

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก
โดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์

ANALYSIS AND DESIGN OF THE PLASTIC-SHEET PUNCHER
STRUCTURE USING FINITE ELEMENT METHOD



พิศาล มุลอังกา
PISAN MOONUMCA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-030-413

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก
โดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์

ANALYSIS AND DESIGN OF THE PLASTIC-SHEET PUNCHER
STRUCTURE USING FINITE ELEMENT METHOD



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 87062
วัน,เดือน,ปี... 3 0 ส.ค. 2552

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2551
KMITL-2008-EN-M-030-413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ANALYSIS AND DESIGN OF THE PLASTIC-SHEET PUNCHER
STRUCTURE USING FINITE ELEMENT METHOD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

KMITL-2008-EN-M-030-413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกโดยใช้หลักการ
ไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis and Design of the Plastic-Sheet Puncher Structure Using Finite
Element Method

นักศึกษา นายพิศาล มูลอำคา

รหัสประจำตัว 49060313

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ณัฐวุฒิ เคาไปวา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	
ดร.อำนาจ คณะรัฐ	
รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว	
ดร.ฐิตะพล หุยนันท	
ดร.ณัฐวุฒิ เคาไปวา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 1 สิงหาคม 2551 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 2 ชั้น 3 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๒.....เดือน.....สิงหาคม.....พ.ศ.....๒๕๕๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก โดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์
นักศึกษา	นาย พิศาล มุลอ่ำคา
รหัสนักศึกษา	49060313
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ณัฐวุฒิ เคนไปวา

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาดังการเสียรูป, ความเค้น, การสันสะเทือน และ ความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการคำนวณ ในการคำนวณการเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ออกแบบใหม่นั้น ได้ลดการเสียรูปลงจากเดิม 95.72% ส่วนค่าของความเค้นสูงสุดลดลงจากเดิม 83.14% ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมของความหนาที่เพิ่มขึ้น ในบางตำแหน่ง ในการหาค่าที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาค่าของการเสียรูป, ความเค้นสูงสุดและน้ำหนักของชิ้นส่วนของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเพื่อให้ขนาดของการเสียรูป น้อยที่สุด ในส่วนของการสันสะเทือนซึ่งเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมมีระยะการกระจัดสูงสุดอยู่ที่ 3.0105 มิลลิเมตร เมื่อออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่สามารถลดระยะการกระจัดลงได้เหลือ 0.8038 มิลลิเมตร และค่าของความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมอยู่ที่ 74.15 เฮิรท์ส เปลี่ยน ไปเป็น 135.90 เฮิรท์ส หลังจากที่ได้ใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาดังกล่าว พบว่าวิธีการนี้สามารถใช้แก้ปัญหาเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์, ความเค้น, การเสียรูป, การสันสะเทือน, ความถี่ธรรมชาติ

Thesis Title	Analysis and Design of the Plastic-Sheet Puncher Structure Using Finite Element Method
Student	Mr. Pisan Moonumca
Student ID.	49060313
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Dr. Natthawut Depaiwa

ABSTRACT

This paper presents the studying of the deformation, stress, vibration and natural frequency of the plastic-sheet puncher using finite element method. This method is used to reduce the deformation of the former plastic-sheet puncher about 95.72 %.The maximum stress can reduce about 83.14 %.This paper uses the optimization method to find the optimum at some positions. About the optimization include the deformations, the maximum stress and the weight of some part of the plastic-sheet puncher in order to determine the least of the deformation. About the vibration, the displacement of the former plastic-sheet puncher is 3.0105 millimeter and the displacement of the new plastic-sheet puncher is 0.8038 millimeter. The natural frequency of the former plastic-sheet puncher is 74.145 hertz and the natural frequency of the new plastic-sheet puncher is 135.90 hertz. The problems from the experiment can be solved by the finite element method.

Key Words: Finite Element Method, Stress, Deformation, Vibration, Natural Frequency

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ณัฐวุฒิ เคนไปวา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการควบคุมการสอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณนายมณฑา เทียมเมือง รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พิศาล มูลอำคา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.4.1 การวิเคราะห์และออกแบบ.....	3
1.4.2 การสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ความเป็นมาของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	4
2.3 ความเป็นมาของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม.....	6
2.4 การสร้างแบบจำลองใหม่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ต่างๆ.....	6
บทที่ 3 ทฤษฎีการออกแบบ.....	7
3.1 บทนำ.....	7
3.2 สมดุลและผังวัตถุอิสระ.....	7
3.3 ความเค้น.....	8
3.4 องค์ประกอบของความเค้นในระบบคาร์ทีเซียน.....	9
3.5 วงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 ความเค้น 3 มิติ.....	14
3.7 ความเครียดยืดหยุ่น.....	15
บทที่ 4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การสันสะเทือน.....	17
4.1 บทนำ.....	17
4.2 การสันสะเทือนทางวิศวกรรม.....	18
4.2.1 การสร้างแบบจำลองทางกายภาพ.....	18
4.2.2 การหาสมการการเคลื่อนที่.....	19
4.3.4 การหาผลเฉลยสมการการเคลื่อนที่.....	19
4.3 การวิเคราะห์การสันสะเทือนทางวิศวกรรม.....	19
4.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์.....	20
4.3.2 การสันสะเทือนแบบอิสระที่มีความหน่วง.....	23
4.3.3 การลดลงแบบลอการิทึม.....	27
4.3.4 การสันสะเทือนแบบถูกกระตุ้น.....	28
4.4 หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสันสะเทือน.....	30
4.5 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม.....	31
4.5.1 การแปลงแบบฟูเรียร์.....	31
4.5.2 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม.....	32
บทที่ 5 หลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	32
5.1 บทนำ.....	32
5.2 ชนิดของเอลิเมนต์.....	32
5.2.1 เอลิเมนต์มิติเดียว.....	32
5.2.2 เอลิเมนต์สองมิติ.....	33
5.2.3 เอลิเมนต์สามมิติ.....	36
5.3 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย.....	37
5.4 การกำหนดจุดต่อและความกว้างแถบ.....	40
5.5 ฟังก์ชันการกระจัด.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5.1 ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงเดียว.....	44
5.5.2 ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงซ้อน.....	45
5.5.3 ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงซับซ้อน.....	47
5.6 การนำไปสู่ผลเฉลยแม่นยำ.....	48
บทที่ 6 ทฤษฎีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	50
6.1 บทนำ.....	50
6.2 ความจำเป็นของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	52
6.3 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในทางวิศวกรรม.....	52
6.4 ประเภทของแบบจำลองของปัญหา.....	54
6.5 ขั้นตอนของการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา.....	54
6.5.1 การกำหนดปัญหา.....	54
6.5.2 การจัดรูปปัญหาให้เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์.....	55
6.5.3 การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหา.....	56
6.5.4 การทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้.....	56
6.5.5 การนำผลลัพธ์หรือค่าคำตอบไปใช้งาน.....	56
6.6 ประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	56
6.7 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	57
6.7.1 วิธีกราฟ.....	58
6.7.2 วิธีวิเคราะห์.....	58
6.7.3 วิธีทดลอง.....	58
6.7.4 วิธีเชิงตัวเลข.....	58
6.8 ประโยชน์ของการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบ.....	58
6.9 ข้อจำกัดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	59
บทที่ 7 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	61
7.1 บทนำ.....	61
7.2 การออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก.....	61
7.3 การวิเคราะห์แบบสถิติศาสตร์ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่.....	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.3.1 การกำหนดตำแหน่งของจุดจับยึด.....	63
7.3.2 การกำหนดค่าของแรงที่กระทำกับหัวเจาะ	64
7.3.3 คุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง.....	65
7.3.4 การกำหนดเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลอง.....	65
7.3.5 การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสม.....	66
7.3.5.1 การเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาด.....	66
7.3.5.2 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด.....	67
7.3.5.3 ขนาดของความหนาที่เหมาะสม.....	69
7.3.6 ค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการเสีรูปและความเค้น.....	70
7.3.7 การออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่เพื่อให้ง่ายแก่การสร้าง.....	73
7.3.8 ผลลัพธ์ของการเสีรูปและความเค้นของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก ที่จะสร้างขึ้น.....	74
7.4 การวิเคราะห์เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกแบบพลศาสตร์.....	75
7.4.1 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง.....	76
7.4.2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขของปัญหา.....	77
7.4.3 การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง.....	78
7.4.4 หลักการวิเคราะห์เพื่อหาผลลัพธ์ของความถี่ธรรมชาติ.....	78
7.4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม.....	79
7.4.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่.....	80
7.4.7 ค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าการตอบสนองของ เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่.....	82
7.5 การสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่.....	84
7.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	84
7.5.2 ลิเนียร์เบริง.....	85
7.5.3 กระจับอกสูบทางเดียว.....	85
7.5.4 วาล์วควบคุมทิศทาง.....	86
7.5.5 ฐานรองรับ.....	86

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.5.6 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	86
7.6 การติดตั้งอุปกรณ์.....	87
7.6.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	87
7.6.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งลิเนียร์แบร์ริง.....	88
7.6.3 ตำแหน่งที่ติดตั้งกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์.....	88
7.6.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วควบคุมทิศทาง.....	89
7.6.5 ตำแหน่งที่ติดตั้งชุดลำเลียงแผ่นพลาสติก.....	89
7.6.6 ตำแหน่งการติดตั้งหัวตัดแผ่นพลาสติก.....	90
7.7 สรุปผล.....	91
บทที่ 8 ผลการทดลอง.....	92
8.1 บทนำ.....	92
8.2 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ.....	93
8.2.1 แผนผังของ โปรแกรม DASYLab.....	93
8.2.2 การทำงานของ โปรแกรม DASYLab.....	94
8.3 ผลการวิเคราะห์การกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก.....	95
8.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณกับการทดลอง.....	98
8.5 สรุป.....	99
บทที่ 9 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	100
9.1 สรุปผล.....	101
9.2 วิเคราะห์ผล.....	101
9.3 ข้อเสนอแนะ.....	101
บรรณานุกรม.....	103
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก. ทรานส์ดิวเซอร์สำหรับวัดความเร็ว.....	106
ภาคผนวก ข. ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	109

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค. ระบบนิเวศติกส์.....	114
ภาคผนวก ง. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	126



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
7.1 แสดงช่วงของค่าตัวแปรที่ต้องการจะออกแบบ.....	67
7.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ.....	69
7.3 แสดงผลการเปรียบเทียบการคำนวณของแบบจำลองต่างๆ	73
7.4 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมกับเครื่องที่จะสร้างจริง.....	75
8.1 แสดงความถี่ของแรงที่กระทำกับหัวเจาะกับแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัด.....	98
8.2 การเปรียบเทียบค่าของการกระจัดสูงสุดระหว่างทฤษฎีและการทดลอง.....	98



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 พังวัตถุอิสระ.....	8
3.2 องค์ประกอบของแรง.....	9
3.3 องค์ประกอบคาร์ทีเซียน.....	9
3.4 องค์ประกอบความเค้นตั้งฉาก.....	10
3.5 วงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ในระนาบ.....	11
3.6 แสดงการสร้างวงกลมของโมห์.....	14
4.1 การเคลื่อนที่ที่มุมเฟสที่แตกต่างกัน.....	22
4.2 การรวมการสั่นสะเทือน.....	23
4.3 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด.....	24
4.4 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta > 1$	25
4.5 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta = 1$	25
4.6 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta < 1$	26
4.7 การลดลงของขนาดการสั่นสะเทือน.....	27
4.8 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก.....	28
4.9 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นที่มีผลเฉลยของการสั่นสะเทือนแบบอิสระรวมอยู่ด้วย.....	30
4.10 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่.....	32
5.1 เอลิเมนต์มิติเดียว.....	34
5.2 เอลิเมนต์สองมิติ.....	35
5.3 เอลิเมนต์สามมิติ.....	36
5.4 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสองมิติที่ประกอบด้วยจุดต่อต่างๆ.....	36
5.5 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	37
5.6 ตำแหน่งของจุดต่อที่สำคัญ.....	38
5.7 การแบ่งชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	38
5.8 การแบ่งชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมโค้งออกเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมย่อย.....	39
5.9 การขยายขนาดเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	39
5.10 การยึดจุดต่อ.....	40
5.11 ความกว้างแถบของระบบที่มี $HB = 8$	41
5.12 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของคานที่ประกอบด้วย 3 เอลิเมนต์.....	41
5.13 ความกว้างแถบของคาน.....	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 กรอบของสกายไลน์.....	42
5.15 การสมมุติฟังก์ชันการกระจัดสำหรับปัญหามิติเดียว.....	44
5.16 เอลิเมนต์เชิงซ้อน.....	46
5.17 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสองมิติ.....	47
5.18 เอลิเมนต์ชนิดปริซึม.....	48
5.19 การนำไปสู่ผลเฉลยแม่นยำตรงของฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์.....	49
7.1 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่เคยสร้างขึ้น.....	61
7.2 แบบจำลองจากเครื่องเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	62
7.3 การสร้างแบบจำลองใหม่จากเครื่องต้นแบบเดิม.....	62
7.4 แบบจำลองใหม่ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	63
7.5 การใส่ค่าเริ่มต้นให้กับแบบจำลองเดิม.....	63
7.6 การใส่ค่าเริ่มต้นให้กับแบบจำลองใหม่.....	64
7.7 แสดงการหาค่าของแรงที่กระทำกับหัวเจาะ.....	64
7.8 การสร้างเอลิเมนต์ของแบบจำลองเดิม.....	65
7.9 การสร้างเอลิเมนต์ของแบบจำลองใหม่.....	66
7.10 การเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาด.....	66
7.11 แสดงขั้นตอนการคำนวณในการหาค่าที่เหมาะสม.....	68
7.12 แสดงตำแหน่งที่เพิ่มขนาด.....	69
7.13 การเสียรูปของแบบจำลองเดิม.....	70
7.14 การเสียรูปของแบบจำลองใหม่ก่อนการหาค่าที่เหมาะสม.....	70
7.15 การเสียรูปของแบบจำลองใหม่ก่อนการหาค่าที่เหมาะสม.....	71
7.16 ค่าความเค้นของแบบจำลองเดิม.....	71
7.17 ค่าความเค้นของแบบจำลองใหม่ก่อนการหาค่าที่เหมาะสม.....	72
7.18 ค่าความเค้นของแบบจำลองใหม่หลังการหาค่าที่เหมาะสม.....	72
7.19 แสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้น (ด้านหน้า).....	73
7.20 แสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้น (ด้านหลัง).....	73
7.21 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าการเสียรูปและความเค้น.....	74
7.22 การเสียรูปที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองจริง.....	74
7.23 ค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองจริง.....	75

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.24 แสดงแบบจำลองที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆ.....	76
7.25 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง.....	77
7.26 การกำหนดค่าเงื่อนไขให้กับแบบจำลอง.....	77
7.27 การแบ่งเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น.....	78
7.28 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเดิมที่โหมค 1	79
7.29 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเดิมที่โหมค 2.....	79
7.30 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเดิมที่โหมค 3.....	80
7.31 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องใหม่ที่โหมค 1	80
7.32 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องใหม่ที่โหมค 2.....	81
7.33 ค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องใหม่ที่โหมค 3.....	81
7.34 การตอบสนองของระบบการกระตุ้นที่ความถี่ 1 Hz	82
7.35 การตอบสนองของระบบการกระตุ้นที่ความถี่ 2 Hz	82
7.36 การตอบสนองของระบบการกระตุ้นที่ความถี่ 3 Hz	83
7.37 การตอบสนองของระบบการกระตุ้นที่ความถี่ 4 Hz	83
7.38 การตอบสนองของระบบการกระตุ้นที่ความถี่ 5 Hz	84
7.39 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	84
7.40 ลิเนียร์แบร์ริง.....	85
7.41 กระจับอกสูบนิวแมติกส์.....	85
7.42 วาล์วควบคุมทิศทาง.....	86
7.43 ฐานรองรับ.....	86
7.44 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	87
7.45 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	87
7.46 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งลิเนียร์แบร์ริง.....	88
7.47 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งกระจับอกสูบนิวแมติกส์.....	88
7.48 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วควบคุมทิศทาง.....	89
7.49 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งชุดลำเลียงแผ่นพลาสติก.....	89
7.50 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งหัวตัดแผ่นพลาสติก.....	90
7.51 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก.....	90

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.1 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้จัดทำขึ้น.....	92
8.2 แผนผังของโปรแกรม DASYSLab.....	93
8.3 กราฟแสดงระยะการกระจัดสูงสุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม.....	95
8.4 กราฟแสดงระยะการกระจัดสูงสุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ที่ 1 Hz.....	95
8.4 กราฟแสดงระยะการกระจัดสูงสุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ที่ 2 Hz.....	96
8.4 กราฟแสดงระยะการกระจัดสูงสุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ที่ 3 Hz.....	96
8.4 กราฟแสดงระยะการกระจัดสูงสุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ที่ 4 Hz.....	97
8.4 กราฟแสดงระยะการกระจัดสูงสุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ที่ 5 Hz.....	97
ก.1 ลักษณะของแรงกระทำต่อผลึกวัสดุพีโซอิเล็กทริก.....	107
ก.2 หัววัดความเร่งแบบแรงกด.....	107
ก.3 หัววัดความเร่งแบบแรงเฉือน.....	107
ข.1 บล็อกไดอะแกรม AVR (ATmega16).....	110
ข.2 พอร์ต AVR (ATmega16) ตัวถังแบบ PDIP และ TQFP/MLF.....	112
ค.1 แสดงวงจรระบบนิวมेटิกส์พื้นฐาน.....	115
ค.2 แสดงภาพถ่ายอุปกรณ์ในระบบนิวมेटิกส์จากวงจรนิวมेटิกส์รูปที่ ค.1	116
ค.3 PLC ควบคุมระบบนิวมेटิกส์.....	116
ค.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมนิวมेटิกส์.....	117

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ ตัวยก และ ตัวห้อย

*	แสดงค่าที่เหมาะสมที่สุด
\in	เป็นสมาชิกของ
∇	เกรเดียนท์
\vec{x}	สัญลักษณ์กำกับบอกการเป็นเวกเตอร์

สัญลักษณ์ตัวอักษรลาติน

c_c	ค่าความหน่วงวิกฤติ (Critical Damping) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{km}$
C	จุดกำเนิดของระบบแกนวัตถุ หรือจุดศูนย์กลางมวล
$[C]$	เมทริกซ์ของค่าความหน่วง
$[C_p]$	เมทริกซ์เสถียรแบบมุมในระบบแกนหลักของค่าความหน่วง ขนาด $n \times n$
F_x, F_y, F_z	ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำบนวัตถุในทิศทาง $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$
$\{F\}$	เวกเตอร์ของแรง
$\{F_p\}$	เวกเตอร์ของแรงในระบบแกนหลัก
f	ความถี่ของการสั่น
$g_q(\vec{x})$	ฟังก์ชันข้อบังคับแบบน้อยกว่าและเท่ากับ q สมการ
G	จุดกำเนิดของระบบแกนรวม
$I_{xx}, I_{xy}, \dots, I_{zz}$	โมเมนต์ความเฉื่อยและโปรดัคซ์ความเฉื่อยของวัตถุเกร็ง
$[I]$	เมทริกซ์เอกลักษณ์
l_j	ระยะทางจากจุด O ถึงระนาบ j
L	ฟังก์ชันลากรางเจียน
m	มวลรวมของวัตถุเกร็ง
M_z	ขนาดของทอร์คัลทิพย์ในทิศทาง \bar{Z}
$[M]$	เมทริกซ์ของมวล
$[M_p]$	เมทริกซ์เสถียรแบบมุมในระบบแกนหลักของมวลขนาด $n \times n$
P, F_g	แรงดันแก๊ส
RMS	ค่ารากที่สองกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square)
\mathcal{N}^n	เซตของจำนวนจริง
T	คาบเวลา

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

\bar{x}	เวกเตอร์ตัวแปรออกแบบ
$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$	ระบบแกนอ้างอิงหรือระบบแกนรวม
X, Y, Z	ระบบแกนวัตถุที่มีจุดกำเนิดที่จุดศูนย์กลางมวล
\bar{x}_c	เวกเตอร์การกระจัดของจุดศูนย์กลางมวล C ของวัตถุในทิศทาง $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$
$x_c, y_c, z_c, \dot{x}_c, \dot{y}_c, \dot{z}_c, \ddot{x}_c, \ddot{y}_c, \ddot{z}_c$	การกระจัด, ความเร็ว และ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวล C ของวัตถุในทิศทาง $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$
x_{ci}	ระยะจากจุดกำเนิดแกน x - y ถึงตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ i
x_{hi}	ผลเฉลยเอกพันธ์ของโหมด i
\bar{x}_{mi}	เวกเตอร์ค่าเฉพาะอันดับ i หรือโหมดเซฟที่ความถี่ธรรมชาติอันดับ i
x_{pti}	ผลเฉลยเฉพาะของโหมด i
x_l, x_u	ขีดจำกัดล่างและบนของตัวแปรออกแบบ
x_{rms}	ค่ารากที่สองกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณการสั่นสะเทือนในทิศทางต่าง ๆ
y_{rms}	ค่ารากที่สองกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณการสั่นสะเทือนในทิศทาง y
x, y	ระบบแกนเฉพาะของชุดกลไกเลื่อน ไถลเมื่อ y ขนานกับ \bar{Y} และ x ขนานกับ \bar{X}
\bar{x}^*	เวกเตอร์ตำแหน่งที่ทำให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย i มีค่าต่ำสุด ($\bar{x}^* \in R^{n_x}$)
$\{X\}$	เวกเตอร์การกระจัด
$\{X_p\}, \{\dot{X}_p\}, \{\ddot{X}_p\}$	เวกเตอร์การกระจัด, เวกเตอร์ความเร็วและเวกเตอร์ความเร่งในระบบแกนหลัก
$\{X_{p0}\}, \{\dot{X}_{p0}\}$	เวกเตอร์การกระจัด, เวกเตอร์ความเร็วเริ่มต้นในระบบแกนหลัก
w_j, u_g	ตัวคูณลากราง

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์ตัวอักษรกรีก

Δt	Step time
θ	การกระจัดเชิงมุม
$\bar{\theta}_c$	เวกเตอร์การกระจัดเชิงมุมของจุดศูนย์กลางถ่วงมวล C รอบแกน \bar{X}, \bar{Y} และ \bar{Z}
$\theta_x, \theta_y, \theta_z$	การกระจัดเชิงมุมของจุดศูนย์กลางถ่วงมวล C รอบแกน \bar{X}, \bar{Y} และ \bar{Z}
$\dot{\theta}_x, \dot{\theta}_y, \dot{\theta}_z$	ความเร็วเชิงมุมของจุดศูนย์กลางถ่วงมวล C รอบแกน \bar{X}, \bar{Y} และ \bar{Z}
$\ddot{\theta}_x, \ddot{\theta}_y, \ddot{\theta}_z$	ความเร่งเชิงมุมของจุดศูนย์กลางถ่วงมวล C รอบแกน \bar{X}, \bar{Y} และ \bar{Z}
μ	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์
δ	ค่าการลดลงแบบลอการิทึม
ω_d	ค่าความถี่ของระบบ
ω_{di}	ค่าความถี่ของระบบ อันดับ i
ω_i	ค่าความถี่อันดับ i
ω_n	ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)
ω_{ni}	ค่าเฉพาะอันดับ i หรือความถี่ธรรมชาติอันดับ i
ϕ_i	มุมเฟสเริ่มต้นใดๆ
λ	ค่าเฉพาะที่ได้จากการแก้ปัญหาค่าเฉพาะ
ρ	ค่าความหนาแน่นของวัสดุ
ζ	ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)
τ	คาบของการสั่น

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้าน Computer Aided Engineer(CAE)ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมมากขึ้นทั้งสถาบันการศึกษาและอุตสาหกรรมขนาดเล็กทั่วไปทั้งนี้เพราะขีดความสามารถของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และโปรแกรมมาตรฐานสำหรับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้พัฒนาขึ้นอย่างมาก และกว้างขวางยิ่งขึ้น การใช้งานจึงสะดวกรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำสูง และเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก ดังนั้นเราจึงใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อช่วยในการคำนวณเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก เพื่อที่จะหาค่าของการเสีรูปร่างเมื่อมีแรงกระทำในตำแหน่งของหัวเจาะ พร้อมทั้งการเลือกขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าของการเสีรูปร่างและการสั่นสะเทือนของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้นน้อยลง

ในงานด้านวิศวกรรมเครื่องกล การคำนวณและออกแบบโครงสร้างเป็นงานที่ต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ค่อนข้างมากและซับซ้อน ดังนั้นวิศวกรเครื่องกลจึงต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยการคำนวณ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดเวลาในการคำนวณ ก็ยังช่วยให้วิศวกรสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ เช่น การคำนวณและออกแบบโครงสร้างเครื่องจักร หลักการโดยย่อของการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์โครงสร้าง คือ เริ่มจากการสร้างสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของโครงสร้างเมื่อรับแรงภายนอกต่างๆ จากนั้นก็สร้างรหัสโปรแกรมเพื่อแก้สมการคณิตศาสตร์ดังกล่าวเพื่อหาคำตอบของสมการ ซึ่งคำตอบที่ได้ก็จะเป็นค่าของตัวแปรที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของโครงสร้างเมื่อรับแรงกระทำ หลักการสร้างสมการคณิตศาสตร์ดังกล่าว ที่นิยมใช้กันมากในทางวิศวกรรม คือ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)[2,3,4] ซึ่งวิธีนี้ถูกนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากมายหลายสาขา เช่น โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างเครื่องจักร โปรแกรมวิเคราะห์หน่วยแรงในชิ้นส่วนปีกเครื่องบิน โปรแกรมวิเคราะห์ความเร็วของคลื่นในทะเล เป็นต้น หลักการโดยย่อของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือการแบ่งแบบจำลองโครงสร้างออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ จำนวนนับได้ แล้วจึงหาค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนเล็กๆแต่ละชิ้นเหล่านั้น จากนั้นก็ทำการสร้างสมการอธิบายพฤติกรรมโครงสร้าง $KU = F$ เมื่อ K คือค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของโครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง (F) กับผลการเสีรูปร่างหรือการเปลี่ยนตำแหน่งของโครงสร้าง (U) โดยการหาค่า K ของโครงสร้างนี้ จะใช้เทคนิคการรวมค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนเล็กๆเข้าด้วยกันคล้ายการประกอบชิ้นส่วนภาพจิ๊กซอว์นั่นเอง เมื่อได้สมการดังกล่าวข้างต้น ก็จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาคำตอบของตัวแปร U จากสมการข้างต้นถ้า U เป็นตัวแปรตัวเดียว การ

แก้สมการก็ทำได้ง่ายสามารถคำนวณได้โดยใช้เพียงเครื่องคิดเลข แต่ถ้าเป็นกรณีหลายร้อยตัวแปรก็ต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้น ได้มีจัดทำขึ้นแล้ว[1] แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของโครงสร้างที่ไม่แข็งแรงซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเอง เช่น เกิดการเสีรูปร่างในขณะที่ทำงานซึ่งจะส่งผลต่อแนวการเจาะของหัวเจาะเอง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการเจาะนั้นไม่ดีเท่าที่ควรหรือ ทำให้การเจาะของแผ่นพลาสติกไม่ขาดในทุกๆ ครั้งของการเจาะซึ่งในการทำงานในแต่ละจุดของการเจาะจะทำงานเพียงครั้งเดียว ไม่มีการเจาะซ้ำอีก ในส่วนของการสั่นสะเทือนของโคลงสร้างก็เช่นกัน ซึ่งจะทำให้แรงที่กระทำของการเจาะไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการกระแทกอย่างรุนแรงอาจจะเป็นการลดอายุการใช้งานของหัวเจาะเอง และอาจจะมีปัญหาตามมาอีกเช่น มีเสียงดัง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น จึงจำเป็นต้องใช้การคำนวณเข้าไปแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ให้ลดลง หรือหายไป

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกขึ้นใหม่ ในการออกแบบจะใช้เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้จัดทำเป็นต้นแบบ และอาจจะมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น เช่น ให้มีความแม่นยำขึ้น มีความรวดเร็วกว่าเดิม ก่อนการทำการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกจริงจะมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยจะใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ สถิติศาสตร์ และ พลศาสตร์ ในส่วนของการวิเคราะห์แบบสถิติศาสตร์นั้นจะวิเคราะห์การเสีรูปร่าง และ ความเค้นสูงสุดเป็นหลัก ในส่วนของการวิเคราะห์ พลศาสตร์จะมีการหาค่าของระยะการกระจัดของการสั่นสะเทือน [6, 7] และค่าของความถี่ธรรมชาติเพื่อให้ครอบคลุมสภาวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก หลังจากนั้นจะมีการวัดผลต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณและการทำงานจริงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. สามารถออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ให้การเสีรูปร่างลดลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเจาะของหัวเจาะแผ่นพลาสติกให้แม่นยำและแน่นอนยิ่งขึ้น
2. สามารถออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ให้ค่าความเค้นลดลงจากเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมเพื่อยืดอายุการใช้งานของตัวเครื่องให้ยาวนานยิ่งขึ้น
3. สามารถออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ให้มีค่าการกระจัดของการสั่นสะเทือนลดลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมเพื่อความแม่นยำในการทำงานจริง
4. สามารถออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ให้มีค่าของความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 ให้มีค่ามากกว่าเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมที่เคยสร้างขึ้นได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ในส่วนของสถิติศาสตร์จะใช้แรงกระทำให้เป็นแรงดันกระทำกับพื้นผิวของหัวเจาะซึ่ง
เป็นไปตามที่วัดได้จริง
2. การพิจารณาการสั่นสะเทือนจะใช้แรงความถี่กระตุ้นจาก 1 – 5 เฮิรท์
3. แรงที่กระตุ้นที่หัวเจาะจะใช้แรงที่เป็นลักษณะของคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)
4. การคำนวณจะใช้วัสดุที่เป็นเหล็กและอลูมิเนียมในตำแหน่งที่เป็นจริงของเครื่องจักร
5. การพิจารณาลักษณะของการสั่นสะเทือนจะพิจารณาในช่วง 1 วินาที

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. สร้างแบบจำลองของเครื่องจักรใหม่โดยใช้ต้นแบบจากเครื่องจักรที่เคยสร้างมาแล้ว
2. ทำการวิเคราะห์หาขนาดของการเสียรูป, ความเค้นสูงสุด, ขนาดการกระจัดของการ
สั่นสะเทือน, ค่าของความถี่ธรรมชาติ
3. ทำการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ตามที่ได้ทำการคำนวณ
4. ทำการวัดค่าขนาดการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่เพื่อเทียบกับค่าจากการ
คำนวณและเครื่องเดิมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกได้
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเจาะของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกโดยใช้หลักการของไฟ
ไนต์เอเลิเมนต์วิเคราะห์และออกแบบได้
3. สามารถลดการสั่นสะเทือนของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่สร้างขึ้นใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับ
กับเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมได้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โครงสร้างเครื่องบิน ตัวอาคาร สะพาน และโครงสร้างอื่นๆ ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นจะอยู่ในสภาพยืดหยุ่น (elastic) หรือในสภาพยืดตัว (plastic) นอกจากนี้จะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาด้านพลศาสตร์ เช่น การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง รวมทั้งยังสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาด้านการถ่ายเทความร้อน การไหล การถ่ายเทมวล เป็นต้น

การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ไปที่ไม่ซับซ้อน เราสามารถจะหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการทราบ เช่น การกระจัดที่ตำแหน่งใดๆ ของชิ้นส่วนได้โดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์ และผลเฉลยที่ได้รับจะเรียกว่าผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact solution) แต่มีชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และโครงสร้างจำนวนมากที่มีรูปร่างลักษณะที่ซับซ้อนที่ประกอบด้วยส่วนเว้า ส่วนโค้งต่างๆ ทำให้พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนไม่สม่ำเสมอ และบริเวณอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดอย่างฉับพลัน หรือใช้วัสดุต่างชนิดกันเหล่านี้ เป็นต้น จึงมีผลทำให้ไม่สามารถจะหาผลเฉลยแม่นยำตรงจากสมการอนุพันธ์สามัญ หรือสมการอนุพันธ์ย่อยได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีอื่น เช่น วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่สามารถจะประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต แทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ การแก้ปัญหาคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังกล่าว ชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ อย่างต่อเนื่อง ตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน เราเรียกชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้ว่า ไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อ (node) ของแต่ละเอลิเมนต์ การวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เราจะไม่วิเคราะห์ปัญหาที่เคียวทั้งระบบเช่นวิธีทั่ว ๆ ไป แต่เราจะวิเคราะห์หาค่าที่ละเอลิเมนต์แล้วนำมารวมเข้าด้วยกันเป็นผลเฉลยของระบบ เช่นในระบบโครงสร้าง เราจะหาการกระจัดและความเค้นของแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ที่ประกอบเป็นโครงสร้างของระบบ

2.2 ความเป็นมาของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แนวความคิดที่นำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้วิเคราะห์โครงสร้างมีขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 1940 ต่อมาในปี 1943 ได้เริ่มใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คำนวณหาความเค้นในปัญหามิติเดียว เช่น ความเค้น

ที่เกิดในท่อนโลหะในคาน แต่ในช่วงนั้นยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย ในปี 1956 Tuner, Clough, Martins และ Topp ได้วิเคราะห์ปัญหาสองมิติด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นครั้งแรก และได้แสดงวิธีการหาสทiffness ของโครงข้อมุมของเอลิเมนต์คาน และหาสทiffness ของเอลิเมนต์สองมิติของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโดยการสมมุติฟังก์ชันการกระจัด ซึ่งเรียกว่าวิธีสทiffness โดยตรง (direct stiffness method) และรวมสทiffness ของเอลิเมนต์เหล่านั้นเข้าด้วยกันเป็นสทiffness ของโครงสร้างทั้งระบบ ในช่วงปี 1954-1960 เครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การวิเคราะห์โครงสร้างจึงนิยมใช้วิธีเมทริกซ์ และการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก็ได้รับความนิยมมากขึ้น

ทฤษฎีของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้รับความสนใจมากขึ้น ในปี 1961 Melosh แสดงให้เห็นว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีพื้นฐานมาจากวิธีของเรย์ไลซ์-ริทซ์ (Rayleigh-Ritz method) ที่ใช้หลักของสมมุติ (principle of virtual work) หรือหลักของพลังงานศักย์ต่ำสุด (principle of minimum potential energy) และได้เริ่มนำวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไปประยุกต์แก้ปัญหาเกี่ยวกับเพลลา การไหลของของไหล การนำความร้อน และในช่วงปี 1961-1965 ได้มีผู้พยายามใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แก้ปัญหาสามมิติ และในปี 1961 Martins ได้เสนอวิธีหาสทiffness ของเอลิเมนต์สามมิติทรงสี่หน้า (tetrahedral) ปี 1965 Clough และ Rashid และ Wilson ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาทรงกระบอกตัน แกนสมมาตรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในปี 1965 Archer ได้ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์การสั่นสะเทือนและการตอบสนองของระบบโครงสร้าง โดยใช้เมทริกซ์ของมวลแบบนัย (consistent mass matrix) ของท่อนโลหะและคานที่ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้าง

การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ขยายตัวกว้างขึ้น ในปี 1969 Szabo และ Lee, แสดงให้เห็นว่าสามารถจะหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างได้โดยวิธีเวทเรซิดิว (weighted-residual method) เช่นวิธีของกาลเอร์กิน (Galerkin's method) จากแนวคิดดังกล่าวทำให้สามารถใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Non-structure) ได้สะดวกขึ้น เช่นในปี 1977 Lyness, Owen และ Zienkiewicz ได้ใช้วิธีเวทเรซิดิววิเคราะห์ปัญหาของสนามแม่เหล็ก (magnetic method) นอกจากนี้มีการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ขยายไปสาขาอื่นๆ อีกเช่น สาขาชีววิศวกรรม (bioengineering) เป็นต้น

ปัจจุบันการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้าน Computer Aided Engineer (CAE) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นที่นิยมมากขึ้นทั้งสถาบันการศึกษาและอุตสาหกรรมขนาดเล็กทั่วไป ทั้งนี้เพราะขีดความสามารถของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมมาตรฐานสำหรับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้พัฒนาขึ้นอย่างมาก และกว้างขวางยิ่งขึ้น การใช้งานจึงสะดวกรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำสูง และเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก

2.3 ความเป็นมาของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม

เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้นได้มีจัดทำขึ้นแล้ว[1] ถึง 3 ครั้งและก็มี การแก้ไขที่จุดจับยึดของหัวเจาะแผ่นพลาสติก ในปัญหาเบื้องต้นและเป็นปัญหาหลักของการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกคือ โครงสร้างของเครื่องยังไม่แข็งแรงพอต่อการทำงาน เช่น การเสี ยรูปในขณะที่ทำงานที่จะ ทำให้การเจาะของหัวเจาะไม่ตรงในแนวแกนเจาะ หรือแนวตั้งของหัวเจาะ ทำให้การเจาะแผ่นพลาสติกไม่ขาดเพราะการทำงานของเครื่องในแต่ละจุดนั้นทำงานเพียงครั้งเดียวต่อรูเจาะ การเสี ยรูปนั้นจะเป็นผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเจาะรวมทั้ง ในการทำงานของการเจาะใน ลักษณะพลาสติกนั้น เมื่อมีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรงแล้ว จะทำให้เกิดการเสี ยรูปได้เหมือนกัน ซึ่งจะ เกิดปัญหาเหมือนกับที่กล่าวมาแล้วข้างต้น รวมทั้งแรงที่กระทำอาจจะไม่สม่ำเสมอเกิดการเสี ยหายของหัวเจาะและเป็นการลดลงของอายุการใช้งานของหัวเจาะด้วย เหล่านี้เป็นปัญหาเบื้องต้น และเป็นปัญหาหลักของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนี้ แต่ยังไม่ได้มีการวิเคราะห์และทำการคำนวณเพื่อ แก้ไขปัญหาให้เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกมีประสิทธิภาพมากขึ้น และแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ให้ลดลงหรือหายไป

2.4 การสร้างแบบจำลองใหม่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ต่างๆ

การสร้างแบบจำลองใหม่[9] จะใช้เครื่องเดิมเป็นเครื่องต้นแบบโดยจะมีลักษณะจำเพาะที่คงไว้ เพื่อให้การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานไม่ให้แตกต่างจากเดิมมากนัก เพราะวิทยานิพนธ์นี้จะ แก้ไขในเรื่องของโครงสร้างเป็นหลัก ในการวิเคราะห์ก่อนการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกจะ วิเคราะห์ให้เป็นไปตามจุดประสงค์เป็นหลัก โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ ก่อนการ วิเคราะห์อาจจะมีการตัดชิ้นส่วนบางชิ้นออก และมีการกำหนดสมมุติฐานบางอย่าง เพื่อให้การ วิเคราะห์ต่างๆ ง่ายขึ้น ในการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกก็มีข้อจำกัดเช่นกัน เช่น ตำแหน่งของ อุปกรณ์ที่จะติดตั้ง, ระยะของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่, อุปกรณ์บางชิ้นที่เราได้ทำการจัดซื้อจะ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้ จะใช้หัวเจาะจำนวน 4 หัว, ความกว้าง-ยาวของแผ่นพลาสติกที่ถูก เจาะจะมีขนาดเท่าเดิม เป็นต้น ดังนั้นในการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่จึงต้องคำนึงถึงสิ่ง เหล่านี้ด้วย

บทที่ 3

ทฤษฎีการออกแบบ

3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับการที่ชิ้นงานต้องรับโหลดแบบสถิต[5,13,14] โดยจะเริ่มต้นจากการทบทวนเรื่องของสภาวะสมดุลในวัตถุ และการเขียนตงผังวัตถุอิสระที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ ของการรับโหลด ผู้อ่านจำเป็นต้องมีความเข้าใจในเรื่องธรรมชาติของแรงก่อนที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นบนชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลจะทำการส่งผ่านแรงและการเคลื่อนไหวยจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง การส่งถ่ายแรงนี้สามารถมองเห็นได้ในรูปแบบการกระจายของแรงไปตามพื้นผิวภายในชิ้นงานนี้จึงนำไปสู่แนวคิดในเรื่องของความเค้น องค์ประกอบของความเค้น และการแปลงค่าความเค้น (ทฤษฎีวงกลมของ Mohr) ทั้งหมดที่เป็นไปได้บนพื้นผิว ณ จุดที่ทำการวิเคราะห์

3.2 สมดุลและผังวัตถุอิสระ

คำว่า “คำว่าระบบ (System)” มักถูกนำมาใช้ในการอธิบายชิ้นส่วนหรือส่วนของเครื่องจักรกลที่แยกออกมาเฉพาะเรื่องเพื่อวิเคราะห์ หรืออาจจะหมายถึงเครื่องจักรกลทั้งเครื่องถ้าต้องการศึกษา ภายใต้คำจำกัดความนี้ ระบบจึงหมายถึงอนุภาค อนุภาคหลายๆ อนุภาครวมตัวกัน ส่วนของชิ้นงาน ชิ้นงานทั้งชิ้น หรือแม้กระทั่งชิ้นงานหลายๆ ชิ้นทำงานร่วมกัน

ถ้าสมมุติว่าระบบที่จะทำการศึกษาไม่มีการเคลื่อนที่ หรืออย่างมากที่สุดก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ระบบนี้ก็จะมีความเร่งเท่ากับศูนย์ ภายใต้เงื่อนไขนี้เราจะเรียกระบบอยู่ในสภาวะสมดุล (Equilibrium)[16,17] คำว่าสมดุลแบบสถิตจึงมักถูกนำมาใช้เรียกระบบซึ่งอยู่กับที่ สภาวะสมดุลจะเกิดขึ้นเมื่อแรงและโมเมนต์ที่มากระทำต่อระบบมีความสมดุล นั่นคือ

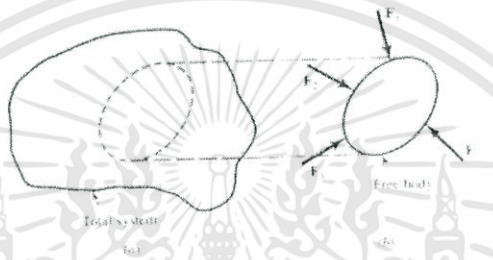
$$\sum F = 0$$

$$\sum M = 0$$

ซึ่งหมายถึงในสภาวะสมดุล ผลรวมของเวกเตอร์แรง และเวกเตอร์โมเมนต์ทั้งหมดที่กระทำต่อระบบจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ในการวิเคราะห์พฤติกรรม สมรรถนะ หรือประสิทธิภาพของโครงสร้างหรือสิ่งประดิษฐ์ เช่น เครื่องจักรกล หรือยานยนต์ ก็ตาม สิ่งแรกที่วิศวกรจะต้องเผชิญก็คือความยุ่งยากของส่วนประกอบและรูปร่างที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นก็ไม่ได้ยากอย่างที่คิด เทคนิคอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์เครื่องจักรกลที่นับว่ามีประโยชน์เป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากคือ การแยกวิเคราะห์แต่ละส่วนเป็นระบบ ๆ และพิจารณาแรงและโมเมนต์ที่มากระทำกับแต่ละระบบ ในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นกระบวนการเหล่านี้เป็นอย่างดี ถ้ารูปที่ 3.1(a) เป็นระบบรวม เช่น เครื่องจักรกล เราอาจจะจำเป็นต้องวิเคราะห์เพียงบางส่วนของระบบ เช่น เพลา หรือข้อต่อต่างๆ เราก็จะพิจารณาจุดที่เราสนใจ โดยแยกส่วนนั้นออกมาจากระบบและใส่ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบทั้งหมดลงมาที่ส่วนนี้ในรูปแบบของเวกเตอร์แรงและโมเมนต์ ดังแสดงตามรูปที่ 3.2(b) ซึ่งจะเห็นว่าแรงทั้งหมดที่กระทำต่อส่วนนี้แสดงด้วยเวกเตอร์ F_1 , F_2 , F_3 และระบบย่อยที่แยกตัวออกมาเพื่อแสดงให้เห็นแรงและโมเมนต์ทั้งหมดที่มากระทำนี้ เรียกว่า ผังวัตถุอิสระ (Free-Body Diagrams)[15]



รูปที่ 3.1 ผังวัตถุอิสระ

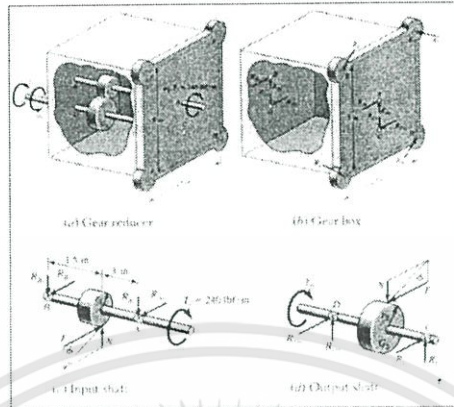
เราสามารถทำการวิเคราะห์ระบบที่ยู่ยากซับซ้อนทั้งหมดให้ง่ายขึ้นได้ด้วยการแยกแต่ละส่วนของระบบมาพิจารณา โดยเขียนเป็นผังวัตถุอิสระที่มีแรงและโมเมนต์ที่เกี่ยวข้องครบถ้วน เมื่อแต่ละส่วนของระบบถูกนำมาพิจารณาในลักษณะเดียวกันนี้ เราก็จะสามารถนำสิ่งที่ศึกษาได้จากแต่ละส่วนมาประกอบกันเป็นข้อมูลพฤติกรรมรวมของระบบได้ ดังนั้น การเขียนผังวัตถุอิสระจึงนับว่าเป็นวิธีการที่จำเป็นในการแยกปัญหาที่ซับซ้อนมาเป็นส่วนย่อยที่สามารถวิเคราะห์ได้จากนั้นจึงนำผลการวิเคราะห์มารวมกันเป็นผลลัพธ์ของระบบ

3.3 ความเค้น

พิจารณาการรับโหลดของวัตถุแข็งโดยทั่วไป ดังรูปที่ 3.2 โดย P_i เป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ และ R_i เป็นแรงปฏิกิริยา ในการพิจารณาความเค้นภายในวัตถุที่จุด Q สามารถทำได้โดยการวาดภาพตัดให้พื้นผิวของภาคตัดผ่านจุด Q เพื่อให้เกิดระนาบที่สามารถพิจารณาความเค้นได้โดยง่าย ดังแสดงตามรูปที่ 3.2 (a)

รูปที่ 3.2 (b) แสดงให้เห็นระนาบ yz ซึ่งเป็นระนาบภาคตัดผ่านจุด Q ที่ตั้งฉากกับแนวแกน x พร้อมทั้งแรงภายนอกและการกระจายของแรงภายในซึ่งกระทำบนระนาบนี้ โดยทั้งไปแล้วการกระจายของแรงภายในบนระนาบจะไม่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มีทิศทางไม่ตั้งฉากและไม่ขนานกับ

แนวระนาบที่จุดใดๆ ดังนั้นหน่วยของแรงภายในนี้จะคำนวณเป็นหน่วยของแรงต่อพื้นที่ อย่างไรก็ตามแรงต่างๆ เหล่านี้ย่อมมีองค์ประกอบของแรงทั้งในทิศทางที่ตั้งฉาก และในทิศทางขนานกับ

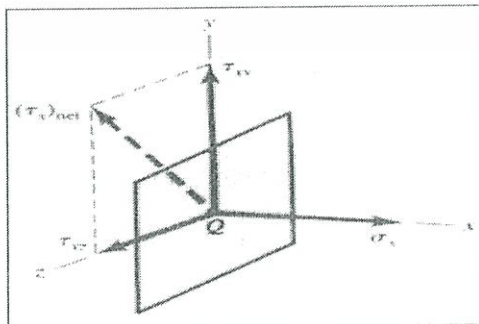


รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของแรง

แนวระนาบโดยองค์ประกอบของแรงทิศทางตั้งฉากกับระนาบเรียกว่า “ความเค้นตั้งฉากปกติ (Normal Stress)” ใช้สัญลักษณ์ σ และองค์ประกอบของแรงในทิศทางขนานกับระนาบจะเรียกว่า “ความเค้นเฉือน (Shear Stress)” ใช้สัญลักษณ์ τ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (c) ถ้าความเค้นมีทิศทางพุ่งออกจากระนาบจะพิจารณาว่าเป็นความเค้นที่เกิดจากแรงดึง (Tensile Stress) กำหนดให้มีค่าเป็นบวก (+) และถ้าความเค้นมีทิศทางพุ่งเข้าหาระนาบจะพิจารณาว่าเป็นความเค้นที่เกิดจากแรงกด (Compressive Stress)[5] กำหนดให้มีค่าเป็นลบ (-)

3.4 องค์ประกอบของความเค้นในระบบคาร์ทีเซียน

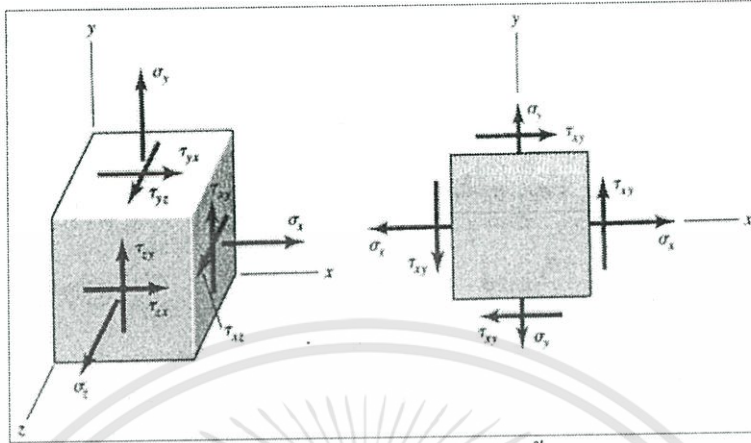
รูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นความเค้นตั้งฉากปกติและความเค้นเฉือน ที่จุด Q บนระนาบ จะเห็นว่าความเค้นตั้งฉากปกติจะแทนด้วยสัญลักษณ์ σ_x ซึ่งหมายถึงเป็นความเค้นตั้งฉากปกติในแนวแกน x สำหรับความเค้นเฉือนที่ใช้สัญลักษณ์ $(\tau_x)_{net}$ จะสามารถแสดงในรูปแบบขององค์ประกอบคาร์ทีเซียนได้เป็น τ_{xy} และ τ_{xz}



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบคาร์ทีเซียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีต่างๆ ไปสภาวะของความเค้นที่จุดใดจุดหนึ่งของวัตถุ จะมีองค์ประกอบความเค้นตั้งฉากปกติ 3 ค่า และความเค้นเฉือนอิสระ 6 ค่า กระทำบนผิวหน้าของวัตถุ ดังแสดงตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 องค์ประกอบความเค้นตั้งฉาก

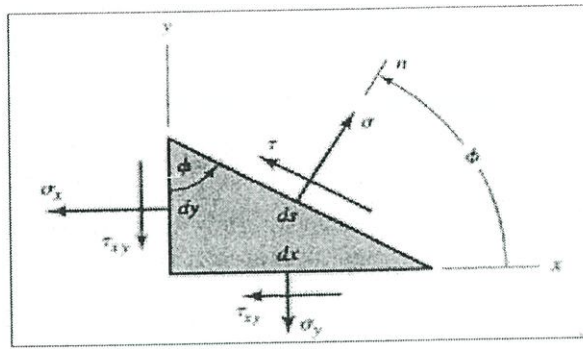
ในสภาวะสมดุล ความเค้นเฉือนที่ตัดกันบนแต่ละระนาบ จะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$\tau_{yx} = \tau_{xy} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (3.1)$$

การที่ความเค้นเฉือนบนแต่ละระนาบมีค่าเท่ากันนี้ ทำให้สามารถลดค่าความเค้นทั้งหมดที่กระทำบนวัตถุจาก 9 ค่า หรือ 6 ค่า คือ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ ใดๆก็ตาม ถ้าไม่มีแรงกระทำบนพื้นผิวของวัตถุ องค์ประกอบในแนวตั้งฉากปกติและความเค้นจะมีค่าเป็นศูนย์บนผิวของชิ้นส่วนที่อยู่บนพื้นผิว ดังนั้น องค์ประกอบของความเค้นที่สอดคล้องกับพื้นผิวของหน้าตัดตรงกันข้ามจะมีค่าเป็นศูนย์ วัตถุจึงถูกกระทำด้วยความเค้นที่อยู่ในระนาบ ซึ่งโดยทั่วไปความเค้นที่จุดจะแทนด้วยการรวมกันขององค์ประกอบของความเค้นในแนวตั้งฉากปกติทั้งสอง คือ σ_x, σ_y และองค์ประกอบของความเค้นเฉือน τ_{yx} ที่กระทำบนผิวหน้าทั้งสองของชิ้นส่วน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นโดยง่ายโดยรูปสองมิติ ในระนาบ x-y ดังรูปที่ 3.4

3.5 วงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ

สมมติว่าส่วนประกอบ dx, dy และ dz ในรูปที่ 4.4 ถูกตัดโดยระนาบที่มีมุมเอียง โดยทำมุม ϕ กับแกน x ดังแสดงในรูป 3.5 ดังนั้น เราจึงต้องสนใจความเค้นในแนวตั้งฉากปกติ σ และความเค้นเฉือน τ ที่เกิดขึ้นบนระนาบเอียง ซึ่งสามารถหาได้จากสมการสมดุลของแรงปกติ



รูปที่ 3.5 วงกลม โมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\phi + \tau_{xy} \sin 2\phi \quad (3.2)$$

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\phi + \tau_{xy} \cos 2\phi \quad (3.3)$$

สมการที่ (3.2) และ (3.3) เรียกว่าสมการการแปลงความเค้นในระนาบถ้าดิฟเฟอเรนเชียล สมการที่ (3.2) เทียบมุม ϕ และกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

$$\tan 2\phi = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (3.4)$$

สมการ 3.3 ได้นิยามค่าเฉพาะ 2 ค่า สำหรับมุม $2\phi_p$ คือค่าความเค้นตึงจากปกติสูงสุด σ_1 และค่าความเค้นตึงจากปกติต่ำสุด σ_2 ความเค้นทั้ง 2 ค่านี้เรียกว่า “ความเค้นหลัก” โดยความเค้นหลักสองค่านี้จะทำมุมกัน 90° และเมื่อใช้หลักการทางตรีโกณมิติ จะสามารถเขียนสมการที่ (3.4) ได้ใหม่ดังนี้

$$\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\phi_p - \tau_{xy} \cos 2\phi_p = 0$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ (3.3) พบว่า $\tau = 0$ ซึ่งหมายความว่า ระนาบที่เกิดความเค้นทั้งสองค่าไม่มีความเค้นเฉือน และในทำนองเดียวกันถ้าดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ (3.3) เทียบมุม ϕ และกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จะได้

$$\tan 2\phi_s = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} \quad (3.5)$$

สมการที่ (3.5) ให้นิยามค่า $2\phi_s$ ค่าของมุม $2\phi_s$ ซึ่งเกิดความเค้นเฉือนสูงสุด โดยมุมระหว่างพื้นผิวที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุดจะเท่ากับ 90° เมื่อใช้หลักการทางตรีโกณมิติ จะสามารถเขียนสมการที่ (3.5) ได้ใหม่ ดังนี้

$$\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\phi_p - \tau_{xy} \sin 2\phi_p = 0$$

เมื่อแทนค่านี้ลงในสมการที่ (3.5) จะได้

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (3.6)$$

สมการที่ (3.6) บอกให้ทราบว่าพื้นผิวใน 2 ระนาบที่มีความเค้นเฉือนสูงสุด จะมีความเค้นตั้งฉากปกติขนาด $(\sigma_x + \sigma_y)/2$ อยู่ด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ (3.5) และ (3.6) จะเห็นว่า ค่า $\tan 2\phi_s$ และ $\tan 2\phi_p$ มีค่าที่เป็นเลขลบซึ่งกลับกัน นั่นหมายถึงมุม $2\phi_s$ และ $2\phi_p$ จะทำมุม 90° ซึ่งกันและกัน ดังนั้น มุมระหว่างระนาบที่มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดกับระนาบที่เกิดความเค้นหลัก จะเท่ากับ $\pm 45^\circ$ เพราะฉะนั้น ถ้าแทนมุม $2\phi_p$ ลงในสมการที่ (3.5) จะได้

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.7)$$

และในทำนองเดียวกันสำหรับความเค้นเฉือน จะได้

$$\tau_1, \tau_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.8)$$

สมการที่ได้ ณ จุดนี้ นับว่าเพียงพอสำหรับการแปลงค่าความเค้นบนระนาบ อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องระมัดระวังในการใช้ ตัวอย่างเช่น ในการพิจารณาสถานะความเค้นที่ $\sigma_x = 14$ MPa, $\sigma_y = -10$ MPa และ $\tau_{xy} = -16$ MPa สมการที่ (3.10) จะได้ค่า $\phi_p = -26.57^\circ$ และ 63.43° สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นหลักในขณะที่ยังการที่ (3.13) จะได้ค่าความเค้นหลัก $\sigma_1=22$ MPa และ $\sigma_2=22$ MPa จะเห็นได้ว่าเราสามารถคำนวณค่าความเค้นหลักได้ แต่ถ้าเราต้องการจะเขียนองค์ประกอบของความเค้นหลักในแนวแกน x และแกน y เราจะทำอย่างไร ทั้งนี้เนื่องจากเราทราบค่ามุม ϕ_p ถึง 2 ค่า เราจะทำอย่างไรว่ามุมใดมีความสัมพันธ์กับความเค้นค่าใด ดังนั้น เพื่อให้สามารถทราบองค์ประกอบของความเค้นหลักมีความสัมพันธ์กับความเค้นหลัก เราจำเป็นต้องนำค่า ϕ_p ไปแทนในสมการที่ (3.8) อีกครั้ง

จากสมการที่ (3.8) และ (3.9) เราสามารถจัดตัวแปร ϕ ได้โดยกรยกกำลังสองแต่ละสมการและรวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือ

$$\left[\sigma - \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right) \right]^2 + \tau_{xy}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2$$

เมื่อค่า σ_x , σ_y และ τ_{xy} เป็นค่าคงที่ ซึ่งทราบค่า ดังนั้น จึงสามารถเขียนสมการข้างต้นให้อยู่ในรูปง่ายได้ว่า

$$\left(\sigma - \sigma_{avg} \right)^2 + \tau_{xy}^2 = R^2$$

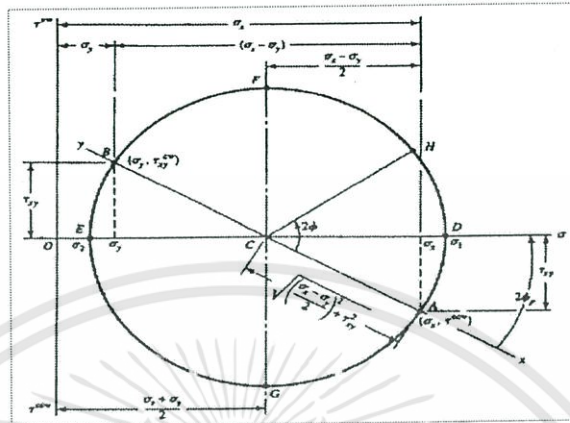
$$\text{เมื่อ } \sigma_{avg} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

$$\text{และ } R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

สมการข้างต้น เป็นสมการของวงกลมที่มีรัศมี R และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกน σ ที่จุด C ($\sigma_{avg}, 0$) เราเรียกวงกลมนี้ว่า วงกลมของโมห์ (Mohr's Circle) และสามารถวาดวงกลมนี้บนระนาบแกน โคออร์ดิเนต โดย

รูปที่ 3.6 แสดงการสร้างวงกลมของโมห์ โดยการใช้สถานะความเค้นจากรูปที่ 3.5 เริ่มจากดูที่พื้นผิวทางด้านขวาที่มีองค์ประกอบของความเค้นในแนวแกน x (σ_x) กำหนดเครื่องหมายที่ใช้ σ_x และกำหนดทิศทางของความเค้นเฉือนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา หน้าทางด้านขวาจะเรียกว่า ด้าน x ที่ซึ่งมุม $\phi = 0^\circ$ ถ้าความเค้น σ_x มีค่าเป็นบวกและความเค้นเฉือน τ_{xy} มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 3.5 เราจะสามารถกำหนดจุด A ได้ที่ $(\sigma_x, \tau_{xy}^{cw})$ ต่อไปเราจะดูที่ด้าน y ที่ซึ่งมุม $\phi = 90^\circ$ ซึ่งมีองค์ประกอบความเค้นในแนวแกน y ทำในลักษณะเดียวกันจะสามารถกำหนดจุด B ได้ที่ $(\sigma_y, \tau_{xy}^{cw})$ การที่องค์ประกอบทั้งสองของความเค้นทำมุมกัน

$\Delta\phi = 90^\circ$ ทำให้มุม $2\phi = 180^\circ$ ดังนั้นเส้นตรง AB ที่ลากผ่านจุด C จึงเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลม โดยที่จุด C เป็นจุดศูนย์กลาง และเราก็จะสามารถวาดวงกลมของโมห์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการสร้างวงกลมของโมห์

วงกลมของโมห์ที่วาดขึ้นนี้จะแสดงสถานะของความเค้นสำหรับจุดที่เราสนใจจะวิเคราะห์ ความเค้นเพียงจุดเดียวบนวัตถุ แต่ละจุดบนวงกลมของโมห์จะใช้แสดงแทนสถานะของความเค้นบนระนาบที่ตัดจุดนี้ในวัตถุ ตัวอย่างเช่น ความเค้นหลัก σ_1 และ σ_2 คือความเค้นที่เกิดขึ้นบนแกน σ นั้นคือจุด D และ E ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (3.13) จะเห็นได้ว่าความเค้นเฉือนบนระนาบที่เกิดความเค้นหลักจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ความเค้นเฉือนที่มากที่สุดทิศทางตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกาจะแสดงให้เห็นที่จุด F และ G ซึ่งระนาบนี้จะมีค่าความเค้นตั้งฉากปกติที่สอดคล้องกับสมการที่ (3.12) และสุดท้ายสถานะของความเค้นที่ระนาบซึ่งทำมุม ϕ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจากระนาบแกน x คือจุด H

3.6 ความเค้น 3 มิติ

ในการพิจารณาความเค้นในระนาบ เราจะพิจารณาส่วนประกอบของความเค้นที่เกิดขึ้นบนระนาบซึ่งความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงสามารถหาความเค้นตั้งฉากปกติในทิศทางของความเค้นหลักได้โดยกำหนดให้ความเค้นหลักในระนาบใดระนาบหนึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อหาความเค้นหลัก σ_1 และ σ_2 จากองค์ประกอบของความเค้น 3 ค่า คือ σ_x , σ_y และ τ_{xy} แต่ในความเป็นจริงซึ่งส่วนของวัสดุจะมีองค์ประกอบของความเค้นในทิศทางตั้งฉากปกติ และความเค้นเฉือนกระทำบนผิวหน้าแต่ละด้านของชิ้นส่วน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้สมการการหาค่าความเค้นในระนาบ ที่กล่าวในข้างต้นเพื่อหาองค์ประกอบของความเค้นในระนาบ σ และความเค้นเฉือน τ ที่กระทำ

บนระนาบเอียงของชิ้นส่วน เพื่อหาความเค้นหลัก 3 ค่าคือ σ_1, σ_2 และ σ_3 จากองค์ประกอบของความเค้น 6 ค่า คือ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ และ τ_{yz} ดังนี้

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x \sigma_y + \sigma_x \sigma_z + \sigma_y \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2)\sigma - (\sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{xz} \tau_{yz} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{xz}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2) = 0$$

นอกจากนั้น ยังมีความเป็นไปได้ที่จะหาทิศทางเฉพาะของชิ้นส่วนที่มีความเค้นหลักกระทำบนผิวหน้า ถ้าสมมติว่ามีการจัดเรียงค่าความเค้นหลักให้มีค่ามากที่สุด น้อยที่สุด และอยู่ที่จุดกึ่งกลาง โดย $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ จะสามารถวาดวงกลมของโมห์ได้ดังรูปที่ 3.13 (a) วงกลมของโมห์นี้ยังแสดงให้เห็นค่าความเค้นเฉือน $\tau_{1/2}, \tau_{2/3}$, และ $\tau_{1/3}$ โดยเราสามารถแสดงทิศทางของความเค้นเฉือนแต่ละค่าบนแต่ละระนาบได้ดังรูปที่ 4-13(b) โดยหาได้จาก

$$\tau_{1/2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \tau_{2/3} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \quad \tau_{1/3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3.9)$$

3.7 ความเครียดยืดหยุ่น

ความเครียดปกติ (Normal Strain ; \mathcal{E}) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างส่วนที่ยืดหรือหดของชิ้นงานกับความยาวเดิม ดังนั้น ถ้าใช้แรง F กระทำกับวัตถุความยาว l แล้ววัตถุมีความยาวขึ้นกวาดเดิมเท่ากับ δ ความเครียดตั้งฉากปกติจึงมีค่าดังนี้

$$\mathcal{E} = \frac{\delta}{l} \quad (3.10)$$

เมื่อ δ คือความยาวของชิ้นงานทดสอบที่เพิ่มขึ้นจากความยาวเดิม (l) อย่างไม่ก็ตาม สำหรับชิ้นงานทดสอบแรงดึง การเพิ่มความเค้นจะทำให้ความเครียดของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วน ซึ่งเรียกว่ากฎของฮุก สามารถแสดงในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ คือ

$$\sigma = E\mathcal{E} \quad (3.11)$$

เมื่อ E เป็นค่าคงที่ของความเปราะบางที่เรียกว่า โมดูลัสของความยืดหยุ่น หรือโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) และเมื่อแทนค่า $\sigma = \frac{F}{A}$ และ $\mathcal{E} = \frac{\delta}{l}$ ลงในสมการที่ 3.11 จะได้

$$\delta = \frac{Fl}{AE}$$

เมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากถูกกระทำด้วยแรงดึงตามแนวแกน ไม่เพียงแต่วัตถุจะยืดตัวตามยาว แต่วัตถุยังมีการหดตัวทางด้านข้าง ในทำนองเดียวกันถ้ามีแรงอัดกระทำต่อวัตถุจะทำให้เกิดระยะการหดตัวในทิศทางของแรง และจะเกิดการขยายตัวออกทางด้านข้าง ดังนั้นเมื่อแรงกระทำ P กระทำต่อวัสดุรูปแท่งทรงกระบอก ทำให้ความยาวของแท่งเปลี่ยนไปเป็นปริมาณ δ และรัศมีของแท่งก็เปลี่ยนแปลงไปเป็น δ' ความเครียดในทิศทางตามแนวแกนของแท่งวัสดุ และในทิศทางตามแนวรัศมีจึงมีค่า

$$\varepsilon_{\text{ตามแนวแกน}} = \frac{\delta}{l} \quad \text{และ} \quad \varepsilon_{\text{ตามแนวรัศมี}} = \frac{\delta'}{r}$$

อัตราส่วนของความเครียดทั้งสองนี้ เรียกว่า อัตราส่วนของปัวส์ซอง (Poisson's Ratio) ก่อนให้เกิดการหดตัวทางด้านข้าง (ความเครียดมีค่าเป็นลบ) ดังนั้น อัตราส่วนของปัวส์ซองจะเป็นค่าไร้มิติ และสำหรับของแข็งที่มีรูพรุนภายในจะมีค่าอัตราส่วนของปัวส์ซองอยู่ระหว่าง $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{3}$ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุในอุดมคติ ที่ไม่มีการยืดหรือหดตัวทางด้านข้าง หรือในทิศทางตามแนวรัศมี จะมี $\nu = 0$ นอกจากนั้นค่าที่เป็นไปได้มากที่สุดสำหรับปัวส์ซอง จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า $0 \leq \nu \leq \frac{1}{2}$

การเปลี่ยนแปลงมุมที่เกิดขึ้นระหว่างองค์ประกอบของความเครียดทั้งสองที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เรียกว่า ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้สัญลักษณ์ γ และมีหน่วยวัดเป็น เรเดียน (rad) โดยมีค่า

$$\tau = G\gamma \quad (3.12)$$

เมื่อ G = โมดูลัสแรงเฉือน (Shear Modulus of Elasticity) หรือโมดูลัสความแกร่ง (Modulus of Rigidity) ในกรณีที่วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบเป็นวัสดุเอกพันธ์ที่มีคุณสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง คุณสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุที่สำคัญคือ E, G และ ν จะมีความสัมพันธ์กันคือ

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (3.13)$$

ทฤษฎีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

4.1 บทนำ

การเคลื่อนที่ของวัตถุรอบ ๆ จุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ ไม่ว่าจะการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบซ้ำตัวเองหรือไม่ก็ตาม เราจะเรียกการเคลื่อนที่นั้นว่า การสั่น (Vibration)[7,8] หรือ การแกว่ง (Oscillation) ตัวอย่างเช่น การแกว่งตัวของลูกตุ้มนาฬิกา การโยกตัวของเสาสูง การเคลื่อนที่ของมวลที่ติดอยู่บนสปริง เป็นต้น โดยเหล่านี้เป็นตัวอย่างง่าย ๆ ของการสั่น

การสั่นของวัตถุต่างๆ เป็นสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับการถือกำเนิดของโลกนี้ การสั่นของวัตถุต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น มีทั้งสิ่งที่ก่อให้เกิดประโยชน์และเป็นที่ต้องการ เช่น การสั่นของเส้นเสียงในการออกเสียงของมนุษย์และสัตว์ สำหรับใช้ในการติดต่อหรือการสั่นของเครื่องดนตรีประเภทเครื่องสายหรือกลอง เป็นต้น ขณะเดียวกันจะมีการสั่นบางอย่างที่ทำให้เกิดโทษและไม่เป็นที่ต้องการ เช่น การสั่นของโครงสร้างเนื่องจากแรงลม การสั่นอย่างรุนแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสียหายได้ เป็นต้น

การศึกษาเรื่องการสั่นทางวิศวกรรม เป็นการศึกษาเพื่อให้วิศวกรมีความเข้าใจถึงการสั่นที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างหรือของเครื่องจักร ว่ามีคุณลักษณะเฉพาะเป็นอย่างไร วิธีการหลีกเลี่ยงหรือป้องกันการสั่นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหาย ว่ามีวิธีการอย่างไรบ้าง รวมถึงการวัดและการควบคุมการสั่นที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างหรือเครื่องจักรด้วย

เนื่องจากการศึกษาในเรื่องการสั่นทางวิศวกรรมถือได้ว่าเป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุขึ้นสูง ดังนั้นผู้ศึกษาเรื่องนี้ควรมีพื้นฐานทางด้านพลศาสตร์ทางวิศวกรรม รวมถึงคณิตศาสตร์พื้นฐาน เช่น การแก้สมการอนุพันธ์อยู่ก่อนแล้วและทำให้ในการจัดทำเอกสารชุดนี้ ผู้เรียบเรียงได้จัดทำขึ้นในลักษณะที่คาดว่าผู้อ่านมีความเข้าใจพื้นฐานในเรื่องดังกล่าวแล้วเป็นอย่างดี และอาจจะมีการเขียนถึงรายละเอียดบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิชานั้น ๆ ไปบ้าง เพื่อให้การศึกษาในเรื่องการสั่นทางวิศวกรรมเกิดความกระชับมากยิ่งขึ้น การสั่นทางวิศวกรรมที่จะศึกษาในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ซ้ำตัวเองของวัตถุ รวมถึงการพิจารณาแรงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือของระบบ ระบบที่เราจะทำการพิจารณาว่าเกิดการสั่นทางวิศวกรรมมักจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญสามส่วน ดังนี้

1. อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานศักย์ เช่น สปริง หรือวัสดุที่มีความความยืดหยุ่นในรูปแบบอื่น

2. อุปกรณ์ที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานจลน์ เช่น มวล หรือความเฉื่อยอื่น ๆ ของระบบ
3. อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน เช่น ตัวหน่วง (Damper)

4.2 การสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม

การสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของระบบที่ตกอยู่ภายใต้แรงกระทำ หรือการสั่นโดยอิสระก็ตาม จะต้องมีการรบกวนระบบซึ่งเป็นค่าอินพุท (Input) ที่ให้กับระบบและจะมีการสนองตอบ (Response) เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งปริมาณทั้งสองนี้จะเป็นปริมาณที่ขึ้นกับเวลา สำหรับการตอบสนองของระบบที่เกิดการสั่นจะขึ้นอยู่กับทั้งสภาพเริ่มต้นของการสั่นและค่าที่ให้กับระบบเมื่อเกิดการสั่นสะเทือน โดยทั่วไประบบที่เกิดการสั่นสะเทือนทางวิศวกรรมมักจะเป็นระบบที่ยู่งยากและมักจะไม่สามารถพิจารณาองค์ประกอบของการสั่นทั้งหมดได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ได้ แต่เราอาจจะหาคำตอบในบางลักษณะของการสั่นหรือในบางลักษณะของสภาพการเริ่มต้นของการสั่นได้ รวมถึงเราอาจจะหาค่าที่เกี่ยวข้องกับการสั่นเพียงบางค่าเท่านั้น ไม่ใช่ค่าทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการสั่นของระบบในการศึกษาเรื่องการสั่นทางวิศวกรรมในเบื้องต้นนี้ มักจะเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling) ซึ่งขั้นตอนการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่จำลองระบบทางกลหรือโครงสร้างสำหรับการสั่นทางวิศวกรรม มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การสร้างแบบจำลองทางกายภาพ

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างสมมุติฐานเบื้องต้นของระบบที่เกิดการสั่น โดยเราจะแทนสิ่งที่ มีจริงด้วยแบบจำลองทางกายภาพ เช่น แทนแหล่งสะสมพลังงานศักย์ทุกแบบในระบบด้วยสปริง เป็นต้น แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ ควรจะสามารถแทนทุกส่วนของระบบจริงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้สมการคณิตศาสตร์ที่ได้สามารถแทนการสั่นสะเทือนของระบบได้อย่างถูกต้อง การกำหนดระบบด้วยแบบจำลองทางธรรมชาติ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญและขึ้นอยู่กับดุลพินิจหรือข้อจำกัดของการออกแบบ ว่าควรจะใช้แบบจำลองระบบด้วยแบบจำลองที่มีความแม่นยำเพียงใด ตัวอย่างเช่น การจำลองแบบจำลองของวัตถุอันหนึ่ง เราอาจจะพิจารณาจำลองวัตถุนั้นเป็นมวล ลักษณะเป็นจุดหรืออาจจะจำลองเป็นวัตถุเกร็งก็ได้ แต่ความถูกต้องของแบบจำลองก็ขึ้นอยู่กับสภาพการเคลื่อนที่จริงว่าวัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่อย่างไร หรือเราอาจจะจำลองระบบว่าเป็นระบบเชิงเส้นหรือระบบไม่เป็นเชิงเส้นก็ได้ แต่ในที่สุดความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับว่าผลที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากน้อยเพียงใดนั่นเอง

4.2.2 การหาสมการการเคลื่อนที่

หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองทางกายภาพขึ้นแล้ว ขั้นตอนต่อมาก็คือ แทนสมการการเคลื่อนที่ของระบบเข้ากับแบบจำลองที่สร้างขึ้นมา เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเคลื่อนที่ขึ้น สมการเคลื่อนที่ของระบบอาจได้มาด้วยวิธีต่าง ๆ หลายวิธี เช่น การใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน การใช้กฎของการอนุรักษ์พลังงานหรือกฎการเคลื่อนที่อื่น ๆ ก็ได้ ซึ่งการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ มักจะสิ้นสุดด้วยสมการการเคลื่อนที่ซึ่งมักจะอยู่ในรูปสมการอนุพันธ์สำหรับวิธีการหาสมการการเคลื่อนที่ของแบบจำลองทางกายภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ

4.2.3 การหาผลเฉลยสมการการเคลื่อนที่

หลังจากได้สมการการเคลื่อนที่แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ การหาผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ ซึ่งอาจจะใช้วิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่เราศึกษามาในชั้นพื้นฐานได้ก็ได้ เช่น วิธีการแก้สมการอนุพันธ์ปกติหรืออาจใช้วิธีการเปลี่ยนรูปของลาปลาซ (Laplace's transform) เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากว่าสมการอนุพันธ์มีความยุ่งยากมาก เช่น เป็นระบบสมการที่มีสมการอยู่หลายสมการหรือเป็นสมการไม่เชิงเส้น เราอาจต้องใช้วิธีการเชิงตัวเลขในการแก้ปัญหา สำหรับในปัจจุบันซึ่งคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง ในขั้นตอนนี้จึงสามารถนำคอมพิวเตอร์มาช่วยแก้ปัญหาด้วยวิธีเชิงตัวเลขได้เป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาด้วยวิธีเชิงตัวเลขใช้ว่าจะไม่มีข้อจำกัดในการใช้ ข้อจำกัดของการแก้สมการด้วยวิธีเชิงตัวเลข คือ ไม่สามารถบอกลักษณะของคำตอบออกมาในรูปทั่วไปได้ในทุกกรณี นั่นคือ เราจะต้องแทนค่าคุณสมบัติทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในสมการเป็นค่าตัวเลข ดังนั้นเมื่อคุณสมบัติของระบบเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย เราอาจจะต้องใช้วิธีเชิงตัวเลขแก้ปัญหาใหม่ทั้งหมด ในขณะที่ผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ปกติมักจะให้คำตอบออกมาในรูปของฟังก์ชัน ซึ่งการเปลี่ยนคุณสมบัติบางค่าของระบบอาจสามารถกระทำในขั้นของคำตอบได้โดยตรง

4.3 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้น แล้วนำผลเฉลยทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งการสั่นสะเทือนที่มีความหน่วงและไม่มีความหน่วง

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้บรรยายปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนนั้น จำนวนพิกัดอิสระ (Independent Coordinate) ที่ใช้ในการบรรยายการเคลื่อนที่ของระบบจะถูกเรียกว่า จำนวนลำดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ของระบบนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าอนุภาคอิสระเคลื่อนที่ไปในสามมิติ อนุภาคจะมีลำดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3 เพราะต้องการพิกัด x, y, z

ในการกำหนดตำแหน่งของอนุภาค ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ในสามมิติ ต้องการลำดับชั้นความเร็วเท่ากับ 6 กล่าวคือ ใช้พิกัด x, y, z ในการกำหนดตำแหน่ง และมุมอีกสามมุมในการกำหนดลักษณะการหมุนของวัตถุเกร็งรอบแกน x, y, z ด้วย นอกจากนี้สำหรับวัตถุยืดหยุ่นที่ยาวต่อเนื่อง (Continuous Elastic Body) นั้น ต้องใช้จำนวนพิกัดเป็นอนันต์ในการบรรยายการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของวัตถุดังกล่าว (6 พิกัด สำหรับตำแหน่งแต่ละตำแหน่งบนวัตถุต่อเนื่อง)

4.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก

การเคลื่อนที่โดยทั่วไป สามารถที่จะเป็นการเคลื่อนที่ในรูปแบบใดก็ได้ ไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน แต่ในการสั่นวัตถุที่เกิดการสั่นมักจะมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา ในรูปแบบต่างๆ สำหรับการเคลื่อนที่กลับไปมาซ้ำตัวเองที่ง่ายต่อการพิจารณาและนำมาสร้างแบบจำลองมากที่สุดคือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonics motion) ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะพบมากในชิ้นส่วนทางกลต่าง ๆ และการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะเป็นวงกลมรอบจุดคงที่จุดหนึ่ง

โครงงานนี้จะกล่าวถึงนิยามและส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นพื้นฐานของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก รวมถึงการศึกษาถึงวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ฮาร์โมนิกหรือการศึกษา Fourier's Series ทั้งในรูปแบบปกติและที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนด้วย

นิยามที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบ โดยเฉพาะการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก จะเป็นการเคลื่อนที่ที่เราจะศึกษาอย่างละเอียด ในการศึกษาการสั่นทางวิศวกรรมในขั้นพื้นฐานนี้ ดังนั้นในส่วนนี้จะอธิบายถึงนิยามต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก ซึ่งมีนิยามที่สำคัญดังนี้

รอบ (Cycle) การเคลื่อนที่ของวัตถุจากสภาพสมดุลหรือจากจุดสมดุลเริ่มต้นหนึ่ง ไปในทิศทางหนึ่งจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดหรือไกลที่สุดในทิศทางเคลื่อนที่นั้น แล้วย้อนกลับมาผ่านจุดสมดุลและเคลื่อนที่ต่อไปในทิศที่ตรงกันข้ามกับทิศทางแรกจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดหรือไกลที่สุดในทิศทางนั้น แล้วกลับมาที่จุดสมดุลอีกครั้งหนึ่ง การเคลื่อนที่ครบวงรอบดังที่กล่าวมานี้ เราจะเรียกว่า วัตถุเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ (Cycle) ของการสั่นหรือรอบของการเคลื่อนที่

ช่วงกว้าง (Amplitude) ระยะการกระจัดที่วัดจากจุดสมดุลถึงจุดสูงสุดหรือไกลจากจุดสมดุลที่สุดในการเคลื่อนที่ เราเรียกระยะนั้นว่า ช่วงกว้าง (Amplitude) ของการสั่น

คาบการสั่น (Period) คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบการเคลื่อนที่ ซึ่งสัญลักษณ์ที่จะใช้ในที่นี้ คือ τ

ความถี่ (Frequency) ความถี่ของการสั่น คือ จำนวนรอบการสั่นที่วัตถุเคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นความถี่ f จะมีความสัมพันธ์กับคาบการสั่นคือ

$$f = \frac{1}{\tau} \quad (4.1)$$

หน่วยของความถี่จะเป็นส่วนกลับของเวลา แต่ที่เรานิยมใช้ คือ ส่วนกลับของวินาทีหรือ Hertz, Hz สำหรับความถี่เชิงมุมหรือความเร็วเชิงมุม (Angular frequency หรือ Angular velocity) จะเป็นมุมที่วัตถุเคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลางในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งความถี่เชิงมุมนี้จะมีความสัมพันธ์กับความถี่คือ

$$\omega = 2\pi f \quad (4.2)$$

และความถี่เชิงมุมนี้จะมีหน่วยเป็น rad/sec

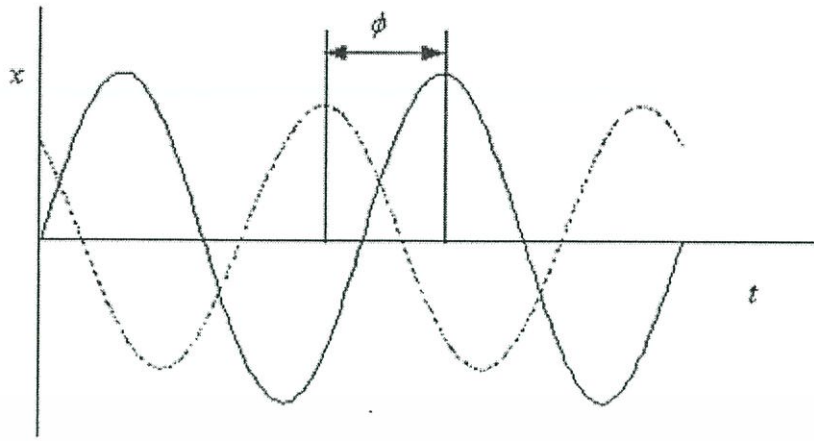
อย่างไรก็ตาม แม้วานิยามของความถี่และความถี่เชิงมุมจะต่างกัน แต่ความแตกต่างนี้จะไม่ค่อยได้รับความสนใจในการศึกษาวิศวกรรมมากนัก อาจเป็นเพราะมีความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองค่าอยู่แล้ว โดยในการพิจารณาเรื่องการสั่นทางวิศวกรรม เมื่อกล่าวถึงความถี่เราอาจหมายถึงได้ทั้งความถี่ f และความถี่เชิงมุม ω ซึ่งการที่จะบอกให้แน่ชัดว่าเป็นค่าใด นั้นจะใช้สังเกตจากหน่วยของปริมาณนั้น นอกจากนั้นแล้วเมื่อกล่าวถึงความถี่ มักจะหมายถึง ความถี่เชิงมุม ω มากกว่าค่า f

มุมเฟส (Phase angle) หากเราพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เป็นอิสระต่อกัน 2 วัตถุ โดยทั้งสองมีสมการการเคลื่อนที่

$$x_1 = A_1 \sin \omega t \quad (4.3)$$

$$x_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi) \quad (4.4)$$

ซึ่งกราฟแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองนี้ แสดงในรูปที่ 3.1 จากสมการการเคลื่อนที่ที่กำหนดให้นี้ เราสามารถกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองนี้สอดคล้องกัน (Synchronous) เพราะทั้งคู่เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความถี่ ω ที่เท่ากัน ซึ่งการเคลื่อนที่ที่สอดคล้องกันนี้ไม่จำเป็นต้องมีช่วงกว้างเท่ากัน อีกทั้งยังไม่มี ความจำเป็นที่วัตถุทั้งสองจะถึงจุดการเคลื่อนที่สูงสุดพร้อมกัน และมุมเฟส คือ มุมที่วัตถุสองชิ้นเคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุดแตกต่าง โดยวัตถุทั้งสองชิ้นต้องเคลื่อนที่สอดคล้องกัน จากรูปที่ 3.1 เราจะพบว่ากราฟ $x_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi)$ จะถึงจุดสูงสุดก่อนที่กราฟ $x_1 = A_1 \sin \omega t$ จะถึงจุดสูงสุด ซึ่งเราสามารถกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าการเคลื่อนที่ทั้งสองมีเฟสแตกต่างกันเท่ากับ ϕ โดยการเคลื่อนที่ของ $x_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi)$ จะนำ (Lead) คือ ขึ้นถึงจุดสูงสุดก่อนวัตถุ $x_1 = A_1 \sin \omega t$ ในการเคลื่อนที่ในรอบเดียวกันอยู่เท่ากับ ϕ



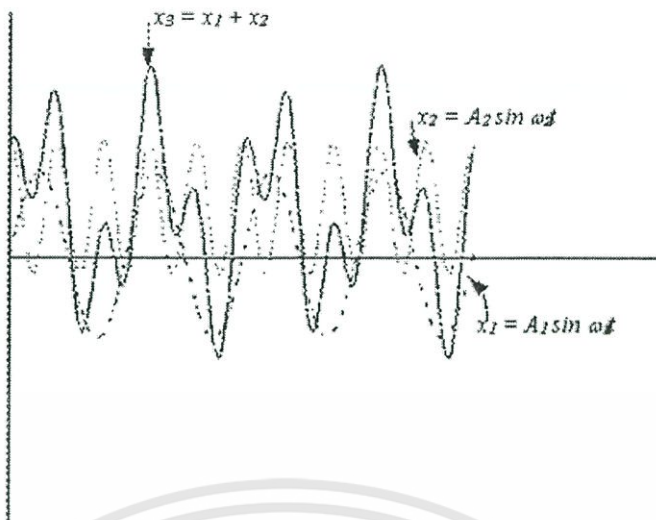
รูปที่ 4.1 การเคลื่อนที่ที่มีมเฟสที่แตกต่างกัน

การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่ายนี้ ถ้าเราพิจารณาอีกลักษณะหนึ่งเราก็อาจจะมองได้เหมือนกับการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ $x_1 = A_1 \sin \omega_1 t$ และ $x_2 = A_2 \sin \omega_2 t$ หากเรานำการเคลื่อนที่ทั้งสองมารวมกัน เราจะได้การเคลื่อนที่ที่เป็นลักษณะฮาร์โมนิกอีกแบบหนึ่ง นั่นคือ ถ้า $x_3 = x_1 + x_2$ เราจะได้การเคลื่อนที่เป็น

$$x_3 = A_1 \sin(\omega_1 t) + A_2 \sin(\omega_2 t) \quad (4.5)$$

ซึ่งกราฟแสดง x_1, x_2 และ x_3 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ซึ่งการรวมการเคลื่อนที่นี้ จะเห็นว่า จะคล้ายกับการรวมคลื่น การรวมการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ระบบมีลำดับชั้น ความเป็นอิสระที่มากกว่าหนึ่งแล้วมวลในระบบเกิดการสั่นขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วระบบที่มีลำดับชั้นความเป็นอิสระ n จะมีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ n ค่า การที่ระบบทั้งระบบสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติความถี่ใดความถี่หนึ่ง เราเรียกว่า ระบบเกิดการสั่นในโหมดปกติ (Normal Mode) อย่างไรก็ตามระบบสามารถที่จะสั่นในความถี่ธรรมชาติหลาย ๆ ความถี่ได้พร้อมกัน ซึ่งลักษณะก็จะเป็นการสั่นที่รวมความถี่ธรรมชาติหลายความถี่เข้าด้วยกัน

จากรูปที่ 4.2 การเคลื่อนที่ที่ได้จากการรวมการเคลื่อนที่สองส่วนเข้าด้วยกัน เราจะพบว่าทั้ง ช่วงกว้างการสั่นและความถี่ไม่จำเป็นที่จะต้องเท่ากับการเคลื่อนที่ค่าใดค่าหนึ่ง ในการรวมการเคลื่อนที่หรือคลื่นเข้าด้วยกัน จะเกิดปรากฏการณ์ที่น่าสนใจปรากฏการณ์หนึ่ง คือ ถ้าการเคลื่อนที่ทั้งสองมีความถี่ใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 4.2 การรวมการสั่นสะเทือน

4.3.2 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีความหน่วง (Damped Free Vibration)

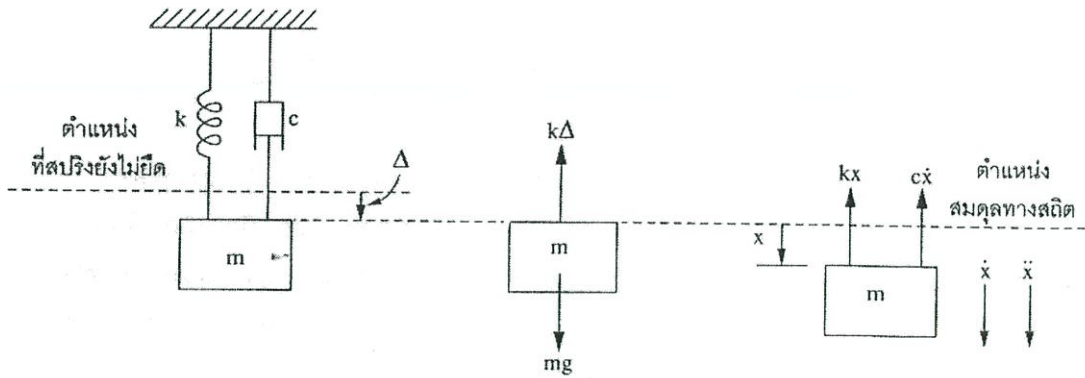
ระบบการสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มี ความหน่วงนั้นเป็นระบบทางอุดมคติ ระบบต่าง ๆ ที่ใช้งานอยู่จริงจะมีความหน่วงแฝงอยู่ ซึ่งความหน่วงนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป ถ้าปริมาณของพลังงานสูญเสียเนื่องจากความหน่วงนี้มีค่ามาก ในการวิเคราะห์ระบบก็จะต้องนำเอาความหน่วงนี้มาคิดด้วย ความหน่วงที่จะทำการวิเคราะห์และพิจารณาในที่นี้จะเป็นความหน่วงแบบหนืด (Viscous Damping)

การหน่วงแบบหนืดนี้จะก่อให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของมวล ซึ่งเขียนได้เป็น $F_d = c\dot{x}$ เมื่อ F_d คือแรงที่เกิดจากความหน่วง, c คือ ค่าความหน่วง และ \dot{x} คือ อัตราเร็วของมวล ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของระบบจะสามารถเขียนได้จากฝั่งแรงอิสระและกฎข้อที่สองของนิวตันได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (4.6)$$

เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายและการเข้าใจถึงระบบดังกล่าว เทอมความหน่วงวิกฤต (Critical Damp) c_c จะถูกกำหนดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหน่วงสมบูรณ์ในระบบ

$$c_c = 2\sqrt{km} = 2m\omega_n \quad (4.7)$$



รูปที่ 4.3 ระบบมวลเดี่ยวที่มีความหนืด

ดังนั้น ค่าความหน่วงของระบบจะถูกเขียนใหม่เป็นเทอม ไร้มิติเมื่อเทียบกับค่าความหน่วงวิกฤตเป็น

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (4.8)$$

ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

สมการที่ (4.6) จะสามารถเขียนใหม่โดยนำเอาค่ามวล m หารตลอด และแทนค่า $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ และค่าในสมการที่ (4.7) และ (4.8) ลงไปจะได้สมการในรูป

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0 \quad (4.9)$$

ซึ่งสมการที่ (4.9) เป็นสมการการเคลื่อนที่ของระบบที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง ผลเฉลยของสมการดังกล่าว สามารถเขียนอยู่ในรูปของ

$$x = Ae^{s_1t} + Be^{s_2t} \quad (4.10)$$

โดยที่

$$s_{1,2} = (-\zeta \pm \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n \quad (4.11)$$

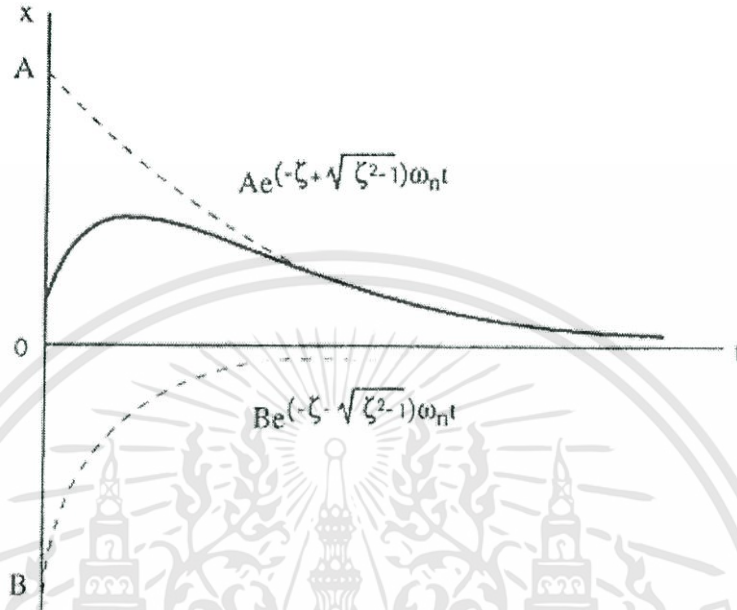
เมื่อแทนค่าสมการที่ (4.11) ในสมการที่ (4.10) จะได้ผลเฉลยของขนาดการสั่นสะเทือนอยู่ในรูป

$$x = e^{-\zeta\omega_n t} (Ae^{\sqrt{\zeta^2 - 1}\omega_n t} + Be^{-\sqrt{\zeta^2 - 1}\omega_n t}) \quad (4.12)$$

ผลเฉลยของสมการที่ (4.12) นั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของความหน่วง ζ ในรากที่สอง

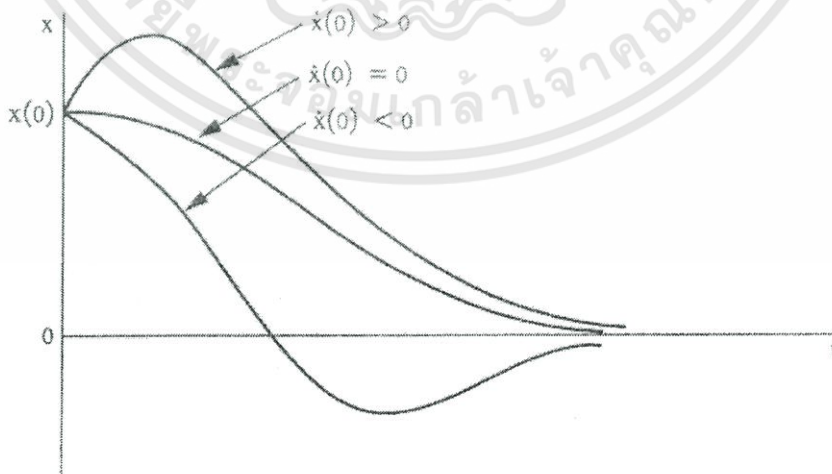
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ระบบมีความหน่วงสูง ($c > c_c$ หรือ $\zeta > 1$) จะทำให้เทอมในรากที่สองมีค่าเป็นค่าจำนวนจริง (Real Number) การสั่นสะเทือนจะลดขนาดลงในลักษณะของเลขชี้กำลัง (Exponential) แปรตามเวลาโดยไม่มีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา กรณีดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่า กรณีการเคลื่อนที่แบบความหน่วงเกิน (Overdamped Motion) รูปที่ 3.4 แสดงถึงการเคลื่อนที่ลักษณะดังกล่าว



รูปที่ 4.4 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta > 1$

ในกรณีที่ระบบมีความหน่วงเท่ากับความหน่วงวิกฤต ($c = c_c$ หรือ $\zeta = 1$) ระบบจะถูกเรียกว่า ระบบมีการเคลื่อนที่แบบความหน่วงวิกฤต (Critical Damped Motion) การเคลื่อนที่ที่จะลดขนาดลงโดยอาจมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเล็กน้อยแล้วแต่เงื่อนไขเริ่มต้นของระบบ รูปที่ 4.5 แสดงการสั่นสะเทือนดังกล่าว



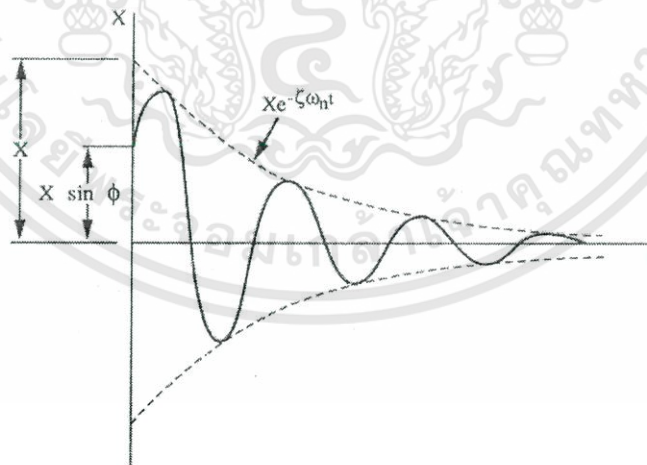
รูปที่ 4.5 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta = 1$

ในกรณีที่สาม คือ กรณีที่ค่าหน่วงของระบบน้อยกว่าค่าความหน่วงวิกฤต ($c < c_c$ หรือ $\zeta < 1$) ซึ่งมักจะเรียกรณิดังกล่าวเป็นกรณีที่มีการเคลื่อนที่แบบความหน่วงน้อย (Underdamped Motion) เมื่อแทนค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งลงในสมการที่ (4.11)

$$x = e^{-\zeta\omega_n t} [D \sin(\omega_d t + \phi)] \quad (4.13)$$

เมื่อ	ϕ	คือ มุมเฟส (Phase Angle)
	D	เป็นค่าคงที่ ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น
	ζ	คือ อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) = c/c_c
	c_c	เป็นค่าความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{km}$
	ω_n	เป็นค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{k/m}$
	ω_d	เป็นค่าความถี่ของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ $\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$

รูปที่ 4.6 แสดงถึงผลเฉลยของสมการที่ (4.13) ซึ่งจะเป็นขนาดของการสั่นสะเทือนที่เป็นการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา (Oscillating Motion) และลดขนาดลงจนมีค่าเข้าสู่ศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไป อัตราการลดลงของขนาดการสั่นสะเทือนนี้ ก็จะขึ้นกับค่าอัตราส่วนความหน่วงของระบบว่ามีมากหรือน้อย



รูปที่ 4.6 การสั่นสะเทือนเมื่ออัตราส่วนความหน่วง $\zeta < 1$

การเคลื่อนที่แบบกรณีที่สามนี้ จะเป็นกรณีที่สำคัญควรแก่การพิจารณา เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมานี้ มักจะเป็นต้นเหตุของความล่าและความเสียหายต่อชิ้นส่วนของเครื่องจักร โดยมีสาเหตุจากขนาดของการสั่นสะเทือนที่มีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การลดลงแบบลอการิทึม (Logarithmic Decrement)

ในระบบของการทำงานจริงนั้น เรามักไม่ทราบค่าความหน่วงของระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าความหน่วงจากการวัดขนาดของการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบที่ลดลง โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟการสั่นสะเทือนในรูปที่ 4.5 ค่าลอการิทึมของอัตราส่วนของขนาดการสั่นสะเทือนในแต่ละคาบที่อยู่ติดกันไปนั้น จะสามารถเขียนได้เป็น

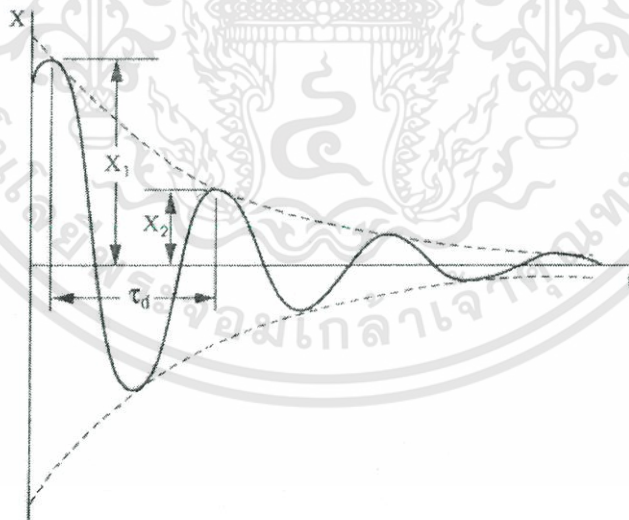
$$\delta = \ln \left[\frac{X_1}{X_2} \right] \quad (4.14)$$

และจากค่าแอมพลิจูด X ในสมการที่ (4.13) และสมการที่ (4.14) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\delta = \ln \frac{e^{-\zeta\omega_n t} [D \sin(\omega_d t + \phi)]}{e^{-\zeta\omega_n (t+\tau_d)} [D \sin(\omega_d (t+\tau_d) + \phi)]} \quad (4.15)$$

โดยที่ τ_d คือ คาบ (Period) ในการสั่นสะเทือน

$$\tau_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.16)$$



รูปที่ 4.7 การลดลงของขนาดการสั่นสะเทือน

$$\sin(\omega_d t + \phi) = \sin(\omega_d (t + \tau_d) + \phi)$$

$$\delta = \ln \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{e^{-\zeta\omega_n (t+\tau_d)}} = \ln e^{\zeta\omega_n \tau_d}$$

$$\delta = \zeta\omega_n \tau_d$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า τ_d จากสมการที่ (3.9) จะได้

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.17)$$

สำหรับค่า ζ ที่น้อย

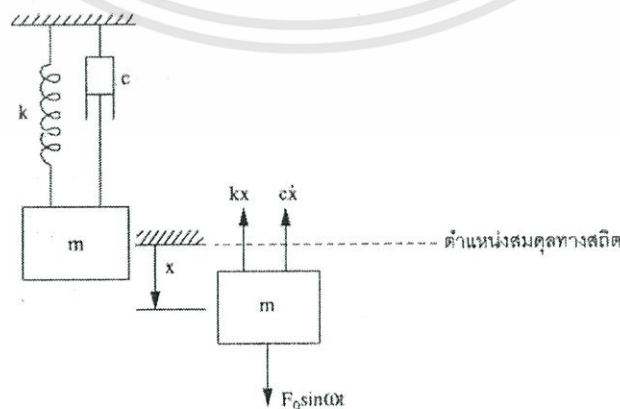
$$\delta \cong 2\pi\zeta \quad (4.18)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.17) หรือ (3.18) เราจะสามารถหาค่าอัตราส่วนความหน่วง ζ ได้จากการรู้ค่าการลดลงแบบลอการิทึม δ ซึ่งได้จากการวัด

4.3.4 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Forced Vibration)

การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น เป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายนอกมากระตุ้น และการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระตุ้นระบบ มีได้หลายรูปแบบ อาทิ การกระตุ้นในลักษณะฮาร์มอนิก (Harmonic) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก เป็นการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมาเป็นรูปลูกคลื่นไซน์ (Sine) หรือโคไซน์ (Cosine) ในลักษณะเป็นคาบ (Periodic) หรือในลักษณะสุ่ม (Random) เป็นต้น ในเครื่องจักรหมุน การกระตุ้นของระบบมักจะอยู่ในรูปของแรงกระตุ้นแบบคาบและเนื่องจากแรงกระตุ้นแบบเป็นคาบนั้น จะสามารถแยกย่อยออกเป็นผลรวมของการกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่าง ๆ กันได้ ดังนั้นจึงนิยมที่จะพิจารณาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนโดยใช้แบบจำลองในรูปแบบฮาร์มอนิก

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนี้ สามารถกระทำได้โดยพิจารณาจากระบบมวลเดี่ยวที่มีความหน่วงภายใต้การกระตุ้นด้วยแรงแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ ω รูปที่ 4.8 แสดงถึงระบบดังกล่าว



รูปที่ 4.8 ระบบมวลเดี่ยวภายใต้การกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเคลื่อนที่ของระบบสามารถเขียน โดยใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติและกฎข้อที่สองของนิวตัน ได้เป็น

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t \quad (4.19)$$

ผลเฉลยของสมการนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรก จะเป็นผลเฉลยของการสั่นสะเทือนแบบอิสระ $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ ซึ่งผลเฉลยมีค่าเท่ากับ $x = e^{-\zeta\omega_n t} [D \sin(\omega_d t + \phi)]$ ซึ่ง x จะมีขนาดลดลงเป็นศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป ผลเฉลยส่วนนี้จะถูกเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบทรานเซียน (Transient Motion)

ส่วนการสั่นสะเทือนส่วนที่เหลือที่ยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะเป็นส่วนที่เกิดจากแรงกระตุ้น $F_0 \sin \omega t$ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ที่อยู่ในรูปเดียวกับแรงกระตุ้น ผลเฉลยของการสั่นสะเทือนส่วนที่สองนี้ ซึ่งถูกเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบสภาวะคงตัว (Steady State Motion) จะสามารถเขียนได้เป็น

$$x = X \sin(\omega t - \phi) \quad (4.20)$$

เมื่อ

X เป็นขนาดของการสั่นสะเทือนที่มีค่าสูงสุด
 ϕ เป็นมุมเฟสที่เทียบกับแรงที่มากระตุ้น

ขนาดของค่า X สามารถเขียนได้เป็น

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad (4.21)$$

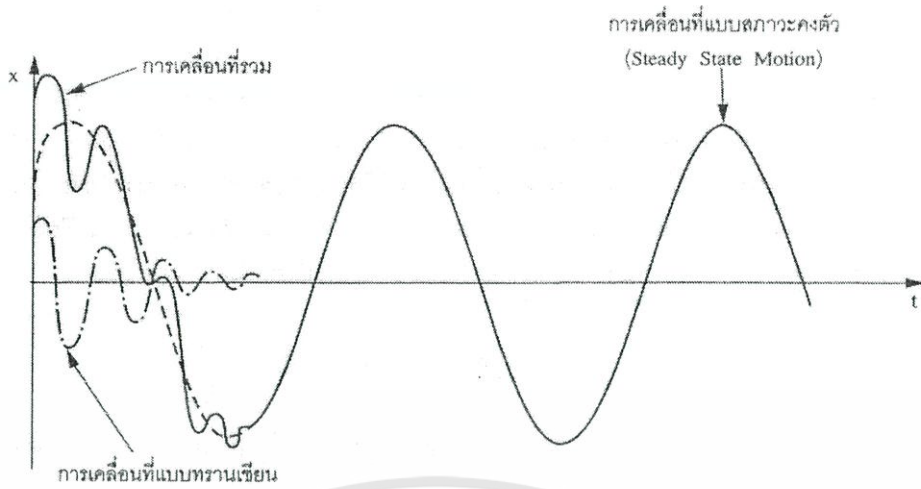
$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right] \quad (4.22)$$

ดังนั้น ผลเฉลยรวมของการเคลื่อนที่ภายใต้แรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก สามารถเขียนได้เป็น

$$x = e^{-\zeta\omega_n t} [D \sin(\omega_d t + \phi_d)] + X \sin(\omega t - \phi) \quad (4.23)$$

รูปที่ 4.9 เป็นผลเฉลยของสมการที่ (4.10) ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกขนาดของการสั่นสะเทือนเป็นผลรวมของการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบ และเมื่อการเคลื่อนที่แบบทรานเซียนได้ลดขนาดลงเป็นศูนย์ การสั่นสะเทือนจะมีรูปร่างเป็นไปตามสมการที่ (4.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นที่มีผลเฉลยของการสั่นสะเทือนแบบอิสระรวมอยู่

4.4 หน่วยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน

เมื่อสัญญาณการสั่นสะเทือนไม่ว่าจะเป็น การกระจัด ความเร็ว หรือความเร่งนั้น อยู่ในรูปคลื่นรูปไซน์ หรือรูปเป็นคาบ ซึ่งจะมีทั้งค่าบวกและลบและมีค่าแปรเปลี่ยนตามเวลา การบอกขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือน ในลักษณะการบอกขนาดโดยรวม (Overall Value of Vibration) ที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้คือ

1. ระดับยอดสูงสุด (Peak Level) เป็นการบอกค่าระดับสูงสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนไปจากระดับศูนย์ ทั้งนี้มีได้คำนิยามถึงลักษณะการสั่นสะเทือนอย่างอื่น คำนี้มักนิยมใช้วัดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการกระแทกในช่วงเวลาสั้น ๆ
2. ระดับยอดสูงสุดถึงยอดสูงสุดอีกยอดหนึ่ง (Peak to Peak Level) ซึ่งก็คือ การบอกค่าขนาดของสัญญาณที่วัดจากจุดสูงสุดทางบวกกับจุดต่ำสุดทางลบ
3. ค่าเฉลี่ย (Average Level) เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ในกรณีทั่ว ๆ ไปที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่าเป็นทั้งบวกและลบเมื่อเทียบกับตำแหน่งสมดุล ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยในกรณีนี้จะคิดโดยทำการเปลี่ยนเครื่องหมายของขนาดสัญญาณที่ลบให้เป็นบวก (Rectified) แล้วจึงคิดค่าเฉลี่ยออกมา
4. ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS, Root Mean Square) เป็นค่าที่ได้จากการนำสัญญาณที่วัดได้ในโดเมนเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่ง ๆ มายกกำลังสอง แล้วทำการเฉลี่ยตลอดคาบและถอดรากที่สอง

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t X^2(t) dt} \quad (4.24)$$

5. ค่าแฟกเตอร์เครสต์ (Crest Factor) เป็นค่าอัตราส่วนของ Peak Level กับ RMS Level ซึ่งค่าดังกล่าวจะให้ข้อมูลว่าลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ มีแนวโน้มเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้นสะท้อนลักษณะแบบกระแทก (Impulse) หรือแบบสุ่ม (Random) ในกรณีที่เป็นลักษณะแบบกระแทกค่าแฟกเตอร์เครสท์จะสูง ส่วนกรณีที่เป็นลักษณะสุ่มค่าแฟกเตอร์เครสท์จะต่ำ

4.5 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม

สัญญาณการสั้นสะท้อนจะเป็นสัญญาณแบบฮาร์โมนิกส์ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของแรงที่มากกระตุ้นซึ่งเป็นแบบฮาร์โมนิกส์ด้วย และเป็นสัญญาณที่ถูกแสดงอยู่บนโดเมนเวลา การวินิจฉัยสภาพหรือข้อบกพร่องของระบบ จะได้จากการพิจารณาขนาดของการสั้นสะท้อนเพียงอย่างเดียว ถ้าหากแรงที่มากกระตุ้นไม่อยู่ในรูปของสัญญาณฮาร์โมนิกส์ แต่เป็นสัญญาณลักษณะเป็นคาบในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้วิธีการที่จะแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบออกมาเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกส์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์โดยใช้การแปลงแบบฟูรีเยร์ และเมื่อได้ข้อมูลหรือผลเฉลยซึ่งประกอบด้วยสัญญาณการสั้นสะท้อนที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ก็จะสามารถวินิจฉัยได้ละเอียดขึ้นถึงต้นเหตุของการสั้นสะท้อนได้ การวิเคราะห์สัญญาณการสั้นสะท้อนบนโดเมนความถี่ ก็คือ การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม เป็นการแปลงแบบฟูรีเยร์ ซึ่งทำการแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน และการนำหลักการแปลงฟูรีเยร์มาใช้แปลงสัญญาณการสั้นสะท้อนบนโดเมนเวลาให้เป็นสัญญาณการสั้นสะท้อนบนโดเมนความถี่

4.5.1 การแปลงแบบฟูรีเยร์ (Fourier Transform)

การสั้นสะท้อนแบบถูกกระตุ้น เกิดจากแรงที่มากกระตุ้นอาจจะเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ กัน และรูปแบบของแรงอาจไม่ใช่แบบฮาร์โมนิกส์ แต่อาจเป็นการเคลื่อนที่แบบลักษณะคาบ (Periodic Motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่รูปแบบเหมือนกันในแต่ละคาบ แต่ไม่ใช่รูปของคลื่นรูปไซน์ รูปแบบการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบนี้จะสามารถแยกเขียนออกมาเป็นผลรวมของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์ที่มีความถี่ต่าง ๆ กันได้ โดยการใช้วิธีของฟูรีเยร์ (Fourier) ถ้าให้ $x(t)$ เป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบที่มีคาบเท่ากับ τ จะสามารถเขียน $x(t)$ เป็นสมการอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) ได้ดังนี้

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_1 t + a_2 \cos \omega_2 t + \dots + b_1 \sin \omega_1 t + a_2 \sin \omega_2 t + \dots \quad (4.25)$$

โดยที่ $\omega_1 = \frac{2\pi}{\tau}$, $\omega_n = n\omega_1$; $n = 1, 2, 3, \dots$

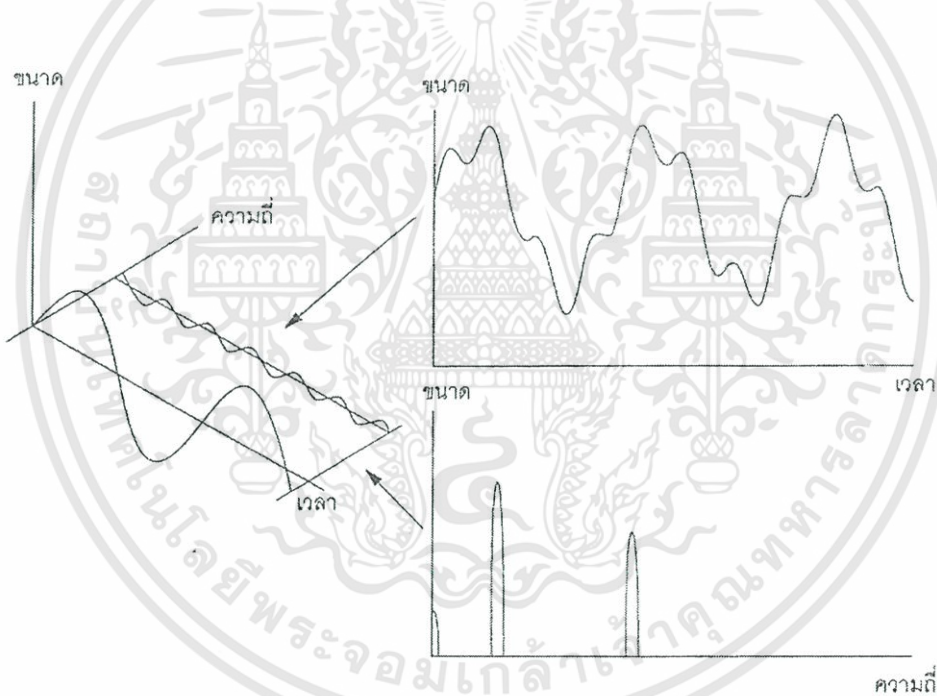
และค่าสัมประสิทธิ์ a_n และ b_n หาได้จาก

$$a_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \cos \omega_n t dt \quad (4.26)$$

$$b_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \sin \omega_n t dt \quad (4.27)$$

เมื่อนำสมการที่ (4.25) มาเขียนโดยใช้แกนในแนวตั้งเป็นขนาดของการสั่นสะท้อน และแกนนอนเป็นแกนความถี่จะได้สัญญาณในลักษณะเป็นชุดเส้นคี่สคริต (Discrete Line) ในปัจจุบันด้วยวิทยาการที่ก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัล การแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่นั้นจะกระทำด้วยขั้นตอนวิธีที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transfer; FFT)

4.5.2 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม (Spectrum Analysis)



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะท้อนบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม คือ การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้หากนำมาใช้การสั่นสะท้อนแบบคาบ จะให้ข้อมูลของการสั่นสะท้อนได้มากกว่าข้อมูลจากการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนของเวลา เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนถึงความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณบนโดเมนเวลาสู่สัญญาณบนโดเมนความถี่ การมองแบบ 3 มิติ จากรูปที่ 4.10 เป็นภาพสามมิตินั้นจะมีแกนตั้งเป็นแกนแสดงถึงขนาดสัญญาณ ในขณะที่แกนแนวนอนแกนหนึ่งเป็นแกนเวลาและแกนในแนวนอนซึ่งตั้งฉากกับแกนแนวนอนแรกจะเป็นแกนความถี่ จากรูปแกน

3 มิติจะแสดงถึงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 2 รูป ที่มีความถี่ต่างกัน โดยมีคลื่นรูปใหญ่มีความถี่น้อยกว่า รูปคลื่นรูปเล็ก เมื่อมองสัญญาณในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนเวลา จะเห็นเป็นสัญญาณลักษณะเป็น คาบบนโดเมนเวลาตามที่แสดงไว้ในภาพทางขวามือบน และเมื่อมองสัญญาณในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนความถี่ก็จะเห็นเป็นสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน โดยสัญญาณขนาดใหญ่อยู่ที่ความถี่ต่ำ และสัญญาณในขนาดเล็กกว่าอยู่ที่ความถี่สูงกว่าตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.10 (ด้าน ขวามือ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

หลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

5.1 บทนำ

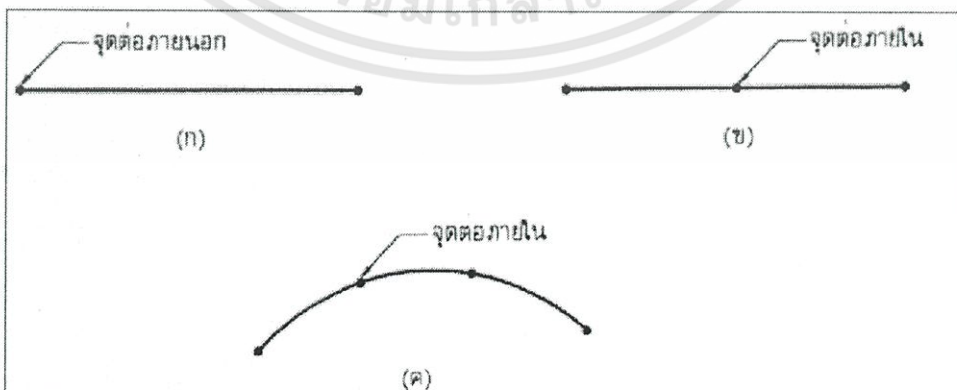
ก่อนที่จะศึกษาในรายละเอียดของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์[2,3,4,5]เราจำเป็นต้องเข้าใจหลักการเบื้องต้นต่างๆ ไปเกี่ยวกับชนิดต่างๆของเอลิเมนต์ วิธีการแบ่งเอลิเมนต์ การกำหนดตำแหน่งต่างๆของเอลิเมนต์ ลักษณะของฟังก์ชันการกระจัด และการจำลองแบบของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์รวมทั้งจะต้องมีความรู้ทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง ความสัมพันธ์ของความเค้น-ความเครียดและการกระจัด รวมทั้งควรทราบหลักการของงานพลังงาน เพื่อใช้ประกอบในการหาสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ และควรทราบการประยุกต์ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณ ส่วนหลักการการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาที่ซับซ้อนนั้นสามารถศึกษาได้จากตำราไฟไนต์เอลิเมนต์ขั้นสูงทั่วไป

5.2 ชนิดของเอลิเมนต์

การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องแบ่งโครงสร้างหรือชิ้นส่วนออกเป็นส่วนเล็กๆ และเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับรูปร่างลักษณะของงานและการกระทำของโหลด ชนิดของเอลิเมนต์อาจจะแบ่งออกได้ 3 ประเภทตามมิติ คือ เอลิเมนต์สำหรับปัญหามิติเดียว สองมิติ และสามมิติ

5.2.1 เอลิเมนต์มิติเดียว

เอลิเมนต์มิติเดียวเป็นเอลิเมนต์ที่นิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหามิติเดียว เช่น ชิ้นส่วนที่มีแรงกระทำในแนวแกน ชิ้นส่วนที่รับแรงบิด การโค้งงอของคาน การนำความร้อนในทิศทางเดียว เป็นต้น

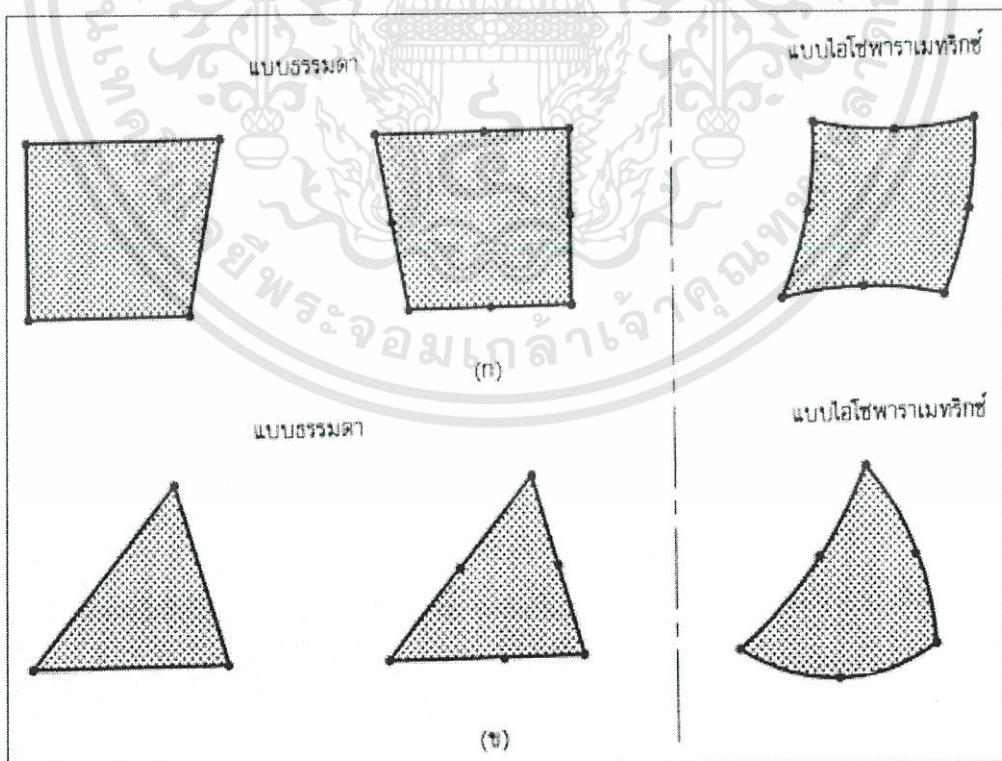


รูปที่ 5.1 เอลิเมนต์มิติเดียว

รูป 5.1 (ก) คือเอลิเมนต์มิติเดียวที่ประกอบด้วยจุดต่อที่ปลายทั้งสองด้านของแต่ละเอลิเมนต์ ซึ่งเรียกจุดต่อภายนอก ส่วนรูปที่ 5.1 (ข) เป็นเอลิเมนต์มิติเดียวที่ประกอบด้วยสามจุดต่อคือจุดต่อภายนอกสองจุดต่อ และจุดต่อภายในหนึ่งจุดต่อ และรูปที่ 5.1 (ค) คือเอลิเมนต์มิติเดียวที่เป็นเส้นโค้งประกอบด้วยสี่จุดต่อ คือสองจุดต่อภายนอก และสองจุดต่อภายในซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้างหรือชิ้นงานที่มีการยึดตัวไม่เป็นเส้นตรง เช่น การยึดตัวของท่อนโลหะ อันเนื่องมาจากมวลของท่อนโลหะเอง เป็นต้น

5.2.2 เอลิเมนต์สองมิติ

เอลิเมนต์สองมิติมักใช้กับการวิเคราะห์ความเค้น-ความเครียดระนาบ โดยทั่วไปเอลิเมนต์สองมิติจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยด้านที่เป็นเส้นตรง หรือเส้นโค้ง เช่น รูปที่ 5.2 (ก) เป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วยสี่จุดต่อและ 8 จุดต่อชนิดด้านตรงและด้านโค้งแบบไอโซพารามेटริกซ์ ส่วนรูปที่ 5.2 (ข) เป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อและ 6 จุดต่อด้านตรงและด้านโค้งไอโซพารามेटริกซ์ โดยทั่วไปเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมจะได้รับความนิยมมากกว่าเอลิเมนต์สามเหลี่ยม ทั้งนี้เพราะในกรณีที่ระดับความเสรีเท่ากับเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมให้ผลเฉลยที่ถูกต้องแม่นยำกว่า ส่วนการเลือกใช้เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมด้านตรงหรือด้านโค้งขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นงานจริง และโดยทั่วไปจะสมมุติให้ความหนาของเอลิเมนต์มีค่าคงตัว แต่อาจจะกำหนดให้ความหนาเป็นฟังก์ชันกับพิกัดก็ได้

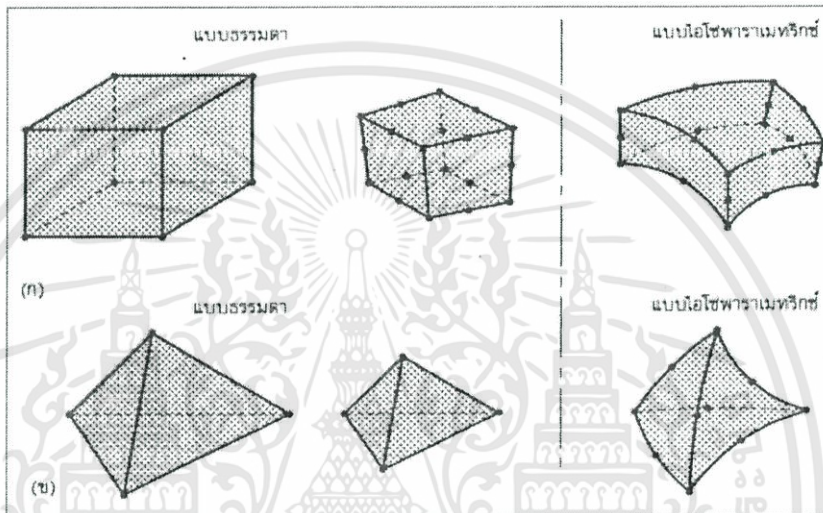


รูปที่ 5.2 เอลิเมนต์สองมิติ (ก) เอลิเมนต์สี่เหลี่ยม (ข) เอลิเมนต์สามเหลี่ยม

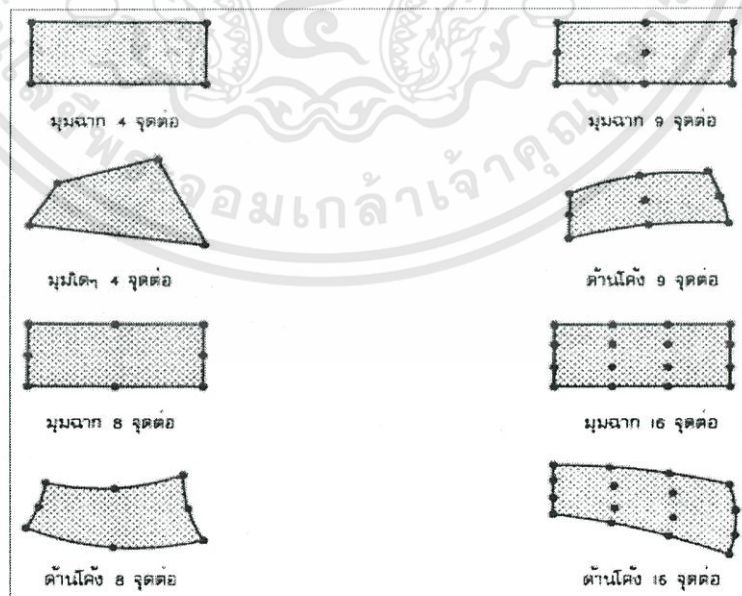
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 เอลิเมนต์สามมิติ

เอลิเมนต์สามมิติจะใช้กับการวิเคราะห์ปัญหาสามมิติทั่วไป ลักษณะของเอลิเมนต์จะเป็นสี่เหลี่ยมปริซึมและรูปกรวยสามเหลี่ยม เช่นในรูปที่ 5.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับรูปที่ 5.3 (ก) เป็นเอลิเมนต์สามมิติทรง 6 หน้า (hexahedron)[18,19] ชนิดด้านตรง (linear) 8 จุดต่อ , ชนิดเส้นตรงกำลังสอง (straight-line quadratic) 20 จุดต่อ และชนิดเส้นโค้งกำลังสอง (quadratic with curved faces) 20 จุดต่อ ส่วนรูปที่ 5.3 (ข) เป็นเอลิเมนต์สามมิติ ทรง 4 หน้า (tetrahedral) ชนิดด้านตรง 4 จุดต่อ ชนิดเส้นตรงกำลังสอง 10 จุดต่อ , และชนิดเส้นโค้งกำลังสอง 10 จุดต่อตามลำดับ



รูปที่ 5.3 เอลิเมนต์สามมิติ (ก) ชนิดปริซึม หรือ ชนิดทรงหกหน้า
(ข) ชนิดกรวยสามเหลี่ยม หรือชนิดทรงสี่หน้า



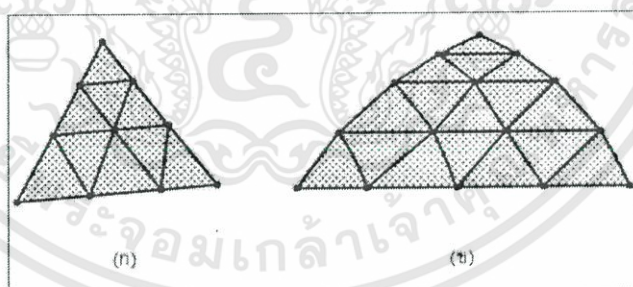
รูปที่ 5.4 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสองมิติที่ประกอบด้วยจุดต่อต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากเอลิเมนต์สามมิติตามที่กล่าวมาแล้ว ยังมีเอลิเมนต์อีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะรูปทรงกระบอก เช่น ในรูปที่ 5.4 ปัญหาในลักษณะแผ่นโค้ง (shell) เช่น รูปที่ 5.4 (ข) และเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหารูปกรวยสมมาตร ซึ่งจะเป็นเอลิเมนต์ชนิดสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมหมุนรอบกรวยสมมาตร (360°) เช่น รูป 5.4 (ค) โดยทั่วไปเอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยจุดต่อมากๆ จะให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับค่าแม่นยำมากกว่าเอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยจุดต่อน้อยๆ แต่จะเพิ่มความยุ่งยากในการแก้สมการและใช้เวลาในการคำนวณมาก ตัวอย่างเช่น เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสองมิติ รูปที่ 5.4 ประกอบด้วยจุดต่อ 4 จุดต่อ จะให้ผลเฉลยความคลาดเคลื่อนมากกว่าเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 8 และ 16 จุดต่อ เป็นต้น

5.3 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

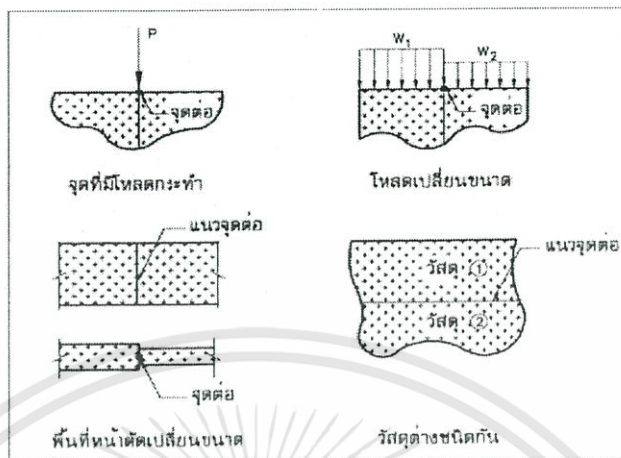
การวิเคราะห์ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จำเป็นต้องแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยที่เกี่ยวข้องกันด้วยจุดต่อ เพื่อความสะดวกจะพิจารณาปัญหาสองมิติโดยเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้านตรงที่ประกอบสามจุดต่อ เช่น ในรูป 5.5 (ก) ส่วนปัญหาสามมิติก็ใช้หลักการเดียวกัน การแบ่งชิ้นส่วนอาจจะเริ่มแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่ๆ ก่อนแล้วจึงแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมย่อยอีกครั้งหนึ่ง ตำแหน่งของจุดต่อ (node) ภายนอกเอลิเมนต์ย่อยควรจะอยู่ในตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วน หรือตำแหน่งที่มีโหลดกระทำหรือตำแหน่งที่มีโหลดกระทำ หรือตำแหน่งที่มีการใช้วัสดุต่างๆ กัน ตำแหน่งจุดต่อเหล่านั้นดูได้จากรูป 5.6



รูปที่ 5.5 การแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

ชิ้นส่วนรูปสามเหลี่ยมในรูป 5.5 (ก) ก่อนข้างจะแบ่งเอลิเมนต์ย่อยได้ง่ายคือ กำหนดจุดต่อในแต่ละด้านของสามเหลี่ยมให้มีจำนวนเท่ากัน ลากเส้นโยงระหว่างจุดต่อจะได้จุดต่อตรงที่เส้นตัดกันเพิ่มขึ้น ตามรูปที่ 5.5 (ก) ชิ้นส่วนจะถูกแบ่งออกเป็น 9 เอลิเมนต์แต่ละด้านจะมีสี่จุดต่อ ระยะระหว่างจุดต่อของแต่ละด้านของสามเหลี่ยมไม่จำเป็นต้องเท่ากันขนาดเอลิเมนต์แต่ละเอลิเมนต์จึงมีขนาดแตกต่างกันตามที่ต้องการ ถ้าเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้วยกัน เอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้านเท่าจะ

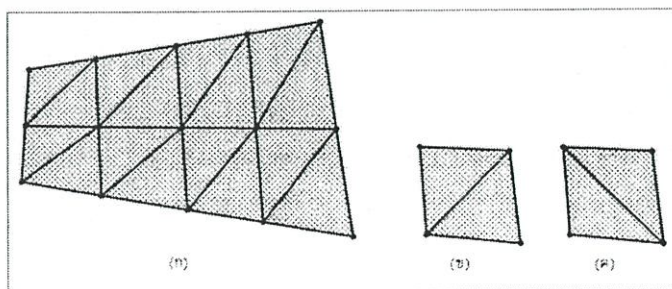
ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมใดๆ มุมภายในของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม ความอยู่ระหว่าง 30° ถึง 120°



รูปที่ 5.6 ตำแหน่งของจุดต่อที่สำคัญ

ในกรณีของชิ้นส่วนเป็นรูปสามเหลี่ยมโค้ง เราอาจใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้านตรงแทน เช่น ในรูป 5.5 (ข) ซึ่งทำให้ขนาดของแบบจำลองคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อยตามเส้นโค้งไปลา ส่วนจำนวนของเอลิเมนต์ทั้งหมดในชิ้นส่วนจะเท่ากับ $(n-1)^2$, n คือจำนวนจุดต่อของแต่ละด้านของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่ต้องการจะแบ่งเป็นเอลิเมนต์

สำหรับชิ้นส่วนรูปสี่เหลี่ยมในรูป 5.7(ก) การแบ่งเอลิเมนต์ย่อยๆ นั้น ทำได้สะดวก คือ กำหนดจุดต่อในแต่ละด้านของสี่เหลี่ยม ลากเส้นระหว่างจุดต่อที่อยู่ตรงข้าม, จุดตัดของแต่ละเส้นจะเป็นจุดต่อภายในของชิ้นส่วน และถ้าประสงค์จะแบ่งเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมย่อยก็ทำได้ โดยลากเส้นทะแยงมุมของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม การลากเส้นทะแยงมุมนั้นควร จะเลือกเส้นทะแยงมุมที่สั้นที่สุด เพราะจะทำให้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมมีสัดส่วนใกล้เคียงสามเหลี่ยมด้านเท่ามากขึ้น ดูตัวอย่างในรูป 5.7 (ข) และ (ค) ในกรณีที่เลือกใช้อิเลเมนต์สี่เหลี่ยม สัดส่วนด้านยาวสุด ต่อด้านสั้นสุดของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมควรจะทำกับ 1 จึงจะทำให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับค่าแมนตรง มากขึ้น

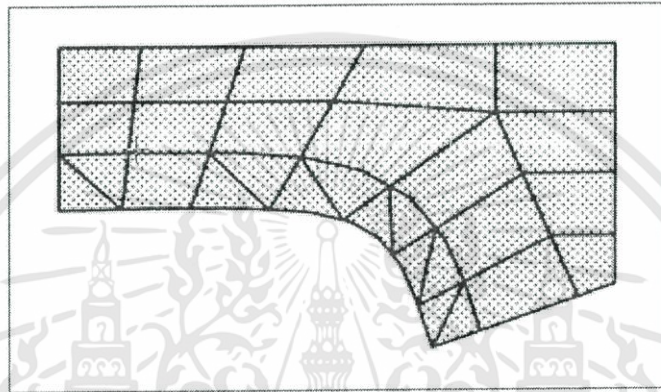


รูปที่ 5.7 การแบ่งชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

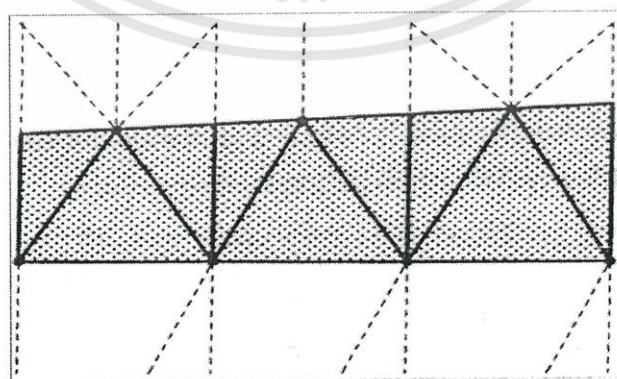
จำนวนจุดต่อบนด้านที่ใกล้กันของชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมอาจจะแตกต่างกันแต่จำนวนจุดต่อที่ด้านตรงข้ามจะต้องมีจำนวนเท่ากัน เว้นแต่ต้องการลดหรือขยายขนาดของเอลิเมนต์ระยะระหว่างจุดต่ออาจจะแตกต่างกันซึ่งทำให้เอลิเมนต์มีขนาดเล็กใหญ่ตามต้องการจำนวนจุดต่อบนด้านประกอบมุมของชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมที่ต้องการแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

ในรูปที่ 5.8 ระยะระหว่างจุดต่อของชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมจะมีขนาดต่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้เอลิเมนต์ในบริเวณที่เป็นส่วนโค้งมีขนาดเล็ก คือพยายามทำให้แบบจำลองมีขนาดใกล้เคียงกันกับขนาดของชิ้นส่วนจริง



รูปที่ 5.8 การแบ่งชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมโค้งออกเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมย่อย

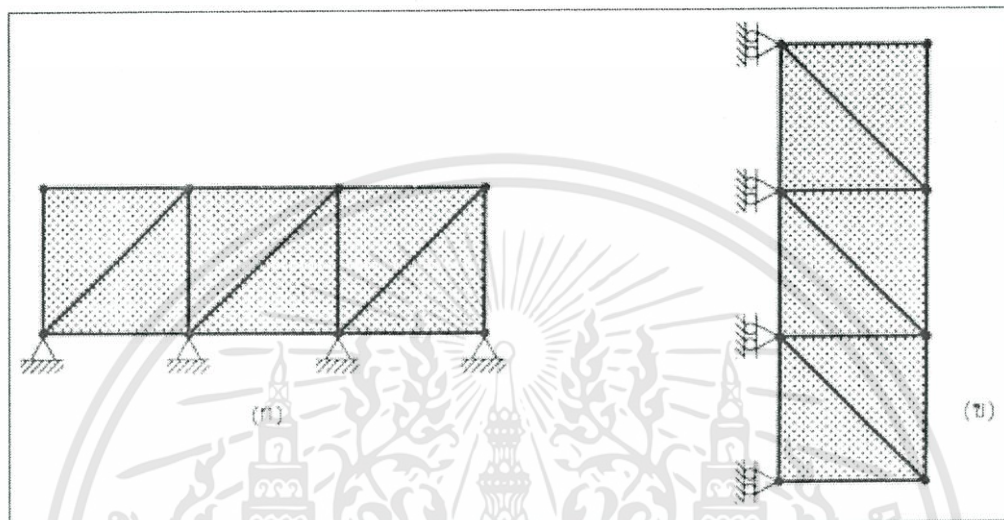
มากที่สุด ปกติไม่นิยมแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเท่ากัน และมีรูปร่างเหมือนกันตลอดชิ้นงาน เพราะบริเวณที่มีความเค้นสูงหรือบริเวณที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ ความจะแบ่งให้มีเอลิเมนต์ขนาดเล็กๆ ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปจะแบ่งให้โตขึ้น การเปลี่ยนแปลงเอลิเมนต์จะมีประโยชน์มากสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน วิธีที่ง่ายที่สุดของการเปลี่ยนแปลงขนาดของเอลิเมนต์คือ กำหนดให้จำนวนจุดต่อบนด้านตรงข้ามของเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมให้แตกต่างกันเช่นในรูปที่ 5.9 เป็นต้น



รูปที่ 5.9 การขยายขนาดเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็ง จำเป็นต้องกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ของจุดต่อต่างๆ ด้วย โดยทั่วไปจุดต่อที่ไม่มีเคลื่อนที่จะแทนด้วยการยึดแบบสลัก (pin connection) เช่น รูปที่ 5.10 (ก) แต่ถ้าจุดต่อเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวจะแทนด้วยการยึดแบบล้อยหมุน ดังรูป 5.10 (ข) ซึ่งชิ้นส่วนสามารถจะเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้ แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวระดับได้ ส่วนการที่จะกำหนดให้จุดต่อเคลื่อนที่อย่างไรนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา



รูปที่ 5.10 การยึดจุดต่อ (ก) ยึดแบบสลัก (ข) ยึดแบบล้อยหมุน

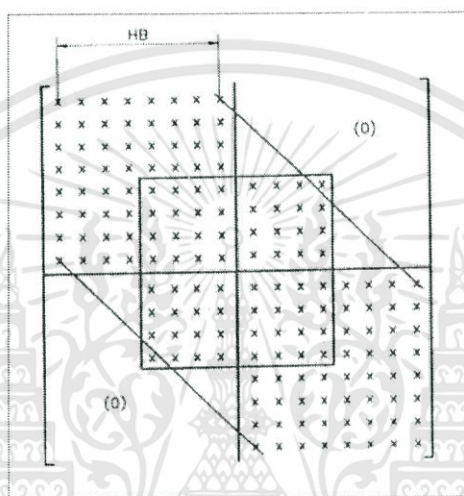
ปัญหาบางปัญหาไม่สามารถจะกำหนดเงื่อนไขขอบได้โดยง่าย เช่นการถ่ายเทความร้อน การหมุนตัวของดิน อย่างไรก็ตามวิศวกรได้พยายามจำลองปัญหาดังกล่าว เพื่อคำนวณหาค่าต่างๆ ที่ต้องการให้สอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหา

5.4 การกำหนดจุดต่อและความกว้างแถบ

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ปัญหาโครงสร้างหรือชิ้นส่วนของระบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบด้วยสมการพีชคณิตเป็นจำนวนมาก จำนวนสมการดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตำแหน่งของจุดต่อของเอลิเมนต์ สัมประสิทธิ์ของสมการจะเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์เช่น สทิวเฟนส เมทริกซ์เป็นต้นสัมประสิทธิ์บางตัวจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อความรวดเร็วในการคำนวณและประหยัดพื้นที่เก็บข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ เราจะจัดให้สัมประสิทธิ์ของสมการอยู่ของเมทริกซ์ เช่นในรูปที่ 5.11 คือความกว้างแถบจะเท่ากับ $2HB-1$ ซึ่ง HB คือครึ่งความกว้างของแถบ(half bandwidth) ในช่วง HB ค่าสัมประสิทธิ์จะไม่เท่ากับศูนย์ แต่อาจจะมียบางตัวเท่ากับศูนย์ปนอยู่ ส่วนช่วงนอกครึ่งความกว้างของแถบลค่าสัมประสิทธิ์จะเท่ากับศูนย์ทุกตัว สัมประสิทธิ์ช่วงนอกแถบ HB นี้ไม่จำเป็นต้องเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณ ถ้าให้ขนาดของเมทริกซ์ของสัมประสิทธิ์คือ $N \times N$ ส่วนที่จำเป็นต้องเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณคือเมท

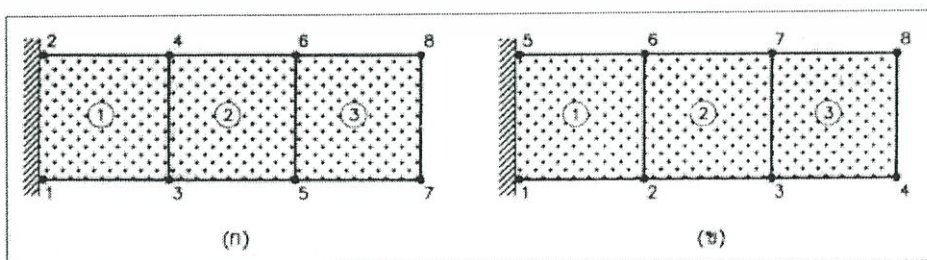
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ริกซ์ขนาด $N \times HB$ เท่านั้น ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไปสทิงก์เมทริกซ์เป็นเมทริกซ์สมมาตร ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาในการคำนวณ และประหยัดพื้นที่เก็บข้อมูลและยังสามารถจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดความจำเล็กลงได้ ความกว้างของแถบ HB ดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก $HB = (R+1)NDOF$ ซึ่ง $R =$ จำนวนที่แตกต่างของแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ และ $NDOF$ คือระดับขั้นความเสรีของแต่ละจุดต่อของเอลิเมนต์ เราจะใช้พื้นที่เก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์น้อยสุด ถ้าสามารถหาค่าน้อยสุดของ HB ได้ ซึ่งในระบบที่ซับซ้อนการหาค่าต่ำสุดของ HB ทำได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามสำหรับระบบทั่วไป



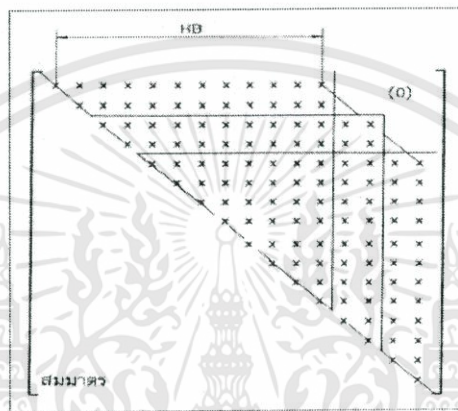
รูปที่ 5.11 ความกว้างแถบของระบบที่มี $HB = 8$

เราสามารถหาค่า HB น้อยสุดได้ เช่นระบบของคานาในรูปที่ 5.12 ที่ประกอบด้วย 3 เอลิเมนต์ การกำหนดจุดต่อของแต่ละเอลิเมนต์ได้จากรูป 5.12(ก) และ 5.12(ข) ถ้าให้แต่ละจุดต่อประกอบด้วยสองพิกัด x,y หรือ $NODF = 2$ สำหรับรูปที่ 5.12 (ก) $R = 4 - 1 = 3$ ดังนั้นครั้งความกว้างของ $HB = 8$ และหนึ่งเอลิเมนต์จะประกอบ 4 จุดต่อ หรือ 8 ระดับขั้นความเสรีจะนั้นขนาดสัมประสิทธิ์เมทริกซ์หรือสทิงก์เมทริกซ์จะมีขนาด 8×8 แต่เนื่องจากคานาประกอบด้วยสามเอลิเมนต์ย่อย นั้นคือสทิงก์เมทริกซ์ของระบบคานาจะมีขนาด 16×16



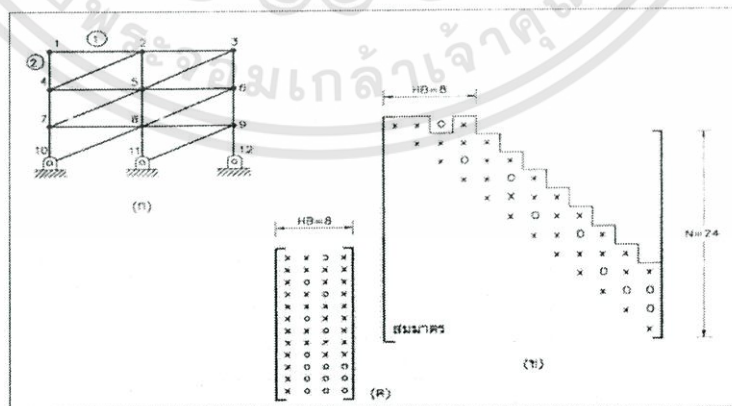
รูปที่ 5.12 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของคานาที่ประกอบด้วย 3 เอลิเมนต์

สำหรับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในรูปที่ 5.12 (ข) การกำหนดจุดต่อจะต่างจาก รูปที่ 5.13 (ก) ซึ่ง $R = 6 - 1 = 5$ และ $NODF = 2$ ดังนั้น $HB = 12$ ดังรูป 5.13 ประกอบคือจะมีสัมประสิทธิ์หรือสทิวเฟนสมเมทริกซ์ที่เท่ากับศูนย์เพิ่มขึ้นในช่วงของ HB อีก 4 แถว และ 4 คอลัมน์ จากสทิวเฟนสมเมทริกซ์ในรูปที่ 5.12 (ก) การคำนวณจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำมากขึ้น ถ้าเปรียบเทียบขนาดความกว้างครึ่งแถบของแบบจำลองไฟไนต์ทั้งสอง ในรูปที่ 5.12 (ก) และ 5.12 (ข) จะเห็นว่าถ้าจัดอันดับการกำหนดตำแหน่งของจุดต่อให้ดี จะสามารถลดพื้นที่เก็บข้อมูลได้เกือบ 30 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.13 ความกว้างแถบของคานในรูปที่ 5.11 (ข) ($HB = 12$)

สกายไล (skyline) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กำหนดความกว้างครึ่งแถบของสทิวเฟนสมเมทริกซ์ กรอบของสกายไลนจะเริ่มจากสัมประสิทธิ์ตัวแรกที่ไมเท่ากับศูนย์ของแต่ละคอลัมน์ของสทิวเฟนสมเมทริกซ์ ตามวิธีสกายไลนสัมประสิทธิ์ระหว่างทอมเส้นทะแยงมุมและแนวสกายไลนเท่านั้นที่จะเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 5.14 ประกอบ



รูปที่ 5.14 กรอบของสกายไลน (ก) โครงข้อหมุนประกอบด้วย 12 จุดต่อ

(ข) สกายไลนเมทริกซ์ของโครงข้อหมุน (ก) (ค) ความกว้างของแถบที่ใช้ในการคำนวณ

จากรูปที่ 5.14(ก) จุดต่อของเอลิเมนต์ 2 คือ 1 และ 4 แต่ละจุดต่อประกอบด้วย 2 ระดับชั้นความเสรี ส่วนในรูปที่ 5.14 (ข) คือสทิฟเนสเมทริกซ์รวมของระบบ x คือสทิฟเนสเทอมที่ไม่เท่ากับศูนย์ สทิฟเนสเมทริกซ์ที่จะใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณก็คือ ความกว้างแถบตามสกายไลน์ ซึ่งขนาด 8×24 จากรูป 5.14 (ก) ประกอบ

5.5 ฟังก์ชันการกระจัด

ตามที่กล่าวมาแล้ว การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะต้องแบ่งชิ้นส่วนหรือโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย และจะต้องสมมุติฟังก์ชันการกระจัดโดยประมาณของแต่ละเอลิเมนต์ ที่จะประกอบเข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างหรือชิ้นส่วนรวมการกระจัดโดยประมาณที่สมมุติขึ้นเรียกว่า ฟังก์ชันการกระจัด (displacement function) หรือ แบบจำลองการกระจัด (displacement models) หรือ สนามการกระจัด (displacement fields) หรือรูปแบบการกระจัด (displacement patterns)

ฟังก์ชันการกระจัดที่นิยมใช้กันทั่วไป จะเป็นฟังก์ชันพอลิโนเมียล ในกรณีของปัญหามิติเดียว ฟังก์ชันพอลิโนเมียลคือ

$$u(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 + \dots + a_{n+1}x^n \quad (5.1)$$

ซึ่ง $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ คือสัมประสิทธิ์ของพอลิโนเมียล, ส่วน n คือการกระจัดในทิศทาง x ในกรณีของปัญหาสองมิติ ฟังก์ชันพอลิโนเมียลจะเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} u(x,y) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 + \dots + a_ny^n \\ v(x,y) &= a_{m+1} + a_{m+2}x + a_{m+3}y + a_{m+4}x^2 + a_{m+5}xy + a_{m+6}y^2 + \dots + a_{2m}y^n \end{aligned} \quad (5.2)$$

ซึ่ง u และ v คือการกระจัดในทิศทาง x และ y ตามลำดับ, a คือสัมประสิทธิ์ของพอลิโนเมียลและ

$$m = \sum_{i=1}^{n+1} i(n+2-i)$$

ส่วนในกรณีของปัญหาสามมิติ ฟังก์ชันพอลิโนเมียลคือ

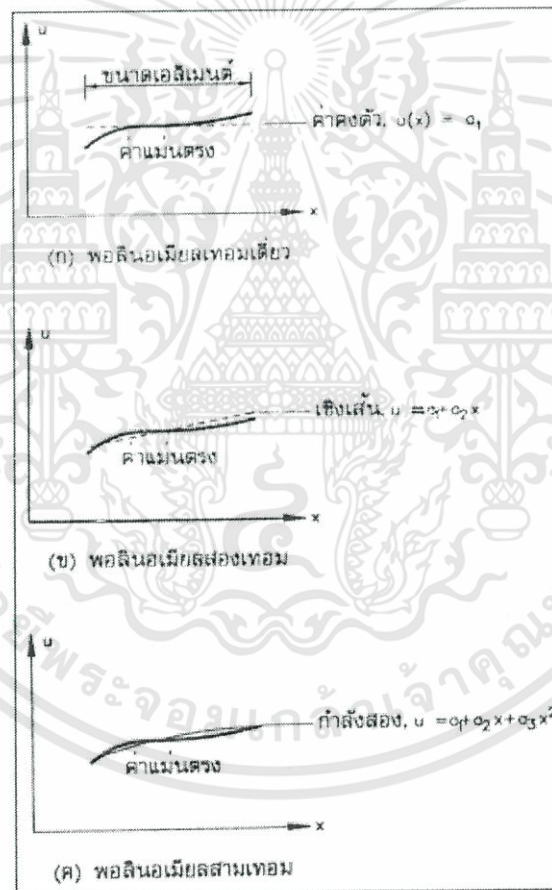
$$\begin{aligned} u(x,y,z) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4z + a_5zx + \dots + a_mz^n \\ v(x,y,z) &= a_{m+1} + a_{m+2}x + a_{m+3}y + a_{m+4}z + a_{m+5}zx + \dots + a_{2m}z^n \end{aligned}$$

$$w(x,y,z) = a_{2m+1} + a_{2m+2}x + a_{2m+3}y + a_{2m+4}z + a_{2m+5}zx + \dots + a_{3m}z^n \quad (5.3)$$

ซึ่ง u , v , และ w คือส่วนประกอบของการกระจัดในทิศทาง x , y และ z ตามลำดับและ

$$m = \sum_{i=1}^{n+1} i(n+2-i)$$

พอลิโนเมียลที่มีหลายเทอมหรือกำลังสูง ๆ จะให้การกระจัดที่สมมุติขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำ แต่การแก้สมการค่อนข้างทำได้ยาก อย่างไรก็ตามการที่จะเลือกใช้ฟังก์ชันพอลิโนเมียลกำลังเท่าใดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา และความละเอียดของผลเฉลยที่ต้องการ เช่น ในกรณีของปัญหามิติเดียว ฟังก์ชันพอลิโนเมียลกำลังสอง (3 เทอม) จะให้ผลเฉลยดีกว่าฟังก์ชันพอลิโนเมียลเทอมเดียวและสองเทอม ดังรูปที่ 5.15 ประกอบ



รูปที่ 5.15 การสมมุติฟังก์ชันการกระจัดสำหรับปัญหามิติเดียว

การจำลองเอลิเมนต์ด้วยการกระจัด อาจจะแบ่งออกตามกำลังของพอลิโนเมียลได้สามกลุ่ม คือ กลุ่มเชิงเดี่ยว (simplex) กลุ่มเชิงซ้อน (complex) และกลุ่มเชิงซับซ้อน (multiplex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1 ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงเดียว

ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงเดียว จะประกอบด้วยพอลิโนเมียลเทอมที่มีค่าคงตัวและเทอมที่เป็นเส้นตรง ส่วนสัมประสิทธิ์ของพอลิโนเมียลจะเท่ากับระดับขั้นความเสรีของระบบ ในกรณีของปัญหามิติเดียว เช่น ท่อนโลหะ , เหล็ก , โครงข้อหมุน , โครงข้อแข็ง เป็นต้น เอลิเมนต์เชิงเดียวของปัญหาเหล่านี้จะประกอบด้วยสองจุดต่อภายนอก รูปที่ 5.1 (ก) ซึ่งสามารถจะแทนได้ด้วยพอลิโนเมียลสองเทอมคือ เทอมที่เป็นค่าคงตัวและเทอมที่เป็นเชิงเส้นตรงคือ

$$u(x) = a_1 + a_2x \quad (5.4)$$

ในกรณีของปัญหาสองมิติ เช่น ปัญหาความเค้นระนาบ, ความเครียดระนาบ และปัญหาแหวนแกนสมมาตร (axisymmetric) เอลิเมนต์เชิงเดียวของปัญหาเหล่านี้จะเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยสามจุดต่อที่มุมของสามเหลี่ยม, รูปที่ 5.2 (ข) แต่ละจุดต่อจะประกอบด้วยการกระจัด u และ v ดังนั้นพอลิโนเมียลสำหรับเอลิเมนต์เชิงเดียวสามเหลี่ยมจะประกอบด้วย 6 ระดับขั้นเสรี

$$\begin{aligned} u(x,y) &= a_1 + a_2x + a_3y \\ v(x,y) &= a_4 + a_5x + a_6y \end{aligned} \quad (5.5)$$

สำหรับของกรณีของปัญหาสามมิติ เอลิเมนต์เชิงเดี่ยวก็คือ เอลิเมนต์ชนิดกรวยสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยสี่จุดต่อภายนอก, รูปที่ 5.3 (ข) แต่ละจุดต่อจะประกอบด้วยการกระจัด u , v และ w ในทิศทาง x , y และ z ตามลำดับ ฉะนั้นหนึ่งเอลิเมนต์สามเหลี่ยมเชิงเดียวจึงประกอบด้วย 12 ขั้นระดับความเสรี และฟังก์ชันพอลิโนเมียลสำหรับเอลิเมนต์ดังกล่าวก็คือ

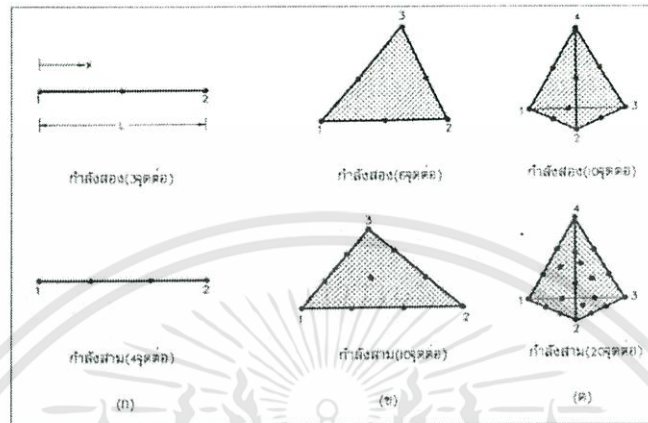
$$\begin{aligned} u(x,y,z) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4z \\ v(x,y,z) &= a_5 + a_6x + a_7y + a_8z \\ w(x,y,z) &= a_9 + a_{10}x + a_{11}y + a_{12}z \end{aligned} \quad (5.6)$$

5.5.2 ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงซ้อน

ฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์เชิงซ้อน จะประกอบด้วยพอลิโนเมียลที่มีเทอมค่าคงตัว เทอมเชิงเส้น เทอมกำลังสอง กำลังสาม และเทอมที่มีกำลังสูงกว่านั้นเท่าที่จำเป็น (ขึ้นอยู่กับระดับขั้นความเสรีของเอลิเมนต์) รูปร่างและชนิดของเอลิเมนต์เชิงซ้อนอาจจะเหมือนกับเอลิเมนต์

เชิงเดียว แต่จะมีจุดต่อภายในเพิ่มขึ้น ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างเอลิเมนต์เชิงเดียวและเชิงซ้อนก็คือ จำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์เชิงซ้อนจะมากกว่ามิติของเอลิเมนต์อย่างน้อย 1 จุดต่อ

ในกรณีของปัญหามิติเดียว เอลิเมนต์เชิงซ้อนจะเป็นเอลิเมนต์มิติเดียวที่ประกอบด้วยจุดต่อภายในอย่างน้อย 1 จุดต่อ เช่น รูปที่ 5.17 (ก) จะมีจุดต่อภายในเพิ่มขึ้นอีก 1 จุด หรือ 2 จุด



รูปที่ 5.16 เอลิเมนต์เชิงซ้อน (ก)เอลิเมนต์มิติเดียว

(ข) เอลิเมนต์สามเหลี่ยม 2 มิติ (ค) เอลิเมนต์สามเหลี่ยมกรวย 3 มิติ

ดังนั้นฟังก์ชันพอลิโนเมียลสำหรับเอลิเมนต์เชิงซ้อนกำลังสอง (3 จุดต่อ) ในรูปที่ 5.17 (ก)

คือ

$$u(x) = a_1 + a_2x + a_3x^2 \quad (5.7)$$

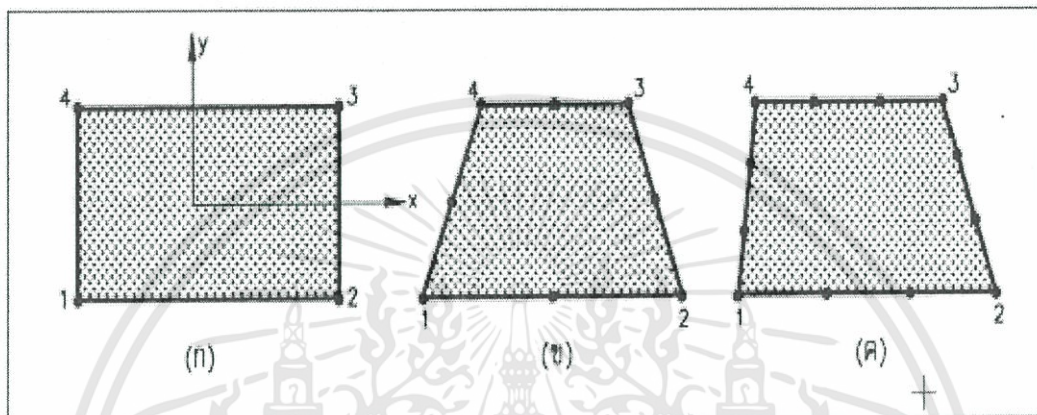
ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วย 3 ระดับขั้นความเสรี สำหรับปัญหาสองมิติเอลิเมนต์สามเหลี่ยมเชิงซ้อนกำลังสองและกำลังสาม ดูได้จากรูปที่ 5.17 (ข) และฟังก์ชันพอลิโนเมียลสำหรับเอลิเมนต์สามเหลี่ยมเชิงซ้อนกำลังสองคือ

$$\begin{aligned} u(x,y) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5xy + a_6y^2 \\ v(x,y) &= a_7 + a_8x + a_9y + a_{10}x^2 + a_{11}xy + a_{12}y^2 \end{aligned} \quad (5.8)$$

ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ประกอบด้วย 12 ระดับขั้นความเสรี ส่วนรูปที่ 5.12 (ค) เป็นเอลิเมนต์เชิงซ้อนสามเหลี่ยมกรวยกำลังสองและกำลังสาม ที่ประกอบด้วย 10 จุดต่อ และ 20 จุดต่อตามลำดับ ส่วนฟังก์ชันพอลิโนเมียลของเอลิเมนต์ทั้งสองเขียนได้ในทำนองเดียวกันกับเอลิเมนต์สามเหลี่ยมเชิงซ้อนสองมิติ

5.5.3 ฟังก์ชันการกระจัดสำหรับเอลิเมนต์เชิงซับซ้อน

ฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์เชิงซับซ้อน (multiplex) จะประกอบด้วยพอลิโนเมียลที่มีกำลังสูงเช่นเดียวกับฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์เชิงซ้อน ในหัวข้อ 5.5.2 แต่ขอบของเอลิเมนต์จะต้องขนานกับแกนของพิกัดรวมของระบบ ทั้งนี้เพื่อให้การกระจัดระหว่างขอบของเอลิเมนต์มีความต่อเนื่องกัน ตัวอย่างที่ดีของเอลิเมนต์เชิงซับซ้อนก็คือเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่มีมุมฉากในรูปที่ 5.18 (ก) ซึ่งเป็นเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมในกรณีพิเศษที่ประกอบด้วย 4 จุดต่อภายนอก 8 ระดับชั้นความเร็ว



รูปที่ 5.17 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมสองมิติ (ก) เอลิเมนต์เชิงเส้น (ข) เอลิเมนต์กำลังสอง (ค) เอลิเมนต์กำลังสาม

ฟังก์ชันพอลิโนเมียลสำหรับเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมเชิงซับซ้อนเส้นคือ

$$\begin{aligned}
 u(x,y) &= a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy \\
 v(x,y) &= a_5 + a_6x + a_7y + a_8xy
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

เหตุที่เลือกพอลิโนเมียลเทอม xy แทนที่จะเลือกเทอม x^2 และ y^2 ก็เพราะว่า เทอม xy จะทำให้การกระจัดในด้านที่ x หรือ y มีค่าคงที่ แปรตามเชิงเส้น

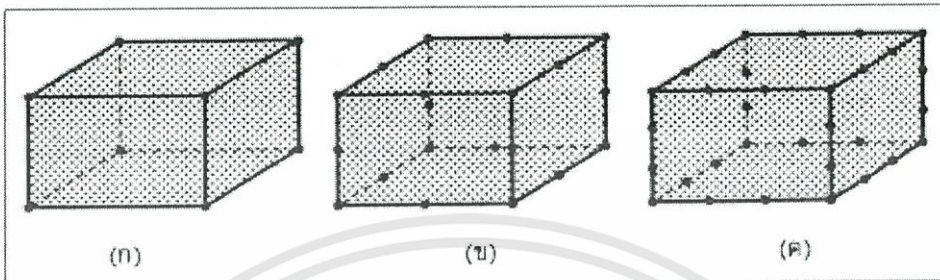
สำหรับเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมเชิงซับซ้อนกำลังสองและกำลังสามในรูปที่ 5.18 (ข) และ (ค) สามารถแทนได้ด้วยฟังก์ชันพอลิโนเมียลที่ประกอบด้วย 8 เทอมที่เป็นฟังก์ชันกับ u, 8 เทอมที่เป็นฟังก์ชันกับ v และ 12 เทอมของ u, 12 เทอมของ v ตามลำดับ

ส่วนเอลิเมนต์เชิงซับซ้อนที่ใช้กับปัญหาสามมิติจะเป็นชนิดปริซึมในลักษณะเชิงเส้น 8 จุดต่อ , กำลังสอง 20 จุดต่อ และกำลังสาม 32 จุดต่อ ตามรูปที่ 5.19

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว การเลือกใช้เอลิเมนต์ที่มีกำลังสูง เช่น เอลิเมนต์กำลังสอง, กำลังสาม จะทำให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่คาดว่าจะมีความเข้มข้นของความเค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง การกระจายของความเค้นจะไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องเลือกใช้เอลิเมนต์ที่มีกำลังสูงตรงบริเวณดังกล่าว เพื่อจะลดความยุ่งยากของการอินทิเกรตเชิงตัวเลข และลดเวลาในการอินทิเกรต เราอาจจะใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบผสมระหว่างเอลิเมนต์เชิงเดียวเป็นส่วนใหญ่และเอลิเมนต์เชิงซ้อนหรือเอลิเมนต์เชิงซับซ้อนตรงบริเวณที่จำเป็น



รูปที่ 5.18 เอลิเมนต์ชนิดปริซึม (ก) เอลิเมนต์เชิงเส้น
(ข) เอลิเมนต์กำลังสอง (ค) เอลิเมนต์กำลังสาม

5.6 การนำไปสู่ผลเฉลยแม่นยำ

การวิเคราะห์ปัญหาเชิงตัวเลขด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ จะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดนั้น จะขึ้นอยู่กับสมมุติฟังก์ชันการกระจัด หรือแบบจำลองการกระจัดของเอลิเมนต์ โดยทั่วไปผลเฉลยที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะให้ค่าการกระจัดน้อยกว่าค่าแม่นยำและเพื่อให้มีความมั่นใจว่า ถ้าเราแบ่งโครงสร้างหรือชิ้นส่วนจริงออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ มากขึ้นแล้ว ผลของการวิเคราะห์จะต้องเข้าใกล้หรือนำไปสู่ (converge) ผลเฉลยแม่นยำ, การสมมุติฟังก์ชันการกระจัดในหัวข้อ 5.5 จึงควรมีข้อกำหนดหรือควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. ฟังก์ชันการกระจัดต้องเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องภายในเอลิเมนต์และการกระจัดระหว่างขอบเอลิเมนต์หรือระหว่างจุดต่อของเอลิเมนต์ที่ติดกันจะต้องมีค่าเท่ากัน ซึ่งฟังก์ชันพอลิโนเมียลจะเป็นฟังก์ชันที่ให้ค่าต่อเนื่องภายในเอลิเมนต์ตามที่ต้องการ สำหรับความหมายของส่วนที่สองก็คือ การกระจัดของเอลิเมนต์ที่อยู่ติดกันจะต้องไม่มีช่องว่างหรือซ้อนกัน หรือการกระจัดระหว่างเอลิเมนต์ไม่ต่อเนื่องกัน
2. ฟังก์ชันการกระจัดต้องมีเทอมที่ให้ค่าการกระจัดของวัตถุเกร็ง (rigid body displacement) ของเอลิเมนต์อยู่ด้วยกัน การกระจัดของวัตถุเกร็งจะเป็นการกระจัดในลักษณะการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง (translation) หรือการหมุน (rotation) ก็ได้ ในกรณีของปัญหามิติเดียวและฟังก์ชันการกระจัดเขียนอยู่ในรูปของพอลิโนเมียล เช่นสมการ (5.4) เทอมที่ให้ค่าการกระจัดของวัตถุเกร็งก็คือ a_1 เป็นต้น

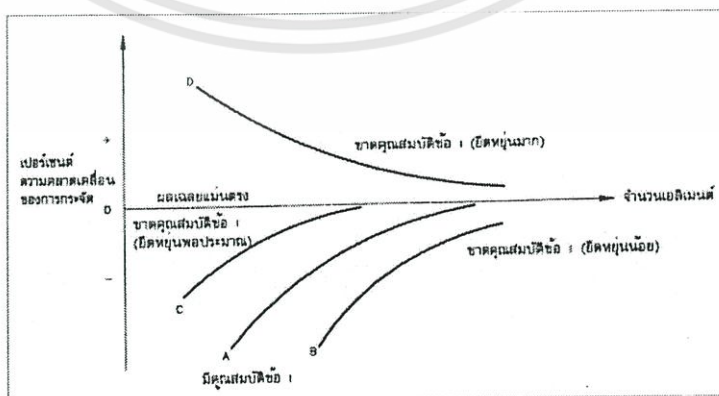
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟังก์ชันการกระจัด จะต้องมีเทอมที่ให้ค่าความเครียดคงที่ (constant strain states) ของเอลิเมนต์ด้วย ทั้งนี้เพราะว่าถ้าเราแบ่งชิ้นส่วนหรือโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ ค่าของความเครียดจะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ และในกรณีของปัญหาสองมิติ ถ้าสมมุติให้ฟังก์ชันการกระจัดเป็นฟังก์ชันพอลิโนเมียลตามสมการ (5.5) เทอมที่จะให้ค่าความเครียด ϵ_x, ϵ_y คงที่ก็คือ เทอมที่มีสัมประสิทธิ์เป็น a_2 และ a_6 ตามลำดับ

ในกรณีที่ฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์เป็นไปตามข้อกำหนด 1 เราจะเรียกว่าเอลิเมนต์ที่เข้ากันได้หรือเอลิเมนต์ที่ตรงรอยกัน (compatible or conforming elements) ส่วนฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์ที่เป็นไปตามข้อกำหนด 2 และ 3 เราจะเรียกว่า เอลิเมนต์บริบูรณ์ (complete)

ถ้าใช้ฟังก์ชันการกระจัดตามสมการ (5.4), (5.5) และ (5.6) วิเคราะห์ปัญหาของท่อโลหะที่รับแรงตามแนวแกน, ปัญหาความเครียดครั้นาบและปัญหาการยึดหยุ่นสามมิติตามลำดับ โดยที่แต่ละสมการมีเทอมค่าคงที่และเทอมเชิงเส้นตรงร่วมอยู่ด้วย สมการพอลิโนเมียลทั้งสามจะเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งสามข้อคือ ทั้งเข้ากันได้ และบริบูรณ์ (compatible และ complete)

ในทางปฏิบัติ การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วน เช่น คาน, แผ่นโลหะ และแผ่นโลหะผนังโค้งด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ในบางครั้งยากที่จะให้สมการพอลิโนเมียลเป็นไปตามข้อกำหนด 1 และ 2 อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ให้เห็นว่าฟังก์ชันการกระจัดที่เป็นไปตามเฉพาะเงื่อนไข 3 จะให้ผลเฉลยแม่นยำได้และฟังก์ชันการกระจัดที่เป็นไปตามข้อกำหนด 2 และ 3 (ขาดคุณสมบัติข้อ 1) ก็นิยมใช้กับทั่วไป ซึ่งจะให้ค่าสูงกว่าค่าแม่นยำถ้ายึดหยุ่นมาก และให้ค่าน้อยกว่าค่าแม่นยำถ้ายึดหยุ่นปานกลางและน้อย การเปรียบเทียบผลเฉลยของเอลิเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามข้อ 1(A) และขาดคุณสมบัติข้อ 1 (B), (C), (D) ดูได้จากรูปที่ 5.19 โดยทั่วไป เอลิเมนต์ที่มีคุณสมบัติครบทั้งสามประการจะให้ค่าผลเฉลยต่ำกว่าค่าแม่นยำเสมอ หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือยึดหยุ่นได้น้อยกว่าระบบจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากเงื่อนไขบังคับของฟังก์ชันรูปร่าง (constrained by the shape function) ทำให้สทิฟเนสของเอลิเมนต์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.19 การนำไปสู่ผลเฉลยแม่นยำตรงของฟังก์ชันการกระจัดของเอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ทฤษฎีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

6.1 บทนำ

ทฤษฎีและเทคนิคการออกแบบของงานทางด้านวิศวกรรมมีอยู่หลายแบบและหลายวิธีด้วยกัน แต่ละแบบและวิธีจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามทฤษฎีของวิชา Engineering Optimization[11] นั่นก็มีเทคนิคการออกแบบอยู่มากมายหลายวิธี อย่างไรก็ตาม ความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นมากในการสร้างสมการ Objective function กำหนดเงื่อนไขบังคับให้สอดคล้องกับงานจริงที่เราต้องการทำการออกแบบ และเพื่อให้สามารถหาคำตอบได้อย่างถูกต้อง ผู้ออกแบบต้องมีความรู้พื้นฐานในด้านนั้น ๆ เป็นอย่างดี จึงจะสามารถสร้างสมการ Objective function ขึ้น และสามารถเลือกกำหนดสมการ Constrain ได้ อย่างถูกต้อง

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) จัดอยู่ในวิชาการวิจัยดำเนินงาน (Operation research) ซึ่งเป็นแขนงวิชาที่พัฒนามาแล้วเป็นเวลากว่า 30 ปี เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และเป็นที่ยอมรับกันสำหรับความสำเร็จและผลประโยชน์ที่ได้ การนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ นักวิชาการในสาขาวิชาอื่นต่าง ๆ ได้พยายามอย่างยิ่งในการวิจัยปัญหาในสายงานที่เกี่ยวข้องเพื่อจะได้นำวิธีการต่าง ๆ มาพัฒนาปรับปรุงงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประกอบกับความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์มีมากขึ้น ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น แนวโน้มความสนใจและการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ จึงมีมากยิ่งขึ้นเช่นกัน

การวิจัยดำเนินงานมีจุดเริ่มต้นในปีคริสต์ศักราช 1937 ซึ่งอยู่ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง โดยฝ่ายทหารของอังกฤษได้ให้นักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อว่า Sir Robert Watson-Wait ทำการวิเคราะห์ปัญหาการใช้อุปกรณ์เรดาร์ในการจับเครื่องบินและเวลาที่เครื่องบินเข้าศึกเข้าโจมตีจริง ๆ ถ้าเรดาร์จับได้เร็วก็จะทำให้มีเวลาเตรียมการส่งเครื่องบินประจัญบานขึ้นไปต่อสู้ได้ทัน นักวิทยาศาสตร์ได้วิเคราะห์ลักษณะการปฏิบัติการของสถานีเรดาร์แต่ละแห่ง ตลอดจนวงจรการสื่อสารและวิธีการปฏิบัติงาน จนได้ผลเป็นตัวเลขเสนอต่อรัฐบาลเพื่อปรับปรุงสถานีเรดาร์ทั้งหมดของกองทัพอากาศอังกฤษ ผลงานครั้งนี้แสดงว่านักวิทยาศาสตร์สามารถช่วยนักบริหารในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้ ต่อมาในคริสต์ศักราช 1941 กองทัพอากาศอังกฤษได้จัดตั้งหน่วยวิจัยทางทหารและนำไปใช้แพร่หลายในหน่วยงานของกองทัพบกและกองทัพเรือ ในปีคริสต์ศักราช 1942 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ตั้งหน่วยงานวิจัยดำเนินงานขึ้นเป็นครั้งแรก โดยได้รับคำแนะนำจากรัฐบาลอังกฤษและเป็นการร่วมมือกับการปฏิบัติการทางทหารของอังกฤษ ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ตั้งหน่วยวิจัยดำเนินงานโดยใช้ชื่อต่างกัน ในกองทัพอากาศเรียกว่า Operation Analysis แต่ในกองทัพบกและกองทัพเรือเรียกว่า Operations Research and Operation Evaluation

ในช่วงทศวรรษของปีคริสต์ศักราช 1940 นักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ท่านได้พัฒนาวิธีการที่เรียกว่า โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เพื่อนำไปใช้ในเรื่องการจัดสรรทรัพยากรในวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ และนักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกา ชื่อ George B. Dantzig ได้คิดค้นวิธีการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพสูงที่เรียกว่า วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ในปีคริสต์ศักราช 1950 Von Neuman ได้พัฒนา วิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo Method) สำหรับแก้ปัญหาในโครงการป้องกันเรือดำน้ำนิวเคลียร์ ในปีคริสต์ศักราช 1958 กองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้ทำการวิจัยเพื่อหาวิธีการวางแผนและควบคุมในโครงการผลิตและติดตั้งจรวดที่เรียกว่า โพลาริส (Polaris) โดยได้คิดค้นวิธี PERT (Program Evaluation Review Technique) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้รู้จักเพียงในกลุ่มนักวิจัยดำเนินงานก็ได้รับการนำไปพัฒนาใช้กับวงการอุตสาหกรรม ทำให้การวิจัยดำเนินงานก็ได้รับยอมรับและได้รับการพัฒนาทั้งวิธีการและรูปแบบให้ทวีขอบเขตขนาดและซับซ้อน ตามการขยายตัวของเศรษฐกิจและสังคม

ภายหลังสงครามโลกครั้งที่สองสิ้นสุดลง ประเทศอังกฤษได้นำเอาวิธีการวิจัยดำเนินงานมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมและรัฐวิสาหกิจเป็นประเทศแรก โดยได้เริ่มใช้กับอุตสาหกรรมทำถ่านหินเป็นอุตสาหกรรมประเภทแรก ต่อมาจึงได้ขยายตัวไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ และใช้ในการบริหารงานด้านการขนส่ง ส่วนสหรัฐอเมริกานั้นไม่ค่อยให้ความสนใจในการนำไปประยุกต์กับงานด้านธุรกิจมากนักในระยะแรก จนกระทั่งได้มีการขยายตัวในการใช้เครื่องจักรแทนคน สหรัฐอเมริกาจึงได้ทำการฟื้นฟูและส่งเสริมวิทยาการแขนงนี้จนนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้มีการจัดตั้งสมาคมและจัดสอนขึ้นในมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาชั้นสูง ประกอบกับในช่วงทศวรรษของปีคริสต์ศักราช 1950 ได้มีการคิดค้นเครื่องคอมพิวเตอร์และได้มีการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยดำเนินงาน ทำให้การวิจัยดำเนินงานได้รับการพัฒนาหลักการและวิธีการไปสู่หน่วยงานต่าง ๆ ที่มีความสลับซับซ้อนได้มากขึ้นตามลำดับ

นักวิทยาศาสตร์ได้มีความพยายามพัฒนาและนำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการจัดการทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีผู้นำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาด้านต่าง ๆ เช่น การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม การหาเส้นทางการบินพาณิชย์ ส่วนผสมของอาหารสัตว์ การกำหนดทิศทางของขีปนาวุธ การหากระบวนการที่เหมาะสมที่สุดของการทำปฏิกริยาทางเคมี เป็นต้น

6.2 ความจำเป็นของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (The Need for Optimization)

เป้าหมายของการแก้ปัญหาในทางอุตสาหกรรม คือ การตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจะต้องทำการปรับปรุงส่วนใดบ้าง การจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ได้ประโยชน์มากที่สุด การเลือกวิธีการออกแบบที่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นน้อยที่สุดและให้ผลกำไรสูงสุด เป็นต้น การวางแผนและการกำหนดการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ เช่น เกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนใหม่เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่มีราคาต่ำ การออกแบบทางวิศวกรรมจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบ ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ขอบเขตจำกัดทางรูปร่าง น้ำหนัก ราคาของวัตถุดิบ งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด และวิธีการผลิตที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เป็นต้น

ปัญหาดังกล่าวทำให้ข้อกำหนดในการออกแบบมีความยุ่งยากมากขึ้น เมื่อทางเลือกที่เป็นไปได้มีหลายทางเลือก ผู้ออกแบบจะทำการเลือกทางเลือกที่ตรงกับความต้องการที่กำหนดไว้ โดยการนำวิธีการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งค่าคำตอบที่ได้จะอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของปัญหาที่กำหนดขึ้นตามลักษณะของปัญหาหรือตามความต้องการของผู้ออกแบบ

6.3 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในทางวิศวกรรม

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์อย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น

1. การออกแบบเครื่องบินเพื่อให้มีน้ำหนักน้อยที่สุด
2. การกำหนดนโยบายการผลิตที่ดีที่สุด การกำหนดระดับจำนวนการผลิต เพื่อให้ได้กำไรมากที่สุด ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด
3. หาทิศทางการบินที่เหมาะสมที่สุดของยานอวกาศ
4. การจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด
5. การออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล ให้มีขนาดที่เหมาะสมและมีราคาประหยัด
6. ใช้ในการหาสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าไปสู่ผู้บริโภคที่ดีที่สุด
7. ใช้หาระบบหรือกระบวนการทางเคมีที่เหมาะสมที่สุด
8. วางแผนการซ่อมบำรุงและการเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่เหมาะสมในการดำเนินงาน

9. ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม
10. ใช้ในการเลือกเงื่อนไขในการตัดโลหะแผ่นให้ได้ปริมาณชิ้นส่วนที่ต้องการมากที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตน้อยที่สุด
11. การออกแบบเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
12. การออกแบบในทางวิศวกรรมโยธา เช่น การออกแบบอาคาร สะพานและเขื่อน เป็นต้น เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด
13. ใช้ในการจัดระบบการสื่อสารและคมนาคม เพื่อให้ได้ผลตอบแทนมากที่สุด
14. ใช้ในการออกแบบวางท่อประปา เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
15. การหาสัดส่วนการผสมอาหารสัตว์ว่าจะใช้วัตถุดิบอย่างไรบ้าง จำนวนเท่าไร จึงจะทำให้ต้นทุนการผสมอาหารสัตว์ต่ำที่สุด โดยคุณค่าของอาหารสัตว์นั้นยังคงเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เป็นต้น

การออกแบบทางวิศวกรรมมีเป้าหมายการออกแบบ คือ การเลือกตัวแปรที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะแวดล้อมที่กำหนดจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ผู้ออกแบบต้องการ และเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมและข้อกำหนดในการออกแบบ เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นวิธีที่นำข้อดีทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการศึกษาปัญหาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด นักออกแบบต้องคำนึงถึงเสมอว่าการออกแบบไม่ใช่ทำเพื่อตอบสนองความอยากรู้อยากเห็นในทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น เพราะสิ่งที่จะออกแบบควรเป็นสิ่งที่สังคมต้องการและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เมื่อทราบความต้องการของสังคมแล้วอันดับต่อไป คือ การสร้างกรอบความคิด หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ โดยขั้นตอนนี้อาจมีการทำซ้ำเพื่อให้แนวคิดที่วางไว้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

สมัยก่อนในการออกแบบผลิตภัณฑ์จะใช้วิธีการดั้งเดิมที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ เมื่อทำตามขั้นตอนดังกล่าวก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยไม่มีการปรับปรุงแก้ไขวิธีการแต่อย่างใด ในบางครั้งประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบและวิธีการออกแบบที่ใช้ไม่มีการพัฒนา ในความเป็นจริงในการออกแบบควรมีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

การออกแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ การเลือกขนาดหรือวัตถุดิบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นตามข้อกำหนดที่กำหนดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น มีราคาอยู่ในช่วงที่กำหนด สามารถทำงานได้ตามต้องการ เป็นต้น โดยทั่วไปการออกแบบที่เหมาะสมจะอยู่ภายใต้พื้นฐานความรู้ทางวิศวกรรมที่อยู่ในรูปของสมการความสัมพันธ์หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ และประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

6.4 ประเภทของแบบจำลองของปัญหา

แบบจำลอง (Model) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพราะจะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าเราเข้าใจลึกซึ้งในปัญหามากน้อยแค่ไหน แบบจำลองโดยทั่วไป แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. **แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Model)** คือ แบบจำลองที่จำลองความจริงออกมาให้มีรูปร่างเดียวกัน และมองเห็นเหมือนจริง เช่น แบบจำลองการจับยึดของโมเลกุลทางเคมี ทำให้ทราบถึงลักษณะของการจับยึดของอนุภาค เป็นต้น

2. **แบบจำลองแผนภาพ (Schematic Model)** คือ การแสดงข้อเท็จจริงหรือข้อความต่าง ๆ ออกมาเป็นแผนภาพ ซึ่งง่ายและสะดวกต่อการทำความเข้าใจ หรือเป็นการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ มาจำลองในรูปของแผนภาพหรือแผนภูมิต่าง ๆ แบบจำลองแผนภาพนี้อาจจะเหมือนหรือไม่เหมือนกับสภาพการณ์ของเหตุการณ์จริงก็ได้ เช่น แผนภาพแสดงปริมาณการขายสินค้าในแต่ละไตรมาส แผนภูมิควบคุมชนิดค่าเฉลี่ย-พิสัย เป็นต้น

3. **แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)** คือ การจำลองสภาพเหตุการณ์ต่าง ๆ ออกมาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวในการตัดสินใจต่าง ๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการทำนายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอนาคต หรือใช้ในการควบคุมการดำเนินงานขององค์กรต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ถึงแม้ว่าจะพยายามสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ให้ใกล้เคียงกับเหตุการณ์หรือปัญหาจริงที่สุดแล้วก็ตาม แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นยังไม่สามารถสร้างเหมือนเหตุการณ์จริงหรือปัญหาจริงได้อย่างสมบูรณ์ เพราะในการสร้างแบบจำลองนี้จะต้องสร้างภายใต้ข้อสมมุติฐานต่าง ๆ ดังนั้นในการทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจะต้องคำนึงถึงข้อสมมุติฐานด้วย เพราะในบางครั้งสมมุติฐานที่กำหนดขึ้นอาจจะไม่ถูกต้อง ทำให้คำตอบที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือในบางครั้งการตั้งสมมุติฐานไม่ถูกต้องอาจจะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้

6.5 ขั้นตอนของการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหา

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นปัญหาใด ๆ ก็ตามจะต้องมีวิธีการและขั้นตอนในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดดังต่อไปนี้

6.5.1 การกำหนดปัญหา

ปัญหาที่จะทำการแก้ไขจะต้องกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการแก้ปัญหาอย่างชัดเจน เพราะในบางครั้งขอบเขตของปัญหากว้างเกินไปหรือไม่ชัดเจน จะทำให้การแก้ไขปัญหาเป็นไปได้ยาก ในบางครั้งไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้หรือถ้าแก้ไขปัญหาได้ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่

ถูกต้อง ปัญหาอาจมีเป้าหมายหลายอย่างในขณะเดียวกัน และเป้าหมายแต่ละอย่างมีความสำคัญไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ประเภท คือ

- *เป้าหมายเดียว* เป้าหมายของปัญหามีเพียง 1 เป้าหมายเท่านั้น ซึ่งเป็นเป้าหมายแบบสูงสุดหรือต่ำสุดก็ได้ เช่น ต้องการออกแบบเครื่องบินเพื่อให้มีน้ำหนักน้อยที่สุด การออกแบบวางแผนการวางท่อประปาเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการวางท่อน้อยที่สุด เป็นต้น

- *เป้าหมายหลายเป้าหมาย* คือ เป้าหมายของปัญหามีมากกว่า 1 เป้าหมาย ซึ่งแต่ละเป้าหมายอาจจะเป็นแบบเดียวกันหรือตรงกันข้ามกันก็ได้ เช่น ต้องการทำให้ส่วนแบ่งของสินค้าในตลาดมีค่าสูงสุด และขณะเดียวกันก็ต้องการทำให้ได้กำไรรวมสูงสุดด้วย ปัญหาลักษณะนี้เรียกว่า เป้าหมายเดียวกัน แต่ในบางกรณีเป้าหมายอาจจะเป็นคนละแบบก็ได้ เช่น ต้องการผลิตสินค้าเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด และในขณะเดียวกันต้องทำให้เสียค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดด้วย

ขั้นตอนในการกำหนดปัญหาของการออกแบบพอล่าวโดยสังเขปได้ดังนี้

- กำหนดเป้าหมายของการออกแบบ
- ศึกษาตัวแปรในการออกแบบที่มีผลต่อเป้าหมายของการออกแบบ
- กำหนดข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของการออกแบบ
- กำหนดแนวทางในการออกแบบ
- กำหนดช่วงเวลาในการวิเคราะห์ปัญหาและระยะในการดำเนินงาน

6.5.2 การจัดรูปปัญหาให้เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้จัดตั้งปัญหาและทำความเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การจัดรูปแบบของปัญหาให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยจัดรูปของปัญหาให้เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะมีโครงสร้างดังนี้

- สมการกำหนดเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของเป้าหมายกับตัวแปรสำหรับตัดสินใจ สมการเป้าหมายนี้จะเป็แบบสูงสุดหรือต่ำสุด (Maximize, Minimize) ก็ได้ และค่าของสมการเป้าหมายจะเปลี่ยนแปลงตามค่าของตัวแปรสำหรับตัดสินใจ เช่น การผลิตเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด การผลิตสินค้าเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด ฯลฯ โดยสมการแสดงความสัมพันธ์อาจจะมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา

- สมการแสดงขอบข่ายหรือเงื่อนไขบังคับ (Constraint) ซึ่งแสดงขอบเขตหรือข้อจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปของ สมการ (Equality) หรือ อสมการ (Inequality)

- ตัวแปรในการออกแบบหรือตัวแปรตัดสินใจ เป็นตัวแปรที่เราต้องการทราบค่าตัวแปรดังกล่าวจะมีตัวเดียวหรือหลายตัวก็ได้ และเป็นตัวแปรที่มีผลต่อสมการเป้าหมายที่กำหนดขึ้น ตัว

แปรในการออกแบบสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ ตัวแปรที่มีความต่อเนื่อง ตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่อง และ ตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม

6.5.3 การทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาและการหาผลลัพธ์ของปัญหา

บ่อยครั้งที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาไม่ถูกต้อง เนื่องจากความบกพร่องบางประการ ทำให้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวไม่ใช่ตัวแทนของปัญหาอย่างแท้จริง จึงทำให้การหาผลลัพธ์เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นควรมีการตรวจสอบการจัดตั้งปัญหาเปรียบเทียบกับปัญหาจริง ตรวจสอบการใช้หน่วยและมิติของตัวแปรต่าง ๆ ว่าสอดคล้องกันหรือไม่ โดยสามารถทำการตรวจสอบด้วยการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในสมการทางคณิตศาสตร์ แล้วดูว่าจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นสอดคล้องกับค่าที่ควรจะเป็นหรือไม่ และตรวจสอบโดยใช้ข้อมูลในอดีตมาทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ แล้วนำเอาผลลัพธ์ไปเปรียบเทียบกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในการหาผลลัพธ์หรือค่าคำตอบของปัญหาจะเลือกใช้วิธีว่าเหมาะสมกับปัญหาหรือสามารถแก้ปัญหาหรือสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้วต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของผลลัพธ์ที่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อตัวแปรในการออกแบบของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ จะต้องมีการวิเคราะห์ความไว ซึ่งการวิเคราะห์ความไวมีความสำคัญมากเพราะว่าถ้าตัวแปรในการออกแบบของปัญหาที่ศึกษาไม่อาจประมาณค่าได้แน่นอน จะต้องหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากค่าต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง

6.5.4 การทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้

ถ้าหากผลที่ได้ถูกต้องและน่าเชื่อถือได้ จะต้องสามารถทดสอบได้โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลในอดีตกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง ๆ อย่างไรก็ตามการทดสอบความถูกต้องไม่เหมาะสมกับปัญหาที่ไม่เคยเกิดมาก่อน เพราะจะไม่มีข้อมูลในอดีตที่จะนำมาเปรียบเทียบได้

6.5.5 การนำผลลัพธ์หรือค่าคำตอบไปใช้งาน

จะต้องทำการแปลผลลัพธ์ที่ได้ให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานได้ และเมื่อนำไปใช้งานแล้วควรทำการประเมินผลการใช้งาน เพื่อนำข้อบกพร่องที่ได้มาปรับปรุงและแก้ไขให้เป็นไปตามความต้องการต่อไป เพราะในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้ไม่สามารถทำให้เป็นจริงตามที่เราต้องการได้หรือไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ

6.6 ประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ลักษณะของปัญหาและตัวแปรในการออกแบบของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นสิ่งที่เราควรให้ความสำคัญ เพราะวิธีการทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดในการใช้

แก้ปัญหาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหา ประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด สามารถแบ่งตามลักษณะต่างๆ ได้ 6 ประเภท คือ

1. แบ่งตามสมการขอบเขต คือ ปัญหาที่มีสมการกำหนดขอบเขตของการออกแบบ และปัญหาที่ไม่กำหนดสมการขอบเขต

2. แบ่งตามลักษณะของตัวแปรในการออกแบบ คือ ถ้าสมการเป้าหมายมีตัวแปรในการออกแบบเพียงหนึ่งตัวจะเรียกปัญหาแบบนี้ว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตัวแปรเดียว (Single-variable optimization) ถ้าสมการเป้าหมายมีตัวแปรในการออกแบบสองตัวแปรหรือมากกว่านั้นเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายตัวแปร (Multi-variable optimization) หรือถ้าค่าของตัวแปรในการออกแบบเป็นจำนวนเต็มเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมแบบจำนวนเต็ม (Integer optimization) เป็นต้น

3. แบ่งตามลักษณะของสมการเป้าหมาย คือ สมการเป้าหมายมีตัวแปรในการออกแบบมีทั้งแบบเป้าหมายเดียวและเป้าหมายหลายเป้าหมาย สมการเป้าหมายเดียว คือ ปัญหาที่มีจำนวนของสมการเป้าหมายเพียงสมการเดียว ส่วนสมการเป้าหมายหลายเป้าหมาย คือ ปัญหาที่มีจำนวนของสมการเป้าหมายมากกว่าหนึ่งสมการเป้าหมาย

4. แบ่งตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการเป้าหมาย คือ ถ้าสมการเป้าหมายมีความสัมพันธ์ของสมการเป้าหมายเป็นแบบเชิงเส้น จะเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) หรือถ้าสมการเป้าหมายมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นจะเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบโปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Programming, NLP)

5. แบ่งตามลักษณะของสมการเป้าหมายที่ขึ้นกับเวลา คือ ถ้าปัญหาเป็นปัญหาที่ขึ้นอยู่กับเวลาจะเรียกปัญหาแบบนี้ว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบพลวัต (Dynamic optimization) ถ้าเป็นปัญหาที่ไม่ขึ้นอยู่กับเวลาจะเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบสถิตย์ (Static optimization)

6. แบ่งตามลักษณะของข้อมูล คือ ถ้าปัญหาที่ทราบค่าของข้อมูลที่แน่นอน จะเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทราบค่าแน่นอน (Deterministic optimization) ส่วนปัญหาที่ไม่สามารถทราบค่าข้อมูลได้อย่างแน่นอน จะเรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทราบค่าไม่แน่นอน (Stochastic optimization)

6.7 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการหาค่าคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งได้ 4 วิธี คือ

6.7.1 วิธีการกราฟ (Graphical Method)

เป็นวิธีที่ต้องพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมการเป้าหมายและตัวแปรในการออกแบบ ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ใช้ได้กับปัญหาหนึ่งมิติและสองมิติเท่านั้น กล่าวคือ จำนวนตัวแปรในการออกแบบสูงสุดที่จะใช้วิธีนี้ได้ต้องไม่เกินสองตัวแปร

6.7.2 วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Technique)

สิ่งสำคัญของปัญหาที่จะใช้วิธีการวิเคราะห์ในการหาคำตอบคือ สมการความสัมพันธ์จะต้องสามารถหาอนุพันธ์ได้และความสัมพันธ์ของสมการต้องเป็นแบบต่อเนื่อง เพราะในการหาคำตอบของปัญหาจะใช้วิธีหาอนุพันธ์ของสมการเป้าหมาย ถ้าปัญหาเป็นแบบที่มีสมการขอบเขตจำกัดจะใช้วิธีตัวคูณของลากรองจ์ (Lagrange multipliers) ทำการแปลงสมการขอบเขตให้เป็นเทอมที่เพิ่มขึ้นของสมการเป้าหมาย จะทำให้ปัญหากลายเป็นปัญหาที่ไม่มีสมการขอบเขตจำกัด

6.7.3 วิธีการทดลอง (Experimental Technique)

วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เป็นการทดลองหาคำตอบทุกทางเลือกที่เป็นไปได้ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้หาคำตอบที่เหมาะสม วิธีการนี้เหมาะสมกับปัญหาที่ไม่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรในการออกแบบไม่มากนัก เพราะถ้าเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและตัวแปรในการออกแบบมีจำนวนมาก ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบนานและมีค่าใช้จ่ายมากกว่าวิธีอื่น

6.7.4 วิธีเชิงตัวเลข (Numerical Technique)

วิธีเชิงตัวเลขเป็นวิธีที่ทำซ้ำเพื่อหาคำคำตอบที่เหมาะสมที่สุด สามารถแยกประเภทได้จากหลายลักษณะคือ สามารถแบ่งได้จากลักษณะของสมการเป้าหมายและจากลักษณะของปัญหาที่มีเงื่อนไขบังคับหรือไม่มีเงื่อนไขบังคับ เป็นต้น

6.8 ประโยชน์ของการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบ

ประโยชน์ของการนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้หรือนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ในการออกแบบมีดังนี้คือ

1. สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ กล่าวคือ โดยทั่วไปในการออกแบบนั้นค่าของตัวแปรในการออกแบบแต่ละตัวเราไม่อาจทราบได้ เมื่อเราไม่ทราบค่าของตัวแปรในการออกแบบดังกล่าว ทำให้เราจำเป็นต้องสุ่มค่าตัวแปรในการออกแบบเพื่อนำไปออกแบบจริง โดยที่เราไม่ทราบว่าค่าตัวแปรนั้นจะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นตามที่เรากำหนดไว้ตั้งแต่ต้นหรือไม่ ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามต้องการ ก็ต้องทำการสุ่มค่าตัวแปรในการออกแบบใหม่ จะทำให้

เสียเวลาในขั้นตอนนี้มากและทำให้ค่าใช้จ่ายมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการหาค่าของตัวแปรในการออกแบบที่เหมาะสม จะทำให้เราประหยัดเวลาได้และยังช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนนี้ลงได้อีกด้วย

2. สามารถนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้มากยิ่งขึ้น

3. ทำให้ขั้นตอนในการออกแบบหรือขั้นตอนพัฒนาผลิตภัณฑ์ ใช้จำนวนคนและเครื่องจักรน้อยลงและสามารถลดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ได้

4. สามารถนำประสบการณ์ของผู้ออกแบบหรือปัญหาที่พบบ่อยมา ช่วยในการกำหนดสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไขบังคับ เพื่อให้สมการความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นตัวแทนของปัญหาอย่างแท้จริง ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เราควรให้ความสำคัญและมีความระมัดระวังในการกำหนดขอบเขตและลักษณะของปัญหา เพราะถ้าไม่มีความเข้าใจในปัญหาหรือความต้องการที่แท้จริง คำตอบที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้จริงหรือในบางครั้งไม่สามารถหาคำตอบได้

5. เมื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการออกแบบ สามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรในการออกแบบได้ที่หลายตัว และสามารถเปลี่ยนสมการเงื่อนไขบังคับได้ เพื่อให้สมการดังกล่าวแทนปัญหาอย่างแท้จริง ซึ่งถ้าเราใช้วิธีพล็อตกราฟหรือใช้ตารางจะมีความยุ่งยากมากและใช้เวลานาน เป็นต้น

6.9 ข้อจำกัดของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรในการออกแบบ ถ้าจำนวนของตัวแปรในการออกแบบมีปริมาณมากจะเสียเวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นในการออกแบบควรคำนึงถึงจำนวนของตัวแปรในการออกแบบ ให้มีความเหมาะสมในการออกแบบแต่ละครั้ง เพราะบางตัวแปรก็มีผลต่อค่าคำตอบของสมการเป้าหมายน้อยมาก

2. การกำหนดปัญหากล้ากำหนดเป้าหมายไม่ถูกต้องและเข้าใจยาก เมื่อนำวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหาจะใช้เวลาในการแก้ปัญหานั้น หรือในบางกรณีไม่สามารถหาคำตอบได้

3. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะมีความยุ่งยากมาก เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีความสัมพันธ์ของสมการเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องและเป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นมาก ๆ จะทำให้หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ยาก และใช้เวลาในการคำนวณนานหรือในบางครั้งก็ไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้

4. คำตอบที่ได้จากการใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อาจจะไม่ใช่ว่าคำตอบที่แท้จริง

(Global solution) ของปัญหา ดังนั้นจะต้องทำการตรวจสอบให้แน่ชัด โดยทำการเปลี่ยนค่าเริ่มต้นหลายๆ ค่า เพื่อดูว่าคำตอบที่ได้ยังเป็นค่าเดิมหรือไม่ ถ้ายังเป็นค่าเดิมแสดงว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่แท้จริง

5. วิธีการทุกวิธีของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ไม่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาได้ทุกปัญหา เพราะวิธีการบางวิธีมีข้อจำกัดหรือมีขั้นตอนที่แตกต่างกันไป เช่น วิธี Quasi-Newton ใช้ได้กับปัญหาที่สามารถหาอนุพันธ์ได้เท่านั้น เป็นต้น ดังนั้นในการเลือกวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปใช้งาน จะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดวิธีนั้น ๆ ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

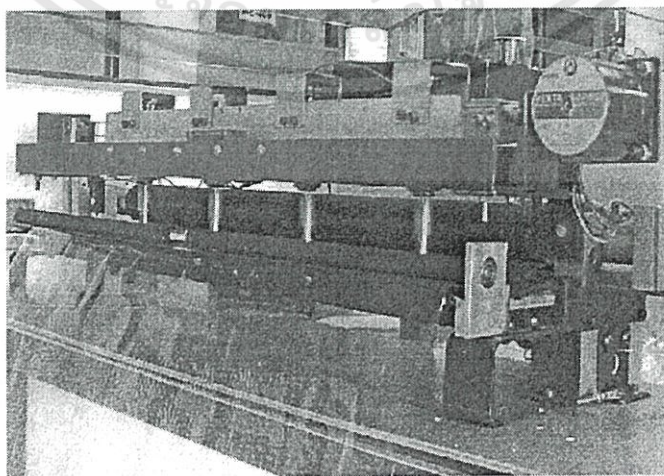
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

7.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึง การออกแบบ[12] การวิเคราะห์ และวิธีการทดลองเพื่อสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ ซึ่งในการออกแบบจะมีลักษณะเป็นแบบสามมิติ โดยจะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ และวิเคราะห์ผลต่างๆ เช่น การเสียรูป ความเค้น การสั่นสะเทือน และ ความถี่ธรรมชาติ เป็นหลัก เมื่อทำการออกแบบได้เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้แล้ว จะทำการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก และทำการวัดค่าจริงเมื่อเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกทำงาน เพื่อเทียบกับค่าที่ได้วิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์ และกับค่าของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมที่เคยสร้างขึ้น เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องที่สร้างขึ้นใหม่

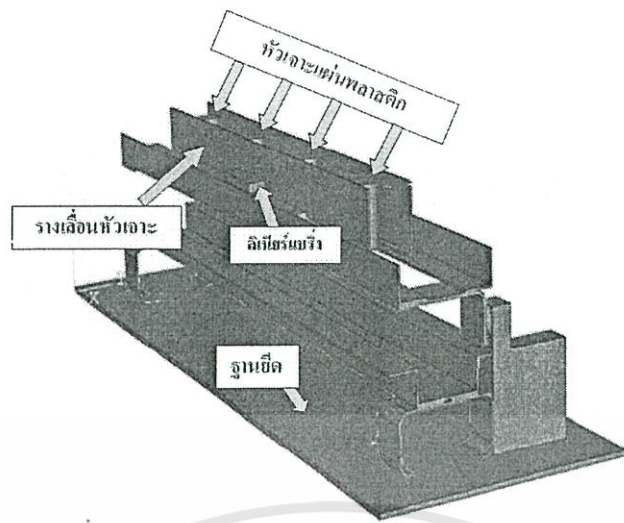
7.2 การออกเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

การออกแบบชุดทดลอง ออกแบบแบบจำลองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้น จะใช้โปรแกรม Unigraphics เป็นตัวสร้างแบบจำลอง และใช้โปรแกรม ABAQUS เป็นตัววิเคราะห์ผลลัพธ์โดยใช้หลักการของ ไฟไนต์เอลิเมนต์ และหาค่าที่เหมาะสมของความหนาของตำแหน่งที่กำหนด โดยเครื่องที่ออกแบบใหม่นั้นจะคัดลอกต้นแบบมาจากเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมที่เคยมีการสร้าง เพื่อให้ลักษณะการทำงานอยู่ในลักษณะเดิม เช่น จะใช้หัวเจาะจำนวน 4 หัวเจาะ การเจาะแผ่นพลาสติกจะใช้ความกว้างของแผ่นเท่าเดิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวที่ใช้เจาะจะใช้ขนาดเท่าเดิม เป็นต้น ซึ่งในการสร้างแบบจำลองนั้นจะใช้อัตราส่วนของแบบ 1:1 กับเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก



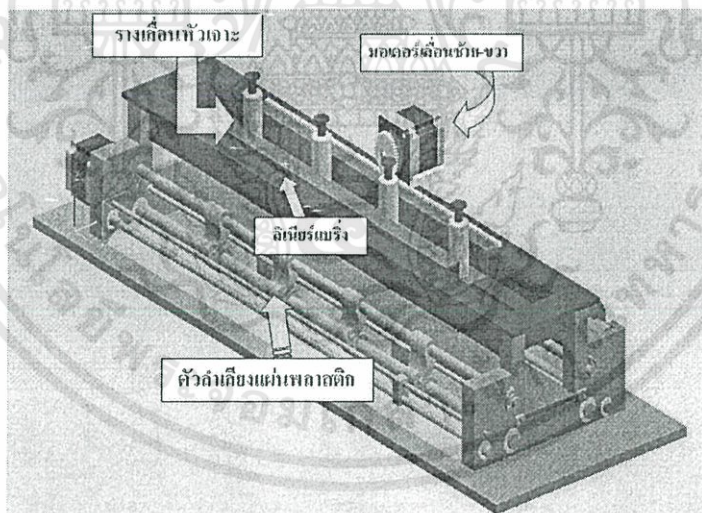
รูปที่ 7.1 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่เคยสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แบบจำลองจากเครื่องเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์

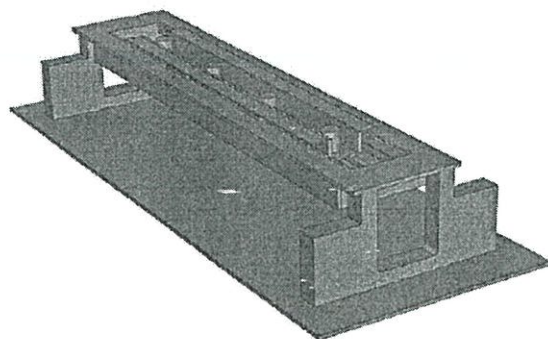
ในการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่นั้น เนื่องจากเครื่องที่เคยมีการสร้างขึ้นมีการสั่นสะเทือนมากทำให้การเจาะไม่แม่นยำ สาเหตุเนื่องมาจากการจับยึดของรางเลื่อนของหัวเจาะมีขนาดบางและเล็กเกินไปทำให้การเสีรูปร่างเมื่อมีแรงมากกระทำได้ขึ้นมาก การออกแบบจึงเสริมให้มีขนาดใหญ่ขึ้นดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 7.3 การสร้างแบบจำลองใหม่จากเครื่องต้นแบบเดิม

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น สามารถที่จะตัดชิ้นส่วนบางชิ้นออกไปได้ เพื่อให้การคำนวณนั้นง่ายขึ้น รวดเร็วขึ้น เพราะชิ้นส่วนที่เราไม่สนใจก็ไม่จำเป็นที่จะนำมาวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 7.4 แบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จะตัดส่วนของ มอเตอร์ ชุดลำเลียงแผ่นพลาสติก ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



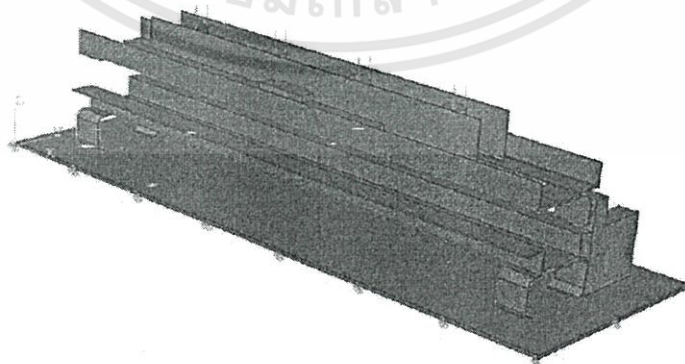
รูปที่ 7.4 แบบจำลองใหม่ที่ใช้ในการวิเคราะห์

7.3 การวิเคราะห์แบบสถิตย์ศาสตร์ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่

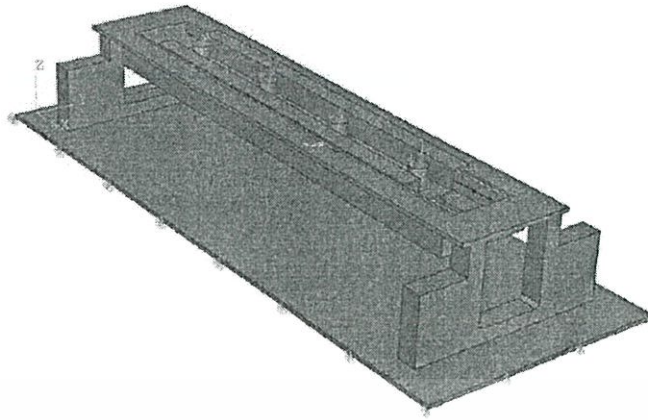
ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ก่อนการสร้างเครื่องจักรกลนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึง เนื่องจากการลดต้นทุนการผลิต รวมทั้งยังเป็นการหาตำแหน่งที่อาจจะเกิดความเสียหายในขณะที่เครื่องจักรกลกำลังทำงานอีกด้วย เช่น ในวิทยานิพนธ์นี้ จะให้ความสนใจที่ตำแหน่งของการเสียรูปที่มากที่สุด และความเค้นที่มากที่สุด พร้อมทั้งหาขนาดที่เหมาะสมให้กับชิ้นส่วนในบางตำแหน่งเพื่อทำการลดการเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่จะสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ได้เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ดีก่อนที่จะทำการสร้างจริง

7.3.1 การกำหนดตำแหน่งของจุดจับยึด

เนื่องจากสภาพจริงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกจะมีน้ำหนักของตัวเอง และการทำงานไม่ได้ทำให้ตัวของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกขยับออกไปจากที่เดิม จึงพิจารณาให้ฐานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกไม่ได้เคลื่อนที่หรือหมุนตัวจึงกำหนดให้พื้นผิวของฐานทั้งหมดมีระยะการเคลื่อนที่มีค่าเป็น $x=y=z=0$ และ มีการหมุนรอบแกนของ x, y, z มีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 7.5 การใส่ค่าเริ่มต้นให้กับแบบจำลองเดิม

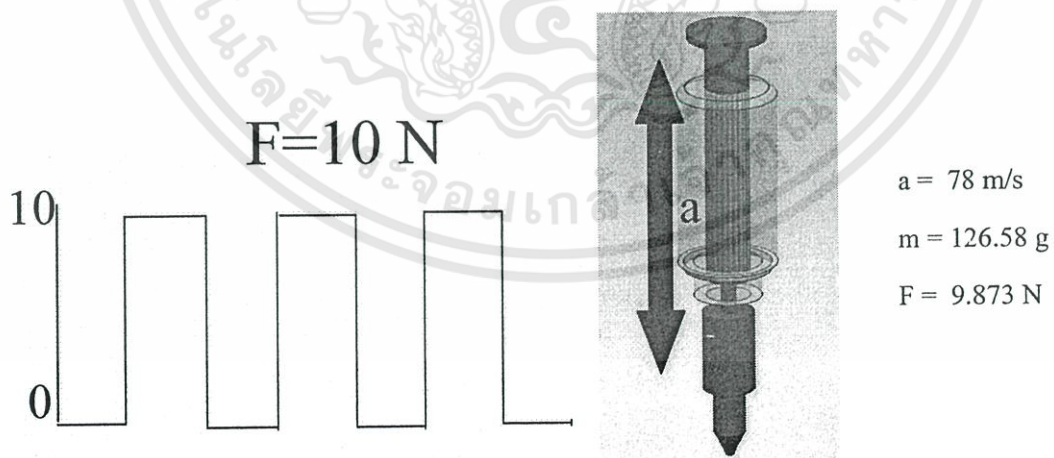


รูปที่ 7.6 การใส่ค่าเริ่มต้นให้กับแบบจำลองใหม่

7.3.2 การกำหนดค่าของแรงที่กระทำกับหัวเจาะ

ในการกำหนดค่าของแรงที่กระทำกับหัวเจาะ จะสมมุติแรงที่กระทำให้เป็นแบบสถิตย์ศาสตร์ เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณโดยมีหลักการดังต่อไปนี้

จากกฎของนิวตัน $F = ma$ จะได้ว่า เมื่อวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งค่าหนึ่งและมีมวลของวัตถุนั้นด้วย จะสามารถหาแรงได้จากสูตรข้างต้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วเนื่องจากหัวเจาะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลง จึงกำหนดให้ความเร่งสูงสุดที่ตำแหน่งสุดท้ายก่อนการตกกระแทกซึ่งจะมีค่าเป็นความเร่งและตัวของหัวเจาะเองก็มีมวลด้วยทำให้สามารถคำนวณหาค่าของแรงกระแทกได้ ซึ่งจากการคำนวณจะได้ค่าของแรงที่กระทำที่หัวเจาะแต่ละหัวเจาะ ประมาณ 10 นิวตันซึ่งจากลักษณะการทำงานเพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณจึงกำหนดเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 7.7 แสดงการหาค่าของแรงที่กระทำกับหัวเจาะ

7.3.3 คุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง

คุณสมบัติวัสดุที่กำหนดให้แบบจำลองนั้นจะเป็นตัวบอกถึงการเสถียรภาพ การต้านแรงต่างๆ เป็นต้นซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก(Hook's Law)[10] โดยจะไม่พิจารณาการขยายตัวของวัสดุเนื่องจากความร้อน ในการคำนวณหาค่าของการเสีย ความเค้น ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนี้ จะใช้วัสดุ 2 ชนิดคือ อลูมิเนียม และ เหล็ก โดยมีค่าจำเพาะดังนี้

คุณสมบัติของอลูมิเนียม

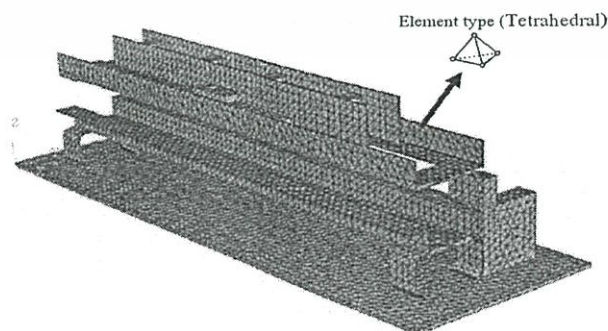
ความหนาแน่น	2680	kg/m ³
ความเค้นแรงดึงสูงสุด	262	MPa
ความแรงดึงคราก	185	MPa
โมดูลัสความยืดหยุ่น	72.4	GPa
อัตราส่วนปัวซอง	0.33	

คุณสมบัติของเหล็ก

ความหนาแน่น	7860	kg/m ³
ความเค้นแรงดึงสูงสุด	400	MPa
ความแรงดึงคราก	250	MPa
โมดูลัสความยืดหยุ่น	200	GPa
อัตราส่วนปัวซอง	0.3	

7.3.4 การกำหนดเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลอง

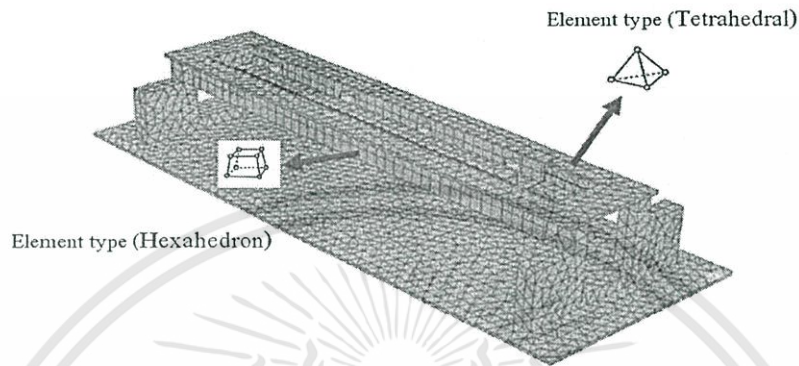
ในการใช้เอลิเมนต์นั้นมีความสำคัญพอสมควรซึ่งจะส่งผลถึงคำตอบที่จะได้รับ ตามลักษณะของเอลิเมนต์ ในวิชานี้จะใช้เอลิเมนต์แบบ Hexahedral Element แบบ 8-node-linear brick, Reduced Integration (C3D8R) กับแบบจำลองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 7.8 การสร้างเอลิเมนต์ของแบบจำลองเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่นั้น จะเลือกใช้เอลิเมนต์ทั้งสองแบบคือ Hexahedral Element แบบ 8-node-linear brick, Reduced Integration (C3D8R) กับ Tetrahedral Element แบบ 4-node linear Tetrahedral (C3D4) เพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนแต่ละชิ้น แต่อย่างไรก็ตามในการเลือกเอลิเมนต์ควรที่จะเป็นแบบ Hexahedral Element เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำกว่า



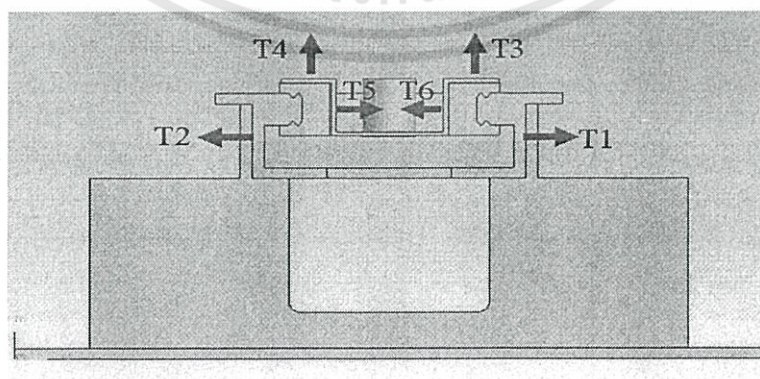
รูปที่ 7.9 การสร้างเอลิเมนต์ของแบบจำลองใหม่

7.3.5 การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการออกแบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการเสียรูปของแบบจำลองแล้ว จึงจำเป็นต้องมีการหาค่าขนาดของความหนาของตำแหน่งที่เราสนใจ โดยใช้หลักการของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

7.3.5.1 การเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาดความหนา

ในการเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาดหรือ ตัวแปรที่ต้องการจะออกแบบนั้นจะต้องเลือกตำแหน่งที่มีผลต่อการเสียรูปของแบบจำลองให้มากที่สุด และเป็นตำแหน่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้พร้อมทั้งกำหนดช่วงของระยะที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้



รูปที่ 7.10 การเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 แสดงช่วงของค่าตัวแปรที่ต้องการจะออกแบบ

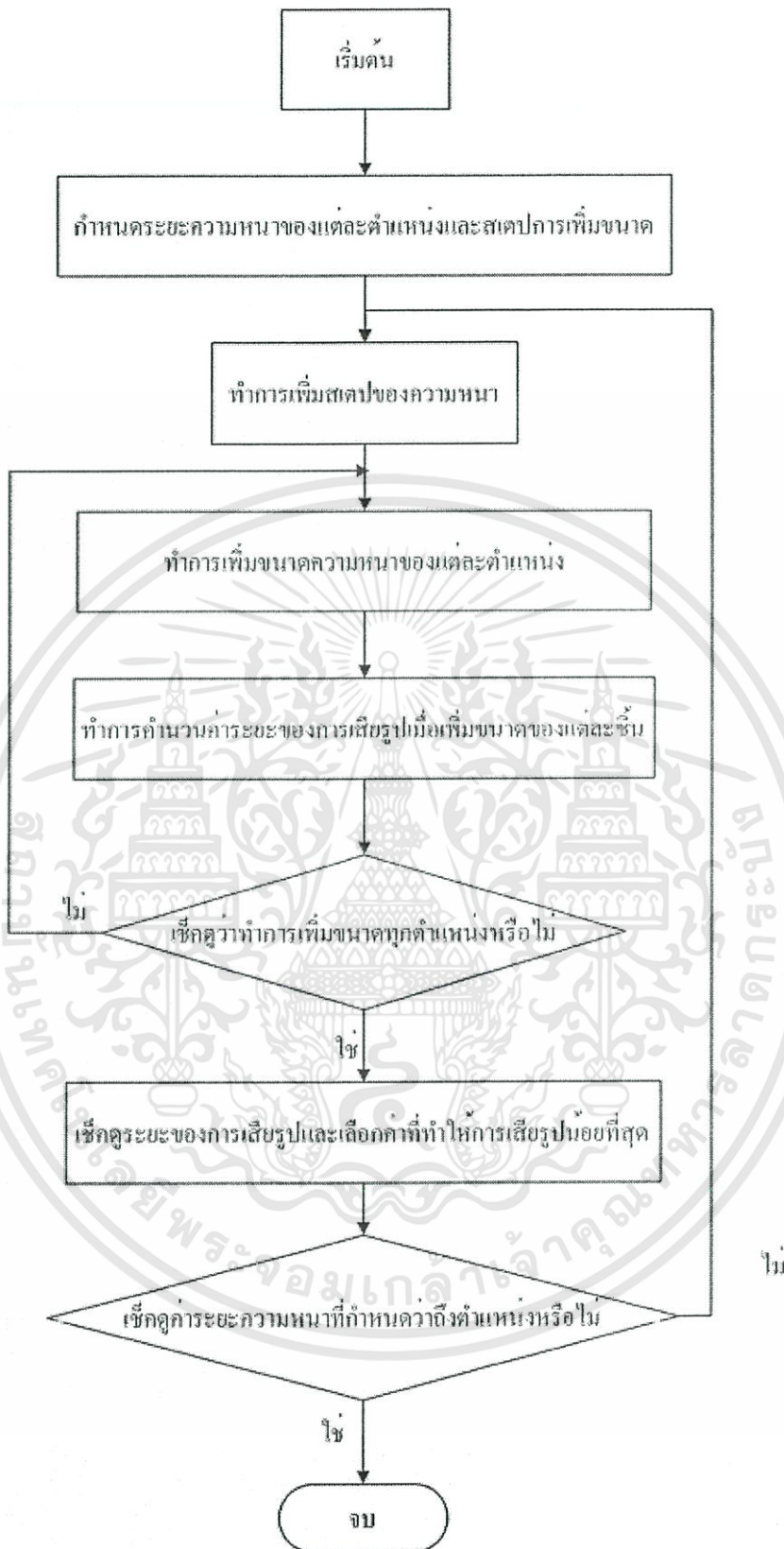
ตัวแปรที่ ต้องการจะ ออกแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
T1	0.2 mm	8 mm
T2	0.2 mm	8 mm
T3	0.2 mm	8 mm
T4	0.2 mm	8 mm
T5	0.2 mm	8 mm
T6	0.2 mm	8 mm

7.3.5.2 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

- Constraints
 - ค่าของการเสียรูปน้อยกว่า 0.01 mm
 - ค่าของ Stress สูงสุดน้อยกว่า 2.50 MPa (Yield Point at 70 MPa)
 - ค่าของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 3 kg
 - ค่าของน้ำหนักรวมขึ้นบนน้อยกว่าขึ้นล่าง 2 เท่า

ในการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะใช้วิธีการ Direct Search Method ร่วมกับ โปรแกรม ABAQUS ซึ่งจำเป็นจะต้องเขียน Script file เพื่อที่จะวนรูปหาค่าแทนที่เหมาะสมของขนาดความหนาของแต่ละตำแหน่ง พร้อมทั้งตรวจเช็ค Constrains ต่างๆที่ได้กำหนด ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

- Step 1. ทำการกำหนดช่วงของพารามิเตอร์ทุกตัว
- Step 2. เลือกจุดเริ่มต้น $x^{(i)}$ และขนาดการเพิ่มขึ้นของพารามิเตอร์ของทุกตัว
- Step 3. ทำการเพิ่มขนาดของพารามิเตอร์
- Step 4. กำหนดหาค่าฟังก์ชันทุกค่า และหาค่าที่ทำให้ฟังก์ชันมีค่าน้อยที่สุด
- Step 5. ทำการแทนค่าตัวแปร $x^{(i)} = x^{(i+1)}$ ในฟังก์ชันด้วยค่าของตัวแปรจาก step 4
- Step 6. เช็คระยะของความหนาของแต่ละชิ้นงานที่กำหนด
- Step 7. ย้อนกลับไป step 2



รูปที่ 7.11 แสดงขั้นตอนการคำนวณในการหาค่าที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

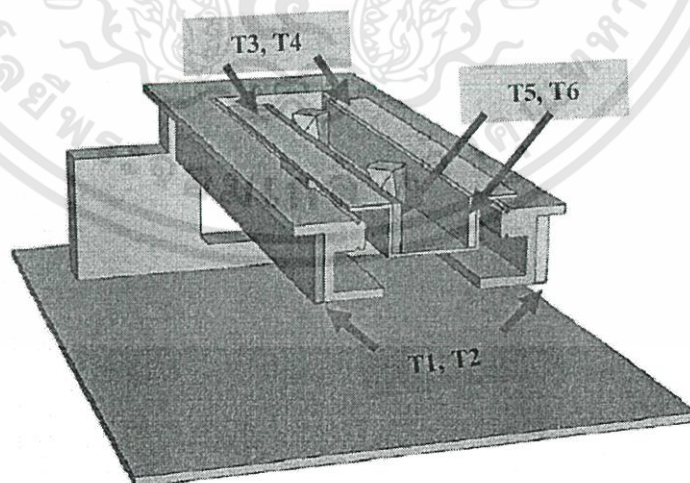
เมื่อได้ค่าผลลัพธ์จากการคำนวณแต่ละช่วงของการเพิ่มขนาด จำเป็นจะต้องเลือกค่าที่เหมาะสม หรือค่าที่ทำให้การเสีรูปนั้นน้อยที่สุดในแต่ละช่วงของการเพิ่มขนาดและพิจารณาค่าของ Constrains ต่างๆซึ่งจะต้องมีค่าเป็นจริงทั้งหมดตามเงื่อนไขที่กำหนดด้วย ในการเลือกค่าที่จะเป็นข้อกำหนดของระยะการเสีรูปนั้นเนื่องจากการกระทำของแรงอยู่ในแนวแกน z ซึ่งมีผลให้การเสีรูปในแกนนี้มากกว่าแกนอื่น จึงใช้เป็นแกนหลักในการพิจารณาการเสีรูป

7.3.5.3 ขนาดของความหนาที่เหมาะสม

หลังจากที่เราได้ทำการคำนวณเพื่อหาค่าของการเสีรูปของแบบจำลองแล้วจะได้ผลลัพธ์ของค่าความหนาของแต่ละชิ้นดังนี้

ตารางที่ 7.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

ตัวแปรที่ต้องการจะ ออกแบบ	ค่าที่เลือกหลังจากการ คำนวณ
T1	5.4 mm
T2	5.4 mm
T3	0.2 mm
T4	0.2 mm
T5	3.0 mm
T6	3.0 mm



ODB: puch.edu Abaqus/Standard Version 6.7-1 Tue Mar 18 19:27:06 Celine Standard Time 2008

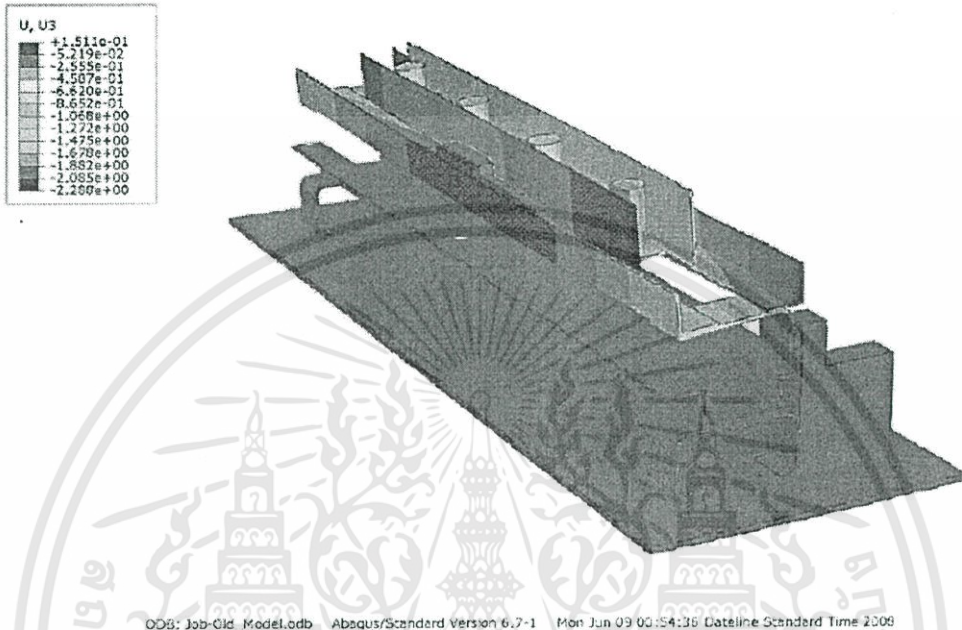
Step: puchLoad, Load the top of the beam.
Increment 61 Step Time = 1.000

รูปที่ 7.12 แสดงตำแหน่งที่เพิ่มขนาด

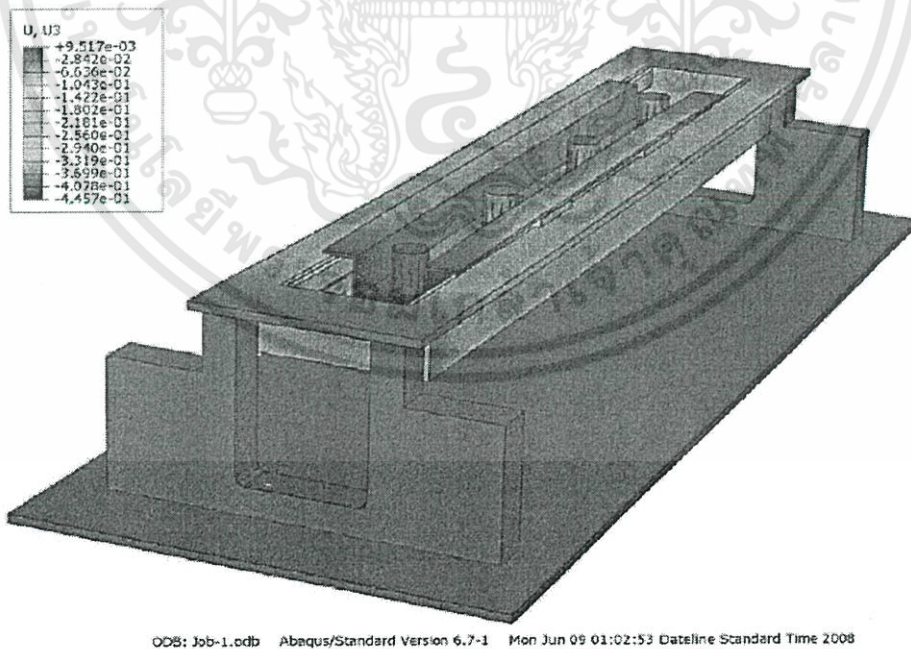
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.6 ค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณการเสียรูปและความเค้น

การเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้จากการคำนวณโดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปจะเห็นได้ว่าการเสียรูปที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3853 mm ในทิศทาง -Z และมีขนาดของความเค้นสูงสุดที่ 3.845 MPa ดังแสดงในรูป

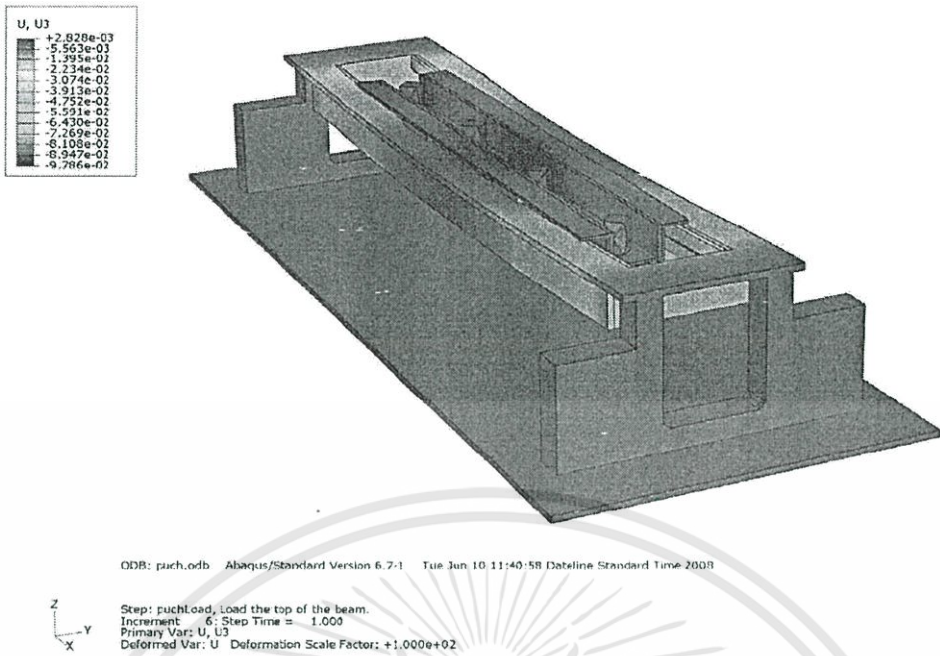


รูปที่ 7.13 การเสียรูปของแบบจำลองเดิม



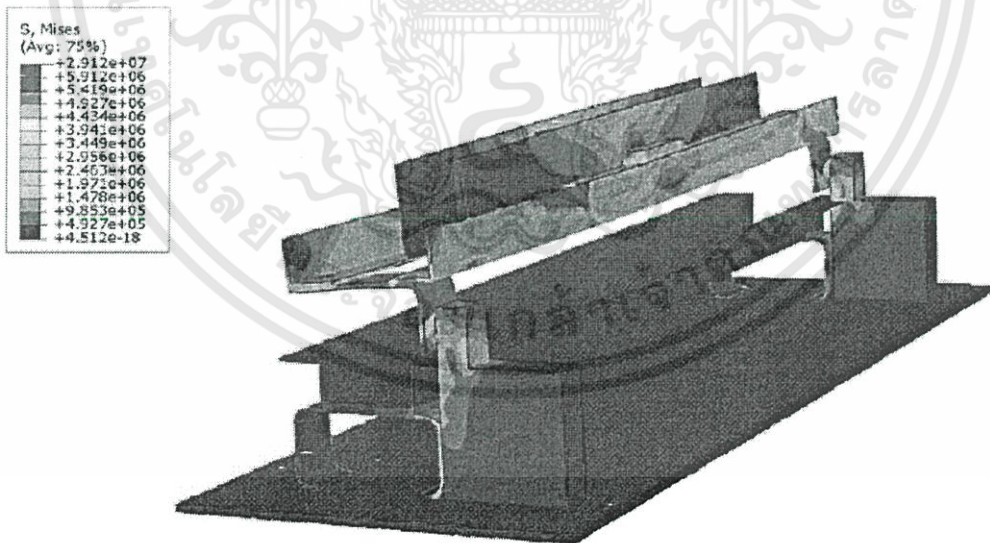
รูปที่ 7.14 การเสียรูปของแบบจำลองใหม่ก่อนหาค่าที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



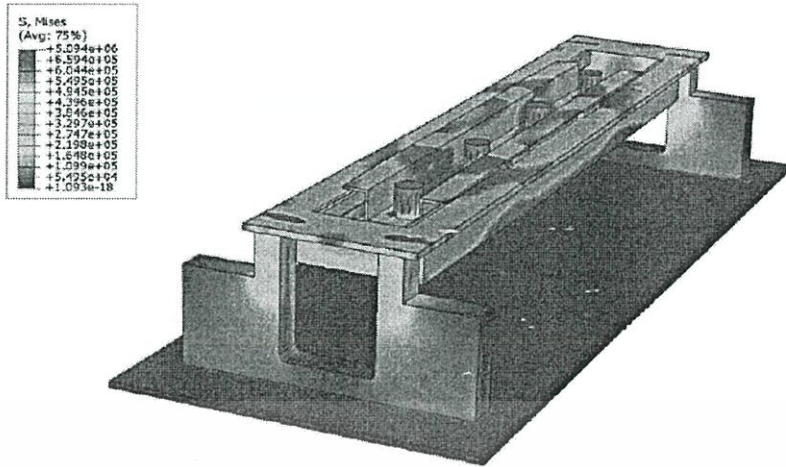
รูปที่ 7.15 การเสียรูปของแบบจำลองใหม่หลังการหาค่าที่เหมาะสม

ผลลัพธ์ของค่าความเค้นจะพิจารณาความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นเป็นหลัก จากรูปด้านล่างจะสามารถพิจารณาได้จากแถบสีที่แสดง ซึ่งสีแดงจะเป็นค่าของบริเวณที่มีค่าความเค้นสูง และสีน้ำเงินจะเป็นบริเวณที่มีค่าของความเค้นต่ำ



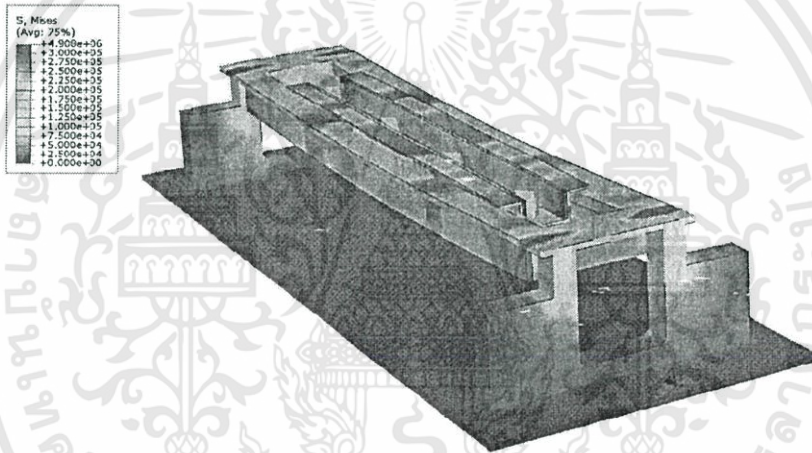
รูปที่ 7.16 ค่าความเค้นของแบบจำลองเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ODB: Job-1.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Mon Jun 09 01:02:53 Dateline Standard Time 2008

รูปที่ 7.17 ค่าความเค้นของแบบจำลองใหม่ก่อนการหาค่าที่เหมาะสม



ODB: puch.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Tue Jun 10 11:40:58 Dateline Standard Time 2008

รูปที่ 7.18 ค่าความเค้นของแบบจำลองใหม่หลังการหาค่าที่เหมาะสม

หลังจากที่ได้ทำการคำนวณแบบจำลองที่สร้างขึ้นและปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมรวมทั้งได้ทำการหาค่าที่เหมาะสมของขนาดในตำแหน่งที่ต้องการแล้วจะได้ผลลัพธ์จากการคำนวณนั้นสามารถเปรียบเทียบกับเครื่องเดิมที่เคยมีการสร้างขึ้น เครื่องที่จัดทำขึ้นใหม่ และเครื่องที่จัดทำขึ้นใหม่กับการหาค่าที่เหมาะสมของขนาดความหนาของชิ้นส่วน จากการเปรียบเทียบพบว่าจากการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถที่จะกระทำได้เป็นที่น่าพอใจ หลังจากที่ได้ทำการคำนวณจะใช้ขนาดจริงที่ได้ทำการคำนวณนำไปสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกต่อไป ผลของการคำนวณของแบบจำลองต่างๆ สามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้

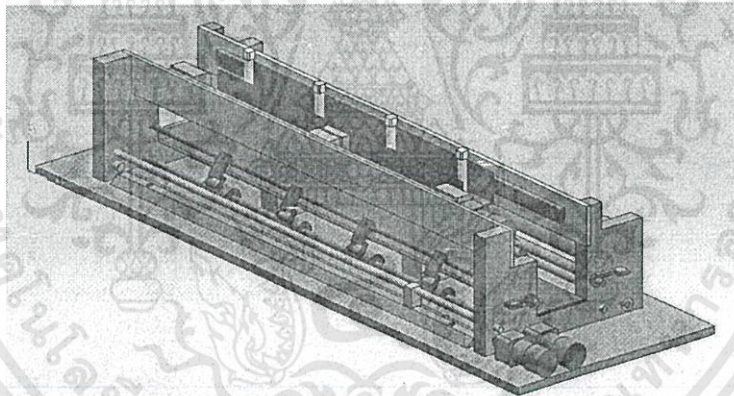
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการเปรียบเทียบการคำนวณของแบบจำลองต่างๆ

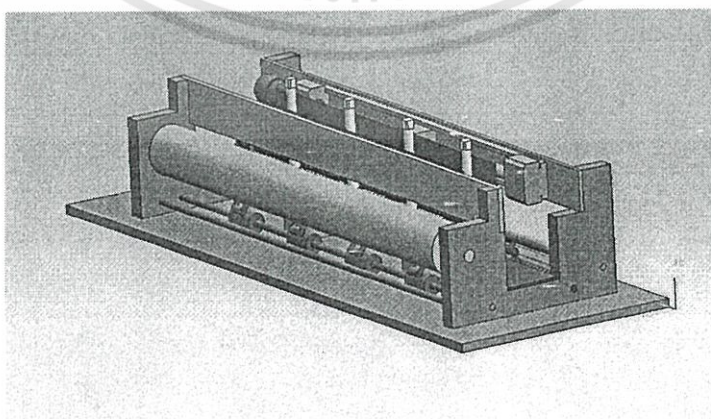
ผลจากการ คำนวณ	เครื่องเดิมที่เคย สร้าง	เครื่องใหม่ที่ จัดทำขึ้น	เครื่องใหม่ที่หาค่าที่ เหมาะสม
ระยะการเสียรูป	2.288 mm	0.4457 mm	0.0977 mm
Stress Max	29.127 MPa	-	2.4957 MPa
มวลรวมทั้งหมด	-	-	2.3388 Kg
มวลรวมของชิ้นล่าง	-	-	1.7690 Kg

7.3.7 การออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่เพื่อให้ง่ายแก่การสร้าง

เนื่องจากการจัดซื้ออุปกรณ์ ไม่สามารถที่จะดำเนินการตามที่ได้ออกแบบ จึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขแบบจำลองใหม่ตามที่ได้ดำเนินการก่อนหน้านี้ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ถูกต้อง แล้วนำแบบจำลองใหม่นี้ไปคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าการเสียรูป, ความเค้น เหมือนกับข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว

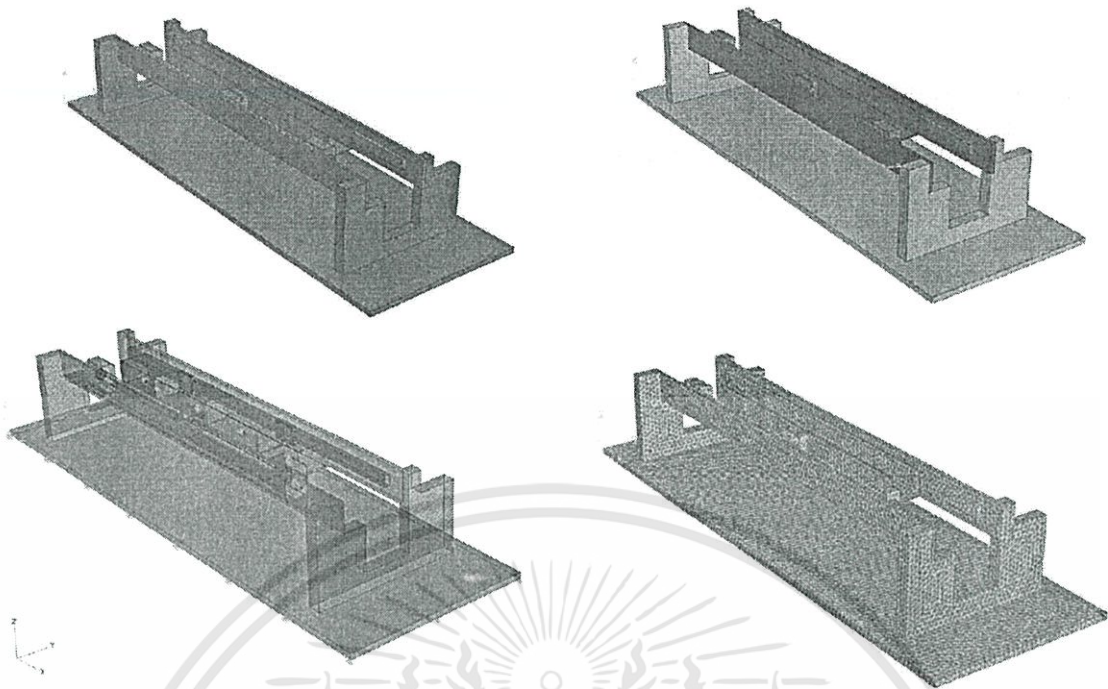


รูปที่ 7.19 แสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้น (ด้านหน้า)



รูปที่ 7.20 แสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้น (ด้านหลัง)

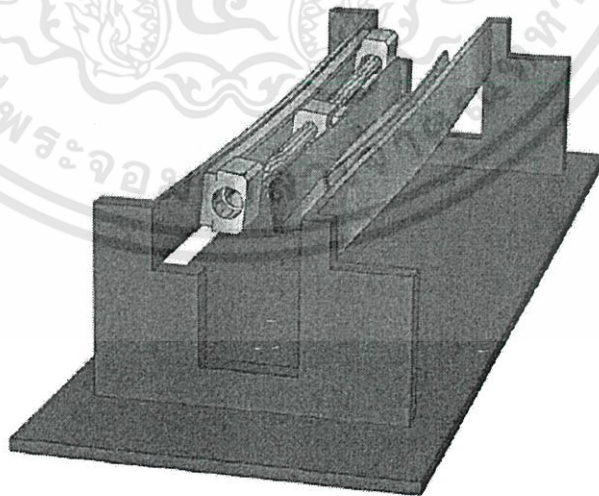
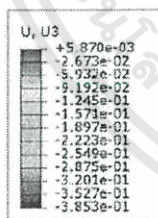
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.21 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่าการเสียรูปและความเค้น

7.3.8 ผลลัพธ์ของการเสียรูปและความเค้นของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่จะสร้างขึ้น

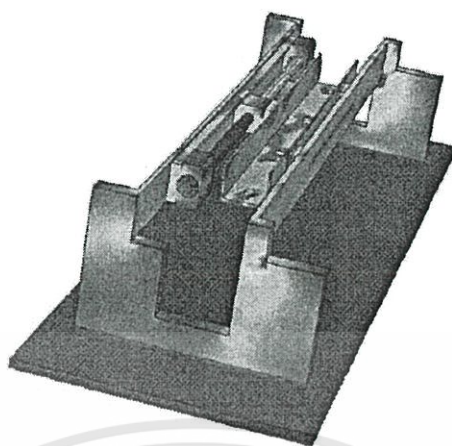
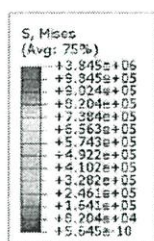
ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของแบบจำลองที่จะสร้างเพื่อให้ง่ายแก่การสร้างจริงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่นั้นจะมีลักษณะของการคำนวณคล้ายกับข้างต้นแต่จะไม่มีค่าที่หาค่าที่เหมาะสมเพราะจะยึดเอาขนาดของวัสดุและอุปกรณ์ที่มีขายตามท้องตลาดมาใช้เลยดังรูปด้านล่าง



ODB: Punch3.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Tue Jun 10 23:15:58 Dateline Standard Time 2008

รูปที่ 7.22 การเสียรูปที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ODB: Punch3.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Tue Jun 10 23:15:58 CateLine Standard Time 2008

รูปที่ 7.23 ค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองจริง

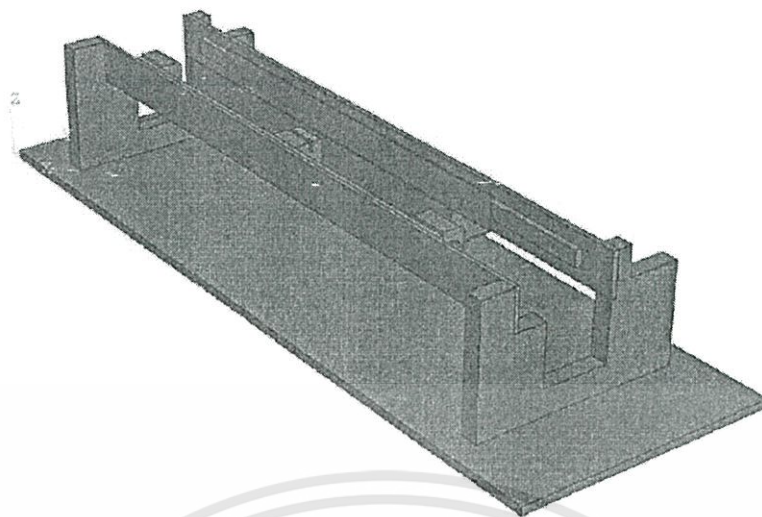
ตารางที่ 7.4 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมกับเครื่องที่จะทำการสร้างจริง

	เครื่องเดิมที่เคย	เครื่องที่ออกแบบ	เครื่องที่จะใช้ในการ
ผลจากการคำนวณ	สร้าง	จากค่าที่เหมาะสม	สร้างจริง
ระยะการเสีรูรูป	2.288 mm	0.0977 mm	0.3853 mm
Stress Max	29.127 MPa	4.908 MPa	3.845 MPa

7.4 การวิเคราะห์เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกแบบพลศาสตร์

ในการวิเคราะห์แบบพลศาสตร์นั้นจะนำแบบจำลองที่จะสร้างขึ้นจริงมาวิเคราะห์แต่ในแบบพลศาสตร์โดยจะใช้ค่าเริ่มต้นเหมือนกันกับที่กำหนดให้แบบสถิตย์ศาสตร์ ซึ่งเป็นความสะดวกของตัวโปรแกรมเองที่สามารถเลือกการคำนวณแบบนี้ได้ ลักษณะของแรงที่จะกำหนดให้กระทำกับผิวของหัวเจาะแผ่นพลาสติกจะกำหนดเป็นแบบคลื่นสี่เหลี่ยมดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ในส่วนของการคำนวณแบบพลศาสตร์สิ่งที่ต้องการคือ ค่าของความถี่ธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองใหม่แล้ว เพื่อเพิ่มความมั่นใจว่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องใหม่จะไม่เข้าใกล้ความถี่ของการทำงานของตัวเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก เพราะความถี่ธรรมชาตินั้นเป็นความถี่อันตราย อาจจะทำให้เครื่องพังทะลายลงได้ อีกค่าหนึ่งที่ต้องการจะพิจารณาคือ ค่าของระยะการกระจัดที่มากที่สุดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกในแต่ละความถี่ ซึ่งจะพิจารณาจาก 0-5 Hz เพราะเป็นความถี่ที่เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกสามารถทำงานตามคำสั่งได้ และเมื่อความถี่การสั่งให้เครื่องทำงานมากกว่า 5 Hz เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกจะทำงานไม่ได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.24 แสดงแบบจำลองที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆ

7.4.1 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง

คุณสมบัติวัสดุที่กำหนดให้แบบจำลองนั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสียรูป การต้านแรงต่างๆ เป็นต้นซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก(Hook's Law)[10] โดยจะไม่พิจารณาการขยายตัวของวัสดุเนื่องจากความร้อน ในการคำนวณหาค่าของการเสีย ความเค้น ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนี้ จะใช้วัสดุ 2 ชนิดคือ อลูมิเนียม และ เหล็ก โดยมีค่าจำเพาะดังนี้

คุณสมบัติของอลูมิเนียม

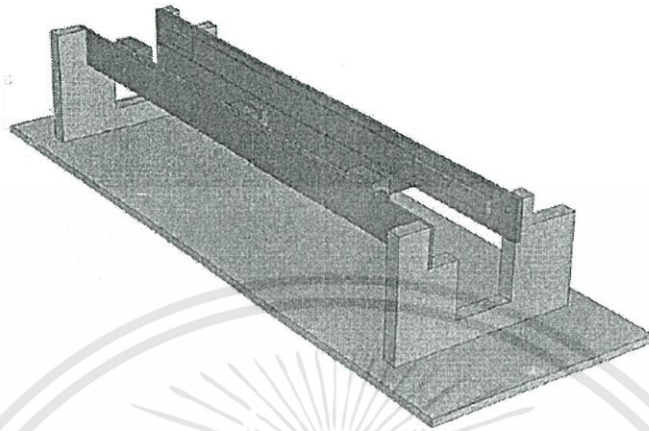
ความหนาแน่น	2680	kg/m ³
ความเค้นแรงดึงสูงสุด	262	MPa
ความแรงดึงคราก	185	MPa
โมดูลัสความยืดหยุ่น	72.4	GPa
อัตราส่วนปัวซอง	0.33	

คุณสมบัติของเหล็ก

ความหนาแน่น	7860	kg/m ³
ความเค้นแรงดึงสูงสุด	400	MPa
ความแรงดึงคราก	250	MPa
โมดูลัสความยืดหยุ่น	200	GPa
อัตราส่วนปัวซอง	0.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

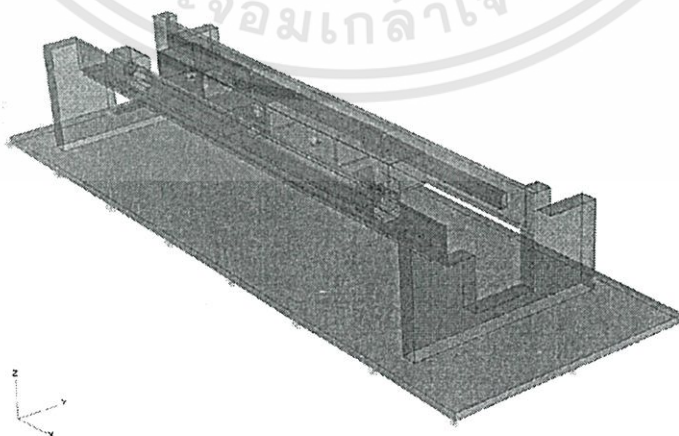
ดังแสดงในรูปที่ 7.32 ส่วนของสี่เหลี่ยมจะเป็นแบบจำลองที่ใช้วัสดุเป็นหลัก และส่วนของ สีม่วงจะเป็นแบบจำลองที่ใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียม



รูปที่ 7.25 แสดงการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง

7.4.2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขของปัญหา

การกำหนดเริ่มต้นจะมีผลต่อคำตอบของการคำนวณ สิ่งที่สำคัญจำเป็นจะต้องกำหนดให้ เหมือนกับสภาพของการทำงานจริงมากที่สุด ขอบเขตของปัญหาที่จะศึกษานั้น จะศึกษาในส่วน ของแรงที่กระทำที่เป็นแบบสถิต ที่กระทำบริเวณหัวเจาะของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกทั้ง 4 หัวเจาะ แรงที่กระทำจะอยู่ในแนวแกน Z มีขนาด แรงแต่ละหัว 10 N หรือ [อ้างอิงกระบอกสูบ CJ2] และจะ กำหนดให้บริเวณของแผ่นฐานรองเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกไม่มีการเคลื่อนที่ (Fix Condition) ซึ่ง จะกำหนดบริเวณของเงื่อนไขดังแสดงในรูปที่ 7.4 ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับการหาแรงข้างต้นที่ได้ กล่าวมาแล้ว

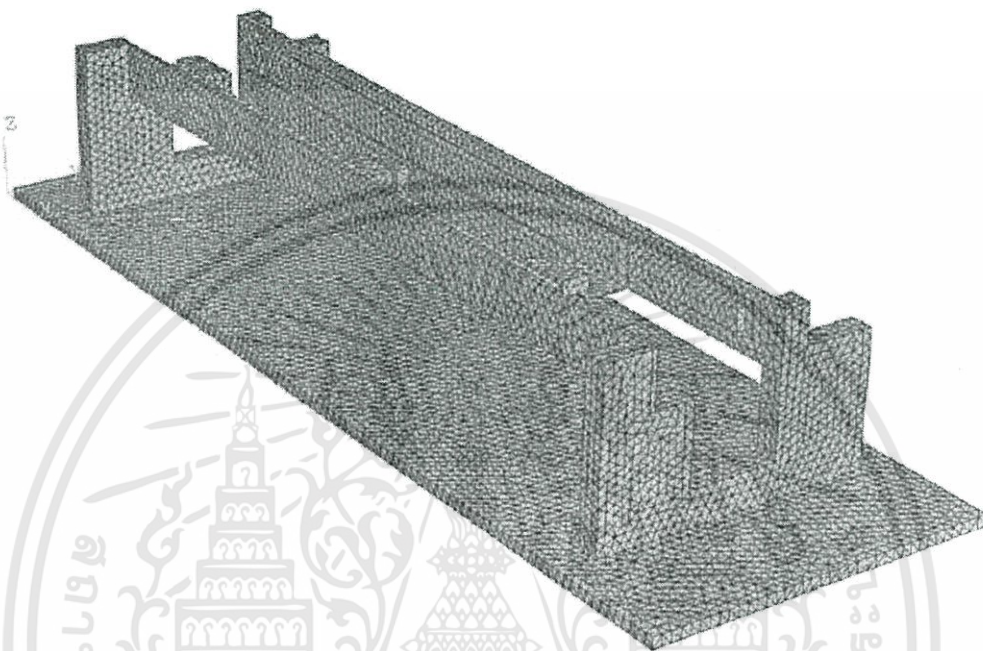


รูปที่ 7.26 การกำหนดค่าเงื่อนไขให้กับแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง

การแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลองนั้นจะมีผลต่อความแม่นยำของค่าต่างๆอยู่พอสมควร รวมทั้งระยะเวลาของการคำนวณด้วย ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งในแบบจำลองนี้จะแบ่งเอลิเมนต์ย่อยเป็นแบบสามมิติทรงสี่หน้า (Tetrahedron) จำนวนของเอลิเมนต์คือ 547974 เอลิเมนต์

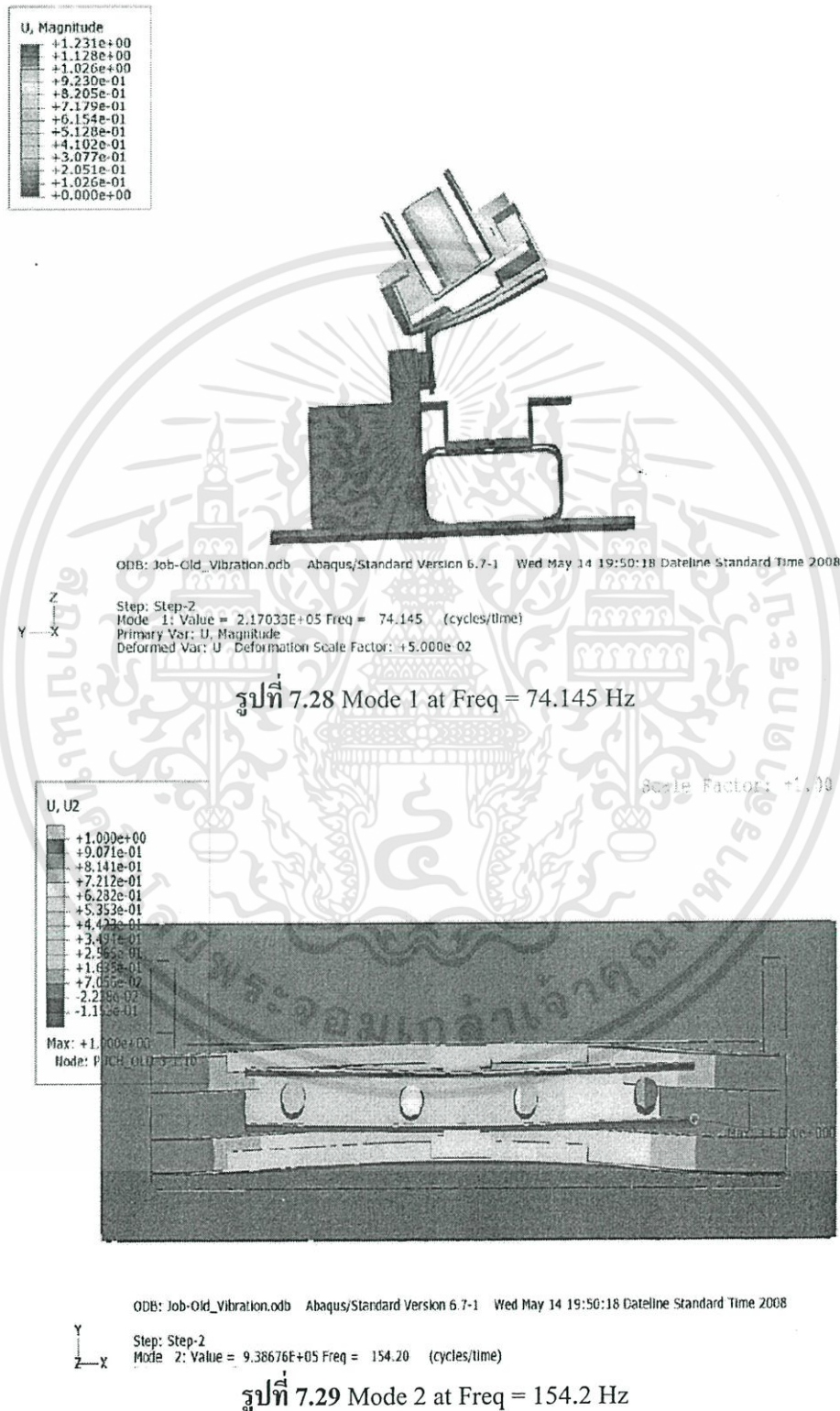


รูปที่ 7.27 การแบ่งเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น

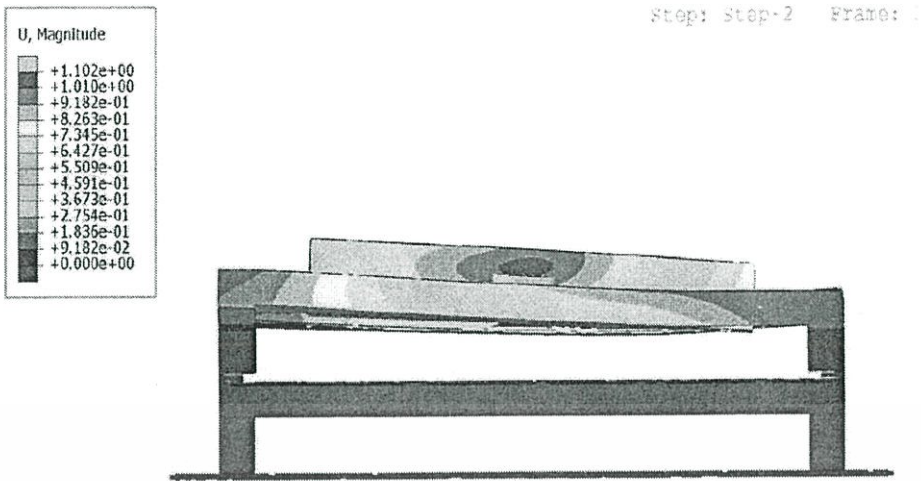
7.4.4 หลักการวิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติ

เครื่องจักรกลและยานพาหนะต่างๆเมื่อทำงานที่ความเร็วรอบสูงๆเกิดการสั่นสะเทือนยังผลให้เกิดภาระของแรงหรือโมเมนต์การค้ำตัวกระทำตลอดเวลา ดังนั้นการออกแบบเครื่องจักรกลและยานพาหนะจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงของภาระที่กระทำ และให้ความปลอดภัยในการใช้งาน จึงจำเป็นต้องรู้ความถี่ธรรมชาติของเครื่องจักรที่จะทำการออกแบบ ซึ่งเป็นแบบหลายระดับขั้นความถี่ เครื่องมือที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ วิธีคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถวิเคราะห์การตอบสนองโดยประมาณของระบบพลวัตได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะ โครงสร้างที่มีความซับซ้อนมากกว่าที่ไม่สามารถจะใช้วิธีอื่นๆไปวิเคราะห์ได้ โดย จะอาศัย เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ, รูปร่างการสั่นสะเทือนและการตอบสนองของระบบ และจำลองพฤติกรรมการสั่นสะเทือนผ่าน โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาตรฐานทางด้านพลศาสตร์

7.4.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม
จากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติจะพิจารณาโหมดของความถี่ธรรมชาติจำนวน 3 โหมด
ความถี่ ซึ่งจะมีค่า 74.145 Hz , 154.20 Hz และ 240.22 Hz ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



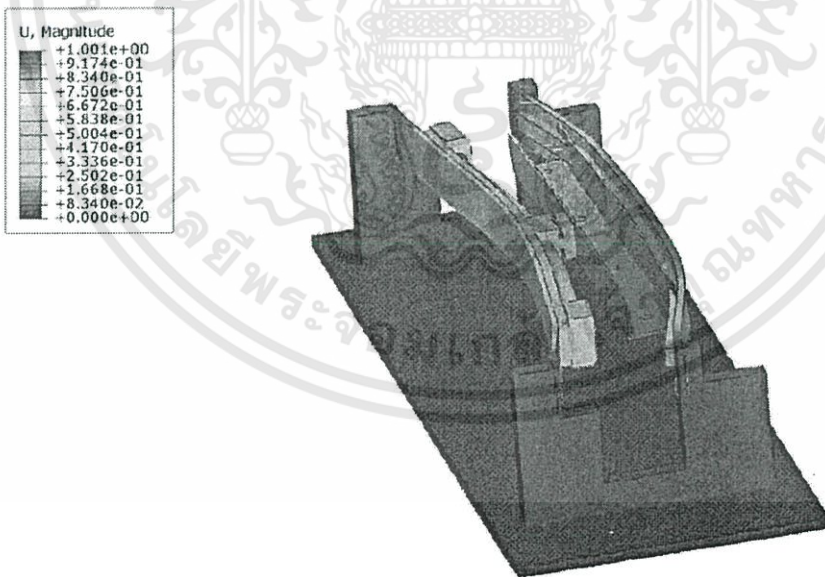
ODB: Job-Old Vibration.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Wed May 14 19:50:18 Dateline Standard Time 2008

Step: Step-2
 Mode 3: Value = 2.27810E+06 Freq = 240.22 (cycles/time)

รูปที่ 7.30 Mode 3 at Freq = 240.22 Hz

7.4.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่

จากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติจะพิจารณาโหมดของความถี่ธรรมชาติจำนวน 3 โหมดความถี่แรก ซึ่งจะมีค่า 135.90 Hz , 234.62 Hz และ 324.65 Hz ตามลำดับ

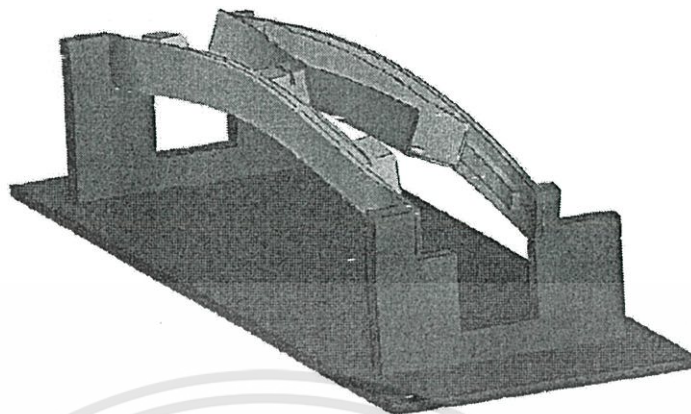
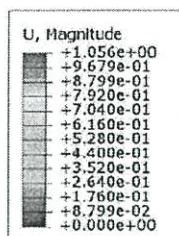


ODB: New_Dynamic.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Thu May 15 05:11:58 Dateline Standard Time 2008

Step: Step-2
 Mode 1: Value = 7.29270E+05 Freq = 135.91 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +5.000e-02

รูปที่ 7.31 Mode 1 at 135.90 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

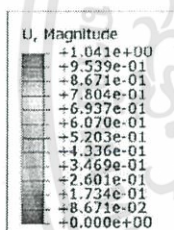


ODB: New_Dynamic.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Thu May 15 05:11:58 Dateline Standard Time 2008



Step: Step-2
 Mode 2: Value = 2.17310E+06 Freq = 234.62 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +5.000e-02

รูปที่ 7.32 Mode 2 at 234.62 Hz



ODB: New_Dynamic.odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Thu May 15 05:11:58 Dateline Standard Time 2008



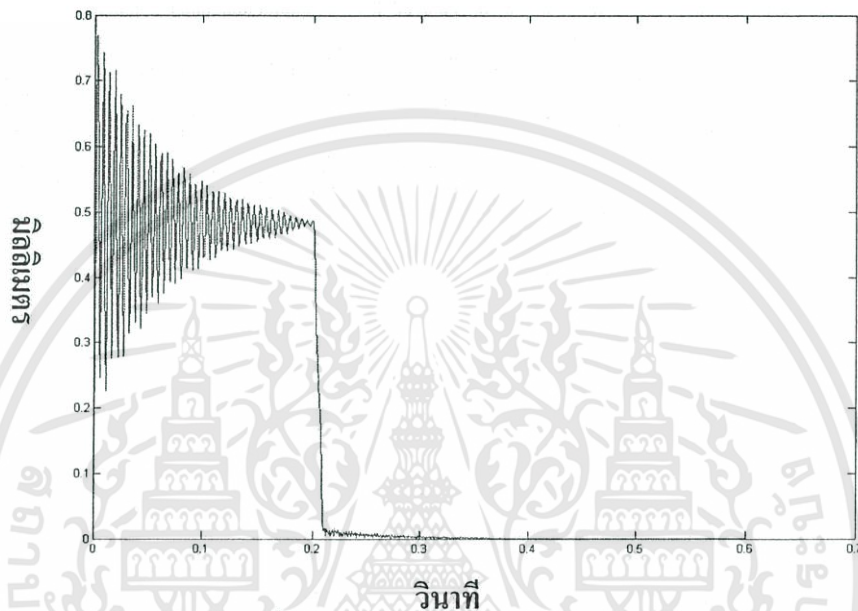
Step: Step-2
 Mode 3: Value = 4.16097E+06 Freq = 324.65 (cycles/time)
 Primary Var: U, Magnitude
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +5.000e-02

รูปที่ 7.33 Mode 3 at 324.65 Hz

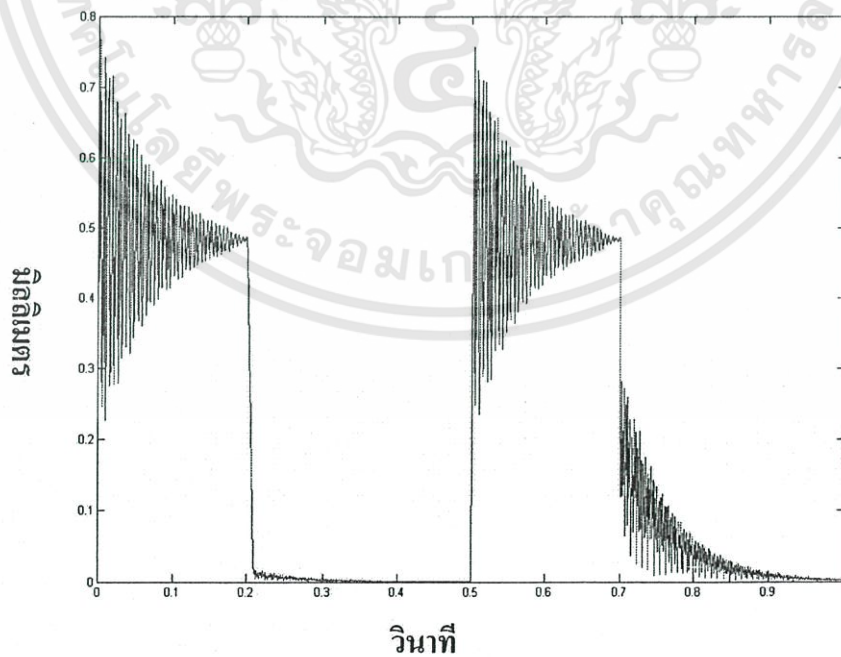
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่าการตอบสนองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่

ในลำดับต่อไปจะทำการวิเคราะห์ในส่วนของพลศาสตร์โดยจะทำการคำนวณโดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก เพื่อหาค่าของการสั่นสะเทือนในแนวแกนตั้งจากกับฐาน โดยใช้ step time (Δt) มีค่าเท่ากับ 0.001 และมีค่าของแรงกระทำที่ความถี่ 5 ระดับ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ครั้งต่อวินาที (Hz) เพื่อนำไปเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการทำงานจริง

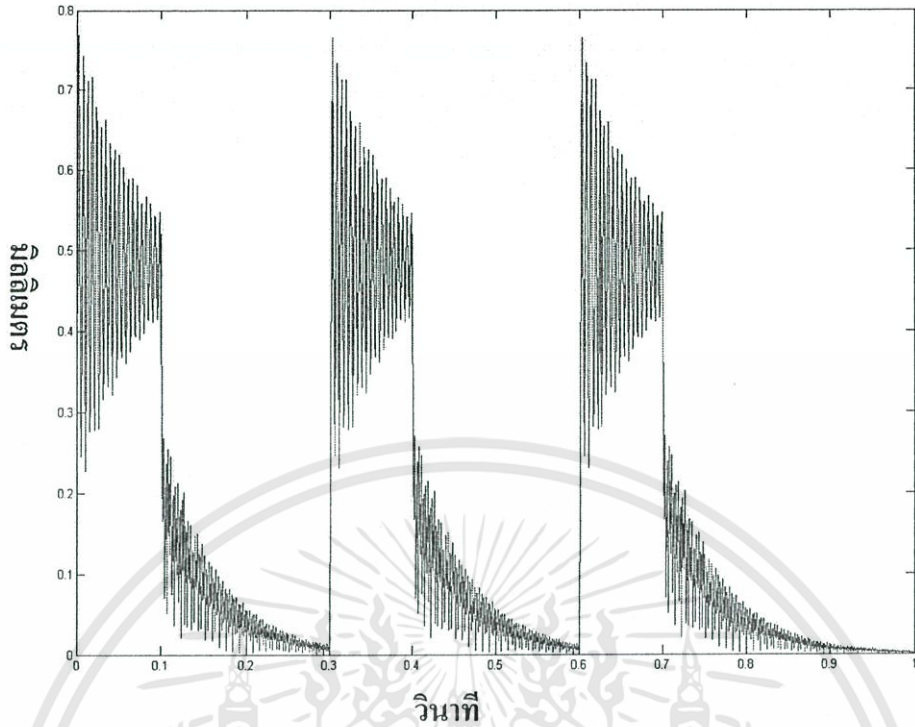


รูปที่ 7.34 การทำงานที่ความถี่ 1 Hz

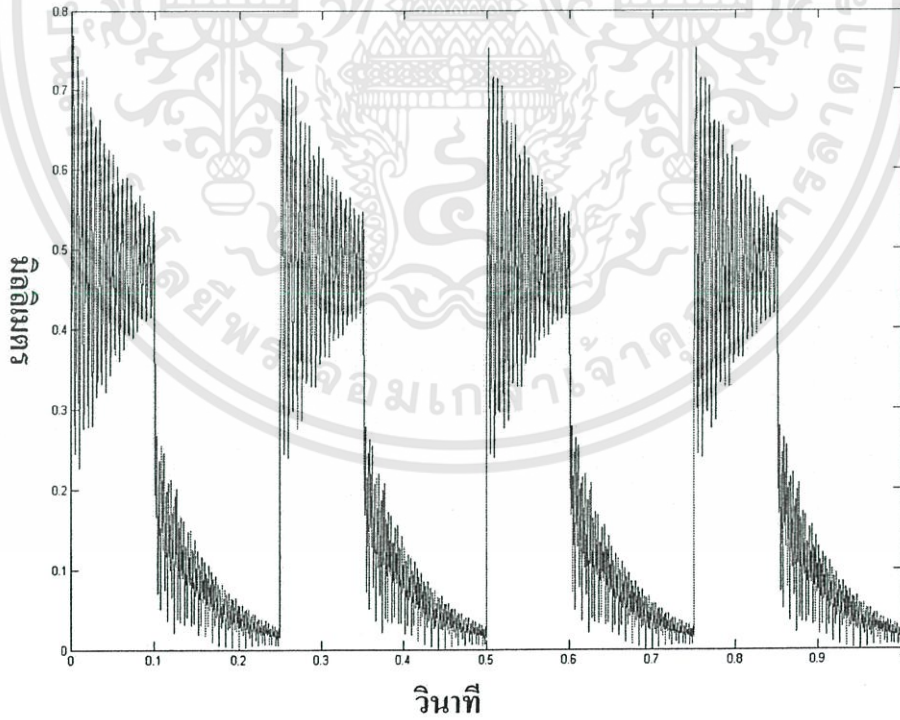


รูปที่ 7.35 การทำงานที่ความถี่ 2 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

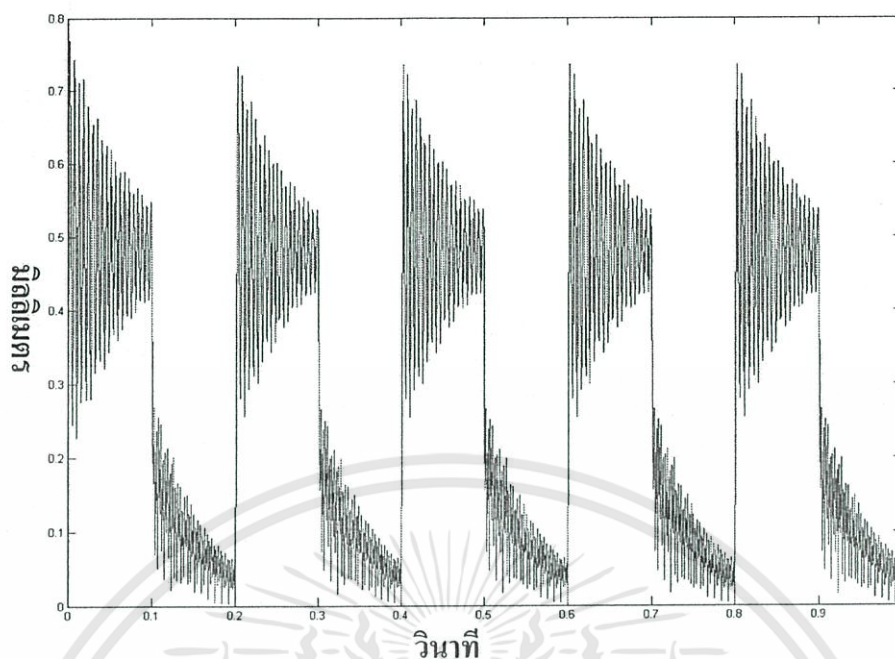


วินาที
รูปที่ 7.36 การทำงานที่ความถี่ 3 Hz



วินาที
รูปที่ 7.37 การทำงานที่ความถี่ 4 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



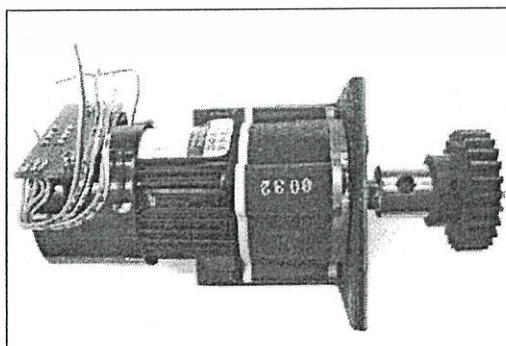
รูปที่ 7.38 การทำงานที่ความถี่ 5 Hz

7.5 การสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่

หลังจากการแก้ไขแบบจำลองใหม่แล้วทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์จนได้ตามเป้าหมายที่ออกแบบไว้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการจัดซื้ออุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้าง ดังต่อไปนี้

7.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงจะมามีการทำงานเพียง 3 สเตจเท่านั้น คือ หมุนตามเข็มนาฬิกา หมุนทวนเข็มนาฬิกา และหยุดนิ่ง ซึ่งอัตราความเร็วในการหมุนและแรงบิดจะขึ้นอยู่กับกระแสและแรงดันที่จ่ายให้มัน ถ้าหากแรงบิดของมอเตอร์ไม่เพียงพอต่อการทำงานเราก็สามารถที่จะทำการทดรอบของการหมุนลงก็จะได้แรงบิดเพิ่มมากขึ้น

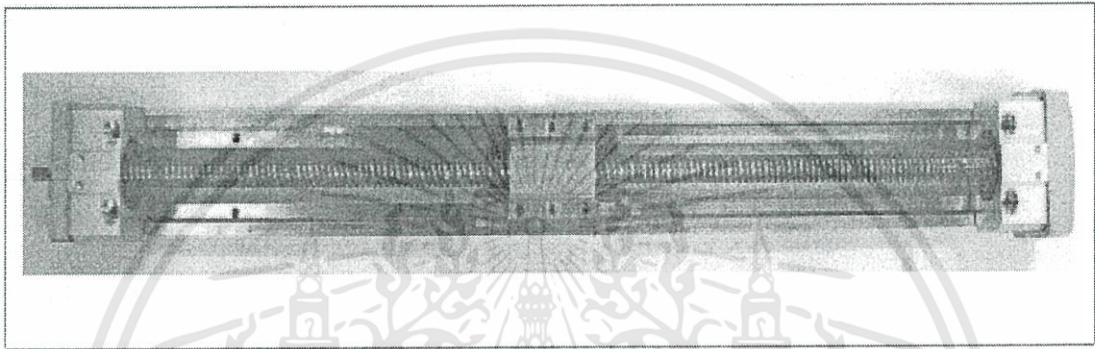


รูปที่ 7.39 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.2 ลิเนียร์แบร์ริง (Linear Bearing)

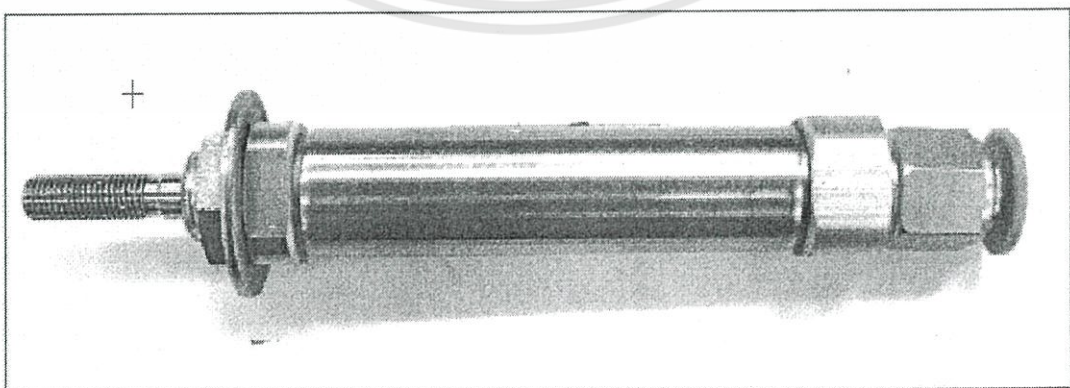
ลิเนียร์แบร์ริง[21] เป็นแบร์ริงชนิดหนึ่งที่คุณสมบัติทำให้เกิดความราบเรียบในการเคลื่อนไถลตามแนวแกน มีความเสียดทานต่ำ และมีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง นอกจากนี้ลิเนียร์แบร์ริงยังมีคุณสมบัติพิเศษที่เหมาะสมกับการทำงาน คือ ยิ่งลิเนียร์แบร์ริงรับภาระในแนวตั้งกับแนวการเคลื่อนที่มากขึ้น ก็จะยิ่งส่งผลในลิเนียร์แบร์ริงมีความราบเรียบในการไถลตามแนวการเคลื่อนที่มากขึ้น ลิเนียร์แบร์ริงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฐานที่อยู่กับที่ และ ส่วนข้างบนที่เลื่อนได้ โดยมีส่วนเป็นตัวกันระหว่างส่วนประกอบ 2 ส่วนนี้



รูปที่ 7.40 ลิเนียร์แบร์ริง

7.5.3 กระบอกลูกสูบทางเดียว (Single-acting Cylinder)

กระบอกลูกสูบทางเดียว[20] เป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกภายในกลวงและมีก้านสูบที่เคลื่อนที่ไปมาตามแกนกลาง ที่ปลายก้านสูบมีซีลกันลมรั่วและมีสปริงอยู่ระหว่างก้านสูบกับกระบอกลูกสูบดังแสดงในรูปด้านล่าง มีระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบมีค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความยาวของกระบอกลูกสูบ การสั่งงานให้ก้านสูบเคลื่อนที่ได้เพียงทิศทางเดียว ด้วยการจ่ายลมอัดเข้ากระบอกลูกสูบในทิศทางด้านกับแรงกระทำของสปริง เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่และเมื่อหยุดจ่ายลมให้กระบอกลูกสูบ ก้านสูบจะเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งปกติด้วยแรงกระทำจากสปริง

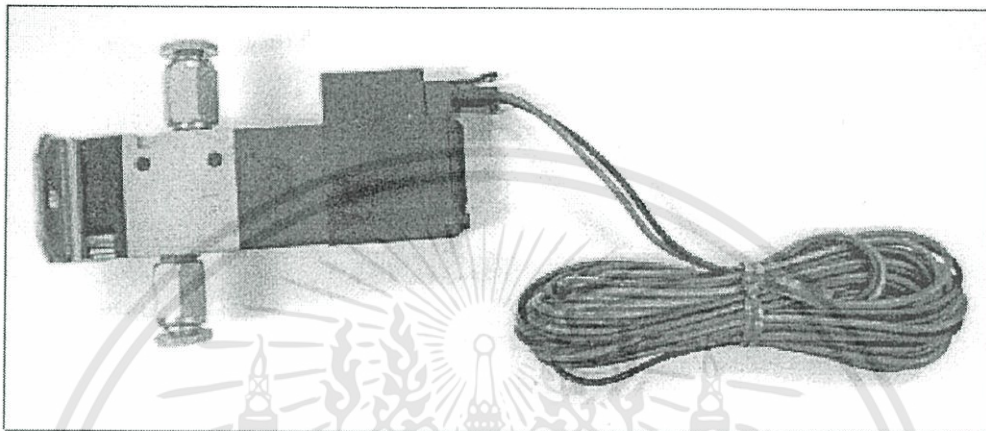


รูปที่ 7.41 กระบอกลูกสูบนิวแมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.4 วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve)

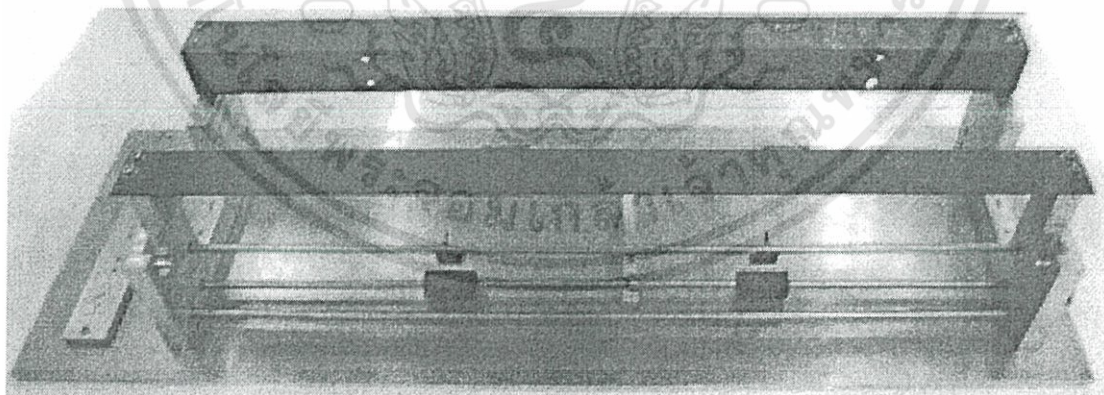
มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางของลมอัดที่จ่ายให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยภายในประกอบด้วยลิ้นวาล์วที่เคลื่อนที่ได้ ตำแหน่งของลิ้นวาล์วที่เคลื่อนที่ได้จะเรียกว่า “ตำแหน่งทำงาน (Position)” ใช้สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมแทนจำนวนตำแหน่งที่ลิ้นวาล์วที่สามารถเปลี่ยนได้ ตามข้อกำหนดการเรียกชื่อวาล์วควบคุมตามมาตรฐาน ISO 1219



รูปที่ 7.42 วาล์วควบคุมทิศทาง

7.5.5 ฐานรองรับ

ฐานรองรับ มีหน้าที่เป็นตัวรองรับแรง และจับยึดชิ้นส่วนต่างๆ มีทั้งส่วนที่ทำจากเหล็ก และ ทำจากอลูมิเนียม



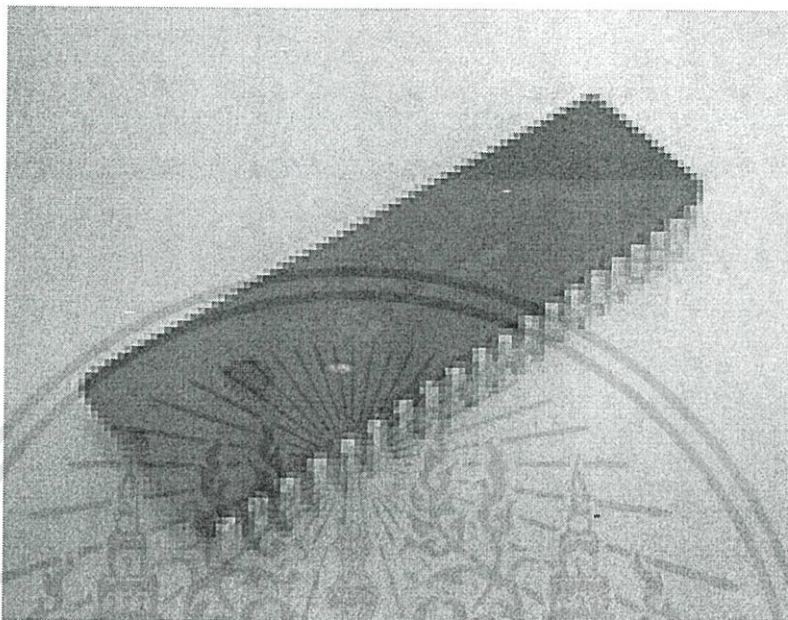
รูปที่ 7.43 ฐานรองรับ

7.5.6 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) [21,22,23] เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การเคลื่อนที่ของลูกสูบ การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบของมอเตอร์ เป็นต้น โดยการทำงานจะทำตามโปรแกรมที่เราเขียน แล้วทำการโปรแกรมลงไปในตัวชิป และสามารถเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการทำงาน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะตัวโปรแกรมก็ได้

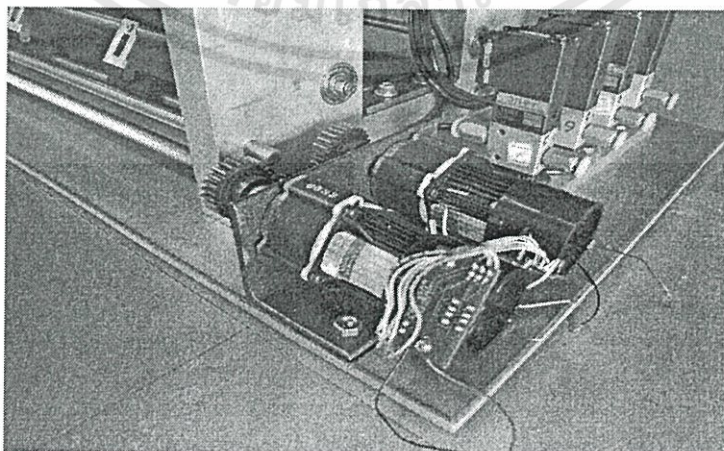


รูปที่ 7.44 ไมโครคอนโทรลเลอร์

7.6 การติดตั้งอุปกรณ์

การติดตั้งอุปกรณ์นั้นต้องติดตั้งตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น แต่อาจจะมีอุปกรณ์บางตัวที่อาจจะมีรูปร่างที่ไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบ จึงจำเป็นต้องแก้ไขแบบให้เหมือนกับอุปกรณ์นั้นๆ รวมทั้งทำการคำนวณใหม่เพื่อให้ได้ค่าของการคำนวณที่ถูกต้อง

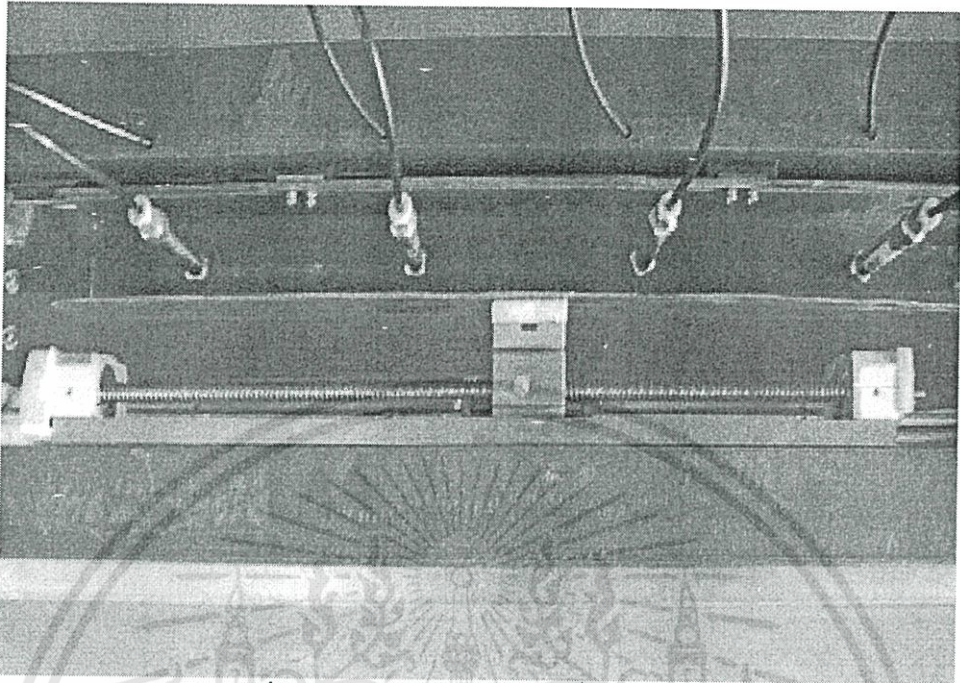
7.6.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 7.45 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งลิเนียร์เบร็ริง



รูปที่ 7.46 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งลิเนียร์เบร็ริง

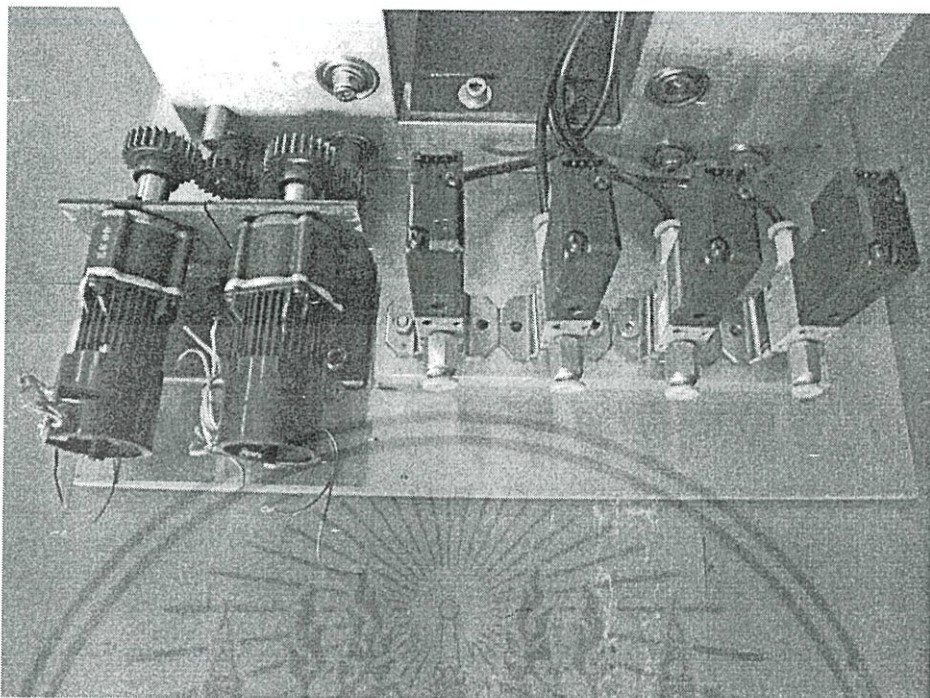
7.6.3 ตำแหน่งที่ติดตั้งกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์



รูปที่ 7.47 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งกระบอกลูกสูบนิวแมติกส์

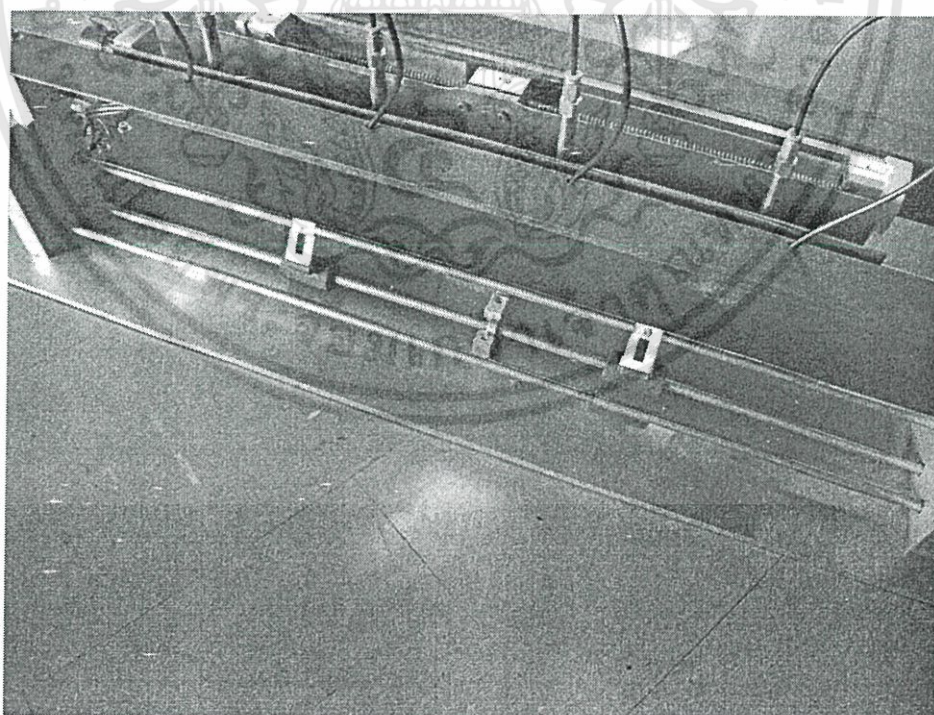
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วควบคุมทิศทาง



รูปที่ 7.48 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วควบคุมทิศทาง

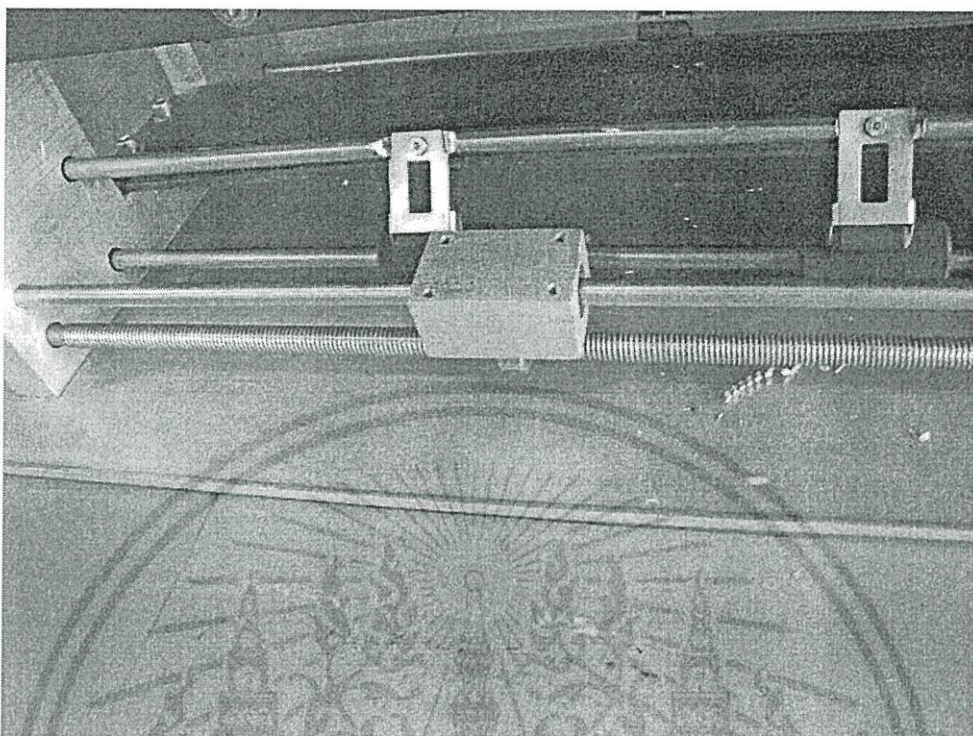
7.6.5 ตำแหน่งที่ติดตั้งชุดลำเลียงแผ่นพลาสติก



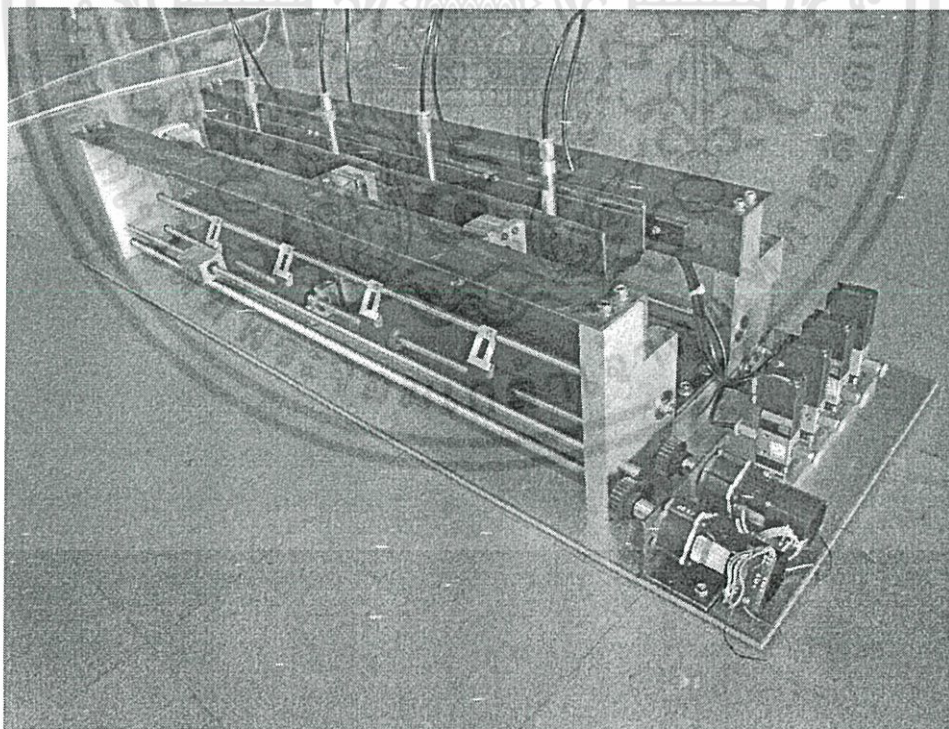
รูปที่ 7.49 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งชุดลำเลียงแผ่นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.6.6 ตำแหน่งการติดตั้งหัวตัดแผ่นพลาสติก



รูปที่ 7.50 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งหัวตัดแผ่นพลาสติก



รูปที่ 7.51 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.7 สรุปผล

ในการทำงานจริงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้รับแรงกระทำแบบสถิตศาสตร์นั้น จะทำให้การเสียรูปสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.3853 mm และขนาดของความเค้นสูงสุดที่ 3.453 MPa และเมื่อให้แรงที่กระทำแบบพลศาสตร์ที่มีความถี่เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 เฮิรตซ์กระทำกับแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น จะมีค่าระยะการกระจัดสูงสุดเท่ากับ 0.7684 mm โดยในการคำนวณการสั่นสะเทือนของแบบจำลองจะมีการเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากใช้แรงกระทำภายในเวลา 0.2 วินาที และจากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติจากแบบจำลองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมจะมีโหมดการสั่นของโหมดที่ 1 จะมีค่า 74.145 Hz เมื่อออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่จะมีค่าของโหมดการสั่นโหมดที่ 1 จะมีค่า 135.90 Hz

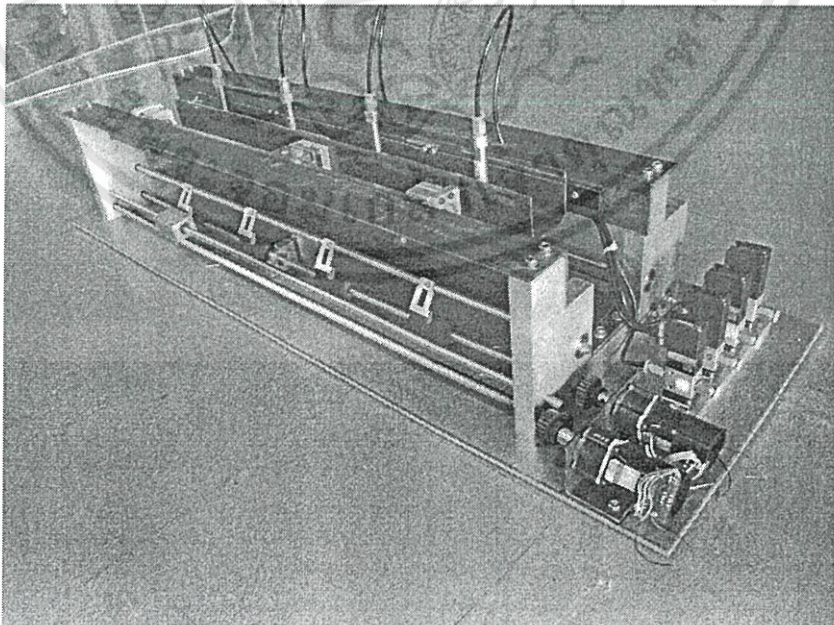


บทที่ 8

ผลการทดลอง

8.1 บทนำ

ในบทที่ 7 ได้ทำการสร้างแบบจำลองและได้ทำการคำนวณค่าต่างๆ เช่น การหาค่าการเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ซึ่งมีค่า 0.3853 mm การหาค่าความเค้นสูงสุดซึ่งมีค่า 3.845 MPa ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบสถิตศาสตร์ ในส่วนของการคำนวณแบบพลศาสตร์โดยใช้แรงกระตุ้นให้กับเครื่องจักรในลักษณะที่เป็นความถี่ 1, 2, 3, 4 และ 5 Hz มีค่าของการตอบสนองของระยะการกระจัดสูงสุดอยู่ที่ 0.7684 mm และจะใช้ระยะเวลาเพื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 0.2 วินาที และในส่วนของการคำนวณเพื่อหาค่าของความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ในโหมดที่ 1, 2, 3 เพื่อเป็นการกำหนดช่วงการทำงานที่อาจจะเป็นอันตรายต่อการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งจะได้ค่าผลลัพธ์ของความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ในโหมดที่ 1 จะมีค่า 135.90 Hz โหมดที่ 2 จะมีค่า 234.62 Hz และ โหมดที่ 3 มีค่า 324.65 Hz ซึ่งเป็นความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่นี้ ถ้าดับต่อไปจะทำการวัดค่าการทำงานจริงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกในส่วนของพลศาสตร์โดยการนำผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยตัวรับสัญญาณการสั่นสะเทือน ที่ระดับของแรงกระทำที่ความถี่ 5 ระดับ คือ 1 , 2, 3, 4 และ 5 ครั้งต่อวินาที (Hz) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้จากทางทฤษฎีและการทดลอง

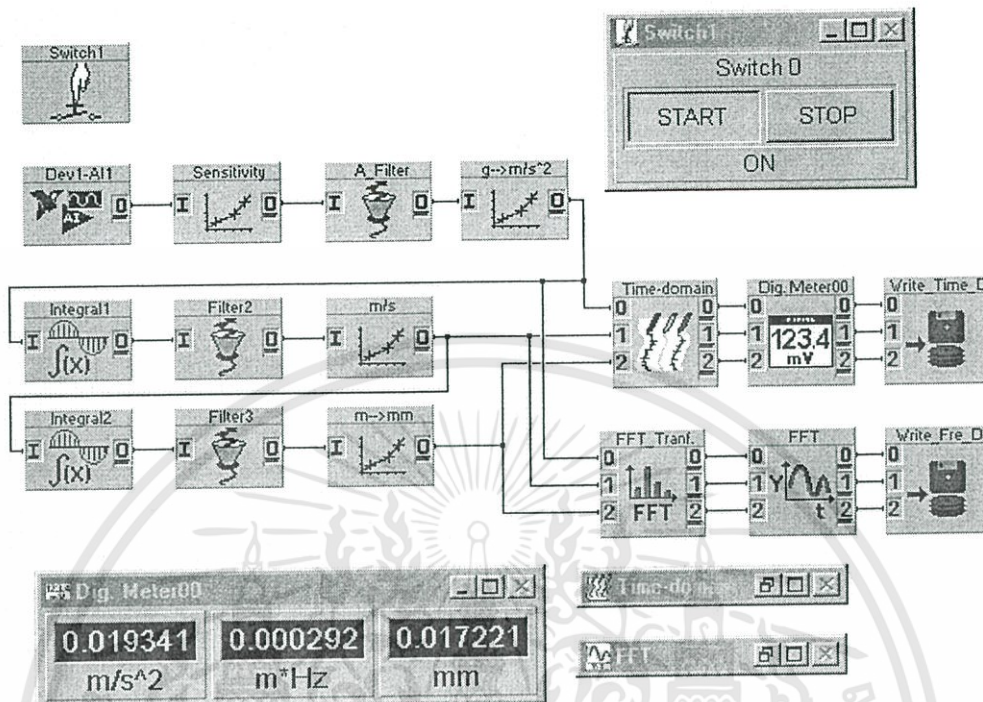


รูปที่ 8.1 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้จัดทำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

8.2.1 แผนผังของโปรแกรม DASYLab



รูปที่ 8.2 แผนผังของโปรแกรม DASYLab สำหรับรับสัญญาณและวิเคราะห์ผล Module ที่ใช้ในแผนผังโปรแกรม DASYLab

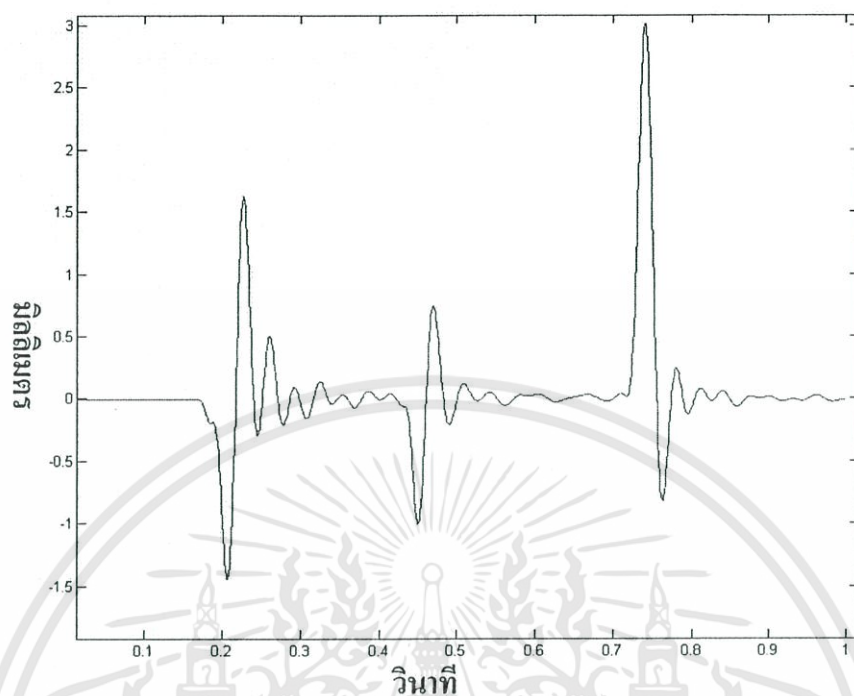
1. A/D Module ทำหน้าที่รับสัญญาณมาจาก Sensor โดยแปลงสัญญาณจาก Analog เป็น Digital
2. Scaling Module ทำหน้าที่ปรับค่าและแปลงหน่วยของสัญญาณ
3. Filter Module ทำหน้าที่กรองสัญญาณช่วงที่ต้องการวัดค่า
4. Differentiation/Integration Module ทำหน้าที่อินทิเกรตสัญญาณ โดยเลือกการทำงานเป็นอินทิเกรต
5. Real Fast Fourier Transform of Real Signal Module หรือ FFT Module ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจาก Time Domain เป็น Frequency Domain
6. Y/t Chart Module ทำหน้าที่เขียนกราฟสัญญาณ
7. Chart Recorder Module ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้ออกมาเป็นกราฟหน้าจอแบบ oscilloscope ซึ่งเป็นสัญญาณบน Time Domain
8. Digital Meter Module ทำหน้าที่แสดงค่าของสัญญาณ โดยสามารถเลือกฟังก์ชันการแสดงผลได้เป็น Last, Maximum, Minimum, Mean หรือ RMS (Root Mean Square)
9. Write Module ทำหน้าที่บันทึกสัญญาณเป็นไฟล์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

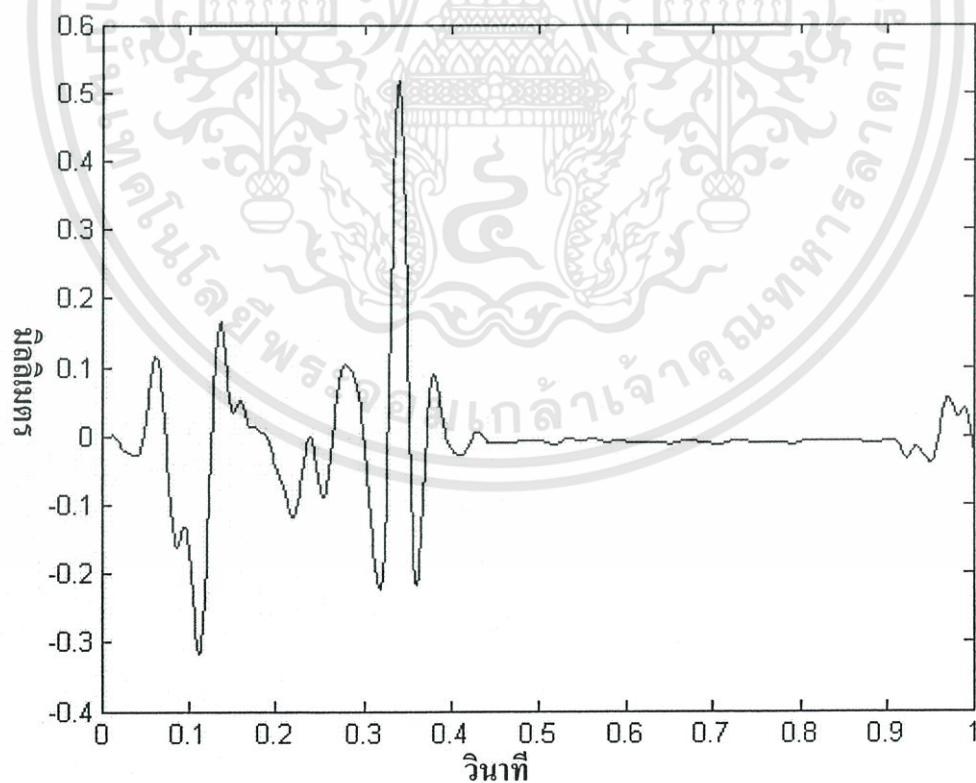
8.2.2 การทำงานของโปรแกรม DASYLab

1. A/D Module รับสัญญาณมาจาก Sensor ในหน่วย Volt
2. แล้วนำค่าสัญญาณมาปรับค่า Sensitivity ของ Sensor ที่ Scaling Module เพื่อแปลงหน่วยจาก Volt เป็นหน่วย g
3. นำค่าสัญญาณที่ได้มาผ่าน Filter Module เพื่อกรองสัญญาณ โดยตั้งความถี่ต่ำกว่า 30 Hz อันดับ 5 แบบ Butterworth สามารถผ่านได้
4. หลังจากสัญญาณที่ผ่าน Filter Module นำมาแปลงหน่วย g เป็นหน่วย m/s^2 ใน Scaling Module
5. สัญญาณที่ได้จากข้อ 4 นำมาเข้า Integration Module เพื่อ Integrate สัญญาณจากความเร่งเป็นความเร็ว
6. แล้วนำสัญญาณมาเข้า Filter Module เพื่อกรองสัญญาณ โดยตั้งความถี่ที่สูงกว่า 1 Hz อันดับ 2 แบบ Butterworth สามารถผ่านได้อีกครั้งหนึ่ง
7. หลังจากสัญญาณที่ผ่าน Filter Module ใน Scaling Module เพื่อให้แสดงอยู่ในรูปกราฟ
8. นำสัญญาณที่ได้จากข้อ 7 มาเข้า Integration Module เพื่อ Integrate สัญญาณจากความเร็วเป็นการกระจัด
9. แล้วนำสัญญาณมาเข้า Filter Module เพื่อกรองสัญญาณ โดยตั้งความถี่ที่สูงกว่า 1 Hz อันดับ 2 แบบ Butterworth สามารถผ่าน ได้อีกครั้งหนึ่ง
10. หลังจากสัญญาณที่ผ่าน Filter Module นำมาแปลงจากหน่วย m/s เป็น mm/s ใน Scaling Module
11. แล้วนำสัญญาณความเร่งจากข้อ 4 สัญญาณความเร็วจากข้อ 8 และสัญญาณการกระจัดจากข้อ 10 มาเข้า FFT Module เพื่อแปลงสัญญาณจาก Time Domain เป็น Frequency Domain
12. นำสัญญาณความเร่ง, ความเร็วและการกระจัดจาก FFT Module มาเข้า Y/t Chart Module เพื่อแสดงการกระจัด, ความเร็วและความเร่ง เทียบกับความถี่ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป
13. แล้วนำสัญญาณความเร่งจากข้อ 4 สัญญาณความเร็วจากข้อ 8 และสัญญาณการกระจัดจากข้อ 10 มาเข้า Chart Recorder Module เพื่อบันทึกการกระจัด, ความเร็วและความเร่ง เทียบกับเวลา จากนั้นผ่าน Digital Meter Module แสดงค่า Root Mean Square ของสัญญาณ และเข้าสู่ Write Module เพื่อจัดเก็บเป็น ไฟล์ข้อมูลนำไปวิเคราะห์ต่อไป

8.3 ผลการวัดค่าระยะการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

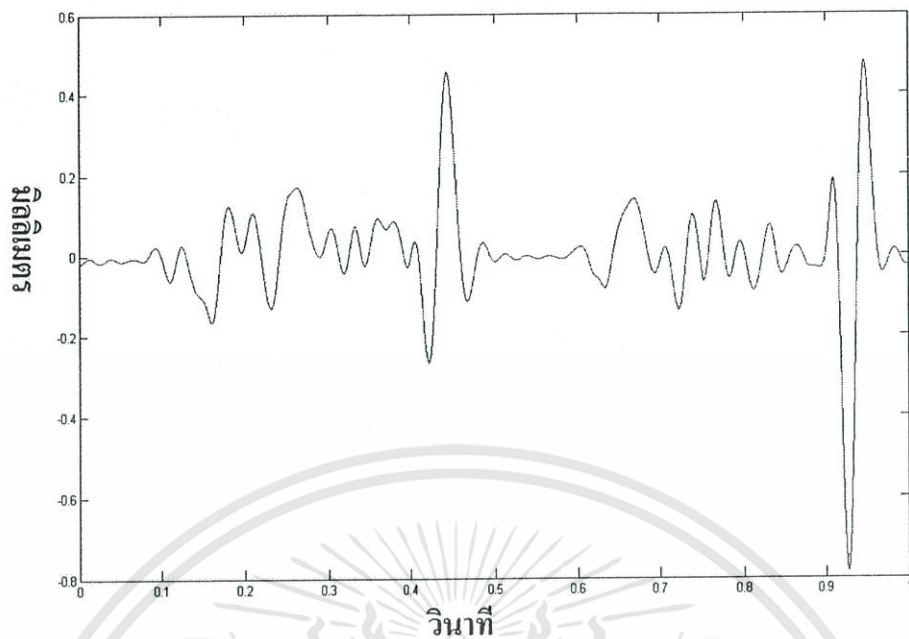


รูปที่ 8.4 แสดงกราฟแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม

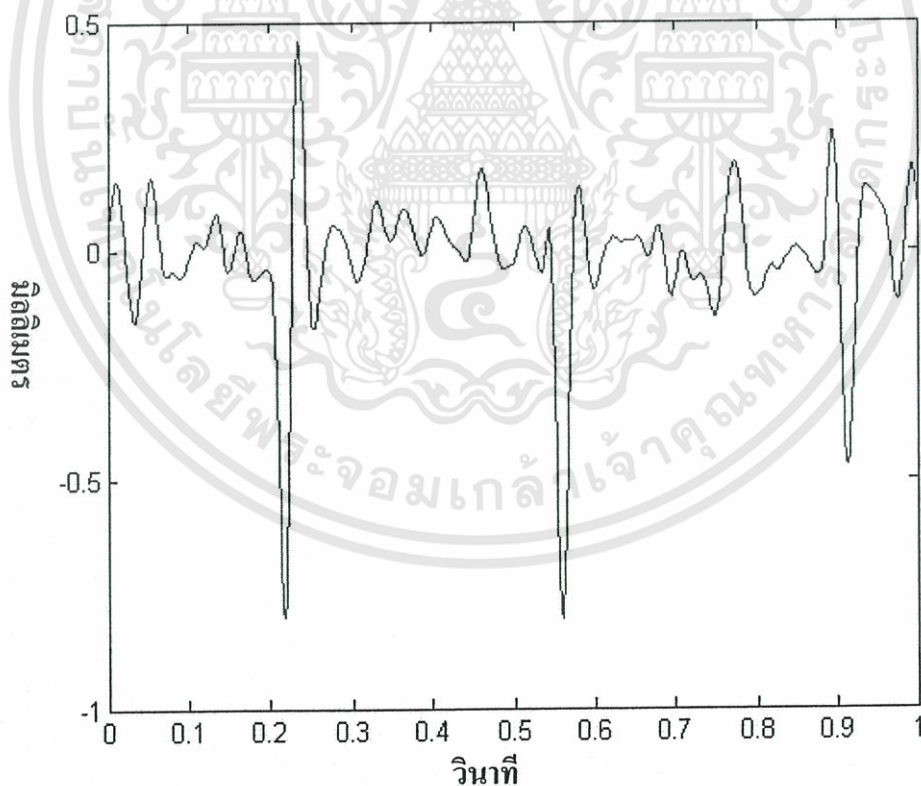


รูปที่ 8.4 แสดงกราฟแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ เมื่อใช้แรงกระทำที่ความถี่ 1 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

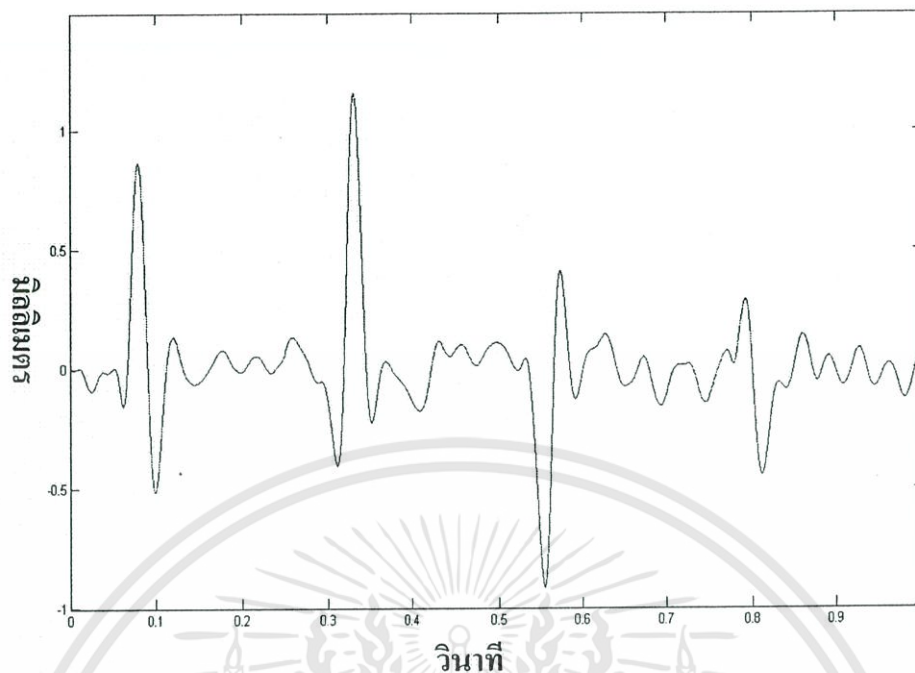


รูปที่ 8.4 แสดงกราฟแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ เมื่อใช้แรงกระทำที่ความถี่ 2 Hz

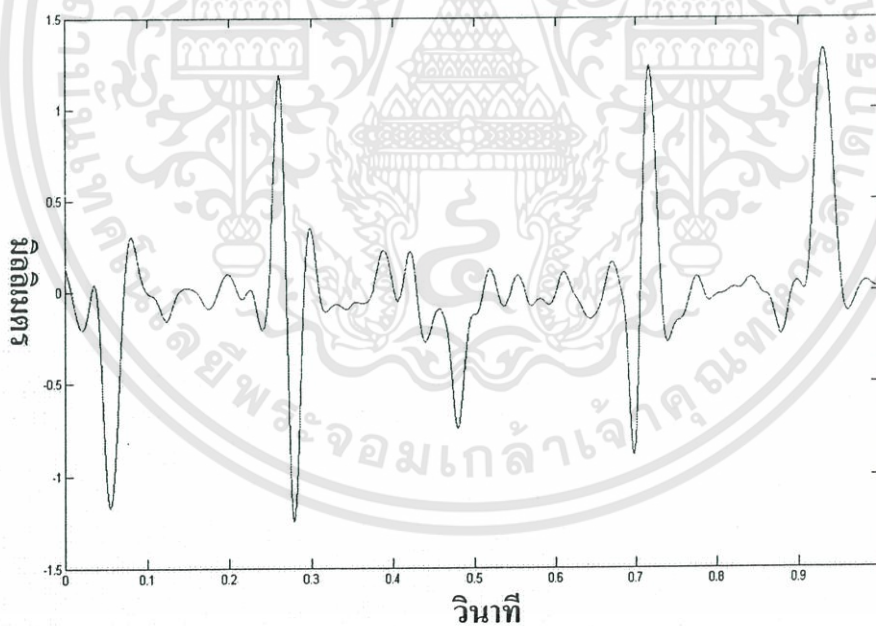


รูปที่ 8.5 แสดงกราฟแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ เมื่อใช้แรงกระทำที่ความถี่ 3 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.6 แสดงกราฟแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ เมื่อใช้แรงกระทำที่ความถี่ 4 Hz



รูปที่ 8.7 แสดงกราฟแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัดของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ เมื่อใช้แรงกระทำที่ความถี่ 5 Hz .

จากการวิเคราะห์ระยะการกระจัดของการสั่นสะเทือนของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเมื่อหัวเจาะแผ่นพลาสติกกระทบกับแผ่นรองรับจะใช้เวลาประมาณ 0.2 วินาทีในการสั่นสะเทือน หลังจากนั้นจะเข้าสู่สภาวะคงตัวหรือหยุดสั่นซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากแรงที่กระทำ 1 Hz เมื่อแรงกระทำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สูงขึ้นไปแล้ว ช่วงสภาวะคงตัวจะลดลงจนกระทั่งถึงการตอบสนองที่มีแรงกระทำที่ความถี่ 3 จะไม่พบสภาวะคงตัว ในแต่ละความถี่ที่แรงกระทำนั้นที่ความถี่

ตารางที่ 8.1 แสดงความถี่ของแรงที่กระทำกับหัวเจาะกับค่าแอมพลิจูดสูงสุดของการกระจัด

ความถี่ของแรงที่กระทำ กับหัวเจาะแผ่นพลาสติก	ค่าการกระจัดสูงสุดที่ ได้จากการทดลองของ เครื่องเจาะแผ่น พลาสติกใหม่	ค่าการกระจัดสูงสุดที่ ได้จากการทดลองของ เครื่องเจาะแผ่น พลาสติกเดิม
(Hz)	(mm)	(mm)
1	0.5171	3.0105
2	0.7838	
3	0.8038	
4	1.1572	
5	1.3271	

8.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณกับการทดลอง

การศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการสั่นสะเทือน กับค่าที่ได้จากการทดลองจะพิจารณาเฉพาะค่าของการกระจัดสูงสุดในแต่ละความถี่ของแรงที่กระทำกับหัวเจาะแผ่นพลาสติก ซึ่งมีค่าต่าง ๆ ดังนี้

ตารางที่ 8.2 เปรียบเทียบค่าของการกระจัดสูงสุด ระหว่างทางทฤษฎีและการทดลอง ที่ความถี่ของแรงกระทำในช่วง 1-5 Hz

ความถี่ของแรงที่ กระทำกับหัวเจาะ แผ่นพลาสติก	การกระจัด สูงสุดที่ได้จาก การคำนวณ	ค่าการกระจัด สูงสุดที่ได้จาก การทดลอง
(Hz)	(mm)	(mm)
1	0.7864	0.5171
2	0.7864	0.7838
3	0.7864	0.8038
4	0.7864	1.1572
5	0.7864	1.3271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.6 สรุป

จากการทดลองวัดค่าโดยใช้เครื่องมือวัดค่าของระยะเวลาการจัด, ความเร็ว, ความเร่ง ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะระยะเวลาการจัดสูงสุดเพื่อเทียบกับค่าของการคำนวณ พบว่าระยะเวลาการจัดสูงสุดที่ได้จากการวัด มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ และเมื่อความถี่ในการทำงานสูงสุดที่ 5 Hz นั้นจะมีค่าการกระตุกวัดได้สูงสุด ซึ่งมีระยะเวลาการจัดแต่ละความถี่ดังนี้คือ 0.5171, 0.7838, 0.8038, 1.1572 และ 1.3271 มิลิเมตร ตามลำดับ จากการวัดสามารถแยกช่วงของการสั่นดังนี้คือ พบว่าสัญญาณการสั่นสะเทือนของตำแหน่งที่ทำการวัดจะประกอบขึ้นจากการสั่นสะเทือนที่ 2 สภาวะ คือ การสั่นสะเทือนที่สภาวะเปลี่ยนแปลง (Transient State) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 0.2 วินาที และการสั่นสะเทือนที่สภาวะคงที่ (Steady State) ซึ่งเมื่อแรงที่กระทำกับหัวเจาะมีความถี่เพิ่มขึ้น จะทำให้ช่วงของระยะเวลาของสภาวะคงตัวลดน้อยลงจนกระทั่งมีเฉพาะการสั่นสะเทือนที่สภาวะเปลี่ยนแปลงแต่เพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบในทิศทางของระยะเวลาการจัดที่วัดได้ในทิศทาง \bar{X} , \bar{Y} และ \bar{Z} พบว่าระดับของการสั่นสะเทือนทิศทาง \bar{Z} (ทิศทางในแนวตั้งฉากกับพื้น) มีค่ามากที่สุด

บทที่ 9

สรุปและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการวิเคราะห์และออกแบบของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกโดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์คำนวณหาค่าของการเสียวรูปสูงสุด, ค่าความเค้นสูงสุด, การสั่นสะเทือน, ค่าความถี่ธรรมชาติ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเจาะใหม่ที่ออกแบบให้ดีขึ้นใน ส่วนของการคำนวณการเสียวรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่นั้น จะพิจารณาในส่วนของสถิติศาสตร์จะใช้แรงกระทำที่หัวเจาะซึ่งจะมีค่าของการเสียวรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมที่ 2.288 มิลลิเมตร มีค่าความเค้นสูงสุดที่ 29.127 MPa และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการเพิ่มขนาดความหนาของตำแหน่งที่กำหนดซึ่งจะได้ค่าของการเสียวรูปที่ 0.0977 มิลลิเมตรและค่าความเค้นสูงสุดมีค่า 2.495 MPa ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชันบังคับของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ตั้งไว้ แต่ในการสร้างแบบจำลองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้สร้างขึ้นจริงนั้นมีค่าของการเสียวรูป 0.3853 มิลลิเมตร และค่าของความเค้นสูงสุดมีค่า 3.845 MPa

ในส่วนที่สองจะเป็นการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกตามที่ได้คำนวณ เนื่องจากการสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ออกแบบใหม่นั้นจะต้องใช้งบประมาณในการสร้างมากขึ้นไปผู้จัดทำจึงได้สร้างแบบจำลองเทียบเคียงขึ้นซึ่งจะมีค่าของการเสียวรูปแลค่าความเค้นสูงสุดที่มีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณในขั้นต้น จากนั้นจะเป็นการใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์คำนวณในส่วนของพลศาสตร์ในส่วนของ การสั่นสะเทือน และ ค่าของความถี่ธรรมชาติ ในส่วนของการคำนวณการสั่นสะเทือน จะพิจารณาระยะการกระจัดของการตอบสนองการเคลื่อนที่จากการคำนวณจะพบว่า เมื่อให้แรงที่กระทำแบบไดนามิกส์ที่มีความถี่เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 เฮิรตซ์กระทำกับแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นใหม่ จะมีค่าระยะการกระจัดสูงสุดเท่ากับ 0.7684 mm ซึ่งเมื่อเทียบกับเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมจะอยู่ที่ 3.0105 mm ซึ่งจะช่วยลดการสั่นสะเทือนได้ที่ 73.8 % โดยในการคำนวณการสั่นสะเทือนของแบบจำลองจะมีการเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากใช้แรงกระทำภายในเวลา 0.2 วินาที และจากการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติจากแบบจำลองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมจะมีโหมดการสั่นของโหมดที่ 1 จะมีค่า 74.145 Hz เมื่อออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่จะมีค่าของโหมดการสั่นโหมดที่ 1 จะมีค่า 135.90 Hz

หลังจากที่ได้นำผลลัพธ์ของการคำนวณต่างๆ เพื่อทำการลดค่าของการเสียวรูปสูงสุด, ค่าของความเค้นสูงสุด, ลดการสั่นสะเทือน และเลื่อนค่าของความถี่ธรรมชาติให้ไกลออกไปจากช่วงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกทำงานแล้วการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสรุปได้ว่า

1. การเสียดรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้นเกิดขึ้นได้จากสาเหตุของการจับยึดหรือจุดรองรับแรงของชิ้นส่วนที่ออกแบบไม่ดี
2. ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้น สาเหตุเนื่องมาจากขนาดของชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม
3. ค่าของระยะการกระจัดของการสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของวัสดุและจุดรองรับแรงต่างๆ รวมถึงขนาดความหนาของชิ้นส่วนด้วย หลังจากที่ได้ออกแบบเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าคำนวณและการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงกัน
4. การเปรียบเทียบค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมกับเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ได้จัดทำขึ้นใหม่ ความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่มีค่ามากกว่าความถี่ธรรมชาติของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม ซึ่งการทำงานจริงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่จะไม่เกิน 5 Hz จึงทำให้การทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกใหม่ไปไม่ถึงความถี่ธรรมชาติของตัวเอง

8.2 วิจารณ์ผล

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ในการคำนวณค่าต่างๆ โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์ นั้น มีตัวแปรต่างๆที่ทำให้การคำนวณผิดพลาดเช่น ความถูกต้องของแรงที่กระทำกับกับหัวเจาะของแบบจำลองเนื่องจากแรงจริงเป็นแบบพลศาสตร์ ค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) ที่กำหนดให้กับวัสดุซึ่งอาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปตามลักษณะของการผลิตวัสดุเอง จุดรองรับที่ที่ไม่สามารถกำหนดให้เหมือนจริงได้ รวมทั้งกระบวนการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เอง เช่น การสร้างเอลิเมนต์ที่ไม่ละเอียดเพียงพอ การปิดเศษของวิธีการคำนวณของคอมพิวเตอร์ เป็นต้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณโดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์แต่อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์โดยใช้หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังเป็นที่ยอมรับ และต้องใช้ผู้มีประสบการณ์ทางด้านนี้มาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ความแม่นยำของผลลัพธ์จากการคำนวณ

8.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. ควรนำแบบจำลองที่ได้ทำการหาค่าเหมาะสมที่สุดมาสร้างเพื่อให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพดีที่สุด
2. แรงที่กระทำกับหัวเจาะควรพิจารณาค่าของแรงที่ถูกต้องกว่านี้เพื่อให้ค่าของการคำนวณมีค่าที่แม่นยำที่สุด

3. ในแบบจำลองที่ได้จัดทำขึ้นแล้วควรที่จะวัดผลลัพธ์ของความเร็วและความเร่งมาวิเคราะห์เพิ่มเติม
4. ควรที่จะหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในส่วนของสถิติศาสตร์และพลศาสตร์ไปพร้อมๆกัน
5. จุครองรับต่างๆ อาจจะต้องใส่ตัวหน่วงหรือยางรองเพื่อลดการสั่นสะเทือนและเสียงของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก
6. ควรเปลี่ยนตัวควบคุมการสั่งงานสำหรับหัวเจาะใหม่เพื่อให้ทำงานที่ความถี่สูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] นเร็นศ ชัยธานี, สมบัติ ทำนา, อำนาจ วิชาโคตร. 2548. การพัฒนาเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก สำหรับสร้างแบบทอพรอม. ปรินิพนธ์นักศึกษาระดับปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ปราโมทย์ เคะชะอำไพ. 2541. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กทม.
- [3] ปราโมทย์ เคะชะอำไพ. 2537. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กทม.
- [4] เฉช พุทธเจริญทอง. 2541. การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทพิมพ์ดี จำกัด. กทม.
- [5] บรรจบ อรชร. 2541. กลศาสตร์ของแข็ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทพิมพ์ดี จำกัด. กทม.
- [6] Daniel J. Inman. 2006. **Vibration with Control**. John Wiley & Sons Inc. USA.
- [7] มนตรี พิรุณเกษตร. 2548. การสันสะเทือน. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด
- [8] Singiresu S. Rao. 2002. **Mechanical Vibrations**. แปลและเรียบเรียงโดย กนต์ธร ขำนิ ประศาสน์.การสันทางกล, 2545, เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อิน โด ไชน่า, กรุงเทพฯ.
- [9] วิทยา สงวนวรรณ. 2546. **Unigraphics Work Form Feature**. บริษัท เอส.พี.ซี จำกัด
- [10] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, Jr., John T. DeWolf. 2002. **Mechanical of materials**. Third Edition. McGrawHill.
- [11] Jorge Nocedal, Stephen J. Wright. 1999. **Numerical Optimization**. Springer-Verlag New York Inc. USA.
- [12] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas. 2004. **Mechanical Engineering Design**. Seventh Edition. McGraw-Hill.
- [13] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas, 2004. **Mechanical Engineering Design**. แปลและเรียบเรียงโดย ภาณุฤทธิ์ ยุคตะทัต. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1. 2547. สำนักพิมพ์ท็อป
- [14] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas. 2004. **Mechanical Engineering Design**. แปลและเรียบเรียงโดย ภาณุฤทธิ์ ยุคตะทัต. 2548. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. สำนักพิมพ์ท็อป.
- [15] R.C. Hibberler. 1995. **Engineering Mechanics Statics**. Prentice Hall Inc. Singapore.
- [16] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston. JR. 1995. **Vector Mechanics for Engineers**. 3rd SI metric ed. McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] R.C. Hibberler. 1995. **Engineering Mechanics Statics**. แปลและเรียบเรียงโดย บุรฉัตร ฉัตรวีระ, วิศิษฐ์ เศษพันธ์. 2541. บริษัท ไชมอน แอนด์ ซุสเตอร์ อินโดไชน่า จำกัด.
- [18] Daryl L. Logan. 2002. **A First Course in the Finite Element Method**. 3rd. BROOKS/COLE. USA.
- [19] Saeed Moaveni. 2003. **Finite Element Analysis Theory and Application with Ansys**. 2nd. Pearson Education Inc. New Jersey.
- [20] เศรษฐี มณีธรรม. 2548. **คำภีร์ระบบนิวแมติกส์**. สำนักพิมพ์ เคทีพี. กทม.
- [21] เศรษฐี มณีธรรม, สำเร็จ เต็มราม. 2548. **คำภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51**. สำนักพิมพ์เคทีพี. กทม.
- [22] ดอนสัน ปงผาบ. 2549. **ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน 2**. สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กทม.
- [23] ประจัน พลังสันติกุล. 2549. **การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ด้วยภาษา C กับ WinAVR(C Compiler)**. บริษัท แอพซอฟต์เทค จำกัด. กทม.





ภาคผนวก

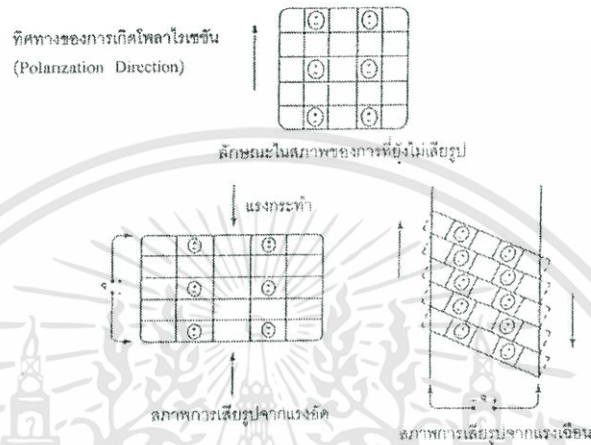
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



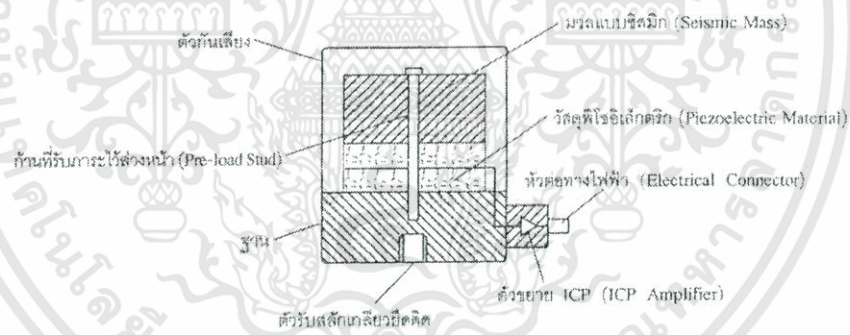
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดความเร่ง (Acceleration Transducer or Accelerometer)

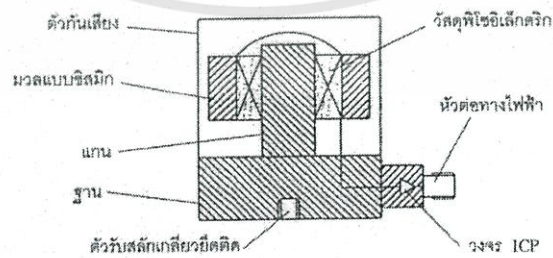
ใช้วัดความเร่งของการสั่นสะเทือน (จากความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ได้) ซึ่งอาจเป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้มวล (ขดลวด) กับสปริงที่เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็ก ระยะที่มวลเคลื่อนที่ได้ จะเป็นสัดส่วนกับแรงหรือความเร่งที่กระทำ แต่จะมีข้อจำกัดที่ความเร็วตอบสนองต่อความถี่และการรบกวนของสนามแม่เหล็กจากภายนอก



รูปที่ ก.1 ลักษณะของแรงกระทำต่อผลึกวัสดุพิโซอิเล็กทริก



รูปที่ ก.2 หัววัดความเร่งแบบแรงกด



รูปที่ ก.3 หัววัดความเร่งแบบแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันนิยมใช้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้หลักการพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) นั่นคือ วัสดุบางประเภท เช่น ควอตซ์ (Quartz) และเฟอร์โรอิเล็กทริกเซรามิกส์ (Ferroelectric Ceramics) บางชนิดจะเกิดประจุไฟฟ้าเมื่อถูกแรงกด วัสดุพิโซอิเล็กทริกจะทำหน้าที่เป็นสปริงรับแรงกดจากก้อนมวลซึ่งสั่น ทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้าตามการสั่นสะเทือนแรงกดอาจจะกระทำในแนวตั้งฉาก (Compression) กับผลึก หรืออาจจะกระทำในแนวเฉือน (Shear) กับผลึก ดังแสดงในรูปที่ ก.1 เนื่องจากหลักการดังกล่าว หัววัดความเร่ง (Accelerometer) ที่ใช้งานจะมีทั้งสองแบบ โดยหัววัดความเร่งที่ใช้แรงกดจากมวลในแนวตั้งฉากกับผลึกจะมีอัตราส่วนความไวต่อมวลปานกลาง และอาจมีผลกระทบจากการโก่งงอของฐานและจากอุณหภูมิ ทำให้เกิดความเค้นในวัสดุพิโซอิเล็กทริกได้ แต่จะผลิตได้ง่ายกว่าและแข็งแรงกว่า หัววัดความเร่งแบบนี้มักนิยมใช้กับค่าความเร่งสูงๆ เพื่อชดเชยปัญหาดังกล่าว ส่วนหัววัดความเร่งที่ใช้แรงกดจากมวลในเฉือนกับผลึกจะมีอัตราส่วนไวต่อมวลสูงแต่จะผลิตได้ยากกว่า โครงสร้างของหัววัดเร่งทั้งสองแบบ แสดงไว้ในรูปที่ ก.2 และ ก.3 ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์พิโซอิเล็กทริกมีปริมาณน้อยมาก จึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณเพื่อไปยังอุปกรณ์ประมวลสัญญาณ ซึ่งจากสัญญาณความเร่งก็สามารถคำนวณหาความเร็วและระยะการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นหัววัดเร่งจึงเป็นทรานส์ดิวเซอร์นิยมใช้เพราะมีขนาดเล็กและมีความแข็งแรงทนทาน

แต่อย่างไรก็ตาม หัววัดความเร่งแบบพิโซอิเล็กทริกก็มีข้อจำกัดเนื่องจากการรั่วไหล (Leakage) ประจุที่เกิดขึ้นได้ การก้อง (Ringing) เมื่อทำงานใกล้ความถี่ธรรมชาติ และการเคลื่อนของตำแหน่งศูนย์ (Zeroshift) ปรากฏการณ์เหล่านี้เกิดขึ้น เมื่อนำหัววัดความเร่งมาใช้งานนอกช่วงที่ออกแบบไว้

การติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์

เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนสามารถทำงานได้สมบูรณ์ ต้องติดตั้งทรานส์ดิวเซอร์ให้สัมผัสแนบสนิทกับผิวของชิ้นส่วนที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน โดยมีแนวแกนของทรานส์ดิวเซอร์ในทิศทางเดียวกับการสั่นสะเทือน ทั้งนี้เพื่อให้ทรานส์ดิวเซอร์ได้รับการถ่ายทอดการสั่นสะเทือนมาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการยึดทรานส์ดิวเซอร์ให้แนบกับผิวชิ้นงานกระทำได้หลายวิธี และสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของช่วงความถี่ที่ต้องการได้

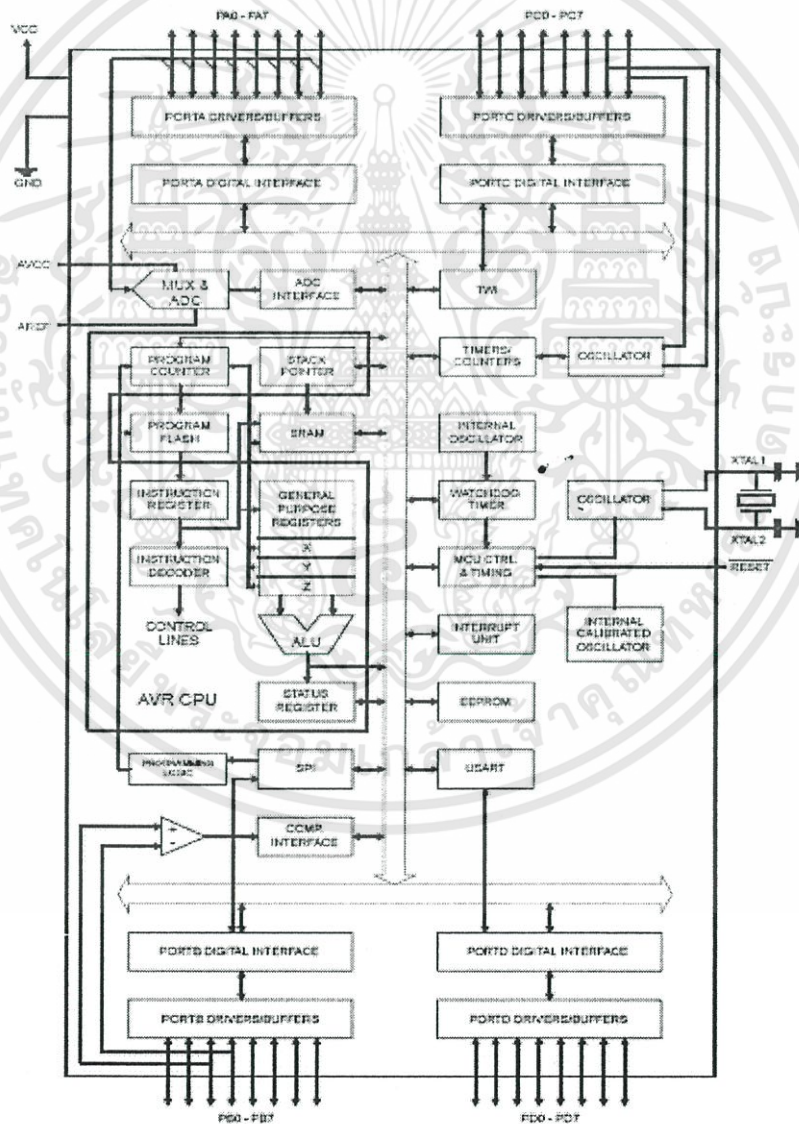
1. การใช้สลักเกลียว
2. การใช้ซีเมนต์
3. การใช้กาวอีพอกซี (Epoxy)
4. การใช้เทปสองหน้า
5. การใช้แม่เหล็ก
6. การใช้มือกด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมในระบบนิวแมติกส์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นหนึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL (ผู้นำทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51) AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEL มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Advanced RISC architecture) คือหนึ่งคำสั่งทำงาน สัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (Instructions in a single clock cycle) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพความสามารถสูง แบ่งออกเป็นหลายอนุกรม ในแต่ละอนุกรมอาจจะมีหลายเบอร์เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงประสิทธิภาพที่เท่ากัน สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ที่จะนำเสนอในวิทยานิพนธ์จะนำเสนอเบอร์ ATmega 16 รายละเอียดและคุณสมบัติภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 16 แสดงดังไคอะแกรมรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 บล็อกไคอะแกรม AVR (ATmega 16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่สำคัญของ AVR (ATmega 16)

- สถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ Advanced RISC (Reduce Instruction Set computer)
- มีคำสั่งควบคุมการทำงานมากกว่า 100 คำสั่ง โดยมีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่ง ต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา(1 MIP/1MHz)
- มีรีจิสเตอร์งานทั่วไปขนาด 8 บิต จำนวน 32 ตัว (ทำให้สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม ด้วย ภาษา C เป็นอย่างมาก)
- ความเร็วในการทำงาน 1 MIPS ต่อ 1 MHz และหมายถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ 16 MHz (ความสามารถในการใช้งานความถี่นาฬิกาขึ้นอยู่กับเบอร์ที่เลือกใช้งาน)
- หน่วยความจำ ROM แบบ Flash (มีการป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 16 กิโลไบต์ (เขียนลบได้ 100,000 ครั้ง)
- หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM (มีโหมดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 512 ไบต์ (เขียนลบได้ 100,000 ครั้ง)
- หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 1 กิโลไบต์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้งแบบ 8 บิต และ 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์
- มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟต์แวร์ (Watchdog Timer with On-Chip Oscillator)
- โมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulator) มีจำนวน 4 ช่อง
- มีโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 10 บิต มากถึง 8 ช่อง
- โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก (Analog Comparator)
- การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือ RS232, SPI(Serial Peripheral Interface) และแบบ I²C เป็นต้น
- พอร์ตอินพุตเอาต์พุตขึ้นอยู่กับเบอร์ AVR ที่เลือกใช้งาน มีตั้งแต่ 8 ขา จนมากกว่า 100 ขา พอร์ต (ATmega 18 มีขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 32 ขา)
- แรงดันไฟเลี้ยงและความเร็วในการทำงานขึ้นอยู่กับเบอร์ของ AVR ที่เลือกใช้งาน

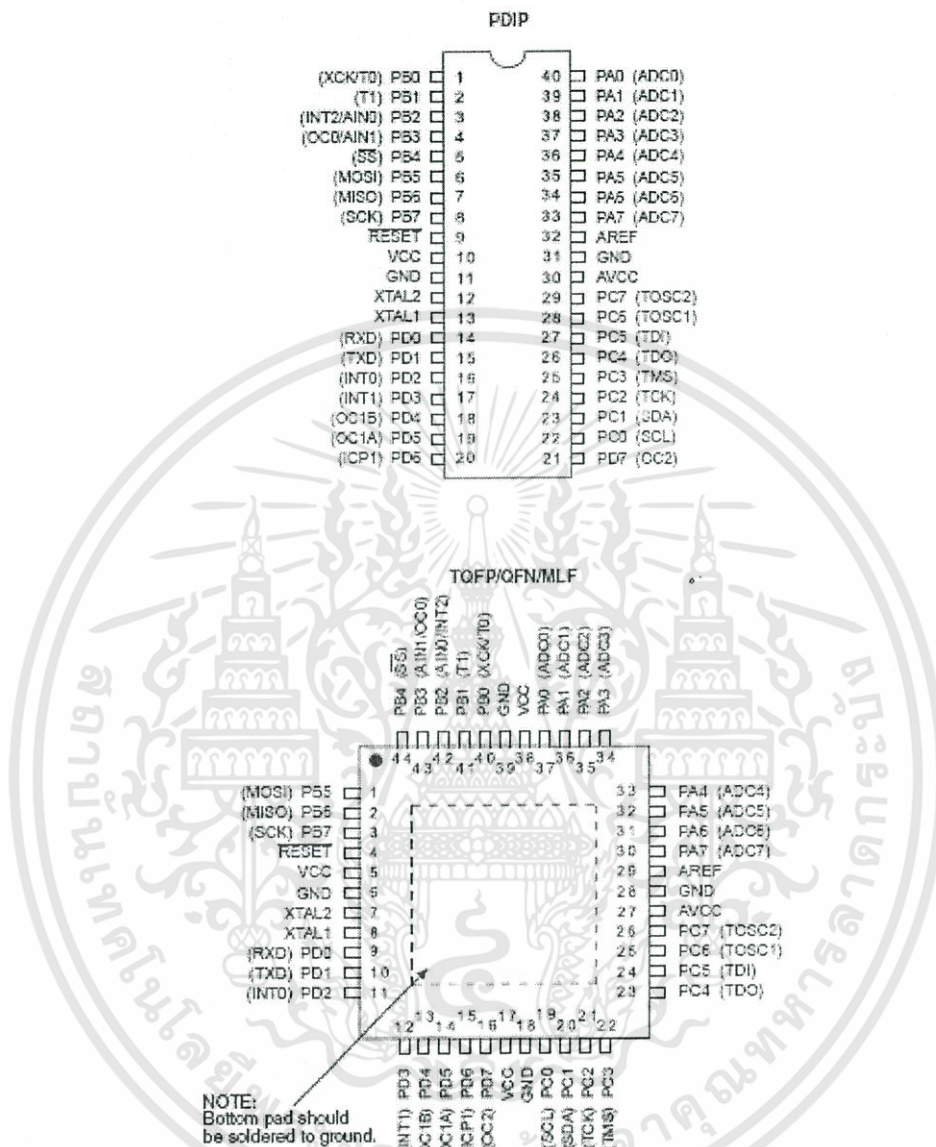
หมายเหตุ คุณสมบัติต่างๆ จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับเบอร์ของ AVR ที่เลือกใช้งาน ซึ่งจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปในแต่ละเบอร์

ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 16 มีจำนวน 40 ขา โดยแบ่งเป็น ขา พอร์ตอินพุตเอาต์พุตอิสระ จำนวน 32 ขา ประกอบไปด้วย PA, PB ,PC , PD ขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขาพอร์ตที่เกี่ยวข้องสัญญาณนอกจำนวน 2 ขาพอร์ต คือ AREF และ AVCC รายละเอียดขาพอร์ตทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ ข.2 พอร์ต AVR (ATmega 16) ตัวถึงแบบ PDIP และ TQFP/MLF

รายละเอียดในแต่ละขาพอร์ต

- VCC
ขาแรงดันไฟตรง
- GND
ขากราวด์
- Port A(PA0...PA7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตคิติดอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) และสามารถกำหนดใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตสัญญาณอะนาลอก (A/D Converter) ได้

- Port B(PB0...PB7)

ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตคิติดอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่น ขาสำหรับการโปรแกรมชิพ ขาป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอก เป็นต้น

- PortC(PC0...PC7)

นอกจากจะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตคิติดอล ที่กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) แล้วยังเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ เช่น ขาเชื่อมต่อกับคิบบั๊กและโปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น

- PortD(PD0...PD7)

เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตคิติดอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) และขาพอร์ตทำหน้าที่พิเศษ เช่น ขาเชื่อมต่oportอนุกรม ขาอินเตอร์รัปต์ เนื่องจากสัญญาณภายนอก เป็นต้น

- /RESET

ขารีเซ็ตของจอร์

- XTAL1

ขาต่อคริสตัลออกออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านอินพุต

- XTAL2

ขาต่อคริสตัลออกออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 2 ด้านเอาต์พุต

- AVCC

ขาแรงดันสำหรับพอร์ต A และ โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นคิติดอล

- AREF

ขาแรงดันอะนาลอกอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นคิติดอล



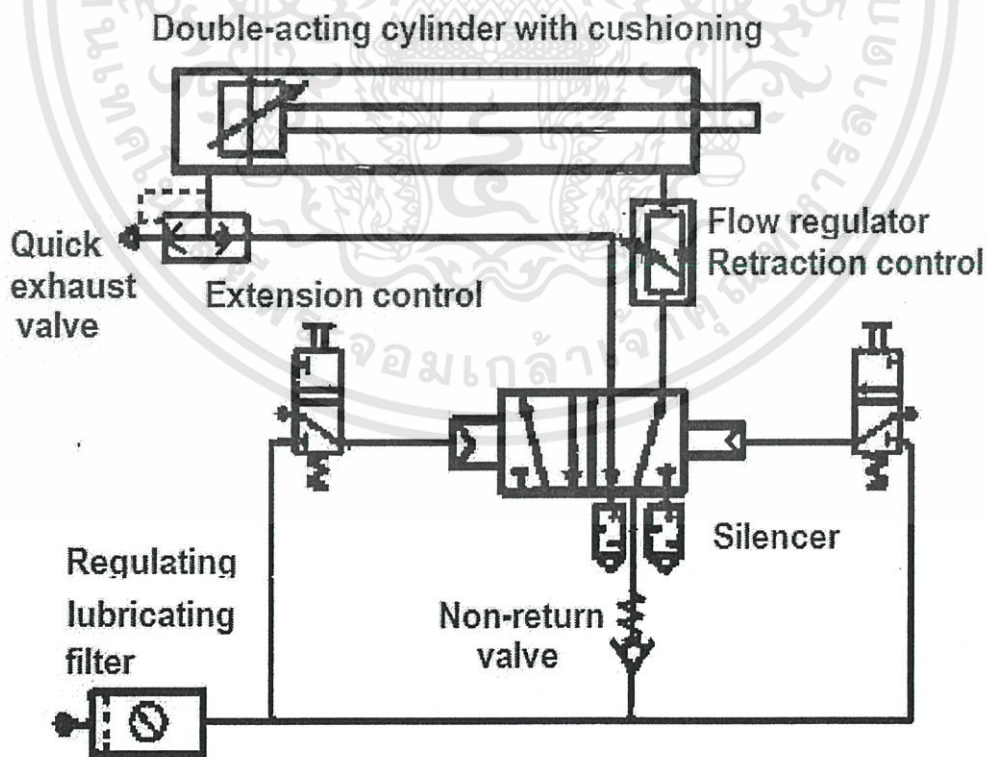
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

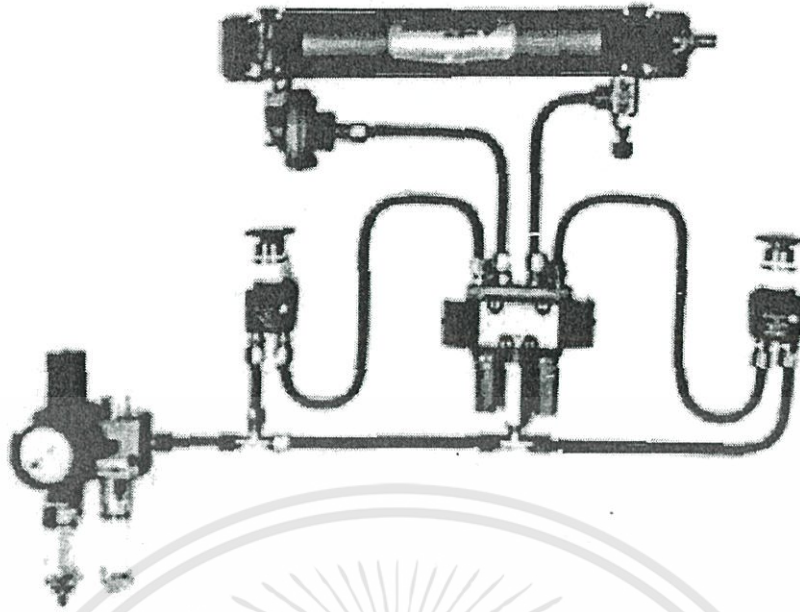
ปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบควบคุมอัตโนมัตินี้สามารถใช้ควบคุมโรงงานอุตสาหกรรมได้ทุกประเภท ทำให้ได้ผลผลิตที่ถูกต้องเที่ยงตรงและรวดเร็ว และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลการทำงานได้ตลอดเวลา ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้ Computer, PLC หรือ Microcontroller เป็นตัวควบคุมระบบอัตโนมัติ เช่น หุ่นยนต์อุตสาหกรรมใช้ควบคุมระบบการผลิตได้มากมายหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ อุตสาหกรรมขนถ่ายวัสดุ อุตสาหกรรมงานเชื่อม เป็นต้น ระบบซอฟต์แวร์ CAD/CAM/CAPP ควบคุมเครื่อง CNC หรือ ระบบควบคุมตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น

ระบบนิวแมติกส์ในงานอุตสาหกรรม

ปัจจุบันระบบนิวแมติกส์ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ซึ่งหลักการทำงานของระบบนิวแมติกส์ คือ การนำอากาศมาอัดให้มีความดันสูงด้วยเครื่องอัดอากาศ (Compressor) แล้วนำลมอัดที่ได้มาเก็บไว้ที่ถังเก็บลมอัด (Reservoir) โดยลมอัดที่ได้จะมีความดันลมอัดที่สูงและมีละอองน้ำ ตลอดจนสิ่งสกปรกปนเปื้อนมากับลมอัด จึงต้องผ่านชุดควบคุมคุณภาพลมอัด (Service Unit) สุดท้ายก็จะนำลมอัดที่สะอาดไปใช้ในระบบนิวแมติกส์ต่อไป



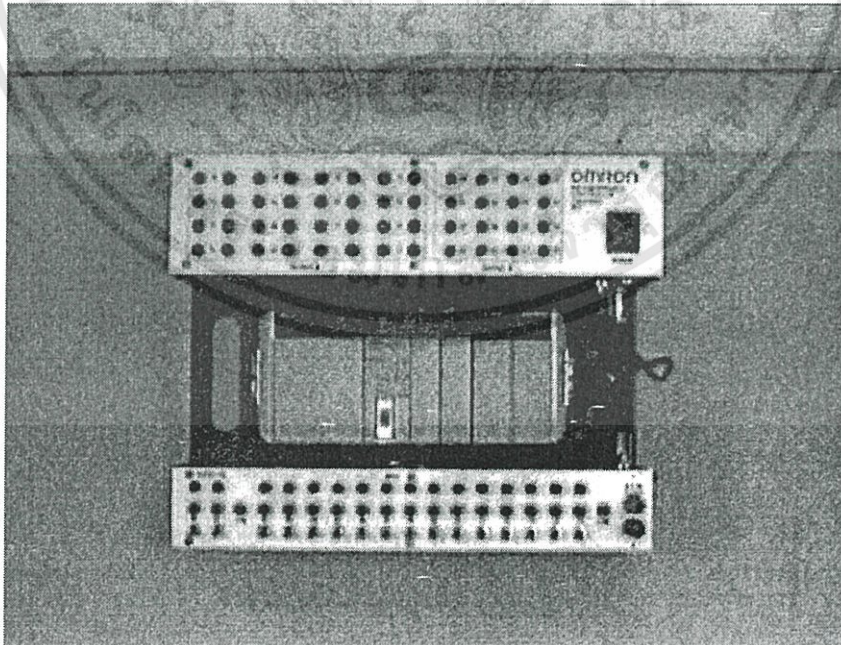
รูปที่ ค.1 แสดงวงจรระบบนิวแมติกส์พื้นฐาน



รูปที่ ค.2 แสดงภาพถ่ายอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์จากวงจรนิวแมติกส์ รูปที่ ค.1

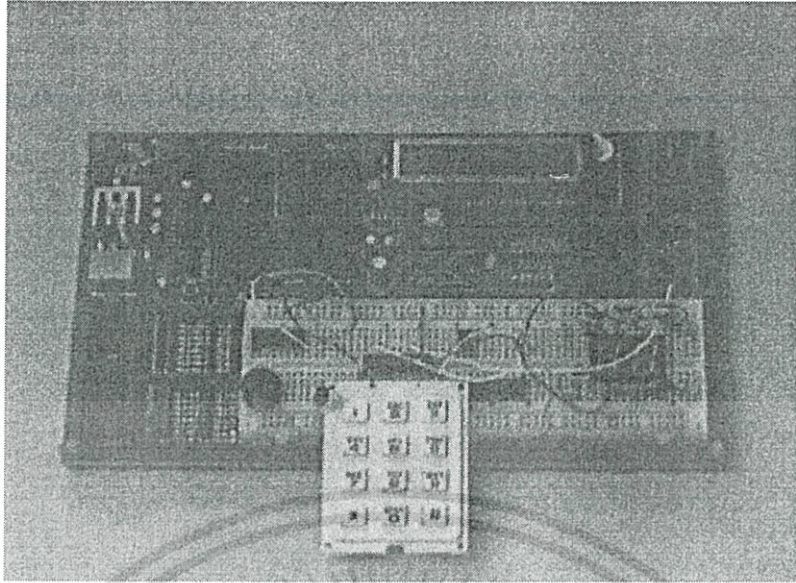
การควบคุมระบบนิวแมติกส์

ปัจจุบันระบบนิวแมติกส์ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็วเพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีที่ทันสมัย จึงได้มีชุดควบคุมระบบนิวแมติกส์เพื่อให้งานถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยแบ่งวงจรควบคุมออกเป็น 2 ชนิดคือ วงจรกำลัง (Circuit Power) และวงจรควบคุม (Circuit Control) โดยวงจรกำลังจะอาศัยลมอัดเป็นตัวกลางในการส่งกำลังเพื่อควบคุมวงจรการทำงาน ส่วนวงจรควบคุมจะใช้ตัวควบคุมได้หลายอย่าง เช่น ระบบไฟฟ้า, PLC และ Microcontroller เป็นต้น



รูปที่ ค.3 PLC ควบคุมระบบนิวแมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระบบนิวแมติกส์

การควบคุมระบบนิวแมติกส์สามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1. การควบคุมระบบนิวแมติกส์ด้วยลม
2. การควบคุมระบบนิวแมติกส์ด้วยไฟฟ้า
3. การควบคุมระบบนิวแมติกส์ด้วยโปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ (PLC)
4. การควบคุมระบบนิวแมติกส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การควบคุมระบบนิวแมติกส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในปัจจุบันไม่นิยมมากนัก (แต่นิยมใช้ควบคุมเครื่องจักร และระบบการผลิตในอุตสาหกรรม) เพราะจะต้องศึกษาหลายอย่าง และรู้เรื่องเกี่ยวกับขบวนการการทำงานอย่างแท้จริง เช่น สถาปัตยกรรมของ Microcontroller ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำอินพุท เอาต์พุท โปรแกรม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่ง Microcontroller จะมีอุปกรณ์ภายใน เช่น Timer และ Counter อยู่และสามารถขยาย Output ได้ Microcontroller ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายยี่ห้อ เช่น Intel, Phillips, Siemens, Atmel เป็นต้น ปัจจุบันภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม Microcontroller มีอยู่หลายภาษา เช่น ภาษาเบสิก ภาษาแอสเซมบลี และภาษาซี ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ภาษา ซี ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

ข้อดีข้อเสียของระบบนิวแมติกส์

ระบบนิวแมติกส์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนั้นการที่จะนำระบบลมอัดไปใช้ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติจึงต้องศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของลมอัดก่อน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ข้อดีของลมอัด

- 1) มีความปลอดภัยสูงถึงแม้ว่าจะใช้งานเกินกำลัง
- 2) การบำรุงรักษาง่ายและสะดวก
- 3) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบนิวแมติกส์ไม่ยุ่งยาก
- 4) ไม่เกิดอันตรายหรือระเบิดเมื่อลมรั่วออกจากท่อลม
- 5) ลมอัดมีความเร็วในการทำงาน
- 6) สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบได้
- 7) ระบบลมอัดมีความสะอาด เพราะลมอัดได้ผ่านชุดควบคุมภาพลมอัด
- 8) สามารถใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าได้

ข้อเสียของลมอัด

- 1) มีขีดจำกัดในการทำงานที่มีโหลดมากๆ
- 2) ลมอัดจะมีเสียงดังก่อนระบายสู่บรรยากาศ
- 3) ลมอัดสามารถอัดตัวได้ ในขณะที่มีโหลดอาจทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ
- 4) ความชื้นสามารถปะปนไปพร้อมกับลมอัดทำให้อุปกรณ์เกิดสนิม และชำรุดได้
- 5) ความดันลมอัดจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ทำให้การควบคุมของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิศวกรรมลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ปีที่ 25 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2551

วิศวกรรมโทรคมนาคม

1. การวิเคราะห์พฤติกรรมของเสียบนเครือข่าย WLAN ด้วยโปรแกรมเลียนแบบโครงข่าย Network Simulation 2 1
กฤตมุข เจียมสุขสุดจิต กอบชัย เดชหาญ
2. การทดสอบประสิทธิภาพขณะวิกฤตของ FTTH 7
ธนาชัย ปิยะศิริวานันท์ กอบชัย เดชหาญ
3. การนำระบบการแทรกซึมของน้ำที่ผ่านเข้าไปยังหัวต่อของโครงข่ายเส้นใยแก้ว 13
ทวีศักดิ์ กวีโส สุวิทย์ สิริธัชวาท

วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงแบบบริจค์ความถี่สูงที่ป้อนโดยวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม 19
ชัยพร อัดโตดต
5. การวิเคราะห์ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นพร้อมกันในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม PSCAD/EMTDC 25
วรวิทย์ ทงศ์ชัยศรีกุล อธิระศักดิ์ หัตถมนเจริญ อรรถพล เก่งพิทักษ์กุล อานันท์วัฒน์ คุณณากร

วิศวกรรมเคมี

6. ผลของสภาวะการผลิตต่อคุณลักษณะของเอกซ์ทราเทกที่ได้จากปลายข้าวโดยใช้น้ำเครื่องเอกซ์ทราเคอร์แบบสกรูเดี่ยว 31
สันติ ทิระนุอร มาฤดี มิ่งพิพัฒน์หงส์
7. เมโซพอร์คาร์บอนเจล : ปัจจุบันและอนาคต 37
เกรียงศักดิ์ โกรวัฒน์วงศ์ สุรีย์ภรณ์ ตันตัญญูกุล ชนิดา เวสนุสิทธิ์ ธัชพล ภักดีอาษา
8. Kinetic Reaction Analysis by Model-Free Method for EVA-Based Encapsulant for Photovoltaic Modules 42
Thanomkhwan Thawon Surat Areerat

วิศวกรรมเครื่องกล

9. การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ 47
ณัฐวุฒิ เติงไผ่วา พิศาล มุลอ้าคา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

10. การประยุกต์ใช้ระบบผลิตแบบลิ้นร่วมกับการจัดการแบบโซ่อุปทาน 52
ตรีศ เหล่าศิริหงษ์ทอง ลลิตา ยิ่งสูง ทศพล เกียรติเจริญผล

การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์

Analysis and Design of the Plastic-Sheet Puncher Structure Using the Finite Element Method

พิศาล มูลอำคา ณัฐวุฒิ เดไปวา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาถึงการเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการคำนวณ เพื่อทำการลดขนาดของการเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมที่เคยมีการจัดทำขึ้น ซึ่งมีการเสียรูปมากเกินไป และมีความแข็งแรงไม่เพียงพอในการใช้งาน ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสม ของความหนาที่เพิ่มขึ้นในบางตำแหน่ง ในการหาค่าที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาค่าของการเสีย ความเค้น และน้ำหนักของชิ้นส่วนของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเพื่อให้ขนาดของการเสียรูปน้อยที่สุด

Abstract

This paper presents the studying of the deformation of the plastic sheet punching machine using the finite element method. This method is used to reduce the deformation of the former punching plastic machine which have the deformation too much and the strength is not enough. This paper uses the optimization method to find the optimum at some positions, About the optimization include the deformations, the stress and the weight of some part of the punching plastic machine in order to determine the least of the deformation.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมทอพรหมประกอบด้วยกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การสร้างแบบเพื่อใช้ในการทอพรหม โดยแบบที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะเป็นแผ่นพลาสติกที่มีการเจาะรูเล็ก ๆ เดินเป็นรูปลายเส้น เมื่อได้แผ่นพลาสติกที่ถูกเจาะตามลายเส้นที่ต้องการจะทอลงบนพรหมแล้ว ก็จะทำแผ่นพลาสติกเจาะรูที่ได้ไปทาบลงบนผ้าสำหรับทอ

พรหม แล้วจึงทาสีบนแผ่นพลาสติกเพื่อให้เกิดลวดลายต่าง ๆ ตามลายเส้นที่ได้เจาะรู เมื่อนำแผ่นพลาสติกออก ก็จะได้รูปแบบแนวเส้นที่จะใช้ในการทอพรหมต่อไป ซึ่งขั้นตอนการผลิตที่สำคัญ และเป็นขั้นตอนที่เป็นเหตุให้เกิดการออกแบบและสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกสำหรับทำแบบทอพรหม (Plastic Sheet Punching Machine) คือ การเจาะแผ่นพลาสติกเพื่อนำไปทาบลงบนผ้าสำหรับใช้ทอพรหม ซึ่งในขั้นตอนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้แรงงานคนในการตอกเพื่อเจาะรูตามลายเส้น เพื่อให้เกิดการพัฒนากระบวนการผลิตในโรงงาน อุตสาหกรรมทอพรหม จึงได้มีการสร้างเครื่องเจาะ แผ่นพลาสติกสำหรับทำแบบทอพรหม โดยมี วัตถุประสงค์หลัก เพื่อต้องการลดขั้นตอนการผลิต และยังสามารถจัดสรรทรัพยากรบุคคลไปทำงาน ในส่วนอื่นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพใน กระบวนการผลิตได้อีกด้วย ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โลกอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันมากขึ้น เพื่อที่จะผลิตสินค้าให้เพียงพอและได้คุณภาพ ตามที่ตลาดต้องการ อุตสาหกรรมการผลิตจึงได้มีการนำระบบการผลิตแบบอัตโนมัติมาใช้มากขึ้น รวมถึงการใช้เครื่องมือการผลิตที่หลากหลาย ดังนั้น โครงงาน เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเพื่อสร้างแบบสำหรับทอพรหม จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของ อุตสาหกรรมทอพรหม เพื่อให้เกิดความสะดวก และรวดเร็วในการเจาะแบบทอพรหม ซึ่งประหยัด ทั้งแรงงาน ต้นทุนการผลิต และเวลา อันจะ ยังผลให้ระบบอุตสาหกรรมเกิดความก้าวหน้า และมีอัตราการผลิตที่มากขึ้น

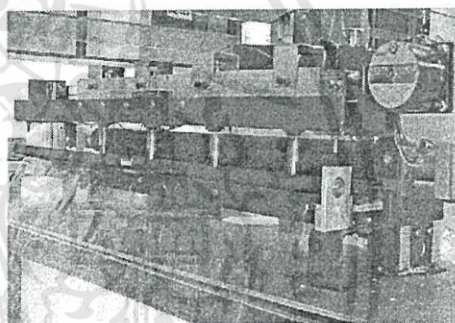
เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนั้น ได้มีจัดทำ ขึ้นแล้ว[1] แต่ยังไม่ได้มีการคำนวณในเรื่องของ การเสีรูปร่าง ทั้งประสิทธิภาพในการทำงานยังไม่ได้ เท่าที่ควร เช่น เกิดการสั่นของโครงสร้างมาก, มี เสียงดัง, การทำงานของหัวเจาะผิดพลาด เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น จึง จำเป็นต้องใช้การคำนวณเข้าไปแก้ปัญหาดังกล่าว เหล่านี้ให้ลดลง หรือหายไป

ปัจจุบันการวิเคราะห์ปัญหาทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้าน Computer Aided Engineer (CAE) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [2,3,4,5] เป็นที่นิยมมากขึ้นทั้งสถาบันการศึกษา และอุตสาหกรรมขนาดเล็กทั่วไป ทั้งนี้เพราะขีด ความสามารถของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และ โปรแกรมมาตรฐานสำหรับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ จะใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้พัฒนาขึ้น

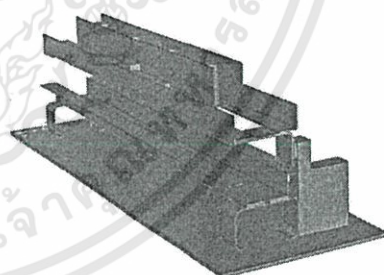
อย่างมาก และกว้างขวางยิ่งขึ้น การใช้งานจึงสะดวกรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำสูง และเสียค่าใช้จ่ายไม่มากนัก ดังนั้นเราจึงใช้ หลักการของไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อช่วยในการคำนวณเครื่อง เจาะแผ่นพลาสติก เพื่อที่จะหาค่าของการเสีรูปร่าง[7] เมื่อมีแรง กระทำในตำแหน่งของหัวเจาะ พร้อมทั้งการเลือกขนาดที่ เหมาะสม เพื่อให้ค่าของการเสีรูปร่างนั้นน้อยลง

2.การสร้างแบบจำลอง

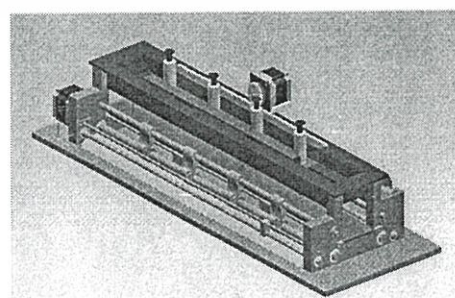
การสร้างแบบจำลอง[6] นั้นมีข้อจำกัดอยู่บ้างที่ จะต้องคำนึงถึง เช่น ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่จะติดตั้ง, ระยะ ของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่, อุปกรณ์บางชิ้นที่เราได้ทำการ จัดซื้อจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้ เป็นต้น ดังนั้น ใน การสร้างแบบจำลองจึงต้องคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย



รูปที่ 1 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม

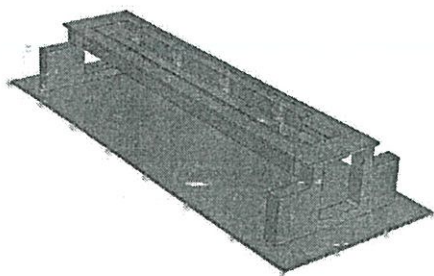


รูปที่ 2 แบบจำลองของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิม



รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่

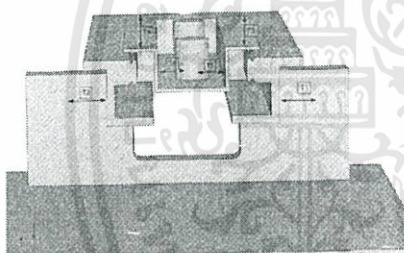
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่

3. การเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาด

ในการเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาดหรือตัวแปรที่ต้องการจะออกแบบนั้นจะต้องเลือกตำแหน่งที่มีผลต่อการเสีรูปของแบบจำลองให้มากที่สุด และเป็นตำแหน่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้พร้อมทั้งกำหนดช่วงของระยะที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้



รูปที่ 5 การเลือกตำแหน่งที่จะเพิ่มขนาด

ตัวแปรที่ ต้องการจะ ออกแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
T1	0.2 mm	8 mm
T2	0.2 mm	8 mm
T3	0.2 mm	8 mm
T4	0.2 mm	8 mm
T5	0.2 mm	8 mm
T6	0.2 mm	8 mm

ตารางที่ 1 แสดงช่วงของค่าตัวแปรที่ต้องการจะออกแบบ

4. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

Objective Function

- ค่าของการเสีรูปที่น้อยที่สุด

Constraints

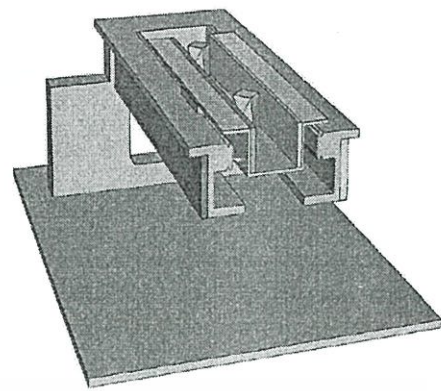
- ค่าของการเสีรูปน้อยกว่า 0.0009 mm
- ค่าของ Stress สูงสุดน้อยกว่า 1.40 MPa (Yield Point at 250MPa)
- ค่าของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 3 kg
- ค่าของน้ำหนักรวมขึ้นบนน้อยกว่าชั้นล่าง 2 เท่า

ในการเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด[8] นั้นจะใช้วิธีการ Direct Search Method ร่วมกับ โปรแกรม ABAQUS ซึ่งจำเป็นจะต้องเขียน Script file เพื่อที่จะหาตำแหน่งที่เหมาะสมของขนาดความหนาของแต่ละตำแหน่ง พร้อมทั้งตรวจเช็ค Constrains ต่างๆที่ได้กำหนด ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

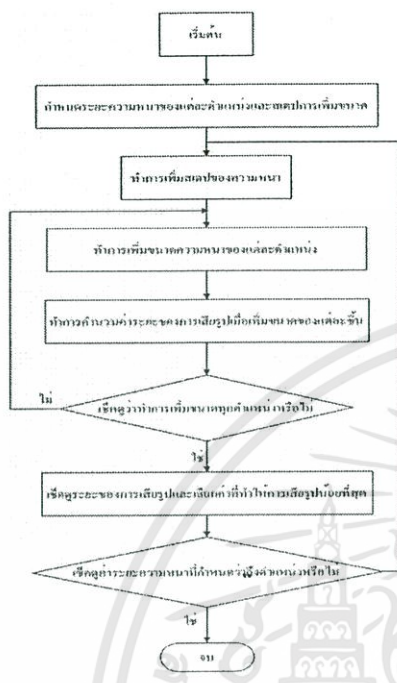
- Step 1. ทำการกำหนดช่วงของพารามิเตอร์ทุกตัว
- Step 2. เลือกจุดเริ่มต้น $x^{(i)}$ และขนาดการเพิ่มขึ้นของพารามิเตอร์ของทุกตัว
- Step 3. ทำการเพิ่มขนาดของพารามิเตอร์
- Step 4. คำนวณหาค่าฟังก์ชันทุกค่า และหาค่าที่ทำให้ฟังก์ชันมีค่าน้อยที่สุด
- Step 5. ทำการแทนค่าตัวแปร $x^{(i)} = x^{(i+1)}$ ในฟังก์ชันด้วยค่าของตัวแปรจาก step 4
- Step 6. เช็คระยะของความหนาของแต่ละชั้นงานที่กำหนดและเงื่อนไขบังคับ
- Step 7. ย้อนกลับไป step 2

เมื่อได้ค่าผลลัพธ์จากการคำนวณแต่ละช่วงของการเพิ่มขนาด จำเป็นจะต้องเลือกค่าให้เหมาะสม หรือค่าที่ทำให้การเสีรูปที่น้อยที่สุดในแต่ละช่วงของการเพิ่มขนาดและพิจารณาค่าของ Constrains ต่างๆ ซึ่งจะต้องมีค่าเป็นจริงทั้งหมดตามเงื่อนไขที่กำหนดด้วย ในการเลือกค่าที่จะเป็นข้อกำหนดของระยะการเสีรูปนั้นเนื่องจากการกระทำของ

แรงอยู่ในแนวแกน z ซึ่งมีผลให้การเสีรูปร่างในแกนนี้มากกว่าแกนอื่น จึงใช้เป็นแกนหลักในการพิจารณาการเสีรูปร่าง



รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งที่เพิ่มขนาด



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการคำนวณ

ผลจากการคำนวณ	เครื่องเดิม	เครื่องใหม่	เครื่องใหม่ที่หาค่าที่เหมาะสม
ระยะการเสีรูปร่าง	1.907 mm	0.001 mm	0.00089 mm
Stress Max	3.216 MPa	-	0.1928 MPa
มวลรวมทั้งหมด	-	-	2.4976224 Kg
มวลรวมของชิ้นล่าง	-	-	1.83456 Kg

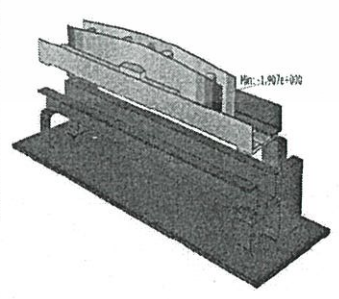
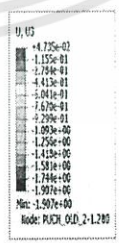
5. การวิเคราะห์ผล

หลังจากที่เราได้ทำการคำนวณเพื่อหาค่าของการเสีรูปร่างของแบบจำลองแล้วจะได้ผลลัพธ์ของค่าความหนาของแต่ละชิ้นดังนี้

ตัวแปรที่ต้องการจะออกแบบ	ค่าที่เลือกหลังจากการคำนวณ
T1	6.4 mm
T2	4.8 mm
T3	0.2 mm
T4	0.2 mm
T5	3.6 mm
T6	4.4 mm

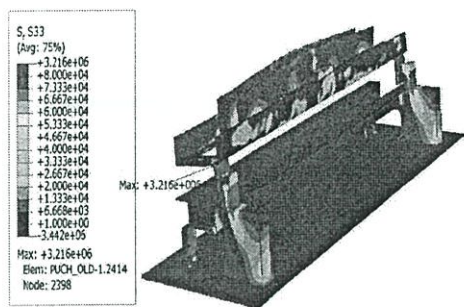
ตารางที่ 2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 3 แสดงผลเปรียบเทียบของแบบจำลองต่างๆ

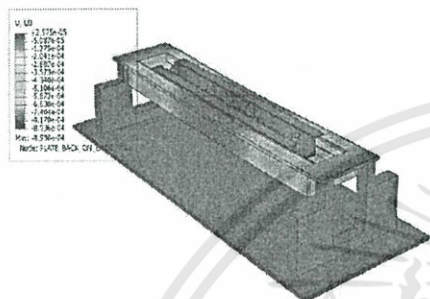


รูปที่ 8 แสดงการเสีรูปร่างของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

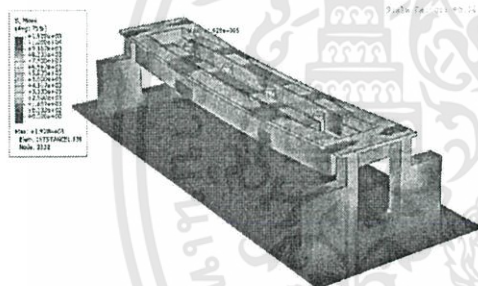
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ค่าความเค้นของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก



รูปที่ 10 การเสียรูปของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก



รูปที่ 11 ค่าความเค้นของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของตำแหน่งที่กำหนดแล้วจะส่งผลกระทบต่อค่าระยะการยุบตัวน้อยลง 10.06 % รวมทั้งยังช่วยลดค่าของความเค้นในเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเดิมที่ 3.216 MPa เหลือเพียง 0.1928MPa อีกด้วย ซึ่งจะทำให้มีค่าความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น และในการเพิ่มขนาดความหนายังส่งผลถึงตำแหน่งของการเสียรูปที่มากที่สุดกับตำแหน่งของความเค้นที่มากที่สุดให้เปลี่ยนไปจากตำแหน่งเดิม ดังนั้นเราสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของความเสียหายโดยให้หลักการของการหาค่าที่เหมาะสมได้

6.สรุป

จากการศึกษาและวิเคราะห์ของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกที่ออกแบบใหม่ และหาค่าความหนาที่เหมาะสมทำให้ทราบว่า

1. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความหนาในตำแหน่งที่กำหนดแล้วจะส่งผลกระทบต่อค่าระยะการเสียรูปน้อยลง
2. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดความหนาในตำแหน่งที่กำหนดแล้วจะส่งผลต่อค่าความเค้นซึ่งส่งผลกับค่าความปลอดภัย
3. เมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วสามารถทำให้ค่าประสิทธิภาพต่างๆ ที่ต้องการดีขึ้น

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] นเร็นศ ชัยธานี, สมบัติ ทำนา, อำนวยการ วิชาโคตร, 2548, การพัฒนาเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกสำหรับสร้างแบบทอพรอม ,ปริญญาโทระดับปริญญาตรี ,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] ปราโมทย์ เคชะอำไพ, ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม. 2541
- [3] ปราโมทย์ เคชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม. 2537
- [4] เดช พุทธเจริญทอง, การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัทพิมพ์ดี จำกัด, กทม. 2541
- [5] บรรจบ อรชร, กลศาสตร์ของแข็ง, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทพิมพ์ดี จำกัด, กทม. 2541
- [6] วิทยา สงวนวรรณ, “Unigraphics Work Form Feature”, บริษัท เอส.พี.ซี จำกัด ปีพ.ศ. 2546
- [7] Ferdinand P.Beer, E.Russell Johnston ,Jr,John T. DeWolf , “Mechanical of materials”, Third Edition, McGrawHill 2002
- [8] Numerical optimization , Jorge Nocedal, Stephen J. Wright , Springer-Verlag New York, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพิศาล มุลอำคา
 วัน เดือน ปีเกิด 9 ธันวาคม 2525 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด
 ที่อยู่ 61 หมู่ 1 ตำบลบึงนาราง อำเภอธวัชบุรี จังหวัดร้อยเอ็ด 45170 โทร. 043-6586030
 ประวัติการศึกษา 2546 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลขอนแก่น
 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 2549/1 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานทางวิชาการ

1. ณัฐวุฒิ เดไปวา, พิศาล มุลอำคา. “การวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก โดยใช้หลักการ ไฟไนต์เอลิเมนต์”. วิศวกรรมลาดกระบัง. ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2551