

## การพัฒนาเครื่องฝึกบินจำลองชนิดสามองศาอิสระ A DEVELOPMENT OF 3-DOF FLIGHT SIMULATOR

อภิสิทธิ์ หล่อนกลาง<sup>#</sup> และ ชโลธร ธรรมแท้<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

\* E-mail chalothorn@sut.ac.th, โทร. 044-22-4410, โทรสาร 044-22-4613

<sup>#</sup> E-mail tech.sut.ac.th@gmail.com, โทร. 08-9717-1016

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องฝึกจำลองการบิน ที่จะใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอากาศยาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี การสร้างเครื่องฝึกบินจำลองนี้จะทำการสร้างห้องนักบิน (cockpit) การจำลองภาพการบินจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างภาพ โดยจะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมอากาศยานเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้การตอบสนองของภาพที่ปรากฏเหมือนกับการบินจริง อีกทั้งเครื่องมือวัดประกอบการบินต่าง ๆ จะเชื่อมต่อเข้ากับระบบควบคุม เพื่อให้การตอบสนองของเครื่องมือวัดมีความสมจริง ในด้านการเคลื่อนที่เครื่องต้นแบบนี้ จะสร้างให้ห้องนักบินสามารถเคลื่อนที่ได้ใน 3 ทิศทาง คือ การควง (roll) การเงย (pitch) และการเคลื่อนที่ตอบสนองกับความเร่งหรือแรงกระแทก (shock) โดยการทำงานจะใช้เครื่องกระตุ้นด้วยมอเตอร์ขนาดเล็กในการจำลองการเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้จะเป็นการออกแบบระบบเชื่อมโยงเพื่อควบคุมการทำงานของส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนการเคลื่อนที่ของห้องนักบิน ส่วนแสดงผลภาพที่มองจากห้องนักบิน ส่วนแสดงผลเครื่องมือวัดประกอบการบิน และส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของอากาศยานให้ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เครื่องฝึกบินจำลองนี้ให้ความรู้สึกคล้ายกับการขึ้นบินบนอากาศยาน ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะทำให้วิศวกรด้านการบินและอากาศยานสามารถมีเครื่องจำลองการบินที่มีราคาถูกกว่าสร้างจากต่างประเทศ และสามารถผลิตขึ้นเองในมหาวิทยาลัย ซึ่งถือว่าเป็นการสร้างนวัตกรรมใหม่อย่างหนึ่ง

**คำหลัก:** เครื่องฝึกบินจำลอง, สามองศาอิสระ

### Abstract

The goal of this research is to build a flight simulator prototype for using in aeronautical engineering class of Suranaree University of Technology (SUT). The flight simulator prototype including cockpit of training aircraft, image by on-the-shelf program is connected to the computer with control stick for sense the real feeling of flight. The flight instruments are also included. For getting the real feeling of flight, this prototype can move in 3 axes including roll, pitch and shock by using three servo motors for controlling the platform. Cockpit image will show in 3 multiple screens, two of which will show the look forward view, two others show the left and right views, and the last one show the instruments panel which also touch screen monitor for adjust the flight instruments. X-Plane v9 has an appropriate properties, because it can connect to the motion signal generator to control the servo motors for platform moving following the maneuver of the real flight.

**Keywords:** flight simulator, 3-DOF

## AME-01

### 1. บทนำ

ระบบจำลองการบิน (Flight Simulator) เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มศักยภาพให้กับนักบิน โดยช่วยฝึกฝนการทำการบินให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งยังช่วยให้ผู้ที่มีความสนใจทางด้านการบินสามารถศึกษาหาความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องบินผ่านระบบจำลองการบิน เพื่อหลีกเลี่ยงการบินจริงซึ่งเป็นเรื่องที่เสี่ยงต่ออุบัติเหตุ และสิ้นเปลืองงบประมาณเป็นจำนวนมาก โปรแกรมเกมส์จำลองการบินที่มีวางขายในท้องตลาดคือ โปรแกรม X-Plane และ Microsoft Flight Simulator X (FSX) นั่นก็ยังสามารถทำได้เพียงการบินผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 หากจะต้องการให้ระบบจำลองการบินนี้เสมือนจริงมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์เชื่อมต่อ นั่นคือ ระบบการเคลื่อนที่ซึ่งจะสามารถช่วยให้ผู้ทำการบินรับรู้ถึงแรงกระทำที่มีต่ออากาศยานขณะทำการบินต่าง ๆ โดยแรงกระทำนั้นจะช่วยให้รับรู้ได้ว่าทำการบินที่บินอยู่ในระบบจำลองการบิน มีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด[1][2]



รูปที่ 1 เกมจำลองการบิน



รูปที่ 2 เครื่องจำลองการบิน[3]

### 2. โปรแกรมจำลองการบิน

เป็นการศึกษาโปรแกรมจำลองการบินที่เหมาะสมต่อการพัฒนาไปสู่เครื่องฝึกบินจำลอง โดยโปรแกรมจำลองการบินในท้องตลาดที่นำมาศึกษามี 2 โปรแกรมด้วยกันคือ X-Plane v9 และ Microsoft Flight Simulator X (FSX) โดยโปรแกรมที่เหมาะสมต่อการสร้างเครื่องฝึกบินจำลองควรมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- สามารถต่อสัญญาณภาพออกมากกว่า 1 หน้าจอได้
- ส่งข้อมูลสถานะท่าทางการบินออกมาให้ผู้ใช้ได้

ตารางที่ 1 ความสามารถของโปรแกรม Flight Simulator

หัวข้อ/ โปรแกรม	X-Plane v9	Microsoft Flight Simulator X
การต่อออก หลายหน้าจอ	ต่อออกหลาย หน้าจอต้องใช้ คอมพิวเตอร์ เท่ากับจำนวน จอที่ออก	สามารถใช้ คอมพิวเตอร์เพียง ตัวเดียวในการต่อ ออกหลายหน้าจอ
การส่งสถานะ ท่าทางการบิน	ทำได้	ทำไม่ได้

ผลการศึกษาคคุณลักษณะดังกล่าวแสดงอยู่ในตารางที่ 1 ผลการศึกษาทำให้สรุปได้ว่าโปรแกรม X-Plane v9 มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นโปรแกรมแสดงผลการจำลองการบิน

### 3. การรับ-ส่งข้อมูลท่าทางการบิน

การส่งข้อมูลสถานะท่าทางการบินแบบเรียลไทม์นั้นอาศัยการส่งผ่านข้อมูลแบบ UDP Protocol โปรโตคอล UDP ถูกพัฒนาให้เป็นโปรโตคอลสำหรับระบบงานที่ไม่ต้องการความเชื่อถือระดับสูง อาจกล่าวได้ว่าโปรโตคอล UDP เป็นโปรโตคอลที่ง่ายที่สุดในชุดโปรโตคอล TCP/IP ทำให้ระบบที่ใช้โปรโตคอล UDP มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงเหมาะสมกับระบบงานเรียลไทม์[8]

## AME-01

### 4. การออกแบบแผ่นเคลื่อนไหว

เมื่อก้าวถึงแผ่นเคลื่อนไหว ได้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างเหมาะสมจนเป็นที่แพร่หลายกันมาก เช่น เครื่องจำลองการขับซึ่รถยนต์ (Driving Simulator), เครื่องฝึกหัดบิน (Flight Simulator) หรือ เครื่องเล่นในสวนสนุกต่าง ๆ ตามตัวอย่างในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือการสร้างสภาวะให้ผู้ใช้ขับซึ่ได้รู้สึกเหมือนหรือใกล้เคียงกับการขับซึ่ยานพาหนะจริงให้มากที่สุด โดยเฉพาะเครื่องจำลองการบิน ที่ได้นำมาฝึกทดสอบการบินเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดจากการบินจริงและยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบินแต่ละเที่ยวบินอีกด้วย



(a) การขับซึ่รถยนต์

(b) ฝึกหัดบิน

รูปที่ 3 เครื่องจำลอง (a.) การขับซึ่รถยนต์

(b.) ฝึกหัดบิน



รูปที่ 4 เครื่องเล่นในสวนสนุก

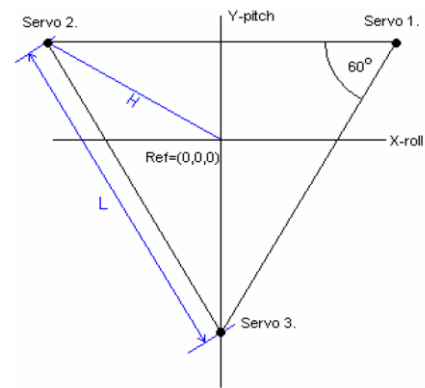
สำหรับเครื่องจำลองที่มีความสมจริงมากขึ้นนั้น ต้องเป็นเครื่องจำลองที่มีการปฏิสัมพันธ์กับผู้ขับซึ่ และสามารถจำลองได้ทั้งภาพ, เสียงและการเคลื่อนไหว ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถรับรู้การเคลื่อนไหวที่สมจริงมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะการรับรู้ถึงแรงอันเกิดจากความเร่งในการระหว่างการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ที่มากกระทำกับผู้ขับซึ่ให้รู้สึกเหมือนกับว่าได้เคลื่อนที่อยู่จริง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการสร้างแผ่นเคลื่อนไหวจำลองที่สามารถสร้างสภาวะการเคลื่อนไหวได้ 3 องศาอิสระ โดยจะอยู่ในรูปของหุ่นยนต์โครงสร้างขนาน (Parallel Robot)

การออกแบบหุ่นยนต์หรือแขนกลโครงสร้างขนานในงานวิจัยนี้สามารถเคลื่อนไหวได้ 3 องศาอิสระ คือในทิศทางรอบแกน X-Y (Roll-Pitch) และทิศทาง

ตามแกน Z โดยพิจารณาเลือกใช้ เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นระบบขับเคลื่อนแขนกล (Actuator) ให้เคลื่อนไหวตามต้องการ ซึ่งจะมีขั้นตอนการคำนวณหาพิกัดการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนไหว (Platform) ดังนี้

#### 4.1 ระบบแกนอ้างอิง

การเปลี่ยนระบบแกนนั้นทำได้โดยการนำเอาแกนพิกัดจากมากำหนดพิกัดทั้งตำแหน่งในแนวระดับและความสูงในแนวแกนตั้ง โดยกำหนดรูปแบบและพิกัดของแท่นเคลื่อนที่[3],[6]-[7] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบแกนอ้างอิง (L = ระยะห่างของ Servo)

ตำแหน่งเริ่มต้นของจุดเชื่อมต่อแผ่นเคลื่อนไหว ทั้งสามกำหนดโดยระบบพิกัดข้างต้นดังสมการดังนี้

$$P_1 = \left( \frac{L}{2}, \frac{L}{2\sqrt{3}}, 0 \right) \quad (1)$$

$$P_2 = \left( -\frac{L}{2}, \frac{L}{2\sqrt{3}}, 0 \right) \quad (2)$$

$$P_3 = \left( 0, -\frac{L}{\sqrt{3}}, 0 \right) \quad (3)$$

โดยตำแหน่งทั้งสามนั้นใช้กำหนดเป็นเมทริกตำแหน่งตามแนวแกน โดยตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์หรือชุดส่งกำลังนั้นอาจมิได้ติดตั้งอยู่ในแนวที่ตรงกัน อาจมีระยะห่างกันเป็นระยะ d จากศูนย์กลาง ซึ่งในระบบแกนอ้างอิงนั้นหมายถึงระยะทางในแนวแกน Y เมทริกผลลัพธ์จากตำแหน่งเริ่มต้นทั้งหมดสามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกได้ดังสมการที่ 4

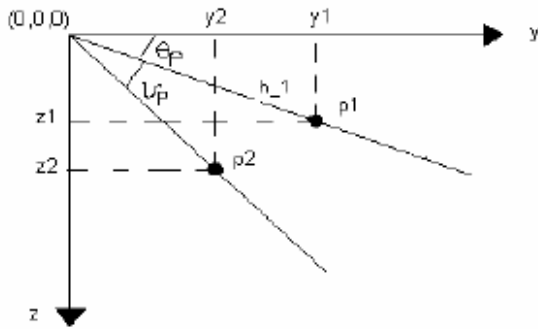
$$P_{123} = \begin{bmatrix} \frac{L}{2} & -\frac{L}{2} & 0 \\ \frac{L}{2\sqrt{3}} + d & \frac{L}{2\sqrt{3}} + d & -\frac{L}{\sqrt{3}} + d \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

## AME-01

แผ่นเคลื่อนไหวจะทำการหมุนรอบแกนทั้งหมดสองแกนและการเคลื่อนที่อีกหนึ่งครั้ง ซึ่งการเคลื่อนที่นั้นสามารถถูกเขียนให้อยู่ในรูปของ linear transformations โดยใช้เมทริกเป็นตัวดำเนินการได้

การเคลื่อนที่ทั้งสามรูปแบบของแผ่นเคลื่อนไหวประกอบด้วย

### 4.2 การเคลื่อนที่ปักเงย (Pitch motion)



รูปที่ 6 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ปักเงยนั้นเป็นการหมุนรอบแกน  $x$  ดังในรูปที่ 6 แกน  $x$  พุ่งตั้งฉากเข้าไปในกระดาษซึ่งแสดงด้วยจุด การหมุนจากจุด  $P_1$  ที่มีมุม  $\theta_p$  ไปยังจุด  $P_2$  ด้วยมุมที่หมุนไปเป็นมุม  $\nu_p$

### 4.3 การเคลื่อนที่รอบแกน Y (Roll motion)

การเคลื่อนที่แบบ Roll นั้นเป็นการหมุนรอบแกน  $y$  ด้วยมุมการหมุน  $\nu_r$

### 4.4 การเคลื่อนที่ตามแกน Z (Heave motion)

การเคลื่อนที่แบบสุดท้ายนั้นคือการเคลื่อนที่บนแกน  $z$  โดยการเคลื่อนที่นั้นสามารถเพิ่มค่าการเคลื่อนที่ได้โดยตรงที่แกน  $z$  ของทุกจุด

โดยจะได้ transformation matrix สุดท้ายดังนี้

$$P_{prz} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

เมื่อ

$$x_1 = -\left(\frac{\sqrt{3}L}{6} + d\right) \sin(\nu_p) \sin(\nu_r) + \frac{L}{2} \cos(\nu_r)$$

$$x_2 = -\left(\frac{\sqrt{3}L}{6} + d\right) \sin(\nu_p) \sin(\nu_r) - \frac{L}{2} \cos(\nu_r)$$

$$x_3 = -\left(-\frac{\sqrt{3}L}{6} + d\right) \sin(\nu_p) \sin(\nu_r)$$

$$y_1 = y_2 = \left(\frac{\sqrt{3}L}{6} + d\right) \cos(\nu_p)$$

$$y_3 = \left(-\frac{\sqrt{3}L}{3} + d\right) \cos(\nu_p)$$

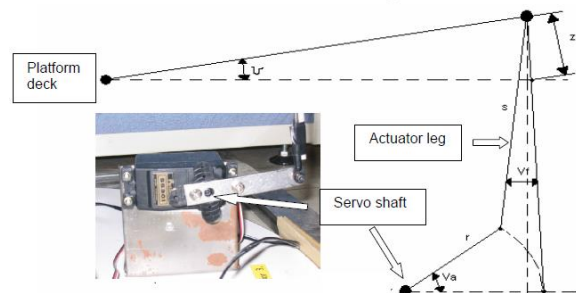
$$z_1 = \left(\frac{\sqrt{3}L}{6} + d\right) \sin(\nu_p) \cos(\nu_r) + \frac{L}{2} \sin(\nu_r) + z$$

$$z_2 = \left(\frac{\sqrt{3}L}{6} + d\right) \sin(\nu_p) \cos(\nu_r) - \frac{L}{2} \sin(\nu_r) + z$$

$$z_3 = \left(-\frac{\sqrt{3}L}{3} + d\right) \sin(\nu_p) \cos(\nu_r) + z$$

### 4.5 การเตรียมข้อมูลเพื่อส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์

จากเมทริก  $P_{prz}$  ในสมการที่ (5) ซึ่งให้พิกัดของจุดเชื่อมต่อของแผ่นเคลื่อนไหวกับจุดยึดมอเตอร์ทั้งสามโดยตำแหน่งที่ได้นั้นเทียบกับระบบแกนอ้างอิงในหัวข้อข้างต้น แกนเชื่อมต่อกันระหว่างจุดเชื่อมต่อกับเพลลาของเซอร์โวมอเตอร์มีรูปร่างตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของเพลลา  $V_a$  และ มุมของแท่นเคลื่อนไหว  $\nu$

เพื่อที่จะหามุมการหมุนของเพลลาเซอร์โวมอเตอร์เพื่อให้ได้การทำมุมของแท่นเคลื่อนไหวที่เป็นไปตามมุมที่ต้องการหมุนไป ในการคำนวณหาต้องการค่า  $z_{position}$  ของทุก ๆ จุดเชื่อมต่อต่อแผ่นเคลื่อนไหว ซึ่งหาได้จากแถวสุดท้ายของเมทริก  $P_{prz}$  ในสมการที่ (5) ซึ่งจะทำให้สามารถหามุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวได้จากความสัมพันธ์ในสมการดังนี้

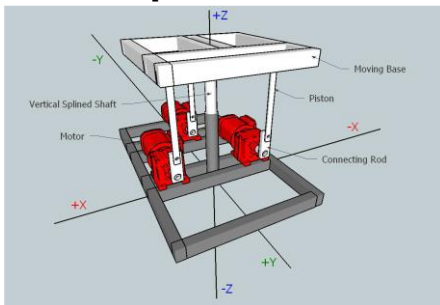
$$V_a = \sin^{-1}\left(\frac{z_{position}}{r}\right) \quad (6)$$

## AME-01

จากนั้นค่ามุมที่ได้จากการคำนวณในสมการข้างต้นก็จะสามารถนำมาแปลเป็นสัญญาณ Pulse Width Modulation (PWM) เพื่อใช้ในการสั่งงานเซอร์โวมอเตอร์แต่ละตัวให้ไปในตำแหน่งที่ต้องการอยู่ในช่วง  $\pm 30^\circ$  [5]

### 5. ข้อจำกัดการเคลื่อนที่

ในการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนไหวนี้ จะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ครบทุกองศาแต่จะมีมุมการเคลื่อนที่จำกัดโดยปกติแล้วขอบเขตการทำงานของแผ่นเคลื่อนไหว่นั้นจะสามารถหาค่าตอบได้เมื่อทำการสร้างและทดสอบแล้วเท่านั้น[4] และยังมีผู้ทำการบันทึกค่ามุมที่แผ่นเคลื่อนไหวสามารถทำได้ของ T1R2 Manipulator (3DOF Motion Platform) ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 T1R2 Motion Platform[4]

โดยมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนไหวในสามรูปแบบการเคลื่อนไหวดังตารางที่ 2 ซึ่งแผ่นเคลื่อนไหวของงานวิจัยนี้มีค่ามุมสูงสุดในการเคลื่อนที่ของงานวิจัยนี้เป็นดังตารางที่ 3

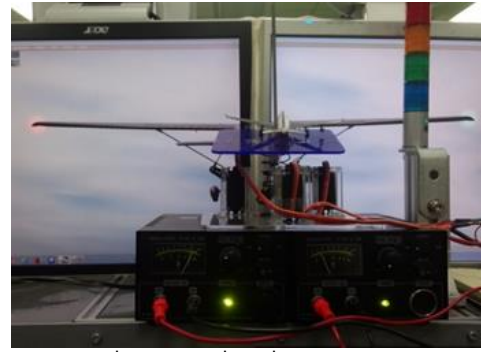
ตารางที่ 2 ข้อจำกัดการเคลื่อนที่แบบ 3 องศาอิสระ

Manipulator	Min. Value	Max. Value
Heave range	-10.0 cm	+10.0 cm
Pitch range	-30.52°	+30.52°
Roll range	-26.21°	+26.21°

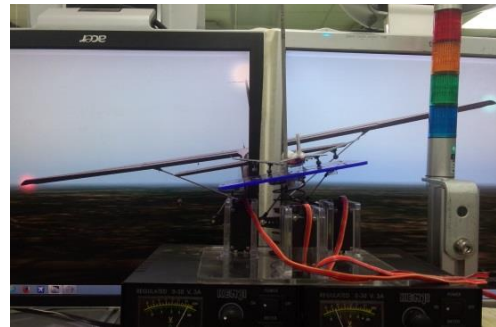
ตารางที่ 3 ข้อจำกัดการเคลื่อนที่ของแผ่นเคลื่อนไหวในงานวิจัยนี้

Manipulator	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Heave Range	-20 mm	+20 mm
Pitch Range	-15 องศา	+15 องศา
Roll Range	-20 องศา	+20 องศา

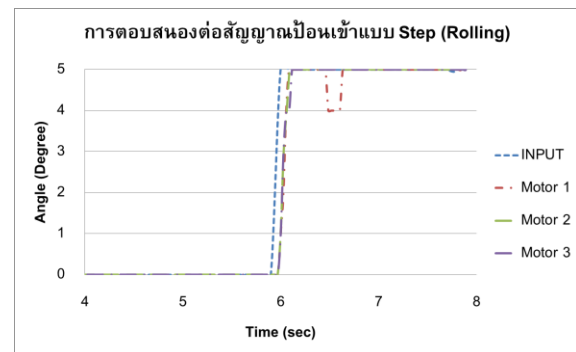
### 5.1 ลักษณะการเคลื่อนที่และการตอบสนอง



รูปที่ 9 การเคลื่อนที่แบบ Pitching



รูปที่ 10 การเคลื่อนที่แบบ Rolling



รูปที่ 9 การตอบสนองจากฟังก์ชันแบบขั้นบันได

จากกราฟการตอบสนองจากฟังก์ชันแบบขั้นบันไดพบว่า ระบบสามารถตอบสนองได้อย่างทันทีทันใด โดยยังมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สถานะคงตัวของชั้นต่างๆ ประมาณ 1 องศา โดยจะพบการสั่นของการตอบสนองเนื่องจากการดิ่งรั้งของอุปกรณ์จึงทำให้ระบบต้องใช้เวลาในการตอบสนองเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการตามค่าที่ป้อนเข้า จากการทดลองทั้งสามครั้งพบว่าอาจมีการตอบสนองที่ไม่พร้อมกันในช่วงเริ่มต้นของแต่ละขั้นบันได แต่สามารถเข้าสู่สถานะคงตัวได้ใกล้เคียงกัน

## AME-01

### 6. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องจำลองการบินต้นแบบที่สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 องศาอิสระ (Roll, Pitch และ Heave) เพื่อศึกษาการเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรมจำลองการบินและเครื่องจำลองการเคลื่อนที่ ซึ่งจากการศึกษาเครื่องจำลองการบินต้นแบบ ผู้วิจัยได้ทำการดึงค่าของข้อมูลท่าทางการเคลื่อนที่แบบ Roll แบบ Pitch และค่าความเร่งของเครื่องบินจากโปรแกรมจำลองการบินแล้วนำมาแปลงเป็นการเคลื่อนที่ของเครื่องจำลองการบิน โดยผลการวิจัยเครื่องจำลองการบินที่ออกแบบสามารถเชื่อมโยงกับโปรแกรมจำลองการบินที่มีอยู่ในห้องทดลองและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องจำลองการบินได้ตามจุดประสงค์ที่วางไว้ และสามารถนำไปเป็นต้นแบบเพื่อสร้างเครื่องจำลองการบินจริงได้อีกด้วย จากการทดลองพบว่าการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจำลองการบินต้นแบบนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดของการควบคุมมุมมองการเคลื่อนที่ของเครื่องจำลองการบินคือ 1-2 องศาของการควบคุมการเคลื่อนที่ทั้ง Pitch และ Roll และมีขีดจำกัดในการเคลื่อนที่แบบ Pitch คือ  $\pm 15^\circ$  การเคลื่อนที่แบบ Roll คือ  $\pm 20^\circ$  และการเคลื่อนที่ที่ขึ้นลงในแนวแกน Z  $\pm 20$  มิลลิเมตร

### 6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ใช้ระบบควบคุมแบบเปิด ดังนั้นจึงอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น หากต้องการให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น สามารถใช้ระบบควบคุมแบบปิด โดยทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดท่าทางการเคลื่อนที่เพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อป้อนสัญญาณการตรวจสอบท่าทางและทำการแก้ไข ให้ได้ท่าทางที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสร้างเครื่องจำลองควรสำรวจอุปกรณ์ที่มีในห้องทดลองว่ามีขนาดตามที่ได้ทำการออกแบบไว้หรือไม่ เพื่อให้เครื่องจำลองการบินนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

ควรนำเครื่องจำลองต้นแบบนี้ ไปพัฒนาสร้างเครื่องจำลองการบินที่สามารถบรรจุทุกภาวะกรรม (นักบินและ อุปกรณ์การบิน) ได้จริง

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษดา จันท์แดง (2551). “การจำลองพลศาสตร์ยานยนต์ร่วมกับยานพาหนะจริงแบบย่อส่วน (COLLABORATION OF VEHICLE DYNAMIC SIMULATION WITH SCALING VEHICLE)”, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] Baarspul, M., Hosman, R. J., Van der Vaart, J. C. (1986). Some fundamentals of simulator cockpit motion generation. Advances in Flight Simulation: Visual and Motion Systems, London, Royal Aeronautical Society (RAeS).
- [3] Rekdalsbakken, W. Design and Application of a Motion Platform in Three Degrees of Freedom. SIMS 2005 46th Conference on Simulation and Modeling.
- [4] Sergio C. (2014). Toward an Extensible Simulator of Real Motion Platform. Simulation Modeling Practice and Theory, University of the West of Scotland.
- [5] Mohammad K. Design and Development of 6-DOF Motion Platform for Vehicle Driving Simulator. Universiti Teknologi Malaysia.
- [6] Chiew Y. S. (2008). Kinematic Modeling of Driving Simulator Motion Platform. Proceeding of the 2008 IEEE Conference on Innovative Technologies in Intelligent System and Industrial Applications, Multimedia University, Malaysia, 12-13 July 2008.
- [7] Stewart D.: A Platform with Six Degrees of Freedom. The Institution of Mechanical Engineers, Proceedings 1965-66, 180 Part 1, No. 15, pages 371-386.
- [8] Boyin Ding. (2011). Real-time FPGA Control of a Hexapod Robot for 6-DOF Biomechanical Testing. IECON2011 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Melbourne, Australia, 7-10 November 2011.