



64388

รายงานการวิจัย

การปรับปรุงคานใบมีดย่อยทางปาล์มของอุปกรณ์พ่วงรถแทรกเตอร์

Improvement of Blade Beam for Crushing Palm

Leaf Attached to Tractor

บรรเลง คำเกต	Bunleng Kumket
จตุพร ใจดำรงค์	Jatuporn Jaidumrong
ปิยวิทย์ สุวรรณ	Piyavit Suwan
จักรนรินทร์ ฉัตรทอง	Jaknarin Chatthong
พิชญา พิศสุวรรณ	Pichaya Pissuwan

631.372

๒/๗๗

๒๕๕๕

รศ.ดร.กมลพร
รศ.ดร.กมลพร - - ดร.ปวิญญา

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณ (เงินรายได้) ประจำปี พ.ศ. 2555

การปรับปรุงคานโบริมิตย้อยทางปาล์มของอุปกรณ์ฟ่วงรถแทรกเตอร์

บรรเลง คำเกตุ¹ จตุพร ใจดำรงค์¹ ปิยวิทย์ สุวรรณ¹ จักรนรินทร์ นัทรทอง¹ พิษญา พิศสุวรรณ¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคานโบริมิตย้อยทางปาล์มของอุปกรณ์ฟ่วงรถแทรกเตอร์ขนาด 105 แรงม้า เพื่อลดการแตกหักและยืดอายุการใช้งานของเพลลา ด้วยการหาความยาวของชุดคานโบริมิตที่เหมาะสม ด้วยระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างแบบจำลองทางไฟไนเอลิเมนต์ของเพลลา เพื่อใช้วิเคราะห์หาการแตกหักของเพลลาจับยึดคานโบริมิต กำหนดชนิดของ Mesh เป็นแบบ Solid Element โดยมีจำนวนจุดต่อ 318,095 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 221,426 เอลิเมนต์ จากผลการวิเคราะห์ความเค้นของเพลลาส่งกำลัง ทำให้ Von Mises Stress 550 MPa ที่บริเวณจุดเปลี่ยนหน้าตัดของเพลลาซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นแรงดึงของวัสดุ AISI 1045 (S50C) เท่ากับ 625 MPa ได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.13 เท่า มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าตัวประกอบความล้มแบบแรงกระตุกอย่างแรง ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.5 - 3 ผลปรากฏว่า เพลลาของคานโบริมิตแตกหักก่อนเวลาอันควร จึงเสนอให้ลดภาระแรงกระทำจากภายนอกโดยการลดขนาดความยาวของคานโบริมิตลง ส่งผลให้อายุการใช้งานของเพลลาเพิ่มขึ้นและสามารถลดต้นทุนจากการสั่งซื้อได้

คำสำคัญ การปรับปรุง, โบริมิตย้อยทางปาล์ม, รถแทรกเตอร์

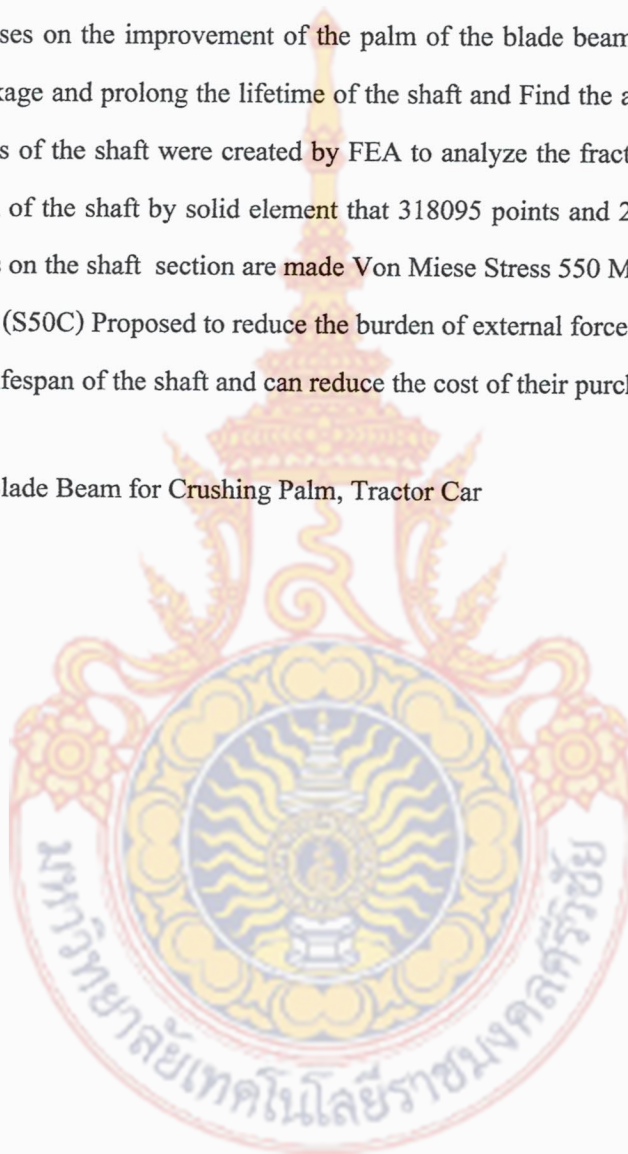
Improvement of Blade Beam for Crushing Palm Leaf Attached to Tractor

Bunleng Kumket¹ Jatuporn Jaidumrong¹ Piyawit Suwan¹ Jaknarin Chatthong¹ Pichaya Pissuwan¹

Abstract

This research focuses on the improvement of the palm of the blade beam peripheral Tractor 105 horsepower to reduce breakage and prolong the lifetime of the shaft and Find the appropriate length of the beam blade. Finite elements of the shaft were created by FEA to analyze the fracture of the shaft holding the blade. Define the Mesh of the shaft by solid element that 318095 points and 221426 elements. Result of analysis shown the stress on the shaft section are made Von Miese Stress 550 MPa less than yield stress 625 MPa of the, AISI 1045 (S50C) Proposed to reduce the burden of external forces by reducing the length down. Result in increased lifespan of the shaft and can reduce the cost of their purchase.

Keywords: Improvement, Blade Beam for Crushing Palm, Tractor Car



¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of technology Srivijaya, Songkhla

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ งบรายจ่ายอื่น ๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประจำปีงบประมาณ 2555 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ขอขอบคุณนักศึกษา เจ้าหน้าที่ประจำโครงการยุทธศาสตร์แม่พิมพ์และชิ้นส่วนอุตสาหกรรม และคณาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

5 มิถุนายน 2556

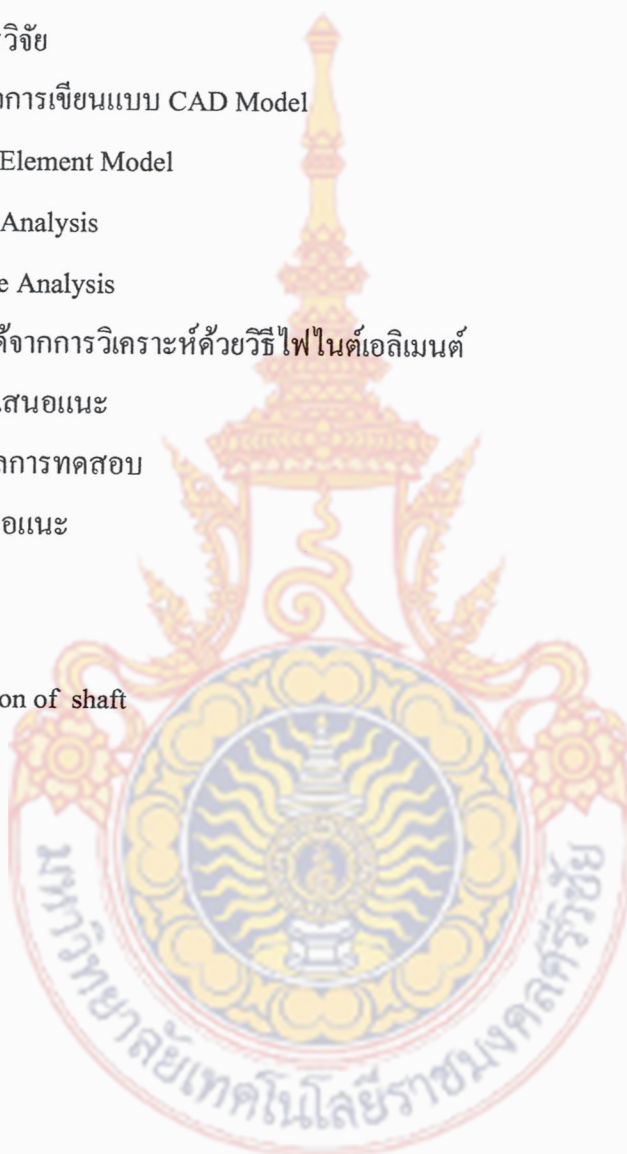


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขต	7
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐานและกรอบแนวความคิด	8
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	8
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	8
บทที่ 2 การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 รถแทรกเตอร์	9
2.2 เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารี	12
2.3 หลักการกลศาสตร์วิศวกรรม	13
2.4 หลักการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ	14
2.5 หลักการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม	15
2.6 หลักการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	16
2.7 การออกแบบเพลลา	21
2.8 ทฤษฎีความล้า	25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	31
3.1 การเขียนแบบเพลลาชุดคานไบมีด	32
3.2 คุณสมบัติของวัสดุ	34
3.3 แรงที่กระทำต่อเพลลาชุดคานไบมีด	34
3.4 การทดสอบเพลลาชุดคานไบมีดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลของการวิจัย	40
4.1 ผลจากการเขียนแบบ CAD Model	40
4.2 Finite Element Model	41
4.3 Stress Analysis	41
4.4 Fatigue Analysis	42
4.5 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	43
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการทดสอบ	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ก	49
Simulation of shaft	50



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO / R 755 – 1969	23
2.2 แสดงค่าตัวประกอบความถี่	25
3.1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุมาตรฐาน S45C และ S50C	34



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศ	1
1.2	ทางปาล์มน้ำมันใช้เลี้ยงสัตว์	2
1.3	การวางทางใบของปาล์มน้ำมัน	4
1.4	ระยะปลูกที่เหมาะสมของปาล์มน้ำมัน	5
1.5	ลักษณะพื้นที่ของสวนปาล์ม	5
1.6	ลักษณะการเสีรูปร่างของชูดکانใบมีด	7
1.7	ลักษณะการเสียหายของเพลลาขั้บ	7
2.1	รถแทรกเตอร์	11
2.2	เครื่องตัดหญ้าโรตารี	12
2.3	แรงกระจาย	13
2.4	การสร้างชิ้นงานจากการเขียนแบบ CAD	15
2.5	การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม	16
2.6	ขั้นตอนการคำนวณของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	17
2.7	การโค้งและยึดตัวของคานภายใต้แรงกระทำ	19
2.8	แสดงเพลลาอยู่ภายใต้แรงต่าง ๆ	24
3.1	CAD Model ของเพลลาคานใบมีด	31
3.2	การเปิดโปรแกรมใหม่	32
3.3	การเลือกใช้คำสั่ง	33
3.4	การกำหนด condition ในการวิเคราะห์	35
3.5	แสดงเอลิเมนต์แบบต่าง ๆ	36
3.6	ขั้นตอนในการ Simulation	37
3.7	ขั้นตอนในการเลือก Properties	37
3.8	ขั้นตอนในการการ Fixtures	38
4.1	แบบเพลลาคานใบมีด	40
4.2	Finite Element Model เพื่อการวิเคราะห์	41
4.3	แสดงตำแหน่งการเกิดการเสียหาย	42

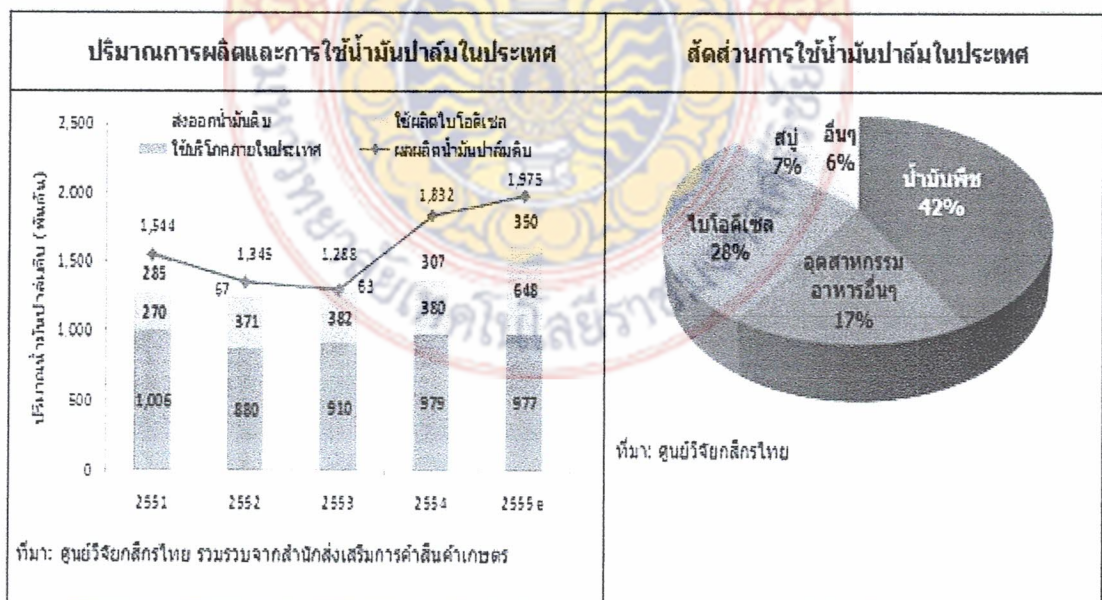
สารบัญรูป (ต่อ)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อประเทศ ทั้งในแง่เศรษฐกิจ รวมถึงการช่วยสร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร และด้านพลังงานของ ประเทศ ปัจจุบัน แม้ว่าไทยจะสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศในด้านต่างๆ แต่จากโครงสร้างการผลิตที่ส่วนใหญ่จะเป็นเกษตรกรและผู้ประกอบการรายย่อย ทำให้การผลิตน้ำมันปาล์มของไทยมีต้นทุนที่สูงกว่าประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ อย่างมาเลเซียและอินโดนีเซีย ซึ่งนับว่าเป็นจุดอ่อนสำคัญที่จะมีผลกระทบต่อขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มไทย หากไทยก้าวเข้าสู่การเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ในปี 2558 อย่างไม่รู้ตัว แม้ว่าอัตราภาษีนำเข้าน้ำมันปาล์มของไทยจะลดลงเหลือร้อยละ 0 ตั้งแต่วันที่ 2553 แต่ปัจจุบัน ไทยยังคงมีมาตรการควบคุมการนำเข้าน้ำมันปาล์ม โดยกำหนดให้น้ำมันปาล์มเป็นสินค้าที่ต้องขออนุญาตนำเข้า เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในประเทศ ซึ่งจะช่วยเหลือผลกระทบ และยังคงมีระยะเวลาให้ผู้ประกอบการไทยปรับตัวเพื่อลดต้นทุน เพิ่มศักยภาพในการผลิตน้ำมันปาล์มให้สามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายใหญ่ในอาเซียน ได้ภายหลังจากที่ก้าวเข้าสู่ AEC ในปี 2558



รูปที่ 1.1 ปริมาณการผลิตและการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศ

โดยสรุป ปัจจุบัน น้ำมันปาล์มเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรที่ไทยยังคงใช้มาตรการที่ไม่ใช่ภาษี เพื่อปกป้องอุตสาหกรรมในประเทศ โดยระบุให้การนำเข้าน้ำมันปาล์มจะต้องมีการขออนุญาตนำเข้า (Import License) ตามความเหมาะสมของสถานการณ์ โดยในการที่ไทยจะก้าวเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) หนึ่งในข้อผูกพัน จะต้องลด/ขจัดมาตรการกีดกันที่ไม่ใช่ภาษีที่ใช้ในประเทศ ซึ่งหากไทยจำเป็นต้องยกเลิกมาตรการขออนุญาตนำเข้า จะส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มไทยค่อนข้างมาก โดยเฉพาะทางด้านของผู้ผลิต ได้แก่ เกษตรกร โรงสกัด และโรงกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เนื่องจากการผลิตน้ำมันปาล์มของไทยในปัจจุบัน ยังมีจุดอ่อนทางด้านต้นทุนการผลิต ทำให้ราคาน้ำมันปาล์มในประเทศสูงกว่าประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ อย่างเช่น มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ซึ่งอาจส่งผลให้น้ำมันปาล์มจากประเทศดังกล่าวเข้ามาแข่งขันกับน้ำมันปาล์มในประเทศมากขึ้น ในขณะที่ผู้บริโภคจะเป็นกลุ่มที่ได้รับประโยชน์จากการแข่งขันของผู้ผลิตที่จะส่งผลให้ราคาน้ำมันปาล์ม รวมถึงสินค้าที่ใช้ น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบราคามีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม การเตรียมรับมือกับการก้าวเข้าสู่การเป็น AEC ในอนาคตเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับกลุ่มผู้ที่อาจได้รับผลกระทบ ทั้งนี้ เกษตรกรและผู้ประกอบการควรเร่งแนวทางเพื่อลดต้นทุนการผลิต ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต เพื่อให้ น้ำมันปาล์มไทยสามารถแข่งขันได้ในอาเซียน [1]

1.1.1 ทางปาล์มน้ำมัน

ทางปาล์มน้ำมันใช้เลี้ยงสัตว์ - กรมปศุสัตว์แนะเกษตรกรนำทางปาล์มน้ำมันมาใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง อาทิ โค แพะ รวมทั้งสามารถนำไปใช้เป็นเสบียงสัตว์สำรองในกรณีเกิดภัยธรรมชาติได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 1.2 ทางปาล์มน้ำมันใช้เลี้ยงสัตว์

ทางปาล์มน้ำมัน (Oil palm frond) คือ ส่วนของใบและก้านใบของต้นปาล์มน้ำมันนับเป็นผลพลอยได้จากการปลูกปาล์มน้ำมัน เกษตรกรจะต้องตัดใบล่างที่รองรับทะลายปาล์มน้ำมันก่อนการเก็บเกี่ยว หรือ โคนต้นทิ้งเพื่อปลูกใหม่เมื่อต้นปาล์มน้ำมันมีอายุ 15 – 20 ปี โดยทั่วไปเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันทุก ๆ 15 – 20 วัน เฉลี่ยแล้วทุกเดือนจะมีการตัดทางใบปาล์มน้ำมันออกอย่างน้อย 2 ทางใบต่อต้นหรือคิดเป็น 44 ทางใบต่อไร่ (อัตราปลูก 22 ต้นต่อไร่) ในหนึ่งปีเกษตรกรจะตัดทางใบปาล์มน้ำมันประมาณ 18 ครั้ง โดยหนึ่งทางปาล์มน้ำมันจะมีน้ำหนัก 5 กิโลกรัม คิดคำนวณเป็นน้ำหนักสดของทางปาล์มน้ำมัน 3,960 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี หรือโดยเฉลี่ยแล้วผลผลิตทางปาล์มน้ำมันสดได้ 10.8 กิโลกรัมต่อไร่ต่อวัน

องค์ประกอบทางโภชนาของทางปาล์มน้ำมันประกอบด้วย โปรตีน 5% เยื่อใย 38.5% ไขมัน 2.1% แป้งและน้ำตาล 46.2% และเถ้า 3.2% ก้านใบปาล์มน้ำมันมีโปรตีน 2.21% และส่วนของใบปาล์มน้ำมันจะมีโปรตีนประมาณ 10% จะเห็นได้ว่าทางปาล์มน้ำมันสามารถนำไปเป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ และสำหรับแนวทางการนำทางปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค แพะ มีอยู่ 3 แบบ ได้แก่

แบบที่ 1 ให้กินสด โดยนำมาแขวนในคอกหรือนำมาหั่น เสริมด้วยอาหารข้น

แบบที่ 2 ให้กินในรูปหมัก โดยนำทางปาล์มน้ำมันมาผ่านกระบวนการหมักก่อนนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ เสริมด้วยอาหารข้น ระดับที่เหมาะสมในการใช้ทางปาล์มหมักเลี้ยงสัตว์ ในโคเนื้อ 50% และในโคนมและแพะ 30%

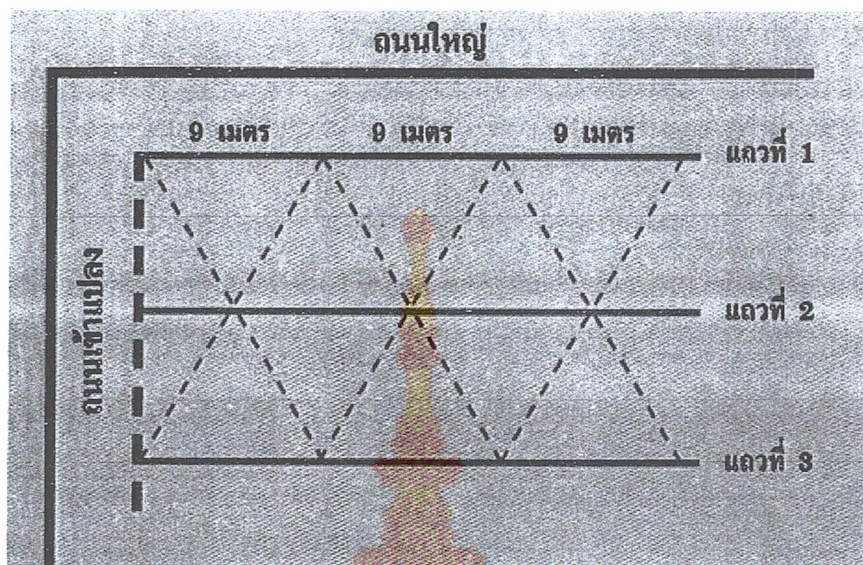
แบบที่ 3 ให้กินในรูปอาหารผสมสำเร็จรูป (Total mixed ration) โดยนำทางปาล์มน้ำมันสดหรือหมักผสมร่วมกับวัตถุดิบต่างๆในปี พ.ศ.2551 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 3,622,778 ไร่ เนื้อที่ให้ผลผลิต 2,872,836 ไร่ ผลผลิต 9,028,135 กิโลกรัม และในปี พ.ศ.2552 เนื้อที่ให้ผลผลิตทั้งประเทศประมาณ 3,195,140 ไร่ คาดว่าให้ผลผลิต 9,433,262 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าการนำทางปาล์มน้ำมันมาใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น โค แพะ เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประมาณ 30,000 ตันต่อวัน หรือประมาณ 11,000,000 ตันต่อปี หากไม่นำมาใช้เลี้ยงสัตว์ก็จะถูกทิ้งในสวนปาล์มน้ำมัน แต่หากนำมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง จะสร้างมูลค่าในรูปแบบเพิ่มผลผลิตอาหาร โปรตีนราคาถูกในสัตว์เลี้ยง รวมทั้งสามารถนำไปใช้เป็นเสบียงสำรองในกรณีเกิดภัยธรรมชาติได้เป็นอย่างดี และปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจจากเกษตรกรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคใต้ เนื่องจากเป็นแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย [2]



รูปที่ 1.3 การวางทางใบของปาล์มน้ำมัน

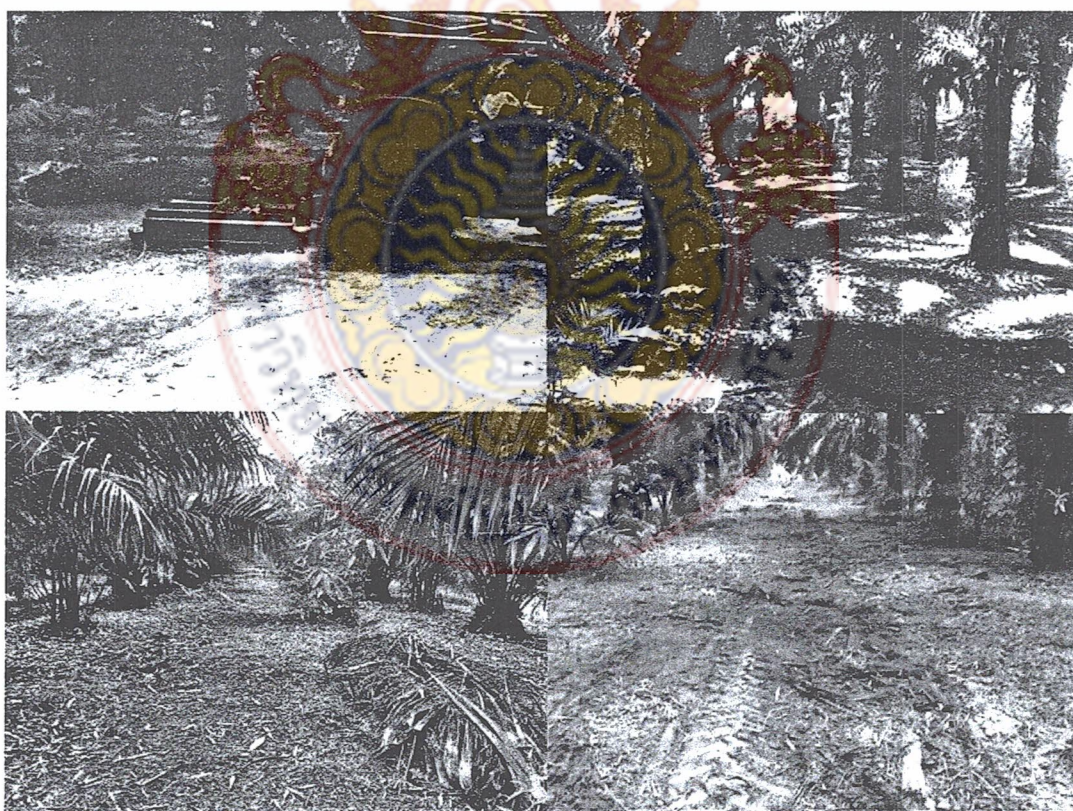
ทางใบที่ตัดแล้วควรนำมาเรียงกระจายให้รอบโคนต้น หรือเรียงกระจายแบบแถวเว้นแถว ไม่กีดขวางทางเดินเก็บเกี่ยวผลผลิตและขนผลผลิตและวางสลับแถวกันทุก ๆ ปี เพื่อกระจายทั่วแปลง ซึ่งทางใบเหล่านี้คิดเทียบเป็นปุ๋ยเคมีประมาณ 40% ของปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ตลอดทั้งปี จึงช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันลงได้ส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ทางใบเหล่านี้ยังเป็นตัวกระจายอินทรีย์วัตถุในสวนปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 1.6 ตันทางใบสกดต่อไร่ต่อปี) โดยไม่ต้องเพิ่มต้นทุนจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยชีวภาพอื่น ๆ อีก

ระยะปลูกที่เหมาะสมของปาล์มน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญ ถ้าปลูกห่างหรือถี่เกินไปจะมีผลทำให้ผลผลิตลดลง ควรปลูกปาล์มน้ำมันแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า เพื่อให้ปาล์มน้ำมันได้รับแสงแดดมากที่สุด เพื่อให้ใบได้มีกระบวนการสังเคราะห์แสง เพราะใช้ประโยชน์ในที่ดินได้เต็มที่ แถวหลักเป็นฐานอยู่ในแนวทิศเหนือ ทิศใต้ แถวที่ใกล้กันจะปลูกกึ่งกลางเป็นระยะยอดของสามเหลี่ยมด้านเท่า และการจัดระยะการปลูก 9 x 9 x 9 เมตร เป็นที่นิยม มากที่สุด เนื่องจากทำให้ต้นปาล์มทุกต้นได้รับแสงมากและผลผลิตที่ได้มีจุดคุ้มทุนและมีรายได้มากที่สุด [3]



การวางแผนปลูกปาล์มน้ำมันแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า 9 x 9 x 9

รูปที่ 1.4 ระยะปลูกที่เหมาะสมของปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 1.5 ลักษณะพื้นที่ของสวนปาล์ม

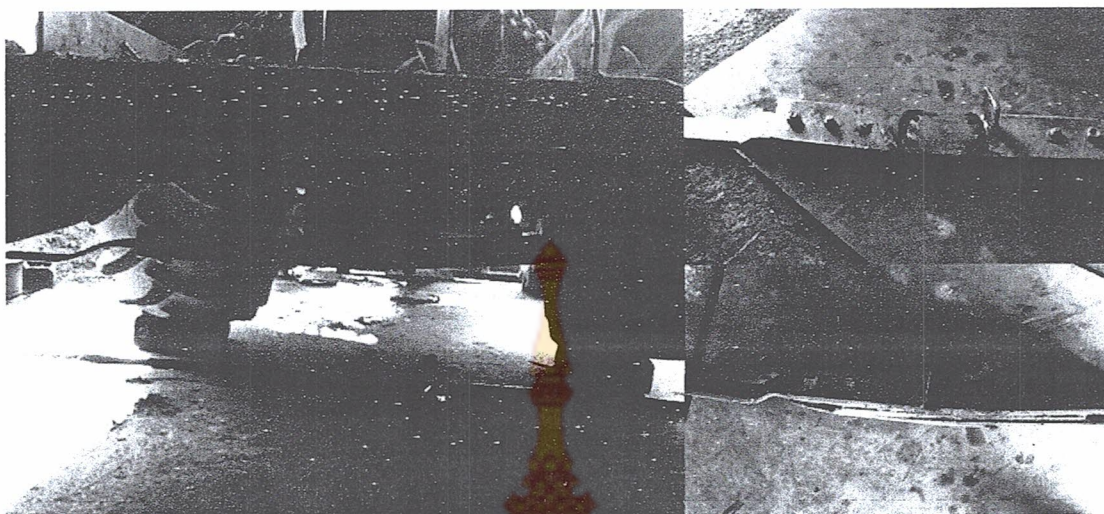
ที่ผ่านมาอุตสาหกรรมการเกษตรในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้รัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญว่าอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประชาชนและธุรกิจต่าง ๆ จึงมีการส่งเสริมอุตสาหกรรมการเกษตรจนมีการบรรจุเข้าเป็นยุทธศาสตร์ชาติ อุตสาหกรรมการเกษตรยังมีความจำเป็นที่ต้องใช้ใช้รถแทรกเตอร์และเครื่องทุ่นแรงทางการเกษตรนับได้ว่ามีความจำเป็นอย่างมากทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มของจำนวนประชากรที่ทำให้ความต้องการอาหารและผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การใช้งานชุดคานไวมัดในปัจจุบัน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องและใช้งานแบบความเค้นโดยอาศัยประสบการณ์ที่ได้ทำมาเป็นเวลานาน โดยไม่คำนึงความถูกต้องตามหลักทางด้านวิศวกรรม เพื่อความปลอดภัยทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ความแข็งแรงของชุดคานไวมัดจะต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ภายในชุดคานไวมัดนี้ประกอบด้วยเพลาคู่กับเฟืองเกียร์และเฟืองเกียร์ต่อกับเพลาคู่ของเครื่อง ความเร็วรอบขึ้นอยู่กับอัตราเร่งของเครื่อง

เนื่องจากชุดคานไวมัดย่อยทางปาล์มของอุปกรณ์พวงรถแทรกเตอร์ ในปัจจุบันเมื่อใช้ไปสักระยะหนึ่งเกิดการแตกหักของเพลาส่งกำลัง เนื่องจากเกิดการล้าตัวของเพลาส่งกำลัง เพลาส่งกำลังจะได้รับแรงเป็นรอบ ๆ กระทำซ้ำ ๆ โดยเพลาส่งกำลังที่ทำการวิเคราะห์จะต่อออกมาจากชุดเพลอาำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์และต่อส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ไปยังชุดคานไวมัด ดังรูปที่ 1.6 และเพลาลาด ดังรูปที่ 1.7 ทำให้ไม่สามารถย่อยทางปาล์มได้

ลักษณะการทำงานของชาวสวนโดยการใช้รถแทรกเตอร์ติดอุปกรณ์พวงท้าย (เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารี) เดินหน้าเพื่อย่อยทางของทางไบบาล์ม ถ้าเป็นสวนปาล์มต้นขนาดใหญ่ก็เดินหน้า แต่เป็นสวนปาล์มที่ต้นขนาดเล็ก ทำการโดยการถอยหลังในการบดย่อย เนื่องจากเดินหน้ามองไม่เห็นเส้นทางการเดินรถ

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งที่จะปรับปรุงการออกแบบคานไวมัดเพื่อลดการขาดของเพลาลาดและการเสีรูป โดยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นบนเพลาลาดของคานไวมัด เพื่อนำไปปรับปรุงระยะความยาวของคานไวมัดที่เหมาะสม นอกจากนี้ก็เพื่อจะเป็นแนวทางสู่งานวิจัยที่ละเอียดและกว้างขวางยิ่งขึ้นต่อไป



รูปที่ 1.6 ลักษณะการเสียรูปของชุดคานไบมิด



รูปที่ 1.7 ลักษณะการเสียหายของเพลาข้อ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของเพลาชุดคานไบมิดในงานตัดย่อยทางปาล์ม
- 1.2.2 ลดต้นทุนในการผลิตของชุดคานไบมิด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 วิเคราะห์เพลาชุดคานไบมิดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 1.3.2 ปรับปรุงชุดคานไบมิดในการตัดย่อยทางปาล์มเท่านั้น
- 1.3.3 พื้นที่ดำเนินการทดลอง ต.ลำทับ อ.ลำทับ จ.กระบี่

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิด

โครงการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาความยาวของคานาใบมีด เพื่อนำไปปรับปรุงการออกแบบที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์เพลลาซูดคานาใบมีดลดการเสีรูปร่างเมื่อมีการใช้งาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนคานาใบมีด ยึดอายุการใช้งาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้วางแนวทางในการทำการวิจัย โดยทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเสีรูปร่าง เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลอย่างแท้จริงแล้วก็ออกแบบคานาใบมีดเพื่อนำไปใช้งาน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 การออกแบบ
- 1.5.3 เตรียมเครื่องมือวัด เครื่องจักร และอุปกรณ์
- 1.5.4 ดำเนินการทดลองและบันทึกผล
- 1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 1.5.6 จัดพิมพ์เอกสารรายงานวิจัย

1.6 ประโยชน์ของผลการวิจัย

- 1.6.1 สามารถบอกการรับแรงสูงสุดของเพลลาซูดคานาใบมีดที่ทำการศึกษา
- 1.6.2 ได้แนวทางในการปรับปรุงการออกแบบเพลลาซูดคานาใบมีด
- 1.6.3 ได้แนวทางในการพัฒนางานวิจัยด้านอุตสาหกรรมการเกษตร

บทที่ 2

การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในงานวิจัย ได้แก่ รถแทรกเตอร์ เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารี หลักการกลศาสตร์วิศวกรรม หลักการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design: CAD) หลักการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer aided engineering: CAE) หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์และเครื่องมือที่ใช้วิจัย รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 2.1 รถแทรกเตอร์
- 2.2 เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารี
- 2.3 หลักการกลศาสตร์วิศวกรรม
- 2.4 หลักการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ
- 2.5 หลักการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม
- 2.6 หลักการแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 2.7 การออกแบบเพลลา
- 2.8 ทฤษฎีความล้ม
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รถแทรกเตอร์

รถแทรกเตอร์หมายถึง ยานที่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัว โดยจะถูกใช้เป็นตัวต้นกำลังในการทำการเกษตร โดยเริ่มจากการเตรียมพื้นดิน การปลูก การบำรุงรักษา ฉีดยา ฉีดปุ๋ย ตลอดจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต เป็นต้น แทรกเตอร์สำหรับการเกษตรและรถไถเดินตาม

รถแทรกเตอร์ คือ ยานพาหนะชนิดพิเศษที่สามารถส่งกำลังออกไปยังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเกษตร เช่น ไถหัวหมู ไถกระทะ ไถดินดาน เครื่องพ่นสารเคมีเพื่อทำให้การปฏิบัติงานในการเกษตรบรรลุผลสำเร็จ

การส่งผ่านกำลังของรถแทรกเตอร์ออกไปใช้ประโยชน์ ส่วนใหญ่มี 2 ทาง ดังต่อไปนี้

1. ทางล้อ ทำให้ล้อยึดแน่นอยู่กับดิน ขณะที่รถแทรกเตอร์กำลังปฏิบัติงาน ทำให้รถแทรกเตอร์ตัน หรือหลุดเครื่องมือได้

2. ทางเพลลาอำนาจกำลัง ทำให้รถแทรกเตอร์ส่งกำลังออกไปขับเคลื่อนเครื่องมือที่รุนแรงในการเกษตรชนิดอื่นได้ เช่น เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น

กำลังของรถแทรกเตอร์ได้มาจากเครื่องยนต์ ซึ่งมักจะเรียกเป็นแรงม้าหรือกิโลวัตต์ (1 แรงม้า = 746 วัตต์ และ 1 กิโลวัตต์ = 1000 วัตต์) รถแทรกเตอร์มีกำลังให้เลือกใช้ตั้งแต่ขนาด 3 แรงม้า (2.238 กิโลวัตต์) จนถึงขนาดใหญ่ 300 แรงม้า (223.8 กิโลวัตต์) ลักษณะทั่วไป

รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการเกษตรมีรูปร่างหลายแบบ แต่ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยเครื่องยนต์ต้นกำลัง อุปกรณ์พ่วงลากและขับเคลื่อนเครื่องมือที่รุนแรง

โดยทั่วไป รถแทรกเตอร์มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เครื่องยนต์มีรอบต่ำแต่มีแรงบิดสูง ทั้งนี้เพราะต้องการให้เกิดแรงฉุดลากที่มีประสิทธิภาพในการทำงาน

2. ล้อหลังใหญ่และหน้ากว้าง เพื่อรับน้ำหนักที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน นอกจากนี้ยังทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้แรงฉุดลากเพิ่มขึ้นด้วย

3. ตัวถังรถสูง เพื่อให้วิ่งเข้าไปทำงานระหว่างแถวพืชและคันดิน หรือร่องคูได้สะดวก

4. มีอุปกรณ์ที่ให้ความปลอดภัย เช่น กระจกกว้างมองเห็นได้รอบด้าน เบาะนั่งสบาย ลูกออกสะดวกและรวดเร็วในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ โครงหลังคาแข็งแรง

ประเภทของรถแทรกเตอร์

การแบ่งประเภทของรถแทรกเตอร์ขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องยนต์ ถ้ากำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่า 25 แรงม้า (18.65 กิโลวัตต์) เรียกว่ารถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ถ้ากำลังของเครื่องอยู่ระหว่าง 25 แรงม้าถึง 50 แรงม้า (18.65 กิโลวัตต์ ถึง 37.3 กิโลวัตต์) เรียกว่ารถแทรกเตอร์ขนาดกลาง ส่วนรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ คือรถที่มีกำลังเครื่องยนต์มากกว่า 50 แรงม้า (37.3 กิโลวัตต์) ขึ้นไป

รถแทรกเตอร์ตีนตะขาบเป็นรถขนาดใหญ่มาก ใช้สำหรับทำงานหนัก เช่น ทำถนน สร้างเขื่อน และเปิดป่า กำลังที่ใช้ฉุดและขับเคลื่อนเครื่องมือที่รุนแรงได้มาจากเครื่องยนต์ และการตะกุดดิน

ของล้อดินตะขาบ ซึ่งมีหน้าสัมผัสที่ยึดพื้นผิวไว้ได้มากกว่าล้อยาง แต่โดยปกติเกษตรกรจะไม่ซื้อรถประเภทนี้ เพราะมีราคาแพงถ้าจำเป็นที่จะใช้งานก็อาจจะเช่า หรือว่าจ้างจากบริษัทผู้รับเหมาได้ อีกทั้งยังเสียค่าใช้จ่ายต่ำอีกด้วย อย่างไรก็ตามรถแทรกเตอร์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานปรับพื้นที่ การจัดรูปที่ดิน และงานป่าไม้

รถแทรกเตอร์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ เป็นที่นิยมใช้กันมากในงานเกษตร โดยได้มีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการทำงานประเภทต่างๆ

รถแทรกเตอร์เหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้ล้อยางซึ่งปรับระยะห่างได้ โดยอาจจะปรับให้กว้างหรือแคบได้ตามระยะห่างของแถวพืชที่ปลูก

รถแทรกเตอร์แบบล้อยางแบ่งออกเป็นแบบขับเคลื่อน 2 ล้อ และแบบขับเคลื่อน 4 ล้อ โดยที่แบบขับเคลื่อน 2 ล้อ จะมีขนาดล้อหน้าเล็กกว่าแบบขับเคลื่อน 4 ล้อ และเป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก อย่างไรก็ตามรถแทรกเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อจะมีแรงฉุดลาก ประสิทธิภาพของการขับเคลื่อน และการเสถียรดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับรถแทรกเตอร์ 2 ล้อที่มีน้ำหนักเท่ากัน

นอกจากนี้ยังสามารถติดตั้งเครื่องมือทุ่นแรงในการเกษตรเข้ากับรถแทรกเตอร์ประเภทนี้ได้ โดยติดกับระบบแขนยกอุปกรณ์แบบ 3 จุด (Three point linkage) ส่วนการบังคับให้อุปกรณ์สูงขึ้นจากพื้นดิน หรือลดลงนั้น อาศัยคันบังคับของระบบไฮดรอลิก

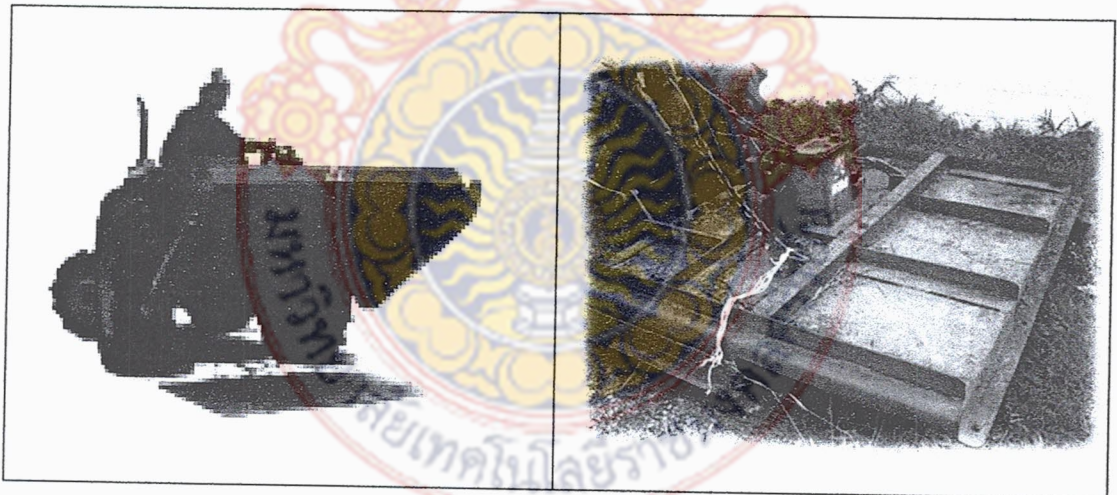
การใช้ระบบไฮดรอลิกกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ได้ประโยชน์หลายประการ แต่ประการที่สำคัญคือ ให้ความสะดวกในการนำอุปกรณ์จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง อีกทั้งยังทำให้การกลับรถบริเวณท้ายไร่รวดเร็วขึ้น และประหยัดเนื้อที่อีกด้วย



รูปที่ 2.1 รถแทรกเตอร์

2.2 เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารี

เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารี (rotary slasher) เครื่องประกอบด้วยแกนขนาดใหญ่เพียงแกนเดียว ใบมีดมี 2 ใบอยู่คนละด้าน คลุมด้วยแผ่นเหล็กทั้ง 5 ด้าน สรूपแข็งแรงทนทานกว่าเครื่องตัดหญ้าชนิดอื่น ใช้งานตัดได้สารพัดประโยชน์ ตั้งแต่ตัดหญ้าในแปลง ไปจนถึงตัดวัชพืชข้างถนน เครื่องที่ซื้อใหม่ ๆ จะทำขอบปิดคลุมใบมีดมาให้ทั้ง 5 ด้านดังรูปที่ 2.2 ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายจากเศษหินเมื่อกระทบใบมีดอาจกระเด็นออกมาได้ เมื่อนำไปตัดหญ้าหรือวัชพืชจะได้เศษหญ้าหรือวัชพืชที่ป่นละเอียดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ไม่เหมาะที่จะทำหญ้าแห้ง ฉะนั้นเมื่อนำมาใช้ตัดทำหญ้าแห้งจะต้องดัดแปลงเสียก่อน ด้วยการเปิดขอบข้างซ้ายออกครึ่งหนึ่งอีกครั้งเหลือไว้เป็นฐานสกี และถอดขอบด้านหน้ากับด้านท้ายเครื่องออกไป เพื่อให้หญ้าที่ตัดแล้วกระเด็นออกไปข้างนอกขอบไม่ถูกตัดจนละเอียด และการปิดด้านขวาไว้ก็เพื่อไม่ให้เศษหญ้ากระเด็นออกไปทับต้นหญ้าที่ยังไม่ได้ตัด แต่ผู้ใช้งานต้องระวังเป็นพิเศษไม่ให้มีคนอยู่ใกล้ ๆ ขณะใช้งาน โดยเฉพาะเพราะเศษหินอาจกระเด็นออกไปจากช่องที่เราเปิดไว้ก็ได้เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารีนี้เหมาะสำหรับใช้ตัดหญ้าขนาดยาวมากๆ ตั้งแต่ 30 เซนติเมตรขึ้นไป หญ้าที่ตัดได้จะถูกสับเป็นชิ้นๆ เมื่อใช้เครื่องสับฝังดี้หญ้ากองหญ้าจะฟูขึ้นได้ง่าย หญ้าจึงแห้งเร็วเกษตรกรรณานหญ้านิยมใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องตัดหญ้าโรตารี

ข้อเสียของเครื่องตัดหญ้าแบบโรตารีคือ เครื่องมีขนาดใหญ่ใช้แรงเหวี่ยงในการตีต้นหญ้าให้ขาดจึงกินน้ำมันกว่าเครื่องตัดหญ้าแบบอื่นๆ และไม่เหมาะกับการตัดหญ้าอายุอ่อนหรือหญ้าต้นเตี้ย ซึ่งหญ้าอายุ 45 วันเป็นหญ้าคุณภาพดีเกรด A แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มนาหญ้านางกลุ่มก็เลือกใช้เครื่องตัดหญ้าแบบโรตารีเนื่องจากทุกปีต้องตัดหญ้าหลังฝนที่มีความยาวมาก และเลือกที่จะตัดหญ้าที่อายุ 60 วันเพื่อให้ได้ผลผลิตหญ้ามามาก

2.3 หลักการกลศาสตร์วิศวกรรม

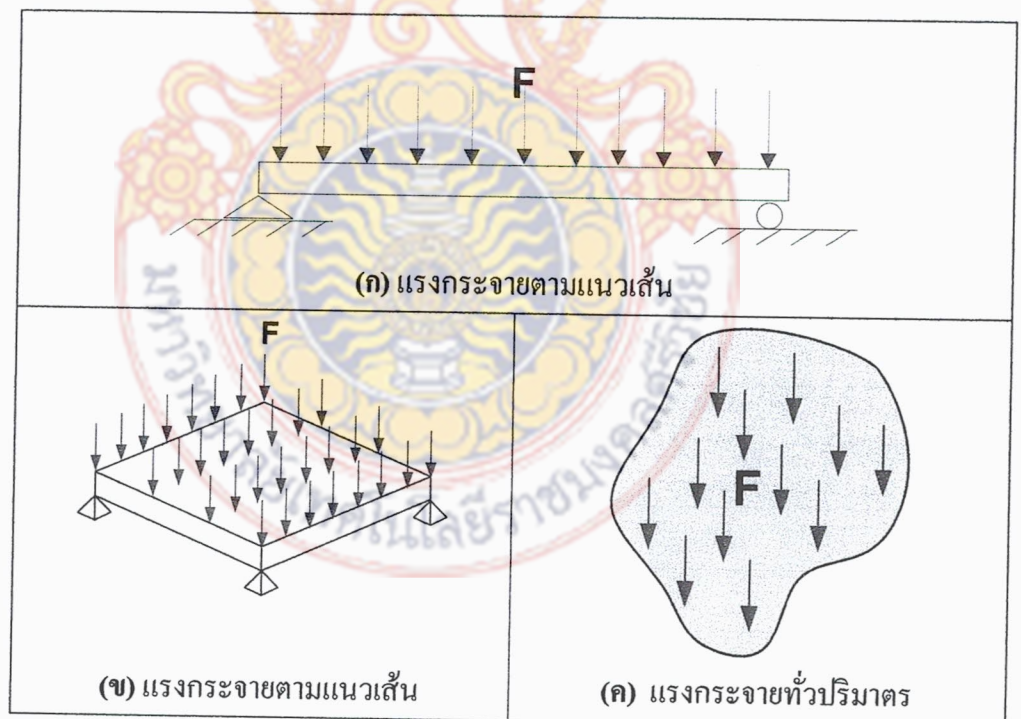
สภาวะสถิตยศาสตร์ (Static) ศึกษาเกี่ยวกับแรงหรือผลการกระทำของแรงต่อวัตถุแข็ง ที่อยู่ในสภาวะสมดุล คืออยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ โดยชุดคานาไบมีดที่ได้ทำการทดลองจะอยู่ในสภาวะสถิตยศาสตร์ (Static) และแรงที่กระทำต่อชุดคานาไบมีดจะเป็นลักษณะแรงกระจาย (Distributed Force)

2.3.1 แรงกระจาย (Distributed Force)

การพิจารณาของแรงกระจาย โดยทั่วไปการกระจายของแรงอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.3.1.1 การกระจายตามแนวเส้น (Line distribution) ลักษณะของแรงที่กระจายตามแนวเส้น เช่น น้ำหนักของคานาที่กระจายตลอดตามความยาวของคานา แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก) แสดงแรงกระจายตามแนวเส้น

2.3.1.2 การกระจายทั่วพื้นที่ (Area distribution) แรงที่กระจายทั่วพื้นที่กระทำ เช่น น้ำหนักของรถยนต์ที่กระจายบนลานจอดรถ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข) แสดงแรงกระจายตามแนวเส้น



รูปที่ 2.3 แรงกระจาย

2.3.1.3 การกระจายทั่วปริมาตร (Volume distribution) แรงที่กระจายทั่วบริเวณของวัตถุ เช่น แรงคึงคูกของ โลกที่มีต่อวัตถุ หรือน้ำหนักที่กระจายทั่วทั้งปริมาตร แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

2.3.2 ค่าความปลอดภัย (Safety of Factor)

ในการออกแบบโครงสร้างรถโดยสาร หรือแม้แต่วัสดุอุปกรณ์วัสดุต่างๆ เมื่อจะดำเนินการใด ๆ ก็ตาม จะต้องมีค่าเผื่อไว้สำหรับการออกแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้แรงหรือกำลังต่าง ๆ ที่มากระทำกับโครงสร้างจะรับได้ หรืออุปกรณ์ช่วยรับแรงต่างๆ จะรับได้ ค่าเผื่อ ดังกล่าวเรียกว่า ค่าความปลอดภัย หาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F)} = \frac{\text{Yield strength}}{\sigma_{1,2}} \quad (2-1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \text{Yield strength} &= \text{ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติวัสดุที่เลือกใช้} \\ \sigma_1 &= \text{ค่าความเค้นที่สามารถรับแรงดึง} \\ \sigma_2 &= \text{ค่าความเค้นที่สามารถรับแรงอัด} \end{aligned}$$

2.4 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design, CAD)

CAD เป็นคำย่อของ Computer Aided Design ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่าคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างชิ้นส่วน (Part) ด้วยแบบจำลองทางเรขาคณิตวิศวกรรมเครื่องกลหรือวิศวกรออกแบบใช้ CAD software ในการสร้างชิ้นส่วน หรือเรียกว่าแบบจำลอง (Model) และแบบจำลองนี้สามารถแสดงเป็นแบบ (Drawing) หรือไฟล์ข้อมูล CAD สำหรับวิศวกรการผลิตใช้ CAD Software เพื่อประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ พัฒนาแบบจำลองชิ้นส่วนจากแบบที่ได้รับประเมินและแก้ไขข้อมูล CAD ของชิ้นส่วนที่ออกแบบบนระบบ CAD เพื่อให้ยอมรับได้ในการผลิตเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนที่ออกแบบเพื่อให้สามารถผลิตได้ สิ่งนี้อาจรวมถึงการเพิ่มมุมสอบ (Draft angle) หรือพัฒนาแบบจำลองของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับขั้นตอนที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนออกแบบอุปกรณ์จับยึดโพรงแบบ (Model cavity) ฐานแม่พิมพ์ (Mold base) หรือเครื่องมืออื่น ๆ การใช้ CAD ในการสร้างรูปร่างชิ้นส่วนสามารถทำได้ 3 ลักษณะ คือ ปริมาตรตัน (Solid) พื้นผิว (Surface) และโครงถัก (Wire frame) ซึ่งแต่ละแบบจะเหมาะกับงานเฉพาะอย่าง แสดงการสร้างชิ้นงานจากการเขียนแบบ CAD นอกจากการใช้ CAD ในการสร้างชิ้นส่วนแล้วปัจจุบัน CAD software บางตัวยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse engineering) ได้ คุณภาพของพื้นผิวที่สร้างขึ้นมาจาก

ซอฟต์แวร์วิศวกรรมย้อนกลับส่วนมากขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบ คือ คุณภาพของแบบจำลองหรือส่วนประกอบที่นำมาสแกน และคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลข บางครั้งในการทำงานจริงเราไม่สามารถได้แบบจำลองที่สมบูรณ์ หรือคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้ไม่ดี เนื่องจากชิ้นส่วนชำรุดหรือถูกทำลาย CAD software ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาพื้นผิวของแบบจำลองในบริเวณที่ชำรุดได้ หรืออาจแต่งเติมดัดแปลงให้ดีกว่าของเดิมที่สแกนมาได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม CAD SolidWorks 2010 เข้ามาช่วยในการเขียนแบบ 3 มิติ โปรแกรม CAD SolidWorks 2010 ได้พัฒนาประสิทธิภาพเพื่อเป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อจำลองตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในคอมพิวเตอร์ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง สามารถจำลองทั้งแบบ 3 มิติ แบบงานประกอบ และแบบ 2 มิติ



รูปที่ 2.4 การสร้างชิ้นงานจากการเขียนแบบ CAD

2.5 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer aided engineering, CAE)

CAE เป็นคำย่อของ Computer Aided Engineering แปลเป็นไทยว่าคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม โดยพื้นฐานแล้วเป็นการใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ในการแก้ปัญหา CAE เป็นสาขาหนึ่งของวิศวกรรม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งยากเกินไป หรือเป็นไปได้ที่จะแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาแบบเดิม CAE เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการทำนายพฤติกรรมของชิ้นส่วน ซึ่งชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นมาประกอบกันได้ หรือไม่ ขึ้นอยู่กับผลจากการให้ภาระ (Load) กับชิ้นส่วนเป็นระยะเวลา 6 เดือนหรือ 1 ปี ที่สภาวะอุณหภูมิแวดล้อมที่เปลี่ยนไปจะทำให้รูปร่างของชิ้นส่วนบิดเบี้ยว หรือสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลง สามารถใช้ CAE เพื่อหาคำตอบได้ โดยทั่วไปการใช้ CAE มีจุดประสงค์ดังนี้

- 2.5.1 ประเมินความสำเร็จของการออกแบบชิ้นส่วนที่กำหนด
- 2.5.2 ค้นหาจุดอ่อนก่อนที่จะลงมือทำต้นแบบ
- 2.5.3 ทำให้ชิ้นส่วนหรือเครื่องมือมีราคาต่ำสุด
- 2.5.4 หาสาเหตุและทำการแก้ไขชิ้นส่วนที่ล้มเหลว

การใช้ CAE จำลองชิ้นส่วนในสถานะแวดล้อมใช้งานเมื่อรับภาระ หรือภาระทดสอบ ปฏิกริยาของชิ้นส่วนต่อภาระสามารถทำนายได้ แล้วเลือกใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงผังรูปที่ 2.5 แสดง การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม



รูปที่ 2.5 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม

NX5 for Engineering Design. Missouri University of Science and Technology 234

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม CAE ทำการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ที่อาศัยการคำนวณเชิงตัวเลข เทคนิคการคำนวณนี้เรียกว่า ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) โดยโปรแกรม CAE มีจุดประสงค์เพื่อสร้างโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ CAE จะถูกแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ ตามขีดความสามารถในการใช้งานและลักษณะของงาน ได้แก่ งานวิเคราะห์แบบสถิต งานวิเคราะห์แบบไดนามิกส์ และงานวิเคราะห์แบบความร้อน เป็นต้น

2.6 การแก้ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ทฤษฎีวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข การแก้สมการจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์ (partial differential technique) ที่เขียนจากสมการในสาขาต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบเครื่องจักร

วิศวกรรมระบบเชิง สนามแม่เหล็กไฟฟ้า กลศาสตร์ของแข็ง และกลศาสตร์ของไหล วิศวกรออกแบบจะใช้ FEA ในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้แก่ งานโครงสร้าง (structural), งานวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (vibration) และงานวิเคราะห์ความร้อน (thermal) โดยมีแนวคิดที่ว่าวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนใด ๆ จะสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้ กระบวนการในการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างชิ้นงาน แล้วแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ (meshing) โดยมีรูปทรงง่าย ๆ (สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม) เรียกว่า “elements (เอลิเมนต์)” และชิ้นส่วนเล็ก ๆ จะต่อเชื่อมโยงกันทั้งชิ้น

2.6.1 ขั้นตอนการคำนวณของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การทำงานด้วยการแบ่งเอลิเมนต์ FEA จะแก้สมการด้วยการประมาณค่าในแต่ละเอลิเมนต์ จนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน แต่ถ้าเป็นชิ้นงานประกอบ จะแยกคำนวณในแต่ละชิ้นส่วนแล้วนำมาประมวลผลรวมกัน ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการคำนวณของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการคำนวณของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.6.2 ขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre-Processing)

ขั้นตอนการเตรียมการประมวลผลเป็นขั้นตอนการจำลองปัญหาทางกายภาพ (Modelling) โดยเริ่มจากหาเอกลักษณ์ของปัญหาทางกายภาพที่ต้องการวิเคราะห์ (Identify Problem) ตัวอย่าง เช่น วิเคราะห์ลักษณะของปัญหา ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ เป็นต้น คำตอบที่ได้เหล่านี้จะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาอันประกอบไปด้วย ลักษณะรูปร่างของแบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและแรงกระทำ (Boundary Condition) เงื่อนไขการสัมผัส (Contact Condition) การเลือกแบบจำลองของวัสดุ (Constitutive Equation) การเลือกสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นให้สอดคล้องกับปัญหาที่วิเคราะห์ (เลือกวิธีการวิเคราะห์ เช่น ปัญหาทางความร้อน การวิเคราะห์ความเค้น เป็นต้น) การเลือกชนิดของเอลิเมนต์และกระบวนการสร้างโครงข่าย (Meshing) ซึ่งแบ่งรูปร่างของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ (Discretization) โดยการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องสอดคล้องกับเอกลักษณ์ของปัญหา

ทางกายภาพที่ต้องการวิเคราะห์

2.6.3 ขั้นตอนการประมวลผล (Processing)

ขั้นตอนการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาสามารถสร้างได้หลายวิธี เช่น วิธีการโดยตรง (Direct Methods) วิธีการแปรผัน (Variation Methods) และวิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Weighted Residual Methods) โดยอาศัยข้อมูลและข้อกำหนดจากขั้นตอนก่อนการประมวลผล จากนั้นทำการแก้ระบบสมการเพื่อหาคำตอบที่ต้องการ

2.6.4 ขั้นตอนหลังการประมวลผล (Post-Processing) การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในรูปแบบชิ้นงานหรือกราฟ

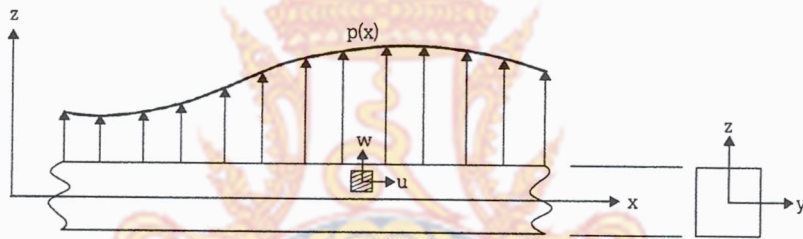
2.6.5 สร้างรูปแบบคณิตศาสตร์

ในการวิเคราะห์นั้นจะสามารถเชื่อมโยงไฟล์ชิ้นส่วนจากโปรแกรม Solid Works ทั้งชิ้นส่วน (part) และชิ้นงานประกอบ (assembly) ชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ โดยมีจำนวนหลาย ๆ เอลิเมนต์ แต่มีจำนวนจำกัดนับได้ (finite element mesh) ขนาดของเอลิเมนต์ถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ หรือผู้ออกแบบจะกำหนดเองก็ได้ ผู้ออกแบบควรจะมีใจในการสร้างรูปร่างชิ้นส่วน เพราะอาจจะมีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ โดยสนใจผลลัพธ์จากการคำนวณ เช่น การหาระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงาน, ความเค้น, การกระจายอุณหภูมิ เป็นต้น สิ่งที่สำคัญในการแบ่งเอลิเมนต์ สามารถทำได้ด้วย CAD ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงชิ้นส่วนตามระดับความจำเป็น 3 ระดับ ได้แก่ Defeaturing, Idealization และ Clean-up ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ Defeaturing เป็นการพิจารณาขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วน โดยอาจจะต้องปรับปรุงทรงของชิ้นส่วนเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ เช่น การยกเลิกการลบมุมรอบชิ้นส่วน, ตรายุทธ์ลักษณะบนชิ้นส่วน เป็นต้น Idealization เป็นการพิจารณารูปร่างของชิ้นส่วน โดยลดความยุ่งยากของชิ้นงานจาก CAD โดยอาจจะลดความหนาให้มีค่าคงที่ ตัวอย่างเช่น การคำนวณชิ้นงานผนังหนาด้วยโหมดพื้นผิว (surface) Clean-up เป็นการกำหนดบริเวณในการสร้างเอลิเมนต์ โดยบริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากการกระทำของแรง เอลิเมนต์จะมีขนาดใหญ่ ไม่หนาแน่น แต่ในส่วนบริเวณที่มีผลกระทบจะสร้างเอลิเมนต์ให้มีความหนาแน่นมากขึ้น การปรับปรุงชิ้นงานให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ในเบื้องต้นอาจจะปรับด้วย CAD ให้เป็นชิ้นงานที่เรียบง่ายและปรับเปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์ จะช่วยลดเวลาในการคำนวณ การกำหนดสร้างเอลิเมนต์ที่สมบูรณ์จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดรูปร่างเอลิเมนต์ และชนิดของเอลิเมนต์ การเตรียมชิ้นงาน จะเริ่มจากการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ, รูปร่างชิ้นส่วน, การกำหนดความหนาแน่นของเอลิเมนต์, ขนาดเอลิเมนต์, และทิศทางของแรงกระทำ ตลอดจนเงื่อนไขการจับยึด กระบวนการนี้จะสมบูรณ์ในขั้นตอนการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

เป็นการเตรียมชิ้นงานเพื่อการแบ่งเอลิเมนต์ (meshing) โดยเวกเตอร์ของแรงกระทำ (load) และเงื่อนไขการจับยึด (supports) จะกระทำลงบน โหนด (nodes) ของชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ (Finite element mesh)

2.6.6 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของคาน

คานเหล็กที่มีหน้าตัดเป็นรูปตัวแอล ตัวซี หรือวงกลม มักถูกนำมาใช้ในโครงสร้างทั่วไป เพราะสามารถรับแรงในทิศทางตั้งฉากกับความยาวของคานได้ดี เอลิเมนต์แบบคาน (beam-element) จึงสร้างขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์โครงสร้างต่างๆ นี้ รูปที่ 2.7 แสดงส่วนหนึ่งของคานยาวที่วางตัวในแนวแกน x ซึ่งมีหน้าตัดอยู่ในระนาบ y-z คานนี้ถูกแรงแบบกระจาย (distributed load) ที่มีค่าเท่ากับ $P(x)$ กระทำในทิศทางแกน z ก่อให้เกิดการเสียรูป ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเท่ากับ u และ w ในทิศทางแกน x และ z ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 การโก่งและยึดตัวของคานภายใต้แรงกระทำ

สมมติฐานทั่วไปที่ใช้ในการประดิษฐ์สมการของความสมดุลสำหรับคานมี 2 ข้อ ข้อแรกคือการสมมติว่าหน้าตัดของคานซึ่งเป็นแผ่นเรียบ ณ ตำแหน่ง x ใดๆ ยังคงเป็นแผ่นเรียบอยู่หลังจากคานถูกกระทำให้โก่งโค้งไปแล้ว สมมติฐานข้อแรกนี้ก็ให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่าง u และ w ทำให้ตัวไม่รู้ค่าของปัญหาสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของ w เป็นฟังก์ชันของ x เท่านั้น สมมติฐานทั้ง 2 ข้อนี้เองนำมาสู่สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งแสดงความสมดุลของแรงจากการโก่งของคานภายใต้แรงกระจาย คือ

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2}{dx^2} \right) w - p(x) = 0 \quad (2.2)$$

โดย E แทนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของวัสดุที่ใช้ทำคาน

และ I แทน โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด (moment of inertial of area)

ลักษณะการกระจายตัวของค่าการโก่งตัว w ตลอดความยาว L ของคานที่วางตัวอยู่ในแนวแกน x สามารถสมมุติให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันกำลังสามได้ดังนี้

$$W(x) = \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 x^3 \quad (2.3)$$

โดย $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ เป็นค่าคงตัวซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อ คือ

$$W(x=0) = W_1 \quad W(L=0) = W_2$$

$$W(x=0) = W_1, W(L=0) = W_2$$

$$\frac{dw}{dx}(x=0) = \theta_1, \frac{dw}{dx}(x=L) = \theta_2$$

จึงสามารถเขียนลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัว w ให้อยู่ในรูปแบบของตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ดังนี้

$$W(x) = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & N_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ \theta_1 \\ W_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N \\ (1 \times 4) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta \\ (4 \times 1) \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

โดย

$$N_1 = 1 - 3\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3; N_2 = x\left(\frac{x}{L} - 1\right)^2$$

$$N_3 = \left(\frac{x}{L}\right)^2\left(3 - 2\frac{x}{L}\right); N_4 = \frac{x^2}{L}\left(\frac{x}{L} - 1\right)$$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของคานจึงสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการใช้ระเบียบวิธีแปรผัน (variational method) หรือวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (method of weighted residuals) รายละเอียดอยู่ในหนังสือ “ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม” ทำให้เกิดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของเอลิเมนต์



คาน ค้างนี้

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K} \\ 4 \times 4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \boldsymbol{\delta} \\ 4 \times 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F} \\ 4 \times 1 \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

ซึ่งมีรายละเอียดคือ

$$\frac{2EI}{L^3} \begin{bmatrix} 6 & 3L & -6 & 3L \\ 3L & 2L^2 & -3L & L^2 \\ -6 & -3L & 6 & -3L \\ 3L & L^2 & -3L & 2L^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ \theta_1 \\ W_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_0 L/2 \\ P_0 L^2/12 \\ P_0 L/2 \\ -P_0 L^2/12 \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

โดย P_0 แทนแรงแบบกระจายที่มีค่าคงที่กระทำในทิศทาง z ตลอดความยาวของเอลิเมนต์

2.6.7 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลลัพธ์ที่แสดงบนชิ้นส่วนเอลิเมนต์ (FEA model) จะมีกระบวนการวิเคราะห์ที่มีขั้นตอนยุ่งยากซับซ้อน แต่คอมพิวเตอร์ปัจจุบันมีขีดความสามารถเพียงพอ จากนั้นโปรแกรมจะพิมพ์ผลและและรายงานผลในรูปแบบไฟล์ที่สามารถแก้ไขได้ (interpretation) ซึ่งทำให้เราสามารถพิมพ์ข้อความ, หมายเหตุ และข้อผิดพลาดเบื้องต้นได้โดยจะมีขั้นตอนในช่วงต้น 3 ช่วงคือ การสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ (mathematical model), ชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ (finite element model) และชิ้นส่วนแบบผลเฉลย (solving model) ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณในการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ จะเป็นช่วงต้นของข้อผิดพลาด เรียกว่า Idealization errors ซึ่งเป็นการลดความซับซ้อนของชิ้นส่วน เพื่อให้การคำนวณใช้เวลาน้อยลง ชนิดของข้อผิดพลาด สามารถแยกย่อยได้ 3 ชนิด คือ ผิดพลาดจากการใช้งาน หรือเลือกวิธีการที่ผิดพลาด ผิดพลาดจากการป้อนค่าไม่ถูกต้องในช่วงการทำโมเดลคณิตศาสตร์ ผิดพลาดจากช่วงการหาค่าผลเฉลย (solution errors) ซึ่งจะแก้ไขได้ยากหรืออย่างน้อยก็สามารถควบคุมได้

2.7 การออกแบบเพลลา

เพลลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือ ทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่อง ขณะใช้งานเพลลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิด

ต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และ โมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบ วัฏจักร ทำให้เกิดการล้าได้เพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้ คือ เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วน ที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่า เพลลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลลาขนาดสั้น เช่น เพลลาที่หัวแท่นกลึง (Head-Stock spindle) เป็นต้น สตับชาฟ (Stub Shaft) เป็นเพลลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือ เครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่น ๆ

เพลลาแนว (Line Shaft) หรือเพลลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) เป็นเพลลาซึ่งต่อตรง จากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็กชาฟ (Jack Shaft) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลลาเมนหรือ เครื่องจักรกล

เพลลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้เพลลาประเภทนี้ทำด้วย สาย ลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่ แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

2.7.1 วัสดุเพลลา

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลลา นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใ้ งานและภาระที่เพลลาต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลลา ตามขนาดระบุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ถ้าต้องการให้มีความ เหนียวและความทนทานต่อแรงกระดุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสม โลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347, 3140, 4150 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึง มาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบ ควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.7.2 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนด มาตรฐานของเพลลา ซึ่งระบุขนาด ใน ISO / R 775 – 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้

เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแปรงที่ใช้รองรับ
เพลาด้วยขนาดระบุของเพลาคู่ได้จากตารางที่ 2.2

2.7.1 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลาด

การคำนวณหาขนาดเพลาดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของ
เพลาดที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือ เพลาดจะต้องมีความแข็ง
เกร็งอยู่ภายในพิภักที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่ง
แล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแปรงที่รองรับเพลาดอยู่ เกิดความเสียหายได้
ง่ายยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดระบุของเพลาดตามมาตรฐาน ISO / R 755 – 1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	-

(ที่มา : วรวิทย์ อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2537)

2.7.3 การออกแบบเพลาดตามโค้ดของ ASME

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาดส่งกำลังซึ่งกำหนด
เป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) แม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมา
นานแล้วก็ตามวิธีการออกแบบเพลาดตาม โค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้
งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นกรอกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับกรอกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงเพลลาอยู่ภายใต้แรงต่าง ๆ

(ที่มา : วิธีวิธี อิงภากรณ์ และชาญ อดินางาน, 2537)

การกรอกแบบการคำนวณเพลลา ในการกรอกแบบหาขนาดของเพลลา จะต้องพิจารณาลึงเหล่านี้

- กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลลาส่งกำลัง
- ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลลา รวมทั้งรูปร่างขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดความเค้นตัก้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลลา
- ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพลลา เมื่อรับภาระ
- ความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลลาอันเป็นผลเนื่อง มาจากการแอ่นตัวของเพลลา

การคำนวณหาความเค้นแรงเฉือน

ในการกรอกแบบขนาดของเพลลาสำหรับงานปกติทั่วไป จะพิจารณาเฉพาะกำลังงานภาระและคำนวณตรวจความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลลา เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยเพียงพอ จึงพิจารณาถึงความแกร่ง และความเร็ววิกฤติ เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่วัฏจักร ทั้งนี้เพราะ เพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้น เพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.2

โดยที่ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าตัวประกอบความล้า

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง : แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 – 2.0	1.5 – 2.0
เพลามุม : แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0

(ที่มา : วิธีวิธี อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2537)

เพลานอกจากรับโมเมนต์ดัดแล้ว ในขณะเดียวกันจะรับโมเมนต์แรงบิดด้วย ดังได้แสดงวิธีหามาแล้ว โมเมนต์บิดนี้จะทำให้เกิดความเค้นแรงบิดขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\tau_{\max} = 0.5\sigma_y/N = 16/\pi D^3 [(C_m \cdot M)^2 + (C_t \cdot T)^2]^{1/2} \quad (2.8)$$

โดยที่ σ_y = Yield Stress (N/mm²)
 N = ค่าความปลอดภัย
 C_m = ตัวประกอบจากการล้าเนื่องจากการดัด
 C_t = ตัวประกอบจากการล้าเนื่องจากการบิด
 M = โมเมนต์ดัด
 T = แรงบิด (N)

2.8 ทฤษฎีความล้า (Fatigue)

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มากกระทำกลับไปกลับมาซ้ำ ๆ กันก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้ เนื่องจากเกิดความล้าหรือ Fatigue ขึ้น ความล้าที่เกิดในวัสดุนี้เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่าง ๆ เพราะตลอดอายุงานของเครื่องจักร เช่น เครื่องยนต์ สวิตช์รีเลย์ ฯลฯ จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นซึ่งอาจจะมากถึงล้าน ๆ ครั้ง ทำให้เกิดการล้าขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆ ได้ กลไกการเกิดความล้าที่แท้จริงยังไม่เป็นที่เข้าใจดีนัก

แต่จากการศึกษาพบว่าความล้าจะเกิดเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกจะเกิดรอยแตกขึ้น เมื่อมีความเค้นรวมศูนย์ (Stress Concentration) ในบริเวณนั้น และในระยะที่สอง เมื่อมีความเค้นเข้าไปซ้ำมารอยแตกนี้จะโตขึ้นเรื่อย ๆ จะมีพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุลดลง จนกระทั่งแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด วัสดุก็จะแตกหักจากกัน ถ้าเรากำหนดจำนวนรอบของความเค้นที่ทำซ้ำไปซ้ำมาแล้ว (โดยปกติจะใช้ที่ค่า 10% รอบ) ค่าความเค้นที่จะทำให้วัสดุแตกหักได้ที่จำนวนรอบของความเค้นรอบนั้น ๆ เราเรียกว่า Fatigue Strength สำหรับโลหะโดยเฉพาะพวกเหล็ก จะมีค่าความเค้นอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งถ้าใช้ความเค้นต่ำกว่านี้แล้ว ไม่ว่าจำนวนรอบของแรงกระทำจะเป็นเท่าใด วัสดุจะไม่แตกออก ค่าความเค้นนี้เรียกว่า Endurance Limit ความเสียหายตามปกติจะเริ่มจากการเกิด Crack initiation ในจุดที่มี Stress Concentration แล้วเกิด Crack Propagation ตามเข้าไปเป็นชั้น ๆ ตามจำนวนครั้งที่ได้รับโหลด เมื่อพื้นที่หน้าตัดที่รับโหลดลดลงจนเกิด Stress สูงกว่า Ultimate tensile strength วัสดุจะเกิดการเสียหายบนพื้นที่รับโหลดที่เหลือเป็นการแตกหักธรรมดา ซึ่ง Fatigue life ของวัสดุทดสอบ เขียนได้เป็นสมการ

$$N_f = N_n + N_p \quad (2.9)$$

โดยที่ N_f คือ จำนวนรอบ Fatigue life ของวัสดุทดสอบ

N_n คือ จำนวนรอบที่ทำให้เกิด Crack initiation

N_p คือ จำนวนรอบที่เกิด Crack Propagation จนกระทั่งวัสดุแตกหัก

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภสิทธิ์ (2552) ได้เสนอกระบวนการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างตัวถังรถโดยสารมาตรฐาน 1 (ก) ที่มีความเหมาะสมความแข็งแรงสามารถรับภาระแรงต่างๆ ในสถานะสถิตยศาสตร์ (Static) เริ่มจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างรถโดยสารเบื้องต้น การเขียนแบบด้วยวิธีแบบโครงถัก (Wireframe) และการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis, FEA) ผลการทดสอบโครงสร้างตัวถังด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าเกิดค่าความเค้นดึง (Tensile Stress) เท่ากับ 227.1N/mm² และ ความเค้นอัด (Compressive Stress) เท่ากับ 288 N/mm² เมื่อเทียบกับความเค้นคราก (Yield Strength) ของวัสดุ โครงสร้างตัวถัง เท่ากับ 351.571 N/mm² ค่าแสดงว่าผลการทดสอบที่ออกมาไม่เกินจุดเสียหายของวัสดุ ยังสามารถลดชิ้นส่วนโครงสร้างตัวถังได้ เท่ากับ 39 ชิ้น และน้ำหนักโครงสร้างลดลง เท่ากับ 69.912 กิโลกรัม ซึ่งถือได้ว่าเป็นโครงสร้างรถโดยสารที่เหมาะสม

บรรเลง (2553) ได้นำเสนอแนวทางในการออกแบบและวิเคราะห์จุดต่อโครงสร้างตัวถังรถโดยสารตามมาตรฐาน 1 (ก) ด้วยโปรแกรม SolidWorks ทำการศึกษาจำนวนจุดต่อของโครงสร้างตัวถังรถโดยสาร โดยการจัดกลุ่มจุดต่อ และการวิเคราะห์หาจุดต่อที่มีค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งเป็นจุดต่อที่เป็นตัวแทนของตัวถังรถโดยสาร มาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาความเหมาะสมของรอยต่อด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ งานวิจัยนี้เลือกใช้เหล็ก AISI 1020 ผลจากการวิจัยพบว่า โครงสร้างตัวถังรถโดยสารชนิดมาตรฐาน 1 (ก) มีจุดต่อรวมทั้งสิ้น 555 จุดต่อ สามารถจัดกลุ่มจุดต่อตามลักษณะการต่อ และการรับแรงได้เป็น 11 กลุ่ม จุดต่อที่ใช้งานมากที่สุด คือ จุดต่อรูปตัวที (T) และจุดต่อรูปตัวเค (K) จากการกำหนดขนาดของ แนวเชื่อม และการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าจุดต่อที่มีขนาดแนวเชื่อมเท่ากับ 3 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมากำหนดเป็นแนวเชื่อมของโครงสร้างตัวถังรถโดยสาร โดยสามารถรับความเค้นแรงดึงสูงสุด ที่ 283.4 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และรับความเค้นแรงอัดต่ำสุดที่ 123.7 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีระดับความปลอดภัย เท่ากับ 2

ศักรินทร์ (2549) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนามาตรฐานการผลิตรถโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4) วิทยาลัยพณิชยการบึงกุ่มกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาการผลิตโดยสาร 2 ชั้น 8 ล้อ ซึ่งในปัจจุบันนั้นมากกว่า 80% เป็นรถที่ประกอบขึ้นเองในประเทศและราคาต่ำกว่าการนำเข้าถึง 50% แต่การผลิตไม่ได้คำนึงการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมส่งผลให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้มุ่งที่จะพัฒนาและออกแบบการประกอบรถโดยสาร 2 ชั้น ชนิด 8 ล้อ (มาตรฐาน 4) ซึ่งมีขั้นตอนในวิจัยจะศึกษาถึงกระบวนการผลิตงานวิจัยนี้ โดยวิเคราะห์ทั้งในเชิงกลและทางด้านเคมี พบว่ามีปัญหาของธาตุแมงกานีสต่ำ ทำให้เกิดสนิมจึงได้มีการเสนอให้มีการพ่นสีกันสนิม และในส่วนด้านการออกแบบและพัฒนาใหม่ภายหลังจากมีการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งพบว่าแบบที่พัฒนาใหม่นั้นมีความแข็งแรงในการรับแรงในรูปแบบต่างๆได้มากกว่าแบบเดิม 3-9 เท่า จึงทำให้แบบคัสซีที่ออกแบบและพัฒนาใหม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน และมีต้นทุนการผลิตด้านวัสดุลดลง 9%และด้านค่าแรงลดลง 18% เนื่องจากมีแบบที่มาตรฐานตามหลักการออกแบบเพื่อการประกอบ

ปราโมทย์ (2548) ได้กล่าวไว้ในหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายว่า ระเบียบทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมากในปัจจุบันวิศวกรในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ พึงพาการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ เพื่อบ่งบอกถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกดังเช่นที่เคยทำกันมาในอดีต ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายทั้งทางด้านเวลาและปริมาณของวัสดุ หลีกเลี่ยงการทดลอง

ที่ไม่จำเป็น และที่สำคัญที่สุดซึ่งงานที่ออกแบบขึ้นมาจะมีความถูกต้อง ให้ประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาคารและโครงสร้าง ฯลฯ ส่วนนำไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์มาใช้ในการออกแบบกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

ชงชัย และประกอบ (2549) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์การกระจายของความเค้นในเสาบอกทางจรจรแบบแวนยีน โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โปรแกรม SolidWorks ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และโปรแกรม Cosmos ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในเสาบอกทางจรจรแบบแวนยีน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาเปรียบ-เทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์สองวิธีคือ วิธีการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ และวิธีการทดสอบจริงกับเสาบอกทางจรจรแบบแวนยีนจำลองที่มีขนาด 1 ใน 6 ของขนาดเสาบอกทางจรจรจริง โดยที่ผลการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าความสอดคล้องกันระหว่างสามวิธี โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับวิธีการคำนวณตามสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 1 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเสาบอกทางจรจรแบบแวนยีนภายใต้ภาระเนื่องจากน้ำหนักของตัวโครงสร้างเสาบอกทางจรจรนี้ได้

ปริญญา (2545) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์การโค้งเคาะและการสันนิษะแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้างทรงโค้งที่มีฐานรองรับต่างระดับกัน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมการโค้งเคาะ และการสันนิษะแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้างทรงโค้ง เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ ค่าความถี่ธรรมชาติ และรูปร่างการสัน ในการวิเคราะห์มีสมมติฐานว่าโครงสร้างสามารถยึดหดตัวตามแนวแกน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้น ร่วมกระบวนการนิวตัน-ราฟสัน และวิธีการเพิ่มความยาวส่วนโค้ง ได้นำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมก่อนและหลังเกิดการโค้งเคาะของโครงสร้าง สำหรับการวิเคราะห์การสันนิษะแบบไร้เชิงเส้น ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับวิธีที่ปรับปรุงจากกระบวนการทำซ้ำโดยตรง หาค่าความถี่ธรรมชาติ รูปร่างการสัน ผลค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ และค่าความถี่ธรรมชาติไร้หน่วยของโครงสร้างทรงโค้ง ได้นำมาแสดงไว้ โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงต่อความยาวช่วงคอร์ด ค่าอัตราส่วนความยาวช่วงพาดต่อความยาว ช่วงคอร์ด และเงื่อนไขจุดรองรับ

เจษฎาพงศ์ (2548) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์การโค้งเคาะและหลังการโค้งเคาะของโครงสร้างภายใต้หนักบรรทุกแบบติดตามการเสียรูปและไม่ติดตามการเสียรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ งานวิจัยฉบับนี้ศึกษา พฤติกรรมโค้งเคาะและหลังการโค้งเคาะของโครงสร้างโครงข้อแข็ง

2 ชิ้นส่วน ที่มีฐานรองรับเป็นแบบยึดแน่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาคำตอบแบบประมาณของปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS โดยไม่รวมผลของการเสียรูปเนื่องจากแรงตามแนวแกนและแรงเฉือน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมหลังการโก่งเคาะทั้งทางด้านรูปแบบการโก่งเคาะ และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับระยะเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ในทางทฤษฎีโครงสร้างโครงข้อแข็งสามารถมีเส้นกราฟของพฤติกรรมหลังการโก่งเคาะได้หลายเส้นทาง โดยที่แต่ละเส้นทางประกอบด้วยรูปแบบการโก่งเคาะหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละเส้นทางมีขนาดน้ำหนักบรรทุกวิกฤติเริ่มต้นต่างกัน โดยที่น้ำหนักบรรทุกวิกฤติของ โครงข้อแข็งคือ น้ำหนักบรรทุกวิกฤติเริ่มต้นที่มีค่าต่ำสุด

สุรพล (2554) การสึกหรอโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเครื่องกลหนักงานดินเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการสึกหรอที่บริเวณจุดสัมผัสของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่มีการเคลื่อนที่เช่น เพลา รอก ล้อ ฟันเฟือง หรือบูชแบบต่างๆ โดยที่กล่าวถึงแม้ว่าจะมีวิธีการหรือชนิดของสารหล่อลื่นที่ดีเพียงใดก็ตาม อนึ่งจากการที่ภาระการใช้งาน ราคาของเครื่องจักร เครื่องยนต์และค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษาที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเลือกเครื่องจักรกลหนักที่มีความน่าเชื่อถือสูงและมีอายุการใช้งานนานกว่าในอดีต เทคนิคในการประเมินสรุปเครื่องยนต์ของเครื่องจักรกลหนักโดยวิธีการวิเคราะห์สารหล่อลื่น การวิเคราะห์สิ่งสกปรก การวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอเพื่อทำการประเมินสรุปเครื่องยนต์ได้ถูกดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ โดยหลักการสำคัญที่ได้ทำการวิจัยและพัฒนาขึ้นคือ แผนภูมิการติดตามสรุปน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ชนิดหลายตัวแปร การวิเคราะห์ใส่กรองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและการวิเคราะห์หารากของสาเหตุการชำรุดอย่างเป็นระบบ

Pasini D. (2006) เสนอวิธีการเลือกใช้วัสดุ รูปร่างหน้าตัด และแบบผสม ทำการกำหนดพารามิเตอร์ขนาดให้มีความสัมพันธ์ และสร้างโมเดลเพื่อให้เหมาะสมกับการออกแบบ การออกแบบโมลต้องคำนึงถึงคุณสมบัติวัสดุ การขึ้นรูปของวัสดุ สิ่งที่ต้องการเปรียบเทียบของวัสดุคือการเลือกวัสดุกับรูปร่างของวัสดุ เพื่อการเลือกหน้าตัดของวัสดุให้มีความเหมาะสมที่สุด

ปิยาภรณ์ (2552) วิชยานิพนธ์นี้ศึกษาความถี่ของเส้นลวดโลหะผสมจํารูป ทฤษฎีแบบจำลองคณิตศาสตร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดระดับความถี่ของตัวเอกซุเอเตอร์ที่มีส่วนประกอบของโลหะผสมจํารูป แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกใช้หาระดับความถี่จากการเปรียบเทียบแบบออฟไลน์เช่นเดียวกับวิธี กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนหรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน แบบจำลองของ ระบบกำหนดจากการประมาณเชิงเส้นของสมการการเปลี่ยนเฟสของโลหะชนิดนี้ ลักษณะไดนามิก ของอุณหภูมิจากทฤษฎีการถ่ายเทพลังงาน

ความร้อน สมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนความเค้น ความเครียด อุณหภูมิ สัดส่วนโมลใน เฟสมาร์เทนไซต์และสมการการเคลื่อนที่ของลวด ความผิดปกติ จากความล้าแสดงในรูปแบบของ พลังงานค่าความผิดพลาดจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมแมทแล็บ เพื่อระบุระดับความล้า ของลวด ลวดทดสอบคือ โลหะผสมจํารูปนิกเกิลไทเทเนียมทองแดงขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร นำไปทดสอบด้วยภาระคงที่และให้ความร้อนเป็นจำนวนรอบต่างกัน วิธี ตรวจสอบ ความล้าด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์นำมาทดสอบกับลวดล้าภายใต้ความเค้นช่วง 76 ถึง 204 เมกะปาสคาล ผลคือวิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถระบุความล้าของโลหะผสมจํารูปได้และ มี ความถูกต้องของกาตรวจสอบมากกว่าร้อยละ 90 สำหรับทุกค่าของภาระที่ทดสอบ

ทรงพล (2550) วิทยานิพนธ์นี้ประยุกต์ซอฟต์แวร์แล็บวิว เพื่อพัฒนาโปรแกรมควบคุมการ ทดสอบอัตราการเติบโตของรอยร้าวล้าแบบต่าง ๆ การทำงานของโปรแกรมใช้ข้อแนะนำใน มาตรฐาน ASTM E647 โครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วยโมดูลรับค่าสภาวะทดสอบ โมดูล วิเคราะห์ผล โมดูลแสดงผล โมดูลบันทึกผล โมดูลสร้างสัญญาณควบคุม และโมดูลปรับแก้ สัญญาณควบคุม โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นถูกนำไปประยุกต์กับการทดสอบหาอัตราการเติบโตของ รอยร้าวล้าของอะลูมิเนียมผสม 7075-T651 โดยใช้ชิ้นงานทดสอบแบบ CT ขนาดกว้าง 2 นิ้วหนา 1 นิ้ว การทดสอบที่อัตราส่วนภาระ 0.1 ได้ผลสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบอื่น ที่มีโปรแกรมสำเร็จรูป Gluon ควบคุมจึงสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถควบคุมการทดสอบหาอัตรา การเติบโตของรอยร้าวล้าได้อย่างน่าเชื่อถือ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอขั้นตอนการดำเนินการเขียนแบบเพลลาของชุดคานใบมีดย่อยทางปาล์มของอุปกรณ์ฟ่วงรตแทรกเตอร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในส่วนของเพลลาคานใบมีด ดังรูปที่ 3.1

กระบวนการเขียนแบบ 3 มิติ ชุดคานใบมีดผู้เขียนแบบจำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นเช่นขนาดส่วนต่าง ๆ ก่อน รวมทั้งฐานข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ประกอบการเขียน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเขียนแบบและนำมาใช้ในการประยุกต์เข้ากับวิธีการเขียนแบบเพื่อปรับเปลี่ยนให้ได้ตามข้อมูลที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการทดสอบความแข็งแรงของเพลลาชุดคานใบมีดออกมาในรูปแบบเอกสารคอมพิวเตอร์ และทำการจัดเก็บข้อมูลชุดคานใบมีดที่ได้ทำการทดสอบไว้ในฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การเขียนแบบเพลลาชุดคานใบมีด
2. คุณสมบัติของวัสดุ
3. แรงที่กระทำต่อเพลลาชุดคานใบมีด
4. การทดสอบเพลลาชุดคานใบมีดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



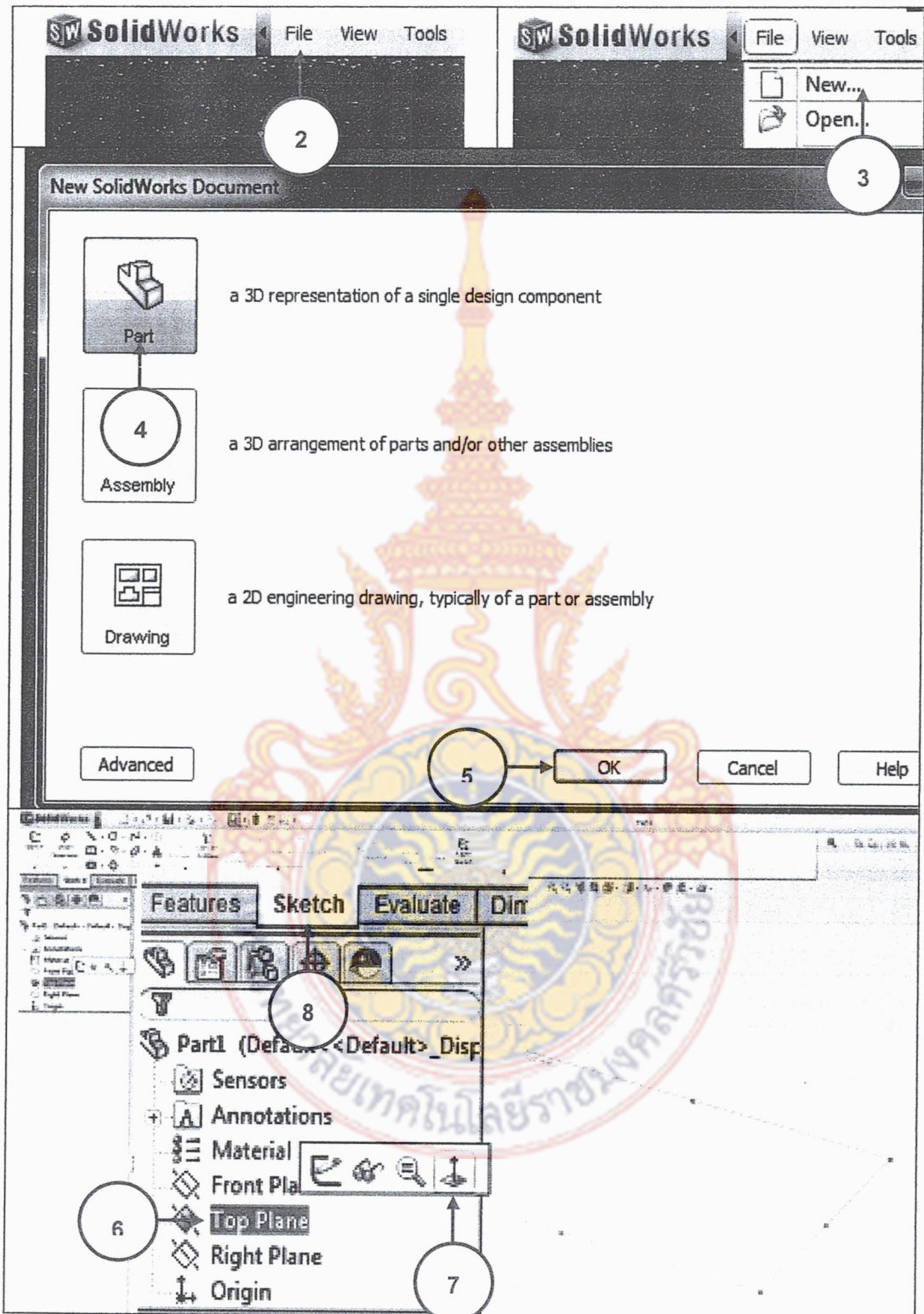
รูปที่ 3.1 CAD Model ของเพลลาคานใบมีด

3.1 การเขียนแบบชุดคานไบมิด

เมื่อต้องการสร้างงานใหม่ ให้คลิกที่คำสั่ง New Document ที่หน้าต่างงาน หรือ คลิก File > New ในแถบเมนู หรือ กดปุ่ม Ctrl + N จะปรากฏหน้าต่างให้เลือกชนิดงานใหม่ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ Part, Assembly และ Drawing สำหรับขั้นตอนนี้ให้เลือกสร้างไฟล์ใหม่ชนิด Part เปิดไฟล์ใหม่สำหรับการเขียนแบบบอกขนาดและรายละเอียดต่างๆ จากนั้นทำการ คลิก Ok เลือก Right Plane ในการสร้างงาน จากนั้นทำการเลือก Normal To ในการเขียนแบบ คลิกไอคอน Sketch เพื่อสร้างเส้นร่างใหม่ หรือแก้ไขเส้นร่างเดิมที่ได้ทำการเขียนมาก่อนหน้านี้ คลิกไอคอน Line สร้างวงกลม เลือกที่ตำแหน่งจุด Origin คลิกไอคอน Smart Dimension กำหนดขนาดให้กับเส้นร่างและสามารถแก้ไขขนาดของเส้นร่างได้ โดยการคลิกขวาไอคอน Sketch เขียนเส้นร่างแบบงานให้ครบทุกจุดที่มีการต่อกัน



รูปที่ 3.2 การเปิดโปรแกรมใหม่



รูปที่ 3.3 การเลือกใช้คำสั่ง

3.2 คุณสมบัติของวัสดุ

ชุดคานาไบมีด 1 ชุด มีวัสดุที่เป็นเหล็กแผ่นคานาไบมีด S50C 3 แผ่น และเพลลาวัสดุ S45C ใช้ในดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุมาตรฐาน S45C และ S50C

คุณสมบัติ	S45C	S50C	หน่วย
	ค่า	ค่า	
Elastic Modulus	205	200	GPa
Passions Ratio	0.29	0.29	-
Shear Modulus	80	77	GPa
Density	7850	7900	kg/m ³
Yield Strength	530	351	MPa

3.3 แรงที่กระทำต่อเพลลาชุดคานาไบมีด

เพลลาชุดคานาไบมีดมีหน้าที่รับน้ำหนักของไบมีดเมื่อทำการตัด ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์จะพบว่าแรงที่กระทำหลัก ๆ ต่อชุดคานาไบมีด การคำนวณน้ำหนักใช้ค่า g จาก 9.81 m/s^2 เพื่อสะดวกต่อการป้อนค่าและซึ่งไม่มีกระทบกับผลการคำนวณ

รายละเอียดทั้งหมดของน้ำหนักที่กระทำต่อชุดคานาไบมีดจะนำไปใช้ในส่วนของกระบวนการวิเคราะห์ในสถานะสถิตย์ศาสตร์ (Static) เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของชุดคานาไบมีด

ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเพลลาส่งกำลังเกิดการแตกหักในขณะที่ใช้งาน โดยทำการตั้งสมมติฐานการแตกหักของเพลลาส่งกำลังเนื่องจากการล้าตัวของเพลลาส่งกำลัง เพลลาส่งกำลังจะได้รับแรงเป็นรอบ ๆ กระทำซ้ำ ๆ โดยเพลลาส่งกำลังที่ทำการวิเคราะห์จะต่อออกมาจากชุดเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์และต่อส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ไปยังชุดไบมีดต่อไป

ดังนั้นในการวิเคราะห์จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้

รถที่ใช้/รุ่น	:	Kubota M105S
ปริมาตรกระบอกสูบ	:	3769 CC.
แรงม้าสุทธิ	:	105 แรงม้า
ความเร็วรอบสูงสุด	:	2600 รอบ/นาที

แรงม้าจากเพลลาอำนาจกำลัง : 93 แรงม้า
 ความเร็วรอบสูงสุดเพลลาอำนาจกำลัง : 540 รอบ/นาที

จากสูตรการคำนวณหาแรงบิด

$$\text{แรงบิด} = \text{แรงม้า} / (\text{ความเร็วรอบ} \times 0.001376)$$

$$\text{ดังนั้น แรงบิด} = 93 \text{ แรงม้า} / (540 \text{ รอบต่อนาที} \times 0.001376)$$

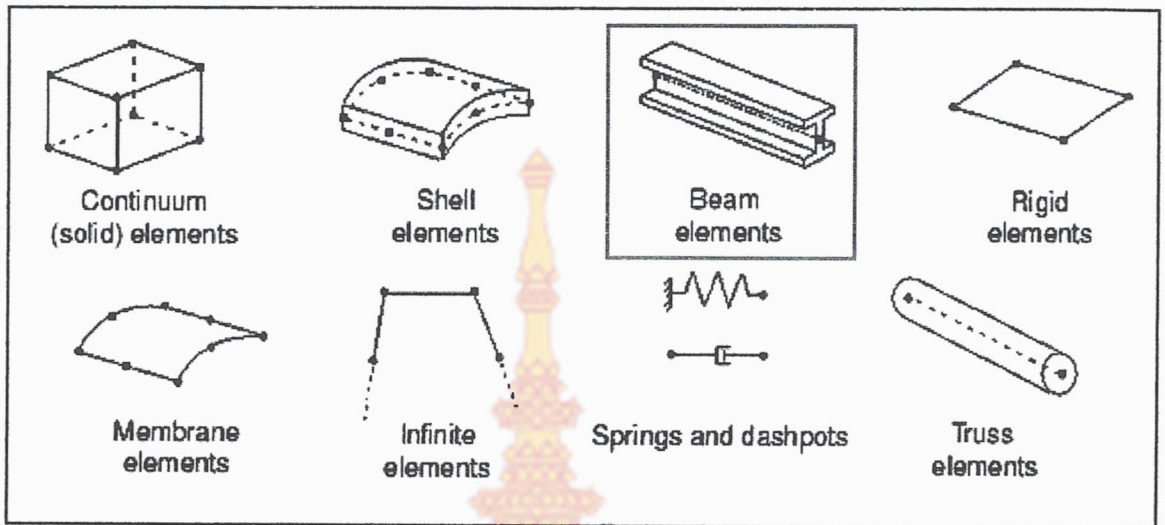
เพราะฉะนั้น แรงบิด = 125.16 กิโลกรัม-เมตร



รูปที่ 3.4 การกำหนด condition ในการวิเคราะห์

3.4 การทดสอบเพลลาชุดคานใบมีดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์เพลลาชุดคานใบมีดที่ได้จากการเขียนแบบ การเลือกเอลิเมนต์ที่เหมาะสมกับปัญหาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการคำนวณ เนื่องจากการจำลองนั้นมีเอลิเมนต์อยู่หลายลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.5 แสดงเอลิเมนต์แบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับรูปร่างและแรงกระทำของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีเลือกใช้แบบ Beam elements



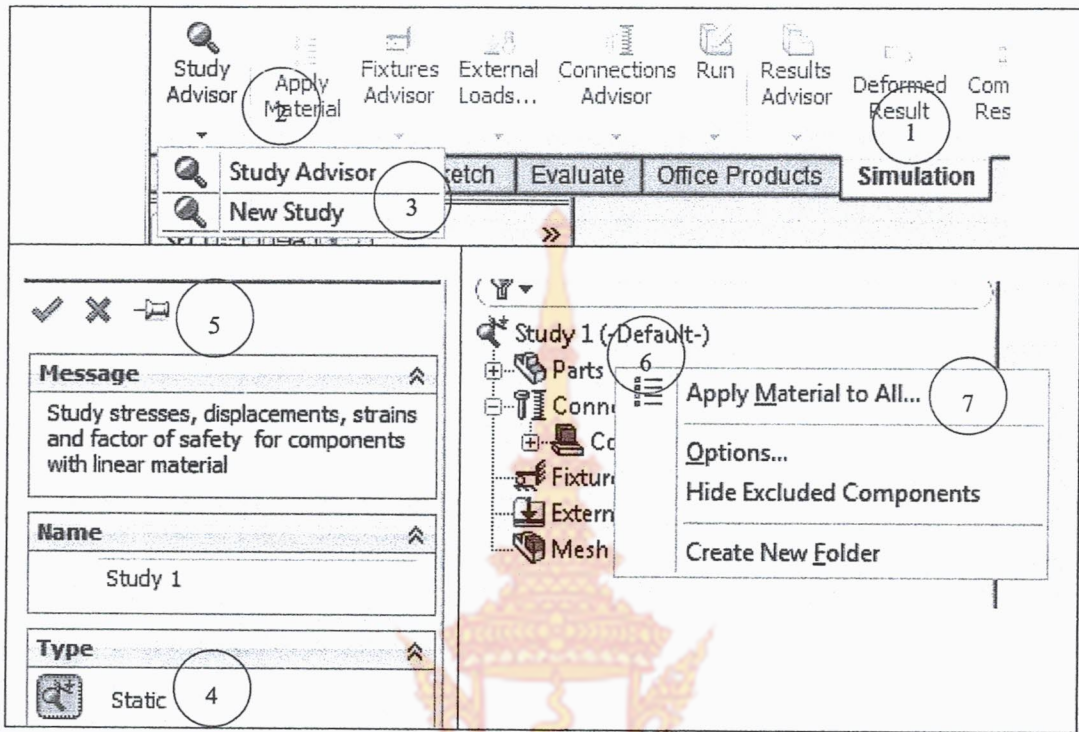
รูปที่ 3.5 แสดงเอลิเมนต์แบบต่าง ๆ

3.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

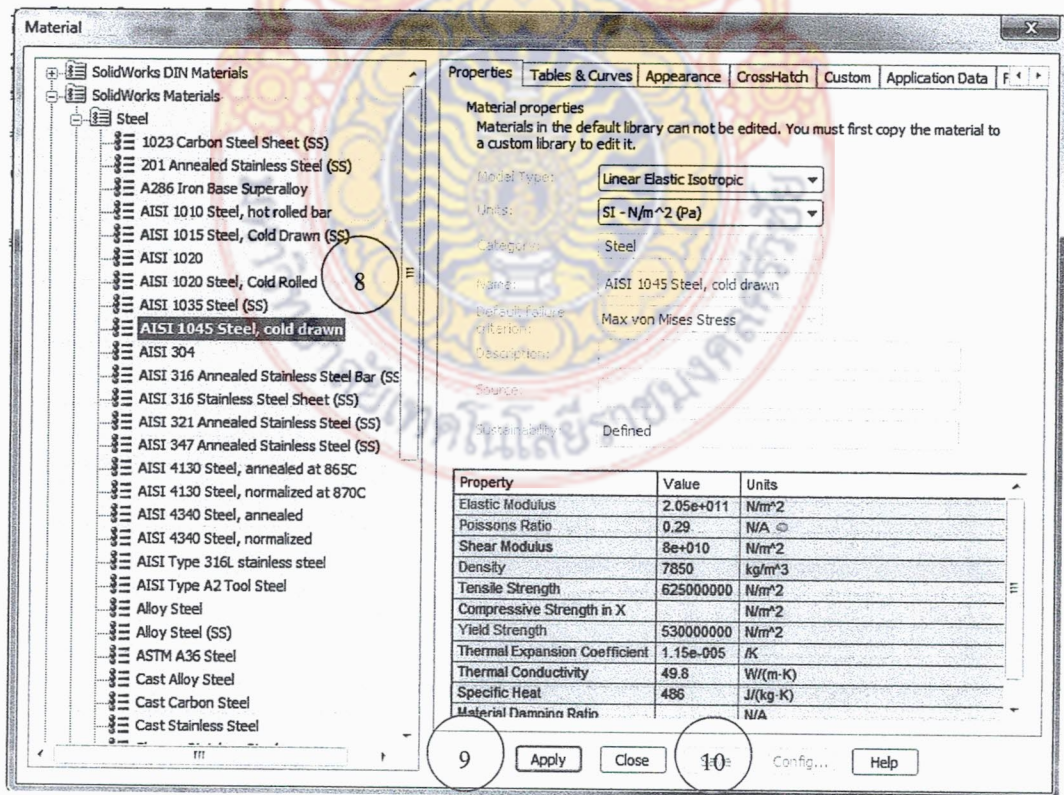
โดยฐานของชุดคานาไมมิดจะทำการเชื่อมตริงเข้ากับเพลลาของเครื่อง สำหรับวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ชุดคานาไมมิดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ S45C ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

เรียกไฟล์แบบชุดคานาไมมิดที่ได้จากการเขียนแบบจาก โปรแกรมช่วยในการออกแบบเพื่อทำการ Simulation เลือก Simulation ตามลำดับขั้นตอนที่ 1 ทำการตั้งชื่อการทดสอบที่ตำแหน่ง New Study ตามลำดับขั้นตอนที่ 2 และ 3 เลือกการวิเคราะห์ในสถานะสถิตศาสตร์ (Static) และเอลิเมนต์แบบ Beam element ในการวิเคราะห์ แล้วคลิก Ok ตามลำดับขั้นตอนที่ 4 และ 5

กำหนดคุณสมบัติของวัสดุชุดคานาไมมิด โดยทำการคลิกขวาที่ตำแหน่งชื่อของชิ้นงาน เลือก Apply Material to Bodies ตามลำดับขั้นตอนที่ 6 และ 7 จากนั้นเลือก Solid works Materials เลือก Steel เลือกวัสดุมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงในการวิเคราะห์ ตามลำดับขั้นตอนที่ 8 จากนั้นไปเลือก Properties เลือก Model Type ที่ Linear Elastic Isotropic เลือก Units เป็นระบบ SI N/mm^2 (MPa) คลิกที่ Apply แล้วคลิก Close ตามลำดับขั้นตอนที่ 9 และ 10



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนในการ Simulation

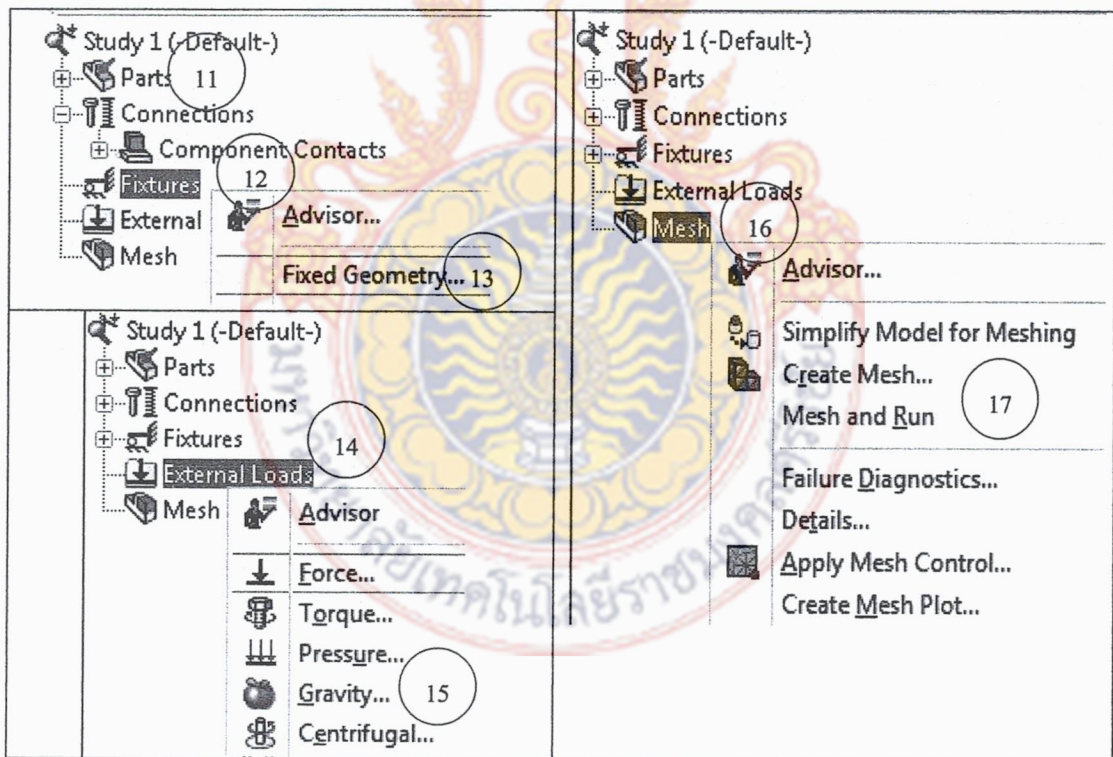


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนในการเลือก Properties

การกำหนดตำแหน่งจุดยึด (Fixe) ในแนวแกน ส่วนของงานวิจัยนี้บริเวณที่เป็นจุดยึด (Fixe) คือ ส่วนที่มีการยึดเข้ากับเพลลาของเครื่อง เป็นจุดหมุนและกำหนดตำแหน่งจุดยึด (Fixe) โดยการคลิกขวา Fixtures เลือก Fixed Geometry ไปเลือกตำแหน่งจุด (Joint) ยึดเข้ากับเพลลาเป็นจุดรองรับ ตามลำดับขั้นตอนที่ 12 และ 13

กำหนดแรงโน้มถ่วง (Gravity) คือ 9.81 m/s^2 เพื่อรับน้ำหนักของชุดคานใบมีด ทิศทาง $-Y$ โดยการคลิกขวา External Loads เลือก Gravity ให้ทิศทาง $-Y$ สำหรับทิศทางสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการ กดเครื่องหมาย แล้วคลิก Ok ตามลำดับขั้นตอนที่ 14 และ 15

กระบวนการสร้างเอลิเมนต์ (Create mesh) ของชิ้นส่วนชุดคานใบมีด เป็นแบบ Beam elements โดยการคลิกขวา Mesh เลือก Mesh and Run จะได้การสร้างเอลิเมนต์ (Create mesh) ตามลำดับที่เสร็จสมบูรณ์ ตามลำดับขั้นตอนที่ 16 และ 17 ส่วนกระบวนการ Run อยู่ในบทที่ 4 บทถัดไป



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนในการการ Fixtures

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย โดยมีขั้นตอน ศึกษาคุณสมบัติของเหล็ก แรงที่กระทำต่อเพลาชุดคานใบมีดและการทดสอบชุดคานใบมีดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากขั้นตอนการวิจัย สามารถทำการออกแบบและทดสอบความแข็งแรงของเพลาชุดคานใบมีดได้ ในบทถัดไปเป็นการกล่าวถึงผลที่ได้ผลจากการทดสอบความแข็งแรงของเพลาชุดคานใบมีด



บทที่ 4

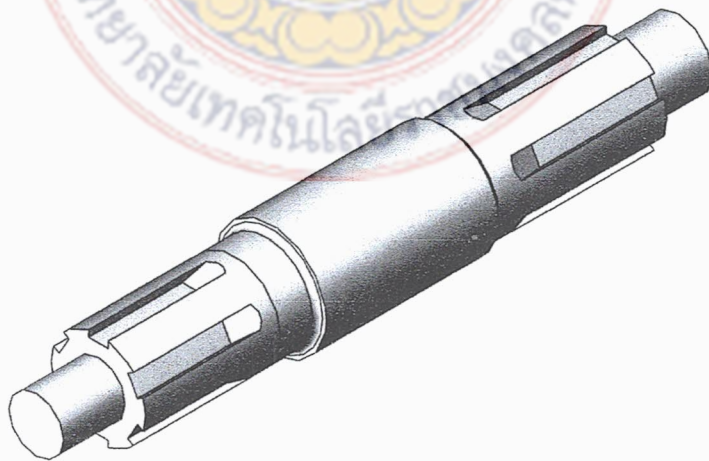
ผลของการวิจัย

จากบทที่ 3 ได้อธิบายวิธีการดำเนินงานวิจัย เกี่ยวกับการออกแบบเพลาคานใบมีด เพื่อวิเคราะห์หาความเหมาะสมในด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ในเรื่องของเพลาคานใบมีด บทนี้เป็นการอธิบายถึงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของเพลาคานใบมีดสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 4.1 ผลจากการเขียนแบบ CAD Model
- 4.2 Finite Element Model
- 4.3 Stress Analysis
- 4.4 Fatigue Analysis
- 4.5 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1 ผลจากการเขียนแบบ CAD Model

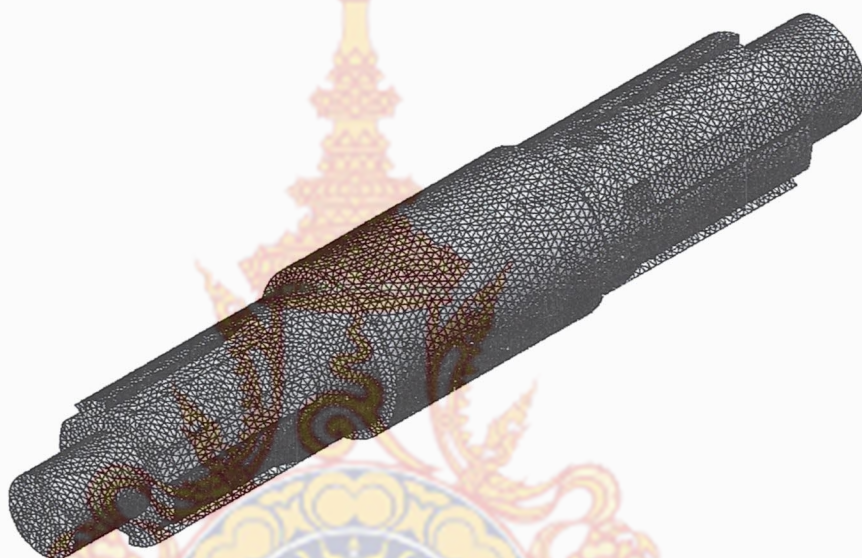
การศึกษารูปแบบการเขียนแบบ 3 มิติ (CAD Model) ที่เป็นแบบเพลาคานใบมีดพบว่าเป็นการสร้างแบบจำลอง CAD Model ของเพลาคานใบมีดส่งกำลังด้วยโปรแกรม SolidWorks 2013 คือ การเขียนแบบชิ้นส่วน (Part) แล้วนำมาประกอบเป็นโครงสร้างเรียกว่า การเขียนแบบ Assembly และในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเขียนแบบชิ้นส่วน (Part) เนื่องจากมีชิ้นเดียว จุดเด่นของโปรแกรม SolidWorks 2013 สามารถนำไฟล์ที่ได้จากการเขียนแบบ CAD Model ไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป แสดงดังภาพที่ 4-1



รูปที่ 4.1 แบบเพลาคานใบมีด

4.2 Finite Element Model

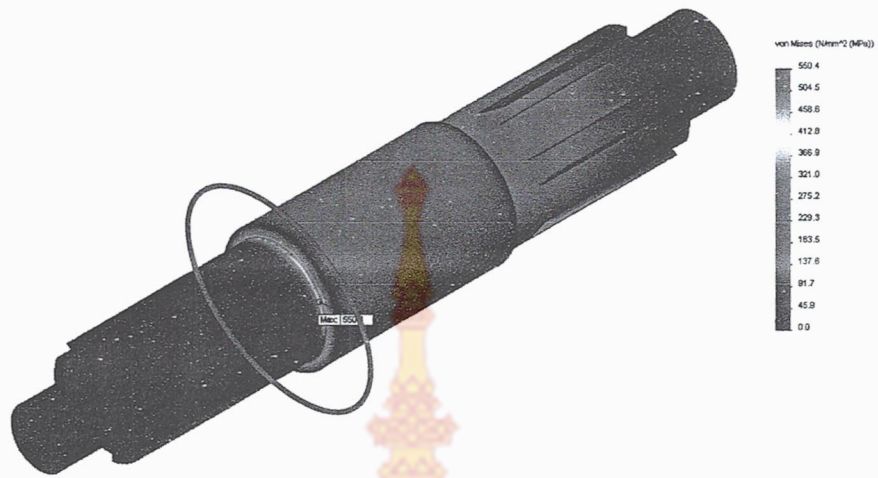
สร้าง Finite Element Model โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation 2013 กำหนดชนิดของ Mesh เป็น Solid Element โดยมีจำนวนจุดต่อ (Node) 318,095 Node และจำนวน Element 221,426 Element



รูปที่ 4.2 Finite Element Model เพื่อการวิเคราะห์

4.3 Stress Analysis

จากผลการวิเคราะห์ Stress Analysis ของเพลาส่งกำลัง เกิด Von Miese Stress 550 MPa ที่บริเวณจุดเปลี่ยนหน้าตัดของเพลานในส่วนที่ต่อเข้ากับชุดเกียร์ใบตัด ซึ่งค่า Von Miese Stress ดังกล่าวส่งผลให้ชิ้นงานมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายบริเวณนี้ได้



รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งการเกิดการเสียหาย

4.4 Fatigue Analysis

จากผลการวิเคราะห์ Fatigue Analysis โดยจะทำการคำนวณ Infinity Life Cycle การเกิดการเสียหายจากการล้าตัวโดยกำหนดดังนี้

Torsion load : Vos mise Stress < 0.25 Tensile Strength

ดังนั้นเพลาส่งกำลังได้รับแรงเป็นลักษณะแรงบิดกระทำเป็นรอบ ๆ ซ้ำ ๆ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณ Vos mise Stress เท่ากับ 550 MPa มีค่ามากกว่า 156.25 MPa (0.25 Tensile Strength) ดังนั้นเพลาส่งกำลังมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายจากการล้าตัวของวัสดุได้



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดการเสียหายเนื่องจากการล้าตัวของวัสดุ

4.5 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์โครงสร้างคานาโบมีดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าเพลาคานาโบมีดมีการรับแรงเป็นรอบ ๆ กระทำซ้ำ ๆ โดยเพลาส่งกำลังที่ทำการวิเคราะห์จะต่อออกมาจากชุดเพลานำวงกำลังของรถแทรกเตอร์และต่อส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ไปยังชุดใบตัดต่อไป

ในสภาวะการรับภาระต่าง ๆ ที่เพลานี้ไม่เกิดการเสียรูปแตกหักนั้น เนื่องจากเพลาคานาโบมีดมีค่า Von Mises Stress เท่ากับ 550 MPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Maximum Tensile Stress) ของวัสดุ AISI 1045 (S50C) เท่ากับ 625 MPa โดยได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.13 เท่า มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าตัวประกอบความล้า แรงกระตุกอย่างแรง Safety of Factor 1.5-3 โดยพิจารณาจากกำลังรอบสูงสุดและแรงบิดสูงสุดจากเพลานำวงกำลัง สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างคานาโบมีดมีความแข็งแรง และยังสามารถรับภาระปกติ แต่ในขณะปัจจุบันทำงานแบบแรงกระตุกอย่างแรง ดังนั้นจะต้องเพิ่มขนาดของเพลานี้หรือลดภาระการกระทำของคานาโบมีดจึงจะทำให้ค่า Safety of Factor เพิ่มมากขึ้น

ผลจากการวิเคราะห์หาขนาดของโครงสร้างชุดคานาโบมีดที่เหมาะสม ที่ค่าความปลอดภัยโครงสร้างมีความสามารถในการรับความเค้นแรงดึงและความเค้นแรงอัดที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าที่เกิดขึ้นพบว่าที่ค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อชิ้นงานเพลาคานาโบมีดเกิดจากการล้าตัวของวัสดุจนทำให้เกิดการแตกหักในที่สุด

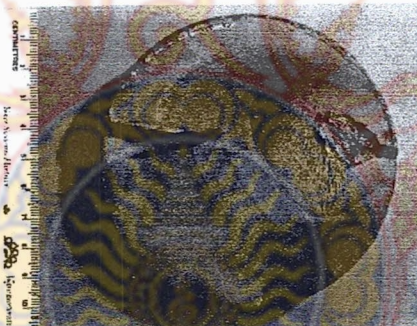
บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเพลาคานใบมีดส่งกำลังเกิดการแตกหักในขณะใช้งาน โดยทำการตั้งสมมติฐานการแตกหักของเพลาส่งกำลังเนื่องจากการล้าตัวของเพลาส่งกำลัง เพลาส่งกำลังจะได้รับแรงเป็นรอบ ๆ กระทำซ้ำ ๆ โดยเพลาส่งกำลังที่ทำการวิเคราะห์จะต่อออกมาจากชุดเพลานำของรถแทรกเตอร์และต่อส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ไปยังชุดใบตัดต่อไป

5.1 สรุปผลการทดสอบ

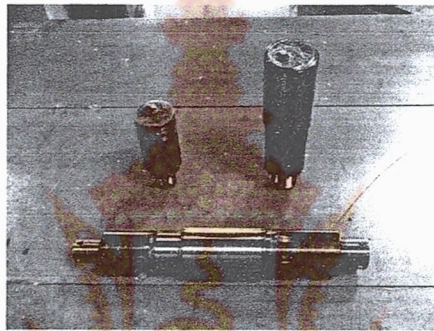
จากผลการวิเคราะห์ Finite Element Analysis เพลาคานใบมีดส่งกำลังผลิตจากวัสดุ AISI 1040 (S45C) มีความเสี่ยงที่ได้เกิดการเสียหายจากการล้าตัวของวัสดุในขณะใช้งานเนื่องจากได้รับแรงบิดที่มากกระทำเป็นรอบ ๆ และซ้ำ ๆ จนทำให้วัสดุเกิดการล้าตัวและเกิดการแตกหักในที่สุด



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างหน้าตัดชิ้นงานที่เกิดการเสียหายแบบล้าตัว

อ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ ชิ้นงานเพลาส่งกำลังได้รับแรงบิดที่ 125.16 kg-m โดยคิดจากรอบและแรงบิดสูงสุดของเพลานำของรถ ทำให้เกิดค่า Von Mises Stress 550 MPa ซึ่งค่า Stress ดังกล่าวส่งผลให้ชิ้นงานเริ่มต้นเกิด Micro Crake เนื่องมาจากค่า Stress ดังกล่าวนี้นั้นมีค่ามากกว่าความเค้นจุดคราก (Yield Strength) ของวัสดุ ในพฤติกรรมนี้เรียกว่า Crack Initiation (E-N) แต่พฤติกรรมดังกล่าวจะยังไม่ส่งผลต่อชิ้นงานให้เกิดการเสียหายในทันทีทันใด รวมถึงชิ้นงานยังมีค่า Factor of Safety ประมาณ 1.13 แต่ก็ยังถือว่าไม่เพียงพอ ซึ่งค่า Factor of Safety โดยทั่วไปในการออกแบบคพลาควรมีค่าความปลอดภัยแบบแรงกระทำอย่างแรงอยู่ระหว่าง 1.5-3 เท่า

จากการคำนวณ Infinity Life Cycle ชิ้นงานเกิด Stress มากกว่า 25% ของความเค้นสูงสุด (Tensile Strength) ทำให้ชิ้นงานมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายจากการล้าตัวของวัสดุได้ ซึ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า Crack Growth (LEFM : Linear Elastic Fracture Mechanics) พฤติกรรมนี้เป็นพฤติกรรมการขยายตัวของ Micro Crake จนทำให้ชิ้นงานเริ่มเกิดการเสียหายและแตกหักในที่สุด ซึ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า Total Life (S-N) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์และการใช้จริงตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเกิดขึ้นในตำแหน่งและบริเวณเดียวกันซึ่งทำให้สรุปได้ว่าชิ้นงานนี้เกิดการแตกหักแล้วเกิดการเสียหายแบบล้าตัว



รูปที่ 5.2 แสดงการเสียหายของชิ้นในที่ใช้งานจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพลาคานไบริมิดสังกำลังสามารถนำไปพัฒนาใช้ได้กับงานเพลาส่งกำลังอื่นๆ ได้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงเหมือนกับงานวิจัยนี้ โดยจะมีการเสนอแนะดังต่อไปนี้

- 5.2.1 ค่า Factor of Safety จากการวิเคราะห์ประมาณ 1.13 เท่า แต่ในการออกแบบเพลาคควรมีค่าความปลอดภัยแบบแรงกระตุกอย่างแรงอยู่ระหว่าง 1.5-3 เท่า ดังนั้นจะต้องเพิ่มขนาดของเพลารือลดภาระการทำของคานไบริมิดจึงจะทำให้ค่า Safety of Factor เพิ่มมากขึ้น
- 5.2.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพลานี้สามารถวิเคราะห์ในสถานะที่เกิดการชนหรือกระแทก เพื่อให้ผลที่ออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด
- 5.2.3 สามารถนำไปพัฒนาใช้ได้กับงานเพลาส่งกำลังจุดเชื่อมต่อในช่วงของเพลาท้ายของชุดประกอบกับโรทารี

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง. การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างตัวถังที่เหมาะสมสำหรับรถโดยสารมาตรฐาน 1 (ก). สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.
- บรรเลง คำเกตุ. การออกแบบและวิเคราะห์การเชื่อมต่อโครงสร้างตัวถังรถโดยสารมาตรฐาน 1 (ก). สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- ศักรินทร์ ชูดวง. การออกแบบและพัฒนามาตรฐานการผลิตรถโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4). สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ และคนอื่น ๆ. การประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ SolidWorks Simulation. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2552.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ และสุทธศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช. ไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายพร้อมซอฟต์แวร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- ธงชัย ฟองสมุทร และประกอบ ชาติภักดิ์. การวิเคราะห์การกระจายของความเค้นในเสาบอกทางจราจรแบบแขวนยื่นโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.
- ปริญญา แซ่อ้อย. การวิเคราะห์การโก่งเคาะและการสันนิษฐานแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้างทรงโค้งที่มีฐานรองรับต่างระดับกัน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- เจษฎาพงศ์ จำเดิม. การวิเคราะห์การโก่งเคาะและหลังการโก่งเคาะของโครงสร้างภายใต้หนักบรรทุกแบบติดตามการเสีรูปและไม่ติดตามการเสีรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- เกียรติศักดิ์ สกุลพันธุ์ และวิทยา พันธุ์เจริญศิลป์. Solid works. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548.
- ชุมพล เหลืองบรรเจิด. การออกแบบโครงสร้างเครื่องจักรที่อยู่ภายใต้ภาระสถิตที่เหมาะสมที่สุด. วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.
- ทวีศักดิ์ ศรีช่วย. เขียนแบบวิศวกรรมด้วย Solid works. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

พรสวรรค์ เพชรแดง, สุขุม เรื่องชัชกุล, และนิติพร เพิ่มพูนศิลป์. พระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ.2522 แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2523 , 2530 และ 2535. หจก.สำนักพิมพ์พีลิกส์ เช่น เตอร์, 2539.

สมควร บรมินนรินทร์. CAD/CAM กับ การออกแบบรถยนต์. นิตยสารคอมพิวเตอร์, 2540.

อิสรา โรจนะ. การออกแบบและพัฒนาคัสซิ่งรถโดยสาร 2 ชั้น มาตรฐาน 4. สาขา

วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

ปิยาภรณ์ เลขะกุล. การตรวจสอบและวิเคราะห์ความล้าของโลหะผสมจำรูปนิกเกิลไทเทเนียม ทองแดงภายใต้อิทธิพลของภาระเชิงกลและเชิงอุณหภูมิ โดยอาศัยแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์. วิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี, 2552.

ทรงพล เพิ่มทรัพย์. การพัฒนาโปรแกรมทดสอบสำหรับหาอัตราการเติบโตของรอยร้าวล้า.

วิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภาษาอังกฤษ

Kumket B., Jongprasithphon S., Butdee S. Welding Joint Analysis using FEM together with Physical Experiment for a Bus Body Structure based on the Standard No.1. AIJSTPME (2010) Vol. 3(2): 49-55.

Manokruang S. and Butdee S., Methodology of Bus-Body Structural Redesign for Lightweight Productivity Improvement, AIJSTPME, (2009) Vol. 2(2): 79-87.

ASTM DESIGNATION : E 1737-96, Standard test Method for J-Integral Characterization of Fracture Toughness.

Bimal Nepal, Leslie Monplaisir, Nanua Singh. “A Methodology for Integrating Design for Quality in Modular Product Design”. 2006.

Broek, D. Elementary Engineering Fracture Mechanics. 4th ed. Dordrecht : Kluwer Academic, 1991.

Edwards, K.L. “Towards more strategic product design for manufacture and assembly : priorities for concurrent engineering.” Journal of Materials and Design. 23 (2002) : 651–656.

Hsu, W. Fuh, J.YH. and Zhang, Y. "Synthesis of design concepts from a design for assembly perspective." Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems.11 No. 1-2 (1998) : 1-13.

N. Janthong, D. Brissaud, S. Butdee. "Combining Axiomatic Design and Case-Based Reasoning in a Design Methodology of Mechatronics Products." 2007.

P. Gu, M. Hashemian, A.Y.C. Nee. "Adaptable Design". 2004.

W.John, Sons. Sytrems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing. New York, 1996.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

“ทางปาล์มน้ำมันใช้เลี้ยงสัตว์.”.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้

<http://www.farmkaset.org/contents/?content=00849>

(วันที่ค้นข้อมูล: 13 พฤษภาคม 2555).

“การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน.”.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้

<http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/management.html>

(วันที่ค้นข้อมูล: 31 พฤษภาคม 2555).

“ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่ AEC.”.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้

จาก: <http://www.ksmecare.com/Article/82/28155/ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่-AEC>

(วันที่ค้นข้อมูล: 13 ธันวาคม 2555).

“ประวัติรถแทรกเตอร์.”.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<http://www.thongchai.co.th/index.php/more-about-joomla>

(วันที่ค้นข้อมูล: 13 ธันวาคม 2555).

“รถแทรกเตอร์คูโบต้า m9540.”.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

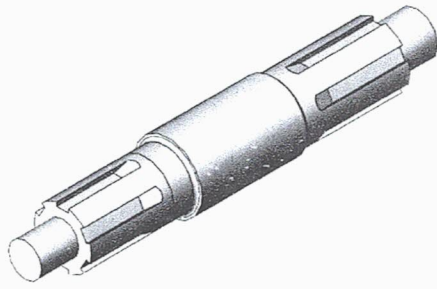
<http://www.youtube.com/watch?v=VliZC3xoml8>

(วันที่ค้นข้อมูล: 13 ธันวาคม 2555).

ภาคผนวก ก

Simulation of shaft





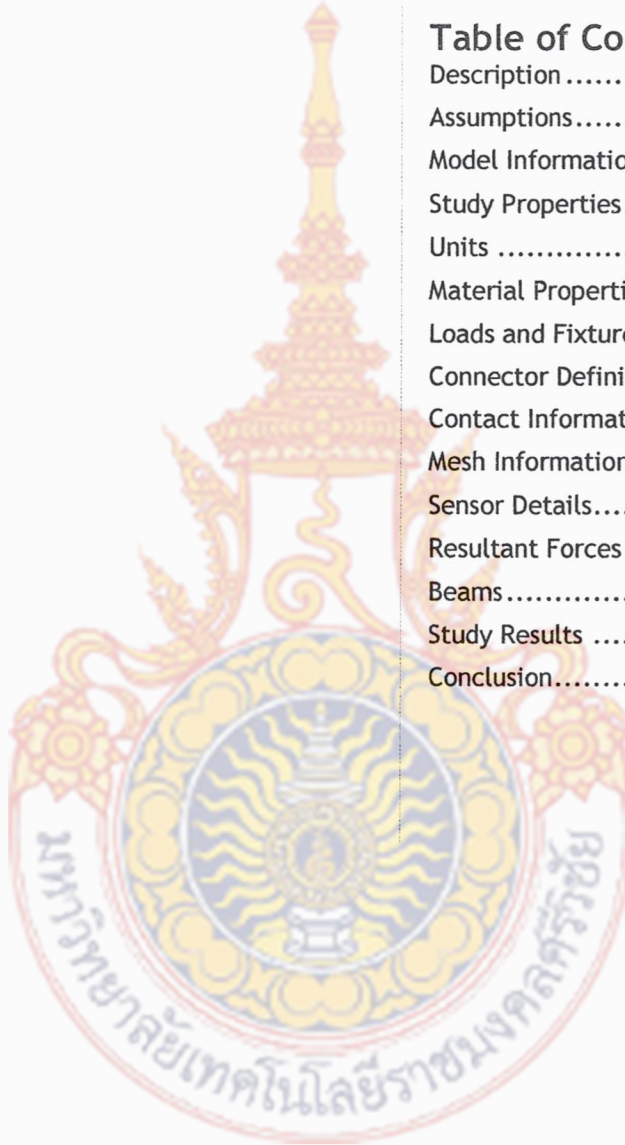
Simulation of shaft

Date: 4 กรกฎาคม 2556
Designer: S.Arnon
Study name: shaft test
Analysis type: Static

Description
No Data

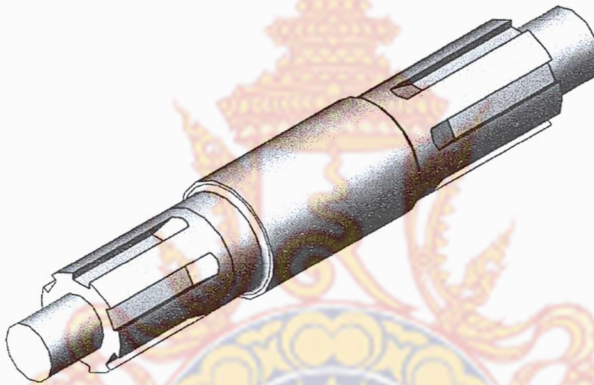
Table of Contents

Description	1
Assumptions	2
Model Information	2
Study Properties	3
Units	3
Material Properties	4
Loads and Fixtures	5
Connector Definitions	6
Contact Information	6
Mesh Information	7
Sensor Details	8
Resultant Forces	8
Beams	8
Study Results	9
Conclusion	13




Assumptions

Model Information



Model name: shaft
Current Configuration: Default

Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Fillet1 	Solid Body	Mass:2.31539 kg Volume:0.000294954 m ³ Density:7850 kg/m ³ Weight:22.6908 N	C:\Users\RDS08\Desktop\s haft\1.FEA\shaft.SLDPRT Jul 04 12:12:53 2013



Study Properties

Study name	shaft test
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (C:\Users\RDS08\Desktop\shaft\1.FEA)


Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m ²



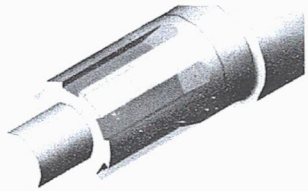


Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	<p>Name: AISI 1045 Steel, cold drawn Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 5.3e+008 N/m² Tensile strength: 6.25e+008 N/m² Elastic modulus: 2.05e+011 N/m² Poisson's ratio: 0.29 Mass density: 7850 kg/m³ Shear modulus: 8e+010 N/m² Thermal expansion coefficient: 1.15e-005 /Kelvin</p>	SolidBody 1(Fillet1)(shaft)
Curve Data:N/A		



Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 24 face(s) Type: Fixed Geometry

Resultant Forces

Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-0.522972	0.0760445	0.0605503	0.531929
Reaction Moment(N·m)	0	0	0	0

On Cylindrical Faces-1		Entities: 2 face(s) Type: On Cylindrical Faces Translation: 0, 0 rad., 0 Units: mm
------------------------	--	---

Resultant Forces

Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	2.74832	1.79914	-1.47191	3.59953
Reaction Moment(N·m)	0	0	0	0

On Cylindrical Faces-2		Entities: 1 face(s) Type: On Cylindrical Faces Translation: 0, ---, 0 Units: mm
------------------------	---	--

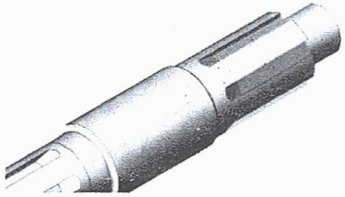
Resultant Forces

Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-4.18907	-178.801	2.93246	178.874
Reaction Moment(N·m)	0	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
-----------	------------	--------------



File Edit View Insert Tools Simulation Help SolidWorks 2015 (64-bit) - C:\ProgramData\SolidWorks\SolidWorks 2015\bin\swsolidsim.exe

Torque-1		Entities: 24 face(s) Reference: Axis1 Type: Apply torque Value: 1227.82 N·m
----------	---	--

Connector Definitions

No Data

Contact Information

No Data



Mesh Information

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	2 mm
Minimum element size	2 mm
Mesh Quality	High

Mesh Information - Details

Total Nodes	318095
Total Elements	221426
Maximum Aspect Ratio	6.1392
% of elements with Aspect Ratio < 3	99.8
% of elements with Aspect Ratio > 10	0
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:10
Computer name:	RDS008



Sensor Details

No Data

Resultant Forces

Reaction Forces

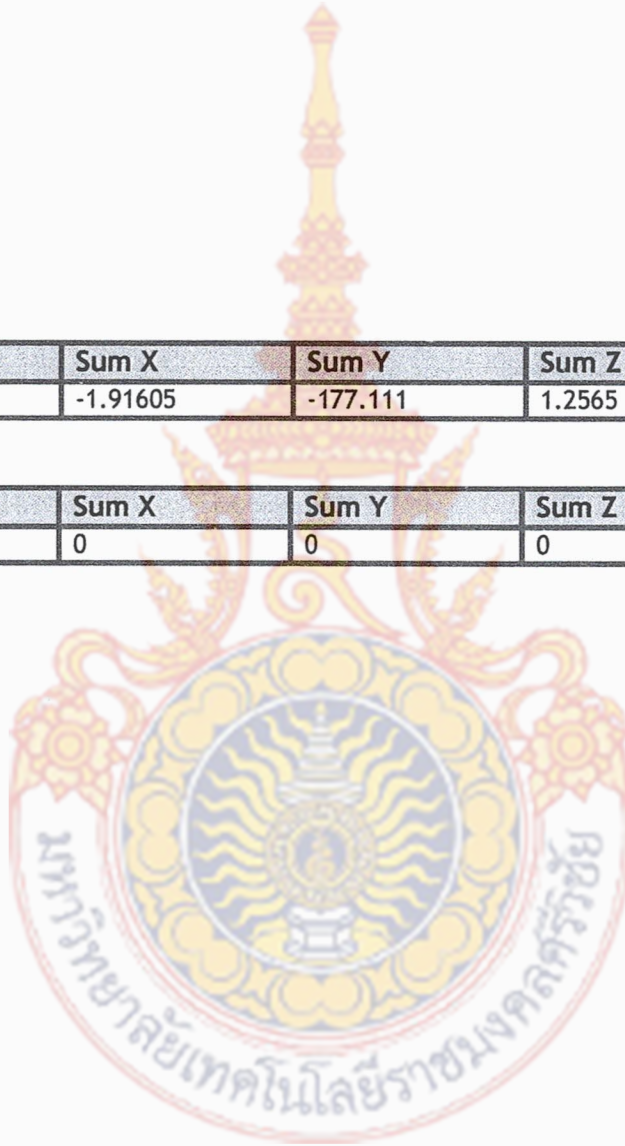
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-1.91605	-177.111	1.2565	177.126

Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N·m	0	0	0	0

Beams

No Data



Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	1.26007e-008 N/mm ² (MPa) Node: 43748	550.367 N/mm ² (MPa) Node: 42581



Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 25	0.118261 mm Node: 89



Name	Type	Min	Max
Displacement2	RFRES: Resultant Reaction Force	0 N Node: 2	423.934 N Node: 42580





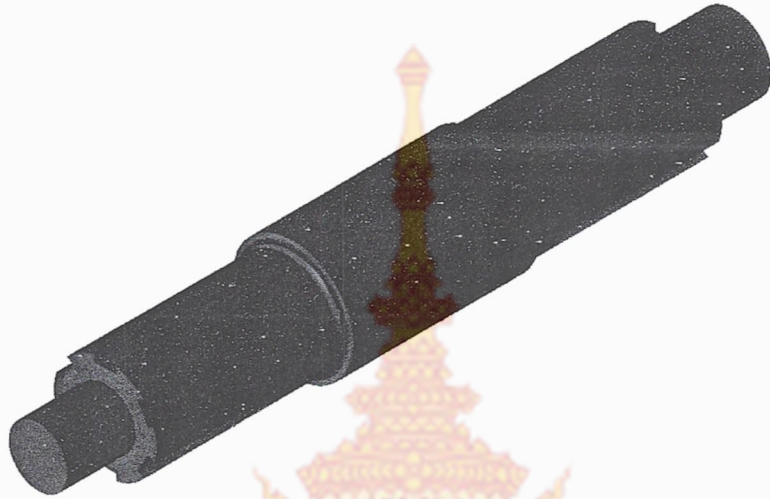
shaft-shaft test-Factor of Safety-Factor of Safety 1

Name	Type	Min	Max
Factor of Safety 2	Max von Mises Stress	1.13561 Node: 42581	4.96006e+010 Node: 43748



shaft-shaft test-Factor of Safety-Factor of Safety 2

Name	Type
Fatigue Check1	Fatigue Check Plot



shaft-shaft test-Fatigue Check-Fatigue Check1

Conclusion

