การพัฒนาชุดทดลองของเครื่องส่งสัญญาณของระบบนำร่อนสำหรับอากาศยาน

นิพนธ์ ทางทอง[1*] และ นุชนาฏ ชุ่มชื่น[2]

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดทดลองของเครื่องส่งสัญญาณของระบบนำร่อนสำหรับอากาศยาน เพื่อใช้สำหรับประกอบการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ ของนักศึกษาสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยานและสาขาที่เกี่ยวข้อง การดำเนินงานเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง Keysight รุ่น E4432B เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำที่สามารถกำเนิดสัญญาณความถี่ในย่าน 50 Hz - 10 kHz และชุดเครื่องมือระบบการนำร่อนจำลอง มาประกอบเป็นชุดทดลองเครื่องส่งสัญญาณของระบบนำร่อนของอากาศยาน ที่ประกอบด้วย 1) ระบบมาร์กเกอร์บีคอน (Marker Beacon) 2) ระบบโลคอลไลเซอร์ (Localizer) และ 3) ระบบไกด์สโลป (Guide Slope) เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนในการจัดการเรียนการสอนในยุคการศึกษา 4.0 ผลการทดสอบ พบว่า ชุดทดลองของเครื่องส่งสัญญาณในระบบนำร่อนสามารถรับและส่งสัญญาณที่ใช้กำลังส่งเท่ากับ 1 mW ไปในระยะทางไม่เกิน 5 เมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นชุดทดลองสามารถแสดงรูปสัญญาณและสถานะค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสัญญาณในระบบสื่อสารของการนำร่อนได้อย่างถูกต้อง ผลของงานวิจัยสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจระบบการทำงานและมีทักษะในการปฏิบัติงานในระบบนำร่อนของอากาศยานได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นผลของงานวิจัยสามารถนำไปใช้ในการผลิตแรงงานที่มีสมรรถนะและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานทางด้านการซ่อมบำรุงนะบบการนำร่อนของอากาศยานได้ตรงตามมาตรฐานวิชาชีพสากลขององค์การความปลอดภัยด้านการบินแห่งสหภาพยุโรป (European Aviation Safety Agency)

คำสำคัญ: ชุดทดลอง; เครื่องส่งสัญญาณ; ระบบนำร่อน; วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยาน
รับพิจารณา: 18 พฤษภาคม 2564
แก้ไข: 6 ตุลาคม 2564
ตอบรับ: 24 พฤศจิกายน 2564

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. +668 005 78215 อีเมล: nipont.t@en.rmutt.ac.th

Technical Education Journal : King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vol. 12 No. 3 September - December 2021

Development of Experimental Set of Transmitters of Instrument Landing System in Avionics

Nipont Tangthong[1*] and Nutchanat Chumchuen[2]

Abstract

This paper aims to develop an experimental set of transmitters of instrument landing systems in avionics. The experimental set is used for practical learning and teaching of students in avionics engineering and related fields. The E4432B high-frequency signal generator of Keysight, low-frequency signal generator, and the simulation navigation system tool are assembled into a transmitter experimental set of transmitters for instrument landing system (ILS). The constructed ILS transmitters consist of 1) Marker Beacon system, 2) Localizer system and 3) Guide Slope system to be used as teaching innovation in the education 4.0 era. The tested results showed that the ILS experimental set of the transmitters in the avionics was able to receive and transmit a radio signal using a transmitting power of 1 mW (0 dBm) over a distance of up to 5 meters. In addition, the experimental set can display signal waveforms and the status of various parameters of the instrument landing system properly. The obtained research results can be used in learning and teaching to enhance learners' understanding of operating systems and to gain practical skills in instrument landing systems. In addition, the results of the research can be applied to produce the high-competency and operational experience laborers in the field of aircraft navigation services that consistent with the international professional standards of the European Aviation Safety Agency (EASA).

Keywords: Experimental set; Instrument Landing System; Transmitters; Avionics Engineering

Received: May 18, 2021
Revised: October 6, 2021
Accepted: November 24, 2021

[1] Assistant Professor, Department of Electronics& Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, University of Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[2] Assistant Professor, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*] Corresponding Author, Tel. +668 005 78215 e-mail: nipont.t@en.rmutt.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลไทยได้กำหนดให้มีนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่ขับเคลื่อนประเทศไทยสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน โดยการเปลี่ยนแปลงเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่การขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม ซึ่งได้กำหนดแนวทางการพัฒนาใน 10 กลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมายหรือที่เรียกว่า S-curve ประกอบไปด้วย อุตสาหกรรมยานยนต์สมัย ใหม่ อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ การท่องเที่ยวกลุ่มรายได้ดีและการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ การเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ การแปรรูปอาหาร หุ่นยนต์เพื่ออุตสาหกรรม การบินและโลจิสติกส์ พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ อุตสาหกรรมดิจิทัล และการแพยท์แบบครบวงจร [1] สำหรับการปฏิรูปอุตสาหกรรมของประเทศไทยจะใช้รูปแบบการขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม และปรับเปลี่ยนจากการให้บริการพื้นฐานเป็นการบริการที่ต้องใช้ทักษะขั้นสูง ซึ่งการดำเนินการที่มุ่งสู่เป้าหมายนี้ “การจัดการศึกษาสมัยใหม่” เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะสร้างบุคลากรให้มีสมรรถนะการทำงานที่มีทั้งความรู้ความเชี่ยวชาญ และทักษะการปฏิบัติงานขั้นสูง

ดังนั้นเพื่อเป็นการตอบสนองนโยบายของรัฐบาล การจัดการศึกษาในยุคไทยแลนด์ 4.0 จึงเป็นการจัดการเรียนการสอนที่ทำให้ผู้เรียนมีความสามารถที่สามารถนำองค์ความรู้ไปบูรณาการอย่างสร้างสรรค์ ที่ส่งเสริมให้มีทักษะการปฏิบัติการที่สูงขึ้น มีความรู้ที่ก้าวไกลรองรับกับการเปลี่ยนแปลง ที่สามารถพัฒนานวัตกรรมสมัยใหม่มาตอบสนองความต้องการของสังคมได้ เมื่อกล่าวถึงสถาบันการศึกษา พบว่า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้มีนโยบายในการจัดการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นการจัดการศึกษาที่รองรับกับกลุ่มอุตสาหกรรมเป้าหมาย โดยได้ดำเนินการออกแบบและสร้างหลักสูตรใหม่และจัดการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นการยกระดับฐานสมรรถนะของผู้เรียนตามแนวทางของโครงการบัณฑิตพันธุ์ใหม่ ดังนั้น ภาควิชาอิเล็กโทรนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จึงได้เปิดหลักสูตรใหม่ตามที่ตอบสนองนโยบายรัฐบาลในกลุ่มอุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ นั่นคือ หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยาน ซึ่งเป็นหลักสูตรที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีทักษะการปฏิบัติการและการสร้างนวัตกรรมทางด้านอากาศยานและการบินที่มีคุณภาพตามมาตรฐานสากล และให้เป็นไปตามพันธกิจของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการจัดการ ศึกษาวิชาชีพระดับอุดมศึกษาบนพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีคุณภาพ และรองรับกับการสร้างงานวิจัยและนวัตกรรม รวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ รวมทั้งให้มีความสอดคล้องกับปรัชญาของมหาวิทยาลัยที่มุ่งเน้นการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะการผลิตบัณฑิตทางด้านการซ่อมบำรุงอากาศยาน ซึ่งผู้เรียนที่สำเร็จการศึกษาจะต้องมีทักษะและสมรรถนะตามมาตรฐานวิชาชีพสากลขององค์การความปลอดภัยด้านการบินแห่งสหภาพยุโรป ที่เรียกว่า EASA (European Aviation Safety Agency) [2] ที่เป็นหนึ่งในมาตรฐานที่ยอมรับในระดับสากลของสายการบินและประเทศในแถบทวีปสหภาพยุโรป

การจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยาน ได้กำหนดให้มีจุดมุ่งหมายในการผลิตบัณฑิตให้มีความรู้ในด้านทฤษฎีและมีทักษะปฏิบัติการที่ได้จากการลงมือปฏิบัติการจริงทั้งในและนอกห้องปฏิบัติการ ที่มีสมรรถนะวิชาชีพตามมาตรฐานที่กำหนดของ EASA ตลอดจนสามารถนำความรู้ที่ได้ไปบูรณาการและประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการซ่อมบำรุงระบบอากาศยาน และระบบอิเล็กทรอนิกส์และสื่อสารที่ใช้ในอากาศยาน เช่น ระบบวิทยุสื่อสาร ระบบนำร่อง ระบบนำร่อนที่ใช้ควบคุมการทำงานของอากาศยานต่าง ๆ ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาชุดเครื่องมือและอุปกรณ์ให้มีความพร้อมและสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของหลักสูตรและ

ตอบสนองกับการจัดการศึกษาในยุคการศึกษา 4.0 ฉะนั้นบทความนี้จึงนำเสนอแนวทางการพัฒนาชุดทดลองของเครื่องส่งสัญญาณระบบนำร่อนสำหรับอากาศยาน โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการมาประยุกต์ใช้งาน ให้สามารถใช้ทดลองการส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุในระบบนำร่อนได้เสมือนจริง และประยุกต์ใช้งานในห้อง ปฏิบัติการ รวมถึงนำไปใช้งานเพื่อการทดสอบและตรวจซ่อมในโรงซ่อมเครื่องบินได้ ซึ่งผลวิจัยที่ได้สามารถใช้ทดแทนการซื้อเครื่องมือจากต่างประเทศที่มีราคาแพง และเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ให้สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

2. หลักการของระบบนำร่อนสำหรับอากาศยาน

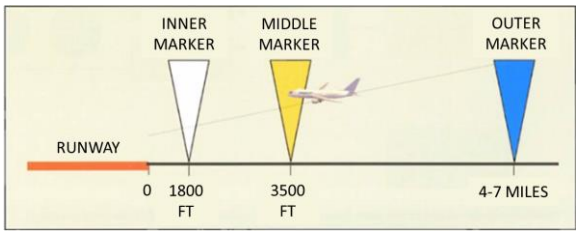
หลักการทำงานของระบบนำร่อนสำหรับอากาศยาน มีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ระบบนำร่อน (Instrument Landing System)

ระบบนำร่อน (Instrument Landing System : ILS) เป็นระบบการเดินอากาศที่ช่วยนำอากาศยานร่อนลงหรือลงจอดที่สนามบินได้อย่างปลอดภัย โครงสร้างการทำงานของระบบนำร่อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ส่วนของเครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ 2) ส่วนของเครื่องรับสัญญาณวิทยุ สำหรับส่วนที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจะติดตั้งไว้ที่ภาคพื้นดินบริเวณสนามบินและพื้นที่ของรันเวย์ การติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณและความถี่ที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณวิทยุจะเป็นไปตามข้อกำหนดขององค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization : ICAO) โดยที่สถานีส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณวิทยุประกอบด้วย ข้อมูลข่าวสารของสนามบิน มุมที่ใช้ร่อนลงหรือลงจอดบนรันเวย์ ระยะทางระหว่างเครื่องบินและรันเวย์ที่ใช้ลงจอด เป็นต้น การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุและข้อมูลเหล่านี้จะใช้หลักการของการมอดูเลทเชิงขนาด (Amplitude modulation) เป็นหลักสำหรับส่วนของเครื่องรับสัญญาณวิทยุจะติดตั้งไว้ในตัวอากาศยาน เมื่อเครื่องรับวิทยุได้รับข้อมูลการบินที่ถูกส่งมาจากเครื่องส่งจะถูกแปลงสัญญาณที่รับได้เพื่อการแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ สัญญาณเสียงที่ระบุสถานะข้อมูลของสนามบิน มุมร่อนลงจอดยังสนามบิน ระยะทางระหว่างเครื่องบินและรันเวย์ที่ใช้ลงจอด เป็นต้น ระบบนำร่อนของการแสดงผลของเครื่องรับสัญญาณวิทยุประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1) มาร์กเกอร์บีคอน (Marker Beacon : MKR) 2) โลคอลไลเซอร์ (Localizer : LOC) และ 3) ไกด์สโลป (Guide Slope : GS) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2 ระบบมาร์กเกอร์บีคอน (Marker Beacon)

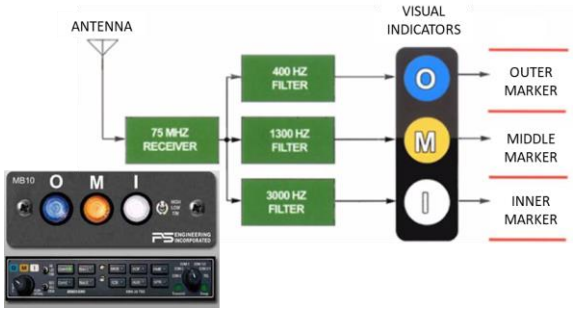
มาร์กเกอร์บีคอน (Marker Beacon) เป็นระบบที่ใช้แจ้งเตือนหรือบอกระยะทางระหว่างตำแหน่งของอากาศยานที่บินอยู่บนท้องฟ้ากับรันเวย์ เพื่อช่วยให้นักบินเตรียมความพร้อมที่จะนำเครื่องบินร่อนลงจอดได้อย่างปลอดภัย ระบบมาร์กเกอร์บีคอน [3] แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เอาท์เตอร์มาร์กเกอร์ (Outer Marker) มิดเดิ้ลมาร์กเกอร์ (Middle Marker) และอินเนอร์มาร์กเกอร์ (Inner Marker) ระบบมาร์เกอร์บีคอนเป็นส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ติดตั้งบริเวณภาคพื้นดินของสนามบิน เพื่อกำหนดเส้นทางการนำเครื่องบินร่อนลงจอดที่สนามบิน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งเครื่องส่งสัญญาณมาร์กเกอร์บีคอน

รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณของระบบมาร์กเกอร์บีคอน โดยแต่ละส่วนจะมีระยะทางที่ห่างจากรันเวย์แตกต่างกัน เอาท์เตอร์มาร์กเกอร์จะติดตั้งห่างจากรันเวย์ระยะทาง 4-7 ไมล์ มิดเดิ้ลมาร์กเกอร์จะติดตั้งห่างจากรันเวย์ระยะทาง 3,500 ฟุต อินเนอร์มาร์กเกอร์จะติดตั้งห่างจากรันเวย์เป็นระยะทาง 1,800 ฟุต เครื่องส่งระบบมาร์กเกอร์บีคอน ประกอบไปด้วยวงจรกำเนิด

ความถี่สัญญาณพาห์ทำงานที่ความถี่ 75 MHz ที่มีการมอดูเลทเชิงขนาด วงจรกำเนิดความถี่สัญญาณข่าวสารที่แตกต่างกัน 3 ความถี่ ที่ขึ้นอยู่กับประเภทของมาร์กเกอร์บีคอน ได้แก่ ความถี่ 400 Hz สำหรับเอาท์เตอร์มาร์กเกอร์ ความถี่ 1,300 Hz สำหรับมิดเดิ้ลมาร์กเกอร์ และความถี่ 3,000 Hz สำหรับอินเนอร์มาร์กเกอร์ สัญญาณคลื่นวิทยุจะมีการแพร่กระจายคลื่นที่มีขั้วคลื่นแบบแนวตั้งแบบจำกัดทิศทาง สำหรับเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุจะติดตั้งในอากาศยาน โดยบล็อคไดอะแกรมของเครื่องรับสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน [4] [5]แสดงดังรูปที่ 2

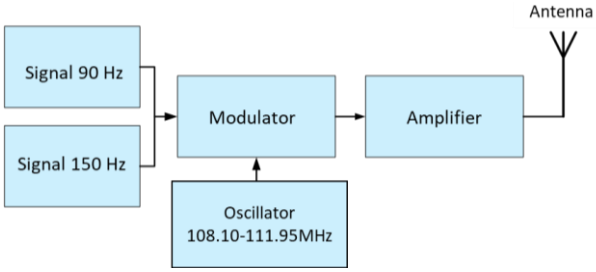


รูปที่ 2 เครื่องรับสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน

การทำงานของระบบมาร์เกอร์บีคอน เมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งคลื่นวิทยุขึ้นไปในอากาศ เครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ติดตั้งไว้ในอากาศยาน จะรับสัญญาณคลื่นวิทยุและมีวงจรกรองความถี่ทำหน้าที่แยกสัญญาณข่าวสารออกจากสัญญาณพาห์ และสัญญาณจะถูกส่งไปยังตัวแสดงผลเพื่อแสดงผลในรูปของสัญญาณแสงและสัญญาณเสียง เมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ผ่านตัวส่งสัญญาณเอาท์เตอร์มาร์กเกอร์ เครื่องรับสัญญาณมาร์เกอร์บีคอนที่ติดตั้งไว้ในอากาศยานจะแสดงผลที่หลอดไฟสีน้ำเงิน (Blue) จะติดสว่างและจะได้ยินเสียงความถี่ของสัญญาณ 400 Hz ซึ่งเป็นรหัสมอสที่มีจังหวะยาว ๆ 2 ครั้งต่อวินาที เมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ผ่านตัวส่งสัญญาณมิดเดิ้ลมาร์กเกอร์ สัญญาณมาร์เกอร์บีคอนที่ติดตั้งไว้ในอากาศยานจะแสดงผลที่ทำให้หลอดไฟสีอำพัน (Amber) ติดสว่างและจะได้ยินเสียงความถี่ของสัญญาณ 1,300 Hz ที่เป็นรหัสมอสที่มีจังหวะสั้น ๆ 95 ครั้งต่อนาที และเมื่ออากาศยานเคลื่อนที่ผ่านตัวส่งสัญญาณอินเนอร์มาร์กเกอร์ เครื่องรับสัญญาณมาร์เกอร์บีคอนที่ติดตั้งไว้ในอากาศยานจะแสดงผลที่ทำให้หลอดไฟสีขาว (White) ติดสว่างและจะได้ยินเสียงความถี่ของสัญญาณ 3,000 Hz ที่เป็นรหัสมอสที่มีจังหวะสั้น ๆ 6 ครั้งต่อวินาที เมื่อนักบินได้มองเห็นหลอดไฟสว่างที่มีสีแตกต่างกันและได้ยินเสียงของความถี่ของสัญญาณข่าวสารที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าระยะห่างของอากาศยานและตำแหน่งของหัวรันเวย์ที่จะลงจอดมีระยะทางที่แตกต่างกัน ซึ่งระบบมาร์กเกอร์บีคอนจะเป็นตัวช่วยเตือนให้นักบินทราบถึงระยะห่างของตัวอากาศยานและรันเวย์ เพื่อจะได้เตรียมความพร้อมในการนำเครื่องบินร่อนลงจอดที่รันเวย์ได้อย่างปลอดภัย

2.3 ระบบโลคอลไลเซอร์ (Localizer)

ระบบโลคอลไลเซอร์ (Localizer) เป็นระบบที่ใช้บอกตำแหน่งของแนวกึ่งกลางของรันเวย์ให้กับอากาศยานหรือเครื่องบิน เพื่อให้นักบินทราบว่าในการนำเครื่องบินร่อนลงจอดนั้น เครื่องบินอยู่ในวิถีกึ่งกลางของรันเวย์หรือไม่ การนำเครื่องบินร่อนลงจอดนี้เครื่องบินจะต้องไม่เอียงไปอยู่ด้านซ้ายหรือด้านขวาของแนวกึ่งกลางรันเวย์ นักบินจะต้องบังคับให้เครื่องบินร่อนลงจอดในแนวกึ่งกลางของรันเวย์เท่านั้น เพื่อให้เครื่องบินร่อนลงจอดอย่างปลอดภัย ระบบโลคอลไลเซอร์เป็นระบบส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ติดตั้งไว้ที่ภาคพื้นดินบริเวณที่ส่วนด้านปลายของรันเวย์ในสนามบิน เพื่อกำหนดเส้นทางที่จะนำเครื่องบินร่อนลงจอดที่สนามบิน บล็อคไดอะแกรมของเครื่องส่งโลคอลไลเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3

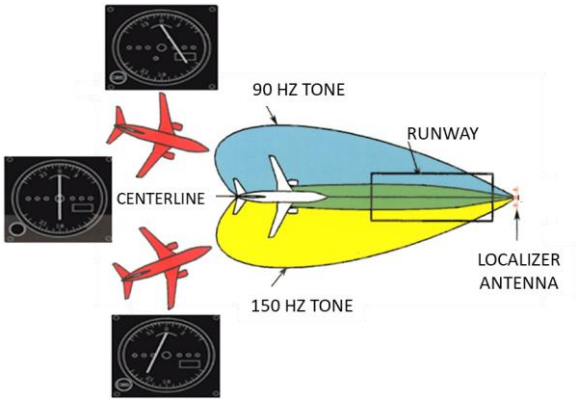


รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมเครื่องส่งโลคอลไลเซอร์

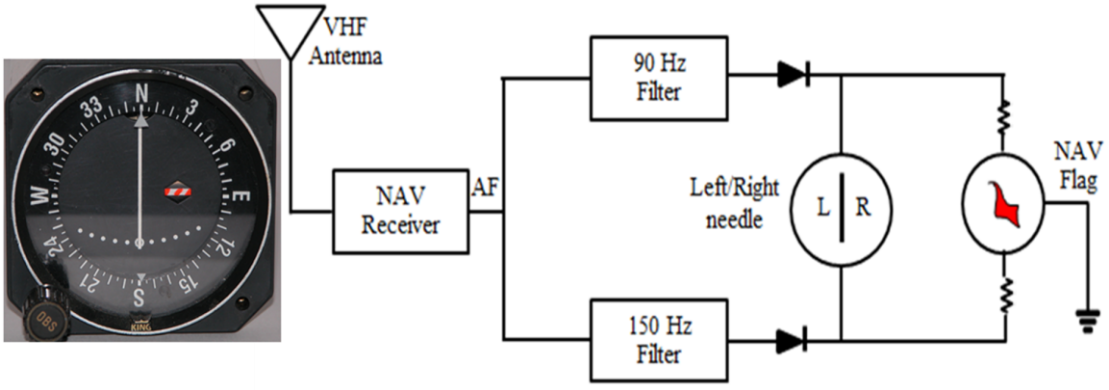
รูปที่ 3 แสดงบล็อคไดอะแกรมของเครื่องส่งโลคอลไลเซอร์ ประกอบด้วย วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณพาห์ ความถี่ในช่วง 108.10-111.95 MHz สัญญาณข่าวสารที่มีสองความถี่ ได้แก่ 90 Hz และ 150 Hz สัญญาณพาห์และสัญญาณข่าวสารจะไปมอดูเลทเชิงขนาดและส่งผ่านวงจรขยายสัญญาณที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีอัตราการขยายที่สูงขึ้น ทำให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ในระยะทางไกล โดยมีสายอากาศทำหน้าที่กระจายสัญญาณคลื่นวิทยุซึ่งตำแหน่งของเสาอากาศของเครื่องส่งสัญญาณจะติดตั้งอยู่บริเวณปลายทางของรันเวย์ที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่อากาศยานหรือเครื่องบินร่อนลงจอด [6] ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 เครื่องบินร่อนจอดบริเวณเส้นกึ่งกลางรันเวย์ [7]

เครื่องส่งโลคอลไลเซอร์จะมีการกระจายคลื่นวิทยุที่มีแบบรูปแยกออกเป็นสองส่วน เพื่อให้เครื่องรับสัญญาณของโลคอลไลเซอร์ที่ติดตั้งไว้ในอากาศยานรับสัญญาณและทำการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณทั้งสอง เมื่อเครื่องรับรับสัญญาณที่มีความแรงของสัญญาณทั้งสองความถี่ได้เท่ากัน จะทำให้อากาศยานสามารถร่อนลงจอดที่บริเวณเส้นแบ่งกึ่งกลางของรันเวย์ได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การแพร่กระจายคลื่นของโลคอลไลน์เซอร์ [7]



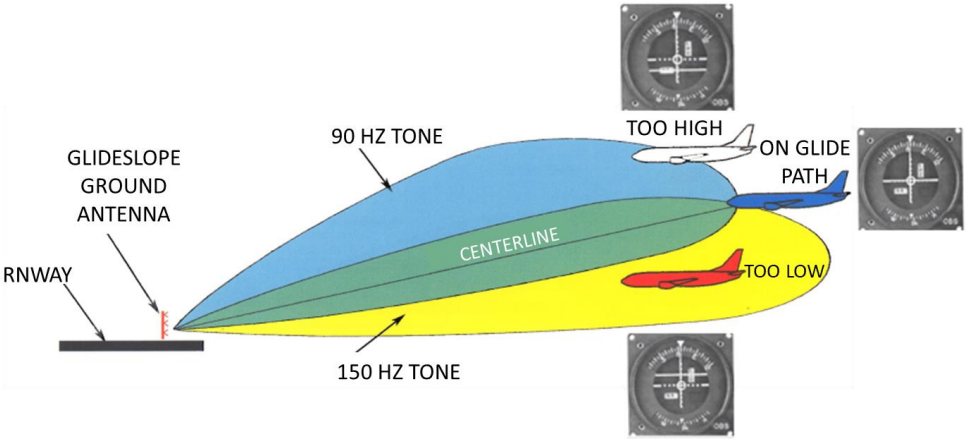
รูปที่ 6 บล็อคไดอะแกรมเครื่องรับโลคอลไลน์เซอร์ [8]

รูปที่ 6 แสดงการทำงานของเครื่องรับสัญญาณโลคอลไลเซอร์ที่ใช้หลักการของการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณความถี่ 90 Hz และ 150 Hz นั่นคือถ้าอากาศยานอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของรันเวย์ การรับสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz จะมีความแรงเท่ากัน ดังนั้นเข็มชี้ (Point needle) จะแสดงตำแหน่งตรงกึ่งกลางของหน้าจอแสดงผล ถ้าอากาศยานอยู่ในตำแหน่งทางซ้ายของรันเวย์ ซึ่งเป็นการรับสัญญาณ 90 Hz ที่มีความแรงมากกว่าสัญญาณ 150 Hz จะพบว่าเข็มชี้ของชุดแสดงผลจะเบี่ยงเบนตำแหน่งออกจากตำแหน่งกึ่งกลางไปทางด้านขวามือ ซึ่งหมายถึงตำแหน่งกึ่งกลางของรันเวย์จะอยู่ทางด้านขวามือของอากาศยาน แต่ถ้าอากาศยานอยู่ในตำแหน่งทางขวาของรันเวย์ ซึ่งเป็น

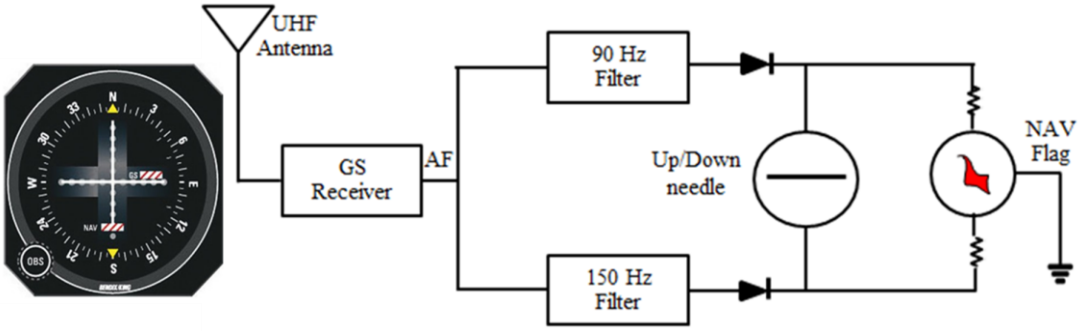
การรับสัญญาณ 150 Hz ที่มีความแรงมากกว่าสัญญาณ 90 Hz จะพบว่าตัวเข็มชี้ของชุดแสดงผลจะเบี่ยงเบนตำแหน่งออกจากตำแหน่งกึ่งกลางไปทางด้านซ้ายมือ ซึ่งหมายถึงตำแหน่งกึ่งกลางของรันเวย์จะอยู่ทางด้านซ้ายของอากาศยาน เมื่อนักบินพบว่าเข็มชี้แสดงผลเบี่ยงเบนไปในทิศทางใด นักบินต้องบังคับหรือควบคุมอากาศยานให้ไปตามทิศทางของเข็มชี้แสดงผล เพื่อให้อากาศยานอยู่ในตำแหน่งตรงกึ่งกลางรันเวย์เสมอ อันจะทำให้สามารถนำอากาศยานร่อนลงจอดอย่างปลอดภัย สำหรับกรณีที่เกิดสถานะของธง (Flag) สีขาว-แดง ปรากฏบนหน้าจอแสดงผล หมายความว่าเครื่องรับโลคอลไลเซอร์ไม่ทำงาน

2.4 ระบบไกด์สโลป (Gide Slope)

ไกด์สโลปเป็นระบบที่ใช้บอกหรือระบุตำแหน่งของมุมสำหรับร่อนลงสู่รันเวย์ของอากาศยานหรือเครื่องบิน โดยมุมที่ใช้สำหรับร่อนลงนี้ คือมุม 3 องศา การร่อนลงจอดที่รันเวย์นี้ อากาศยานจะต้องไม่อยู่สูงหรือต่ำกว่าตำแหน่งของมุมที่ร่อนลง โดยนักบินจะต้องบังคับให้อากาศยานร่อนลงในวิถีแนวของมุม 3 องศา เท่านั้น เพื่อให้อากาศยานร่อนลงจอดที่รันเวย์บริเวณจุดทัชดาวน์ (Touch down) ได้อย่างปลอดภัย การทำงานของระบบไกด์สโลป จะใช้หลักการส่งและรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุในย่านความถี่ 329.5-335.0 MHz ที่ทำการมอดดูเลตสัญญาณเชิงขนาด โดยใช้สัญญาณพาห์ผสมกับสัญญาณข่าวสารสองความถี่ ได้แก่ สัญญาณความถี่ 90 Hz และความถี่ 150 Hz แล้วแพร่กระจายสัญญาณออกไปในทิศทางเดียวกันกับรันเวย์ที่ทำมุมสูงขึ้นไป 3 องศาจากตำแหน่งทัชดาวน์ของอากาศยาน วงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีอัตราการขยายที่สูงขึ้น ทำให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลขึ้น โดยคลื่นวิทยุจะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นดังแสดงในรูปที่ 7 [9]



รูปที่ 7 การแพร่กระจายคลื่นของสถานีไกด์สโลป [4]



รูปที่ 8 บล็อคไดอะแกรมเครื่องรับไกด์สโลป

รูปที่ 8 แสดงการทำงานของเครื่องรับสัญญาณไกด์สโลปจะใช้หลักการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz นั่นคือ ถ้าเครื่องบินอยู่ในตำแหน่งไกด์ไลน์ของมุมร่อนลง 3 องศา การรับสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz จะมีความแรงเท่ากัน ดังนั้นเข็มชี้แสดงผลจะแสดงตำแหน่งตรงกลางของหน้าจอแสดงผล ถ้าอากาศยานอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าไกด์ไลน์ของมุมร่อนลง 3 องศา เครื่องรับสัญญาณไกด์สโลปจะรับสัญญาณ 90 Hz ที่มีความแรงมากกว่าสัญญาณ 150 Hz ดังนั้น จะพบว่า เข็มชี้แสดงผลจะเบี่ยงเบนตำแหน่งออกจากตำแหน่งกึ่งกลางไปทางด้านล่าง (Down) ซึ่งหมายถึงอากาศยานอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่ามุมร่อนลง 3 องศา แต่ถ้าอากาศยานอยู่ในตำแหน่งต่ำกว่ามุมร่อนลง 3 องศา ซึ่งสัญญาณ 150 Hz จะมีความแรงมากกว่าสัญญาณ 90 Hz ที่พบว่า เข็มชี้แสดงผลจะเบี่ยงเบนตำแหน่งออกจากตำแหน่งกึ่งกลางไปทางด้านบน (Up) ซึ่งหมายถึง อากาศยานอยู่ในตำแหน่งต่ำกว่ามุมร่อนลง 3 องศา เมื่อนักบินพบว่าเข็มชี้แสดงผลเบี่ยงเบนไปในตำแหน่งสูงกว่าหรือต่ำกว่าตำแหน่งกึ่งกลางของจอแสดงผล นักบินต้องบังคับหรือควบคุมอากาศยานให้เป็นไปตามตำแหน่งของตัวแสดงผล เช่น ถ้าเข็มชี้แสดงผลชี้ที่ตำแหน่งสูงกว่า (Up) ตำแหน่งกึ่งกลางจอแสดงผล นักบินต้องควบคุมเครื่องบินให้ไต่ระดับความสูงขึ้นมา จนกระทั่งอ่านค่าของเข็มชี้แสดงผลอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของจอแสดงผล ซึ่งจะทำให้การนำอากาศยานร่อนลงจอดที่รันเวย์ที่จุดทัชดาวน์เป็นไปอย่างปลอดภัย ในกรณีที่สถานะของธง (Flag) สีขาว-แดงของระบบไกด์สโลปปรากฏบนหน้าจอแสดงผล หมายความว่า ระบบไกด์สโลปไม่ทำงาน

3. การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาชุดทดลองระบบนำร่อน

การเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยานเป็นการศึกษาเกี่ยวกับระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบสื่อสารที่ใช้ในอากาศยาน รวมถึงการซ่อมบำรุงอากาศยาน ซึ่งผู้เรียนจะต้องเข้าใจถึงระบบสื่อสารที่ใช้ในอากาศยาน ระบบนำร่อง ระบบการแสดงผล และระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องบิน ผู้เรียนต้องเรียนรู้และเข้าใจหลักการทำงานการรับส่งคลื่นวิทยุ ต้องมีความรู้ทั้งทางด้านทฤษฎีและการปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามชุดทดลองเกี่ยวกับระบบนำร่อง จะมีราคาแพงมาก และมีจำนวนไม่เพียงพอ ส่งผลให้ผู้เรียนจึงขาดทักษะและประสบการณ์ทางด้านการปฏิบัติการ ดังนั้นจึงมีกรอบแนวคิดในการสร้างชุดทดลองของระบบนำร่อนที่นำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานมาใช้งานเพื่อสร้างเป็นชุดทดลองระบบนำร่อน ที่สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบและจำลองการซ่อมบำรุงระบบนำร่อนในอากาศยานได้

3.2 การวิเคราะห์หลักสูตรวิศวกรรมอากาศยาน

การพัฒนาชุดทดลองระบบนำร่อน เริ่มต้นจากศึกษาประเด็นปัญหา ความต้องการของผู้เรียนและผู้สอน หลังจากนั้นวิเคราะห์หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยาน กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและหัวข้อเนื้อหา ออกแบบรูปแบบการเรียนรู้ กำหนดกิจกรรมการเรียนการสอน ออกแบบวิธีการวัดและประเมินผล จากนั้นเขียนแผนการจัดการเรียนการสอนปฏิบัติการ สำหรับหัวข้อของเนื้อหาที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ระบบนำร่อนของอากาศยาน ที่สามารถสร้างชุดทดลองจำนวน 3 ชุด ได้แก่ ระบบมาร์กเกอร์บีคอน (Marker Beacon) 2) ระบบโลคอลไลเซอร์ (Localizer) และ 3) ระบบไกด์สโลป (Guide Slope)

3.3 การพัฒนาชุดทดลองระบบนำร่อน

แนวทางการพัฒนาชุดทดลองในครั้งนี้ คือการนำเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ มาสร้างเป็นชุดทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal generator) ที่มีความถี่การใช้งานในย่าน VHF และ UHF เครื่องมือวัดออสซิลโลสโคป นอกจากนี้ได้นำเครื่องรับสัญญาณของระบบมาร์กเกอร์บีคอน ระบบ

โลคอลไลเซอร์ และระบบไกด์สโลป (Guide Slope) ดังแสดงในรูปที่ 9 มาใช้ประกอบร่วมกันเพื่อให้สามารถใช้ในการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถจำลองการทำงานของเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้ในระบบนำร่อนได้ ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์หลักการรับและส่งสัญญาณวิทยุ สามารถเข้าใจหลักการทำงานและศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการปรับค่าของสัญญาณที่จำเป็นในระบบการนำร่อนของอากาศยานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดของหลักสูตร

รูปที่ 9 ชุดทดลองการส่งสัญญาณในระบบนำร่อน

ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถจำลองการทำงานของเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้ในระบบนำร่อนได้ ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์หลักการรับและส่งสัญญาณวิทยุ สามารถเข้าใจหลักการทำงานและศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการปรับค่าของสัญญาณที่จำเป็นในระบบการนำร่อนของอากาศยานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดของหลักสูตร

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองระบบนำร่องของอากาศยาน ดำเนินการโดยการทดลองและวัดทดสอบโดยใช้เครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการและเปรียบเทียบหรืออ้างอิงผลการทดสอบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริง ตลอดจนการทดลองนำไปใช้งานกับกลุ่มผู้เรียนที่ลงทะเบียนในหลักสูตร EASA Course B1.1 ในระดับ Module 7 รวบรวมและสรุปผลการวิจัย

4. การสร้างชุดทดลองสำหรับการวิจัย

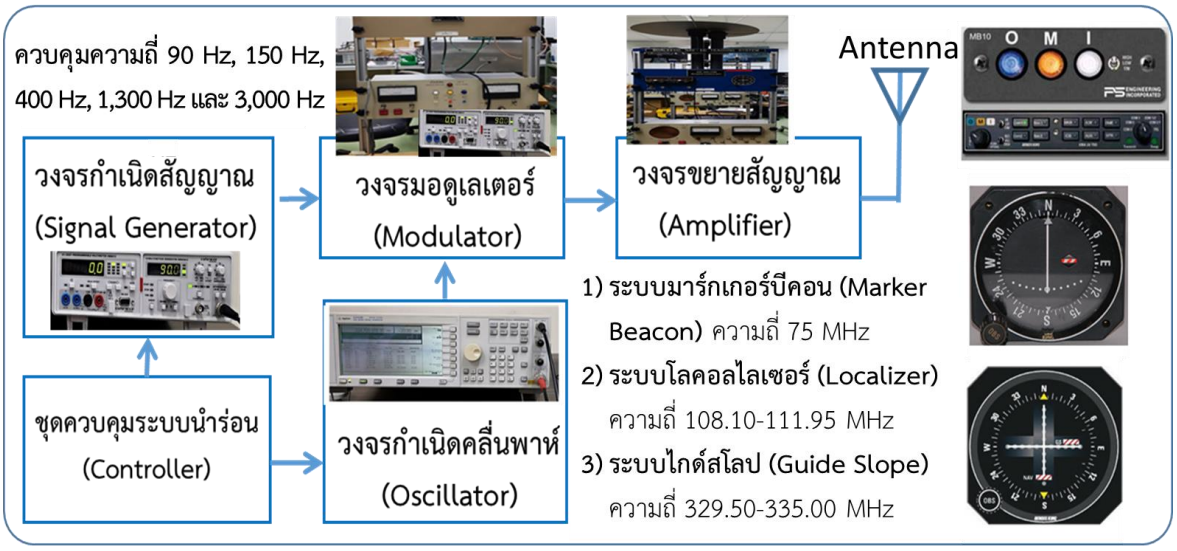
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยทำการศึกษา ออกแบบและสร้างชุดทดลองระบบนำร่องของอากาศยาน จากนั้นนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ รายละเอียดของการออกแบบและสร้างของชุดทดลองมีดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบชุดทดลองระบบนำร่อน

การออกแบบชุดทดลองระบบนำร่องของอากาศยานสำหรับการวิจัยนี้ จะประกอบด้วย ใบเนื้อหา ใบปฏิบัติงานแบบทดสอบ และชุดทดลองเครื่องส่งสัญญาณของระบบนำร่องของอากาศยาน ที่ประกอบด้วย 1) ระบบมาร์กเกอร์บีคอน (Marker Beacon) 2) ระบบโลคอลไลเซอร์ (Localizer) และ 3) ระบบไกด์สโลป (Guide Slope) เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนในการจัดการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการสอนเชิงบูรณาการ MISDOP model [1] ที่มีกระบวนการสอน 6 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างแรงจูงใจ (Motivation) การให้เนื้อหา (Information) การวิเคราะห์และแก้ปัญหา (Solution) การอภิปราย (Discussion) การฝึกปฏิบัติการ (Operation) และการประเมินผลผล (Progress) สำหรับโครงสร้างการออกแบบและสร้างชุดทดลองเครื่องส่งของระบบนำร่องของอากาศยาน แสดงดังรูปที่ 10 โดยได้ดำเนินการสร้างชุดทดลองเครื่องส่งที่นำเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องประลองและระบบวงจรเครื่องส่งที่พัฒนาขึ้นมาเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานให้เป็นไปตามคุณสมบัติของระบบนำร่องของอากาศยานตามขั้นตอนการปฏิบัติงานในเอกสารการสอนที่พัฒนาขึ้น

4.2 การสร้างชุดส่งสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน

การสร้างชุดส่งสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน จะมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วย 1) เครื่องกำเนิดสัญญาณ Keysight รุ่น E4432B 2) สายอากาศแบบไดโพล 3) เครื่องวัดออสซิลโลสโคป โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณ Keysight รุ่น E4432B มีวงจรมอดูเลเตอร์ (Internal



รูปที่ 10 ชุดทดลองเครื่องส่งระบบนำร่อนของกาศยาน

modulator) ภายในตัว จึงสามารถประยุกต์ใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน ได้ทั้งสามรูปแบบ ได้แก่ เอาท์เตอร์มาร์กเกอร์ (Outer Marker) มิดเดิ้ลมาร์กเกอร์ (Middle Marker) และอินเนอร์มาร์กเกอร์ (Inner Marker) โดยการสร้างชุดเครื่องส่งสัญญาณมาร์กเกอร์บีคอน ต้องกำหนดให้ใช้ความถี่พาห์ 75 MHz จากนั้นทำการมอดูเลทเชิงขนาด และใช้ความถี่ข่าวสารที่ 400 Hz 1,300 Hz และ 3,000 Hz ตามลำดับ จากนั้นกำหนดกำลังในการส่งเท่ากับ 0 dBm ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลทที่ 95 % เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้ว สามารถทดสอบการส่งสัญญาณของระบบมาร์กเกอร์บีคอนได้ แสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งพบว่าให้ผลการทำงานที่สอดคล้องกับเครื่องส่งระบบมาร์กเกอร์บีคอนทุกประการ

รูปที่ 11 ชุดทดลองการส่งระบบมาร์กเกอร์บีคอน

4.3 การสร้างชุดส่งสัญญาณระบบโลคอลไลเซอร์

การสร้างชุดส่งสัญญาณระบบโลคอลไลเซอร์ จะมีเครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ประกอบไปด้วย 1) เครื่องกำเนิดสัญญาณรุ่น Keysight (Agilent/HP) E4432B 2) สายอากาศแบบไดโพล 3) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ และ 4) เครื่องวัดออสซิลโลสโคป โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณ Keysight รุ่น E4432B สามารถกำเนิดสัญญาณความถี่พาห์ระหว่าง 108.10-111.95 MHz จากนั้นทำการมอดูเลทเชิงขนาด โดยใช้ฟังก์ชั่นการมอดูเลทแบบ External modulator และกำหนดใช้ความถี่ข่าวสารที่ 90 Hz และ 150 Hz จากนั้นกำหนดกำลังในการส่งเท่ากับ 0 dBm ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลทที่ระดับ 95 % ซึ่งพบว่าสามารถใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณแบบโลคอลไลเซอร์ได้อย่างเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 ชุดทดลองการส่งระบบโลคอลไลซ์เซอร์

4.4 การสร้างชุดส่งสัญญาณระบบไกด์สโลป

การสร้างชุดส่งสัญญาณระบบไกด์สโลปจะมีเครื่องมือและอุปกรณ์ ที่ประกอบไปด้วย 1) เครื่องกำเนิดสัญญาณรุ่น Keysight (Agilent/HP) E4432B 2) สายอากาศแบบไดโพล 3) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ และ 4) เครื่องวัดออสซิลโลสโคป หลักการทำงานของเครื่องส่ง

ไกด์สโลปจะเหมือนกับการทำงานของระบบโลคอลไลด์เซอร์ เพียงแต่ว่าสัญญาณพาห์จะทำงานในย่านความถี่ UHF ระหว่าง 329.50-335.00 MHz แนวทางการสร้างชุดเครื่องส่งสัญญาณไกด์สโลปแสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งพบว่าสามารถใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณระบบไกด์สโลปได้อย่างเหมาะสม

รูปที่ 13 ชุดทดลองการส่งสัญญาณระบบไกด์สโลป

5. ผลของการวิจัย

5.1 ผลของชุดทดลองระบบมาร์กเกอร์บีคอน

การทดสอบชุดทดลองเครื่องส่งสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน ที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุผ่านสายอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอน ซึ่งพบว่า เมื่อส่งสัญญาณแบบเอาเตอร์มาร์กเกอร์ ที่เครื่องรับจะสามารถรับสัญญาณคลื่นวิทยุที่ส่งมาได้ โดยหลอดไฟสีน้ำเงินจะสว่างและผู้ใช้งานจะได้ยินเสียงสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 400 Hz ที่เครื่องรับสัญญาณ เมื่อเปลี่ยนระบบสัญญาณเป็นแบบมิดเดิ้ลมาร์กเกอร์ ที่เครื่องรับจะสามารถรับสัญญาณคลื่นวิทยุได้ โดยหลอดไฟสีอำพันจะสว่าง และจะได้ยินเสียงสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 1,300 Hz ที่เครื่องรับสัญญาณ เมื่อเปลี่ยนระบบสัญญาณเป็นแบบอินเนอร์มาร์กเกอร์ที่เครื่องรับจะสามารถรับสัญญาณคลื่น วิทยุได้ โดยหลอดไฟสีขาวจะสว่าง และจะได้ยินเสียงสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 3,000 Hz ที่เครื่องรับสัญญาณ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าเครื่องส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้จริง ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดส่งสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอนที่กำลังส่งระดับ 0 dBm หรือ 1 mW ซึ่งเป็นค่ากำลังส่งมาตรฐานของเครื่องส่งสัญญาณในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องส่งมาร์กเกอร์บีคอน

กำลังส่งเครื่องส่ง (dBm)	ระยะทางการรับ-ส่งสูงสุด (เมตร)	จำนวนการส่งสัญญาณ	ความถูกต้องของการรับสัญญาณ (%)
0 dBm	4 เมตร	100 ครั้ง	100 %
0 dBm	5 เมตร	100 ครั้ง	100 %
0 dBm	6 เมตร	100 ครั้ง	90 %
0 dBm	7 เมตร	100 ครั้ง	70 %
0 dBm	8 เมตร	100 ครั้ง	30 %
0 dBm	10 เมตร	100 ครั้ง	< 10 %

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบใช้งานชุดเครื่องส่งสัญญาณระบบมาร์กเกอร์บีคอนที่พัฒนาขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานในห้องปฏิบัติการที่มีกำลังส่ง 1 mW ที่ระยะทางในการรับ-ส่งไม่เกิน 5 เมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นชุดทดลองนี้สามารถแสดงรูปสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสัญญาณระบบมาร์กเกอร์-บีคอน ดังแสดงในรูปที่ 14 ที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างเหมาะสม

รูปที่ 14 สัญญาณการมอดูเลทระบบมาร์กเกอร์บีคอน

5.2 ผลของชุดทดลองระบบโลคอลไลน์เซอร์

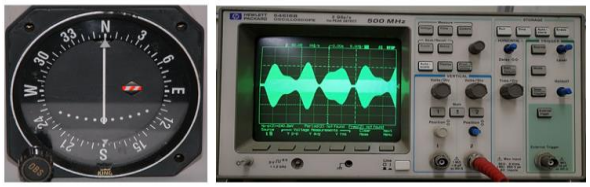
การทดสอบชุดทดลองเครื่องส่งระบบโลคอลไลเซอร์ที่ส่งคลื่นวิทยุผ่านสายอากาศไปยังเครื่องรับสัญญาณระบบโลคอลไลเซอร์ ซึ่งพบว่า เมื่อส่งสัญญาณระบบโลคอลไลเซอร์ที่ความถี่ 108.10 MHz เครื่องรับจะสามารถรับสัญญาณคลื่นวิทยุได้ โดยหน้าปัดแสดงผลจะแสดงสถานะของธง (Flag) และตัวเข็มชี้แสดงผลจะเบี่ยงเบนไปทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของตำแหน่งกึ่งกลางของตัวแสดงผล ทั้งนี้ขึ้นกับการปรับค่าความแรงของสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 90 Hz และ 150 Hz กรณีถ้าปรับค่าให้มีความแรงของสัญญาณทั้งสองความถี่เท่ากัน เข็มชี้ของชุดแสดงผลจะอยู่ตำแหน่งตรงกลางของหน้าจอ แสดงให้ว่า

เครื่องบินหรืออากาศยานจะอยู่ตำแหน่งในบริเวณเส้นกึ่งกลางของรันเวย์ ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าเครื่องส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำงานได้จริง ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดส่งสัญญาณระบบโลคอลไลเซอร์ที่ใช้กำลังส่งที่ระดับ 0 dBm หรือ 1 mW ซึ่งเป็นค่ากำลังส่งมาตรฐานของเครื่องส่งสัญญาณในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเครื่องส่งมาร์กเกอร์บีคอน

กำลังส่งของเครื่องส่ง (dBm)	ระยะทางของการรับ-ส่งสูงสุด (เมตร)	จำนวนการส่งสัญญาณ	ความถูกต้องของการรับสัญญาณ (%)
0 dBm	4 เมตร	100 ครั้ง	100 %
0 dBm	5 เมตร	100 ครั้ง	100 %
0 dBm	6 เมตร	100 ครั้ง	91 %
0 dBm	7 เมตร	100 ครั้ง	73 %
0 dBm	8 เมตร	100 ครั้ง	32 %
0 dBm	10 เมตร	100 ครั้ง	< 5 %

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบใช้งานชุดเครื่องส่งสัญญาณระบบโลคอลไลน์เซอร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานในห้องปฏิบัติการที่ระยะทางในการรับ-ส่งไม่เกิน 5 เมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นชุดทดลองนี้สามารถแสดงรูปสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวกับสัญญาณระบบโลคอลไลน์เซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 15 ได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 15 สัญญาณการมอดูเลทระบบโลคอลไลน์เซอร์

5.3 ผลของชุดทดลองระบบไกด์สโลป

การทดสอบชุดทดลองการส่งสัญญาณของระบบไกด์สโลป พบว่า เมื่อมีการส่งสัญญาณที่ความถี่ 334.70 MHz เครื่องรับจะสามารถรับสัญญาณคลื่นวิทยุได้ โดยจะสังเกตที่หน้าปัดแสดงผลจะพบสถานะของธง (Flag) และตัวเข็มชี้ของชุดแสดงผลจะเบี่ยงเบนไปทางบนหรือด้านล่างของตำแหน่งกึ่งกลางของตัวแสดงผล ทั้งนี้ขึ้นกับการปรับค่าความแรง (Amplitude) ของสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 90 Hz และ 150 Hz และเมื่อปรับค่าความแรงของสัญญาณข่าวสารที่ความถี่ 90 Hz และ 150 Hz ให้มีความแรงเท่ากัน เข็มชี้ของชุดแสดงผลจะอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าจอ แสดงให้เห็นว่าเครื่องบินหรืออากาศยานจะอยู่ในย่านของมุมร่อนลง ที่ระดับไม่เกิน 3 องศา นั่นเอง ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าเครื่องส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นนี้ สามารถทำงานได้จริง สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดส่งสัญญาณระบบโลคอลไลเซอร์ที่ระดับ 0 dBm หรือ 1 mW ซึ่งเป็นค่ากำลังส่งมาตรฐานของเครื่องส่งสัญญาณ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเครื่องส่งมาร์กเกอร์บีคอน

กำลังส่งของเครื่องส่ง (dBm)	ระยะทางของการรับ-ส่งสูงสุด (เมตร)	จำนวนการส่งสัญญาณ	ความถูกต้องของการรับสัญญาณ (%)
0 dBm	4 เมตร	100 ครั้ง	100 %
0 dBm	5 เมตร	100 ครั้ง	100 %
0 dBm	6 เมตร	100 ครั้ง	93 %
0 dBm	7 เมตร	100 ครั้ง	72 %
0 dBm	8 เมตร	100 ครั้ง	33 %
0 dBm	10 เมตร	100 ครั้ง	<2 %

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบใช้งานชุดเครื่องส่งสัญญาณระบบไกด์สโลปที่พัฒนาขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานในห้องปฏิบัติการที่ระยะทางในการรับ-ส่งไม่เกิน 5 เมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นชุดทดลองนี้สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ในการรับส่ง แสดงรูปสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการรับส่งสัญญาณของระบบไกด์สโลป ดังแสดงในรูปที่ 16 ได้อย่างเหมาะสม

รูปที่ 16 สัญญาณของการมอดูเลทระบบไกด์สโลป

5.4 การทดลองใช้ในการเรียนการสอน

การทดลองใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นในการจัดการเรียนการสอน โดยใช้รูปแบบการสอนแบบบูรณาการทั้งทฤษฎีและปฏิบัติการแบบ MISDOP model [1] ที่ลงทะเบียนในหลักสูตร EASA Course B1.1 ในระดับ Module 7 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สภาพการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียน แสดงในรูปที่ 17

รูปที่ 17 การใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับกลุ่มผู้เรียน

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\overline{X}$	S.D.	แปลผล
1) ส่งเสริมความเข้าใจหลักการทำงานของระบบนำร่อนของอากาศยาน	4.30	0.46	มาก
2) สามารถนำไปใช้ในการทดลองและปฏิบัติงานได้อย่างเหมาะสม	4.30	0.58	มาก
3) สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานในอากาศยาน	4.18	0.52	มาก
4) สามารถใช้ศึกษาและเรียนรู้ระบบของการส่งและการรับสัญญาณของระบบการนำร่อน	4.29	0.14	มาก
5) ส่งเสริมทักษะการปฏิบัติการที่ตรงตามมาตรฐาน EASA	4.24	0.43	มาก
6) ความพึงพอใจในภาพรวมของชุดทดลองระบบการนำร่อนที่พัฒนาขึ้น	4.13	0.13	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.24	-	มาก

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนจำนวน 18 คน พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24) ที่สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการทำงานของระบบนำร่อนของอากาศยานได้อย่างรวดเร็ว สามารถทดลองและปฏิบัติการใช้งานและศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับระบบการนำร่อนได้อย่างเหมาะสม ตลอดจนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการซ่อมบำรุงอากาศยาน และมีทักษะการปฏิบัติการตรงตามมาตรฐาน EASA ซึ่งผลการเปรียบเทียบการใช้งานของชุดทดลองการส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นกับชุดเครื่องมือจำลองการส่งสัญญาณของระบบนำร่อน รุ่น IFR 4000 ที่ใช้งานจริง แสดงดังตารางที่ 5 ที่แสดงให้เห็นว่า เครื่องส่งสัญญาณที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ในส่วนหัวข้อที่สำคัญที่มีความสอดคล้องกับชุดเครื่องมือจำลองการส่งสัญญาณของระบบนำร่อน IFR 4000 แต่อาจมีฟังก์ชั่นการทำงานที่น้อยกว่าเครื่องมือจำลองจริง หลังจากที่ผู้เรียนได้ทดลองใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น คณะผู้วิจัยได้ประเมินความพึงพอใจจากการสัมภาษณ์ผู้เรียน พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากชุดทดลองดังกล่าวสามารถใช้งานและทดสอบวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบนำร่อนได้จริง ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้ และมีทักษะในการปฏิบัติการเพิ่มมากขึ้น โดยผู้เรียนมีทักษะในการปฏิบัติการด้านระบบนำร่อนของอากาศยานที่สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานที่หลักสูตรกำหนด

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการใช้งานโดยผู้เรียน

หัวข้อที่ทดสอบ	ผลของเครื่องมือ IFR 4000	ผลการใช้ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น
การปรับเปลี่ยนความถี่พาห์	เปลี่ยนแปลงค่าความถี่ได้	เปลี่ยนแปลงค่าความถี่ได้
การปรับเปลี่ยนกำลังของเครื่องส่ง	เปลี่ยนกำลังของเครื่องส่งได้	เปลี่ยนกำลังของเครื่องส่งได้
การปรับเปลี่ยนดัชนีการมอดูเลท	เปลี่ยนดัชนีการมอดูเลทได้	เปลี่ยนดัชนีการมอดูเลทได้
ฟังก์ชั่นการทำงาน	มีหลากหหลาย	แบบเฉพาะทาง
รูปร่างของสัญญาณ	แสดงผลรูปร่างของสัญญาณได้	แสดงผลรูปร่างของสัญญาณได้

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาชุดทดลองระบบนำร่อนสำหรับอากาศยานที่ได้นำเครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้เป็นชุดทดลองลองการส่งสัญญาณในระบบนำร่อนของอากาศยาน ซึ่งชุดทดลองที่สร้างขึ้นนี้มีราคาถูก สามารถใช้วัดทดสอบและปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการส่งและรับสัญญาณของระบบนำร่อนได้จริง ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจหลักการทำงานของระบบนำร่อนได้ดีขึ้น และเมื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอนในหลักสูตร EASA พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจระดับมากในการใช้งานของชุดทดลองระบบนำร่อนที่พัฒนาขึ้น และมีผลการประเมินทักษะการปฏิบัติการด้านระบบนำร่อนของอากาศยานตรงตามมาตรฐาน EASA ดังนั้นชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีความเหมาะสมที่สามารถนำไปใช้จัดการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์อากาศยานและในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการระบบนำร่อนและได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาและสร้างชุดทดลองระบบนำร่อนในบทความนี้ ได้ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบโดยมีการบูรณาการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการพัฒนาเป็นชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพ ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ มีทักษะและสร้างประสบการณ์ขึ้นได้ด้วยตนเอง ผู้เรียนมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียน และระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเกี่ยวกับระบบนำร่อนได้อย่างรวดเร็วและหลากหลายขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรมีการพัฒนานวัตกรรมสื่อการสอนที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น การออกแบบโปรแกรมจำลอง การสร้างสื่อเสมือนจริง การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ เป็นต้น ที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมอากาศยานการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] N. Tangthong and S. Akatimagool, "Engineering Instructional Management using MISDOP Integrated Learning Model," in *The International STEM Education Conference (iSTEM-Ed 2016)*, Pattaya, 2016.

[2] S. Thanaputtiwirot, j. Samartchotiphan and S. Akatimagool, "Development and Efficiency Validation of an Electronics Engineering Laboratory Instructional Package using PESDEEP Learning Model," in *The 8th National Conference on Technical Education*, Bangkok, 2015. (in Thai)

[3] A. Promtee and C. Akkanit, "Development of Instruction Model by FATAC Model on Electromagnetic Field and Wave for Electrical Engineering Program," *Advanced Materials Research,* vol. 1, pp. 1477-1481, 2014.

[4] E. Clark, "ILS Instrument Landing System [internet]," 2018. [Online]. Available: http://slideplayer.com/slide/6649718/. [Accessed 5 March 2018].

[5] C. wijerathne, "Instrument Landing Systems (ILS)," 2018. [Online]. Available: http://okigihan.blogspot.com/2017/05/instrument-landing-systems-ils.html. [Accessed 5 March 2018].

[6] "Instrument Landing Systems," 2015. [Online]. Available: https://www.fairchild.af.mil/News?/Photos/igphoto/2001258718/. [Accessed 14 July 2015].

[7] "Aircraft Landing," 2015. [Online]. Available: https://www.dortmund-airport.de/nachbarn/instrumentenlandesystem. [Accessed 14 July 2015].

[8] "Localizer," 2014. [Online]. Available: https://www.slideshare.net/alexantrine92/nav-topic-10-instrument-landing-systems. [Accessed 10 february 2014].

[9] "Glideslope," 2014. [Online]. Available: http://theriteshop.com/shop/ecom-prodshow/ki208.html. [Accessed 10 february 2014].