

การออกแบบโครงสร้างของแขนกลด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์โดยใช้การวิเคราะห์
ไฟไนต์เอลิเมนต์

ROBOT ARM STRUCTURE DESIGN USING POLYAMIDE
EVALUATED BY FINITE ELEMENT ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

KMITL-2020-EN-D-018-109

การออกแบบโครงสร้างของแขนกลด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์โดยใช้การวิเคราะห์
ไฟไนต์เอลิเมนต์

ROBOT ARM STRUCTURE DESIGN USING POLYAMIDE
EVALUATED BY FINITE ELEMENT ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2563
KMITL-2020-EN-D-018-109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROBOT ARM STRUCTURE DESIGN USING POLYAMIDE
EVALUATED BY FINITE ELEMENT ANALYSIS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020
KMITL-2020-EN-D-018-109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโครงสร้างของแขนกลด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์โดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์
นักศึกษา	นายศิววงศ์ บุษเกตุ
รหัสประจำตัว	60601164
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอแขนหุ่นยนต์ซึ่งได้เข้ามาแทนที่มนุษย์มากขึ้นสำหรับงานหลายประเภท อาทิ งานที่ต้องทำตลอด 24 ชั่วโมง งานที่ต้องทำประจำซ้ำๆกัน และงานที่ต้องเสี่ยงอันตราย อย่างไรก็ตามระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์มีการใช้พลังงานสูงในหลายๆกระบวนการ สิ่งนี้นำไปสู่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นเป้าหมายหลัก การเลือกที่จะสร้างหุ่นยนต์ที่มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา และใช้พลังงานต่ำโดยการลดน้ำหนักของส่วนประกอบ ในปัจจุบันหากเรารู้ว่าโครงสร้างของหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ในโลกทำจากโลหะ พลาสติกและวัสดุผสม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบโครงสร้างทางกลของแขนหุ่นยนต์ด้วยวัสดุที่แตกต่างกันสามชนิด เหล็กหล่อ อลูมิเนียมและโพลีเอไมด์ โดยการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ของวัสดุเหล่านี้ การเปรียบเทียบของแรงพลวัตต์ การใช้พลังงานและลักษณะเชิงกล พบว่าโพลีเอไมด์สามารถช่วยให้น้ำหนักเบาลง 80% และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับการประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย 68.8% แม้ว่าโพลีเอไมด์หาได้ง่ายแต่เหล็กหล่อก็มีความแข็งแรงมากกว่าโพลีเอไมด์

Thesis	Robot Arm Structure Design Using Polyamide Evaluated by Finite Element Analysis
Student	Mr.Siwawong Buthgate
Student ID.	60601164
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2020
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai

ABSTRACT

This thesis proposes robot have increasingly replaced humans for many job, including 24 hour work, routine task, and dangerous jobs. However, the robot operating system has high power consumption in many processes. This has led to energy efficiency being the main focus. The thesis has opted to build a robot with high strength, light weight, and low power consumption by reducing the weight of its components. Presently, we know that the structure of most robots in the world is made of metals, composite materials and plastics. In this thesis, to design the mechanical structure of robot arms with three different materials (cast iron, aluminum, and polyamide) using the finite element method to analyze and evaluate the possibilities of these materials. The dynamic load, power consumption, and mechanical characteristics were compared. It was found that polyamide could help lighten the weight by 40% and increase energy efficiency along with average energy savings 68.8%. Although polyamide is particularly easy to find, cast iron is stronger than polyamide.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ ความกรุณาจากคณาอาจารย์ที่ปรึกษาและ คณาจารย์รวมถึงตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านของคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สละเวลาและให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) และ บริษัทไทยสตีลเคเบิลจำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนทุนวิจัย FDA-CO-2560-4351-TH ในการศึกษาเรื่องการออกแบบโครงสร้างของแขนกลด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์โดยใช้การวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งคอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางทำการวิจัยและพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ รองคณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูงและคณาจารย์ซึ่งคอยแนะนำและชี้แนะแนวทางทำการวิจัยและพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ต้องขอขอบคุณ ท่านกรรมการสอบหัวข้อและโครงสร้างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อเสนอแนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและครอบครัวของข้าพเจ้าที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ศิววงศ์ บุษเกตุ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	6
2.1.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	6
2.1.2 การจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์.....	8
2.1.3 วิธีการเมช.....	10
2.1.4 การตั้งค่าการเมช.....	14
2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ในงานด้านวิศวกรรม.....	19
2.2.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ.....	19
2.2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม.....	20
2.2.3 ความสัมพันธ์และการใช้งานร่วมกันของ CAD/CAM และ CAE.....	25
2.3 ลักษณะสำคัญของเทคโนโลยี และ “หุ่นยนต์มีกี่แบบ?”	26
2.4 ระบบแขนกลหุ่นยนต์.....	33
2.4.1 หลักการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	33
2.4.2 อุปกรณ์สำหรับงานวิจัยแขนกล.....	34
2.5 วัสดุที่ใช้ในการสร้างแขนกล.....	38

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 การศึกษาการออกแบบชิ้นส่วน.....	41
2.7 พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุ	41
2.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม.....	43
2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริง.....	46
2.8 การวิเคราะห์พลวัตของหุ่นยนต์.....	48
2.9 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	49
บทที่ 3 การศึกษา พัฒนาและออกแบบ.....	53
3.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	53
3.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	53
3.3 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	55
3.4 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแขนกล.....	56
3.5 จำลองการออกแบบแขนกลด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	57
3.6 ระบบควบคุมหุ่นยนต์.....	58
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	61
4.1 การทำงานของแขนกล.....	61
4.2 การออกแบบแขนกล.....	62
4.3 การออกแบบด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	64
4.3.1 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล.....	64
4.3.2 การใช้พลังงานของแขนกล.....	67
4.3.3 ลักษณะทางกลของแขนกล.....	68
4.3.4 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความเครียดของแขนกล.....	69
4.4 การควบคุมแรงของชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์.....	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 รายละเอียดชิ้นส่วนของแขนกล.....	3
1.2 แผนดำเนินงานปี2562.....	5
1.3 แผนดำเนินงานปี2563.....	5
2.1 ค่าคุณภาพของเมชบน Skewness.....	19
2.2 ความหมายของหุ่นยนต์ และระบบอัตโนมัติ.....	26
2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติก.....	40
2.4 ไดอะแกรมแรงของแขนกล.....	49
3.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์ที่ไฟไนต์อีลิเมนต์.....	58
3.2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ.....	58
4.1 ส่วนประกอบน้ำหนักของวัสดุที่นำมาใช้ในการจำลอง.....	63
4.2 คุณสมบัติทางกลและวัสดุที่ใช้ในการจำลอง.....	63
4.3 เงื่อนไขการใช้โปรแกรม MSC Adams	65
4.4 ผลของแรงกับเวลาของชิ้นส่วนแขนกล.....	66
4.5 ผลของค่าทอร์กกับเวลาของชิ้นส่วนแขนกล.....	66
4.6 ผลของค่าการใช้พลังงานที่ข้อต่อต่างๆของแขนกล.....	68
4.7 เงื่อนไขข้อกำหนดของวัสดุ.....	69
4.8 เงื่อนไขการทำตาข่ายของใน MSC.....	70
4.9 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ของเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียม..	70
4.10 ผลสรุปการวิเคราะห์โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ของเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียม.....	72
4.11 แสดงข้อมูลของแรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์.....	73
4.12 การประหยัดพลังงานเมื่อเปลี่ยนเป็นพลาสติกโพลีเอไมด์.....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพแกนกล.....	3
1.2 การวิเคราะห์ด้วยองค์ประกอบไฟไนต์อีลิเมนต์.....	4
2.1 ความสมดุลตามตำแหน่งใดๆในของแข็งสามมิติ.....	7
2.2 ตัวอย่างแบบจำลองการไหลของน้ำภายในแท่งค์ โดยใช้โปรแกรม Ansys.....	10
2.3 รูปแบบการเมชแบบต่าง ๆ.....	11
2.4 แสดงการเมชแบบ Patch conforming และ Patch Independent.....	11
2.5 แสดงการเปรียบเทียบการเมชแบบ ทรงสี่หน้า และแบบ ทรงหกหน้า.....	12
2.6 แสดงตัวอย่างการเมชแบบ Sweep.....	12
2.7 แสดงแบบจำลองที่สามารถเมชแบบ Sweep ได้.....	13
2.8 การเมชแบบ Multizone.....	13
2.9 การเมชแบบทั่วไปในสองมิติ.....	14
2.10 การเมชแบบการใช้ ASF Curvature.....	14
2.11 การเมชแบบการใช้ ASF Proximity.....	15
2.12 ค่าขนาดที่เล็กที่สุด ค่าขนาดที่ใหญ่ที่สุด และค่าขนาดผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุด.....	15
2.13 Growth rate 1.1.....	16
2.14 Growth rate 1.2.....	16
2.15 Growth Rate 1.3.....	17
2.16 แสดงการเปรียบเทียบผลของการเมชระหว่าง Transition แบบ Slow และ Fast.....	17
2.17 การเมชด้วยเอลิเมนต์ขนาด 50 มิลลิเมตร.....	18
2.18 การเมชด้วยจำนวนของเอลิเมนต์ที่มีจำนวนเท่ากับ 10.....	18
2.19 CAE – ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม.....	20
2.20 ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ CAE	21
2.21 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนก้านสูบขับเคลื่อนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำความเย็น.....	22
2.22 การพัฒนาเท้ายางเทียมให้ใช้งานได้นาน.....	22
2.23 ความเค้นบนโครงสร้างรถโดยสาร ขณะรถไต่เนินและบิดตัว.....	22
2.24 Thermal Analysis – Iron Heating Plate.....	24
2.25 Fluid Analysis - Streamlines in turbine of HPB.....	24
2.26 Structural Analysis and Testing.....	24
2.27 Motion Analysis of Mechanical Structure.....	24
2.28 Plastic Injection Molding Stimulation	25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 Metal Forming Analysis – Stamping of Automotive Door Flame.....	25
2.30 การจัดการวงจรผลิตกัมมันต์.....	26
2.31 Cartesian robot และ Gantry robot.....	30
2.32 Spherical robot (Polar).....	30
2.33 SCARA Robot.....	31
2.34 Articulated arm.....	31
2.35 Spine Robot.....	32
2.36 Parallel robot.....	32
2.37 ส่วนประกอบของระบบแขนกลหุ่นยนต์.....	33
2.38 อุปกรณ์สำหรับแขนกล.....	34
2.39 ชุดเซอร์โวไดรฟ์.....	35
2.40 รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) ภายในชุดเซอร์โวไดรฟ์ (Servo drive).....	36
2.41 สัญญาณการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) สำหรับควบคุมกำลังบิด (Torque control system).....	36
2.42 บล็อกไดอะแกรมของระบบการควบคุมการเคลื่อนที่.....	37
2.43 สัญญาณการเคลื่อนที่ด้วยกราฟแรงบิด (Torque) และความเร็ว (Speed).....	37
2.44 สัญญาณเอนโค้ดเดอร์ (Encoder).....	37
2.45 ส่วนประกอบของเอซีเซอร์โวมอเตอร์.....	38
2.46 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดในการเปลี่ยนรูปของวัสดุ.....	41
2.47 การหาค่ามอดูลัสสภาพความยืดหยุ่น.....	42
2.48 ลักษณะการหาอัตราส่วนปัวส์ซอง.....	43
2.49 ลักษณะความเค้นแรงดึง.....	44
2.50 ลักษณะความเค้นแรงเฉือน.....	44
2.51 ลักษณะความเค้นแรงอัด.....	45
2.52 ลักษณะความเครียดแรงดึง.....	46
2.53 ลักษณะความเครียดแรงเฉือน.....	46
2.54 ลักษณะพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นของวัสดุ.....	48
2.55 ไดอะแกรมแรงของแขนกล.....	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆแบบต่างๆกัน.....	53
3.2 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ.....	54
3.3 รูปแบบจำลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก้านเบรกมือ.....	55
3.4 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ในการยวบตัวของรถบัส.....	56
3.5 การออกแบบแขนกลด้วย CAD กับโปรแกรม Catia.....	57
3.6 รูปร่างของเอลิเมนต์ : Tetrahedron 10 nodes.....	58
3.7 ไดอะแกรมการควบคุมของ Servo Motor ด้วยชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์.....	59
3.8 ระบบควบคุมการทำงานของการทำงานของการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์.....	59
3.9 ระบบควบคุมแบบปิดของเซอร์โวมอเตอร์.....	60
3.10 ชุดควบคุมหุ่นยนต์ SCARA robot.....	60
4.1 การเคลื่อนที่ของแขนกลของการผลิตชุดควบคุมกระจกไฟฟ้า.....	61
4.2 แขนกลในงานประกอบชุดควบคุมกระจกไฟฟ้าในโรงงาน.....	62
4.3 ส่วนประกอบของแขนกล.....	62
4.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแขนกล Catia V5 R21.....	63
4.5 ภาพของชิ้นส่วนต่างๆของแขนกลที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Catia V5 R21.....	64
4.6 โปรแกรม MSC Adams ช่วยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล.....	64
4.7 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้ซอฟต์แวร์ Catia และซอฟต์แวร์ Adams ช่วยในการวิเคราะห์.....	65
4.8 แรงกับเวลาของชิ้นส่วนแขนกล.....	65
4.9 ทอร์กกับเวลาของแต่ละข้อต่อ.....	66
4.10 การใช้พลังงานที่ข้อต่อต่างๆของหุ่นยนต์.....	68
4.11 แรงเค้นที่กระทำต่อฐานของโครงสร้างแขนกลของสามวัสดุ(a)เหล็กหล่อ, (b) อลูมิเนียม, และ (c) พลาสติก.....	69
4.12 แรงไดนามิกบนฐานของโครงสร้างแขนกลของสามวัสดุ(a)เหล็กหล่อ, (b) อลูมิเนียม, และ (c) พลาสติก.....	69
4.13 โปรแกรม MSC Nastran ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างของแขนกล.....	69
4.14 แขนกลและเซอร์โวมอเตอร์.....	72
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์ของวัสดุสองชนิด	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบันกำลังพัฒนาและเปลี่ยนไปสู่เทคโนโลยีใหม่หรือเน้นการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุวิศวกรรมเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิต หุ่นยนต์ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมแมคคาทรอนิกส์ จนถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบหลักในระบบการผลิตที่เป็นแบบอัตโนมัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการขนถ่ายวัสดุ โดยเหตุผลหลักๆที่นำหุ่นยนต์มาใช้งานคือ ความแม่นยำ ถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ เร็วๆนี้เราจะเห็นหุ่นยนต์จำนวนมากในโรงงานโดยโรงพยาบาลห้างสรรพสินค้าหรือแม้แต่ในบ้านของเราเอง หุ่นยนต์ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตมนุษย์เพราะเทคโนโลยีในปัจจุบันก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วในทุกมุมโลก เป็นผลให้วิวัฒนาการของการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ทันสมัยมีความก้าวหน้ามากกว่าในอดีต มีการใช้หุ่นยนต์หลากหลายประเภทในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมพลาสติกทำให้ประเทศตระหนักถึงความจำเป็นในการส่งเสริมอุตสาหกรรมหุ่นยนต์ในประเทศ ทิศทางของการเปลี่ยนแปลงในระบบอุตสาหกรรมปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงไปสู่อุตสาหกรรม ที่เรียกว่า 4.0 ซึ่งอยู่ในยุคของนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพมากขึ้นและตอบสนองความต้องการของตลาดด้วยทิศทางของการเปลี่ยนแปลง แหล่งที่มาของนวัตกรรมและเทคโนโลยีหุ่นยนต์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต หุ่นยนต์อัตโนมัติมีความสำคัญและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท อนาคตของการพัฒนาหุ่นยนต์มีการพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมด้วยการพัฒนาหุ่นยนต์เพราะหุ่นยนต์อัตโนมัติจะต้องสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วลักษณะทางกายภาพที่ได้รับการพัฒนาต้องสามารถตอบสนองได้ ด้วยเหตุนี้พลาสติกจึงเป็นหนึ่งในสิ่งที่สำคัญที่สุดและความสนใจของวิศวกรออกแบบหุ่นยนต์ในปัจจุบันมีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและดัดแปลง และมันยังสามารถพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของแอปพลิเคชันมากมาย แนวนอนหรือทิศทางของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหุ่นยนต์ในภาคบริการและในภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มที่จะถูกผลักดันโดยการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้น หุ่นยนต์บางตัวใช้พลาสติกเป็นส่วนประกอบ เช่นโดรนซึ่งสามารถเคลื่อนที่ในอากาศได้ เป็นผลให้มีการวิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์พลาสติก ซึ่งพลาสติกเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์และรวมถึงเครื่องจักรอุตสาหกรรมในหลายส่วนด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในฝากรอบด้านนอก เพื่อในระบบปฏิบัติการวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการควบคุมรวมถึงวัสดุที่เชื่อมต่อหรือเชื่อมในการประกอบหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมยานยนต์มุ่งเน้นไปที่การวิจัยและพัฒนาในด้านวิศวกรรมวัสดุเพื่อปรับปรุงทั้งประสิทธิภาพและต้นทุน [1]

หลายประเทศอุตสาหกรรมประสบปัญหาการเพิ่มขึ้นของราคา ทั้งไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งตามสถิติล่าสุดหนึ่งในผู้ใช้พลังงานรายใหญ่คืออุตสาหกรรมการผลิต พลังงานส่วนใหญ่มักจะเป็นการใช้โดยหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมการผลิต และนอกจากนี้การใช้พลังงานที่เหมาะสมในหุ่นยนต์เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการลดการปล่อย CO₂ ในภาคการผลิต หุ่นยนต์อุตสาหกรรมมักถูกมองว่าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในระดับสูง ดังนั้นการออกแบบหุ่นยนต์ที่มีความแม่นยำและมีการใช้พลังงานน้อยที่สุดคือเป้าหมาย ดังนั้นการใช้พลังงานของหุ่นยนต์จึงเป็นสิ่งสำคัญ สำหรับการวิจัยและผู้ผลิตหุ่นยนต์ มักมุ่งเน้นไปที่การกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือในการวัดและการวิเคราะห์การใช้พลังงานของหุ่นยนต์ มีส่วนช่วยในการระบุการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานหุ่นยนต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและ การลดการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ที่ไม่จำเป็นให้น้อยที่สุด ซึ่งการใช้พลังงานทั้งหมดที่หุ่นยนต์ใช้นั้นมักจะมีปัจจัยมาจากแรงบิดแต่ละข้อต่อและโมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละลิงค์ ซึ่งนำมาวิเคราะห์ในการลดการใช้พลังงานของการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ทำได้โดยการพัฒนาโมดูลที่เพิ่มประสิทธิภาพของหุ่นยนต์และการกำหนดค่าทิศทางของหุ่นยนต์ที่แม่นยำ โดยสามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การจำลองการทำงานในซอฟต์แวร์การจำลองหุ่นยนต์

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและระบบเมคคาทรอนิกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์หาแนวทางเพื่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของระบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและระบบเมคคาทรอนิกส์ โดยมีการแบ่งออกเป็นสองส่วนในการออกแบบวิเคราะห์คือฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในอดีตได้มีการใช้งานของวัสดุแบบใหม่ ทำให้สามารถออกแบบให้มีน้ำหนักเบาลงในขณะที่ยังคงให้คุณสมบัติเชิงกลที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน เช่น ความแข็งแรงของโครงสร้าง และการวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาในส่วนฮาร์ดแวร์ยังรวมถึงเทคโนโลยีสำหรับการนำระบบกลไกแบบใหม่มาใช้ และกลยุทธ์การนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่และการกระจายพลังงาน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานลดลงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลงเช่นกัน ในส่วนของการวิเคราะห์และแก้ปัญหาซอฟต์แวร์นั้น เริ่มต้นจากแนวคิดที่ว่า การใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการดำเนินงานและการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตอัตโนมัติเช่นการประกอบและบรรจุภัณฑ์ ตัวอย่างเช่นเครื่องจักรและหุ่นยนต์มักจะทำงานแบบพลวัตเพื่อเพิ่มผลผลิตสูงสุด จนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานสูงเมื่อเครื่องจักรและหุ่นยนต์ทำงานที่ความเร็วสูงในการผลิตและพลังงานส่วนเกินเมื่อหุ่นยนต์มีการทำงานชะลอตัว นอกจากนี้งานการเคลื่อนไหวตามแนวแกนจำนวนหลายแกน จะส่งผลต่อเวลาในการผลิตจนทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิตในที่สุด ดังนั้นวิธีการและเทคนิคในการลดการใช้พลังงานจึงมีความสำคัญในที่สุดแล้วการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาผสมผสานทั้งฮาร์ดแวร์และการปรับเปลี่ยนซอฟต์แวร์ของระบบเมคคาทรอนิกส์มีความจำเป็นในการพิจารณา

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอคือ

- 1) การออกแบบชิ้นส่วนและสร้างแขนกลด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์ (Polyamide)
- 2) การศึกษาการเปลี่ยนวัสดุใหม่โดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite element analysis)
- 3) การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุเดิมเหล็กหล่อ (Cast iron) และวัสดุทดแทนโพลีเอไมด์ (Polyamide)

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1) พลาสติกโพลีเอไมด์ (polyamide) สามารถทดแทนวัสดุเหล็กหล่อ (Cast iron) เดิมของแขน

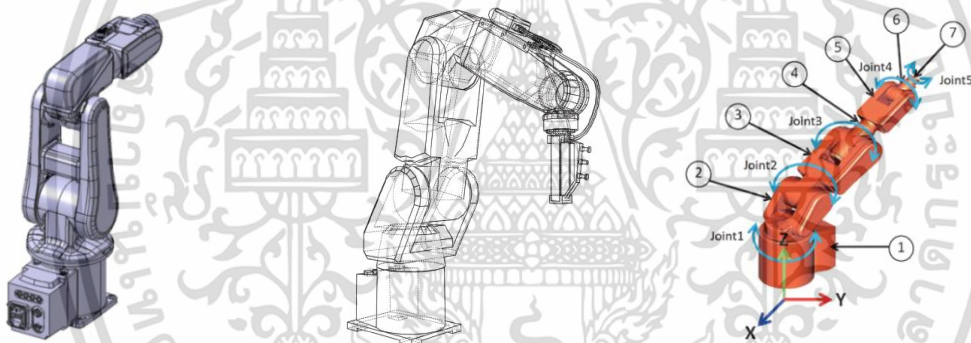
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ได้

- 2) สามารถลดต้นทุนและลดน้ำหนักของชิ้นส่วนแขนหุ่นยนต์ได้
- 3) การออกแบบให้แขนกลมีน้ำหนักเบาจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงขึ้นแต่จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลของแขนกลลดลง เช่น ความแข็งแรง ความเค้น ความเครียดของโครงสร้าง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

จุดเด่นของงานวิจัยนี้ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นคือโครงสร้างการออกแบบของแขนกล ซึ่งแทนที่เหล็กหล่อ (Cast iron) ด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์ (polyamide) ซึ่งมีน้ำหนักเบาและต้นทุนต่ำกว่า การออกแบบนี้ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดและความเครียดของวัสดุสามารถคำนวณได้จากทฤษฎีกลศาสตร์ แต่ทฤษฎีกลศาสตร์มีข้อจำกัด ในรูปแบบของวัตถุที่มีรูปร่างที่ซับซ้อน ทำให้การออกแบบและการสร้างนั้นยากและซับซ้อนมาก ในบางกรณีมันเป็นไปได้ที่จะคำนวณด้วยมือจึงนำไปสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัดเพื่อช่วยในพฤติกรรมและการเสียรูปของการออกแบบ ผลลัพธ์ของสิ่งนี้สามารถนำไปใช้กับชิ้นส่วนอื่นๆหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ สิ่งนี้จะสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าและลดต้นทุนได้



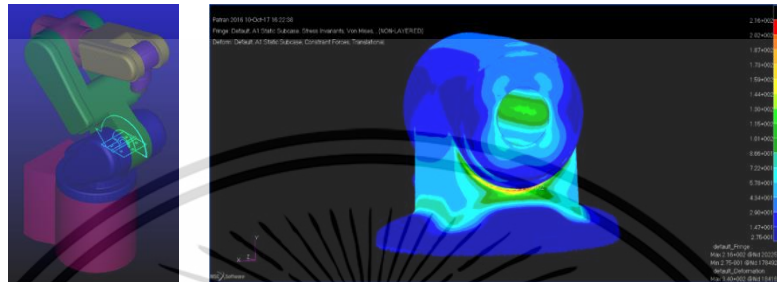
รูปที่ 1.1 ภาพแขนกล

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดชิ้นส่วนของแขนกล

ลำดับ	ชิ้นส่วน	หน้าที่	ภาพ
1	ฐาน	รองรับน้ำหนักทั้งหมด และเคลื่อนตัวในแนวแกน	
2	ข้อต่อA	ตัวขับให้แขนเคลื่อนที่ได้ ระหว่างฐานกับท่อนแขนกลที่1	
3	ข้อต่อB	ตัวขับให้แขนเคลื่อนที่ได้ ระหว่างท่อนแขนกล1กับท่อนแขนกลที่2	
4	ข้อต่อC	ตัวขับให้แขนเคลื่อนที่ได้ ระหว่างท่อนแขนกลที่2กับชุดมือจับ	
5	ท่อนแขนกล1	ก้านโครงสร้างต่อระหว่างข้อต่อจุดหมุนAและB	
6	ท่อนแขนกล2	ก้านต่อโครงสร้างระหว่างข้อต่อจุดหมุนBและC	
7	ชุดมือจับ	สำหรับจับวัสดุเพื่อเคลื่อนย้าย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงในรูปที่ 1.1 แสดงรูปถ่ายและรูปร่างของแขนกลสำหรับการออกแบบและพัฒนาและตามตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างแขนหุ่นยนต์มีส่วนประกอบหลัก 7 ส่วนของแขนหุ่นยนต์จุดเด่นของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ เป็นโครงสร้างการออกแบบของแขนกลที่มีพลาสติกโพลีเอไมด์ (Polyamide) โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัด ซึ่งสามารถแทนที่เหล็กหล่อด้วยพลาสติกโพลีเอไมด์ (Polyamide) และมีน้ำหนักและค่าใช้จ่ายต่ำสำหรับอุตสาหกรรม



รูปที่ 1.2 การวิเคราะห์ด้วยองค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบโครงสร้างแขนหุ่นยนต์ขนาด 3 กิโลกรัม เพื่อทดแทนวัสดุเหล็กหล่อ (Cast iron) เป็นวัสดุพลาสติกโพลีเอไมด์ (Polyamide) การวิเคราะห์วัสดุเหล็กหล่อ (Cast iron) นั้นใช้พื้นฐานการวิเคราะห์องค์ประกอบ จำกัด ผลสมบัติเชิงกลของการออกแบบแขนหุ่นยนต์ถูกตรวจสอบและเปรียบเทียบระหว่างเหล็กหล่อกับพลาสติกโพลีเอไมด์ งานวิจัยนี้จัดขึ้นตั้งนับที่ 1 คือบทนำ ถัดไปบทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการวิเคราะห์องค์ประกอบวัสดุและไฟไนต์เอลิเมนต์ การศึกษา พัฒนาและออกแบบ แสดงไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 คือการทดลองและผลการทดลอง สุดท้ายส่วนบทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การทำงานวิจัยฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการค้นคว้าหาข้อมูลจากบทความของวารสารต่างๆในห้องสมุดและจากสื่อสิ่งพิมพ์ออนไลน์ทางอินเทอร์เน็ตเกี่ยวกับระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจะนำทฤษฎีและข้อปฏิบัติต่างๆมาเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์และออกแบบ จากนั้นจึงจะตัดสินใจเลือกชิ้นส่วน วัสดุ และโปรแกรม MSC Adam และ MSC Nastran เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลงานวิจัย

ตารางที่ 1.2 แผนดำเนินงานปี2562

ลำดับ	หัวข้อ	ระยะเวลาดำเนินงาน ปี 2562						
		2-4	5-7	8	9	10	11	12
1	เลือกหัวข้อปัญหาที่จะศึกษาวิจัย							
2	รวบรวมแนวคิดและทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง							
3	กำหนดขอบเขตของปัญหาและวัตถุประสงค์							
4	ค้นหาและกำหนดสมมติฐานของการวิจัย							
5	แนวคิดและทฤษฎีวิจัยที่ส่งผลกับงานวิจัย							
6	การเก็บข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ							
7	การเก็บรวบรวมข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล							

ตารางที่ 1.2 แผนดำเนินงานปี2563

ลำดับ	หัวข้อ	ระยะเวลาดำเนินงาน ปี 2563			
		1	2	3	4
8	การจัดข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ				
9	การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาบทสรุปของงานวิจัย				
10	การสรุปผลและการอภิปรายผล				
11	การจัดทำรายงานวิจัยและรูปเล่มวิจัย				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ที่ศึกษาในงานวิจัยที่นำเสนอ มีความเข้าใจพื้นฐาน ทั้งในส่วนของโครงสร้างและกระบวนการสร้างและออกแบบงานต่างๆด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ มีอยู่เดิม และการเปรียบเทียบวิธีการเชิงวัตถุกับวิธีการเชิงโครงสร้าง

2.1 ทฤษฎีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ [22]

ในความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์หรือทางวิทยาศาสตร์นั้นมีส่วนอย่างมากในการสร้างชีวิตของมนุษย์ให้ดีขึ้น ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นรอบตัวและสามารถอธิบายถึงหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ หรือสมการเชิงอินทิกรัล เป็นต้น สมการเชิงอนุพันธ์จะสามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ไม่ยากและผลเฉลยที่แม่นยำ ที่ต้องการและจำเป็นต้องประดิษฐ์ให้ได้รูปแบบที่ดีนั้นทำได้โดยระเบียบการวิเคราะห์ซึ่งทำได้ยากมากหรืออาจจะไม่ได้เลย ดังนั้นเหตุผลดังกล่าวจึงก่อให้เกิดวิธีการผลเฉลยโดยประมาณเกิดขึ้น ในอดีตวิธีการผลเฉลยโดยประมาณมีหลากหลายแบบ แต่ที่เด่นชัดคือระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite element method)

เมื่อทำการวิเคราะห์การกระจายของความเค้น (Stress distribution) บนตัวอย่างนี้ด้วยวิธีระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) พบว่าจากการแบ่งช่องตาราง 4 ช่องต่อกันที่จุดต่อซึ่งขนาดของปัญหาหรือจำนวนตัวไม่รู้ค่า (Number of unknowns) จะขึ้นอยู่กับจำนวนของจุดต่อเนื่องพุดง่าย ๆ ก็คือจำนวนจุดของวิธีนี้ไม่สามารถกำหนดตามรอยโค้งงอและวงกลมได้และยังทำให้จุดที่เลยออกมาจะเป็นค่าสมการที่เกินจริงและยังทำให้รูปทรงผิดไปอีกด้วย เพราะเหลี่ยมที่เลยออกมาไม่สามารถคำนวณความเป็นจริงของแผ่นตัวอย่างได้ดังนั้นอุปสรรคและความไม่สะดวกดังกล่าวที่พุดมานั้นมีส่วนที่ก่อให้เกิดระเบียบวิธีการหาผลเฉลยโดยวิธีอีกวิธีหนึ่งซึ่งเรียกว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) หรือ FEM ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นี้สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างรูปทรงลักษณะซับซ้อนได้เป็นอย่างดีสามารถจำลองรูปร่างลักษณะดั้งเดิมที่แท้จริงได้ใกล้เคียงและเที่ยงตรงกว่าวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม หลักการของระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ใกล้เคียงกับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม แต่จะแตกต่างกันตรงที่ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแบ่งจุด และเหลี่ยมออกได้โดยไม่ต้องซ้ำกัน และไม่จำเป็นต้องทำขนาดของชิ้นส่วนแต่ละเอลิเมนต์เท่ากัน

ข้อดีอย่างแรกที่ได้เห็นได้ชัดเจนจากวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) คือสามารถจำลองรูปของจริงได้ใกล้เคียงกว่ามากโดยไม่ต้องกำหนดขนาดเหลี่ยมต่อจุดให้เท่าๆกันแต่สามารถกำหนดได้ตามลักษณะของแผ่นตัวอย่างดังนั้นค่าเฉลยโดยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ จะมีความประสิทธิภาพในการใช้งาน

2.1.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) คืออะไร

ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่งนั้น ปัญหานั้นมักประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดและให้ผลแม่นยำที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรตามของตำแหน่ง

ต่างๆกันบนรูปลักษณะของปัญหานั้น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังบ่งชี้เป็นในว่าผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้นๆ ซึ่งหมายความว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องเริ่มพิจารณาที่ละเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้นจากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์มาประกอบเข้าด้วยกันก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็คล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ลงไปในระบบสมการรวมนี้ก่อนทำการแก้ทั้งระบบสมการดังกล่าว เพื่อหาผลและโดยประมาณที่ต้องการตามตำแหน่งต่างๆของปัญหานั้นความสมดุลของของแข็งที่มีการยึดหยุ่นได้ในสามมิติแสดงในสมการที่ 2.1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยคือ

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + F_x = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + F_y = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z = 0$$

โดย $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ แทนความเค้นในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ และ $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ แทนความเค้นเฉือน F_x, F_y, F_z แทนแรงวัตถุ (Body force) ในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ ตลอดผิวรอบนอกของของแข็งดังแสดงสมการที่ 2.2 อาจประกอบด้วยเงื่อนไขขอบเขตหลายๆ ชนิด อาทิเช่น การกำหนดระยะเคลื่อนตัวบนผิวบางส่วน ในขณะที่ผิวส่วนอื่นๆ อาจมีการกำหนดเงื่อนไขของแรงที่ผิว (Surface traction) ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\vec{T} = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k} \quad (2.2)$$

โดย T_x, T_y, T_z แทนความเค้นที่ผิวในทิศแกน x,y,z ตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของ

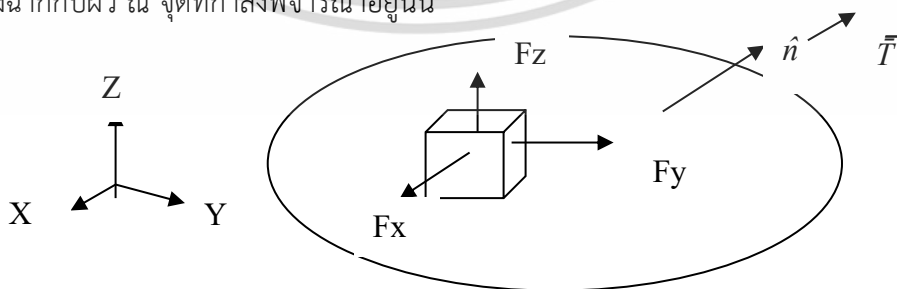
ความเค้นย่อยต่างๆ ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

โดย n_x, n_y, n_z เป็นทิศทางโคไซน์ (Direction cosines) ของเวกเตอร์

$$\hat{n} = n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k} \quad (2.4)$$

ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว ณ จุดที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น



รูปที่ 2.1 ความสมดุลตามตำแหน่งใดๆ ในของแข็งสามมิติ

นอกจากเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวเหล่านี้แล้ว ของแข็งในสามมิติในรูป 3 อาจมีความเครียดขั้นต้น (Pre-strain) ที่เกิดขึ้นอยู่ก่อน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยทั่วไปคือ

$$\{\sigma\} = [c]\{\epsilon - \epsilon_0\} \quad (2.5)$$

ดังนั้น

$$\{\sigma\}^T = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ T_{xy} \ T_{yz} \ T_{xz}] \quad (2.6)$$

$$\{\epsilon\}^T = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \epsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz}] \quad (2.7)$$

$$[c] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

ν คือค่า อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) และ E คือค่า โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Elastic modulus)

2.1.2 การจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulation)

การจำลองด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ และการตรวจสอบผลการจำลอง ซึ่งแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ ดังนี้ การจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นกระบวนการในการรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในสถานการณ์จริง หรือพฤติกรรมของระบบในเชิงทฤษฎีมาไว้บนคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ เข้ามาช่วยจำลอง และวิเคราะห์ผลการปฏิบัติการ ซึ่งการจำลองสถานการณ์ด้วย คอมพิวเตอร์สามารถใช้ในการทำนายผลกระทบที่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข สถานการณ์ของระบบจำลองภายใต้เงื่อนไข และข้อกำหนดต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำมาปรับปรุงในอนาคต เนื่องจากส่วนใหญ่งานในระบบงาน จริงมักจะมีขนาดใหญ่ มีความยุ่งยาก และซับซ้อน อีกทั้งยังไม่สะดวกต่อการทดสอบ และแก้ไข ทำให้ ในการปฏิบัติงานจริงนั้นไม่สามารถที่จะทำการทดลอง หรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้จนกว่าจะมองเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ ดังนั้น การจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์จึงช่วยให้สามารถ วิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบ และช่วยหาแนวทาง หรือทางเลือกที่เหมาะสมก่อน นำไปใช้กับสถานการณ์ หรือการปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะช่วยให้ลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาด หรือความล้มเหลวได้นอกจากนี้ยังช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และเวลาได้อีกด้วย สิ่งสำคัญในการ จำลองปัญหา คือต้องมีความสมเหตุสมผล และสามารถพิสูจน์ได้ โดยการนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ระบบประมวลออกมาโดยการจำลองปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดปัญหา การเขียนแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองเมช การกำหนดเงื่อนไขทางฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 การกำหนดปัญหา (Problem setting)

ในการใช้การจำลองปัญหา โดยใช้คอมพิวเตอร์จำเป็นที่จะต้องกำหนดปัญหาให้ถูกต้อง ก่อนที่จะดำเนินการขั้นตอนต่อไป เนื่องจากการกำหนดปัญหาที่ถูกต้องจะทำให้สร้างแบบจำลองได้ถูกต้อง การสร้างแบบจำลองที่มีความเหมาะสม กำหนดเงื่อนไขทางฟิสิกส์ที่สอดคล้องกับตัวแปรที่สนใจ ได้ผลการจำลองคอมพิวเตอร์ที่ตอบโจทย์ปัญหาที่เราตั้งขึ้น มีความถูกต้อง แม่นยำ และสามารถ นำไปใช้อ้างอิงได้

2.1.2.2 การเขียนแบบจำลอง (Drawing solid model)

เป็นส่วนที่สร้างแบบจำลองของชิ้นงานที่จะทำการวิเคราะห์ ภายหลังจากกำหนดปัญหา เรียบร้อยแล้ว โดยต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อปัญหา เช่น รูปทรงของสิ่งที่ทำ การวิเคราะห์ การแบ่งเอลิเมนต์ (Element) หรือสภาวะเริ่มต้นของปัญหา

2.1.2.3 การสร้างแบบจำลองเมช (Creating mesh model)

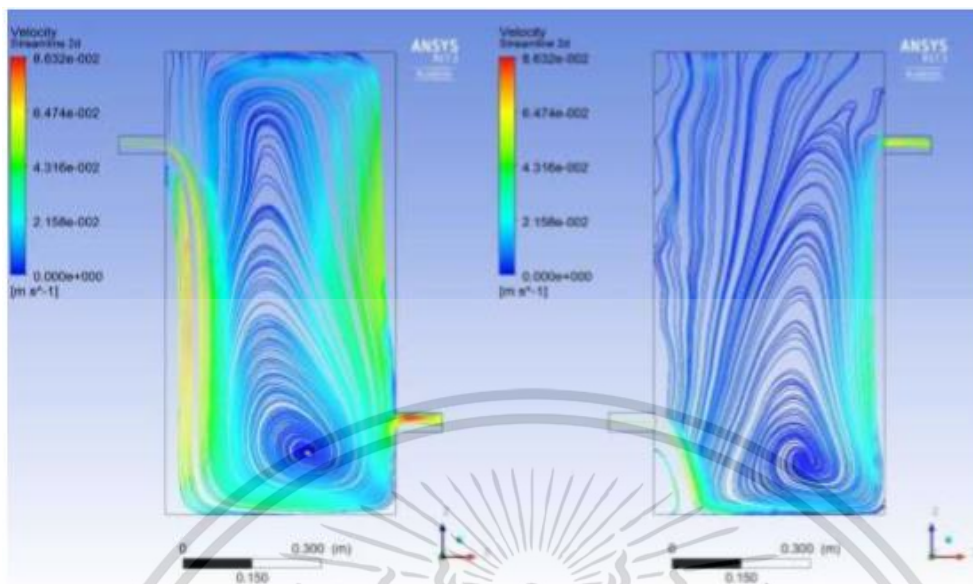
ขั้นตอนนี้ คือการแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) ย่อย ๆ ตามขนาด และรูปทรงต่าง ๆ โดยแต่ละเอลิเมนต์จะเชื่อมต่อกันด้วยโหนด (Node)

2.1.2.4 การกำหนดเงื่อนไขทางฟิสิกส์ (Physical setting)

การกำหนดปัจจัยรวมถึงสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ เพื่อการคำนวณด้วยวิธีการเชิงตัวเลข โดยใส่เงื่อนไข และขอบเขตที่เป็นข้อกำหนดของปัญหา โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การ คำนวณ และประสบการณ์มีส่วนที่จะทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขทางฟิสิกส์ได้อย่างถูกต้อง และได้ คำตอบที่แม่นยำ

2.1.2.5 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer simulation)

การใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณค่าต่าง ๆ แล้วให้โปรแกรมแสดงผลออกมา เพื่อนำมาใช้ วิเคราะห์ปัญหา ในอดีตการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์วิศวกรต้องเขียนโปรแกรมขึ้นมาเอง โดยใช้ภาษา C, Matlab, C++ ฯลฯ แล้วใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้คำนวณค่าตอบ โดยอาศัยหลักการผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) วิธีนี้ใช้ได้ในกรณีที่แบบจำลองไม่ซับซ้อน และมีเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ไม่มาก แต่หากแบบจำลองมีความซับซ้อน (Complex) และมีเงื่อนไขจำนวนมาก วิธีดังกล่าวจึงไม่สะดวกในการนำไปใช้ สำหรับปัญหาของแข็งจึงจำเป็นต้องใช้การคำนวณ โดย อาศัยหลักของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) และส่วนของการกำเนิดความดันอะคูติค จะใช้หลักการของ Harmonic response โดยทั้งสองวิธีนี้พัฒนามาจากวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม โดยการแบ่ง แบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) ย่อย ๆ ขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยโหนด (Node) ค่าต่าง ๆ ในแต่ละโหนดจะมีความสัมพันธ์กันตามระบบสมการพีชคณิต ซึ่งถูกเปลี่ยนรูปมาจาก สมการอนุพันธ์ทางฟิสิกส์ของปัญหาที่เราสนใจ เช่น สมการถ่ายเทความร้อน สมการการสั่น สมการ ไฟฟ้า ฯลฯ เมื่อกำหนดเงื่อนไข ขอบเขต และค่าคงที่ที่จำเป็นต่าง ๆ ครบถ้วนแล้วโปรแกรม คอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าต่าง ๆ ในทุก ๆ โหนดตลอดทั้งแบบจำลอง แล้วแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข หรือออกมาในรูปของเฉดสี (Graphical color) เพื่อให้ง่ายแก่ผู้ใช้ในการวิเคราะห์



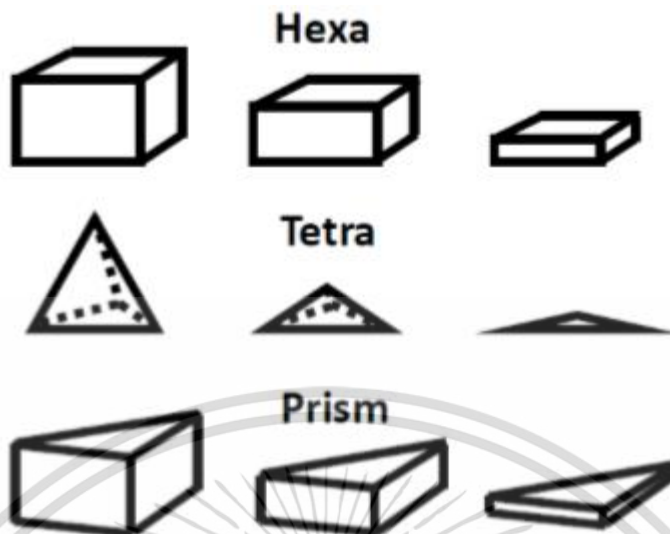
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแบบจำลองการไหลของน้ำภายในแท่งค์ โดยใช้โปรแกรม Ansys [26]

2.1.2.6 การตรวจสอบผลการจำลอง (Validation of simulation result)

ผลการจำลองจะไม่มีที่น่าเชื่อถือหากไม่มีการตรวจสอบผลการจำลอง วิธีการตรวจสอบ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ เทียบกับผลจากการทดลอง หรือเทียบกับผลจากทฤษฎี อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้ง สองอย่าง หากผลการจำลองไม่ถูกต้องเราจำเป็นต้องย้อนกลับไปหาสาเหตุที่ คาดว่าจะเป็นต้นเหตุ ให้ผล การจำลองคลาดเคลื่อน เช่น แบบจำลองหยาบเกินไป เมชคุณภาพไม่ดี หรือเงื่อนไขทางฟิสิกส์ไม่ถูกต้อง

2.1.3 วิธีการเมช (Meshing methods)

หลักการเลือกวิธีการเมชนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของแบบจำลอง เช่น รูปร่าง เงื่อนไขทางกลศาสตร์ และชนิดของแบบจำลองนั้น วิธีการเมชจะมีหลายวิธีและหลายแบบ ทั้งแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) แบบทรงปริซึม (Prism) และทรงหกหน้า (Hexahedron) ซึ่งมีรูปร่างหน้าตาของ เซลล์เมชในแต่ละเมช โดยในการเมชนั้นสามารถใช้การเมชแบบต่าง ๆ รวมกันได้ หรือจะใช้การเมช ชนิดเดียวก็ได้ (ดังรูปที่ 2.3) จะเห็นได้ว่าเมชทรงสี่หน้าจะสร้างง่ายที่สุด หากคำตอบได้เร็ว และเข้ากัน ได้ง่ายกับวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อน แต่มีข้อจำกัดคือ เรื่องความถูกต้องของผลเฉลยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยในการจะได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ มีความถูกต้อง และแม่นยำนั้น จะต้องมีการใช้เมชชนิดต่าง ๆ ร่วมกันอย่างเหมาะสมในบริเวณที่สนใจ เพื่อจะส่งผลได้คำตอบที่ดีที่สุด

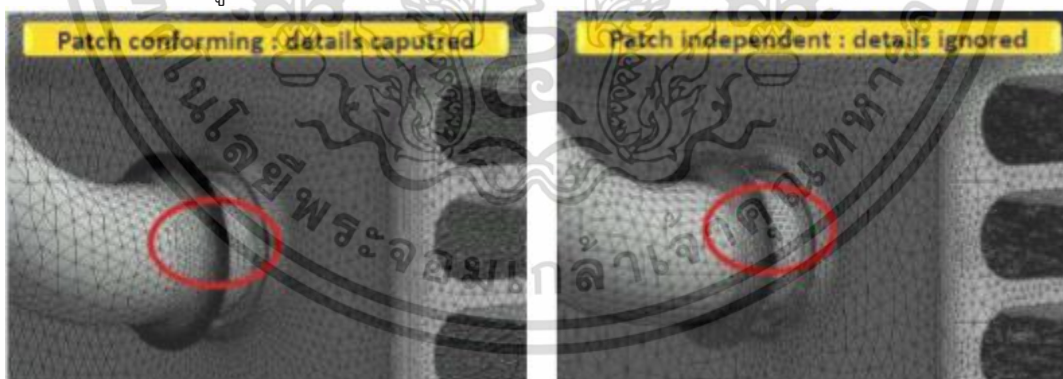


รูปที่ 2.3 รูปแบบการเมชแบบต่าง ๆ [26]

2.1.3.1 Tetrahedral meshing

Patch conforming ให้การเมชบริเวณพื้นผิวที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่า ด้วยวิธีการเมชจากขอบไปยังพื้นผิวหน้า และเข้าไปยังภายใน เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับงานที่มีคุณภาพสูง สามารถกำหนดขนาดการเมชเฉพาะบริเวณที่เข้าถึงได้

Patch independent การเมชจะเกิดบริเวณขอบ และพื้นผิวหน้า รายละเอียดวิธีการเมชนั้นไม่ละเอียดเท่ากับแบบ Patch conforming ทำให้คุณภาพในการเมชนั้นออกมาไม่ดี จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดสูง

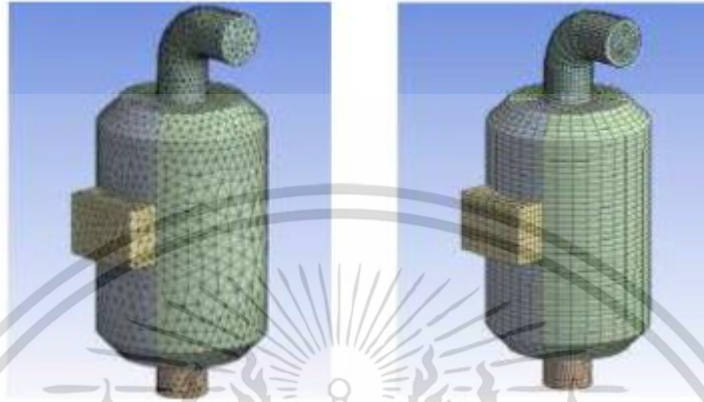


รูปที่ 2.4 เมชแบบ Patch conforming และ Patch Independent [26]

จากรูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบของการเมชที่แตกต่างกันทั้งสองแบบ แสดงให้เห็นว่าการเมชแบบ Patch conforming นั้นมีความเรียบและสม่ำเสมอกับพื้นผิวที่เล็ก ๆ และมีความซับซ้อนของพื้นที่ได้ดีกว่าโดยที่แบบ Patch independent นั้นความเรียบและความสม่ำเสมอจะอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น ซึ่งสำหรับรายงานนี้ใช้การเมชแบบ Patch independent เนื่องจากแบบจำลองค่อนข้างที่จะซับซ้อน

2.1.3.2 Hex meshing

ลักษณะเด่นของการเมชประเภทนี้ คือ จำนวนเซลล์ และองค์ประกอบในการเมชลดลง ซึ่งช่วยลดเวลาในการคำนวณผล และองค์ประกอบในแต่ละเซลล์สอดคล้องไปในทิศทางของการไหล ซึ่งมีข้อดีคือทำให้ข้อผิดพลาดเชิงตัวเลขมีค่าลดลง

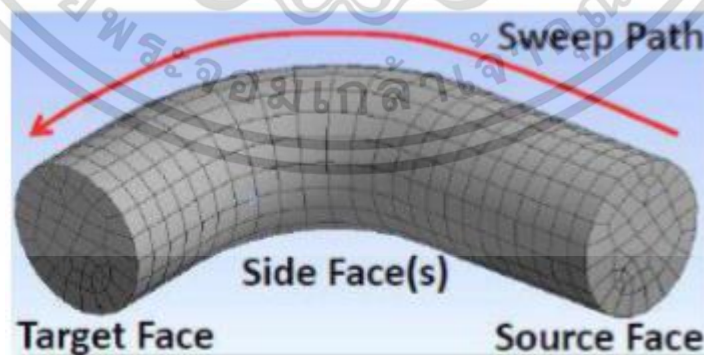


รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบการเมชแบบ ทรงสี่หน้า และแบบ ทรงหกหน้า [26]

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าการเมชในสองลักษณะให้ผลที่ต่างกันโดยภาพทางด้านซ้ายเป็นการเมชแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) จำนวนขององค์ประกอบใน มี จำนวน 48000 เซลล์ จะให้จำนวนองค์ประกอบที่มากกว่าภาพทางด้านขวาที่เป็นการเมชแบบทรงหกหน้า(Hexahedron) ซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบ 19000 เซลล์

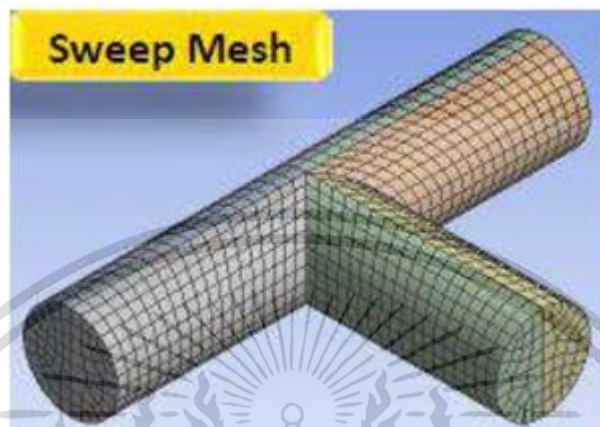
2.1.3.3 Sweep

เป็นการเมชในลักษณะที่เลือกพื้นผิวเริ่มต้นที่จะทำการเมชแล้วเลือกให้เมชไปตามเส้นทางการเมชที่จะต้องทำการระบุให้ชัดเจน เพื่อไปยังพื้นผิวเป้าหมาย โดยมีข้อจำกัดว่าในระหว่าง พื้นผิวเริ่มต้น และพื้นผิวเป้าหมายงานจะต้องเป็นชั้นเดียวกัน เป็นเนื้อเดียวกัน และมีลักษณะทาง ภาพภาพเหมือนกัน



รูปที่ 2.6 การเมชแบบ Sweep [26]

จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นการสร้างเมชในลักษณะที่เรียกว่า “Sweep” สามารถกำหนดได้ เฉพาะชิ้นงานที่กำหนดบริเวณเริ่มต้นและกำหนดบริเวณเป้าหมายได้เท่านั้น ซึ่งจะ สร้างเมชจากจุด ที่ทำการ กำหนดจนไปถึงเป้าหมายที่กำหนด



รูปที่ 2.7 แบบจำลองที่สามารถเมชแบบ Sweep ได้ [26]

2.1.3.4 Multizone

เป็นการเมชในลักษณะที่มีการเมชหลายชนิดรวมกันอยู่ในแบบจำลองเดียวกัน โดยเมช จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละพื้นผิว และในแต่ละขอบเขตต่างกันไปตามความละเอียด และ จุดประสงค์ ในการใช้งาน (ดังรูปที่ 2.8) มีการเมชแบบทรงหกหน้า (Hexahedron) และทรงปริซึม (Prism) รวมกันอยู่ใน แบบจำลองเดียวกัน และอีกลักษณะหนึ่ง คือในช่องวงกลมจะทำการเมชขนาด เล็กและละเอียดกว่าพื้นผิวที่อยู่ ภายนอก

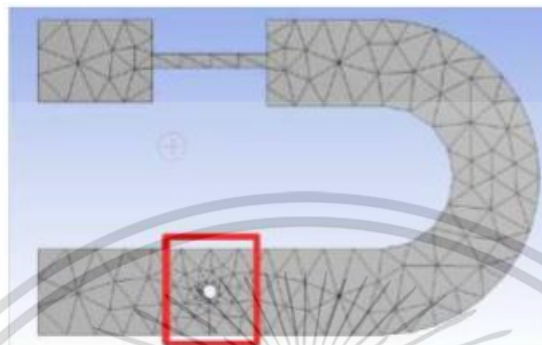


รูปที่ 2.8 การเมชแบบ Multizone [26]

จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นการเมชแบบหลายลักษณะในชิ้นงานเดียว โดยภาพทาง ด้านซ้ายเป็นการ เมชแบบทรงปริซึม (Prism) และแบบทรงหกหน้า (Hexahedron) ส่วนภาพทางด้านขวาเป็นการเมชแบบ หลายลักษณะ ซึ่งจะให้คุณภาพที่สูง และมีความละเอียดมากในบริเวณส่วนโค้ง และมุมต่าง ๆ

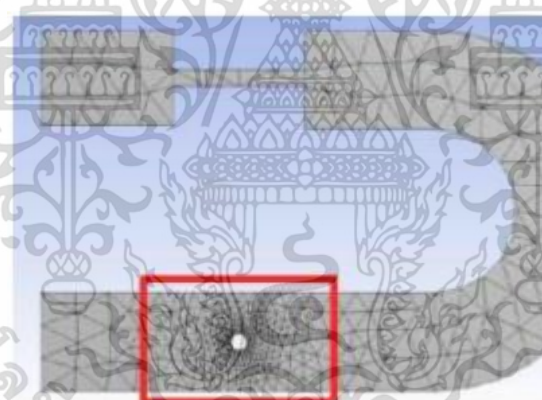
2.1.4 การตั้งค่าการเมช (Mesh controls)

Advanced sizing function (ASF) เพื่อควบคุมการกระจายตัว และการก่อตัวของเมช ตรงส่วนของบริเวณที่มีความโค้งสูง และบริเวณช่องแคบเล็ก ๆ ที่ต้องใช้เงื่อนไขการเมชแบบพิเศษ



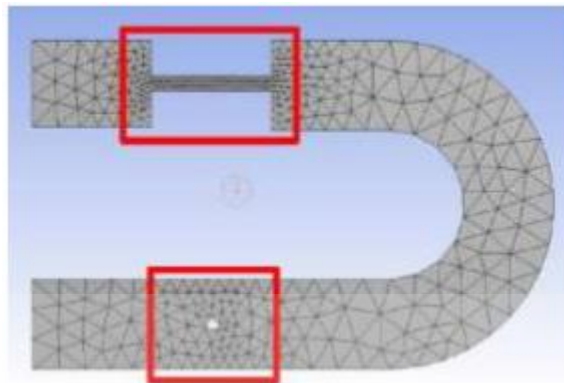
รูปที่ 2.9 การเมชแบบทั่วไปในสองมิติ [26]

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเมชแบบทั่วไปแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) ทั้งทั้งแบบจำลองและภายในกรอบสีแดงแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเมชโดยทั่วไปในส่วนของบริเวณ ช่องแคบเล็ก ๆ ที่อยู่บนแบบจำลอง



รูปที่ 2.10 การเมชแบบการใช้ ASF Curvature [26]

จากรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเมช โดยกำหนด ASF Curvature เมชที่เกิดขึ้นบน พื้นผิวจะมีความละเอียดบริเวณส่วนโค้งต่าง ๆ มากกว่าการเมชแบบทั่วไป ช่วยให้การจำลองแบบเสมือนนั้นมี ความละเอียด และมีค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ยกเว้นบริเวณส่วนเชื่อมต่อขนาดเล็กที่อยู่ด้านบนแบบจำลอง



รูปที่ 2.11 การเมชแบบการใช้ ASF Proximity [26]

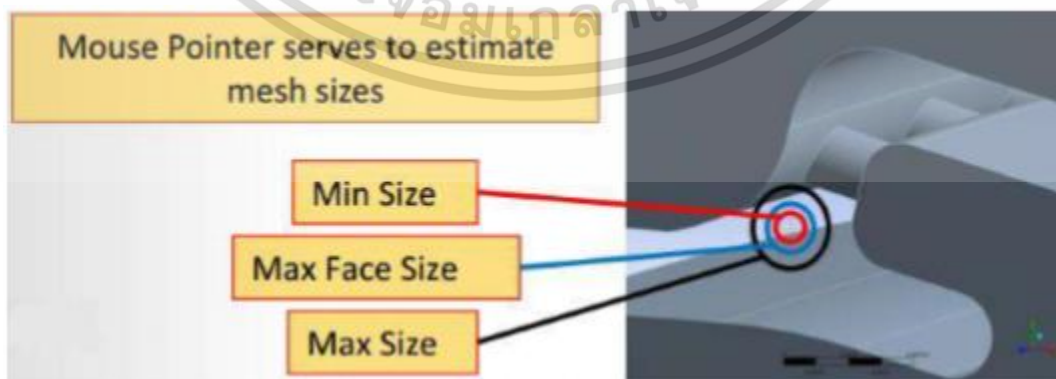
จากรูปที่ 2.11 เปรียบเทียบการเมชที่ใช้ ASF ในแบบโค้ง (Curvature) และแบบชิด (Proximity) นั้น แสดงให้เห็นว่าการเมชที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแบบจำลองมีความแตกต่างกันในบริเวณกรอบสีแดง เมื่อ เปลี่ยน ลักษณะการเมช ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรเมชแบบทั่วไปแล้วจะสังเกตได้ว่าการเมชที่เกิดขึ้น บริเวณรูเล็กนั้น ถ้าใช้การเมชแบบ ASF Curvature จะได้กรเมชบนพื้นผิวที่ละเอียดขึ้นกว่าแบบ ทั่วไป ส่วนในบริเวณส่วน เชื่อมต่อขนาดเล็กที่อยู่ด้านบนแบบจำลองหากใช้การเมชแบบ ASF Proximity ก็จะได้การเมชที่พื้นผิวบริเวณ ส่วนเชื่อมต่อขนาดเล็กที่ละเอียดขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนรูปแบบ การเมชมีส่วนช่วยให้การจำลองแบบเสมือนนั้นมีความละเอียด และมีค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

2.1.4.1 ค่าขนาดที่เล็กที่สุด (Min size) และค่าขนาดที่ใหญ่ที่สุด (Max size)

ค่าขนาดที่เล็กที่สุด (Min size) คือ ค่าขนาดขององค์ประกอบที่เล็กที่สุดที่จะ สามารถทำให้เกิดการเมชได้ โดยที่ค่าขนาดขององค์ประกอบบางองค์ประกอบนั้นจะมีขนาดเล็กกว่า ค่าขนาดที่เล็กที่สุด (Min size) ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลอง

ค่าขนาดผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุด (Max face size) คือ ค่าขนาดของผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุด ที่จะสามารถทำให้เกิดการเมชได้

ค่าขนาดที่ใหญ่ที่สุด (Max size) คือ ค่าขนาดขององค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุดที่ จะสามารถทำให้เกิดการเมชที่อยู่ภายในปริมาตรของแบบจำลองได้

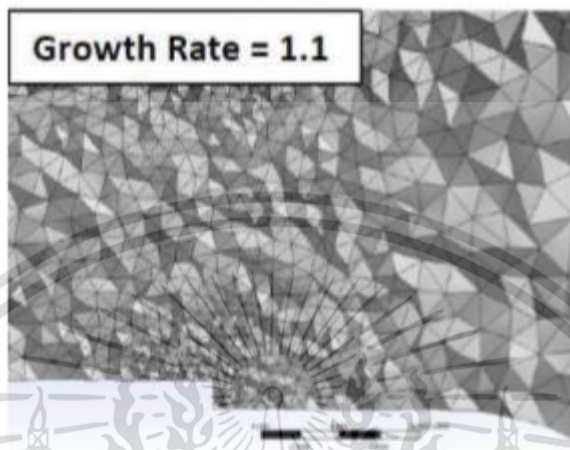


รูปที่ 2.12 ค่าขนาดที่เล็กที่สุด ค่าขนาดที่ใหญ่ที่สุด และค่าขนาดผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุด [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

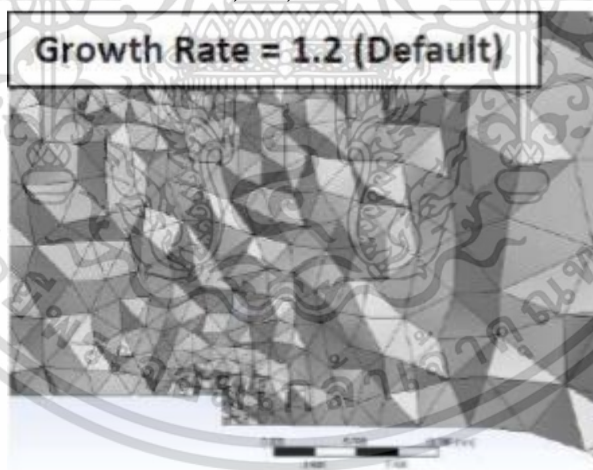
2.1.4.2 Growth rate

เป็นค่าที่กำหนดอัตราส่วนของขนาดของเซลล์แต่ละเซลล์ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน โดยจะเป็นค่าที่กำหนดบนพื้นผิวสัมผัส และปริมาตรภายในของแบบจำลอง โดยที่ขนาดของเมชมีความสัมพันธ์กับขนาดของเอลิเมนต์ ดังนี้



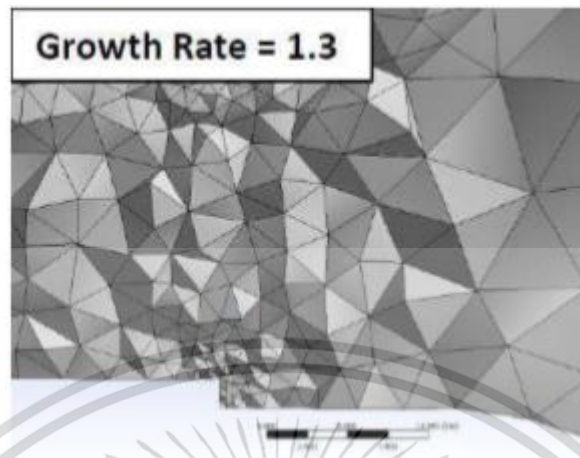
รูปที่ 2.13 Growth rate 1.1 [26]

จากรูปที่ 2.13 แสดงลักษณะเมช โดยมีอัตราส่วนของขนาดของแต่ละเอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 1.1 ส่งผลให้ลักษณะของเมชมีความละเอียดมากในบริเวณที่มีขนาดเล็กไปจนถึงความละเอียดน้อยลง ในบริเวณที่มีขนาดใหญ่ จำนวนของเอลิเมนต์ใน Growth rate 1.1 มี 1,263,297 เอลิเมนต์



รูปที่ 2.14 Growth rate 1.2 [26]

จากรูปที่ 2.14 แสดงลักษณะเมช โดยมีอัตราส่วนของขนาดของแต่ละเอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 1.2 ส่งผลให้ลักษณะของเมชมีความละเอียดมากในบริเวณที่มีขนาดเล็กไปจนถึงความละเอียดลดลง เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีขนาดของเมชที่ใหญ่กว่าแบบที่มี Growth rate 1.1 โดยจำนวนของเอลิเมนต์ใน Growth rate 1.2 มี 587,026 เอลิเมนต์



รูปที่ 2.15 Growth Rate 1.3 [26]

จากรูปที่ 2.15 แสดงลักษณะเมช โดยมีอัตราส่วนขนาดของแต่ละเอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 1.3 ส่งผลให้ลักษณะของเมชมีความละเอียดมากในบริเวณที่มีขนาดเล็กไปจนถึงความละเอียดลดลง เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดของเมชที่ใหญ่กว่าแบบที่มี Growth rate 1.1 และ Growth rate 1.2 โดยจำนวนของเอลิเมนต์ใน Growth rate 1.3 มี 392,061 เอลิเมนต์

2.1.4.3 Transition

เป็นค่าการควบคุมการก่อเกิดขององค์ประกอบโดยมี 2 ระดับคือแบบช้า (Slow) เป็นค่าปกติในโหมดการใช้งานด้าน Computer fluid dynamic, Explicit จะได้การเมชที่ราบเรียบ แบบเร็ว (Fast) เป็นค่าปกติในโหมดการใช้งานด้าน เครื่องกล, ด้านแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ว่าจะได้ผลการ เมชที่ไม่ราบเรียบ ไม่ติดต่อกัน



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบผลของการเมชระหว่าง Transition แบบ Slow และ Fast [26]

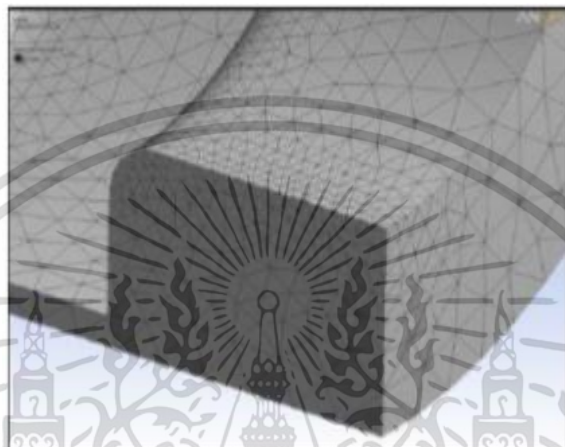
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่าการเมชในสองลักษณะให้ผลที่แตกต่างกันโดยภาพทางด้านซ้ายเป็นการสร้างเมชในแบบช้าทำให้เมชมีความละเอียดมากโดยจะใช้เวลาในการสร้างเมชมาก ภาพทางด้านขวาเป็นการสร้างเมชในแบบเร็วทำให้เมชมีความละเอียดน้อยกว่าโดยใช้เวลาในการสร้าง เมชน้อย

2.1.4.4 Sizing

การกำหนดขนาด และเงื่อนไขต่าง ๆ ในการเมช แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

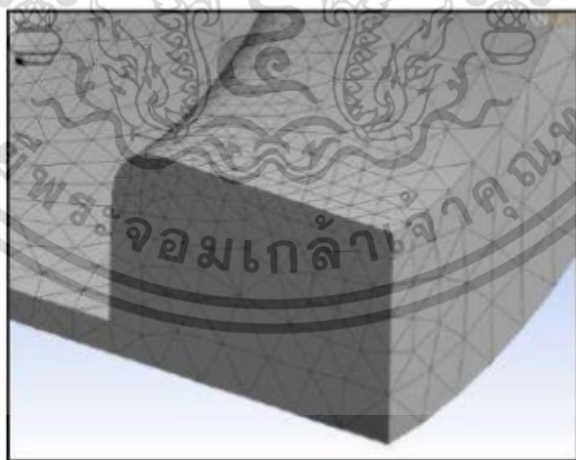
1. การกำหนดจากขนาดขององค์ประกอบ (Element size)



รูปที่ 2.17 การเมชด้วยเอลิเมนต์ขนาด 50 มิลลิเมตร [26]

จากรูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นลักษณะของการสร้างเมชบริเวณที่สนใจ โดยกำหนดให้แต่ละด้านที่เลือกยาวประมาณ 50 มิลลิเมตร ซึ่งจะแบ่งตามขนาดของเอลิเมนต์บริเวณนั้น โดยจะมี ขนาดของเอลิเมนต์ที่ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ประกอบกันเป็นเมช

2. กำหนดจากจำนวนขององค์ประกอบ (Number of divisions)



รูปที่ 2.18 การเมชด้วยจำนวนของเอลิเมนต์ที่มีจำนวนเท่ากับ 10 [26]

จากรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นลักษณะของการสร้างเมชในบริเวณที่สนใจ โดยจะแบ่ง ออกเป็นจำนวนของเอลิเมนต์ ซึ่งบริเวณนั้นจะมีจำนวนของเอลิเมนต์ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้

การเมชที่มีคุณภาพที่ดีสามารถดูได้จากค่า Skewness ซึ่งเป็นค่าที่ได้รับความนิยมใน ปัญหาทางด้านคอมพิวเตอร์ โดยจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคุณภาพของเมชบน Skewness

คุณภาพเมช	ยอดเยี่ยม	ดีมาก	ดี	ยอมรับได้	แย่	รับไม่ได้
ค่า skewness	0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ในงานด้านวิศวกรรม (CAD & CAE)

2.2.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design)

เริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1950 ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรมและช่วยงานอุตสาหกรรม โดยเริ่มจากการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณเป็นส่วนใหญ่ ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ให้มีขนาดเล็กลงและมีความสามารถสูงขึ้น จึงมีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานต่าง ๆ กว้างขวางขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการพัฒนาทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์กราฟิก (Computer graphic) ซึ่งเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างภาพ สำหรับงานวิศวกรรมก็ได้คอมพิวเตอร์กราฟิกมาช่วยในการสร้างแบบซึ่ง เรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design) และพัฒนามาใช้คอมพิวเตอร์ช่วยผลิตด้วย โดยใช้ควบคุมอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผลิตสินค้าหรือผลิตชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเราเรียกว่า “คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer aided manufacturing)

หน้าที่และประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ในการออกแบบ คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ ประการแรกคือ อำนวยความสะดวกในการเขียนแบบ (Drafting) ของชิ้นงาน ที่ต้องการบนจอภาพ การใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ จะตัดความยุ่งยากในการเขียนแบบบนกระดาษด้วยมือ ซึ่งเป็นงานที่ละเอียด ต้องการความสามารถสูง และกินเวลานานออกไป ทั้งนี้คอมพิวเตอร์สามารถแสดงภาพบนจอจากข้อมูลที่ผู้ออกแบบป้อนให้เป็นภาพ ทั้งในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติได้ตามต้องการ ภาพในระบบ 2 มิติ หรือ 3 มิตินี้ เกิดขึ้นจากการมองชิ้นงานจากทิศทางที่แตกต่างกัน คอมพิวเตอร์สามารถออกแบบได้ทุกชนิด ตั้งแต่แบบอาคาร แบบบ้านที่อยู่อาศัยขนาดสะพาน รถยนต์ เครื่องบิน วงจรไฟฟ้า ของเล่น ตลอดจนแบบโฆษณาต่างๆ แบบเหล่านี้จะเก็บอยู่ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ใช้สามารถเรียกแบบที่เก็บไว้นี้ ออกมาแสดงบนจอภาพได้ทันทีที่ต้องการ และอาจพิจารณาปรับปรุงแก้ไขใหม่ หรืออาจสั่งให้นำแบบไปเขียนบนกระดาษด้วยเครื่องเขียน (Plotter) แบบอัตโนมัติก็ได้

หน้าที่สำคัญประการที่ 2 ของคอมพิวเตอร์ในงานออกแบบได้แก่ การจำลอง (Simulation) สภาพการทำงานจริงของชิ้นงาน ที่ได้ออกแบบไว้ในสภาวะต่างๆ เพื่อศึกษารายละเอียดของชิ้นงาน และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ และคุณภาพของชิ้นงานนั้น โดยที่ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Prototype) ขึ้นมาทดลองจริงๆ นอกจากนั้นคอมพิวเตอร์ยังช่วยประหยัดเวลา ในการคำนวณค่าต่างๆ ที่ต้องการได้ด้วย ตัวอย่างเช่น ในงานออกแบบอาคาร หรือสะพาน ต้องใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์หาแรงกระทำตามจุดต่างๆ บน

โครงสร้างของอาคาร หรือสะพาน เมื่อต้องรับน้ำหนักขนาดต่างๆ กัน ในการออกแบบรถยนต์ต้องใช้คอมพิวเตอร์จำลองสภาพการวิ่งของรถยนต์ที่ความเร็วต่างๆ บนพื้นถนนหลายชนิด เพื่อดูลักษณะการปะทะลมของตัวถัง และแรงกระทำต่อแกนล้อรถยนต์ ในการออกแบบเครื่องบินต้องใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์หา ลักษณะของการพองตัวของปีกเครื่องบินในมุมต่างๆ ในการออกแบบเครื่องขยายเสียง เราต้องใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์หาอัตราขยายสัญญาณ และความเพี้ยนของวงจรถยายเสียงและอื่นๆ อีกมาก ในงานต่างๆ เหล่านี้ คอมพิวเตอร์สามารถช่วยผู้ออกแบบได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง

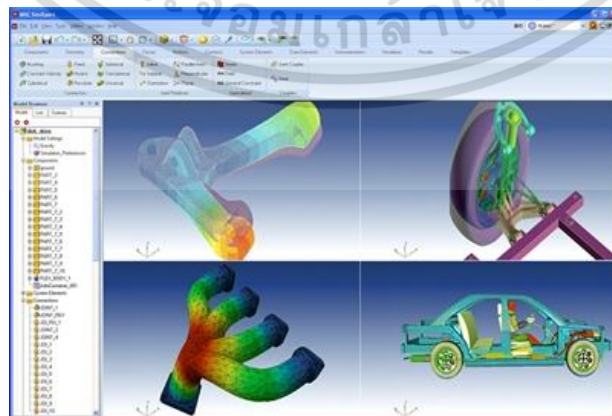
ในกระบวนการของ CAD (Computer aided design) นอกจากจะเป็นการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแล้วยังรวมถึงการใช้คอมพิวเตอร์ในการตัดแปลง การวิเคราะห์และหาหนทางที่ดีที่สุดสำหรับการออกแบบ โดยระบบ CAD จะต้องมีทั้งส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ โดยฮาร์ดแวร์ ของ CAD นอกจากจะประกอบด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงแล้ว ยังต้องมีจอกราฟิกและอุปกรณ์รับข้อมูล เช่น เมาส์ ดิจิไทเซอร์ ฯลฯ ส่วนซอฟต์แวร์ของ CAD นั้นจะเป็นโปรแกรมสำหรับสร้างกราฟิกและโปรแกรมช่วยต่าง ๆ เช่น โปรแกรมวิเคราะห์ โครงสร้าง เช่น ไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเราอาจเรียกส่วนนี้ว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม (Computer aided engineering)

2.2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม

CAE ย่อมาจาก Computer aided engineering หรือที่เรียกกันว่า การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม เกิดจากการนำเทคโนโลยี CAD มาทำงานร่วมกับ CAM (Computer aided manufacturing) ซึ่งนิยมใช้ในการควบคุมเครื่องจักรอุตสาหกรรมจึงกลายเป็นเทคโนโลยีที่สามารถบอกได้ว่าสิ่งของที่ออกแบบมานั้นสามารถทำงานได้อย่างที่อยากให้เป็นหรือไม่ ซึ่งเป็นสิ่งที่ได้จากตัวบ่งชี้ 2 อย่าง

- (1) ผลลัพธ์จากการทดสอบจริง คือ การนำต้นแบบมาทดสอบจริง เช่น การทดสอบการชนของ
- (2) ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถหาผลลัพธ์จากสถานการณ์สมมติ

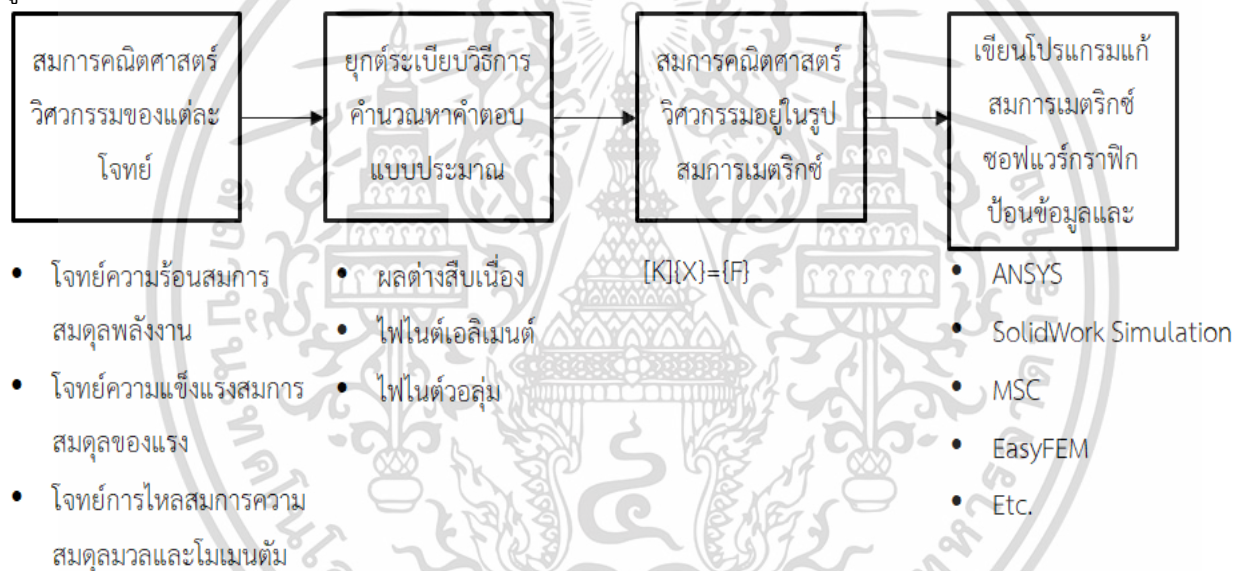
ซึ่งการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ประเภท CAE นั้นจะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ในเวลาที่รวดเร็วและแม่นยำขึ้น ดังนั้นการนำ CAE จึงเป็นที่นิยมในการวิเคราะห์ เพราะสามารถคำนวณได้งานที่ออกแบบมานั้นได้มาตรฐานหรือไม่ และสามารถทดสอบในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ ได้ เช่น ความร้อนจะส่งผลต่อโครงสร้างชิ้นงานอย่างไร ความล้าต่อช่วงกลางของรถยนต์ เป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 CAE-ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม ที่มา Technical Report, TSC.

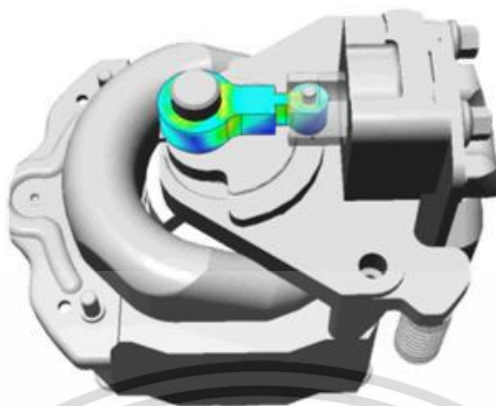
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Computer aided engineering (CAE) หรือคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณงานวิศวกรรม เป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยในการหาคำตอบโจทย์วิศวกรรมด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และช่วยในเรื่องการคำนวณที่ซับซ้อน ตั้งแต่โปรแกรมการคำนวณขนาดเล็กที่ฝังตัวอยู่ในเครื่องคำนวณ ไปจนถึงโปรแกรมขนาดใหญ่ที่ต้องคำนวณหาคำตอบแบบประมาณ (Approximate solution) บนเครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์ ระเบียบวิธีการคำนวณหาคำตอบแบบประมาณของโจทย์วิศวกรรมที่ซับซ้อนบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาหลายระเบียบวิธี เช่น ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method) ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Finite volume method) เป็นวิธีการแสดงและประเมินผลสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในรูปแบบของสมการพีชคณิตเป็นต้น ระเบียบวิธีเหล่านี้จะเปลี่ยนสมการทดแทนพฤติกรรมความเป็นจริงของแต่ละโจทย์ให้เป็นสมการคณิตศาสตร์วิศวกรรมที่อยู่ในรูปเมตริกซ์ ($[K]\{X\} = \{F\}$) จากนั้นเขียนโปรแกรมแก้สมการเมตริกซ์โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method) และเพื่อให้วิศวกรใช้งานสะดวก จึงต้องเขียนซอฟต์แวร์กราฟิกป้อนข้อมูลและแสดงผลลัพธ์ได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.20 และ 2.21



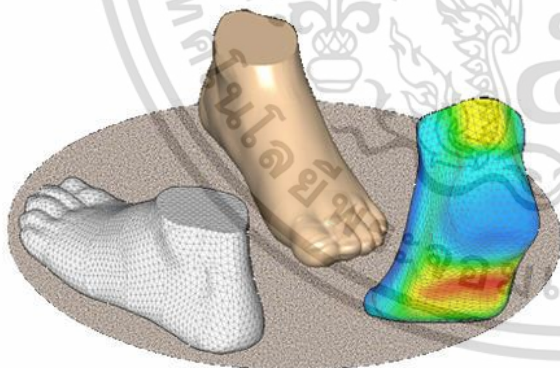
รูปที่ 2.20 ขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ CAE

ที่มา Inhouse Training : ดร.เสถียรธรรม สุจริตภักดี [2560]

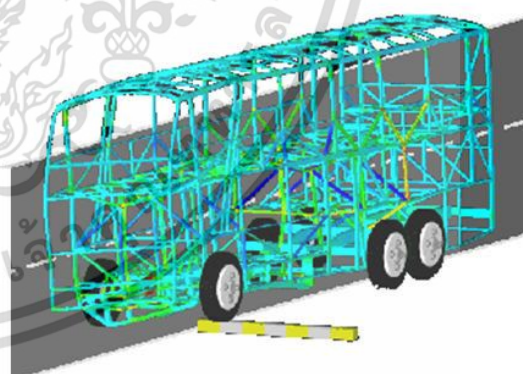


รูปที่ 2.21 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนก้านสูบขับเคลื่อนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำความเย็น
ที่มา Technical report, [2560]

ปัจจุบัน CAE เป็นที่ยอมรับ และได้ถูกระบุเป็นวิธีการหนึ่งในการหาคำตอบโจทย์วิศวกรรมที่อยู่ในมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์ระดับสากล ตัวอย่างการหาโจทย์วิศวกรรมด้วย CAE มีอยู่ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น ความแข็งแรงของก้านสูบขับเคลื่อนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำความเย็นประหยัดพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ทำให้วิศวกรรู้ว่าชิ้นส่วนที่ออกแบบมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ รูปที่ 2.22 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นบนเท้ายางเทียม ขณะเขย่งเท้าเดินขึ้นบันได คำตอบที่ได้จาก CAE ช่วยพัฒนาสูตรยางและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม และเป็นตัวอย่างการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ยางของประเทศ รูปที่ 2.23 แสดงการกระจายความเค้นบนโครงสร้างรถโดยสาร ขณะรถไต่เนินและบิดตัว เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรงเพียงพอและใช้วัสดุน้อย เป็นต้น



รูปที่ 2.22 การพัฒนาเท้ายางเทียมให้ใช้งานได้นาน



รูปที่ 2.23 ความเค้นบนโครงสร้างรถโดยสาร
ขณะรถไต่เนินและบิดตัว

ที่มา Inhouse training : ดร.เสกขุวรรณ สุจริตภวัตสกุล [2560]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structural analysis)

- (1) แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element modeling) คือการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ในรูปแบบ 1D 2D หรือ 3D
- (2) การวิเคราะห์เชิงเส้นตรง (Linear static analysis) การวิเคราะห์หาความเค้น (Stress) ชั้นพื้นฐานในรูปแบบแรงภายนอกคงที่ และคุณสมบัติวัสดุเป็นแบบเชิงเส้นตรง เพื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างและเลือกวัสดุที่เหมาะสม
- (3) การวิเคราะห์ความเสียหายแบบโก่งเดาะ (Buckling analysis) คือการวิเคราะห์หาแรงวิกฤตที่โหมดต่างๆ ที่ทำให้เกิดการโก่งตัวของโครงสร้างที่รับความเค้นแบบกด
- (4) การวิเคราะห์แบบปกติ (Normal mode analysis) คือการวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างของโหมดของโครงสร้างเพื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อลดการสั่นสะเทือน
- (5) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนหรือพลศาสตร์ (Vibration or dynamics analysis) คือการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางกล
- (6) การวิเคราะห์ อีลาสโตเมอร์ (Elastomer analysis) คือการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของโครงสร้างที่วัสดุทำจากยาง
- (7) การวิเคราะห์ ความล้า (Fatigue analysis) คือการวิเคราะห์เพื่อประเมินหาอายุของโครงสร้าง
- (8) การวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Motion analysis) คือการวิเคราะห์ด้านกลไกการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่เชื่อมโยงกัน เพื่อหารูปแบบการเคลื่อนที่ของกลไก ความเร็ว ความเร่ง และแรง

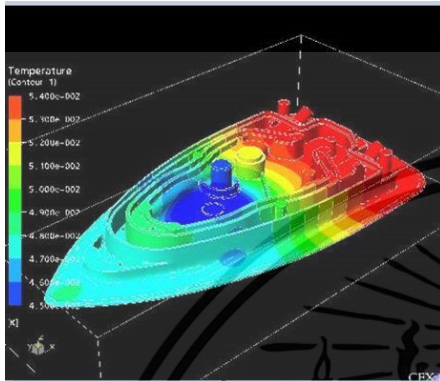
2.2.2.2 การวิเคราะห์ความร้อนและพลศาสตร์ของไหล (Thermal and CFD analysis)

- (1) การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer analysis) คือการวิเคราะห์ด้านการถ่ายเทความร้อนของโครงสร้างภายใต้การนำ การพา และการแผ่รังสี เพื่อทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในโครงสร้าง
- (2) การวิเคราะห์ความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal stress analysis) คือการวิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโครงสร้างทำให้เกิดการยืด หรือหดตัว และเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเค้น
- (3) พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computation fluid dynamics) คือการวิเคราะห์ด้านการไหลเพื่อดูทิศทาง แรงดัน รวมถึงอุณหภูมิ

2.2.2.3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Manufacturing process analysis)

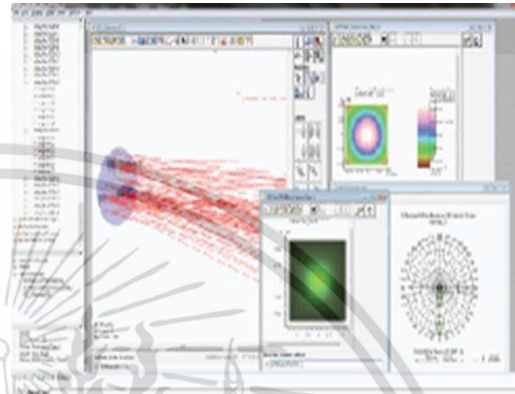
- (1) กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น (Metal forming) คือการวิเคราะห์ด้านการขึ้นรูปโลหะ ไม่ว่าจะเป็น การขึ้นรูปโลหะแผ่นบาง แผ่นหนา การตีขึ้นรูป การรีดขึ้นรูป การอัดรีดขึ้นรูป การลากขึ้นรูป ฯลฯ เพื่อปรับปรุงแม่พิมพ์ และกระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสม
- (2) กระบวนการฉีดพลาสติก (Plastic injection) คือการวิเคราะห์การไหลของพลาสติกเพื่อทำการปรับปรุงแม่พิมพ์และการกำหนดพารามิเตอร์การฉีดพลาสติกที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



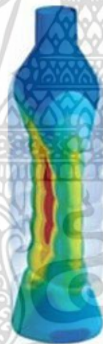
รูปที่ 2.24 Thermal analysis – Iron heating plate.

ที่มา <https://kuza.me/P6ZAB>



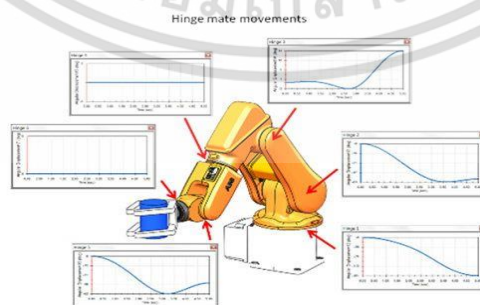
รูปที่ 2.25 Fluid analysis - streamlines in turbine of HPB

ที่มา <https://kuza.me/NDZJx>



รูปที่ 2.26 Structural analysis and testing

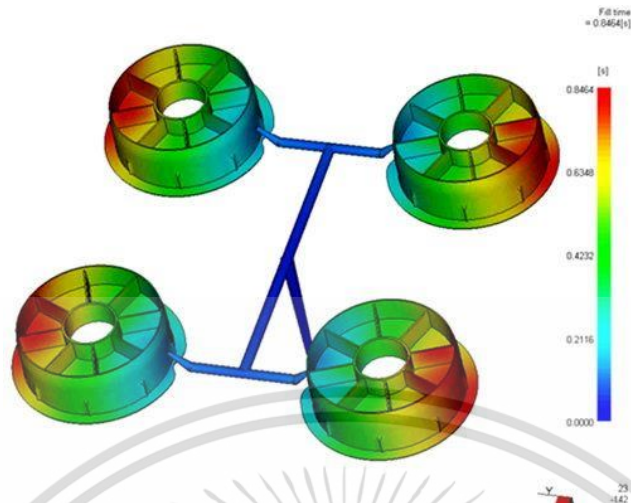
ที่มา Inhouse training : ดร.เสถียรธรรม สุจริตภวัตสกุล MTEC



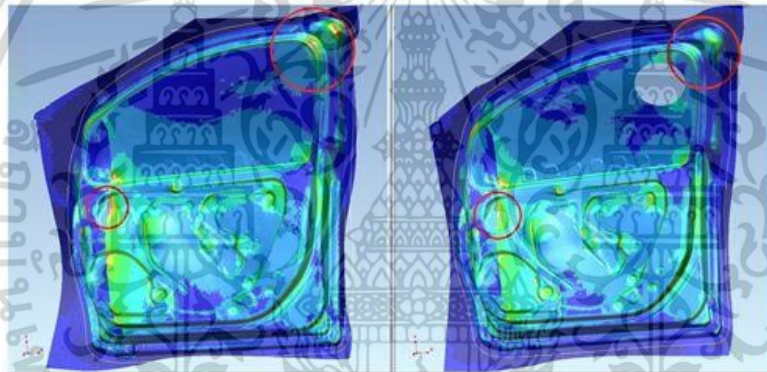
รูปที่ 2.27 Motion analysis of mechanical structure

ที่มา <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/general.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 Plastic injection molding stimulation
ที่มา <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/general.html>

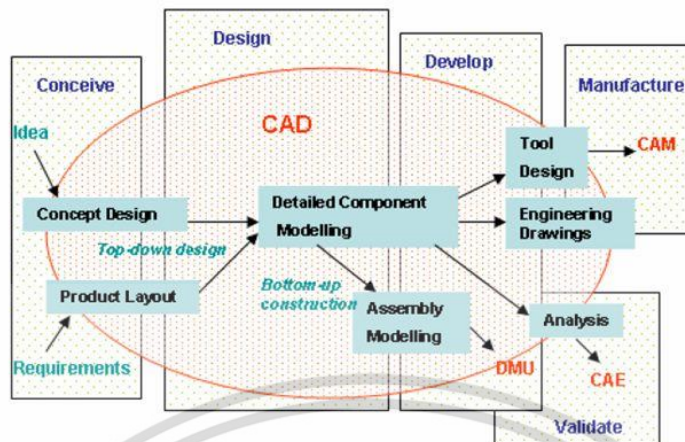


รูปที่ 2.29 Metal forming analysis – stamping of automotive door flame
ที่มา <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/general.html>

2.2.3 ความสัมพันธ์และการใช้งานร่วมกันของ CAD/CAM และ CAE

การผลิตโดยทั่วไปจะเริ่มต้นจากการใช้ CAD ในการออกแบบชิ้นส่วนหรือแก้ไขข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการสแกนชิ้นงาน หลังจากนั้นจะใช้ CAE ในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนต่าง ๆ ว่ามีคุณสมบัติตามที่ต้องการหรือไม่ และถ้าพบมีปัญหา ก็จะใช้ CAD แก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ แล้วใช้ CAE วิเคราะห์จนกว่าจะได้ชิ้นส่วนที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ หลังจากการใช้ CAE วิเคราะห์ชิ้นงานจนได้ตามที่ต้องการแล้วก็จะใช้ CAM แก้ไขเส้นทางเดินทางของเครื่องมือกัดขึ้นรูปแล้วจากนั้นก็ใช้ CAM สร้างรหัสจีเพื่อส่งไปให้เครื่องจักรซีเอ็นซี ทำการกัดขึ้นรูปชิ้นงานหรือกัดแม่พิมพ์ เมื่อซีเอ็นซี กัดชิ้นงานเสร็จแล้ว เรายังสามารถใช้ CAE ในการตรวจสอบชิ้นงานที่สร้างขึ้นมามีขนาดตรงตามแบบหรือไม่ ในกรณีที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ดังรูปที่ 2.30 การจัดการวงจรผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของ CAD/CAM และ CAE ที่ใช้ในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 การจัดการวงจรผลิตภัณฑ์

ที่มา <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/general.html>

ระบบ CAD/CAM/CAE ไม่จำเป็นที่ดีที่สุดที่ขายในท้องตลาด สิ่งที่สำคัญคือการเลือกใช้งานตามความเหมาะสมกับความต้องการกับการใช้งานของโรงงานหรือบริษัทนั้น ๆ ถึงแม้ว่าโรงงานที่ใช้ระบบงานนี้ได้ดี สิ่งที่สำคัญที่จะทำให้การใช้งานระบบประสิทธิภาพคือบุคลากรที่ปฏิบัติงาน ต้องมีความรู้ความเข้าใจในระบบดีพอสมควร เช่น งานทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เราใช้ CAE ทบทวนชิ้นส่วนที่ออกแบบก่อนที่จะใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีทำการกัดขึ้นรูป เพื่อยืนยันว่าแม่พิมพ์เมื่อนำไปฉีดแล้วพลาสติกจะไหลเข้าไปเต็มแม่พิมพ์อย่างถูกต้องแน่นอน ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะทำให้เราเห็นว่าพื้นที่ส่วนไหนที่พลาสติกไม่สามารถไหลเข้าไปได้เต็ม หรือทำให้เกิดโพรงอากาศ หรือเส้นรอยเชื่อมต่อ การเปลี่ยนแปลงแบบเพื่อปรับปรุงให้สามารถฉีดพลาสติกได้เต็มแบบสามารถทำได้ในจุดนี้ซึ่งแบบยังไม่ได้ทำจริง สิ่งนี้จะช่วยประหยัดเงินทุนจำนวนมากซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนเครื่องมือกัดขึ้นงาน

2.3 ลักษณะสำคัญของเทคโนโลยี และ “หุ่นยนต์มีกี่แบบ?”

จากคำถามที่มักพบบ่อยว่า “หุ่นยนต์” กับ “ระบบอัตโนมัติ” เหมือนหรือต่างกันอย่างไร? นั้น ในการทำความเข้าใจคำทั้งสองนี้ให้มากขึ้น เราควรเข้าใจถึงความหมายและการใช้งานของหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ เสียก่อน ซึ่งคำนิยามความหมายของหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ นั้น ได้มีผู้ให้คำจำกัดความไว้ค่อนข้างหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 2.2 ความหมายของหุ่นยนต์ และระบบอัตโนมัติ

หุ่นยนต์ (Robot)	ระบบอัตโนมัติ (Automation system)
เครื่องจักรกลอัตโนมัติทุกชนิดที่ออกแบบให้สามารถทำงานแทนมนุษย์ในงานทุกประเภทที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ โดยสามารถทำงานด้วยคำสั่งเดิมซ้ำๆ ในรูปแบบที่ซับซ้อนและมีความยืดหยุ่นได้ดี	ระบบใดๆ หรือกลไกที่สามารถเริ่มทำงานได้ด้วยตัวเอง โดยทำงานตามโปรแกรมที่วางไว้ เช่น ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ ระบบตอบรับโทรศัพท์อัตโนมัติ ฯลฯ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2(ต่อ) ความหมายของหุ่นยนต์ และระบบอัตโนมัติ

หุ่นยนต์ (Robot)	ระบบอัตโนมัติ (Automation system)
เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้ โดยมีการทำงานจากโปรแกรมการตัดสินใจและสามารถปรับเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานให้ทำงานได้หลากหลายหน้าที่ เช่น ตอบสนองต่อข้อมูลหรือสัญญาณที่ได้จากสิ่งแวดล้อม, ทำงานได้แทนมนุษย์ที่อาจทำงานได้ด้วยตนเองหรือทำงานตามลำดับการทำงานที่ได้มีการตั้งไว้ล่วงหน้า เป็นต้น	ระบบที่ออกแบบด้วยกลไกอิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และ คอมพิวเตอร์ ให้สามารถทำงานได้ด้วยตนเอง ซึ่งมนุษย์อาจจะเกี่ยวข้องเพียงการกำหนดเงื่อนไขหรือเป้าหมายในการทำงานส่วนใหญ่เพื่อช่วยในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และนำมาใช้งานแทนที่แรงงานมนุษย์

เมื่ออ่านจากความหมายข้างต้นแล้วจะพบว่า หุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติมีความคล้ายกันในแง่มุมมองของการเป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ (Automation machine) ซึ่งหุ่นยนต์สามารถเป็นส่วนหนึ่งในระบบอัตโนมัติได้

จากการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงาน ทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ดีขึ้นเอง ซึ่งการนำเครื่องจักรอัตโนมัติไปใช้งานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) ระบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องจักร ที่นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุม หรือการทำงานในบางขั้นตอน โดยขั้นตอนอื่นๆ ยังคงใช้แรงงาน ในการทำงานเป็นหลัก

(2) ระบบเครื่องจักรอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องจักรที่นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย ควบคุมหรือทำงานในทุกขั้นตอน โดยพนักงานมีหน้าที่ป้อนคำสั่ง ดูแล และรักษาระบบเครื่องเท่านั้น

องค์ประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์ สำหรับองค์ประกอบที่สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนสำหรับหุ่นยนต์ คือ องค์ประกอบของระบบในการควบคุมหุ่นยนต์ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่

(1) อุปกรณ์ควบคุมและโปรแกรมหุ่นยนต์ (Programming pendant) : อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการป้อนคำสั่งโดยผู้ควบคุมหรือผู้ใช้งาน

(2) ตัวควบคุม (Controller) : ส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน ผ่าน Programming pendant และ นำมาประมวลผล เพื่อทำการควบคุมหรือสั่งการทำงานของหุ่นยนต์ต่อไป

(3) ตัวหุ่นยนต์ (Manipulator): ที่จะทำงานตามคำสั่งที่ผ่านการประมวลผล จากตัวควบคุม (Controller)

ระดับการใช้งานของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ได้มีการแบ่งระดับการใช้งานออกเป็น class 1- 6 ตามมาตรฐานของสมาคมหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (Japanese Industrial Robot Association: JIRA) ที่การแบ่งตามนี้ สถาบันหุ่นยนต์ แห่งสหรัฐอเมริกา (The Robotics Institute of America: RIA) จะพิจารณาว่าเป็นหุ่นยนต์เพียง class 3-6 เท่านั้น ได้แก่

(1) class 1 : Manual-handling device : กลไกที่ประกอบได้ด้วยหลายๆ องศาอิสระ (degrees of freedom) ที่ถูกควบคุมด้วยมนุษย์

(2) class 2 : Fixed-sequence robot : เป็นกลไกที่ทำงานให้สำเร็จตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) class 3 : Variable-Sequence Robot : คล้ายกับ class 2 แต่สามารถเปลี่ยนแปลงวิธีการได้ สะดวกต่อการดัดแปลง

(4) class 4 : Playback robot : มนุษย์เป็นผู้สอนงานให้กับหุ่นยนต์ แล้วบันทึกการทำงานลงในโปรแกรมของหุ่นยนต์เพื่อทำงานตามทีบันทึกไว้

(5) class 5 : Numerical control robot : มนุษย์ให้ตัวเลขการเคลื่อนที่กับโปรแกรมของหุ่นยนต์ เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานได้เองโดยไม่ต้องทำการสอนงาน

(6) class 6 : Intelligent Robot : หุ่นยนต์สามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมได้เอง และสามารถปฏิบัติงานต่อเนื่องได้

ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า “หุ่นยนต์” มีองค์ประกอบและการทำงานที่คล้ายกับ “ระบบอัตโนมัติ” แต่หุ่นยนต์จะสามารถได้ทำงานจากโปรแกรมการตัดสินใจและสามารถปรับเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานให้ทำหลากหลายหน้าที่ได้ ซึ่งระบบอัตโนมัติไม่สามารถทำได้นั้นเอง นอกจากนี้หุ่นยนต์มากมายหลากหลายรูปแบบที่เราพบเห็นตามสื่อหรือสถานที่ต่างๆ มีหลักการแบ่งที่หลากหลายและสามารถแบ่งได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่นำมาพิจารณา ตัวอย่างเช่น อาจพิจารณาจากเทคโนโลยีหลักในการพัฒนาหุ่นยนต์ การเคลื่อนไหว โครงสร้าง และการทำงานหรือการนำไปใช้งาน เป็นต้น ดังมีรายละเอียดดังนี้

(1) การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์จากเทคโนโลยีหลัก (Core technology) เป็นการแบ่งประเภทหุ่นยนต์ จากการนำหลักวิศวกรรมต่างๆ มาออกแบบหุ่นยนต์ที่ประยุกต์วิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมอุตสาหกรรม ทำให้หุ่นยนต์มีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทาน วิศวกรรมไฟฟ้าในการจ่ายกระแสไฟฟ้าและขับเคลื่อนมอเตอร์ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เข้ากับแผงวงจรต่างๆ และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ในการเขียนโปรแกรมต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

a. หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industry robot) เป็นการออกแบบหุ่นยนต์ให้มีโครงสร้างในรูปแบบข้อต่อ (Joint) และตัวเชื่อมต่อ (link) คล้ายมนุษย์ ซึ่งหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ที่มักใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน คือ แขนกล (Robot arm) ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Fixed robot) เพื่อสามารถทำงานแทนแรงงานมนุษย์ได้ โดยเฉพาะ

b. หุ่นยนต์บริการ (Service robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น หุ่นยนต์ทางการศึกษา หุ่นยนต์ที่ใช้ทางการแพทย์ หุ่นยนต์ที่ใช้ในพื้นที่อันตรายต่างๆ เป็นต้น

(2) การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์จากสถานะการเคลื่อนไหว เป็นการแบ่งประเภทหุ่นยนต์จากความสามารถในการเคลื่อนย้ายแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

a. หุ่นยนต์แบบฐานอยู่กับที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Fixed robot) จะมีฐานยึดติดกับที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่หรือย้ายตำแหน่งได้ ส่วนใหญ่เป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะเป็นแขนกล (Robot arm) หรือหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ใช้งานในการหยิบจับและเคลื่อนย้ายชิ้นงาน

b. หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Mobile robot) สามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่ง โดยอาจใช้ล้อที่ฐาน (Wheel) หรือเคลื่อนที่โดยใช้ขา (leg)

(3) การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ตามการประยุกต์ใช้งาน เป็นการแบ่งประเภทหุ่นยนต์จากการนำไปใช้งาน แบ่งออกเป็น 8 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a. หุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Industrial robot) ได้แก่ แขนกลที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแทน แรงงานมนุษย์ในงานการเคลื่อนย้ายสิ่งของ การเชื่อม การพ่นสี ช่วยประกอบชิ้นส่วน ช่วยยกของ หนัก การทำงานแบบซ้ำไปซ้ำมา เป็นต้น

b. หุ่นยนต์บริการ (Service robot) เน้นการช่วยเหลือ การบริการ และอำนวยความสะดวก ทั้ง ในสำนักงานและที่พักอาศัย เช่น หุ่นยนต์ทำความสะอาด หุ่นยนต์ช่วยเติมน้ำมัน หุ่นยนต์บริการในร้านอาหาร เป็นต้น

c. หุ่นยนต์ทางการแพทย์ (Medical robot) ช่วยอำนวยความสะดวกทางการแพทย์ เช่น ช่วยกายภาพบำบัด การเดิน การหยิบของให้ผู้ป่วย ไปจนถึงช่วยแพทย์ผ่าตัดที่สามารถเปิดแผลให้มีขนาดเล็กทำให้ผู้ป่วยฟื้นตัวได้เร็วหลังการผ่าตัดได้ เป็นต้น

d. หุ่นยนต์ทางการทหาร (Military robot) ช่วยการทหารทั้งสอดแนม แบกสัมภาระ ตรวจสอบสภาพพื้นที่เสี่ยงภัยต่างๆ หรือใช้ตอบโต้ฝ่ายตรงข้าม เป็นต้น

e. หุ่นยนต์เพื่อการศึกษา (Education robot) ใช้ศึกษาการทำงานพื้นฐานของหุ่นยนต์ และช่วย ฝึกทักษะให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้เรื่องส่วนประกอบทางกล, อิเล็กทรอนิกส์, คอมพิวเตอร์, และการประกอบหุ่นยนต์ เป็นต้น

f. หุ่นยนต์สำรวจ (Survey robot) ใช้สำรวจและเก็บข้อมูลทั้งภาคพื้นดิน ทางอากาศ ใต้น้ำ หรืออวกาศ จากผู้ควบคุมที่อยู่ในระยะไกลได้

g. หุ่นยนต์เพื่อความบันเทิง (Entertainment and PR robot) ถูกพัฒนาให้ตอบสนองและโต้ตอบกับมนุษย์ได้ทั้งแบบสัตว์เลี้ยง, เล่นเครื่องดนตรี, เต็นรำ, หุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์ เป็นต้น

h. หุ่นยนต์เพื่อการเกษตรกรรมและปศุสัตว์ (Agricultural and livestock robot) ช่วย เกษตรกรทำงานแบบซ้ำไปซ้ำมาได้ ช่วยผ่อนแรง และทำงานเฉพาะอย่าง เช่น การรีดนมวัวได้

(4) การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ตามการทำงานเพื่อช่วยเหลือมนุษย์ เป็นการแบ่งประเภทหุ่นยนต์จาก ความสามารถในการเป็นเครื่องทุ่นแรงงานมนุษย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

a. หุ่นยนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต (Robot for productivity) หุ่นยนต์ในสายการผลิตเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิต เช่น คัดแยกของเสีย, ตัดป้ายสินค้า, บรรจุภัณฑ์สินค้า, แปรรูปการเกษตรกรรมต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหุ่นยนต์แขนกล (Robot arm) และหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ที่ ช่วยในการขนส่งแบบ Automated guided vehicle (AGV) เป็นต้น

b. หุ่นยนต์เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิต (Robot for life) หุ่นยนต์เพิ่มความเป็นอยู่ของมนุษย์ที่ สะดวกสบายขึ้น เช่น หุ่นยนต์บริการ หุ่นยนต์สำรวจ หุ่นยนต์เพื่อความบันเทิงและประชาสัมพันธ์ หุ่นยนต์เพื่อการศึกษา, หุ่นยนต์กู้ภัย เป็นต้น

(5) การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ตามลักษณะพื้นที่การทำงาน (Envelope geometric) หรือ ลักษณะภายนอกของแขนกล (Arm configuration) เป็นการแบ่งประเภทหุ่นยนต์จากลักษณะทางโครงสร้างและขอบเขตพื้นที่ในการทำงานของหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่

a. Cartesian robot หรือ Gantry robot เป็นหุ่นยนต์แบบ 3 แกนที่จะเคลื่อนที่แบบเชิง เส้น (Prismatic) โดยแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gantry robot คือ หุ่นยนต์ที่มีลักษณะทางโครงสร้างแบบเครนเหนือศีรษะ(Overhead crane)
- Cartesian robot เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่มีขาตั้ง หรือ มีขาเป็นแบบอื่น

หุ่นยนต์ชนิดนี้มีโครงสร้างแข็งแรงตลอดแนวการเคลื่อนที่ เหมาะกับงานเคลื่อนย้ายสิ่งของน้ำหนักมาก (Pick-and-place) เช่น ลำเลียงชิ้นงานเข้าเครื่องจักร (Machine loading) จัดเก็บชิ้นงาน (Stacking) งานประกอบ (Assembly) ที่ไม่ต้องการเข้าถึงในลักษณะที่มีมุมหมุนประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และงานทดสอบต่างๆ เป็นต้น

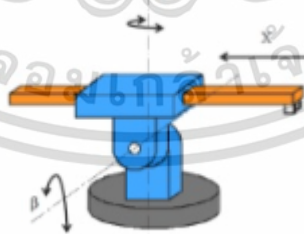


รูปที่ 2.31 Cartesian robot และ Gantry robot

ที่มา: สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, Industrial robotics, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551.

b. Cylindrical robot เป็นหุ่นยนต์ที่มีแกนที่ 1 เป็นแบบหมุน (Revolute) ส่วนแกนที่ 2 และแกนที่ 3 เป็นแบบ Prismatic ที่จะทำงานเคลื่อนที่ในรูปทรงกระบอกทำให้เคลื่อนที่เข้า ออกบริเวณที่เป็นช่องโพรงเล็กๆ ได้สะดวก จึงมักใช้ในการหยิบยกชิ้นงาน (Pick-and-place) หรือป้อนชิ้นงานเข้าสู่เครื่องจักร

c. Spherical robot (Polar) เป็นหุ่นยนต์ที่มีแกนที่ 1 และแกนที่ 2 เคลื่อนที่แบบหมุน (Revolute joint) ส่วนแกนที่ 3 เคลื่อนที่แนวเส้นตรง มักใช้ในงานที่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical) ได้เพียงเล็กน้อย เช่น โหลดชิ้นงานเข้าออกจากเครื่องปั๊ม (Press) หรือใช้ในงาน เชื่อมจุด (Spot welding) ได้



รูปที่ 2.32 Spherical robot (Polar)

ที่มา: www.slideshare.net/ErPrabhakar1/robot-configuration-2

d. Selective compliance assembly robot arm (SCARA robot) เป็นหุ่นยนต์ที่มี แกนที่ 1 และ แกนที่ 3 หมุนรอบแกนแนวตั้ง และแกนที่ 2 จะเคลื่อนที่ขึ้นลง (Prismatic) ทำให้เคลื่อนที่ขึ้นลงและแนว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบที่ไม่ต้องการการหมุนมากได้รวดเร็ว แม่นยำสูง มักใช้ในงาน ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ งานตรวจสอบ (Inspection) งานบรรจุภัณฑ์ (Packaging) แต่ไม่เหมาะกับงานประกอบชิ้นส่วนเชิงกล (Mechanical part) ที่ต้องหมุน (Rotation) ใน ลักษณะมุมหลายมิติ



รูปที่ 2.33 SCARA Robot

ที่มา: สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, Industrial robotics, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551.

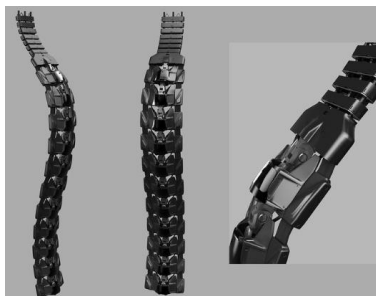
e. Articulated arm (Revolute) เป็นหุ่นยนต์ที่ทุกแกนจะเคลื่อนที่แบบหมุน (Revolute) คล้ายกับช่วงเอว ท่อนแขนบน ท่อนแขนล่าง ข้อมือของมนุษย์ จึงเข้าถึงตำแหน่งต่างๆ ได้ดี และใช้งานได้หลากหลาย เช่น งานเชื่อม Spot welding, Path welding, งานยกของ, งานตัด, งานทากาว, งานพ่นสี และงานบรรจุภัณฑ์ sealing เป็นต้น



รูปที่ 2.34 Articulated arm

ที่มา: สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, Industrial robotics, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551.

f. Spine robot เป็นหุ่นยนต์รูปร่างคล้ายงูที่มีความซับซ้อนในการควบคุมทิศทางและตำแหน่ง ต่างๆ เหมาะกับการทำงานในพื้นที่แคบที่ยากต่อการเข้าถึง



รูปที่ 2.35 Spine Robot

ที่มา: MGM and Sony pictures, 2014

g. Parallel robot เป็นหุ่นยนต์แบบคู่ขนานที่เป็นกลไกแบบปิด (Stewart platform) หรือ หุ่นยนต์สามเหลี่ยม (Delta robot) ประกอบด้วยฐาน (End effector) และขาแบบแกนต่อ เลื่อนขับเคลื่อนด้วยกระบอกไฮดรอลิกส์หรือนิวแมติกส์ผ่านข้อต่อ (Universal joint) ที่ใช้กด อัดหรือยืดตัวจึงไม่เกิดการโค้งงอ ทำให้มีน้ำหนักเบาและสามารถเพิ่มความรวดเร็วแม่นยำในการท างานได้ จึงนิยมนำมาใช้ในทางการแพทย์ การบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น



รูปที่ 2.36 Parallel robot

ที่มา: <http://www.directindustry.com>, 2017

(6) การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ตามลักษณะตามรูปร่างภายนอก เป็นการแบ่งประเภทหุ่นยนต์จากรูปร่าง การออกแบบหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

a. หุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ (Humanoid robot) เป็นหุ่นยนต์ที่มีการออกแบบคล้ายมนุษย์ที่อาจออกแบบให้มีรูปร่างเต็มตัวหรือครึ่งตัว ประกอบด้วย

- แอนดรอยด์ (Android) เป็นชื่อเรียกหุ่นยนต์ที่มีลักษณะคล้ายผู้ชาย
- จินอยด์ (Gynoid) เป็นชื่อเรียกหุ่นยนต์ที่มีลักษณะคล้ายผู้หญิง

b. แอ็คทรอยด์ (Actroid) คือ หุ่นยนต์ที่เลียนแบบพฤติกรรมของมนุษย์ได้ เช่น กระพริบตา หรือ หายใจ เป็นต้น

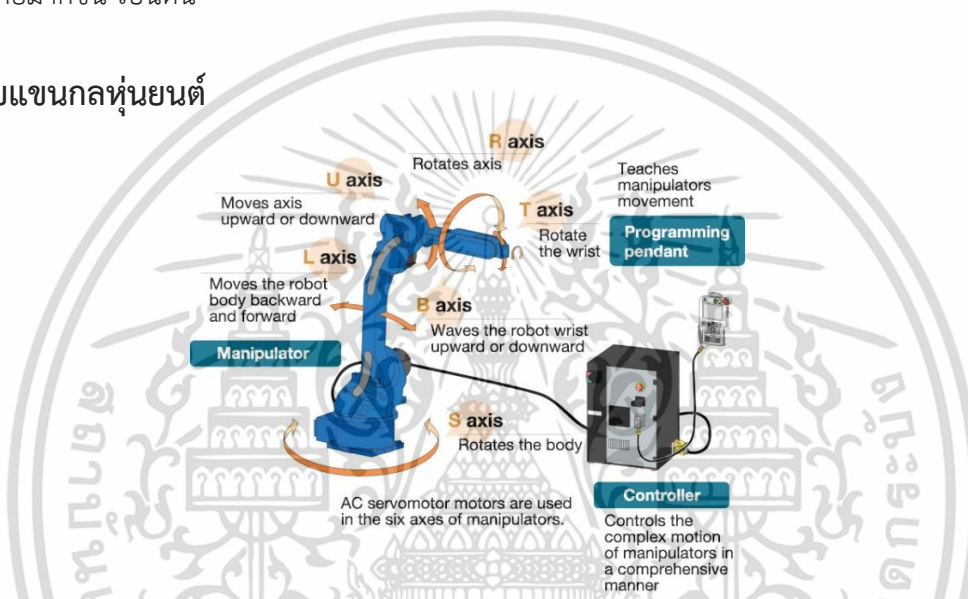
c. นาโนบอท (Nanobot) เป็นหุ่นยนต์ที่มีขนาด 0.5 - 3 ไมครอน

d. ไซบอร์ก (Cyborg) เป็นหุ่นยนต์ที่เชื่อมต่อกับสิ่งมีชีวิต หรือมีลักษณะครึ่งมนุษย์ครึ่งหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันได้มีประเภทของหุ่นยนต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามวิวัฒนาการการพัฒนาหุ่นยนต์ที่ทันสมัยมากขึ้น โดยเฉพาะการนำหลักการทางธรรมชาติ เช่น การเคลื่อนไหว การยึดเกาะของสัตว์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมต่างๆ มากขึ้น หรือเรียกว่า Bionik ตัวอย่าง Bio-Inspired robotics เช่น Serpentine robot เป็นหุ่นยนต์ที่ออกแบบคล้ายงูที่ถูกออกแบบให้เป็นปล้องๆ (Redundant robots) ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระและหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ดี และยังสามารถเคลื่อนที่ใต้น้ำได้อีกด้วย หรือการพัฒนาหุ่นยนต์ด้วยการใช้วัสดุเนื้ออ่อนต่างๆ (Soft robots) เพื่อเลียนแบบแมงกะพรุนหรือปลาหมึก รวมถึงการพัฒนา Collaborative robot (Cobot) ที่เป็นหุ่นยนต์ซึ่งเหมาะแก่การทำงานร่วมกับมนุษย์ได้อย่างปลอดภัยมากขึ้น เป็นต้น

2.4 ระบบแขนกลหุ่นยนต์



รูปที่ 2.37 ส่วนประกอบของระบบแขนกลหุ่นยนต์

ที่มา <https://www.mmthailand.com/>

จากรูปที่ 2.37 แสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์ซึ่งประกอบด้วย ตัวหุ่น (Manipulator), อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ควบคุมและโปรแกรมหุ่นยนต์ (Programming Pendant), ตัวควบคุม (Controller)

2.4.1 หลักการทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมประกอบด้วย ๒ ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบทางกลของหุ่นยนต์ และระบบควบคุมหุ่นยนต์ ระบบทางกล หมายถึง ส่วนที่เป็นโครงสร้าง และส่วนที่ให้กำลังขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ส่วน ระบบควบคุม ประกอบด้วย ระบบบังคับการทำงานหุ่นยนต์ ระบบป้อนข้อมูลกลับ ตลอดจนการสอนหุ่นยนต์ให้ทำงานตามชุดคำสั่ง

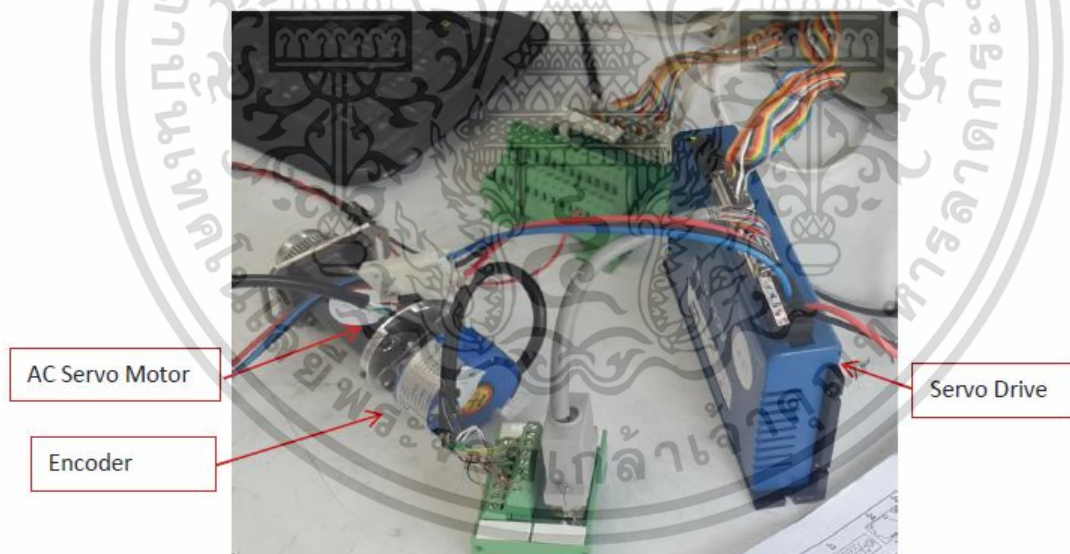
องค์ประกอบของระบบการควบคุมเครื่องจักรกลอัตโนมัติรวมไปถึงระบบการควบคุมหุ่นยนต์อัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์จำเป็นต้องมีการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงต้องมีมอเตอร์ (Motor) เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์นั้นจะอยู่ในส่วนที่เป็นข้อต่อ (Joint) ของหุ่นยนต์นั่นเอง สิ่งที่เราต้องการในการทำงานของหุ่นยนต์นั้นคือ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้โดยสามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ของหุ่นยนต์ให้เร็วหรือช้า ได้ด้วยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมมอเตอร์ นอกจากนี้ตัวหุ่นยนต์เองจะมีน้ำหนักจากอุปกรณ์ประกอบต่างๆ รวมถึงน้ำหนักของตัวเชื่อมต่อ (Link) บนตัวหุ่นยนต์ น้ำหนักที่เกิดขึ้นก็คือภาระโหลดของตัวมอเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมเรื่องของแรงบิด (Torque) เพื่อเอาชนะน้ำหนักและแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดขึ้นได้ด้วย อีกทั้งในเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยปกติก็จะต้องมีการหยุดเพื่อทำงานในตำแหน่งต่างๆ ที่ผู้ควบคุมต้องการ มอเตอร์จึงต้องมีความแม่นยำในการทำงาน กล่าวคือ มอเตอร์จะต้องสามารถควบคุมตำแหน่ง (Position) เพื่อให้สามารถเคลื่อนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ มอเตอร์ที่นำมาใช้กับระบบหุ่นยนต์จึงต้องเป็นมอเตอร์ชนิดที่สามารถควบคุมได้นั้นคือเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) นั่นเอง กล่าวโดยสรุปมอเตอร์ (Motor) คือส่วนที่เป็น ชุดกลไก, อุปกรณ์ที่ทำการควบคุมความเร็วและแรงบิด คือ การขยายเซอร์โว (Servo amplifier) หรือ ชุดขับเคลื่อน (Drives unit) และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการคุมตำแหน่ง (Position) ก็คือส่วนของชุดควบคุม (Controller unit) และยังมีเอนโค้ดเดอร์ (En : Encoder) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบเพื่อทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณในการทำงานของมอเตอร์ ให้เกิดความแม่นยำและถูกต้องในลักษณะของการส่งสัญญาณป้อนกลับ (Feed back) ยังมีระบบการตรวจสอบประมาณกระแส (CT) ที่จ่ายเข้ามอเตอร์เพื่อรักษาความสามารถด้านแรงบิดของมอเตอร์ด้วย

2.4.2 อุปกรณ์สำหรับงานวิจัยแขนกล

อุปกรณ์ในงานวิจัยนี้ ได้มีการจำลองชุดควบคุมเอซีเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแขนกล เพื่อวิจัยหาการใช้พลังงานจริงของเอซีเซอร์โวมอเตอร์ดังรูปที่ 2.3.8



รูปที่ 2.38 อุปกรณ์สำหรับแขนกล

หุ่นยนต์ที่จะสร้างขึ้นนี้เป็นแบบ cc มีจำนวนแกน 4 แกน ในแต่ละแกนของหุ่นยนต์ประกอบด้วย

- เซอร์โวไดรฟ์ (Servo drive)
- เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC servo motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

2.4.2.1 ชุดเซอร์โวไดรฟ์

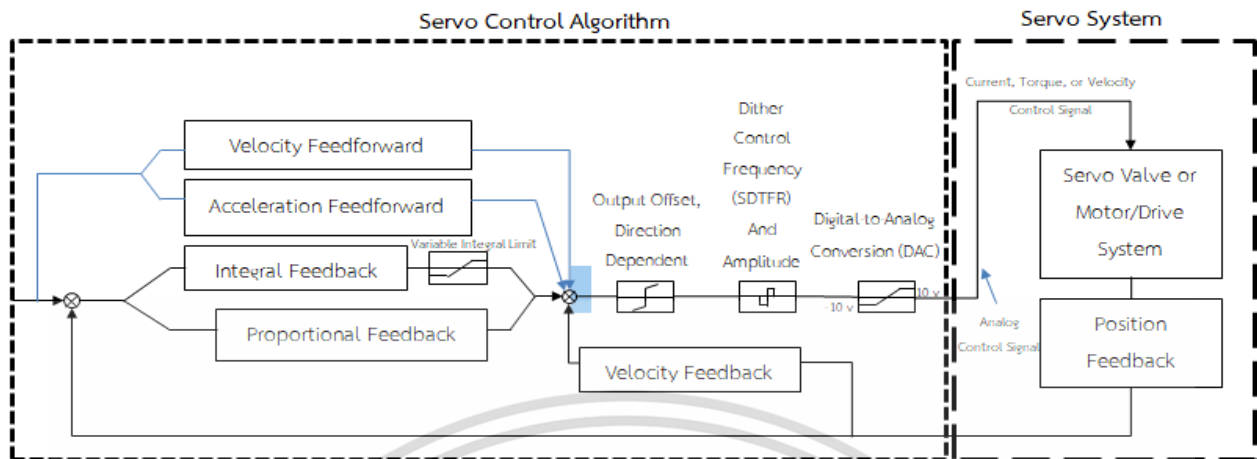


รูปที่ 2.39 ชุดเซอร์โวไดรฟ์
ที่มา <https://kuza.me/pjMSh>

ชุดเซอร์โวไดรฟ์ ทำหน้าที่เป็นชุดควบคุมการทำงานของเอซีเซอร์โวมอเตอร์ ขนาด 50 วัตต์ และ 100 วัตต์ โดยสามารถควบคุม ความเร็ว, อัตราเร่ง และตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์ ผ่านชุดควบคุม ซึ่งจะส่งสัญญาณควบคุม (Signal command) ผ่านชุดควบคุมมอเตอร์มีรูปแบบของสัญญาณควบคุมการทำงานได้ทั้งเป็นแบบคลื่นรูปไซน์ (Sine wave) และแบบคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (Square wave) นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมแบบระบบปิดป้อนกลับ (Close loop) ของชุดมอเตอร์และยังสามารถใช้ในการควบคุมคำสั่งควบคุมตำแหน่ง การเข้ารหัส และ ตำแหน่ง / ความเร็ว / แรงบิด $\pm 10V$ และ ระบบ PWM (Pulse width modulation) คือการนำสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์มาเปรียบเทียบกัน รวมถึงการตรวจจับค่าความเร็ว (Speed) และแรงบิด (Torque)

ทั้งนี้คุณภาพของระบบควบคุมที่ดีจะต้องมีความแม่นยำ หรือควรจะมีควมผิดพลาดน้อยๆ และค่าเกน K_p (Proportional gain) ที่เหมาะสมในการตอบสนองของระบบจะต้องรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.40 โดยมีสมการของระบบควบคุมแบบ PID control

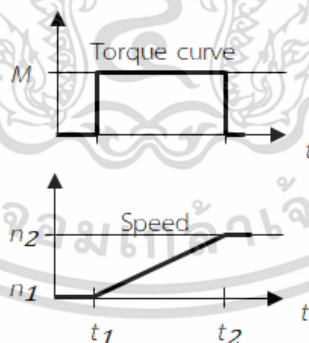
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \int_0^t \frac{de(t)}{dt} dt \quad (2.9)$$



- รูปที่ 2.40 รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) ภายในชุดเซอร์โวไดรฟ์ (Servo drive)

ในระบบควบคุมกำลังบิด (Torque control system) กำลังบิดของมอเตอร์เซอร์โวจะถูกรักษาให้มีค่าคงที่ เนื่องจากแรงบิดของมอเตอร์แปรตามกระแสของมอเตอร์ ดังนั้นกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ เพื่อรักษาค่าแรงบิดให้คงที่เอาไว้ วิธีนี้สามารถทำได้ด้วยวงจรที่ทำการเปรียบเทียบกระแสเอาต์พุตของมอเตอร์กับกระแสอินพุตของมอเตอร์ และ ขยายผลต่างเพื่อใช้เป็นวงจรควบคุมแรงบิดป้อนกลับ (Torque control feedback circuit) ดังกราฟในรูปที่ 2.41

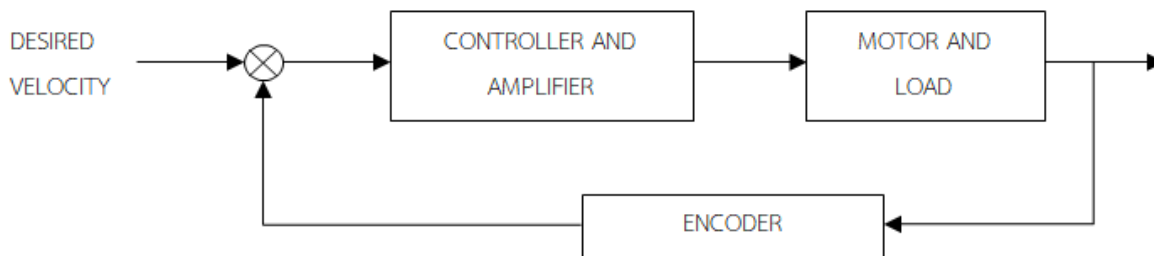
$$T_i = M \frac{t_2 - t_1}{n_2 - n_1} \quad (2.10)$$



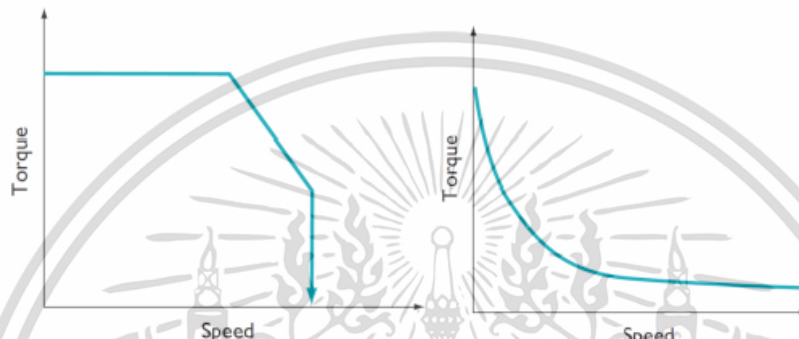
รูปที่ 2.41 สัญญาณการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) สำหรับควบคุมกำลังบิด (Torque control system)

ระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยกราฟแรงบิด (Torque) และอัตราความเร็ว (Speed) สำหรับเซอร์โวมอเตอร์ในรูปแบบ Non-zero starting velocity ดังแสดงในรูปที่ 2.42 และ 2.43 และมีความสัมพันธ์ของความเร็ว ความเร่ง การลดความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



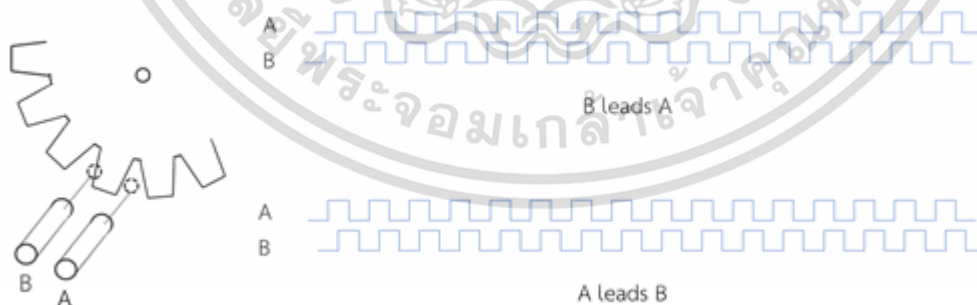
รูปที่ 2.42 บล็อกไดอะแกรมของระบบการควบคุมการเคลื่อนที่



รูปที่ 2.43 สัญญาณการเคลื่อนที่ด้วยกราฟแรงบิด (Torque) และความเร็ว (Speed)

2.4.2.2 ชุดเอนโค๊ดเตอร์ (Encoder)

เอนโค๊ดเตอร์ (Encoder) เป็นแบบเอ็นโค๊ดเตอร์แบบเพิ่มค่า (Incremental encoder) และมีความละเอียดจำนวนรอบที่ 2500 P/R จำนวน 8 โพล (Pole) สามารถทำงานได้ทั้งแบบไซน์ (Sine) และโคไซน์ (Cosine) โดยที่สัญญาณ AB Channels บอกทิศทาง (Bidirectional) และความเร็ว (Speed and rotation sense detection) ซึ่งถ้า B สัญญาณนำหน้า A จะหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้า A สัญญาณนำหน้า B จะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ทั้งนี้ ABZ บอกทิศทางและตำแหน่งเริ่มต้น ดังแสดงในรูป 2.44

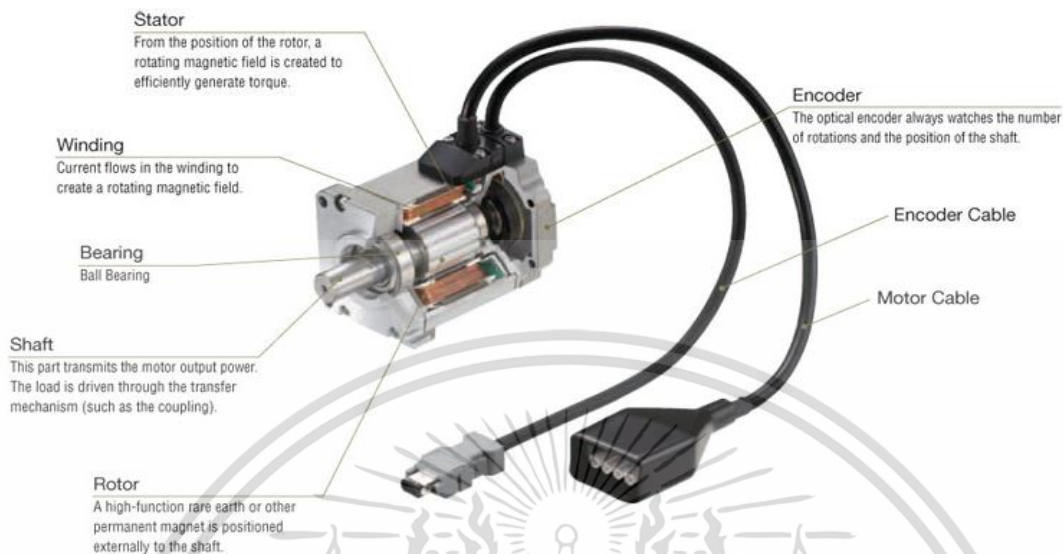


รูปที่ 2.44 สัญญาณเอนโค๊ดเตอร์ (Encoder)

2.4.2.3 เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC servo motor)

เอซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นแบบไม่มีแปรงถ่านมีส่วนประกอบด้วยแกนแม่เหล็ก ถาวร ช่องสเตเตอร์ แกนโรเตอร์ โดยโรเตอร์ทำมาจากแม่เหล็กถาวรที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่ง ทำมาจากวัสดุหลายอย่าง อาทิเช่น เซรามิก (เฟอไรต์) หรือ ซามาเรียมโคบอลต์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 ส่วนประกอบของเอซีเซอร์โวมอเตอร์
ที่มา www.orientalmotor.com/servo-motors

2.5 วัสดุที่ใช้ในการสร้างแขนกล [23]

โลหะเป็นวัสดุทั่วไปของหุ่นยนต์แม้ว่าจะไม่ใช่ตัวเลือกที่เหมาะสมก็ตาม โลหะเป็นวัสดุสำหรับหุ่นยนต์ที่มีราคาแพงที่สุดและยากที่จะทำงานเว้นแต่คุณจะมีเครื่องมือและทักษะที่เหมาะสมทั้งในแง่ของราคาและน้ำหนัก สำหรับหุ่นยนต์เหล็กและอลูมิเนียมส่วนใหญ่เป็นวัสดุโลหะที่พบได้บ่อยซึ่งโลหะผสมอลูมิเนียมนั้นเรียบและใช้งานได้ง่าย แต่วัสดุเหล็กมีความแข็งแรงกว่า

ส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ ประกอบไปด้วย 3 รูปแบบหลักคือ

(1) วัสดุลามิเนตใด ๆ โดยทั่วไปรวมถึงไม้กระดาดพลาสติกหรือโลหะในรูปแบบแผ่นตามคุณสมบัติภายในของความแข็งแรง

(2) วัสดุใดๆ ที่ใช้ไฟเบอร์กลาสและเรซิน บางครั้งโลหะฟิลเลอร์ ฟ้าและคาร์บอนเป็นเรซินและการจัดเรียงมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ

(3) วัสดุใดๆ ที่ใช้กราไฟท์ หรือคาร์บอนเพื่อความแข็งแรงมากขึ้น ตัวอย่างคือเสาเต็นท์คาร์บอนคอมโพสิตซึ่งมีน้ำหนักเบายืดหยุ่นและแข็งแรงอย่างไม่น่าเชื่อ

พลาสติกเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับผู้ผลิตซึ่งสามารถสร้างรูปร่างให้สมบูรณ์แบบได้อย่างรวดเร็ว กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกโดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับการฉีดพลาสติกหลอมเหลวภายใต้ความดันสูงเป็นรูปร่างและรูปแบบพิเศษ เทคนิคของการฉีดขึ้นรูปไม่สามารถปรับใช้กับหุ่นยนต์มือสมัครเล่น วัสดุพลาสติกที่เราเลือกคือวัสดุดิบเช่นแท่งเหล็กแท่งและแผ่นจากนั้นตัดแบบฟอร์มที่ต้องการ สำหรับหุ่นยนต์มีพลาสติกวัสดุที่มีอยู่และราคาไม่แพง ประเภทที่คล้ายกันสำหรับแนวโน้มของพลาสติกในการทำงานได้ง่ายที่สุด ประเภทของพลาสติกที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์ เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่าพลาสติกเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของหุ่นยนต์รวมถึงเครื่องจักรอุตสาหกรรมรวมถึงวัสดุคลุมชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์เพื่อการควบคุมการทำงานและกาวสำหรับประกอบหุ่นยนต์ พลาสติกมี 5 ชนิด หลักที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์ดังนี้

อะคริลิก (Acrylic) เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีความใสในตัว ทนทานต่อแรงกระแทกได้สูง และสามารถป้องกันความร้อนได้ดี ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกใช้เป็นส่วนประกอบภายนอกของตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ทำให้สามารถมองเห็นถึงกลไกการทำงานของหุ่นยนต์และสังเกตลักษณะการทำงานที่ผิดปกติภายในตัวหุ่นยนต์ได้

โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความโปร่งใสมาก มีความแข็งที่สูงกว่าอะคริลิกมาก อีกทั้งยังมีน้ำหนักที่เบา ดังนั้น จึงมีการใช้ในการทำเป็นวัสดุบังหน้าของวัสดุสำคัญในตัวหุ่นยนต์ เช่น กล้องหรือตัวตรวจจับ (Sensors) ต่างๆ เป็นต้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการกระทบกระทั่งโดยไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของวัสดุดังกล่าว

พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการใช้อย่างแพร่หลายมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพลาสติกประเภท เทอโมพลาสติก ที่สามารถหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้ และง่ายต่อการขึ้นรูปให้เป็นลักษณะตามที่ต้องการ ยิ่งไปกว่านั้น ด้วยองค์ประกอบเชิงโครงสร้างทางเคมีของพีวีซีที่มีหมู่คลอรีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะเพิ่มคุณสมบัติเชิงขั้ว (Polarity) ของโมเลกุลพอลิเมอร์จึงทำให้พีวีซีมีคุณสมบัติที่สามารถทนต่อสารเคมีและลุกติดไฟได้อย่างดีอีกด้วย ดังนั้น พีวีซีจึงถูกใช้เป็นตัววัสดุคลุมตัวหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูงๆ หรือมีประกายไฟ นอกจากนี้เราจะพบว่า พีวีซี ก็เป็นส่วนประกอบของวัสดุหรือชิ้นส่วนในตัวหุ่นยนต์ เช่น สายไฟขนาดเล็กต่างๆ เป็นต้น

โพลียูรีเทน (Polyurethane) เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นฟิล์มใส และด้วยคุณสมบัติเฉพาะตัวที่โครงสร้างทางเคมีมีสภาพขั้วที่สูงนั้น ทำให้พอลิยูรีเทนต่อสารเคมีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น กรด-เบส หรือน้ำมัน สามารถกันความร้อนได้ดี ปรึบความยืดหยุ่นตัวได้ตามรูปแบบการบิดงอต่างๆ ดังนั้น เราก็มักจะเห็นการใช้งานพอลิยูรีเทน ในรูปแบบของสารเคลือบผิว เป็นส่วนใหญ่ซึ่งในการผลิตหุ่นยนต์ โดยเฉพาะหุ่นยนต์ที่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่มีความร้อนสูง หรืออุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องมีการสัมผัสกับสารเคมีนั้น ก็จะมีการใช้พอลิยูรีเทนเคลือบที่ผิวภายนอกของวัสดุเพื่อช่วยในการป้องกันความร้อนและสารเคมีเข้าไปทำลายผิวชั้นนอกของหุ่นยนต์ เพื่อยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้น

พอลีอะซิทัล (Polyacetal) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่เรียกว่า พลาสติกวิศวกรรม (Engineering plastics) ที่ถูกพัฒนาขึ้น ด้วยลักษณะพื้นฐานเชิงเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่อีเทอร์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กับสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พอลีอะซิทัลมีความชุ่มและความแข็งที่สูงมาก ดังนั้นจึงมีการใช้เป็นตัววัสดุแทนโลหะได้เป็นอย่างดี เช่น การใช้ทำเป็นฟันเฟือง เป็นวัสดุสำหรับใส่ลูกปืนล้อของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เป็นส่วนประกอบภายในของกลไกการขับเคลื่อน ที่ต้องรับแรงที่ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติก [24]

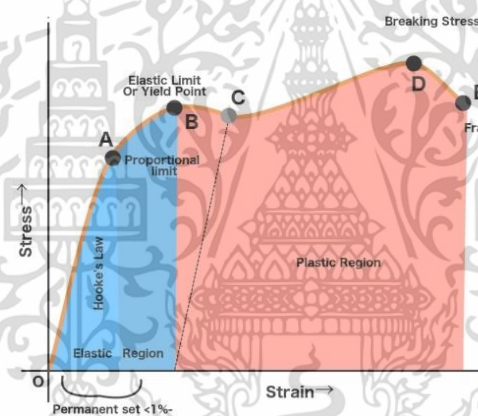
คุณสมบัติ	อะคริลิก	โพลีคาร์บอเนต	โพลีไวนิลคลอไรด์	โพลีเอซิทิล	โพลีเอมายด์
สารเคมีและลักษณะทางกายภาพ	- น้ำหนักเบา ป้องกันความร้อนได้ดี - ขึ้นรูปได้ดี - ง่ายในการตัดเฉือน	- น้ำหนักเบา ป้องกันความร้อนได้ดี - ขึ้นรูปได้ดี - ง่ายในการตัดเฉือน	- ป้องกันความร้อนได้ดี - ขึ้นรูปได้ดี - ง่ายในการตัดเฉือน	- ความต้านทานอุณหภูมิสูง - ความต้านทานสารเคมีสูง	- ความต้านทานอุณหภูมิสูง - ความต้านทานสารเคมีสูง - ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี
ความทนแรงดึง (psi)	10,000	9,500	5,800	9,800	21,000
ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (psi)	481,000	345,000	480,000	370,000	711,000
ความแข็งแรงต่อการเฉือน (ft-lbs/in)	0.4	18	1.2	1.0	2.3
ไดอิล็กทริก (V/MIL)	430	380	544	500	600
อุณหภูมิโค้งตัว ($^{\circ}C$)	91	132	80	96	384
การทนต่อสารเคมี	ดี	มีข้อจำกัด	ดีเยี่ยม	ดี	ดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การศึกษาการออกแบบชิ้นส่วน

การออกแบบชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นผู้ออกแบบจะต้องทราบตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุด และค่าความเค้นดังกล่าวจะต้องไม่เกินจุดครากของวัสดุที่นำมาใช้ออกแบบซึ่งตำแหน่งและค่าของความเค้นนั้นสามารถนำการคำนวณโดยทฤษฎีทางกลศาสตร์มาคำนวณได้แต่ทฤษฎีทางกลศาสตร์นั้นมีข้อจำกัดคือในกรณีที่รูปแบบของชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนก็จะทำให้การคำนวณนั้นยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในบางกรณีจะไม่สามารถคำนวณได้ด้วยมือดังนั้นจึงมีการนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปของการออกแบบ

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือทำการเติมรูปทรงของชิ้นงานด้วยชิ้นส่วนเล็กๆที่มีรูปทรงเรขาคณิต เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ลูกบาศก์ ประกอบเข้าด้วยกันให้มีขนาดและรูปทรงใกล้เคียงกับต้นแบบให้มากที่สุด เนื่องจากเราสามารถประมาณหาค่าตอบที่แน่แท้ของชิ้นส่วนที่มีรูปทรงเรขาคณิตได้ ดังนั้นเมื่อเติมชิ้นส่วนเล็กๆ เหล่านี้ลงไปชิ้นส่วนใหญ่ ก็สามารถศึกษาพฤติกรรมโดยรวมของระบบได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และการเสียรูปของชิ้นส่วน (Deformation) ดังแสดงในรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 พฤติกรรมความเค้น-ความเครียดในการเปลี่ยนรูปของวัสดุ

2.7 พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุ (Material deformation)

พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปสัมพันธ์กับความเค้นและความเครียดของวัสดุ เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำจะทำให้ความเค้นเพิ่มขึ้นและความเครียดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ในกรณีที่วัสดุได้รับแรงดึงจะทำให้วัสดุเกิดการยืดตัวออกสามารถแบ่งพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปออกได้เป็น 2 ช่วง คือ การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) และการเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic deformation) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด ในรูปที่ 2.46 มีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ ความเค้น-ความเครียดเชิงวิศวกรรม (Engineering stress-strain) และความเค้น-ความเครียดจริง (True stress-strain curve) ในงานชิ้นรูปโลหะนั้นจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจริงในการนิยามสมบัติของวัสดุ ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile test) หรือการทดสอบการกด (Compression test)

การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น คือ ความสามารถของวัสดุในการเปลี่ยนรูปแบบคืนรูปอย่างสมบูรณ์ โดยไม่ปรากฏการเปลี่ยนรูปแบบถาวรเมื่อนำแรงที่กระทำออก เป็นการเปลี่ยนรูปเมื่อให้แรงกระทำต่อวัตถุ น้อย และแรงนั้นไม่มากพอที่จะทำให้โลหะยืดตัวออกจนเกินกว่าจุดคราก (Yield point) ลักษณะการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นแบบนี้จะเกิดเพียงชั่วคราว เมื่อปล่อยแรงที่กระทำกับวัตถุ วัตถุนั้นก็จะกลับคืนสู่รูปร่างเดิม ก่อนให้แรง ดังนั้นจึงเรียกการเปลี่ยนรูปนี้ว่าการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือการเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก

มอดูลัสของสภาพความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

มอดูลัสของสภาพความยืดหยุ่น คืออัตราส่วนของความเค้นกับความเครียดในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) เป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's Law) จะได้ว่าอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดเป็นสัดส่วนแบบเชิงเส้นจนถึงจุดหนึ่งจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (วัสดุจะเริ่มเข้าสู่การเปลี่ยนรูปแบบถาวรและเสียหาย) วัสดุที่เป็นโลหะจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นต่อความเครียดในช่วงอีลาสติกเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งดังรูปที่ 2.47 โดยวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่ามอดูลัสของสภาพความยืดหยุ่นนี้ไม่เท่ากัน แสดงดังสมการ

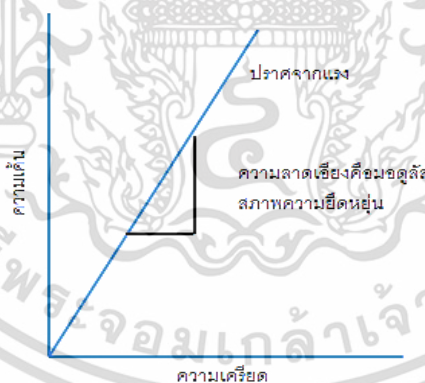
$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.11)$$

เมื่อ E คือมอดูลัสของสภาพความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

σ คือความเค้น (Stress)

ε คือความเครียด (Strain)

สำหรับวัสดุการเปลี่ยนรูปสูงสุดแบบอีลาสติก (Maximum elastic deformation) มักจะมีน้อยกว่า 0.5% โดยทั่วไปโลหะและโลหะผสมจะแสดงความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงระหว่างความเค้น-ความเครียดในช่วงยืดหยุ่น

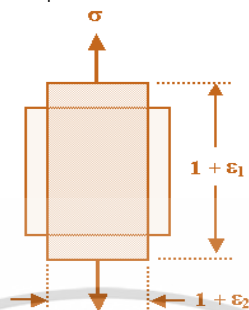


รูปที่ 2.47 การหาค่ามอดูลัสสภาพความยืดหยุ่น

อัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson's ratio)

เมื่อวัสดุถูกดึงในทิศหนึ่งอีกสองทิศจะมีขนาดลดลง โดยอัตราส่วนปัวส์ซอง (ν) จะเป็นค่าที่ระบุขนาดที่ลดลงนี้ โดยอัตราส่วนการหดตัวสัมพันธ์ คือความเครียดตามขวาง (ตั้งฉากกับแรงที่กระทำ) หารด้วยความเครียดที่ขยายออกสัมพันธ์ (ในทิศเดียวกับแรงที่กระทำ) สำหรับวัสดุแบบไม่สามารถบีบอัดได้อย่างสมบูรณ์ (Perfectly Incompressible) อัตราส่วนของปัวส์ซองจะมีค่าเท่ากับ 0.5 พอดี ส่วนวัสดุทางวิศวกรรม ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่จะมีค่า ปัวส์ซอง (ν) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5 จะมีค่าใกล้ 0 เหล็กส่วนใหญ่จะมีค่า ปัวส์

ของ (ν) อยู่ที่ประมาณ 0.3 และยางมีค่าเกือบ 0.5 ในบางวัสดุ เช่น โฟมพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะมีค่าอัตราส่วนปัวส์ซองเป็นลบ เมื่อวัสดุเหล่านี้ถูกดึงในทิศหนึ่ง วัสดุจะขยายขนาดขึ้นในทิศที่ตั้งฉากด้วย ดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 ลักษณะการหาอัตราส่วนปัวส์ซอง

อัตราส่วนปัวส์ซอง คืออัตราส่วนความเครียดตามขวาง หรือด้านข้าง ต่อความเครียดตามแนวแรง อัตราส่วนปัวส์ซอง ที่ได้จะเป็นค่าติดลบ ทั้งนี้เนื่องจากว่า ความเครียดด้านข้าง และความเครียดตามแนวแกนมีผลตรงกันข้ามกัน ดังสมการต่อไปนี้

$$\nu_{xy} = \varepsilon_x \varepsilon_y \quad (2.12)$$

เมื่อ ν_{xy} คือค่าอัตราส่วนของปัวส์ซอง ε_x คือความเครียดตามขวาง และ ε_y คือความเครียดตามแกนของแรง xy

การเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic deformation)

ความสามารถในการเปลี่ยนรูปของวัสดุที่เลยช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือการเปลี่ยนรูปในช่วงพลาสติก วัสดุจะไม่สามารถคืนรูปเดิมได้เมื่อปล่อยแรงกระทำออก

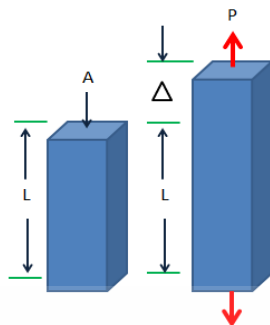
2.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering stress-strain)

ความเค้น (Stress)

การเปลี่ยนรูปของวัสดุเกิดขึ้นจากการให้แรงของแม่พิมพ์ต่อชิ้นงาน ทำให้ภายในชิ้นงานเกิดความเค้น (State of stresses) ขึ้น ซึ่งสามารถเกิดได้ 2 รูปแบบคือ ความเค้นแรงดึง (Tensile stress; σ) และความเค้นแรงเฉือน (Shear stress; τ) ความเค้นหรือความเค้นเชิงวิศวกรรม (Engineering stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ความเค้นแรงดึง (Tensile stress; σ)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางหรือ คือแรงภายนอกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใช้สัญลักษณ์ σ ดังสมการที่ 2.13 และรูปที่ 2.49 เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล แรงภายนอกที่มากระทำบนวัตถุจะต้องมีแรงภายในต้าน ขนาดรวมแล้วเท่ากับแรงภายนอกของวัตถุที่ถูกกระทำ



รูปที่ 2.49 ลักษณะความเค้นแรงดึง

$$\sigma = F_t / A_0 \quad (2.13)$$

เมื่อ σ คือความเค้นแรงดึง (N/m^2)

F_t คือแรงกระทำต่อวัสดุ (N)

A_0 คือพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของวัสดุ (m^2)

ความเค้นแรงเฉือน (Shear stress; τ)

ใช้สัญลักษณ์ τ เป็นแรงภายนอกที่มากระทำต่อ วัสดุนั้นโดยพยายามทำให้วัตถุเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงนั้น ดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 ลักษณะความเค้นแรงเฉือน

จากสมการที่ 2.14 ความเค้นแรงเฉือนมีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A_0 ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

$$\tau = F_s / A_0 \quad (2.14)$$

เมื่อ τ คือความเค้นแรงเฉือน (N/m^2)

F_s คือแรงกระทำต่อวัสดุ (N)

A_0 คือพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของวัสดุ (m^2)

ความเค้นแรงอัด (Compressive stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดขวาง เพื่ออัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.51



รูปที่ 2.51 ลักษณะความเค้นแรงอัด

ความเครียด (Strain)

เมื่อมีแรงกระทำต่อวัสดุทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จะทำให้เกิดความเครียด ขึ้นกับชิ้นงาน ความเครียดเชิงวิศวกรรม (Engineering strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ การเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุเป็นการขยายตาม ซึ่งลักษณะของความเครียดสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

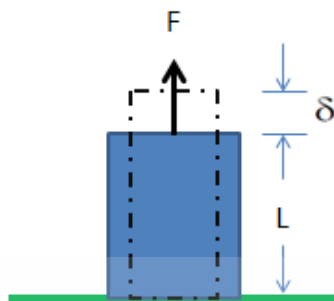
1. การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic deformation or elastic strain) เป็นการเสียรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ ยางยืด สปริง ถ้าดึงวัสดุแล้วปล่อยวัสดุก็จะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic deformation or plastic strain) เป็นการเสียรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามเดิมได้ โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับสู่ตำแหน่งเดิม

ความเครียดแรงดึง (Tensile strain; ϵ)

เมื่อวัสดุถูกกระทำด้วยแรงดึงตามแนวแกนและเพิ่มแรงดึงขึ้นอย่างช้า ๆ ท่อนวัสดุนี้ก็จะเกิดการยืดออกทีละน้อยตามขนาดของแรง ดึงที่เพิ่มขึ้นของแรง ทำให้ท่อนวัสดุยืดออกเท่ากับ Δl ดังรูปที่ 2.52 ขณะที่ท่อนวัสดุยืด ออกก็จะเกิดการหดตามแนวตั้งของท่อนวัสดุนั้น หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลง (Δl) ต่อความยาวเดิม (l_0) แสดงดังภาพ ดังนั้นสูตรของความเครียดจึงเป็น

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.15)$$



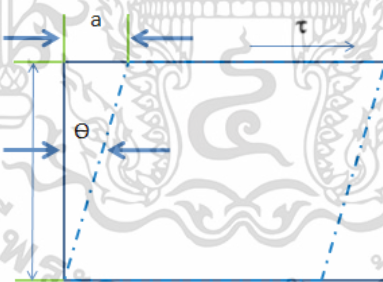
รูปที่ 2.52 ลักษณะความเครียดแรงดึง

ความเครียดแรงเฉือน (Shear strain; γ)

เมื่อมีแรงเฉือนกระทำ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเกิดความเครียดขึ้นมา ความเครียดที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า ความเครียดเฉือน ดังสมการ

$$\begin{aligned}\gamma &= \delta L \\ \text{แต่ } \tan \theta &= \delta L \\ \gamma &= \tan \theta\end{aligned}\quad (2.16)$$

เมื่อ θ เป็นมุมที่เฉไป แต่มุม θ นี้จะเล็กมาก ดังนั้น $\tan \theta \approx \theta$ ดังนั้นความเครียดแรงเฉือนจึงเป็นการวัดมุมที่เฉไป มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad) เมื่อ γ คือความเครียดเฉือน θ คือมุมการเฉือน



รูปที่ 2.53 ลักษณะความเครียดแรงเฉือน

2.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจริง (True stress-strain)

ความเค้นจริง (True stress) เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำบนชิ้นงานทดสอบต่อพื้นที่หน้าตัดขณะรับแรงกระทำขณะนั้น ดังเขียนเป็นสูตรทั่วไปได้ดังนี้

$$\sigma_t = \frac{F}{A_i} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียดจริง (True strain) เป็นผลรวมของอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงความยาวต่อความยาวเดิม โดยรวมตั้งแต่ความเครียดของวัสดุก่อนรับแรงจนถึงความเครียดขณะทดสอบ ดังสมการ

$$\epsilon_t = \ln \frac{l_i}{l_0} \quad (2.18)$$

ซึ่งค่า l_0 เป็นความยาวของ Gauge ตอนเริ่มต้น และ l_i เป็นความยาวของ Gauge ขณะที่ กำลังทดสอบ และถ้าเราสมมติว่าปริมาตรของช่วง Gauge มีค่าคงที่แล้วจะได้ความสัมพันธ์ว่า $l_0 A_0 = l_i A_i$ หรือ

$$\frac{l_i}{l_0} = \frac{A_0}{A_i} = \epsilon_t = \ln \frac{l_i}{l_0} = \ln \frac{A_0}{A_i} \quad (2.19)$$

จากกราฟสามารถแบ่งพฤติกรรมของวัสดุออกได้เป็น 4 ช่วงคือ

ช่วงยืดหยุ่น (Elastic)

ในช่วงนี้วัสดุที่ใช้ทดสอบจะตอบสนองต่อแรงกระทำแบบยืดหยุ่น (Elastic) หรือคือเมื่อนำแรงที่กระทำออกจากชิ้นงานทดสอบแล้ววัสดุจะคืนตัวกลับไปทีรูปร่าง และความยาวเริ่มต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงนี้แรงกระทำ (Stress) จะแปรผันโดยตรงกับความเครียด (Strain) จนถึงค่าขีดจำกัดสัดส่วน (Proportional limit) หรือ σ_{pl} และเมื่อค่าแรงกระทำมีค่ามากกว่าค่าของ σ_{pl} แล้ววัสดุนั้นจะยังคงมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น อยู่โดยที่จุดสุดท้าย ที่วัสดุยังคงมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น นี้คือจุดพิกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit)

จุดคราก (Yield point)

คือจุดที่วัสดุเปลี่ยนรูปในช่วงพลาสติกเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับการคงรูปของวัสดุ หรือจุดล้าของวัสดุและวัสดุเริ่มมีการยึดตัวเมื่อปลดแรงที่กระทำออกวัสดุจะไม่กลับสู่รูปร่างเดิม และค่าความเค้นจุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield stress)

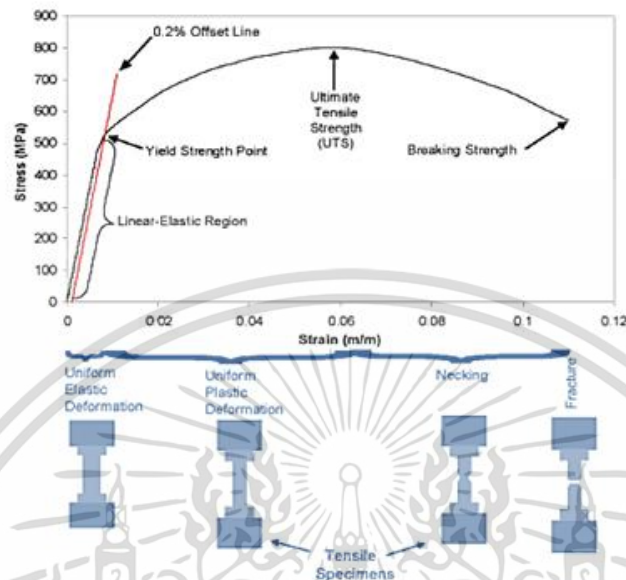
ช่วงความเครียดแข็ง (Strain hardening)

เมื่อเลยจุดครากของวัสดุชิ้นงานทดสอบจะมีความสามารถในการต้านทานแรงเพิ่มขึ้น อีกครั้งหนึ่ง สามารถสังเกตได้จากการที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดเริ่มที่มีความชันเพิ่มขึ้น อีกครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.54 แต่ความชันของเส้นโค้งนี้จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อค่าของแรงกระทำมีค่าเพิ่มขึ้น และสุดท้ายความชันของเส้นโค้งนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ที่จุดค่าความเค้น (Ultimate stress) หรือ σ_u ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุมีความสามารถในการรับแรงกระทำที่มีค่าสูงสุด ซึ่งมักจะเรียกพฤติกรรมของวัสดุในช่วงนี้ว่าความเครียดแข็ง (Strain hardening)

ช่วงคอคอด (Necking)

หลังจากที่ค่าของแรงกระทำต่อชิ้นงานทดสอบมีค่าเท่ากับ σ_u แล้ว พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบในบริเวณความยาวเกจ (Gauge length) จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว หรือที่เรียกกันว่าการเกิดคอคอด

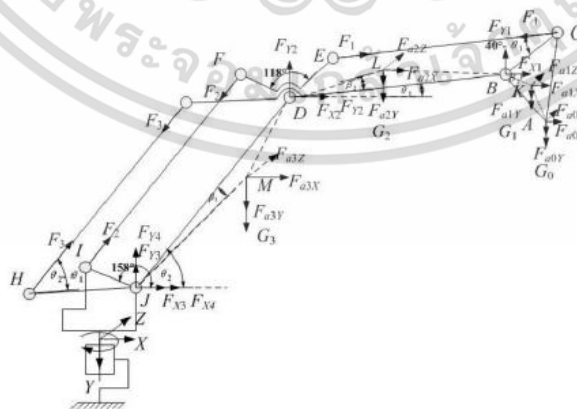
(Necking) ดังรูปที่ 2.54 ค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดมีค่าลดลงตามไปด้วย จนกระทั่งถึงจุดที่วัสดุเกิดการแตกหักขึ้น ค่าของความเค้นของวัสดุที่จุดนี้จะเรียกว่าค่า fracture stress (σ_f)



รูปที่ 2.54 ลักษณะพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นของวัสดุ
ที่มา <https://kuza.me/jyh8jR>

2.8 การวิเคราะห์พลวัตของหุ่นยนต์ [25]

การสร้างแบบจำลอง พลวัต (Dynamic) และสถิต (Static) ของหุ่นยนต์ Palletizing แบบจำลองนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนไหวและแรงที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ห้สถานะแรงในหุ่นยนต์อื่นๆ ที่คล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.55 ทางทีมวิจัยใช้ โปรแกรม MATLAB วิเคราะห์แรงของหุ่นยนต์ในการทำงาน และให้ข้อมูลที่สำคัญสำหรับการตรวจสอบโครงสร้าง การปรับปรุงการออกแบบและการควบคุมแบบพลวัต ตามลำดับ



รูปที่ 2.55 ไดอะแกรมแรงของแขนกล

ที่มา ดร.คมกฤษ จักขุคำ การพัฒนาหุ่นยนต์อุตสาหกรรมด้วยซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส ROS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.55 จะสังเกตว่าหุ่นยนต์มี BCED, DFIJ, DGHJ เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน, DE และ DF มีความยาวเท่ากัน ในรูปที่ 2.55 แสดงภาพการวิเคราะห์แรงของหุ่นยนต์ Palletizing ซึ่ง θ_1, θ_2 แสดงถึงการหมุนของท่อนแขนเทียบกับแกนแนวนอน G0, G1, G2, G3 ตามลำดับสำหรับแรงโน้มถ่วงของโหลด คือปลายของตัวข้อรับ, ท่อนแขน K, L, M หมายถึงศูนย์กลางของตาแหน่งมวลของปลายของตัวข้อรับ, ท่อนแขนสำหรับพารามิเตอร์ ในรูปที่ 2.24 แสดงในตารางที่ 2.4 ด้านล่าง

ตารางที่ 2.4 ไดอะแกรมแรงของแขนกล

Parameter	LBC	LCE	LDE	LDJ	LHJ	m0	m1	m2	m3
Value	450mm	1350mm	450mm	1280mm	500mm	180Kg	71.7Kg	284.9Kg	367.9Kg
Parameter	$\angle EDF$	$\angle LUN$	β_1	β_2	β_3	LDL	LJM	"1	"2
Value	118°	158°	12.6°	36.0°	6.8°	280.7mm	589.0mm	(-120°,20°)	(20°,132°)

โดยจะพิจารณาเพียงแรงเฉื่อยของโหลด ปลายของตัวข้อรับ ท่อนแขนโดยแรงเฉื่อยและโมเมนต์ที่ เกิดจากอย่างอื่น ๆ จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากมีค่าน้อยมาก

2.9 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

[1] การพัฒนาฐานใหม่ของแขนกลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัด สำหรับการวิเคราะห์ และประเมินความเป็นไปได้ของวัสดุและการออกแบบฐานของแขนหุ่นยนต์ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อส่วนต่างๆ ของฐานของแขนหุ่นยนต์ ผลการวิจัยพบว่าโลหะผสมอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับฐานของแขนหุ่นยนต์ สำหรับการรับน้ำหนักสูงสุด อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลของฐานพลาสติกจะถูกส่งผ่านจากแขนหุ่นยนต์ ABB ประเภท 3 กิโลกรัม ซึ่งพลาสติก PA GF30 สามารถเปลี่ยนฐานเหล็กได้วัสดุพลาสติกจะลดต้นทุนวัสดุลง 15% และน้ำหนักลดลงจากเหล็กหล่อ 80%

[2] การออกแบบชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีน้ำหนักเบาด้วยเทอร์โมพลาสติกเป็นวิธีที่ดีในการลดการปล่อยมลพิษ การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเชื้อเพลิงโดยใช้ชิ้นส่วนพลาสติกมีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบ ด้วยการใช่วัสดุพลาสติกน้ำหนักของรถพลาสติกจะลดลง 41% เมื่อเทียบกับเหล็ก นอกจากนี้ยังพบว่าต้นทุนการผลิตพลาสติกก็ขนต่ำกว่าเหล็ก

[3] การออกแบบและพัฒนาใหม่ของปลอกท่อสำหรับสายเบรกจอตารถโดย Finite Element Analysis ฝากรอบปลอกสามารถใช้แทนวัสดุจากฝาเหล็กปลอกเป็น PA GF15 ผลแสดงให้เห็นว่าพลาสติก PA GF15 จะสามารถลดน้ำหนักของพลาสติกได้ประมาณ 21% ของน้ำหนักเหล็กและค่าใช้จ่ายประมาณ 40%

[4] คอมโพสิตโพลีเมอร์มีความพยายามบางกลุ่มในการอธิบายความพยายามที่แข็งแกร่งที่สุดในการอธิบายคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตโพลีเมอร์ ดังนั้นความละเอียดที่เพิ่มขึ้นของเทคนิคการใช้กล้องจุลทรรศน์และกล้องพลังงานสูงอะตอม ผลที่ได้ไม่น่าจะบ่งบอกว่าในช่วงเฟสของโพลีเมอร์คอมโพสิตเมื่อขนาดใกล้เคียงกับที่อยู่ในพื้นที่สัมผัสกับพื้นผิวของแท่นพิมพ์ ผลของการทดลองทั้งสองถูกวิเคราะห์เพื่ออธิบายข้อจำกัด และคำอธิบายของวิธีการระบุสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์

[5] การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบความน่าเชื่อถือของฝากรอบท่อโดยการทดสอบตัวอย่างและ FEA แสดงผลของการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการทดสอบจริงและการวิเคราะห์การจำลองโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วน ปลอกใหม่ในสายเบรกจอตรถเพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่สามารถใช้งานได้จริงตามคุณสมบัติและมาตรฐาน คุณสมบัติของการออกแบบฝากรอบท่อใหม่ที่ทำจากไฟเบอร์กลาสคอมโพสิตใยสังเคราะห์ ข้อดีของการลดน้ำหนักและต้นทุนในกระบวนการออกแบบสามารถทำได้ จากผลการทดลองและการจำลองแสดงข้อผิดพลาดน้อยกว่า 30% ของแรงดึงสูงสุด

[6] การวัดความเครียดและความเครียดของวัสดุพอลิเมอร์ถูกใช้สำหรับการจำลองชิ้นส่วนพลาสติกไฟไนต์เอลิเมนต์ วัตถุประสงค์ของการจำลองคือเพื่อจำลองพฤติกรรมของอัตราความเครียดพลาสติกซึ่งขึ้นอยู่กับโพลีเมอร์ วิธีการใหม่ในการกำหนดเวลาและความสัมพันธ์ถูกนำไปใช้อย่างเต็มที่โดยใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่ใช้ FEA เช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบบผกผัน ดังนั้นวิธีนี้จึงใช้ข้อมูลที่วัดได้ในการทดสอบเชิงกลเพื่อสร้างความแม่นยำบนกราฟความเค้นในอัตราความเครียดที่แตกต่างกัน

[7] ถังน้ำมันโลหะของรถโดยสารสาธารณะถูกแทนที่ด้วยถังน้ำมันพลาสติกโดยทำการวิจัยออกแบบและพัฒนาถังน้ำมันพลาสติกขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์แบบคงที่และแบบไดนามิก การวิเคราะห์แบบสแตติกและแบบไดนามิกนั้นใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบ จำกัด และตัวอย่างที่ได้รับการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าพวกเขาตอบสนองคุณสมบัติที่ต้องการของการทดสอบวัสดุ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางวิเคราะห์เพื่อป้องกันความเสียหายของถังพลาสติก

[8] Tube Hydro-Forming (THF) เป็นที่รู้จักในอุตสาหกรรมยานยนต์และการบินและอวกาศ ยกตัวอย่างเช่นประโยชน์ของ THF คือการรวมกันของเหล็กความแข็งแรงสูงกับโครงสร้างของชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักลดลงและปรับปรุงประสิทธิภาพ แบบจำลองสถานการณ์ถูกวิเคราะห์โดยเครื่องมือ FEM deform-3D ซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่ารูปทรงเรขาคณิตของท่อและการอัดขึ้นรูป

[9] แบร็องลูกกลิ้งเรียงมีความสำคัญส่วนหนึ่งของเกียร์ทดเกียร์และส่งผลกระทบต่อทั้งการสัมผัสกันของเฟืองเกียร์และการหล่อลื่นระหว่างลูกกลิ้งและร่องน้ำของตลับลูกปืน วิเคราะห์หือธิพลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในบทความนี้ ประการแรกวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบร็องลูกกลิ้งถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการ Reynolds และพิจารณาความขรุขระผิว สนามแข่งคำนวณโดยการเพิ่มภาระและการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ความเค้นและความเครียดสูงสุดของตลับลูกปืน ในที่สุดผลกระทบของการทำให้แน่นก่อนในคุณสมบัติการทำงานของแบร็องจะถูกวิเคราะห์โดยได้รับความเครียดและความเครียดสูงสุด

[10] การวิเคราะห์เชิงสถิติของโครงสร้างซับยัดหยุ่นที่มีพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนสำหรับการโหลดแบบกำหนดค่าและแก้ไขระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ตามการปรับปรุงการวิเคราะห์ช่วงเวลาซึ่งเสนอคุณสมบัติโครงสร้างที่ไม่แน่นอนเป็นแบบจำลองเป็นตัวแปรช่วงเวลา . ขอบเขตการกระจัดและความเครียดที่ชัดเจนโดยประมาณนั้นมาจากเมทริกซ์ความแข็งของช่วงเวลาทั่วโลก สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความไม่แน่นอนมากมายและแอมพลิจูดส่วนเบี่ยงเบนขนาดใหญ่ แนวคิดหลักของวิธีการใหม่คือการเชื่อมโยงช่วงเวลารวมพิเศษเข้ากับพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนแต่ละตัวเพื่อรักษาคุณสมบัติทางกายภาพที่เชื่อมโยงกับองค์ประกอบจำกัด ทั้งในขั้นตอนการประกอบและการแก้ปัญหาซึ่งความแม่นยำของวิธีการไม่ได้รับผลกระทบจากขนาดตาข่าย

[11] มีความน่าสนใจเกี่ยวกับการส่งสัญญาณอะคูสติกไปตามสายโซ่ของทรงกลมเพื่อสร้างรูปคลื่นที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้อัลตราซาวด์ทางการแพทย์ ผลของการติดต่อ Hertzian ระหว่างทรงกลมที่อยู่ติดกันสามารถเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณที่แพร่กระจายไปตามสายโซ่ กลไกการถ่ายโอนมีศักยภาพที่จะใช้ใน

การตรวจอัลตราซาวด์การวินิจฉัยและการรักษาวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือความเป็นไปได้โดยการสร้างสัญญาณที่มีเนื้อหาที่แตกต่างกันของสัญญาณเข้าสู่ปลายด้านหนึ่งของโซ่ และการเคลื่อนที่แบบไม่เชิงเส้นของลูกโซ่เม็ดสามารถรักษาได้โดยใช้แบบจำลองทางกลศาสตร์แบบไม่ต่อเนื่องทรงกลมสุดท้ายของห่วงโซ่ลูกสุนัขนิชฐานว่าจะสัมพันธ์กับชั้นการจับคู่รูปทรงกระบอกที่แผ่ออกเป็นครึ่งของเหลวที่มีคุณสมบัติของน้ำนอกเหนือจากการไหลของเหลว การเปรียบเทียบกับผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบการออกแบบและประสิทธิภาพของทรานสดิวเซอร์แบบกลศาสตร์สัมพันธ์

[12] การยึดแขนหุ่นยนต์แบบหลายข้อ, ความยืดหยุ่นของการเชื่อมโยงและข้อต่อคือการพิจารณาแขนหุ่นยนต์ ศึกษาลักษณะพลวัตของแขนกลแบบยึดหยุ่นโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงทดลอง ผลการเปรียบเทียบ ชั้นแรกการวิเคราะห์ค่ากิริยาแขนกลแบบยึดหยุ่นล่วงหน้าใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Workbench ผลลัพธ์ให้พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการออกแบบโครงสร้างแบบพลวัตของแขนหุ่นยนต์แบบหลายข้อต่อที่ยึดหยุ่น สุดท้ายผลการวิเคราะห์ค่ากิริยาจะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลองพื้นฐานที่เชื่อถือได้สำหรับวิธีการวิจัยของลักษณะแบบพลวัตที่มีให้

[13] ฟังก์ชันบัพเฟอร์ของชั้น Polyimide พร้อมการทดสอบการตกและโครงสร้างคือระดับเวเฟอร์ CSP โดยไม่มี UF ผลกระทบของการปล่อยถูกคำนวณโดย FEA (การวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์) โดยใช้เทคนิคการชุม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ชั้น Polyimide (PI) ซึ่งมีผลต่อปัจจัยรูปร่างเช่นความหนาเส้นผ่าศูนย์กลางและคุณสมบัติเชิงกล (อัตราส่วนของปัวซอง, โมดูลัสและความแข็งแรง) ผลการวิจัยพบว่าความหนาและค่าโมดูลัสของ PI สูงแนะนำให้ใช้การออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ

[14] การวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้เหตุผลว่าทำไมการเชื่อมต่อของข้อต่อของหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ที่เชื่อมต่อกับส่วนอื่น ๆ นั้นอ่อนแอในการวิเคราะห์ปัญหา ก่อนอื่นเลยแขนหุ่นยนต์รูปทรงสามมิติของมนุษย์ถูกติดตั้งบน SolidWorks และข้อต่อหัวไหล่และข้อศอกของแขนหุ่นยนต์รูปทรงสามมิตินั้นถูกนำไปใช้กับ ANSYS สรุปการวิเคราะห์และเหตุผลที่ถูกวิเคราะห์ผลของการวิเคราะห์รุ่นของแขนหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ความถี่โมดัลที่สอดคล้องกันจะได้รับและแหล่งที่เป็นอันตรายที่อาจเกิดขึ้นของแขนหุ่นยนต์จะชี้ให้เห็น การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบโครงสร้างแขนของหุ่นยนต์ฮิวแมนนอยด์ด้วยการเลือกใช้ชิ้นส่วนวัสดุ

[15] วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้สามารถคำนวณพฤติกรรมความเครียด - ความเครียดของวัสดุประกอบได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ รูปแบบการคำนวณจะขึ้นอยู่กับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ด้วยการใช้ตาข่ายกับเซลล์ปริซึมสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซอฟต์แวร์ไม่ได้ใช้ขั้นตอนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน แต่เป็นไปได้ที่จะทำการวิเคราะห์แผ่นลามิनाของความเค้นและความเครียด วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือที่ช่วยลดต้นทุนแรงงานและแก้ไขพารามิเตอร์ ผลลัพธ์ของบทความนี้เวลาการคำนวณไม่เกิน 15 วินาทีสำหรับหนึ่งตัวเพิ่มความเครียดและมีข้อผิดพลาดในความเครียดไม่เกิน 4% สิ่งนี้ช่วยให้หลีกเลี่ยงรูปแบบการคำนวณที่ง่ายซึ่งจำกัดความหลากหลายของโซลูชันการออกแบบ

[16] การออกแบบเรซิน Guided vane ในการเจาะหลุมเจาะและใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS เพื่อวิเคราะห์ความเครียด - ความเครียดกับการไหลเพิ่มเติม ผลลัพธ์ของเรซิน Guided vane โดย Finite Element Analysis

ความเครียดสูงสุดที่ทำได้ 878×10^3 kPa ซึ่งน้อยกว่าความต้านทานการตัดการกระจัดสูงสุด 0.29×10^{-8} m ซึ่งน้อยกว่าการกระจัดและเรซิน Guided vane จะไม่ถูกดึงออกมาจากการเจาะรูและไม่เกิดการแตกหัก

[17] หุ่นยนต์ใต้น้ำใช้การทำต้นแบบอย่างรวดเร็วเพื่อสร้างจากวัสดุฟังก์ชันแผ่นบาง ๆ พารามิเตอร์การออกแบบก่อให้เกิดความท้าทายในรูปแบบเชิงกลและการประดิษฐ์ การสร้างหุ่นยนต์โอริกามีต้องใช้การศึกษาอย่างใกล้ชิดกับรูปทรงสามมิติ (3-D) และสองมิติ (2-D) กลไกที่เป็นไปตามข้อกำหนดส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้งานได้และวิธีการผลิตแบบ 2 มิติ วิธีการออกแบบอย่างเป็นระบบสำหรับการสร้างเครื่องจักรและหุ่นยนต์ที่ได้แรงบันดาลใจมาจากศิลปะการพับกระดาษโอริกามี เพื่อจัดทำสูตรที่ครอบคลุมเปรียบเทียบกับหุ่นยนต์ทั่วไปและเน้นความท้าทายด้านการออกแบบและศักยภาพ บทความนี้ได้พัฒนาวิธีการออกแบบและการประดิษฐ์ของหุ่นยนต์โอริกามีด้วยการทำงานที่ปรับแต่งได้จากพื้นฐาน

[18] หุ่นยนต์ใต้น้ำเช่นยานพาหนะที่ดำเนินการจากระยะไกล (ROV) และยานพาหนะใต้น้ำอัตโนมัติ (AUV) เพิ่มขึ้นสำหรับการสำรวจมหาสมุทรและงานใต้น้ำการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์ (FEA) ใช้กับโครงร่าง 200 เมตรหลายชั้น หุ่นยนต์ใต้ทะเล, บอดี้เฟรมของ CR200 ได้รับการออกแบบเป็นกรงซี่โครงเพื่อกระจายแรงภายนอกที่ทำจากพลาสติกเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) อย่างไรก็ตามเฟรมนั้นเบาและแข็งแรงกว่าเฟรมของวัสดุทั่วไปอื่น ๆ FEA ดำเนินการทดสอบตัวอย่างของ CFRP และใช้คุณสมบัติของวัสดุที่ได้รับจากการทดสอบการวิเคราะห์โมดัลและ FEA ที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขการไหล

[19] แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้ถูกรวบรวมไว้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ จำกัด สำหรับการทำนายพฤติกรรมขนาดมหึมาของวัสดุ polycrystalline ซึ่งการทำนายนั้นจะถูกตรวจสอบด้วยปัจจัยเทย์เลอร์และข้อมูลการทดลองของ Sn-0.7Cu solder แบบจำลองย่อยหลายสเกลแบบความเครียดขนาดเล็กบนพื้นฐานของวิธีการที่สอดคล้องกันในตัวเองได้รับการพัฒนาและอธิบายถึงอัตราและอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับวงจรมีรูปบน Sn-0.7Cu บัดกรี เสนอการชดเชย Voce และอธิบายการลดลงของอัตราการชดเชยพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเครียดเฉือน อย่างไรก็ตามการทำนายที่สมเหตุสมผลนั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพในการจำลองพฤติกรรมของวงจรมีรูป Sn-0.7Cu ที่อุณหภูมิและอัตราความเครียดต่างกัน

[20] มีการทดสอบการตกกระแทกสำหรับชิ้นงานพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบชิ้นส่วนภายในรถยนต์และวัดแรงกระแทกและชิ้นงานตัดขวางของชิ้นงานทดสอบ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการทดสอบการตกทำได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียดที่อัตราความเครียดสูงและที่อัตราความเครียดต่ำ และผลลัพธ์ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบซึ่งผลลัพธ์ของความสัมพันธ์กับความเครียด ความเครียดที่อัตราความเครียดสูง กับผลการทดสอบดี ดังที่เห็นในเอกสารทั้งหมดที่ผ่านการตรวจสอบการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุ

บทที่ 3

การศึกษา พัฒนาและออกแบบ

การศึกษา พัฒนา และการออกแบบเป็นส่วนสำคัญที่ต้องศึกษาในงานวิจัยนี้ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐาน ทั้งในส่วนของโครงสร้างและกระบวนการสร้างและออกแบบงานต่างๆ ทางด้านวิศวกรรม

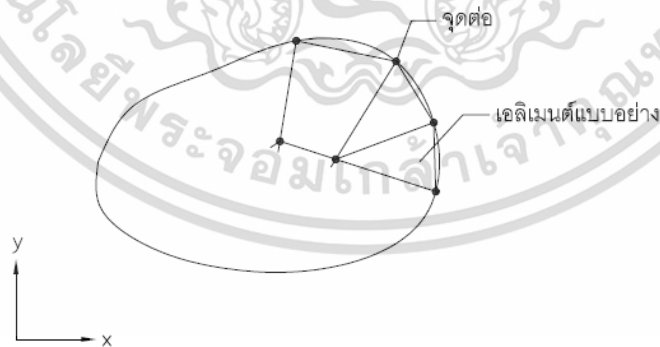
3.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

หลักการที่สำคัญของระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference Method) คือการหาค่าเฉลี่ยโดยประมาณจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบสมการผลต่างสี่เหลี่ยม ข้อดีของวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ รวมไปถึงความสะดวกในการประดิษฐ์ขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ แต่ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมนี้มีข้อเสียและข้อผิดพลาดที่มีอยู่หลายประการแต่ที่เป็นปัญหาเด่นชัดที่สุดของระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมนี้คือ ความไม่สะดวกในการกำหนดขอบเขต (Application of Boundary Conditions) และที่สำคัญที่สุดคือความยากลำบากในการประยุกต์ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยมเข้ากับการวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนมากขึ้นซึ่งในปัจจุบันหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้กลายเป็นความจำเป็นเพื่อพัฒนาปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์นั้นให้ดีขึ้น

3.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งขอบเขตรูปของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ดังรูปที่ 3.1 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่างๆกันเช่น ปัญหาของการไหล ปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 3.1 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆแบบต่างๆกัน
(จากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เตชะอำไพ, 2555)

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) เช่น สมการเอลิเมนต์สามเหลี่ยมซึ่งเอลิเมนต์นี้ประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังรูปที่ 3.1 โดยที่จุดต่อเป็นตำแหน่งที่ตั้งของตัวไม่รู้ค่า ซึ่งได้แก่ ϕ_1 ϕ_2 และ ϕ_3 ตามลำดับ ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่ออาจเป็นค่าของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียรูป (Displacement) หากเราวิเคราะห์ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง หรืออาจเป็นค่าของอุณหภูมิหากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน หรืออาจเป็นความเร็วของของไหลเป็นต้น ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนได้ให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ ดังรูปที่ 3.2

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (3.1)$$

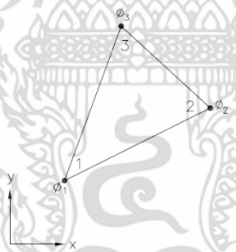
สมการฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

จากสมการฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อโดย $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์โดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ ณ ตำแหน่งจุด

$$\phi(x, y) = [N_1 \ N_2 \ N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

$$\phi(x, y) = N_{(1 \times 3)} \phi_{(3 \times 1)} \quad (3.3)$$

โดย $[N]$ แทนเมทริกซ์ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ และ $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น



รูปที่ 3.2 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ

(จากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2555)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ ดังตัวอย่างเช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างดังสมการเมทริกซ์จะอยู่ในรูปแบบดังต่อไปนี้

$$\begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix}_e \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}_e \quad (3.4)$$

จากรูปแบบเมทริกซ์ข้างต้นซึ่งเราจะเขียนย่อๆได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างสมการของเอลิเมนต์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการข้างต้นสามารถทำได้โดยวิธีการโดยตรง (Direct approach) วิธีการแปรผัน (Variational approach) หรือวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of weighted residuals) จากสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกันเข้า ก่อให้เกิดระบบสมการรวม ในรูปแบบดังนี้

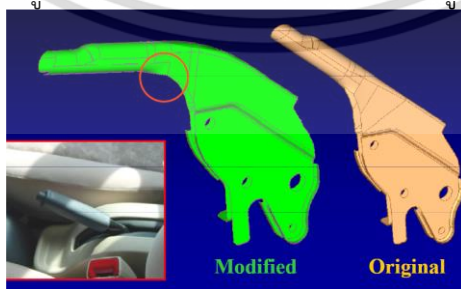
$$\sum (\text{element equations}) \Rightarrow [K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (3.6)$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำการประยุกต์เครื่องหมายขอบเขต (Boundary conditions) ลงในระบบสมการรวมข้างต้นแล้วจึงแก้ระบบสมการนี้เพื่อหา $\{\phi\}_{\text{sys}}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ (Nodal unknown) ซึ่งอาจเป็นค่าของการเคลื่อนตัวตามจุดต่างๆ ของโครงสร้าง หรือเป็นค่าของอุณหภูมิที่จุดต่อ หากเป็นปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนหรืออาจเป็นค่าของความเร็วของไหลตามจุดต่อ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่างๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าอื่นๆที่ต้องการต่อไปได้อีกเช่น เมื่อรู้ค่าการเสียรูป ตามจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้างก็สามารถนำไปหาค่าความเครียด (Strain) และความเค้น (Stress) ได้ตามลำดับ หรือเมื่อรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อก็สามารถคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้ เป็นต้นจากขั้นตอนทั้ง 6 ขั้นตอนนี้จะเห็นได้ว่าระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นี้เป็นระเบียบวิธีที่มีระเบียบแบบแผนอย่างเป็นขั้นตอน โดยมีหัวใจสำคัญอยู่ที่การสร้างสมการเอลิเมนต์ทั้ง 3 วิธีในขั้นตอนที่ 3 คือวิธีการโดยตรง, วิธีการแปรผันหรือวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง

3.3 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากรูปแบบผลิตภัณฑ์งานทางวิศวกรรมทั่วไปมักมีรูปร่างซับซ้อน ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์จึงมีบทบาทเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ในปัจจุบัน เช่นปัญหาการถ่ายเทความร้อนในวัตถุและการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคู่กับคอมพิวเตอร์ทำให้เราสามารถคำนวณหาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยสะดวกและในขณะเดียวกันสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เคยใช้ในการทดลองจริงการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในยุคแรกเริ่มจากงานทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid mechanics) และโครงสร้างเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานทางด้านนี้สามารถทำความเข้าใจได้โดยไม่ยากเกินไป วิวัฒนาการระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ในทางด้านของแข็งสามารถนำไปใช้ออกแบบชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้เช่น ก้านเบรคมือ ดังรูปที่ 3.3

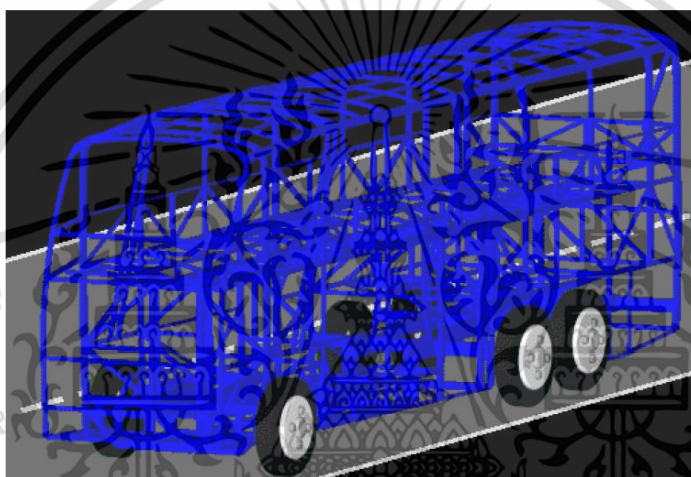


รูปที่ 3.3 รูปแบบจำลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก้านเบรคมือ
(จากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำมาใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ขยายวงกว้างออกไปนอกเหนือจากทางวิศวกรรม เช่น การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับงานทางด้านทางการแพทย์

แม้แต่การวิเคราะห์ยานพาหนะก็ยังใช้ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์และมีส่วนสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมรถยนต์เพราะเพื่อให้รถยนต์มีประสิทธิภาพที่จะก่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดในขณะเดียวกันก็ยังลดภาระค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วยดังรูปที่ 3.4 แสดงการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรถบัสที่ถูกชนตรงด้านหน้าซ้ายของรถ การออกแบบด้วยการทดลองเพื่อให้ทราบถึงปรากฏการณ์จะสิ้นเปลืองอย่างมากทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และที่สำคัญมันยังสามารถเปลี่ยนแปลงการออกแบบรูปทรงลักษณะที่ดีผ่านทางระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนสร้างขึ้นจริง



รูปที่ 3.4 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ในการยุดตัวของรถบัส
(ที่มา: หนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เตชะอำไพ, 2555)

ในปัจจุบันการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังคงรุดหน้าไปอย่างต่อเนื่องเนื่องจากระเบียบวิธีนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาต่างๆกันได้อย่างมีประสิทธิภาพระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกนำไปใช้ประยุกต์กับงานในหลายๆแขนง โดยเฉพาะทางด้านวิศวกรรม เช่น การออกแบบชิ้นส่วนยานยนต์ ที่จำเป็นต้องออกแบบในส่วนที่ถูกแรงอัด แรงดึงซึ่งมากระทำมากๆให้เกิดอายุการใช้งานที่ยืนยาวและการเสียรูปให้น้อยที่สุดโดยผ่านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นต้น

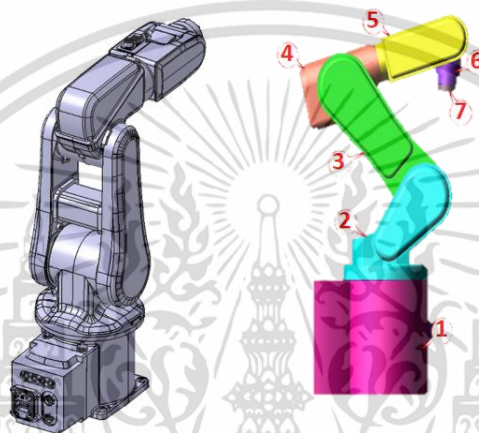
3.4 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแขนกล (Computer Aided Design)

อำนวยความสะดวกในการเขียนแบบ (Drafting) ของชิ้นงาน ที่ต้องการบนจอภาพ การใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ จะตัดความยุ่งยากในการเขียนแบบบนกระดาษด้วยมือ ซึ่งเป็นงานที่ละเอียด ต้องการความสามารถสูง และกินเวลานานออกไป ทั้งนี้คอมพิวเตอร์สามารถแสดงภาพบนจอจากข้อมูลที่ผู้ออกแบบป้อนให้เป็นภาพ ทั้งในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติได้ตามต้องการ ภาพในระบบ 2 มิติ หรือ 3 มิตินี้ เกิดขึ้นจากการมองเห็นงานจากทิศทางที่แตกต่างกัน คอมพิวเตอร์สามารถออกแบบได้ทุกชนิด ตั้งแต่แบบอาคาร แบบบ้านที่อยู่อาศัยขนาดสะพาน รถยนต์ เครื่องบิน วงจรไฟฟ้า ของเล่น ตลอดจนแบบโฆษณาต่างๆ แบบเหล่านี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บอยู่ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ใช้สามารถเรียกแบบที่เก็บไว้นี้ ออกมาแสดงบนจอภาพได้ทันทีที่ต้องการ และอาจพิจารณาปรับปรุงแก้ไขใหม่ หรืออาจสั่งให้นำแบบไปเขียนบนกระดาษด้วยเครื่องเขียน (Plotter) แบบอัตโนมัติก็ได้

โปรแกรม Catia V5 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบชิ้นส่วนแบบ 3 มิติ และเป็นโปรแกรมสำหรับงานการบริหารวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ การผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ การออกแบบแม่พิมพ์ การผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า การวางผังระบบไฟฟ้า ตลอดจนการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม



รูปที่ 3.5 การออกแบบแขนกลด้วย CAD กับโปรแกรม Catia

3.5 จำลองการออกแบบแขนกลด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ คือการจำลองการออกแบบ แขนกลซึ่งได้รับการออกแบบและพัฒนาสำหรับการใช้งานที่น้ำหนักเบา และประหยัดต้นทุน โดยการสร้างแบบจำลอง CAD โดยโปรแกรม CATIA

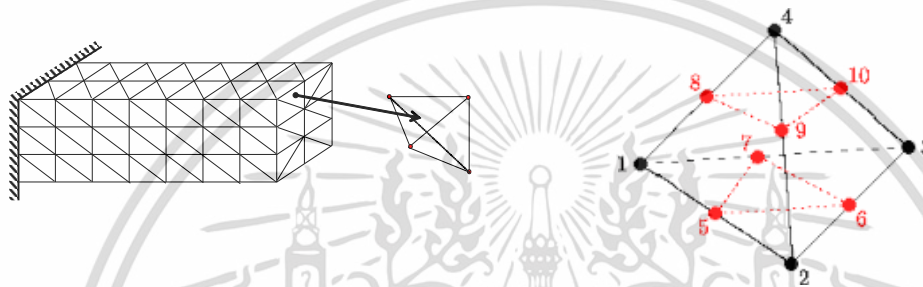
ในการออกแบบพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์ในเครื่องมือการวิเคราะห์องค์ประกอบ จำกัด และการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัตจะแสดงในดังต่อไปนี้

- CAE by Multibody dynamics (MBD) การศึกษาแรง พลวัตการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน และปริมาณและแรงที่แจกจ่ายผ่านระบบกลไกโดยใช้โปรแกรม MSC ADAMS
- CAE by Finite element analysis (FEA) การวิเคราะห์ความเค้นของส่วนประกอบด้วยซอฟต์แวร์ MSC Nastran แบบจำลองนี้มีรูปร่างทรงกลมและมีฟังก์ชันหน้าสำหรับการรับแรงสะท้อน โดยการป้อนข้อมูลรายละเอียดตามเงื่อนไขการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ดังตารางที่ 3.1 และรูปร่างของเอลิเมนต์Tetrahedron ดังรูปที่ 3.6

ดังนั้นการจำลองการออกแบบนี้แสดงให้เห็นถึงการออกแบบจะต้องสนับสนุนความแข็งแรงและการเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง วัสดุที่ใช้สำหรับการจำลองมีทั้งสิ้นจำนวน 4 ชนิดสำหรับการตรวจสอบและผลการตรวจสอบสามารถนำไปเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกับมาตรฐานดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

โปรแกรมวิเคราะห์	องค์ประกอบรูปทรง	ลักษณะของการเชื่อมโยง	ขนาดการเมช
โปรแกรม MSC Nastran	โครงสร้างพีรามิด ฐานสามเหลี่ยม	โครงสร้างพีรามิด ฐานสามเหลี่ยม 10 จุดเชื่อมต่อ	0.8

รูปที่ 3.6 รูปร่างของเอลิเมนต์ : Tetrahedron 10 nodes
ที่มา <https://kuza.me/8qF1Sz>

ตาราง 3.2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ [19]

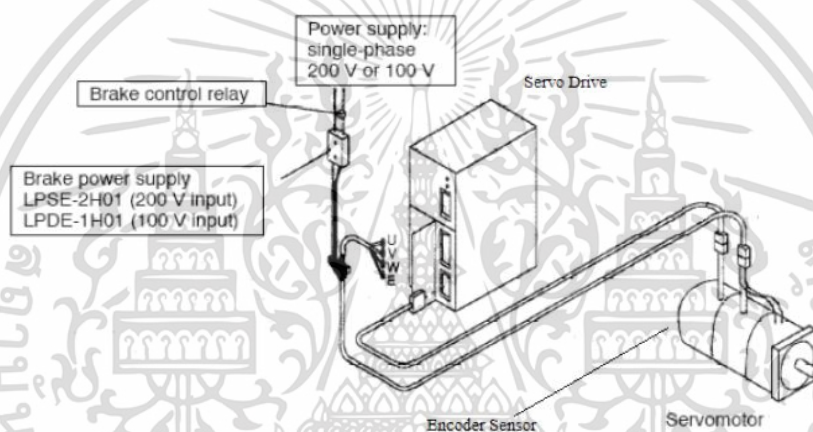
ชนิดวัสดุ	โมดูลัสยืดหยุ่น	ความเค้นคราก	อัตราส่วนของ ปัวซอง
เหล็กหล่อ Cast Iron	207×10^6 kPa	230000 kPa	0.26
พลาสติกผสม Polyamide	58×10^5 kPa	200000 kPa	0.34
อลูมิเนียม ADC6	71×10^6 kPa	159000 kPa	0.33
สังกะสี ZDC2	855×10^5 kPa	221000 kPa	0.27

3.6 ระบบควบคุมหุ่นยนต์

ระบบควบคุมหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นได้ถูกพัฒนาบนพื้นฐานการเชื่อมต่อผ่านโพรโทคอล CANopen ที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบทันทีทันใดพร้อมกันได้ด้วยโปรแกรมภาษา C, C++ เพื่อการควบคุมการทำงานของ Servo motor ของแต่ละข้อต่อ (Joint) แขนกล โดยมีรายละเอียดของชุดควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ทั้ง 4 แขนดังนี้

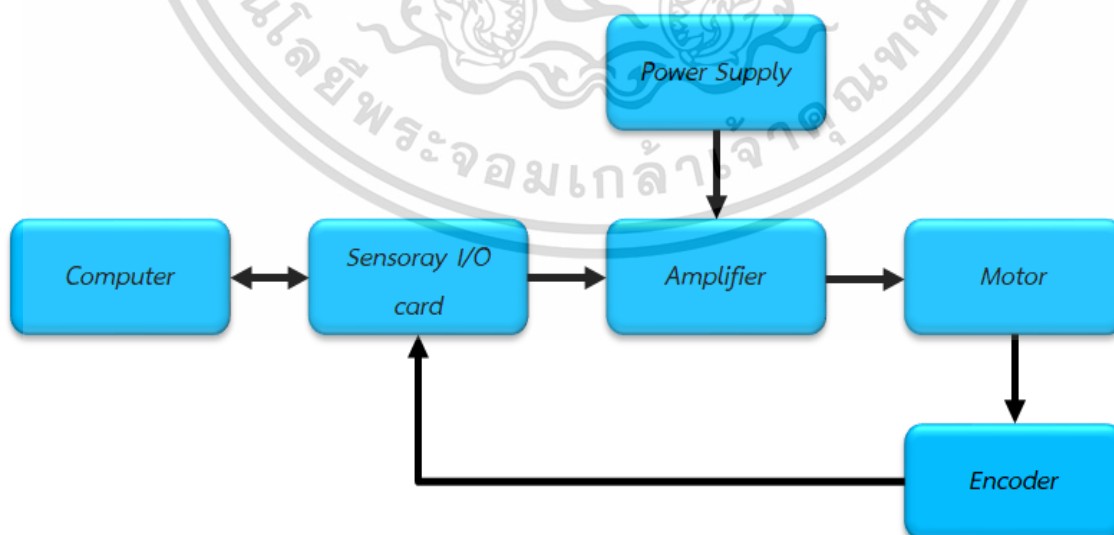
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (1) ชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ (Servo drive motor) ที่สามารถควบคุม ความเร็ว, อัตราเร่ง และ ตำแหน่งการเคลื่อนที่ได้โดยใช้ เซอร์โวมอเตอร์ ผ่านชุดควบคุม ซึ่งจะส่งสัญญาณควบคุม (Signal command)
- (2) มีโหมดในการควบคุมป้อนกลับแบบปิด (Closed loop control) โดยประกอบด้วยสามส่วนคือ ฟังก์ชันในการควบคุมกระแสไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Current control loop) ฟังก์ชันในการควบคุม อัตราเร่ง (Velocity control mode) และฟังก์ชันในการควบคุมตำแหน่ง (Position control mode)
- (3) มีเซนเซอร์เอนโค้ดเดอร์ (Encoder) เป็นชนิดโรตารีเอนโค้ดเดอร์ (Rotary encoder) และมีความละเอียดจำนวนรอบที่ 2500 P/R จำนวน 8 ขั้ว (Pole) สามารถทำงานได้ทั้งแบบไซน์ (sine) และ โคไซน์ (cosine)



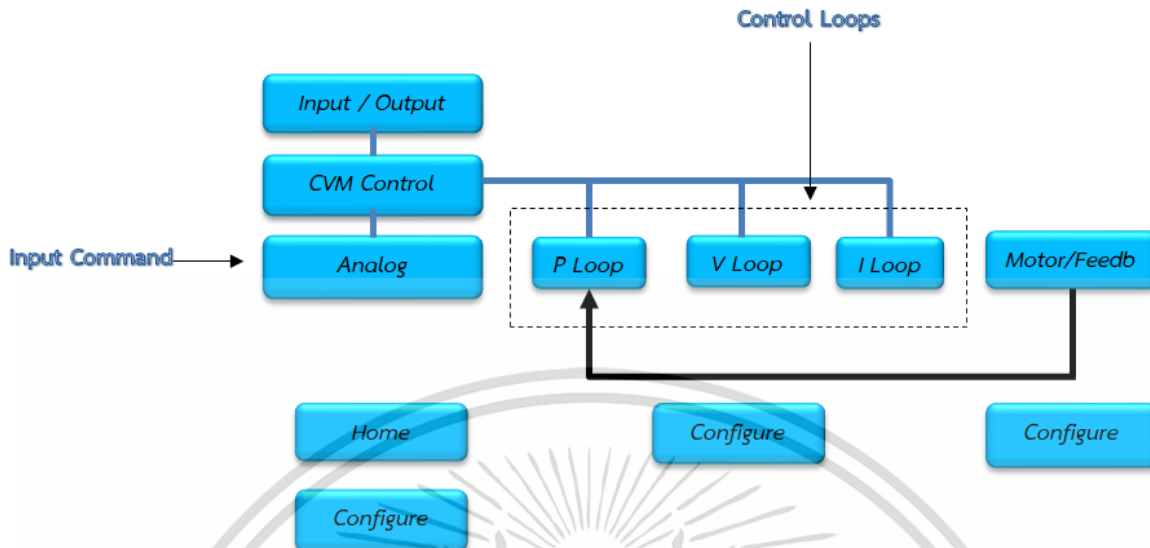
รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมการควบคุมของ เซอร์โวมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์

ที่มา <https://kuza.me/eQVj8>



รูปที่ 3.8 ระบบควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

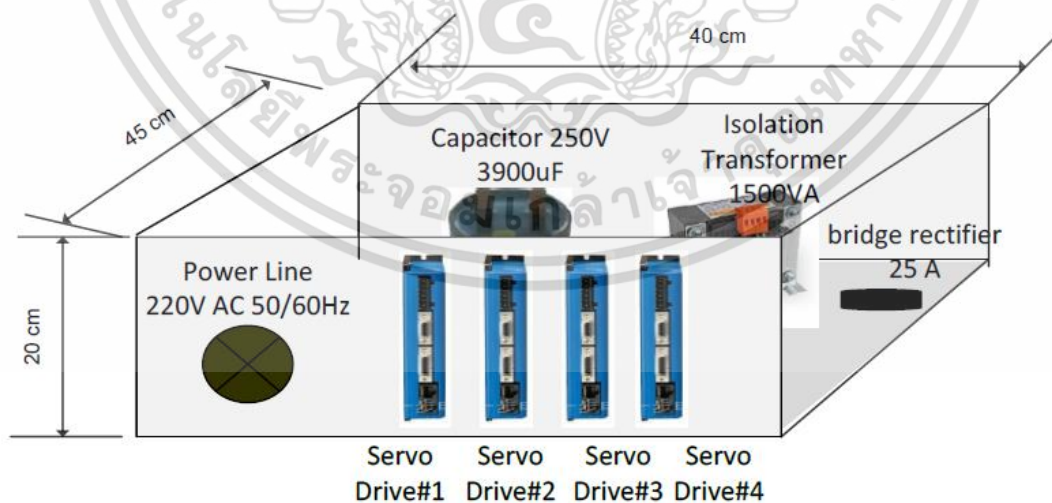
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ระบบควบคุมแบบเปิดของเซอร์โวมอเตอร์

ทั้งนี้ชุดควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์มีเครื่องมือ อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์ที่ถูกตั้งค่าเกณฑ์ควบคุมไว้ใน หน่วยความจำที่ถูกติดตั้งไว้ในชุดควบคุมเพื่อขับชุดเซอร์โวมอเตอร์จำนวน 4 แกน ดังแสดงในรูปที่ 3.10

- โปรแกรมชุดควบคุม CME 2 Version 7.0 และ Amplifier firmware version 1.90
- ชุด Servo drive :ADP-180-09
- ชุด Encoder ADP
- Servo motor YASKAWA 200AC 100W 4 Pole



รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมหุ่นยนต์ SCARA robot

ที่มา <https://kuza.me/6nzVXL>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

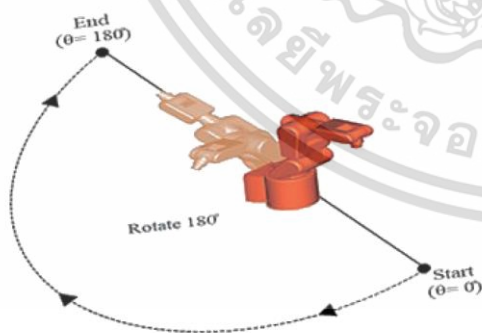
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างแขนกลด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิดได้แก่ เหล็กหล่อ อลูมิเนียม และพลาสติก ผู้ทำการวิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Catia V5 R21 ทำการเขียนและออกแบบซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เมื่อได้แบบสำเร็จแล้วก็จะเริ่มการทดลองโดยนำแบบที่ได้ไปทำการจำลองในซอฟต์แวร์ MSC Adams เพื่อหาค่าแรงที่กระทำต่อจุดต่างๆของแขนกล ค่าพลังงานที่ใช้ หลังจากนั้นจึงนำค่าแรงที่ได้ไปทำการทดสอบวัสดุว่าสามารถทนต่อความเค้น ความเครียดได้หรือไม่ด้วยซอฟต์แวร์ MSC Nastran ในวิทยานิพนธ์นี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือการทดลองการออกแบบด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite element analysis) และลักษณะที่สองคือ การทดลองและประเมินประสิทธิภาพด้วยการสร้างโครงของแขนกลด้วยพลาสติกเพื่อหาค่าจริง แล้วทำการเปรียบเทียบค่าของการออกแบบด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงว่าผลการทดลองแตกต่างกันอย่างไร และสามารถนำผลที่ได้จากการจำลองด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์ไปใช้งานการออกแบบได้จริงหรือไม่

4.1 การทำงานของแขนกล

กรณีศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นแขนกลถูกใช้ในแพลตฟอร์มเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตชุดควบคุมกระจกหน้าต่างของรถยนต์ แขนหุ่นยนต์มีห้าเซอร์โวมอเตอร์แต่ละมอเตอร์สำหรับหนึ่งแกน ทั้งหมดมอเตอร์ทำงานด้วย 6 โวลต์ แขนหมุนมีห้า DOFs และช่วงการหมุนคือ 180 องศาจากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนไหว ดังรูปที่ 4.1 ในตอนท้ายของเส้นทางการเคลื่อนไหวส่วนประกอบจะถูกจัดเรียงตรงที่ 45° จากฐาน แขนและเส้นทางสำหรับครอบคลุมการใช้งาน น้ำหนักบรรทุกของหุ่นยนต์เป็นตัวควบคุมหน้าต่าง (0.630 กิโลกรัม) และระยะทางรวมของการเคลื่อนที่คือ 1900 มม.พลศาสตร์ของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวจะถูกวิเคราะห์ที่วัฏระบบกลไกใช้ซอฟต์แวร์ MSC ADAM เองไซ ADAM สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลง



ข้อต่อแบบหมุน

$$\text{ข้อต่อ 1} = -90^\circ \times (1 - \cos(360^\circ \times \text{time})),$$

$$\text{ข้อต่อ 2} = -30^\circ \times (1 - \cos(360^\circ \times \text{time})),$$

$$\text{ข้อต่อ 3} = 45^\circ \times (1 - \cos(360^\circ \times \text{time})),$$

$$\text{ข้อต่อ 4} = 2^\circ \times (1 - \cos(360^\circ \times \text{time})),$$

$$\text{ข้อต่อ 5} = 45^\circ \times (1 - \cos(360^\circ \times \text{time})).$$

รูปที่ 4.1 การเคลื่อนที่ของแขนกลของการผลิตชุดควบคุมกระจกไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

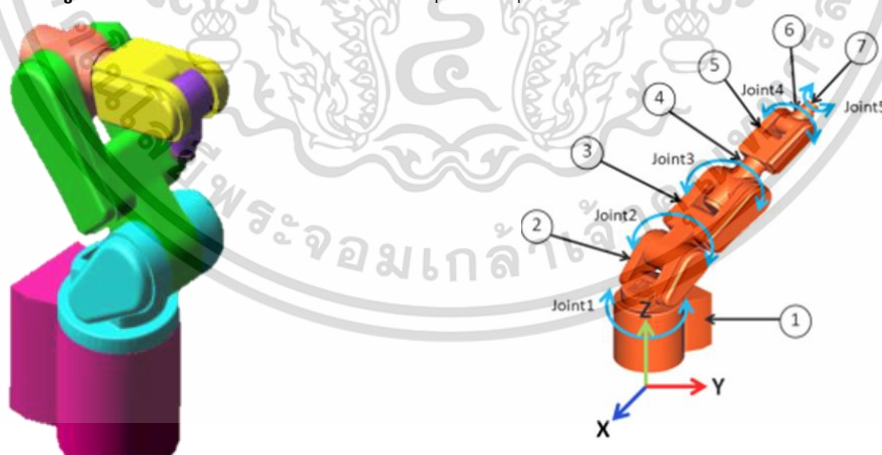
4.2 การออกแบบแขนกล

ระบบแขนกลมักจะประกอบด้วยการเชื่อมโยงข้อต่อตัวกระตุ้นตัวควบคุมและเซ็นเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 มีข้อต่อสองชนิดคือข้อต่อปริซึมและแบบหมุน สำหรับการเชื่อมต่อการทำงาน ในงานวิจัยนี้ การออกแบบแขนกลมีมอเตอร์เซอร์โวห้าตัวเพื่อเชื่อมโยงชิ้นส่วนและทำให้แขนเคลื่อนไหวดังแสดงในรูปที่ 4.3 วัสดุเหล็กหล่อ, พลาสติก(โพลีเอไมด์) และอลูมิเนียมถูกนำไปใช้กับส่วนประกอบของแขนกล น้ำหนักและน้ำหนักรวมทั้งหมดของส่วนประกอบแต่ละชิ้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบโหลด พลศาสตร์การใช้พลังงานและลักษณะเชิงกล (ความเครียดสูงสุด) ของแขนกลถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกงานจำลอง

คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อ, พลาสติก และอลูมิเนียมในแบบจำลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แขนกลในงานประกอบชุดควบคุมกระจากไฟฟ้าในโรงงาน



รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบของแขนกล

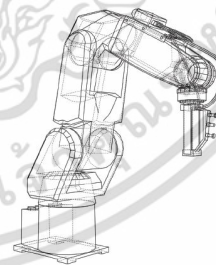
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบน้ำหนักของวัสดุที่นำมาใช้ในการจำลอง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (kg)		
		เหล็กหล่อ	พลาสติก	อลูมิเนียม
1	ฐาน	20.312	3.710	7.583
2	ข้อต่อA	12.988	2.372	4.849
3	ข้อต่อB	12.529	2.289	4.677
4	ข้อต่อC	5.217	0.953	1.948
5	ท่อนแขนกล1	5.000	0.913	1.867
6	ท่อนแขนกล2	3.828	0.699	1.429
7	ชุดมือจับ	0.630	0.630	0.630
	รวม	60.504	11.566	22.983

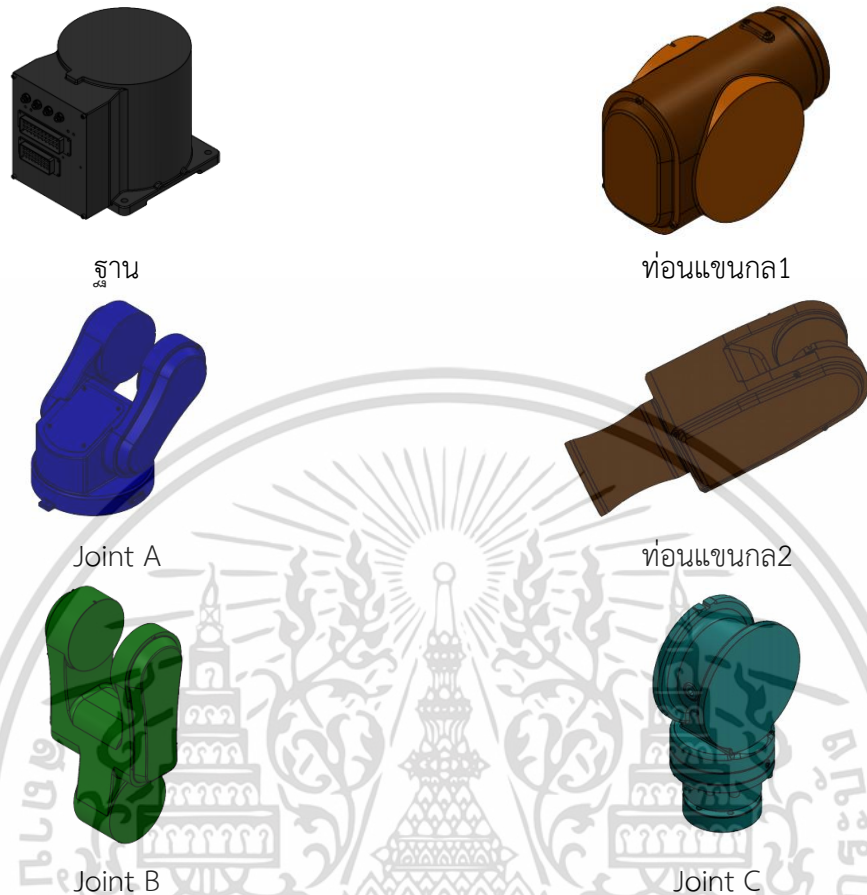
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกลและวัสดุที่ใช้ในการจำลอง

วัสดุ คุณสมบัติเชิงกล	พลาสติก โพลีเอมาไคต์	เหล็กหล่อ	อลูมิเนียม
Young's modulus (kPa)	6.3×10^6	180×10^6	72.4×10^6
Density (Kg/mm ³)	1370	7500	2800
Poisson's ratio	0.340	0.26	0.33
Yield strength (kpa)	216×10^3	200×10^3	414×10^3



รูปที่ 4.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแขนกล Catia V5 R21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



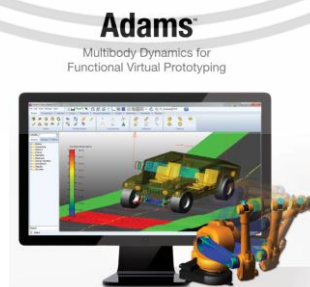
รูปที่ 4.5 ภาพของชิ้นส่วนต่างๆของแขนกลที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Catia V5 R21

4.3 การออกแบบด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการออกแบบพารามิเตอร์ของการวิเคราะห์ในเครื่องมือการวิเคราะห์ที่องค์ประกอบจำกัด และการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัตจะแสดงในดังต่อไปนี้

4.3.1 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล

โหลดแบบพลวัตและขั้นตอนการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์จะถูกจำลองในแกน x , y และ z เพื่อกำหนดกำลังสูงสุดโดยใช้ซอฟต์แวร์ ADAMS

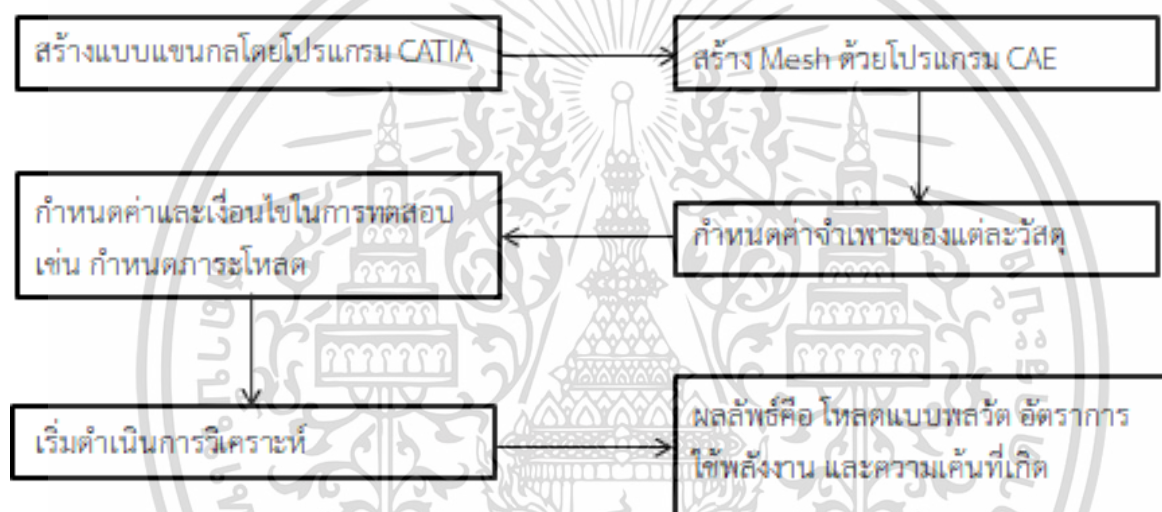


รูปที่ 4.6 โปรแกรม MSC Adams ช่วยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแขนกล

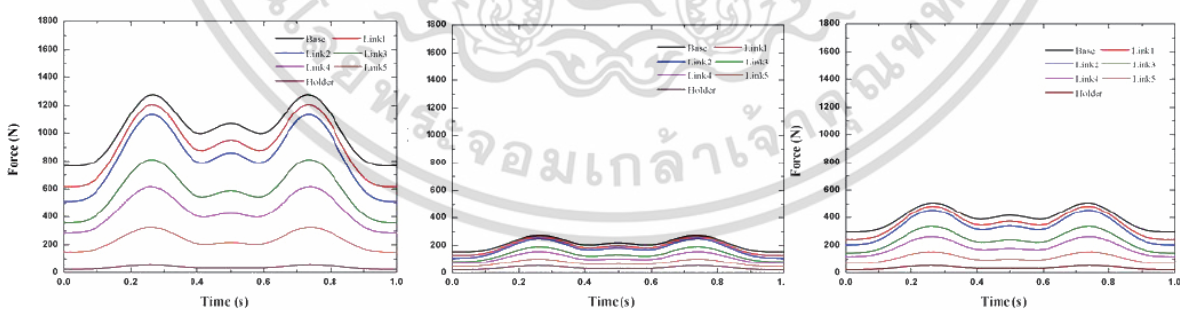
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขการใช้โปรแกรม MSC Adams

ลำดับ	หน้าที่	ตัวแปร	ความหมาย
1	Bodies	Modify Body : Mass	ใส่น้ำหนักของชิ้นงานที่จะวิเคราะห์
2	Bodies	Modify Body : Center of Mass Maker	ใส่จุดศูนย์กลางของทั้ง 3 แกน x,y,z
3	Connectors	Joints : Create rotary joint	เลือกชนิดของข้อต่อ
4	Motion	Joint Motion : Rotation	เลือกชนิดของข้อต่อและกำหนดเงื่อนไขการหมุน
5	Motion	Joint Motion : Function (time)	เลือกรูปแบบการใช้งาน (เวลา)



รูปที่ 4.7 การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้ซอฟต์แวร์ Catia และซอฟต์แวร์ Adams ช่วยในการวิเคราะห์



(a) เหล็กหล่อ

(b) พลาสติก

(c) อลูมิเนียม

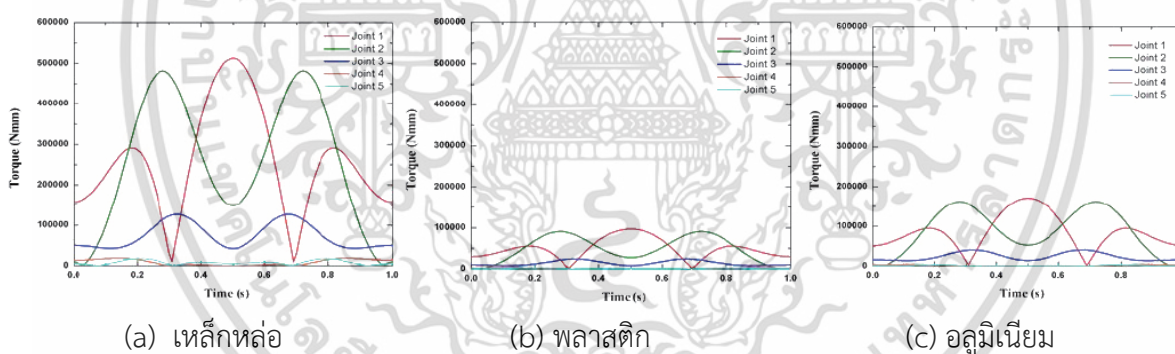
รูปที่ 4.8 แรงกับเวลาของชิ้นส่วนแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของแรงกับเวลาของชิ้นส่วนแขนกล

ลำดับ	แรงพลวัต (N)		
	เหล็กหล่อ	อลูมิเนียม	พลาสติก
ฐาน	1280	520	290
Link1	1200	490	280
Link2	1140	460	270
Link3	820	340	200
Link4	620	280	170
Link5	340	150	100
หัวจับ	60	55	50

แรงและเวลาในระหว่างการจำลองการเชื่อมโยงของโครงสร้างทั้งสามแสดงในรูปที่ 4.8 และผลของแรงในตารางที่ 4.4 ขนาดกำลังสูงสุดของผลลัพธ์บังคับที่สังเกตบนส่วนประกอบพื้นฐานคือ 1280 นิวตัน, 520 นิวตัน และ 290 นิวตัน สำหรับเหล็กหล่อ อลูมิเนียมและโพลีเอไมด์ ตามลำดับ เนื่องจากโหลดทั้งหมดถูกกดลงไปพื้นฐานจึงต้องใช้กำลังแรงสูงและแรงบิดในการขับเคลื่อนส่วนประกอบ น้ำหนักและโหลดรวมของวัสดุทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.9 ทอร์กกับเวลาของแต่ละข้อต่อ

ตารางที่ 4.5 ผลของค่าทอร์กกับเวลาของชิ้นส่วนแขนกล

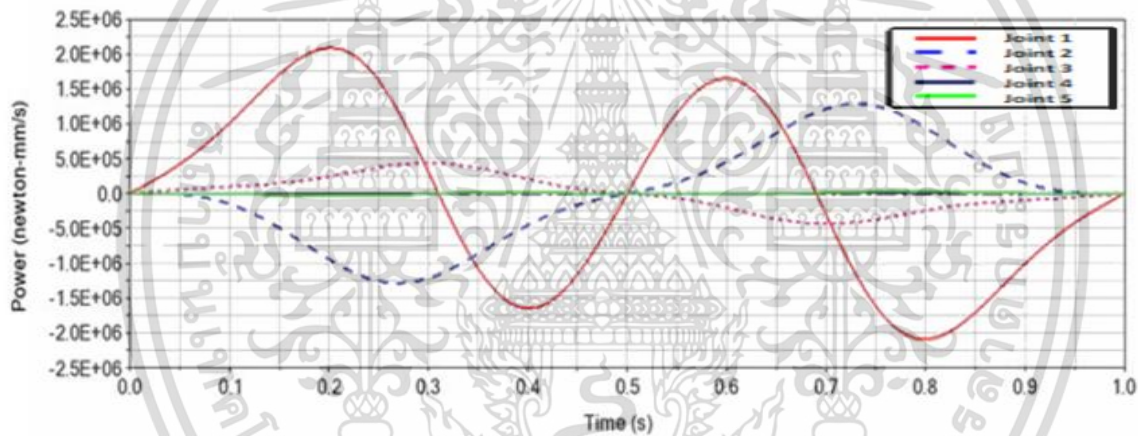
ลำดับ	ทอร์ก (N*m)		
	เหล็กหล่อ	อลูมิเนียม	พลาสติก
Joint 1	520	170	100
Joint 2	475	160	90
Joint 3	290	95	60
Joint 4	130	45	30
Joint 5	20	15	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

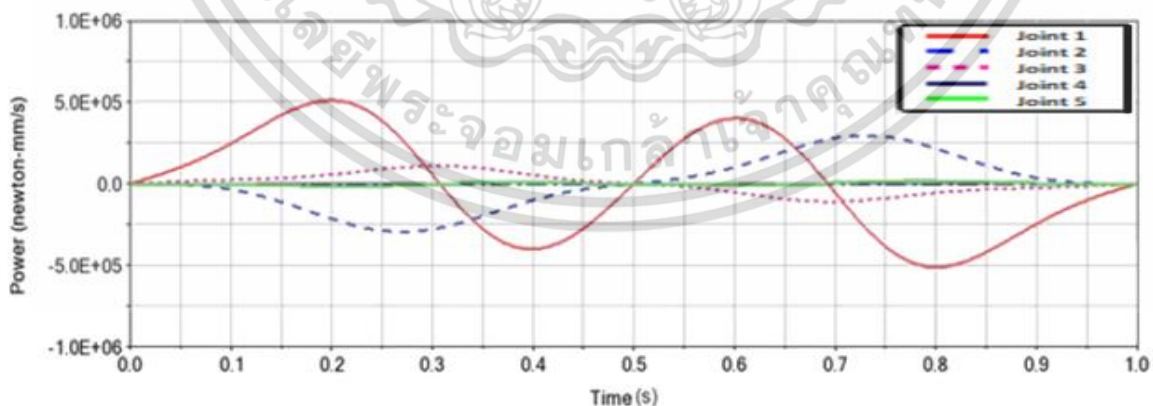
รูปที่ 4.9 แสดงการแปรผันของแรงบิดร่วมกับเวลาในระหว่างการจำลอง ทอร์ค (T) หมายถึงแรงหมุนหรือการบิด มันเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดแรงบิดของข้อต่อแต่ละตัวที่ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ แรงบิดสูงสุด 520 นิวตันเมตร ได้มาสำหรับเหล็กหล่อที่ Joint A ค่านี้สูงกว่าอลูมิเนียมและพลาสติกประมาณ 3.0 และ 5.2 เท่า เนื่องจากแรงที่ใช้ แรงบิดเพิ่มขึ้นตามความยาวและแรงบิดที่เพิ่มขึ้น แสดงในตารางที่ 4.5

4.3.2 การใช้พลังงานของแขนกล

การใช้พลังงานในแต่ละข้อต่อจะได้รับการวิเคราะห์เพิ่มเติมบนพื้นฐานของกาเคลื่อนไหวแขนกลตั้งแต่เริ่มต้น ($\theta = 0^\circ$) ถึงจุดสิ้นสุด ($\theta = 180^\circ$) น้ำหนักบรรทุกของแขนกลจะต้องมีน้ำหนักของลิงค์ (Link) ตัวยึดและโหลด (ชุดควบคุมกระจกไฟฟ้า) รูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าพลังงานของข้อต่อทั้งหมดค่อนข้างต่ำที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ นี่เป็นเพราะไดรฟ์มอเตอร์ไม่ได้โหลดเนื่องจากแรงเสียดทานต่ำ ความแตกต่างในการใช้พลังงานของแขนกลระหว่างพลาสติกและอลูมิเนียม นั้นต่ำกว่าระหว่างพลาสติกและเหล็กหล่อ และระหว่างอลูมิเนียมกับเหล็กหล่อประมาณ 23.26 และ 37.21% ตามลำดับ ผลของค่าการใช้พลังงานที่ข้อต่อต่างๆของหุ่นยนต์ดังแสดงตารางที่ 4.6

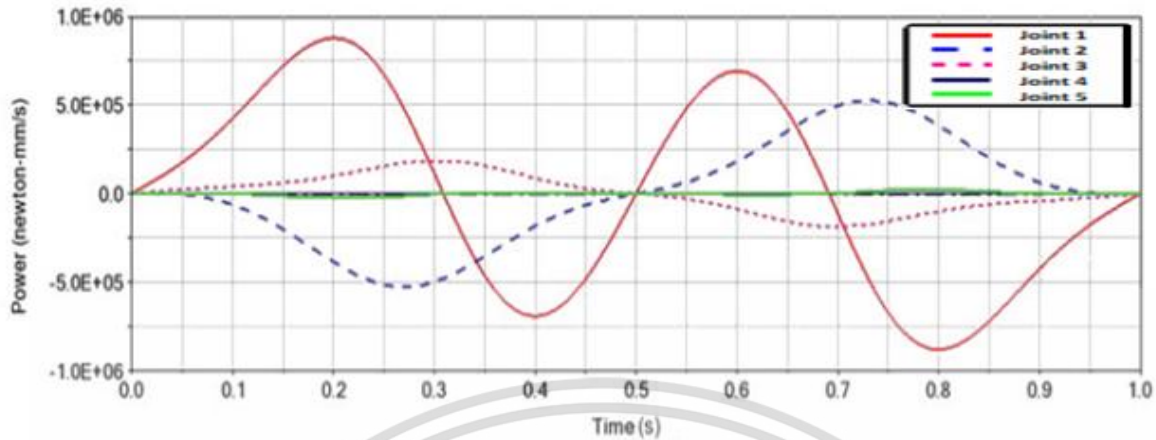


(a) เหล็กหล่อ



(b) พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) อลูมิเนียม

รูปที่ 4.10 การใช้พลังงานที่ข้อต่อต่างๆของหุ่นยนต์

ตารางที่ 4.6 ผลของค่าการใช้พลังงานที่ข้อต่อต่างๆของแขนกล

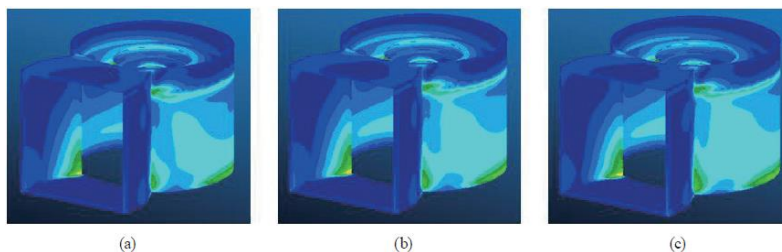
ลำดับ	พลังงาน (N*m/s)		
	เหล็กหล่อ	อลูมิเนียม	พลาสติก
Joint 1	2125	725	500
Joint 2	1300	500	260
Joint 3	500	240	125
Joint 4	52	50	41
Joint 5	26	25	21

4.3.3 ลักษณะทางกลของแขนกล

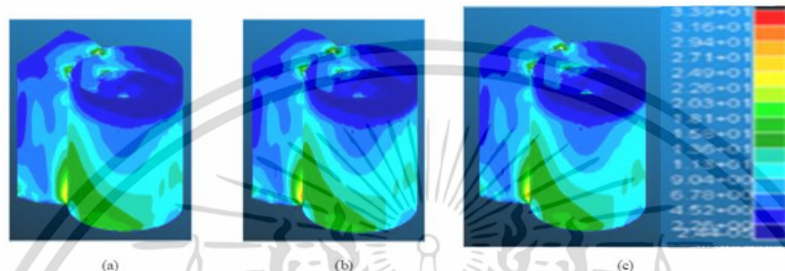
ความเครียดคงที่มีอยู่ในฐานที่สัมผัสกับพื้นดินและเชื่อมต่อกับลิงค์ (Link) 1 ผ่านข้อต่อแบบหมุน เป็นที่น่าสนใจในการตรวจสอบส่วนประกอบนี้เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกและวัตถุใช้แรงกดลงไปที่ฐาน ในรูปที่ 4.11 ความเครียดคงที่ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (หัวลิงก์และโหลด) คือ 3690, 1420 และ 759 kPa สำหรับโครงสร้างเหล็กหล่อ อลูมิเนียมและโพลีเอไมด์ตามลำดับ โอกาสในการเสียรูปของฐานสามารถทำนายได้โดยกำลังรับแรงของวัสดุ จำนวนความผิดปกติที่น้อยที่สุดนั้นพบว่าเป็นอลูมิเนียม 0.34%, 0.35% สำหรับโพลีเอไมด์และ 1.845% สำหรับเหล็กหล่อ

การเพิ่มประสิทธิภาพแบบพลวัตของแขนกลมีความสำคัญในการปรับปรุงความแม่นยำในการทำงาน ในระบบปฏิบัติการพบว่าความถี่ธรรมชาติของแขนหุ่นยนต์บนฐานคือ 65.975, 68.335 และ 28.811 Hz สำหรับเหล็กหล่อ อลูมิเนียมและพลาสติกโพลีเอไมด์ตามลำดับ ความถี่ธรรมชาติคือความถี่ที่ระบบมีแนวโน้มที่จะแกว่งเมื่อไม่มีแรงผลักดันหรือแรงสั่นสะเทือน ยิ่งไปกว่านั้นมันก่อให้เกิดความเครียดแบบพลวัตสูงสุดที่ 417000, 273000 และ 33900 kPa บนฐานเหล็กหล่อ, อลูมิเนียมและโพลีเอไมด์ตามลำดับดังที่เห็นในรูปที่ 4.12 ความเสียหายเกิดขึ้นที่โครงสร้างเหล็กหล่อเนื่องจากความเครียดสูงสุดเกิน ความแข็งแรงผลผลิตของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แรงเค้นที่กระทำต่อฐานของโครงสร้างแขนกลของสามวัสดุ (a) เหล็กหล่อ, (b) อลูมิเนียม, และ (c) พลาสติก



รูปที่ 4.12 แรงแบบพลวัตบนฐานของโครงสร้างแขนกลของสามวัสดุ (a) เหล็กหล่อ, (b) อลูมิเนียม, และ (c) พลาสติก

4.3.4 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรมในการวิเคราะห์ความเครียดของแขนกล การวิเคราะห์ความเค้นของส่วนประกอบด้วยซอฟต์แวร์ MSC Nastran



รูปที่ 4.13 โปรแกรม MSC Nastran ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างของแขนกล

ตารางที่ 4.7 เงื่อนไขข้อกำหนดของวัสดุ

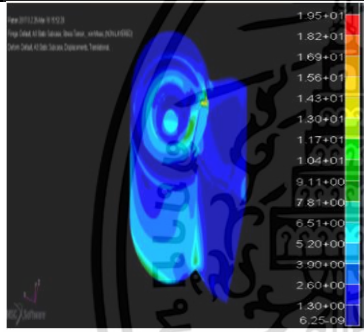
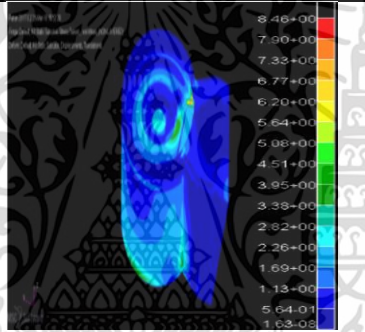
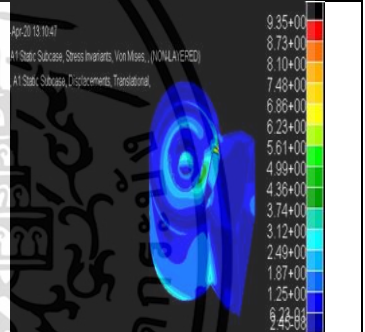
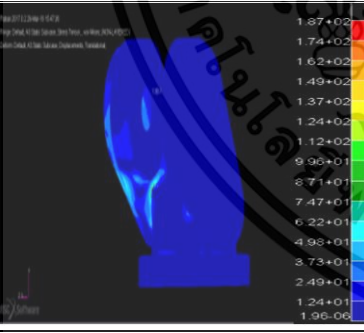
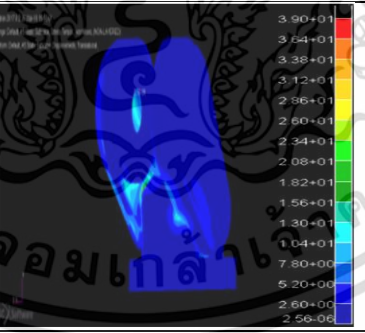
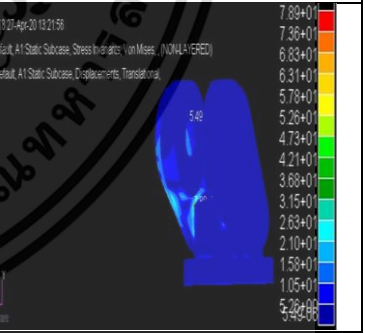
ลำดับ	ตัวแปร	ความหมาย
1	Action : สร้าง	ใส่คุณสมบัติของวัสดุ
2	Object : แบบรูปไอโซโทรปิก	เลือก Isotropic และคุณสมบัติทางกลแบบ 3 แกน
3	Method : วิธีการ	เลือกวัสดุด้วยวิธีแบบกำหนดเอง
4	Constitutive model : อีลาสติคเชิงเส้น	เลือกการวิเคราะห์โมเดลด้วยอีลาสติคเชิงเส้น
5	โมดูลัสยืดหยุ่น	ใส่ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ
6	อัตราส่วนปัวซอง	ใส่ค่าอัตราส่วนปัวซองของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 เงื่อนไขการทำตาข่ายของใน MSC

ลำดับ	ตัวแปร	ความหมาย
1	Action : สร้าง	สร้างตาข่าย
2	Object : สร้างรูปทรงตาข่าย	เลือกตาข่ายสำหรับวิเคราะห์แรงของชิ้นส่วน
3	Type : ความแข็งแรง	เลือกชนิดของชิ้นส่วนแบบของแข็ง
4	Element shape : Tet	เลือกรูปร่างขององค์ประกอบเป็นแบบTetrahedron
5	Mesher : Tetmesh	เลือกตาข่ายแบบ Tetmesh
6	Topology : Tet 10	เลือก topology แบบ node 10 ด้วย tetra 10
7	Value : 0.8	ใส่ขนาดขององค์ประกอบ

ตารางที่ 4.9 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียม

เหล็กหล่อ	พลาสติก	อลูมิเนียม
		
(ฐาน) Max Stress : 19500 kPa	Max Stress : 8460 kPa	Max Stress : 9350 kPa
		
(ข้อต่อA) Max Stress : 187000 kPa	Max Stress : 39000 kPa	Max Stress : 78900 kPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9(ต่อ) ผลวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียม

เหล็กหล่อ	พลาสติก	อลูมิเนียม
<p>1.05+02 9.83+01 9.13+01 8.43+01 7.73+01 7.02+01 6.32+01 5.62+01 4.92+01 4.21+01 3.51+01 2.81+01 2.11+01 1.40+01 7.02+00 0.00-05</p>	<p>3.94+01 3.68+01 3.42+01 3.15+01 2.89+01 2.63+01 2.37+01 2.10+01 1.84+01 1.58+01 1.31+01 1.05+01 7.89+00 5.26+00 2.63+00 3.01-05</p>	<p>4.14+01 3.86+01 3.59+01 3.31+01 3.03+01 2.76+01 2.48+01 2.21+01 1.93+01 1.66+01 1.38+01 1.10+01 8.28+00 5.52+00 2.76+00 0.16-08</p>
(ข้อต่อB) Max Stress : 105000 kPa	Max Stress : 39400 kPa	Max Stress : 41400 kPa
<p>5.07+01 4.73+01 4.39+01 4.05+01 3.72+01 3.38+01 3.04+01 2.70+01 2.36+01 2.03+01 1.69+01 1.35+01 1.01+01 6.76+00 3.38+00 1.38-03</p>	<p>2.62+01 2.45+01 2.27+01 2.10+01 1.92+01 1.75+01 1.57+01 1.40+01 1.22+01 1.05+01 8.74+00 6.99+00 5.25+00 3.50+00 1.75+00 5.03-04</p>	<p>2.83+01 2.64+01 2.45+01 2.27+01 2.08+01 1.89+01 1.70+01 1.51+01 1.32+01 1.13+01 9.44+00 7.55+00 5.67+00 3.78+00 1.89+00 1.03-08</p>
(ท่อนแขน1)Max Stress:50700 kPa	Max Stress : 26200 kPa	Max Stress : 28300 kPa
<p>2.82+02 2.63+02 2.45+02 2.26+02 2.07+02 1.88+02 1.69+02 1.51+02 1.32+02 1.13+02 9.41+01 7.53+01 5.65+01 3.76+01 1.88+01 1.23-05</p>	<p>1.02+02 9.53+01 8.85+01 8.16+01 7.48+01 6.80+01 6.12+01 5.44+01 4.76+01 4.08+01 3.40+01 2.72+01 2.04+01 1.36+01 6.80+00 1.11-06</p>	<p>1.13+02 1.06+02 9.81+01 9.05+01 8.20+01 7.54+01 6.79+01 6.03+01 5.28+01 4.53+01 3.77+01 3.02+01 2.26+01 1.51+01 7.54+00 1.53-08</p>
(ท่อนแขน2)Max Stress:282000 kPa	Max Stress : 102000 kPa	Max Stress : 113000 kPa
<p>2.40+01 2.24+01 2.08+01 1.92+01 1.76+01 1.60+01 1.44+01 1.28+01 1.12+01 9.60+00 8.00+00 6.40+00 4.80+00 3.20+00 1.60+00 4.14-03</p>	<p>1.44+01 1.34+01 1.25+01 1.15+01 1.06+01 9.60+00 8.64+00 7.68+00 6.72+00 5.76+00 4.80+00 3.84+00 2.88+00 1.92+00 9.62+01 3.21-03</p>	<p>1.38+01 1.29+01 1.20+01 1.10+01 1.01+01 9.20+00 8.28+00 7.36+00 6.44+00 5.52+00 4.60+00 3.68+00 2.77+00 1.85+00 9.31+01 1.32-02</p>
(ข้อต่อC) Max Stress : 24000 kPa	Max Stress : 14400 kPa	Max Stress : 13800 kPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 จะเป็นการเปรียบเทียบความเครียดของชิ้นงานทั้ง 3 ชนิดได้แก่วัสดุเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียม โดยแยกการวิเคราะห์ออกเป็นชิ้นส่วนๆ ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนจะแสดงค่าความเครียดที่สูงสุดไว้ จะเห็นได้ว่าวัสดุทุกประเภทจะมีความเครียดสูงสุดอยู่ที่ชิ้นส่วนท่อนแขนกล 2 และความเครียดน้อยที่สุดจะ Joint C เป็นที่น่าสนใจในการตรวจสอบส่วนประกอบนี้เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกและวัตถุใช้แรงกดลงไปพื้นฐาน ความเครียดคงที่ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (ห้าลิงค์และโหลด) สำหรับโครงสร้างเหล็กหล่อ อลูมิเนียมและโพลีเอไมด์ตามลำดับ โอกาสในการเสียรูปของแขนกลสามารถทำนายได้โดยกำลังรับแรงของวัสดุ พบว่าวัสดุที่ดีที่สุดในการทำชิ้นส่วนแขนกลคือ อลูมิเนียม พลาสติกและเหล็กหล่อ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลสรุปการวิเคราะห์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียม

ลำดับ	วัสดุ	แรงไดนามิก	ความแข็งแรงของวัสดุ	ความเค้นสูงสุด	ค่าความปลอดภัย
1	เหล็กหล่อ	4712.7 N	200000 kPa	282000 kPa	2.03
2	พลาสติก	2235.8 N	216000 kPa	102000 kPa	2.11
3	อลูมิเนียม	3188.9 N	414000 kPa	113000 kPa	3.66

ตารางที่ 4.10 แสดงถึงผลสรุปการวิเคราะห์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของเหล็กหล่อ พลาสติกและอลูมิเนียมทั้ง 3 ชนิด จากผลของตาราง วัสดุอลูมิเนียม มีค่าความปลอดภัยมากที่สุด 3.66 มีค่าความแข็งแรงของวัสดุมากที่สุดที่ 414000 kPa ถัดไปเป็นพลาสติก และสุดท้ายเป็นเหล็กหล่อ

4.4 การควบคุมแรงของชุดขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์สามารถใช้เครื่องมือ แคลมป์มิเตอร์วัดค่าของกระแสที่ใช้งานดังรูปที่ 4.15



เหล็กหล่อ



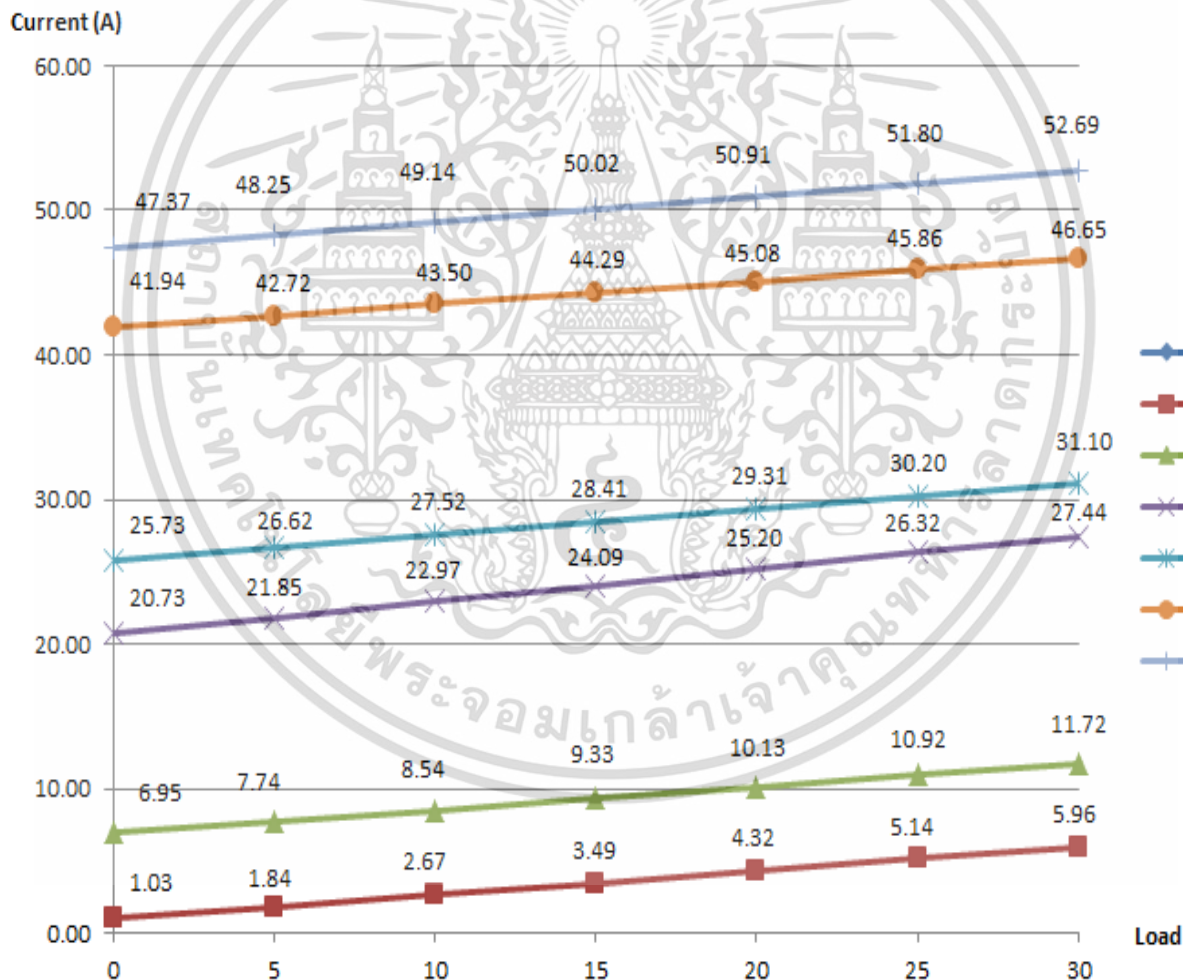
พลาสติก

รูปที่ 4.14 แขนกลและเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

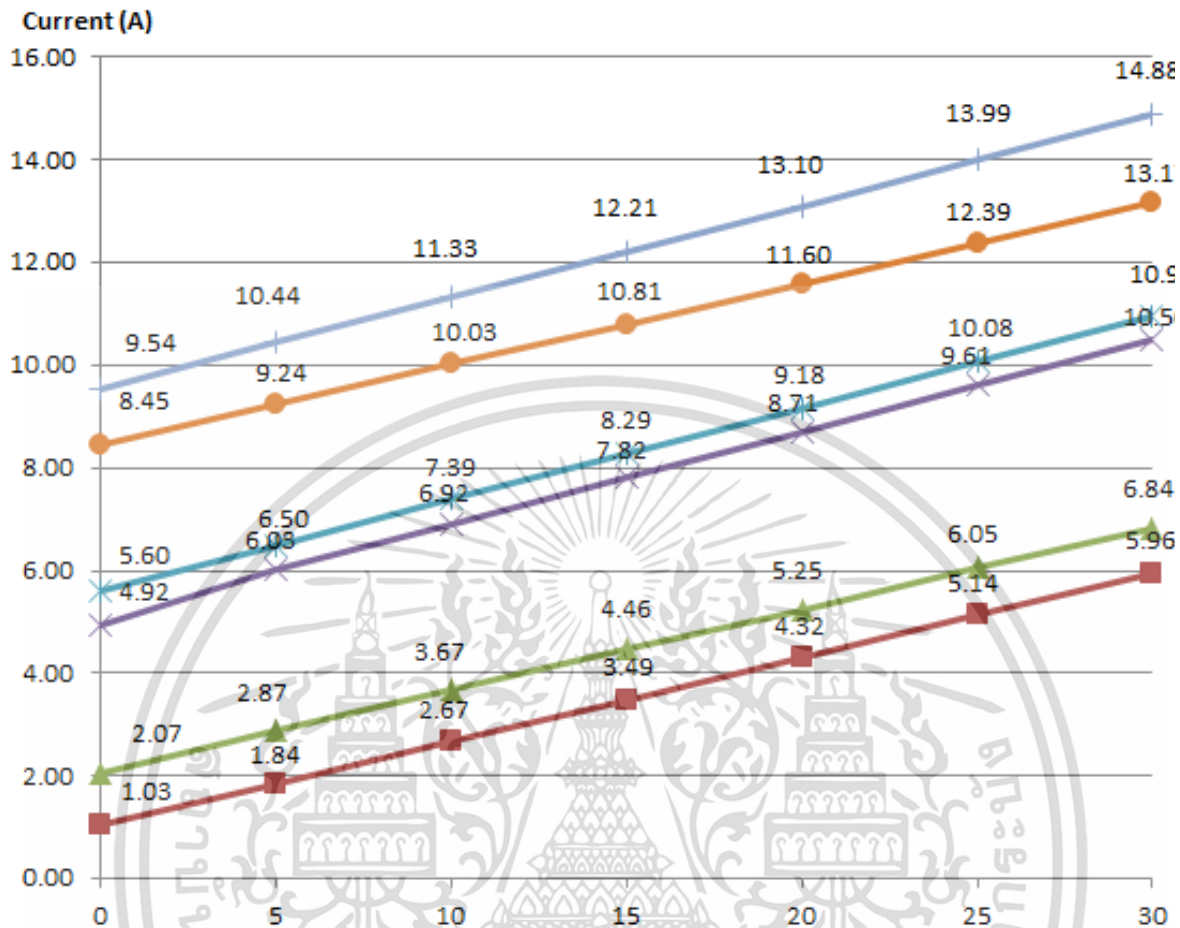
ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลของแรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์

น้ำหนักในการทดสอบ (N)	เหล็กหล่อ							พลาสติก โพลีเอมาต์						
	กระแส (A)							กระแส (A)						
	Holder	Link5	Link4	Link3	Link2	Link1	Base	Holder	Link5	Link4	Link3	Link2	Link1	Base
0	0	1.03	6.95	20.73	25.73	41.94	47.37	0	1.03	2.07	4.92	5.60	8.45	9.54
5	0	1.84	7.74	21.85	26.62	42.72	48.25	0	1.84	2.87	6.03	6.50	9.24	10.44
10	0	2.67	8.54	22.97	27.52	43.50	49.14	0	2.67	3.67	6.92	7.39	10.03	11.33
15	0	3.49	9.33	24.09	28.41	44.29	50.02	0	3.49	4.46	7.82	8.29	10.81	12.21
20	0	4.32	10.13	25.20	29.31	45.08	50.91	0	4.32	5.25	8.71	9.18	11.60	13.10
25	0	5.14	10.92	26.32	30.20	45.86	51.80	0	5.14	6.05	9.61	10.08	12.39	13.99
30	0	5.96	11.72	27.44	31.10	46.65	52.69	0	5.96	6.84	10.50	10.97	13.17	14.88



(a) แรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์ วัสดุเหล็กหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) แรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์ วัสดุพลาสติก

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์ของวัสดุสองชนิด

จากตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบข้อมูลของแรงและกระแสของเซอร์โวมอเตอร์ของแต่ละแกน ซึ่งใช้วัสดุสองชนิดคือเหล็กหล่อและพลาสติก โดยใช้งานที่มีแรงแตกต่างกันตั้งแต่ 0-30 นิวตันหรือ 3 กิโลกรัม และรูปที่ 4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานระหว่างน้ำหนักที่ใช้กับกระแสที่ต้องใช้ของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละแกนของวัสดุเหล็กหล่อและพลาสติก อาทิเช่น หากใช้แขนกลเดิมเหล็กหล่อน้ำหนักที่ 20 นิวตันหรือ 2 กิโลกรัมที่ฐานจะต้องใช้กระแส 50.91 แอมป์ ถ้าเป็นแขนกลที่ใช้พลาสติกยกน้ำหนักที่ 20 นิวตันหรือ 2 กิโลกรัมที่ฐานจะต้องใช้กระแส 13.10 แอมป์

ตารางที่ 4.12 การประหยัดพลังงานเมื่อเปลี่ยนเป็นพลาสติกโพลีเอไมด์

แรง (N)	% การประหยัดพลังงาน							เฉลี่ย
	Holder	Link5	Link4	Link3	Link2	Link1	Base	
0	0	-	70.2	76.3	78.2	79.9	79.9	76.9
5	0	-	62.9	72.4	75.6	78.4	78.4	73.5
10	0	-	57.0	69.9	73.1	76.9	76.9	70.8
15	0	-	52.2	67.5	70.8	75.6	75.6	68.3
20	0	-	48.2	65.4	68.7	74.3	74.3	66.2
25	0	-	44.6	63.5	66.6	73.0	73.0	64.1
30	0	-	41.6	61.7	64.7	71.8	71.8	62.3

จากตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเซอร์โวมอเตอร์จำนวน 6 ตัว และมีการแบ่งประเภทของเซอร์โวมอเตอร์เป็นจำนวน 5 ประเภทขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้เพื่อให้เหมาะสมกับ ค่าแรงบิดสูงสุดของแต่ละแกน โดยในการทดลองนั้นจะทำการแบ่งแรงในการทดลองเป็น 7 โหลดคือ 0 นิวตัน (แขนกลไม่มีน้ำหนัก) 5นิวตัน, 10นิวตัน, 15นิวตัน, 20นิวตัน, 25นิวตันและ30นิวตัน โดยสามารถจะสรุปผลการประหยัดพลังงานได้ดังนี้ เมื่อเราใช้แขนกลพลาสติกยกของที่มีน้ำหนัก 20 นิวตัน เฉลี่ยจะประหยัดพลังงานไปได้ 66.2% ซึ่งหากเราใช้น้ำหนักน้อยก็จะใช้พลังงานต่ำและหากยกน้ำหนักมาก ๆ ก็จะใช้พลังงานที่สูง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำผลจากการจำลองการออกแบบชิ้นส่วน แขนกลของชุดควบคุม กระจกไฟฟ้าโดยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มายืนยันเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนได้อย่างถูกต้องตาม มาตรฐานที่กำหนดและสร้างความน่าเชื่อถือ ความมั่นใจ โดยส่งผลทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดทำ ชิ้นงานตัวอย่างลง

การจำลองสถานการณ์สำหรับการออกแบบแขนกล หัวแกนของข้อต่อ (Joint) โรตารีสี่ตัวและปริซึม ปริซึมหนึ่งอันถูกนำมาใช้ในการออกแบบ วิเคราะห์ส่วนประกอบเหล็กหล่อ, พลาสติกโพลีเอไมด์และ อลูมิเนียมด้วยซอฟต์แวร์ MSC Adams และ Nastran โดยมีข้อสรุปดังต่อไปนี้:

- (1) แรงสูงสุดแบบพลวัตของเหล็กหล่อที่ฐานมีค่าเท่ากับ $2125 \text{ N}\cdot\text{m/s}$ และแรงสูงสุดแบบพลวัตของ โพลีเอไมด์ที่ฐานมีค่าเท่ากับ $500 \text{ N}\cdot\text{m/s}$ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัสดุโพลีเอไมด์ เพราะวัสดุมี น้ำหนักเบา
- (2) ค่าความเค้นสูงสุดของเหล็กหล่อเท่ากับ 282000 kPa และค่าความเค้นสูงสุดโพลีเอไมด์เท่ากับ 102000 kPa งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัสดุโพลีเอไมด์ โดยที่วัสดุโพลีเอไมด์ยังคงมีค่าเผื่อความ ปลอดภัยเท่ากับ 2.11
- (3) พลาสติกโพลีเอไมด์สามารถนำมาใช้เพื่อลดน้ำหนักได้ 80% เมื่อเทียบกับวัสดุเหล็กหล่อ
- (4) พลาสติกโพลีเอไมด์สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย 68.8 %

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ

5.2.1 การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อออกแบบชิ้นส่วนแขนกลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการออกแบบแขนกลขนาดอื่นๆ และสามารถออกแบบแขนกลใช้งาน ภายในองค์กรได้เอง

5.2.2 ผลที่ได้จากการศึกษางานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเฉพาะงานชิ้นส่วนของแขนกลเท่านั้น ไม่สามารถ นำไปใช้ได้กับชิ้นงานประเภทอื่นๆ แต่สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาแขนกลราคาถูกลงต่อไปได้

5.2.3 งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการออกแบบแขนกลขนาด 3 kg

บรรณานุกรม

- [1] B.Siwawong and K.Somyot (2018). Development of a new base of a robot arm using finite element analysis, International Electrical Engineering Congress (IEECON), vol. 7, pp.739-742.
- [2] H.S. Park, X.P. Dang, A. Roderburg (2015). B. Nau, Development of plastic front side panels for green cars, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol.6, pp.44-52.
- [3] Siwawong Buthgate, Anakkapon Seanthon and Somyot Kaitwanidvilai (2017). Development of a new part of casing cap for the parking brake cable using finite element analysis, International Journal of Innovative Computer Information and Control, vol.13, pp.659-670.
- [4] T.J. Young, L.E. Crocker, W.R. Broughton, S.L. Ogin, P.A. Smith (2013). Observations on interphase characterization in polymer composites by nano-scale indentation using AFM and FEA, Composites: Part A, vol.50, pp.39-43.
- [5] B.Siwawong, S.Anakkapon and K.Somyot (2017). Reliability design optimization of casing cap by sample test and FEA, The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS), vol.2 , pp.879-883.
- [6] Valeriy A. Buryachenko and Michele Brun (2015). FEA in elasticity of random structure composites reinforced by heterogeneities of non canonical shape, International Journal of Solids and Structures, vol.48, pp.719-728.
- [7] H. Burak Ustaoglu, Sena Ayhün, Gökay Simitcioğlu, Sedat Süsler , Erdem Akay, Vedat Z. Doğan, Zahit Mecitoğlu, Halit S. Türkmen, Serter Atamer (2015). Static and Dynamic Analysis of Plastic Fuel Tanks used in Buses, International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading, vol.3, pp.509-517.
- [8] Bathina sreenivasulu, G. Prasanthi (2014). FEA Simulation analysis of tube hydroforming process using DEFORM-3D. Global Congress on Manufacturing and Management, vol. 12, pp.1187-1197.
- [9] Zhang Yongqi, Tan Qingchang, Zhang Kuo, Li Jiangang (2013). Analysis of Stress and Strain of the Rolling Bearing by FEA Method, International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, vol.24, pp.19-24.
- [10] Alba Sofi, Eugenia Romeo (2016). A novel Interval Finite Element Method based on the improved interval analysis, Computer Methods in Applied Mechanics & Engineering, vol.311, pp.671-697.

- [11] P. Gélat and N. Saffari, S. Freear and S. Harput (2015). The Dynamic Excitation of a Chain of Pre-Stressed Spheres for Biomedical Ultrasound Applications: Contact Mechanics Finite Element Analysis and Validation, IEEE International Ultrasonic Symposium Proceedings, pp 1-4.
- [12] Zhao Liu, Li-Bin Song, Ye Li and Bo-Zhao Pan (2017). Comparison of Finite Element and Experimental Modal Analysis of Multi-Joint Flexible Robotic Arm, IEEE International Conference on Mechanical, System and Control Engineering, pp 96-100.
- [13] Nobuhiro Anzai, Mitsuru Fujita, Kazutoshi Sakamaki, and Yoshiharu Kariya (2017). Analysis of stress buffer effect of polyimide for board level drop test by a finite element analysis, iMPACT International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology conference, pp 120-123.
- [14] Dong-tai He and Yu Guo (2016). Finite Element Analysis of Humanoid Robot Arm, International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), vol.13, pp.772-776.
- [15] Yuri G. Soloveichik, Marina G. Persova and Denis V. Vagin (2016). Software for Finite Element Analysis of Stress-raisers in Composite Laminates, International Scientific-Technical Conference APETE, vol.13, pp.339-342.
- [16] Y Wang, L H Zhong, X H YU, Y B Wang and C Y Xie (2017). Design and Finite Element Analysis for the Resin Guidedvane, International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC), vol.9, pp.290-295.
- [17] Zhenishbek Zhakypov and Jamie Paik (2018). Design Methodology for Constructing Multimaterial Origami Robots and Machines, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, vol.34, pp.151-164.
- [18] Seong-yeol Yoo, Bong-Huan Jun, Hyungwon Shim, Pan-Mook Lee and Boram Kim (2013). Finite Element Analysis of Carbon Fiber Reinforced Plastic Body Frame for Seabed Robot, Crabster200, MTS/IEEE OCEANS-Bergen, pp.1-4.
- [19] Lu Liu and Yao Yao (2017). Micromechanical modeling of the cyclic behavior of Sn-O.7Cu solder based on micromechanical polycrystalline approach, International Conference on Electronic Packaging Technology(ICEPT), vol.18, pp.197-202.
- [20] Kvun-Sick Lee, Sung-Jin Park and Tae-Kyung Han (2017). Finite Element Analysis of the Drop Test for Plastics Using Tensile Properties at High Strain Rates, IEEE Inter Forum strategic technology, pp.77-80.
- [21] Abdullah Mohammed, Bernard Schmidt, Lihui Wang and Liang Gao (2014). Minimizing Energy Consumption for Robot Arm Movement, International Conference on Digital Enterprise, 8th, pp.400-405.

- [22] Warodom Tuajinda (2016). *Analysis and Control of Industrial Robot*, Bangkok, Chulalongkorn, 1st edition.
- [23] Pramote Dechaumpai (2012). *Finite Element Method in Engineering*, Bangkok, Chulalongkorn, 2nd edition.
- [24] Ampika Kairit, *Value Engineering VE*, Bangkok, Se-education, 4th edition, 2536.
- [25] Narongsak Thamchot, *Engineering Material*, Bangkok, Se-education, 2nd edition, 2006.
- [26] ANSYS. (2556). Harmonic Response [Online], <https://ansyshelp.ansys.com/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

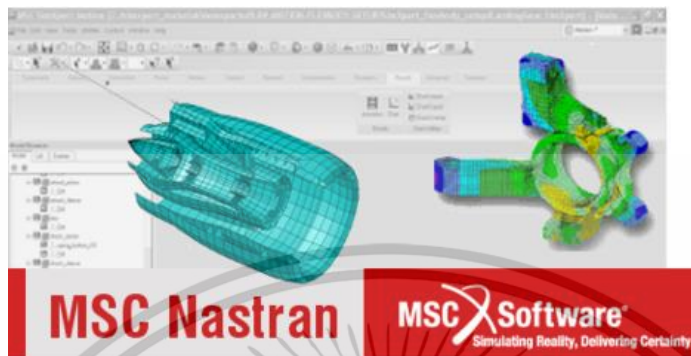


ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis)
ด้วยโปรแกรม MSC Nastran

ขั้นตอนที่ 1 เปิดใช้งานโปรแกรม MSC Nastran



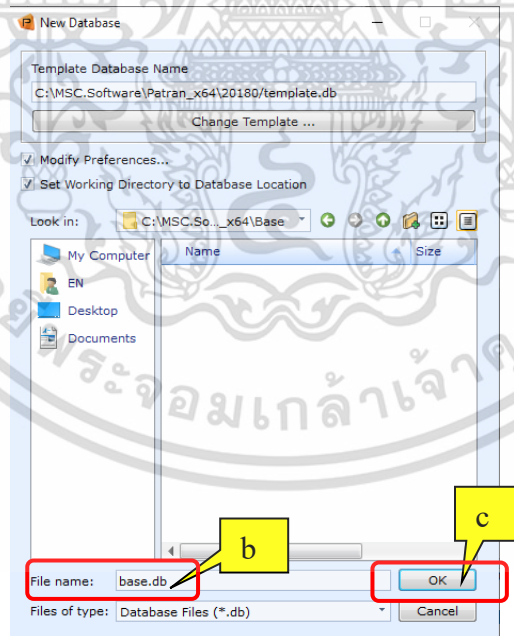
ขั้นตอนที่ 2 สร้างฐานข้อมูลใหม่และตั้งค่ารูปแบบ:

a. ได้แท็บหน้าแรกคลิกใหม่ในค่าเริ่มต้น



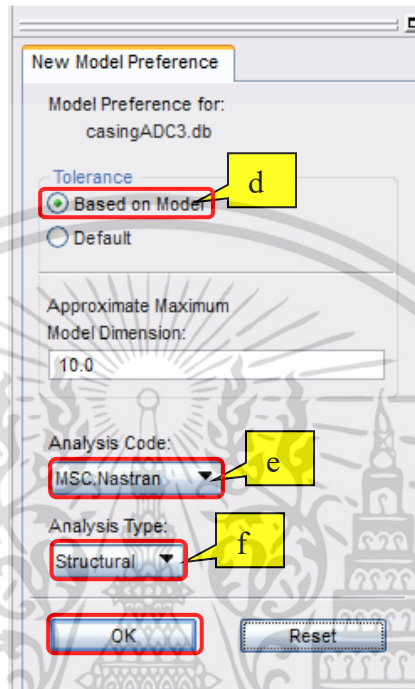
b. เลือกแฟ้มที่ต้องการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ (ชิ้นส่วนแขนกล)

c. เลือกตกลง



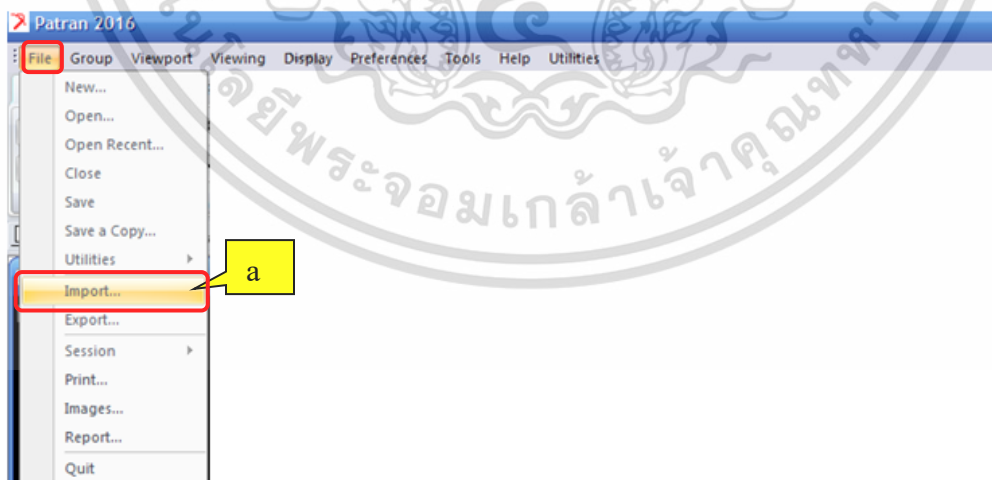
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- d. ในหัวข้อ Tolerance เลือก Base on model
- e. ในหัวข้อ Analysis code เลือก MSC. Nastran
- f. ในหัวข้อ Analysis type เลือก Structural
- g. เลือก OK



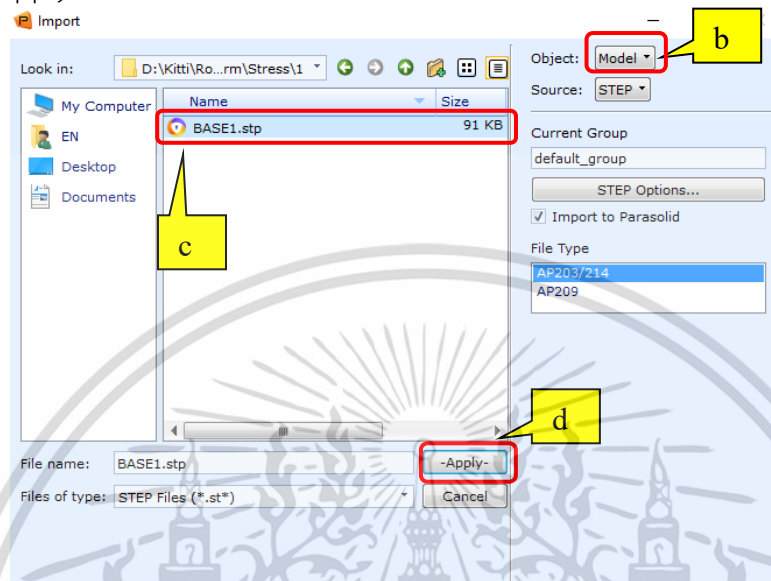
ขั้นตอนที่ 3 นำเข้ารูปทรงทางเรขาคณิต

- a. เข้าที่ file เลื่อนลงไปที่ Import.

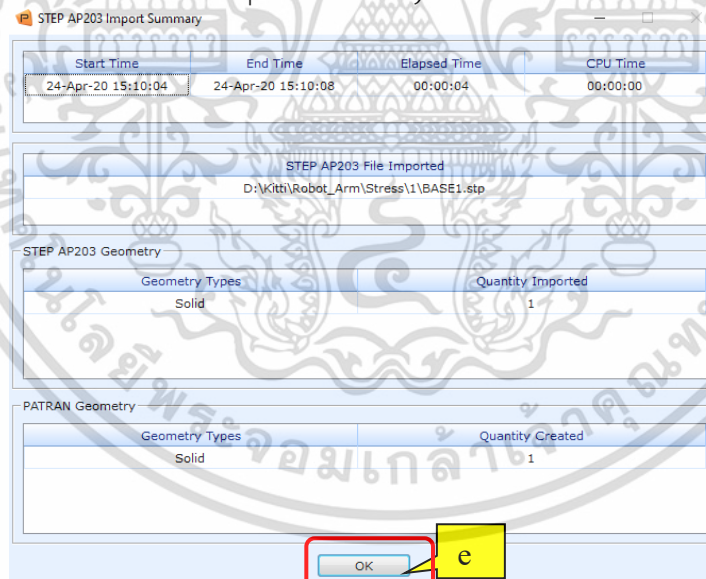


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

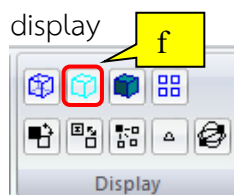
- b. หัวข้อ source กดเลือก STEP
 c. เลือกเพิ่ม base.stp
 d. เลือก apply.



- e. เลือก OK บนหน้าต่าง STEP import summary.



- f. เลือก smooth shaded ในกลุ่ม display

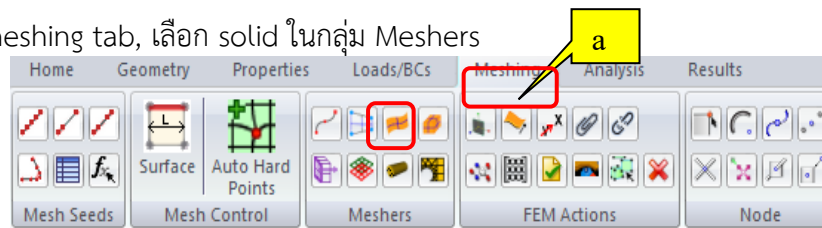


- g. ลากเมาส์กลางเพื่อหมุนแบบจำลองให้เป็นแนวเดียวกันกับที่ปรากฏอยู่ในหน้าถัดไป

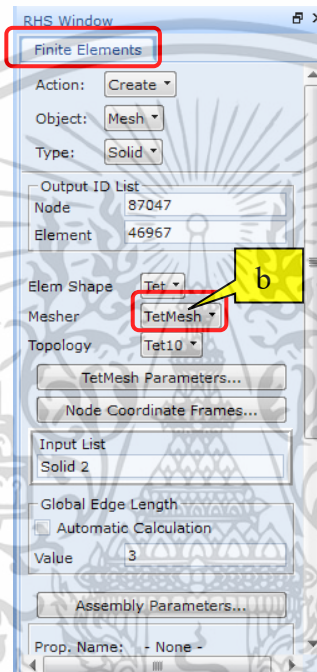
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 สร้างตาข่ายของไฟไนต์อิลิเมนต์

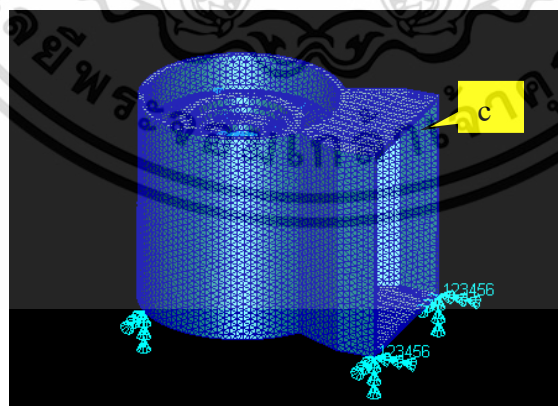
- a. meshing tab, เลือก solid ในกลุ่ม Meshers



- a. หน้าต่าง Finite Element, หัวข้อ Mesher , และ Topology> Tet, TetMesh and Tet10, ตามลำดับ



- c. เลือก the solid in the viewport.

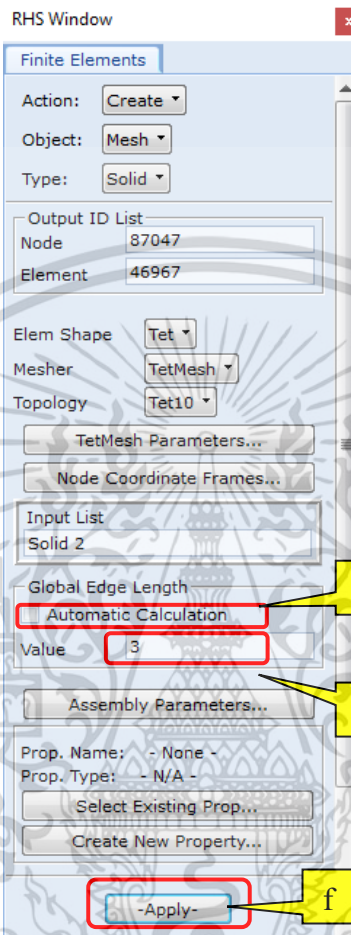


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d. ไม่ต้องเลือก Automatic Calculation.

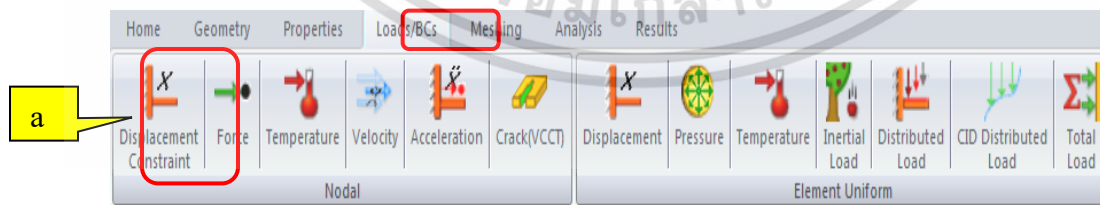
e. ป้อน 0.8 สำหรับ value

f. เลือก Apply



ขั้นตอนที่ 5 Create Constraints

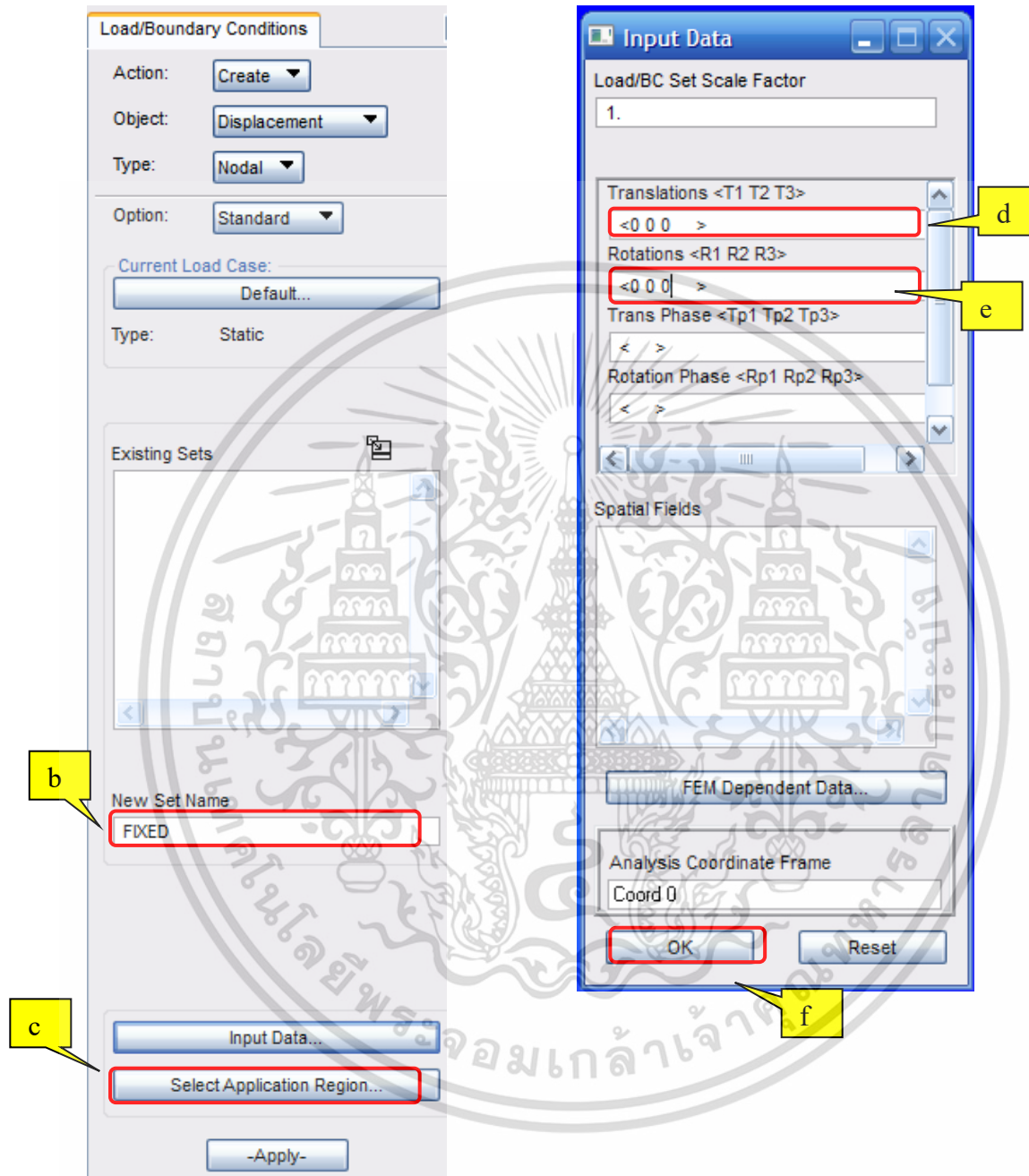
a. หัวข้อ Loads/BCs, เลือก Displacement Constraint ในกลุ่ม Nodal



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b. หัวข้อ new set name ให้เลือก fixed

c. เลือกภาษา



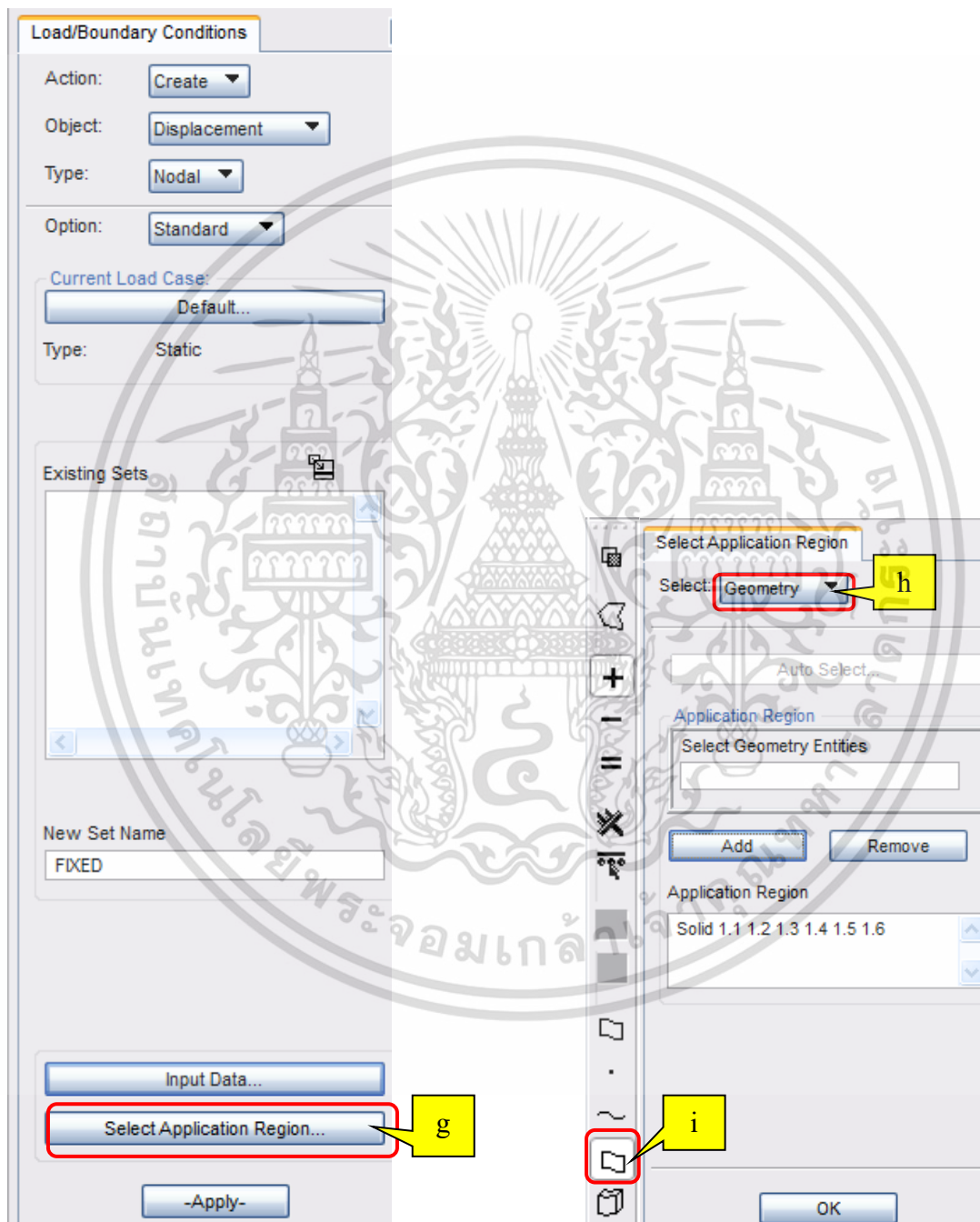
d. Translations <T1 T2 T3> เลือก <0 0 0 >

e. Rotations <R1 R2 R3> เลือก <0 0 0 >

f. เลือก OK.

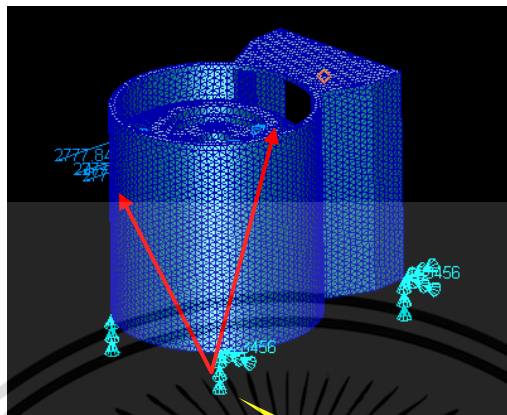
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- g. เลือก select Application region...
- h. ในหัวข้อ select เลือก Geometry.
- i. เลือก Surface บน the picking Fillers toolbar.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

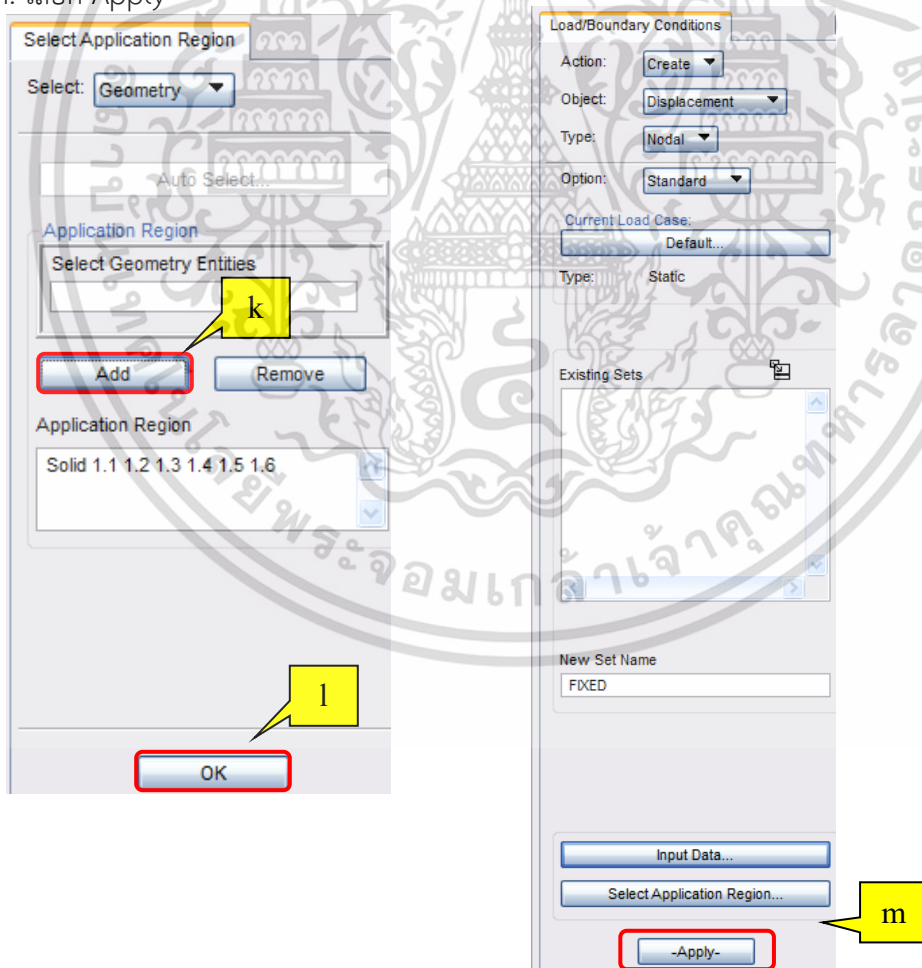
j. เลือก cylindrical all face of the base.



k. เลือก Add

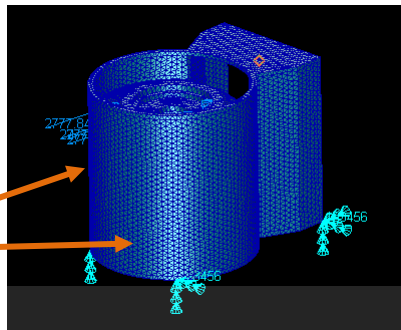
l. เลือก Ok

m. เลือก Apply



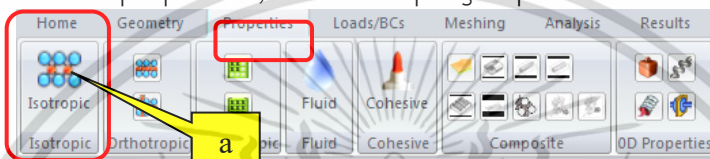
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The cylindrical face
in the hole of base.



ขั้นตอนที่ 6 สร้างคุณสมบัติของวัสดุ

- a. เลือกหน้าต่าง properties , เลือก Isotropic group.



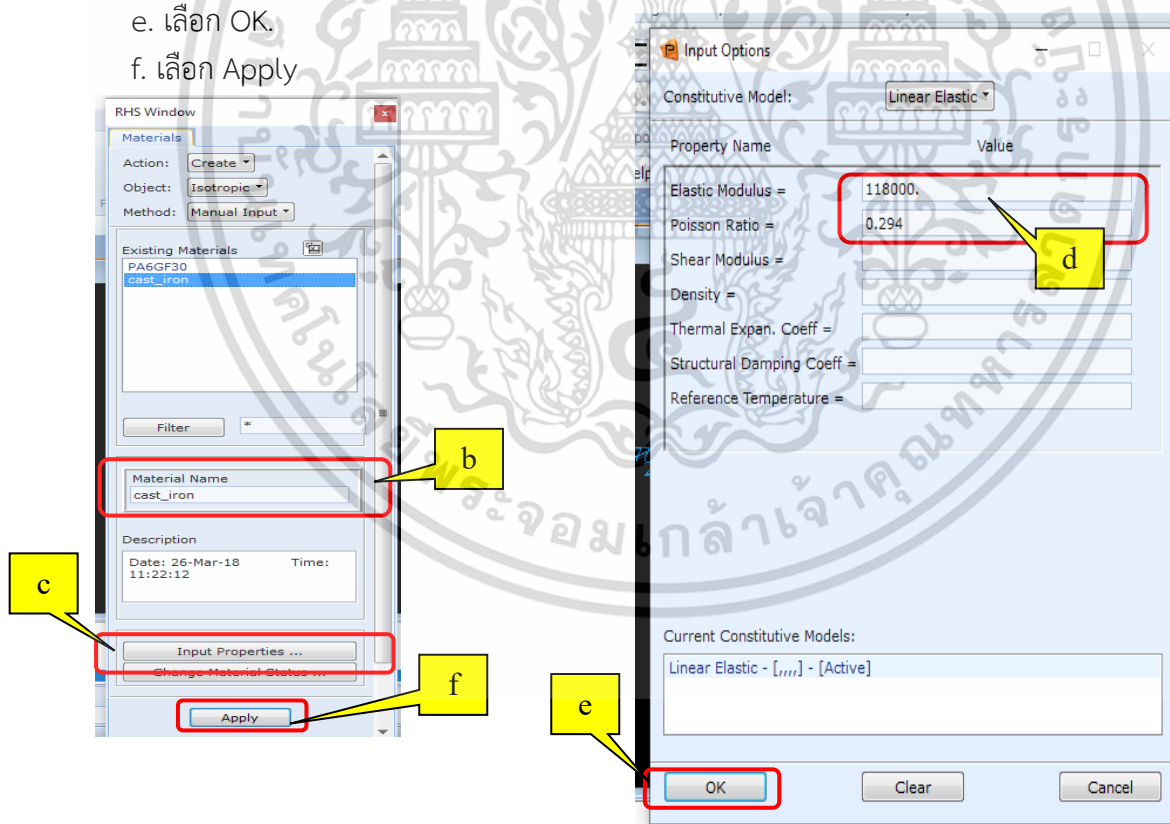
- b. ป้อน PLASTIC ลงใน material Name.

- c. เลือก input properties...

- d. ป้อน 5.8E3 ลงใน Elastic modulus และ 0.42 ลงใน Poisson Ratio

- e. เลือก OK.

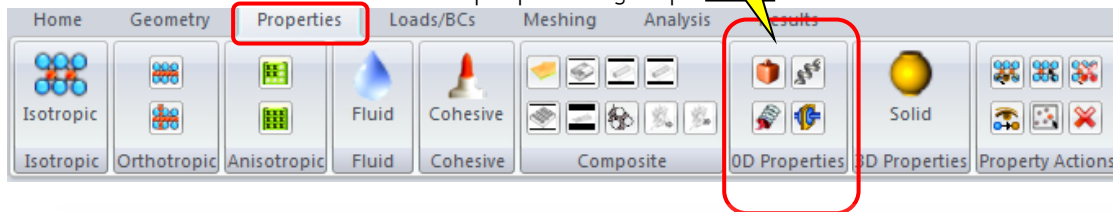
- f. เลือก Apply



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 สร้าง element properties

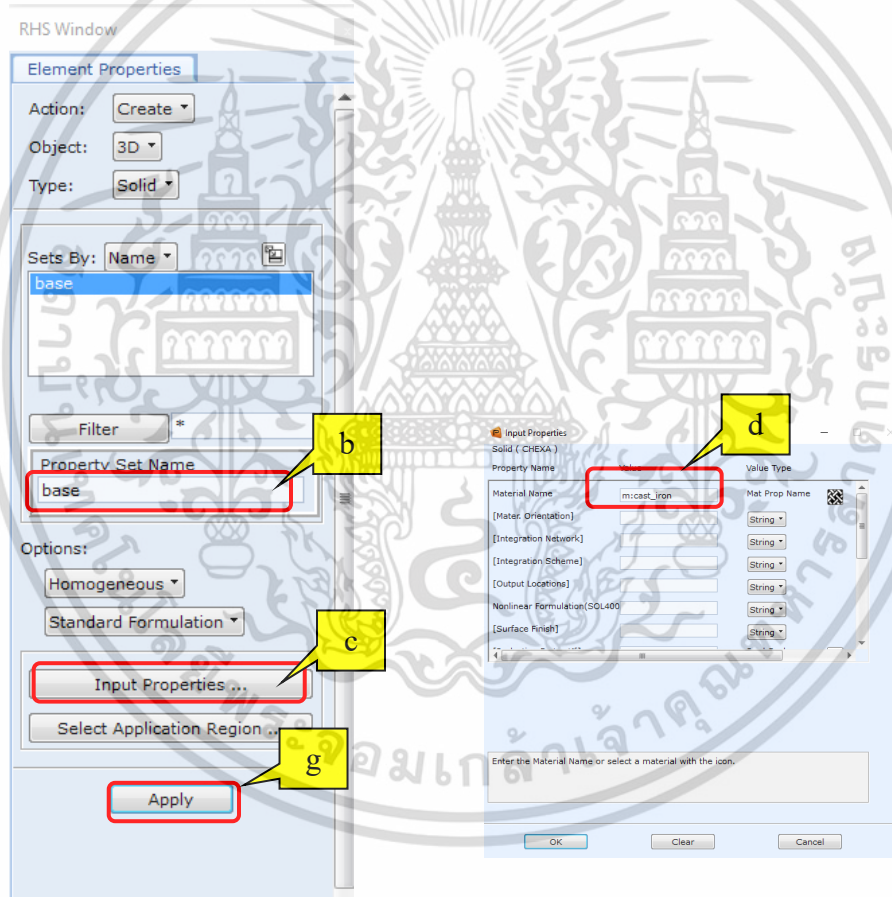
a. เลือก Solid in the 3d properties group.



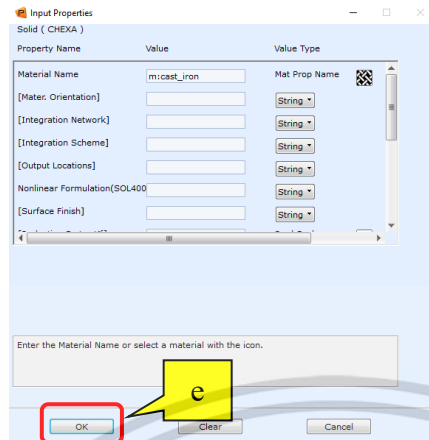
b. ป้อน ป्लอกครอบคลุมลงใน property set Name

c. เลือก input properties....

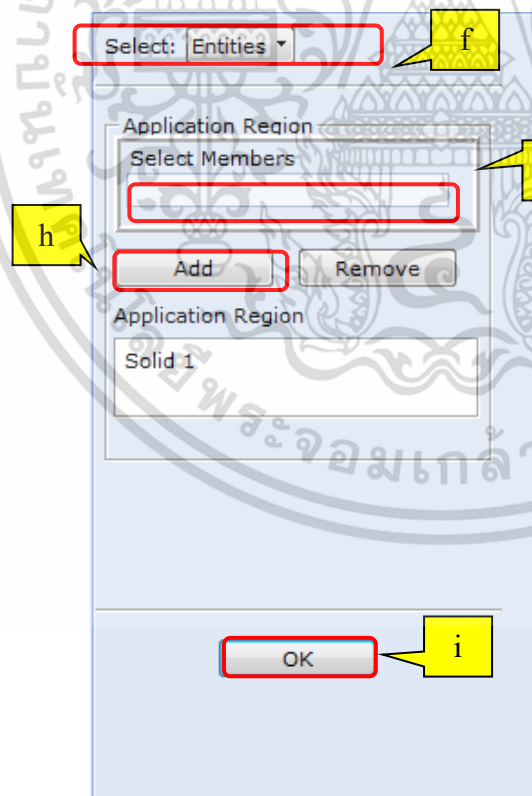
d. เลือก PLASTIC from select existing material



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



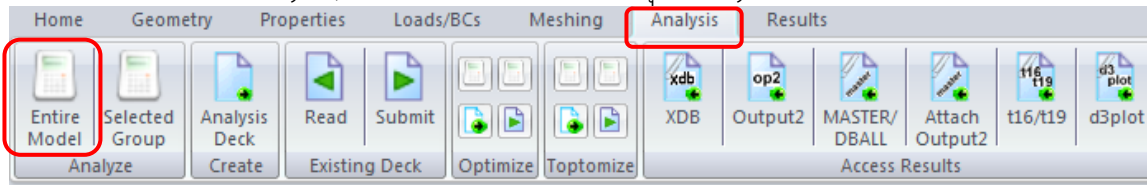
- e. เลือก OK
- f. เลือก select application region
- g. เลือก solid
- h. เลือก Add
- i. เลือก OK
- j. เลือก Apply



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 8 ทำการวิเคราะห์

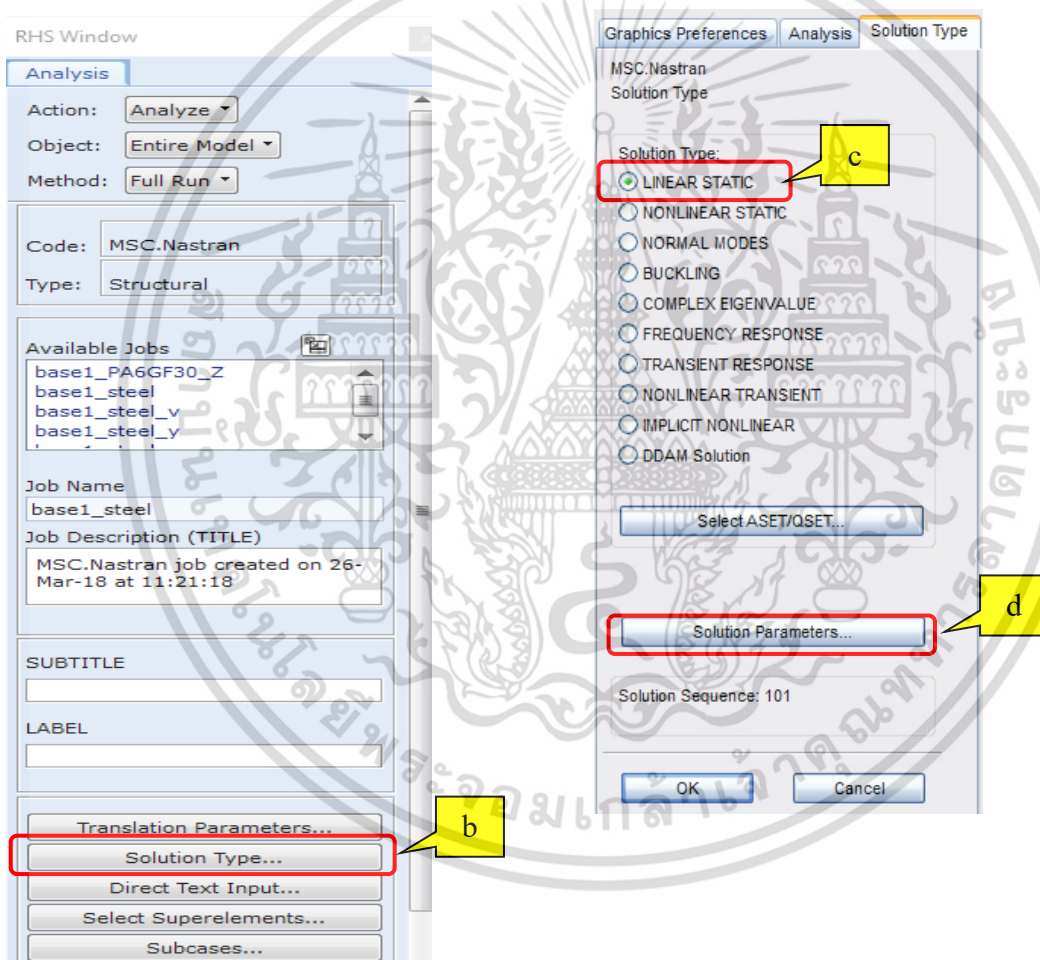
a. หน้าต่าง analysis, เลือก entire model ในกลุ่ม analysis



b. เลือก Solution type...

c. เลือก Linear static for solution type.

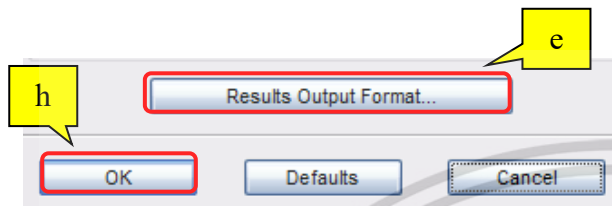
d. เลือก solution parameters..



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

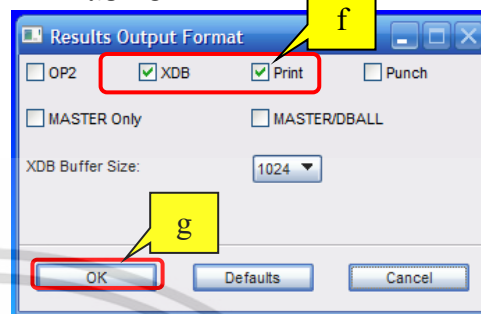
e. เลือก result output format...

g. เลือก OK



f. เลือก XDB and Print.

h. เลือก OK



i. Job description

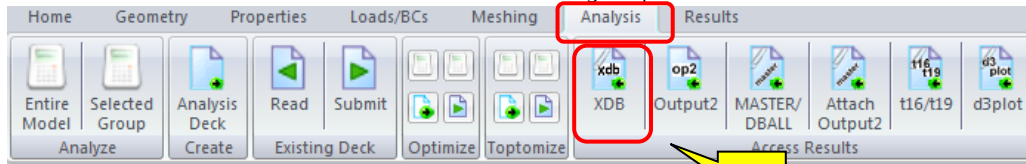
j. เลือก Subcases.



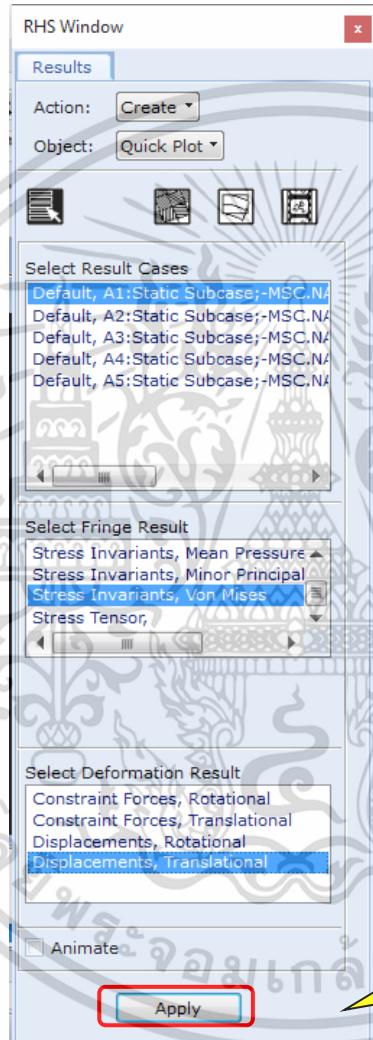
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9 Post-Process the model

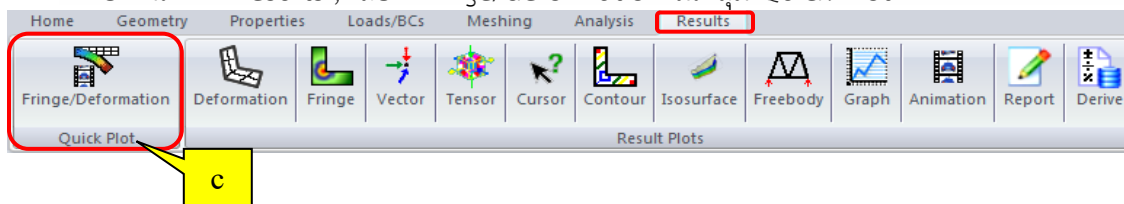
a. เลือก XDB in the access result group.



b. เลือก Apply.



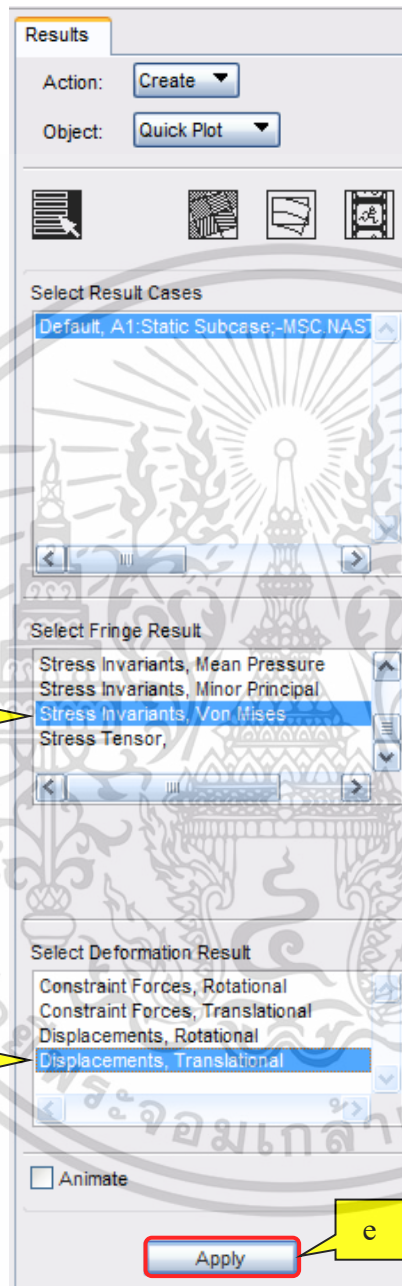
c. หน้าต่าง Results , เลือก Fringe/deformation ในกลุ่ม Quick Plot



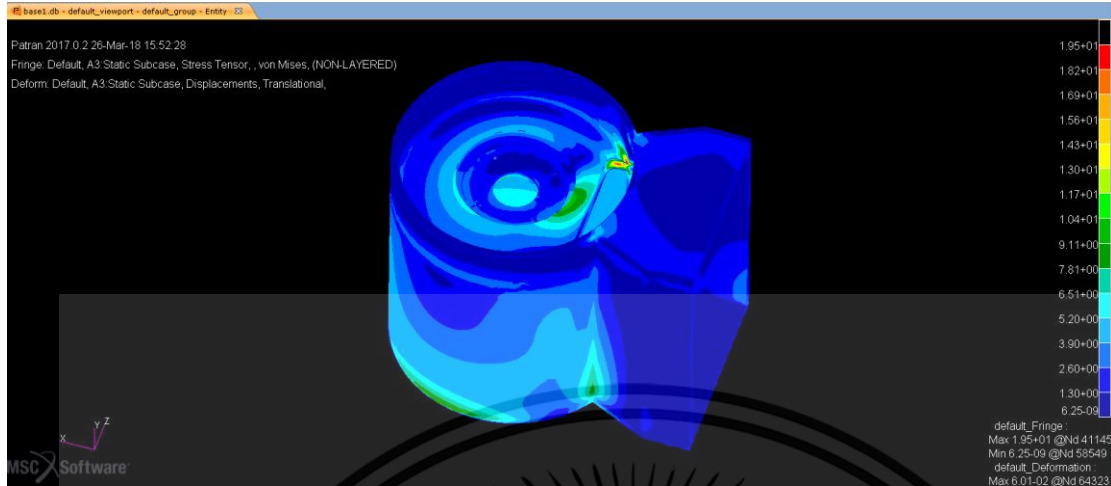
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d. เลือก Stress invariants , Von Mises และ Displacements,
Translational

e. เลือก Apply.]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

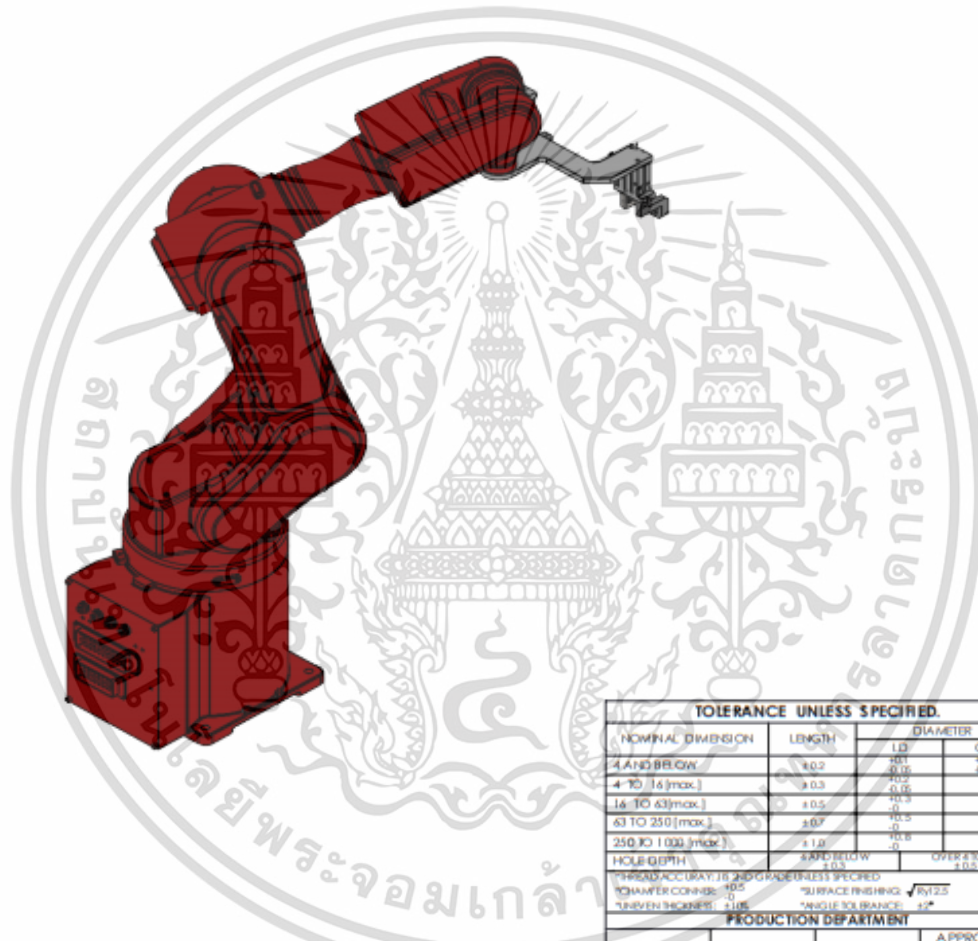


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

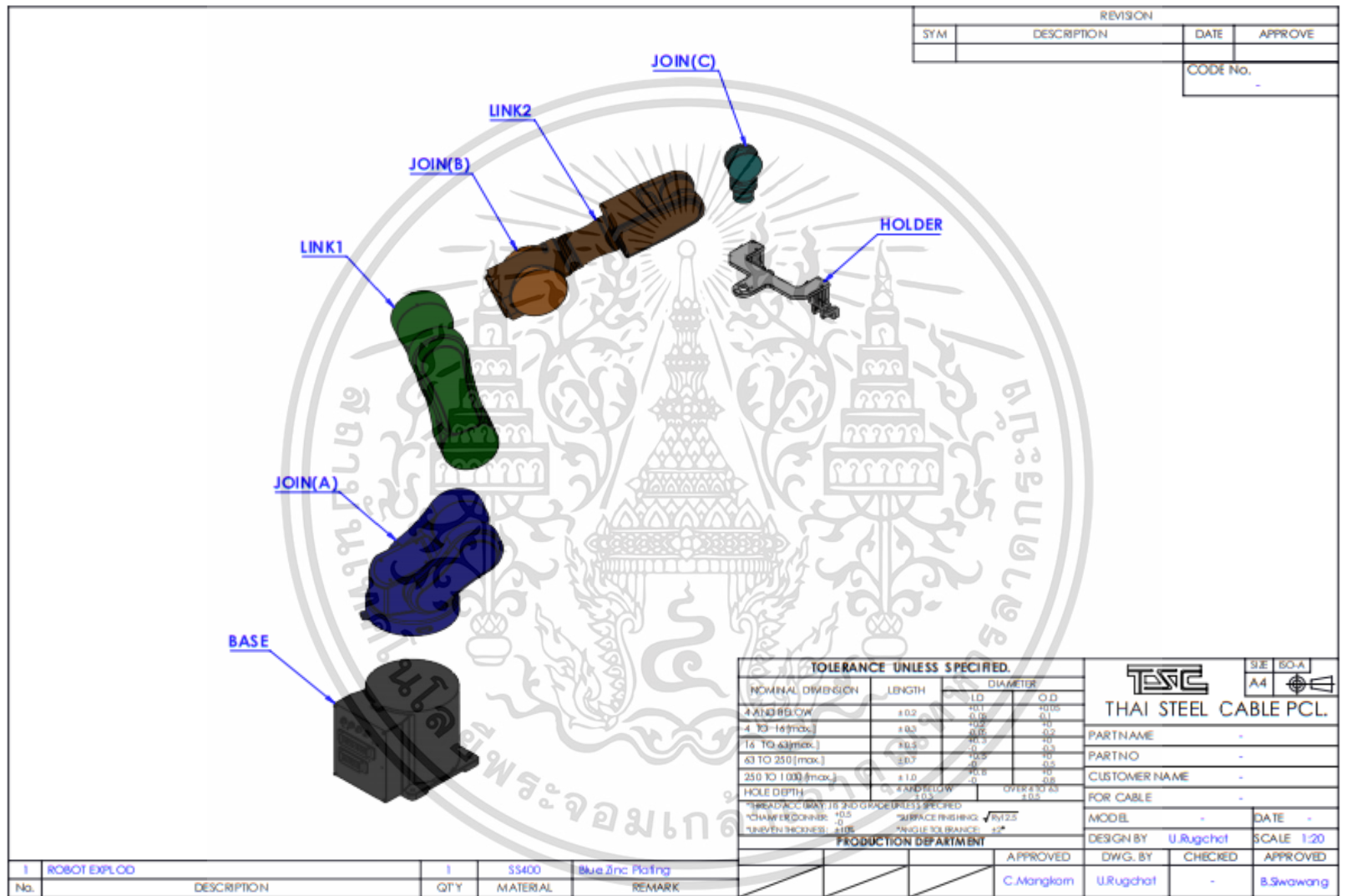
REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No.
			-



TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.				SIE	ISO-A
NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER		A4	
4 AND BELOW	±0.2	I.D.	O.D.	THAI STEEL CABLE PCL.	
4 TO 16 (max.)	±0.3	+0.1	+0.15	PARTNAME	-
16 TO 63 (max.)	±0.5	+0.2	+0.3	PARTNO	-
63 TO 250 (max.)	±0.7	+0.3	+0.5	CUSTOMER NAME	-
250 TO 1000 (max.)	±1.0	+0.5	+0.8	FOR CABLE	-
HOLE DEPTH	±0.5	OTHER SIZE		MODEL	DATE
*THREAD ACCURACY IS 2ND GRADE UNLESS SPECIFIED		*SURFACE FINISHING		DESIGN BY	SCALE
*SHAFTER CONGRUENCE		*SURFACE FINISHING		U.Rugchat	1:50
*TOLERANCE		*SURFACE FINISHING		PRODUCTION DEPARTMENT	
				APPROVED	DWG. BY
					CHECKED
					APPROVED

Assy No.	ROBOT	QTY	MATERIAL	REMARK
		1 Set		
	DESCRIPTION			

PE-004-F/13/MAR 30,2020



REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE

CODE No. -

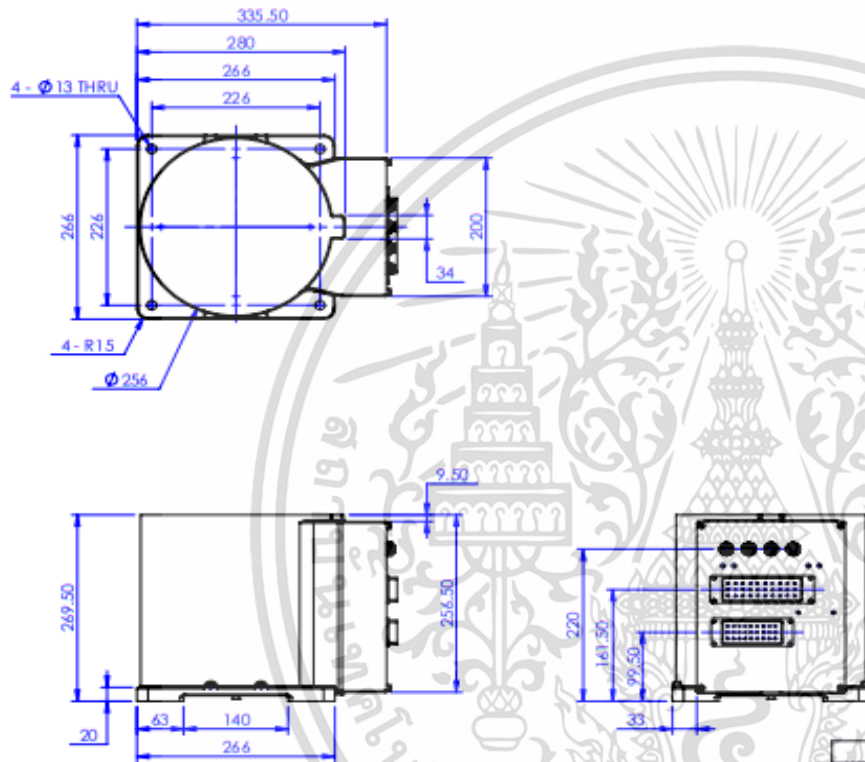
TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.

NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER	
		I.D	O.D
4 AND BELOW	± 0.2	+0.1 -0.15	+0.15 -0.1
4 TO 16(max.)	± 0.3	+0.2 -0.2	+0.2 -0.2
16 TO 43(max.)	± 0.5	+0.3 -0.3	+0.3 -0.3
43 TO 250(max.)	± 0.7	+0.5 -0.5	+0.5 -0.5
250 TO 1000(max.)	± 1.0	+0.8 -0.8	+0.8 -0.8
HOLE DEPTH	± 0.4	OVER +0.4 -0.5	

		S/E	SO-A
		A4	
THAI STEEL CABLE PCL.			
PARTNAME		-	
PARTNO		-	
CUSTOMER NAME		-	
FOR CABLE		-	
MODEL	-		DATE
DESIGN BY	U.Rugchot	CHECKED	APPROVED
APPROVED	C.Mangkom	DWG. BY	U.Rugchot
		CHECKED	-
		APPROVED	B.Swawang

No.	ROBOT EXPLOD	DESCRIPTION	QTY	SS400	Blue Zinc Plating	REMARK
1			1			

PE-004F/13/MAR 30,2020



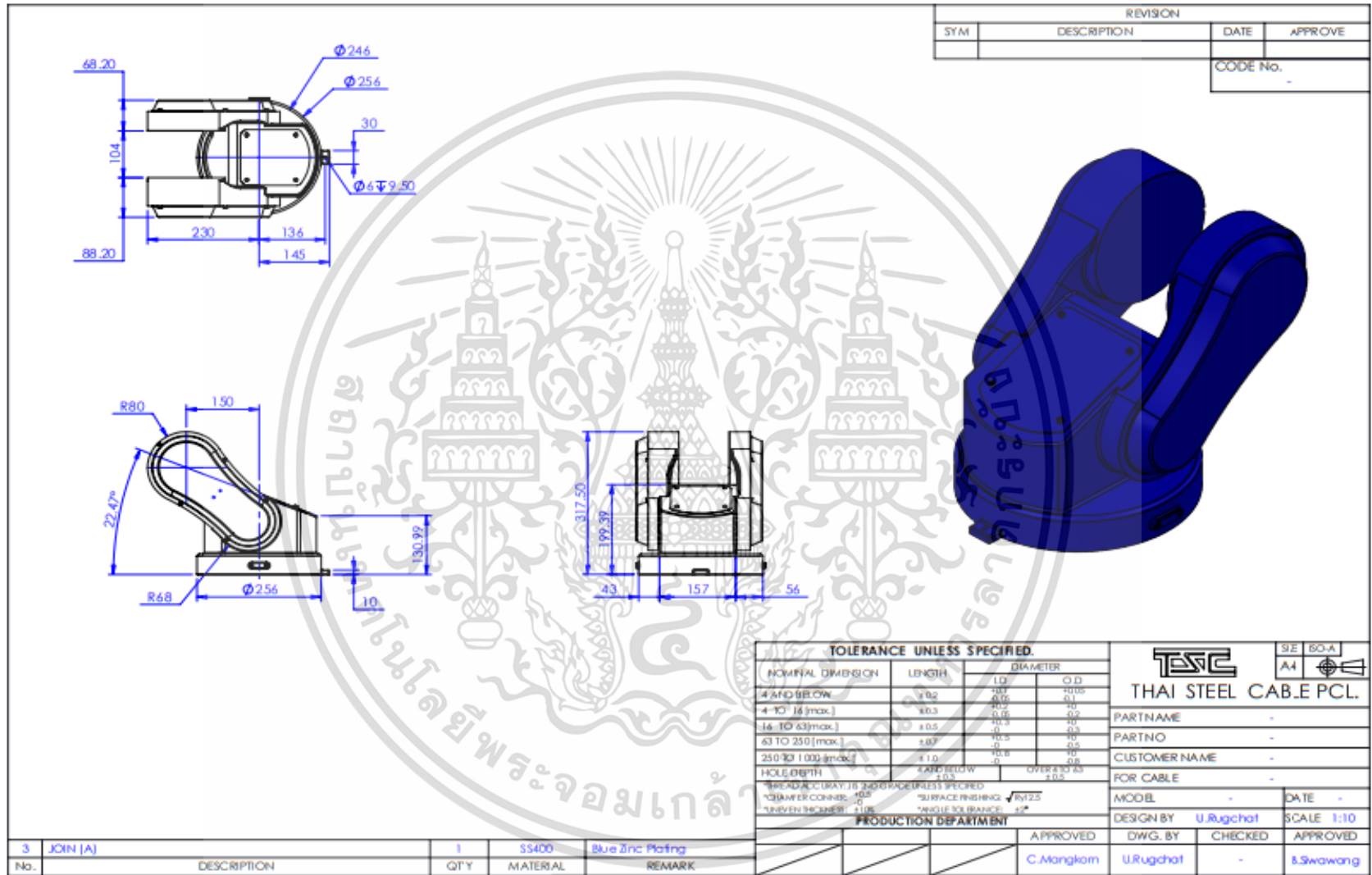
REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No. -

TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.				S/E		ISO-A	
NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER		A4			
		I.D.	O.D.				
4 AND BELOW	±0.2	+0.05	+0.05				
4 TO 1.6(max)	±0.3	-0.05	-0.1				
1.6 TO 63(max)	±0.5	+0.05	+0.2				
63 TO 250(max)	±0.7	0	0				
250 TO 1000(max)	±1.0	+0.8	+0.5				
HOLE DEPTH	±0.5	OVER & UNDER					
*IRREGULARITY IS 2ND GRADE UNLESS SPECIFIED *CHAMFER CORNER: ±0.5 *SURFACE FINISHING: √Ry12.5 *MINIUM THICKNESS: ±1.0 *ANGLE TOLERANCE: ±1°							
PRODUCTION DEPARTMENT							
				APPROVED	DWG. BY	CHECKED	APPROVED
				C.Mangkarn	U.Rugchat	-	B.Siwawang

TSC		THAI STEEL CABLE PCL.	
PART NAME	-		
PART NO	-		
CUSTOMER NAME	-		
FOR CABLE	-		
MODEL	-		
DATE	-		
DESIGN BY	U.Rugchat	SCALE	1:5

No.	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	REMARK
2	BASE	1	S3400	Blue Zinc Plating

PE-004-F/13/MAR 30,2020



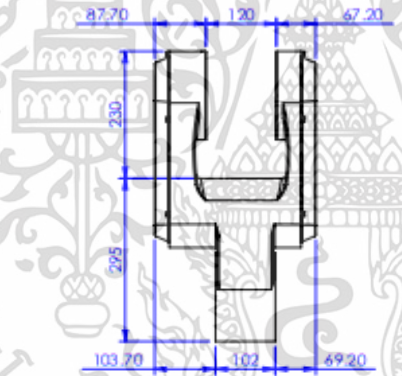
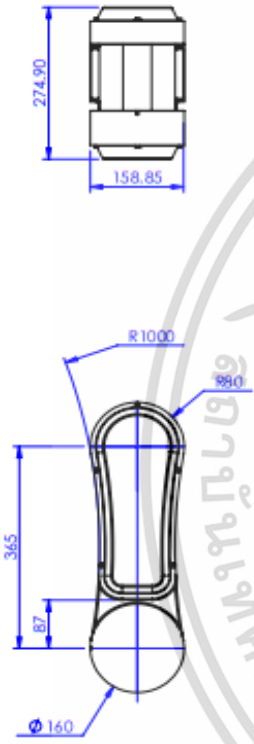
REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No.

TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.				SIZE	
NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER		A4	ISO A
		I.D.	O.D.		
4 AND BELOW	± 0.2	± 0.1	± 0.15		
4 TO 16 (max.)	± 0.3	± 0.2	± 0.3		
16 TO 63 (max.)	± 0.5	± 0.3	± 0.5		
63 TO 250 (max.)	± 0.8	± 0.5	± 0.8		
250 TO 1000 (max.)	± 1.0	± 0.8	± 1.0		
HOLE DEPTH		± 0.3	OVER ± 0.5		
<small>*READ ACCURACY: 1/10 AND UNLESS SPECIFIED</small> <small>*SURFACE FINISHING: √Ry12.5</small> <small>*NUMBER CORNER: 10</small> <small>*SEVEN NUMBER: 1/16" </small>				TSCC THAI STEEL CABLE PCL.	
PARTNAME				-	
PARTNO				-	
CUSTOMER NAME				-	
FOR CABLE				-	
MODEL				-	
DESIGN BY				U.Rugchat	
DATE				-	
APPROVED				DWG. BY	
C.Mongkom				CHECKED	
				APPROVED	
				U.Rugchat	
				-	
				S.Swawang	

No.	JOIN (A)	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	REMARK
3	JOIN (A)		1	SS400	Blue Zinc Plating

FE-004-F/13/MAR 30,2020

REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No. -



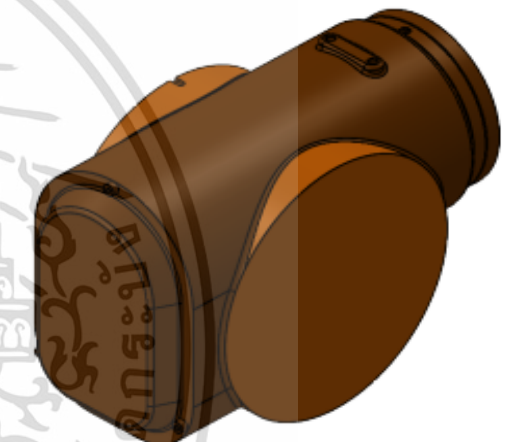
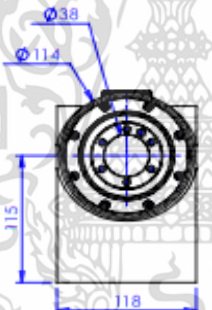
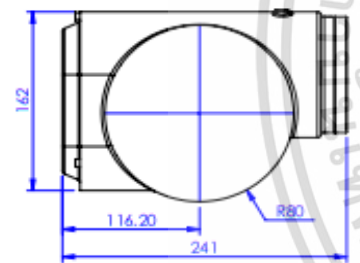
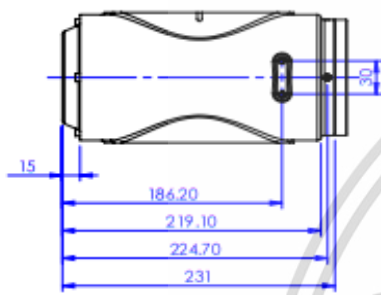
TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.			
NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER	
		I.D.	O.D.
4 AND BELOW	+0.2	+0.1	+0.15
4 TO 16 (max.)	+0.3	+0.2	+0.3
16 TO 43 (max.)	+0.5	+0.3	+0.5
43 TO 250 (max.)	+0.7	+0.5	+0.8
250 TO 1000 (max.)	+1.0	+0.8	+1.0
HOLE DEPTH	+0.2	OVER +0.43	

		SIZE	SOA
		A4	
THAI STEEL CABLE PCL.			
PARTNAME		-	
PARTNO		-	
CUSTOMER NAME		-	
FOR CABLE		-	
MODEL	-	DATE	-
DESIGN BY	U.Rugchat	SCALE	1:10
APPROVED		CHECKED	APPROVED
	C.Mangkom	DWG. BY	U.Rugchat
		CHECKED	-
		APPROVED	B.Siwangw

4	LINK1	1	SS400	Blue Zinc Plating
No.	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	REMARK

PE-004-F/13/MAR 30,2020

REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No.
			-



TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.			
NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER	
		I.D.	O.D.
4 AND BELOW	+0.02	+0.02	+0.05
4 TO 16(max.)	+0.03	+0.03	+0.05
16 TO 63(max.)	+0.05	+0.03	+0.05
63 TO 250(max.)	+0.07	+0.03	+0.05
250 TO 1 000(max.)	+0.10	+0.03	+0.05
HOLE DEPTH	4 AND BELOW	0.07 ± 0.03	
	6 TO 100	0.03	

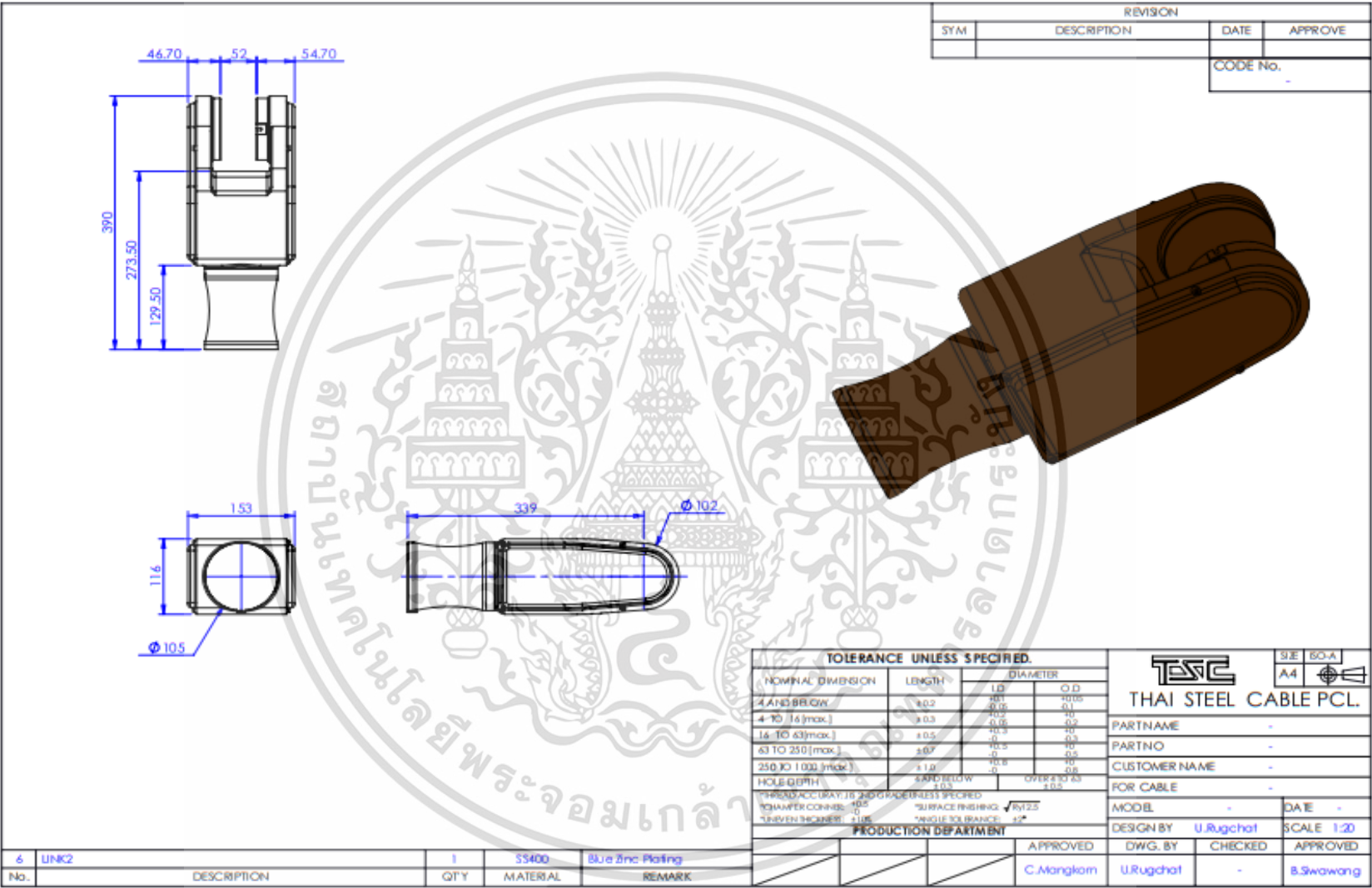
 THAI STEEL CABLE PCL.	SIZE	BO-A
	A4	
PARTNAME	-	
PARTNO	-	
CUSTOMER NAME	-	
FOR CABLE	-	
MODEL	-	DATE
DESIGN BY	U.Rugchat	SCALE
APPROVED	C.Mangkam	APPROVED
DWG. BY	U.Rugchat	APPROVED
CHECKED	-	APPROVED
		B.Swawang

No.	JOIN(B)	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	REMARK
5			1	SS400	Blue Zinc Plating

PRODUCTION DEPARTMENT

APPROVED: C.Mangkam
 DWG. BY: U.Rugchat
 CHECKED: -
 APPROVED: B.Swawang

PE-004-F/13/MAR 30,2020



REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No. -

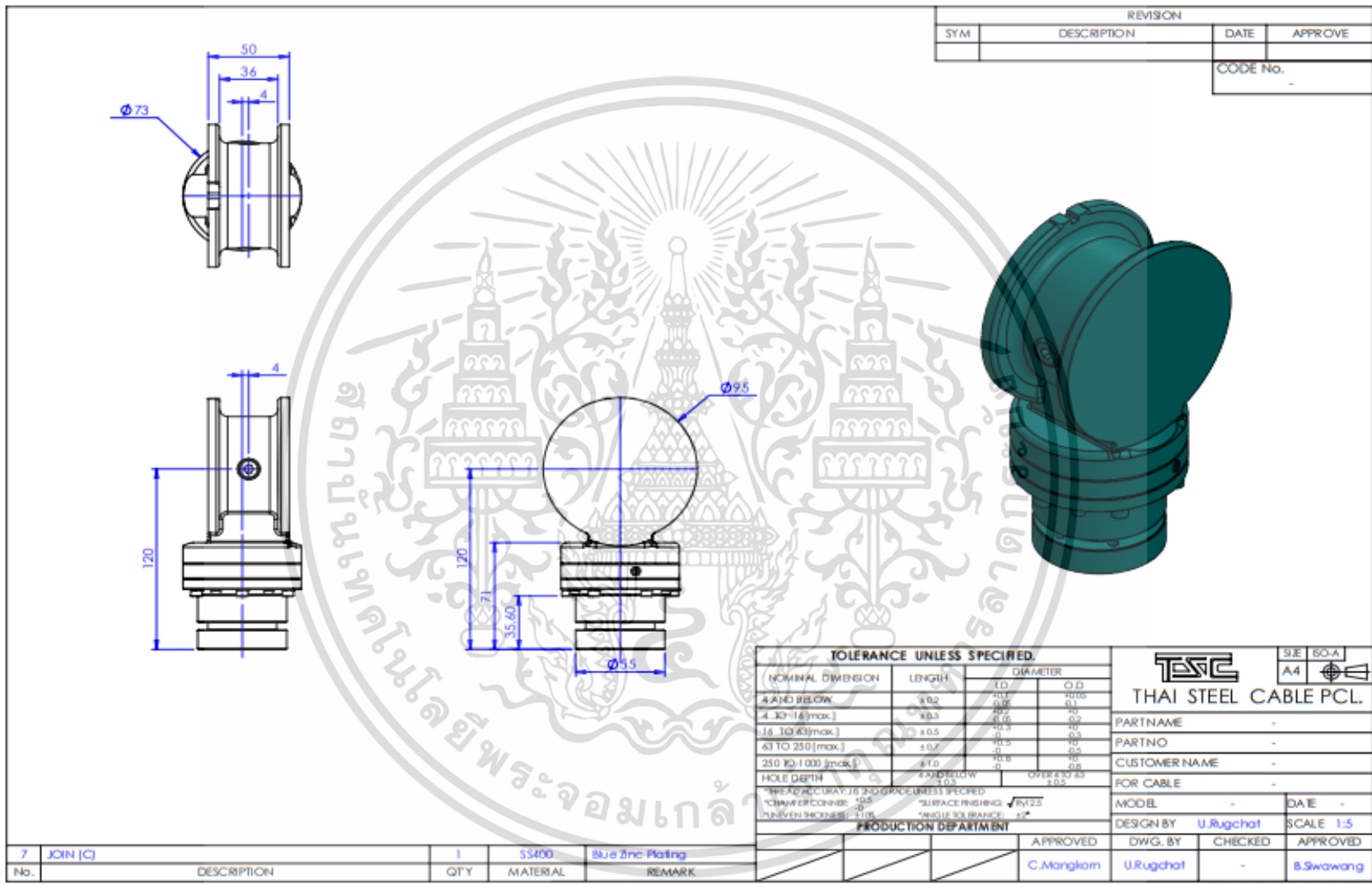
TOLERANCE UNLESS SPECIFIED.

NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER	
		I.D.	O.D.
4 AND BELOW	±0.2	±0.1	±0.15
4 TO 16 (max.)	±0.3	±0.2	±0.3
16 TO 63 (max.)	±0.5	±0.3	±0.5
63 TO 250 (max.)	±0.7	±0.5	±0.7
250 TO 1 000 (max.)	±1.0	±0.8	±1.0
HOLE DEPTH		±0.1	±0.15
*THREAD ACCURACY IS AS PER JIS SPECIFIED		*SURFACE FINISHING: √R125	
*SHAFT CONFINED: ±0.5		*HOLE SURFACE: ±0.2	
*TOLERANCE BANDS: ±0.5		*HOLE SURFACE: ±0.2	

 THAI STEEL CABLE PCL.	SIZE	ISO-A
	A4	
PARTNAME	-	
PARTNO	-	
CUSTOMER NAME	-	
FOR CABLE	-	
MODEL	-	DATE -
DESIGN BY	U.Rugchat	SCALE 1:20
APPROVED	DWG. BY	CHECKED
C.Mangkom	U.Rugchat	-
		APPROVED
		B.Swawang

No.	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	REMARK
6	LINK2	1	S5400	Blue Zinc Plating

PE-004-F/13/MAR 30,2020

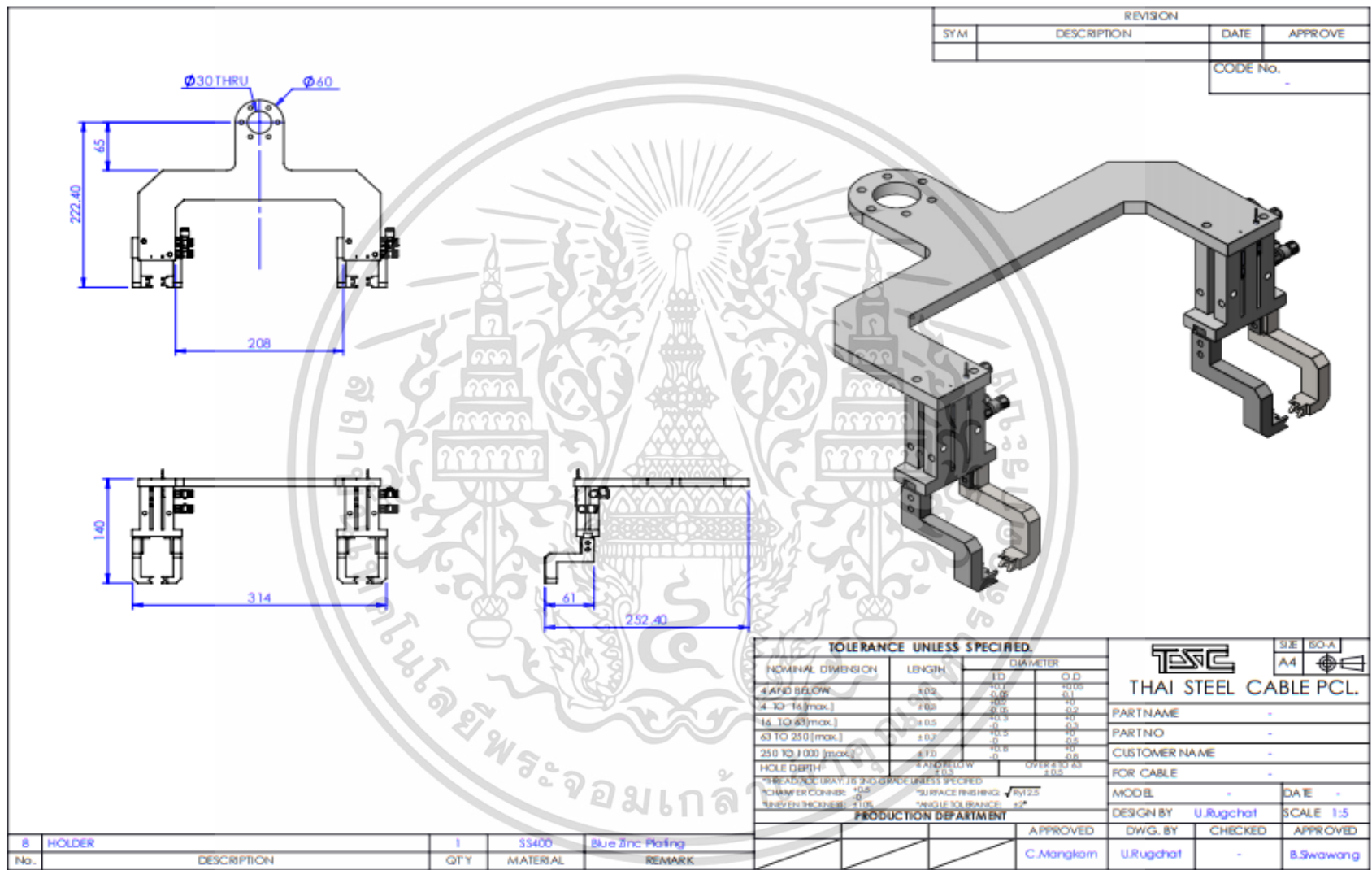


REVISION			
SYM	DESCRIPTION	DATE	APPROVE
			CODE No.
			-

TOLERANCE UNLESS SPECIFIED				THAI STEEL CABLE PCL.	
NOMINAL DIMENSION	LENGTH	DIAMETER		PARTNAME	-
		I.D.	O.D.		
4 AND BELOW	±0.2	+0.1	+0.15	PARTNO	-
4.30-16(max.)	±0.3	+0.2	+0.3	PARTNO	-
16-100(max.)	±0.5	+0.3	+0.5	CUSTOMER NAME	-
63 TO 250(max.)	±0.7	+0.5	+0.8	FOR CABLE	-
250 TO 1000(max.)	±1.0	+0.8	+1.0	MOBL	-
HOLE DEPTH	4 AND BELOW	OVER ±0.2		DESIGN BY	U.Rugchat
	10.3	±0.5		DATE	-
PRECISURAT: 16 20 GRADE UNLESS SPECIFIED				APPROVED	
ANGLE OF CONES: 15°				DWG. BY	U.Rugchat
MINIMUM THICKNESS: 1.15				CHECKED	-
				APPROVED	B.Swawang
PRODUCTION DEPARTMENT					
				APPROVED	
				C.Mongkom	

No.	DESCRIPTION	QTY	MATERIAL	REMARK
7	JOIN (C)	1	S5400	Blue Zinc Plating

PE-004-F/13/MAR 30,2020





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Somyot Kaitwanidvilai, Siwawong Buthgate, Hisayuki Aoyama, and Poom Konghuayrob “Robot Arm Structure Design Using Polyamide Evaluated by Finite Element Analysis”, 2020 Sensors and Materials, pp. 487-497, volume 32, No. 2, January 2020.
2. Siwawong Buthgate and Somyot Kaitwanidvilai, “Development of a new base of robot arm using Finite Element Analysis”, the 6th International Electrical Congress (IEEECON 2018), pp. 739-742, Krabi, March 7-9, 2018.
3. Siwawong Buthgate, and Somyot Kaitwanidvilai, “Analysis of Force Control of Industry Robot Arm using Robot Operating System (ROS)”, the 1st International Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business administration, Engineering, Sciences and Technology (IAMBEST2020), pp. 659-670, , May 28-29, 2020.



Volume 32 Number 2(1) 2020

ISSN (print) 0914-4935
ISSN (online) 2435-0869
CODEN: SENMER

Sensors and Materials

International Journal on Sensor Technology

EDITOR-IN-CHIEF

M. Ishida

EDITORS

J. Wilde K. Mitsubayashi S. Roy

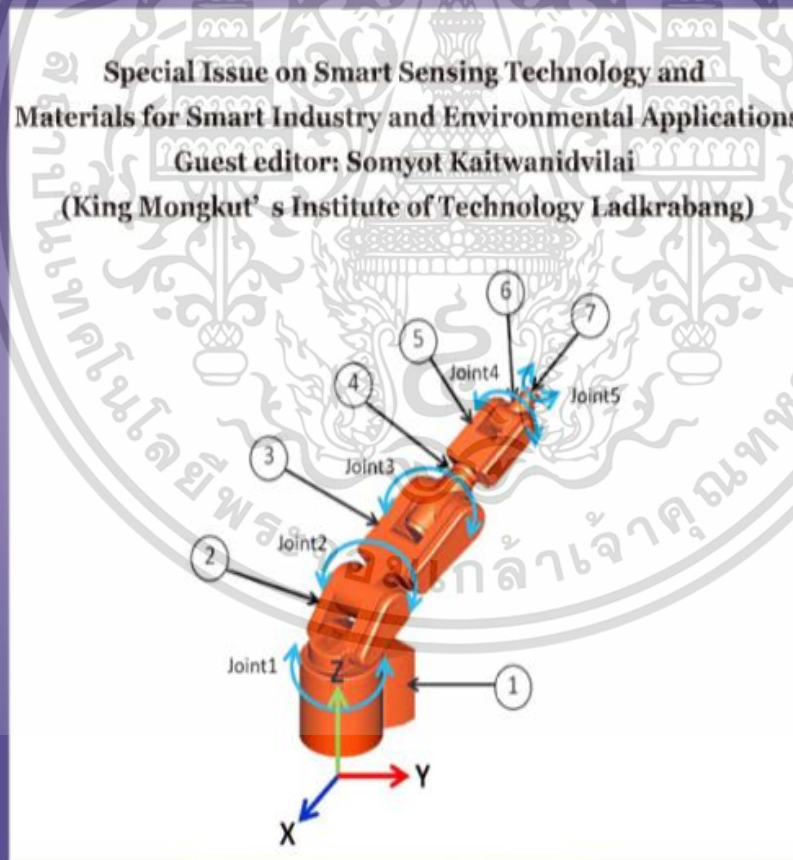
ASSOCIATE EDITORS

K. Maenaka J. Ohta

**Special Issue on Smart Sensing Technology and
Materials for Smart Industry and Environmental Applications**

Guest editor: Somyot Kaitwanidvilai

(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang)



MYU

Robot Arm Structure Design Using Polyamide Evaluated by Finite Element Analysis

Somyot Kaitwanidvilai,¹ Siwawong Buthgate,^{1*}
Hisayuki Aoyama,² and Poom Konghuayrob¹

¹Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Department of Mechanical Engineering & Intelligent Systems, University of Electro-Communications,
Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

(Received April 21, 2019; accepted January 6, 2020)

Keywords: energy efficiency, finite element analysis, robot arm, cast iron, polyamide, aluminum

Robots have increasingly replaced humans for many jobs, including 24 h work, routine tasks, and dangerous jobs. However, the robot operating system has high power consumption in many processes. This has led to energy efficiency being the main focus. We have opted to build a robot with high strength, light weight, and low power consumption by reducing the weight of its components. Presently, we know that the structure of most robots in the world is made of metals, plastics, and composite materials. In this research, we designed the mechanical structure of robot arms with three different materials (cast iron, polyamide, and aluminum) using the finite element method to analyze and evaluate the possibilities of these materials. The dynamic load, power consumption, and mechanical characteristics were compared. It was found that polyamide could help lighten the weight by 40% and increase energy efficiency along with cost effectiveness by 41%. Although polyamide is particularly easy to find, cast iron is stronger than polyamide.

1. Introduction

Currently, we are seeing many robots in factories, hospitals, department stores, and even our own homes. Robots have become part of human life because the current technology has progressed rapidly in all corners of the world. To produce more quality products and meet the needs of an everchanging market, the innovation and advances in robotic technology have helped to increase production efficiency. Some types of robot already use plastics as a component, resulting in the research and development of plastic robots. Plastics are an important material in components of robots including many industrial machines and are also used as a connecting or welding material in a robot assembly. Therefore, currently, plastics are drawing the interest of engineers and designers of robots, owing to their specific properties of light weight, durability, agility, adaptability, and tailorability of properties in accordance with

*Corresponding author: e-mail: Buthgate@gmail.com

<https://doi.org/10.18494/SAM.2020.2416>

the application. In Ref. 1, the casing cap of a parking brake cable was investigated by finite element analysis (FEA) and the results showed that the casing cap material can be changed from steel to the PA GF15 plastic. The results also showed that plastics can reduce the mass by around 21% and the cost of material by approximately 40%. In Ref. 2, the development of a new base for robot arms was investigated by FEA to analyze and evaluate the possibilities of all materials. The results showed that the base can be made of PA GF30 plastic to replace cast iron, thereby reducing the material cost by 15% and the weight by 80%. In Ref. 3, the reliability of the casing cap was examined and the results obtained by FEA simulation were compared with those obtained for a real sample using a testing machine. The FEA simulation and experimental results of the material revealed a 30% reduction in cost and weight in both the design and production processes. In Ref. 4, a new design of a fixed-structure robust controller for the joint space control of a pneumatic robot arm was studied. The proposed technique was based on the concept of H_∞ loop shaping, which is a sensible method for robust controller design. However, on the basis of the simulation results, the conventional design with material properties was proposed to be retained as part of the new controller design. Experimental results verified the effectiveness of the proposed technique. In Ref. 5, a genetic algorithm was used to search for subcarriers suitable for subcarrier multiplexing (SCM) on a multimode fiber (MF). The suitable design showed that the material properties are useful in designing subcarriers at the peak of the passbands of the MF. The data of subcarriers are approximately threefold those obtained from the 3 dB intermodal bandwidth. In Ref. 6, a new technique of analyzing the resonance vibration problem, which is a major problem in a hard-disk-drive arm, by FEA was demonstrated. The results showed that the developed program can effectively simulate the resonance behavior determined from the computational results of accurately tailoring the material. In Ref. 7, the fiber Bragg gratings (FBGs) embedded in resin increased the Young's modulus of the resin material. FBGs embedded in various resin materials were examined as optical bend sensors. The obtained wavelengths were almost in agreement with theoretical values, increased linearly with the bending deflection, and were calculated using a composite beam model. In Ref. 8, the use of lightweight automotive parts made of thermoplastics was found to be an effective way of reducing CO emission. By using plastics, the bumper weight of plastic vehicles was reduced by 41% compared with that in the case of using steel. It was also found that the production cost of plastics was lower than that of steel. In Ref. 9, a composite polymer was studied to describe the mechanical properties of a nanocomposite polymer. The experimental results were analyzed to explain the limitations and description of the mechanical properties of polymers. In Ref. 10, the main purpose of the simulation was to analyze the stress rate of plastics, which depended on the polymer. The method used only mechanical tests and measured data to generate the real stress following the strain curve at different stress rates. In Ref. 11, a metal fuel tank of a public bus was replaced with a plastic fuel tank and its effect was evaluated by static and dynamic analyses as well as the FEA method. The purpose of this research was to show an analytical approach to preventing plastic tank damage. In Ref. 12, the purpose of the simulation was to analyze and study the feasibility of plastic application to modify the stress rate, which depended on the polymeric material. The results of stress and strain measurements resulted in approaches to reducing time, and relationships were fully implemented by FEA. In Ref. 13, taper roller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bearings, an important part of gear reducers, affected both the meshing contact of the gears and the lubrication between the rollers and raceways of the bearings. The FEA technique for roller bearings was established by using the Reynolds equation and considering the surface roughness. Finally, the effects of the pretightening of the bearings were analyzed by considering the maximum stress and strain. In Ref. 14, the static analysis of linear elastic structures with uncertain responses to deterministic loads was addressed and an interval FEA method was based on an improved interval analysis was developed. The key idea of this novel method is the inclusion of an extra unitary interval in each uncertain parameter in order to keep physical properties linked to the finite elements in both the assembly and solution phases. In Ref. 15, the acoustic signals of transmission along a chain of spheres in biomedical applications of ultrasound and waveforms of relevance were investigated. The results showed the possible use of ultrasound in both therapeutic and diagnostic applications. The objective was achieved by generating signals with different harmonic contents. The results suggested that a comparison of experimental and FEA results for fluid loading was a suitable tool for performance investigation. In Ref. 16, the flexibility of links and joints for robot arms was considered. The results of the prestressed model analysis of the flexible robot arm using ANSYS Workbench software were compared. A reliable basis for the research methods of dynamic characteristics was provided. In Ref. 17, the buffer effect of a polyimide (PI) layer determined by a drop test was discussed and the structure of wafer level without underfill. The drop impact was calculated by FEA using a zooming technique. This research was focused on PI, which affects the shape factor. The results indicated a thick high-modulus PI. In Ref. 18, FEA was adopted to examine the connection of humanoid robot joints and other joints. Their failures and weaknesses were observed in the results of the analysis of the stress zone between the minimum and maximum stresses. The results of FEA revealed the potential sources of danger of the robot arm, and provided a theoretical basis for the optimization of the design of the humanoid robot structure. In Ref. 19, FEA was shown as the main method that allowed users to rapidly and accurately compute the stress and stress behavior of composite materials. This method was used to reduce the labor cost and determine the parameters. The calculation time was not more than 15 h and the stress error was not more than 4%. Reference 20 showed the design of the resin guide vane in a borehole tapping system and used ANSYS software to analyze the stress-strain relationship with full loading. The results of the resin guide vane obtained by FEA showed that the maximum stress was less than the bending strength and the maximum displacement was markedly less than the displacement of minimum elongation. In Ref. 21, robotic origami was constructed from thin sheets of function material using rapid prototyping. The construction required a detailed study of 3D and 2D geometries, and 2D fabrication methods. This article reported advancement in the design and fabrication methodology of origami robots, with customizable functionality from the ground up. In Ref. 22, the underwater robots ROV and AUV were used for ocean explorations and underwater work, where the zoom body frame was examined by FEA. The carbon fiber reinforced polymer (CFRP) body frame dispersed applied external loads, FEA was carried out to test the CFRP, and samples with the material properties obtained from the test were used. In Ref. 23, the developed model was used in FEA to predict the macroscopic behavior of polycrystalline materials and the results showed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

that the model was effective in the simulation of the cyclic behavior of Sn-0.7Cu solder at different temperatures and strain rates. In Ref. 24, the FEA for the drop test was performed using both the stress-strain relationships at high and low strain rates. The test results of the stress-strain relationships at high strain rates were observed to be in agreement with those at low strain rates. In Ref. 25, the nonlinear friction was considered because it seriously affected the tracking accuracy of the robot. The tracking accuracy of the robot was significantly improved by effectively applying the desired signal. The results demonstrated the feasibility and effectiveness of the proposed control method. In Ref. 26, a robust solution to the trajectory tracking control problem under uncertainties and disturbances was obtained. Simulation and experimental results were explored to verify the effectiveness of the proposed control strategy. All reviewed research studies revealed that FEA is an efficient method for the analysis of material properties.

The highlight of our study, which is different from those of other studies, is the design structure of a robot arm made of polyamide, instead of cast iron, making it lighter and lower in cost. The plastic (polyamide), was investigated by FEA, the mechanical properties of the designed robot arm were studied, and the performance of cast iron, aluminum, and polyamide were compared

2. Materials

Material handling is the essence of robotics and, in the near future, some structural components of robots will be changed to reduce the weight. We already know that the structure of robots is made of metals, plastics, and composite materials. Metal is a common material of robots. It is among the most expensive robot materials in terms of both cost and weight. Steel and aluminum are common metals; although aluminum alloy is smoother and easier to use than steel, steel is markedly stronger. Plastic is a choice of material for manufacturers because it enables manufacturers to build shapes quickly to complete a model rapidly. It is also readily available and affordable, and plastic composites have a low weight-to-strength ratio. Some composites are both lightweight and very strong (i.e., carbon composites). However, strong composites are costly and less readily available. Construction materials should be chosen for their suitability for the job, functionality, or other requirements. The robot body is made using bars, rods, sheets, channels, and other forms. However, it must be sufficiently rigid enough to support the weight of motors, batteries, and other parts without undue bending or flexing.

3. Methodology

In this section, computer-aided engineering (CAE) software is used for analyzing and evaluating the possibilities of robotic materials. The key factors of the robotic design are strength, light weight, and low power consumption. The robot arm in this work is designed to have five degrees of freedom (DOFs), with four rotary joints and one prismatic joint. The number of DOFs is determined by the number of independent joint variables.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 Robot arm design

The robot arm system often consists of links, joints, actuators, controllers, and sensors, as shown in Fig. 1. There are two types of joint, namely, prismatic and rotary joints, for connecting neighboring links. In this work, the robot design is equipped with five servo motors to link the parts and induce arm movement, as shown in Fig. 2. Cast iron, polyamide, and aluminum are applied to the robot components. The weights and total weights of these materials are shown in Table 1. For a comparative study, the dynamics load, power consumption, and mechanical characteristic (max. stress) of the robot are used as criteria in choosing the simulation task.

The mechanical properties of cast iron, polyamide (PA66), and aluminum in the simulation models are presented in Table 2.



Fig. 1. (Color online) Robot arm in industry.

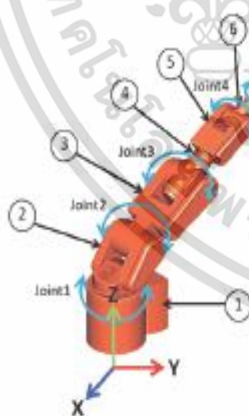


Fig. 2. (Color online) Robot arm components.

Table 1
Weights of cast iron, polyamide, and aluminum materials in each component and their total weights in the robot arm.

No.	Component	Weight (kg)		
		Cast iron	Polyamide	Aluminum
1	Base	20.312	3.710	7.583
2	Link1	12.988	2.372	4.849
3	Link2	12.529	2.289	4.677
4	Link3	5.217	0.953	1.948
5	Link4	5.000	0.913	1.867
6	Link5	3.828	0.699	1.429
7	Holder (with load)	0.630	0.630	0.630
Total		60.504	11.566	22.983

Table 2
Mechanical properties of cast iron, polyamide, and aluminum.

Mechanical property	Material		
	Cast iron	Polyamide	Aluminum
Young's modulus (GPa)	180	6.3	72.4
Density (Kg/mm ³)	7500	1370	2800
Poisson's ratio	0.294	0.340	0.33
Yield strength (MPa)	200	216	414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Robot arm operation

As a case study, the robot arm is used in the platform as part of a window regulator production facility. The robot arm has five servo motors, each motor for one DOF. All motors operate with 6 volts. There are five rotation DOFs in the arm and their rotation range is 180 degrees from the start to the end of the movement path (see Fig. 3). At the end of the movement path, the components are aligned straight at 45° from the arm base and the path is for cover usage. The payload of the robot is a window regulator (0.630 kg) and the total distance of movement is 1900 mm.

The multibody dynamics of moving parts are analyzed throughout the mechanical systems using MSC ADAM software. ADAM conditions for analyzing the dynamics characteristics are shown in Table 3.

3.3 FEA

Figure 4 shows the FEA simulation using the CATIA and CAE software programs with properties, mesh conditions, and all the material parameters used. Output showed dynamics load, stress, so forth.

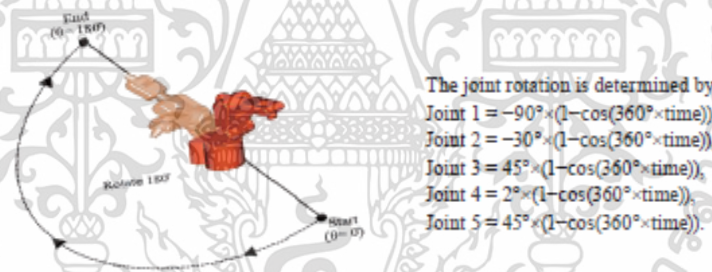


Fig. 3. (Color online) Configuration of robot movement on platform of window regulator production facility.

Table 3
ADAM conditions.

No.	Function	Parameters	Meaning
1	Bodies	Modify body: mass	Input mass of product
2	Bodies	Modify body: center of mass maker	Input the center of gravity (CG) of product Specify in 3 axes (x, y, z)
3	Connectors	Joints: create rotary joint	Selecting type of joint (rotary joint)
4	Motion	Joint motion: rotation	Selecting type of joint motion (rotation) to create movement condition
5	Motion	Joint motion: function (time)	Define runtime function

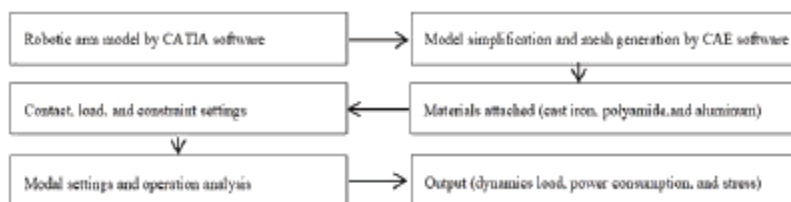


Fig. 4. FEA simulation using Catia and CAE software.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Results and Discussion

The robot arm was mathematically modeled by the finite element method. The dynamics load, power consumption, and maximum stress were solved and implemented using the CAE software. Cast iron, polyamide, and aluminum were applied to robot components under the same driving trajectory.

4.1 Multibody dynamics load

The dynamic load and movement step of the robot arm are simulated in the x , y , and z axes to determine the maximum force using ADAM software. The force and time during the simulation of the links on the three structures are presented in Fig. 5. The maximum magnitudes of resultant forces observed on the base component are 1276.14, 507.299, and 273.744 N for cast iron, aluminum, and polyamide, respectively. Because the total load is pressed down to the base, high forces and torques must be applied to drive the components. The weights and total loads of all materials are listed in Table 1.

Figure 6 shows the variation in joint torque with time during the simulation. Torque (T) is defined as a turning or twisting force. It is important to determine the torque of each joint that drives the robot arm. The maximum torque 513107.20 N·mm is obtained for cast iron at joint 1. This value is around 3 and 5.28 times higher than those of aluminum and polyamide because of its payload. The torque increases with increasing reach length and payload.

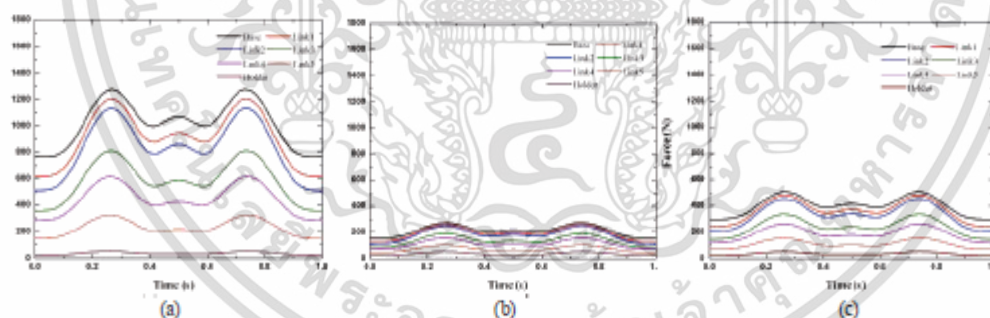


Fig. 5. (Color online) Force versus time of all robot components: (a) cast iron, (b) polyamide, and (c) aluminum.

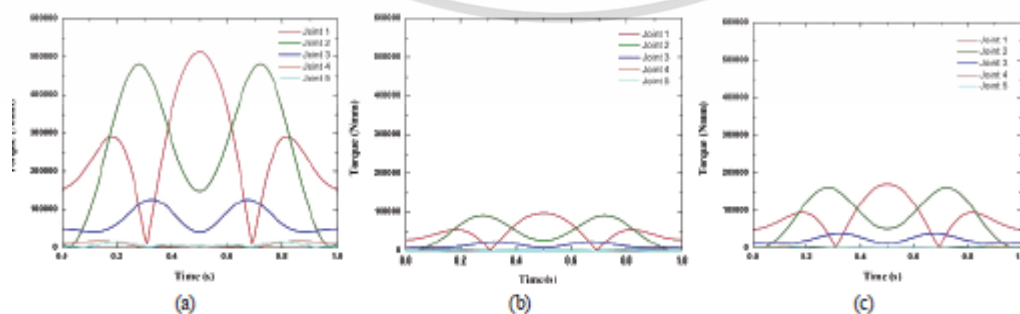


Fig. 6. (Color online) Torque curves with time simulated for each joint: (a) cast iron, (b) polyamide, and (c) aluminum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 Power consumption

The power consumption at each joint is further analyzed on the basis of the robot movement from start ($\theta = 0^\circ$) to end ($\theta = 180^\circ$). The payload of the robot must include the weights of the link, holder, and load (window regulator). Figure 7 shows that the power of all joints is relatively low at the start and end of the robot movement path. This is because the motor drive is not loaded owing to low friction. The difference in robot power consumption between polyamide and aluminum is lower than those between polyamide and cast iron and between aluminum and cast iron, approximately 23.26 and 37.21%, respectively.

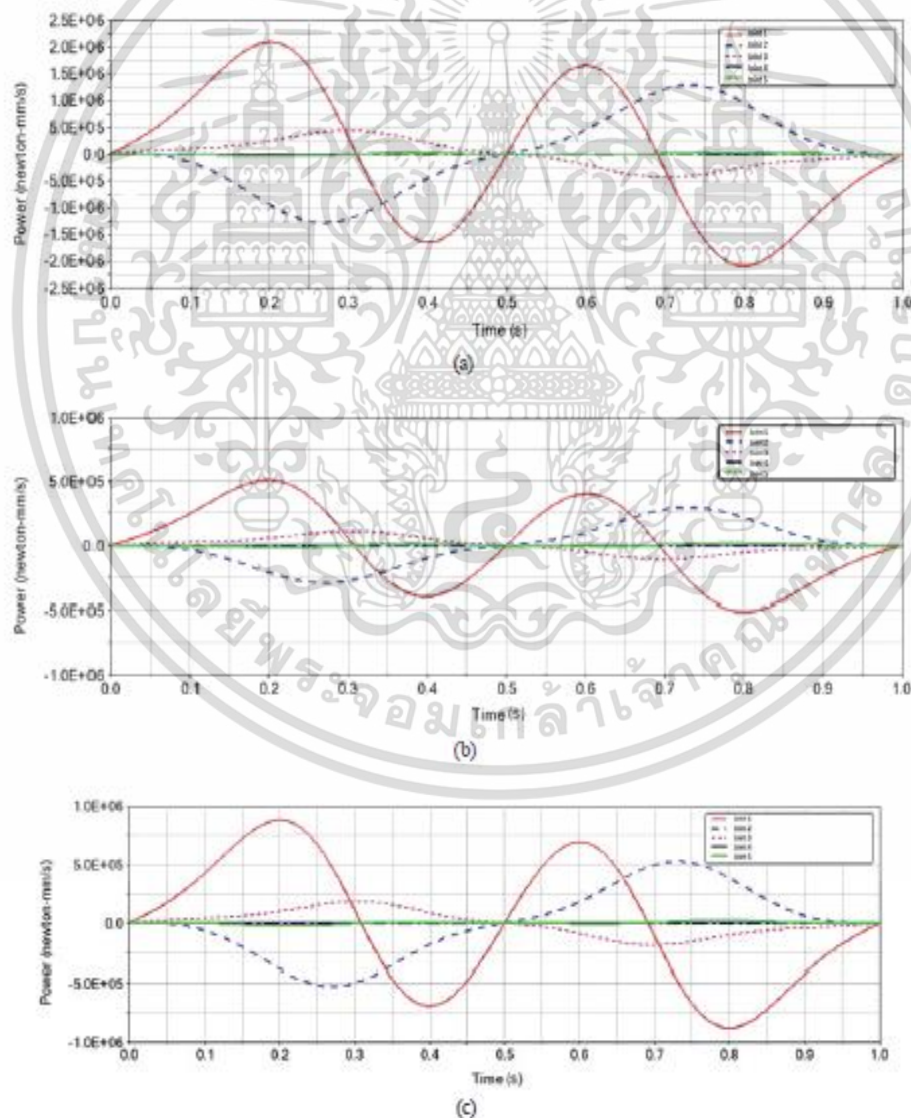


Fig. 7. (Color online) Power consumption at different joints of the robot: (a) cast iron, (b) polyamide, and (c) aluminum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Mechanical characteristic

Static stress is present in the base that is in contact with the ground and connected to link 1 through a rotary joint. It is interesting to investigate this component because the payload and object apply pressure down to the base. In Fig. 8, the static stresses under the total payload (five links + load) are 3.69, 1.42, and 0.759 MPa for cast iron, aluminum, and polyamide structures, respectively. The chance of deformation of the base can be predicted by the yield strength of the material. The smallest amount of deformity is found to be 0.34% for aluminum, 0.35% for polyamide, and 1.845% for cast iron.

The dynamic optimization of the robot arm is significant in improving the operation precision. In the operating system, it is found that the natural frequencies of the robot arm on the base are 65.975, 68.335, and 28.811 Hz for cast iron, aluminum, and polyamide, respectively. Note that the natural frequency is the frequency at which a system tends to oscillate in the absence of any driving or damping force. Moreover, it induces maximum dynamic stresses of 417, 273, and 33.9 MPa, on the base for cast iron, aluminum, and polyamide, respectively, as seen in Fig. 9. Damage is observed on the cast iron structure because the maximum stress exceeds the yield strength of the material.



Fig. 8. (Color online) Static stress of the base of three different robot arm structures: (a) cast iron, (b) aluminum, and (c) polyamide.

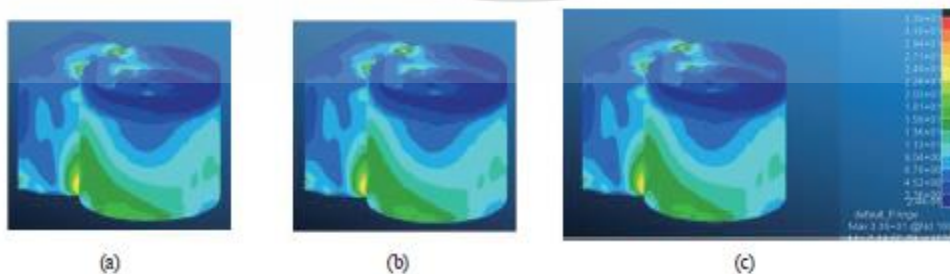


Fig. 9. (Color online) Dynamics stresses on the bases of three different robot arm structures: (a) cast iron, (b) aluminum, and (c) polyamide.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Conclusions

Simulations were performed for a robot arm. Five DOFs, four rotary joints, and one prismatic joint were adopted in the design. Cast iron, polyamide, and aluminum robot components were analyzed using CAE software. The following are our conclusions:

- The applicability of a material was demonstrated in terms of its dynamic and static characteristics; cast iron provided the highest force and torque to drive its components.
- The maximum force was observed along the x-axis for the base and the z-axis for the links and holder. This is related to the power consumption of each joint.
- The light weight of polyamide was a key factor in reducing the power consumption. The mechanical characteristics of the material were investigated in static and dynamic systems.
- The natural frequencies of the base were 65.975, 68.335, and 28.811 Hz for cast iron, aluminum, and polyamide, respectively. Damage appeared on the cast iron structure because the maximum stress exceeded the yield strength of the material.
- Polyamide can be used to reduce the weight by 40% and improve the energy efficiency and cost effectiveness by 41%.

Acknowledgments

This work was financially supported by NSTDA and TSC (Thai Steel Cable) under grant no. FDA-CO-2560-4351-TH.

References

- 1 S. Buthgate, A. Seanthon, and S. Kaitwanidvilai: *Int. J. Innovative Comput. Inform.* **13** (2017) 659. <https://doi.org/10.24507/ijicic.13.02.659>
- 2 B. Siwawong and K. Somyot: *Int. Elect. Eng. Congr. (iEECON)* **7** (2018) 739.
- 3 B. Siwawong, S. Anakkapon, and K. Somyot: *Int. MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2* (2017) 879. ISBN: 978-988-14047-7-0
- 4 S. Kaitwanidvilai and M. Parnichkun: *Eng. Lett.* **16** (2008) 1. (SCOPUS)
- 5 S. Kanprachar and S. Kaitwanidvilai: *Proc. Int. MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2* (2010) 1471.
- 6 S. Kaitwanidvilai and I. Ngamroo: *Int. J. Innov. Comput. Inform. Control* **8** (2012) 91.
- 7 H. Kumazaki, T. Sugiyama, and H. Oguri: *Sens. Mater.* **30** (2018) 111. <http://dx.doi.org/10.18494/SAM.2018.1640>
- 8 H. S. Park, X. P. Dang, A. Roderburg, and B. Nau: *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* **6** (2015) 44. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2012.08.002>
- 9 T. J. Young, L. E. Crocker, W. R. Broughton, S. L. Ogin, and P. A. Smith: *Compos. Part A* **50** (2013) 39. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.03.014>
- 10 V. A. Buryachenko and M. Brun: *Int. J. Solids Struct.* **48** (2015) 719. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2010.11.009>
- 11 H. B. Ustaoglu, S. Ayhün, G. Simitcioğlu, S. Süsler, E. Akay, V. Z. Doğan, Z. Mecitoğlu, H. S. Türkmen, and S. Atamer: *Int. Conf. Mater. Comp. Perform. Var. Amplitude Loading* **3** (2015) 509. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.02.061>
- 12 B. Sreenivasulu and G. Prasanthi: *Global Cong. Manuf. Manage.* **12** (2014) 1187. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.397>
- 13 Z. Yongqi, T. Qingchang, Z. Kuo, and L. Jiangang: *Int. Conf. Appl. Phys. Ind. Eng.* **24** (2013) 19. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.02.004>
- 14 A. Sofi and E. Romeo: *Comput Methods Appl. Mech. Eng.* **311** (2016) 671. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2016.09.009>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 15 P. Gélât, N. Saffari, S. Freear, and S. Harput: IEEE Int. Ultrasoni. Symp. Proc. (2015) 104. <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2015.0319>
- 16 Z. Liu, L.-B. Song, Y. Li, and B.-Z. Pan: IEEE Int. Conf. Mech. System Control Eng. (2017) 96. <https://doi.org/10.1109/ICMSC.2017.7959450>
- 17 N. Anzai, M. Fujita, K. Sakamaki, and Y. Kariya: iMPACT International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conf. (2017) 120-123. <https://doi.org/10.1109/IMPACT.2013.6706623>
- 18 D.-T. He and Y. Guo: Int. Conf. Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI) **13** (2016) 772. <https://doi.org/10.1109/URAI.2016.7733979>
- 19 Y. G. Soloveichik, M. G. Persova, and D. V. Vagin: Int. Sci. Tech. Conf. APETE **13** (2016) 339. <https://doi.org/10.1109/APEIE.2016.7806948>
- 20 Y. Wang, L. H. Zhong, X. H. Yu, Y. B. Wang, and C. Y. Xie: Int. Conf. Modelling, Identification and Control (ICMIC) **9** (2017) 290. <https://doi.org/10.1109/ICMIC.2017.8321656>
- 21 Z. Zhakypov and J. E. Paik: IEEE Trans. Rob. **34** (2018) 151. <https://doi.org/10.1109/TRO.2017.2775655>
- 22 S.-y. Yoo, B.-H. Jun, H. Shim, P.-M. Lee, and B. Kim: MTS/IEEE OCEANS-Bergen (2013) 104. <https://doi.org/10.1109/OCEANS-Bergen.2013.6608156>
- 23 L. Liu and Y. Yao: Int. Conf. Electron. Packag. Tech. (ICEPT) **18** (2017) 197. <https://doi.org/10.1109/ICEPT.2017.8046437>
- 24 K.-S. Lee, S.-J. Park, and T.-K. Han: IEEE Int. Forum Strategic Technology (2017) 77. <https://doi.org/10.1109/IFOST.2007.4798526>
- 25 Y. Wang, J. Yang, and S. Wang: Int. J. Innovative Comput. Inform. Control **14** (2018) 561. ISSN 1349-4198
- 26 M. Begnini and D. W. Bertol: Int. J. Innovative Comput. Inform. Control **13** (2017) 341. <https://doi.org/10.3233/JIFS-17699>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EEART
Electrical Engineering Academy Association (Thailand)

IEEE
THAILAND SECTION

SRI NAKHARINWIROT UNIVERSITY

iEECON 2018

The 6th International Electrical Engineering Congress

7-9 March 2018, Krabi, THAILAND

Proceedings

Power & Energy
Communications
Electronics & Control
Digital Signal Processing
Computer & IT

Organized by

IEEE
THAILAND SECTION

Technical Co-sponsored by

IEEE
THAILAND SECTION

Sponsored by

MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better

SEAGATE

United BMEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of a new base of robot arm using Finite Element Analysis

Siwawong Buthgate
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand 10520
buthgate@gmail.com

Somyot Kairwanidvilai
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand 10520
drsoomyotk@gmail.com

Abstract— The robotic arm is a robot that is used in the manufacturing industry. It has been used as a substitute for human labor in continuous work on 24 hours a day, tasks that need to be repeated all the time, dangerous jobs, and hard work that humans cannot do. Usually, humans can do everything; however, they are not able to work continuously for a long time because humans get tired and so they need to rest. This paper proposes a development of base of robot arm by applying the finite element method technique for analysis and evaluation the feasibility of the material and the design of the base of robot arm. The influential factors affecting the parts of base of robot arm are studied and analyzed. The results of the plastic PA GF30 show that can be used to replace the cast iron base, the plastic material will reduce the overall cost material by 15 % and the weight reduce from cast iron by 80 %

Keywords— plastic PA GF30, base of robot arm, finite element method.

I. INTRODUCTION

Today's industries are developing and changing into new technologies or focusing on research and development about the engineering material to reduce the production cost and increase productivity. In [1], designing of light-weight automotive parts with thermoplastic is a great way to reduce emissions. Carbon dioxide and fuel consumption reduction using plastic parts plays a significant role in the design process. By using plastic materials, the bumper weight of plastic vehicles is reduced by 41% compared to steel. It also found that the production cost of bumper plastic was lower than that of steel [1]. In [2], a metal fuel tank of a public bus was replaced with a plastic fuel tank by researching, designing and developing a plastic fuel tank, it is based on static and dynamic analysis. The analysis, static and dynamic, was based on the finite element analysis and the samples have been tested to ensure that they meet the required properties of the materials testing. The purpose of this research was to present an analytical approach to prevent plastic tank damage [2]. In [3], hydroformation of pipes known in the automotive and aerospace industry has a very complicated geometric shape with extruded materials. The benefits of hydro formation of pipes is the combination of high strength steel with the structure of the automotive parts, which results in reducing pipe weight and gains a better performance. The simulation

model was analyzed using finite element method tool deform-3D [3]. In [4], the composite polymer has some group efforts to explain the strongest attempts to describe the mechanical properties of the nano composite polymer. Therefore, the increased resolution of microscopic techniques and high-power atomic cameras. The result is not likely to indicate that during the phase of the composite polymer when the size is close and similar to that in the contact area with the surface of the press. The results of both experiments were analyzed to explain the limitation and description of how to identify the mechanical properties of polymers [4]. In [5-6], the movement of heat through the material shapes was analyzed by applying the Finite Element Simple (easy finite element), which is the software that researchers in Thailand created and developed to compare the shadow graph technique. The technique can be applied to study the movement of hot air as transparent media. The results of the simulation are different reasons why it is assumed that the errors of measurement models that some values are not taken into consideration, such as friction loss, or the density of the air with the error during the entrance temperature of hot air flowing through the hot air, which changes when the heat loss to the environment. Unlike the models are set to be in stable condition, etc. However, the results from the study of the behavior of the hot air flow have shown that the two methods can be compared and applied to various fields [5-6]. In [7], The stress and strain measurements of polymeric materials were used for the simulation of the finite element plastic components. The purpose of simulation is to simulate the behavior of the plastic stress rate, which depends on the polymer. New approaches to time and relationships were fully implemented using FEA-based optimization procedures, similar to inverse analysis. Therefore, the method used only the measured data in mechanical tests to generate real stress on the strain curve at different stress rates [7].

This paper proposes to study the material replacement for the parts for the base of robot arm and compare with the conventional materials; cast iron base and aluminum alloy base. The analysis of the paper proposed materials is based on the finite element analysis and the types of material are studied to show the effectiveness of using the proposed materials for achieving the effectiveness of the proposed base design and reducing the production cost.

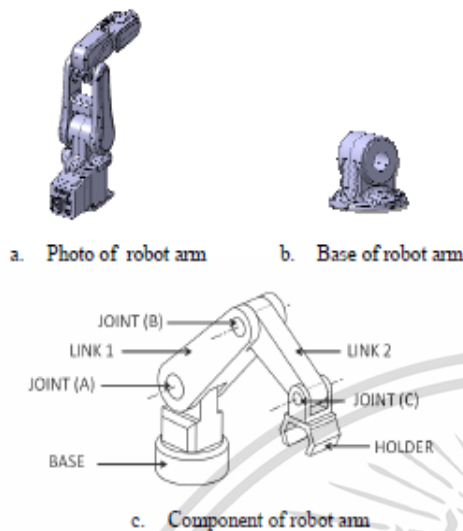


Figure 1. The detail of robot arm.

Table 1. Details of the components on the robot arm

No	Components	Function
1	Base	The first link is attached to that and fix
2	Joint A	divided according to the ability to control movement between base and link1
3	Joint B	divided according to the ability to control movement between link1 and link2
4	Joint C	divided according to the ability to control movement between link2 and holder
5	Link1	Arm structure 1
6	Link2	Arm structure 2
7	Holder	Equipment installed at the end of the arm to work. May be a handle Vacuum, Drill

As shown in Table 1 and Fig 1, there are 7 main component parts of the robot arm.

The highlight of this study, which differs from other studies, is the development of a new base of robot arm, which can replace the cast iron with the plastic PA GF30 and is light and inexpensive.

II. MATERIAL AND FINITE ELEMENT ANALYSIS

At present, the base is made from many materials, i.e. cast iron and aluminum alloy (AA2014), which cause heavy weight of robot body and high material cost. A part of the most interesting materials attempted to be develop in this research work is PA+GF30 plastic, which is light-weight and low in material cost [8].

A. Material Properties

The base is currently made of two types of materials as shown in Table 2.

Table 2. Details of the current materials.

Materials	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield strength (MPa)
Cast iron	88.0	0.26	200
Aluminum alloy-AA2014	72.4	0.33	414

This paper studied on the using of the bases material instead of the original materials mentioned above; plastic Nylon with PA+GF30, elastic 6.3 GPA, Poisson's ratio 0.42 and yield strength 216 MPa.

Table 3. The examples of stress and their definitions.

Case	Type of loading	Illustration	Stress Distribution	Stress Equations
1	Direct tension		Uniform	$\sigma = \frac{F}{A}$
2	Direct compression		Uniform	$\sigma = -\frac{F}{A}$
3	Bending			$\sigma = \pm M/Z$ $= \pm My/I$

As shown in Table 3, there are three definitions of the loading, i.e. direct tension, direct compression, and bending. For each type of the stresses shown, there are different involved properties, e.g., case, type of loading, illustration, stress distribution and stress equations.

B. Finite element and Boundary conditions

Finite element analysis of the mechanical properties and the specification of the designed and developed parts, the finite element method based on the boundary and partial differential equations on the balance solids with the flexibility in three dimensions shown below in (1)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + F_x - 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + F_y - 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z - 0 \end{aligned} \quad (1)$$

where $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ are axial stress on the x, y, and z surfaces, respectively. $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ are the shear stresses on the x, y, and z surfaces, respectively. F_x, F_y, F_z are the forces body force on the x, y, and z directions, respectively. The equation is subjected to the conditions of the stresses on the surface (surface traction):

$$\vec{T} = T_x i + T_y j + T_z k \quad (2)$$

where T_x, T_y, T_z are the x, y, and z surfaces, respectively on the axial stresses. Generally, equation (2) can be written in the general form of the stress subsidiaries as following:

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix} \quad (3)$$

where n_x, n_y, n_z are the x, y, and z surfaces, respectively on the directional cosine vectors.

$$n_i = n_x i + n_y j + n_z k \quad (4)$$

In the three-dimensional solid of the initial stress, normally is applied first and then the relationship between stress and strain is typically expressed. In the extension of the these conditions when the dimension of the object is changed can be solved and analyzed by considering the stress and strain as:

$$\{\sigma\} = [c]\{\varepsilon - \varepsilon_0\}$$

Therefore,
$$\begin{aligned} \{\sigma\}^T &= [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy} \ \tau_{yz} \ \tau_{xz}] \\ \{\varepsilon\}^T &= [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz}] \end{aligned} \quad (5)$$



Figure 2 The three-dimensional solid in the balance on any position

$$\{\sigma\} = [c]\{\varepsilon - \varepsilon_0\}$$

Therefore,
$$\{\sigma\}^T = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy} \ \tau_{yz} \ \tau_{xz}] \quad (6)$$

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz}]$$

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

where E : the Elastic modulus
V : the Poisson's ratio

The important boundary tool to solve and analyze the above mentioned boundary conditions is the Finite Element Method

with the solid object needs to firstly constructed, from this case is the base of robot arm, which was developed and designed for the Robot arm, that created by the 3D-CAD using CATIA software and solved & analyzed by the Finite Element Analysis software by MSC Nastran. Firstly, the mesh on the CAD designed is constructed by assigning the meshing value. The result and output of the finite element analysis is the maximum load force exerted on the designed bases of robot arm with three materials. The force must be within the value in the standard. [9]

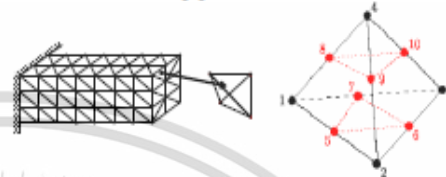


Figure. 3 the mesh and points for the boundary conditions with 10 node tetrahedron.

III. BASE DESIGN AND RESULTS

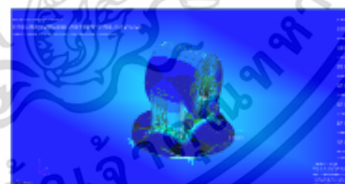
In the base design and the parameters for the mechanical properties in the FEA tool are shown in Table 4.

The Finite Element Analysis Program is the MSC Nastran software. Table 4 also shows the materials adopted in simulation study.

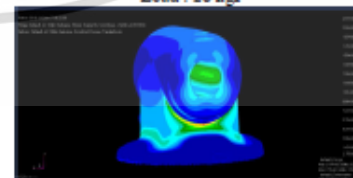
Table 4. Mechanical properties.

Material/ Mechanical properties	PA GF30	Cast iron	Aluminium alloy
Elastic	6.3 GPa	88 GPa	72.4 GPa
Poisson's ratio	0.42	0.26	0.33
Yield strength	216 MPa	200 MPa	414 MPa

By using the 3D-CAD files and assigned material properties, the result and analysis of the designed bases can be achieved. Figure 4 shows the Finite Element Analysis on the 3 material bases.



Material : PA GF30 %
Load : 28 kgf



load : 62,000 kgf

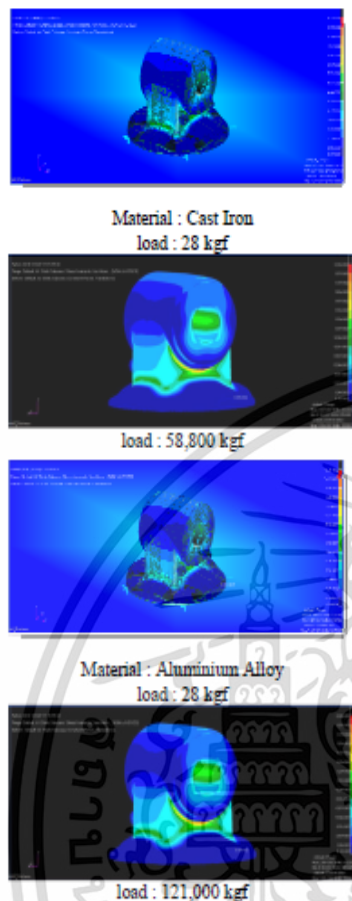


Figure 4. Finite element analysis on the three different bases

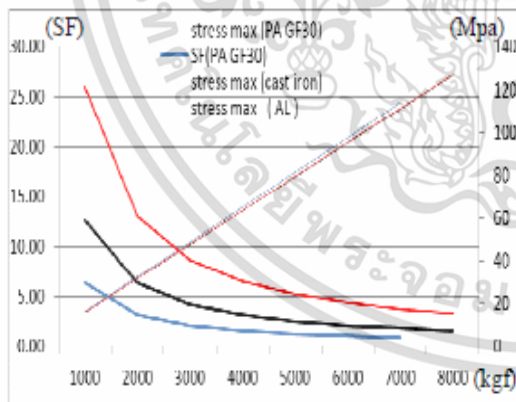


Figure 5. Estimated curves of stress of each bases

As shown in Figures 4 and 5, the results of finite element analysis for the bases of robot arm by the FEA analysis are as following :

Nylon6 Glass fiber 30

- Maximum load 62,000 kgf.

Cast iron

- Maximum load 58,000 kgf.

Aluminum alloy

- Maximum load 121,000 kgf.

IV. CONCLUSION

Result of the analysis and results, this research work can be summarized as below:

- The results of the finite element analysis show that the aluminum alloy is the best material for bases of robot arm for the maximum load. However, the mechanical property of the plastic bases is passed from ABB robot arm type 3 kg.
- Considering the weight and cost, the plastic material PA GF30% is an best material for replacement the bases. In addition, the light-weight of the robot arm parts can be achieved. The plastic material PA GF30% helps to achieve this objective by reducing weight 80 % and cost down 15%
- The conclusion of the result in this research work suggests that all bases with the three materials comply with the standard based on the simulation values of maximum load and tension & compressive strength.

ACKNOWLEDGMENT

This work was financially supported by NSTDA and TSC (Thai Steel Cable) under grant no. FDA-CO-2560-4351-TH.

REFERENCES

- [1] H.S. Park, X.P. Dang, A. Roderburg, B. Nau, Development of plastic front side panels for green cars. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6, 2012, pp.44-52.
- [2] H. Burak Ustaoglu, Sena Aylun, Gökay Simutcioglu, Sedat Sisler, Erdem Akay, Vedat Z. Doğan, Zahit Mecitoglu, Halit S. Türkmen, Serer Ataner, Static and Dynamic Analysis of Plastic Fuel Tanks used in Buses. *International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading*, 3, 2015, pp.509-517.
- [3] Bathina sreenivasulu, G. Prasanthi, FEA Simulation analysis of tube hydroforming process using DEFORM-3D. *Global Congress on Manufacturing and Management*, 12, 2015, pp.1187-1197.
- [4] T.J. Young, L.E. Crocker, W.R. Broughton, S.L. Ogin, P.A., Observations on interphase characterization in polymer composites by nano-scale indentation using AFM and FEA. *Composites: Part A*, 50, 2013, pp. 39-43.
- [5] Wuttichai Sittiwong, Study of Hot Air Flow Behavior using EasyFEM Simulation and Shadow graph Techniques. *Journal of thonburi university*, 8, 2015, pp.1-14.
- [6] Attaphon Chaimanatsakul, A study of stress in a horizontal pressure vessel and the saddle support using finite element method. *Journal of thonburi university*, 8, 2015, pp.1-9.
- [7] Valeriy A. Buryachenko, Michele Brum, (2011). FEA in elasticity of random structure composites reinforced by heterogeneities of non canonical shape. *International Journal of Solids and Structures*, 48, pp.719-728.
- [8] N.Thamchot, *Engineering Material*, 2nd Edition, Se-education, Bangkok, 2006.
- [9] P.Dechaumpai, *Finite Element Method in Engineering*, 2nd Edition, Chulalongkorn center, Bangkok, 2012.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Force Control of Industry Robot Arm using Robot Operating System (ROS)

Somyot Kaitwanidvilai¹, Siwawong Buthgate^{1*}

¹ Faculty of Engineering , King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok Thailand

*Siwawong Buthgate, Buthgate@gmail.com.

Abstract

Force control is a technology that has developed to monitor the forces a robot experiences during movement. Force control has been interested in the automated manufacturing process i.e. surface finishing, assembly task, cooperative robot-based manufacturing, etc. However, the conventional hardware controller that exists in the industry do not support implementation of current or torque control at any robot joints so as to have an end-effector force control. In this work, the industrial robot was developed based on an open source technology, the operating system that controls the arm of the industrial arm to move the 4-axis and low tolerances, suitable for using in industrial abrasives for automotive industry. The program that controls the arm is written in C, C++ and Python, which running on the Linux operating system and connecting the operating system that controls the arm (ROS) to the hardware associated with the arm. In order to achieve the stability, the analysis of force control based on our model was proposed.

Keywords: The industrial robot, open source technology, Robot Operating System (ROS), Manufacturing, investment.

1. Introduction

At present, the forthcoming 4th Industrial Revolution has caused a whole system of changes that have a profound effect on the development of the economy and industry in the country. Especially in the production process of the industrial sector that requires robot automation, which is considered the heart of the system because it can work for humans. However, in developing a prototype of an industrial arm to be used, the manufacturing industry is still complex and requires a lot of time. And the fact that the software runs on a single processor causes limitations on the number of devices to be installed and the response of those devices. And the response of those devices. Therefore, distributed distributed control architecture with a variety of robot platforms will make robot development efficient and convenient. Can reduce the limitations of linking and installing various devices on the robot. Therefore, this research is interested to study and develop robot control system by using open source software for industrial robot arm Robot Operating System (ROS). Which is one of the popular tools for the development of industrial arm technology. There are various software frameworks such as robot arm operations. Image processing system Sensors and actuators, etc., to be used as a prototype for robotics development in the manufacturing industry.

2. Methods and Materials

2.1 Force diagram of robot

Robot created a dynamic and statics model of the palletizing robot. [1] the development of a new base for robot arms was investigated by FEA to analyze and evaluate the possibilities of all materials. The results showed that the base can be made of PA GF30 plastic in replace of cast iron, thereby reducing the material cost by 15% and the weight by 80%. [2-3] the dynamic load, power consumption, and mechanical characteristics were compared. It was found that polyamide could help lighten the weight by 40% and increase energy efficiency along with cost effectiveness by 41%. [4-5] the preliminary results obtained are encouraging compared to classic spectral analysis. The monitoring and analysis have also been extended to the transient state. All the fault detection tests have been carried out directly on the electric drive mounted on a real industrial. This model shows the relationship between motion and force that can be used to analyze the force status in other similar robots, as shown in Figure 1. MATLAB program to analyze the force of robots in operation. And provide important information for structural checks Sequential design improvements and dynamic controls.

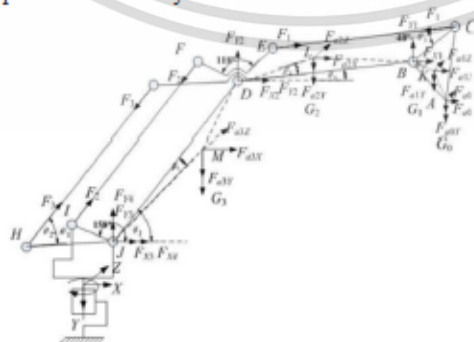


Figure 1 The forced diagram of the robot

From Figure 1, it is observed that the robot has BCED, DFIJ, DGHJ as a parallelogram, DE and DF have the same length. In Figure 1 shows an image of the strength of the palletizing robot, which θ_1 , θ_2 represents. Rotation of the forearm relative to the horizontal axis; G_0 , G_1 , G_2 , G_3 , respectively, for the load gravity I_s is the tip of the actuator, Fore arm K, L, M refers to the center of the mass position of the tip of the actuator, the forearm for the parameters in Figure 2.3 shown in Table 2.1 below.

Table 1 The forced diagram of the robot

parameter	LBC	LCE	LDE	LDJ	LHU	m_0	m_1	m_2	m_3
Value	450mm	1350	450mm	1200	500	190Kg	21.7 Kg	284.9Kg	367.6Kg
		mm		mm	mm				
parameter	$\angle EDF$	$\angle DJN$	β_1	β_2	β_3	LDL	LJM	θ_1	θ_2
Value	118°	159°	12.8°	36.0°	6.0°	220 mm	589.0mm	(-120° ,20°)	(20° ,132°)

CE, GH, FI are two-force links, F_1 , F_2 , F_3 are sequential forces

F_{aix} , F_{aiy} , F_{aiz} : The inertia of the load at the end of the arm drive, X, Y, Z, where $i = 0, 1, 2, 3$

F_{xi} , F_{yi} : Force at point B, D, J in X, Y direction where $i = 1, 2, 3, 4$

F_{x3} , F_{y3} , F_{x4} , F_{y4} : The force of the shaft reducer shaft.

M_3 , M_4 : The momentum of the force generated by the arm motor and the reducer.

By considering only the inertia of the load, the tip of the actuator arm and other inertia and momentum will not be considered due to its very small size.

2.2 Material and Equipment



Figure 2 Equipment for the Robot

The robot that will be created is a Scara robot. There are 4 axes in each axis.

- Servo Drive
- AC Servo Motor
- Encoder

2.3 Servo Drive

Servo drive unit acts as a control unit of 50W and 100W AC Servo Motor. It can control the speed, acceleration and movement position by using the servo motor through the control unit. Which sends signal commands through the motor control unit. There are different types of signal commands that can work both in Sine wave and Square wave. In addition, It is also possible to control the close loop of the motor unit and receive commands no less than this. Stepper commands, quadrature input, position / velocity / torque ± 10V and PWM velocity / torque Including error checking

The quality of a good control system must be accurate or should have a small error and gain Kp (Proportional gain) that is appropriate for the response of the system must be fast. As shown in Figure 3, with the equation of the PID control system

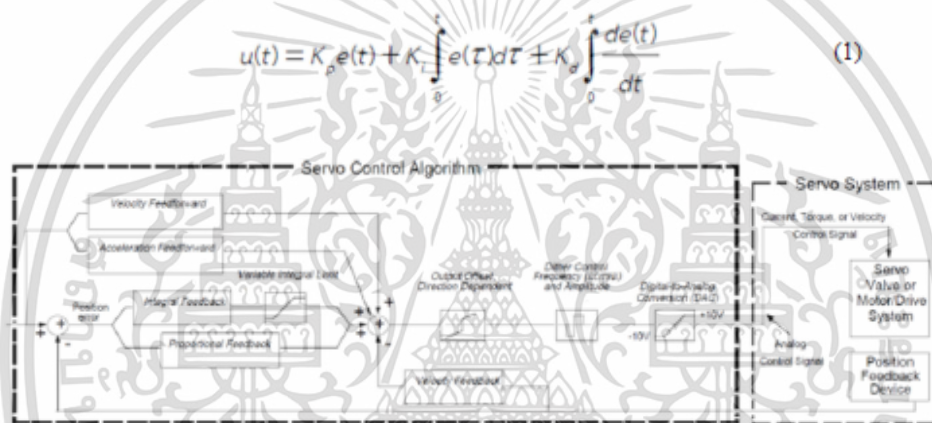


Figure 3 PID control of Servo Drive

In the torque control system, the torque of the servo motor is maintained to be constant. Because the torque of the motor varies with the current of the motor Therefore, the source that is supply to the motor To keep the torque constant This method can be done with a circuit that compares the output signal of the motor to the input signal of the motor and amplifies the difference to be used as a Torque control feedback circuit as shown in Figure 4

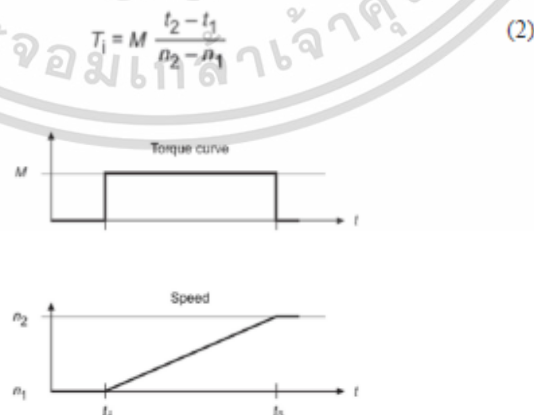


Figure 4 PID control (Torque control system)

A system for controlling the movement with a torque and speed graph for a servo motor in the form of Non-zero starting velocity, as shown in Figure 5, 6 As shown in Figure

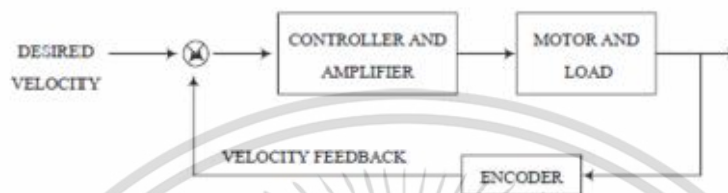


Figure 5 Block diagram of system

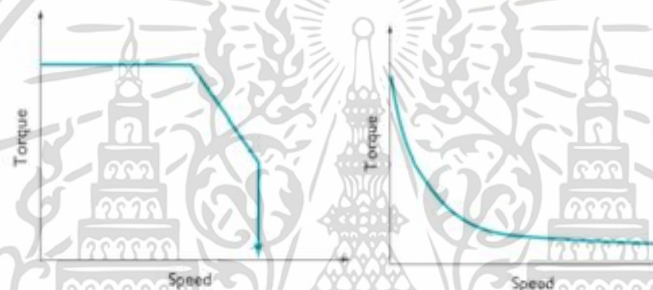


Figure 6 graph of torque and speed

2.4 Encoder

Encoder is an incremental encoder and has a loop resolution of 2500 P / R with 8 poles. It can operate both sine. And cosine where the AB channels signal Bidirectional and speed and rotation sense detection. If B signal A leads to rotate clockwise, but if A signal B leads to counterclockwise, ABZ indicates direction and speed. Initial position

2.5 AC Servo motor

AC servo motor is brushless type, consisting of a magnetic core

Permanent rotor axis stator channel, as shown in Figure 7. The rotor is made from high-efficiency permanent magnets which made from many materials such as ceramics (ferrite) or Samaria cobalt etc.



Figure 7 Detail of AC motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Result and Discussion

3.1 Testing the operation of SCARA robots with PID Control

Control of AC Servo motor operation and programming of AC Servo motor control for simulating the rotation of the motor 360, 180, 90, 60 degrees, with tools and equipment from the robot installation using the program set. Control CME 2 to drive the robot control unit. As shown in figure 8



Figure 8 SCARA Robot

3.2 Result of experiment

AC servo motor of the robot was calculated and using the current clamp meter to check the current of the servo motor as shown Figure 9

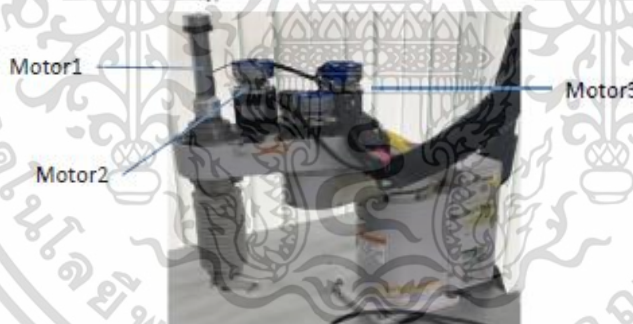


Figure 9 Robot and Servo motor

Table 2 shown the data of Load and current of AC servo motor

Load (N)	Current (A)		
	Motor1	Motor2	Motor3
5	0.12	1.86	6.20
10	0.18	2.48	7.43
15	0.24	3.10	8.68
20	0.31	3.72	9.92
25	0.37	4.34	11.15
30	0.43	4.96	12.40

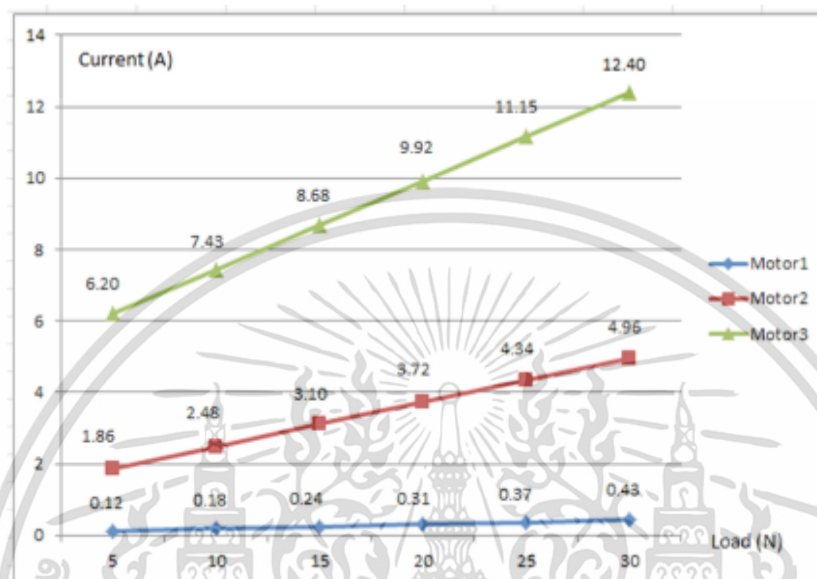


Figure 10 Shown relation between Load and current of servo motor

From figure 10, determine motor of each join use load and current of servo motor. From figure 9 when motor1 take load 5 N will use current 0.12 A, motor2 use 1.86 A and motor3 use current 6.2 A. So, this graph can show the load between 0-30 N (3kg)

4. Conclusion

This paper shown AC Servo Motor analysis for control the force of each motor of SCARA Robot. The following are our conclusion;

- Understand about the current of AC Servo Motor of robot when take load and force between 0-30 N
- The maximum of robot 3 kgf will use current not over 12.4 A
- The light weight of Robot design can save the current of servo motor
- Apply to robot design and energy efficiency
- Can apply the Servo Motor use into Scara robot, Arm robot.

5. Acknowledgements

This work was financially supported by NSTDA and TSC (Thai Steel Cable) under grant no.FDA-CO-2560-4351-TH

6. References

- [1] B. Siwawong and K. Somyot: Int. Elect. Eng. Congr. (iEECON) 7 (2018) 739.
- [2] Somyot K., Siwawong B., Hisayuki A., and Poom K. 2020. Robot Arm Structure Design Using Polyamide Evaluated by FEA. Sensor and Material. Vol.32, no.2: 487-497.
- [3] Juan C., Juvenal R., Tibor S., and Marton T. 2018. Frequency and Time-Frequency Analysis of Cutting force and Vibration Signals for tool condition Monitoring. IEEE. Vol.6: 6400-6410.
- [4] Andrea Bonci, Sauro Longhi and Giacomo Nabissi. 2019. Predictive Maintenance System using motor current signal analysis for industrial robot. IEEE. 7: 1453-1456.
- [5] Clearance", 2017, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics, July 14-18, 2017, Japan.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายศิววงศ์ บุษเกตุ
วัน เดือน ปีเกิด	20 มิถุนายน 2517
ที่อยู่	1/116 หมู่บ้านสุขุมวิท1 ถ.บ้านตะวันออก ตำบลบางสมัคร อำเภอบางปะกง ฉะเชิงเทรา 24180
ประวัติการศึกษา	2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 2553 บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทั่วไป มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2560 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การออกแบบผลิตภัณฑ์สายควบคุมรถจักรยานยนต์ รถยนต์และชุดควบคุม กระจักรยนต์ 2.) การออกแบบกระบวนการผลิต, Tooling, Jig & Figure 3.) ห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2541	วิศวกรประจำฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัทไทยสตีลเคเบิลจำกัด
พ.ศ.2543	หัวหน้าแผนกฝ่ายประกันคุณภาพ บริษัทไทยสตีลเคเบิลจำกัด
พ.ศ.2545	หัวหน้าส่วนฝ่ายประกันคุณภาพ บริษัทไทยสตีลเคเบิลจำกัด
พ.ศ.2547	ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ บริษัทไทยสตีลเคเบิลจำกัด (มหาชน)
พ.ศ.2549	ฝึกอบรมและปฏิบัติงานด้านการทดสอบ ณ ประเทศญี่ปุ่น
พ.ศ.2551	ผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ
พ.ศ.2556	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม
พ.ศ.2558	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมและผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ
พ.ศ.2562	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมการผลิตและผู้จัดการฝ่ายห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบ เทียบ
พ.ศ.2563-ปัจจุบัน	ผู้จัดการทั่วไปอาวุโสส่วนงานผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้