

การออกแบบจรวดให้พิสัยการยิงมากที่สุดในช่วงความเร็วต่ำกว่าเสียง สำหรับ รายการแข่งขัน Thailand CANSAT-ROCKET Competition 2022

ธรรสวริทธิ์ เครือคล้าย¹, ชินกฤต เหล่ากิตติชัย¹, วิศิษฐ์ วิพัฒน์เกษมสุข², พชร ภูมิประเทศ¹

¹โรงเรียนอัสสัมชัญ

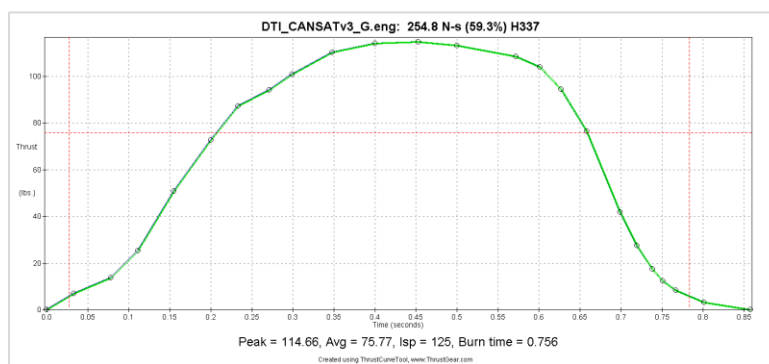
²สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการพัฒนาด้านวิศวกรรมการบิน และอวกาศของประเทศไทยยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้น โดยการยิงจรวดเพื่อการวิจัยทดสอบก่อนนำระบบไปใช้จริงนั้นเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญในการทำงาน ด้วยเหตุนี้จึงมีการจัดการแข่งขัน Thailand CANSAT-ROCKET Competition 2022 ซึ่งเปิดโอกาสให้นักเรียนระดับมัธยมปลายได้ออกแบบดาวเทียมจำลอง และจรวดเป็นของตนเอง โดยได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (สทป.) การศึกษานี้จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบจรวดให้ถูกลง เพื่อพิสัยการยิงสูงสุดของจรวด ภายใต้ข้อจำกัดของการแข่งขัน

ข้อจำกัดในการออกแบบจรวด

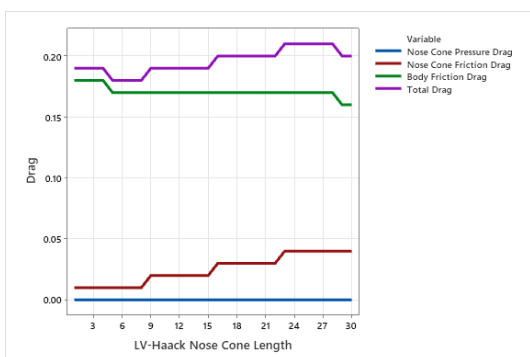
รายการแข่งขัน Thailand CANSAT TOCKET Competition 2022 กำหนดให้ใช้ท่อจรวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 80 mm โดยมีความหนา 2 mm และใช้มอเตอร์จรวดที่มีการตลรวม 255 mS ในการขับเคลื่อน



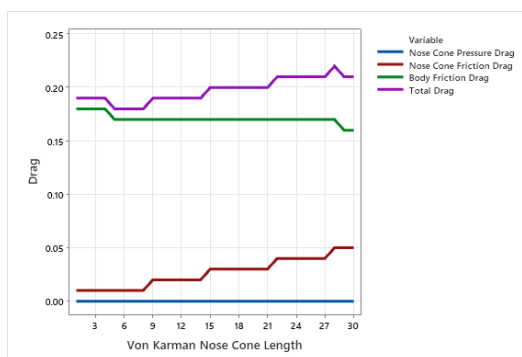
ภาพที่ 1: กราฟแรงขับของมอเตอร์จรวดจากโปรแกรม Thrust Curve Tool

ระเบียบวิธีการวิจัย

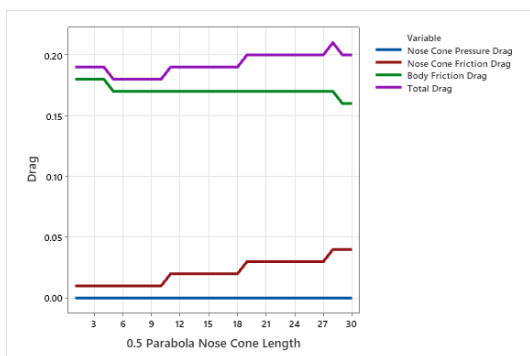
1. การออกแบบหัวจรวด ทำการทดลองทดสอบอิทธิพลจากการใช้หัวจรวดทุกประเภทที่สามารถ Simulation ผ่านโปรแกรม OpenRocket ซึ่งได้แก่ LV-Haack, LD-Haack, 0.5 Parabola, 0.75 Parabola, Ellipsoid. Conical. Tangent Ogive และ Secant Ogive ที่ความยาวตั้งแต่ 1 – 30 cm ซึ่งรวมถึงช่วงความยาวในอัตราส่วน 2 – 3 เท่าซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมตามทฤษฎีการออกแบบหัวจรวด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของท่อจรวด โดยค่าที่พล็อตรวมกับความยาวหัวจรวด คือข้อมูล Nose Cone Pressure Drag, Nose Cone Friction Drag และ Body Friction Drag ซึ่งนำเข้าข้อมูลจากแท็บ Drag Characteristic ของหน้าต่าง Component Analysis จากโปรแกรม OpenRocket มาพล็อตเพื่อวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab



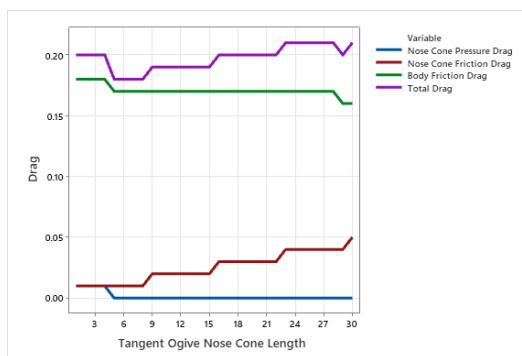
กราฟที่ 1: ความยาวหัวจรวด LV-Haack – แรงดูด



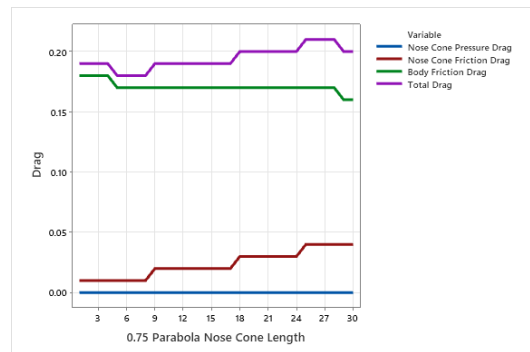
กราฟที่ 2: ความยาวหัวจรวด Von Karman (LD-Haack) – แรงดูด



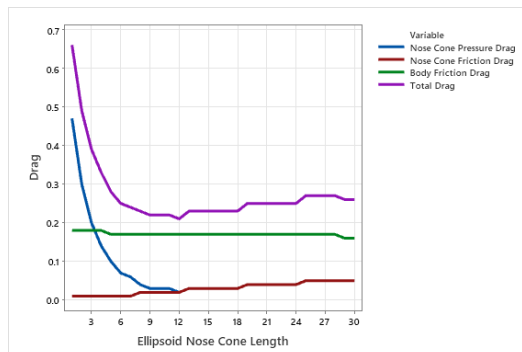
กราฟที่ 3: ความยาวหัวจรวด 0.5 Parabola – แรงดูด



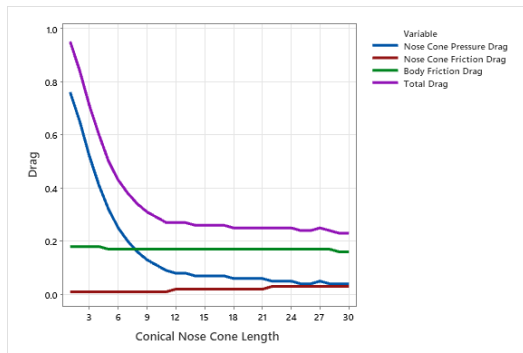
กราฟที่ 4: ความยาวหัวจรวด Tangent Ogive – แรงดูด



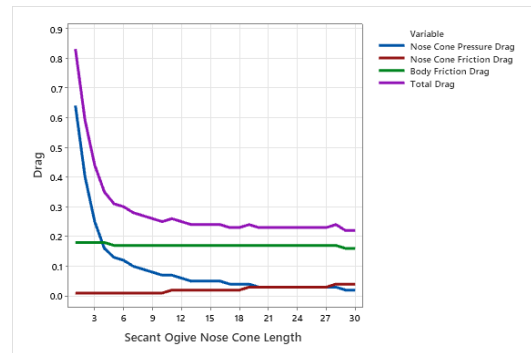
กราฟที่ 5: ความยาวหัวจรวด 0.75 Parabola – แรงดูด



กราฟที่ 6: ความยาวหัวจรวด Ellipsoid – แรงดูด



กราฟที่ 7: ความยาวหัวจรวด Conical – แรงดูด



กราฟที่ 8: ความยาวหัวจรวด Secant Ogive – แรงดูด

จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือกราฟที่มี แรงดูดจากความดันต่อหัวจรวด (Nose Cone Pressure Drag) ใกล้เคียงกับ 0 คือกราฟที่ 1 – 5 ซึ่งได้แก่หัวจรวดทรง Von Karman, LV-Haack, 0.5 Parabola, Tangent Ogive และ 0.75 Parabola และประเภทที่ 2 คือกราฟที่ 6 – 8 คือประเภทที่มีแรงดูดจากความดันต่อหัวจรวดต่ำลงตามความยาวของหัวจรวด ซึ่งตามทฤษฎีทางอากาศพลศาสตร์ แนวโน้มของแรงดูดความดันต่อหัวจรวดควรเป็นเหมือนกราฟประเภทที่ 2 คือแรงดูดจากความดันจะมีค่ามากเมื่อหัวจรวดมีลักษณะทู่ และต่ำลงเมื่อหัวมีลักษณะแหลมมากขึ้น ดังนั้นผู้ศึกษาจึงตั้งสมมติฐานเพื่อเลือกความยาวที่เหมาะสมของหัวจรวดว่าแท้จริงแล้วแรงดูดจากความดันของกราฟประเภทแรก ย่อมต้องเป็นไปในทิศทางเดียวกับกราฟประเภทที่ 2 และโดยภาพรวม ตัวแปรที่มีความผันแปรมากที่สุดตามความยาวของหัวจรวด คือแรงดูดจากความดันต่อหัวจรวด โดยจากกราฟ อัตราการลดลงของแรงดูดจากความดันต่อหัวจรวดจะลดลงเมื่อมีหัวจรวดมีความยาวมากขึ้น ความสูงของจรวดนั้นขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก คือมวลของจรวด และแรงดูดรวมต่อจรวด ซึ่งความยาวของหัวจรวดส่งผลต่อทั้ง 2 ปัจจัย ผู้ศึกษาจึงต้องหาจุดสมดุลระหว่างอิทธิพลของทั้ง 2 ปัจจัยเพื่อเลือกความยาวหัวจรวดที่มีความเหมาะสมที่สุด แต่ด้วยข้อจำกัดด้านเวลา ผู้ศึกษาเลือกใช้หัวจรวดความยาว 12 เซนติเมตร ซึ่งเป็นความยาวที่ผู้ศึกษาเห็นว่าหลังจากพ้นค่านี้อไปแล้ว การเพิ่มความยาวของหัวจรวดจะลดปริมาณแรงดูดเพียงเล็กน้อย

สำหรับการคัดเลือกรูปร่างหัวจรวด ผู้ศึกษาใช้การคัดเลือกจากการทบทวนวรรณกรรม และใช้หัวจรวดทรง Von Karman ซึ่งเป็นทรงหัวจรวดที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อลดแรงดูดโดยเฉพาะ โดยสมการเพื่อกำหนดรูปร่างของหัวจรวดทรง Von Karman คือ

$$y = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\theta - \frac{1}{2} \sin(2\theta)}$$

สมการที่ 1: เส้นโค้ง Von Karman

เมื่อ $\theta = \cos^{-1}(1 - 2x)$

จึงนำสมการดังกล่าวไปเขียนโปรแกรมในโปรแกรม Matlab ดังภาพที่ 9 โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของหัวจรวดเท่ากับ 80 และความยาวหัวจรวดเท่ากับ 120 ซึ่งจากการเพิ่มค่าความยาวหัวจรวดในลูปของโปรแกรมแต่ละครั้ง ครั้งละ 0.1 ทำให้ได้พิกัดเพื่อสร้างเส้นโค้ง Von Karman ทั้งหมด 1200 พิกัด โดยได้ทำการพล็อตทดสอบดังภาพที่ 10 จากนั้นนำเข้าพิกัดเข้าสู่โปรแกรม SolidWorks ทำการ Offset 2 เซนติเมตร แล้ว Revolve รอบแกนให้หัวจรวด Von Karman มีความหนา 2 เซนติเมตร จากนั้นสร้าง Shoulder โดยกำหนดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเล็กกว่าท่อจรวด 0.5 เซนติเมตร และมีความยาว 5 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถเสียบหัวจรวดเข้ากับท่อจรวดได้พอดี

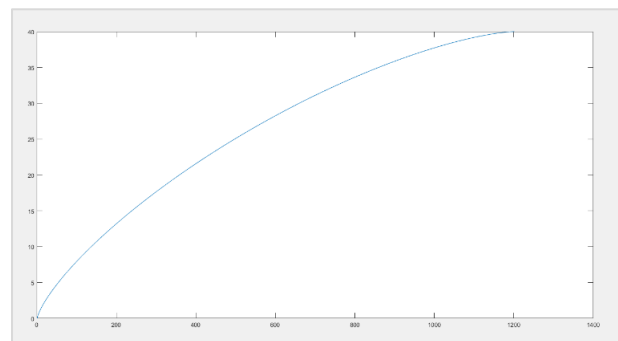
2.การออกแบบครีบกาว เนื่องจากผู้ศึกษามีความสนใจในการออกแบบครีบกาวแบบสี่เหลี่ยมคางหมู การศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสูงของครีบกาวแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการออกแบบครีบกาวแบบสี่เหลี่ยมคางหมู คือความยาวคอर्डปลายครี โดยความยาวคอर्डปลายครีจะส่งผลต่อสมดุล และความสูงการยิงของจรวดในการจำลอง ซึ่งการเลือกความยาวคอर्डปลายครีที่เหมาะสมที่สุด ควรเลือกจากจุดสมดุลระหว่างความสูงการยิง และความสมดุล ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ซึ่งจากกราฟที่ 4 จะเห็นได้ว่าจุดสมดุลอยู่ที่ความยาวคอर्डปลายครีราว 1.8 cm แต่เพื่อความสะดวกในการผลิต ครีบกาวจริงจึงใช้ความยาวคอर्डปลายครี 2 cm ซึ่งเป็นจำนวนเต็มที่อยู่ใกล้ 1.8 cm มากที่สุด

$$\text{Static Margin} = \frac{CP - CG}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางนอกท่อจรวด}}$$

สมการที่ 2: Static Margin

```
NoseCone.m
1 nose_long=120;
2 nose_cone_length=80;
3 step_size=.1;
4 k=0;
5 for X = 0:step_size:nose_long
6 k = k + 1 ;
7 x=X/nose_long;
8 theta=acos(1-2*x);
9 r(k)= sqrt((theta-(1/2)*sin(2*theta))/pi);
10 r(k)=r(k)*(nose_cone_length/2);
11 end
12 plot(r)
```

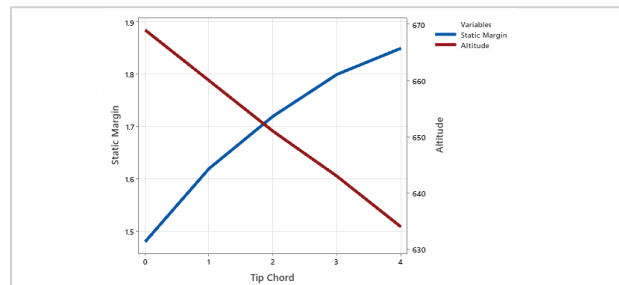
ภาพที่ 2: โค้ด Matlab สำหรับพล็อตเส้นโค้ง Von Karman



ภาพที่ 3: เส้นโค้ง Von Karman

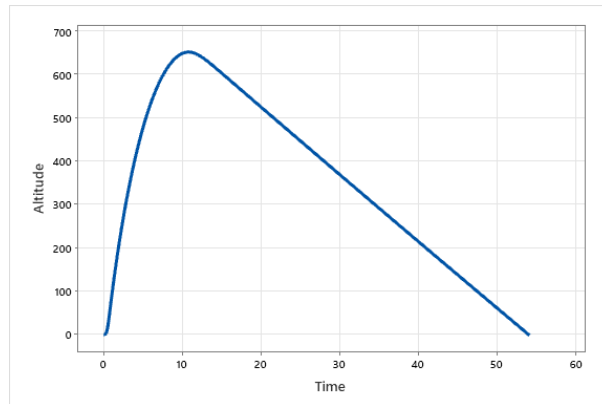


ภาพ 4: หัวจรวด Von Karman ของ NuageRocket



กราฟที่ 9: จุดสมดุลของความสมดุล และความสูงการยิง

3.ผลจากการจำลอง จากการจำลองในโปรแกรม OpenRocket การใช้หัวจรวด Von Karman ที่ความยาว 12 cm และครีบกาวแบบสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีความยาวคอรัปปลายครึ่ง 2 cm จะทำให้จรวดยิ่งขึ้นไปเป็นความสูงสูงสุดที่ 652 m ดังแสดงในกราฟที่ 10



กราฟที่ 10: กราฟความสูงการยิงจรวดตลอดการทำงาน

การทดสอบจรวด

ในการแข่งขันจริง จากการสังเกตลักษณะ CanSat ของทีมที่ทำการยิงจรวดก่อนหน้านี้ พบว่ามีหลายทีมที่ไฟจาก Delay Charge ลามขึ้นไปเผา CanSat, รมชูชีพ และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ผู้เข้าแข่งขันใส่ไว้ในจรวด ซึ่งการวาง CanSat แบบเดิมอาจทำให้รมชูชีพถูกเผาไหม้ จึงเปลี่ยนทิศทางการวางของรมชูชีพให้อยู่ห่างจาก Delay Charge มากขึ้นเพื่อตัดปัญหา โดยการสลับตำแหน่งดังกล่าวทำให้ค่า Static Margin เพิ่มขึ้นจาก 1.62 Calibers เป็น 1.73 Calibers ซึ่งยังอยู่ในช่วง 1 – 2 คือเป็นจรวดที่มีความสมดุลอยู่ นอกจากนี้ได้พันผ้าสักหลาดที่ลูกสูบเพื่อกันไม่ให้ไฟลามขึ้นไปเผาส่วนประกอบอื่น ๆ และจากการยิงจรวด ความสูงการยิงของจรวดของผู้ศึกษาจรวดเป็นกลุ่มที่ยิ่งขึ้นไปได้สูงที่สุดที่ 577 m ซึ่งน้อยกว่าที่จำลองไว้ แต่มากกว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตของทุกทีมคือ 390.8 m ที่ 186.2 m อย่างไรก็ตาม การจำลองจรวดเพื่อเลือกความยาวที่เหมาะสมของหัวจรวดของการศึกษานี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าแรงฉุดจากความดันต่อหัวจรวดของกราฟประเภทที่ 1 น่าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าในกราฟประเภทที่ 2 โดยเป็นสมมติฐานที่ยังไม่ถูกทดสอบ ซึ่งการคำนวณตามทฤษฎีที่โปรแกรม OpenRocket ใช้งานจะต้องถูกตรวจสอบต่อไป



ภาพ 5: จรวดถูกยิงออกจากแท่น



ภาพ 6: จรวดขณะอยู่กลางท้องฟ้า

บรรณานุกรม

Thitasirivit, Vivatsathorn & Ngamdeevilaisak, Bhavat & Vongbunsin, Chayakorn. (2018). Agricultural Exploration Assistant Satellite: Thailand CanSat Competition 2018 Preliminary Proposal.

DOI: [10.13140/RG.2.2.11933.38882](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11933.38882)

M. Ostaszewski, K. Dzierzek, Ł. Magnuszewski (2018). "Analysis of data collected during CanSat mission." In 2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC), Szilvasvarad, Hungary, pp. 1-4. DOI: [10.1109/CarpathianCC.2018.8399591](https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2018.8399591)

Abate, M. T., Anandapadmanaban, E., Bao, L., Challani, S., Gaughan, J., Jiang, A., ... Zorn, S. E. (2014). Correlation between simulated, calculated, and measured model rocket flight. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/CORRELATION-BETWEEN-SIMULATED-%2C-CALCULATED-%2C-AND-Abate-Anandapadmanaban/f1273cf8d5df09aa30bc7d80c9ef3b260b1a4f53>

Crowell, G. A. (n.d.). The Descriptive Geometry of Nose Cone. Retrieved from <https://www.scribd.com/doc/60921375/the-descriptive-geometry-of-nosecone>