

# เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มตามความต้องการ หลักสูตรเส้นทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ

วิภาส คงคาร์ตัน<sup>1</sup> และสมสฤษฎ์ สิ้นหน่ง<sup>2\*</sup>

วันที่รับ 4 เมษายน 2563 วันที่แก้ไข 15 เมษายน 2563 วันที่ตอบรับ 17 เมษายน 2563

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้รายงานผลการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มตามความต้องการหลักสูตรเส้นทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ โดยชี้ให้เห็นผลสัมฤทธิ์ของการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรเส้นทางอากาศโดยมีหลักฐานการขอรับการสนับสนุนผลการวิจัยและพัฒนาซึ่งมีการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมและบังคับร่มตามหลักการทางวิศวกรรมระบบของร่มชนิด MC1-1B มีการประเมินภาระกรรมในการหมุนร่มตามอัตรา Descent Rate การคำนวณแรงบิด การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นเชือกซึ่งนำไปสู่การออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์จากการคำนวณ Moment of Inertia ของการหมุนและได้ข้อสรุปในการเลือกมอเตอร์และการเลือกขนาดสายไฟและขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร นอกจากนี้ยังเสนอแนะแนวทางในการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มต่อไปในเชิงสถิติและการคำนวณประสิทธิภาพให้ออกมาเป็นตัวเลขก่อนนำระบบเข้าสู่การพัฒนาในเชิงพาณิชย์

**คำสำคัญ :** เครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม, เครื่องช่วยฝึกเทคโนโลยีสูง, โรงเรียนสงครามพิเศษ

<sup>1</sup> โรงเรียนสงครามพิเศษ ศูนย์สงครามพิเศษ หน่วยบัญชาการสงครามพิเศษ

<sup>2</sup> ฝ่ายองค์ความรู้และการเผยแพร่, สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

\* ผู้แต่ง, อีเมล: somsarit.s@dti.or.th

# The development of parachute simulation in compliance with the requirements of Air Delivery course of the Special Warfare school

Vipas Kongkarat <sup>1</sup> and Somsarit Sinnung <sup>2\*</sup>

Received 4 April 2020, Revised 15 April 2020, Accepted 17 April 2020

## Abstract

This research paper reports the development of parachute simulation in compliance with the requirements of Air Delivery Course of the Special Warfare School. By pointing out the achievement of research and development of the Air Delivery course, it is evident that the project achieved the goal in which the Special Warfare School issued the letter of request for the support of research and development of this kind. The simulator was designed to closely follow the system engineering concept after the investigation of the parachute type MC1-1B. The rotation load was evaluated according to the Descent Rate and force calculation. The twist calculation of force in each rope was determined, leading to the motor detailed design and selection from the Moment of Inertia calculation of rotation. The conclusion of motor selection and selection of the wire size and short circuit protection device was finalized. In addition, further studies for research and development were suggested on statistically calculated and numerical effectiveness before the system is commercially developed.

**Keywords :** Parachute simulator, advanced simulator, Special Warfare school

---

<sup>1</sup> Special Warfare Command

<sup>2</sup> Knowledge and Publication Management Department - TKP, Defence Technology Institute.

\* Corresponding author, E-mail: somsarit.s@dti.or.th



## 1. บทนำ

โรงเรียนสงครามพิเศษ ศูนย์สงครามพิเศษ เป็นสถาบันการศึกษาทางด้านการสงครามพิเศษ เปิดการสอนหลักสูตรส่งทางอากาศ โดยแบ่งการฝึกออกเป็น 2 ภาคการฝึก คือ การฝึกภาคพื้นดินในภาคที่ 1 และการฝึกภาคอากาศในภาคที่ 2 ซึ่งเป็นการกระโดดร่มจากอากาศยาน โดยในภาคที่ 1 แบ่งออกเป็น 6 สถานีฝึก คือ สถานีฝึกที่ 1 การปฏิบัติบนอากาศยาน สถานีฝึกที่ 2 การฝึกกระโดดสูง 34 ฟุต สถานีฝึกที่ 3 การบังคับร่ม สถานีฝึกที่ 4 การฝึกการลงพื้นจากแท่น 2 และ 4 ฟุต สถานีฝึกที่ 5 การใช้ร่ม และสถานีฝึกที่ 6 การลงพื้นจากรอกวิ่ง

นักเรียนในหลักสูตรส่งทางอากาศต้องเรียนรู้และฝึกความชำนาญให้เคลื่อนไหวได้อย่างแม่นยำ การควบคุมจะทำได้เมื่อผ่านการฝึกซ้ำ R.H. Jeffrey [1] อธิบายการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มที่ใช้งบประมาณต่ำ แต่ได้รับการปรับแต่งเป็นพิเศษเพื่อให้ครูฝึกใช้สอนและฝึกทักษะการบังคับร่มแบบมืออาชีพ ทำให้ครูฝึกสามารถฝึกและสอนได้ในขณะที่ผู้รับการฝึกอยู่บนสายร่ม ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถเรียนรู้เทคนิคการบังคับร่มที่ดีและเรียนรู้ผลที่ตามมาของเทคนิคที่ไม่ดีในด้านความปลอดภัยได้อย่างสมบูรณ์แบบ เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มจึงจำเป็นในการสอนและเพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกได้ฝึกทักษะที่จำเป็นในการรับมือกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นขณะอยู่ในอากาศ และการตรวจสอบความถูกต้องผ่านรายงานของผู้ฝึกจะนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพของผู้เข้ารับการฝึกในภายหลัง

การจำลองการฝึกกระโดดร่มชูชีพมีต้นกำเนิดมานานกว่า 12 ปี แล้ว [2] เป็นการฝึกอบรมเพื่อ

ปรับปรุงความปลอดภัยและประสิทธิภาพของนักกระโดดร่มสมัครเล่นและนักกระโดดร่มทางทหาร โดยมีการปรับปรุงการฝึกด้วยการแขวนตัวผู้เข้ารับการฝึกบนบังเหียน แขวนไว้จากด้านบนด้วยสายรัดแบบชุดสวมนักบิน มีถุงมือ หมวกกันน็อก หน้ากากออกซิเจน และที่บังหมวกเป็นอุปกรณ์เสริม มีหลักการคือ เมื่อนักโดดร่มดึงเชือกเขาจะหมุนตัวไปในทิศทางที่ตั้ง ลักษณะเช่นนี้ถือว่าเป็นข้อได้เปรียบในระบบที่ไม่มีเครื่องจำลองแม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างการควบคุมต่อการมองเห็นนั้นจะไม่ดีนัก ความพร้อมใช้งานของเครื่องมือจำลองของร่มชูชีพได้นำไปสู่การพัฒนาความต้องการเพื่อการใช้งานที่หลากหลาย ความต้องการเหล่านี้ก่อให้เกิดการปรับปรุงด้านโปรแกรมจำนวนมากที่เป็นประโยชน์ต่อการฝึกบังคับร่ม [3] และ [4]

บทความวิจัยฉบับนี้อธิบายการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มให้เป็นไปตามความต้องการหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความต้องการผลงานวิจัยและพัฒนาไปประยุกต์ใช้ในการฝึกบังคับร่ม บทความอธิบายความสำคัญของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มจากความต้องการของหน่วยใช้งาน คือ หลักสูตรส่งทางอากาศตามภารกิจของโรงเรียนสงครามพิเศษ วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากกระบวนการในเชิงวิศวกรรมระบบ เพื่อวิเคราะห์ส่วนขับเคลื่อนและระบบควบคุมของเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม จากนั้นจึงทำการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มโดยการประเมินภาระกรรมของการหมุนร่ม การออกแบบระบบไฟฟ้าในการบังคับร่ม และบทความนี้สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและพัฒนาซึ่งเป็นไปตามความต้องการของหน่วยผู้ใช้ โดยการนำหนังสือแจ้งความต้องการเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มไป



ใช้ในหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ มาเป็นสาระสำคัญของข้อสรุป

## 2. ความสำคัญของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึก บังคับร่ม

### 2.1 ความต้องการเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

เครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม ฝึกให้ผู้เข้ารับการฝึก ทราบถึงการปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ เมื่อโดดออกจากอากาศยานแล้วร่มกาง ผู้เข้ารับการฝึกจะต้อง บังคับร่มอย่างไร หันหน้าไปในทิศทางใด และตรวจสอบความสูง ตรวจสอบทิศทางลม จนกระทั่งถึง ขั้นตอนในการเตรียมตัวสู่พื้นได้อย่างปลอดภัย การฝึกในหลักสูตรส่งทางอากาศที่สถานีที่ 3 การฝึก บังคับร่มนั้น ผู้เข้ารับการฝึกจะต้องมีความเข้าใจ ในเรื่องต่าง ๆ ของการฝึกในสถานีนี้เป็นอย่างดี จึงจะสามารถบังคับร่มได้อย่างถูกต้อง ตั้งแต่การโดด ออกจากอากาศยาน ขณะที่ร่มลดระดับต่ำลงเรื่อย ๆ จนถึงขั้นตอนการลงพื้น การจำลองบริบทของการ ฝึกปฏิบัติที่เสมือนจริงเป็นเรื่องสำคัญ และสิ่งที่จะ ช่วยให้การฝึกดังกล่าวบรรลุผลตามที่ต้องการได้นั้น ต้อง อาศัยเครื่องช่วยฝึกที่มีลักษณะคล้ายหรือสามารถ จำลองการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากที่สุด

### 2.2 เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในหลักสูตรส่งทางอากาศ

ในอดีตโรงเรียนสงครามพิเศษใช้เครื่องช่วย ฝึกในสถานีที่ 3 เป็นแบบระบบคูฝึก โดยแยกเป็นผู้ ปฏิบัติและผู้ช่วย ซึ่งการจำลองการหมุนของร่มนั้น จะให้ผู้ปฏิบัติดึงสายบังคับ และผู้ช่วยเป็นผู้หมุน ไปในทิศทางที่ตนเองเข้าใจ ทำให้อัตราเร็วที่เกิดขึ้น

ไม่เท่ากันและไม่เหมือนจริง อีกทั้งหมุนไม่ตรง ทิศทางที่ผู้ปฏิบัติต้องการ การฝึกจึงไม่สอดคล้อง กับการปฏิบัติจริง ผู้เข้ารับการฝึกขาดทักษะและ ประสบการณ์ในการปฏิบัติ ไม่สามารถวัดความรู้ ความเข้าใจ ของผู้รับการฝึกได้อย่างถูกต้อง

ต่อมาได้มีการปรับปรุงเครื่องช่วยฝึกของสถานี ดังกล่าว โดยใช้เหล็กตัดเป็นวงกลมเกี่ยวกับชุดสาย โยงบ่วงของร่ม (รูปที่ 1) ขณะกางปกติในอากาศ ซึ่งสาย โยงบ่วงนั้นจะยึดติดกับชุดสายรัดตัว ซึ่งขณะทำการฝึก เท้าจะลอยพ่นพ่นเหมือนกับกำลังลอยตัวอยู่ในอากาศ และสายบังคับร่มจะเชื่อมต่อกับสวิทช์แบบกระดิ่ง เมื่อดึงสายบังคับด้านที่ต้องการ จะทำให้สวิทช์ทำงาน เชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าผ่านโซ่และเฟืองซึ่งยึดติดกับวง เหล็ก ทำให้วงเหล็กหมุนในอัตราเร็วเท่ากับการดึง สายบังคับเพื่อหมุนร่มให้เปลี่ยนทิศทางในอากาศโดย ประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟและการตั้งอัตราเร็ว ซึ่งเครื่องช่วยฝึกที่ปรับปรุงขึ้นใหม่นั้นเป็นการนำ อุปกรณ์มาดัดแปลง ทำให้มีข้อจำกัดอีกหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมอัตราเร็วที่ไม่คงที่เนื่องจาก เป็นการปรับด้วยมือ การตัดกระแสไฟโดยอัตโนมัติ เมื่อผู้เข้ารับการฝึกบังคับร่มผิดพลาด และยังคงต้องใช้ ระบบคูฝึกเมื่อเครื่องเกิดปัญหาขัดข้องขึ้น



รูปที่ 1 เครื่องช่วยฝึกบังคับร่มของโรงเรียนสงครามพิเศษ



## 2.3 ความสำคัญของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม

การฝึกบังคับร่มที่ให้ผู้เข้ารับการฝึกได้รับการฝึกปฏิบัติที่เสมือนจริง จำเป็นต้องมีเครื่องช่วยฝึกที่มีประสิทธิภาพ สามารถจำลองสถานการณ์ได้และมีความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก เพื่อให้สามารถใช้ในการฝึกปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง สามารถวัดความรู้ ความเข้าใจของผู้เข้ารับการฝึกได้อย่างถูกต้อง และทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก อีกทั้งเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มที่มีจำหน่ายอยู่ในหลายประเทศมีราคาสูงมาก การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มขึ้นมาใช้เองนอกจากจะทำให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างขีดความสามารถและองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาประเทศแล้ว ยังนำไปสู่การลดการซื้อและนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เกิดการผสมผสานเทคโนโลยีจากสาขาวิชาต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ประกอบด้วย เครื่องกล ไฟฟ้า ระบบอัตโนมัติ หรือการจำลองภาพเสมือนจริง เป็นต้น

## 3. การวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมระบบเพื่อพัฒนาส่วนขับเคลื่อนและระบบควบคุม

ในการออกแบบเครื่องช่วยฝึกร่มนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจในระบบการควบคุมร่มจริง โดยชนิดของร่มที่เลือกใช้ในการออกแบบคือ ร่มชนิด MC1-1B (รูปที่ 2) หรือร่มกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Canopy เท่ากับ 35 ฟุต น้ำหนักโดยประมาณ 30 ปอนด์ มีสายร่มทั้งหมด 30 เส้น โดยแต่ละเส้นยาว 25.5 ฟุต และสามารถรับแรงดึงในแต่ละเส้นได้ 375 ปอนด์ ร่มชนิดนี้จะมีช่องผ้าหลังและมีสายบังคับ โดยในการควบคุมร่มจริงนั้นจะบังคับให้ร่มหันหน้าเข้าหาทิศทางลม โดยช่องผ้าหลังอยู่ด้านหลังเพื่อช่วยลดการสร้างการไหลแบบปั่น

ป่วน เมื่อมีการปะทะด้านข้างจะมีการกระตุกสายบังคับข้างที่ลมปะทะลง เพื่อให้เกิดการหมุนของร่มให้หันหน้าไปทิศทางลม นั้น ๆ หลักการพื้นฐานในการบังคับใช้ร่มนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมระบบ เพื่อกำหนดแนวทางการทำงาน การออกแบบ และการพัฒนาระบบหลักของเครื่องช่วยฝึกนี้ หลักการการออกแบบระบบที่ได้จากการวิเคราะห์สรุปดังนี้

1. ทำความเข้าใจพฤติกรรมของแรงที่กระทำกับร่มฝึกและพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการดึงร่มฝึก
2. ออกแบบระบบเชิงกลที่สามารถจำลองสถานการณ์การโคตรร่มจริงได้ ในที่นี้จะใช้การดึงสาย บังคับร่มเป็นตัวส่งการให้ระบบมอเตอร์ทำงานและหมุนชุดเครื่องช่วยฝึกเข้าไปในทิศทางที่ต้องการ
3. ประเมินภาระกรรมที่ใช้ในการหมุนร่มฝึกจากการตอบจากแรงที่ใช้ในการดึงและแรงที่มากระทำกับร่มฝึก
4. นำภาระกรรมที่ได้ไปออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม
5. ออกแบบระบบไฟฟ้าหลักและอุปกรณ์ทางฟ้าหลัก
6. ออกแบบระบบเชิงกลและการจัดวางอุปกรณ์บนเครื่องช่วยฝึกการกระโดดร่ม

ทำซ้ำกระบวนการ 1 ถึง 6 จนการออกแบบระบบรวมมีความลงตัวและเป็นไปตามทฤษฎีการออกแบบพื้นฐาน



รูปที่ 2 แสดงภาพเครื่องช่วยฝึกบินบังคับร่มจากไฟล์ CAD

## 4. การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบินบังคับร่ม

### 4.1 การประเมินภาระกรรมในการหมุนร่ม

#### 4.1.1 อัตรา Descent Rate ของร่ม MC1-1B

โดยทั่วไปแล้วอัตรา Descent Rate ของร่มชูชีพแบบกลมสามารถแสดงได้ดังสมการ (1)

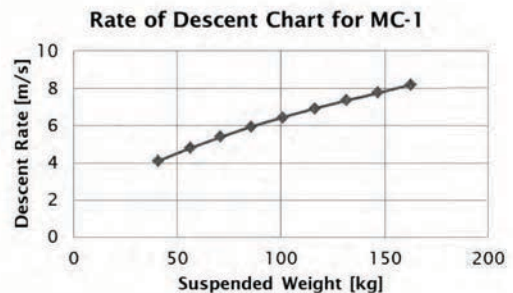
$$v = \sqrt{\frac{2W}{\rho CS}} \quad (1)$$

โดยที่  $V$  เป็นอัตรา Descent  $W$  เป็นน้ำหนักของร่มรวมกับของที่แขวนอยู่กับร่ม  $\rho$  เป็นความหนาแน่นของอากาศ  $C$  เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสำหรับร่มกลมจะมีค่าอยู่ที่ 0.75 และ  $S$  เป็นพื้นที่ผิวของร่ม

จากข้อมูลที่ได้จากไฟล์ CAD ของรูปที่ 2 ร่มนี้จะมีพื้นที่ผิว 6.65 ตารางเมตร น้ำหนักร่มและภาระที่แขวนกับร่มนี้มีค่าอยู่ที่ 213 กิโลกรัม ดังนั้นจะหาค่าอัตรา Descent Rate ของร่มได้เท่ากับ 8.3 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตาม อัตรา Descent Rate ที่ผู้ผลิตกำหนดมาให้มีค่าตามสมการ (2)

$$V = 0.0000005W^3 - 0.0002W^2 + 0.0649W + 1.8055 \quad (2)$$

ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วพบว่า ค่าอัตรา Descent Rate จะมีค่า 10.78 เมตร/วินาที ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3 จึงนำไปใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ Decent Rate และ Suspended Weight

#### 4.1.2 แรงที่เกิดขึ้นในร่ม

จากค่าอัตรา Descent Rate ที่คำนวณได้ นำมาจำลองทางการไหลเพื่อหาแรงต้านทานที่เกิดขึ้นที่ตัวร่ม จากผลการคำนวณได้แรงต้านทานที่เกิดขึ้นในแนวแกน Y มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6,586 นิวตัน

#### 4.1.3 อัตราการหมุนร่ม

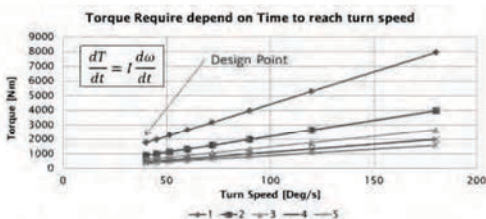
จากคุณลักษณะของร่มที่ได้จากทางผู้ผลิตร่มนั้นระบุว่าร่มมีอัตราการหมุนอยู่ที่ 4-9 วินาที/รอบ



หรือเท่ากับ 40-90 องศา/วินาที ด้วยอัตราการหมุนนี้จะสามารถหาแรงบิดที่เกิดขึ้นในร่มเพื่อให้ร่มหมุนได้ดังสมการ (3)

$$\frac{dT}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} \quad (3)$$

จากแคดไฟล์สามารถคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้ที่ 1,251 กิโลกรัม/ตารางเมตร ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาแรงบิดที่ขึ้นกับอัตราการหมุนและอัตราการตอบสนองของร่มได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าแรงบิดน้อยสุดที่ควรจะมีเพื่อให้ร่มได้นั้นน้อยอยู่อย่างน้อย 500 นิวตัน แต่วมจะตอบสนองต่อการหมุนนี้ได้ช้าที่ 5 วินาที จนร่มหมุนได้ด้วยความเร็ว 40 องศา/นาที



รูปที่ 4 คำนวณหาแรงบิดที่ขึ้นกับอัตราการหมุนและอัตราการตอบสนองของร่ม

#### 4.1.4 แรงที่ใช้ในการบังคับร่ม

ผู้กระโดดร่มจะบังคับร่มโดยการดึงสายบังคับที่มีทั้งซ้ายและขวาด้วยแรงที่ไม่เกินกว่าแรงที่มนุษย์จะสามารถดึงได้ จากการรวบรวมข้อมูลทราบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 100-200 นิวตัน แต่เพื่อหาแรงดึงบังคับร่มสำหรับการนำไปใช้งานต่อ นั้น จะเลือกใช้ที่ 90 นิวตัน เนื่องจากเป็นแรงที่ใช้ในการดึงร่มที่วัด

โดย US Navy [5] แรงต้านทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวร่มนี้จะส่งผ่านไปตามเส้นเชือกของร่มทั้ง 30 เส้น ผ่านมาจนถึงตัวคนที่แขวนอยู่ที่ปลายล่างสุด จากรูปทรงของร่มนั้นสามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นเชือกได้เท่ากับ 344 นิวตัน

## 4.2 การออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์

4.2.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับการออกแบบเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม กำหนดให้อัตราความเร็วสูงสุดการหมุนร่มอยู่ที่ 4 วินาที/รอบ น้ำหนักของนักโดดร่มพร้อมสัมภาระไม่เกิน 200 กิโลกรัม และความกว้างของแท่นหมุนเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร มีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

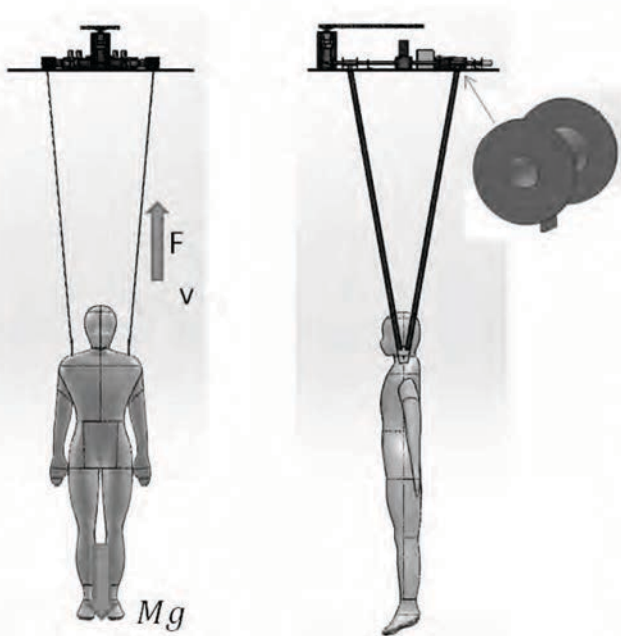
- 1) มอเตอร์และชุดเกียร์หมุนแท่น
- 2) มอเตอร์และชุดเกียร์สายร่มด้านขวา
- 3) มอเตอร์และชุดเกียร์สายร่มด้านซ้าย
- 4) มอเตอร์และชุดเกียร์ยกด้านหลัง

4.2.2 การคำนวณ Moment of Inertia ของการหมุน คำนวณจากข้อกำหนดใน 4.2.1 ที่อัตราการหมุนของแท่น 4 วินาที/รอบ ด้วย  $\omega = 1.75$  เรเดียน/วินาที = 15 รอบ/นาที, อัตราเชิงมุม  $\alpha = 0.437$  เรเดียน/วินาที<sup>2</sup> ใช้ค่า Moment of Inertia ( $I$ ) ของแท่น = 10.66 กิโลกรัม.เมตร<sup>2</sup> เพื่อค่า Moment of inertia ของแท่นไว้ 2 เท่า เนื่องจากยังต้องมีอุปกรณ์อื่น ๆ อยู่บนแท่นอีก โดยใช้  $I = 20$  กิโลกรัม.เมตร<sup>2</sup>, Torque ( $\tau$ ) ของแท่น  $I \cdot \alpha = 20 \times 0.437 = 8.74$  Nm. ความเร็วรอบมอเตอร์สูงสุดที่ 3,000 รอบ/นาที ต้องการให้แท่นหมุนด้วยความเร็ว 15 รอบ/นาที (ออกแบบให้มีการตอบสนองเร็วเป็น 2 เท่า) เมื่อต้องออกแบบความเร็วแท่นหมุนเป็น 30 รอบ/นาที ต้อง

ใช้อัตราทดเฟืองจากมอเตอร์  $G=100$  เท่า  $G=100$   
 Motor Torque = 0.874 การพัฒนานี้เลือกใช้  
 มอเตอร์ Omron รุ่น G40030 ขนาด 400 วัตต์ ได้  
 Torque = 1.3 Nm.

#### 4.2.3 การคำนวณแรงดึงในเส้นเชือกของร่ม

จากรูปที่ 5 สามารถหาแรงที่กระทำในเชือกร่ม  
 แต่ละข้างจาก  $F=Mg/2=(200 \times 9.81)/2=981$  N,  
 กำหนดให้รัศมีของล้อยหมุนสายร่ม  $r = 13.5$  มิลลิเมตร  
 Torque ดึงสายร่มแต่ละข้าง  $T = Fr = 981 \times 0.0135$   
 $= 13.24$  Nm., กำหนดให้สายร่มดึงขึ้นด้วยความเร็ว  
 $v=0.5$  เมตร/วินาที ล้อยหมุนสายร่มด้วยความเร็ว =  
 95 รอบ/นาที เนื่องจากมอเตอร์มีความเร็ว 3,000  
 รอบ/นาที จะต้องทดเฟือง  $Gy = 3000/95 = 31.58$   
 เลือกเกียร์อัตราทด  $Gy = 30$  Torque ที่มอเตอร์ =  
 0.44 Nm.



รูปที่ 5 แสดงแรงที่กระทำต่อเชือกแต่ละข้าง

#### 4.2.4 การออกแบบรายละเอียด

1. เลือกมอเตอร์และชุดเกียร์ตามภาระกรรมที่  
 คำนวณได้โดยระบุยี่ห้อและรุ่นให้ชัดเจนแล้ว  
 ทำการเขียนแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่เลือกไว้
2. ประกอบแบบชิ้นส่วนต่าง พร้อมกับออกแบบ  
 โครงสร้างตามความต้องการของผู้ใช้งาน
3. ออกแบบจุดจับยึดอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยละเอียด
4. ทำแบบชิ้นส่วนสำหรับสร้าง

#### 4.3 การออกแบบระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์หลัก

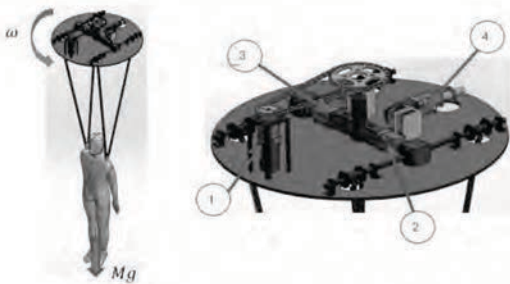
เป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบและความ  
 ปลอดภัยในการใช้งาน โดยมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ใน  
 การออกแบบมีดังนี้

1. มาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย  
 พ.ศ. 2556 (มาตรฐาน ว.ส.ท.: EIT Standard  
 2001-56)
2. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของ  
 ประเทศไทย
3. IEC (International Electro-technical  
 Commission) มาตรฐานนานาชาติทางด้าน  
 ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์
4. ANSI (American National Standard  
 Institute) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
5. BS (British standard) ของประเทศสหราชอาณาจักร
6. DIN (German Industrial Standard) ของ  
 ประเทศเยอรมนี
7. VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker)  
 ของประเทศเยอรมนี
8. JIS (Japanese Industrial Standard) ของ  
 ประเทศญี่ปุ่น



#### 4.3.1 ภาระโหลดชุดฝึกโดترم

ภาระโหลดของเครื่องฝึกบังคับร้อมแบบไว้ โดยประกอบด้วยมอเตอร์ทั้งหมดจำนวน 4 ตัว คือ มอเตอร์สำหรับชุดเกียร์แทนหมุน มอเตอร์ชุดเกียร์สายร้อมด้านขวา มอเตอร์ชุดเกียร์มอเตอร์ด้านซ้าย และมอเตอร์ชุดเกียร์ยกด้านหลัง โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 และรูปที่ 6



รูปที่ 6 มอเตอร์ 4 ตัว ของเครื่องช่วยฝึกบังคับร้อม

#### 4.3.2 การกำหนดขนาดสายไฟฟ้าของวงจรมอเตอร์

วงจรย่อยของมอเตอร์ชุดฝึกโดترمสามารถออกแบบได้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ขนาดของสายไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่า 1.25 เท่า ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตามสมการ (4)

$$I_c \geq 1.25 * I_m \quad (4)$$

กำหนดให้

$I_c$  = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า (A)

$I_m$  = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ (A)

สายป้อนวงจรมอเตอร์เป็นวงจรแบบมอเตอร์หลายตัว ซึ่งตามมาตรฐาน ว.ส.ท. กำหนดให้ขนาดของสายไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่า 1.25 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุดในวงจร และบวกด้วยกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ตัวที่เหลือในวงจร ดังสมการ (5)

$$I_c \geq 1.25 * I_{m,max} + I_{m1} \dots I_{mn} \quad (5)$$

โดย

$I_c$  = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า (A)

$I_{m,max}$  = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด (A)

$I_{m1}$  = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ที่เหลือตัวที่ 1 (A)

$I_{mn}$  = ขนาดกระแสพิกัดของมอเตอร์ที่เหลือตัวที่ n (A)

ดังนั้น จากภาระโหลดในตารางที่ 1 สามารถคำนวณหาขนาดสายวงจรรย่อยของมอเตอร์จากกระแสพิกัดของมอเตอร์สามารถคำนวณหาสายไฟฟ้าของ มอเตอร์แต่ละตัวตามสมการ (4) ได้ดังนี้

1) มอเตอร์ชุดเกียร์หมุนแทน =  $1.25 \times 2.6 = 3.25$  A  
เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

2) มอเตอร์ชุดเกียร์สายร้อมด้านขวา =  $1.25 \times 1.6 = 2$  A  
เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

3) มอเตอร์ชุดเกียร์สายร้อมด้านซ้าย =  $1.25 \times 1.6 = 2$  A  
เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

4) มอเตอร์ชุดเกียร์ยกด้านหลัง =  $1.25 \times 1.6 = 2$  A  
เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

| ชนิดมอเตอร์               | แรงดันไฟฟ้า | กำลังไฟฟ้า | กระแสฟลักต์ |
|---------------------------|-------------|------------|-------------|
| เกียร์หมุนแทน (1)         | 220 V. 50Hz | 400 W      | 2.6 A       |
| เกียร์สายรุ่มด้านขวา (2)  | 220 V. 50Hz | 200 W      | 1.6 A       |
| เกียร์สายรุ่มด้านซ้าย (3) | 220 V. 50Hz | 200 W      | 1.6 A       |
| เกียร์ยกด้านหลัง (4)      | 220 V. 50Hz | 200 W      | 1.6 A       |

ตารางที่ 1 รายละเอียดมอเตอร์ชุดฝึกโคตรัม

คำนวณหาขนาดสายป้อนจากกระแสฟลักต์ของมอเตอร์สามารถคำนวณหาสายไฟฟ้าของมอเตอร์แต่ละตัวตามสมการ (5) ได้ดังนี้

$$I_c = 1.25 \times 2.6 + 1.6 + 1.6 + 1.6 = 8.05 \text{ A}$$

ดังนั้นเลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

#### 4.3.3 การกำหนดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร

วงจรมอเตอร์เป็นวงจรมอเตอร์หลายตัวในการทำงาน โดยจากการคำนวณมีกระแสในวงจรสายป้อน 8.05 A. ซึ่งเป็นวงจรย่อยไม่เกิน 15 A. และกำลังมอเตอร์ไม่เกิน 1 แรงม้า ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ยอมให้มอเตอร์ในวงจรย่อยไม่ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกินประจำแต่ละเครื่อง ถ้ามอเตอร์เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้ทุกข้อ

1) กระแสใช้งานเต็มที่ของมอเตอร์แต่ละตัวไม่เกิน

6 A.

2) ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์แต่ละตัวที่ระบุไว้ในเครื่องควบคุมมอเตอร์มีค่าไม่น้อยกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย

3) มอเตอร์แต่ละตัวมีการติดตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

ดังนั้นในวงจรสายป้อนวงจรมอเตอร์จึงสามารถออกแบบวงจรให้มีเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรจำนวน 1 เครื่องได้ โดยคำนวณได้ตาม (6)

$$I_{CB} = K_2 * I_{max} + I_{m1} \dots I_{mn} \quad (6)$$

โดย

$I_{CB}$  = ขนาดกระแสเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (A)

$I_{max}$  = ขนาดกระแสฟลักต์ของมอเตอร์ตัวที่ใหญ่ที่สุด (A)

$I_{m1}$  = ขนาดกระแสฟลักต์ของมอเตอร์ที่เหลือตัวที่ 1 (A)

$I_{mn}$  = ขนาดกระแสฟลักต์ของมอเตอร์ตัวที่เหลือตัวที่ n (A)

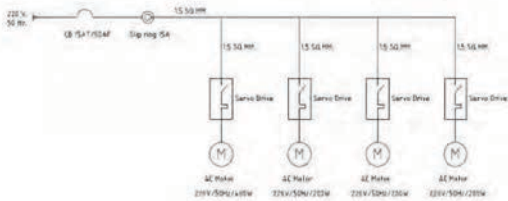
$K_2$  = ค่าคงที่ปรับตั้งกระแสลัดวงจร (A)



คำนวณหาขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร จากกระแสฟัดของมอเตอร์สามารถคำนวณหาเครื่องป้องกัน กระแสลัดวงจรตามสมการ (6) ได้ดังนี้

$$I_c = 2.5 \times I_{max} + I_{m1} + I_{m2} + I_{m3} = 2.5 \times 2.6 + 1.6 + 1.6 + 1.6 = 11.3 \text{ A}$$

ดังนั้น จึงเลือกขนาด Circuit Breaker ขนาด 15 A. จะได้อุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจร และมีไดอะแกรมของวงจรเครื่องช่วยฝึกบังคับพร้อมแสดงตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 ไดอะแกรมวงจรเครื่องช่วยฝึกบังคับพร้อม

#### 4.3.4 สรุปการออกแบบระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์หลัก

จากการออกแบบระบบไฟฟ้าในส่วนของสายป้อน สามารถสรุปรายละเอียดดังนี้

##### 1) ขนาดสายวงจรย่อย

- มอเตอร์ชุดเกียร์หมุนแทน เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.
- มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มีด้านขวา เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.
- มอเตอร์ชุดเกียร์สายร่มีด้านซ้าย เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.
- มอเตอร์ชุดเกียร์ยกด้านหลัง เลือกขนาดสาย 1.5 ตร.มม.

##### 2) ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Circuit

Breaker) เลือก Circuit Breaker 15AT/50AF

##### 3) ขนาด Slip ring เลือก Slip ring 15A

## 5. บทสรุปและข้อเสนอแนะการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับพร้อม

### 5.1 การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับพร้อมตามความต้องการ

การฝึกบังคับพร้อมในหลักสูตรส่งทางอากาศนั้น สถานีฝึกทุก ๆ สถานีมีความจำเป็นและมีความสำคัญเท่า ๆ กัน แต่ในสถานีฝึกที่ 3 เพื่อการบังคับพร้อม ผู้เข้ารับการฝึกจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องต่าง ๆ ของการฝึกในสถานีนี้เป็นอย่างดี จึงจะสามารถบังคับพร้อมได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องอาศัยเครื่องช่วยฝึกที่มีลักษณะคล้ายหรือสามารถจำลองการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากที่สุด สามารถวัดความรู้ความเข้าใจ ของผู้เข้ารับการฝึกได้อย่างถูกต้อง และเกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก

การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับพร้อมเริ่มจากการทำความเข้าใจในระบบการควบคุมร่มีชนิด MC1-1B เพื่อการวิเคราะห์เชิงระบบของร่มี ตามหลักการการบังคับให้ร่มีหันหน้าเข้าหาทิศทางลม ซึ่งช่องผ่าหลังด้านหลังจะช่วยลดการสร้างการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อมีการปะทะด้านข้างจะมีการกระตุกสายบังคับข้างที่ลมปะทะลง เพื่อให้เกิดการหมุนของร่มีให้หันหน้าไปที่ทิศทางลมนั้น การประเมินภาระกรรมในการหมุนร่มีตามอัตรา Descent Rate นั้นมีค่า 10.78 เมตร/วินาที ผลแรงที่เกิดขึ้นในร่มีมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6,586 นิวตัน อัตราการหมุนร่มีที่ 4-9 วินาที/รอบ หรือเท่ากับ 40-90 องศา/วินาที ใช้แรงบิดอยู่ที่อย่างน้อย 500 นิวตัน แต่ร่มีจะตอบสนองต่อการหมุนนี้ได้ช้าที่ 5 วินาที จนร่มีหมุนได้ด้วยความเร็ว 40 องศา/นาที

แรงต้านทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวร่นนี้จะส่งผ่านไปตามเส้นเชือกของร่นทั้ง 30 เส้น สามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นเชือกได้เท่ากับ 344 นิวตัน การออกแบบและคัดเลือกมอเตอร์จากการคำนวณ Moment of Inertia ของการหมุนได้ข้อสรุปการเลือกมอเตอร์ Omron รุ่น G40030 ขนาด 400 วัตต์ ที่ให้ Torque = 1.3 Nm. การคำนวณหาขนาดสายป้อนจากกระแสฟัดของมอเตอร์สามารถทำให้เลือกขนาดสายที่ 1.5 ตร.มม. ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร (Circuit Breaker) เลือก Circuit Breaker 15AT/50AF และขนาด Slip ring เลือก Slip ring 15A

## 5.2 สรุปความต้องการของโรงเรียนสงครามพิเศษ

โรงเรียนสงครามพิเศษ [6] รายงานเรื่องช่วยฝึกในหลักสูตรซาร์ดและมีสภาพใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ ไม่มีความทันสมัย และความรู้สึกของผู้เข้ารับการฝึกในการปฏิบัติไม่เหมือนกับการปฏิบัติงานจริง ขาดการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์เข้ากับเครื่องช่วยฝึก จึงขอความอนุเคราะห์จากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศร่วมจัดทำโครงการวิจัยพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ เพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกให้มีประสิทธิภาพ ทันสมัย มีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ ดำรงสภาพยุทธโปกรณ์ของกองทัพให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

จากนั้นโรงเรียนสงครามพิเศษจึงรายงานความคืบหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่นในหลักสูตรส่งทางอากาศ [7] ซึ่งสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศได้ออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุม ตลอดจนการจัดซื้อ

วัสดุและครุภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว อยู่ระหว่างการรอรับวัสดุและครุภัณฑ์ เพื่อนำไปติดตั้งเป็นเครื่องช่วยฝึกสำหรับทดลองใช้งานในโรงเรียนสงครามพิเศษ ซึ่งระบบเครื่องช่วยฝึกบังคับร่นต้นแบบสามารถรองรับระบบ Virtual Reality สำหรับร่นสายดิ่งประจำที่และร่นแบบกระตุกเองได้

ในการดังกล่าวโรงเรียนสงครามพิเศษได้ขออนุมัติเสนอโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ (สถานีบังคับร่น) และขออนุมัติการมอบอำนาจลงนามในสัญญาความร่วมมือระหว่างโรงเรียนสงครามพิเศษกับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ เพื่อสนับสนุนการทำโครงการ [8] ในการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกสถานีบังคับร่นให้มีคุณภาพ ตอบสนองต่อการควบคุมของผู้ปฏิบัติได้โดยตรง จำลองสถานการณ์ในการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง และสามารถรองรับระบบ Virtual Reality สำหรับร่นสายดิ่งประจำที่และร่นแบบกระตุกเองได้ในอนาคต

## 5.3 ข้อเสนอแนะเครื่องช่วยฝึกบังคับร่น

การพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่นโดยศึกษาหลักการของระบบร่นชนิด MC1-1B ตามหลักการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมระบบสามารถพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่นได้ตามความต้องการหลักสูตรส่งทางอากาศโรงเรียนสงครามพิเศษ ทำให้ได้ต้นแบบเครื่องช่วยฝึกบังคับร่นที่มีลักษณะคล้ายและจำลองการปฏิบัติได้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง ผู้ควบคุมการฝึกมีเครื่องมือสนับสนุนให้สามารถวัดความรู้ ความเข้าใจ ของผู้เข้ารับการฝึกต่อกระบวนการฝึกในสถานีฝึกที่ 3 เพื่อการบังคับร่นได้อย่างถูกต้องและให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึก



บทความได้รายงานผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม ซึ่งเกิดจากโรงเรียนสงครามพิเศษขอความอนุเคราะห์จากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ในการวิจัยพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศให้มีประสิทธิภาพ ทันสมัย มีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ ดำรงสภาพยุทธโศภรณ์ของกองทัพได้สูงสุด จากนั้นได้รายงานความคืบหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่ม ซึ่งมีการออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมเรียบร้อยแล้ว สามารถนำไปติดตั้งเป็นเครื่องช่วยฝึกสำหรับทดลองใช้งานในโรงเรียนสงครามพิเศษได้และขอความร่วมมือกับสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศในการพัฒนาเครื่องช่วยฝึกสถานีบังคับร่มให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น โดยให้สามารถรองรับระบบ Virtual Reality สำหรับร่มสายตึงประจำที่และรูปแบบกระตุกเองได้

อย่างไรก็ตาม บทความนี้ขอเสนอแนะให้มีการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มต่อเนื่องในการวิเคราะห์เชิงสถิติของผู้เข้ารับการฝึกเมื่อเข้ารับการฝึกด้วยเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มนี้แล้วว่ามีขีดความสามารถใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงมากขึ้นในเชิงตัวเลขอย่างไร อีกทั้งการวัดความรู้และความเข้าใจของผู้เข้ารับการฝึกได้อย่างถูกต้องในเชิงตัวเลข จะช่วยให้ไม่เพียงแต่เกิดความปลอดภัยต่อผู้เข้ารับการฝึกแต่รวมถึงการสร้างมาตรฐานของเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในเชิงประสิทธิผลในการนำไปใช้เป็นเครื่องช่วยฝึก ซึ่งจะสร้างความมั่นใจให้ความต้องการในตลาดเครื่องช่วยฝึกหากต้องการยกระดับเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มชนิดตาม queพัฒนาขั้นนี้ไปสู่เชิงพาณิชย์

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. H. Jeffrey, W. A. Johnson, and R. W. Allen. 1992. A Simulator Solution for the Parachute Canopy Control and Guidance Training Problem. SAE Transactions. Journal of Aerospace. Vol. 101, Section 1, pp. 142-148.
- [2] J. R. Hogue, R. W. Allen, J. MacDonald, C. Schmucker, S. Markham and A. Harms. 2001. Virtual Reality Parachute Simulation for Training and Mission Rehearsal. 16th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Seminar and Conference, 21 - 24 May 2001, Boston, MA.
- [3] J. R. Hogue, G. A. Frederick, C. A. Pelz, R. W. Allen, S. Markham, A. Harmsen. 1998. Parachute Simulation Enhancements for Post-Ejection/Egress Training, 36th Annual SAFE Symposium, September 14-16, 1998, Phoenix, AZ.
- [4] J. R. Hogue, G. A. Frederick, C. A. Pelz, R. W. Allen, R. Gates, S. Markham, A. Harmsen, 1999. Beyond the Basics: Enhanced Parachute Simulation Training, presented at the 1999 Parachute Industry Association International Symposium, January 10-14, 1999, San Diego, California.
- [5] US Department Of Defense. 1985 US Navy Aircrew Survival Equipmenman 1 & C, Department of Defense, Delene Kvasnicka,

United States Government US Army, United States Army, Department of the Army, U. S. Army, Army, DOD, The United States Army.

[6] ญัฐวุฒิ นาเคนนคร (2560) การวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ หนังสือโรงเรียนสงครามพิเศษ ที่ กท 0485.3/1535 ลง 12 กรกฎาคม 2560

[7] ภูวดล พลนาค (2562) รายงานความคืบหน้าโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกบังคับร่มในหลักสูตรส่งทางอากาศ หนังสือ นสศ. ด่วนมาก ที่ กท 0485)/1155 ลง 10 มิ.ย.62

[8] ณรงค์ฤทธิ์ คัมภีระ (2563) ขออนุมัติเสนอโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องช่วยฝึกหลักสูตรส่งทางอากาศ (สถานีบังคับร่ม) และขออนุมัติการมอบอำนาจลงนามในสัญญาความร่วมมือระหว่าง รร.สพศ.ศศพ. กับ สทป. เพื่อสนับสนุนการทำโครงการ หนังสือ รร.สพศ.ศศพ. ด่วนมาก ที่ กท 0485.3/271 ลง 12 ก.พ. 63