

## การออกแบบครีบบางจรวดแบบโค้งโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Rocket “Wraparound” Fin Design using Finite Element Method

อชิรฤกษ์ จุฬินพิจวงษ์<sup>1</sup> สมชาติ ลิขิตวิทยานิพนธ์<sup>2</sup> นัตตา จงไฟโรจน์โมษิต<sup>3</sup> และไกรสุนทร เข้มสุข<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม ชั้น 4 อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ) 47/433  
หมู่ 3 ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120  
\*ผู้ติดต่อ: achirakris.j@dti.or.th, 02 980 6198 ต่อ 619

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการออกแบบครีบบางจรวดแบบโค้ง (Wraparound Fin) ซึ่งประกอบด้วยครีบบาง (Fin) และแกนครีบบาง (Pin) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบและเลือกใช้วัสดุและขนาดที่เหมาะสม การออกแบบกระทำโดยเลือกวัสดุครีบบางจำนวน 2 ชนิดได้แก่ 6061-T6 Aluminum Alloy และ AISI 4130 Steel (Normalized at 870 °C) ขนาดความหนา 2 และ 4 มิลลิเมตร เพื่อใช้กับจรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และใช้ 17-7PH Stainless Steel เป็นวัสดุสำหรับออกแบบแกนครีบบาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 4 มิลลิเมตร เขียนแบบชิ้นงานด้วยซอฟต์แวร์ Solidworks 2009 และวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยซอฟต์แวร์ ANSYS 13.0 โดยชิ้นงานได้รับแรงที่มากกระทำอยู่ 2 แรงคือ 1.แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเนื่องจากการหมุนของจรวดซึ่งได้จากการคำนวณด้วยสมการทางฟิสิกส์ และ 2.แรงต้านอากาศเนื่องจากการเคลื่อนที่ของจรวด โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเฉพาะผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเท่านั้น ผลการศึกษาสามารถบ่งชี้ถึงวัสดุและขนาดที่เหมาะสมสำหรับทำครีบบางจรวดแบบโค้งให้ใช้งานได้เหมาะสมและปลอดภัย งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความแข็งแรงและเลือกใช้วัสดุและขนาดที่เหมาะสมสำหรับทำครีบบางจรวดแบบโค้งไม่เฉพาะแต่กับจรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับจรวดขนาดอื่นที่มีคุณลักษณะคล้ายกันได้อีกด้วย

**คำหลัก:** ครีบบางจรวด, ความแข็งแรงของวัสดุ, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, อากาศพลศาสตร์

### Abstract

This paper presents the design of a rocket “wraparound” fin including fin and hinge pin using finite element method, to compare and select appropriate materials and sizes. Four types of material for the fins of a 100 mm diameter rocket were studied: 6061-T6 Aluminum Alloy and AISI 4130 Steel (Normalized at 870 °C) , with thickness equal to 2 and 4 mm. 17-7PH Stainless Steel was selected for the hinge pins, with diameter equal to 2 and 4 mm. SolidWorks 2009 was used to create 3-D drawings and ANSYS 13.0 to analyze the strength. Two external forces act on the wraparound fins: 1.centrifugal force due to the spin of the rocket, which is calculated from the equation of motion and, 2. air resistance due to the motion of the rocket. This paper study effect of centrifugal force only. The study results indicated the optimum material and size for wraparound fins in terms of function and safety. This research can be used

as a guide in analyzing the strength and optimizing material and size for wraparound fins, not only for the 100 mm diameter rocket, but also for other rockets with similar features as well.

**Keywords:** Wraparound Fin, Strength of Material, Finite Element Method, Aerodynamics

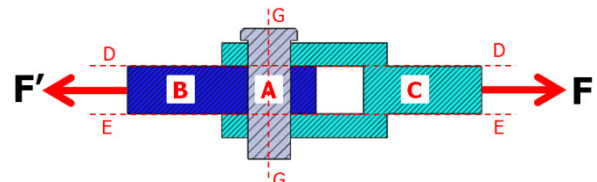
## 1. บทนำ

ครีบบางจรวดแบบโค้งเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของจรวดที่ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของจรวดเมื่อมีการเคลื่อนที่โดยอิสระในอากาศด้วยการบังคับให้จรวดหมุนในระดับที่เหมาะสม โดยการออกแบบครีบบางจรวดให้มีมุมเอียงเล็กน้อยและติดตั้งอยู่บริเวณด้านท้ายของจรวด ข้อดีของครีบบางจรวดแบบโค้งคือสามารถพับเก็บเข้ากับลำตัวจรวดได้ ดังนั้นจึงสามารถออกแบบท่อยิงให้มีขนาดใหญ่กว่าจรวดเล็กน้อยได้[1] เมื่อจรวดเคลื่อนที่พ้นจากท่อยิงครีบบางจรวดจะกางออกด้วยแรงบิดของสปริง ในขณะที่จรวดกำลังหมุนอยู่ครีบบางจรวดจะได้รับแรงกระทำจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นหลักซึ่งจะมีค่าน้อยขึ้นอยู่กับการหมุนของจรวด หากออกแบบส่วนประกอบของครีบบางจรวด (ครีบบาง และแกนครีบบาง) ที่มีความแข็งแรงไม่เพียงพออาจทำให้เกิดความเสียหายได้

งานวิจัยนี้สนใจการวิเคราะห์ความแข็งแรงของส่วนประกอบของครีบบางจรวดที่ถูกกระทำด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เนื่องจากชิ้นงานบางส่วนมีรูปร่างซับซ้อน การหาค่าตอบด้วยการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์นั้นมีความยุ่งยากและเสียเวลามาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำซอฟต์แวร์ ANSYS 13.0 ซึ่งใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการหาค่าตอบแทน เพื่อช่วยในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาค่าตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและสมการปริพันธ์ ข้อดีคือช่วยแก้ปัญหาและลดเวลาในการคำนวณสมการที่มีความยุ่งยากซับซ้อนได้เป็นอย่างดี และเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการหาค่าตอบด้วยวิธีนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยสมการเชิงอนุพันธ์อีกด้วย

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความเค้นบริเวณข้อต่อสลัก

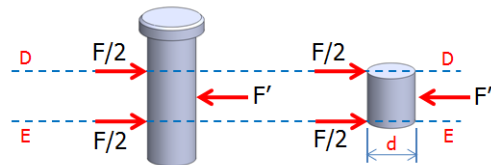


รูปที่ 1 แสดงภาพตัดขวางชิ้นงานประกอบ A B และ C

จากรูปที่ 1 ชิ้นงาน B และ C ยึดต่อกันด้วยสลัก A ชิ้นงาน B และ C ได้รับแรงดึง  $F'$  และ  $F$  ตามลำดับ โดยชิ้นงานแต่ละส่วนจะมีความเค้นเกิดขึ้นดังนี้

สลัก A จะได้รับความเค้นเฉือน (Shear Stress) สูงสุดบริเวณ Section D-D และ E-E (ตามรูปที่ 2) โดยอ้างอิงจาก [4] สมการความเค้นเฉือนคือ

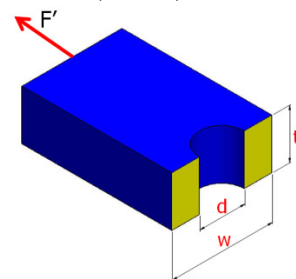
$$\tau_A = \frac{F}{2(\pi d^2 / 4)} \quad (1)$$



รูปที่ 2 แสดงแรงที่กระทำกับสลัก A

ชิ้นงาน B จะได้รับความเค้นตึงจาก (Normal Stress) สูงสุดบริเวณ Section G-G (ตามรูปที่ 3) โดยอ้างอิงจาก [4] สมการความเค้นตึงคือ

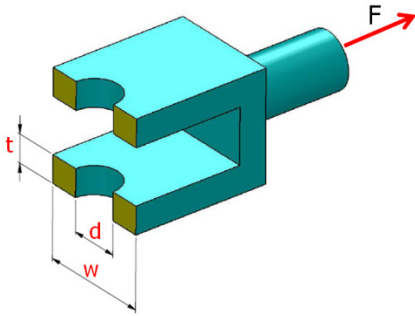
$$\sigma_B = \frac{F'}{t(w-d)} \quad (2)$$



รูปที่ 3 แสดงแรงที่กระทำกับชิ้นงาน B

ชิ้นงาน C จะได้รับความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress) สูงสุดบริเวณ Section G-G (ตามรูปที่ 4) โดยอ้างอิงจาก [4] สมการความเค้นตั้งฉากคือ

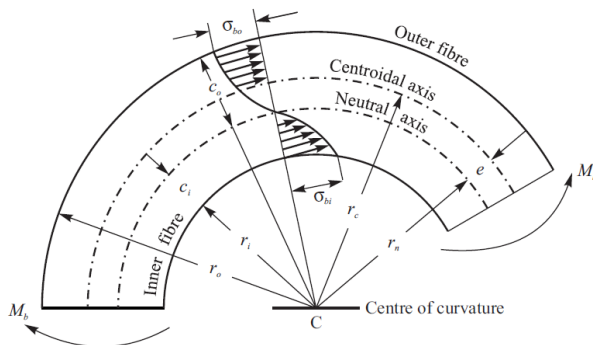
$$\sigma_c = \frac{F}{2t(w-d)} \quad (3)$$



รูปที่ 4 แสดงแรงที่กระทำกับชิ้นงาน C

## 2.2 ความเค้นในคานโค้ง

การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นกับคานโค้งจะมีลักษณะที่แตกต่างจากคานตรงเนื่องจากในคานโค้งนั้นแกน Neutral จะไม่เป็นเส้นเดียวกับแกน Centroidal สำหรับสมการความเค้นในคานโค้งเป็นดังนี้



รูปที่ 5 แสดงแรงที่กระทำกับคานโค้ง

โดยอ้างอิงจาก [2] สมการของความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านในคือ

$$\sigma_{bi} = \frac{Mc_i}{Aer_i} \quad (4)$$

และสมการของความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านนอกคือ

$$\sigma_{bo} = \frac{Mc_o}{Aer_o} \quad (5)$$

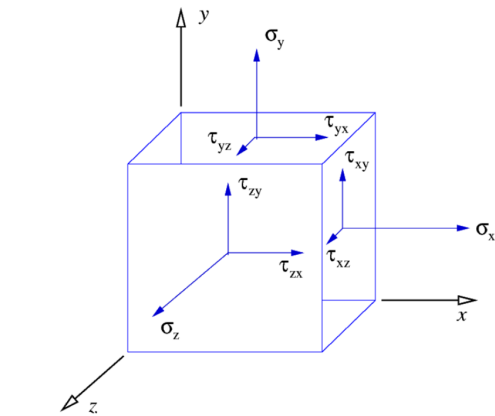
เมื่อ

$$r_n = \frac{(r_o - r_i)}{\ln(r_o / r_i)} \quad (6)$$

## 2.3 ทฤษฎีความเสียหาย

ทฤษฎีความเสียหายในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีความเค้นวอนมิสเชส (Von Mises Stress) เนื่องจากเป็นทฤษฎีที่ผลจากการทดสอบวัสดุภายใต้ความเค้นที่กระทำต่อวัสดุทุกทิศทาง ทำให้มีความปลอดภัยในการออกแบบสูง โดยอ้างอิงจาก [3] สมการความเค้นวอนมิสเชสสามารถเขียนในรูปตัวแปรความดันย่อยดังสมการที่ (7)

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0.5 \left[ \begin{matrix} (\sigma_x - \sigma_y)^2 \\ + (\sigma_y - \sigma_z)^2 \\ + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \end{matrix} \right] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (7)$$



รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบของความเค้นในแต่ละ

ระนาบ

โดยอ้างอิงจาก [3] เมื่อนำค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Strength) มาหารด้วยค่าความเค้นวอนมิสเชส ก็จะได้ค่าความปลอดภัย (Safety of Factor) ดังในสมการที่ (8)

$$S.F. = \frac{S_{yeild}}{\sigma_{vm}} \quad (8)$$

## 2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือที่เรียกย่อๆว่า FEM คือเทคนิคการนำปัญหาที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์หรือสมการปริพันธ์มา

หาคำตอบโดยประมาณ เริ่มจากการแบ่งรูปร่าง ลักษณะของชิ้นงานนั้นออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ และจากแต่ละเอลิเมนต์ย่อยนี้เองเราจำเป็นต้องสร้าง สมการสำหรับเอลิเมนต์นั้น เมื่อได้สมการของแต่ละเอลิเมนต์แล้ว จึงนำสมการของทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมกันก่อให้เกิดระบบสมการใหญ่ จากนั้นจึงกำหนด ปัญหาของเงื่อนไขขอบเขต และแก้สมการใหญ่นั้นเพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ โดยอ้างอิงจาก [3] รูปแบบทั่วไปของสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาคือ

$$D_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - G\phi + Q = 0 \quad (9)$$

และรูปแบบของการเปลี่ยนรูปสมการเชิงอนุพันธ์ มาเป็นสมการไฟไนต์เอลิเมนต์คือ

$$[K][\phi] = [F] \quad (10)$$

$[K]$  = เมทริกซ์ของความแข็งแกร่ง

$[\phi]$  = ค่าคำตอบของปัญหา

$[F]$  = เมทริกซ์ของแรงภายนอก

### 3. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบไปด้วย

3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.2 Software Solidworks 2009 สำหรับเขียนแบบชิ้นงาน

3.3 Software ANSYS 13.0 สำหรับหาคำตอบของปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

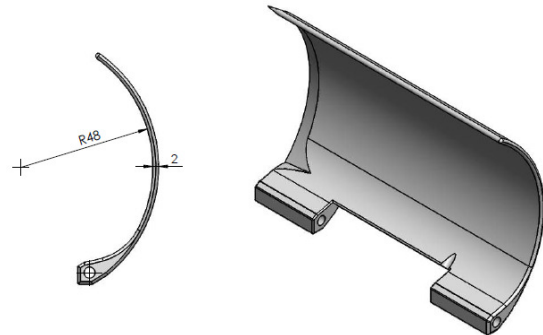
### 4. วิธีการ

ในการทดสอบจะสมมติว่าจรวดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 2 มัคและหมุนด้วยความเร็วรอบสูงสุด 20 รอบต่อวินาที จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของครีบบางสำหรับจรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร โดยเลือกใช้วัสดุจำนวน 2 ชนิดได้แก่ 6061-T6 Aluminum Alloy และ AISI 4130 Steel (Normalized at 870 °C) ขนาดความหนา 2 และ 4 มิลลิเมตร และวิเคราะห์ความแข็งแรงของแกนครีบบางเลือกใช้ 17-7PH Stainless Steel ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 4 มิลลิเมตร โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

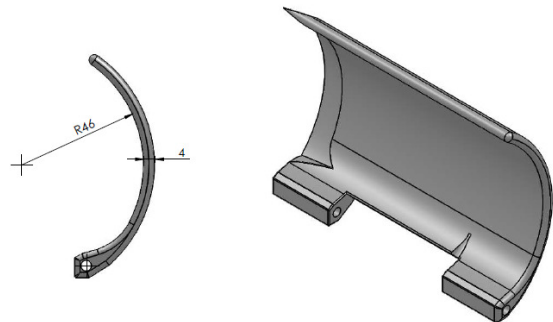
#### 4.1 สร้างแบบจำลองชิ้นงาน

การสร้างแบบจำลองของชิ้นงานสำหรับการทดสอบครั้งนี้ประกอบไปด้วย

1. ครีบบางขนาด 2 และ 4 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7-8

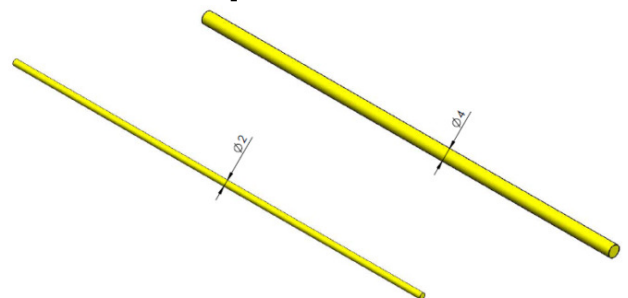


รูปที่ 7 แสดงครีบบางขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร

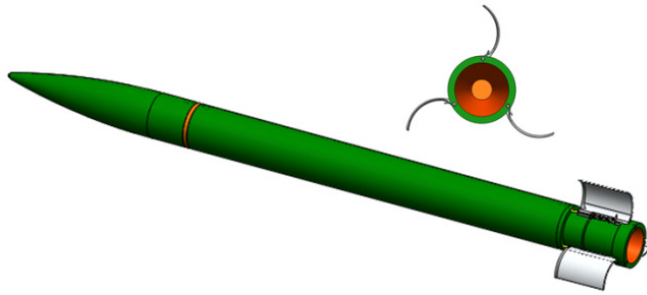


รูปที่ 8 แสดงครีบบางขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร

2. แกนครีบบางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 และ 4 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงแกนครีบบางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (ซ้าย) และ 4 มิลลิเมตร (ขวา)



รูปที่ 10 แสดงแบบจำลองจรวด 100 มิลลิเมตร

#### 4.2 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำครีบบางจรวดเป็นดังนี้ ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำครีบบาง

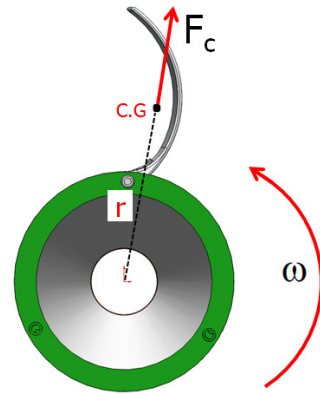
Property	Value		Unit
	Al 6061-T6	AISI 4130	
Elastic Modulus	69	205	GPa
Poissons Ratio	0.33	0.285	
Density	0.0027	0.00785	g/mm <sup>3</sup>
Tensile Strength	310	731	MPa
Yield Strength	275	460	MPa

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแกนครีบบาง

Property	17-7PH	Unit
Elastic Modulus	204	GPa
Poissons Ratio	0.285	
Density	0.007865	g/mm <sup>3</sup>
Tensile Strength	1650	MPa
Yield Strength	1590	MPa

#### 4.3 วิเคราะห์และคำนวณแรงที่กระทำกับชิ้นงาน

แรงที่มากกระทำกับครีบบางจรวดเนื่องจากการหมุนและเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามีอยู่ 2 แรงคือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเนื่องจากการหมุนของจรวด และแรงต้านอากาศเนื่องจากการเคลื่อนที่ของจรวด โดยงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเท่านั้น



รูปที่ 11 แสดงแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นกับครีบบาง อ้างอิงจาก [5] สมการสำหรับคำนวณหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางคือ

$$F_c = m\omega^2 r \quad (11)$$

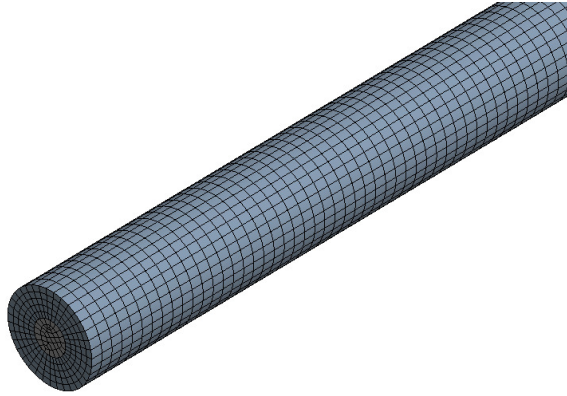
จะเห็นได้ว่าค่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและน้ำหนักของวัสดุ สามารถคำนวณหาความเร่งสู่ศูนย์กลาง ( $A_c$ ) และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่กระทำกับครีบบางจรวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตรที่ความเร็วของการหมุนสูงสุด 20 รอบต่อวินาทีได้ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นกับครีบบางจรวดที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ

Material	ขนาด (mm)		m (kg)	r (m)	f (Hz)	$A_c$ (m*rad <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	$F_c$ (N)
	Fin	Pin					
6061-T6 Aluminium Alloy	2	2	.075	.078	20	1231.727	92.379
		4	.073	.079	20	1247.518	91.069
AISI 4130 Steel	4	2	.127	.082	20	1294.892	164.451
		4	.126	.082	20	1294.892	163.156
	2	2	.218	.078	20	1231.727	268.516
		4	.213	.079	20	1247.518	265.721
	4	2	.371	.082	20	1294.892	480.405
		4	.367	.082	20	1294.892	475.225

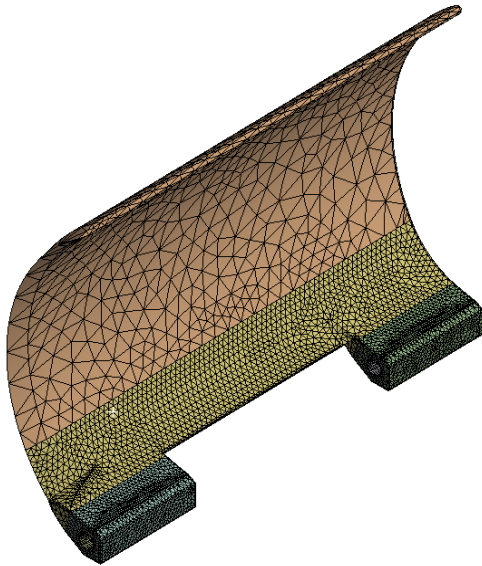
#### 4.4 การสร้าง Mesh และเงื่อนไขขอบเขต

4.4.1 ใช้ mesh แบบ Hex Dominate Method กับแกนครีบบาง ดังรูปที่ 12



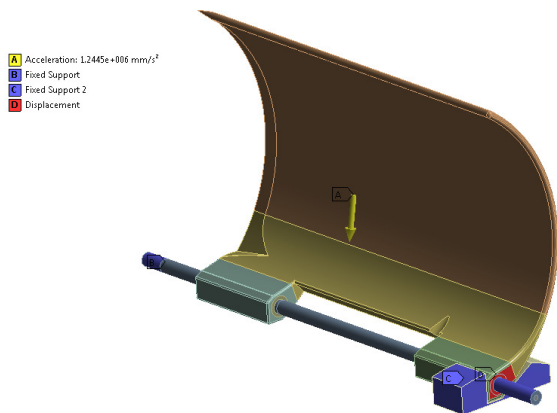
รูปที่ 12 แสดง Mesh ของแกนครีบริ่หาง

4.4.2 ใช้ mesh แบบ Tetrahedral กับครีบริ่หาง ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดง Mesh ของ Fin

4.4.3 เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ดังรูปที่ 14

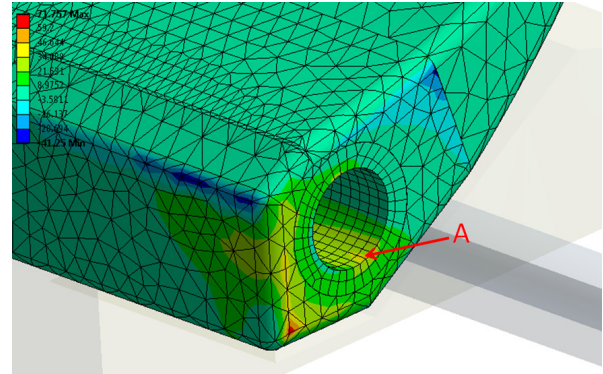


รูปที่ 14 แสดงเงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์ เมื่อ A เป็นความเร่งสู่ศูนย์กลางที่เกิดขึ้น B, C, D คือจุดรองรับ

## 5. ผลการวิเคราะห์

5.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงที่เกิดขึ้นกับครีบริ่หาง

จากผลการวิเคราะห์ด้วย Finite Element ความเค้นที่เกิดขึ้นคือ Tension Stress เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นที่ตัวครีบริ่หาง ดังแสดงในรูปที่ 15 และพบว่ามีความสูงสุดบริเวณตำแหน่ง A



รูปที่ 15 แสดง Tension stress

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของครีบริ่หางชนิดต่าง ๆ ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของครีบริ่หาง

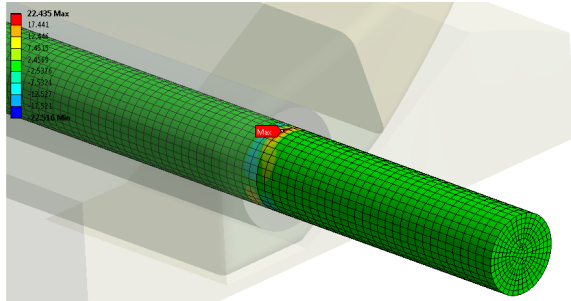
Material	ขนาด		Tension Stress (MPa)	Safety Factor
	Fin (mm)	Pin (mm)		
6061-T6 Aluminium Alloy	2	2	107	2.6
		4	35	7.9
	4	2	137	2.0
		4	54	5.1
AISI 4130 Steel	2	2	610	0.8
		4	218	2.1
	4	2	938	0.5
		4	335	1.4

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำหนักของครีบริ่หางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพิ่มขึ้น

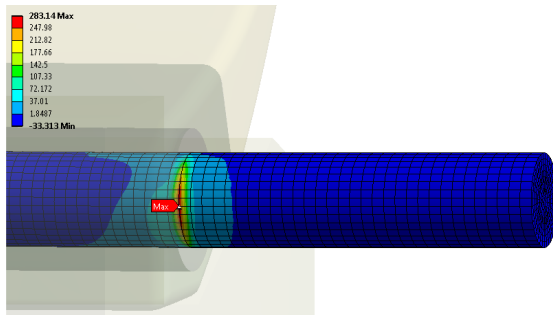
5.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงที่เกิดขึ้นกับแกนครีบริ่หาง

จากผลการวิเคราะห์ด้วย Finite Element ความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีอยู่ 2 รูปแบบคือ Shear Stress และ

Tension Stress เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นที่ตัวครีบบาง ดังแสดงในรูปที่ 16 และ 17 พบว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเป็นค่า Tension Stress เกิดขึ้นบริเวณตามรูปที่ 17



รูปที่ 16 แสดง Shear stress ที่เกิดขึ้นบนแกนครีบบาง



รูปที่ 17 แสดง Tension stress ที่เกิดขึ้นบนแกนครีบบาง

สามารถสรุปผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของแกนครีบบางชนิดต่าง ๆ ตามตารางที่ 5 ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแกนครีบบาง

Material	ขนาด (mm)		$\tau_{max}$ (MPa)	$\sigma_{max}$ (MPa)	S.F.
	Fin	Pin			
6061-T6 Aluminium Alloy	2	2	67	769	2.1
		4	22	283	5.6
AISI 4130 Steel	4	2	89	1012	1.6
		4	31	384	4.1
AISI 4130 Steel	2	2	121	1063	1.5
		4	45	400	3.9
	4	2	164	1491	1.1
		4	62	564	2.8

จากตารางที่ 5 พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเค้นที่เกิดขึ้นที่แกนครีบบาง ได้แก่ ขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางและแรงที่กระทำกับตัวแกนครีบบาง โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น จะทำให้ค่าความเค้นลดลง และเมื่อมีแรงกระทำมากขึ้นค่าความเค้นจะมากขึ้นตาม ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี

จากผลที่ได้ในตารางที่ 4 และ 5 ควรเลือกใช้ใช้ครีบบางที่ทำจากวัสดุ 6061-T6 Aluminium Alloy ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร และเลือกใช้แกนครีบบางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร

## 6. เปรียบเทียบผลการคำนวณ

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์โดยใช้ Finite Element ในงานวิจัยนี้จะใช้การเปรียบเทียบผลที่ได้กับการคำนวณทางทฤษฎี โดยจะใช้การคำนวณ Shear Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณใกล้จุดยึดตำแหน่ง B ดังแสดงในรูปที่ 18

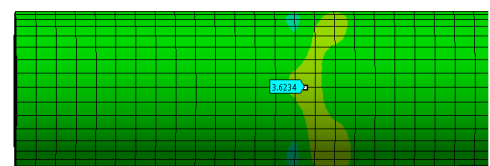
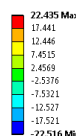


รูปที่ 18 แสดงบริเวณที่ใช้พิจารณา Shear stress ของ Pin เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการคำนวณ แกนครีบบางมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 4 มิลลิเมตร มีจุดรองรับ 2 ตำแหน่ง และได้รับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจากตัวครีบบางเท่ากับ 90.844 N ดังนั้นค่า Shear Stress ที่เกิดขึ้นบริเวณจุดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ

$$\tau_B = \frac{F}{2(\pi d^2 / 4)}$$

$$\tau_B = \frac{91.069}{2(\pi(4)^2 / 4)}$$

$$\tau_B = 3.624 \text{ MPa}$$



รูปที่ 19 แสดง Shear stress ที่ได้จาก Finite Element

จากรูปที่ 19 ค่า Shear Stress บริเวณดังกล่าว ที่วิเคราะห์ได้จาก Finite Element มีค่าประมาณ 3.6234 MPa

ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าเท่ากับ

$$\% \text{ Difference} = \frac{(3.6234 - 3.624)}{3.624} \times 100$$

$$= -0.17 \%$$

## 7. สรุป

7.1 จากผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของครีบบางจรวดดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าเมื่อน้ำหนักของครีบบางจรวดเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนชนิดของวัสดุที่ใช้หรือขนาดของครีบบางที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ Tension stress ที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นด้วย

7.2 จากผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของแกนครีบบางจรวดดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าเมื่อน้ำหนักของครีบบางจรวดเพิ่มขึ้นจะทำให้ Shear stress และ Tension stress ที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นด้วย

7.3 ขนาดที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบครีบบางจรวด คือ เลือกใช้ครีบบางขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ทำจาก Aluminium Alloy 6061-T6 และเลือกใช้แกนครีบบางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร สำหรับวัสดุ 17-7PH Stainless Steel

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานวิศวกรรมเคมีและวัสดุศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ(องค์การมหาชน) ที่ได้เอื้อเพื่อเอกสาร และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ และขอขอบคุณหน่วยงานออกแบบและจำลองระบบ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้เอื้อเพื่อคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25

## 9. เอกสารอ้างอิง

[1] MIL-HDBK-762(MI) (1990). *Design of Aerodynamically Stabilized Free Rockets*, US Army Missile Command, Washington DC.

[2] Steffen, J.R. (2010). *Analysis of Machine Elements using Solidworks Simulation 2010*, Schroff Development Corporation, Kansas.

[3] ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร ว่างฉาย (2549). Solidworks/Cosmosworks ชั้นพื้นฐาน (วิเคราะห์ความแข็งแรง), กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] มนต์รี พิรุณเกษตร (2550). กลศาสตร์ของวัสดุ, กรุงเทพฯ: บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด.

[5] วีระศักดิ์ ภัยวิเชียร ชีระยุทธ สุวรรณประทีป และ สมาน เจริญกิจพูลผล (2548). กลศาสตร์วิศวกรรม ฉบับเสริมประสบการณ์ ภาคพลศาสตร์ (Dynamics), กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).