

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินโดยใช้หลักการ

Scheduling and Planning

Investigating Factors That Affect Student Pilot Training Time Duration by Using the Scheduling and Planning Method

¹ฐาปนัต บัวภิบาล และ ²เทียนสิริ เหลืองวิไล

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ

กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

²ภาควิชาคณิตศาสตร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์

กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

¹thapanat_bua@rtaf.mi.th, ²leajdskfhksjfhjdj@rtaf.mi.th

Received : 5 April 2020

Revised : 5 April 2020

Accepted : 21 May 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝึกอบรมศิษย์การบินและสร้างแบบจำลองในการจัดตารางการบินโดยใช้หลักการ Scheduling and Planning เพื่อวิเคราะห์จำนวนศิษย์การบิน จำนวนครูการบิน และจำนวนเครื่องบินที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดตัวแปร สร้างสมการเป้าหมาย และสมการข้อจำกัดโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองการจัดตารางการบินและดำเนินการวิเคราะห์ค่าตัวแปรต้นที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกอบรมศิษย์การบินที่น้อยที่สุด ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของกราฟ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าจากกราฟที่ได้แล้ว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การเพิ่มจำนวนเครื่องบิน มีผลต่อการลดเวลาการจบหลักสูตรของศิษย์การบินได้จนถึงจุดอิ่มตัวที่ 8 ลำ ซึ่งเท่ากับจำนวนพื้นที่การฝึกบิน หากมีจำนวนเครื่องบินมากกว่า 8 ลำ ก็จะไม่มียยะสำคัญในการลดเวลาการจบหลักสูตรของศิษย์การบินแต่อย่างใด

2. การเพิ่มจำนวนครูการบินมีผลต่อการลดเวลาจบหลักสูตรการบินของศิษย์การบินได้มากกว่าการเพิ่มจำนวนเครื่องบิน เนื่องจากจำนวนชั่วโมงบินของครูการบินแต่ละคนนั้นถูกบังคับด้วยระเบียบของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย โดยจุดอิ่มตัวของอัตราส่วนครูการบินต่อศิษย์การบินอยู่ที่ครูการบินจำนวน 3 คน ต่อศิษย์การบินจำนวน 4 คน

คำสำคัญ: ศิษย์การบิน, ครูการบิน, ชั่วโมงบิน, Scheduling, Planning

Abstract

The objective of this research is to investigate factors affecting training duration of student pilots in the pilot training course. The number of instructors, aircrafts, student pilots, training areas and respective constraints

are taken into accounts. Then the planning and scheduling method is used to allocate necessary resources for each training flight. The process is repeated until all student pilots complete compulsory training flight hours. The research results are shown as following:

1. The increase of aircraft can reduce the completion time and the optimum number of aircrafts depends on the number of training spaces.
2. The increase in the number of pilot instructors has a greater effect on the reduction of flight time for student pilots than the number of aircrafts, since the flight time flown by pilot instructor is restricted by the aviation rules. The optimum ratio of pilot instructors to student pilots is 3 : 4.

Keywords: Student Pilot, Instructor Pilot, Flight Hour, Scheduling, Planning

1. บทนำ

ในพระราชบัญญัติการจัดระเบียบราชการกระทรวงกลาโหม พ.ศ. 2503 ได้กำหนดภารกิจของกองทัพอากาศไว้ว่า "กองทัพอากาศมีหน้าที่เตรียมกำลังกองทัพอากาศและป้องกันราชอาณาจักร โดยมีผู้บัญชาการทหารอากาศเป็นผู้บังคับบัญชารับผิดชอบ" กองทัพอากาศจึงมีหน้าที่การเตรียมกำลังกองทัพอากาศและป้องกันราชอาณาจักรด้วยการเตรียมกำลังทางอากาศ เพื่อให้การคุ้มครองและรักษาอธิปไตยตลอดจนผลประโยชน์ของชาติ นอกจากนี้ในยามปกติกองทัพอากาศยังได้ใช้กำลังทางอากาศเพื่อพัฒนาประเทศ ทั้งในเรื่องการสนับสนุนโครงการในพระราชดำริและการช่วยเหลือประชาชนที่ประสบสาธารณภัยต่าง ๆ นอกจากนั้นแล้ว ยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ยังให้ความสำคัญกับการพัฒนากองทัพอากาศในทุกด้านอย่างเป็นระบบ เช่น การจัดหาอุปกรณ์ เครื่องมือและอาวุธยุทโธปกรณ์ที่เหมาะสม การฝึกศึกษาเพื่อพัฒนานุเคราะห์ การพัฒนาแนวความคิดในการปฏิบัติการทางอากาศ และการปรับปรุงโครงสร้างองค์กร เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้กองทัพอากาศมีขีดความสามารถที่เพียงพอและเหมาะสมในการปฏิบัติการที่ได้รับมอบหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการพัฒนากองทัพอากาศตามยุทธศาสตร์จำเป็นต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับธรรมชาติ คุณลักษณะและข้อจำกัดของกำลังทางอากาศ รวมทั้งทรัพยากรที่มีใน

ครอบครองและเทคโนโลยี ทั้งนี้พลังขับเคลื่อนการพัฒนาตามยุทธศาสตร์ซึ่งเป็นปัจจัยแห่งความสำเร็จได้แก่ กำลังพลเป็นแกนนำและเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือในการพัฒนา ซึ่งในข้อ 1.5.1 ได้กำหนดแนวทางการพัฒนากำลังพลของกองทัพอากาศไว้โดยให้มีการเตรียมพร้อมในการใช้กำลังทางอากาศเพื่อตอบสนองต่อภารกิจหลัก รวมไปถึงในการปฏิบัติการที่เปลี่ยนแปลงไปจากแผนปฏิบัติ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กองทัพอากาศจำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างองค์กรให้เหมาะสม

จากแนวทางการพัฒนากำลังพลของกองทัพอากาศที่เขียนไว้ในข้างต้น จะเห็นได้ว่ากองทัพอากาศได้ให้ความสำคัญกับการจัดการกำลังพลทั้งการสรรหา คัดเลือกและการพัฒนานุเคราะห์ในกองทัพอากาศให้สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งพัฒนาและปรับปรุงองค์กรให้เหมาะสม ซึ่งกำลังพลหลักที่ใช้ในการปฏิบัติการทางอากาศ เพื่อตอบสนองภารกิจของกองทัพอากาศนั้น คือ นักบิน ซึ่งจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตนักบินของกองทัพอากาศ คือ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทราชภัฏวชิราวุธดำเนินการคัดเลือกนักเรียนนายเรืออากาศเพื่อไปศึกษาต่อที่โรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน ซึ่งมีหน้าที่ ดำเนินการอบรม อำนวยการศึกษาให้แก่ศิษย์การบิน ธุรการบิน และฝึกการยังชีพ รวมทั้งการปฏิบัติการใช้กำลังตามอำนาจหน้าที่ของกองทัพอากาศ ดังนั้น

กองทัพอากาศจึงจำเป็นต้องบริหารจัดการ โรงเรียนการบินฯ ให้ดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย แต่ในช่วงปี พ.ศ. 2558 จนถึง พ.ศ 2561 โรงเรียนการบินฯ ไม่สามารถผลิต นักบินให้จบตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ตามแผนการฝึก เดิมได้ (153 เที่ยวบิน จำนวนชั่วโมงบินรวม 200 ชั่วโมง) โดยได้มีการยืดระยะเวลาการฝึกออกไปจาก โดยประมาณ 14 เดือน เป็น 18 เดือน จึงทำให้นักบินจบ ออกไปปฏิบัติหน้าที่ล่าช้าซึ่งส่งผลให้กองบินหรือฝูงบินต่างๆ ต้องปรับตารางการฝึกบินของนักบินใหม่ประจำฝูงบิน ให้ออกไปด้วย ซึ่งสาเหตุของการยืดระยะเวลาการฝึก ออกไปอาจมาจากหลายปัจจัย เช่น การที่เครื่องบินที่ใช้ ฝึกบินขาดแคลนหรือชำรุดเสียหายจนไม่มีความพร้อม ในการฝึกบินของศิษย์การบินได้ พื้นที่ห้วงอากาศในการ ฝึกบินที่มีอยู่จำกัด เป็นต้น

จากที่มาและความสำคัญของปัญหา ทางผู้วิจัย จึงมีความสนใจในการประยุกต์ใช้หลักการ Scheduling and Planning ซึ่งเป็นหลักการในการวางแผนการผลิตมา ใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตนักบิน เพื่อให้จบ ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในหลักสูตร โดยจะเริ่มจากการ ศึกษาปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น จำนวนครูการบิน จำนวนชั่วโมงบินของครูการบิน จำนวนเครื่องบิน จำนวนศิษย์การบิน จำนวนชั่วโมงบิน ของศิษย์การบิน เป็นต้น ทั้งนี้จะไม่ให้ส่งผลกระทบต่อ การฝึกนักบินใหม่ประจำกองบิน หรือฝูงบิน โดย ข้อจำกัดต่าง ๆ จะอยู่ภายใต้ระเบียบข้อบังคับการ เติบโตขององค์กรการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (The International Civil Aviation Organization-ICAO) และข้อบังคับของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (The Civil Aviation Authority of Thailand- CAAT) รวมถึงข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาความเหมาะสม ของทรัพยากรที่มีอยู่และให้ศิษย์การบินจบการฝึกบินได้ ตามระยะเวลาดตามที่กองทัพอากาศกำหนด

2. ขอบเขตการวิจัย

ผู้วิจัยจะทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหลักสูตรการผลิต นักบินของโรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน โดยศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลที่สามารถเปิดเผยต่อสาธารณะ ได้ เช่น จำนวนศิษย์การบิน, จำนวนครูการบิน, จำนวน เครื่องบิน, ระเบียบปฏิบัติเกี่ยวกับการบิน รวมถึง ข้อบังคับต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนการผลิต (Production Planning) [1] มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ สูงสุด โดยขั้นตอนของการวางแผนจะเกี่ยวข้องกับการ พยากรณ์ การวิเคราะห์และการกำหนดงาน รวมไปถึง การควบคุมสินค้าคงคลัง ซึ่งการวางแผนการผลิตนั้นจะ แบ่งออกเป็นระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว โดย งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำหลักการวางแผนระยะกลางมาใช้ ในการวิเคราะห์และวางแผนการฝึกบินของศิษย์การบิน เพื่อให้ศิษย์การบินสำเร็จหลักสูตรการฝึกบินตาม ระยะเวลาที่กำหนด(14 เดือน) หรือให้สามารถสำเร็จ หลักสูตรการฝึกบินได้รวดเร็วที่สุด โดยการวางแผน ระยะกลางมีองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น การวางแผนการ ผลิตรวม ซึ่งเป็นการวางแผนการผลิตในช่วงเวลา 3 เดือน ถึง 18 เดือน การจัดตารางการผลิตหลัก ซึ่งจะต้อง สอดคล้องกับแผนการผลิตรวมที่ได้กำหนดไว้

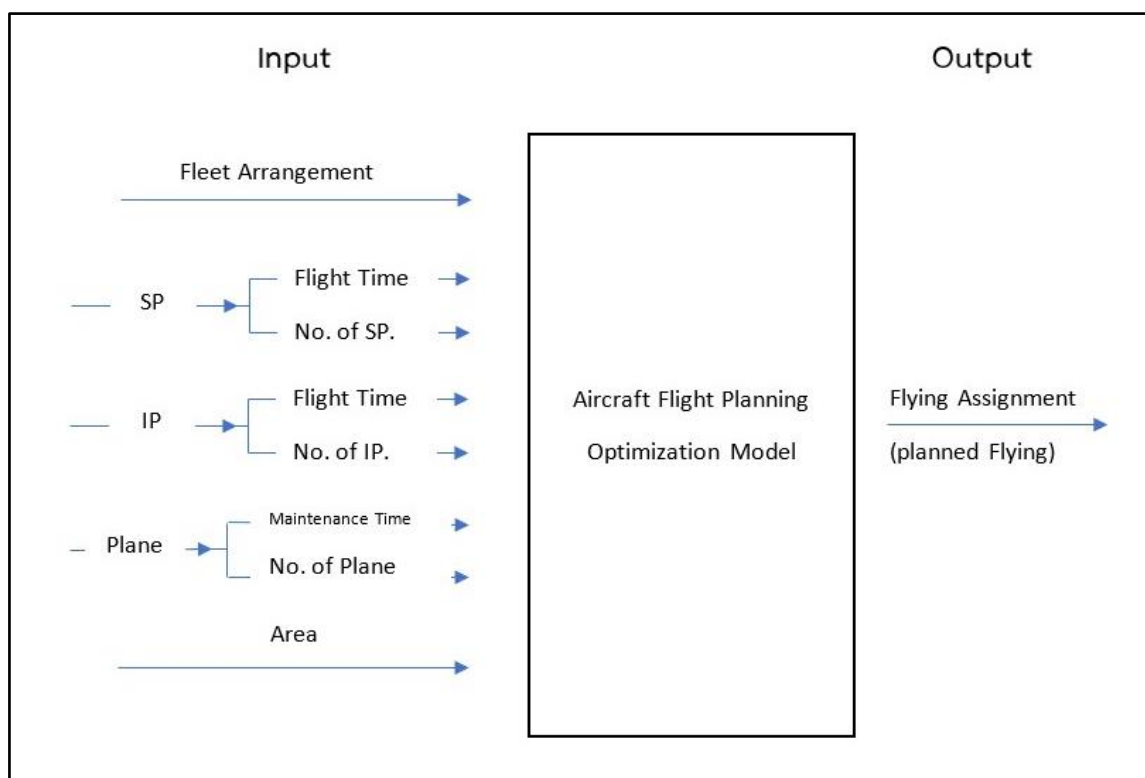
การจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) [2] เป็นการจัดสรรทรัพยากรการผลิตให้สามารถ ดำเนินการผลิตภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งการจัด ตารางการผลิตจะเกี่ยวข้องกับเรื่องการทำงาน (Job Order) และการจัดลำดับงาน (Job Sequencing) ให้กับ หน่วยงาน งานวิจัยนี้ได้นำหลักการจัดตารางการผลิตมา วิเคราะห์กระบวนการผลิตนักบินของกองทัพอากาศ โดย มุ่งเน้นในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่ ให้เกิดผลสูงสุด เพื่อให้เป็นไปตามแผนการผลิต นอกจากนั้นแล้วยังศึกษาถึงผลกระทบในการ ปรับเปลี่ยนแผนการผลิตนักบินของกองทัพอากาศให้ เหมาะสมกับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้ ข้อกำหนดต่าง ๆ โดยอ้างอิงมาจากข้อบังคับของ

สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ซึ่งโรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน ได้ขึ้นทะเบียนในการจัดตั้งเป็นโรงเรียนการบินไว้กับสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย

โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) [3] เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา รวมไปถึงช่วยในการตัดสินใจวางแผนและดำเนินงานให้เกิดผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Value) ของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) โดยพิจารณาจากข้อจำกัดต่าง ๆ (Constraints) ทางผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีสร้างตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming Model) ในการสร้างสมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัด โดยการสร้างสมการเป้าหมาย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเวลาที่ศิษย์การบินสำเร็จหลักสูตรฝึกบินตรงตามเวลาที่กำหนดหรือใช้เวลาน้อยที่สุด และสร้างสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นตัวแก้ปัญหาให้อยู่ในขอบเขตของข้อจำกัด

4. การดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานในส่วนของการผลิตนักบินของโรงเรียนการบินกำแพงแสนให้เป็นไปได้ด้วยความเรียบร้อยต้องมีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น เครื่องบิน ศิษย์การบิน ครูการบิน ช่างซ่อมบำรุง อุปกรณ์ชุดบิน ตึกอาคาร ห้องเรียน การขนส่ง และเชื้อเพลิงในส่วนต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดมีความสำคัญทั้งสิ้น แต่สำหรับงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้คัดเลือกองค์ประกอบมาเพียงบางส่วน โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และตัวแปรที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนหรือส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการสำเร็จการศึกษา เพื่อนำมาคิดวิเคราะห์กระบวนการผลิตนักบินของโรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน ซึ่งองค์ประกอบที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกสามารถนำไปเขียนเป็นกระบวนการทำงานได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการทำงาน (Model System) ของการฝึกบิน

โดยตัวแปรต่าง ๆ นั้นได้อ้างอิงมาจากการวิจัยของต่างประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรและที่มาของตัวแปร

ลำดับ	ตัวแปร	ความหมาย
1	IP	ครุการบิน [4]
2	SP	ศิษย์การบิน [4]
3	PL	เครื่องบิน [5]
4	FH	ชั่วโมงบิน [4]
5	FHBM	ชั่วโมงการบำรุงรักษา [5]
6	Area	พื้นที่การฝึกบิน [6]
7	Period	ห้วงการฝึกบิน [4]
8	P	วิฤภาคการบิน [4]

จากนั้นผู้วิจัยจึงนำมาสร้างสมการเป้าหมาย สมการข้อจำกัด รวมถึงการสร้างแบบจำลองความคิด ของงานวิจัย ดังต่อไปนี้

4.1 สมการเป้าหมาย คือการใช้เวลาในการ สำเร็จหลักสูตรให้น้อยที่สุด [7] โดยผลรวมชั่วโมงบิน

ของศิษย์การบินเท่ากับผลรวมของผลรวมชั่วโมงการฝึกบิน ในแต่ละวิฤภาคการบินของศิษย์การบิน ซึ่งสามารถสร้าง สมการเป้าหมาย หรือ Minimize CT (Completion Time) ได้ดังสมการที่ (1)

$$\sum_n FH_{n,t} = \sum_m \sum_k P_m F_k \quad t \in [1, T], \forall n \in SP, \forall m \in Phase, \forall k \in Flight \quad (1)$$

4.2 สมการข้อจำกัด ได้แก่

4.2.1 ชั่วโมงบินของศิษย์การบินซึ่งผลรวม ชั่วโมงบินของศิษย์การบินต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ ข้อจำกัดของชั่วโมงบินของศิษย์การบินตามข้อบังคับ ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย [8]

ซึ่งกำหนดว่าในทุก ๆ 7 วัน ต่อเนื่องกัน ศิษย์การบินต้อง บินไม่เกิน 30 ชั่วโมง และภายใน 28 วัน ศิษย์การบินจะ มีช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่การบินได้ไม่เกิน 90 ชั่วโมงและมี ชั่วโมงบินได้ไม่เกิน 70 ชั่วโมง สามารถเขียนสมการได้ ดังสมการที่ (2)

$$\sum_n \sum_{t=T-30}^T FH_n \leq Max \text{ Flight Hours} \quad t \in [1, T], \forall n \in SP \quad (2)$$

4.2.2 ชั่วโมงบินของครุการบิน โดยผลรวม ชั่วโมงบินของครุการบินต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับข้อจำกัด ของชั่วโมงบินของครุการบินตามข้อบังคับของสำนักงาน การบินพลเรือนแห่งประเทศไทย [8] ซึ่งได้กำหนดให้ ครุการบินปฏิบัติหน้าที่ต่อเนื่องกัน ไม่เกิน 40 ชั่วโมง ในทุก ๆ 7 วันและภายใน 28 วัน ครุการบินจะมีช่วงเวลา

ปฏิบัติหน้าที่การบินได้ไม่เกิน 120 ชั่วโมงและมีชั่วโมงบิน ได้ไม่เกิน 90 ชั่วโมง นอกจากนั้นแล้ว ภายใน 365 วัน (1 ปี) ต่อเนื่องกัน ครุการบินจะมีช่วงเวลาปฏิบัติหน้าที่ได้ไม่เกิน 1,500 ชั่วโมง และมีชั่วโมงบิน ได้ไม่เกิน 1,000 ชั่วโมง สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (3)

$$\sum_n \sum_{t=T-40}^T FH_n \leq \text{Max Flight Hours } t \in [1, T], \forall n \in IP \quad (3)$$

4.2.3 ชั่วโมงการซ่อมบำรุง โดยผลรวม ชั่วโมงบินของเครื่องบินก่อนการซ่อมบำรุงมากกว่าศูนย์ กล่าวคือ ถ้าชั่วโมงการซ่อมบำรุงของเครื่องบินเท่ากับ

หรือน้อยกว่าศูนย์ จะไม่สามารถทำการบินได้เนื่องจาก ต้องนำเครื่องบินเข้ารับการตรวจสอบและซ่อมบำรุง [10][11] สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (4)

$$\sum_n FHB M_n > 0 \quad t \in [1, T], \forall n \in Plane \quad (4)$$

4.2.4 พื้นที่การฝึกบิน โดย ผลรวมของ พื้นที่การฝึกบินน้อยกว่าหรือเท่ากับพื้นที่การฝึกบิน สูงสุด ซึ่งโรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน มีพื้นที่การฝึกบินทั้งหมด 8 พื้นที่ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้

กำหนดให้ค่าพื้นที่การฝึกบินสูงสุดมีหลายค่า ทั้งนี้เพื่อดู ผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถ ทำการบินได้ เช่น การปิดน่านฟ้า เป็นต้น สามารถเขียน สมการได้ดังสมการที่ (5)

$$\sum_n Area_t \leq \text{Max_Area } t \in [1, T], \forall n \in Area \quad (5)$$

4.2.5 ห้วงเวลาการฝึกบินใน 1 วัน ผลรวม ของห้วงเวลาการฝึกบินน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 กล่าวคือ ผลรวมของห้วงเวลาการฝึกบินจะต้องน้อยกว่าหรือ

เท่ากับห้วงเวลาการฝึกบินทั้งหมด คือ 4 ห้วงเวลา สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (6)

$$\sum_n \text{Period Per Day}_t \leq 4 \quad t \in [1, T], \forall n \in \text{Period} \quad (6)$$

4.2.6 จำนวนเครื่องบินที่พร้อมใช้งาน โดย ผลรวมของจำนวนเครื่องบินที่ใช้ในการฝึกบิน ในช่วงเวลานั้น ๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนเครื่องบิน

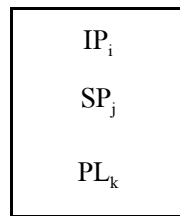
ที่สามารถใช้งานได้ [9][11] สามารถเขียนสมการได้ ดังสมการที่ (7)

$$\sum_n PL_t \leq \text{Available_Plane } t \in [1, T], \forall n \in Plane \quad (7)$$

4.3 แบบจำลองของงานวิจัย หลังจากที่ได้ สมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัดแล้ว ทางผู้วิจัยได้ ทำการศึกษาการดำเนินการฝึกบินใน 1 เทียวบิน จำเป็นต้องมี ครูการบิน ศิษย์การบิน เครื่องบิน ห้วงการ ฝึกบิน และพื้นที่ฝึกบินว่างหรือพร้อมทำการฝึก จึงจะ สามารถทำการฝึกบินได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้นำข้อมูล ดังกล่าวมาสร้างแบบจำลอง โดยแบ่งแยกเป็น 3 ส่วน

ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง คือ การจัดการฝึกบิน ได้แก่ ครูการบิน ศิษย์การบิน และเครื่องบิน ส่วนที่สองคือ ห้วงการฝึกบิน และส่วนที่สาม คือ พื้นที่ฝึกบิน ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) จัดการฝึกบินใน 1 เทียวบิน โดยจะจัดการ ฝึกบินดังรูปที่ 2



ท่านใด, ศิษย์การบินคนใด และเครื่องบินลำใด ปฏิบัติภารกิจฝึกบิน โดยกำหนดตัวแปรไว้ดังนี้

IP_i คือ ครูการบินคนที่ i
 SP_j คือ ศิษย์การบินคนที่ j
 PL_k คือ เครื่องบินลำที่ k

รูปที่ 2 กล่องแสดงแสดงการบิน 1 เที่ยวบิน

จากรูปที่ 2 กล่องแสดงการฝึกบินใน 1 เที่ยวบิน โดยจะระบุว่าการฝึกบินใน 1 เที่ยวบินนั้นมีครูการบิน

2) จัดตารางการบินใน 1 วัน โดยทางผู้วิจัยได้นำปัจจัยในส่วนที่ 2 คือ พื้นที่ฝึกบิน และส่วนที่ 3 คือ ห้วงการฝึกบิน มาร่วมแสดงความสัมพันธ์โดยมีการจัดการฝึกบิน 1 เที่ยวบินอยู่ด้วย ดังรูปที่ 3

	Area							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Period 1	IP_1 SP_1 PL_1	IP_2 SP_2 PL_2	IP_3 SP_3 PL_3	IP_4 SP_4 PL_4	IP_5 SP_5 PL_5	IP_6 SP_6 PL_6	IP_7 SP_7 PL_7	IP_8 SP_8 PL_8
Period 2	IP_9 SP_9 PL_9	IP_{10} SP_{10} PL_{10}	IP_{11} SP_{11} PL_{11}	IP_{12} SP_{12} PL_{12}	IP_{13} SP_{13} PL_{13}	IP_{14} SP_{14} PL_{14}	IP_{15} SP_{15} PL_{15}	IP_{16} SP_{16} PL_{16}
Period 3	IP_{17} SP_{17} PL_{17}	IP_{18} SP_{18} PL_{18}	IP_{19} SP_{19} PL_{19}	IP_{20} SP_{20} PL_{20}	IP_{21} SP_{21} PL_{21}	IP_{22} SP_{22} PL_{22}	IP_{23} SP_{23} PL_{23}	IP_{24} SP_{24} PL_{24}
Period 4	IP_{25} SP_{25} PL_{25}	IP_{26} SP_{26} PL_{26}	IP_{27} SP_{27} PL_{27}	IP_{28} SP_{28} PL_{28}	IP_{29} SP_{29} PL_{29}	IP_{30} SP_{30} PL_{30}	IP_{31} SP_{31} PL_{31}	IP_{32} SP_{32} PL_{32}

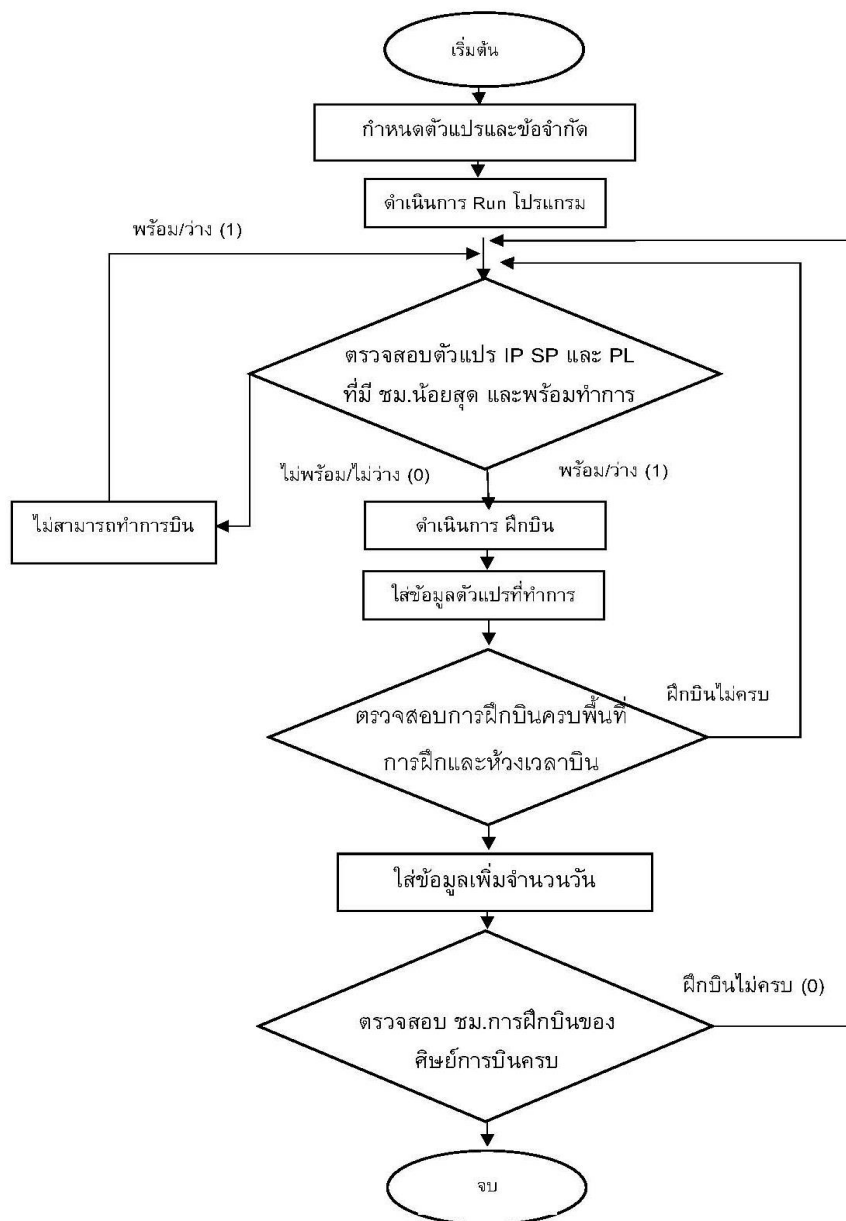
รูปที่ 3 การจัดตารางการบิน

จากรูปที่ 3 แสดงตัวแบบจำลองการจัดตารางการบิน โดยแถวที่ 1 แสดงพื้นที่ การฝึกบินที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 (Area 1 - 8) คอลัมน์ที่ 1 แสดงห้วงการฝึกบินที่ 1, 2, 3 และ 4 (Period 1 - 4) ในตำแหน่งที่พื้นที่การฝึกบินซ้อนทับกับห้วงการฝึกบินจะแสดงเที่ยวบินที่มีครูการบินศิษย์การบิน และเครื่องบินที่ปฏิบัติหน้าที่ฝึกบินในพื้นที่การฝึกบินนั้นอยู่

ตัวอย่าง เช่น ในพื้นที่การฝึกบินที่ 1, ห้วงการฝึกบิน 1 เที่ยวบินที่ใช้การการฝึกบินนั้น ประกอบไปด้วยครูการบินคนที่ 1 (IP_1), ศิษย์การบินคนที่ 1 (SP_1) และเครื่องบินลำที่ 1 (PL_1) ที่ปฏิบัติการภารกิจฝึกบินอยู่ในเที่ยวบินนั้น โดยใน 5 องค์ประกอบนี้จะต้องวางและพร้อมทำการฝึกบิน จึงจะสามารถทำการฝึกบินได้

3) อัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดการตารางบิน โดยเริ่มต้นจากการกำหนดค่าตัวแปร และข้อจำกัดต่าง ๆ หลังจากนั้นดำเนินการจัดตัวแปร ตารางบิน ศิษย์การบิน และเครื่องบินที่ว่างและพร้อมทำการบินมาจัดลงตารางการบินก่อน ถ้าตัวแปรที่จัดไม่พร้อมเนื่องจากติดข้อจำกัดต่าง ๆ ทางผู้วิจัยจะทำการข้ามไปยังตัวแปรที่พร้อมก่อนเพื่อรอให้ตัวแปรที่ติดข้อจำกัดต่าง ๆ หายุดทำการบินจนพร้อมทำการบินอีกครั้ง หลังจากนั้นผู้วิจัย

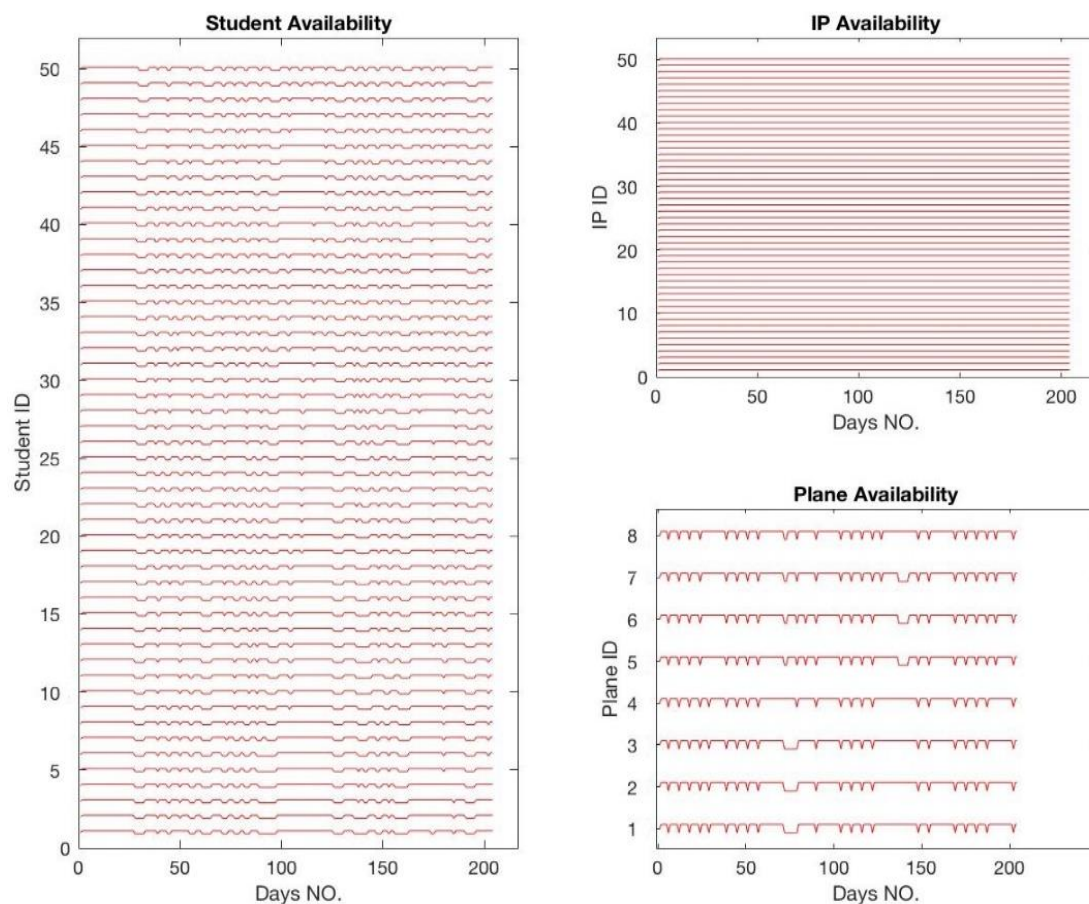
จะนับชั่วโมงบินให้กับตัวแปรที่ทำการฝึกบินแล้ว และทำการตรวจสอบว่าใน 1 วัน ดำเนินการจัดการตารางบินครบ 32 เที่ยวบินแล้วหรือไม่ หากไม่ครบดำเนินการจัดให้ครบเมื่อครบแล้ว จะทำการนับเวลาในการฝึกบินเป็น 1 วัน หลังจากนั้นทางผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบว่าศิษย์การบินทุกคนมีชั่วโมงการบินครบตามหลักสูตรหรือไม่ ถ้าไม่ครบจะดำเนินการจัดการตารางบินให้ครบ เมื่อครบแล้ว ถือว่าจบกระบวนการ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อัลกอริทึมเพื่อหาเวลาการสำเร็จหลักสูตร

เมื่อดำเนินการจัดตารางการบินมาแล้ว 1 ครั้ง จะได้ผลเป็นกราฟ 3 กราฟ ดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบความพร้อมในการทำการบินของตัวแปรต่าง ๆ ทั้งศิษย์การบิน ครูการบิน และเครื่องบิน จะเห็นว่ากราฟมีส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนของกราฟเส้นตรงที่มีการตกลงมา

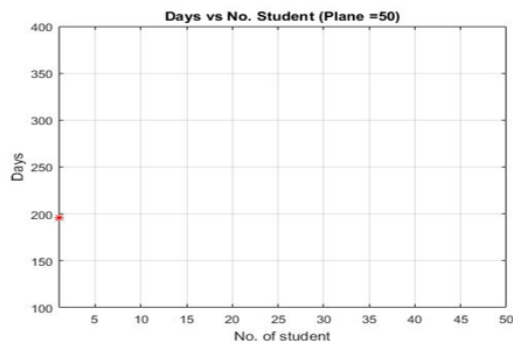
ในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรงนั้น ตัวแปรดังกล่าวสามารถทำการบินได้เป็นปกติ แต่เมื่อตัวแปรนั้นไม่สามารถทำการบินได้ กราฟก็จะตกลงมาดังกราฟของศิษย์การบินและเครื่องบิน ในรูปที่ 5



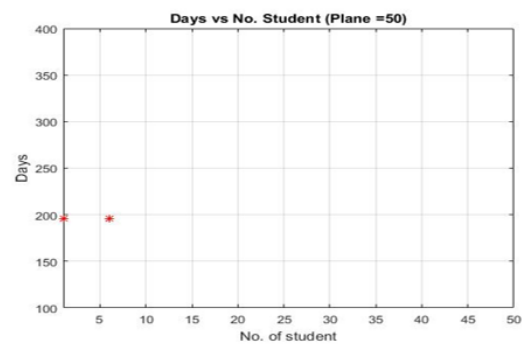
รูปที่ 5 ความพร้อมในการทำการบิน (ตัวอย่าง)

ในจุดสิ้นสุดของกราฟในรูปที่ 5 คือ วันที่ใช้ในการสำเร็จหลักสูตรของศิษย์การบิน เมื่อทางผู้วิจัยได้จำนวนวันมาแล้ว จะนำมาระบุความสัมพันธ์เป็น 1 จุด ดังรูปที่ 6(ก) จากนั้นจะดำเนินการซ้ำ และระบุอีกครั้ง

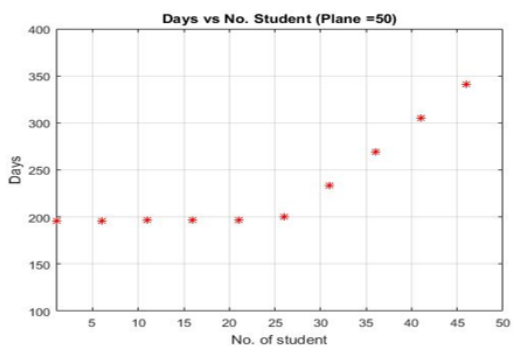
จนกระทั่งระบุเต็มกราฟดังรูปที่ 6 (ค) หลังจากนั้นจะนำมาแปลงเป็นกราฟ ดังรูป 6 (ง)



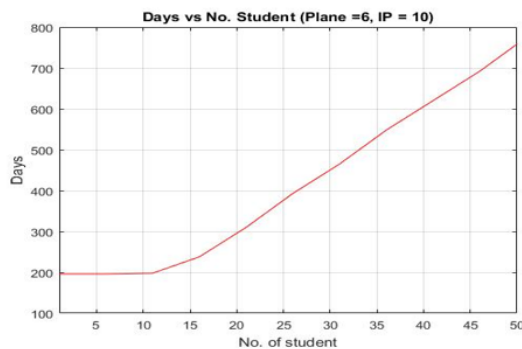
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6 ตัวอย่างการสร้างกราฟจากแบบจำลอง

จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการโปรแกรมเชิงเส้นตรงเพื่อสร้างสมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัด จากนั้นได้นำไปเข้าสู่การจัดตารางบินซึ่งใช้หลักการ Scheduling and Planning จากนั้นนำมาเข้าสู่อัลกอริทึมเพื่อทำการสร้างกราฟเพื่อหาเวลาในการสำเร็จการศึกษาของศิษย์การบิน ซึ่งงานวิจัยโดยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานนั้น จะใช้หลักการ Scheduling and Planning ในการวางแผนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่การจัดตารางบินนั้นเกี่ยวข้องกับข้อบังคับทางด้านการบินและข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นการซ่อมบำรุงของอากาศยานที่ต้องเป็นไปตามวงจรรอบ จำนวนบุคลากรหรือพื้นที่ฝึกบินที่มีจำนวนจำกัด ผู้วิจัยจึงต้องนำหลักการ Scheduling and Planning ร่วมกับโปรแกรมเชิงเส้นตรงเพื่อให้การจัดตารางบินนั้นไม่ติดข้อจำกัดต่าง ๆ นอกจากนั้นแล้ววิธีการนี้จะทำให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต่าง ๆ ต่อแผนงานที่

ถูกกำหนดไว้ ซึ่งการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เปรียบเสมือนกับการที่มีเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝันเกิดขึ้น ซึ่งแบบจำลองนี้จะทำให้สามารถปรับเปลี่ยนแผนงานเพื่อตอบสนองต่อสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงที

5. ผลการวิจัย

ในกระบวนการวิเคราะห์นั้น ทางผู้วิจัยได้นำอัลกอริทึมในกระบวนการจัดตารางการบินตลอดหลักสูตรมาวิเคราะห์โดยนำหลักการ Scheduling and Planning มาใช้และมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งหลังจากค่าตัวแปรถูกกำหนดแล้ว อัลกอริทึมที่ใช้จะดำเนินการจำลองการจัดตารางการบินของศิษย์การบินแต่ละคนแต่ละวัน เพื่อเก็บชั่วโมงฝึกบินให้ครบจนจบหลักสูตรในกระบวนการจัดนั้นอัลกอริทึมจะตรวจสอบว่าในแต่ละวัน

เครื่องบินหมายเลขใด ครูการบินท่านใด ศิษย์การบินคนใด และพื้นที่การฝึกบินใด พร้อมดำเนินการบินบ้างหรือติดข้อกำหนดต้องพักหรือต้องเข้าบำรุงรักษาตามวงจร จากนั้นอัลกอริทึมก็จะดำเนินการจัดการตารางการฝึกบิน และบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ไว้ โดยกระบวนการนี้จะมีการทำซ้ำเรื่อย ๆ ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน จนครบวัน และทำซ้ำในวันใหม่ จนครบหลักสูตร ซึ่งสุดท้ายจะทำให้ทราบได้ว่า ระยะเวลาในการฝึกบินมีทั้งสิ้น กี่วัน ซึ่งได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1) การเพิ่มหรือลดจำนวนศิษย์การบินมีผลต่อระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินแบบแปรผันตรง กล่าวคือ ในกรณีที่ให้ปัจจัยอื่น ๆ มีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มจำนวนศิษย์การบินเข้าไปในระบบการฝึกบิน จะส่งผลให้กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมมากขึ้น และเมื่อลดจำนวนศิษย์การบินในกระบวนการฝึกบิน ก็จะส่งผลให้กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินใช้เวลาน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินมีเครื่องบินจำนวน 8 ลำ จำนวนครูการบิน 15 คน และมีศิษย์การบิน 30 คน จะใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรม ประมาณ 300 วัน เมื่อลดจำนวนศิษย์การบินเหลือ 20 คน จะใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินเพียง 200 วัน แต่หากเพิ่มจำนวนศิษย์การบินเป็น 40 คน ก็จะส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินมากถึง 400 วัน

2) การเพิ่มหรือลดจำนวนครูการบินหรือจำนวนเครื่องบินมีผลต่อระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบิน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มจำนวนครูการบินหรือจำนวนเครื่องบินเข้าไปในกระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบิน จะส่งผลคล้ายคลึงกัน โดยจะส่งผลให้ระยะเวลาในการฝึกกลดน้อยลง แต่หากลดจำนวนครูการบินหรือจำนวนเครื่องบินก็จะส่งผลให้การฝึกอบรมศิษย์การบินใช้เวลานานมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินมีจำนวนศิษย์การบิน 30 คน จำนวนเครื่องบิน 8 ลำ และครูการบิน 15 คน จะใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรม

ประมาณ 300 วัน เมื่อเพิ่มครูการบินเข้าไปในระบบการฝึกอบรมศิษย์การบินเป็น 20 คน จะส่งผลให้ระยะเวลาในการฝึกอบรมกลดลงเหลือประมาณ 240 วัน และเมื่อเพิ่มครูการบินเข้าไปในระบบการฝึกอบรมศิษย์การบินเป็น 25 คน จะส่งผลให้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินเหลือเพียง 200 วัน แต่การเพิ่มจำนวนครูการบินหรือจำนวนเครื่องบินเข้าไปในระบบการฝึกอบรมศิษย์การบินไม่สามารถลดระยะเวลาการฝึกอบรมได้เสมอไป โดยเมื่อเพิ่มจำนวนครูการบินหรือจำนวนเครื่องบินเข้าไปในระบบการฝึกอบรมศิษย์การบินมากจนระบบอึดตัวหรือติดข้อจำกัดจากตัวแปรอื่น จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการฝึกศึกษาได้น้อยมาก หรือไม่ส่งผลเลย โดยในกรณีของจำนวนเครื่องบินมีจุดอึดตัวเท่ากับจำนวนพื้นที่ฝึกบิน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินมีจำนวนศิษย์การบิน 30 คน จำนวนเครื่องบิน 8 ลำ และครูการบิน 15 คน จะใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินประมาณ 300 วัน เมื่อเพิ่มจำนวนเครื่องบินเข้าไปในระบบเป็น 9 ลำ ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกอบรมศิษย์การบินจะลดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากกระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินของงานวิจัยนี้ได้กำหนดพื้นที่การฝึกบินเพียง 8 พื้นที่ การฝึกบิน ระบบการฝึกอบรมศิษย์การบินจึงมีจุดอึดตัวของจำนวนเครื่องบินที่ 8 ลำเท่านั้น สำหรับจำนวนครูการบินจากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า การเพิ่มจำนวนครูการบินเข้าไปในระบบการฝึกอบรมศิษย์การบินมีจุดอึดตัวที่อัตราส่วนครูการบินต่อศิษย์การบินที่ครูการบินจำนวน 3 คน ต่อศิษย์การบินจำนวน 4 คน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินมีจำนวนศิษย์การบิน 30 คน จำนวนเครื่องบิน 8 ลำ และครูการบิน 15 คน จะใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินประมาณ 300 วัน จะเห็นว่ากรณีนี้อัตราส่วนของจำนวนครูการบินต่อจำนวนศิษย์การบิน คือ ครูการบิน 1 คน ต่อศิษย์การบิน 2 คน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนครูการบินให้เป็น 23 คน โดยใช้อัตราส่วนจำนวนครูการบินต่อศิษย์การบิน

เป็น ครูการบิน 3 คน ต่อศิษย์การบิน 4 คน จะส่งผลให้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบินลดลงเหลือประมาณ 200 วัน เมื่อเพิ่มครูการบินเป็น 30 คน ซึ่งมากจนอัตราส่วนจำนวนครูการบินต่อจำนวนศิษย์การบินเป็น จำนวนครูการบิน 1 คน ต่อ ศิษย์การบิน 1 ก็ยังใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมประมาณ 200 วันเท่าเดิม

6. สรุปผลการวิจัย

กระบวนการวิเคราะห์แบบ Scheduling and Planning Algorithm เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการการบินนั้น ทำให้เข้าใจสถานการณ์การบินได้อย่างชัดเจน และเข้าใจพฤติกรรมพื้นฐาน (Generic Behavior) ของตัวแปรต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้ในการวางแผนจริงในอนาคตได้อีกด้วย เช่น ในกรณีที่กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินของโรงเรียนการบินมีจำนวนศิษย์การบิน 30 คน จำนวนเครื่องบิน 8 ลำ และครูการบิน 15 คน โดยมีสถานการณ์ คือ เครื่องบินของโรงเรียนการบินเกิดอุบัติเหตุและชำรุดเสียหายไม่สามารถทำการบินได้ ทำให้โรงเรียนการบินเหลือเครื่องบินเพียง 6 ลำ แต่กองทัพอากาศต้องการให้โรงเรียนการบินฝึกอบรมศิษย์การบินโดยใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมตามแผนเดิม จากผลการดำเนินงานวิจัยเมื่อจำนวนเครื่องบินลดลงทำให้ระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบิน มากขึ้น หากต้องการให้ศิษย์การบินใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมตามแผนแล้ว ต้องทำการปรับโดยอาจจำเป็นต้องลดจำนวนศิษย์การบินหรือทำการเพิ่มจำนวนครูการบินแบบจำลองการจัดการการบินและอัลกอริทึมของงานวิจัยนี้สามารถจำลองสถานการณ์ และนำผลมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาปรับจำนวนปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้ศิษย์การบินใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมเป็นไปตามแผนของกองทัพอากาศ

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากโรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสนนั้น ต้องรับผิดชอบการฝึกอบรม ศิษย์การบิน จำนวน 2 รุ่น ในทุก ๆ ปี การที่รับศิษย์การบินที่มีจำนวนมากเกินไปหรือมีจำนวนครูการบินน้อยเกินไปจะส่งผลต่อระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบิน ดังนั้นโรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน ควรจัดสรรอัตราส่วนระหว่างครูการบินกับศิษย์การบินให้เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดตามระเบียบข้อบังคับของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทยในเรื่องของชั่วโมงการบิน เพื่อให้กระบวนการฝึกอบรมศิษย์การบินมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นไปตามมาตรฐานสากล

2) การฝึกอบรมศิษย์การบินมีปัจจัยเรื่องจำนวนเครื่องบินที่ใช้ในการฝึกบิน เป็นปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการฝึกอบรมศิษย์การบิน หากมีไม่เพียงพอต่อความต้องการก็จะทำให้การฝึกบินล่าช้า แต่หากมีมากเกินไปจนติดตัวปัจจัยดังกล่าวก็จะไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพได้อย่างเต็มที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้โรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน มีพื้นที่การฝึกบินจำนวน 8 พื้นที่ฝึกบิน ดังนั้นการที่มีจำนวนเครื่องบินมากกว่า 8 ลำ จึงเกินความจำเป็น แต่ทั้งนี้ โรงเรียนการบิน กองทัพอากาศ กำแพงแสน ควรรักษาสภาพความพร้อมใช้งานของเครื่องบินให้มีจำนวนเครื่องบินที่พร้อมใช้งานเท่ากับพื้นที่ฝึกบินเป็นอย่างน้อย เช่นจากงานวิจัยนี้ โรงเรียนการบิน อาจจะมีเครื่องบิน 8, 9, 10 ลำ หรือมากกว่า แต่ในทุก ๆ ห้วงการฝึกบิน ควรมีเครื่องบินจำนวน 8 ลำ ที่พร้อมทำการบินเพื่อให้เต็มพื้นที่การฝึก ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการฝึกบินตามหลักสูตร

3) แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองเบื้องต้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายสถานการณ์ โดยสามารถกำหนดค่าตัวแปร หรือข้อจำกัดต่าง ๆ ได้ตามที่ต้องการเพื่อนำไปวางแผนการปฏิบัติงานในอนาคต หรือนำไปใช้แก่หน่วยงานต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ ยกตัวอย่างเช่น

อาจนำแบบจำลองและกระบวนการคิดจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนในการจัดตารางการซ่อมบำรุงอากาศยานของสายการบินเพื่อหาจำนวนอากาศยานที่เข้าสู่การซ่อมบำรุงโดยไม่ส่งผลต่อการปฏิบัติการบินหรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ในการหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมต่อภาระงานในองค์กร เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] รติรส ยี่มี. การวางแผนการผลิตรวมแบบหลายวัตถุประสงค์ภายใต้ความต้องการเป็นช่วงและกำลังการผลิตที่ไม่แน่นอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2554.
- [2] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิตเชิงบูรณาการ. สืบค้น 15 มกราคม 2561, จาก <http://www.tpa.or.th/publisher/admin/newbook/intro T1001.pdf>.
- [3] นางเยาว์ ชูสุข. การแก้สมการโปรแกรมเชิงเส้นโดยใช้ไมโครซอฟเอกเซล เพื่อสร้างสูตรอาหาร: Solving linear programming using Microsoft Excel for food formula. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า, 2(1): 1-10, 2553.
- [4] Amaya J. and Peeters D. Optimization modeling for resource allocation in the Chilean public educational system. Master's Thesis, Education and Department Economic, University of Chile, 2013.
- [5] Verhoeff M., Verhagen W.J.C. and Curran R. Maximizing operational readiness in military aviation by optimizing flight and maintenance planning. Master's Thesis, The Netherlands Delft University of Technology, 2015.
- [6] John H. Mott. and Daniel Henao. Increasing Collegiate Flight Training Fleet Utilization Through the Use of an Aircraft Assignment Algorithm. Master's Thesis, Embry Riddle Aeronautical University, 2016.
- [7] Hannsman.F. and Hess,S. A Linear Programming Approach to Production and Employment Scheduling. Management Technology, 1: 46-51, 1960.
- [8] สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (CAAT). การกำหนดข้อจำกัดเวลาทำการบินและเวลาปฏิบัติหน้าที่. สืบค้น 15 มกราคม 2561, จาก <https://www.caat.or.th/th /archives/26489>.
- [9] Chellappan S. and Ali H. An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 37(1): 29-48, 2013.
- [10] Yu W., Hong S., Zhu J. and Zhu B. Optimization Model and Algorithm Design for Airline Fleet Planning in a Multi-airline Competitive Environment. Mathematical Problems in Engineering, Article ID 783917, 2015.
- [11] Abdelrahman E.E., Felix T. S., Chan S. H. and Qu T. Optimization Model and Solution Method for Operational Aircraft Maintenance Routing Problem. Proceedings of the World Congress on Engineering 2017, Vol II WCE 2017 (July). London: U.K., 2017.