัดไม่ตีกับวัตถุอื่น ๆ จึงเหมาะกับงาน UAV สำหรับข้อเสียของ Trirotor และ Quad-Rotor คือเรื่องพลังงานคือใช้แบตเตอรี่เวลาบิน 1 รอบเฉลี่ยประมาณ 15-20 นาทีเท่านั้น จึงเป็นข้อจำกัด ที่ให้นำไปใช้งานในพิธีการบินไกลเท่านั้น ในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกทำ Trirotor เนื่องจากต้องการศึกษาหลักการทำงานของ Servo ด้วย อีกทั้งงบประมาณในการสร้างก็ต่ำกว่าแบบ Quad-Rotor

## 2. ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด

แนวคิดในเรื่องการเคลื่อนที่ของ trirotor ได้มีการเทียบเคียงกับอากาศยานแบบอื่น ๆ โดยได้สมมติว่ามันทำมาจากวัตถุแข็งเกร็ง ส่วนสมการสำหรับการเคลื่อนไหวได้

ถูกพัฒนาในลักษณะเดียวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสามมิติทั่วไป สำหรับ trirotor นั้นมีอิสระในการหมุนและเคลื่อนที่ ทั้ง 3 มิติ โดยสมการแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งมาจากกฎของนิวตัน การเคลื่อนไหวของวัตถุแข็งเกร็งจะใช้สมการอนุพันธ์อันดับการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง(translational motion) การเคลื่อนไหวแบบหมุน(rotational motion) และกลศาสตร์การเคลื่อนที่(kinematics) ที่ได้มาจากสมการ นิวตัน-ออยเลอร์ (Newton-Euler Equations) [4] ดังนี้

**สมการแรง (Force equations)**

$$\begin{aligned} u &= rv - qw - g\sin\theta + F_x/m \\ v &= -ru + pw + g\sin\theta\cos\theta + F_y/m \\ w &= qu - pv + g\cos\theta\cos\theta + F_z/m \end{aligned} \quad (1)$$

u คือ ความเร็วตามแกน x

v คือ ความเร็วตามแกน y

w คือ ความเร็วตามแกน z

$$\frac{F_x}{m}, \frac{F_y}{m}, \frac{F_z}{m} = \text{แรงที่กระทำ ที่จุดศูนย์กลาง แต่คิดที่ Inertia frame}$$

**สมการโมเมนต์ Moment equations**

$$\begin{aligned} p &= (I_{yy} - I_{zz})qr/I_{xx} + L/I_{xx} \\ q &= (I_{zz} - I_{xx})pr/I_{yy} + M/I_{yy} \\ r &= (I_{xx} - I_{yy})pq/I_{zz} + N/I_{zz} \end{aligned} \quad (2)$$

$\frac{L}{I_{xx}}, \frac{M}{I_{yy}}, \frac{N}{I_{zz}}$  โมเมนต์ที่กระทำ ใน Bodyframe รอบจุดศูนย์กลาง

$I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} = \text{Moment Inertia}$

**สมการกลศาสตร์การเคลื่อนที่(kinematics Equations)**

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= p + q\sin\phi\tan\theta + r\cos\phi\tan\theta \\ \dot{\theta} &= q\cos\phi - r\sin\phi \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dot{\psi} = (q\sin\phi + r\cos\phi)\sec\theta$$

$\phi$  คือ มุม roll      $p$  คือ ความเร็วรอบแกน X

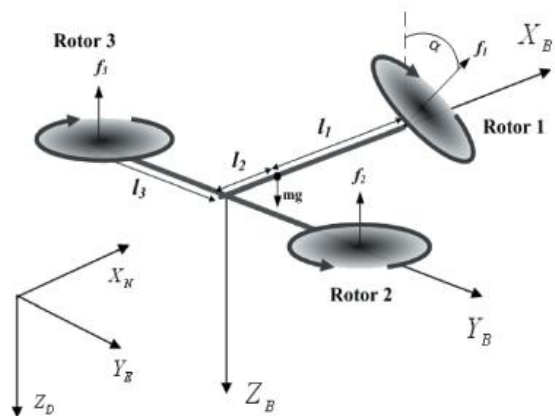
$\theta$  คือ มุม pitch      $q$  คือ ความเร็วรอบแกน y

$\psi$  คือ มุม yaw      $r$  คือ ความเร็วรอบแกน z

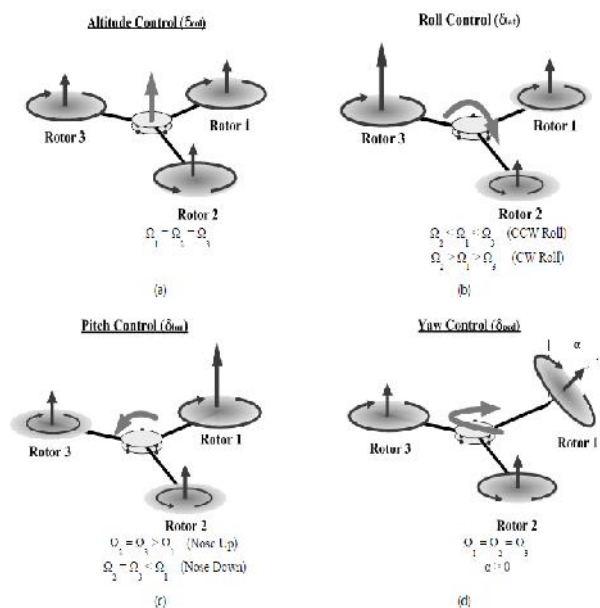
**สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและความเร็ว**

$$\begin{aligned} X &= [U\cos\theta + (V\sin\theta + W\cos\theta)\sin\psi]\cos\psi \\ &\quad - (V\cos\theta - W\sin\theta)\sin\psi \\ Y &= [U\cos\theta + (V\sin\theta + W\cos\theta)\sin\psi]\sin\psi \\ &\quad - (V\cos\theta - W\sin\theta)\cos\psi \\ Z &= -U\sin\theta + (V\sin\theta + W\cos\theta)\cos\theta \end{aligned} \quad (4)$$

สำหรับรูปแบบของ trirotor ในรูปที่ 5 จะเห็นว่าการปรับความเร็วของใบพัด 2 และ 3 คู่หน้า และ ใบพัด 1 จะใช้ควบคุมการก้ม-เงย ความแตกต่างในความเร็วของใบพัด 2 และ 3 จะใช้บังคับการเอียง ซ้าย-ขวา ส่วนการเอียงของใบพัด 1 โดยเซอร์โวนั้นจะใช้ควบคุมการส่ายรูปแบบเฉพาะ ของหางที่ เอียงได้ นี้ทำให้สามารถปรับทิศทางของแรงจากมอเตอร์ได้ ทำให้ มีความได้เปรียบของความเร็วของการควบคุมการส่าย ทำให้ระบบปรับเสถียรภาพได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 5 โครงแบบของ trirotor unmanned aerial vehicle with reference and body frames [4]



รูปที่ 6 กลยุทธ์การควบคุมของ tri-rotors (a) Altitude. (b) Roll. (c) Pitch. (d) Yaw.[4]

จากรูปที่ 5 ระยะทาง  $l_1, l_2$  และ  $l_3$  คือระยะจากจุดศูนย์กลางความถ่วงถึงใบพัดในแต่ละอัน ใบพัดหน้าทั้ง 2 ใบ คือใบพัดที่ 2 และ 3 หมุนในทิศสวนทางกัน ส่วนใบพัดที่ 1 หมุนในทิศทางเดียวกับใบพัดที่ 3 ด้วยเหตุนี้เอง หากไม่มีการเอียงจากใบพัดที่ 1 แล้วระบบทั้งหมดจะเลี้ยวและหันไปทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ด้วยเหตุผลนี้เองทำให้ต้องมี servo ที่ใบพัดที่ 1 สังเกตการเอียงของใบพัดที่ 1 ดังในรูปที่ 5 เป็นการสร้างโมเมนต์หยุดการหัน (cancel yaw) ของระบบ โดยค่าที่ถูกต้องที่สุดของการคำนวณมุมเอียง  $\alpha$  จะมีความสำคัญมากต่อระบบ โดยสมการแรงและโมเมนต์ ของ trirotor ได้จาก รูปภาพที่ 5 และแสดงในสมการที่ 5-6

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} 0 \\ f_1 \sin \alpha \\ -f_2 - f_3 - f_1 \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\vec{M} = \begin{bmatrix} -l_3(f_2 - f_3) \\ -l_2(f_2 + f_3) + l_1 f_1 \cos \alpha \\ l_1 f_1 \sin \alpha - \tau_1 \cos \alpha + \tau_2 - \tau_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

จากสมการ,  $\alpha$  คือมุมเอียงของใบพัดที่ 1 ดังที่โชว์ในรูปที่ 5 ( $f_1, f_2, f_3$ ) คือ แรงของใบพัด ( $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ ) คือ แรงบิดของใบพัด ตัวแปรเหล่านี้ นิยามในสมการที่ 7  $k_t$  และ  $k_\tau$  คือ ค่าคงที่แรงผลัก และแรงบิดตามลำดับ และ  $\Omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมของใบพัด

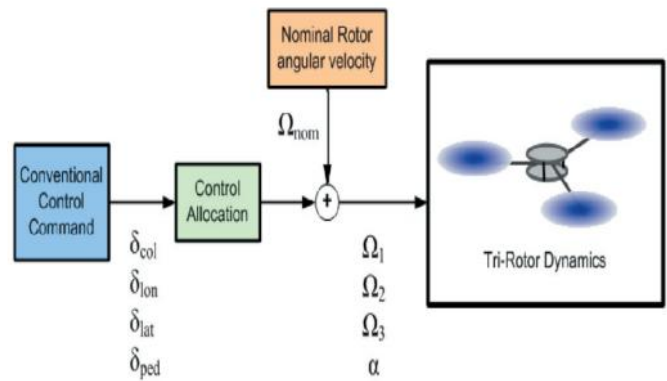
$$f_i = k_t \cdot \Omega_i^2 \quad (7)$$

$$\tau_i = k_\tau \cdot \Omega_i^2$$

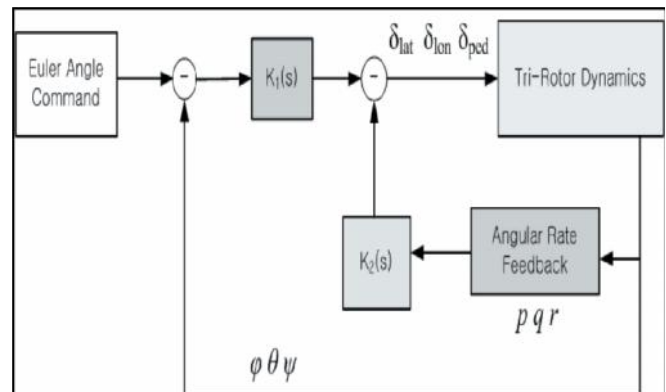
### 3. การควบคุมท่าทางการเคลื่อนที่ (Attitude Control)

สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ไหวของ trirotor สามารถจำแนกการควบคุมได้ 3 แบบ คือ altitude, roll, pitch, and yaw โดยกลยุทธ์การควบคุมของ trirotor นั้นแสดงดังรูป โดยรูปที่ 6(a) เป็นการแสดงการควบคุมระดับความสูง โดยการเพิ่มความเร็วของใบพัดทุกอันให้เท่ากัน ทำให้เกิดการไต่ระดับความสูง รูปที่ 6(b) เป็นการแสดงการควบคุมการ roll โดยเพิ่มหรือลดความเร็วของใบพัดที่ 3

และใบพัดที่ 2 ตามต้องการ (2 เพิ่ม 3 ลด, 3 เพิ่ม 2 ลด) ส่วนใบพัดที่ 1 นั้นให้หันขึ้นด้านบนดังรูป รูปที่ 6(c) เป็นการแสดงการควบคุมการ pitch ให้ความเร็วใบพัดที่ 2 และใบพัดที่ 3 นั้นมีความเร็วเท่ากัน ส่วนใบพัดที่ 1 นั้นจะเพิ่มหรือลดความเร็วให้มากกว่าหรือน้อยกว่าใบพัดที่ 2 และใบพัดที่ 3 (pitch up = เพิ่มความเร็วใบพัดที่ 1, pitch down = ลดความเร็วใบพัดที่ 1) สุดท้ายการควบคุมการ yaw นั้นควบคุมได้จากแรงปฏิกิริยาจากแรงบิด และมุมเอียงที่เหมาะสม



รูปที่ 7 การแบ่งส่วนการควบคุมของ trirotor



รูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมท่าทางแบบอัตโนมัติ

ความสำเร็จและความเสถียรของการควบคุม trirotor นั้นขึ้นอยู่กับ การควบคุมอย่างแม่นยำและเที่ยงตรงถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นมากโดย trirotor นั้นจะเคลื่อนที่ตามการควบคุมเหมือนกับการควบคุม helicopter ทั่วไป ซึ่งประกอบด้วย collective, lateral, longitudinal, และ yaw สิ่งเหล่านี้ถูกทดแทนด้วย  $\delta_{col}$ ,  $\delta_{lat}$ ,  $\delta_{lon}$  และ  $\delta_{ped}$

trirotor จะเป็นการควบคุมจากความเร็วเชิงมุมของทั้ง 3 ใบพัดและมุมเอียงของใบพัดที่ 1 รูปที่ 7 สมการที่ 7 แสดงการแบ่งส่วนการควบคุมของ tri-rotor ส่วนรูปที่ 8 นั้นแสดงบล็อกไดอะแกรมของการควบไไว้ซึ่งทำทางการเคลื่อนที่ (attitude control) แบบ Closed-loop โดยการตาม (Track) ค่าของมุม pitch, roll, yaw และยังคงสภาพค่านั้นไว้ ดังที่โชว์ในรูปที่ 8 การคงสภาพท่าทาง แบบ Closed-loop ประกอบด้วย ลูป 2 ชั้น คือ ลูปภายใน แสดงให้เห็น angular rate feedback และ ลูปภายนอก แสดงให้เห็น attitude feedback โดย  $K_1(s)$  เป็นตัวคูณเพิ่ม (Gain) ของ Euler angle attitude และ  $K_2(s)$  เป็นตัวคูณเพิ่ม (Gain) ของ angular rate

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \Omega_{nom} + (\delta_{col}/3) + (\delta_{lon}/3) \\ \Omega_2 &= \Omega_{nom} + (\delta_{col}/3) - \left(\frac{\delta_{lon}}{s}\right) - (\delta_{lat}/2) \\ \Omega_3 &= \Omega_{nom} + (\delta_{col}/3) - (\delta_{lon}/3) + (\delta_{lat}/2) \\ \alpha &= \delta_{ped}\end{aligned}\quad (8)$$

#### 4. ผลการบินทดสอบ

คณะวิจัยได้สร้าง เฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัด บังคับวิทยุ ไว้หลายแบบ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการออกแบบ และ ทดสอบระบบควบคุม โดยใช้แผงควบคุมในการเพิ่มเสถียรภาพ เลือกใบพัดให้เหมาะสมกับมอเตอร์ ทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้น รูปตัวอย่างการบินบังคับวิทยุแสดงดัง รูปที่ 9-10



รูปที่ 9 Trirotor ขณะทดสอบบินในสวน



รูปที่ 10 Trirotor ขณะทดสอบบินเหนือ พื้นซีเมนต์

#### 5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแบบจำลองพลวัตของเฮลิคอปเตอร์แบบสามใบพัดเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบระบบควบคุม นอกจากนั้นได้ออกแบบและใช้แผงวงจรเพื่อควบคุมการบินบังคับวิทยุให้มีการบินแบบมีเสถียรภาพ ด้านกระแสดม และบรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้น สามารถบินทดสอบในสนามเปิด และบรรทุกอุปกรณ์ เครื่องมือตรวจวัดต่าง ๆ ทำให้การบินเพื่อออกแบบและทดสอบชุดระบบการบินระบบอัตโนมัติทำได้สะดวกและรวดเร็ว ในอนาคตจะใช้อุปกรณ์ GPS และ Inertia Measurement Unit (IMU) ในชุดควบคุมการบินเพื่อทำให้อากาศยานบินไปตามเส้นทางที่กำหนดได้อย่างอัตโนมัติ

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.rovision.co.uk/index/sr100-uav-helicopter>[online].(วันที่ค้นข้อมูล : 2 พฤษภาคม 2554).
- [2]<http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1089221&page=40>[online].(วันที่ค้นข้อมูล : 2 พฤษภาคม 2554).
- [3]. <http://www.ayarafun.com/2010/04/what-is-quadrotor/>[online]. (วันที่ค้นข้อมูล : 2 พฤษภาคม 2554).
- [4] .Don-Wan yoo\*,Hyon-dong Oh\*Dae-Yeon Won\*and Min-Jea Tahk\*\*.Dynamic Modeling and Stabilization Techniques for Tri-Rotor Unmanned Aerial Vehicles. Internationnal Journal of Aeronautical and Space.Sciene.11(3):167-174(2010)

# การเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้พัสดุดังกล่าว กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี

## Comparison of Forecasting Techniques for Inventory Demand: A Case Study of PEA Utility at Thanyaburi

เรือเอกทินกร หนูเหมือน<sup>1</sup> และดุรงค์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup>ผศ.ดร.อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ความต้องการใช้พัสดุดังกล่าวของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี โดยใช้เทคนิคแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์ทางสถิติอีก 3 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (Single Exponential Smoothing) และวิธีปรับเรียบแบบไฮลท์ลิเนียร์เอ็กซ์โปเนนเชียล (Holt's Linear Exponential Smoothing) โดยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความต้องการพัสดุดังกล่าวตั้งแต่ มกราคม 2551 ถึง กันยายน 2553 ใช้ค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) เป็นตัวประเมินแบบจำลองการพยากรณ์ เมื่อทำการทดสอบกับความต้องการพัสดุดังกล่าวจำนวน 4 ชนิด พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำกว่าวิธีการอื่นที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

### Abstract

This research presents the comparison of forecasting techniques for inventory demand of PEA Utility at Thanyaburi. The objective is to propose an Artificial Neural Networks (ANNs) forecasting technique compared with 3 forecasting methods – Moving Average (MA), Single Exponential Smoothing (SES) and Holt's Linear Exponential Smoothing (HES). The historical data used in this research are inventory demand of 4 spare parts from January 2008 to September 2010. The Mean Absolute Percentage Error (MAPE) is used to assess the forecasting models for the test data. The results show that the Artificial Neural Network technique present forecasting results more correctly than the other methods.

### 1. บทนำ

การพยากรณ์ (Forecasting) เป็นกระบวนการทางสถิติที่ใช้คาดคะเนหรือทำนายการเกิดของเหตุการณ์ในอนาคต ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อช่วยให้การพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนประกอบการตัดสินใจ การคาดการณ์ในอนาคตทำให้สามารถกำหนดแนวทางในการปรับปรุงนโยบายเดิม การวางแผนใหม่หรือการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น การคาดคะเนอย่างมีหลักการและเหตุผลทันต่อเหตุการณ์และสภาพการณ์ที่เปลี่ยนแปลง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพราะเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้การดำเนินงานประสบผลสำเร็จ และมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายขององค์กร

หากพิจารณาในทางเศรษฐกิจ การพยากรณ์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการตัดสินใจเพื่อการผลิตและการคาดการณ์การลงทุนในอนาคต วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา (Time Series Method) เป็นวิธีการหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการพัสดุ [1-2] เพื่อนำไปวางแผนบริหารจัดการพัสดุภายในองค์กร แต่วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลายังมีข้อจำกัดในการพยากรณ์ กล่าวคือ การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาไม่สามารถนำตัวแปรภายนอกมาช่วยในการพิจารณาร่วมกับข้อมูลการใช้งานพัสดุดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลายังไม่ดีเท่าที่ควร จึงได้มีแนวคิดในการนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ เนื่องจาก

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำตัวแปรภายนอกมาพิจารณาพร้อมด้วย ซึ่งอาจทำให้การพยากรณ์มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นกว่าเดิม

ในการนำข้อมูลการใช้พัสดุคงคลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาใช้ศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบว่าเทคนิคการพยากรณ์ใดมีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ปริมาณความต้องการพัสดุคงคลังในอนาคต ซึ่งเมื่อทราบปริมาณความต้องการพัสดุคงคลังในอนาคตแล้วสามารถจะนำมาคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) [3] ซึ่งการจัดให้มีพัสดุคงคลังตามปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดนี้ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพัสดุคงคลังในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคดียิ่งขึ้น

## 2. เทคนิคการพยากรณ์

### 2.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการอุปมาความรู้ (Knowledge Deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ [4] สำหรับส่วนประกอบหลักของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาเขียนเป็น เคาท์พุทของโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ (1)

$$a = f(Wp + b) \quad (1)$$

โดย  $a$  คือ ค่าคาท์พุทของโครงข่าย

$p$  คือ อินพุทของโครงข่ายซึ่งอยู่ในรูปของเวกเตอร์

$W$  คือ ค่าของน้ำหนัก (Weight) ประจำอินพุท

$b$  คือ ค่าของไบอัส

$f$  คือ ฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function)

ชั้นของนิวรอน (Neural Layer) ประกอบด้วยชั้นมากกว่าหนึ่งชั้น ในแต่ละชั้นของนิวรอนประกอบด้วยนิวรอนหลาย ๆ ตัวได้ และมีอินพุทประกอบด้วย ค่าน้ำหนัก และค่าไบอัส ผลคูณระหว่างค่าน้ำหนักกับอินพุทแต่ละคู่จะนำมารวมกับค่าไบอัสในชั้นแรก หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่รวมแล้วเข้าฟังก์ชันโอนย้ายและส่งไปสู่อินพุทถัดไป

### 2.2 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average)

คือ การพยากรณ์ที่อาศัยหลักการที่ใช้ค่าจริงของชุดข้อมูล (ค่าสังเกต) ที่เพิ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง นำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วใช้ค่าเฉลี่ยนี้ เป็นค่าพยากรณ์ในช่วงเวลาถัดไป โดยที่ข้อมูลเก่าจะถูกตัดทิ้งไปเมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามา การพยากรณ์โดยวิธีนี้จะให้น้ำหนักกับข้อมูลทุกค่าเท่ากัน [5]

MA(k) คือ Moving Average Forecast of Order k หมายถึง การเฉลี่ยข้อมูลครั้งละ k จำนวน ดังสมการที่ (2)

$$F_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) สามารถแสดงได้อีกรูปแบบหนึ่งดังสมการที่ (3)

$$F_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1}}{k} \quad (3)$$

โดย  $F_{t+1}$  คือ ค่าพยากรณ์ที่คาบเวลาถัดไป

$Y_t$  คือ ค่าจริงของข้อมูลที่เวลาใด ๆ

2.3 วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing)

คือ วิธีการพยากรณ์โดยการกำหนดค่าเฉลี่ยน้ำหนักของข้อมูลในอดีตแต่ละค่าไม่เท่ากัน เป็นวิธีการให้น้ำหนักกับข้อมูลลดแบบ Exponential ซึ่งจะให้ความสำคัญกับข้อมูลที่อยู่ใกล้ปัจจุบันมากกว่าข้อมูลเก่าในอดีตที่อยู่ไกลกว่า และสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้ใช้ 2 วิธีดังนี้

2.3.1 วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (Single Exponential Smoothing)

วิธี Single Exponential Smoothing (SES) เป็นการพยากรณ์ข้อมูลที่คาบเวลาถัดไป โดยการนำค่าพยากรณ์ที่คาบเวลาปัจจุบันมาปรับ ด้วยผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับค่าความคลาดเคลื่อน (Error) [5] ของการพยากรณ์ในคาบเวลาปัจจุบัน สามารถเขียนเป็นสมการในรูปทั่วไปได้ ดังสมการที่ (4)

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(Y_t - F_t) \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สามารถเขียนเป็นสมการได้อีกรูปแบบดังสมการที่ (5)

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad (5)$$

ทำนองเดียวกันกับสมการที่ (5) ค่า  $F_t$  สามารถเขียนได้ในรูปของสมการที่ (6)

$$F_t = \alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (6)$$

โดย  $F_{t+1}$  คือ ค่าพยากรณ์ที่คาบเวลาถัดไป

$Y_t$  คือ ค่าจริงของข้อมูลที่คาบเวลา  $t$

$F_t$  คือ ค่าพยากรณ์ที่คาบเวลา  $t$   
 $\alpha$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

สำหรับค่า  $F_1$  ซึ่งยังไม่ทราบค่า ใช้ค่า  $F_1 = Y_1$  เป็นค่าเริ่มต้น

2.3.2 วิธีปรับเรียบแบบโฮลท์ลิเนียน์เอ็กซ์โปเนนเชียล (Holt's Linear Exponential Smoothing)

เป็นวิธีที่ได้ทำการปรับปรุงข้อด้อยของวิธี Single Exponential Smoothing (SES) เนื่องจากวิธี Single Exponential Smoothing เมื่อทำการพยากรณ์คาบเวลาที่ 1, 2, 3, ... ,t ต่อไปข้างหน้า ค่าที่พยากรณ์ได้จะลู่เข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่งดังรูปที่ 2 ซึ่งให้ผลการพยากรณ์ที่ไม่ดีเท่าที่ควร จึงได้มีการปรับปรุงวิธีการดังกล่าว โดยการนำปัจจัยแนวโน้มมาคิดร่วมด้วย [5] ดังสมการที่ (7)ถึง(9)

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (7)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (8)$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad (9)$$

โดย  $L_t$  คือ ค่าประมาณของระดับ (Level) ของอนุกรมที่เวลา  $t$

$b_t$  คือ ค่าประมาณของความชันของอนุกรมที่เวลา  $t$

$m$  คือ จำนวนของคาบที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

$\alpha, \beta$  คือ ค่าคงที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

สำหรับค่า  $L_1$  และ  $b_1$  ซึ่งยังไม่ทราบค่า ใช้ค่าเริ่มต้นดังนี้

$$L_1 = Y_1$$

$$b_1 = Y_2 - Y_1$$

3. วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความต้องการการใช้พัดคุงคังรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรีมาเป็นที่ศึกษาโดยมีขั้นตอนในการวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจำนวนความต้องการพัดคุงคังรายเดือนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี ตั้งแต่ มกราคม 2551 ถึง กันยายน 2553 โดยใช้ข้อมูลของพัดคุงคัง 4 รายการ และเพื่อความสะดวกในการศึกษาจึงกำหนดชื่อย่อให้พัดคุงคังทั้ง 4 รายการ ดังต่อไปนี้

A1 แทน สายทองแดงตีเกลียวหุ้มฉนวนครอสลิงค์โพลีเอททีลินและเปลือกนอกพีวีซี 2x10 ต.มม 600 โวลท์

A2 แทน ครอบเอาต์พิวส์คัทเอาท์ 1 อินชูลเตเตอร์ 22 เควี 100 แอมป์ 8 เคเอ อสมมาตร

A3 แทน วัตต์อาร์มิเตอร์ 1 เฟส 2 สาย 220 โวลท์ 5(15) แอมป์ ใช้นอกอาคาร

A4 แทน สายอลูมิเนียมตีเกลียวชนิดอัดแน่นหุ้มฉนวนพีวีซี750 โวลท์ 75 องศาเซลเซียส 25 ต.มม.

ซึ่งพัดคุงคัง 4 รายการดังกล่าวได้เลือกมาแสดงเป็นตัวอย่าง เนื่องจากมียอดการใช้งานที่สูงโดยมียอดการใช้งานรวมกันคิดเป็นมูลค่า 14,642,446 บาท

3.2 การหาค่าผิดปกติของข้อมูล

การหาค่าผิดปกติของข้อมูลจำนวนความต้องการใช้พัดคุงคังได้เลือกใช้วิธี Box-and-Whisker Plots ซึ่งเมื่อพบค่าผิดปกติจะทำการแก้ไขค่าผิดปกติของข้อมูล โดยนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีอยู่ก่อนหน้าข้อมูลที่ผิดปกติ และข้อมูลที่อยู่ถัดจากค่าผิดปกติมาใช้แทน [6] ดังสมการที่ (10)

$$R_t(adj) = \frac{R_{t-1} + R_{t+1}}{2} \quad (10)$$

โดย  $R_t(adj)$  คือ ค่าของข้อมูลหลังจากแก้ไขค่าผิดปกติ

$R_{t-1}$  คือ ค่าของข้อมูลที่อยู่ก่อนหน้าค่าผิดปกติ

$R_{t+1}$  คือ ค่าของข้อมูลที่อยู่ถัดไปจากค่าผิดปกติ

3.3 การแบ่งชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการพยากรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลในการพยากรณ์ออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ข้อมูลเริ่มต้น (Initialization Set) คือ กลุ่มของข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ในโมเดลที่จะใช้ในการพยากรณ์ จำนวน 28 เดือน (มกราคม 2551 ถึง เมษายน 2553)

ข้อมูลทดสอบ (Test Set) คือ กลุ่มของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ของโมเดลในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความต้องการพัดคุงคังรายเดือน จำนวน 5 เดือน (พฤษภาคม 2553 ถึง กันยายน 2553)

3.4 การหาพารามิเตอร์ของโมเดลการพยากรณ์

ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของโมเดลโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (Single Exponential Smoothing) และ วิธีปรับเรียบแบบโฮลท์ลิเนียน์เอ็กซ์โปเนนเชียล (Holt's Linear Exponential Smoothing) ตามลำดับ



สำหรับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้น งานวิจัยนี้เลือกใช้ Feed-Forward Neural Networks โดยใช้อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับของการรู้จำ (Backpropagation) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3 ชั้น มี 2 ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งเป็นจำนวนที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ [7] ทำการทดลองเปลี่ยนค่าของจำนวนนิวรอนในแต่ละชั้นซ่อนแล้วพบว่าจำนวนนิวรอนเท่ากับ 12 นิวรอนมีความเหมาะสมที่สุด และใช้วิธีการฝึกสอน (Train) แบบ Levenberg-Marquardt Backpropagation Training Function โดยใช้การเรียนรู้แบบ Gradient Descent with Momentum Weight/Bias Learning Function

เนื่องจากปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดเวลา จึงต้องมีการวางแผนในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้สนองตอบกับความต้องการใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ ซึ่งค่าของหน่วยจำหน่ายรวมไฟสาธารณะเป็นดัชนีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ และในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแต่ละครั้งนั้นย่อมมีหน่วยสูญเสียเกิดขึ้นด้วย

การจัดการพัสดुकงคลังจึงเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาหน่วยสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบได้ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเช่น คาปาซิเตอร์ หรือมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อตัดจ่ายไฟทำให้หน่วยสูญเสียลดลง นอกจากนี้พัสดुकงคลังยังเกี่ยวข้องกับการขยายระบบจำหน่ายระบบไฟฟ้าอันเนื่องมาจากปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น ผู้วิจัยนำค่าของหน่วยจำหน่ายรวมไฟสาธารณะและค่าของหน่วยสูญเสีย มาเป็นข้อมูลอินพุตในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โดยปัจจัยภายในที่นำมาใช้เป็นข้อมูลอินพุตสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมคือ ปริมาณการใช้งานพัสดुकงคลังรายเดือนย้อนหลังไป 3 เดือน

อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับของการรู้จำเป็นการเรียนรู้แบบชี้แนะ (Supervised Training) รูปแบบหนึ่ง อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับของการรู้จำใช้เทคนิคการ Optimization แบบ Gradient descent ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ [8] โดยอัลกอริทึมจะมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (11)

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการพยากรณ์

วิธีการ	Periods	$\alpha$	$\beta$	Transfer Function	$\eta$	$m$
MA	4	-	-	-	-	-
SES	-	0.1	-	-	-	-
HES	-	0.2	0.1	-	-	-
ANNs	-	-	-	logsig,logsig, purelin	0.05	0.8

$$Y_j = f\left(\sum_i w_{ij} X_i\right) \quad (11)$$

โดยที่  $Y_j$  คือ ค่าเอาต์พุตของโหนด  $j$   
 $f$  คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอน  
 $w_{ij}$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างโหนด  $j$  กับโหนด  $i$  ซึ่งอยู่ในเลเยอร์ชั้นก่อนหน้า  
 $X_i$  คือ ค่าอินพุตจากโหนด  $i$  ซึ่งอยู่ในเลเยอร์ชั้นก่อนหน้า

อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับของการรู้จำ ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธีการลดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองลง ซึ่งสามารถคำนวณดังสมการที่ (12)

$$E = \frac{1}{2} \sum_p \sum_j [O_j^p - Y_j^p]^2 \quad (12)$$

โดยที่  $E$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง  
 $p$  คือ จำนวนรูปแบบของชุดข้อมูลอินพุต  
 $O$  คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ (ค่า Target)  
 $Y$  คือ ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองลดลง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เป็นสัดส่วนกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ลดลง เรียกวิธีนี้ว่า กฎของเดลต้า (Delta Rule) โดยทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละรูปแบบของชุดข้อมูล เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงจากการคำนวณในรอบก่อนหน้าให้เป็นสัดส่วนกับค่าลบของค่าอนุพันธ์ของค่าความคลาดเคลื่อน ดังสมการที่ (13)

$$\Delta w_{ij}^p(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ij}^p} \quad (13)$$

หรือสามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่ง ดังสมการที่ (14)

$$\Delta w_{ij}^p(n) = \eta \delta_j^p(n) X_i^{p-1}(n) + m \Delta w_{ij}^p(n-1) \quad (14)$$

หลังจากปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักแล้วจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักในรอบต่อไปดังนี้

$$w_{ij}^p(n+1) = w_{ij}^p(n) + \Delta w_{ij}^p(n) \quad (15)$$

โดยที่  $w_{ij}^p(n)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักจากเอาต์พุตของ

โหนด  $i$  ไปยังอินพุตของโหนด  $j$  ของเลเยอร์ที่  $p$  ในการคำนวณรอบที่  $n$

$\Delta w_{ij}^p(n)$  คือ ค่าปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากเอาต์พุต

ของโหนด  $i$  ไปยังอินพุตของโหนด  $j$  ของเลเยอร์ที่  $p$  ในการคำนวณรอบที่  $n$

$\delta_j^p(n)$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรอบที่  $n$  จาก

โหนด  $j$  ของเลเยอร์ที่  $p$

$X_i^{p-1}(n)$  คือ ค่าเอาต์พุตของโหนด  $i$  ซึ่งอยู่ใน

เลเยอร์ชั้นก่อนหน้า

$\eta$  คือ ค่าอัตราการเรียนรู้

$m$  คือ ค่าคงที่โมเมนตัม

และค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในวิธีการพยากรณ์ถูกแสดงดังตารางที่ 1 สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในตารางที่ 1 ของวิธีการพยากรณ์ MA, SES และ HES ค่าเหล่านั้นได้มาจากการทดลองปรับเปลี่ยนค่าจนให้ ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดสำหรับแต่ละวิธีการพยากรณ์

### 3.5 การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธี

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบค่าของข้อมูลจริงในข้อมูลชุดทดสอบกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ โดยใช้ค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) เป็นตัววัด ซึ่งมีสูตรดังสมการที่ (16)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left( \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \right) \times 100 \quad (16)$$

โดย  $F_t$  คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์

$Y_t$  คือ ค่าจริง

$n$  คือ จำนวนเดือนที่ทำการพยากรณ์

## 4. ผลการทดลองและวิจารณ์

หลังจากที่มีการดำเนินการตามขั้นตอน 3.1 ถึง 3.4 แล้วผู้วิจัยได้นำผลการพยากรณ์ตามวิธีการต่างๆ ของฟังก์ชันคลังทั้ง 4 รายการ เทียบกับข้อมูลชุดทดสอบ ซึ่งในตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์จำนวนความต้องการใช้ ครอบเอาท์

ตารางที่ 2 ผลการพยากรณ์ของ ครอบเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ 1 อินชูลเตอร์ 22 เควี 100 แอมป์ 8 เคเอ อสมมาตร (หน่วย : ชุด)

เดือน	ค่าจริง	ANNs	MA	SES	HES
พฤษภาคม	96	95.7126	90.3333	84.1717	82.4887
มิถุนายน	137	110.5698	101.3333	85.3545	83.4512
กรกฎาคม	71	76.3000	120.0000	90.5191	93.4922
สิงหาคม	152	112.8191	111.6667	88.5672	87.8752
กันยายน	112	119.7639	132.0000	94.9105	100.8641

ตารางที่ 3 ค่า MAPE จากพยากรณ์ตามวิธีต่างๆ

รายการ	MAPE (%)			
	ANNs	MA	SES	HES
A1	14.9975	19.7609	21.9712	23.6810
A2	11.9530	33.2396	26.9002	27.3941
A3	11.5571	20.9175	34.7830	15.4444
A4	15.8999	60.5070	59.7582	60.0864
Min	11.5571	19.7609	21.9712	15.4444
Max	15.8999	60.5070	59.7582	60.0864
Mean	13.6019	33.6063	35.8532	31.6515

ฟิวส์คัทเอาท์ 1 อินชูลเตอร์ 22 เควี 100 แอมป์ 8 เคเอ อสมมาตร เทียบกับค่าจริงในเดือน พ.ค.-ก.ย.53

เมื่อได้ผลการพยากรณ์ของฟังก์ชันคลังทั้ง 4 รายการครบแล้วเพื่อให้ทราบว่า วิธีการใดมีความเหมาะสมที่สุดสามารถพิจารณาได้จากค่า Mean Absolute Percentage Error ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ (16) โดยรายละเอียดของค่า Mean Absolute Percentage Error ของฟังก์ชันคลังแต่ละชนิดสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำการพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับปริมาณการใช้งานจริงมากกว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีอื่นๆทั้ง 3 วิธี โดยเฉพาะปริมาณการใช้งานในเดือน พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2553 วิธีพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้ดีที่สุด มีผลการพยากรณ์ใกล้เคียงปริมาณการใช้งานจริง โดยมีค่า

คลาดเคลื่อน เพียง 0.2874 เท่านั้น สำหรับผลการพยากรณ์ในเดือน สิงหาคม ปี พ.ศ. 2553 ซึ่งวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงแต่วิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมก็ยังมีค่าใกล้เคียงกว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีการอื่นๆ

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาค่า Mean Absolute Percentage Error ซึ่งจะแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของการพยากรณ์แต่ละวิธี โดยในการพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานสูงสุดทั้ง 4 ชนิด พบว่าวิธีการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงสุด โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาจากค่า Mean Absolute Percentage Error ที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าอยู่ระหว่าง 10-20% ถือว่าเป็นการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องในระดับที่ดี [9] ส่วนวิธีปรับเรียบแบบไฮลท์ลิเนียร์เอ็กซ์โปเนนเชียล วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ และ วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์รองลงมาตามลำดับ

## 5.สรุป

จากการทดลองพบว่าการพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการนำปัจจัยภายนอกอื่นๆ มาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งต่างจาก วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว และ วิธีปรับเรียบแบบไฮลท์ลิเนียร์เอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีข้างต้นได้มีการนำแค่ข้อมูลความต้องการใช้พลังงานมาพิจารณาเท่านั้น ซึ่งนับเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งของ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว และ วิธีปรับเรียบแบบไฮลท์ลิเนียร์เอ็กซ์โปเนนเชียล สำหรับการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ถ้าสามารถนำตัวแปรอื่นที่มีความเกี่ยวข้องมาพิจารณาเพิ่มได้อีก จะทำให้การพยากรณ์มีความถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้การคำนวณปริมาณการสั่งซื้อทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถจัดระดับพลังงานในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และยังเป็น การช่วยลดต้นทุนที่เกิดขึ้นในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อีกทางหนึ่ง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะทำงาน โครงการวิจัยและพัฒนา ความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยให้คำแนะนำ และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอธัญบุรี ที่เอื้อเพื่อข้อมูลในงานวิจัยนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สัตถ์ ปฐมสำราญ. การวางแผนความต้องการขึ้นส่วน สำหรับงานซ่อมบำรุงกรณีศึกษาบริษัทสายไฟฟ้าบางกอก เคเบิลจำกัด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ. (2543)
- [2] ศิริพร ตั้งวิบูลย์พาณิชย์. การปรับปรุงการควบคุมวัสดุคงคลังกรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตคอกอรัล. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ. (2548)
- [3] พิภพ ลลิตาภรณ์. ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 7. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. (2545)
- [4] ชวกรชัย สงวนคำ. การประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. (2552)
- [5] Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & Hyndman, R.J. *Forecasting Methods and Applications*. 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley & Sons, United States of America. (1998)
- [6] มนตรี พิริยะกุล. *เทคนิคการพยากรณ์ขั้นสูง*. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ. (2546)
- [7] ธฤติ บุญยายน. *การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นมากโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. (2549)
- [8] Hsu, C.C., & Chen, C.Y. *Regional load forecasting in Taiwan-applications of artificial neural networks*. Energy Conversion and Management Journal. 44: 1941-1949. (2003)
- [9] Lewis, C.D. *Scientific Inventory Control*. 2<sup>nd</sup> ed. Butterworths, London. (1982).

# การวิจัยและวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารออกจากเครื่องบินภายใต้สถานการณ์ฉุกเฉินโดยใช้โปรแกรมไพโรซิมส์และพาทไฟน์เดอร์

## Research and Analysis of Passenger Evacuation from the Aircraft under Emergency Situations using Pyrosim and Path-finder Programe

ธนพงษ์ บุญเลี้ยง<sup>1</sup> นาวาอากาศโท.ดร. ณัฐพล นิยมไทย<sup>2</sup> และ ผศ.ดร. ณัฐศักดิ์ บุญมี<sup>3</sup>

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup>อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมอากาศยานและเทคโนโลยีการบิน กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

<sup>3</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### บทคัดย่อ

การจำลองสถานการณ์ภายในเครื่องบินเป็นการจำลองสถานการณ์จริงเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน โดยอ้างอิงจาก JAR-25 ในหมวด JAR 25.803 (Emergency Evacuation) สาเหตุหลักที่จำเป็นในการวิจัยจำลองสถานการณ์ภายใต้สภาวะฉุกเฉินนั้นเพื่อที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพของผู้โดยสารออกจากเครื่องบิน สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการจำลองการอพยพผู้โดยสารออกจากเครื่องบินโดยใช้โปรแกรมไพโรซิมส์และพาทไฟน์เดอร์ การจำลองโครงสร้างของเครื่องบินและจำลองพฤติกรรมของผู้โดยสารภายในเครื่องบินเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน โปรแกรมทั้งสองตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่แตกต่างกัน นั่นคือ โปรแกรมโดยไพโรซิมส์มีพื้นฐานจากการไหลของของไหลและเปรียบผู้โดยสารเป็นเหมือนอนุภาคที่อยู่ในของไหล ขณะเดียวกันพาทไฟน์เดอร์นั้นมีพื้นฐานมาจากการใช้จุดต่อจุดเพื่อสร้างเป็นเส้นทางจากที่ที่ผู้โดยสารอยู่ถึงประตูทางออก เมื่อทำการทดสอบพฤติกรรมการอพยพของผู้โดยสารสำหรับขนาดจริงของเครื่องบินต้นแบบนั้นพบว่าไพโรซิมส์ไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีปัญหาในด้านของกริด (grid) ส่วนโปรแกรมพาทไฟน์เดอร์สามารถทดสอบได้ ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เมื่อปล่อยให้ผู้โดยสารแต่ละที่นั่งหาทางออกด้วยตนเอง จะใช้เวลาในการอพยพเกินตามมาตรฐานที่กำหนด

### Abstract

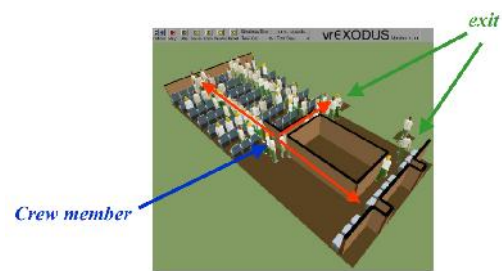
The simulation inside an airplane is proposed for the emergency evacuation of passengers regarding to JAR-25 section JAR 25.803 (Emergency Evacuation). The main key of the research under the state of emergency is to study the passenger's behavior during the evacuation. This study focuses on the emergency of passengers' evacuation using "Pyrosim" and "Path-finder" applications to research and analyze the project. The two applications align with different concepts that Pyrosim is based on the fluid of liquid and assumes passengers as particles in the liquid. Another is "Path-finder" based on connection of one point to another point contributed as a path from a passenger to the exit door. During the simulation for passenger's evacuation with the actual size of an airplane, the study found that Pyrosim application couldnot execute the result due to grid problems. On the other hand Path-Finder application generated the result that if letting each passenger to find the exit way themselves, it will take longer time exceeding the standard.

## 1. บทนำ

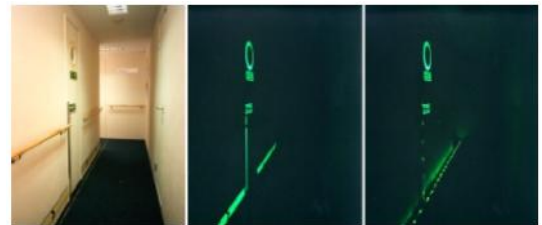
ในอุตสาหกรรมการบินนอกจากจะพัฒนาในเชิงประสิทธิภาพของการบิน เช่น เครื่องยนต์ที่ต้องขับเคลื่อนได้ด้วยความเร็ว ประหยัดน้ำมันและเงียบเพื่อไม่ให้รบกวนผู้โดยสาร ด้านโครงสร้างจะต้องลดแรงต้านอากาศ เป็นต้น สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ ความปลอดภัยของผู้โดยสาร เพราะนั่นคือสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการดูแลรักษาชีวิตของผู้โดยสาร เมื่อถึงเวลาการเกิดเหตุการณ์อันไม่เป็นปกติหรือภายใต้สถานการณ์ฉุกเฉิน จำเป็นต้องมีการอพยพผู้โดยสารภายในเครื่องบินที่ประสบเหตุออกสู่พื้นที่ปลอดภัยให้เร็วที่สุด การนำผู้โดยสารออกจากเครื่องบินต้องทำด้วยความรวดเร็วและปลอดภัย

การจำลองสถานการณ์ภายในเครื่องบินนั้นจะเป็นการจำลองสถานการณ์จริงเมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินโดยอ้างอิงจาก JAR-25 หมวด JAR 25.803 คือการอพยพออกจากเครื่องบินเนื่องจากสถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Evacuation) โดยการจำลองสถานการณ์นั้นจะเป็นการใช้โปรแกรมจำลองเพื่อใช้ในการศึกษาคำนวณมากกว่าการที่จะทำการจำลองสถานการณ์จริงโดยใช้คน และเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติจริง ทั้งยังเป็นการประหยัดเวลา โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ และพฤติกรรมของผู้โดยสารจะช่วยให้ประหยัดเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดี ทั้งยังสามารถเชื่อถือได้อีกด้วย โดยทั้งโปรแกรมไพโรซิมส์และพาทไฟน์เดอร์เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป สามารถสร้างรูปแบบในการจำลอง เช่น โครงสร้างทางกายภาพของลักษณะของเครื่องบิน ผู้โดยสารภายในเครื่องบิน เป็นต้น สาเหตุหลักที่จำเป็นในการวิจัยจำลองสถานการณ์ ภายใต้สภาวะฉุกเฉินนั้น เพื่อที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมการอพยพของผู้โดยสารออกจากเครื่องบิน จากงานวิจัยดังรูปที่ 1 นี้ได้แสดงถึงการจำลองการอพยพผู้โดยสารภายในเครื่องบินโดยใช้โปรแกรมเอกซ์โซดัส (Exodus) เพื่อนำไปสู่การอบรมพนักงานภายในเครื่องบิน สำหรับการเตรียมความพร้อมในการควบคุมและจัดการกับสถานการณ์ภายในเครื่องบิน และผู้โดยสารให้อยู่ในความเป็นระเบียบเรียบร้อย สิ่งที่สำคัญและสำคัญที่ขาดไม่ได้กับการรับมือกับสถานการณ์เหตุร้ายในการอพยพนั้นก็คือสัญญาณ

เตือนภัย รวมถึงป้ายบอกทางโดยใช้แสงสว่างจากไฟ ไฟนำทางนั้นมีส่วนช่วยในการแสดงให้เห็นถึงเส้นทางและการแจ้งเตือนถึงบุคคลที่อยู่ในสถานที่ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิตได้ เพื่อการอพยพหนีจากสถานการณ์เหล่านั้นเมื่อเป็นเครื่องบินแล้วสัญญาณเตือนภัยจากกัปตันเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเพราะเหตุว่าการประกาศจากผู้ควบคุมเครื่องบินนั้น จะทำให้ผู้โดยสารและพนักงานดูแลผู้โดยสารภายในเครื่องบินเกิดการเตรียมพร้อม และสามารถที่จะรับมือกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที



รูปที่ 1 การจำลองการอพยพผู้โดยสารภายในเครื่องบินโดยใช้โปรแกรม เอกซ์โซดัส (Exodus)



รูปที่ 2 แสดงไฟนำทางบริเวณทางเดิน

การวิเคราะห์แบบจำลองในการอพยพผู้คนออกจากพื้นที่อันตรายไปยังพื้นที่ปลอดภัยนั้นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการจำลองนั้น คือ

- รูปแบบการจำลองของสิ่งของต่างๆเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์การอพยพ
- เป็นแบบจำลองทางเรขาคณิต ประกอบด้วยกายภาพส่วนใหญ่ของพื้นที่ที่เกิดสถานการณ์ที่ใช้ในการจำลองลักษณะต่างๆ เช่น ห้องโดยสาร ทางเดิน สิ่งกีดขวางบันได หรือพื้นที่การชุมนุม
- ขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์

ขั้นตอนและวิธีการอพยพ ได้มาจากการควบคุม จำนวนคนที่เข้ามาในพื้นที่ ที่ทำการจำลองแบบหรือการ เคลื่อนไหวของอนุภาค รูปแบบการจำลอง ในลักษณะนี้จะ ถูกใช้ในสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัดเช่น เครื่องบิน อาคาร สถานที่ที่มีผู้คนจำนวนมากมารวมตัวกันอยู่ในที่เดียว

- พฤติกรรมของการอพยพ ณ สถานการณ์จำลอง การวิเคราะห์พฤติกรรมการอพยพ สำหรับ สถานการณ์เหล่านั้นจะเกี่ยวกับปัจจัยทางด้าน บุคลิกกร โดยปัจจัยเหล่านี้รวมถึงความแตกต่างทางวัฒนธรรม เพศ อายุ ลักษณะการทำงานภายใต้ความหวาดกลัว
- การวิเคราะห์ผลกระทบจากการอพยพออกจาก พื้นที่อันตรายที่เกิดขึ้น

ผลกระทบจากการอพยพของมนุษย์ในการอพยพ เช่น ความสามารถในการทรงตัวได้ไม่ดี ซึ่งไม่มีนัยสำคัญ ในสถานที่ที่เป็นภาคพื้น ดิน หรือในแนวระดับ แต่ถือเป็น ปัจจัยหลักในเครื่องบินที่อยู่บนอากาศตลอดเวลา ซึ่งปัจจัย นี้ได้มีผลกระทบโดยตรงต่อพฤติกรรม ของมนุษย์

โปรแกรมในการจำลองรูปแบบในการอพยพมิใช่ ด้วยกันหลายโปรแกรม เช่น ซิมูเลกซ์ (SIMULEX), เอกซ์โซดัส (EXODUS) ไพโรซิมส์ (Pyrosim) พาทไฟน์เดอร์ (Path-Finder) เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ จำลองความเป็นไปได้ของพฤติกรรมการอพยพ อีกทั้งยังมี ความน่าเชื่อถืออีกด้วย สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ไพโรซิมส์ และพาทไฟน์เดอร์ เพื่อใช้ในการสำรวจพฤติกรรมของ มนุษย์

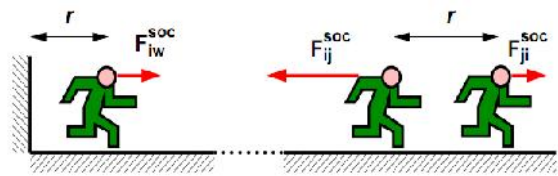
**2. ทฤษฎี**

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการจำลองการอพยพผู้โดยสารออกจาก อากาศยานต้นแบบแอร์บัส A340-600 โดยใช้โปรแกรม ไพโรซิมส์และพาทไฟน์เดอร์ ในการจำลองโครงสร้าง ของเครื่องบินและจำลองพฤติกรรมของผู้โดยสารภายใน เครื่องบินเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน ภายใต้เงื่อนไขการ อพยพผู้โดยสารออกจากเครื่องบินขนาดใหญ่ (Large Airplane) อ้างอิงจาก JAR-25 ในหมวด JAR 25.803 การ อพยพออกจากเครื่องบินในสถานการณ์ฉุกเฉิน

**2.1 ไพโรซิมส์**

เป็น โปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการจำลองใน รูปแบบอาคารที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นตามแนวนอน ซึ่งตรง

กับลักษณะทางกายภาพของเครื่องบิน ซึ่งในการคิดคำนวณ การอพยพมนุษย์ของโปรแกรมนี้ จำเป็นต้องสร้างโครงข่าย (Mesh) เพราะจะเป็นการคิดแยกส่วนกัน แต่สามารถนำมา แสดงผลรวมกันได้โดยโปรแกรมจะนำสถานการณ์ทั้งหมด ที่จำลองมาหาพฤติกรรม และการตัดสินใจของผู้อพยพในการ หาทางออกจากพื้นที่ การเคลื่อนที่ของมนุษย์ในการอพยพ นั้น จะใช้หลักการของกลุ่มเฮร์บิง (Helbing's group) ซึ่งการเคลื่อนที่เหล่านี้ถูกเรียกว่า “แรงทางสังคม” (Social Force) การนำการคิดแรงนี้มาใช้ในการคำนวณเพื่อใช้หา ระยะห่างระหว่างผู้อพยพแต่ละคน รวมถึงระหว่างผู้อพยพ กับกำแพงหรือสิ่งกีดขวาง ซึ่งจากการพิจารณาโดยปกติ แล้วความเร็วของการเคลื่อนไหวนั้นจะขึ้นอยู่กับเพศและ อายุด้วย และความกว้างของลำตัวของมนุษย์ด้วย



**รูปที่ 3** Concept of the social force

**ตารางที่ 1** ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแต่ละเพศและอายุ

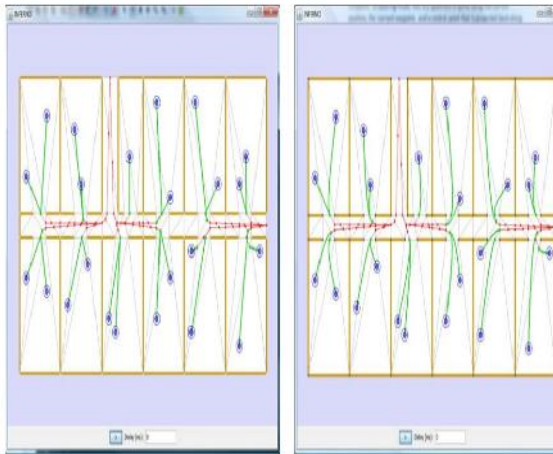
Body type	$R_d$ (m)	$R_e/R_d$ (-)	$R_s/R_d$ (-)	$d_s/R_d$ (-)	Speed (m/s)
Adult	0.255±0.035	0.5882	0.3725	0.6275	1.25±0.31
Male	0.270±0.020	0.5926	0.3704	0.6296	1.35±0.21
Female	0.240±0.020	0.5833	0.3750	0.6250	1.15±0.21
Child	0.210±0.015	0.5714	0.3333	0.6667	0.90±0.31
Elderly	0.250±0.020	0.6000	0.3600	0.6400	0.80±0.31

**2.2 พาทไฟน์เดอร์**

เป็น โปรแกรมที่สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งสองมิติ และสามมิติ โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นจากแนวคิดของการยึด พื้นที่ทางเดินเป็นหลัก รวมถึงสิ่งกีดขวาง เพื่อความสะดวก ในการวาดแบบจำลองสามารถนำเข้า (Import) แบบจำลอง จากการสร้างในโปรแกรมอื่นได้ เช่น ไพโรซิมส์ FDS (Fire Dynamics Simulation) โดยโปรแกรมพาทไฟน์เดอร์ สามารถจำแนกการเคลื่อนที่ได้ทั้งหมดสองลักษณะคือ

2.2.1 The Society of Fire Protection Engineers (SFPE) : เป็นการเคลื่อนที่จะเป็นในลักษณะเส้นตรง จาก จุดหรือตำแหน่งที่ยืนอยู่ในปัจจุบัน ไปอีกตำแหน่งหนึ่งโดย ใช้เส้นตรงเป็นหลักจนกระทั่งถึงทางออก

2.2.2 Steering : แกนบังคับเลี้ยวจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนได้มากขึ้น โดยได้พัฒนามาจากวิธี SFPE เป็นการเคลื่อนที่จุดต่อจุดที่ซับซ้อนขึ้นนั่นคือ การเคลื่อนที่ที่มีความโค้ง



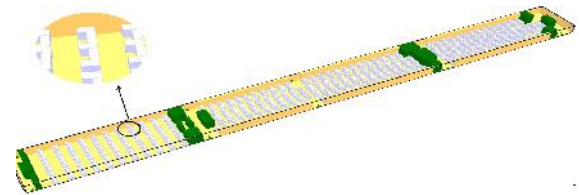
รูปที่ 4 วิธีการคำนวณของพาทท์ไฟน์เดอร์ SFPE (ซ้าย) Steering (ขวา)

3. รายละเอียดการดำเนินงาน

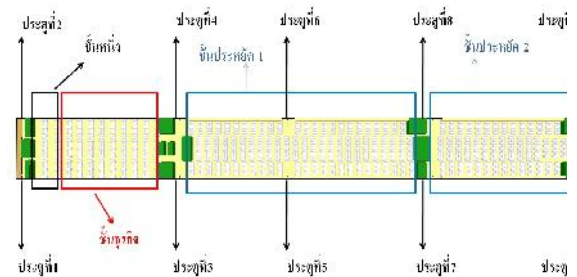
เมื่อได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และ โครงสร้างภายในเครื่องบินต้นแบบแล้วพบว่า โดยลักษณะทั่วไปมีความละเอียดซับซ้อนจึงได้ทำการจำลองแบบเบื้องต้นเพื่อทดสอบทั้งสองโปรแกรมเป็นอันดับแรก โดยทำการขยายขนาดจากโครงสร้างต้นแบบประมาณ 5 เท่า ดังรูปที่ 5 เพื่อดูลักษณะพฤติกรรมเบื้องต้นของผู้โดยสาร อีกทั้งยังช่วยในการประหยัดเวลาในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการจำลองแบบโครงสร้างในงานวิจัยนี้จะจำลองโดยใช้โปรแกรมไพโรซิมส์เพราะเหตุว่า โปรแกรมพาทท์ไฟน์เดอร์สามารถนำแบบโครงสร้างที่ได้สร้างจากไพโรซิมส์มาใช้ในการทดลองต่อได้ จึงไม่มีความจำเป็นต้องสร้างแบบซ้ำเดิม อีกทั้งยังป้องกันความผิดพลาดในการสร้างรูปแบบใหม่ตลอดเวลา จากนั้นจึงทำการประมวลผลและวิเคราะห์ในผลการทดลองเบื้องต้นต่อไป

หลังจากได้วิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นแล้ว จึงทำการทดลองโดยใช้ระยะและขนาดของ โครงสร้างต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกับเครื่องบินต้นแบบแอร์บัส เอ340-600 เพื่อทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลองของทั้ง

สองโปรแกรมดังกล่าวข้างต้นนี้ว่ามีความใกล้เคียง เหมือนหรือมีความแตกต่างกันอย่างไรต่อไป



รูปที่ 5 ลักษณะ โครงสร้างของเครื่องบินต้นแบบใช้โปรแกรมไพโรซิมส์



รูปที่ 6 ตำแหน่งของประตูทางออกและแผนผังลักษณะที่นั่งของชั้นผู้โดยสารโดยใช้โปรแกรมไพโรซิมส์

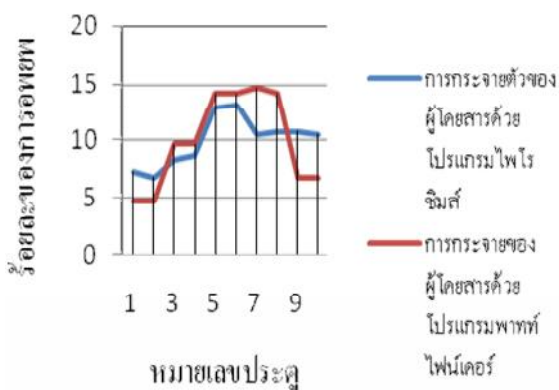
4. สรุปผลการดำเนินงาน ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

การศึกษาและจำลอง โครงสร้างเครื่องบินต้นแบบในขั้นแรกนั้นเป็นการจำลองแบบให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงประมาณ 5 เท่า เพื่อเป็นการดูผลเพื่อการเปรียบเทียบเบื้องต้นว่าโปรแกรมทั้งสองมีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยผลการทดลองนั้นพบว่าผู้โดยสารที่อพยพออกมาจากเครื่องบินต้นแบบนั้น ได้มีการกระจายตัวกันมาออกที่ประตูทางออกซึ่งมีทั้งหมด 10 ประตู โดยยึดหลักประตูที่ใกล้ตัวผู้โดยสารมากที่สุดเป็นหลัก จากการวิเคราะห์พบว่าการกระจายตัวของผู้โดยสารโดยใช้พาทท์ไฟน์เดอร์นั้น ในบริเวณประตูที่อยู่ตรงข้ามกันจะมีปริมาณการออกของผู้โดยสารเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผู้โดยสารเลือกออกประตูที่ใกล้ที่สุดของตัวเอง ดังนั้นจากการสังเกตจะพบว่าเมื่อแบ่งครึ่งเครื่องบินตามความยาวผู้โดยสารแต่ละครั้งนั้น จะออกประตูที่ใกล้ที่สุดของตนเอง

จึงทำให้ผลจากการทดลองออกมาเป็นดังตารางที่ 2 ในกรณีของไฟโรซิมส์พบว่า จำนวนผู้โดยสารที่อพยพออกแต่ละประตุนั้นมีปริมาณไม่เท่ากับพาทท์ไฟน์เดอร์ แต่จากการพิจารณาในตารางที่ 2 พบว่า แนวโน้มการกระจายตัวออกของผู้โดยสารของทั้งสองโปรแกรมมีแนวโน้มและทิศทางไปในทางเดียวกัน เมื่อพิจารณารายละเอียดผลลัพธ์เพื่อตอบโจทย์ว่าทำไมตัวเลขของผู้โดยสารที่ออกมาในแต่ละประตุนั้นไม่เท่ากัน พบว่า โปรแกรมทั้งสองตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่แตกต่างกัน นั่นคือ โปรแกรมโดยไฟโรซิมส์มีพื้นฐานจากการไหลของของไหลและเปรียบผู้โดยสารเป็นเหมือนอนุภาคที่อยู่ในของไหลนั้น และมีสมการของแรงทางสังคมผนวกเข้าไป ซึ่งเป็นหลักการของกลุ่มเฮิร์บริงเพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคเหล่านั้นชนกับสิ่งกีดขวาง ซึ่งในขณะที่เดียวกันพาทท์ไฟน์เดอร์นั้นมีพื้นฐานมาจากการใช้จุดต่อจุดเพื่อสร้างเป็นเส้นทางจากที่ผู้โดยสารอยู่ถึงประตูทางออกโดยเลือกเส้นทางที่ใกล้ที่สุดตามที่ได้กำหนดประตูทางออกไว้

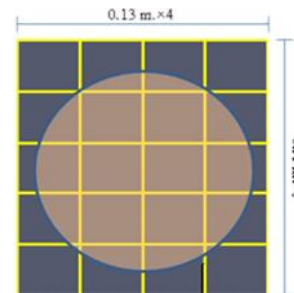
ตารางที่ 2 ปริมาณของผู้โดยสารที่อพยพออกจากเครื่องบินในแต่ละประตู

จำนวนคนประตู	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ไฟโรซิมส์	28	26	32	33	49	50	40	41	41	40
พาทท์ไฟน์เดอร์	18	18	37	37	54	54	56	54	26	26

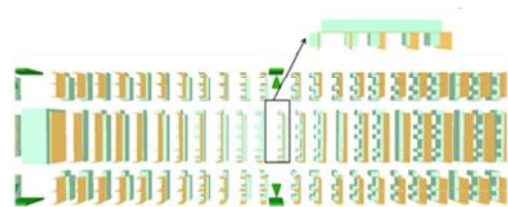


รูปที่ 7 ร้อยละของการอพยพออกของผู้โดยสารในแต่ละประตู

ในผลการทดลองขั้นที่สองโดยการจำลองแบบตามลักษณะโครงสร้างเสมือนจริงพบว่า โปรแกรมไฟโรซิมส์ได้ทำการประมวลผลออกมา มีความแตกต่างกันกับการทดลองในขั้นแรก (เครื่องบินต้นแบบขนาดขยาย) โดยสังเกตได้จากการเคลื่อนที่ของผู้โดยสาร เป็นการเคลื่อนที่โดยการเคลื่อนที่ไปชนกับผู้โดยสารและสิ่งกีดขวางโดยไม่ได้มีการหลบหลีกซึ่งผิดหลักของทฤษฎีเฮิร์บริงที่พูดถึงแรงทางสังคม ที่กำหนดไว้ให้ผู้โดยสารสามารถหลบหลีกสิ่งเหล่านั้นได้ สิ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างนั้นคือ การใช้กริด (grid) เพื่อการสร้างและกำหนดทิศทางของสิ่งกีดขวางและจุดเริ่มต้นของผู้โดยสารที่ละเอียดเกินไปทำให้เกิดการคำนวณของโปรแกรมที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากผู้โดยสารหนึ่งคนจะยืนอยู่บนกริดที่มากกว่าหนึ่งช่อง ทำให้การคำนวณเส้นทางเป็นไปได้หลายทาง ซึ่งโดยปกติในอนุภาค 1 ตัวจะต้องอยู่ในกริด 1 ช่องเท่านั้น เพื่อกำหนดเพียงเส้นทางเดียว แต่ถ้าใช้กริดที่ขยายขึ้นก็จะทำให้สิ่งกีดขวางมีสภาพไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ผู้โดยสารหนึ่งคนจะยืนอยู่บนกริดที่มากกว่าหนึ่งช่อง (วงกลมแทนผู้โดยสาร)



รูปที่ 9 สิ่งกีดขวางมีสภาพไม่สมบูรณ์เนื่องจากกริดขยาย

ดังนั้นจึงเหลือเพียงโปรแกรมพาทท์ไฟน์เดอร์เพียงโปรแกรมเดียวที่สามารถใช้วิเคราะห์การอพยพของผู้โดยสารในโครงสร้างของเครื่องบินต้นแบบที่มีลักษณะ



เสมือนจริงโดยที่ไม่มีปัญหา เนื่องจากพาหนะที่ไฟน์เดอร์จะสร้างกริดภายหลังจากการที่โปรแกรมได้ประมวลผลสิ่งกีดขวางเรียบร้อยแล้ว นอกเหนือดังกล่าวจึงเป็นเส้นทางเดินที่กริดสร้างได้ เมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของผู้โดยสารที่ออกในแต่ละประตูนั้น ได้ผลเช่นเดียวกันกับการทดลองขึ้นต้น (เครื่องบินต้นแบบขนาดขยาย) แตกต่างกันเพียงเวลาที่ใช้ในการออกจากเครื่องบินต้นแบบจนหมดทั้งลำซึ่งเครื่องบินต้นแบบขนาดขยายใช้เวลา 57.5 วินาที ส่วนโครงสร้างเสมือนจริงใช้เวลา 101 วินาทีที่ใช้เวลามากกว่าและมากกว่าข้อบังคับตาม JAR-25 ที่กำหนดไว้ 90 วินาที ในการอพยพผู้โดยสารออก เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการอพยพมีขนาดน้อยลงจึงทำให้เกิดการแออัดของผู้โดยสารจึงเป็นผลทำให้เกิดความล่าช้า

ข้อเสนอแนะที่จะทำให้การวิจัย และวิเคราะห์การอพยพผู้โดยสารออกจากเครื่องบินในสถานการณ์ฉุกเฉินโดยใช้โปรแกรมไฟโรซิมส์และโปรแกรมพาหนะไฟน์เดอร์สามารถพัฒนาต่อไปได้คือ การจัดการอพยพของผู้โดยสารให้มีการใช้เวลาในการอพยพน้อยลง เพื่อความปลอดภัยที่มากขึ้น

#### เอกสารอ้างอิง

[1] Dongkon L. et al. (2003) **The current status and future issues in human evacuation from ship.** Elsevier: Safety Science 41, pp. 861-876.

[2] Galea E.R.(n.d.) **The use of computer simulation for aircraft evaluation certification:** A report from the VERRES project. Fire Safety Group University of Greenwich. United kingdom

[3] JAR-25 section 1 Part 25.807. 2001. **Large Airplanes: Emergency Evacuation.** As published in Joint Aviation Requirements.

[4] Korhoen T. and Hostikka S. (2009) **Fire Dynamics Simulator with Evacuation:** Technical Reference and User's Guide. VTT Technical Research Centre of Finland, Finland

[5] Louis C. et al. (2001) **Emergency Evacuation: How Better Interior Design Can Improve Passenger Flow.** The European Commission MEPdesign and Safer Eurooro. England

[6] Pathfinder (2009) Pathfinder Technical Reference. In Collaboration with RJA.

[7] Yi feng Peng, et al. (2009) **Characteristic of the evacuation of the airport-type spacious constructions and the comparison of commonly used evacuation softwares.** IEEE



# การศึกษาและจำลองพฤติกรรมการลงจอดของชุดขาตั้งอากาศยานเบา

## Study and Simulation of Light Aircraft Landing Gear Behavior in Landing Condition

วาสนา จันทพงษ์<sup>1</sup> และ นาวาอากาศโท. ดร. ณัฐพล นิยมไทย<sup>2</sup>

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup> อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมอากาศยานและเทคโนโลยีการบิน กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของชุดขาตั้งแบบขาสามล้อ (Tricycle landing gear) และแบบลากหาง (Taildragger landing gear) ของอากาศยานเบา เมื่อต้องลงจอดด้วยสภาพการลงจอดแบบเปิดมุมปะทะสูงสุดตามมาตรฐานการลงจอดของ FAR 23 (Federal Aviation Regulations) Appendix C – Basic landing conditions อีกทั้งเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบถึงพื้นที่วิกฤตของชุดขาตั้งทั้งสองแบบ ที่จะเกิดความเสียหายมากที่สุดที่จะส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงกับโครงสร้างของชุดขาตั้งด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ ผลการศึกษาพบว่า ถึงแม้ว่าชุดขาตั้งหลักของอากาศยานทั้งสองแบบจะสามารถรับแรงกระทำจากการลงจอดได้ใกล้เคียงกัน แต่ล้อหางซึ่งเป็นล้อช่วยของชุดขาตั้งแบบลากหางที่ติดตั้งอยู่ที่ส่วนท้ายของอากาศยาน เกิดความเสียหายขึ้นที่บริเวณโคนขาตั้ง จากความเสียหายของล้อหางนี้ส่งผลให้ชุดขาตั้งแบบลากหางเกิดความวิกฤตมากกว่าชุดขาตั้งแบบขาสามล้อเมื่ออากาศยานลงจอดโดยเปิดมุมปะทะสูงสุด

### Abstract

The main objective of this research was to study the behavior of Tricycle and Tail dragger landing gear for light aircraft when landing with tail down landing condition reference from FAR 23 (Federal Aviation Regulations) Appendix C – Basic landing conditions. In addition, the researcher has analyzed and compared the critical area that will affect with both landing gear structure by used Finite Element Analysis Software method. The study results showed that, although both main landing gear can support the loads similarly but the tail wheel, a small support wheel for tail dragger installed at the rear of landing gear, was damaged at the top side of the root of landing gear's leg. Therefore, the damage of tail wheel affected to Tail dragger landing gear was critical than Tricycle landing gear when landing with tail down landing condition.

### 1. บทนำ

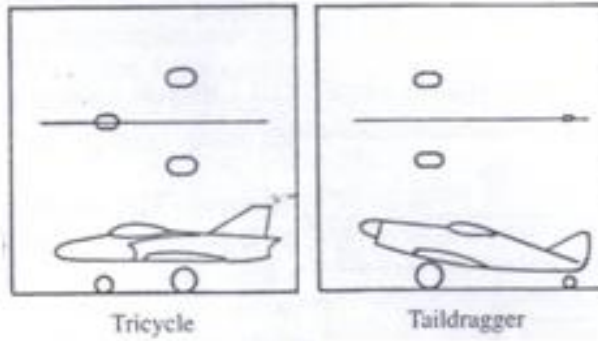
ชุดขาตั้ง (Landing gear) เป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้างอากาศยาน ทำหน้าที่ช่วยรับแรงกระทำเมื่ออากาศยานทำการลงจอด ช่วยให้อากาศยานบินขึ้นได้ และช่วยรองรับอากาศยานในขณะที่อยู่บนพื้นดิน

อีกทั้งยังเป็นโครงสร้างที่มีความวิกฤต โดยเฉพาะเมื่ออากาศยานทำการลงจอด เนื่องจากในขณะที่ลงจอดแรง

กระทำทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะกระทำกับชุดขาตั้ง ส่งผ่านไปยังส่วนประกอบต่างๆของชุดขาตั้ง หากอากาศยานทำการบินลงจอดแบบกระทกอย่างรุนแรงแล้ว แรงที่กระทำกับส่วนประกอบต่างๆของชุดขาตั้งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชุดขาตั้งได้

รูปแบบของชุดขาตั้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ชุดขาตั้งแบบขาสามล้อและแบบลากหาง โดยลักษณะของชุดขา

ล้อแบบสามล้อ จะมีล้อหลักสองล้อติดตั้งอยู่ด้านหลังจุด C.G ของอากาศยาน และมีล้อหน้าติดตั้งอยู่ที่ส่วนหน้าของอากาศยาน ส่วนชุดขาล้อแบบลากหาง มีล้อหลักสองล้อติดตั้งอยู่ด้านหน้าจุด C.G ของอากาศยานและมีล้อหางติดตั้งที่ส่วนท้ายของอากาศยาน ซึ่งลักษณะของชุดขาล้อทั้งสองแบบนี้ดังแสดงในรูปที่ 1



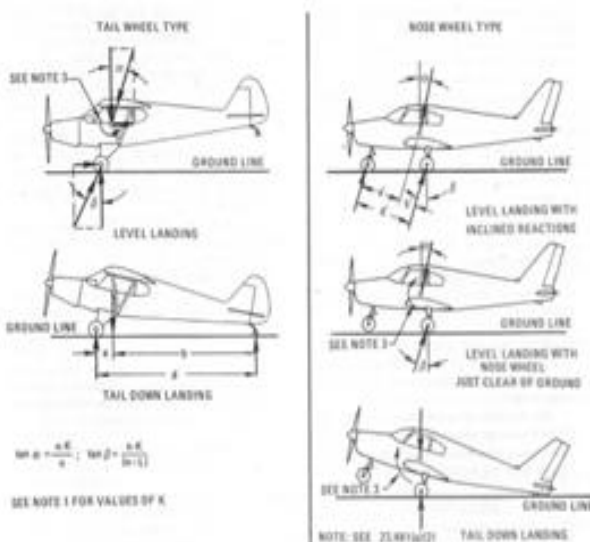
รูปที่ 1 รูปแบบของชุดขาล้อ (Raymer ,1999)

2. รายละเอียดการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

2.1 เงื่อนไขในการลงจอดพื้นฐานของอากาศยานเบา

อ้างอิงตาม FAR 23 Appendix C มีทั้งหมด 5 เงื่อนไขแบ่งเป็นการลงจอดของชุดขาล้อแบบสามล้อ 3 เงื่อนไข และชุดขาล้อแบบลากหาง 2 เงื่อนไข ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ความสนใจในการวิเคราะห์การลงจอดแบบเปิดมุมปะทะสูงสุด ซึ่งก็คือกรณีลงจอดในลักษณะหางสัมผัสพื้น (Tail down landing) ของชุดขาล้อทั้งสองแบบ



รูปที่ 2 FAR 23 Appendix C – Basic landing conditions

กรณีลงจอดในลักษณะที่หางสัมผัสกับพื้น (Tail down landing) ของชุดขาล้อแบบสามล้อมีการกระทำดังนี้

การกระทำที่ขาล้อหลักทั้งสองล้อ

$$V_r = (n - L)W \quad (1)$$

$$D_r = 0 \quad (2)$$

ส่วนขาล้อหน้านั้นไม่ได้รับแรงกระทำเนื่องจากการลงจอด ดังนั้นจึงไม่มีการกระทำที่เกิดขึ้นกับขาล้อหน้า

$$V_f = 0 \quad (3)$$

$$D_f = 0 \quad (4)$$

กรณีลงจอดในลักษณะที่หางสัมผัสกับพื้น (Tail down landing) ของชุดขาล้อแบบลากหางมีการกระทำที่เกิดขึ้น ดังนี้

การกระทำที่ขาล้อหลักทั้งสองล้อ

$$V_r = \frac{(n - L)Wb}{d} \quad (5)$$

$$D_r = 0 \quad (6)$$

การกระทำที่กระทำกับล้อหาง

$$V_f = \frac{(n - L)Wa}{d} \quad (7)$$

$$D_f = 0 \quad (8)$$

เมื่อ

$V_r$  = แรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำกับล้อหลัก

$D_r$  = แรงต้านที่กระทำกับล้อหลัก

$V_f$  = แรงกระทำในแนวตั้งที่กระทำกับล้อหน้าหรือล้อหาง

$D_f$  = แรงต้านที่กระทำกับล้อหน้าหรือล้อหาง

$L$  = สัมประสิทธิ์แรงยกปีก มีค่าไม่เกิน 0.667

$n$  = load factor, FAR 23.473 (d), (f) and (g)

$K$  = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เท่ากับ 0.25

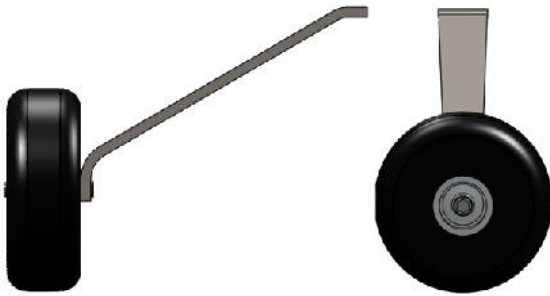
$W$  = น้ำหนัก

2.2 สร้างแบบจำลองชุดขาล้อ

ในขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองของชุดขาล้อทั้งสองแบบ โดยชุดขาล้อแบบสามล้อ ประกอบไปด้วย ขาล้อหน้า 1 ขาล้อ และขาล้อหลัก 2 ขาล้อ ซึ่งขาล้อหน้าจะมีความสมมาตรกัน

ระหว่างขาตั้งซ้ายและขวา ดังนั้น การสร้างแบบจำลองของชุดขาตั้งหลักจึงสร้างแบบจำลองเพียงข้างเดียวเนื่องจากความสมมาตร

ส่วนชุดขาตั้งแบบลากหาง ประกอบด้วย ขาตั้งหลัก 2 ขาตั้ง และขาตั้งหาง 1 ขาตั้ง การสร้างแบบจำลองของขาตั้งหลักสร้างเพียงข้างเดียวเนื่องจากความสมมาตรเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3 แบบจำลองขาตั้งหลักของชุดขาตั้งแบบสามล้อ



รูปที่ 4 แบบจำลองขาตั้งหน้าของชุดขาตั้งแบบสามล้อ



รูปที่ 5 แบบจำลองขาตั้งหลักของชุดขาตั้งแบบลากหาง

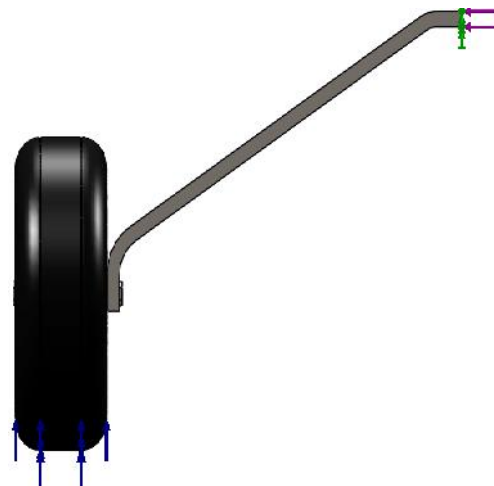


**รูปที่ 6** แบบจำลองขาตั้งหางของชุดขาตั้งแบบลากหาง โดยขาตั้งของชุดขาตั้งทั้งสองแบบนี้ทำมาจากวัสดุเหล็ก 4340 มีค่า Yield Strength เท่ากับ 710 Mpa.

**2.3 กำหนดการกรรมที่กระทำกับชุดขาตั้ง**

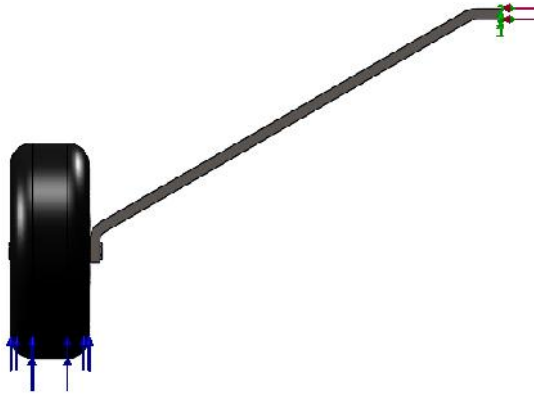
2.3.1 การกรรมที่กระทำกับชุดขาตั้งแบบสามล้อ การกรรมที่กระทำกับขาตั้งหลัก เป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้งกับลูกล้อ มีค่าเท่ากับ 8,488.55 นิวตัน ซึ่งได้มาจากการคำนวณในสมการ 1 และ 2 และแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของอากาศยานที่กระทำบริเวณจุดยึดระหว่างตัวอากาศยานกับขาตั้งหลักมีค่าเป็น 90 % ของน้ำหนักอากาศยาน (Raymer, 1999) ซึ่งเท่ากับ 3,814.13 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 7

เนื่องจากการลงจอดด้วยเงื่อนไข มีเพียงขาตั้งหลักเท่านั้นที่รับการกรรม สำหรับล้อหน้าจะไม่ได้รับการกรรมที่กระทำ



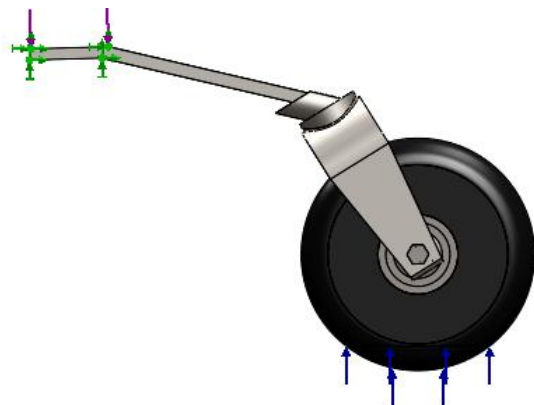
รูปที่ 7 การกรรมที่กระทำกับล้อหลักของชุดขาตั้งแบบสามล้อ และตำแหน่งของจุดยึด

2.3.2 การกรรมที่กระทำกับชุดขาตั้งแบบลากหาง การกรรมที่กระทำกับขาตั้งหลักของชุดขาตั้งนี้ เป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้งกับลูกล้อ มีค่าเท่ากับ 7,653.32 นิวตัน ซึ่งได้มาจากการคำนวณในสมการ 5 และ 6 และแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของอากาศยานที่กระทำบริเวณจุดยึดระหว่างตัวอากาศยานกับขาตั้งหลักมีค่าเป็น 89 % เท่ากับ 3,771.75 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ภาระกรรมที่กระทำกับล้อหลักของชุดขาล้อแบบลากหาง และตำแหน่งของจุดยึด

สำหรับภาระกรรมที่กระทำกับล้อหาง ได้จากการคำนวณจากสมการ 7 และ 8 ซึ่งมีแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวตั้งกับลูกล้อ 1,676.53 นิวตัน และแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของอากาศยานกระทำบริเวณจุดยึดระหว่างตัวอากาศยานกับขาล้อ มีค่าเท่ากับ 11 % ของน้ำหนักอากาศยาน ซึ่งเท่ากับ 932.34 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 9

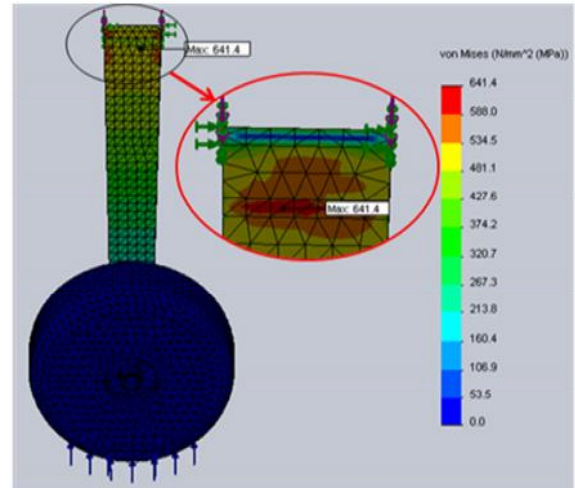


รูปที่ 9 ภาระกรรมที่กระทำกับล้อหางของชุดขาล้อแบบลากหาง และตำแหน่งของจุดยึด

2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

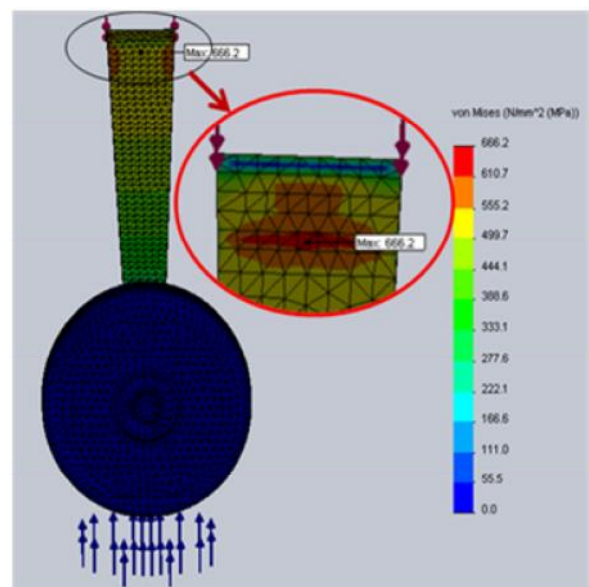
หลังจากที่ทำแบบจำลองและกำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์แล้ว ขั้นตอนนี้เป็น การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์เพื่อหาผลลัพธ์ ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้

2.4.1 ชุดขาล้อแบบขาสามล้อ ผลจากการวิเคราะห์พบว่า มีความเค้นกระจายจากช่วงล่างของขาล้อขึ้นไปยังส่วนโคนที่ยึดติดกับตัวอากาศยาน โดยพื้นที่ที่มีความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นนั้นคือบริเวณด้านล่างของโคนขาล้อ ซึ่งเกิดความเค้นสูงสุดเพียงพื้นที่เล็กๆเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความเค้นที่ขาหลักของชุดขาล้อแบบขาสามล้อ ส่วนชุดขาล้อหน้า ที่ไม่ได้รับการกระทำจากการลงจอดด้วยเงื่อนไขนี้ จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

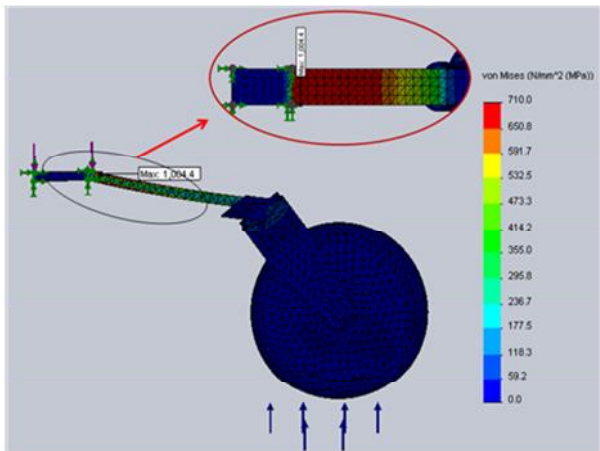
2.4.2 ชุดขาล้อแบบลากหาง ผลการวิเคราะห์ถึงความเค้นที่เกิดขึ้นของขาล้อหลักจะมีความคล้ายคลึงกับชุดขาล้อแบบขาสามล้อ นั่นคือ ความเค้นกระจายจากช่วงล่างของขาล้อขึ้นไปยังส่วนโคนที่ยึดติดกับตัวอากาศยาน โดยพื้นที่ที่มีความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นนั้นคือบริเวณด้านล่างของโคนขาล้อ ซึ่งเกิดความเค้นสูงสุดเพียงพื้นที่เล็กๆเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความเค้นที่ขาหลักของชุดขาล้อแบบลากหาง

รูปที่ 12 แสดงถึงความเค้นที่เกิดขึ้นกับล้อหางพบว่า มีความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างทั้งด้านล่าง

และด้านบนของขาตั้ง และค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นนี้มีค่ามากกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุของชุดขาตั้ง



รูปที่ 12 ความเค้นที่ล้อยางของชุดขาตั้งแบบลากหาง

3. สรุปผลการดำเนินงาน ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์การลงจอดแบบเปิดมุมปะทะสูงสุดของชุดขาตั้งทั้งสอบแบบ พบว่า ชุดขาตั้งแบบขาสามล้อมีความสามารถในการลงจอดได้ดีกว่าชุดขาตั้งแบบลากหาง แม้จะทำการลงจอดโดยใช้เพียงขาตั้งหลักทั้งสองล้อเท่านั้น

สำหรับชุดขาตั้งแบบลากหาง สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการลงจอดนั้นเกิดจากการที่ล้อยางซึ่งเป็นล้อช่วยเล็กๆ ช่วยบังคับทิศทางของอากาศยานขณะขับเคลื่อนบนพื้นทางขับ ได้รับการกระทบขณะที่ทำการลงจอดมากเกินไป ส่งผลให้ล้อยางเกิดความเสียหาย

ถึงแม้ว่าในการลงจอดแบบเปิดมุมปะทะสูงสุดนั้น ชุดขาตั้งแบบขาสามล้อมีความสามารถในการลงจอดได้ดีกว่าชุดขาตั้งแบบลากหางก็ตาม แต่ก็ไม่ควรลงจอดด้วยการเปิดมุมปะทะแบบสูงสุด เนื่องจากการลงจอดแบบนี้จะทำให้ส่วนหางของอากาศยานกระทบกับพื้นทางขับซึ่งส่งผลเสียหายกับอากาศยานได้เช่นเดียวกัน

ข้อเสนอแนะที่จะทำให้งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อไปได้ คือ สามารถพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของยางที่มีผลต่อการลงจอด อาทิ ระยะขยุบตัวเมื่อยางสัมผัสพื้น การดูดซับพลังงานและการส่งผ่านพลังงานไปยังขาตั้ง เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์การลงจอดของชุดขาตั้งด้วยการวิเคราะห์แบบไดนามิกส์ (Dynamic) เนื่องจากการทำ

การลงจอดจริงชุดขาตั้งมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาและการกระทบที่กระทำก็ไม่คงที่ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] ปราโมชย์ เตชะอำไพ. (2552) การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย Solidworks Simulation. กรุงเทพฯ : ศ.ศ.ท.  
 [2] Pazmany L. (1986) **Landing Gear Design for Light Aircraft.** Pazmany Air craft Corporation, USA .  
 [3] Raymer D.P. (1999) **Aircraft Design: A Conceptual Approach,** American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., USA  
 [4] Roskam, J. (1986) **Airplane Design Part IV: Layout Design of Landing Gear and System.** Roskam Aviation and Engineering, USA.

# การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองอากาศยานขึ้น – ลงทางดิ่งขนาดเล็ก 2 ใบพัด

## The Education and Develop Vertical Take Off and Landing Aircraft Model

นาวาอากาศตรี ดร.ประสาทร วงศ์คำช้าง<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ คณะศรี มุ่งหมาย<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ สุภณกร ปรัชญาสกุล<sup>3</sup> และนักเรียนนายเรืออากาศ รัฐกร คงมี<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ผศ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

<sup>2,3,4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการพัฒนาอากาศยานมีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างมาก ในส่วนของเครื่องบินไอพ่นนั้นสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว และมีความคล่องตัวสูง แต่ก็จำเป็นต้องใช้ Runway ในการ Take off ส่วนเฮลิคอปเตอร์นั้นสามารถขึ้น-ลงในแนวดิ่งได้ แต่การเคลื่อนที่นั้นก็ยังไม่รวดเร็วเท่าที่ควร ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาอากาศยานที่สามารถเคลื่อนที่ได้รวดเร็วและมีความคล่องตัวเหมือนเครื่องบิน และสามารถขึ้น-ลงทางดิ่งได้เหมือนเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้นำเครื่องบินแบบ V-22 OSPREY มาเป็นต้นแบบในการศึกษาเกี่ยวกับระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบแบบจำลองอากาศยานในโปรแกรม Solidworks แล้วจึงได้นำมาสร้างเป็นชิ้นงานจนเสร็จสมบูรณ์ เมื่อการสร้างชิ้นงานประสบความสำเร็จแล้ว ทางคณะผู้วิจัยจึงได้นำมาทำการทดลองบินซึ่งผลการวิจัยปรากฏว่าแบบจำลองอากาศยานสามารถทำการบินได้ในบางทิศทางเท่านั้น

### Abstract

Nowadays aircraft developments have the progress. Airplane can fly quickly and dexterity but airplane has to use runway for take off. Helicopter can take off and landing in vertical but fly slower than the airplane. Researchers have realized in this point so researchers study movement of the aircraft that can vertical take off and landing likes the helicopter but can fly quickly and dexterity likes the airplane. V-22 Osprey is our prototype to study movement of the airplane. After researchers have the knowledge about movement and control of airplane, researchers design aircraft model in Solidworks Program. Then researchers build the aircraft model for test the performance. The research result appears that our aircraft model can fly in some movement.

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันการพัฒนาอากาศยานมีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ซึ่งในส่วนของเครื่องบินไอพ่นจำเป็นต้องอาศัยระยะทางในการวิ่งขึ้น – ลงที่ต้องใช้พื้นที่ในบริเวณกว้าง จะแตกต่างจากเฮลิคอปเตอร์ซึ่งใช้พื้นที่ในการขึ้น – ลงน้อยกว่ามาก แต่เฮลิคอปเตอร์จำเป็นต้องใช้กำลังเครื่องยนต์ที่มากกว่าเพื่อให้อากาศยานสามารถขึ้น – ลงในแนวดิ่งได้

เพื่อเป็นการพัฒนาเฮลิคอปเตอร์ให้มีการใช้กำลังที่น้อยลง แต่สามารถเพิ่มแรงยกได้มากขึ้น ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษา และพัฒนาอากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัดที่

สามารถปรับเปลี่ยนมุมของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทาง

### 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบระบบพื้นฐานบังคับสำหรับแบบจำลองอากาศยานขึ้นลงแนวดิ่งขนาดเล็ก 2 ใบพัด

2.2 เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่แบบจำลองอากาศยานแบบขึ้นลงแนวดิ่งขนาดเล็ก 2 ใบพัดให้สามารถเคลื่อนที่ตามทิศทางที่กำหนดได้

2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา และพัฒนาอากาศยานปีกหมุนมากกว่า 1 ใบพัด

2.4 เพื่อเป็นการฝึกการทำงานเป็นทีม และรู้จักวางแผนการทำงาน

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 3.1 สามารถสร้าง และเข้าใจกลไกการทำงานของอากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัด
- 3.2 พัฒนาทักษะการควบคุมอากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัด
- 3.3 เป็นการกระตุ้นส่งเสริมให้มีกระบวนการคิดวิเคราะห์ และสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
- 3.4 ฝึกการทำงานเป็นทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3.5 ได้สร้างอากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัดให้กับภาควิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศ
- 3.6 สามารถนำผลงานมาใช้เป็นที่ศึกษาของนักเรียนนายเรืออากาศ ได้ต่อไป

4. ขอบเขตการวิจัย

- 4.1 บังคับอากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัดให้ขึ้น - ลงในแนวตั้ง และเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างคล่องแคล่ว
- 4.2 อากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัดบินได้สูงประมาณ 50 เมตร
- 4.3 อากาศยานขนาดเล็ก 2 ใบพัดสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ 0.5 กิโลกรัม

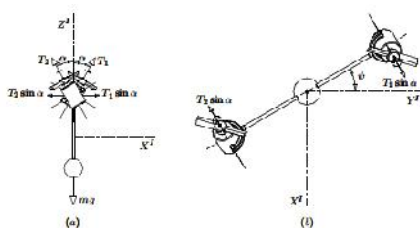
5. สมมติฐานการวิจัย

เมื่อดำเนินการวิจัยตามโครงการวิจัยนี้แล้ว จะสามารถเข้าใจรูปการเคลื่อนที่ของแบบจำลองอากาศยานในท่าทางต่าง ๆ ได้ รวมถึงการออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแบบจำลองอากาศยานได้

6. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 ทฤษฎีการเคลื่อนที่

6.1.1 การเคลื่อนที่แบบส่าย (Yaw)



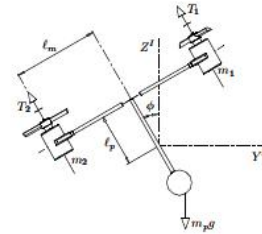
รูปที่ 1 แสดงลักษณะของมอเตอร์สำหรับการ Yaw

สมการการเคลื่อนที่แบบส่าย (Yaw)

$$2T_1 \cos \alpha = mg \tag{1}$$

โดยกำหนด  $m = 1.9 \text{ kg}$  และ  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

6.1.2 การเคลื่อนที่แบบหมุนรอบตัว (Roll)



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของมอเตอร์สำหรับการ Roll

สมการการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบตัว (Roll)

$$\ddot{\theta} = u_0 - gl_p \sin \theta \tag{2}$$

$$u_0 = I_m(T_1 - T_2) \tag{3}$$

โดยกำหนด  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  และ  $T_1 = T_2$

ซึ่งจะสามารถลดรูปสมการเหลือ

$$\ddot{\theta} = -gl_p \sin \theta \tag{4}$$

6.2 คานและโมเมนต์

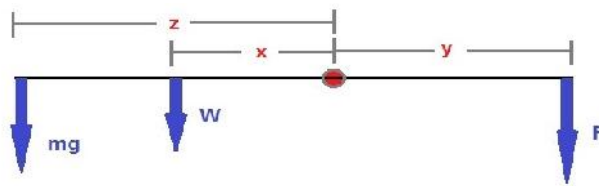
ในการทำการทดสอบแรงยกของแบบจำลองอากาศยานว่าสามารถขึ้นลงในแนวตั้งได้หรือไม่นั้นจำเป็นต้องนำแบบจำลองอากาศยานไปติดกับแท่นทดสอบที่ได้จัดทำขึ้นไว้ดังรูปที่ 3 เพื่อความปลอดภัยและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับแบบจำลองอากาศยาน



รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งแบบจำลองอากาศยานกับแท่นทดสอบ

แต่การที่นำแบบจำลองอากาศยานไปติดกับแท่นทดสอบนั้นจะทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงจากแบบจำลองอากาศยานและจากน้ำหนักของคาน เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำ จึงได้พิจารณาถึงหลักการสมดุลของคานเพื่อหักล้างกับโมเมนต์ที่ไม่ต้องการ ซึ่งสามารถแสดงเป็น Free Body Diagram ได้ดังนี้





รูปที่ 4 แสดง Free Body Diagram ของคานสำหรับติดตั้งแบบจำลองอากาศยาน

จากรูปที่ 4 เมื่อกำหนดให้  $M = 0$  (5)

จะได้ว่า  $mgz + Wx = Fy$  (6)

ถ้าต้องการจะคงแรงเนื่องจากน้ำหนักของอากาศยานเอาไว้จึงต้องลบน้ำหนักที่เกิดจากโมเมนต์ของอากาศยานออกก่อน ทำให้ได้สมการใหม่เป็น  $Wx = Fy - mgz$  (7)

7. วิธีดำเนินการวิจัย

7.1 ศึกษาการเคลื่อนที่ในแบบต่าง ๆ ของอากาศยาน ทั้งของเฮลิคอปเตอร์ และเครื่องบิน

7.2 การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks

- ออกแบบชุดบังคับแกนกลางของมอเตอร์สำหรับปลายปีก

- ออกแบบชุดมอเตอร์บริเวณปลายปีก

7.3 ทดสอบแรง Thrust ของมอเตอร์

7.4 การสร้างชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ในโปรแกรม

Solidworks

- การสร้างชุดมอเตอร์บริเวณปลายปีก

- การสร้างชุดบังคับแกนกลางของมอเตอร์สำหรับปลายปีก

- การติดตั้งระบบควบคุมพื้นบังคับหลักของแบบจำลอง

อากาศยาน

- การติดตั้งชุดมอเตอร์และชุดบังคับแกนกลางเข้ากับปีกของแบบจำลองอากาศยาน

- การประกอบปีกและลำตัวเข้าด้วยกัน

7.5 การวัดมุมบิดไปของมอเตอร์

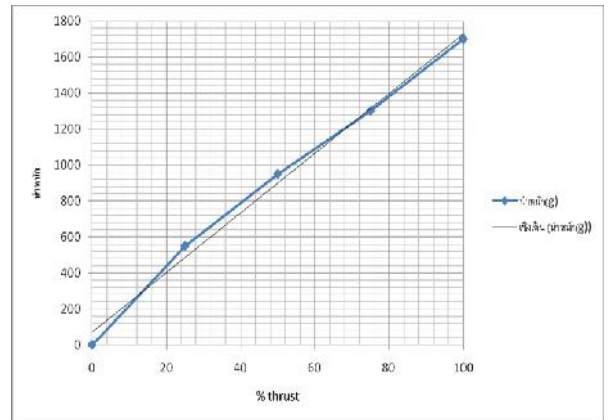
7.6 การหาจุด C.G. ของแบบจำลองอากาศยาน

7.7 การทดสอบแบบจำลองอากาศยานกับแท่นทดสอบ

8. ผลการวิจัย

8.1 ผลการหาแรง Thrust ของมอเตอร์

ตารางที่ 1 แสดงแรง Thrust ของมอเตอร์ 1 ตัว



8.2 ผลการหามุมบิดของมอเตอร์

ตารางที่ 2 แสดงมุมบิดของมอเตอร์สำหรับการ Yaw

T	$\alpha$
9.311418	1
9.315675	2
9.322777	3
9.332734	4
9.345563	5
9.361282	6
9.379916	7
9.401495	8
9.42605	9
9.453622	10
9.484252	11
9.517991	12
9.554891	13

ตารางที่ 3 แสดงมุมบิดของมอเตอร์สำหรับการ Roll

$\phi''$	$\phi$
0.171208	1
0.342364	2
0.513416	3
0.684311	4
0.854998	5

1.025424	6
1.195538	7
1.365288	8
1.534622	9
1.703489	10
1.871836	11
2.039614	12
2.20677	13
2.373254	14
2.539015	15
2.704002	16
2.868166	17
3.031457	18
3.193824	19
3.355218	20
3.51559	21
3.674891	22
3.833072	23

**8.3 ผลการบินทดสอบกับแท่นทดลอง**

ตารางที่ 4 แสดงผลการใส่ Power ให้กับแบบจำลองอากาศยาน

Type	X / 280	%
Yaw	85 / 280	34.4
0.5 kg	195 / 280	70

**9. สรุปผลการวิจัย**

จากวัตถุประสงค์ข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยสามารถ ออกแบบและสร้างแบบจำลองอากาศยานขึ้นลงแนวตั้งขนาดเล็ก 2 ใบพัดได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ส่วนการบังคับ ควบคุมยังไม่สามารถบังคับให้อากาศยานเคลื่อนที่ไปใน ทิศทางตามที่ต้องการได้ เนื่องจากยังขาดความรู้ในการ ออกแบบชิ้นงานและการเขียนโปรแกรมสำหรับวิทยุบังคับ รวมไปถึงการขาดแคลนอุปกรณ์ที่เหมาะสม

จากขอบเขตการวิจัย คณะผู้วิจัยสามารถที่จะทำการ ทดลองให้บรรลุตามขอบเขตที่วางไว้ได้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งได้

นำเสนอไปแล้วในช่วงต้นแต่ก็ยังมีบางสิ่ง ที่ยังไม่สามารถที่จะ กระทำได้ คือการเคลื่อนที่รอบตัวเองหรือการ Roll และ การ บัก – เหยหรือการ Pitch up – Pitch down

**10. ข้อเสนอแนะ**

10.1 ใบพัดเมื่อทำให้หมุนสวนทางกันตามทฤษฎีปรากฏ ว่า ปีกด้านหนึ่งเกิดแรงยก ส่วนอีกด้านหนึ่งเกิดแรงดูดลงทำให้ เครื่องบินเกิดการหมุน

10.2 เพื่อที่ให้ในการปรับเปลี่ยนมุมมอเตอร์บริเวณ แกนกลางของปีกมีขนาดเล็กเกินไปทำให้ไม่แข็งแรง

10.3 แท่นทดสอบมีข้อจำกัดในการทดสอบท่าทางของ เครื่องบิน

10.4 ข้อจำกัดของอากาศยานในการทำการบัก – เหย

10.5 ควรคำนึงถึงความปลอดภัยจากใบพัดของอากาศยาน

**11. เอกสารอ้างอิง**

[1] United States Patent “Drive system for tilt rotor aircraft”, Harold K. Wilson, Patent Numbers: 5,054,716, Date of Patent: Oct. 8, 1991

[2] Farid Kendoul, Isabelle Fantoni, Rogelio Lozano Laboratoire Heudiasyc, UMR CNRS 6599, Université de Technologie de Compiègne, 60200 Compiègne, France “Modeling and control of a small autonomous aircraft having two tilting rotors”

[3] A. Sanchez, J. Escareño, O. Garcia and R. Lozano Heudiasyc-UTC UMR 6599 Centre de Recherches de Royallieu B.P. “Autonomous Hovering of a Noncyclic Tiltrotor UAV: Modeling, Control and Implementation”

[4] Jang-Ho Lee , Byoung-Mun Min and Eung-Tai Kim, Advanced Flight Control Department, Korea Aerospace Research Institute Daejeon, Korea “Autopilot Design of Tilt-rotor UAV Using Particle Swarm Optimization Method”



# การศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในเครื่องยนต์เบนซิน

## A study of renewable energy in gasoline engine.

นาวาอากาศเอก ศ.ดร. พิชาญ พิชัยณรงค์<sup>1</sup>, นักเรียนนายเรืออากาศ พริษฐ์ ชยาภิวัฒน์<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ ฐปกรณ์ เสือทรงศีล<sup>3</sup> และ นักเรียนนายเรืออากาศ สุรัตน์ จอประเสริฐกุล<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ศาสตราจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3,4</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

โลกกำลังเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษมากขึ้นเป็นเพราะการบริโภคพลังงานอย่างฟุ่มเฟือยตลอดจนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากที่เกิดขึ้นได้ส่งผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยได้ศึกษาการแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำ และนำก๊าซออกซิเจนไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันเบนซิน และทำการทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะในด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แรงม้า แรงบิด ตลอดจนถึงไอเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ โดยใช้เครื่องยนต์ฮอนด้า รุ่นเวฟ ความจุ 125 ซีซี สรุปผลที่ได้คือการแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำโดยเติมสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.25 โมลาล ใช้กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ที่ความถี่ 1500 เฮิร์ตซ์ จะทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนไฮโดรเจนมากที่สุดสำหรับอุปกรณ์นี้ เครื่องยนต์สามารถทำงานได้กับเชื้อเพลิงผสมระหว่างก๊าซออกซิเจนไฮโดรเจนกับน้ำมันเบนซิน โดยสามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ 4 % แรงม้าและแรงบิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีคุณภาพของไอเสียอยู่ในช่วงการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

### Abstract

The world is faced with environmental problems is more toxic because of the costly energy consumption and carbon dioxide gas, a lot happened that resulted in the global warming. The research group has studied the use of renewable energy to reduce fossil fuel consumption studied by extracting hydrogen from water. Easy to remove hydrogen gas, and happens to use a fuel mixed with gasoline. And test and compare the performance in terms of fuel consumption, horsepower, torque, along with the analysis of exhaust from the combustion process. The engine Honda Model Wave Capacity 125 cc conclusion that is to separate hydrogen from water reactors potassium hydroxide at a concentration of 0.25 molal and then power supply 10 amps at frequency 1500 hertz will cause the maximum of oxyhydrogen gas as possible for this device. Engine can run on fuel mixtures of oxyhydrogen gas from the same tooth gasoline it can reduce fuel consumption down to 4% of engine horsepower and torque increases slightly and quality of emissions in the range of complete combustion.

### 1. บทนำ

ปัจจุบัน โลกกำลังเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษมากขึ้นทุก ๆ วัน อันเป็นผลเนื่องมาจากการบริโภคพลังงานอย่างฟุ่มเฟือยของประชากรมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของโลกทำให้ปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หรือภาวะเรือนกระจก จึงมีการรณรงค์ให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ลดการใช้พลังงานในส่วนที่ไม่จำเป็น การเปลี่ยนไปใช้พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนอื่นแทนพลังงานเดิมที่มีอยู่

ในปัจจุบันมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการแยก ก๊าซไฮโดรเจนออกจากรถยนต์ เพื่อนำก๊าซไฮโดรเจน หรือก๊าซ ออกซี้ไฮโดรเจนที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิง เชื้อเพลิง ไฮโดรเจนที่ได้จากการกระบวนการดังกล่าวนี้ จัดได้ว่าเป็นพลังงานสะอาด เพราะผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้ คือ ใอน้ำ และสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งลดปริมาณการใช้ น้ำมัน เชื้อเพลิงลงได้ หลายหน่วยงานได้ให้ความสำคัญกับ เทคโนโลยีนี้ ได้มีการค้นคว้า วิจัย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซี้ไฮโดรเจน รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนไป เป็นพลังงานรูปแบบอื่น ด้วยเหตุผลดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยจึงมี ความสนใจที่จะศึกษาการใช้เชื้อเพลิงก๊าซออกซี้ไฮโดรเจน ผสมกับน้ำมันเบนซิน ในเครื่องยนต์เบนซิน เพื่อเป็นการ ลดมลภาวะให้แก่โลก และเพื่อเพิ่มอีกหนึ่งทางเลือกของ พลังงานทดแทนในอนาคต

**2. วัตถุประสงค์**

- 2.1 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ เบนซิน
- 2.2 เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องแยกไฮโดรเจนจาก น้ำและการนำไปใช้งาน
- 2.3 เพื่อตัดแปลงเครื่องยนต์ ให้สามารถทำงานได้กับ เชื้อเพลิงผสม ระหว่างน้ำมันเบนซิน กับก๊าซออกซี้ ไฮโดรเจน
- 2.4 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ ดัดแปลง

**3. ขอบเขตการวิจัย**

- 3.1 คัดแปลงเครื่องยนต์เบนซินลูกสูบเดี่ยวให้เป็น เครื่องต้นแบบที่สามารถทำงานได้กับเชื้อเพลิงผสมระหว่าง น้ำมันเบนซิน กับ ก๊าซออกซี้ไฮโดรเจน
- 3.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงขึ้น ในด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แรงม้า แรงบิด และ วิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์

**4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

- 4.1 การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ
- 4.2 การแยกก๊าซไฮโดรเจนจากรถยนต์
- 4.3 หลักการสร้างสัญญาณของ PWM

4.4 เครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

4.5 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

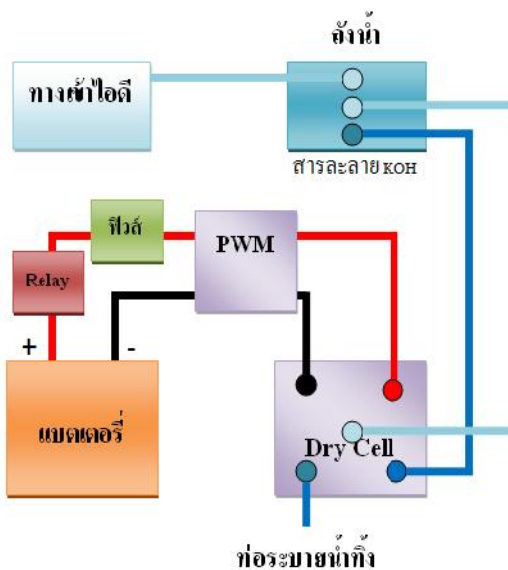
**5. วิธีการดำเนินการวิจัย**

- 5.1 ติดตั้งเครื่องยนต์กับแท่นเครื่องยนต์ เดินสายไฟ และทำการติดเครื่องยนต์



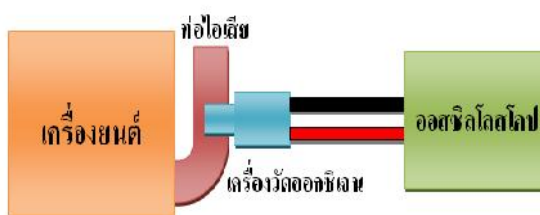
รูปที่ 5.1 เครื่องยนต์ฮอนด้า รุ่น เวฟ 125 ซีซี

- 5.2 จัดหาเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจน และติดตั้งเครื่อง แยกก๊าซไฮโดรเจนเข้ากับเครื่องยนต์ พร้อมทั้งหาอัตราการ เกิดก๊าซออกซี้ไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นและกระแสไฟฟ้า ต่าง ๆ และหาค่าความถี่ของอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณพัลส์ที่ เหมาะสม



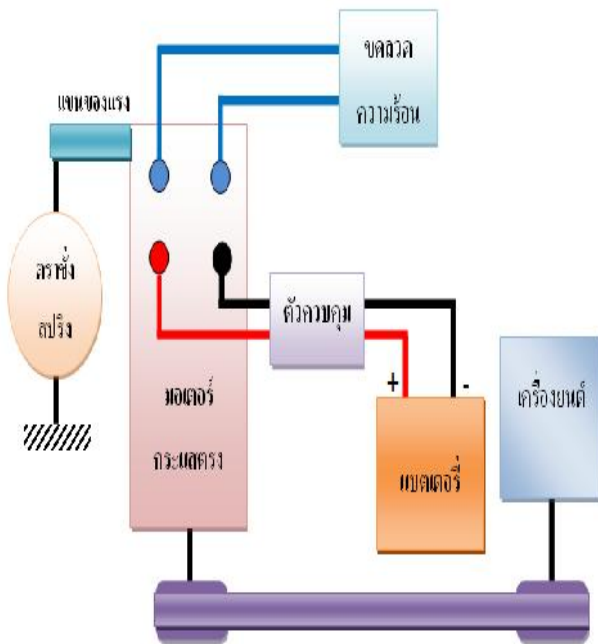
รูปที่ 5.2 แผนภาพอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน

- 5.3 ติดตั้งตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนกับเครื่องยนต์ และวัดสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องวัด



รูปที่ 5.3 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน

5.4 ติดตั้งเครื่องไดนาโมมิเตอร์เข้ากับเครื่องยนต์ พร้อมทั้งวัดแรงม้าและแรงบิดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.4 แผนภาพการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์

5.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นและพลังงานไฟฟ้า

6. สรุปผลการวิจัย

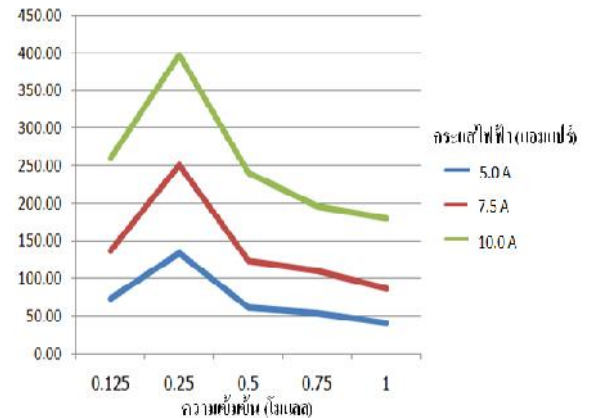
จากการทดลองหาค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้อัตราการเกิดก๊าซออกซิไฮโดรเจนสูงสุดนั้นได้ผลดังตารางที่ 6.1 และสามารถแสดงได้ดังกราฟที่ 6.1 โดยความเข้มข้นที่ทำให้เกิดก๊าซออกซิไฮโดรเจนมากที่สุดคือ 0.25 โมลแลต และกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์

ตารางที่ 6.1 แสดงอัตราการเกิดก๊าซออกซิไฮโดรเจน

ความเข้มข้น (โมลแลต)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		
	5	7.5	10
0.125	73.33	136.67	260.00
0.25	133.33	250.00	396.67
0.5	60.00	123.33	240.00
0.75	53.33	110.00	196.67
1	40.00	86.67	180.00

กราฟที่ 6.1 แสดงอัตราการเกิดก๊าซออกซิไฮโดรเจน

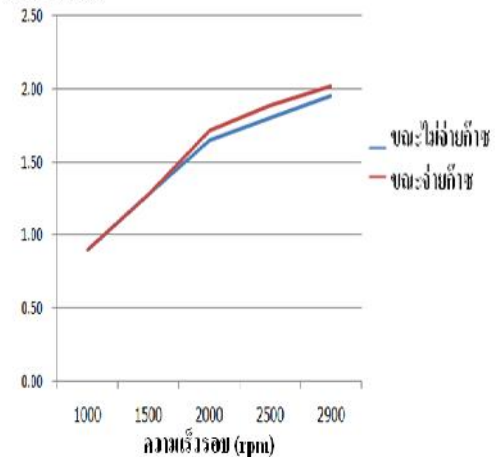
อัตราการไหลของก๊าซออกซิไฮโดรเจน (ลบ.รณ./ นาที)



จากการทดสอบแรงบิดและแรงม้าของเครื่องยนต์พบว่าขณะทำการจ่ายก๊าซออกซิไฮโดรเจนเข้าไปยังเครื่องยนต์แล้วนั้น แรงบิดและแรงม้าของเครื่องยนต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยดังแสดงในกราฟที่ 6.2 และ 6.3

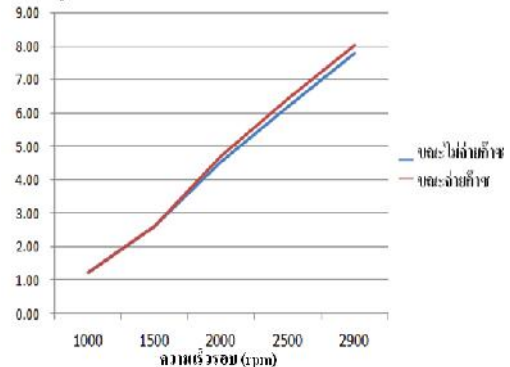
กราฟที่ 6.2 กราฟเปรียบเทียบความเร็วรอบและแรงบิด

แรงบิด (N\*m)



กราฟที่ 6.3 กราฟแสดงความเร็วรอบและกำลัง

กำลัง (hp)



ตารางที่ 6.2 แสดงเชื้อเพลิงและแรงดันไฟฟ้าที่เสียไป

	ขณะที่ไม่จ่ายก๊าซ	ขณะที่จ่ายก๊าซ
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (CC)	500	480
แรงดันไฟฟ้าที่เสียไป (V)	0.1	0.3
ราคาน้ำมัน (บาท)	19.32	18.55
ราคาค่าไฟฟ้า (บาท)	0.02	0.07
<b>มูลค่ารวม(บาท)</b>	<b>19.34</b>	<b>18.62</b>

จากการทดลองเรื่องการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้านั้น สามารถสรุปค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 6.2

คำนวณความประหยัดได้เป็น 0.72 บาท (ต่อ 30 นาทีที่รอบเครื่องยนต์ 1100 รอบต่อนาที) โดยสามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันลงได้ 4% และประหยัดค่าเชื้อเพลิงและค่าไฟฟ้าได้ 3.72 %

**หมายเหตุ**

1. ราคาน้ำมัน บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ณ วันที่ 4 ม.ค. 54 เบนซิน 91 ราคาลิตรละ 38.64 บาท
2. ราคาค่าไฟฟ้าคิดตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ช่วงหน่วยที่ 6 – 15 ราคา หน่วยละ 1.3576 บาท

**7. บทสรุป**

การแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้โดยที่อุปกรณ์ทดสอบใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.25 โมลลิตรละ 10 แอมแปร์ และความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ 1500 เฮิร์ตซ์ จะได้อัตราการเกิดก๊าซออกซิไฮโดรเจนสูงสุดและจากการวิเคราะห์ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้านั้น เมื่อมีการจ่ายก๊าซออกซิไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ประมาณ 4%

**8. ข้อเสนอแนะ**

- 8.1 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนนั้นสามารถจ่ายไฟเข้าได้ในปริมาณที่น้อย หากสามารถจ่ายไฟเข้าในปริมาณที่มากกว่านี้จะสามารถทำให้อัตราการเกิดก๊าซออกซิไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น
- 8.2 จัดหาเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำมากขึ้นเพื่อลดข้อผิดพลาดของผลการทดลอง
- 8.3 งานวิจัยนี้สามารถนำไปวิจัยต่อในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศ เพื่อผลักดันให้เกิดการพัฒนาของโครงการวิจัยมากยิ่งขึ้น
- 8.4 เปลี่ยนชนิดของสารละลายที่ใช้ในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน
- 8.5 ปรับปรุงเครื่องทดสอบไอเสีย

**เอกสารอ้างอิง**

[1] เสมอขวัญ ดันติกุล. (2544). *เครื่องยนต์สันดาปภายใน*. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวศึกษา.

[2] อุตสาหกรรม จีรากร, เชื้อ ชูขำ.*เครื่องยนต์สันดาปภายใน*

[3] John B. Heywood. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*. Singapore :McGraw-Hill Book Company.

# การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องจักรในขั้นตอนการล้างคราบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.ของกองโรงงานสรรพาวุธ 2 กรมสรรพาวุธทหารอากาศ

นาวาอากาศโทปัญญาธิ์ โทศลวัฒน์<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศสกุล กอวัฒนารานนท์<sup>2</sup>  
และ นักเรียนนายเรืออากาศจักรเรืองโรจน์ สมุทรสาคร<sup>3</sup>

<sup>1</sup>พศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## บทคัดย่อ

การศึกษาการวิจัยเรื่องการออกแบบเครื่องจักรในขั้นตอนการล้างคราบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.ของกองโรงงานสรรพาวุธ 2 กรมสรรพาวุธทหารอากาศ ตามหลักการของวิศวกรรมความปลอดภัย หลักการของกายศาสตร์ และหลักการเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักรกลที่เหมาะสม เพื่อให้ได้มาซึ่งเครื่องจักรต้นแบบที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำงานในขั้นตอนการล้างลูกกระสุนขนาด 20 มม. ภายในโรงงานสรรพาวุธ 2 กรมสรรพาวุธทหารอากาศ เพื่อให้เกิดความปลอดภัย และเพื่อทำางการทำงานที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ ซึ่งจะเป็นการช่วยในการลดอาการบาดเจ็บรวมถึงการเจ็บป่วยต่าง ๆ จากการทำงานได้ คณะผู้วิจัยได้อาศัยข้อมูลจากหลักการของวิศวกรรมความปลอดภัย หลักการของกายศาสตร์ และหลักการเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักรกล มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการออกแบบเครื่องจักรที่ต้องการ เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการใช้งานและเพื่อใช้ในการพัฒนาต่อไป

## Abstract

A study of research on the design of machinery in the process of cleaning oil production of 20 mm ammunition's 2nd Division, Ordnance Department, Ordnance Factory air Principles of safety engineering. Principles of ergonomics. And principles of design appropriate machinery. To acquire the underlying machinery that is suitable to be used to work in the process of cleaning cartridge size 20 mm. The Ordnance Factory Ordnance Department of the Air Force 2. To ensure safe working posture and to correct ergonomics. This will help in reducing injuries and illnesses, including many from work. The researchers rely on the principles of safety engineering. Principles of ergonomics. And principles of mechanical design. Application designed to suit the machine is required. To be useful in applications and for use in further development.

### 1. บทนำ

กองโรงงานสรรพาวุธ 2 กรมสรรพาวุธ ทหารอากาศ มีภารกิจในการรับผิดชอบการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม. โดยในกระบวนการผลิตลูกกระสุนนั้น สามารถแยกออกเป็น 2 สายการผลิต คือตัวหัวกระสุนกับปลอกกระสุน ซึ่งจะผลิตแยกกันและนำมาประกอบรวมกันเป็นลูกกระสุนในขั้นตอนสุดท้าย แต่เนื่องด้วยในการผลิตลูกกระสุนนั้นมีโอกาสที่จะเกิดอันตรายได้เสมอ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดอันตรายคนงานขึ้นได้

### 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนการชุบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.

2.2 เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาและสร้างแบบจำลองในขั้นตอนการชุบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.

2.3 เพื่อกำจัดการฟุ้งกระจายของกลิ่นน้ำมันและลดปัญหาการบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงานแบบจำลองที่ได้พัฒนาแล้วไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานอื่น ๆ ทั้งภายในและภายนอกกองทัพอากาศ

### 3. ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาเพื่อสร้างแบบจำลองในขั้นตอนการชุบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.นี้ ผู้ทำการวิจัยได้ดำเนินการวิจัยเฉพาะเรื่องของการปรับปรุงขั้นตอนและพื้นที่การทำงานของเครื่องจักร รวมไปถึง

แนวทางในการพัฒนาด้านสุขอนามัยของโรงงานที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานด้วย

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

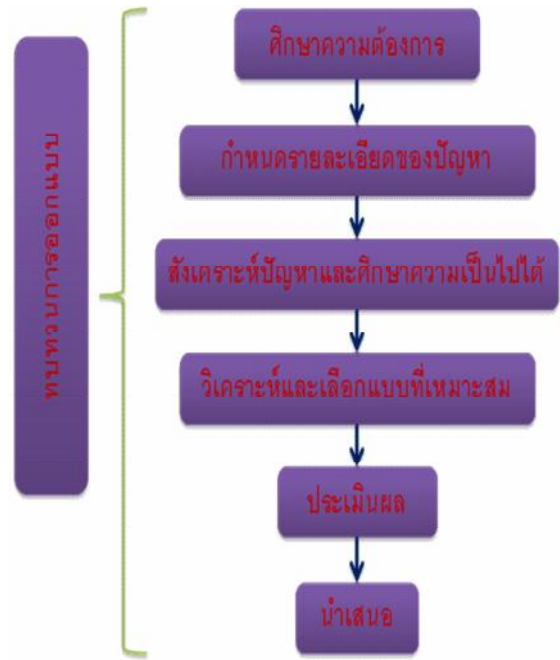
- 4.1 ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบถึงขั้นตอนการชुบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.
- 4.2 ได้แบบจำลองที่สามารถช่วยให้ขั้นตอนการชुบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม. มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 4.3 สามารถกำจัดกาที่งกระจายของกลั่นน้ำมันและลดปัญหาการบาดเจ็บของผู้ปฏิบัติงานได้

5. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 5.1 ศึกษาระบบการทำงานในขั้นตอนการชुบน้ำมันของลูกกระสุนขนาด 20 มม.
- 5.2 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการทำงานในขั้นตอนการชुบน้ำมันของลูกกระสุนขนาด 20 มม. ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและผู้ปฏิบัติงาน
- 5.3 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพในขั้นตอนการชุบน้ำมันของลูกกระสุนขนาด 20 มม. และความปลอดภัยด้านสุขอนามัยที่มีต่อคนงานตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม
- 5.4 วิเคราะห์และพัฒนาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในขั้นตอนการชุบน้ำมันของลูกกระสุนขนาด 20 มม. และความปลอดภัยด้านสุขอนามัยที่มีต่อคนงานตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม

6. การออกแบบเครื่องจักรในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.

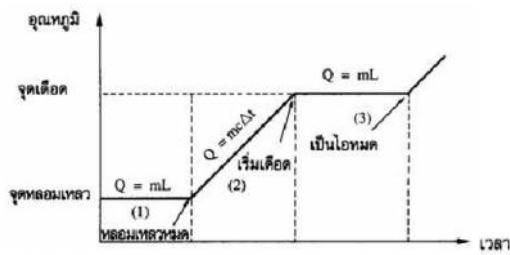
- 6.1 หลักการออกแบบเครื่องจักรกล เป็นการคิดวางแผนเพื่อให้ได้สิ่งที่มีคุณลักษณะตามความต้องการ ถ้าส่งผลให้เกิดการผลิตบางสิ่งขึ้นมา ผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องมีการทำงานอย่างถูกต้องสามารถใช้งานได้ มีความปลอดภัยในการใช้งาน มีความเชื่อถือว่าสามารถผลิตใช้งานได้จริง
- 6.2 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ
  - 6.2.1 ฟังก์ชันในการทำงานต่างๆ
  - 6.2.2 เสี่ยง , รูปลักษณะ
  - 6.2.3 พื้นผิว , ขนาด
  - 6.2.4 ราคา , การบำรุงรักษา



รูปที่ 1 กระบวนการในการออกแบบ

- 6.2.5 น้ำหนัก , แรงเสียดทาน
- 6.2.6 ปริมาณการผลิต, แหล่งทรัพยากรการผลิต
- 6.3 การออกแบบตู้อบความร้อนในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม.
  - 6.3.1 การอบแห้ง คือการกำจัดความชื้นออกจากตัวชิ้นงาน โดยการใช้ความร้อนเพื่อระเหยความชื้นออกสู่ตัวกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นอากาศร้อนและแห้ง
  - 6.3.2 พลังงานความร้อนและการเปลี่ยนสถานะ ปริมาณความร้อนของวัตถุ เป็นพลังงานความร้อนที่วัตถุรับเข้ามาหรือคายออกไป การกาค่าปริมาณความร้อนสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี คือ
    - 1) การคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะ  
จากสูตร  $Q = mL$
    - 2) การคำนวณหาค่าปริมาณความร้อน โดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง  
จากสูตร  $Q = ms\Delta t$





รูปที่ 2 แสดงปริมาณความร้อนที่มีผลต่อการเปลี่ยนสถานะ

6.3.3 การถ่ายโอนความร้อน คือการถ่ายโอนจากวัตถุที่ระดับความร้อนสูง ไปสู่วัตถุที่ระดับความร้อนต่ำ ทางผู้ดำเนินการวิจัย ได้เลือกการถ่ายโอนความร้อนแบบการพา คือมีตัวกลางเป็นตัวพาความร้อน

6.3.4 อัตราการระเหยของน้ำมันเบนซินกลายเป็นไอ

P	1	10	40	100	400	760	1520
in mm Hg							
T	-	-	7.6	26.1	60.6	80.1	103.8
in °C	36.7	11.5					

จากตาราง พบว่า ระดับน้ำทะเลที่ 760 mm Hg มีค่าการระเหยของน้ำมันเบนซินอยู่ที่ 80.1 °C จึงจะทำให้ น้ำมันเบนซินระเหยกลายเป็นไอ

6.4 การคำนวณหาความร้อนสำหรับน้ำมันในการเปลี่ยนสถานะ โดยใช้สูตร  $Q = ms \Delta t$  และ  $Q = mL$  จะได้ค่า Q ของน้ำมันโดยรวมทั้งหมด = 885.955 J + 1,756.082 J = 2,642.037 J #

6.5 การคำนวณความร้อนในตู้อบ โดยคิดจากการนำเอาพลังงานความร้อนที่น้ำมัน ได้รับ = พลังงานจากหลอดไฟ

$$2,642.037 \text{ J} = 360 \text{ J/s} * t$$

$$t = 7.339 \text{ s} \#$$

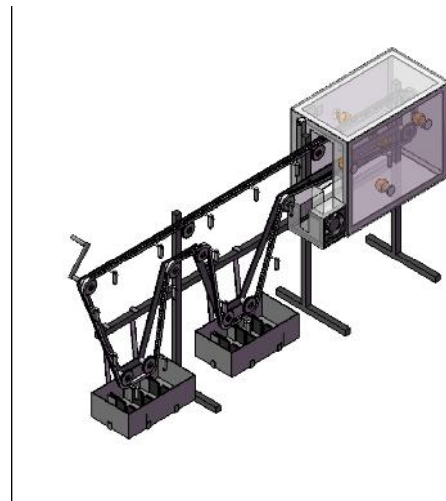
เพราะฉะนั้นจะต้องใช้เวลาผ่านเข้าไปในตู้อบเวลาประมาณ 8 s #

6.6 การออกแบบกลไกการขับเคลื่อนด้วยโซ่ส่งกำลัง หาแรงขับเคลื่อนมอเตอร์ ต้องทราบน้ำหนักโดยรวมของชิ้นงาน ซึ่งเท่ากับ 6.84 Kg โดยใช้สูตร  $P=W/t$  ได้  $P = 12.569 \text{ Watt}$  #

เมื่อทราบค่า P ผู้ดำเนินการวิจัยจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 25 Watt แบบปรับรอบได้ อีกทั้งยังประหยัดไฟอีกด้วย

### 7. การวิเคราะห์เครื่องจักรในขั้นตอนของการล้างคราบน้ำมันของกระบวนการผลิตกระสุนขนาด 20 มม.

ออกแบบเครื่องจักรในขั้นตอนของการล้างคราบน้ำมันขึ้นมาเพื่อทดแทนวิธีการล้างคราบน้ำมันแบบเดิม โดยนำเอาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์อันตรายจากกลื่นของน้ำมันเบนซิน เพื่อวิเคราะห์ถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน โดยออกแบบให้สามารถป้องกันอันตรายจากมลพิษทางกลื่นของน้ำมันเบนซินที่เกิดขึ้นจริงในขณะปฏิบัติงาน และสามารถทำให้ระยะเวลาการทำงานสั้นลงอีกด้วย สามารถรักษาความปลอดภัยได้ง่าย ไม่ขัดขวางการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน และสามารถสร้างได้จริง



รูปที่ 3 แบบเครื่องล้างลำตัวลูกกระสุนขนาด 20 มม.

ผู้ดำเนินการวิจัยจึงได้ทำการออกแบบโดยใช้หลักการและเหตุผลดังต่อไปนี้

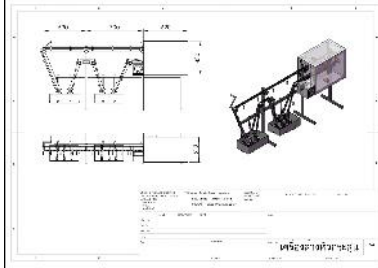
7.1 การใช้เครื่องอบความร้อนนั้นจะส่งผลทำให้ลำตัวลูกกระสุนแห้ง โดยที่ไม่ส่งผลกระทบเรื่องของมลพิษจากกลื่นของน้ำมัน ซึ่งถ้าหากใช้พัดลมเป็นตัวทำให้ลำตัวลูกกระสุนแห้งจะไม่สามารถกำจัดกลื่นของน้ำมันเบนซินได้ 100 %

7.2 การใช้ระบบสายพานก็เพื่อให้ระบบการทำงานไหลลื่นโดยไม่ติดขัด และสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว

7.3 การใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานนั้นไม่ต้องเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานแบบเดิมต้องมีการสัมผัสกับน้ำมันเบนซินโดยตรง ทั้งทาง

ผิวหนัง และทางลมหายใจ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อผู้ปฏิบัติงานในระยะยาว อีกทั้งการทำงานแบบเดิมนั้นจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานในท่าทางที่ผิดหลักการยศาสตร์

7.4 ตามหลักการเลือกวัสดุ กล่าวคือ วัสดุที่ใช้ไม่เป็นสนิมง่าย, วัสดุมีความแข็งแรงทนทาน วัสดุไม่สามารถติดไฟได้ง่าย วัสดุไม่สามารถนำไฟฟ้าได้หรือเป็นฉนวน วัสดุจัดหาซื้อง่าย วัสดุมีราคาถูก



รูปที่ 4 โครงสร้างของเครื่องจักร

## 8. สรุปผลการวิจัย

เมื่อผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการออกแบบเครื่องจักรในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมันของกระบวนการผลิตกระสุนขนาด 20 มม. และก็ได้ทำการสร้างขึ้นและได้นำไปใช้ปฏิบัติงานจริง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.1 สามารถเพิ่มความสะดวกในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมัน และยังลดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอาการเมื่อยล้าจากการทำงานที่ผิดหลักการยศาสตร์ได้

8.2 สามารถช่วยให้เกิดความปลอดภัยในเรื่องของสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งทางด้านระบบการสัมผัสและระบบทางเดินหายใจ กับน้ำมันเบนซิน

8.3 เครื่องจักรในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม. ที่ได้ออกแบบมานั้นเป็นเครื่องที่ใช้งานได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก

8.4 เครื่องจักรในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมันของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม. ที่ได้ออกแบบมานั้นมีการติดตั้งเบรกเกอร์เพื่อตัดไฟ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน

8.5 การดูแลรักษาสามารถกระทำได้ง่ายโดยไม่เกิดความยุ่งยาก

8.6 จากการนำไปทดลองใช้พบว่าได้ผลผลิตที่มากกว่าและรวดเร็วกว่าวิธีเดิม กล่าวคือการทำงานในขั้นตอนของการลำกรบน้ำมันแบบเดิมให้ผลผลิตได้ 400-450 ลูกต่อวัน แต่ด้วยการใช้เครื่องจักรในการทำขั้นตอนนี้แทนคนจะได้ผลผลิต

1 ลูก โดยใช้เวลาเฉลี่ย 1 นาที เพราะฉะนั้นใน 1 วัน มีเวลาทำงาน 8 ชม. มี 480 นาที ก็จะได้ผลผลิต ประมาณ 480 ลูกต่อวัน

## 9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ควรมีการปิดแผ่นป้ายขั้นตอนการทำงานอย่างง่ายไว้ด้านข้างของตู้อบความร้อน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานประจำขั้นตอนการลำกรบน้ำมันได้เข้าใจถึงวิธีการใช้ และวิธีการทำงานโดยเร็ว ส่งผลให้กระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด 20 มม. ไหลอย่างต่อเนื่องโดยไม่ติดขัด

9.2 ควรนำแบบจำลองเครื่องจักรที่ได้ออกแบบมานั้นนำไปสร้างเครื่องจักรที่ใช้สำหรับในโรงงานสรรพาวุธจริง โดยมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อประสิทธิภาพในการผลิตที่สูงขึ้น

9.3 ควรให้ผู้ปฏิบัติงานทดลองใช้เครื่องจักรจนเกิดความชำนาญ เพื่อที่จะได้ทราบถึงข้อดี-ข้อเสียและสอบถามความคิดเห็นเพื่อที่จะนำไปปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่นของน้ำมันเบนซิน และประสิทธิภาพด้านการทำงานให้มากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิฑูรย์ สิมะโชคดี และวีรพงษ์ เถลิงจิระรัตน์ ; วิศวกรรม และการบริหารความปลอดภัยในโรงงาน . กรุงเทพมหานคร : บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด , 2537
- [2] วิฑูรย์ สิมะโชคดี ; วิศวกรรมความปลอดภัย . กรุงเทพมหานคร : หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , 2532
- [3] ผศ.สุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี ; การออกแบบและเขียนแบบวิศวกรรมด้วย solid works . กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2547
- [4] ชมภู น้อยบุญ ; การวิเคราะห์เพื่อออกแบบและสร้างการ์ดป้องกันอันตรายจากเครื่องกลึงชนิด 6 เพลา ของแผนกที่ 1 กองโรงงานสรรพาวุธ 2 กรมสรรพาวุธทหารอากาศ . เอกสารวิจัย โรงเรียนนายเรืออากาศ , 2552



# เครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือระบบจีเอสเอ็ม ณ ความถี่ 1800 เมกะเฮิรตซ์ GSM1800 Mobile Jammer

นาวาอากาศโท สง่า ศรีศุภปริดา<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ กิรติ สุขศิลา<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ สิทธิชัย ยศอินทร์<sup>3</sup> และนักเรียนนายเรืออากาศ อนวัช พิลาวลัย<sup>4</sup>

<sup>1</sup>รศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3,4</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## บทคัดย่อ

โลกปัจจุบันอยู่ในยุคข้อมูลข่าวสาร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามาเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินชีวิตของคนส่วนใหญ่ โดยเฉพาะโทรศัพท์มือถือแทบจะกล่าวได้ว่ามีกันทุกคน เนื่องจากว่าเป็นอุปกรณ์ที่หาง่ายและราคาถูกลงจึงเป็นโอกาสให้ผู้ที่ไม่หวังดีนำไปดัดแปลงเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้จุดชนวนระเบิด ซึ่งถูกนำไปใช้มากในเหตุการณ์ความไม่สงบในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาวิธีที่จะสร้างสัญญาณขึ้นมาใช้ในการตัดสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่และสร้างเป็นอุปกรณ์ออกมา โดยในปัจจุบันผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ส่วนใหญ่จะใช้คลื่นที่ความถี่ 1800 เมกะเฮิรตซ์ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือครอบคลุมในช่วงความถี่ 1785 -1900 เมกะเฮิรตซ์ และได้ทำการทดลองผลปรากฏว่าเครื่องที่สร้างขึ้นสามารถตัดสัญญาณได้สำเร็จ

## Abstract

At the age of information technology, electronics have become a major role in our daily life, particularly with mobile phones. They are cheap and easy to buy. Some people might use them for triggering bombs. These triggering technique has been used in 3 southern provinces of Thailand. Our research group has studied and implemented a way to generate signal to suppress signals from these mobile phones. Most mobile networks are operated on 1800 MHz, so we have built mobile phone intereferer covering frequency ranges from 1785 to 1900 MHz. We have achieved satisfactory results.

## 1. บทนำ

เนื่องจากในสมัยปัจจุบันเทคโนโลยีได้เจริญก้าวหน้าไปมากโดยเฉพาะทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ สงครามก็ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเป็นสงครามก่อการร้าย และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็สามารถหาได้ง่ายและราคาถูกลง โดยเฉพาะโทรศัพท์มือถือ ซึ่งผู้ก่อการร้ายมักจะนำไปดัดแปลงเป็นตัวจุดชนวนระเบิด ในการต่อวงจรโดยการใช้โทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการจุดชนวนระเบิด ก็สามารถทำได้โดยการดึงเอากระแสไฟฟ้าจากโทรศัพท์มือถือเพื่อนำเอาไปใช้ขับรีเลย์สวิตช์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ต้องสามารถ

ดึงเอาออกมาจากส่วนต่าง ๆ ของวงจรภายในระบบของโทรศัพท์ได้ ตัวอย่างเช่น การดึงเอากระแสไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อมีการรับสาย เพื่อนำไปใช้ขับวงจรแสดงผลหน้าจอโทรศัพท์หรือใช้ขับลำโพงของโทรศัพท์ให้มีเสียงดังออกมา กระแสไฟฟ้านี้สามารถนำเอาไปจ่ายให้รีเลย์สวิตช์ 3 โวลต์เพื่อทำการเชื่อมต่อวงจรทางไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่ 9 หรือ 12 โวลต์ ให้เข้ากับชนวนระเบิดได้ ซึ่งคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและสร้างเครื่องรบกวน

สัญญาณโทรศัพท์มือถือเพื่อป้องกันการใช้โทรศัพท์มาเป็นตัวจุดชนวนระเบิดและยังสามารถนำไปใช้ตัดสัญญาณโทรศัพท์ในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ เช่น บริเวณห้องประชุม เป็นต้น

**2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

- 2.1 เพื่อศึกษาการส่งและการรับสัญญาณของโทรศัพท์มือถือระบบจีเอสเอ็ม
- 2.2 เพื่อศึกษาระบบการให้บริการโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย
- 2.3 เพื่อศึกษาระบบการรบกวนสัญญาณของโทรศัพท์มือถือ
- 2.4 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

**3. ขอบเขตของการวิจัย**

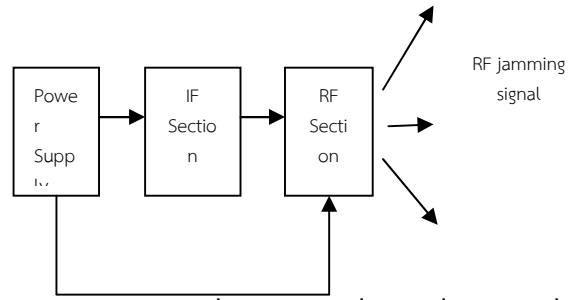
- 3.1 ศึกษาและออกแบบวงจรไมโครเวฟโดยใช้สายนำสัญญาณแบบไมโครสตริป สายนำสัญญาณระนาบร่วม
- 3.2 ศึกษาและออกแบบวงจรที่ใช้จูนไอซีกำเนิดความถี่ (VCO) ช่วง 1785 – 1900 เมกะเฮิร์ตซ์
- 3.3 ศึกษาและออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟเพื่อใช้จ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซีในส่วนต่าง ๆ

**4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

- 4.1 มีความรู้ความเข้าใจในหลักการตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือ
- 4.2 สามารถนำเครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์มือถือที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้งานได้จริง และสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดให้เครื่องมีกำลังส่งที่แรงขึ้นได้

**5. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

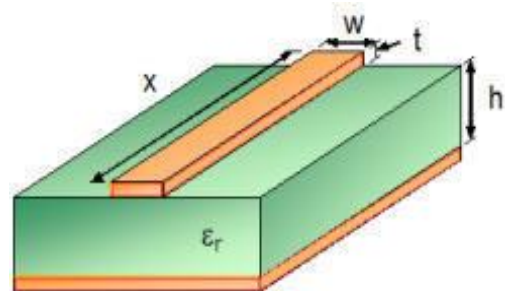
หลักการของการตัดสัญญาณโทรศัพท์ก็คือ การส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกันแต่มีความแรงของสัญญาณแรงกว่า โดยการทำงานของเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์ประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก คือ ภาคความถี่วิทยุ ภาคความถี่ไอเอฟ และแหล่งจ่ายไฟ



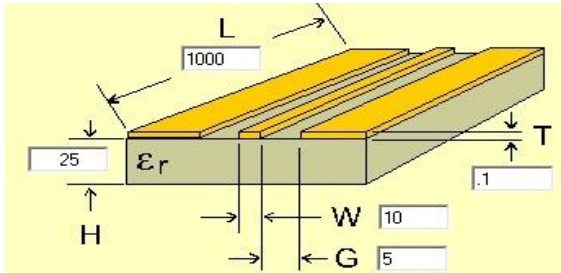
ภาคความถี่วิทยุคือส่วนที่สำคัญที่สุดของเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์ ประกอบด้วย ตัวกำเนิดความถี่ด้วยการควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Controlled Oscillator or VCO) ตัวขยายกำลังความถี่วิทยุ (RF Power Amplifier) และสายอากาศ (Antenna) ส่วนประกอบเหล่านี้จะถูกเลือกให้สอดคล้องตามรายละเอียดที่เราความต้องการของเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์ในช่วงความถี่ที่จะรบกวนและให้มีขอบเขตครอบคลุมช่วงความถี่นั้น เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ไว้ว่าส่วนประกอบเหล่านั้นจะมีค่าอินพุต/เอาต์พุต อิมพีแดนซ์ ขนาด 50 โอห์ม ดังนั้นไมโครสตริปขนาด 50 โอห์ม จึงจำเป็นในการใช้แมตซ์ระหว่างอุปกรณ์

**5.1 ไมโครสตริป**

ไมโครสตริปเป็นสายนำสัญญาณที่นิยมใช้งานมากกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์และสื่อสารที่สร้างอยู่บนวงจรพิมพ์ โดยวงจรที่ใช้สายนำสัญญาณไมโครสตริป ได้แก่ วงจรขยายสัญญาณ วงจรออสซิลเลเตอร์ และวงจรมิกเซอร์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากไมโครสตริปมีโครงสร้างเช่นเดียวกับเส้นของลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์นั่นเอง โดยภาพตัดขวางของไมโครสตริปแสดงดังรูปข้างล่าง ซึ่งประกอบด้วยสตริปตัวนำ แผ่นไดอิเล็กทริกหรือซับสเตรท (Substrate) และแผ่นกราวด์ตัวนำ โดยสตริปตัวนำมีความหนาเท่ากับ  $t$  และความกว้างเท่ากับ  $w$  แผ่นซับสเตรทมีความหนาเท่ากับ  $h$  และมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) เท่ากับ  $\epsilon_r$



อย่างไรก็ตามได้มีการประมาณค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริปเป็นสมการเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยสมมติว่าไมโครสตริปมีความหนาของตัวนำน้อยมาก ( $\frac{t}{h} < 0.005$ ) โดยค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะจะคำนวณได้ดังนี้



สตริปแคบ ( $\frac{w}{h} < 1$ )

$$Z_0 = \frac{Z_f}{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln\left(8\frac{h}{w} + \frac{w}{4h}\right)$$

โดยที่  $Z_f = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376.8 \Omega$  เป็นค่า

อิมพีแดนซ์ของอากาศ และค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประสิทธิผลคำนวณได้จาก

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12\frac{h}{w}}} + 0.04\left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right]$$

### 5.2 สายนำสัญญาณระนาบร่วม

สายนำสัญญาณระนาบร่วม (coplanar waveguide หรือ cpw) ถูกคิดค้นโดย Wen โดยมีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยสตริปอยู่ตรงกลางด้านบนของชั้นสเตรท โดยมีความกว้างของสตริปคือ  $s$  ด้านข้างทั้งสองด้านของสตริปเป็นระนาบกราวน์ ซึ่งมีความกว้างระหว่างสตริปถึงระนาบกราวน์คือ  $w$  และมีความหนาของชั้นสเตรทคือ  $h$  การใช้งานสายนำสัญญาณระนาบร่วมมีข้อดีที่ การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับระนาบกราวน์ทำได้ง่ายเนื่องจากกราวน์อยู่บนระนาบเดียวกันกับสตริป การสร้างวงจรในรูปของวงจรรวมนั้นการตัดระนาบกราวน์ออกจะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ อย่างไรก็ตามสายนำสัญญาณระนาบร่วมชนิดที่มีกราวน์ด้านล่าง (conductor-backed coplanar waveguide หรือ cpcpw) เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากมีโครงสร้างที่สามารถใช้ประกอบร่วมกับวงจรไมโครสตริปได้ง่าย เพราะมีระนาบกราวน์ด้านล่าง

เหมือนกันและส่วนมากอุปกรณ์ไมโครเวฟที่สร้างขึ้นแล้ว ต้องมีความจำเป็นต้องบรรจุลงในกล่องโลหะ ซึ่งระนาบกราวน์ด้านล่างสามารถเป็นส่วนหนึ่งของกล่องได้คินอกจากนี้ระบบกราวน์ด้านล่างยังมีส่วนช่วยเสริมความแข็งแรงและระบายความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกด้วยตลอดจนการใส่ระนาบกราวน์ด้านล่างยังทำให้ขนาดของวงจรลดลงอีกด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับสายนำสัญญาณระนาบร่วมที่ไม่มีระนาบกราวน์ด้านล่างที่มีค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะเท่ากัน

ค่าไดอิเล็กทริกประสิทธิผลและค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\epsilon_{re} = 1 + q(\epsilon_r - 1)$$

$$q = \frac{K(k_2)/K'(k_2)}{K(k_1)/K'(k_1) + K(k_2)/K'(k_2)}$$

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}} [K(k_1)/K'(k_1) + K(k_2)/K'(k_2)]}$$

### 6. วิธีการดำเนินการวิจัย

6.1 ศึกษาการออกแบบวงจรไมโครเวฟ รวมทั้งค้นหาวงจรและตัวไอซีที่จะนำมาใช้สร้างสัญญาณ แล้วใช้โปรแกรม AppCad ช่วยในการคำนวณขนาดของไมโครสตริป จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อามาตลาดายวงจรในโปรแกรม Design Spark PCB

6.2 ส่งลายวงจรที่ออกแบบไปให้บริษัททำการกัดลายวงจรและบัดกรีอุปกรณ์ลงบนบอร์ดให้เรียบร้อย

6.3 ออกแบบวงจรภาคไอเอฟและจัดสร้างวงจรขึ้นมาจากนั้นนำไปทดลองต่อกับบอร์ดภาคความถี่วิทยุเพื่อดูว่าใช้ได้หรือไม่และวัดค่ากระแสที่ต้องใช้

6.4 ออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟตามขนาดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ที่ต้องใช้ที่มีขนาดต่างกัน

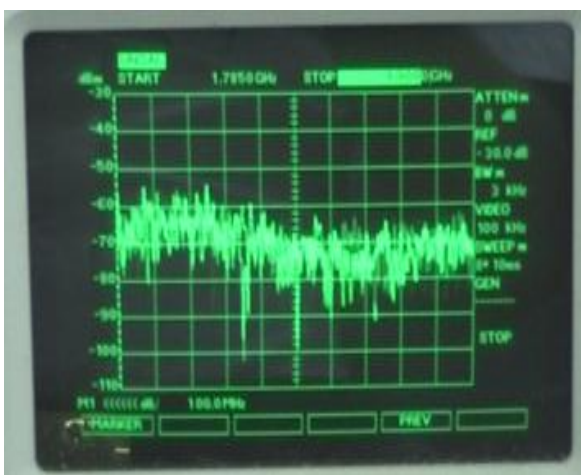
6.5 นำแต่ละส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันและทำการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์เส้นสเปกตรัม

### 7. ผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างวงจรที่ใช้สำหรับจูนความถี่ของ VCO เมื่อทำการวัดสัญญาณด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปผลปรากฏว่าได้สัญญาณดังภาพ



และเมื่อทดลองนำไปต่อกับบอร์ดภาคความถี่วิทยุโดยใช้ไฟเลี้ยงจากเครื่องจ่ายไฟของ Agilent แล้วใช้เครื่องวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมวัดจะปรากฏผลดังภาพโดยทางซ้ายเป็นภาพก่อนเปิดเครื่องและภาพขวาเปิดเครื่องแล้ว



และเมื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟขึ้นมาใช้เองผลปรากฏว่าวงจรสามารถทำงานได้เหมือนเดิม

### 8. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองทดสอบเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์มือถือ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เส้นสเปกตรัม (Spectrum Analyzer) วัดดูผลปรากฏว่าเมื่อตอนที่ยังไม่ทำการเปิดเครื่องตัดสัญญาณโทรศัพท์ เครื่องวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมจะแสดงภาพเส้นสเปกตรัมของคลื่นต่าง ๆ ทั่วไปที่อยู่ในอากาศและมีระดับความแรงของสัญญาณที่ -110 dBm แต่เมื่อทำการเปิดเครื่องรบกวนสัญญาณโทรศัพท์ปรากฏว่าระดับความแรงของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นมา 40 dBm มาอยู่ที่ระดับ -70 dBm จากนั้นได้ลองนำเครื่องโทรศัพท์มือถือของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์มือถือทั้งของเอไอเอส ดีแทค และทรูมูฟ มาทดสอบผลปรากฏว่าสามารถตัดสัญญาณโทรศัพท์ได้สำเร็จโดยมีรัศมีประมาณ 5 – 8 เมตร จะเห็นว่าระยะในการตัดสัญญาณยังน้อยอยู่ถ้าจะเพิ่มระยะทางก็สามารถทำได้โดยเพิ่มอัตราขยายกำลัง



### 9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ เรืออากาศตรี อาทิตย์ ไพโรศรี และ นายไพรัช จักรเทวา ที่ให้การช่วยเหลือในการประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

### 10. เอกสารอ้างอิง

- [1] สง่า ศรีสุภปรีดา, นาวาอากาศตรี. “วิศวกรรมไมโครเวฟ” โรงเรียนนายเรืออากาศ กรุงเทพฯ
- [2] ประยุทธ์ อัครเอกตมาลิน, “การออกแบบวงจรไมโครเวฟ” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ
- [3] Rick Hartley, RF/Microwave PC Board Design and Layout, [www.jlab.org/accel/eecad/pdf/050rfdesign.pdf](http://www.jlab.org/accel/eecad/pdf/050rfdesign.pdf)



# การออกแบบและสร้างแท่นปล่อยอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็ก

## Design And Building a Small UAV Launcher

นาวาอากาศตรี สุคนธ์ พันธุ์ธร<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ สุทธิพันธ์ ทองเลิศ<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ ณัฐวุฒิ วรรณดิลก<sup>3</sup> และนักเรียนนายเรืออากาศ พงษ์ตะวัน อ่อนมณี<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ผศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

<sup>2,3,4</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแท่นปล่อยอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็ก โดยทางคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสไปศึกษาดูหลักการทำงานของแท่นปล่อยอากาศยานพิสัยกลางรุ่น Snipe MK.5 จาก กรมทหารต่อสู้อากาศยานรักษาพระองค์ และได้นำรูปแบบและความรู้ที่ได้ มาทำการออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม Solid Work และได้ทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างที่ออกแบบขึ้นในโปรแกรม Solid Work เช่นเดียวกัน หลังจากนั้น จึงได้ทดสอบหาค่านิค (k) ของยางยืดที่จะนำมาใช้ในระบบส่งกำลังสำหรับการปล่อย เมื่อได้รายละเอียดส่วนต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงได้มีการสร้างชิ้นงานจริง และทำการทดสอบปล่อยวัตถุทดสอบ พบว่า สามารถทำให้วัตถุมีความเร็ว 8 เมตรต่อวินาที หรือ 25.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน 24.375 เปอร์เซ็นต์ จากค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี

### Abstract

This research aims to create a platform release without pilot small aircraft. By the way, the researchers had the opportunity to study the principles of medium range aircraft platform release version of the Snipe MK.5 at The Air Defense Regiment King's Guard. And then, the patterns and knowledge acquired to design elements by using the Solid Work Program. Then, we have tested the strength of the structure designed in the Solid Work Program as well. After that, It has tested the value of k of the rubber to be used in the transmission system for emissions. When the details are completed. The research group has created real parts. Test and release an object that can make objects appear to speed 8 m/s, or 25.8 km/h. This value was 24.375 percent of the errors that were calculated according to the theory.

### 1. บทนำ

การนำอากาศยานไร้คนบิน (Unmanned Aerial Vehicle) มาปฏิบัติภารกิจทางทหาร มีจุดเด่นในเรื่องการช่วยลดการสูญเสียนักบิน และเนื่องจากอากาศยานไร้คนบินมีขนาดเล็ก ซึ่งถูกตรวจจับได้ยาก มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นในปัจจุบัน อากาศยานไร้คนบินจึงถูกพัฒนาให้มีสมรรถนะสูงขึ้นเพื่อใช้ในภารกิจที่หลากหลายมากขึ้น

ปัจจุบันประเทศไทยจัดหาอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็กสำหรับใช้ปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ ซึ่งใช้การปล่อยขึ้นบินด้วยมือ การปล่อยขึ้นบินด้วยมือ มีข้อเสียคือ ความไม่แม่นยำของมุมที่ปล่อย อีกทั้งยังมีความเสี่ยงต่อผู้ปล่อย เมื่อต้องการปล่อยอากาศยานไร้คนบินในพื้นที่เสี่ยงภัย

เพื่อให้การปล่อยอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็กปลอดภัยแม้ในพื้นที่เสี่ยงภัยและมีความแม่นยำในการปล่อยและแรงในการปล่อย คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการ

ออกแบบและสร้างแท่นปล่อยอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็กขึ้นมา

**2. วัตถุประสงค์**

2.1 เพื่อศึกษาหลักการปล่อยอากาศยานไร้คนบินโดยใช้แท่นปล่อย

2.2 เพื่อออกแบบและสร้างแท่นปล่อยอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็ก

**3. ขอบเขตการวิจัย**

แท่นปล่อยในโครงการวิจัยนี้ สามารถใช้ได้กับอากาศยานไร้คนบินขนาดเล็ก ที่มีความยาวปีกไม่เกิน 2 เมตร และน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัม

**4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

- 4.1 สมรรถนะการบินขึ้นของอากาศยาน
- 4.2 หลักการของงาน พลังงาน และกฎการอนุรักษ์พลังงาน
- 4.3 การออกแบบเครื่องกล (Machine Design)
- 4.4 ความแข็งแรงของวัสดุ
- 4.5 กลศาสตร์วิศวกรรม

**5. วิธีดำเนินการวิจัย**

5.1 การออกแบบแท่นปล่อยอากาศยานแบบที่ 1

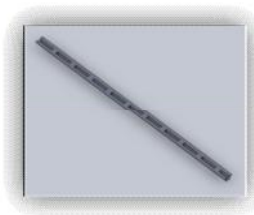


5.2 การศึกษาดูงานหลักการทำงานของแท่นปล่อย

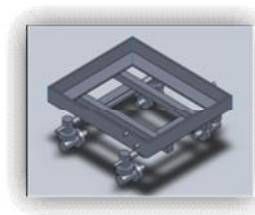
Snipe MK. 5



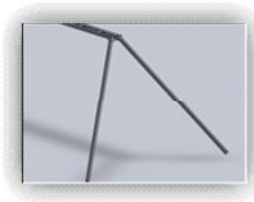
5.3 การออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของแท่นปล่อยอากาศยาน



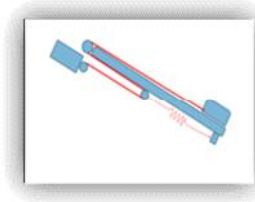
รางแท่นปล่อย



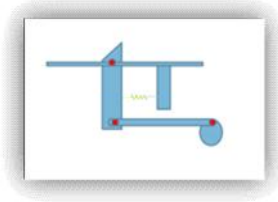
แท่นเลื่อน



ขาตั้ง

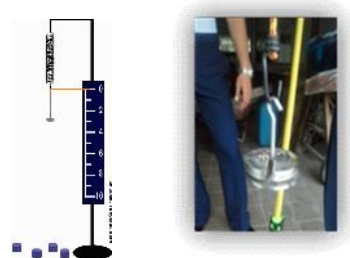


ระบบส่งกำลัง



ระบบปลดไก

5.4 การทดสอบหาค่านิจ (k) ยางยืดเส้นที่ 1



1. จัดอุปกรณ์ตามภาพ
2. แขนงต็มน้ำหนัก บันทึกผล
3. คำนวณหาค่านิจ (k) โดยใช้สมการ  $k = F/x$   
ได้ค่านิจ (k) เฉลี่ย = 42.03 N/m

5.5 การคำนวณหาความยาวรางแท่นปล่อย จากหลักการของงานและพลังงาน

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 2} = T_2$$

จะได้

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fs - mgh = \frac{1}{2}mv_2^2$$



โดยที่

- $s = 2x \text{ m}$  (ระยะทางวิ่ง)
- $v_1 = 0 \text{ km/h}$
- $v_2 = 50 \text{ km/h}$  หรือ  $13.89 \text{ m/s}$
- $h = 2x \sin(25) \text{ m}$  (ให้มุมสูงสุด คือ 25 องศา)
- $k = 42.03 \text{ N/m}$
- $m = 6 + 1 = 7 \text{ kg}$  (อากาศยาน + แท่นเลื่อน)
- $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
- $F = 30 \text{ N}$  (แรงขับของเครื่องบินได้จากการ

ทดลอง)

$x$  = ระยะยัดของสปริง มีหน่วยเป็น m  
 แทนค่าสมการ จะให้ความยาววางออกมาเท่ากับ 3.99 m. หรือประมาณ 4 m.

5.6 การสร้างชิ้นงาน



รางแท่นปลดอย



แท่นเลื่อน



ขาตั้ง



ระบบส่งกำลัง



ระบบปลดไก



ระบบรอก

5.7 การทดสอบหาค่านิจ (k) ยางยัดเส้นที่ 2

เนื่องจากได้มีการเปลี่ยนชนิดของยางยัดที่ใช้จึงได้มีการทดสอบหาค่านิจ (k) ใหม่อีกครั้ง ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

แรง (N/m)	ความยาว (m)	ระยะยัด (m)	k (N/m)
0	0.92	0	0
10	1.33	0.41	24.39
20	2.02	1.10	18.18
30	2.56	1.64	18.29
40	2.98	2.06	19.42
45	3.12	2.20	20.45
<b>เฉลี่ย</b>			<b>20.15</b>

5.8 การทดสอบหาจำนวนยางที่จำเป็นต้องใช้งาน จากหลักการของงานและพลังงาน

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 2} = T_2$$

จะได้

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx^2 + Fs - mgh = \frac{1}{2}mv_2^2$$

โดยที่

- $s = 3.5 \text{ m}$  (ระยะทางวิ่ง)
- $v_1 = 0 \text{ km/h}$
- $v_2 = 50 \text{ km/h}$  หรือ  $13.89 \text{ m/s}$
- $h = 3.5 \sin(25) \text{ m}$  (ให้มุมสูงสุด คือ 25 องศา)
- $m = 6 + 1 = 7 \text{ kg}$  (อากาศยาน + แท่นเลื่อน)
- $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
- $F = 30 \text{ N}$  (แรงขับของเครื่องบินได้จากการ

ทดลอง)

$$x = 2.15 \text{ m}$$

$k$  = ค่านิจ (k) ยางยัดเส้นใหม่ มีหน่วยเป็น N/m แทนค่าสมการ จะได้ค่านิจ (k) รวมเท่ากับ 290.636 N/m โดยที่ยางแต่ละเส้นมีค่า  $k=20.15 \text{ N/m}$  เพราะฉะนั้นจะต้องใช้ยางจำนวน  $\frac{290.636}{20.15} = 14.42$  เส้น และเมื่อนำมาคูณด้วย correction factor ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.1 จะได้จำนวนยาง  $14.42 \times 1.1 = 15.86$  จึงควรใช้ยางยัดจำนวน 16 เส้น

## 5.9 การทดสอบแท่นปล่อยอากาศยาน



เนื่องจากวัตถุทดสอบเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง ความเร็วเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0 และวัตถุทดสอบไม่มีแรงขับ จึงได้สมการใหม่ตามทฤษฎี ดังนี้

$$\frac{1}{2}kx^2 - mgh = \frac{1}{2}mv_f^2$$

โดยที่

$$k = 20.15 \times 13 \text{ เส้น} = 261.95 \text{ N/m}$$

$$x = 1.6 \text{ m (ระยะที่ยางยืดมัดรวมกัน 13 เส้น สามารถยืดได้)}$$

$$m = 4.5 + 1 = 5.5 \text{ kg (วัตถุทดสอบ+แท่นเคลื่อน)}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 3.5 \sin(25) \text{ m}$$

แทนค่าในสมการ จะได้ค่าความเร็วของวัตถุ ณ ตำแหน่งปลายราง ( $V_f$ ) ซึ่งเป็นความเร็วตามทฤษฎี เท่ากับ  $9.64 \text{ m/s}^2$  และเมื่อนำมาทดสอบปล่อยจริง พบว่า วัตถุทดสอบเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ณ ตำแหน่งปลายราง เท่ากับ  $8 \text{ m/s}^2$

## 6. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบแท่นปล่อยอากาศยานไร้นักบินขนาดเล็ก แท่นปล่อยอากาศยานไร้นักบินสามารถทำให้วัตถุที่มีน้ำหนัก  $5.5 \text{ kg}$  เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ณ ตำแหน่งปลายราง เท่ากับ  $8 \text{ m/s}^2$  โดยความเร็วที่ได้มีค่าน้อยกว่าความเร็วที่คำนวณได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ  $24.375 \%$  ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ความเสียดทานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มีความมากกว่าที่ชดเชยไว้ ในค่า Correction Factor และยางยืดแต่ละเส้นที่ใช้มีค่าคงที่ของยางยืดไม่เท่ากัน

## 7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรมีการพัฒนาส่วนต่างๆของแท่นปล่อยอากาศยานให้มีความแข็งแรงและปลอดภัยมากขึ้น

7.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับโปรแกรมออกแบบทางวิศวกรรม และนำมาใช้ในการออกแบบ

7.3 ควรมีทักษะทางด้านฝีมือการช่าง หากผู้วิจัยจะสร้างชิ้นงานเอง

7.4 ควรออกแบบแท่นปล่อยอากาศยานให้สามารถปล่อยอากาศยานออกไปได้โดยไม่มีผล กระทบต่อแนวการเคลื่อนที่ของอากาศยาน

## เอกสารอ้างอิง

[1] พูนลาภ เขียมเจริญ, นาวาอากาศเอก. "วิศวกรรมการบิน 2". กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ.

[2] เฟอร์ดินานด์ เบียร์, รัสเซลล์ จอห์นสตัน. Mechanics of Materials : สำนักพิมพ์ที่อป/แมคกรอ-ฮิล, 2545.



# ระบบประเมินภาระงานของคณาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## Faculties' workload Assessment System of the RTAFA Academic Faculty

นาวาอากาศเอก รศ. วิรัตน์ ศิริวัฒน์<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ เอกรัฐ ดิษบรรจง<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ การุณย์ พิมพ่วงศ์<sup>3</sup> และนักเรียนนายเรืออากาศ ก้องปกพ โพธิ์ถวิล<sup>4</sup>

<sup>1</sup>รศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3,4</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

กองการศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศ (กศ.ร.ร.นอ.) ได้มีการวางแผนและแผนงานในการจัดทำ ระบบประเมินภาระงานของคณาจารย์กองการศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศขึ้น ซึ่งระบบนี้จะมีหน้าที่ในการ รับข้อมูลภาระงานจากอาจารย์ในภาควิชาต่าง ๆ ของกองการศึกษา มาบันทึก และทำการประมวลผลพร้อมทั้งคำนวณงานต่างๆแปลงเป็นค่าภาระงาน เพื่อนำเสนอผู้บริหารของกองการศึกษาให้ได้ทราบถึงผลงานการทำงานของอาจารย์แต่ละท่าน ซึ่งในส่วนของการนำเสนอจะง่ายต่ออาจารย์ในระดับผู้บริหารในการพัฒนาโปรแกรม โดยใช้วิธีการสร้างฐานข้อมูลเกี่ยวกับภาระงาน โดยที่ให้อาจารย์แต่ละท่านเป็นผู้กรอกข้อมูลของตนเองผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) แล้วนำมาคำนวณพิจารณาผ่านระบบที่ออกแบบไว้ แล้วแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งกราฟและตารางข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปพิจารณาต่อ โดยในการพัฒนาได้มีการทดลองระบบเพื่อประมวลผลการใช้งาน และอาจารย์กลุ่มหนึ่งได้เข้าทดสอบระบบ ซึ่งจะได้ข้อสรุปหรือข้อผิดพลาดของระบบ โดยที่ข้อสรุปจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุงให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ หรือนำไปศึกษาต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### Abstract

The Academic Faculty of the Royal Thai Air Force Academy (RTAFA) has established a concept and plan to design the RTAFA faculty's workload assessment system, with its objectives to record, evaluate and calculate the amount of workload for each instructor from various Departments. The outcome will be submitted and presented to administrators of the Academic Faculty without complexity. In order to develop the program, the data base in relation to the faculty's workload will be set up whereas the instructors can key in their information through the Web browser. The data gathered will be calculated based on the system designed. Presentation of the results can be shown in both graphs and tables. During the developmental process, the system test was implemented by requesting a sample group, a group of the RTAFA instructors, to attend the test. The results gained led to conclusions and faults in the system, resulting in advantages in developing a complete system or further studies.

### 1. บทนำ

กศ.ร.ร.นอ.ต้องการให้มีระบบงานคอมพิวเตอร์การอำนวยความสะดวกให้กับคณาจารย์ในการกรอกแบบฟอร์มการประเมินภาระงานของคณาจารย์เพื่อให้การ

ปฏิบัติหน้าที่ของคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย และเป็นประโยชน์แก่ผู้บริหารสำหรับเป็นแนวทางในการประเมินผลงาน จึงได้วางระเบียบซึ่งระเบียบนี้เรียกว่า “ระเบียบโรงเรียนนายเรืออากาศ ว่าด้วย

การกำหนดเกณฑ์ภาระงานของคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ พ.ศ. ๒๕๕๓

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบงานที่ใช้ในการประเมินภาระงานของคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ.

2.2 เพื่อประเมินระบบโดยอาจารย์ฯ ใช้งานให้ได้ค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์

2.3 เพื่อให้ผู้บริหารสามารถเรียกดูภาระงานของคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. ได้สะดวกรวดเร็ว

2.4 ทบทวนความรู้ของนอ.เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมบนระบบเครือข่าย

## 3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ระบบแบบประเมินภาระงานของอาจารย์นั้นจะสามารถป้อนข้อมูลภาระงานของอาจารย์จากที่ไหนก็ได้ภายในเครือข่ายโรงเรียนนายเรืออากาศ

3.2 สามารถเข้าถึงข้อมูลภาระงานเพื่อนำมาใช้ประเมินภายในโรงเรียนนายเรืออากาศ

3.3 มีการกำหนดสิทธิของแต่ละบุคคลตามตำแหน่ง เนื่องจากถ้าหากสิทธิตามตัวบุคคลแล้ว อาจเกิดการซ้ำซ้อนกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งได้ อีกทั้งจะมีสรุปให้ผู้บริหารเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาได้

## 4. ประโยชน์ที่ได้รับ

4.1 ผู้บริหารสามารถใช้โปรแกรมนี้ ช่วยในการแสดงผลและวิเคราะห์ผลการประเมินเพื่อใช้ประโยชน์ในการบริหารงานของ คณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. ได้

4.2 เป็นระบบผ่านทางอินเทอร์เน็ตทำให้สะดวกสบายมากกว่าการใช้กับเอกสารจำนวนมากเหมือนที่เป็นกระดาษอย่างเดิม

4.3 ผู้บริหารสามารถเรียกดูข้อมูลในอดีตผ่านทางอินเทอร์เน็ต เพื่อนำมาช่วยในการวิเคราะห์ได้

## 5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล หมายถึง ที่เก็บข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล

### 5.1.1 คุณลักษณะที่ดีของฐานข้อมูล

5.1.1.1 ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

5.1.1.2 ความถูกต้องสูงสุด

5.1.1.3 มีความเป็นอิสระของข้อมูล

5.1.1.4 มีระบบความปลอดภัยของข้อมูลสูง

5.1.1.5 การควบคุมจะอยู่ที่ส่วนกลาง

### 5.1.2 องค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล

5.1.2.1 ข้อมูล

5.1.2.2 อุปกรณ์

5.1.2.3 ชุดคำสั่ง (ผ่าน ดีบีเอ็มเอส)

5.1.2.4 ผู้ใช้

### 5.2 ภาษาเอสพี

เอสพี (Active Server Page) เป็นเทคโนโลยีที่ทำงานทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ที่ถูกออกแบบมาให้ง่ายต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์สำหรับนักพัฒนาเว็บไซต์

การทำงานของโปรแกรมเอสพี นั้นจะทำงานอยู่ที่ฝั่งของเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น ซึ่งจากการทำงานทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ของเอสพีนั้น ทำให้เว็บเบราว์เซอร์ของฝั่งไคลเอนท์ จะทำหน้าที่เพียงรับผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น

#### 5.2.1 ความสามารถและประโยชน์ของ เอสพี

5.2.1.1 เอสพีง่ายต่อการเรียนรู้และทำความเข้าใจ เนื่องจากโครงสร้างของภาษาเป็นลักษณะของการเขียนสคริปต์ ซึ่งง่ายต่อการศึกษา

5.2.1.2 เอสพีง่ายต่อการพัฒนา

5.2.1.3 เอสพีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและขยายความสามารถได้โดยง่าย โดยการสร้างคอมโพเน้นท์ขึ้นมาใช้งานเอง โดยโปรแกรมวีบี (VB) หรือ เดลฟี (Delphi)

5.2.1.4 ข้อมูลบางอย่างที่เป็นความลับทางธุรกิจจะไม่ถูกเปิดเผย เพราะการทำงานนั้นจะทำอยู่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น

**6. วิธีการดำเนินการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ใช้การวางแผนพัฒนาในรูปแบบของโมเดลน้ำตก (Water Fall Model) โดยในแต่ละขั้นตอนของการทำงานสามารถที่จะวนหรือย้อนกลับไปแก้ไขในขั้นตอนก่อนหน้านี้ได้ ดังรูป

- 6.1 โมเดลน้ำตก (Water Fall Model)
- 6.2 รวบรวมความต้องการของผู้ใช้ (User Requirements)
- 6.3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

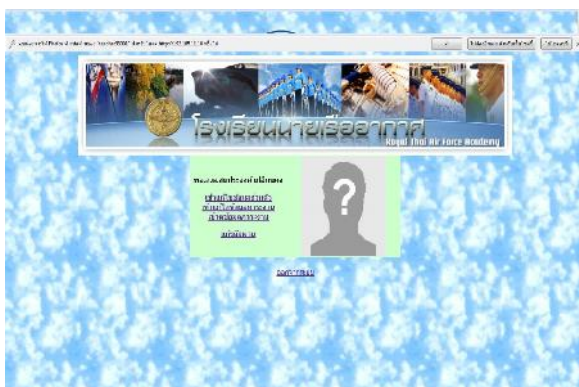
**7. ผลการวิจัย**

จากการพัฒนาระบบประเมินภาระงานของคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. ได้มีการทดลองระบบเพื่อประมวลผลการใช้งาน โดยมีอาจารย์กลุ่มหนึ่งได้เข้าไปทดสอบระบบ เพื่อให้ได้ข้อสรุปหรือข้อผิดพลาดของระบบ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาปรับปรุงให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างสมบูรณ์

7.1 รายละเอียดของระบบประเมินภาระงานของคณาจารย์

**7.1.1 ส่วนการเข้าใช้งาน**

ผู้ใช้งานในที่นี้ก็คือคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. โดยผู้ใช้งานจะมีชื่อการเข้าใช้ (Username) และรหัสการเข้าใช้ (Password) เริ่มใช้งานโดยผู้ใช้งานจะทำการกรอกชื่อการเข้าใช้และรหัสของตน ซึ่งถ้าข้อมูลไม่ตรงกันกับฐานข้อมูล จะไม่สามารถเข้าใช้ระบบได้ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2 และในส่วนของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนการเข้าใช้



รูปที่ 2 ส่วนการเข้าใช้จากผลงานจริง

**7.2 ส่วนแยกประเภทผู้ใช้งาน**

เมื่อผู้ใช้งานได้ทำการเข้าใช้ระบบ ระบบจะทำการแยกประเภทของผู้ใช้ตามฐานข้อมูล เพื่อให้สะดวกต่อผู้บริหารในการเรียกดูข้อมูล

**7.3 ส่วนการกรอกข้อมูล**

ผู้ใช้งานจะทำการกรอกข้อมูลส่วนตัวและภาระงานของตนลงในระบบ ตามหัวข้อที่ได้จัดไว้

**7.3.1 ข้อมูลส่วนตัว**

ผู้ใช้งานจะทำการกรอกข้อมูลส่วนตัวของตนลงในระบบ ตามหัวข้อที่ได้จัดไว้

**7.3.2 ข้อมูลภาระงาน**

ผู้ใช้งานจะทำการกรอกข้อมูลภาระงานของตนลงในระบบ ตามหัวข้อที่ได้จัดไว้โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3

ลำดับที่	ชื่อผู้เรียน	ชื่อครูสอน	ชื่อวิชา	จำนวนชั่วโมง
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

รูปที่ 3 ส่วนของการกรอกข้อมูลภาระงานเพื่อนำไป

คำนวณในส่วนของโปรแกรม

#### 7.4 ส่วนการแสดงผล

เป็นส่วนที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้บริหาร โดยจะทำการแสดงผลของข้อมูลในรูปแบบที่ผู้บริหาร ต้องการจะพิจารณาได้

#### 7.5 ผลตามวัตถุประสงค์ของผลการวิจัย

ข้อมูลเกี่ยวกับระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ

โดยสามารถสรุปความพึงพอใจของโปรแกรมได้ดังตารางที่ 1

โดยสามารถแบ่งเป็น 4 หัวข้อหลักดังนี้

- 1 ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ
- 2 ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ
- 3 ด้านความง่ายต่อการใช้งานในระบบ
- 4 ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบโปรแกรม

ความพึงพอใจในด้านต่างๆ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	การแปลความ
1.ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ	3.15	0.596	พึงพอใจปานกลาง
2.ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ	3.39	0.922	พึงพอใจปานกลาง
3.ด้านความง่ายต่อการใช้งานในระบบ	3.25	0.294	พึงพอใจปานกลาง
4.ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ	2.75	0.477	พึงพอใจปานกลาง

## 8. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการใช้งานจริงของระบบประเมินภาระงานของคณาจารย์ กศ.ร.ร.นอ. จะเห็นว่าการทดสอบโปรแกรมดังกล่าวสามารถใช้งานได้ในระดับพอใช้

## 9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้สามารถเพิ่มหรือปรับแต่งให้เหมาะสมตามความต้องการได้

9.2 ควรศึกษาการนำเสนอต่อผู้บริหารให้มีหลากหลายแบบ เพื่อง่ายต่อการใช้งาน

9.3 ภาระงานบางอย่างไม่สามารถนำมาคำนวณได้ตายตัว ต้องขึ้นอยู่กับผู้บริหาร

## เอกสารอ้างอิง

- [1] โค้ด ภาษา ASP[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก URL : <http://www.thaicreate.com> (วันที่ค้นข้อมูล : 16 สิงหาคม – 19 พฤศจิกายน 2553).
- [2] เศรษฐพิชญ์ ดวงฉวี. โปรแกรมคำนวณภาระงานของวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข. วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข[ออนไลน์]. วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข; 2548. เปิดใช้งานที่URL : <http://www.cmp. ubu.ac.th/menager/login.php> [เริ่มใช้งาน 9 มีนาคม 2548].
- [3] วัชรกร หนูทอง. อาร์เอฟไอดี กลยุทธ์การตลาดเพิ่มกำไรและสร้างความแตกต่าง. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

ทร อ นิก ส์ แ ละ ค อ ม พื ว เต อ ร์ แ ห่ ง ช า ตี (NECTEC).กรุงเทพมหานคร:2550.

# การศึกษาและออกแบบเชิงหลักการกระบวนการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test

## (Study and Conceptual Design of the Aircraft Undercarriage Test

### by Using Drop-Test Process)

นาวาอากาศโท.ดร. ณัฐพล นิยมไทย<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ สังกัดชั้น ๓ ภาวรงค์<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ วีรชาติ เลาแก้วหนู<sup>3</sup> และนักเรียนนายเรืออากาศ ชีรภัทร อรรถภัทร<sup>4</sup>

<sup>1</sup>อาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

<sup>2,3,4</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยานกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเชิงหลักการกระบวนการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลที่ได้จากการทำการวิจัยไปประยุกต์ใช้ให้เป็นแนวทางในการพัฒนาและจัดหาชุดทดสอบโครงสร้างฐานล้ออากาศยาน ซึ่งเป็นการรองรับการที่ภาควิชาวิศวกรรมอากาศยานมีโครงการในการจัดหาชุดทดสอบโครงสร้างฐานล้ออากาศยาน โดยได้ดำเนินการศึกษาแรงกระทำกับฐานล้อของอากาศยานในการทำการลงจอดในรูปแบบต่าง ๆ นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงมาตรฐานในการทดสอบแบบ Drop-Test จาก Federal Aviation Regulations (FAR) Part 23 จากนั้นดำเนินการหาสมการเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงในการทดสอบแบบ Drop-Test กับแรงที่กระทำกับฐานล้อของอากาศยานตามที่ต้องการทำการทดสอบจากทฤษฎีเรื่องกฎของงานและพลังงาน แล้วนำสมการและผลที่ได้จากการศึกษาไปจัดทำโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6 เพื่อใช้คำนวณหาระยะความสูงสำหรับการใช้ในการทดสอบแบบ Drop-Test นำผลในการคำนวณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณที่ใช้สมการมาตรฐานของ Federal Aviation Regulations (FAR) Part 23 ในการคำนวณเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ดำเนินการหามาและโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

**คำสำคัญ :** การศึกษา, ออกแบบเชิงหลักการ, ฐานล้ออากาศยาน, Drop-Test

### Abstract

This research is aimed to analyze and study about a conceptual design of the aircraft undercarriage test by using drop-test process. The results of this research is used to develop and procure the aircraft undercarriage test-rig, which is the project held by the Aeronautical Engineering Department, RTAFA. The procedure of this research is to analyze the force, which affects to the aircraft undercarriage in different landing condition. Besides, authors also study the standard of drop-test process from Part 23 of Federal Aviation Regulations (FAR). After that, the authors generate an equation using in finding a relation between height (altitude) of drop-test process and force that works on the aircraft undercarriage, which are found in the theory of force and energy. Then, the authors use the results to generate a distance for drop-test process by using Visual Basic 6 program and compare results from program with results using FAR equations.

**Keywords :** Study, Conceptual Design, Aircraft Undercarriage, Drop-Test



## 1. บทนำ

เนื่องจากโครงการวิจัยและพัฒนาอากาศยานไร้คนบินมีความก้าวหน้ามาเป็นลำดับ ซึ่งในขณะนี้สามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้จริง อย่างไรก็ตาม ในการพัฒนาขั้นต่อไปนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงองค์ประกอบต่าง ๆ อีกมากมาย เพื่อที่จะทำให้อากาศยานไร้คนบินมีความสมบูรณ์แบบและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่จะต้องมีการพัฒนานั้นก็คือ ส่วนของชุดฐานล้อของอากาศยาน ดังนั้นในการที่จะทำให้ชุดฐานล้อมีประสิทธิภาพที่ดี จึงจำเป็นที่จะต้องมีส่วนทดสอบโครงสร้างฐานล้ออากาศยาน และประกอบกับการที่ภาคทฤษฎีวิศวกรรมอากาศยานจะมีโครงการในการจัดหาชุดทดสอบโครงสร้างฐานล้อของอากาศยาน ดังนั้นกลุ่มวิจัยจึงมีความสนใจ และได้มีแนวคิดในการที่จะศึกษาและออกแบบเชิงหลักการกระบวนการทดสอบฐานล้อ อากาศยานแบบ Drop-Test เพื่อรองรับและสนับสนุนโครงการดังกล่าว ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาฐานล้อของอากาศยานไร้คนบินให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อเอื้ออำนวยสำหรับการนำไปปฏิบัติการกิจต่อไปในอนาคต โดยเกิดประโยชน์สูงสุด และนอกจากนี้ยังสามารถนำผลการวิจัยไปพัฒนาและประยุกต์ใช้กับอากาศยานชนิดอื่นต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทดสอบฐานล้อ อากาศยานแบบ Drop-Test

2.2 เพื่อออกแบบเชิงหลักการกระบวนการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test

2.3 เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาชุดทดสอบโครงสร้างฐานล้ออากาศยานต่อไป

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบกระบวนการทดสอบฐานล้ออากาศยานในขั้นเชิงหลักการ (Conceptual Design) ซึ่งสามารถใช้สำหรับการ Drop-Test ของอากาศยานที่มีลักษณะเฉพาะตัวดังต่อไปนี้

3.1 รูปแบบของชุดชาลล์เป็นแบบชุดชาสามล้อ (Tricycle landing gear)

3.2 ชาลล์หลักเป็นแบบ Solid Spring

3.3 ใช้ยาง Type III



รูปที่ 1 อากาศยานต้นแบบ PUKSIN Pro MKII UAV

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ได้เรียนรู้กระบวนการและออกแบบการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test อย่างมีหลักการ

4.2 ได้แนวทางในการพัฒนาชุดทดสอบโครงสร้างฐานล้ออากาศยานสำหรับนำไปจัดสร้างต่อไป

## 5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

5.1 การหาภาระกรรมสำหรับชุดชาลล์แบบชาสามล้อ (Tricycle landing gear)

5.2 สมการมาตรฐานที่ใช้คำนวณระยะความสูงที่ต้องใช้ในการปล่อยฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test ของอากาศยานขนาดเบา ตามมาตรฐาน FAR part 23.723

5.3 กฎทรงพลังงาน

## 6. การดำเนินงาน

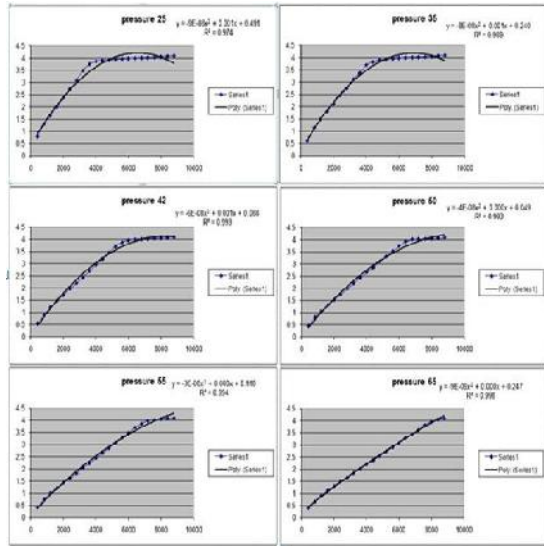
6.1 ศึกษาสมการมาตรฐานที่ใช้คำนวณระยะความสูงที่ต้องใช้ในการปล่อยฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test ของอากาศยานขนาดเบา ตามมาตรฐาน FAR part 23.723

6.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างภาระกรรมและการยุบตัวของยาง

6.3 ศึกษาการหาค่านิจสปริงของยางและชาลล์

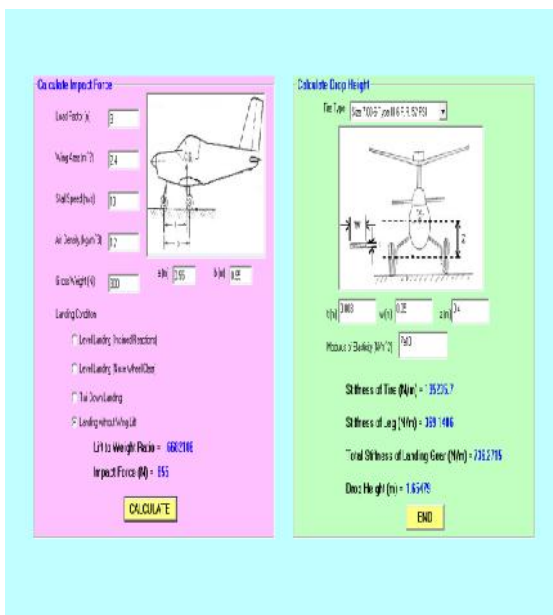
6.4 หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงที่ต้องใช้ในการปล่อยฐานล้ออากาศยานแบบ

Drop-Testและแรงกระแทก โดยใช้หลักการเรื่องงานและพลังงาน



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของยางกับแรงกระแทกของยางขนาด 6.00 – 6 - Type III

6.5 นำข้อมูลและสมการที่ได้ไปจัดทำโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic 6 เพื่อใช้ในการคำนวณระยะความสูงสำหรับการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop – Test



รูปที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรมคำนวณความสูง

6.6 วิเคราะห์ผลกระทบจากตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อระยะความสูงในการทดสอบฐานล้ออากาศยานด้วยวิธีการ Drop – Test

ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าแรงกระแทกที่มีผลต่อระยะ ความสูงในการทดสอบ

Load Factor	Force (N)	Drop Height (m)
1	300	0.03
1.4	420	0.0588
1.8	540	0.0972
2.2	660	0.1452
2.6	780	0.2028
3	900	0.27
3.4	1020	0.3468
3.8	1140	0.4332
4.2	1260	0.5292
4.6	1380	0.6348
5	1500	0.75

## 7. สรุปผลการดำเนินงาน

7.1 ได้ขั้นตอนและสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิดขึ้นกับระยะความสูงในการปล่อยสำหรับการทดสอบฐานล้ออากาศยานแบบ Drop-Test

7.2 วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ พร้อมทั้งอธิบายตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อระยะความสูงที่ใช้ทำการทดสอบได้

7.3 สามารถจัดสร้างโปรแกรมเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาระยะความสูงในการทำการทดสอบได้ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6

## 8. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

8.1 ในการทำ Drop-Test เพื่อให้เกิดแรงกระทำต่อล้อที่ใช้ทดสอบค่าหนึ่ง ๆ สามารถปรับค่าระหว่างน้ำหนักและความสูงที่ใช้ในการทดสอบได้ ดังนั้นจึงสามารถนำข้อสรุปนี้ไปใช้ในการออกแบบชุดทดสอบโครงสร้างฐานล้ออากาศยานได้ตามความเหมาะสม เช่น หากพื้นที่ในการจัดวางชุดทดสอบมีข้อจำกัดด้านความสูง

ก็อาจจะออกแบบให้ความสูงที่ใช้ในการ Drop-Test คงที่ แล้วเปลี่ยนแปลงเฉพาะค่าของน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ

8.2 หาสมการที่ใช้ในการหาลมรวมของค่านิจของ สปริงระหว่างยาง ลมยาง และขาล้อรูปแบบต่าง ๆ ได้ เพื่อให้สามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ได้ด้วยฐานล้อ อากาศยานได้หลากหลายรูปแบบมากยิ่งขึ้น

8.3 สามารถนำผลที่ได้มาพัฒนาโดยนำมาวิเคราะห์ ในขั้นที่ละเอียดมากขึ้น โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

**เอกสารอ้างอิง**

[1] Raymer, D. P. *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. Lockheed Aeronautical Systems Company, Burbank, California, 1989

[2] 14 CFR, Part 23, "Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes." U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 1992.

[3] Ladislao Pazmany, "Landing Gear Design for Light Aircraft, Vol. 1," Pazmany Aircraft Corp., Box 80051, San Diego, CA 92138. 1986.

[4] Raymond Roark, "Formulas for Stress and Strain," McGraw-Hill Book Co. 1965.



# การศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการบริหารคุณภาพโดยรวม

## กรณีศึกษาบริษัท ธนะสินพัฒนา จำกัด

นาวาอากาศเอก พิทักษ์ คุณขุนทด<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ ทรภัทร์ นาจภู และ

นักเรียนนายเรืออากาศ พงศ์ธร เต็มพานิชเจริญ<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

บริษัท ธนะสินพัฒนา จำกัด เป็นวิสาหกิจขนาดย่อมแห่งหนึ่ง ก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ. 1996 มีทุนจดทะเบียนเริ่มต้น 20 ล้านบาทโดยพื้นฐานเดิมเป็น วิสาหกิจขนาดกลาง โดยมีพนักงานประมาณ 100 คน ทำการผลิตพื้นรองเท้าให้แก่ บริษัทคู่ค้าต่าง ๆ แต่จากวิกฤตการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 1997 ทำให้บริษัทประสบปัญหาทางการเงิน มีความจำเป็นต้องลดขนาดของกิจการลงเป็นวิสาหกิจขนาดย่อมเพื่อความอยู่รอด ซึ่งปัจจุบันบริษัทได้เปลี่ยนมาผลิตรองเท้าและสำเร็จรูปแทน มีกำลังการผลิตประมาณ 800-1000 คู่ต่อวัน ในการประกอบกิจการที่ผ่านมา บริษัทกำลังประสบปัญหาที่สำคัญคือ ปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานในการปฏิบัติงานกับเครื่องจักรส่งผลให้การทำงานไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดของเสียในระบบการผลิต และอัตราการผลิตไม่ได้ตามความต้องการของลูกค้า ส่งผลกระทบให้ความน่าเชื่อถือของบริษัทลดลง ส่งผลให้ยอดคำสั่งผลิตลดลง จากปัญหาดังกล่าว พบว่าเกิดจากระบบการทำงาน ซึ่งไม่ได้รับการจัดการอย่างเป็นระบบ การประสานงานของพนักงานในองค์กรขาดประสิทธิภาพ ตลอดจนพนักงานขาดแรงจูงใจในการทำงาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้นำหลักการบริหารคุณภาพโดยรวม มาประยุกต์ใช้กับบริษัท ซึ่งหลักการดังกล่าวเป็นหลักการบริหารและหลักปรัชญาในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต โดยเน้นความสำคัญไปที่การบริหารคุณภาพ โดยพัฒนาบุคลากรให้ใช้ศักยภาพของตนเองได้อย่างเต็มที่ ในการปรับปรุงคุณภาพของสินค้า และมุ่งหมายผลกำไรในระยะยาวด้วยการสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าไม่เพียงแต่หวังผลกำไรในระยะสั้น ซึ่งอาจจะทำให้สินค้ามีคุณภาพสูงขึ้น ตลอดจนการประสานงานและการปฏิบัติงานในองค์กรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

### Abstract

Thanasinpattana Company Limited is a small enterprise founded in 1996 with 20-million baht start-up capital. At the beginning, it was a medium-sized enterprise which employed about 100 people. The main production is making soles for trading partners. Due to the crisis in the year 1997, the company experienced financial difficulties and needed to reduce the size of the business to a small one. Currently, the company has switched to manufacturing finished slippers instead, with a capacity of producing approximately 800 – 1000 pairs per day. However, the company is facing a major problem, which is a loss arising from the performance of employees in operating machines, resulting in inefficiency of work at full capacity, causing waste in the production system. Besides that, production rates do not meet the needs of clients which affect the credibility of the company, resulting in lower total orders. From the problem mentioned, it is apparent that the operation system is not handled systematically. The coordination of staff in the organization is ineffective while there is a

1 ศาสตราจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

2 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

lack of employees' motivation. Consequently, researchers have adopted and applied the total quality management of which the principles and philosophy are to improve the quality of the production process with an emphasis on quality management. This can be done by developing personnel to use their potential fully in improving the quality of the goods or services and in aiming for long-term profit goals taking into account customers' satisfaction – not only for short-term profit. This will make high quality products and services as well as effective coordination and operation in the organization.

## 1. บทนำ

ธุรกิจและอุตสาหกรรมของไทยในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งมีกระจายอยู่ทั่วไปใช้เงินลงทุนไม่สูงมาก กิจการมีขนาดเล็ก จึงมีความคล่องตัวในการบริหารมากกว่าธุรกิจขนาดใหญ่ก่อให้เกิดการแข่งขันกันอย่างเสรีของผู้ประกอบการและลดการผูกขาดในการประกอบธุรกิจ จึงเป็นแหล่งสร้างรายได้และการจ้างแรงงานรวมถึงการพัฒนาทักษะแรงงานที่สำคัญของประเทศ เนื่องด้วยการสภาวะการแข่งขันที่มีอย่างมากในปัจจุบันทำให้บริษัท หนึ่งพัฒนาจำกัดจำเป็นต้องมีการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ให้มีมาตรฐานและคุณภาพทัดเทียมและรวดเร็วกว่าคู่แข่ง เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดปัจจุบัน ระบบการบริหารคุณภาพโดยรวม เป็นระบบการบริหารสมัยใหม่ที่มุ่งไปที่การพัฒนาทุกกระบวนการในการทำงาน และการพัฒนาบุคลากรทุกคนให้มีความรู้ ความสามารถ ตลอดจนมีทัศนคติที่ดีต่อองค์กรของตนเอง ซึ่งถ้าหากมีการนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในหน่วยงานต่าง ๆ อย่างเหมาะสมแล้ว จะช่วยให้ระบบการบริหารงานในองค์กร ตลอดจนประสิทธิภาพในการทำงาน และคุณภาพของสินค้าและบริการ พัฒนาไปในทางที่ดีขึ้นได้

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานในระบบการผลิต และวิเคราะห์ข้อบกพร่องเกี่ยวกับการปฏิบัติงานของพนักงาน

2.2 เพื่อศึกษาปัญหาสภาพการทำงานและการประสานงานในองค์กรระหว่างผู้บริหารและบุคลากรในองค์กร

2.3 เพื่อหาแนวทางในการประยุกต์ใช้และพัฒนาโดยใช้หลักการบริหารคุณภาพโดยรวม

## 3. ขอบเขตการวิจัย

คณะผู้วิจัยเลือกที่จะศึกษาวิเคราะห์การทำงานของพนักงานในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ผู้บริหาร หัวหน้าแผนก และพนักงานในแผนกต่าง ๆ ได้แก่ แผนกขึ้นรูปพื้นรองเท้า แผนกเย็บคอกแต่ง แผนกถักนํ้ายา แผนกบรรจุหีบห่อ ของบริษัท หนึ่งพัฒนา จำกัด โดยวิธีการสัมภาษณ์โดยตรง สัมมนากลุ่มย่อย และ ร่วมทำงานในแผนกต่างๆ เพื่อสร้างความคุ้นเคยให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการทำงานและทราบปัญหาที่แท้จริงที่เกิดกับพนักงานในส่วนต่าง ๆ

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานและสถิติต่างๆของบริษัท เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินผล ซึ่งหลังจากได้ข้อมูลต่าง ๆ แล้ว คณะผู้ทำการวิจัยได้ทำการเรียบเรียงข้อมูลในรูปของกราฟและ แผนภูมิ เปรียบเทียบผลที่ได้จากการปฏิบัติงานในแต่ละเดือน เพื่อสังเกตหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และหาแนวทางการประยุกต์ใช้หลักการบริหารคุณภาพโดยรวม และพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริษัท หนึ่งพัฒนา จำกัด

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ทำให้ทราบถึงวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานในระบบการผลิต

4.2 ทำให้ทราบถึงปัญหาสภาพการทำงานและการประสานงานในองค์กรระหว่างผู้บริหารและบุคลากรในองค์กร

4.3 ได้แนวทางในการประยุกต์ใช้และพัฒนาโดยใช้หลักการบริหารคุณภาพโดยรวม ในการปรับปรุงการปฏิบัติงานของพนักงาน และการประสานงานในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

**5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

5.1 หลักการบริหารคุณภาพโดยรวม (Total Quality Management)

5.2 เกณฑ์รางวัลคุณภาพแห่งชาติปี 2552-2553

**6. วิธีการดำเนินการวิจัย**

6.1 กำหนดกรอบแนวคิดสำหรับการศึกษาวิจัยและกำหนดขอบเขตที่จะศึกษา

6.2 ศึกษารูปแบบการบริหารคุณภาพโดยรวมจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

6.3 ศึกษาองค์การที่ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ระบบการบริหารคุณภาพโดยรวม

6.4 ศึกษาสภาพปัญหาของบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด ในด้านการประสานงานและปฏิบัติงานต่าง ๆ โดยการร่วมประชุม สัมมนา การร่วมปฏิบัติงานจริงในแผนกต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

6.5 วิเคราะห์หาแนวทางในการประยุกต์ใช้การบริหารคุณภาพโดยรวมที่เหมาะสม และนำเสนอกับบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด



รูปที่ 1 การสัมภาษณ์พนักงานในบริษัท



รูปที่ 2 การร่วมปฏิบัติงานในบริษัท

**7. ผลการวิจัย**

หลังจากที่คณะผู้วิจัยได้นำแนวทางการบริหารคุณภาพโดยรวมไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาต่างๆของทางบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด อาทิเช่นการจัดประชุมสัมมนาอธิบายแนวทางการบริหารคุณภาพโดยรวม การจัดให้มีการฝึกการหมุนเวียนงาน การจัดกิจกรรมกลุ่มย่อยต่างๆเพื่อ

สร้างเสริมคุณภาพการทำงาน และการฝึกงานข้ามสายงานเพื่อทำการทดสอบและประเมินผลให้ได้ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสังเกตและสัมภาษณ์พนักงานตลอดจนร่วมปฏิบัติงานจริงในบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด และการสัมภาษณ์ผู้จัดการบริษัทและรองผู้จัดการบริษัท ตลอดจนการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลที่คณะผู้วิจัยได้นำมาประเมินผล ได้แก่ อัตราของเสีย อัตราการเข้าทำงานของพนักงาน และผลการวิเคราะห์แบบสอบถามความพึงพอใจในการทำงานของบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์แล้วพบว่าแนวโน้มที่ดีขึ้นกล่าวคือ อัตราของเสียลดลง อัตราการขาดงานของพนักงานลดลง และผลของแบบสอบถามความพึงพอใจในการทำงานมีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงงานในบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงอัตราของเสีย ก่อนการปรับปรุงระบบงาน

เดือน	แผนกPU	แผนกแพ็ค
มกราคม	113	99
กุมภาพันธ์	166	142
มีนาคม	66	89
เมษายน	22	77
พฤษภาคม	58	76
รวม	425	483

ตารางที่ 2 แสดงอัตราของเสีย หลังการปรับปรุงระบบงาน

เดือน	แผนกPU	แผนกแพ็ค
มิถุนายน	69	62
กรกฎาคม	83	79
สิงหาคม	57	48
กันยายน	64	71
ตุลาคม	60	63
รวม	333	323

**8. สรุปผลการวิจัย**

จากการดำเนินการวิจัยเรื่องการศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการบริหารคุณภาพโดยรวมกรณีศึกษาบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด เป็นการนำระบบการบริหารคุณภาพโดยรวมเข้ามาใช้ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่างๆในระบบการทำงานและการประสานงานในองค์กรของบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด เพื่อหาข้อผิดพลาดจากการทำงานและการประสานงานต่าง ๆ จากนั้นจึงนำแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบการบริหารคุณภาพโดยรวมมาประยุกต์ใช้กับบริษัท ทัศนคติพัฒนา จำกัด ซึ่งในการพัฒนาและนำระบบการ

บริหารคุณภาพโดยรวมมาประยุกต์ใช้ในแต่ละบริษัทและองค์กรนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆซึ่งล้วนมีความหลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละองค์กร สำหรับรูปแบบการบริหารคุณภาพโดยรวมที่สามารถใช้กับบริษัทขณะสินพัฒนา จำกัด ได้นั้นจะต้องเป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานหลักการและรูปแบบต่างๆของการบริหารคุณภาพโดยรวมเข้าด้วยกัน ซึ่งการนำระบบการบริหารคุณภาพโดยรวมมาใช้กับ บริษัทขณะสินพัฒนา จำกัด มีเป้าหมายไปที่ ผลผลิตและการบริการที่ได้คุณภาพ สร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าสูงสุด ทำให้ลูกค้าเกิดความประทับใจในบริษัทและกลับมาใช้บริการใหม่ พนักงานทุกคนในบริษัทจะต้องมีส่วนร่วมในการบริหารคุณภาพ ตลอดจนพัฒนาระดับของเกณฑ์คุณภาพให้สูงขึ้น มีการปรับปรุงกระบวนการทำงานทุกกระบวนการอย่างต่อเนื่อง มีการใช้ข้อมูล และ วิธีการต่างๆทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพในการบริหาร ซึ่งองค์ประกอบที่จะทำให้งานประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว คือ ผู้บริหารบริษัทซึ่งถือเป็นผู้วางนโยบายต่างๆ ผู้ปฏิบัติงานในทุกๆระดับในบริษัท วิธีการบริหารงาน ทรัพยากรและอุปกรณ์ ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน โดยรูปแบบการบริหารคุณภาพโดยรวมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับบริษัทขณะสินพัฒนา จำกัด เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานหลักการและรูปแบบต่างๆของการบริหารคุณภาพโดยรวมเข้าด้วยกัน โดยยึดหลักการพื้นฐานการบริหารคุณภาพโดยรวม และได้พิจารณาเพิ่มเติมบริบทการปฏิบัติงานของบริษัท ขณะสินพัฒนา จำกัด ที่มีอยู่เดิมเข้าไว้ด้วย รูปแบบการบริหารคุณภาพโดยรวมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับบริษัทขณะสินพัฒนา จำกัด จึงจะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงระบบการสั่งการในบริษัท และการปรับปรุงการทำงานต่างๆในบริษัท เพื่อสร้างความผูกพันของบุคลากรในบริษัท และ สร้างทัศนคติที่ดีของบุคลากรต่องานของบริษัทต่อไป

## 9. ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้นำเสนอระบบการบริหารคุณภาพ โดยรวม และได้ทดลองนำไปประยุกต์ใช้ในบริษัท ขณะสินพัฒนา จำกัดซึ่งแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้นั้น เป็นเพียงแนวทางในการปฏิบัติ

เบื้องต้นเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการปฏิบัติจริงในระยะยาว ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการปฏิบัติในแผนการปฏิบัติงานระยะยาว สำหรับในภาพรวมนั้นยังมีข้อบกพร่องบางประการอาทิเช่น ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการประเมินผลใช้เวลา 5 เดือนซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานขององค์กรใดองค์กรหนึ่ง อย่างไรก็ตามจากการวัดและประเมินผลที่ได้รับชี้ให้เห็นถึงการพัฒนารับขึ้นของระบบงานจากข้อมูลทางสถิติต่างๆได้รับจากทางบริษัท คณะผู้วิจัยหวังว่าระบบการบริหารคุณภาพโดยรวมที่ได้นำเสนอแก่ทางบริษัทจะได้รับการขยายผลและนำไปปฏิบัติ ตลอดจนพัฒนาให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต เนื่องจากสภาพการแข่งขันที่นับวันจะรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆของธุรกิจการผลิตรองเท้าสำเร็จรูปในปัจจุบัน การนำระบบการบริหารคุณภาพโดยรวมมาใช้ จะทำให้การดำเนินงานของบริษัทได้รับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

## 10. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บุคลากรของบริษัท ขณะสินพัฒนา จำกัดทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## 11. เอกสารอ้างอิง

- [1] วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. TQM Living Handbook : An Executive Summary. กรุงเทพฯ ฯ : บริษัทบีพีอาร์ แอนด์ ทีคิวเอ็ม คอนซัลแตนท์, 2540.
- [2] วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. TQM Living Handbook : Hoshin Kanri and Strategic Planning. กรุงเทพฯ ฯ : บริษัทบีพีอาร์ แอนด์ ทีคิวเอ็ม คอนซัลแตนท์, 2540.
- [3] บรรพต ปันทรส. การบริหารนโยบายและการบริหารงานประจำวันของการบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กร : กรณีศึกษาบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544.



# การพัฒนาการผลิตคอนกรีตให้ได้กำลังอัดตามเป้าหมายแม่นยำสูงใน ระยะเวลาอันสั้น

นาวาอากาศเอก รศ.ดร. ธนากร พิระพันธ์<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ วิเชียร พรมเดช<sup>2</sup>  
และนักเรียนนายเรืออากาศ อภิรักษ์ ยอดมิ่ง<sup>3</sup>

<sup>1</sup>รศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการผลิตคอนกรีตให้ได้กำลังอัดตามเป้าหมายที่แม่นยำสูงโดยใช้เวลาการบ่มเพียง 24 ชั่วโมง โดยที่คุณภาพของคอนกรีตสดที่ได้จากกระบวนการผลิตต้องมีความสามารถในการทำงานที่ดี ทำโดยการออกแบบกระบวนการผลิตคอนกรีตโดยการควบคุมทุกขั้นตอนในการผลิตให้คงที่เพื่อลดปัจจัยที่มีผลต่อการค่ากำลังอัดของคอนกรีตและทดสอบหาคุณสมบัติของส่วนผสมต่าง ๆ ในการผลิตคอนกรีตอย่างละเอียดเพื่อนำผลทดสอบมาทำการออกแบบอัตราส่วนของส่วนผสมต่าง ๆ คอนกรีต โดยกำหนดให้ปริมาณของวัสดุมวลรวมหยาบ(ขนาดโตสุด ¾") และวัสดุมวลรวมละเอียด(ทรายแม่น้ำ) เป็นปริมาณคงที่โดยที่ปริมาณตั้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการผลิตคอนกรีตที่ให้คุณภาพที่ดี และกำหนดให้ปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณน้ำเป็นตัวแปรที่ให้ค่ากำลังอัดที่ต้องการ ต่อจากนั้นทำการทดลองผลิตคอนกรีตตามกระบวนการผลิตและอัตราส่วนผสมที่ได้ออกแบบ แล้วทำการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่เกิดขึ้น ต่อจากนั้นนำผลค่ากำลังอัดที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับค่ากำลังอัดที่ได้ เพื่อใช้เป็นกราฟในการอ้างอิงในการผลิตคอนกรีตให้ได้กำลังอัดตามเป้าหมายที่ต้องการ ผลที่ได้พบว่ากราฟที่ใช้สารลดน้ำและไม่ใช้สารลดน้ำให้ค่า ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย 4.43 % และ 4.56% ตามลำดับ

## Abstract

This research is to develop a process that can produce concrete with high precision in target compressive strength. The process required 24 hours of curing. The quality of fresh concrete obtained from the manufacturing process had good workability. The work was designed to control every step of concrete production to reduce the effects of factors affecting the compressive strength of concrete. All ingredients were tested for their properties. The amount of coarse (maximum size of aggregate of ¾ ") and fine aggregates (river sand) were fixed while the ratios of water by cement were varied to test for compressive strength. Then several concrete mix proportions were produced and tested for compressive strength. Water reducing admixtures were used in some mixes. Then relationships between the compressive strength and water/cement ratios were established to be used for designing of concrete mix proportions. The results showed that the absolute percentages of error for using graphs with and without water reducing admixtures were 4.43 % and 4.56%, respectively.

## 1. บทนำ

คอนกรีตซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาดั้งเดิมยาวนานหลายร้อยปี ซึ่งมีหลายคนมักจะคิดว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาอีก เพราะมีวัตถุดิบคือ หิน ปูน ทราย และน้ำ ผสมกันจนเป็นคอนกรีตให้ได้

กำลังที่ 28 วัน ในพิกัดที่เหมาะสมถือว่าพอเพียงแล้ว แต่ในสภาพความเป็นจริงงานคอนกรีตหรือเทคโนโลยีของคอนกรีตไม่เคยหยุดนิ่งเลยแต่กลับวิวัฒนาการสืบหน้าไปอย่างมากในช่วง 20 ปีหลังนี้ ดังนั้น การผลิตคอนกรีตที่ให้กำลังแม่นยำสูงก็ถือเป็นการพัฒนาวิทยาการของ



คอนกรีตให้ก้าวหน้าสืบต่อไป โดยเน้นกระบวนการผลิตที่เร็ว ด้วยเทคโนโลยีที่สูงจึงสามารถควบคุมกำลัง ควบคุมคุณภาพ และควบคุมสมรรถนะได้ตลอดขบวนการก่อสร้างตั้งแต่วัตถุดิบ, การผสม, การเท, การบ่ม จนถึงการใช้งานในระยะสั้นและระยะยาว

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 พัฒนาการผลิตคอนกรีตให้สามารถรับกำลังตามเป้าหมายได้อย่างแม่นยำสูงในระยะเวลาอันสั้น

2.2 เพื่อนำผลการวิจัยไปใช้แข่งขันในการแข่งขันคอนกรีตพลังช้าง

## 3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 ในการทดลองผลิตคอนกรีต ก็จะใช้เฉพาะปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 คราซัง เท่านั้น

3.2 ส่วนผสมอื่น ๆ ของการผลิตคอนกรีตก็ใช้ตามกฎกติกาของการแข่งคอนกรีตพลังช้าง อย่างเช่นหินธรรมชาติ ขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 3/4 นิ้ว เป็นต้น

3.3 แบบที่ใช้ในการหล่อคอนกรีตในงานวิจัยนี้ใช้แบบลูกบาศก์ มีขนาด 15× 15× 15 ซม.

3.4 ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต จะใช้เพียง 24 ชั่วโมง โดยไม่ใช้ไฟฟ้าในการบ่ม

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการแข่งขันคอนกรีตพลังช้างในระดับอุดมศึกษาประเภทกำลังตามเป้าหมาย

4.2 ทราบว่าปัจจัยในการผลิตคอนกรีตมีผลกระทบอย่างไรต่อกำลังอัดของคอนกรีต

4.3 เสริมสร้างการเรียนรู้และความชำนาญในเรื่องคอนกรีตเทคโนโลยี

## 5. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

5.1 ศึกษาหาข้อมูลต่าง ๆ ของการผลิตคอนกรีต

5.2 ออกแบบและทดลองผลิต

5.2.1 ออกแบบกระบวนการผลิตและอัตราส่วนผสมในการผลิต โดยควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อกำลังให้คงที่

5.2.2 ทำการทดลองและผลิตคอนกรีตตามที่ได้ออกแบบ

5.2.3 ทดสอบค่ากำลังของคอนกรีตที่ผลิต เก็บผลการทดสอบโดยวิธีทางสถิติ เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับกำลังอัด

5.3 ผลิตคอนกรีตตามเป้าหมายที่กำหนด

5.3.1 กำหนดค่ากำลังที่ต้องการแล้วผลิตคอนกรีตจากกระบวนการและอัตราส่วนตามที่ได้ออกแบบ

5.3.2 ทดสอบค่ากำลังของคอนกรีตที่ออกมาแล้ว นำค่าที่ได้มาคำนวณ หาค่าความคลาดเคลื่อนสมมุติเฉลี่ย

5.4 แก้ไข ปรับปรุง การผลิตให้แม่นยำยิ่งขึ้น

5.4.1 ตรวจสอบว่าผลได้ตามเป้าหมายหรือไม่ ถ้าไม่ ก็ตรวจสอบว่าเกิดจากสาเหตุใด ข้อผิดพลาดใด

5.4.2 ปรับปรุงปัจจัยที่ควบคุมให้คงที่และละเอียดมากยิ่งขึ้น

5.4.3 ปรับปรุงกระบวนการผลิตหรืออัตราส่วนผสมจากข้อมูลที่ได้บันทึกเอาไว้ให้มีความละเอียดมากขึ้น เช่น การสร้างกราฟให้ละเอียดมากขึ้น เป็นต้น

5.5 วิเคราะห์ สรุปผลการวิจัย

## 6. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

6.1 กระบวนการผลิตคอนกรีตที่พัฒนาได้จากการวิจัย ดังนี้

6.1.1 เตรียมวัสดุตามปริมาณที่ออกแบบ

-ทรายที่ใช้ผลิตคอนกรีตปริมาณ 1 ลบ.ม. แยกขนาดดังนี้ ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 = 65 กก. , เบอร์ 16 = 130 กก. เบอร์ 30 = 292.5 กก. , เบอร์ 50 = 65 กก., และ เบอร์ 100 = 32.5 กก.

-หินที่ใช้ผลิตคอนกรีต ปริมาณ 1 ลบ.ม. แยกขนาดดังนี้ ค้างบนตะแกรงขนาด 3/4" = 47.25 กก., ขนาด 1/2" = 567 กก. ,ขนาด 3/8" = 141.75 กก.และ ตะแกรง เบอร์ 4 = 189 กก.

-ปริมาณ น้ำ และปูนซีเมนต์ ในการผลิตคอนกรีต 1 ลบ.ม. คำนวณจากสูตร (หน่วย กก.) ดังนี้

ปูนซีเมนต์ =  $825 / (1 + \text{อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์})$

น้ำ =  $825 - \text{ปูนซีเมนต์}$

โดย อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์หาได้จากสมการของกราฟ

6.1.2 ผสมทรายและปูนซีเมนต์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ต่อจากนั้น ผสมเข้ากับหินให้เข้ากันใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที

6.1.3 ใต้น้ำลงไปผสมคอนกรีตให้เป็นเนื้อเดียวกันให้ทั่ว ใช้เวลาประมาณ 3-4 นาที

6.1.4 ตักคอนกรีตเข้าแบบหล่อโดยแบ่งเป็นชั้น 3 ชั้นแต่ละชั้นใช้เหล็กกระทุ้งชั้นละ 35 ครั้ง แต่งหน้าคอนกรีตให้เรียบ

6.1.5 ใช้พลาสติกหุ้มคอนกรีตต่อจากนั้นหุ้มโดยพอยด์ห่ออาหารเพื่อทำการบ่มคอนกรีตทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

6.1.6 ถอดแบบหล่อก่อนทำการทดสอบในช่วง 1-2 ชั่วโมงก่อนทดสอบ

6.1.7 ทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต

6.2 ผลการทดสอบและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์กับค่ากำลังอัดของคอนกรีตสามารถแยกได้เป็น 2 กราฟ คือกราฟที่ใช้สารลดน้ำ กำลังอัด 350-500 ksc. (ดูรูปที่ 1) และกราฟที่ไม่ใช้สารลดน้ำ กำลังอัด 200-350 ksc. (ดูรูปที่ 2) โดยจะได้สมการที่ใช้หาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ตามค่ากำลังอัดที่ต้องการเมื่อใช้สารลดน้ำและไม่ใช้สารลดน้ำดังสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$y = 138.14X^{-0.868} \quad (1)$$

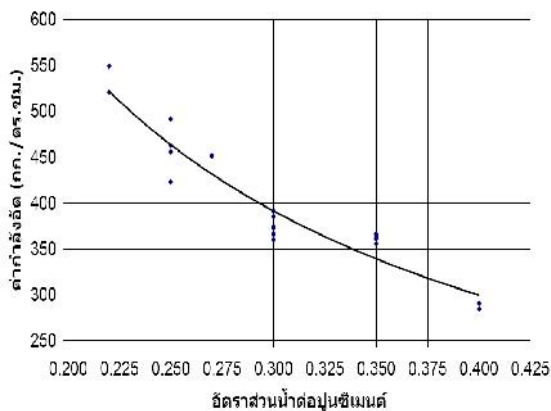
$$y = 56.721X^{-1.6019} \quad (2)$$

เมื่อ y = ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)

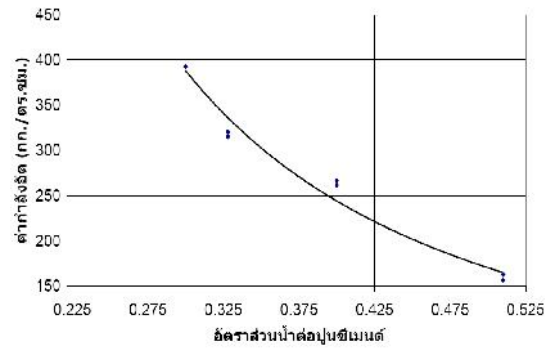
X = อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

6.3 ผลเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์

จากกราฟ ใช้สารลดน้ำและไม่ใช้สารลดน้ำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย 4.43% และ 4.56% ตามลำดับ



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เมื่อใช้สารลดน้ำ



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เมื่อไม่ใช้สารลดน้ำ

## 7. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากระบวนการผลิตคอนกรีตให้ได้กำลังอัดตามเป้าหมายแม่นยำสูงในระยะเวลาอันสั้น ส่วนที่สำคัญก็คือขั้นตอนในการผลิตคอนกรีตต้องมีการควบคุมขั้นตอนอย่างคงที่และใช้วิธีการที่ให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่สูงกว่าธรรมดา ดังนั้นการหาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จึงมีความสำคัญมาก จากการวิจัยสามารถสร้างกราฟที่ใช้ในการหาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ตามค่ากำลังอัดที่ต้องการแบ่งได้เป็น 2 กราฟ คือ กราฟที่ใช้สารลดน้ำ เพื่อให้ได้กำลังอัดที่สูงและทำงานได้ดี กำลังอัดจะอยู่ในช่วง 350-500 ksc. โดยกราฟนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 4.43% ส่วนกราฟที่ไม่ใช้สารลดน้ำ กำลังอัดอยู่ในช่วง 200-350 ksc. โดยกราฟนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 4.56%

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร, บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551.
- [2] ชัชวาล เศรษฐ์บุตร, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร, บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด, 2537.
- [3] ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพมหานคร, บริษัท เอสซีซี ซีเมนต์ จำกัด, 2552.
- [4] วินิต ช่อวิเชียร, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพมหานคร, ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2539.

# โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ

## License Plate Recognition Application

นาวาอากาศเอก ศศ.สุชาติ วีรกุลวัฒนา<sup>1</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ สุธีร์ ตั้งใจ<sup>2</sup>

นักเรียนนายเรืออากาศ กิตติศักดิ์ ตรีอรุณ<sup>3</sup> นักเรียนนายเรืออากาศ โหมจิต เอี่ยมวรานันท์<sup>4</sup>

และนักเรียนนายเรืออากาศ คณิสสรณ์ บุญญานุรักษ์<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ศศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ<sup>2,3,4,5</sup> สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

### บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ปัจจุบัน ซึ่งเทคโนโลยีได้ก้าวหน้าไปไม่รู้จักจบ สอดคล้องกับวิถีที่ผู้คนต้องรีบเร่งและแข่งขันกับเวลา และชีวิตประจำวันของแต่ละบุคคลนั้นจะต้องเกี่ยวพันกับการเดินทางอยู่เสมอ ๆ และการเข้าออกภายในหน่วยงานนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมและดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนจึงได้ตระหนักและให้ความสำคัญเกี่ยวกับระบบจัดการการเข้าและออกภายในหน่วยงานเพื่อให้มีการจัดการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีความตื่นตัวในการที่จะสรรหาหรือระบบจัดการการเข้าและออกภายในหน่วยงานในรูปแบบต่างๆ มาใช้ โดยจะเป็นการดีถ้าหากเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้นนี้จะได้อำนวยความสะดวกสบายให้แก่การสัญจรไปมาของผู้คนด้วย ซึ่งเทคโนโลยีที่มีส่วนช่วยในด้านดังกล่าวนี้ มีมากมายหลายประเภท โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีนั้น คือ โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ (License Plate Recognition Application) เพื่อที่จะช่วยดูแลความเรียบร้อยในการเข้าและออกในหน่วยงาน โดยใช้โปรแกรม Visual basic และโปรแกรม Matlab ในการพัฒนาโปรแกรม โดยใช้วิธีการถ่ายภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ จากนั้นจะนำภาพมาแปลงเป็นข้อมูลตัวเลขและเก็บในฐานข้อมูลจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ ถ้าตรวจสอบแล้วตรงกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ ก็ทำการเปิดแผงกั้นรถยนต์ แต่ถ้าข้อมูลที่ได้รับมานั้นไม่ตรงกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ ระบบก็จะไม่ทำการสั่งเปิดแผงกั้นรถยนต์ แต่สามารถสั่งให้เปิดโดยใช้ปุ่มกดแทนได้ จากผลการทดลองสามารถรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ได้อย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพ

#### 1. บทนำ

หน่วยงานราชการมีรถยนต์เข้าออกเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน ซึ่งหน่วยงานแต่ละหน่วยได้ตระหนักและให้ความสำคัญเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยในการเข้าออกมากยิ่งขึ้น ดังนั้นโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถจึงมีส่วนช่วยในการรักษาความปลอดภัยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยใช้แนวความคิดที่จะใช้โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถแทนการใช้

แรงงานจากคน ซึ่งจะช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากพนักงานเพราะโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ สามารถ

ทำงานได้เป็นระยะเวลาสั้น และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ต้องจ้างพนักงาน นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ลดระยะเวลาในการอรับบัตรจอดรถยนต์ ทำให้ความล่าช้าลดลงได้ในช่วงเวลาอันเร่งด่วน

#### 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ ให้สามารถทำงานร่วมกันกับแผงกั้นรถยนต์ และกล้องวิดีโอ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบทะเบียนรถยนต์กับฐานข้อมูล เพื่อให้อำนวยความสะดวกให้พนักงาน นอกจากนี้ยังสามารถติดตามข้อมูล การเข้าออกประตู ภาพรถยนต์ ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ เวลาและวันที่ได้ ทำให้ควบคุมการเข้าออกภายในขององค์กรได้สะดวกสบาย และรวดเร็วขึ้น

### 3. ขอบเขตการวิจัย

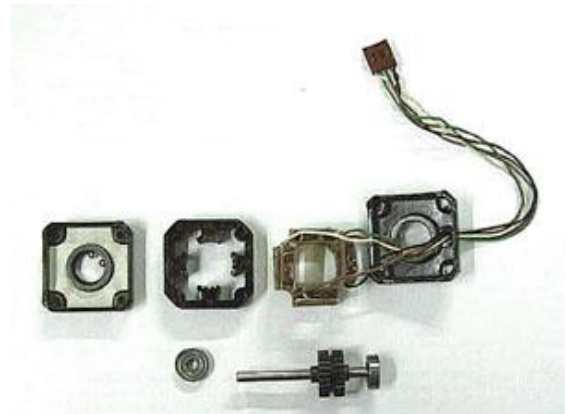
โปรแกรมสามารถรู้จำป้ายทะเบียนรถยนต์ได้ ยกเว้นชื่อจังหวัด สามารถจดจำวัน เวลา ที่เข้าและออกได้ โดยที่ป้ายทะเบียนรถยนต์ต้องเป็นป้ายที่สมบูรณ์ไม่มีตำหนิ รวมถึงต้องถ่ายภาพในสภาวะแสงที่เหมาะสมเท่านั้น และโปรแกรมจะนำข้อมูลทะเบียนรถยนต์ที่อ่านได้ ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล แล้วนำไปใช้ในการสั่งการเปิดปิดแผงกั้นรถยนต์



รูปที่ 1 รูปแสดงตัวอย่างสเต็ปมอเตอร์

### 4. ประโยชน์ที่ได้รับ

การพัฒนาโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์นี้จะช่วยเหลือนักงานในการควบคุมดูแลการเข้าและออกของรถยนต์ให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ และยังสามารถติดตามข้อมูล การเข้าออกประตู ภาพรถยนต์ ป้ายทะเบียนรถยนต์ เวลาและวันที่ เพื่อตรวจสอบการเข้าออกภายในขององค์กรได้



รูปที่ 2 รูปแสดงภาพถ่ายโครงสร้างสเต็ปมอเตอร์

### 5. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 5.1 สเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ มาทำการควบคุมได้ สะดวก และเป็นมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานควบคุมการหมุนที่ต้องการตำแหน่ง และทิศทางที่แน่นอน การทำงานของ สเต็ปมอเตอร์จะขับเคลื่อนทีละขั้น ๆ ละ (Step) 0.9, 1.8, 5, 7.5, 15 หรือ 50 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติแต่ละชนิดของสเต็ปมอเตอร์ตัวนั้น ๆ สเต็ปมอเตอร์จะแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรงทั่วไป (DC MOTOR) โดยการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงจะหมุนไปแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหมุนเป็นแบบสเต็ป ๆ ได้ดังนั้นในการนำไปกำหนดตำแหน่งจึงควบคุมได้ยากกว่า แต่ในส่วนใหญ่เราจะใช้สเต็ปมอเตอร์มาทำการควบคุมโดยใช้วิธีในระบบดิจิทัล เช่น พรินเตอร์ (Printer) พล็อตเตอร์ (X-Y Plotter) ดิสก์ไดรฟ์ (Disk drive) ฯลฯ โครงสร้างของ Stepping Motor ประกอบด้วย ขดลวด (stator) 4 ขด ล้อมรอบแกนหมุน (Rotor)

#### 5.2 การสื่อสารแบบอนุกรม

ในการสื่อสารแบบอนุกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนาน เป็นเพราะว่าการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบ อนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลที่ละ 1 บิต แต่พอร์ทขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละหลาย ๆ บิต พร้อมกัน ดังนั้นจึงทำให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน แต่ว่าข้อดีของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมคือ สามารถส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลกว่าแบบขนาน และอีกทั้งสายสัญญาณยังมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอีกด้วย

##### 5.2.1 ประเภทของการสื่อสารแบบอนุกรม

5.2.1.1 Simplex สามารถส่งข้อมูลได้  
 อย่างเดียวเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว

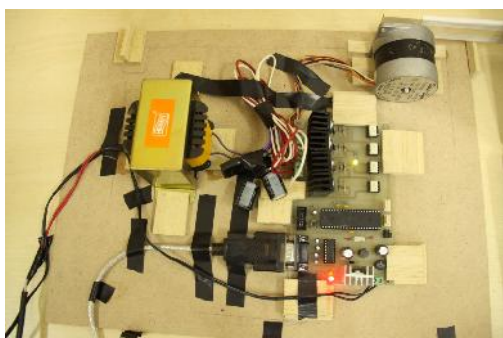
5.2.1.2 Half-Duplex สามารถส่งข้อมูล  
 ไปยังปลายทางและสามารถรับข้อมูลจากปลายทางได้แต่  
 ไม่สามารถทำการส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

5.3 RS-232

ลักษณะโดยทั่วไปของการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 คือเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด ซึ่งเดิมทีเป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ซึ่งจริงๆ แล้วทั้งสองฝั่งจะเป็นอะไรก็ได้ การสื่อสารเป็นแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Handshake) หรือไม่ก็ได้ มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น และถ้ามีสัญญาณรบกวนมากๆ เช่นในโรงงาน หรือบริเวณใกล้เครื่องจักรที่เป็นแบบมีการสวิตซ์สัญญาณไฟฟ้าที่กระแสสูงๆ ก็จะทำให้ต้องมีการลดความเร็วในการส่งสัญญาณลง หรือใช้สายที่สั้นลง

5.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือ ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน



รูปที่ 3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

6. วิธีการดำเนินการวิจัย

6.1 รวบรวมความต้องการของผู้ใช้ (User Requirements)

ข้อมูลความต้องการของผู้ใช้ได้มาจากการรวบรวมเอกสาร (Documentation) และจากการสังเกตการณ์ และกระบวนการดำเนินงานการควบคุม การเข้าและออกภายในองค์กร

6.2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

หลักการทำงานของระบบ คือจะทำการถ่ายภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ จากนั้นจะนำภาพมาแปลงเป็นข้อมูลตัวเลขแล้วนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล หลังจากตรวจสอบกับฐานข้อมูลแล้ว ก็จะมีการเปิดแผงกั้นรถยนต์ถ้าหากป้ายทะเบียนนั้นตรงกับฐานข้อมูล แต่ถ้าข้อมูลที่ได้รับมานั้นไม่ตรงกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ ระบบก็จะไม่ทำการสั่งเปิดแผงกั้นรถยนต์ แต่สามารถสั่งให้เปิดโดยใช้ปุ่มกดแทนได้

6.3 การพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมเป็นขั้นตอนการสร้าง และพัฒนาโปรแกรมตามที่ออกแบบ เพื่อให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ โดยคณะผู้วิจัยใช้โปรแกรม Matlab ในการเขียนคำสั่งการทำงาน เพื่อรับข้อมูล ประมวลผล และแสดงผล และใช้โปรแกรม MS Access ในการจัดการฐานข้อมูล

7. ผลการวิจัย

ตารางผลการทดสอบโปรแกรม

การทดลอง	ผลลัพธ์ถูกต้อง
การหาตำแหน่งป้ายทะเบียน	100%
การรู้จำตัวเลขบนป้ายทะเบียน	82%
การรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียน	79%
การรู้จำตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายทะเบียน	67%
การอนุญาตให้รถยนต์ผ่านเข้ามา	67%

## 8. สรุปผลการวิจัย

จากการที่ได้นำโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถไปทดลองและทดสอบการใช้งาน ได้ข้อสรุปว่าโปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แนวความคิดที่จะใช้โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถตรวจจับภาพและการวิเคราะห์ภาพเพื่อให้คอมพิวเตอร์อ่านและเข้าใจว่าทะเบียนรถยดนั้นเป็นหมายเลขใด แล้วนำไปเทียบกับฐานข้อมูลของทะเบียนรถยดที่อนุญาตให้เข้าออกในหน่วยงาน แล้วจึงสั่งการให้แผงกั้นรถยดเปิดหรือปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำไปใช้ในการจัดการดูแลการเข้าออกของรถยดตามสถานที่ต่าง ๆ เพื่อแบ่งเบาภาระของพนักงาน อำนวยความสะดวก และลดความผิดพลาดจากการทำงานของพนักงาน สามารถทำงานได้เป็นระยะเวลาาน ทำงานได้รวดเร็ว ช่วยลดระยะเวลาในการรอรับบัตรเข้าออก และยังสามารถตรวจสอบข้อมูลในภายหลังได้

## 9. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมยังมีข้อจำกัดหลาย ๆ ด้าน ทำให้ผู้พัฒนามีข้อเสนอแนะเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคตดังนี้

9.1 ควรมีการพิจารณาคุณสมบัติของป้ายทะเบียนรถยดตัวอย่างอื่นเพิ่มเติมในกรณีที่ป้ายทะเบียนนั้นไม่ได้เป็นป้ายทะเบียนแบบปกติ

9.2 ควรทำให้โปรแกรมดังกล่าวสามารถทำงานได้อัตโนมัติ โดยทำงานร่วมกับเซนเซอร์

9.3 การทำงานของโปรแกรมจำเป็นต้องเปิดหลาย ๆ โปรแกรมในการปฏิบัติงาน ทำให้ยุ่งยาก ควรทำให้มีการใช้งานที่ง่ายกว่านี้

9.4 แผงกั้นรถยดนั้นบางครั้งมีการกระตุกทำงานไม่ต่อเนื่อง ควรทำให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการกระตุก

9.5 ความถูกต้องในการอ่านป้ายทะเบียนควรมีความถูกต้องมากกว่านี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นนอ.ธีรศานต์ สุขธรรมนิยม, นนอ.สมคะเน มีสะอาด , นนอ.เกื้อรัฐ ดีเพ็ง. เอกสารวิจัย เรื่อง โปรแกรมอ่านป้ายทะเบียนรถ. สาขาคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยนายเรืออากาศ. 2552.
- [2] อภิชาติ ภูพลับ. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อ และควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2548.
- [3] คัมภีร์ ณ เชียงใหม่, อัครวิทย์ ยอดอนันตกุล. ระบบรู้จำเลขทะเบียนรถยดอัตโนมัติ. โครงการปริญญาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [4] สิทธิโชค ยอดระยับ. การเขียนโปรแกรม Digital Image Processing ด้วย Visual Basic. พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) ,2550.
- [5] โอบาส เอี่ยมสิริวงศ์ . การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.



# การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติผ้าชุดฝึกของนักเรียนนายร้อย 3 เหล่าทัพ

( The comparative study of fabric properties for army cadet  
navy cadet and air cadet training uniforms )

นาวาอากาศโท กิตติ ศรีนุชศาสตร์<sup>1</sup> นนอ. วันชนะ คมภักดี<sup>2</sup> และนนอ. ประพันธ์ เปียรินทร์<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>รศ.กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ <sup>2,3</sup>สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ กองการศึกษาโรงเรียนนายเรืออากาศ

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติผ้าชุดฝึกของนักเรียนนายร้อย 3 เหล่าทัพซึ่งมีการศึกษา สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การซึมผ่านของอากาศ ความคงทนต่อการขัดถู ความคงทนสีต่อน้ำ ความคงทนสีต่อเหงื่อ ความคงทนสีต่อการซัก และ สมบัติเชิงกล ได้แก่ แรงดึงขาด ความต้านแรงฉีกขาด ความต้านต่อการขัดถู ความต้านต่อการขึ้นขน/เม็ด โดยวัสดุที่นำมาทดลองเปรียบเทียบคือ ผ้าชุดฝึกนักเรียนนายร้อย 3 เหล่าทัพ เนื่องจากปัจจุบันชุดฝึกของเหล่าทหารอากาศ ใช้ผ้าที่ทอแบบริบสตอป (Ripstop) โดยใช้เส้นใยจากผ้าฝ้าย (cotton) 100 % จากคุณลักษณะดังกล่าว เมื่อนำมาทอเป็นผืนผ้า แล้วตัดเป็นเครื่องแบบฝึก แจกจ่ายให้กำลังพลของกองทัพอากาศนำไปใช้งาน ผลสำรวจความพึงพอใจจากการใช้งาน ของทหารกองประจำการจนถึงผู้บังคับบัญชาาระดับสูง พบว่าความพึงพอใจอยู่ในระดับไม่เป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะในด้านของการเป็นขุยและสีซีดได้ง่าย จากผลการวิจัยพบว่าชุดฝึกของนักเรียนนายเรืออากาศมีความแข็งแรงมากทั้งในด้ายยืนและด้ายพุ่ง ทั้งๆที่ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยในเหล่าทัพอื่นก็สามารถใช้ได้ดี อีกทั้งความคงทนต่อการขัดถูและการคงทนสีต่อการขัดถูยังน้อยกว่าชุดฝึกของนักเรียนนายร้อย ทำให้เมื่อเวลาใช้งานจะขาดและสีจะซีดจางได้ง่ายกว่าชุดฝึกนักเรียนนายเรืออากาศมีการซึมผ่านของอากาศน้อยกว่าเมื่อเทียบกับชุดฝึกของนักเรียนนายเรือเกือบ สองเท่า ทำให้ระบายเหงื่อไม่ค่อยดี ใส่แล้วทำให้ร้อนกว่า ทำให้ต้องปรับเปลี่ยน คุณสมบัติของชุดฝึกนักเรียนนายเรืออากาศให้ดีกว่าคุณสมบัติเดิม

### 1. บทนำ

นอกเหนือจากอาวุธและยุทธโศปกรณ์การรบที่ทันสมัยแล้ว กองทัพยังต้องจัดหาเสื้อผ้าและ อารมณ์ภัณฑ์สำหรับข้าราชการและทหารกองประจำการ กรมพลธิการทหารของแต่ละเหล่าทัพ เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการจัดหาเครื่องแบบฝึกในแต่ละกองทัพ เพื่อนำมาใช้งานใน การกิจต่างๆ ที่หลากหลายของแต่ละกองทัพ ในปัจจุบัน ผ้าที่นำมาตัดชุดฝึกของกองทัพอากาศ จะใช้ผ้าที่ทอแบบริบสตอป (Ripstop) โดยใช้เส้นใยจากผ้าฝ้าย (cotton) 100 % เมื่อนำมาทอเป็นผืนผ้า แล้วตัดเป็นเครื่องแบบฝึก ยังไม่ค่อยดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะในด้านของการเป็นขุยและสีซีดได้ง่าย จึงได้ริเริ่มทำการวิจัยเปรียบเทียบสมบัติของชุดฝึกของนักเรียนนายร้อย ว่าสมบัติของชุดฝึก 3 เหล่าทัพมีสมบัติแตกต่างกันอย่างไร

### 2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเส้นใยในชุดฝึกของ 3 เหล่าทัพ
- 2.2 เพื่อได้สมบัติที่เปรียบเทียบของเส้นใยของ 3 เหล่าทัพ สำหรับนำมาเป็นข้อมูลชุดฝึกสำหรับการจัดหา เพื่อนำมาใช้งานตามความต้องการของกองทัพอากาศ

### 3. ขอบเขตการวิจัย

- ศึกษาชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยทั้ง 3 เหล่าทัพ
- (1) ชุดฝึกสีเทาของนักเรียนนายเรืออากาศทอแบบริบสตอป
  - (2) ชุดฝึกสีพรางของนักเรียนนายเรือ ทอหลายสอง
  - (3) ชุดฝึกสีพรางดิจิทัลของนักเรียนนายร้อย ทอหลายสอง

จะทำการทดสอบเพื่อหาสมบัติต่าง ๆ ด้วยการทดสอบ ดังนี้

**3.1 สมบัติทางกายภาพ** มีการศึกษาวิจัยในด้าน

1 การซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D737

2 ความคงทนต่อการขัดถู (Rubbing) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 8

3 ความคงทนสีต่อน้ำ (Water) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 107

4 ความคงทนสีต่อเหงื่อ (Perspiration) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 15

5 ความคงทนสีต่อการซัก (Washing) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 61

**3.2 สมบัติเชิงกล** มีการศึกษาวิจัยในด้าน

1 แรงดึงขาด (Tensile Strength) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D5035

2 ความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Strength) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D2261

3 ความต้านต่อการขัดถู (Abrasion -Resistance) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D4966

4 ความต้านต่อการขึ้นขน /เม็ด (Pilling Resistance) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D4970

**4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

4.1 ได้ทราบสมบัติที่ดีที่สุดของผ้าตัดเครื่องแบบชุดฝึก โดยเปรียบเทียบสมบัติผ้าจากการทดลอง

4.2 ได้ทราบถึงตัวแปรของสมบัติผ้าของชุดฝึก 3 เหล่าที่พบในสภาพที่ใช้งานจริง

4.3 ได้สร้างฐานข้อมูลทางความรู้ด้านสมบัติของเส้นใยและการใช้งาน เพื่อที่จะนำมาเป็นเกณฑ์ในการจัดซื้อที่เหมาะสม

**5. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**คุณสมบัติเฉพาะของชุดฝึก**

คุณสมบัติ	ทอ.	ทบ.	ทร.
การทอ	ลายขัดแบบริบสตัดอป	ลายสอง	ลายสอง

ด้ายยืน	ฝ้าย 100%	ฝ้าย 80% โพลีเอสเตอร์ 20%	ฝ้าย 80% โพลีเอสเตอร์ 20%
ด้ายพุ่ง	ฝ้าย 100%	ฝ้าย 100%	ฝ้าย 100%
น้ำหนักผ้า	250-260 g/m <sup>2</sup>	>200 g/m <sup>2</sup>	>200 g/m <sup>2</sup>

**6. วิธีการทดลอง**

6.1 ทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสิ่งทอและเส้นใย

6.2 ออกแบบการวิจัยและการทดลอง

6.3 จัดหาสิ่งทอตัวอย่างสำหรับการทดลอง

6.4 ทดสอบสิ่งทอและเส้นใย ตามมาตรฐานการทดสอบสิ่งทอและเส้นใย โดยจะทำการทดสอบเพื่อหาสมบัติต่าง ๆ ด้วยการทดสอบ ดังนี้

1 การซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D737

2 ความคงทนสีต่อการซัก (Washing) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 61 (1A,2A)

3 ความคงทนสีต่อเหงื่อ (Perspiration) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 15

4 ความคงทนสีต่อน้ำ (Water) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 107

5 ความคงทนสีต่อการขัดถู (Rubbing) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน AATCC 8

6 แรงดึงขาด (Tensile Strength) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D5035

7 ความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Strength) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D2261

8 ความทนต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D4966

9 ความทนต่อการขึ้นขน/เม็ด (Pilling Resistance) ศึกษาวิจัยตามมาตรฐาน ASTM D4970

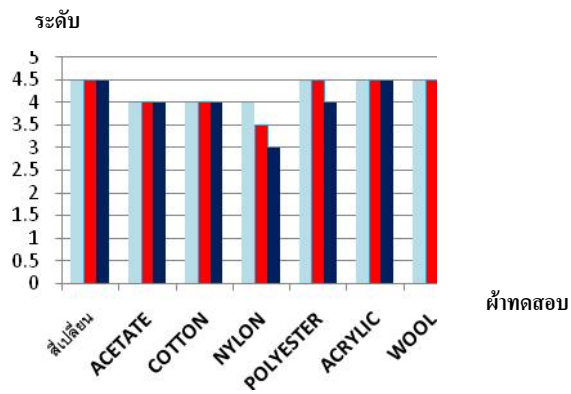
6.5 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง

**7. ผลการทดลอง**

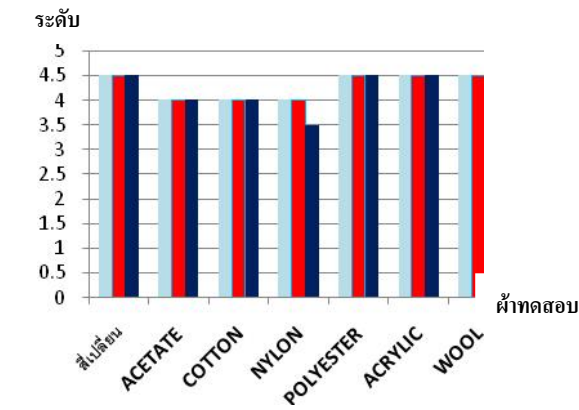
■ = ทอ. ■ = ทบ. ■ = ทร.



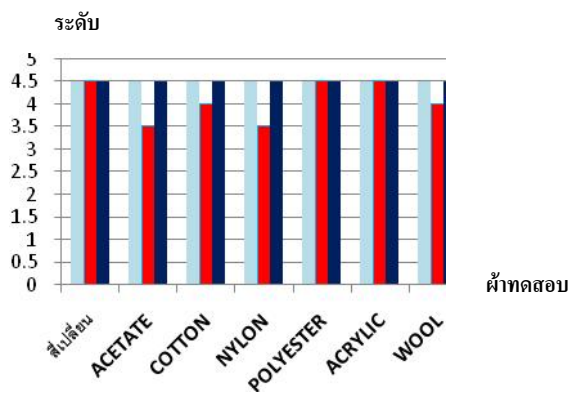
7.1 ความคงทนสีต่อการซัก



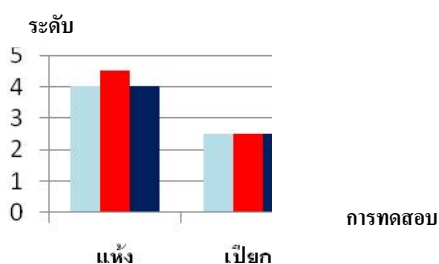
7.2 ความคงทนสีต่อเหงื่อ



7.3 ความคงทนสีต่อน้ำ



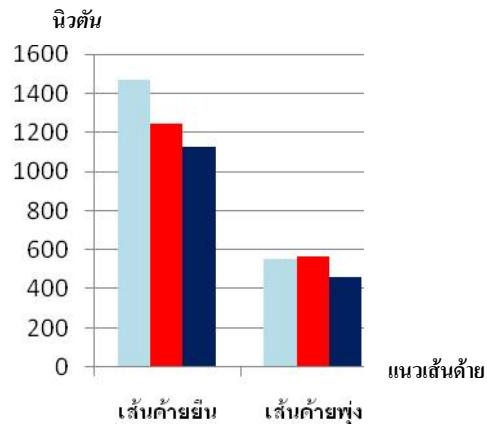
7.4 ความคงทนสีต่อการขัดถู



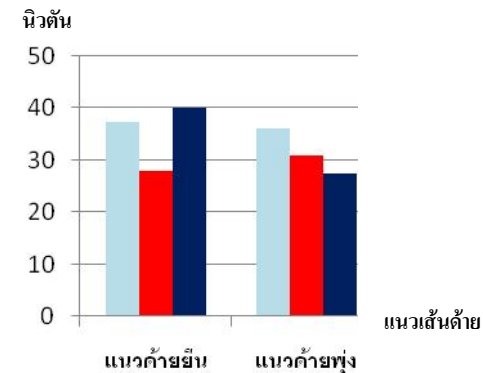
ระดับการเปลี่ยนแปลงของสี

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี  
 ระดับ 4 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย  
 ระดับ 3 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตเห็นได้  
 ระดับ 2 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก  
 ระดับ 1 หมายถึง สีเปลี่ยนแปลงมาก

7.5 ความแข็งแรง

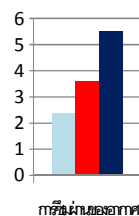


7.6 ความต้านแรงฉีกขาด

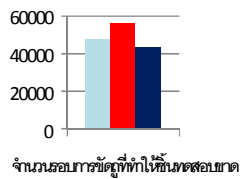


7.7 การซึมผ่านของอากาศ

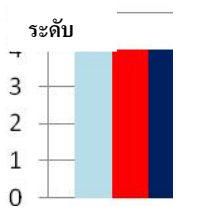
ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/ตารางเซนติเมตร



## 7.8 ความทนต่อการขัดถู



## 7.9 การขึ้นขนและเม็ด



การขึ้นขนและเม็ด

ระดับการขึ้นขนและเม็ด

ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการขึ้นขนและเม็ดบนผิวผ้า

ระดับ 4 หมายถึง มีการขึ้นขนบนผิวผ้าเล็กน้อย

ระดับ 3 หมายถึง มีการขึ้นขนและเม็ดปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง มีการขึ้นขนและเม็ดชัดเจน

ระดับ 1 หมายถึง มีการขึ้นขนและเม็ดหนาแน่น

## 8. สรุปผลการวิจัย

### 8.1 ความคงทนต่อการซัก

8.1.1 ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยทั้ง 3 เหล่าทัพมีความคงทนต่อการซักเท่ากันที่ระดับ 4.5

8.1.2 ชุดฝึกนักเรียนนายเรืออากาศจะมีสีตกใส่ผ้าขาวน้อยที่สุด คือที่ระดับ 4.5

### 8.2 ความคงทนต่อเหงื่อ

8.2.1 ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยทั้ง 3 เหล่าทัพมีความคงทนต่อเหงื่อเท่ากันที่ระดับ 4.5

8.2.2 ชุดฝึกของนักเรียนนายเรืออากาศและชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยจะสีตกใส่ผ้าขาวน้อยที่สุด คือที่ระดับ 4.5

### 8.3 ความคงทนต่อน้ำ

8.3.1 ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยทั้ง 3 เหล่าทัพมีความคงทนต่อน้ำเท่ากันที่ระดับ 4.5

8.3.2 ชุดฝึกของนักเรียนนายเรืออากาศและชุดฝึก

ของนักเรียนนายเรือจะสีตกใส่ผ้าขาวน้อยที่สุดที่ระดับ 4.5

### 8.4 ความคงทนสีต่อการขัดถู

8.4.1 ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยมีความคงทนสีต่อการขัดถูในสภาพแห้งดีที่สุดในระดับ 4.5

8.4.2 ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยทั้ง 3 เหล่าทัพมีความคงทนสีต่อการขัดถูในสภาพเปียกเท่ากัน ที่ระดับ 2.5

### 8.5 ความแข็งแรง

8.5.1 ชุดฝึกของนักเรียนนายเรืออากาศมีความแข็งแรงทางแนวเส้นด้ายยืนมากที่สุดคือ 1468.87 นิวตัน

8.5.2 ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยมีความแข็งแรงทางแนวเส้นด้ายพุ่งมากที่สุดคือ 566.47 นิวตัน

### 8.6 ความต้านแรงฉีกขาด

8.6.1 ชุดฝึกของนักเรียนนายเรือมีความต้านแรงฉีกขาดในแนวเส้นด้ายยืนมากที่สุดคือ 39.96 นิวตัน

8.6.2 ชุดฝึกของนักเรียนนายเรืออากาศมีความต้านแรงฉีกขาดแนวเส้นด้ายพุ่งมากที่สุดคือ 35.88 นิวตัน

### 8.7 การซึมผ่านของอากาศ

ชุดฝึกของนักเรียนนายเรือมีค่าการซึมผ่านของอากาศดีที่สุดคือ 5.52 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที/ตารางเซนติเมตร

### 8.8 ความทนต่อการขัดถู

ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยมีความทนต่อการขัดถูมากที่สุดที่ 56,500 รอบ

### 8.9 การขึ้นขนและเม็ด

ชุดฝึกของนักเรียนนายร้อยทั้ง 3 เหล่าทัพมีการขึ้นขนและเม็ดเท่ากันคือ ระดับ 4.0

การอ้างอิง.

[1] [ออนไลน์] แหล่งข้อมูลจาก:

[http://www.jutamas.com/index.php?option=com\\_kunena&Itemid=102](http://www.jutamas.com/index.php?option=com_kunena&Itemid=102)

[2] [ออนไลน์] แหล่งข้อมูลจาก: [www.thaitextile.org](http://www.thaitextile.org)

[3] นาย บุญชัย บุญธรรมศิริวุฒิ และคณะผู้วิจัย “ การนำเส้นใยฝ้ายมาผสมกับเส้นใยฝ้ายบริสุทธิ์เพื่อผลิตเส้นด้ายฝ้ายเบอร์ 10<sup>s</sup> ” สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2543.

## ✦ งานวิจัยนายเรืออากาศ ✦

นักเรียนนายเรืออากาศทุกคนก่อนที่จะสำเร็จการศึกษา ต้องผ่านการทำวิจัย และจัดทำเอกสารวิจัยเพื่อให้เข้าใจถึงระเบียบวิธีวิจัย รูปแบบขั้นตอนการทำวิจัย เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการทำงานต่อไป โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นพี่เลี้ยงแนะนำ

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของอาจารย์แล้วความเข้มข้นเนื้อหาจะแตกต่างกัน แต่ก็เป็นที่นักเรียนทุกคนตั้งใจทำงานสำเร็จมาได้ระดับหนึ่ง สำหรับปีการศึกษา 2554 มีโครงการวิจัยรวมทั้งสิ้น 34 โครงการดังมีรายชื่อโครงการดังต่อไปนี้

### ✦ ภาควิชาวิศวกรรมอากาศยานมี 4 โครงการดังนี้

ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	ชื่อ น.อ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	การจำลองการบินทดสอบอากาศยาน ด้วยเครื่องจำลองการบินทางวิศวกรรม	๑. น.อ.ไวทยุทธ ธรรมทัตโต ๒. น.อ.ชนมพัฒน์ ศรีกุลชัย ภัทร ๓. น.อ.นกริน ราชกิจ ๔. น.อ.พฤษ พรมศิริ	ร.อ.จิรวุฒิ คล่องตรวโรค น.ท.ดร.ณัฐพล นิยมไทย
๒	การแผนแบบโครงสร้างขั้นต้นอากาศยานควบคุมระยะไกล Aero Skyeye	๑. น.อ.กวนาท ละครวญษ์ ๒. น.อ.เมธา อ่อนรัมย์ ๓. น.อ.อรรถพล เซ็นพานิช ๔. น.อ.ศิชฎาภา สุรัตพิพิธ	ร.อ.จิรวุฒิ คล่องตรวโรค น.ท.ดร.ณัฐพล นิยมไทย น.ท.ดร.โอฐศิลา นิลบุล
๓	การทดสอบแบบจำลองจรวดโดยอุโมงค์ลมความเร็วเหนือเสียง	๑. น.อ.ศักดิ์สิทธิ์ จำเลิศ ๒. น.อ.ธนาสิทธิ์ ลีละยุทธโยธิน ๓. น.อ.กฤษหมาย บัวภา ๔. น.อ.รัชศักดิ์ พิมพะ	น.อ.จรรยา โพธิ์บุญ น.อ.บุญเลิศ อังคารา
๔	การออกแบบและวิเคราะห์เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ	๑. น.อ.ธนชัย นิสัยนต์ ๒. น.อ.ศาสวัต วงศ์ธนวุธ ๓. น.อ.จักรพงษ์ พลชัย	น.อ.กอบ พิษผา

### ✦ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมี 4 โครงการดังนี้

ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	ชื่อ น.อ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	การศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในเครื่องยนต์เบนซิน	น.อ. ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์ น.อ.ศิหารัชย์ ประเสริฐศรี น.อ. รุ่งยศ ยศไกร	น.อ.ศ.ดร.พิชาญ พิชัยณรงค์
๒	การศึกษาพัฒนาอากาศยานกึ่งขึ้น-ลง ทางดิ่งขนาดเล็ก มากกว่า 1 ใบพัด	น.อ.ปรัชญา แก้วพรรณนา น.อ.รัฐวิศว์ โรจนกุล น.อ.วิระวัฒน์ มุ่งการดี	น.ต.ผศ.ดร.ประสาทพร วงษ์คำซ่าง

๓	การออกแบบและสร้างแท่นปล่อยอากาศยานไร้คนบังคับขนาดเล็ก	น.นอ.จตุพนธ์ สีลา น.นอ.ปัญญาญ์ เอกะกุล น.นอ. เดศิธร นาเวศภูติกร	น.ต.ศศ.ดร.สุคนธ์ พันธุมเรร
๔	การศึกษาและออกแบบยานยนต์พลังงานลม	น.นอ.พงษ์พัฒน์ อุปลักษณ์ น.นอ.ไกรวุฒิ ชนะน้อย น.นอ.อโณทัย บุณนาค น.นอ.ทรงกลด มนตรีโพธิ์	น.ต.ศศ.ดร.ชำนาญ เพชรโชติ

✦ **ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการมี 4 โครงการดังนี้**

ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	ชื่อ น.นอ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	การออกแบบและติดตั้งระบบตรวจสอบคุณภาพในเครื่องล้างคราบน้ำมัน(ต้นแบบ) ของกระบวนการผลิตลูกกระสุนขนาด ๒๐ มม. กองโรงงานสรรพาวุธ ๒ กรมสรรพาวุธทหารอากาศ	น.นอ.บริพัตร รัชนิพันธ์ น.นอ.พฤกษ์ น่วมนึ่ง	น.ท.ปัญญารักษ์ โกศลวัฒน์
๒	การออกแบบเครื่องสร้างผิวไม้ก้านรูป	น.นอ.ทรงศักดิ์ ยอดอยู่ดี น.นอ.กิตติพงษ์ ป้อมปัญญา	น.อ.วัชรินทร์ โกมุลผล
๓	การวางผังโรงเรียนนายเรืออากาศใหม่ (อ.มวกเหล็ก)	น.นอ.นนทวัชร บุรุษานนท์ น.นอ.ณัฐพล ทิพวาริ	น.อ.พิทักษ์ คุณขุนทด
๔	การปรับปรุงโพลีเอมีนเอนกประสงค์ตามหลักเออิกอนอมิกส์	น.นอ.สัมมนา เกตุชู น.นอ.ชาคริต บุญประดิษฐ์	น.อ.สุทธิ ศรีบูรพา

✦ **ภาควิชาวิศวกรรมโยธามี 5 โครงการดังนี้**

ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	ชื่อ น.นอ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	การวิเคราะห์คอนกรีตหนักสำหรับการป้องกันกัมมันตภาพรังสี	น.นอ. วสวัตดี การสมวรรณ น.นอ. เจตนิพัทธ์ เจนคิด	น.ท.รศ. ดร.ธนากร พิระพันธุ์
๒	การออกแบบโครงสร้างสะพานเหล็ก	น.นอ. ต่อยศ โสมขันเงิน น.นอ. ชลรัช ฝัดผล	น.อ.รศ.พงษ์ศักดิ์ ทองโต น.อ.รศ.เฉลิมชัย ชูชาติพงษ์
๓	การออกแบบการกั้นน้ำของรอยต่อ	น.นอ. พิพัฒน์ สุวรรณภาส น.นอ. สุทธิเกียรติ ไชยศิริ	น.ท.ศ.พงษ์ฤทธิ์ นิติวังค์
๔	การวิเคราะห์แรงลมและหาระยะพ่นลิ่งกีดขวางของสนามบิน	น.นอ. ปัญญาพนธ์ นิมประครอง น.นอ.ณัฐกร บัวประเสริฐ	น.ท.อดิชาติ อึ้งโงษาชนะวานิช ร.ท.วรากรณ์ พูลจันทร์
๕	การออกแบบโปรแกรมฝึกงานสำรวจภาคสนาม	น.นอ. อดิศักดิ์ สุทธิชี น.นอ.กฤพล ม่วงรอง	น.อ.ศ. สมศักดิ์ บัวศรี น.อ.ศศ.เฉลิม คำทา

✦ **ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามี 7 โครงการดังนี้**

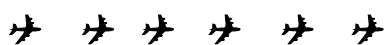
ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	ชื่อ น.อ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	Tactical Data Link	1.น.อ.ณัฐวุฒิ สุขสีล 2.น.อ.พงศ์ศรัณย์ หอมพูล 3.น.อ.สุวรรณ เกษรพันธ์	น.อ.ดร.พาหรัณ สงวนโกทัย ร.ท.ครองบุญ สิงหนาท
๒	Dynamic Simulation of a tri-rotor การจำลองแบบการเคลื่อนที่ของอากาศยาน ขึ้นลงแนวดิ่ง แบบ 3 ใบพัด	1.น.อ.พิศิษฐ์ พลอยงาม 2.น.อ.อดิศักดิ์ สุวรรณรักษ์	พล.อ.ต.ศ.ดร.วิโรจน์ หอมทรัพย์ น.อ.รศ.ชาติชาย คงเจริญสุข
๓	Humanoid	1.น.อ.สุรวิชัย ม่วงกล้า 2.น.อ.อดิศักดิ์ เจียมจิต	น.ท.โอฬาร บัวทอง น.ท.วรวุฒิ ประทุมชาติ
๔	Aircraft Electrical Braking System	1.น.อ.ธนพัฒน์ บุรีรักษ์ 2.น.อ.กรกต สืบศรีชัย	น.อ.ไพโรจน์ ศิริสนธิ ร.ท.เมย์ฉันท ธรรมวิชัย
๕	เทคนิคการรบกวนสัญญาณวิทยุสื่อสาร CB Radio เพื่อป้องกันการจู่โจมจากระเบิดจากระยะไกล	1.น.อ.นพรัตน์ ไชยบัง 2.น.อ.นพรัตน์ เลี้ยงอยู่	น.ท.ณรงค์ชัย นิมิตรบุญอนันต์ น.ท.สง่า ศรีศุภปริดา
๖	Micromasters 440 เพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า	1.น.อ.สุบิน ทับศรี 2.น.อ.ณพล มาดย์สร้อย	น.อ.ปรีชา วงษ์ษา ร.ท.ครองบุญ สิงหนาท
๗	Distributed Anti-Stealth Low Frequency Radar	1.น.อ.พฤกษ์ บุญวัฒนะ 2.น.อ.พนพล หินแดง	น.อ.ดร.พาหรัณ สงวนโกทัย น.ท.สง่า ศรีศุภปริดา

✦ **ภาควิชาวัสดุศาสตร์มี 3 โครงการดังนี้**

ลำดับ	ชื่อโครงการวิจัย	ชื่อ น.อ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	การสร้างแบบจำลองการขึ้นรูปของวัสดุแผ่นบางแบบเทอร์โมฟอร์มมิง	น.อ.พงศกร นามจิต น.อ. ภากร พานิชยานนท์ น.อ.สุรนาถ สุกุมลจันทร์	น.อ.ชอบ ลายทอง น.ท.ศรีทัศน์ ชัยมี
๒	การศึกษาสมบัติเชิงกลของคาร์บอนนาโนทิวบ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต	น.อ. ชนันต์ ภูไพบูลย์ น.อ.อิสรายุทธ แสงจันทร์	ร.อ.ชาญชัย สุขสงวน น.อ.วรวุฒิ โตท่าโรง
๓	การศึกษาการผลึกวัสดุทดแทนไม้จากในสนแคเรียและพอลิโพรพิลีน	น.อ.ศุภโชค ปัญญาวัฒนะ น.อ.วรพล สิทธิประเสริฐ	น.ท.หญิง สันสนีย์ เหมาคม ร.ต.วรุฒ ธรรมวิชัย น.ส.เอี่ยมพร รัตนสิงห์

**✦ ภาควิชาคอมพิวเตอร์มี 7 โครงการดังนี้**

ลำดับ	ชื่อ โครงการวิจัย	ชื่อ นนอ. ผู้วิจัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
๑	การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจจับการบุกรุกที่มีประสิทธิภาพในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รร.นอ.	นนอ.ชัชฌิมา พงศ์หริณ นนอ.ยุทธภูมิ เพศกลาง นนอ.เดชนิธิ กล่าวสุนทร	น.อ.รศ.ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง
๒	การควบคุมหุ่นยนต์สอดแนมผ่านแท็บเล็ต	นนอ.สุภณัฐ จันทร์เปล่ง นนอ.ภัทรพล ศิริพิศ นนอ.ชาคร เสมาชัย	น.ท.ศ.ศิพัฒน์ นามวัฒน์
๓	กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาชุดตัวแปร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบอากาศยานไร้คนบิน	นนอ. อริรัชช ชัยวัฒน์พงศกร นนอ.จิตติ พีระพันธุ์	ร.อ.ทศพล บุญเกิน น.อ.ศ.หญิง รังนา เครือแก้ว
๔	การพัฒนาโปรแกรมจัดวางสัมภาระบนเครื่องบินลำเลียงแบบที่๘ (C-130)	นนอ.พรต ศิลาคม นนอ.อนรรักษ์ วงษ์ตำนาน นนอ.พิทรนต์ ธนากิจ	น.อ.ยศ.สุชาติ วิรุฎวัฒนา ร.อ.หญิงสุภาวดี คำฉายทอง
๕	การพัฒนาระบบการขอใช้ห้องประชุม บก.รร.นอ. โดยใช้ AJAX Technologies	นนอ.ไกร ก้องเกียรติกุล นนอ.วันชนะ อุดมชัย นนอ.ประภูวัฒน์ อิศระพัฒน์กุล	น.ท.รศ. พลสมุทรา จินารัตน์
๖	การควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยพอร์ตขนานผ่านอินเทอร์เน็ต	นนอ.ทยมมงคล วามะสิงห์ นนอ.ชัชชนันต์ สุขประเสริฐ นนอ.สรพล พานิชสมัย	น.ท.รศ.เทวา กาญจนชม
๗	การพัฒนาระบบสื่อสาร DGPS ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย	นนอ.วิจักขณ์ สองจันทร์ นนอ.ภาณุพงศ์ ผ่องใจ นนอ.นฤภัทร เกตุเนียม	น.อ.พัทธกร สถิตดาวชิรา



# โครงการคลินิกวิจัยอาจารย์บัณฑิตศึกษา

การเรียนรู้และเสริมสร้างความเข้มแข็งของชุมชนหรือองค์กรภายนอก  
ผลของโครงการนำมาแก้ปัญหาเพื่อพัฒนาต่อยอดความรู้ และนำมาพัฒนาการเรียนการสอน และการวิจัย

โดย นาวาอากาศเอก อนุรักษ์ฯ

คำถามวิจัยประจำเล่มนี้ มี 5 คำถาม เป็นคำถามจากนายทหารนักเรียนหลักสูตรเสนาธิการทหารอากาศ และจากข้าราชการทหารอากาศ ดังนี้

**คำถามที่ 1** การตั้งชื่อเรื่องวิจัย ควรเขียนเป็นชื่อเรื่องกว้าง ๆ แต่เขียนขอบเขตของการวิจัยให้แคบลงไปสู่ประเด็นที่ต้องการวิจัย หรือควรเขียนชื่อเรื่องให้แคบลงในประเด็นที่ต้องการศึกษาเลย แบบไหนถูกต้อง

**ตอบคำถามที่ 1** อาจารย์ว่าเขียนให้แคบไปเลยดีกว่า เพราะการเขียนกว้าง ๆ แล้วไปกำหนดขอบเขตทีหลัง จะจัดว่าเป็นการเห็นแก่ตัวมากเกินไปหน่อย เพราะคนข้างหลังจะหาเรื่องทำลำบาก เช่น ตั้งชื่อเรื่องว่า “การพัฒนาคุณภาพชีวิตของข้าราชการทหารอากาศ” และไปเขียนขอบเขตการวิจัยว่า การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ศึกษาเฉพาะกลุ่มข้าราชการทหารอากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศ เท่านั้น ลองคิดดูครับว่า ในปีต่อ ๆ ไป ถ้ามีคนสนใจทำวิจัยในเรื่องดังกล่าวอีก แต่อยากทำในหน่วยของเขาบ้าง จะตั้งชื่องานวิจัยแบบเดิมก็ได้แล้ว ดังนั้น เพื่อความเป็นธรรม ควรตั้งชื่องานวิจัยให้ชัดเจนไปเลยว่า “การพัฒนาคุณภาพชีวิตของข้าราชการทหารอากาศ โรงเรียนนายเรืออากาศ”

**คำถามที่ 2** อาจารย์ครับ การวิจัยเชิงสำรวจด้วยแบบสอบถาม ซึ่งเป็นแบบวัดระดับความคิดเห็น 5 ระดับ ในประเด็นต่าง ๆ ขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือโดยการ Tryout จะทำอย่างไร เนื่องจากในหน่วยงาน มีคน 20 คน

**ตอบคำถามที่ 2** งานวิจัยที่ทำให้กับหน่วยงานทำได้ครับ ผลงานวิจัยที่ได้ใช้สำหรับแก้ปัญหาให้กับหน่วยงานนั้นโดยตรง หรือที่เรียกว่าการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) คือมีกระบวนการที่ครบถ้วนตั้งแต่การเขียนโครงการ การดำเนินการ การติดตามตรวจสอบ และการนำผลที่ได้ไปปรับปรุงเพื่อพัฒนาให้ดีขึ้น หรือที่เรานิยมเรียกว่าทำตามวงรอบ PDCA นั่นแหละ แต่ถ้าเป็นงานวิจัยที่ต้องทำเพราะกำลังศึกษาในระดับปริญญาโทขึ้นไป หรือศึกษาในหลักสูตรที่ต้องทำเอกสารวิจัย การทำงานวิจัยให้กับหน่วยงานที่มีคนประมาณ 20 คน กระบวนการที่ควบคุมเอกสารวิจัยคงไม่ให้นำตั้งแต่เริ่มเสนอหัวข้องานวิจัยแล้ว เพราะถือว่าเป็นงานวิจัยที่มีขนาดเล็กเกินไป ไม่สามารถบูรณาการวิชาการต่าง ๆ ที่ศึกษาได้ โดยเฉพาะวิชาสถิติ จึงจำเป็นต้องมองในภาพที่กว้างขึ้น เช่น ศึกษาในระดับโรงเรียน หรือ ระดับกรม แทนที่จะศึกษาในระดับแผนก หรือ ระดับกองเป็นต้น เมื่อจำนวนประชากรมีมากขึ้น นั้นหมายถึงผู้ที่ทำการวิจัยต้องสุ่มตัวอย่างขึ้นมาศึกษา ส่งผลให้ต้องใช้สถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน เช่น t-test F-test ANOVA Regression , Factor Analysis เป็นต้น เพื่อจะได้บูรณาการเนื้อหาในศาสตร์ที่ศึกษา เช่น เรียนทางด้านการบริหาร ก็ต้องทำวิจัยด้านการบริหาร เรียนทางด้านสังคมศาสตร์ ก็ต้องทำวิจัยด้านสังคม เรียนทางด้านหลักสูตร ก็ต้องทำวิจัยด้านหลักสูตร เรียนทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ก็ต้องทำวิจัยเป็นลักษณะชิ้นงาน เป็นต้น ถือเป็นบูรณาการความรู้แบบครบวงจรคือ ด้านเนื้อหา ด้านระเบียบวิธีวิจัย และด้านสถิติ ลองคิดดูว่าเขาให้เรียนวิชาสถิติมากมาย เรียนกันหลายชั่วโมง แล้วมาทำเอกสารวิจัยโดยหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แค่นั้น คำถามตามมา คือ แล้วที่เรียนวิชาสถิติมากมายนั้น เรียนไปทำไม? เสียทั้งเวลา เสียทั้งค่าหน่วยกิต

**คำถามที่ 3** ในบทที่ 2 เอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง ถ้าไปเอาข้อความเขามาเลยประมาณ 2-3 หน้า แล้วเขียนอ้างอิงในเนื้อหา จะทำได้หรือไม่? และถ้าเราอ่านของเขา 1 หน้า แต่เราสรุปเป็นความคิดเห็นของเราเองจำเป็นต้องอ้างอิงชื่อผู้เขียนหรือไม่?

**ตอบคำถามที่ 3** การไปเอาของเขาเลย 2-3 หน้า ไม่แตกต่างกับการตัดแปะเอกสารครับ ไม่ใช่ลักษณะของการวิจัย การอ้างอิงเป็นหน้า ๆ จริง ๆ แล้วเขาไม่ทำกันครับ เขาจะอ่านทั้งหมดแล้วนำมาเขียนสรุปเป็นความคิดของเราเอง แต่ก็ต้องอ้างอิงชื่อผู้เขียนครับ โดยใช้ระบบ นาม, ปี: หน้า เช่น อนุรักษ์ ชาติติติก (2553: 90) กล่าวว่า .....แต่บางครั้งก็อยู่ในข่ายอนุโลม คือ ลอกเขามาเป็นย่อหน้า แล้วท้ายสุดก็สรุปเป็นความคิดของเราเอง แบบนี้ก็ยังมีให้เห็นกันมากมาย

**คำถามที่ 4** ใช้ตัวอย่างขนาดเท่าใด ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์การถดถอย

**ตอบคำถามที่ 4** บางตำราเขาให้ใช้  $50 + 8$  เท่าของจำนวนตัวแปรอิสระ เช่น ตัวแปรอิสระมี 10 ตัว ควรสุ่มตัวอย่างขนาดต่ำสุดจำนวน 130 ตัวอย่าง

แหล่งที่มา: ทาบาคนิค และฟิดล (Tabachnick and Fidell, 2001: 117 citing

WWW2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/http://www.watpon.com)

อย่างไรก็ตาม ภทรสิณี ภทรโกศล (2550, 286) ในหนังสือสถิติเพื่อการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ได้ให้สูตรสำหรับการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง (n) สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยไว้ดังนี้

$$n \geq \frac{8}{f^2} + (m + 1) \text{ เมื่อ } m \text{ คือ จำนวนตัวแปรอิสระ}$$

f คือ ผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยที่นำมาพิจารณา

กรณีที่มองเห็นได้ยาก ค่า f มีค่าเท่ากับ 0.01

กรณีที่มองเห็นได้ปานกลาง ค่า f มีค่าเท่ากับ 0.15

กรณีที่มองเห็นได้ง่าย ค่า f มีค่าเท่ากับ 0.35

เช่น อาชญากรใช้งานของรถยนต์ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมรถยนต์ ซึ่งอาจตีความว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามที่มองเห็นได้ง่าย จึงกำหนด f มีค่าเท่ากับ 0.35

กรณีที่เป็นความคิดเห็น หรือทัศนคติอาจจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามที่มองเห็นได้ยาก จึงกำหนด f มีค่าเท่ากับ 0.10 ส่วนกรณีที่ไม่น่าสนใจผลกระทบต่อปัจจัยหรือตัวแปรอิสระว่าจะมองเห็นง่าย หรือ ยาก ให้กำหนดค่า f ในระดับ 0.15 หรือจะกำหนดที่ระดับ 0.10 ก็ได้ครับซึ่งจะเป็นการเพิ่มขนาดตัวอย่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงบประมาณ

**คำถามที่ 5** ใช้ตัวอย่างขนาดเท่าใด ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการทดสอบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม

**ตอบคำถามที่ 5** การทดสอบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม เป็นเรื่องของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การคำนวณหาขนาดตัวอย่างอาจใช้ Bonferroni t test โดยมีสูตร ดังนี้

$$n = \frac{2(Z_{\frac{\alpha}{2C}} + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2}$$

แหล่งที่มา : อรุณ จิรวัดน์กุล(2552: 183) จากหนังสือ สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพเพื่อการวิจัย

โดยที่

$\sigma^2$  = ความแปรปรวนของประชากร ใช้ความแปรปรวนของตัวอย่าง (S.D.)<sup>2</sup> จากผลการวิจัยที่ผ่านมาประมาณได้ หรือใช้ค่าจากการทดลองนำร่อง



$\Delta$  = ผลต่างของค่าเฉลี่ยตามที่ต้องการทดสอบ

$C$  = จำนวนคู่ของการทดสอบ เช่น 4 กลุ่ม ทดสอบเป็นคู่จะได้  $\binom{4}{2} = \frac{4!}{2!2!} = 6$  คู่

$\alpha$  = ระดับนัยสำคัญทางสถิติ คือ  $P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_0 \text{ เป็นจริง})$  โดยปกติจะกำหนดที่ 0.05 หรือ 0.01

$1 - \beta$  = คืออำนาจการทดสอบ  $P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_0 \text{ เป็นเท็จ})$  โดยปกติจะกำหนดที่ 0.80 หรือ 0.90

**ตัวอย่าง** ในการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างนักเรียนนายเรืออากาศชั้นปีที่ 1 2 3 และ 4 จากการศึกษาของแผนกแพทย์ที่ผ่านมา พบว่า นักเรียนนายเรืออากาศมีอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย 70 ครั้ง/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5 นาที จึงคำนวณหาขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ถ้าในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้กำหนดให้ความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างกลุ่มแตกต่างกันร้อยละ 10 กำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05 และอำนาจการทดสอบ ( $1 - \beta$ ) เท่ากับ 0.8

วิธีทำ  $\sigma^2 = 5^2$

$\Delta$  = ร้อยละ 10 ของ 70 คือ 7

$\alpha = 0.05$

$\beta = 0.02$  (เนื่องจาก  $1 - \beta = 0.98$ )

$C = 6$  คู่

ดังนั้น

$$n = \frac{2(Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2 \sigma^2}{\Delta^2} = \frac{2(Z_{0.05} + Z_{0.2})^2 5^2}{7^2} = \frac{2(Z_{0.0042} + Z_{0.2})^2 (25)}{(49)}$$

$$= \frac{2(2.635 + 0.85)^2 (25)}{(49)} = 12.39 \approx 13 \text{ คน}$$

หรือมีอีกวิธีหนึ่งคือ

$$\phi = \sqrt{\frac{b\Delta^2}{2Tr\sigma^2}}$$

โดยที่

Tr คือ จำนวน Treatment หรือ จำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา (ชั้นปีของนักเรียนนายเรืออากาศ)

b คือ จำนวน Block หรือ จำนวนซ้ำ

**ขั้นตอนการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง**

1. หาค่า  $\phi$

$$\phi = \sqrt{\frac{b\Delta^2}{2Tr\sigma^2}} = \sqrt{\frac{b(7^2)}{2(4)(5^2)}} = \sqrt{0.245b}$$

2. สมมติให้จำนวน b หรือ จำนวนซ้ำ เท่ากับ 5

แทนค่าลงใน  $\phi = \sqrt{0.245(5)} = 1.11$

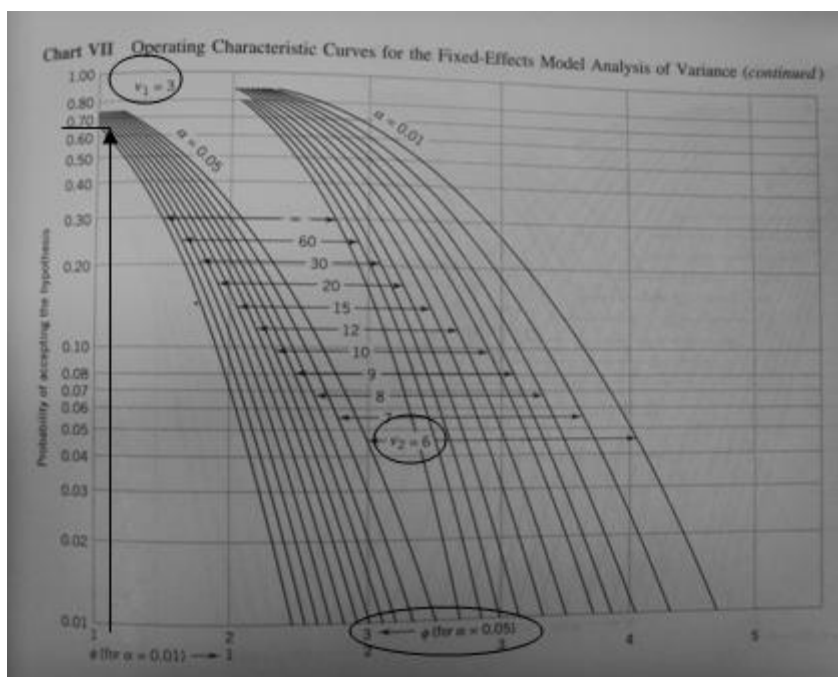
3. คำนวณหา

องศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน  $V_2 = (Tr-1)(b-1) = (4-1)(5-1) = 14$

องศาความเป็นอิสระของ Treatment  $V_1 = (Tr-1) = (4-1) = 3$

4. กำหนด  $\alpha = 0.05$

5. เปิดตาราง Operating Characteristic Curves for the Fixed Effects Model Analysis of Variance ที่  $\nu_1 = 3$ ,  $\phi$  (for  $\alpha = 0.05$ ) = 1.10,  $\nu_2 = 14$  เพื่อหาค่า  $\beta$  ได้ค่า  $\beta = 0.70$  หรือมีอำนาจการทดสอบ  $(1 - \beta) = 0.30$  (น้อยไป)



6. สมมติให้จำนวน b หรือ จำนวนซ้ำ เท่ากับ 10

$$\text{แทนค่าลงใน } \phi = \sqrt{0.245(10)} = 1.57$$

$$\text{องศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน } \nu_2 = (Tr-1)(b-1) = (4-1)(10-1) = 27$$

7. เปิดตาราง Operating Characteristic Curves for the Fixed Effects Model Analysis of Variance ที่  $\nu_1 = 3$ ,  $\phi$  (for  $\alpha = 0.05$ ) = 1.57,  $\nu_2 = 27$  เพื่อหาค่า  $\beta$  ได้ค่า  $\beta = 0.40$  หรือมีอำนาจการทดสอบ  $(1 - \beta) = 0.60$  (ยังน้อยอยู่)

8. สมมติให้จำนวน b หรือ จำนวนซ้ำ เท่ากับ 13

$$\text{แทนค่าลงใน } \phi = \sqrt{0.245(13)} = 1.78$$

$$\text{องศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน } \nu_2 = (Tr-1)(b-1) = (4-1)(13-1) = 36$$

9. เปิดตาราง Operating Characteristic Curves for the Fixed Effects Model Analysis of Variance ที่  $\nu_1 = 3$ ,  $\phi$  (for  $\alpha = 0.05$ ) = 1.85,  $\nu_2 = 36$  เพื่อหาค่า  $\beta$  ได้ค่า  $\beta = 0.20$  หรือมีอำนาจการทดสอบ  $(1 - \beta) = 0.80$  (ใช้ได้แล้ว)

ดังนั้นขนาดตัวอย่างในแต่ละ Treatment หรือ แต่ละกลุ่มของตัวแปรที่ศึกษาควรมีการสุ่ม Treatment ละ 13 คน หรือ มีจำนวน Block เท่ากับ 13 Block หรือ 13 ซ้ำ

ขอขอบพระคุณ มูลนิธิ พล.อ.อ. ศ. ดร. พิสุทธิ ฤทธาคนี ชุมนุมนายเรืออากาศ  
และกองทุนส่งเสริมการพัฒนางานศึกษา\_วิจัยของ โรงเรียนนายเรืออากาศ

วารสารฉบับนี้สามารถออกสู่สายตาทุกท่านได้ก็เพราะมีแหล่งสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ จนสามารถสำเร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของการจัดทำวารสาร ในนามของบรรณาธิการวารสารวิชาการนายเรืออากาศจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณ

**กองทุนส่งเสริมการพัฒนางานศึกษา\_วิจัยของ โรงเรียนนายเรืออากาศ** (กองทุนที่ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท การบินไทย จำกัด(มหาชน) ) มูลนิธิ พล.อ.อ.ศ.ดร. พิสุทธิ ฤทธาคนี และชุมนุมนายเรืออากาศ ที่ได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายหลักในการทำวารสารฉบับนี้ ทางทีมงานจึงขอกราบขอบพระคุณ และหวังในความอนุเคราะห์ในฉบับต่อ ๆ ไป เพื่อเป็นแหล่งสะสมองค์ความรู้ตลอดไป



## รายละเอียดและเกณฑ์ในการส่งบทความ

วารสารวิชาการนายเรืออากาศเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าแก่ผู้สนใจทั่วไป เป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าในผลงานด้านการวิจัยและเพื่อแลกเปลี่ยนแนวความคิด ความรู้ ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านวิชาการและงานวิจัย ซึ่งจัดพิมพ์เป็นรายปี (ปีละ 1 ฉบับ)

ประเภทของผลงานตีพิมพ์ ได้แก่ งานวิจัย บทความวิชาการ และข่าวสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิชาการจัดเตรียมต้นฉบับ

- 1) ต้นฉบับต้องตีพิมพ์บนกระดาษขาว A4 หน้าเดียว แบ่งเป็น 2 คอลัมน์ (ยกเว้นชื่อเรื่อง บทคัดย่อ Abstract (ไทย,อังกฤษ) พิมพ์เต็มความกว้างของหน้ากระดาษ คอลัมน์กว้าง 7.78 มม. ช่วงห่างระหว่างคอลัมน์ 10 มม. เว้นขอบด้านบน 2.54 ซม. ภายใน 2.54 ซม. ด้านล่าง ด้านซ้าย 19 มม. และ ด้านขวา 19 มม.
- 2) ความยาวของแต่ละบทความ รวมรูป และตาราง ไม่ควรเกิน 6 หน้ากระดาษพิมพ์
- 3) กราฟ รูปหรือแผนภูมิ เขียนด้วยลายเส้นคมชัดจนรูปถ่ายต้องเป็นรูปสีขาว-ดำ
- 4) หัวข้อในบทความ ลักษณะและขนาดตัวอักษรเรียงลำดับ ดังนี้

### เครื่องคอมพิวเตอร์ PC

รายละเอียด	ตัวอักษรและขนาดพิมพ์ไทยและอังกฤษ
ชื่อเรื่องภาษาไทยและ	Angsana New (18 Bold)
อังกฤษ	Angsana New (16 Bold)
ชื่อผู้เขียน	Angsana New (16 Bold)
บทคัดย่อ	Angsana New (16 Bold)
บทนำ	Angsana New (16 Bold)
ทฤษฎี/การทดลอง	Angsana New (16 Bold)
ผลการทดลอง	Angsana New (16 Bold)
วิจารณ์และสรุปผล	Angsana New (16 Bold)
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	Angsana New (16 Bold)
เอกสารอ้างอิง	Angsana New (16 Bold)
เนื้อความบทคัดย่อ	Angsana New (15)
เนื้อความทั่วไป	Angsana New (15)

5) ที่อยู่ของผู้เขียนระบุเป็น footnote ด้านล่าง ในหน้าแรกของบทความ

6) ชื่อเรื่อง ชื่อผู้เขียน บทคัดย่อให้ใส่ไว้กลางหน้ากระดาษ A4

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องบทความใช้ระบบตัวเลขให้ใส่เลขในวงเล็บ [ ] ท้ายข้อความที่อ้างอิงเสมอ ส่วนการอ้างอิงท้ายเรื่องเป็นดังนี้

[1] สุพัทธ์ พิบูลย์, .กลยุทธ์การวิจัยเพื่อพัฒนา  
งานวิจัยเพื่อพัฒนาองค์กร. กรุงเทพมหานคร:จุฬาร  
ติไซน์ (2547)

[2] Naaman, A.E. **Ferrocement and Laminated  
Cementitious Composites**, Michigan. U.S.A. (2000)

[3] Department of the U.S.Army. **Structure to  
resist the effect of accidental explosion**

(TM5-1300).U.S.A.(1969)

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับ 1 ชุด (โดยเขียนเลขหน้าที่มุมขวา  
ทุกแผ่นด้วยดินสอ) ในรูปแบบแฟ้มข้อมูล Pdf และ Word  
บันทึกลงใน แผ่น CD,DVD จำนวน 1แผ่น เขียนสถานที่  
ติดต่อ ผู้เขียนบทความและส่งมายังบรรณาธิการ วารสาร  
วิชาการนายเรืออากาศ(ตามที่อยู่ด้านล่าง)

### \* ติดต่อสอบถาม \*

กองบรรณาธิการ

กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ  
ถ.พหลโยธิน สายใหม่ กทม. 10220

โทรศัพท์ 02-534-5526

02-534-3698

โทรสาร 02-534-3674



**THE AIR POWER BIGIN HERE**