การจัดการองค์ความรู้

การพัฒนาจรวดนำส่งดาวเทียมขนาดเล็ก

คู่มือการประดิษฐ์จรวดนำส่งดาวเทียมกระป๋อง หรือ CANSAT

โดย กลุ่มกิจกรรมการจัดการองค์ความรู้ HAYABUSA-X

แผนกเทคโนโลยีอวกาศ กองกิจการอวกาศ

ศูนย์วิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการบินและอวกาศกองทัพอากาศ

สารบัญ

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานทางด้านจรวด

1. ความรู้ทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับจรวด 1
2. เสถียรภาพของจรวด (Rocket Stability) 7
3. สมการการเคลื่อนที่ 8

บทที่ 2 การออกแบบจรวด

1. ภารกิจของจรวด และจรวดประดิษฐ์ 9
2. ส่วนประกอบของจรวดประดิษฐ์ 11
3. การออกแบบจรวดประดิษฐ์ 13

บทที่ 3 ระบบขับเคลื่อนจรวด

1. ชนิดของระบบขับเคลื่อน 16
2. จรวดเชื้อเพลิงแข็ง 18
3. การสร้างระบบขับเคลื่อนสำหรับจรวดประดิษฐ์ 20

บรรณานุกรม 21

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานทางด้านจรวด

1. ความรู้ทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับจรวด

1.1 กฎของนิวตัน (Newton's laws)

เซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir Isaac Newton) เป็นนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ ถือกำเนิดใน ปี ค.ศ.1642 นิวตันสนใจดาราศาสตร์ และได้ประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์ชนิดสะท้อนแสง (Reflecting telescope) ขึ้นโดยใช้โลหะเงาเว้าในการรวมแสง แทนการใช้เลนส์ เช่นในกล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสง (Refracting telescope) นิวตันติดใจในปริศนาที่ว่า แรงอะไรทำให้ผลแอปเปิลตกสู่พื้นดินและตรึงดวงจันทร์ไว้กับโลก และสิ่งนี้เองที่นำเขาไปสู่การค้นพบกฎที่สำคัญ 3 ข้อ

ภาพที่ 1 เซอร์ไอแซค นิวตัน

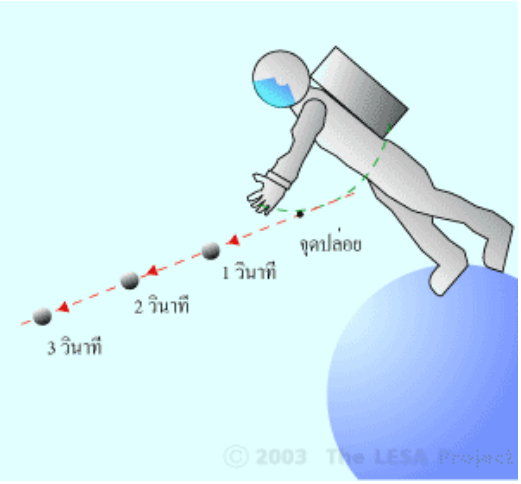
<u>กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia)</u>

"วัตถุที่หยุดนิ่งจะพยายามหยุดนิ่งอยู่กับที่ ตราบที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ ส่วนวัตถุที่เคลื่อนที่จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ ตราบที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำเช่นกัน"

ตัวอย่าง:

ขณะที่รถติดสัญญาณไฟแดง ตัวเราหยุดนิ่งอยู่กับที่

- แต่เมื่อสัญญาณไฟแดงเปลี่ยนเป็นไฟเขียว เมื่อคนขับเหยียบคันเร่งให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ตัวของเราจะพยายามคงสภาพหยุดนิ่งไว้ ผลคือ หลังของเราจะถูกผลักติดกับเบาะ ขณะที่รถเกิดความเร่งไปข้างหน้า
- ในทำนองกลับกัน เมื่อสัญญาณไฟเขียวเปลี่ยนเป็นไฟแดง คนขับรถเหยียบเบรกเพื่อจะหยุดรถ ตัวเราซึ่งเคยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วพร้อมกับรถ ทันใดเมื่อรถหยุด ตัวเราจะถูกผลักมาข้างหน้า



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ในอวกาศ

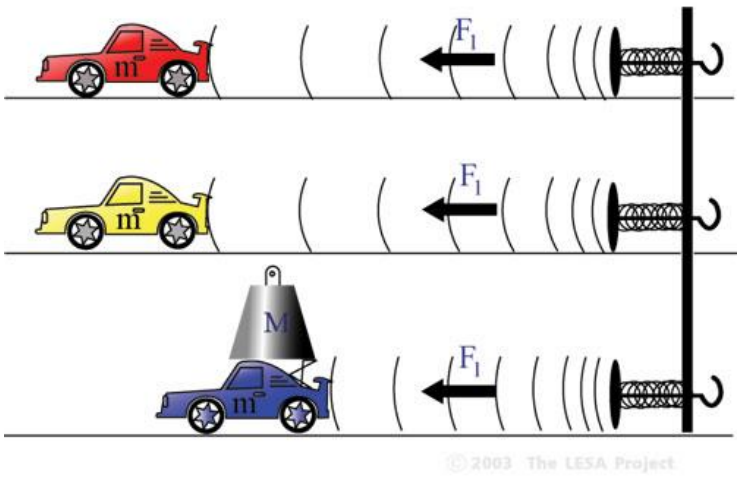
นิวตันอธิบายว่า ในอวกาศไม่มีอากาศ ดาวเคราะห์จึงเคลื่อนที่โดยปราศจากความฝืด โดยมีความเร็วคงที่ และมีทิศทางเป็นเส้นตรง เขาให้ความคิดเห็นว่า การที่ดาวเคราะห์โคจรเป็นรูปวงรีนั้น เป็นเพราะมีแรงภายนอกมากระทำ (แรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์) นิวตันตั้งข้อสังเกตว่า แรงโน้มถ่วงที่ทำให้แอปเปิลตกสู่พื้นดินนั้น เป็นแรงเดียวกันกับแรงที่ตรึงดวงจันทร์ไว้กับโลก หากปราศจากซึ่งแรงโน้มถ่วงของโลกแล้ว ดวงจันทร์ก็คงจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงผ่านโลกไป

<u>กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force)</u>

“ความเร่งของวัตถุจะแปรผันตามแรงที่กระทำต่อวัตถุ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

ความเร่งของวัตถุ = แรงที่กระทำต่อวัตถุ / มวลของวัตถุ (หรือ a = F/m)

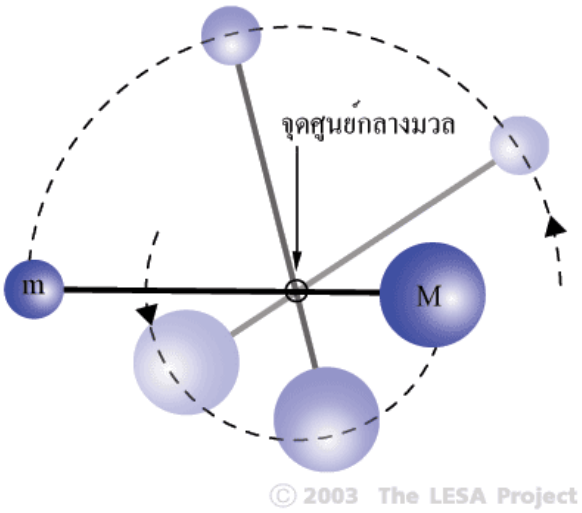
- ถ้าเราผลักวัตถุให้แรงขึ้น ความเร่งของวัตถุก็จะมากขึ้นตามไปด้วย
- ถ้าเราออกแรงเท่า ๆ กัน ผลักวัตถุสองชนิดซึ่งมีมวลไม่เท่ากัน วัตถุที่มีมวลมากจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งน้อยกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย



ภาพที่ 3 ความเร่งแปรผกผันกับมวล

ตัวอย่าง: เมื่อออกแรงเท่ากันผลักรถให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า รถที่ไม่บรรทุกของ จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งมากกว่า รถที่บรรทุกของ

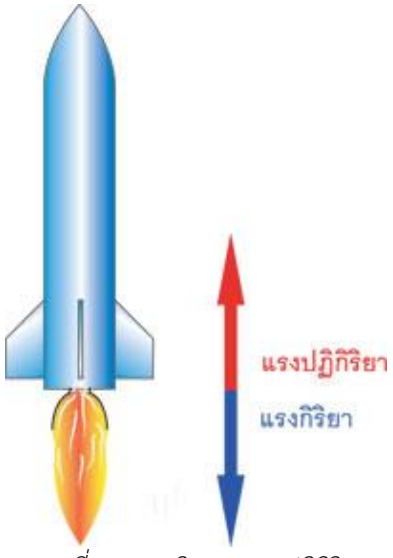
ในเรื่องดาราศาสตร์ นิวตันอธิบายว่า ดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์ต่างโคจรรอบกันและกัน โดยมีจุดศูนย์กลางร่วม แต่เนื่องจากดวงอาทิตย์มีมวลมากกว่าดาวเคราะห์หลายแสนเท่า เราจึงมองเห็นว่าดาวเคราะห์เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่งที่มากกว่าดวงอาทิตย์ และมีจุดศูนย์กลางร่วมอยู่ภายในตัวดวงอาทิตย์เอง ดังเช่น การหมุนลูกตุ้มดัมเบลสองข้างที่มีมวลไม่เท่ากันในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลางมวล

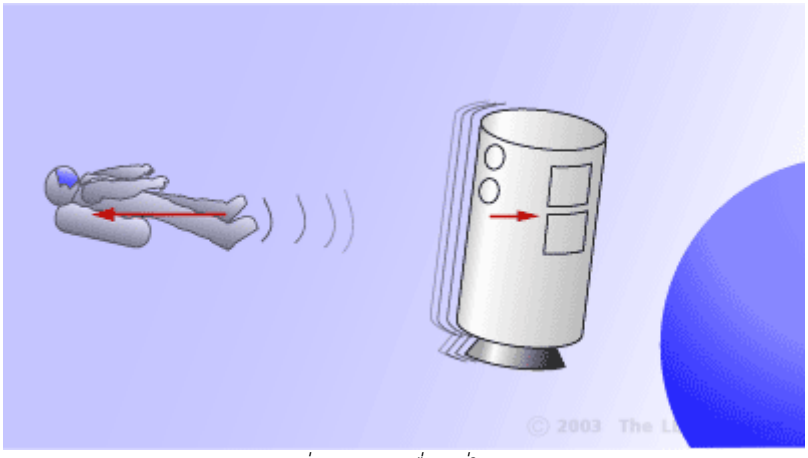
<u>กฎข้อที่ 3 กฎของแรงปฏิกิริยา (Action = Reaction)</u>

“แรงที่วัตถุที่หนึ่งกระทำต่อวัตถุที่สอง ย่อมเท่ากับ แรงที่วัตถุที่สองกระทำต่อวัตถุที่หนึ่ง แต่ทิศทางตรงข้ามกัน”



ภาพที่ 5 แรงกริยา = แรงปฏิกิริยา

หากเราออกแรงถีบยานอวกาศในอวกาศ ทั้งตัวเราและยานอวกาศต่างเคลื่อนที่ออกจากกัน (กฎข้อที่ 3: แรงกริยา = แรงปฏิกิริยา) แต่ตัวเราจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่มากกว่ายานอวกาศ ทั้งนี้เนื่องจากตัวเรามีมวลน้อยกว่ายานอวกาศ (กฎข้อที่ 2: a = F/m) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเคลื่อนที่ในอวกาศ

1.2 การอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum)

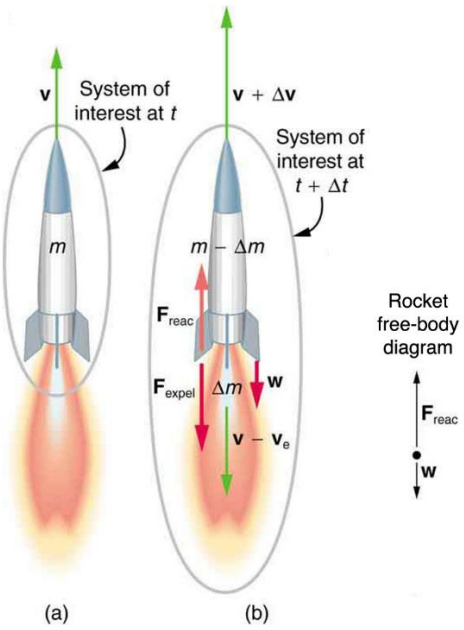
จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน นำมาเขียนใหม่ได้ปริมาณอีกตัวหนึ่งคือ โมเมนตัม (Momentum)

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ momentum

ถ้า $\sum \vec{F} = 0$ นั่นคือ $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = 0$ ดังนั้น Momentum มีค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง

เราเรียกระบบที่มี Momentum คงที่ค่าหนึ่งว่า การอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum) นั่นจึงอธิบายได้ว่า เหตุใดจรวดจึงสามารถเคลื่อนที่ไปได้เมื่อมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของการอนุรักษ์โมเมนตัม ระหว่างเชื้อเพลิงและจรวด
ที่มา: http://cnx.org/content/m42166/latest/?collection=col11406/latest

จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$p_t = p_{t+\Delta t}$$

$$(m + \Delta m)v = m(v + \Delta v) + \Delta m(v - v_e)$$

$$mv + \Delta mv = mv + m\Delta v + \Delta mv - \Delta mv_e$$

$$m\Delta v = \Delta mv_e$$

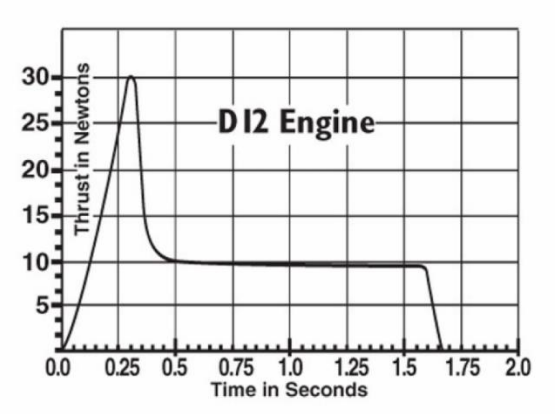
เมื่อเกิดการเผาไหม้และขับดันอนุภาคที่เผาไหม้ของดินขับ (Δm) ออกมาด้วยความเร็ว (v_e) จะทำให้จรวด (m) มีความเร็วเพิ่มขึ้น (Δv)

1.3 แรงขับจรวด (Thrust Force)

การออกแบบจรวด หากเราอยากทราบว่าจรวดที่เราออกแบบมีการเคลื่อนที่เป็นอย่างไร ไปได้ไกลเท่าไร สิ่งที่จำเป็นคือการหาแรงขับจรวด หรือ Trust Force โดยใช้กฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ในการคำนวณการเคลื่อนที่

$$\sum \vec{F} = ma$$

การคำนวณจะอาศัยการวัดแรง (F) ที่ได้แล้วนำมวล (m) มาหารจะได้ความเร่ง (a) จากนั้น อินทิเกรต 1 ครั้งได้ความเร็ว และอินทิเกรตอีกครั้งจะได้ระยะทางที่จรวดจะเคลื่อนที่ไปได้



ภาพที่ 8 แผนภูมิแรงขับจรวดเมื่อเทียบกับเวลา
ที่มา: https://www.321rockets.com

การวัดแรงขับจรวดจะใช้อุปกรณ์ในการช่วยจับยึดจรวด และอ่านค่าออกมาเป็นนิวตัน โดยเรียกวิธีการทดสอบหาค่าแรงขับว่า “Static Test” ดังภาพที่ 9

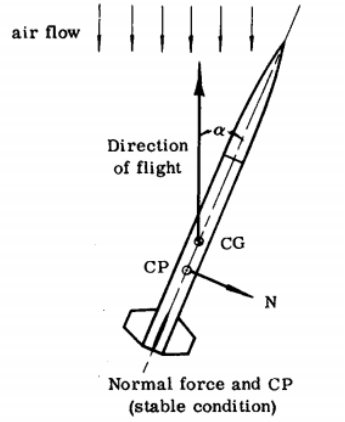
ภาพที่ 9 การทดสอบ Static Test

ที่มา: http://www.imemg.org, http://www.contrib.andrew.cmu.edu

2. เสถียรภาพของจรวด (Rocket Stability)

จรวดที่สามารถใช้งานได้จริงจะต้องมีเสถียรภาพ และทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอน จึงจะทำให้จรวดเคลื่อนที่พุ่งตรงไปข้างหน้าได้ โดยที่ไม่มีการแกว่ง การเหวี่ยง หรือหันหัวกลับ เนื่องจากจรวดเคลื่อนที่แหวกอากาศไปข้างหน้า และอาจมีลมพัดเข้ามาในทิศทางที่ไม่ใช่ทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ จะเกิดมุมปะทะ (Angle of Attack) แต่จรวดที่มีเสถียรภาพจะสร้างแรงเพื่อทำให้จรวดหันหัวกลับไปยังทิศทางการเคลื่อนที่เดิมได้

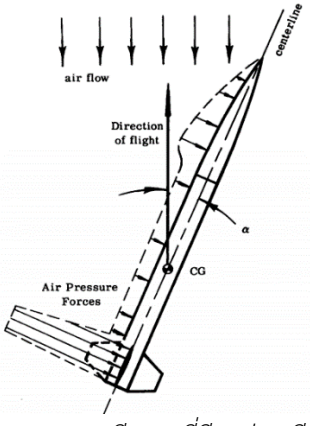
การอธิบายเสถียรภาพของจรวด จำเป็นต้องเข้าใจในจุดหลักสองจุดคือ 1.จุดศูนย์ถ่วง หรือ CG (Center of Gravity) และ 2.จุดศูนย์กลางของแรงดัน หรือ CP (Center of Pressure)



ภาพที่ 10 แสดงจุด CG, CP และทิศทางของการเคลื่อนที่จรวด

จากภาพที่ 10 เมื่อจรวดเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า และมีลมพัดมาคนละทิศกับการเคลื่อนที่ จะเกิดมุมปะทะและแรงกระทำที่จุด CP ซึ่งอยู่ใต้จุด CG เมื่อมีแรงกระทำที่นอกจุด CG จะทำให้เกิดการหมุนรอบจุด CG หรือเรียกว่า เกิดโมเมนต์รอบจุด CG ซึ่งโมเมนต์ที่พาจรวดให้หันหัวกลับเข้าสู่แนวการเคลื่อนที่ เรียกว่า “Restoring Moment”

จรวดที่มีเสถียรภาพคือ จรวดที่มี CP อยู่หลัง CG เสมอ โดยสิ่งที่จะช่วยให้จุด CP ไปอยู่ท้ายของจรวด คือ ครีบหาง หรือ Fin นั่นเอง

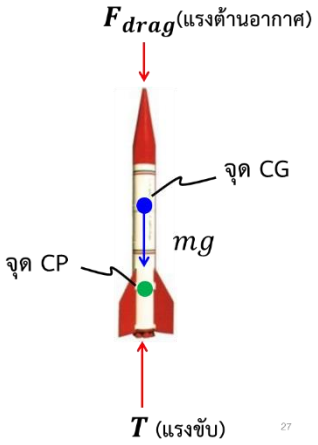


ภาพที่ 11 แสดงขนาดของครีบหางที่มีผลต่อเสถียรภาพของจรวด

3. สมการการเคลื่อนที่

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ทำให้เราสามารถสร้างเป็นสมการการเคลื่อนที่ของจรวดได้

$$T - F_{Drag} - mg = ma$$



จากสมการข้างต้น หากต้องการให้จรวดไปได้ไกลขึ้น

- แรงต้านอากาศ F_{drag} ต้องมีค่าน้อย โดยที่

$$F_{Drag} = C_d \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

C_d คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

- mg ต้องมีค่าน้อย (น้ำหนักเบา)

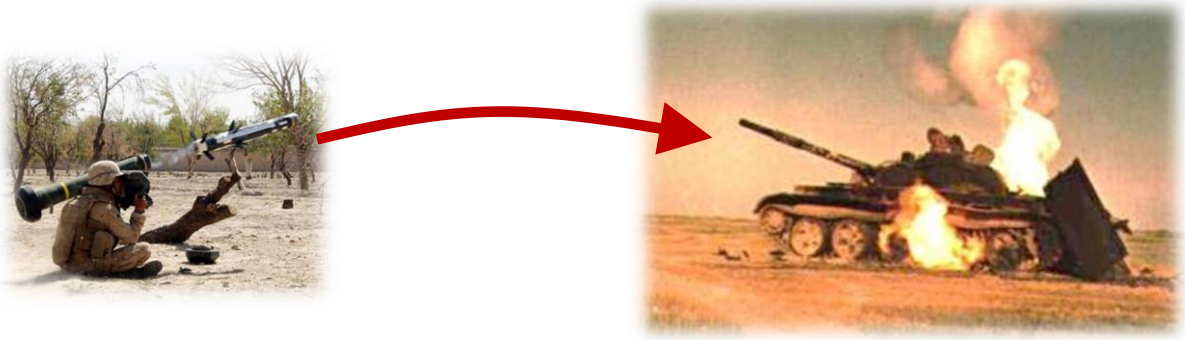
บทที่ 2 การออกแบบจรวดประดิษฐ์

1. ภารกิจของจรวด

ขั้นตอนการออกแบบจรวดถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด โดยการออกแบบนั้นจะต้องคำนึงถึงภารกิจ (Mission) ที่เราต้องการให้จรวดบรรลุเป้าหมาย หากไม่มีเป้าหมายที่แน่นอนแล้ว จรวดที่เราสร้างขึ้นอาจล้มเหลวตั้งแต่แรก เพื่อให้การคำนึงถึงภารกิจทำได้ง่ายขึ้น มีตัวอย่างของภารกิจจรวดดังข้างล่างนี้

1.1 จรวดต่อสู้รถถัง

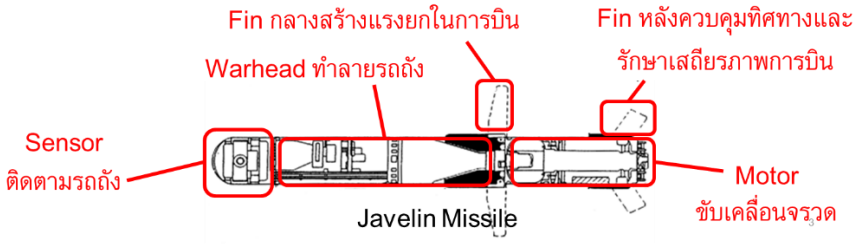
เป็นจรวดพิสัยใกล้ ในระยะ 2 กม. จุดประสงค์คือการยิงจากภาคพื้น เพื่อทำลายรถถัง



ภาพที่ 12 แสดงภารกิจของจรวดต่อสู้รถถัง

ดังนั้นจรวดที่สร้างควรมีเซนเซอร์ที่ติดตามรถถัง, มีหัวรบที่สามารถเจาะเกราะรถถัง, มีครีบกลางสร้างแรงยกในการบิน และครีบหลังควบคุมทิศทางและรักษาเสถียรภาพการบิน เช่น Javelin Missile

ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงส่วนประกอบของจรวดต่อสู้รถถัง

1.2 จรวดต่อสู้อากาศยาน

มีภารกิจติดตามและทำลายเครื่องบินข้าศึก ยิงจากอากาศสู่อากาศ

ภาพที่ 14 แสดงภารกิจของจรวดต่อสู้อากาศยาน

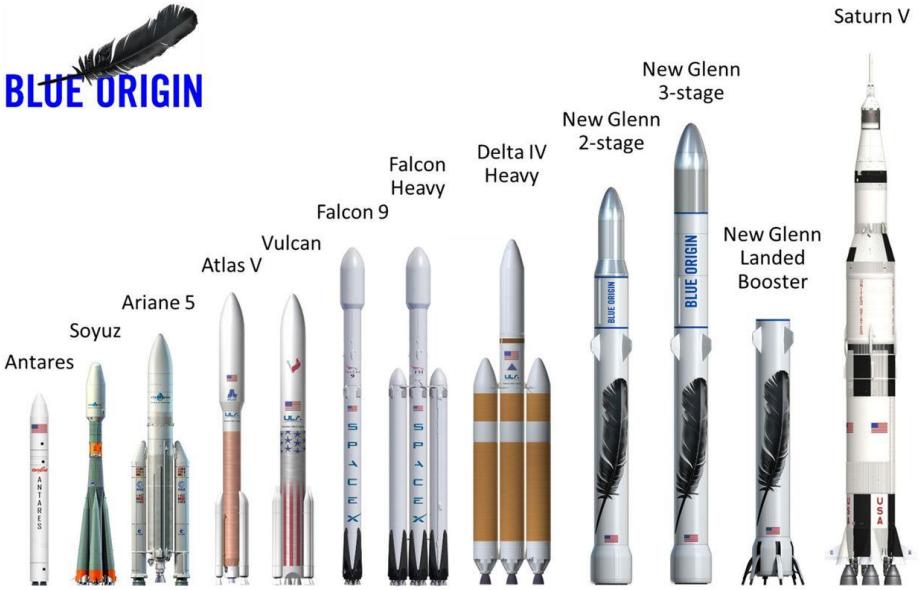
ดังนั้นจรวดที่สร้างควรจะมีเซนเซอร์ติดตามเครื่องบินข้าศึก, มีครีบหน้าควบคุมทิศทาง, มีหัวรบที่สามารถทำลายเครื่องบิน และมีครีบหลังที่รักษาเสถียรภาพการบิน ดังภาพที่ 15

ภาพที่ 15 แสดงส่วนประกอบของจรวดต่อสู้อากาศยาน

1.3 จรวดนำส่งดาวเทียม

ภารกิจ: บรรทุกและส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรรอบโลก

ภาพที่ 16 แสดงภารกิจของจรวดนำส่งดาวเทียม

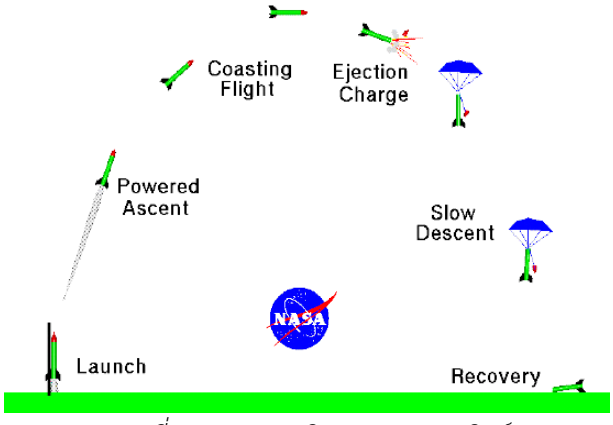


ภาพที่ 17 แสดงจรวดนำส่งดาวเทียมแบบต่างๆ

ที่มา: http://www.latimes.com/business/la-fi-blue-origin-rocket-20160912-snap-story.html

1.4 จรวดประดิษฐ์

ภารกิจ: บรรทุก CANSAT เพื่อส่งสู่อากาศในระดับความสูง 500 - 1,000 เมตร



ภาพที่ 18 แสดงภารกิจของจรวดประดิษฐ์

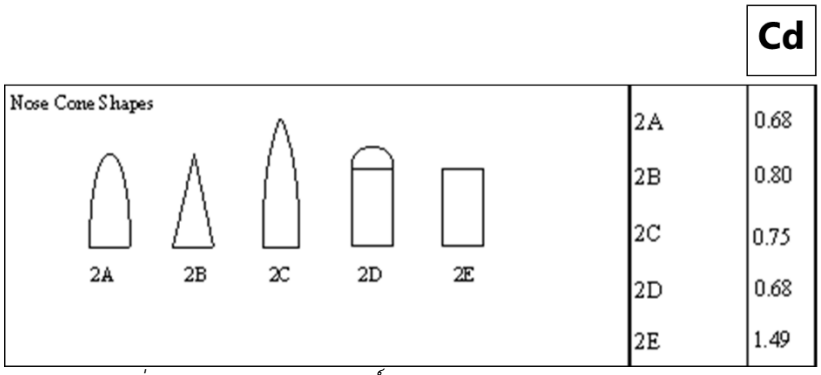
ที่มา: http://www.nasa.gov

2. ส่วนประกอบของจรวดประดิษฐ์

ก่อนที่จะออกแบบและลงมือทำจรวดประดิษฐ์ เราควรศึกษาและเข้าใจส่วนประกอบทั้งหมดของจรวดเสียก่อน เพื่อให้สามารถวางแผน และลงมือทำได้อย่างถูกต้องตามขั้นตอน สำหรับจรวดประดิษฐ์ที่ใช้ในการส่งดาวเทียมกระป๋อง หรือ CANSAT นั้นมีส่วนประกอบดังนี้

1. หัวจรวด (Nosecone)

ส่วนหัวของจรวดมีหน้าที่ลดแรงต้านอากาศเมื่อจรวดเคลื่อนที่



ภาพที่ 19 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของหัวจรวดแต่ละชนิด

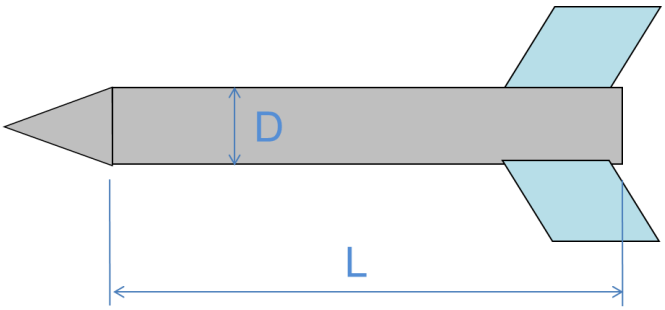
2. ส่วนบรรจุ Payload

สำหรับบรรจุอุปกรณ์ หรือทำภารกิจที่ได้รับมอบหมาย

3. โครงจรวด (Airframe)

เป็นโครงสร้างหลักในการยึดชิ้นสิ้นเข้าด้วยกัน

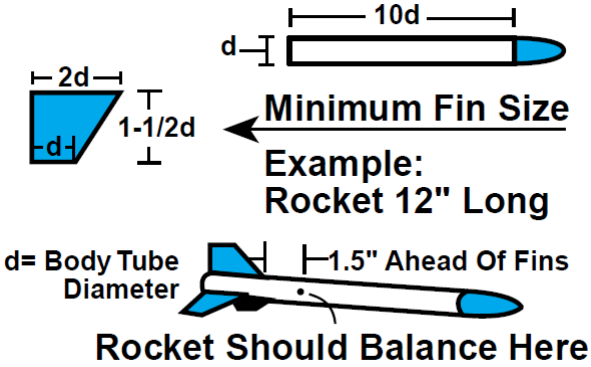
โดยปกติจะใช้สัดส่วนของจรวด L/D = 10



ภาพที่ 20 แสดงสัดส่วนของจรวดที่เหมาะสม

4. ครีบ (Fins)

ครีบหาง หรือครีบกลางลำตัว ช่วยให้จรวดมีเสถียรภาพ



ภาพที่ 21 แสดงสัดส่วนของครีบหางที่เหมาะสม

5. ส่วนกู้คืน หรือร่มชูชีพของจรวด (Recovery)

ช่วยชะลอความเร็วในการตกสู่พื้น และสามารถกู้ซากจรวดที่ตกลงมาได้ง่าย

ภาพที่ 22 แสดงร่มชูชีพของจรวดประดิษฐ์

การออกแบบร่มชูชีพ (Parachute) สามารถใช้สมการด้านล่างคำนวณขนาดที่ต้องการ

ขนาดพื้นที่ของร่มชูชีพ $S = (\frac{2 \times g \times m}{\rho \times C_d \times V^2})$

โดย g = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก = $9.8\ m/s^2$

m = น้ำหนักจรวด (kg)

ρ = ความหนาแน่นอากาศ = $1.2\ kg/m^3$

C_d = สัมประสิทธิ์แรงต้าน

V = ความเร็วที่ตกสู่พื้น (สำหรับจรวดประดิษฐ์ควรมีค่า 3-5 m/s)

6. ส่วน Motor และ Motor Mount

เป็นส่วนหลักในการขับเคลื่อนจรวด สำหรับรายละเอียดจะกล่าวต่อไปในบทที่ 3 เรื่องดินขับ และการออกแบบดินขับจรวดประดิษฐ์

3. การออกแบบจรวดประดิษฐ์

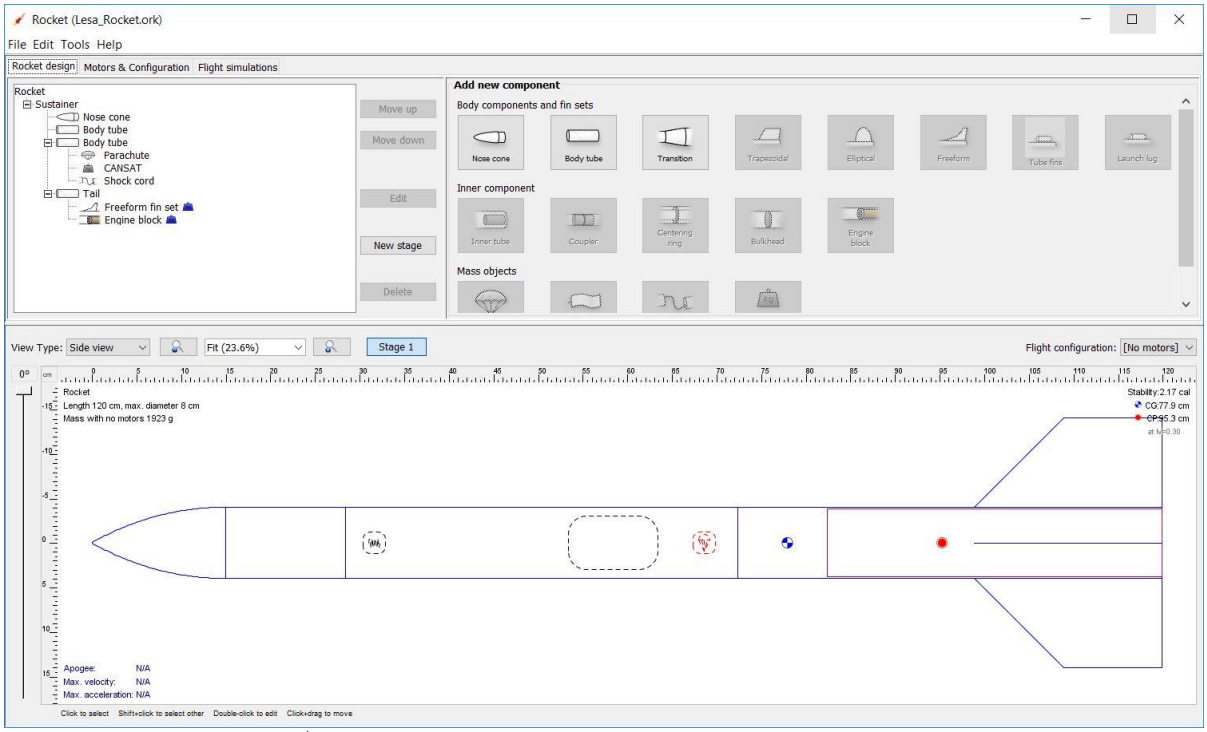
เมื่อเราทราบภารกิจของจรวดประดิษฐ์แล้ว สามารถนำมาออกแบบจรวดของตนเองตามขั้นตอนด้านล่าง

3.1 ออกแบบรายละเอียด (Detailed Design)

รายละเอียดของจรวด เช่น แบบ Nosecone ตำแหน่งของ Payload ขนาดของท่อจรวด น้ำหนัก Payload ระดับความสูงที่ต้องการ และขนาดของ Motor

3.2 หา CG และ CP โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ เช่น OpenRocket

โปรแกรม OpenRocket เป็นโปรแกรมภาษาจาวา สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจากเว็บไซต์ http://openrocket.info/ โดยโปรแกรมสามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากเป็นอินเทอร์เฟซแบบกราฟฟิค (GUI) และสามารถคำนวณหาจุด CG และ CP ณ ขณะที่ออกแบบได้ (Real-time view of CG and CP) เพียงระบุขนาด น้ำหนัก และวัสดุ

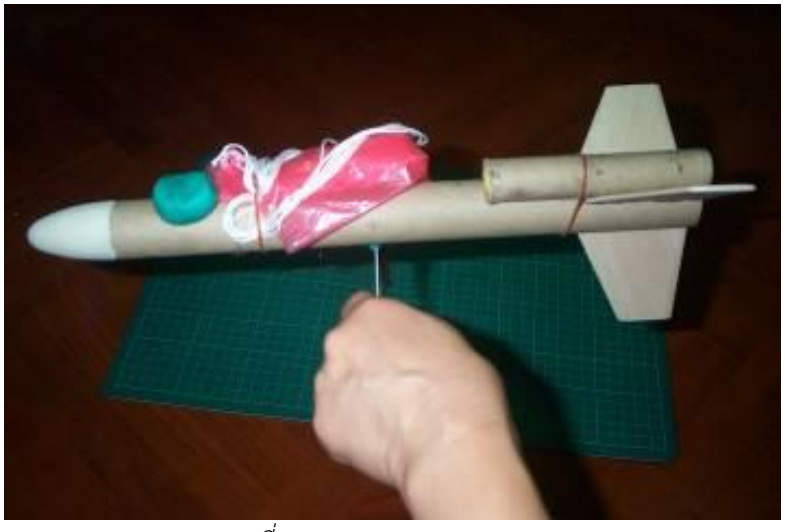


ภาพที่ 23 แสดงโปรแกรม OpenRocket ใช้ในการออกแบบจรวดประดิษฐ์

3.3 สร้างจรวด

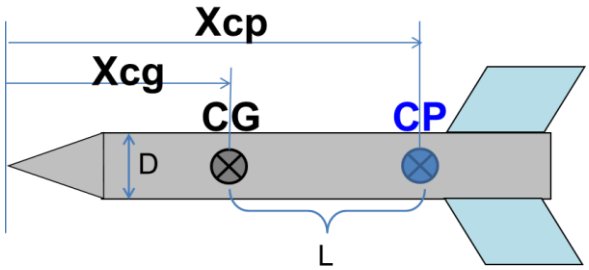
3.4 ตรวจสอบจุด CG และถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ Static Margin ที่ต้องการ

การตรวจสอบจุด CG สามารถนำอุปกรณ์ทั้งหมดประกอบเข้ากับจรวด แล้วตั้งบนจุดที่ทำให้จรวดสมดุลไม่ตะแคงล้มไปด้านใดด้านหนึ่ง ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 แสดงการตรวจสอบจุด CG

การคำนวณหาค่า Static Margin สามารถหาได้จากภาพที่ 25 และสมการด้านล่าง



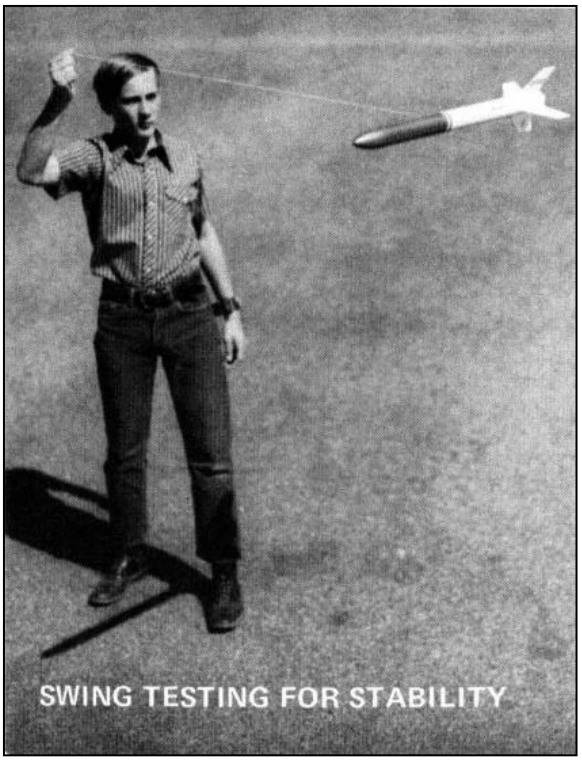
ภาพที่ 25 แสดงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหา Static Margin

$$\textit{Static Margin} = \frac{(X_{cp} - X_{cg}}{D} = \frac{L}{D}$$ หน่วยเป็น ***caliber***

โดยค่า Static Margin ที่เหมาะสมคือ 1 - 2 caliber

3.5 ทดสอบโดยการเหวี่ยง (Swing Test)

การเหวี่ยงเป็นการทดสอบง่ายๆ โดยนำเชือกมามัดลำตัวจรวด ณ จุด CG และเหวี่ยงด้วยความเร็วพอสมควรเพื่อทดสอบการเคลื่อนที่ของจรวดว่าเคลื่อนที่ไปด้านหน้าอย่างมีเสถียรภาพหรือไม่ หากเหวี่ยงแล้วหัวจรวดไม่พุ่งไปด้านหน้า แสดงว่าจรวดไม่มีเสถียรภาพ



ภาพที่ 26 แสดงการทดสอบโดยการเหวี่ยง (Swing Test)

3.6 ตรวจสอบรายละเอียด และพร้อมยิง

บทที่ 3 ระบบขับเคลื่อนของจรวด

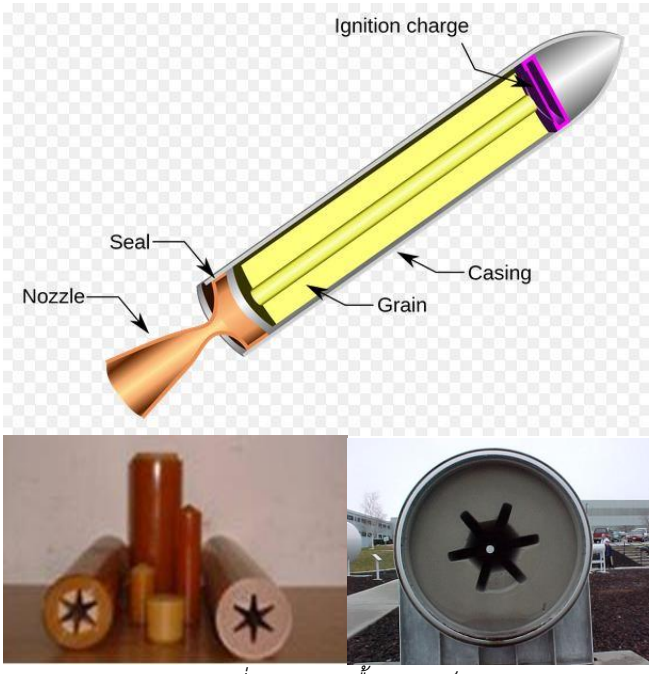
1. ชนิดของระบบขับเคลื่อน

1.1 เชื้อเพลิงแข็ง

เป็นเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นของแข็ง หล่ออัดจนขึ้นรูปเป็นแท่ง

เชื้อเพลิง + สารออกซิไดซ์ = แท่งดินขับจรวด (Rocket Propellant Grain)

มีแรงขับมากที่สุด แต่ไม่สามารถควบคุมการสันดาปได้



ภาพที่ 27 แสดงเชื้อเพลิงแข็ง

1.2 เชื้อเพลิงเหลว

เชื้อเพลิงเหลว = (เชื้อเพลิง + ปั้ม) + (สารออกซิไดซ์ + ปั้ม)

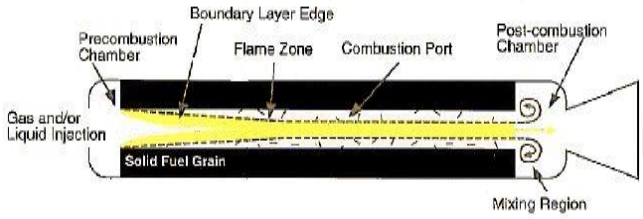
มีความซับซ้อนสูง และให้แรงขับที่มาก ใช้ในภารกิจขับเคลื่อนในวงโคจรและการเดินทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์

ภาพที่ 28 แสดงส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเหลว

1.3 เชื้อเพลิงไฮบริด

คือ เชื้อเพลิงแข็ง + (สารออกซิไดซ์เป็นของเหลวหรือก๊าซ + ปั้ม)

มีแรงขับมาก แต่ไม่ซับซ้อนมากเท่าเชื้อเพลิงเหลว ใช้ขับเคลื่อนในวงโคจรได้ดี

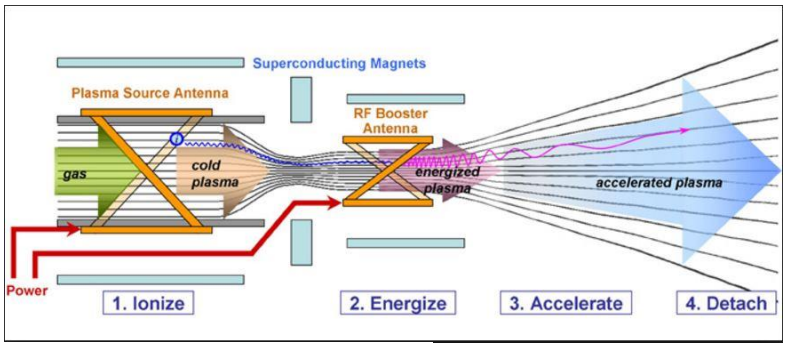


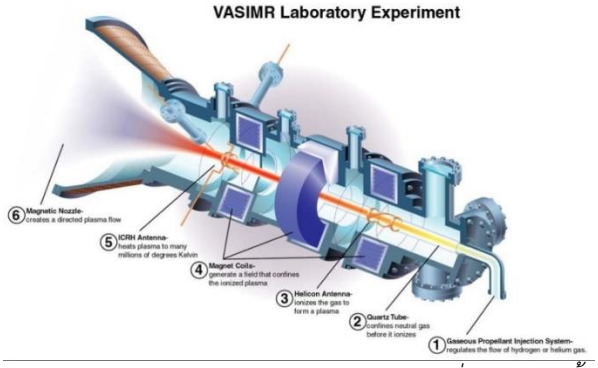
ภาพที่ 29 แสดงส่วนประกอบของเชื้อเพลิงไฮบริด

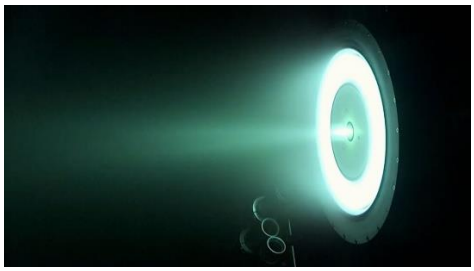
1.4 เชื้อเพลิงไอออน

เป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้า แก๊สเฉื่อย และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับใช้ในยานอวกาศที่เดินทางอยู่ในอวกาศนอกโลก ใช้แผงเซลพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยสร้างเป็นเชื้อเพลิงไอออนในการขับเคลื่อนยานอวกาศเดินทางระหว่างดวงดาว



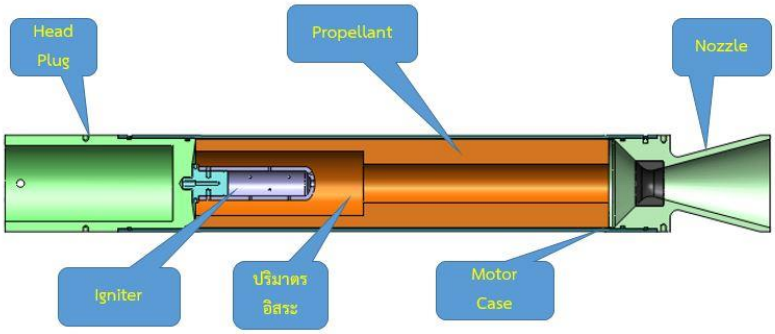




ภาพที่ 30 แสดงเชื้อเพลิงไอออน

2. จรวดเชื้อเพลิงแข็ง

2.1 ส่วนประกอบของจรวดเชื้อเพลิงแข็ง



ภาพที่ 31 แสดงส่วนประกอบของจรวดเชื้อเพลิงแข็ง

2.2 ชนิดดินขับเชื้อเพลิงแข็ง

2.2.1 ดินขับเนื้อเดียว

ส่วนผสม: Nitrocellulose + Stabilizer + Plasticizer + Burning Rate Catalyst

ข้อดี: ควันน้อย ปรับอัตราเผาไหม้ได้

ข้อเสีย: ให้พลังงานต่ำ เมื่อเทียบกับดินขับเนื้อผสม

วิธีผลิต: อัดรีด (Extrude) หรือหล่อ (Cast)

Figure 5-4: A solid propellant extruder and grain.

ภาพที่ 32 แสดงลักษณะของดินขับเนื้อเดียว

2.2.2 ดินขับเนื้อผสม

มีหลายชนิด ได้แก่ ดินดำ ดินขับไพโรเทคนิค ดินขับคอมโพสิต และดินขับน้ำตาล

2.2.2.1 ดินดำ

ส่วนผสม: Potassium Nitrate + Charcoal + Sulfur

ข้อดี: ผลิตง่าย วัสดุหาได้ทั่วไป

ข้อเสีย: สมรรถนะต่ำ เปราะแตกร้าวง่าย

วิธีผลิต: ผสมส่วนผสมต่างๆ เป็นผง อัดขึ้นรูปเป็นแท่ง

2.2.2.2 ดินขับไพโรเทคนิค

ส่วนผสม: Sodium Azide + 5-Amino Tetrazole + Guanidine Nitrate + Phase Stabilized + Ammonium Nitrate + Potasssium Perchlorate

ข้อดี: เผาไหม้กลายเป็นแก๊สอย่างรวดเร็ว

ข้อเสีย: มีความเป็นพิษอยู่

วิธีผลิต: อัดขึ้นรูปเป็นเม็ด

2.2.2.3 ดินขับคอมโพสิต

ส่วนผสม: Binder + Oxidizer + Metallic Fuel + Plasticizer + Burning Rate Catalyst + Bonding Agent + Anti-oxidant + Curing Agent

ข้อดี: ให้พลังงานสูงกว่าดินขับเนื้อเดียว

ข้อเสีย: มีควันเยอะ

วิธีผลิต: โดยวิธีหล่อ (Cast) หรืออัดรีด (Extrude)

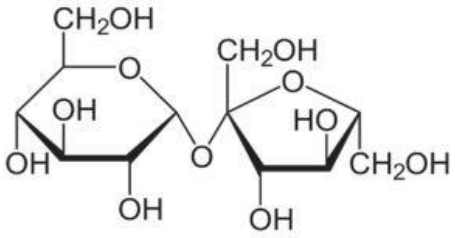
2.2.2.4 ดินขับน้ำตาล

ส่วนผสม: น้ำตาลซูโครส + Potassium Nitrate

ข้อดี: ทำได้ง่าย วัสดุหาได้ง่าย

ข้อเสีย: ดูดความชื้นในอากาศได้ง่าย และแรงขับน้อย

วิธีผลิต: ผลิตโดยการหล่อ (Cast)



ภาพที่ 33 แสดงสูตรเคมี และลักษณะของดินขับน้ำตาล

3. การสร้างระบบขับเคลื่อนของจรวดประดิษฐ์

ระบบขับเคลื่อนของจรวดประดิษฐ์นั้น ต้องการวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องตลาด และมีราคาไม่แพง ดังนั้น การใช้ดินขับชนิดดินขับน้ำตาล จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด และผลิตได้ง่ายไม่ยุ่งยาก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตดินขับน้ำตาล

1. น้ำตาลทราย
2. โพแทสเซียมไนเตรต
3. หม้อ หรือกระทะก้นลึก
4. ไม้พาย หรือทัพพี
5. เตาไฟฟ้า
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล
8. เครื่องปั่น

วิธีการผสมดินขับน้ำตาล

1. ผสมโพแทสเซียมไนเตรต กับน้ำตาลทราย ในอัตราส่วน 60:40 โดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล
2. นำส่วนผสมที่ได้ไปปั่นในเครื่องปั่นด้วยรอบต่ำๆ เพื่อให้น้ำตาลทราย และโพแทสเซียมไนเตรต ผสมจนกลายเป็นผงเนื้อเดียวกัน
3. ตั้งกระทะหรือหม้อด้วยความร้อนประมาณ 150 องศาเซลเซียส แล้วเทส่วนผสมจากข้อ 2
4. คลุกด้วยไม้พายอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งผลึกเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ให้ลดความร้อนลงเหลือ 80-100 องศาเซลเซียส
5. คลุกส่วนผสมด้วยไม้พายอย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง จนดินขับหลอมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน มีสีครีม หรือน้ำตาลอ่อนๆ หากใช้ไฟแรงเกินไปหรือไม่ได้คนส่วนผสมตลอดเวลา ส่วนที่โดนความร้อนมากเกินไปจะไหม้เกรียมเป็นสีดำ และจะทำให้ดินขับไม่สามารถใช้งานได้
6. นำดินขับที่เหลวเทลงในพิมพ์พลาสติก PVC หรือท่ออลูมิเนียมของมอเตอร์ เอาแท่งดินสอหรือแท่งอลูมิเนียมเสียบตรงแกนกลาง เพื่อให้มีพื้นที่ในการสันดาปของจรวดได้คงที่ พอได้รูปร่างให้ดึงแท่งแกนกลางออก แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ดินขับจะกลายสภาพเป็นของแข็ง มีลักษณะคล้ายลูกอม
7. ดินขับพร้อมใช้งาน ในระหว่างรอการจุดจรวด ดินขับควรเก็บอยู่ในภาชนะปิดที่มีสารดูดความชื้น ไม่เช่นนั้น ดินขับน้ำตาลจะดูดความชื้นในอากาศ และทำให้ดินขับจุดไม่ติด หรือติดได้ยาก

ข้อควรระวัง ดินขับน้ำตาลให้ความร้อนสูงถึง 300 องศาเซลเซียส ไม่ควรจุดจรวดในอาคาร หรือบริเวณที่เสี่ยงจากการเกิดเพลิงไหม้ การจุดจรวดควรจะมีพื้นที่และบริเวณทดสอบที่ห่างไกลจากเขตชุมชน และพื้นที่ทำการบิน

บรรณานุกรม

ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. (2558). **จรวด.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.lesa.biz/space-technology/rocket/. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 มกราคม 2561).

Making Rocket Fuel with Kitchen Chemistry!. (2556). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.instructables.com/id/Making-Rocket-Fuel-With-Kitchen-Chemistry/. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 มกราคม 2561).

Rocket candy. (2561). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://en.wikipedia.org/wiki/Rocket_candy/. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 มกราคม 2561).

wikiHow. (2560). **How to Make Sugar Rockets.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.wikihow.com/Make-Sugar-Rockets/. (วันที่ค้นข้อมูล : 8 มกราคม 2561).